High Top

생명 과학 Ⅱ

1권

정답 및 해설

I 세포와 물질대사

chapter 1 세포의 특성

01 세포의 연구

개념 체크 p.019

A 세포의 발견과 세포설

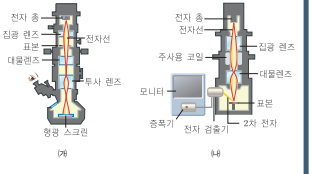
그림은 훅이 현미경으로 본 코르크 조직을 스케치한 것이다.

위 자료와 세포설에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 훅은 자신이 만든 현미경으로 코르크참나무 가지의 코르크 조직을 관찰하다가 처음으로 세포를 발견하였다. (○)
2. 훅이 관찰한 것은 살아 있는 세포가 아니라 죽은 식물 세포의 세포막이었다. (×)
3. 핵은 모든 생물의 구조적 기본 단위이다. (×)
4. 모든 생물은 하나의 세포로 구성되어 있다. (×)
5. 세포는 생명 활동이 일어나는 기능적 단위이다. (○)

B 전자 현미경

그림은 두 가지 전자 현미경의 구조를 나타낸 것이다.

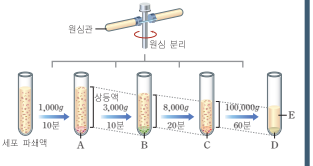


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 투과 전자 현미경을, (나)는 주사 전자 현미경을 나타낸 것이다. (○)
2. (가)는 표본을 투과한 전자에 의해, (나)는 전자선을 주사하여 표본의 표면에서 방출되는 2차 전자에 의해 상이 맺힌다. (○)
3. (가)보다 (나)의 최고 배율이 더 높다. (×)
4. (가)는 세포의 단면 구조 관찰에, (나)는 세포의 입체 구조 관찰에 주로 이용된다. (○)

C 세포 분획법

그림은 세포벽을 제거한 식물 세포를 파쇄한 다음 회전 속도와 시간을 증가시키면서 원심 분리하는 과정을 나타낸 것이다.

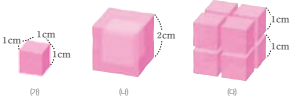


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A~E 중 DNA 함량이 가장 많은 것은 A이다. (○)
2. 식물 세포가 아닌 동물 세포를 재료로 하였을 때 나타나지 않는 세포 소기관이 들어 있는 분획은 C이다. (×)
3. O_2 흡수량이 가장 많은 세포 소기관은 B에 들어 있다. (×)
4. 단백질 합성을 담당하는 세포 소기관은 D에 주로 들어 있다. (○)

D 세포의 크기가 작은 이유

그림 (가)와 (나)는 각각 한 변의 길이가 1cm와 2cm인 정육면체를 나타낸 것이고, (다)는 (나)와 같은 크기의 정육면체를 한 변의 길이가 1cm인 정육면체 8개로 나눈 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)와 (나)에서 부피에 대한 표면적의 비는 각각 6과 3이다. (○)
2. (나)와 (다)에서 부피에 대한 표면적의 비는 (다)가 (나)보다 더 크다. (○)
3. 세포가 커질수록 부피에 대한 표면적의 비는 점점 작아진다. (○)
4. 세포가 작을수록 물질 교환의 효율은 높다. (○)
5. (나)와 (다)를 비교해 보면 생물의 몸이 소수의 큰 세포로 이루어진 것보다 다수의 작은 세포로 이루어져 있는 것이 물질 교환에 유리하다는 것을 알 수 있다. (○)

A 세포의 발견과 세포설

01 훅은 자신이 만든 현미경으로 코르크참나무 가지의 코르크 조직을 관찰하다가 벌집 모양의 세포를 처음으로 발견하였다.

02 사실 훅이 관찰한 벌집 모양의 작은 방은 살아 있는 세포가 아니라 죽은 식물 세포의 세포벽이었다.

03 모든 생물의 구조적 기본 단위는 핵이 아니라 세포이다.

04 단세포 생물은 하나의 세포로 이루어져 있지만, 다세포 생물은 수많은 세포로 이루어져 있다.

05 세포는 모든 생물체의 구조적 단위일 뿐만 아니라, 생명 활동이 일어나는 기능적 단위이기도 하다.

B 전자 현미경

01 (가)는 표본을 투과한 전자에 의해 상이 맺히므로 투과 전자 현미경을 나타낸 것이고, (나)는 표본에서 방출된 2차 전자에 의해 상이 맺히므로 주사 전자 현미경을 나타낸 것이다.

02 (가)는 표본을 투과한 전자선에 의해 형광 스크린에 상이 맺히고, (나)는 표본에 전자선을 주사하여 표본의 표면에서 방출되는 2차 전자에 의해 상이 맺힌다.

03 투과 전자 현미경의 배율은 수백만 배에 달하고, 주사 전자 현미경의 배율은 수십만 배이므로, (나)보다 (가)의 최고 배율이 더 높다.

04 투과 전자 현미경은 얇게 자른 시료를 관찰하므로 세포나 세포 소기관의 단면을 관찰하는 데 이용되고, 주사 전자 현미경은 얇게 자르지 않은 시료를 관찰하므로 입체 구조 관찰에 이용된다.

C 세포 분획법

01 A는 핵과 세포 조각 등이 포함된 분획, B는 엽록체가 포함된 분획, C는 미토콘드리아와 리소좀이 포함된 분획, D는 소포체와 리보솜, 골지체 및 세포막이 포함된 분획이다. 따라서 DNA 함량이 가장 많은 분획은 핵이 포함된 분획 A이다.

02 동물 세포에서 나타나지 않는 세포 소기관은 엽록체이다.

03 O_2 흡수량이 가장 많은 세포 소기관은 세포 호흡을 담당하는 미토콘드리아이다.

04 단백질 합성을 담당하는 세포 소기관은 리보솜이다.

D 세포의 크기가 작은 이유

01 (가)의 경우, 부피는 $1cm^3$, 표면적은 $6cm^2$이므로 부피에 대한 표면적의 비는 6이다. 그리고 (나)의 경우, 부피는 $8cm^3$, 표면적은 $24cm^2$이므로 부피에 대한 표면적의 비는 3이다.

02 (다)의 경우 부피와 표면적이 각각 $8cm^3(=1cm^3\times8)$와 $48cm^2(=6cm^2\times8)$이므로 부피에 대한 표면적의 비는 6이다.

03 (가)와 (나)를 비교해 보면 세포의 크기가 커질수록 부피에 대한 표면적의 비는 점점 작아진다는 것을 알 수 있다.

04 세포의 크기가 작을수록 부피에 대한 표면적의 비가 크므로 물질 교환의 효율이 높다.

05 (나)와 (다)의 전체 부피는 같지만 부피에 대한 표면적의 비는 (다)가 (나)보다 크다. 따라서 생물의 몸이 소수의 큰 세포보다 다수의 작은 세포로 이루어져 있는 것이 물질 교환에 유리하다는 것을 알 수 있다.

개념 확인 문제 pp.020~021

01. ⑤ **02.** ③ **03.** ⑤ **04.** ③ **05.** ① **06.** 얇게 자르지 않은, 2차, 입체적 **07.** 광학 현미경으로 관찰하기 위해 재료를 얇게 자르는 장치이다.
08. (가) 주사 전자 현미경, (나) 투과 전자 현미경 **09.** 세포 분획법 **10.** ④
11. ② **12.** 8.75μm **13.** 350μm

코르크

코르크는 부피 생장을 하는 식물의 줄기나 뿌리의 주변부에 만들어지는 보호 조직으로, 단열 · 방음 · 전기적 절연 · 탄력성 등에서 우수한 성질을 가지고 있기 때문에 병마개나 실내의 벽 마감재 등 다방면에 이용된다. 특히 코르크참나무에서 얻어지는 것이 가장 우수하여 세계에서 널리 쓰이고 있는데, 보통 '코르크' 라고 하는 것은 이것을 가리킨다.

혹이 스케치한 코르크참나무 가지와 코르크 마개

01 ⑤ 훅은 자신이 만든 현미경으로 코르크참나무 껍질의 코르크 조직을 얇게 썬 조각을 관찰하다가 수많은 벌집 모양의 구멍을 발견하고, 이를 세포라고 이름 붙였다. 그런데 훅이 실제로 관찰한 것은 살아 있는 세포가 아니라 죽은 식물 세포의 세포벽이었다.

02 ③ 세포설은 다음과 같이 정리된다.

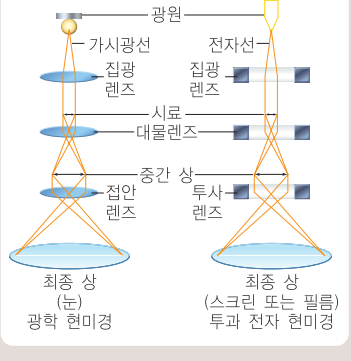
> 세포는 모든 생물의 구조적 · 기능적 단위이고, 모든 생물은 하나 이상의 세포로 구성되어 있으며, 모든 세포는 항상 기존의 세포로부터 만들어진다.

오답 피하기

③ 세포가 핵과 세포질로 구성되어 있다는 것은 세포설의 내용이 아니다. 핵은 1831년, 브라운에 의해 발견되었다.

03 ⑤ 얇게 자른 표본(시료)에 금속을 입힌 후 전자선을 투과시켜 형광 스크린이나 모니터 또는 필름 위에 상이 맺히도록 하며, 세포나 세포 소기관의 단면을 관찰하는 데 주로 이용되는 것은 투과 전자 현미경이다.

광학 현미경과 투과 전자 현미경의 원리 비교



04 ③ ③ 광학 현미경은 살아 있는 상태의 세포를 관찰할 수 있다.

오답 피하기

① 실체 현미경은 일반 광학 현미경보다 비교적 배율이 낮아 세포를 관찰하는 데에는 적합하지 않다.
② 형광 현미경은 형광 염색액이나 형광 항체로 특정 분자를 표지하여 그 분자의 세포 내 위치를 밝힐 때 사용하기 때문에 세포를 살아 있는 상태로 관찰하는 데는 적합하지 않다.
④, ⑤ 전자 현미경은 시료가 들어가는 전자 현미경의 내부가 진공 상태이므로 세포를 살아 있는 상태로 관찰할 수는 없다.

05 ① ① 아세트산카민은 세포의 핵을 적색으로 염색한다.

오답 피하기

② 메틸렌블루는 핵을 청색으로 염색한다.
③ 헤마톡실린은 핵을 보라색으로 염색한다.
④ 에오신은 세포질을 적색으로 염색한다.
⑤ 야누스그린 B는 미토콘드리아를 녹색으로 염색한다.

06 얇게 자르지 않은, 2차, 입체적

주사 전자 현미경은 시료의 표면을 금속으로 코팅한 다음 전자선을 주사하여 시료의 표면에서 방출되는 2차 전자에 의해 맺힌 입체적인 상을 관찰한다. 그런 까닭에 주사 전자 현미경은 세포나 세포 소기관의 입체 구조를 관찰하는 데 주로 이용된다.

07 광학 현미경으로 관찰하기 위해 재료를 얇게 자르는 장치이다.

그림의 장치는 마이크로톰이다. 마이크로톰은 미세 절단기라고도 하는데, 광학 현미경으로 관찰하기 위해 재료를 얇게 자르는 장치이다. 우선 재료를 파라핀 속에 넣어 굳힌 다음, 이것을 받침대에 고정시킨 후 핸들을 돌리면 받침대가 전진하면서 상하 운동을 하는데, 이때 고정되어 있는 칼에 의해 재료가 5~10μm 두께의 얇은 절편으로 잘라진다.

08 (가) **주사 전자 현미경,** (나) **투과 전자 현미경**

(가)는 미토콘드리아가 입체적으로 보이므로 주사 전자 현미경으로 관찰한 것이고, (나)는 미토콘드리아의 평면적인 단면이 보이므로 투과 전자 현미경으로 관찰한 것이다.

09 세포 분획법

세포를 등장액에 넣어 균질기로 분쇄한 후, 원심 분리기에 넣고 속도와 시간을 다르게 하여 회전시킴으로써 여러 세포 소기관을 무게에 따라 분리, 침전시키는 방법을 세포 분획법이라고 한다.

10 ④ 세포 분쇄액을 1차 원심 분리하여 얻은 침전액 C+D에 들어 있는 세포 소기관이 상등액 A+B에 들어 있는 세포 소기관보다 더 무겁다. 또, 2차 원심 분리하여 얻은 침전액 B에 들어 있는 세포 소기관이 상등액 A에 들어 있는 세포 소기관보다 무겁고, 3차 원심 분리하여 얻은 침전액 D에 들어 있는 세포 소기관이 상등액 C에 들어 있는 세포 소기관보다 무겁다. 이를 종합하면, D>C>B>A 순으로 들어 있는 세포 소기관이 무겁다는 것을 알 수 있다.

11 ② ①, ④, ⑤ 방사성 동위 원소로 표지된 아미노산을 세포에 주입한 다음 방사선의 행방을 추적하면 특정 아미노산이 어디에 분포하는지, 또 살아 있는 세포 내 어느 장소에서 단백질이 합성되는지 그리고 합성된 단백질이 어떤 경로로 이동해 가는지 등을 알 수 있다.
③ X선 필름을 방사성 동위 원소를 함유한 물질에 밀착시켰다가 현상하면, 방사성 동위 원소가 포함된 물질만 필름에 검은색으로 나타난다. 따라서 X선 필름을 이용하여 방사선을 검출할 수 있다.

오답 피하기

② ^{32}P은 DNA나 RNA를 표지할 때 사용하고, 아미노산을 표지할 때는 ^{14}C를 주로 사용한다.

12 8.75μm

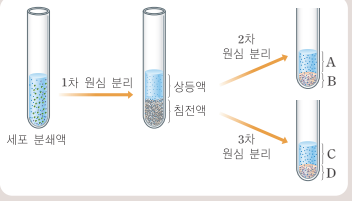
그림을 보면, 접안 마이크로미터 40눈금이 대물 마이크로미터 35눈금과 겹쳤다. 따라서 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 다음과 같다.

접안 마이크로미터 1눈금의 크기 $= \frac{35}{40} \times 10\mu m = \frac{350}{40}\mu m = 8.75\mu m$

13 350μm

그림을 보면 양파 표피 세포 하나의 길이는 접안 마이크로미터 40눈금에 해당한다. 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 8.75μm이므로, 양파 표피 세포의 실제 크기는 350μm(=40×8.75μm)이다.

세포 분획법



2차 원심 분리를 통해 1차 원심 분리로 생긴 상등액에서 다시 침전액 B가 생긴 것이므로, 2차 원심 분리의 회전 속도는 1차 원심 분리의 회전 속도보다 빨라야 한다. 반면 3차 원심 분리를 통해 1차 원심 분리로 생긴 침전액에서 다시 상등액 C가 생긴 것이므로, 3차 원심 분리의 회전 속도는 오히려 1차 원심 분리의 회전 속도보다 느려야 한다. 결국 회전 속도는 2차 원심 분리가 가장 빠르고, 1차 원심 분리, 3차 원심 분리의 순으로 빠르다.

세포의 크기 측정

마이크로미터를 이용해 세포의 크기를 측정하는 것은 일종의 대조 실험이다. 접안 마이크로미터를 끼운 상태에서 대물 마이크로미터를 관찰하는 것이 대조군이고, 동일한 배율에서 대물 마이크로미터 대신 세포를 관찰하는 것이 실험군이다. 결국 통제 변인에 해당하는 접안 마이크로미터를 매개로 하여 실험군에서 관찰한 세포의 크기가 대조군에서 관찰한 대물 마이크로미터 몇 눈금에 해당하는지를 구하여 세포의 크기를 측정하는 것이다.

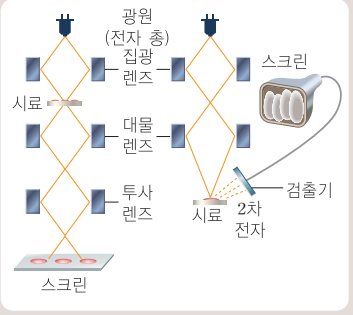
개념 활용 문제

pp.022~025

01. ⑤ 02. ③ 03. ⑤ 04. ③ 05. ⑤ 06. ① 07. ② 08. ③

01 ⑤ (가)에서 양파의 표피는 여러 개의 세포로 구성되어 있다는 것을 알 수 있다. (나)는 양파 뿌리 끝의 생장점으로 일부 세포에서 염색체가 관찰되는 것으로 보아 체세포 분열이 진행 중이다. 따라서 (나)와 같은 관찰 결과를 통해 추가되었을 것으로 추정되는 세포설의 내용은 모든 세포는 항상 기존의 세포로부터 만들어진다는 것이다.

투과 전자 현미경과 주사 전자 현미경의 원리 비교



02 ③ ③ (가)는 투과 전자 현미경으로 세포 단면 구조를 관찰한 것으로, 세포 단면에 전자선을 투과시켜 상이 맺히도록 한 것이다.

오답 피하기

① (가)에서 관찰한 백혈구의 상은 단면 구조이므로 투과 전자 현미경으로 관찰한 것이고, (나)에서 관찰한 백혈구의 상은 입체 구조이므로 주사 전자 현미경으로 관찰한 것이다.

② (가)와 (나)처럼 전자 현미경으로 관찰할 때는 내부가 진공 상태이므로 살아 있는 상태의 세포를 관찰할 수 없다.

④ (나)는 주사 전자 현미경으로 관찰한 것이므로, 시료의 표면을 금속으로 코팅한 다음 전자선을 주사하여 시료의 표면에서 방출되는 2차 전자에 의해 상이 맺히도록 한 것이다.

⑤ 전자선은 눈에 보이지 않으므로, (가)와 (나) 둘 다 스크린이나 모니터에 나타난 상을 관찰한다.

03 ⑤ ㄷ. 생물 시료나 표본 등에 인위적인 조작을 가하여 원래의 상태와 구조 등이 최대한 변하지 않도록 보존하는 처리법은 고정법이다. 예를 들어 세포 분열을 관찰하기 위해 세포를 에탄올과 아세트산의 3 : 1 혼합 용액에 담가 두는 고정 처리는 세포를 살아 있을 때와 같은 상태와 구조로 유지해 준다.

ㄹ. 방사성 동위 원소가 포함된 화합물을 생물체에 공급하고 시간 경과에 따라 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 방법을 자기 방사법이라고 하며, 이는 살아 있는 세포 내에서의 물질의 이동과 변화를 알아보기 위한 방법이다.

오답 피하기

ㄱ. 광학 현미경으로 관찰하기 위해 재료를 얇게 자르는 장치는 마이크로톰이고, 균질기는 동식물 조직이나 세균 등의 생체 세포를 기계적으로 잘게 부수어 유상의 용액으로 만드는 장치이다.

ㄴ. 생물체에서 떼어 낸 조직이나 세포를 양분이 포함되어 있는 배양액이나 배지에서 배양하는 방법을 세포 배양법이라고 한다. 이는 연구에 사용할 세포를 대량으로 얻고, 세포를 살아 있는 상태로 오랫동안 보존하면서 필요한 연구를 하기 위해 이용된다. 세포 분획법은 세포 소기관을 시간과 속도를 달리하면서 원심 분리하여 무게에 따라 분리하는 방법이다.

세포 소기관의 특성

- 핵 : DNA 함량이 많다.
- 엽록체 : CO_2 소비량이 많다.
- 미토콘드리아 : O_2 소비량이 많다.
- 리보솜 : RNA 함량이 많다.

04 ③ ① A의 DNA 함량이 무려 95%에 달하므로, 여기에는 주로 핵이 들어 있다는 사실을 알 수 있다. 핵은 생명 활동의 중심으로 작용한다.

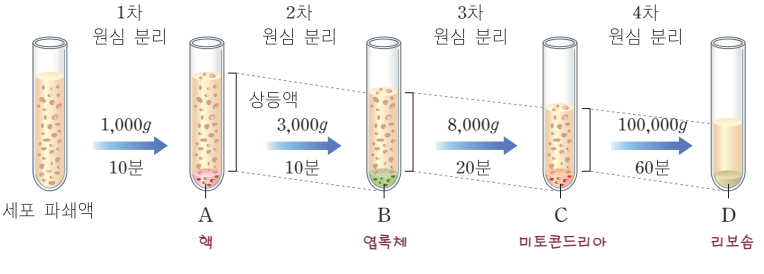
② CO_2를 소비하는 작용은 광합성이고 B가 CO_2의 대부분을 소비하므로, 여기에는 주로 엽록체가 있다는 사실을 알 수 있다. 엽록체는 동물 세포에는 없다.

④ A에는 주로 핵이 포함되어 있으므로, A가 있는 시험관 내의 상등액에는 핵을 제외한 다른 세포 소기관들이 모두 들어 있다.

⑤ 아미노산을 결합시켜 단백질을 합성하는 세포 소기관은 리보솜이고, 리보솜은 A~D 중 RNA 함량이 가장 높은 D에 주로 포함되어 있다. 따라서 세포 소기관을 분리하기 전에 ^{14}C로 표지한 아미노산을 공급하였다면 방사능은 D에서 가장 많이 검출될 것이다.

오답 피하기

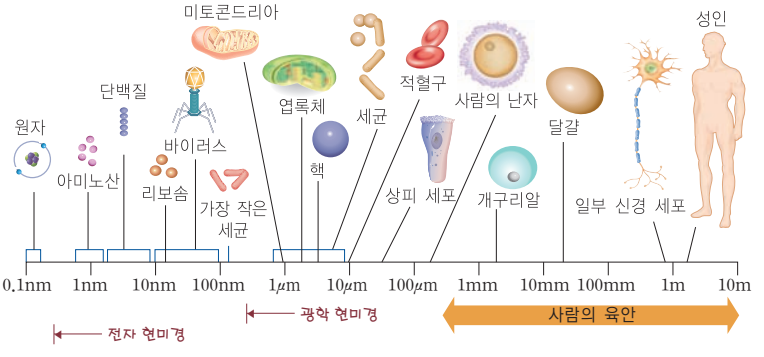
③ 유기물을 합성하는 작용인 광합성을 담당하는 엽록체는 주로 B에 들어 있다. C는 O_2 소비량이 가장 많으므로, C에 주로 들어 있는 세포 소기관은 세포 호흡을 담당하는 미토콘드리아이다.



해상력 비교

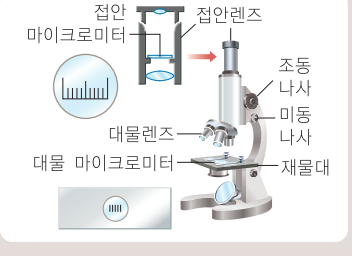
종류	해상력
사람의 눈	약 0.2mm
광학 현미경	약 0.2μm(=0.0002mm)
투과 전자 현미경	약 0.2nm(=0.0002μm)
주사 전자 현미경	약 5nm(=0.005μm)

05 ⑤ 그림에서 현미경으로 확대하지 않았을 때 사람의 육안으로는 대략 200μm ~ 500μm의 것까지 관찰할 수 있다. 그런데 광학 현미경을 이용하여 최고 1,000배로 확대한다고 하면, 이 수치의 $\frac{1}{1,000}$인 200nm ~ 500nm의 것까지 관찰할 수 있을 것이다. 따라서 광학 현미경으로 관찰할 수 있는 가장 작은 것은 그림에서 미토콘드리아이다. 한편, 전자 현미경을 이용하여 최고 1,000,000배로 확대한다고 하면, 육안으로 볼 수 있는 크기의 $\frac{1}{1,000,000}$인 0.2nm ~ 0.5nm의 것까지 관찰할 수 있을 것이다. 따라서 전자 현미경으로 관찰할 수 있는 가장 작은 것은 그림에서 아미노산이다.



접안 마이크로미터와 대물 마이크로미터

접안 마이크로미터는 지름 1.5cm 정도의 둥근 유리판에 눈금을 미세하게 새겨 넣은 것이고, 대물 마이크로미터는 받침 유리에 1mm를 100등분하여 10μm 간격으로 눈금을 미세하게 새겨 넣은 것이다.



06 ① ㄱ. 접안 마이크로미터의 눈금을 나타낸 것은 그림 (가)와 (나)에서 모두 관찰되는 A이다.

ㄴ. 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 $\frac{\text{대물 마이크로미터의 눈금 수}}{\text{접안 마이크로미터의 눈금 수}} \times 10\mu\text{m}$이다. 그림 (가)에서 접안 마이크로미터 40눈금이 대물 마이크로미터 30눈금과 겹쳤고, 대물 마이크로미터 1눈금의 크기는 10μm이므로, 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 $\frac{30}{40} \times 10\mu\text{m} = 7.5\mu\text{m}$이다.

오답 피하기

ㄷ. 짚신벌레의 크기는 접안 마이크로미터 40눈금에 해당하고 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 7.5μm이므로, 짚신벌레의 크기는 40 × 7.5μm = 300μm 즉, 0.3mm이다.

ㄹ. 100배로 관찰하다가 대물렌즈를 바꿔 배율을 200배로 올리면, 재물대 위에 놓인 대물 마이크로미터의 눈금 B의 간격과 짚신벌레의 크기는 둘 다 2배로 확대되어 보인다. 그러나 접안렌즈에 끼운 접안 마이크로미터의 눈금 A는 그 영향을 받지 않고 배율을 높이기 전과 동일한 크기로 보인다.

07 ② ㄴ. 원심 분리를 통해 침전물과 상등액으로 분리하였을 때 상등액보다 침전물에 더 무거운 것이 들어간다. B와 C는 첫 원심 분리에서 생긴 침전물로부터, A는 첫 원심 분리에서 생긴 상등액으로부터 얻은 것이다. 따라서 B와 C에 들어 있는 세포 소기관은 A에 들어 있는 세포 소기관보다 무겁다. 또 B와 C는 각각 원심 분리 (나)에서 생긴 상등액과 침전물이므로, C에 들어 있는 세포 소기관이 B에 들어 있는 세포 소기관보다 무겁다. 따라서 무거운 세포 소기관이 들어 있는 것부터 순서대로 배열하면 C, B, A의 순이다.

오답 피하기

ㄱ. 핵, 미토콘드리아, 엽록체를 무거운 것부터 순서대로 배열하면 핵, 엽록체, 미토콘드리아의 순이다. 따라서 핵은 C에서, 엽록체는 B에서, 그리고 미토콘드리아는 A에서 얻은 것으로 볼 수 있다.

ㄷ. 상등액에서 새로운 침전물이 생기게 하려면 처음 원심 분리 때보다 회전 속도를 더 높여야 하고, 침전물에서 새로운 상등액이 생기게 하려면 처음 원심 분리 때보다 회전 속도를 더 낮춰야 한다. 따라서 원심 분리 (가)는 처음 원심 분리 때보다 회전 속도를 더 높이고, 원심 분리 (나)는 처음 원심 분리 때보다 회전 속도를 더 낮춰야 한다.

방사성 동위 원소의 이용
아미노산 검출에는 주로 ^{14}C가 이용되고, 핵산 검출에는 주로 ^{32}P이 이용된다. ^{14}C나 ^{18}O는 광합성과 세포 호흡 과정을 연구하는 데 이용되기도 한다.

08 ③ ㄱ. 방사성 아미노산을 주입한 후 방사능을 띤 단백질은 처음에는 거친면 소포체에서 대량 검출되는데, 이는 거친면 소포체의 막에 단백질 합성을 담당하는 세포 소기관인 리보솜이 부착되어 있기 때문이다.

ㄴ. 그래프에서 방사능을 띤 단백질은 시간 경과에 따라 거친면 소포체, 골지체, 분비 소낭에서 순차적으로 검출되고 있다. 따라서 리보솜에서 합성된 단백질은 거친면 소포체 → 골지체 → 분비 소낭의 순으로 이동한다고 볼 수 있다.

오답 피하기
ㄷ. 아미노산의 구성 원소로는 C, H, O, N, S가 있다. 따라서 제시된 방사성 동위 원소 중 ^{3}H나 ^{14}C, ^{15}N는 실험에 이용할 수 있지만 ^{32}P은 실험에 이용할 수 없다.

서술 · 논술형 문제

01. 세포의 연구 p.026~027

세포설
- 식물 세포설 : 1838년, 슐라이덴이 "모든 식물은 세포로 구성되어 있다."고 주장
- 동물 세포설 : 1839년, 슈반이 "모든 동물은 세포로 구성되어 있다."고 주장
- 세포설 : 1839년, 슐라이덴과 슈반이 '세포는 모든 생물의 구조적 · 기능적 단위'라고 발표하고, 1855년 피르호가 "모든 세포는 기존의 세포로부터 만들어진다."는 내용을 추가

1. 세포설

모범 답안 | 첫째, 모든 생물은 하나 이상의 세포로 구성되어 있다. 둘째, 세포는 모든 생물의 구조적 · 기능적 기본 단위이다. 셋째, 모든 세포는 항상 기존의 세포로부터 만들어진다.

알짜 풀이 | 제시된 현미경 사진을 보면 양파의 뿌리 끝이 다수의 세포로 구성되어 있다는 사실을 확인할 수 있다. 이는 "모든 생물은 하나 이상의 세포로 구성되어 있고, 세포가 모든 생물의 구조적 · 기능적 기본 단위이다."라는 세포설의 내용을 뒷받침해 준다. 또, 사진에서는 체세포 분열이 일어나고 있는 세포가 다수 관찰되는데, 이는 "모든 세포는 항상 기존의 세포로부터 만들어진다."는 세포설의 내용을 뒷받침해 준다.

전자 현미경(Electron Microscope)
가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 이용하므로 광학 현미경보다 배율이 높아 세포와 세포 소기관의 미세 구조를 관찰할 수 있다. 전자선은 눈에 보이지 않으므로 스크린이나 필름에 맺힌 상을 관찰한다. 단면 구조를 관찰하는 데 주로 이용되는 투과 전자 현미경(TEM)과 입체 구조를 관찰하는 데 주로 이용되는 주사 전자 현미경(SEM)이 있다.

2. 광학 현미경과 투과 전자 현미경 및 주사 전자 현미경의 비교

모범 답안 | (1) 첫째, 광학 현미경은 광원으로 가시광선을 이용하고 투과 전자 현미경은 광원으로 전자선을 이용한다. 둘째, 투과 전자 현미경은 광학 현미경보다 배율이 훨씬 더 크다. 셋째, 광학 현미경은 상을 눈으로 직접 볼 수 있지만 투과 전자 현미경은 상을 눈으로 직접 볼 수 없고 스크린에 상이 맺히도록 하여 관찰한다.
(2) 투과 전자 현미경은 얇게 자른 시료에 전자선을 투과시켜 스크린에 상이 맺히도록 하며, 주사 전자 현미경은 얇게 자르지 않은 시료의 표면에 전자선을 주사한 다음 시료의 표면에서 방출되는 2차 전자에 의해 상이 맺히도록 한다. 그 결과, 투과 전자 현미경으로 관찰한 상은 평면적인 상이고, 주사 전자 현미경으로 관찰한 상은 입체적인 상이다.

알짜 풀이 | (1) 광학 현미경은 광원으로 가시광선을 이용하지만 투과 전자 현미경은 광원으로 가시광선보다 파장이 훨씬 더 짧은 전자선을 이용한다. 그런 까닭에 전자 현미경은 해상력이 광학 현미경에 비해 훨씬 더 커서 배율이 더 높다. 그리고 광학 현미경은 광원으로 가시광선을 사용하므로 상을 눈으로 직접 볼 수 있지만, 전자 현미경은 눈에 보이지 않는 전자선을 광원으로 사용하므로 전자의 흐름을 탐지하여 스크린의 영상이나 사진으로 바꾸어 관찰한다.
(2) 투과 전자 현미경은 얇게 자른 시료에 금속을 입힌 후 전자선을 투과시켜 비디오 스크린이나 모니터 또는 필름 위에 상이 맺히도록 하며, 주사 전자 현미경

은 얇게 자르지 않은 시료의 표면을 금속으로 코팅한 다음 전자선을 주사하여 시료의 표면에서 방출되는 2차 전자에 의해 상이 맺히도록 한다. 투과 전자 현미경은 세포나 세포 소기관의 평면적인 단면 구조를 관찰하는 데 주로 이용되고, 주사 전자 현미경은 세포나 세포 소기관의 입체 구조를 관찰하는 데 주로 이용된다. 즉, 관찰 결과에서 알 수 있듯이, 투과 전자 현미경으로는 평면적인 상을, 주사 전자 현미경으로는 입체적인 상을 관찰한다.

정육면체의 부피와 표면적 비교

한 변의 길이	1	2	3
부피	1	8	27
표면적	6	24	54
$\frac{\text{표면적}}{\text{부피}}$	6	3	2

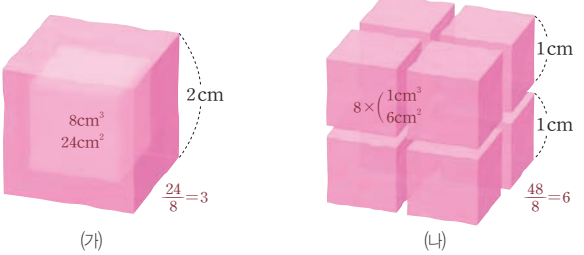
3. 크기 변화에 따른 $\frac{\text{표면적}}{\text{부피}}$ 변화

모범 답안 | (1) (가)에서 부피에 대한 표면적의 비는 $\frac{6\times4\text{cm}^2}{8\text{cm}^3}=3$이고, (나)에서 부피에 대한 표면적의 비는 $\frac{8\times6\times1\text{cm}^2}{8\times1\text{cm}^3}=6$이다.

(2) 부피에 대한 표면적의 비가 커져 물질 교환 효율이 높아진다.

알짜 풀이 | (1)(가)의 경우, 부피는 $2\text{cm}\times2\text{cm}\times2\text{cm}=8\text{cm}^3$이고 표면적은 $6\times2\text{cm}\times2\text{cm}=24\text{cm}^2$이므로 부피에 대한 표면적의 비는 $\frac{24}{8}=3$이다. 그리고 (나)의 경우, 부피는 $8\times1\text{cm}\times1\text{cm}\times1\text{cm}=8\text{cm}^3$이고 표면적은 $8\times6\times1\text{cm}\times1\text{cm}=48\text{cm}^2$이므로, 부피에 대한 표면적의 비는 $\frac{48}{8}=6$이다.

(2) 부피에 대한 표면적의 비가 (가)는 3이지만 (나)는 6이다. 그러므로 생물체의 몸이 소수의 큰 세포로 이루어진 것보다 많은 수의 작은 세포로 이루어진 것이 부피에 대한 표면적의 비가 크다. 그리고 부피에 대한 표면적의 비가 커지면 세포에서 물질 교환 효율이 증가한다.



세포 크기 측정

접안 마이크로미터 1눈금의 크기를 구한 후, 세포와 겹쳐진 접안 마이크로미터의 눈금 수를 곱하여 구한다. 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 겹쳐진 $\frac{\text{대물 마이크로미터의 눈금 수}}{\text{접안 마이크로미터의 눈금 수}}\times10\mu\text{m}$이다.

4. 세포 크기의 측정

모범 답안 | (1) (가)에서 접안 마이크로미터 4눈금이 대물 마이크로미터 1눈금과 겹쳤다. 따라서 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 $\frac{1}{4}\times10\mu\text{m}=2.5\mu\text{m}$이다. (나)에서 양파 표피 세포 1개의 크기는 접안 마이크로미터 60눈금에 해당한다. 따라서 양파 표피 세포의 크기는 $60\times2.5\mu\text{m}=150\mu\text{m}$이다.

(2) (다)에서 현미경의 배율은 $10\times10=100$배에서 $40\times10=400$배로 달라졌다. 현미경의 배율이 100배에서 400배로 4배 더 높아지면 상의 길이는 4배 더 확대되어 보이고 시야는 $\frac{1}{16}$배로 줄어든다. 따라서 배율을 바꾼 후 관찰되는 양파 표피 세포의 수는 이론상 32개의 $\frac{1}{16}$인 2개이다.

알짜 풀이 | (1) 대물 마이크로미터 1눈금의 크기는 $10\mu\text{m}$이며, 접안 마이크로미터 1눈금의 크기는 $\frac{\text{대물 마이크로미터의 눈금 수}}{\text{접안 마이크로미터의 눈금 수}}\times10\mu\text{m}$이다.

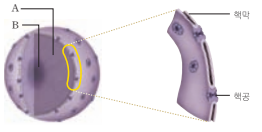
(2) 현미경의 배율이 높아질수록 상은 더 확대되어 보이고 시야는 좁아진다. 즉, 상의 크기(길이)는 배율에 비례하여 증가하고, 시야는 배율의 제곱에 반비례한다.

02 세포의 구조와 기능

개념 체크 p.045

A 핵의 구조와 기능

그림은 핵의 구조를 나타낸 것이다.

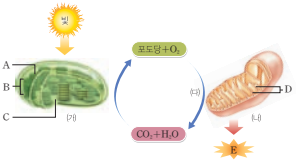


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A는 DNA가 히스톤이라는 단백질과 결합하여 형성한 것으로 염색체라고 한다. (×)
2. B는 인으로 단백질과 RNA로 구성되어 있으며, 리보솜을 구성하는 RNA가 만들어지는 장소이다. (○)
3. 핵막은 세포막과는 달리 두 겹의 막으로 되어 있으며 골지체의 막과 연결되어 있다. (×)
4. 핵은 세포에서 DNA의 대부분을 갖고 있어 생명 유지, 증식, 유전 등을 주도한다. (○)

B 엽록체와 미토콘드리아

그림은 엽록체와 미토콘드리아의 구조와 기능을 나타낸 것이다.

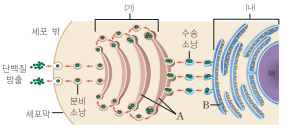


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 엽록체이고, (나)는 미토콘드리아이다. (○)
2. (가)에서 B를 구성하는 A는 틸라코이드, B는 스트로마, 기질인 C는 그라나이다. (×)
3. (나)의 내막은 안쪽으로 주름이 잡혀 D와 같은 시스터나를 형성하고, 그 안쪽의 공간은 기질로 채워져 있다. (×)
4. (다)의 작용은 세포 호흡이고, 이로부터 만들어져 생명 활동에 에너지를 공급하는 물질 E는 ATP이다. (○)

C 단백질의 합성 및 분비 경로

그림은 이자 세포와 같은 분비 세포에서 단백질이 분비되는 과정을 나타낸 것이다.

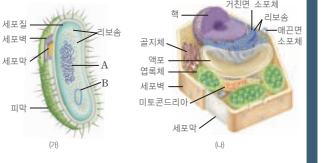


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 골지체이고, (가)를 구성하는 A는 틸라코이드이다. (×)
2. (나)는 거친면 소포체이고, B는 리소좀이다. (×)
3. 세포 밖으로 방출된 단백질은 핵에서 합성된 것이다. (×)
4. 리소좀과 퍼옥시좀은 둘 다 골지체로부터 만들어진다. (×)
5. (가)와 (나), 수송 소낭과 분비 소낭은 모두 단일막으로 이루어져 있다. (○)

D 원핵 세포와 진핵 세포

그림 (가)와 (나)는 각각 세균과 식물 세포를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 원핵 세포이고, (나)는 진핵 세포이다. (○)
2. (가)의 염색체는 고리 모양이고, (나)의 염색체는 막대 모양이다. (○)
3. (가)는 막의 분화가 뚜렷한 세포이고, (나)는 막의 분화가 뚜렷하지 않은 세포이다. (×)
4. A는 플라스미드, B는 핵양체이다. (×)
5. (가)의 세포벽은 주성분이 키틴이고, (나)의 세포벽은 주성분이 셀룰로스이다. (×)
6. (가)에 있는 리보솜은 (나)에 있는 리보솜보다 작다. (○)

A 핵의 구조와 기능

01 A는 DNA와 히스톤이라는 단백질이 결합하고 있는 염색사이다. 세포가 분열할 때에는 염색사가 꼬이고 응축되어 염색체를 형성하며, 핵막이 사라진다.

02 B는 핵 속에 비교적 뚜렷하게 나타나는 둥근 구조물로 인이라고 한다. 인은 단백질과 RNA로 구성되어 있으며, 리보솜을 구성하는 RNA가 만들어지는 장소이다. 인에서 합성된 리보솜 RNA는 핵공을 통해 들어온 리보솜 단백질과 합쳐져 리보솜이 된다.

03 핵막은 세포막과는 달리 2중막으로 되어 있으며 소포체의 막과 연결되어 있다.

04 핵은 세포 내에서 가장 크고 뚜렷하며 대부분 구형으로, 세포에서 DNA의 대부분을 갖고 있어 생명 유지, 증식, 유전 등을 주도하는 세포 생명 활동의 중심이다.

B 엽록체와 미토콘드리아

01 (가)는 CO_2를 흡수하여 포도당을 합성하는 광합성을 담당하므로 엽록체이고, (나)는 포도당을 CO_2로 분해하는 세포 호흡을 담당하므로 미토콘드리아이다.

02 세포 소기관 (가), 즉 엽록체에서 내부에 발달한 납작한 주머니 모양의 A가 틸라코이드이고, 틸라코이드가 겹겹이 포개져 B를 형성하는데, B를 그라나라고 한다. 기질인 C는 스트로마이다.

03 세포 소기관 (나), 즉 미토콘드리아에서 내막은 안쪽으로 주름이 잡혀 D와 같은 구조를 형성하는데, 이를 크리스타라고 한다. 크리스타 안쪽의 공간은 기질로 채워져 있다. 시스터나는 골지체를 구성하는 납작한 주머니 모양의 구조물을 가리키는 명칭이다.

04 (다)는 포도당과 같은 유기물을 산소를 이용해 CO_2와 H_2O로 분해하는 작용이므로 세포 호흡을 나타낸 것이다. 세포 호흡에 의해 포도당과 같은 유기물에 저장되어 있던 화학 에너지는 물질 E, 즉 ATP의 화학 에너지로 전환되어 생명 활동에 공급된다.

C 단백질의 합성 및 분비 경로

01 수송 소낭에 싸여 운반되어 온 단백질을 변형시켜 다시 분비 소낭에 싸서 세포 밖으로 분비하는 (가)는 골지체이다. 그리고 골지체를 구성하는 단일막의 납작한 주머니 A는 시스터나이다.

02 관 모양의 구조물이 복잡하게 연결되어 있으며 막 표면에 리보솜(B)이 붙어 있는 (나)는 거친면 소포체이다.

03 세포 밖으로 분비된 단백질은 거친면 소포체에 붙어 있는 리보솜에서 합성된 것이다.

04 리소좀은 골지체에서 만들어지지만 퍼옥시좀은 어느 정도 커지면 둘로 나누어지는 방식으로 만들어진다.

05 거친면 소포체(나)와 여기에서 생성된 수송 소낭, 골지체(가)와 여기에서 생성된 분비 소낭은 모두 단일막으로 이루어져 있다.

D 원핵 세포와 진핵 세포

01 핵막에 둘러싸인 핵이 없는 (가)는 원핵 세포이고, 핵막에 둘러싸인 핵이 있는 (나)는 진핵 세포이다.

02 원핵 세포(가)의 염색체 A는 연속된 하나의 DNA 분자로 닫힌 고리 모양의 원형 염색체이며, 진핵 세포(나)의 염색체는 세포 분열 시 형성되는데 여러 개이고 막대 모양이다.

03 원핵 세포(가)는 막의 분화가 뚜렷하지 않아 미토콘드리아, 엽록체, 소포체, 골지체, 리소좀 등 막성 세포 소기관이 없지만, 진핵 세포 (나)는 막의 분화가 뚜렷하여 막성 세포 소기관이 있다.

04 A는 원핵 세포의 염색체가 뭉쳐 있는 것으로, 핵과 비슷한 모양이라고 하여 핵양체라고 한다. B는 주 염색체인 A 외에 소량의 DNA가 원형 구조를 형성한 것으로 플라스미드라고 한다.

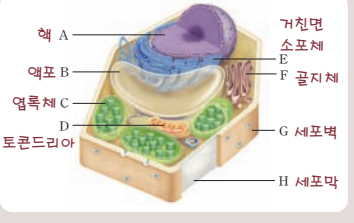
05 원핵 세포인 (가)의 세포벽은 주성분이 펩티도글리칸이고, 진핵 세포로 식물 세포인 (나)의 세포벽은 주성분이 셀룰로스이다.

06 원핵 세포(가)의 리보솜(70S)은 진핵 세포(나)의 세포질에 있는 리보솜(80S)보다 크기가 작다.

개념 확인 문제 pp.046~051

01. A, C, D **02.** B, C, G **03.** A, C, D **04.** C : 엽록체, D : 미토콘드리아 **05.** ②
06. F, G, H **07.** ③ **08.** ⑤ **09.** ③ **10.** ② **11.** A : DNA, B : 히스톤, C : 염색사 **12.** ②, ③ **13.** ③, ④ **14.** 콜레스테롤 **15.** ⑤ **16.** ②
17. ⑤ **18.** ⑤ **19.** ㉠ A, ㉡ B **20.** A : 틸라코이드, B : 그라나, C : 스트로마
21. 미토콘드리아, 크리스타 **22.** ② **23.** A : 리보솜, B : 거친면 소포체, C : 매끈면 소포체
24. ④ **25.** ② **26.** A : 골지체, B : 시스터나, C : 소포체 **27.** ② **28.** ③
29. ① **30.** ④ **31.** ⑤ **32.** A : 1차벽, B : 중층, C : 2차벽 **33.** ③
34. A : 셀룰로스, B : 펙틴 **35.** ③ **36.** ㉠ 중심립, ㉡ 성상체, ㉢ 방추사 **37.** ③
38. (1) C : 미세 섬유 (2) A : 미세 소관 (3) B : 중간 섬유 **39.** ④ **40.** ⑤ **41.** ③, ⑤
42. 분열법, 무성 생식 **43.** ② **44.** A : 단백질, B : 인지질 **45.** 유동 모자이크막 모형

식물 세포의 구조



- 주로 식물 세포에서만 관찰되는 것 : 세포벽, 엽록체, 액포
- DNA 존재 : 핵, 엽록체, 미토콘드리아
- 2중막 구조 : 핵, 엽록체, 미토콘드리아
- 에너지 전환 : 엽록체, 미토콘드리아

01 A, C, D

A는 핵, B는 액포, C는 엽록체, D는 미토콘드리아, E는 거친면 소포체, F는 골지체, G는 세포벽 그리고 H는 세포막이다. DNA는 핵, 엽록체, 미토콘드리아에 있다.

02 B, C, G

주로 식물 세포에서만 관찰되는 것은 중심부에 있는 큰 액포(B)와 엽록체(C) 그리고 세포벽(G)이다.

03. A, C, D

2중막으로 둘러싸인 것은 핵(A), 엽록체(C), 미토콘드리아(D)이다.

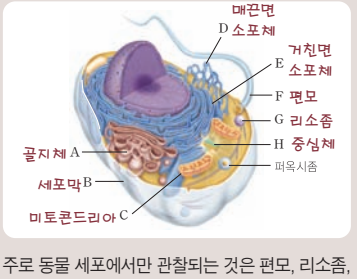
04. C : 엽록체, D : 미토콘드리아

A~H 중 에너지 전환을 담당하는 세포 소기관으로는 엽록체(C)와 미토콘드리아(D)가 있다. 엽록체는 태양의 빛에너지를 유기물의 화학 에너지로 전환하고, 미토콘드리아는 유기물의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환한다.

05 ② ① 리보솜은 단백질 합성을 담당하는 세포 소기관으로 동물 세포와 식물 세포에 공통적으로 들어 있다.
③ 염색사는 동물 세포와 식물 세포의 핵에 공통적으로 들어 있다.
④ 동물 세포와 식물 세포는 둘 다 세포막으로 둘러싸여 있다.
⑤ 미토콘드리아는 동물 세포와 식물 세포에서 공통적으로 세포 호흡을 담당한다.

오답 피하기
② 리소좀은 주로 동물 세포에서만 관찰된다.

동물 세포의 구조



주로 동물 세포에서만 관찰되는 것은 편모, 리소좀, 중심체이다.

06 F, G, H

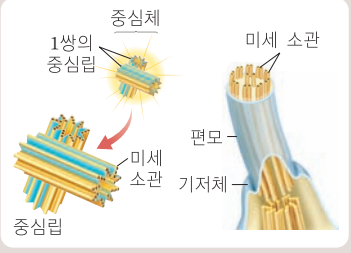
A는 골지체, B는 세포막, C는 미토콘드리아, D는 매끈면 소포체, E는 거친면 소포체, F는 편모, G는 리소좀, H는 중심체이다. 이 가운데 주로 동물 세포에서만 관찰되는 것은 편모와 리소좀 그리고 중심립으로 구성된 중심체이다.

07 ③ ③ D는 매끈면 소포체로 막에 효소가 있어 지방, 인지질, 스테로이드 등 지질을 합성하는 역할을 한다.

오답 피하기
① A는 골지체로 물질의 저장 및 분비를 담당한다. 단백질을 합성하는 세포 소기관은 골지체가 아니라 리보솜이다.

② C는 미토콘드리아로 세포 호흡을 담당한다. 광합성이 일어나는 세포 소기관은 엽록체이다.
④ G는 리소좀으로 세포 내 소화를 담당한다.
⑤ H는 중심체로 세포 분열 시 방추사를 형성한다. 세포판은 동물 세포에서는 형성되지 않고, 식물 세포에서 형성된다.

중심체와 편모 및 기저체



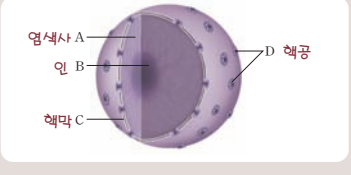
동물 세포의 중심체는 1쌍의 중심립으로 구성되고, 정자와 같은 일부 세포에서 중심립은 기저체의 기원이 되어 편모와 섬모의 생성에 관여한다. 이들은 모두 미세 소관으로 구성되어 있다.

08 ⑤ 동물 세포의 중심체(H)는 1쌍의 중심립으로 구성되는데, 각각의 중심립은 3개의 미세 소관으로 구성된 미세 소관 다발 9세트가 고리 모양으로 배열되고 중앙은 비어 있는 9+0 구조이다. 편모(F)는 중심립과 기본 구조가 거의 같지만 2개의 미세 소관으로 구성된 미세 소관 다발 9세트가 고리 모양으로 배열되어 있고 중앙에 2개의 미세 소관이 추가로 있는 9+2 구조이다. 정자와 같은 일부 세포에서 중심립은 기저체의 기원이 되어 편모와 섬모의 생성에 관여한다.

09 ③ ㄱ. 인은 핵 속에 보통 1개 이상 있고 단백질과 RNA로 구성되어 있으며, 리보솜을 구성하는 RNA가 합성되는 장소이다.
ㄹ. 핵 속에서 DNA는 히스톤이라는 단백질과 결합하여 염색사 상태로 존재한다.

오답 피하기
ㄴ. 소포체는 세포질에 있는데 납작한 주머니 모양이나 관 모양의 구조물이 복잡하게 연결되어 있는 세포 소기관으로, 세포 내 물질 이동의 통로가 되고 리보솜을 포함하여 미세 구조물들을 고정시켜 주는 역할을 한다.
ㄷ. 세포가 분열할 때 염색사는 꼬이고 응축되어 염색체를 형성하는데, 염색체는 핵막이 사라지면서 나타난다.

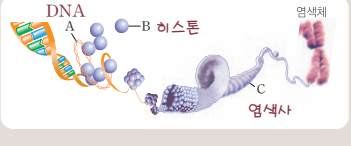
핵의 구조



10 ② ① A는 염색사로 핵 속에서 DNA가 히스톤이라는 단백질과 결합하여 만들어진 것이다.
③ B는 인으로 단백질과 RNA로 구성되어 있으며 리보솜을 구성하는 RNA가 합성되는 장소이다. 인에서 합성된 리보솜 RNA는 핵공을 통해 들어온 리보솜 단백질과 합쳐져 리보솜이 되기 때문에 인에서 리보솜이 만들어지는 것으로 본다.
④ C는 핵막으로 세포막과는 달리 두 겹의 막(2중막)으로 이루어져 있다.
⑤ D는 핵공으로 이를 통해 핵과 세포질 사이의 물질 교환이 일어난다.

오답 피하기
② B는 인으로 막으로 둘러싸여 있지 않다.

염색체의 구조

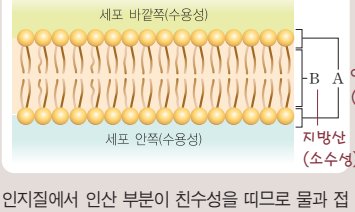


염색사는 DNA가 히스톤 단백질과 결합하여 만들어진 것이고, 염색사가 꼬이고 응축되어 막대 모양을 형성한 것이 염색체이다.

11 A : DNA, B : 히스톤, C : 염색사
A와 B는 각각 DNA와 히스톤으로, 핵 속에서 DNA는 히스톤이라는 단백질과 결합하여 염색사(C)를 형성한다. 염색사는 세포 분열 시 꼬이고 응축되어 굵고 짧은 막대 모양의 염색체를 형성한다.

12 ②, ③
세포막은 인지질 2중층에 막 단백질이 곳곳에 박혀 있는 구조이다. 따라서 세포막을 구성하는 주성분은 인지질과 단백질이며, 탄수화물과 콜레스테롤은 부수적인 성분이다.

인지질 2중층 구조

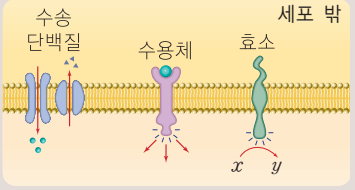


인지질에서 인산 부분이 친수성을 띠므로 물과 접하고 있고, 지방산 부분이 소수성을 띠므로 인지질 2중층의 내부에 분포해 있다.

13 ③, ④
③ A는 인지질 2중층에서 물과 접하고 있는 것으로 보아 친수성을 띠는 인산 부분이다.
④ B는 세포 안쪽과 바깥쪽의 물과 접하지 않기 위해 인지질 2중층의 내부에 분포해 있다. 따라서 B는 인지질에서 소수성을 띠는 지방산 부분이다.

오답 피하기
①, ② A는 물과 접하고 있으므로 친수성을 띠는 부분이고, B는 물과 접하고 있지 않으므로 소수성을 띠는 부분이다.
⑤ 인지질은 중성 지방을 이루는 3분자의 지방산 중 하나가 인산기로 바뀌어 만들어진 물질이다.

막 단백질의 기능



막 단백질은 수송 단백질, 수용체, 효소로 작용하기도 하고, 세포 간 신호 전달과, 세포 간 인지 과정 등에도 관여한다.

14 콜레스테롤

세포막에서 콜레스테롤은 순수 인지질에서 생길 수 있는 막의 결손부를 채워 주어 극성 물질의 투과를 억제하고 막의 유동성을 조절한다.

15 ⑤ ①, ② 일부 막 단백질은 호르몬 등 특정 화학 물질과 결합하는 수용체가 있어 세포 간 신호 전달 역할을 한다.

③ 일부 막 단백질은 물질대사에 관여하는 효소 역할을 한다.

④ 탄수화물 사슬을 가진 막 단백질은 세포 간 인지 과정에도 중요한 역할을 한다.

오답 피하기

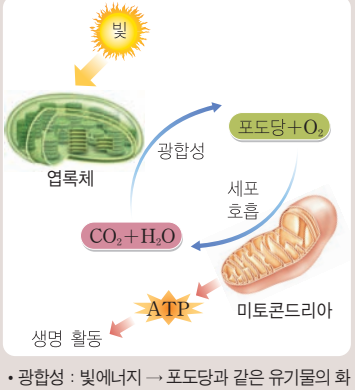
⑤ 크기가 작고 극성이 없는 물질, 즉 비극성 저분자 물질과 지용성 물질은 인지질 2중층을 직접 통과한다.

16 ② ①, ③, ④, ⑤ 핵, 미토콘드리아, 엽록체, 소포체, 골지체, 리소좀, 퍼옥시좀 등은 세포막과 유사한 구조의 막으로 둘러싸여 있다.

오답 피하기

② 리보솜은 크고 작은 2개의 단위체로 구성된 작은 알갱이 모양의 세포 소기관이며, 세포 소기관 중 크기가 가장 작고 막으로 싸여 있지 않다.

에너지 전환



- 광합성 : 빛에너지 → 포도당과 같은 유기물의 화학 에너지
- 세포 호흡 : 포도당과 같은 유기물의 화학 에너지 → ATP의 화학 에너지

17 ⑤ 세포에서 DNA는 핵과 엽록체 그리고 미토콘드리아에 있는데, 엽록체와 미토콘드리아는 자체 DNA와 리보솜을 가지고 있어 핵의 도움 없이 독자적으로 증식하며 단백질을 합성하기도 한다.

18 ⑤ ①, ② 세포에서 생명 활동이 일어나기 위해서는 에너지가 필요하고, 그 에너지의 원천은 태양의 빛에너지이다. 태양의 빛에너지는 엽록체와 미토콘드리아를 중심으로 일어나는 에너지 전환 과정 즉, 광합성과 세포 호흡을 통해 세포의 생명 활동에 이용된다.

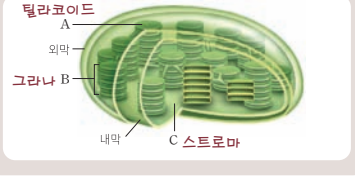
③ 미토콘드리아에서 일어나는 세포 호흡에 의해 생성된 ATP의 화학 에너지가 생명 활동에 직접 이용된다.

④ 태양의 빛에너지는 엽록체에서 일어나는 광합성에 의해 화학 에너지로 전환되어 포도당과 같은 유기물에 저장된다.

오답 피하기

⑤ 유기물에 저장된 화학 에너지는 미토콘드리아에서 일어나는 세포 호흡에 의해 ATP의 화학 에너지로 전환된다.

엽록체의 구조



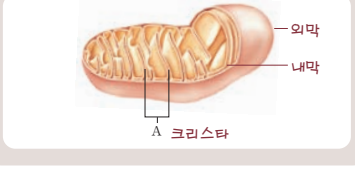
19 ㉠ A, ㉡ B

엽록체는 외막과 내막의 2중막으로 싸여 있고, 내부에는 납작한 주머니 모양의 틸라코이드(A)가 발달한다. 틸라코이드는 서로 연결되어 있으며, 동전을 쌓아 놓은 것처럼 겹겹이 포개져 그라나(B)를 형성한다.

20 A : 틸라코이드, B : 그라나, C : 스트로마

그림에서 A는 납작한 주머니 모양의 틸라코이드를 나타낸 것이고, 틸라코이드가 동전을 쌓아놓은 것처럼 겹겹이 포개져 형성된 B는 그라나이다. C는 엽록체의 기질인 스트로마를 나타낸 것이다.

미토콘드리아의 구조

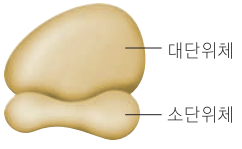


21 미토콘드리아, 크리스타

그림의 세포 소기관은 미토콘드리아를 나타낸 것이다. 이것은 엽록체와 마찬가지로 외막과 내막의 2중막으로 싸여 있는데, 내막은 안쪽으로 주름이 잡혀 크리스타를 형성하고 그 안쪽의 공간은 기질로 채워져 있다.

22 ② 미토콘드리아는 포도당과 같은 유기물을 산소를 이용해 분해하여 ATP를 생성하는 세포 호흡이 일어나는 장소이다.

리보솜



리보솜의 구조

리보솜은 2개의 단위체로 구성되며, 핵막과 거친면 소포체에 붙어 있거나 세포질에 흩어진 상태로 존재한다.

23 A : 리보솜, B : 거친면 소포체, C : 매끈면 소포체

소포체의 종류로는 막 표면에 리보솜(A)이 붙어 있는 거친면 소포체(B)와 리보솜이 붙어 있지 않은 매끈면 소포체(C)가 있다.

24 ④ 매끈면 소포체는 지방, 인지질, 스테로이드 등을 합성하는 지질 대사에 관여하고, 아미노산이나 글리세롤 등으로부터 포도당을 생성하는 탄수화물 대사에도 관여한다.

25 ② ①, ④ 리보솜은 크고 작은 2개의 단위체로 구성된 작은 알갱이 모양의 세포 소기관이며, 리보솜의 각 단위체는 인에서 만들어진다.

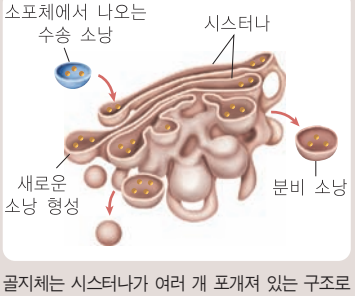
③ 리보솜은 단백질과 RNA로 구성된다.

⑤ 리보솜은 핵막과 거친면 소포체에 붙어 있거나 세포질에 흩어진 상태로 존재한다.

오답 피하기

② 리보솜은 세포 소기관 중 크기가 가장 작고 막으로 싸여 있지 않다.

골지체의 구조



골지체는 시스터나가 여러 개 포개져 있는 구조로 되어 있다.

26 A : 골지체, B : 시스터나, C : 소포체

골지체(A)는 단일막에 싸인 납작한 주머니 모양의 시스터나(B)가 여러 개 포개져 있는 구조이며, 그 주변에는 작은 소낭들이 있다. 골지체의 시스터나는 소포체(C)에서 떨어져 나온 소낭이 모여 만들어진 것이며, 소포체와는 달리 내부가 서로 연결되어 있지 않다.

27 ② 리보솜에서 합성된 단백질은 소포체로부터 만들어진 수송 소낭에 싸여 골지체로 이동해 온 다음, 골지체에서 변형 과정을 거친 후 다시 분비 소낭에 싸여 세포막 쪽으로 이동한다. 이후 분비 소낭이 세포막에 융합하면 세포외 배출에 의해 단백질이 세포 밖으로 분비된다.

28 ③ ① 액포도 리소좀이나 퍼옥시좀처럼 단일막으로 싸인 주머니 모양의 구조물이다.

② 액포는 생명 유지에 필요한 각종 영양소나 당, 유기산, 단백질, 무기 이온, 노폐물 등 물질대사의 부산물을 저장하는 역할을 한다.

④ 액포는 속에 들어 있는 수분 함량을 조절함으로써 세포의 삼투압을 조절하고 세포의 형태가 유지되도록 해 준다.

⑤ 액포는 꽃의 색깔을 나타내는 색소나 자신의 몸을 보호하기 위한 독성 물질을 포함하기도 한다.

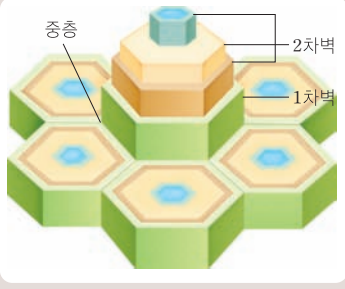
오답 피하기

③ 액포는 식물 세포가 성숙함에 따라 점점 커지며 노화된 식물 세포에서는 세포의 대부분을 차지한다.

29 ① 거친면 소포체(A)에 붙어 있는 리보솜(B)에서 합성된 단백질은 소포체(A)의 내강으로 들어가 수송 소낭에 싸여서 골지체(C)로 이동한 다음, 골지체(C)의 막으로 포장되어 떨어져서 리소좀이 된다.

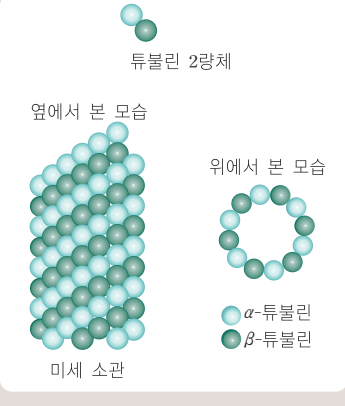
30 ④ 손상되거나 노후한 세포 소기관을 자가 분해하고 손상된 세포를 파괴하는 것은 세포 내 소화를 담당하는 리소좀이다. 퍼옥시좀은 여러 종류의 산화 효소와 카탈레이스 등을 가지고 있어 세포가 산소를 이용할 수 있도록 도와준다. 즉, 산화 효소의 작용으로 산소를 이용하는 과정에서 세포에 손상을 줄 수 있는 과산화수소 등이 만들어지면 카탈레이스로 이를 물과 산소로 신속하게 분해하는 등의 역할을 하여 세포를 보호해 준다.

세포벽의 구조



- 생성 순서 : 중층 → 1차벽 → 2차벽
- 주성분 : 중층은 펙틴, 1차벽은 셀룰로스, 2차벽은 셀룰로스와 리그닌(또는 수베린, 큐틴 등)이다.

미세 소관



미세 소관은 α-튜불린과 β-튜불린으로 구성된 튜불린 2량체의 중합으로 만들어진다.

세포 골격

세포 골격을 구성하는 단백질 섬유로는 미세 소관, 중간 섬유, 미세 섬유의 세 종류가 있다.

31 ⑤ ① 세포벽은 식물 세포에서 세포막의 바깥쪽에 있다.

② 세포벽은 식물 세포나 균류 그리고 원핵 세포에는 있지만 동물 세포에는 없다.

③ 세포벽은 세포막보다 두껍고 단단하여 세포를 보호하고 세포의 형태를 유지하는 등 식물체를 기계적으로 지지하는 역할을 한다.

④ 세포벽은 세포막과는 달리 전투과성 막으로 물질 출입 조절 능력이 없어 물과 용질을 모두 통과시킨다.

오답 피하기

⑤ 어린 식물 세포는 중층과 1차벽이라는 2개 층으로 구성된 세포벽이 있고, 성숙한 식물 세포는 중층과 1차벽 외에 1차벽과 세포막 사이에 2차벽이라는 또 하나의 층을 추가로 갖는다.

32 A : 1차벽, B : 중층, C : 2차벽

어린 식물 세포는 중층(B)과 1차벽(A)의 2개 층으로 구성된 세포벽을 갖고, 성숙한 식물 세포는 중층과 1차벽 외에 1차벽과 세포막 사이에 2차벽(C)이라는 또 하나의 층을 추가로 갖는다.

33 ③ 세포벽 형성 시 중층(B)이 먼저 만들어지고, 이후 어린 세포가 생장하는 동안 중층 안쪽에 1차벽(A)이 형성된다. 2차벽(C)은 세포가 충분히 생장하여 최대 크기에 도달한 후에 1차벽의 안쪽에 형성된다.

34 A : 셀룰로스, B : 펙틴

1차벽(A)의 주요 성분은 어린 세포가 생장하는 동안 세포에서 분비된 섬유성의 셀룰로스이고, 중층(B)의 성분은 펙틴이다.

35 ③ 미세 소관은 튜불린이라는 단백질로 구성된 관으로 세포의 형태를 유지하고, 세포 소기관, 소낭, 염색체의 이동에 관여한다. 동물 세포에서 미세 소관은 중심립으로부터 만들어지며 방추사, 섬모, 편모 등의 구성 요소가 된다. 또 중심립은 정자와 같은 일부 세포에서는 기저체의 기원이 되는데, 기저체는 편모나 섬모의 형성을 유도한다. 즉, 섬모, 편모, 방추사, 기저체는 중심립과 같이 미세 소관 다발로 구성된다.

36 ㉠ 중심립, ㉡ 성상체, ㉢ 방추사

동물 세포가 분열할 때 중심체를 구성하던 2개의 ㉠ 중심립은 복제되어 4개로 되고, 중심체가 둘로 나뉜다. 각각의 중심체는 양극으로 이동하여 ㉡ 성상체가 되고 여기에서 ㉢ 방추사가 나온다.

37 ③ ③ 미세 소관의 주성분은 튜불린이라는 단백질이다.

오답 피하기

①, ⑤ 액틴과 마이오신은 근육의 주성분을 이루는 두 가지 단백질이다. 이 중에서 액틴은 미세 섬유의 성분으로 세포막의 지탱과 변형에 관여하며, 원형질 유동을 일으키는 과정에도 참여한다.

② 키틴은 균류의 세포벽 성분이다.

④ 케라틴은 중간 섬유의 성분이다.

38 (1) C : 미세 섬유 (2) A : 미세 소관 (3) B : 중간 섬유

(1) 액틴이라는 단백질로 구성된 섬유로 세포막 바로 안쪽에 퍼져 있어 세포막의 지탱과 변형에 관여하며 마이오신이라는 단백질과 함께 근육 수축에도 관여하는 것은 미세 섬유인 C이다.

(2) 세포 소기관, 소낭, 염색체의 이동에 관여하고 동물 세포에서는 중심립으로부터 만들어지며 방추사, 섬모, 편모 등의 구성 요소가 되는 것은 미세 소관인 A이다.

(3) 여러 가닥의 단백질이 꼬여 있는 모양으로 세포질 전체에 그물처럼 퍼져 있으며, 세포의 형태를 유지하고 세포 소기관을 고정시키는 데 관여하는 것은 중간 섬유인 B이다.

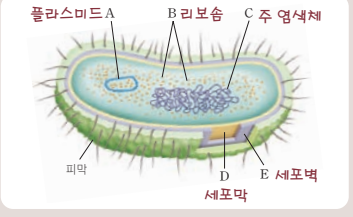
39 ④ 원핵 세포도 식물 세포처럼 세포막 바깥에 세포를 보호하는 세포벽이 있는데, 그 주성분은 펩티도글리칸으로 식물 세포의 세포벽 주성분인 셀룰로스와는 다르다.

40 ⑤ ①~④ 원핵 세포는 진핵 세포와는 달리 인이 없고 막으로 둘러싸인 핵을 갖지 않아 유전 물질인 DNA가 세포질에 퍼져 있다. 그리고 원핵 세포에서 DNA는 섬유 뭉치와 같은 형상으로 있는데, 이것이 주 염색체로 핵과 비슷한 모양이라고 하여 핵양체라고 한다.

오답 피하기

⑤ 원핵 세포의 주 염색체는 1개로, 비틀리고 굽어지기는 했지만 닫힌 고리 모양이다. 반면, 진핵 세포는 막대 모양의 염색체가 여러 개 있다.

원핵 세포(세균)의 구조



41 ③, ⑤

① A는 원형의 플라스미드로, 여기에는 소량의 DNA가 있다.

② B는 원핵 세포의 리보솜으로 진핵 세포의 리보솜보다 작고 리보솜을 구성하는 단백질과 RNA의 종류도 진핵 세포와 다르다.

④ D는 세포막으로 진화적으로는 원핵 세포의 세포막이 함입되어 진핵 세포의 핵막, 소포체 등 막성 세포 소기관이 생겨났다고 보며, 그 기본 구조는 진핵 세포와 거의 같다.

오답 피하기

③ C는 원핵 세포의 주 염색체로 연속된 하나의 DNA 분자로 되어 있으며, 닫힌 고리 모양의 원형 염색체이다. 이것은 핵과 비슷하기 때문에 핵양체라고 부르며, 플라스미드는 소량의 DNA만 존재하는 A를 말한다.

⑤ E는 원핵 세포의 세포벽으로 주성분은 펩티도글리칸이다. 이와 달리 식물 세포의 세포벽은 주성분이 셀룰로스이다.

42 **분열법, 무성 생식**

원핵 세포로 구성된 세균과 같은 원핵생물은 대부분 단세포 생물로 주로 분열법에 의한 무성 생식을 한다.

43 ② ① 원핵 세포는 핵막에 싸인 핵이 없고, 진핵 세포는 핵막에 싸인 핵이 있다.

③ 원핵 세포의 리보솜은 진핵 세포의 리보솜보다 작다.

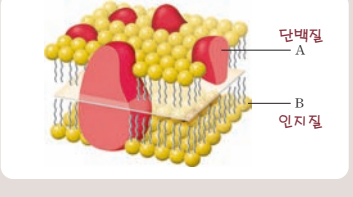
④ 원핵 세포에는 보통 1개의 원형 염색체가 있고, 진핵 세포에는 여러 개의 선형 염색체가 있다.

⑤ 원핵 세포는 막의 분화가 뚜렷하지 않아 미토콘드리아, 엽록체, 소포체, 골지체, 리소좀 등 막성 세포 소기관이 없지만, 진핵 세포는 막의 분화가 뚜렷하여 이들 막성 세포 소기관이 있다.

오답 피하기

② 세포막은 원핵 세포와 진핵 세포에 모두 있다.

유동 모자이크막 모형



인지질로 구성된 2중층의 막에 단백질 분자가 유동성을 가지고 분포되어 있는 형태의 모형

44 **A : 단백질, B : 인지질**

그림에서 2중층을 형성한 B는 인지질이고, 인지질로 구성된 2중층에 모자이크 무늬 모양으로 분포하고 있는 A는 단백질이다.

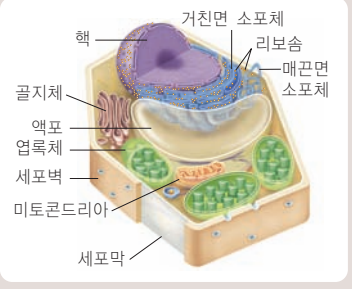
45 **유동 모자이크막 모형**

세포막은 인지질로 구성된 2중층에 단백질이 모자이크 무늬 모양으로 분포하고 있다. 이들 단백질은 인지질의 유동성 때문에 고정되어 있지 않고 인지질층을 떠다닌다. 이와 같은 세포막의 구조 모형을 유동 모자이크막 모형이라고 한다.

개념 활용 문제 pp.052~059

01. ④	02. ④	03. ②	04. ⑤	05. ①	06. ②	07. ④
08. ④	09. ④	10. ①	11. ④	12. ③	13. ⑤	14. ②
15. ④	16. ③					

식물 세포의 구조



01 ④ ① A는 액포로 생명 유지에 필요한 각종 영양분과 당, 유기산, 단백질, 무기 이온, 노폐물 등 물질대사의 부산물을 저장하고, 또 꽃의 색깔을 나타내는 색소나 자신의 몸을 보호하기 위한 독성 물질을 포함하기도 한다.

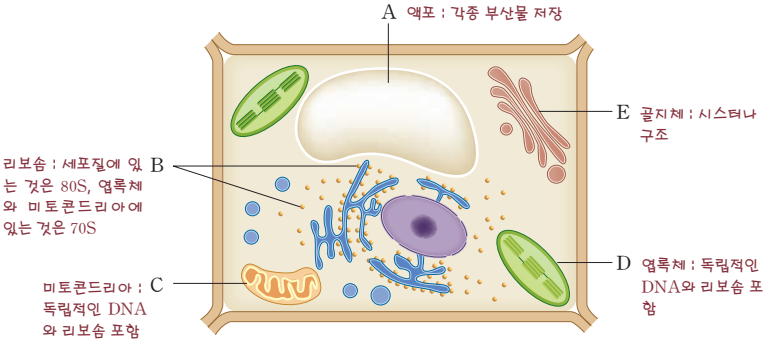
② B는 리보솜이다. 미토콘드리아(C)와 엽록체(D)는 원핵 세포에서 유래된 것으로 진핵 세포인 식물 세포의 리보솜과는 다른 크기의 리보솜이 들어 있다.

③ 미토콘드리아(C)와 엽록체(D)는 독자적인 DNA를 갖는다.

⑤ A~E 중 동물 세포에서 발견되지 않는 것은 액포인 A와 엽록체인 D이다.

오답 피하기

④ 골지체(E)는 단일막으로 된 납작한 주머니인 시스터나가 여러 개 포개져 있는 구조이다. 크리스타는 미토콘드리아 내막의 주름 구조를 말한다.



세포 소기관의 특성
- 2중막 구조 : 핵, 엽록체, 미토콘드리아
- 단일막 구조 : 소포체, 골지체, 리소좀, 퍼옥시좀, 액포
- 막 구조 없음 : 리보솜

02 ④ ④ 2중막 구조이며 이화 작용을 담당하는 D는 미토콘드리아로, 세포 호흡을 통해 생명 활동에 직접 이용되는 ATP를 생성한다.

오답 피하기

① 막 구조가 없고 단백질 합성을 담당하는 A는 리보솜으로, RNA와 단백질로 구성되어 있다.

② 단일막 구조이며 물질 분비를 담당하는 B는 골지체로, 납작한 주머니인 시스터나가 여러 개 포개져 있는 구조이다.

③ 2중막 구조이며 동화 작용을 담당하는 C는 엽록체로, 식물 세포에서는 관찰되지만 동물 세포에서는 관찰되지 않는다.

⑤ 2중막 구조이며 유전 정보를 저장하는 E는 핵으로, 원핵 세포에는 없으며 내부에 염색사가 들어 있다.

03 ② ㄱ. A는 거친면 소포체로 막의 일부는 군데군데에서 핵막과 세포막에 연결되어 있다.

ㄴ. 거친면 소포체는 막의 표면에 리보솜이 붙어 있다.

ㄹ. 거친면 소포체의 리보솜에서 합성된 단백질은 소포체의 내강으로 들어가 입체 구조로 가공된 다음 소포체에서 떨어져 나오는 소낭, 즉 수송 소낭에 싸여 세포 내 다른 부위로 운반되거나 골지체로 보내져 세포 밖으로 분비된다. 따라서 거친면 소포체는 이자 세포와 같이 분비 작용이 활발한 세포에 발달한다.

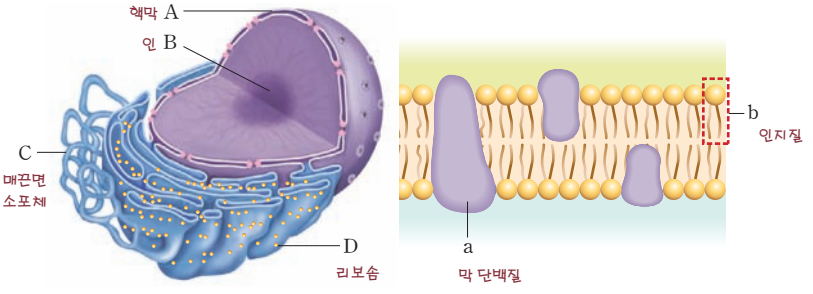
오답 피하기

ㄷ. 거친면 소포체는 리보솜에서 합성된 단백질이 이동하는 통로 역할을 한다. 인지질과 스테로이드의 합성을 담당하는 세포 소기관은 매끈면 소포체이다.

04 ⑤ ㄴ. a는 막 단백질이므로 주로 거친면 소포체에 붙어 있는 리보솜(D)에서 만들어진다.
ㄷ. b는 인지질이므로 지질을 합성하는 기능을 하는 매끈면 소포체(C)에서 만들어진다.

오답 피하기

ㄱ. 핵막(A)과 매끈면 소포체(C)는 (나)와 같은 막 구조를 갖지만, 인(B)과 리보솜(D)은 막 구조를 갖지 않는다.



(가) (나)

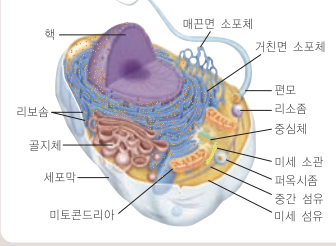
05 ① ㄱ. (가)의 실험에서 쥐의 세포와 사람의 세포를 융합시켜 잡종 세포로 만든 다음 시간 경과에 따라 형광 물질을 관찰해 보면, 처음에는 서로 다른 형광색 구역이 나뉘어 있다가 시간이 지나면서 형광색이 섞여 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 세포막에서 형광 염료로 표지한 막 단백질이 고정되어 있는 것이 아니라 자유롭게 움직인다는 사실, 즉 세포막의 단백질 분자가 유동성이 있다는 사실을 입증하는 것이다.

오답 피하기

ㄴ. (나)의 실험에서 형광 염료로 염색된 인지질 분자가 확산되어 탈색 부위가 사라지는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 세포막에서 인지질이 고정되어 있지 않고 옆으로 확산된다는 사실, 즉 세포막의 인지질 분자가 유동성이 있다는 사실을 입증하는 것이다.

ㄷ. 이처럼 세포막의 인지질과 막 단백질이 유동성이 있음을 나타내는 세포막 구조 모형은 단위막 모형이 아니라 유동 모자이크막 모형이다.

동물 세포의 구조



06 ② ① 중심립이 관찰되므로 동물 세포를 관찰한 것이다.
③ 많은 수의 미토콘드리아가 발견되므로 에너지를 많이 필요로 하는 세포라는 사실을 알 수 있다.
④, ⑤ 잘 발달된 거친면 소포체와 골지체가 관찰되므로 단백질 합성과 분비 기능이 왕성한 세포일 가능성이 높다.

오답 피하기

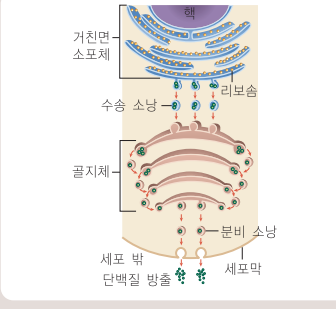
② 핵이 관찰되므로 핵분열이 진행 중인 세포는 아니다.

07 ④ ㄱ. 그림에서 삿갓말은 헛뿌리 부분에 핵이 1개만 있으므로 단세포성 녹조류임을 알 수 있다.
ㄷ. 재생되는 갓의 모양이 자루가 아니라 핵이 있는 헛뿌리의 종과 같으므로, 재생되는 갓의 모양은 핵에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

오답 피하기

ㄴ. 갓을 재생하는 물질이 자루의 끝에서 생성되면 실험에서 재생되는 갓의 유형은 자루의 유형과 일치해야 한다. 그런데 실험 결과는 그렇지 않다. 실제로 갓을 재생하는 물질은 핵이 있는 헛뿌리 부분에서 만들어진다.

단백질의 합성과 분비



08 ④ ㄱ. 물질 A는 리보솜이 붙어 있는 거친면 소포체로부터 골지체로 이동한 다음 분비 소낭을 거쳐 세포 밖으로 분비된다. 따라서 물질 A는 리보솜에서 합성되는 단백질이라고 볼 수 있다.
ㄷ. 분비 소낭의 막이 세포막에 합쳐지면서 물질 A가 세포 밖으로 분비된다. 따라서 물질 A가 세포 밖으로 분비되면 세포막의 면적이 증가한다. 반면, 형광 단백질은 세포막의 일

부에 싸여 소낭이 형성됨으로써 세포 안으로 들어오게 된다. 따라서 형광 단백질이 세포 안으로 들어오면 세포막의 면적이 감소한다.

오답 피하기

ㄴ. 세포 소기관 B는 골지체로부터 만들어지며 형광 단백질을 분해하는 효소를 포함하고 있으므로, 각종 가수 분해 효소가 들어 있어 세포 내 소화를 담당하는 리소좀이다.

세포 분획

세포벽을 제거한 식물 세포를 파쇄하여 원심 분리하면 무거운 세포 소기관부터 가라앉는데, 속도와 시간을 다르게 하여 단계별로 원심 분리했을 때 가라앉는 순서는 핵 → 엽록체 → 미토콘드리아 → 소포체 · 골지체 · 리보솜 순이다.

09 ④ ① RNA는 침전물 A~E에서 모두 검출되므로 식물 세포 내의 여러 세포 소기관에 들어 있다고 볼 수 있다.

② A에 DNA의 95%가 들어 있으므로, A에는 핵이 들어 있음을 알 수 있다. CO_2의 92%가 B에서 소비되므로 B에는 광합성을 담당하는 엽록체가 들어 있다. 또 O_2의 85%가 C에서 소비되므로 C에는 세포 호흡을 담당하는 미토콘드리아가 들어 있다. 핵, 엽록체, 미토콘드리아는 모두 2중막 구조로 되어 있다.

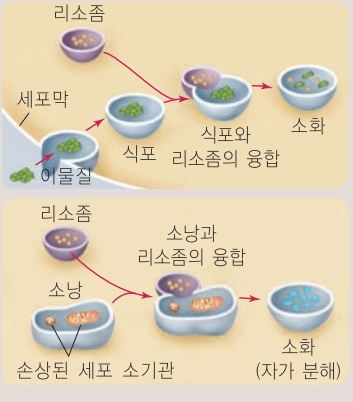
③ B와 C에 주로 들어 있는 세포 소기관인 엽록체와 미토콘드리아는 각각 광합성의 명반응과 세포 호흡을 통해 ATP를 생성한다.

⑤ 원심 분리에 의한 세포 분획 시 식물 세포에서는 핵, 엽록체, 미토콘드리아, 소포체+리보솜+골지체+세포막 등의 순으로 세포 소기관이 분리되어 나온다. 그리고 RNA 함량이 가장 높은 D에는 리보솜이 들어 있다고 볼 수 있다. 따라서 세포 분획 시 A(핵), B(엽록체), C(미토콘드리아), D(소포체+리보솜) 등의 순으로 분리되어 나온다.

오답 피하기

④ 핵이 들어 있는 A의 RNA 함량이 17%로 나타난 것은 인이 들어 있기 때문이다. D의 RNA 함량이 53%인 까닭은 리보솜이 붙어 있는 거친면 소포체가 D에 주로 들어 있기 때문이다. 그리고 E의 RNA 함량이 19%인 까닭은 세포질에 흩어져 있는 리보솜 때문이다. 따라서 D와 E에 들어 있는 RNA가 주로 분포하는 세포 소기관은 둘 다 리보솜으로 서로 같다.

리소좀의 역할



리소좀은 세포 내 소화를 담당한다. 식세포 작용을 통해 들어온 세균과 같은 이물질을 분해하고, 손상되거나 노후한 세포 소기관을 자가 분해하기도 한다.

10 ① ㄱ. (나)와 같은 현상은 모두 세포 내 소화에 의해 나타나며, 이를 담당하는 세포 소기관은 리소좀이다. 리소좀은 골지체로부터 만들어진다.

ㄴ. A는 리소좀이다. 따라서 A는 (나)의 현상과 관계가 깊다.

ㄷ. 리소좀에는 50여 종의 가수 분해 효소가 들어 있다.

오답 피하기

ㄹ. 막의 표면에 리보솜이 부착되어 있는 것은 리소좀이 아니라 거친면 소포체이다.

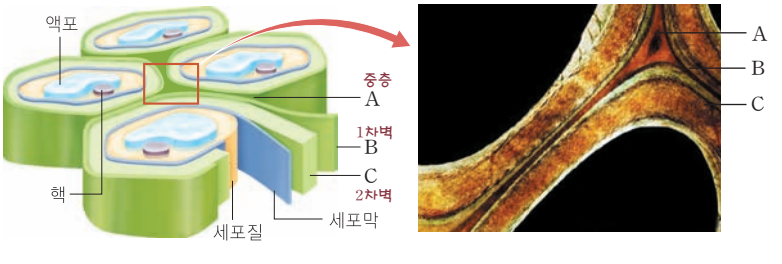
11 ④ ㄴ. 세포벽 형성 시 펙틴 성분의 중층 A가 먼저 만들어지고, 이후 세포가 생장하는 동안 1차벽 B가 먼저 형성되고 세포가 충분히 생장하여 최대 크기에 도달한 후에 2차벽 C가 1차벽의 안쪽에 형성된다.

ㄹ. 1차벽(B)은 세포에서 분비된 섬유성의 셀룰로스가 중층 안쪽에 쌓여 형성되고, 2차벽(C)은 셀룰로스에 다른 물질이 첨가되어 만들어진다. 따라서 B와 C에는 공통적으로 셀룰로스가 포함되어 있다.

오답 피하기

ㄱ. A는 중층으로 그 성분은 펙틴이다.

ㄷ. 2차벽은 1차벽과 세포막 사이에 형성되므로, A는 중층, B는 1차벽, C는 2차벽을 나타낸 것이다.



원핵 세포와 진핵 세포 비교

구분	원핵 세포	진핵 세포
크기	상대적으로 작다.	상대적으로 크다.
핵(또는 핵막)	없다.	있다.
염색체	보통 1개의 원형 염색체	여러 개의 선형 염색체
리보솜	작다(70S).	크다(80S).
막성 세포 소기관	없다.	있다.
세포벽의 성분	펩티도글리칸	셀룰로스(식물 세포), 키틴(균류)
생식	주로 무성 생식	주로 유성 생식

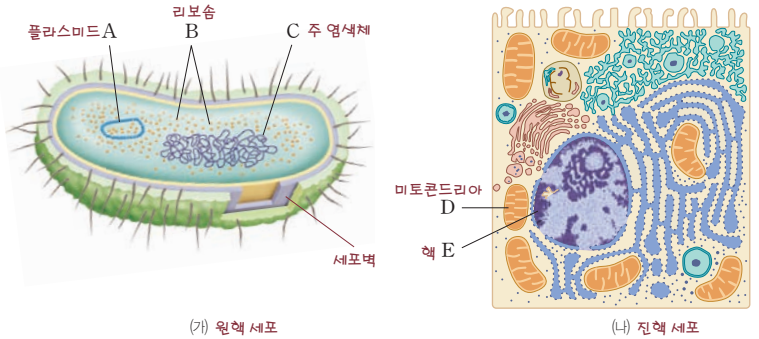
12 ③ ㄱ. 대장균은 핵막에 둘러싸인 핵이 없으므로 원핵 세포이고, 간세포는 핵막에 둘러싸인 핵이 있으므로 진핵 세포이다.

ㄷ. A, B, C는 각각 플라스미드, 리보솜, 주 염색체이고, D는 미토콘드리아, E는 핵이다. 이들 세포 소기관 중 리보솜을 제외한 플라스미드, 주 염색체, 미토콘드리아, 핵에는 모두 DNA가 포함되어 있다.

ㄹ. 리보솜은 진핵 세포인 (나)에서는 거친면 소포체의 막 표면에 붙어 있거나 세포질에 흩어져 있다.

오답 피하기

ㄴ. 원핵 세포인 대장균은 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있지만, 동물 세포인 간세포는 세포벽이 없다.



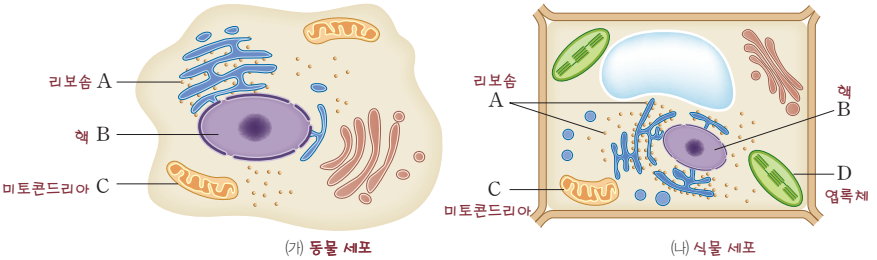
(가) 원핵 세포 (나) 진핵 세포

13 ⑤ ㄱ. A는 리보솜, B는 핵, C는 미토콘드리아, D는 엽록체이고, 이 중에서 막으로 둘러싸여 있지 않은 것은 리보솜이다.

ㄴ. 핵, 미토콘드리아, 엽록체는 2중막으로 둘러싸여 있다.

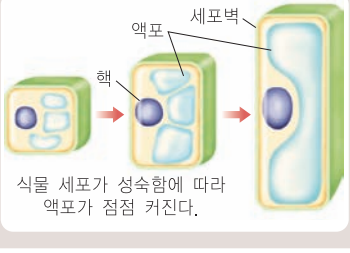
ㄷ. 핵은 핵분열을 통해 자기 복제가 가능하고, 미토콘드리아와 엽록체는 자체 DNA가 있어 자기 복제가 가능하다.

ㄹ. 리보솜은 RNA와 단백질로 구성되어 있으므로 RNA가 들어 있고, 미토콘드리아와 엽록체에도 자체 리보솜이 있으므로 역시 RNA가 들어 있다. 그리고 핵에는 리보솜을 구성하는 RNA를 합성하는 인이 들어 있으므로, 역시 RNA가 들어 있다.



(가) 동물 세포 (나) 식물 세포

액포



14 ② ㄴ. 어린 식물 세포에서 액포는 전체 세포 부피의 4.93%만 차지하였지만, 성숙한 식물 세포에서는 전체 세포 부피의 83.3%로 세포의 대부분을 차지하고 있다.

오답 피하기

ㄱ. 어린 세포와 성숙한 세포에서 골지체의 상대적 부피는 0.4%에서 0.04%로 줄어들지만, 골지체의 절대적 부피는 어린 세포 부피의 0.4%인 약 $7\mu m^3$(≒ $12\mu m \times 12\mu m \times 12\mu m \times 0.004$)에서 성숙한 세포 부피의 0.04%인 약 $123\mu m^3$(≒ $55\mu m \times 140\mu m \times 40\mu m \times 0.0004$)로 오히려 18배 정도 커졌다.

ㄷ. 어린 세포와 성숙한 세포에서 핵의 상대적 부피는 32.4%에서 0.23%로 감소하였지만, 핵의 절대적 부피는 약 $560\mu m^3$(≒ $12\mu m \times 12\mu m \times 12\mu m \times 0.324$)에서 약 $708\mu m^3$(≒ $55\mu m \times 140\mu m \times 40\mu m \times 0.0023$)로 약 1.3배 커졌다.

15 ④ ㄴ. 정자의 중편에는 꼬리(편모)를 움직이는 데 필요한 ATP를 생산하기 위해 미토콘드리아(C)가 들어 있다.

ㄷ. A는 중심체로 2개의 중심립으로 구성되며, 중심립은 정자와 같은 일부 세포에서는 기저체의 기원이 되어 편모와 섬모의 생성에 관여한다.

오답 피하기

ㄱ. 정자 머리의 첨체에는 난자의 막을 녹이기 위한 가수 분해 효소가 들어 있는데, 이는 거친면 소포체 막에 붙어 있는 리보솜에서 합성한 것으로 여겨진다. B는 골지체로 단백질을 합성하는 기능은 없다.

클로렐라와 흔들말

클로렐라 흔들말

16 ③ ① 클로렐라는 녹조류로 진핵 세포이고 아메바는 원생동물로 진핵 세포이다. 따라서 클로렐라와 아메바는 둘 다 핵이 있다.

② 흔들말은 광합성 색소는 있지만 엽록체는 없으므로 남세균이며 원핵 세포에 속한다. 클로렐라는 세포벽이 있고, 원핵 세포인 흔들말도 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.

④ 원핵 세포와 진핵 세포는 모두 기본 구조가 비슷한 세포막이 있다. 따라서 클로렐라와 흔들말 그리고 아메바는 모두 세포막이 있다.

⑤ 클로렐라와 흔들말은 둘 다 광합성 색소가 있어 광합성을 통해 유기물을 생산하므로 독립 영양 생물이고, 광합성 색소가 없는 아메바는 유기물을 외부에서 얻어야 하므로 종속 영양 생물이다.

오답 피하기

③ 진핵 세포에 해당하는 아메바는 미토콘드리아가 있지만, 원핵 세포에 해당하는 흔들말은 막성 세포 소기관인 미토콘드리아가 없다.

서술 · 논술형 문제

02. 세포의 구조와 기능 p.060~061

세포의 구조

- 동물 세포와 식물 세포의 구분 : 세포벽과 엽록체가 없고 중심체가 있으면 동물 세포, 세포벽과 엽록체, 커다란 액포가 있으면 식물 세포이다.
- 원핵 세포와 진핵 세포의 구분 : 핵막이 없으면 원핵 세포, 핵막과 막성 세포 소기관이 있으면 진핵 세포이다.

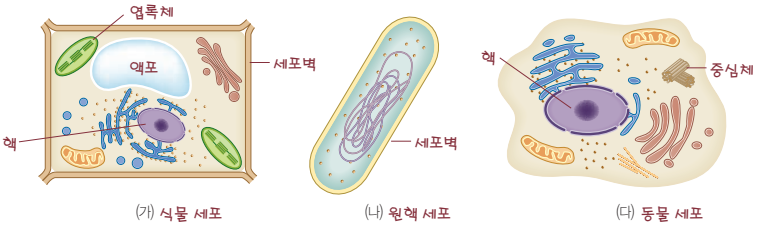
1. 동물 세포와 식물 세포+원핵 세포와 진핵 세포

모범 답안 | (1) 동물 세포는 (다)이다. (다)는 (나)와 달리 핵이 있으며, (가)와 달리 세포벽이 없고 중심체가 있기 때문이다.

(2) 식물 세포는 (가)이다. (가)는 (나)와 달리 핵이 있으며, (다)와 달리 세포벽과 엽록체 및 액포가 있기 때문이다.

(3) 세균은 (나)이다. (나)는 원핵 세포로 (가), (다)와 달리 핵막에 둘러싸인 핵이나 막성 세포 소기관이 없기 때문이다.

알짜 풀이 | 그림에서 (가)에는 세포막과 세포벽, 액포, 핵, 소포체, 골지체, 미토콘드리아, 엽록체가 있고, (나)에는 세포막과 세포벽, 원형의 주 염색체가 있다. 그리고 (다)에는 세포막, 핵, 소포체, 골지체, 미토콘드리아, 중심체가 있다. (가)는 (나)와 달리 핵막으로 둘러싸인 핵이 있으므로 진핵 세포이고, (다)와 달리 세포벽과 엽록체, 커다란 액포가 있으므로 식물 세포이다. (나)는 (가), (다)와 달리 핵막으로 둘러싸인 핵이 없고 여러 막성 세포 소기관도 없으므로 원핵 세포이다. (다)는 (나)와 달리 핵막으로 둘러싸인 핵이 있으므로 진핵 세포이고, (가)와 달리 세포벽과 엽록체, 커다란 액포는 없고 중심체가 있으므로 동물 세포이다.



(가) 식물 세포 (나) 원핵 세포 (다) 동물 세포

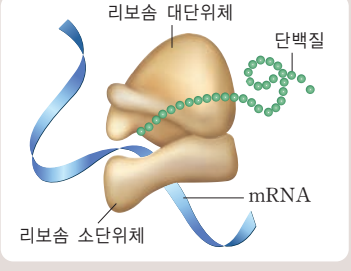
2. 여러 가지 세포의 특징

모범 답안 | A는 엽록체가 있으므로 식물 세포인 클로렐라이고, B는 다른 세포에 비해 미토콘드리아의 수가 많으므로 대량의 ATP를 필요로 하는 근육 세포이다. C는 다른 세포에 비해 골지체가 많이 있으므로 소화 효소를 분비하는 이자 세포이다. D는 다른 세포에 비해 리소좀의 수가 많으므로 식균 작용을 담당하는 백혈구이다.

알짜 풀이 | 백혈구는 식균 작용을 하므로 세포 내 소화를 담당하는 리소좀이 많고, 이자 세포는 소화 효소를 합성하여 분비하는 역할을 하므로 단백질의 합성 및 분비에 관여하는 거친면 소포체와 골지체가 발달해 있다. 근육 세포는 근수축을 위해 다량의 ATP를 필요로 하므로 세포 호흡을 통해 ATP를 생성하는 미토콘드리아가 많고, 클로렐라는 녹조류로 광합성을 하므로, 엽록체가 있다. 따라서 엽록체가 있는 A가 클로렐라이고, 많은 수의 미토콘드리아가 있는 B가 근육 세포이다. 또, 골지체가 가장 많은 C가 이자 세포이고, 리소좀이 가장 많은 D가 백혈구이다.

단백질 합성

단백질은 주로 거친면 소포체에 붙어 있는 리보솜에서 mRNA의 유전 정보에 따라 합성된다.



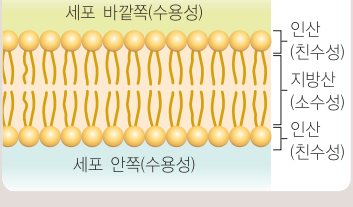
3. 단백질의 이동 경로

모범 답안 | 돌연변이 세포 I을 보면, 소포체에는 단백질이 많이 축적되어 있고 골지체와 분비 소낭에는 단백질이 없다. 따라서 이 세포는 소포체에서 골지체나 분비 소낭으로 단백질이 이동하는 데 이상이 발생한 세포이다. 또, 돌연변이 세포 II를 보면, 골지체에는 단백질이 많이 축적되어 있고 분비 소낭에는 단백질이 없다. 따라서 이 세포는 단백질이 골지체에서 분비 소낭으로 이동하는 데 이상이 발생한 세포이다. 이들 결과를 종합하면, 단백질은 소포체, 골지체 그리고 분비 소낭의 순으로 이동한다는 사실을 알 수 있다.

알짜 풀이 | 돌연변이 세포 I을 보면, 소포체에는 단백질이 많이 축적되어 있고 골지체와 분비 소낭에는 단백질이 없다. 따라서 돌연변이 세포 I에서는 단백질이 소포체에서 골지체 또는 분비 소낭으로 이동하는 단계에 이상이 발생한 것이다. 이로부터 단백질의 이동 경로는 '소포체 → 골지체 → 분비 소낭' 이거나 '소포체 → 분비 소낭 → 골지체' 임을 알 수 있다. 이제 돌연변이 세포 II를 보면, 골지체에는 단백질이 많이 축적되어 있고 분비 소낭에는 단백질이 없다. 따라서 돌연변이 세포 II에서는 단백질이 골지체에서 분비 소낭으로 이동하는 단계에 이상이 발생한 것이다. 이는 단백질이 골지체에서 분비 소낭으로 이동한다는 것이므로, 단백질의 이동 경로는 '소포체 → 골지체 → 분비 소낭' 이라는 사실을 알 수 있다.

인지질 2중층

세포막을 구성하는 인지질의 머리는 친수성이고 꼬리는 소수성이기 때문에 세포막에서 인지질은 머리를 밖으로 향하고 꼬리를 안쪽으로 향하여 마주 보는 2중층 구조를 형성하고 있다.



4. 세포막 구조 모형

모범 답안 | 세포막은 인지질로 구성된 2중층에 단백질이 모자이크 무늬 모양으로 분포하고 있는 구조이며, 단백질이 인지질의 유동성 때문에 고정되어 있지 않고 인지질층을 떠다닌다.

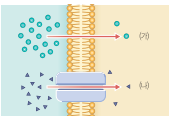
알짜 풀이 | (가)에서 적혈구 막에서 인지질을 추출하여 수면에 한 층으로 만든 후 면적을 측정하였을 때 그 면적이 적혈구 표면적의 약 2배라는 것은 적혈구의 세포막에서는 인지질이 2중층으로 되어 있다는 것을 의미한다. 그리고 (나)에서 다른 색깔의 형광 염료로 쥐와 사람 세포의 막 단백질을 표지한 후 두 세포를 융합시켰을 때 시간 경과에 따라 형광색이 섞여 나타났다는 것은 쥐와 사람 세포의 막 단백질이 인지질의 유동성 때문에 이동하였다는 것을 의미한다. 이러한 실험 결과를 토대로 나온 유동 모자이크막 모형은 인지질 2중층에 막 단백질이 모자이크 무늬 모양으로 분포한 상태이며, 인지질의 유동성 때문에 막 단백질도 고정되어 있지 않고 떠다니는 구조이다.

03 세포막을 통한 물질의 출입

개념 체크 p.073

A 확산

그림은 단순 확산과 촉진 확산을 비교한 것이다.

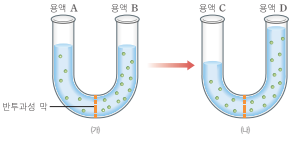


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)와 (나)는 각각 단순 확산과 촉진 확산을 나타낸 것이다. (○)
2. 단순 확산은 통로 단백질을 통해 일어나고, 촉진 확산은 운반체 단백질을 통해 일어난다. (×)
3. 단순 확산은 농도 기울기를 따라 물질이 이동하고, 촉진 확산은 농도 기울기를 거슬러 물질이 이동한다. (×)
4. 단순 확산과 촉진 확산에는 에너지가 소비되지 않는다. (○)
5. 단순 확산과 촉진 확산은 둘 다 세포 내외의 농도 차가 클수록 투과 속도가 계속 증가한다. (×)

B 삼투

그림 (가)는 U자관의 중앙에 반투과성 막을 설치한 후 이를 경계로 농도가 다른 두 용액을 같은 높이 만큼 넣은 것을 나타낸 것이고, (나)는 그로부터 일정 시간이 경과한 후를 나타낸 것이다.

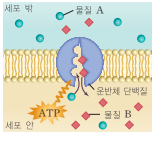


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 반투과성 막은 물에 녹아 있는 용질은 투과시키지만 물과 같은 용매는 투과시키지 않는 막이다. (×)
2. 용액 A보다 용액 B의 농도가 더 높다. (○)
3. 용액 A 쪽에서 용액 B 쪽으로 물과 용질이 이동하였다. (×)
4. 삼투에 의해 물이 이동할 때는 에너지가 소비된다. (×)
5. 용액 A와 B의 농도 차는 용액 C와 D의 농도 차보다 크다. (○)

C 능동 수송

그림은 어떤 물질들이 운반체 단백질을 통해 세포막을 통과하는 모습을 나타낸 것이다.

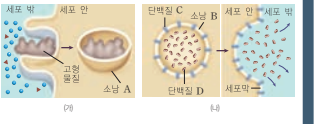


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 운반체 단백질은 물질 A를 세포 밖에서 세포 안으로 이동시키고, 물질 B를 세포 안에서 세포 밖으로 이동시킨다. (×)
2. 운반체 단백질은 농도 기울기를 거슬러 물질 A와 B를 이동시킨다. (○)
3. 물질 A와 B가 운반체 단백질을 통해 세포막을 통과하는 데에는 에너지가 소비된다. (○)
4. 능동 수송을 나타낸 것이다. (○)

D 세포내 섭취와 세포외 배출

그림 (가)와 (나)는 세포내 섭취와 세포외 배출을 각각 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 세포내 섭취를, (나)는 세포외 배출을 나타낸 것이다. (○)
2. (가)의 소낭 A는 식포, (나)의 소낭 B는 분비 소낭이라고 부른다. (○)
3. (나)의 소낭 B에 있던 단백질 C는 세포막의 막 단백질로 되고, 단백질 D는 세포 밖으로 분비된다. (○)
4. (가)의 작용이 진행되면 세포막의 면적이 줄어들고, (나)의 작용이 진행되면 세포막의 면적이 늘어난다. (○)
5. 세포내 섭취와 세포외 배출에는 에너지가 소비되지 않는다. (×)

A 확산

01 (가)에서는 물질이 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 세포막을 구성하는 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하므로, (가)는 단순 확산을 나타낸 것이다. (나)에서는 물질이 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 특정 막 단백질을 통해 세포막을 통과하므로, (나)는 촉진 확산을 나타낸 것이다.

02 단순 확산은 인지질 2중층을 통해 일어나고, 촉진 확산은 통로 단백질이나 운반체 단백질과 같은 특정 막 단백질을 통해 일어난다.

03 단순 확산과 촉진 확산 둘 다 확산의 일종이므로 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 농도 기울기를 따라 물질이 이동한다.

04 단순 확산과 촉진 확산 둘 다 농도 기울기를 따라 물질이 이동하므로 별도의 에너지(ATP)가 소비되지 않는다.

05 단순 확산의 경우 세포 내외의 농도 차가 클수록 투과 속도가 계속 증가하지만, 촉진 확산의 경우 이를 담당하는 막 단백질이 포화되면 확산 속도는 더 이상 증가하지 않는다.

B 삼투

01 반투과성 막은 물과 같은 용매는 투과시키지만 물에 녹아 있는 용질은 투과시키지 않는 막이다.

02 삼투가 일어날 때는 반투과성 막을 사이에 두고 농도가 낮은 쪽에서 농도가 높은 쪽으로 용매인 물 분자가 이동한다. 그런데 용액 A에서 용액 B 쪽으로 물이 이동하여 용액 C보다 용액 D가 많아졌으므로, 용액 A보다 용액 B의 농도가 더 높다는 것을 알 수 있다.

03 용매인 물은 반투과성 막을 통과하지만 용질은 반투과성 막을 통과하지 못한다.

04 삼투는 일종의 수동 수송으로 에너지(ATP)가 소비되지 않는다.

05 용액 A와 B의 농도 차에 의해 용액 A에서 용액 B로 물이 이동하였으므로 두 용액의 농도 차가 감소하여 용액 C와 D의 농도 차가 용액 A와 B의 농도 차보다 작다.

C 능동 수송

01 그림에서 운반체 단백질은 물질 A를 세포 안에서 세포 밖으로, 물질 B를 세포 밖에서 세포 안으로 이동시킨다.

02 그림에서 운반체 단백질은 물질 A와 B를 둘 다 농도가 낮은 곳에서 농도가 높은 곳으로 농도 기울기를 거슬러 이동시키고 있다.

03 물질 A와 B는 둘 다 농도 기울기를 거슬러 이동하므로, 이들 물질이 운반체 단백질을 통해 세포막을 통과하는 데에는 ATP 에너지가 소비된다.

04 그림에서는 물질의 이동이 농도 기울기를 거슬러 ATP 에너지가 소비되면서 이루어지므로, 능동 수송을 나타낸 것이다.

D 세포내 섭취와 세포외 배출

01 (가)는 세포 밖의 물질이 세포막에 싸여 소낭의 형태로 세포 안으로 들어오는 현상이므로 세포내 섭취를 나타낸 것이고, (나)는 세포 안의 물질을 소낭에 담은 다음, 소낭의 막과 세포막의 융합을 통해 세포 밖으로 내보내는 작용이므로 세포외 배출을 나타낸 것이다.

02 (가)는 세포내 섭취 중 식세포 작용을 나타낸 것으로, 형성된 소낭 A를 식포라고 한다. (나)는 세포외 배출 결과 소낭 내부에 있던 단백질이 세포 밖으로 분비되는 것을 나타낸 것으로, 소낭 B를 분비 소낭이라고 한다.

03 (나)에서 소낭 B의 막과 세포막이 융합되면서 소낭의 막에 있던 단백질 C는 세포막의 막 단백질이 되고, 소낭 내부에 있던 단백질 D는 세포 밖으로 분비된다.

04 (가)에서는 세포막의 일부가 소낭 A의 막이 되므로, (가)의 작용이 진행되면 세포막의 면적이 줄어든다. (나)에서는 소낭 B의 막이 세포막의 일부가 되므로, (나)의 작용이 진행되면 세포막의 면적이 늘어난다.

05 세포내 섭취와 세포외 배출은 능동 수송과 마찬가지로 ATP 에너지를 필요로 한다.

개념 확인 문제 pp.074~077

01. ⑤ 02. ④ 03. ③ 04. ②, ③ 05. ㄱ, ㄴ, ㄷ 06. ㄹ, ㅁ, ㅂ 07. ㄷ, ㄹ
08. ㅁ, ㅂ 09. ⑤ 10. ④ 11. ⑤ 12. A : 단순 확산, B : 촉진 확산, C : 능동 수송, D : 세포외 배출 13. C, D 14. A 15. D 16. C 17. ③
18. ⑤ 19. ④ 20. ㉠ 단순 확산, ㉡ 능동 수송, ㉢ 촉진 확산 21. ④ 22. ③
23. 6.15~7.38기압 24. ㄷ 25. ㄱ 26. 능동 수송 27. ②, ⑤
28. A : 능동 수송, B : 촉진 확산, C : 단순 확산 29. ① 30. ㄴ, ㄷ, ㄹ

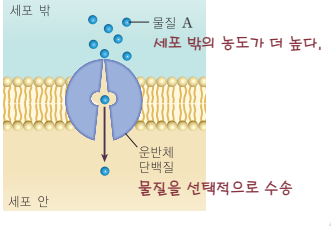
01 ⑤ ①, ②, ④ 단순 확산은 물질 분자들이 분자 운동에 의해 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 이동하는 현상으로, 농도 기울기를 따라 물질이 이동하므로 에너지가 소비되지 않는다. 따라서 단순 확산은 수동 수송의 한 종류이다.

③ 물질 분자들이 인지질 2중층을 통해 세포막을 직접 통과하는 것을 단순 확산이라고 하며, 막 단백질을 필요로 하는 것은 촉진 확산이다.

오답 피하기

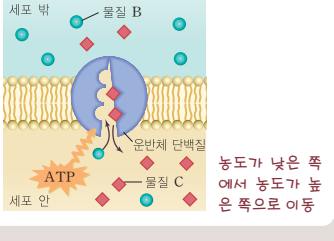
⑤ 단순 확산은 O_2, CO_2, CO, 물과 같은 작은 분자나 지용성 분자들이 세포막을 투과하는 방법이다. 수용성 물질은 촉진 확산이나 능동 수송에 의해 세포막을 통과한다.

촉진 확산



농도 기울기를 따라 물질이 이동하므로 ATP 에너지가 소비되지 않는다.

능동 수송



농도 기울기를 거슬러 물질을 이동시키므로 ATP 에너지가 소비된다.

- 물질 B의 농도 : 세포 밖 > 세포 안
- 물질 C의 농도 : 세포 밖 < 세포 안

02 ④ ④ (가)의 운반체 단백질은 물질 A를 선택적으로 투과시킨다.

오답 피하기

① (가)에서 물질 A는 운반체 단백질을 통해 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 농도 기울기를 따라 이동한다. 따라서 (가)의 물질 이동 방법은 능동 수송이 아니라 촉진 확산을 나타낸 것이다.

② 촉진 확산은 물질이 농도 기울기를 따라 이동하므로 에너지가 소비되지 않는다.

③ 물질 A는 세포막의 인지질층을 직접 통과하는 것이 아니라 운반체 단백질을 통해 세포막을 통과한다.

⑤ 물질 A는 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 농도 기울기를 따라 이동한다.

03 ③ ① (나)에서 물질 B와 C는 농도 차에 역행하여 이동하므로 ATP 에너지가 소비된다.

② 물질 B와 C의 이동에는 막 단백질이 필요하다.

④ 물질 B는 세포 안에서 세포 밖으로 이동하고, 물질 C는 세포 밖에서 세포 안으로 이동한다.

⑤ 능동 수송은 농도 기울기에 역행하여 물질을 이동시킴으로써 세포막을 경계로 농도 차를 유지시키는 수단이다.

오답 피하기

③ 물질 B와 C는 농도 기울기에 역행하여 이동한다.

04 ②, ③

② 세포내 섭취와 세포외 배출도 능동 수송과 마찬가지로 에너지 소비를 필요로 한다.

③ 세포내 섭취는 외부의 고형 물질 등을 세포막으로 싸서 소낭 형태로 세포 속으로 끌어들이므로 세포막의 면적이 줄어들고, 세포외 배출은 분비 소낭의 막과 세포막의 융합을 통해 분비 소낭에 들어 있던 물질을 세포 밖으로 배출하므로 세포막의 면적이 늘어난다.

오답 피하기

① 세포내 섭취와 세포외 배출은 능동 수송과 마찬가지로 에너지 소비를 필요로 하므로 수동 수송에 속하지 않는다.

④ 세포내 섭취와 세포외 배출은 막 단백질을 통해 물질이 이동하는 것이 아니라 세포막 자체의 변형을 통해 물질이 이동하는 방법이다.

⑤ 세포내 섭취와 세포외 배출은 세포막의 변형을 통해 물질이 이동하는 것으로 농도 기울기와는 상관없이 물질이 이동한다.

05 ㄱ, ㄴ, ㄷ

세포막을 통한 물질의 이동 방법 중 세포 안팎의 농도 기울기에 의해 일어나는 것은 삼투와 확산이다. 삼투는 저농도 쪽에서 고농도 쪽으로 용매가 이동하는 현상이고, 단순 확산은 O_2, CO_2, CO, 물과 같은 작은 분자나 지용성 분자들이 고농도 쪽에서 저농도 쪽으로 세포막의 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하는 것이며, 촉진 확산은 특정 분자나 이온이 고농도 쪽에서 저농도 쪽으로 특정 막 단백질을 통해 세포막을 통과하는 것이다.

세포막을 통한 물질 이동과 ATP의 소비
- 단순 확산, 촉진 확산, 삼투 : ATP 소비 없음
- 능동 수송, 세포내 섭취, 세포외 배출 : ATP 소비 있음

06 ㄹ, ㅁ, ㅂ

세포막을 통한 물질의 이동 방법 중 에너지의 소비를 필요로 하는 것은 세포가 세포막을 경계로 농도 기울기를 거슬러 물질을 이동시키는 능동 수송, 세포막의 변형을 통해 물질을 이동시키는 세포내 섭취와 세포외 배출이다.

07 ㄷ, ㄹ

세포막을 통한 물질의 이동 방법 중 막 단백질을 통해 일어나는 것은 촉진 확산과 능동 수송이다.

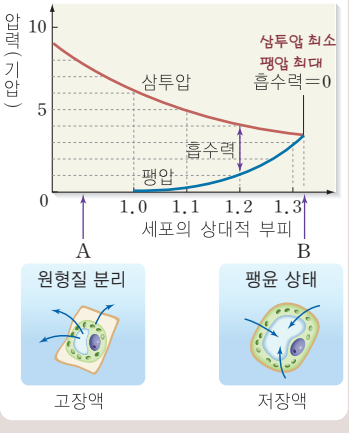
오답 피하기

단순 확산은 물질이 세포막을 구성하는 인지질 2중층을 직접 통과하고 삼투도 용매인 물이 세포막을 구성하는 인지질 2중층을 직접 통과한다. 그리고 세포내 섭취와 세포외 배출은 세포막의 변형에 의해 물질이 세포막을 드나든다.

08 ㅁ, ㅂ

세포막을 통한 물질의 이동 방법 중 세포내 섭취는 외부의 고형 물질 등을 세포막으로 싸서 소낭 형태로 세포 속으로 끌어들이므로 세포막의 면적이 줄어들고, 세포외 배출은 분비 소낭의 막과 세포막의 융합을 통해 소낭에 들어 있던 물질을 세포 밖으로 배출하므로 세포막의 면적이 늘어나는 방법이다.

식물 세포에서의 삼투 현상



09 ⑤ ⑤ 세포의 상대적 부피가 1보다 작으므로 세포막에 싸인 원형질체가 쭈그러들어 세포막이 세포벽으로부터 떨어지는 원형질 분리가 일어난다.

오답 피하기

① 단순히 세포가 쭈그러든다고 하는 것은 동물 세포의 경우에 해당한다. 동물 세포는 세포벽이 없기 때문에 세포의 상대적 부피가 1보다 작아지면 세포 전체가 쭈그러든 것으로 볼 수 있다. 반면, 식물 세포는 세포벽이 있으므로 원형질 분리가 일어날 뿐 세포 전체가 쭈그러들지는 않는다.

② 세포벽이 없는 동물 세포의 경우 지나치게 팽창하면 터지게 된다. 그러나 식물 세포는 세포벽이 있으므로 터지지 않는다.

③ 식물 세포가 최대로 팽창한 B의 상태가 팽압이 최대로 되는 팽윤 상태이다.

④ 외관상 변화가 없을 때는 세포의 상대적 부피가 1.0일 때이다.

10 ④ 식물 세포의 상대적 부피가 B(팽윤 상태) 이상으로 커지지 않는 것은 세포막 바깥쪽에 단단한 세포벽이 지탱하고 있기 때문이다. 만약 세포벽이 없다면 동물 세포처럼 더 팽창하다가 터질 것이다.

11 ⑤ ⑤ 식물 세포의 상대적 부피는 B에서 최대인데, 이때 팽압이 최대로 되는 팽윤 상태를 나타낸다.

오답 피하기

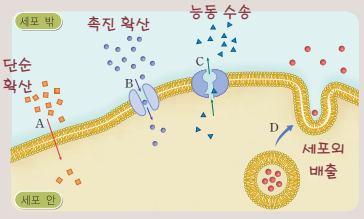
① B에서는 삼투압이 최소로 된다.

② 흡수력은 삼투압에서 팽압을 뺀 값이므로 B에서는 흡수력이 0이 된다.

③ 용혈 현상은 동물 세포를 저장액 속에 넣었을 때 팽창하다가 세포막이 터지게 되는 현상이다.

④ 한계 원형질 분리 상태는 세포의 부피가 이보다 더 작아지면 원형질 분리가 일어나게 되는 상태로 식물 세포의 상대적 부피가 1.0일 때를 말한다.

세포막 통과 방법



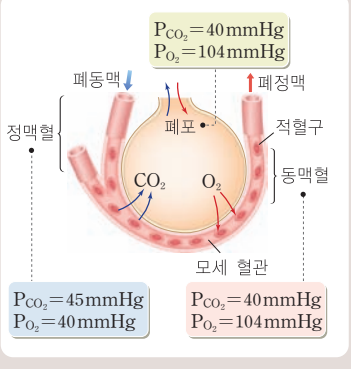
12 **A : 단순 확산, B : 촉진 확산, C : 능동 수송, D : 세포외 배출**

A는 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 물질이 인지질 2중층을 직접 통과하므로 단순 확산을 나타낸 것이고, B는 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 물질이 특정 막 단백질을 통해 세포막을 통과하므로 촉진 확산을 나타낸 것이다. C는 특정 막 단백질을 통해 농도가 낮은 쪽에서 농도가 높은 쪽으로 농도 기울기에 역행하여 물질이 이동하므로 능동 수송을 나타낸 것이고, D는 분비 소낭이 세포막과 융합하여 분비 소낭에 들어 있는 물질이 세포 밖으로 배출되는 세포외 배출을 나타낸 것이다.

13 **C, D**

에너지 소비를 필요로 하는 물질 이동 방식으로는 농도 기울기에 역행하여 물질을 이동시키는 능동 수송(C)이 있다. 또, 단백질처럼 큰 분자나 세균과 같은 먹이 또는 액상 물질을 세포막 자체가 변형되는 방식으로 세포로 드나들게 하는 세포내 섭취와 세포외 배출(D)의 경우에도 에너지가 소비된다.

폐포에서의 기체 교환



폐포에서 O_2는 폐포에서 모세 혈관의 혈액 쪽으로 확산되고, CO_2는 모세 혈관의 혈액에서 폐포 쪽으로 확산된다.

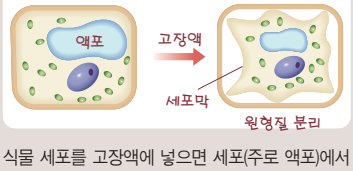
14 **A** 폐포에서 O_2는 O_2 분압이 높은 폐포 쪽에서 O_2 분압이 낮은 모세 혈관 쪽으로 이동하고, CO_2는 CO_2 분압이 높은 모세 혈관 쪽에서 CO_2 분압이 낮은 폐포 쪽으로 이동한다. 즉, 폐포에서의 기체 교환은 A와 같이 O_2나 CO_2의 분압이 높은 쪽에서 그 분압이 낮은 쪽으로 이동하는 단순 확산에 의해 이루어진다.

15 **D** 내분비샘과 소화샘 세포에서는 합성된 호르몬이나 소화 효소가 분비 소낭에 싸인 채로 세포막 쪽으로 이동한 다음, 분비 소낭과 세포막의 융합을 통해 세포 밖으로 배출되는데, 이때의 물질 이동 방식을 나타낸 것은 D로 세포외 배출에 해당한다.

16 **C** 세포 안팎의 농도 차를 유지하는 물질 이동 방식은 세포막을 경계로 농도 기울기를 거슬러 에너지를 소비하며 물질을 이동시키는 능동 수송 즉, C이다.

17 ③ 포도당이나 아미노산 등 수용성 분자는 인지질 2중층을 통과하기 어려우므로 이들 중 일부는 막 단백질을 통해 B와 같이 촉진 확산에 의해 이동한다. 또, 포도당이나 아미노산은 필요에 따라 세포 내부의 농도가 더 높더라도 세포 안으로 이동시켜야 하므로 C와 같이 능동 수송에 의해 이동하기도 한다.

원형질 분리



식물 세포를 고장액에 넣으면 세포(주로 액포)에서 물이 빠져나가 세포막에 둘러싸인 원형질체가 작아져서 세포막이 세포벽에서 분리되는 원형질 분리가 일어난다.

18 ⑤ ① 액포에서 물이 빠져나가 액포의 크기가 작아졌다.

②, ③, ④ 식물 세포에서 물이 빠져나가 세포(정확히는 세포막에 둘러싸인 원형질체)가 작아지면서 세포막이 세포벽으로부터 분리되는 원형질 분리가 일어났다.

오답 피하기

⑤ 세포에서 물이 빠져나간 상태이므로 식물 세포를 세포질의 농도보다 더 높은 고장액에 담가 두었다가 관찰한 것이다.

19 ④ ①, ③ (가)는 적혈구를 저장액에 넣은 상태로 삼투에 의해 적혈구 안으로 물이 들어가서 적혈구가 점점 팽창하다가 결국 세포막이 터져 내용물이 빠져나오는 용혈 현상을 나타낸다.

② (나)는 적혈구 바깥으로 물이 빠져나가 적혈구가 쭈그러든 상태이다.

⑤ 적혈구를 등장액인 생리 식염수나 링거액에 넣으면 드나드는 물의 양이 거의 같아 변화가 없는 (다)와 같은 상태가 된다.

오답 피하기

④ (나)는 적혈구 바깥으로 물이 빠져나가 적혈구가 쭈그러든 상태이므로 적혈구를 고장액에 넣었을 때의 상태이다.

세포막을 투과하는 방법

이동 방법	에너지 소비	막 단백질
단순 확산	없음	관여하지 않음
능동 수송	있음	관여함
촉진 확산	없음	관여함

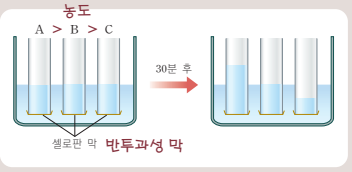
20 ㉠ 단순 확산, ㉡ 능동 수송, ㉢ 촉진 확산

㉠에 해당하는 물질 이동 방법은 에너지 소비가 없고 막 단백질이 관여하지 않으므로 단순 확산이다.

㉡에 해당하는 물질 이동 방법은 에너지 소비가 있고 막 단백질이 관여하므로, 농도 기울기에 역행하여 물질을 이동시키는 능동 수송이다.

㉢에 해당하는 물질 이동 방법은 에너지 소비는 없지만 막 단백질이 관여하므로, 촉진 확산이다.

삼투압 실험



비커에 들어 있는 0.5M 설탕물은 A에는 저장액, B에는 등장액, C에는 고장액으로 작용하였다.

21 ④ ① 삼투에 의해 물의 출입이 일어나 유리관 A와 C의 물 높이가 달라졌으므로, 셀로판 막은 일종의 반투과성 막으로 작용한 것이다.

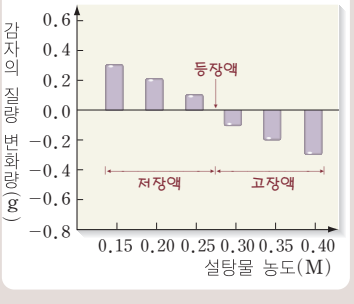
②, ③ 유리관 A로는 물이 들어와 물의 높이가 원래보다 높아졌으므로, 유리관 A의 설탕물 농도는 비커의 설탕물 농도인 0.5M보다 높았다고 볼 수 있다. 또, 유리관 B의 물 높이는 변화가 없으므로 유리관 B의 설탕물 농도는 비커의 설탕물 농도와 거의 같았다고 볼 수 있다. 유리관 C에서는 물이 빠져나가 물의 높이가 원래보다 낮아졌으므로, 유리관 C의 설탕물 농도는 비커의 설탕물 농도보다 낮았다. 이를 종합하면, 원래 유리관 속의 설탕물 농도는 A>B>C였다.

⑤ 유리관 A와 C에서 물의 높이가 달라진 것은 유리관 A와 C의 설탕물 농도가 비커의 설탕물 농도보다 각각 높고 낮아 삼투에 의해 물이 들어오고 나갔기 때문이다.

오답 피하기

④ 유리관 C에서는 삼투에 의해 물 분자가 빠져나가 물의 높이가 원래보다 낮아진 것이다. 설탕 분자들은 셀로판 막을 통과하지 못한다.

감자의 질량 변화량 그래프



질량 변화량이 (+)값이다가 (−)값으로 되었을 때, 그 중간의 어느 값(0.25~0.30M)이 감자 조직의 삼투압이 된다.

22 ③ 감자 조직을 0.25M 설탕물에 넣었을 때 물이 들어와 감자 조직의 질량이 원래보다 증가하였고, 감자 조직을 0.30M 설탕물에 넣었을 때 물이 빠져나가 감자 조직의 질량이 원래보다 감소하였다. 따라서 0.25M 설탕물은 감자 조직에 대해 저장액이고, 0.30M 설탕물은 감자 조직에 대해 고장액이다. 즉, 감자 조직의 삼투압은 0.25M 설탕물의 삼투압보다는 높고, 0.30M 설탕물의 삼투압보다는 낮다.

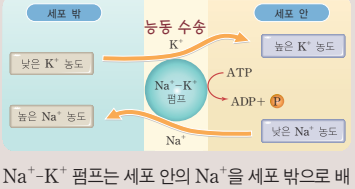
23 6.15 ~ 7.38기압

감자 조직의 삼투압은 0.25M 설탕물의 삼투압보다는 높고, 0.30M 설탕물의 삼투압보다는 낮다. 그리고 0.25M 설탕물의 삼투압은 $0.25 \times 0.082 \times (273+27) = 6.15$기압이고, 0.30M 설탕물의 삼투압은 $0.30 \times 0.082 \times (273+27) = 7.38$기압이다. 따라서 감자 조직의 삼투압은 6.15 ~ 7.38기압이다.

24 ㄷ 비료를 너무 많이 주면 식물이 시드는 이유는 외부 용액이 비료 때문에 식물 뿌리의 세포보다 고장액이 되어 삼투에 의해 식물 뿌리의 세포에서 물이 빠져나가기 때문이다. 이때 식물 뿌리의 세포는 세포막에 둘러싸인 원형질체가 원래보다 작아져 세포막이 세포벽에서 떨어지는 원형질 분리 상태로 된다.

25 ㄱ 출혈 등으로 탈수 현상이 심할 때 링거액 대신 증류수를 주사하면, 증류수가 적혈구보다 저장액이기 때문에 삼투에 의해 적혈구 안으로 물이 들어가서 적혈구가 점점 팽창하다가 결국 세포막이 터져 내용물이 빠져나오는 용혈 현상이 나타날 우려가 있다.

Na^+-K^+ 펌프



Na^+-K^+ 펌프는 세포 안의 Na^+을 세포 밖으로 배출하고, 세포 밖의 K^+을 세포 안으로 끌어들이는 능동 수송을 한다.

26 능동 수송

Na^+-K^+ 펌프는 ATP 에너지를 소비하면서 Na^+을 Na^+ 농도가 낮은 세포 안에서 Na^+ 농도가 높은 세포 밖으로 운반하고, K^+을 K^+ 농도가 낮은 세포 밖에서 K^+ 농도가 높은 세포 안으로 운반한다. Na^+-K^+ 펌프와 같이 ATP 에너지를 소비하면서 농도 기울기를 거슬러 물질을 이동시키는 방식을 능동 수송이라고 한다.

27 ②, ⑤

② 콩팥의 세뇨관에서 포도당이 100% 재흡수되는 것과 ⑤ 다시마 속의 아이오딘 농도가 해수 속의 아이오딘 농도보다 100만 배 높은 것은 각각 농도 기울기를 거슬러 포도당과 아이오딘을 이동시키는 능동 수송에 의해 일어난다.

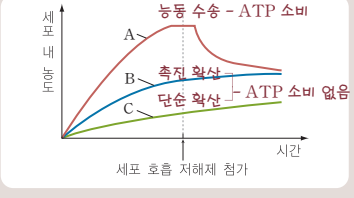
오답 피하기

① 오이를 소금에 절이면 쭈글쭈글해지는 것은 외부 용액이 고장액이기 때문에 삼투에 의해 오이 속의 물이 빠져나간 결과이다.

③ 약간 시든 장미를 찬물에 담그면 싱싱해지는 것은 외부 용액이 저장액이기 때문에 삼투에 의해 장미 속으로 물이 들어온 결과이다.

④ 뉴런의 경우 자극을 받기 전에는 Na^+-K^+ 펌프의 작용으로 Na^+이 세포 밖으로 능동 수송되어 뉴런 외부의 Na^+ 농도가 뉴런 내부보다 훨씬 높은 분극 상태로 유지된다. 또, K^+은 Na^+-K^+ 펌프에 의해 세포 밖에서 세포 안쪽으로 능동 수송되어 뉴런 외부보다 뉴런 내부의 K^+ 농도가 훨씬 높게 유지된다. 그러나 자극을 받으면 세포막의 특성이 변하여 뉴런의 막에 있던 Na^+ 통로가 열려서 Na^+이 농도가 높은 세포 밖에서 농도가 낮은 세포 안쪽으로 대량 확산되어 들어오는 탈분극이 일어나는데, 이것은 일종의 촉진 확산이며 Na^+ 통로는 통로 단백질에 해당한다.

세포막을 통한 물질 이동량

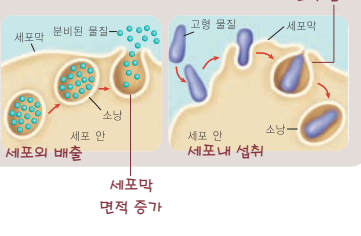


능동 수송은 ATP 에너지를 필요로 하므로, 세포 호흡 저해제를 첨가하여 세포 호흡을 통한 ATP 공급이 차단되면 능동 수송에 의한 물질 이동량은 크게 감소한다.

28 A : 능동 수송, B : 촉진 확산, C : 단순 확산

A의 경우 세포 호흡 저해제를 첨가하여 세포 호흡을 억제시켰을 때 세포 내 농도가 크게 감소하였다. 이는 A가 ATP 에너지를 소비하면서 일어나는 능동 수송에 의해 이동함을 의미한다. 능동 수송은 농도 기울기에 역행하여 일어나므로 A는 세포 밖보다 세포 안의 농도가 높을 것이다. 세포 호흡 저해제를 첨가하여 ATP 공급이 중단되면 세포 안의 A는 농도 기울기를 따라 세포 밖으로 빠져나가 세포 내 농도가 급격히 감소한다. B와 C의 경우 세포 호흡 저해제를 첨가하여도 세포 내 농도가 크게 달라지지 않는다. 다만, 세포 내 농도가 B는 C보다 빠르게 증가하다가 한계에 도달하지만, C는 초기에 B보다 느리게 증가하는 반면 지속적으로 증가한다. 따라서 B는 촉진 확산에 의해 이동하고, C는 단순 확산에 의해 이동한다고 볼 수 있다. 촉진 확산은 막 단백질이 포화되면 더 이상 확산 속도가 증가하지 않지만, 단순 확산은 물질 공급이 계속되면 확산 속도가 계속 증가할 수 있다.

세포내 섭취와 세포외 배출



29 ①

② (가)와 (나)는 각각 세포외 배출과 세포내 섭취를 나타낸 것으로, 이처럼 세포막이 변형되는 방식의 물질 이동은 능동 수송과 마찬가지로 ATP 에너지를 필요로 한다.

③ (가)의 소낭은 속에 들어 있는 물질을 외부로 분비하는 분비 소낭으로 보통 골지체에서 만들어진다.

④ (나)의 소낭은 세포 밖의 고형 물질을 세포막으로 싸서 들여온 것으로 식포라고 하며, 이것은 대개 리소좀과 합쳐져 리소좀 속의 가수 분해 효소의 작용을 받아 소낭 내부의 고형 물질이 소화되는 세포 내 소화 과정을 거친다.

⑤ (가)에서는 소낭의 막이 세포막의 일부로 되므로 세포막의 면적이 늘어나고, (나)에서는 세포막의 일부가 소낭의 막으로 되므로 세포막의 면적이 줄어든다.

오답 피하기

① (가)에서는 소낭의 막이 세포막의 일부로 되고 (나)에서는 소낭의 막이 세포막의 일부였으므로, 소낭의 막은 세포막과 마찬가지로 한 겹으로 되어 있다.

30 ㄴ, ㄷ, ㄹ

ㄴ, ㄷ, ㄹ. 세포에서 그림 (가)와 같은 세포외 배출 방식으로 분비되는 물질은 호르몬과 소화 효소 및 신경 전달 물질 등이다. 인슐린은 호르몬, 아밀레이스는 소화 효소, 아세틸콜린은 신경 전달 물질이므로 세포외 배출 방식으로 분비된다고 볼 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 지방산과 같이 작은 비전하 극성 분자는 단순 확산에 의해 세포막을 투과한다.

개념 활용 문제 pp.078~083

01. ①	02. ⑤	03. ④	04. ③	05. ③	06. ④	07. ②
08. ④	09. ③	10. ①	11. ⑤	12. ③		

01 ① ㄱ. 막을 경계로 용질 A는 주로 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하고, 용질 B는 주로 오른쪽에서 왼쪽으로 이동한다.

오답 피하기

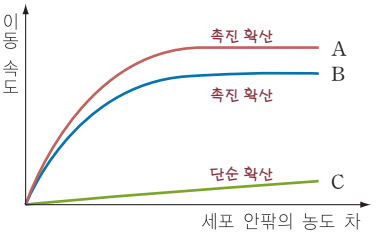
ㄴ, ㄷ. 용질 A와 B 둘 다 특정 막 단백질을 거치지 않고 인지질 2중층을 통과하여 각 물질의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 농도 기울기를 따라 이동한다. 즉, 용질 A와 B 둘 다 단순 확산에 의해 세포막을 직접 통과한다.

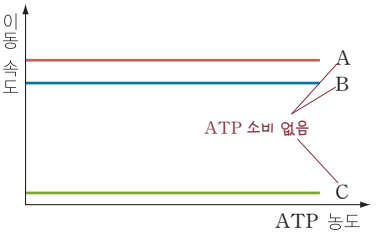
단순 확산과 촉진 확산
- 단순 확산 : 물질이 농도 기울기를 따라 인지질 2중층을 직접 통과하여 세포막을 통과하는 방법
- 촉진 확산 : 물질이 농도 기울기를 따라 막 단백질을 통해 세포막을 통과하는 방법

02 ⑤ ⑤ A, B, C의 이동은 모두 ATP 농도의 영향을 받지 않는다. 그러나 세포 안팎의 농도 차가 커짐에 따라 A와 B의 이동 속도는 처음에는 증가하다가 일정 한계에 도달하면 더 이상 증가하지 않지만, C의 이동 속도는 계속 증가한다. 따라서, A와 B는 운반체 단백질을 통해 촉진 확산되는 물질이고, C는 인지질 2중층을 통해 단순 확산되는 물질임을 알 수 있다. 촉진 확산의 경우 운반체 단백질이 포화되면 세포 안팎의 농도 차가 증가하여도 물질의 이동 속도가 증가하지 않고 유지된다.

오답 피하기

① 세포 안팎의 농도 차가 커짐에 따라 C의 이동 속도는 계속 증가하지만 A와 B의 이동 속도는 어느 한계까지만 증가한다.
② A와 B는 촉진 확산에 의해, C는 단순 확산에 의해 이동한다.
③ A, B, C의 이동은 모두 확산에 의해 이루어지므로 에너지가 소비되지 않는다.
④ A, B, C의 이동은 모두 확산에 의해 이루어지므로 이들 물질은 농도 기울기를 따라 이동한다.





물질별 세포막 통과 방법
- O_2, CO_2, CO 등 기체 : 단순 확산
- H_2O : 삼투
- 지방산, 지용성 비타민 등 지용성 물질 : 단순 확산
- 이온 : 촉진 확산, 능동 수송
- 포도당, 아미노산 등 수용성 분자 : 촉진 확산, 능동 수송
- 호르몬, 소화 효소, 신경 전달 물질과 같은 단백질 : 세포외 배출

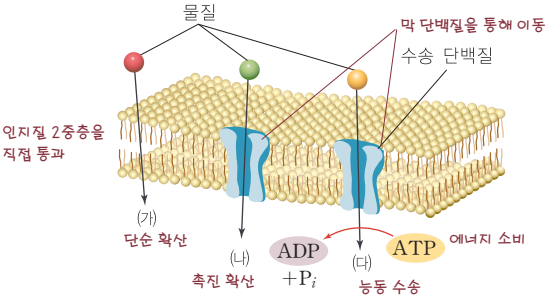
03 ④ ㄴ. (다)는 ATP 에너지를 소비하면서 막 단백질을 통해 물질이 세포막을 통과하는 능동 수송을 나타낸 것이다. 세포 호흡 저해제를 처리하면 세포 호흡을 통한 ATP의 생성이 억제되므로 (다) 방식의 물질 이동은 억제된다.

ㄹ. (나)는 ATP 에너지의 소비 없이 막 단백질을 통해 물질이 세포막을 통과하므로 촉진 확산을 나타낸 것이다. 따라서 (나) 방식으로 이동하는 물질은 농도 기울기를 따라 이동한다. 반면, (다)는 능동 수송을 나타낸 것이므로 (다) 방식으로 이동하는 물질은 농도 기울기를 거슬러 이동한다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 ATP 에너지의 소비 없이 인지질 2중층을 통해 물질이 세포막을 통과하므로 단순 확산을 나타낸 것이다. 대개의 경우 단순 확산에 의한 물질 이동 속도는 막의 운반체 단백질을 이용한 촉진 확산이나 능동 수송에 의한 물질 이동 속도보다 느리다.

ㄷ. O_2, CO_2, CO, 물과 같은 작은 분자나 지용성 분자는 단순 확산인 (가) 방식으로 이동하고, 전하를 띤 이온이나 포도당, 아미노산 등 수용성 분자는 주로 촉진 확산인 (나)와 능동 수송인 (다) 방식으로 이동한다.



삼투 현상
농도가 다른 두 용액이 반투과성 막을 사이에 두고 있을 때 저농도 용액에서 고농도 용액으로 용매가 이동하는 현상이다. 셀로판 주머니는 반투과성 막이므로 설탕물이 들어 있는 셀로판 주머니를 고장액에 넣으면 물이 빠져나가 쭈그러들고 저장액에 넣으면 물이 들어와 팽창한다.

04 ③ ㄴ. 셀로판 주머니는 반투과성 막이므로 (가)와 (나)에서 물의 출입은 삼투에 의해 일어난다.
ㄷ. (가)는 삼투에 의해 셀로판 주머니 속의 물이 빠져나가 쭈그러든 상태로, 5% 설탕물을 넣은 셀로판 주머니를 이보다 고농도인 20% 설탕물에 담갔을 때의 상태이다. 따라서 (가)는 적혈구를 고장액에 넣으면 적혈구로부터 물이 빠져나가 적혈구가 쭈그러드는 상태에 해당하는 것으로 볼 수 있다.

오답 피하기
ㄱ. (가)는 삼투에 의해 셀로판 주머니 속의 물이 빠져나가 원래보다 쭈그러든 상태이고, (나)는 삼투에 의해 셀로판 주머니 속으로 물이 들어와 원래보다 팽창한 상태이다. 따라서 (가)는 5% 설탕물이 들어 있는 셀로판 주머니를 이보다 농도가 높은 용액에 담근 상태이고, (나)는 5% 설탕물이 들어 있는 셀로판 주머니를 이보다 농도가 낮은 용액에 담근 상태이다. 그러므로 20% 설탕물이 들어 있는 비커는 (가)이고 증류수가 들어 있는 비커는 (나)이다.
ㄹ. 팽윤 상태는 저장액에 넣은 식물 세포가 물을 흡수하여 최대로 팽창한 상태이므로 셀로판 주머니가 팽창한 (나)가 팽윤 상태에 해당한다.

이당류의 소화
수크레이스는 설탕을 포도당과 과당으로 분해하고, 락테이스는 젖당을 포도당과 갈락토스로 분해한다.

05 ③ ㄱ. 설탕 수용액과 젖당 수용액에 같은 양의 수크레이스를 넣으면 수크레이스의 작용으로 설탕이 포도당과 과당으로 분해되기 때문에 설탕 수용액 쪽의 농도가 증가한다. 그렇게 되면 삼투에 의해 젖당 수용액 쪽에서 설탕 수용액 쪽으로 물이 이동하게 되고, 그 결과 설탕 수용액 쪽의 물의 높이는 높아지고 젖당 수용액 쪽의 물의 높이는 낮아진다. 따라서 용액 A와 B 중 물의 높이가 높아진 A가 설탕 수용액이다.
ㄴ. 용액 A의 높이는 증가하고 용액 B의 높이는 감소한 이유는 삼투에 의해 젖당 수용액에서 농도가 높아진 설탕 수용액 쪽으로 물이 이동하였기 때문이다.

오답 피하기
ㄷ. 실험이 종료된 다음, 두 용액 A와 B에 추가로 같은 양의 락테이스 수용액을 첨가하면 락테이스의 작용으로 젖당이 포도당과 갈락토스로 분해되기 때문에 젖당 수용액 쪽의 농도가 높아진다. 그렇게 되면 이번에는 설탕 수용액 쪽에서 젖당 수용액 쪽으로 물이 이동하게 되므로 두 용액의 높이 차는 감소할 것이다.

06 ④ 적혈구를 등장액에 넣으면 부피 변화가 없지만, 저장액에 넣으면 삼투에 의해 물이 들어와 부피가 증가하고, 고장액에 넣으면 삼투에 의해 물이 빠져나가 부피가 감소한다. 먼저 A의 적혈구를 각 동물의 링거액에 넣은 결과를 보면, 혈장 삼투압의 크기는 D>A>(B, C)이다. 또, B의 적혈구를 각 동물의 링거액에 넣은 결과를 보면, 혈장 삼투압은 (A, D)>B>C이다. C의 적혈구를 각 동물의 링거액에 넣은 결과를 보면, 혈장 삼투압의 크기는 (A, B, D)>C이고, D의 적혈구를 각 동물의 링거액에 넣은 결과를 보면, 혈장 삼투압의 크기는 D>(A, B, C)이다. 이를 종합하면, 혈장 삼투압의 크기는 D>A>B>C이다.

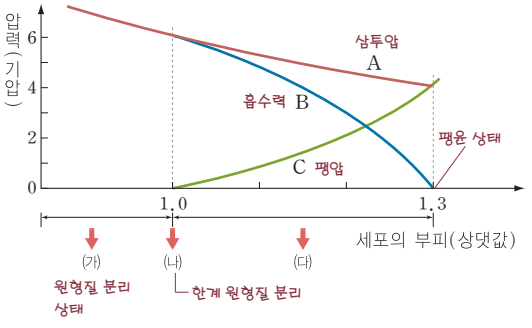
07 ② ㄴ. 세포 속의 물의 양이 늘어나 세포의 부피가 증가함에 따라 세포의 삼투압은 계속 감소하므로, 삼투압 그래프는 A이다. 또, 세포의 부피가 증가함에 따라 세포벽에 가해지는 압력인 팽압은 증가하므로, 팽압 그래프는 C이다. 그리고 흡수력은 삼투압과 팽압의 차이

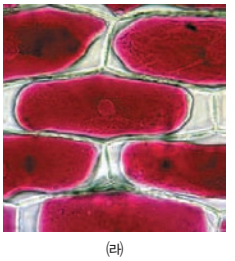
에 해당하므로, 흡수력 그래프는 A에서 C를 뺀 값을 나타낸 B이다.

오답 피하기

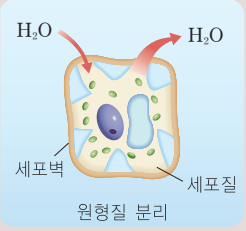
ㄱ. (가)는 식물 세포에서 물이 빠져나가 세포막이 세포벽으로부터 떨어진 원형질 분리 상태로, 이는 식물 세포를 고장액에 넣었을 때 나타난다.

ㄷ. (라)는 세포의 부피가 원래보다 작아져 세포막이 세포벽에서 분리된 원형질 분리 상태이므로, (라)와 같은 모양의 세포가 관찰되는 것은 세포의 부피가 1.0보다 작은 (가)일 때이다.




(라)

원형질 분리



식물 세포는 세포벽이 있으므로 고장액에 넣으면 세포에서 물이 빠져나가 원형질의 부피가 감소하면서 세포막과 세포벽이 분리되는 원형질 분리 상태가 나타난다.

08 ④ ① A와 B의 융합을 통해 A 속에 들어 있던 세균이 소화되므로, 소낭 B는 가수 분해 효소를 담고 있어 세포 내 소화를 담당하는 리소좀이다.

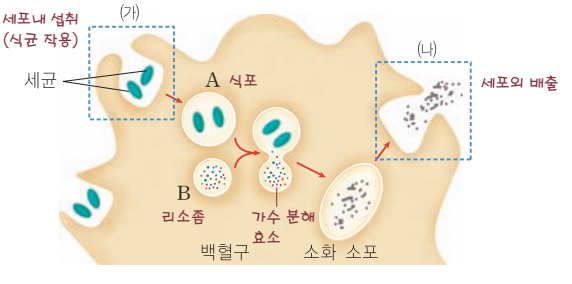
② A는 세포막의 일부가 떨어져 나온 것이므로, 세포막과 마찬가지로 단일막 구조이다.

③ (가)와 같은 세포내 섭취와 (나)와 같은 세포외 배출 과정은 능동 수송과 마찬가지로 ATP 에너지를 필요로 한다.

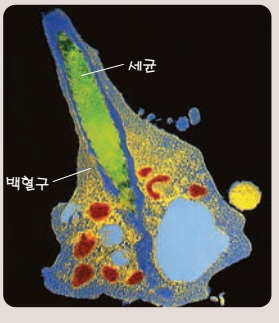
⑤ 단백질과 같은 고분자 물질이나 고형물 먹이 등은 (가), (나)와 같이 세포막 자체가 변형되는 방식으로 세포막을 드나든다.

오답 피하기

④ (가)에서는 세포막의 일부가 A의 막으로 되므로 세포막의 면적이 줄어들고, (나)에서는 소화 소포의 막이 세포막의 일부로 되므로 세포막의 면적이 늘어난다.



백혈구의 식균 작용



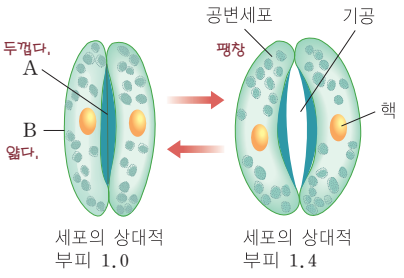
09 ③ ㄱ. (가)의 그림에서 알 수 있듯이 공변세포의 부피가 커지면 공변세포가 기공 반대쪽으로 휘게 되어 기공이 열린다. 따라서 삼투압과 팽압이 같을 때, 즉 공변세포의 부피가 최대일 때 기공은 최대로 열린다.

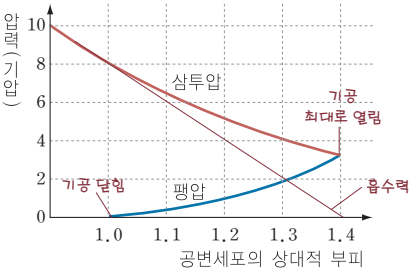
ㄹ. 공변세포의 부피가 커질 때 기공이 열리는 것은 공변세포가 기공 반대쪽으로 휘어지기 때문이다. 이것은 구조적으로 공변세포의 A 쪽(기공 쪽) 세포벽보다 B 쪽(기공 반대쪽)의 세포벽이 더 얇아서, 공변세포의 부피가 커지면 A 쪽보다 B 쪽의 세포벽이 더 많이 늘어나기 때문이다.

오답 피하기

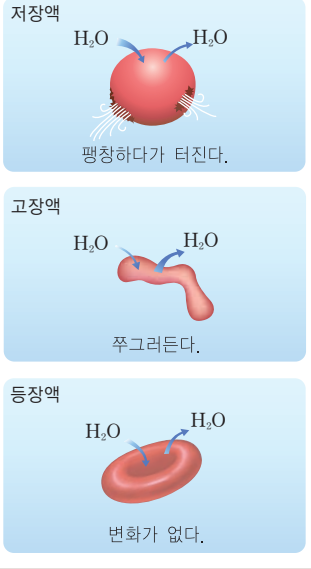
ㄴ. 흡수력은 삼투압에서 팽압을 뺀 값으로 공변세포의 상대적 부피가 커질 때 줄어든다. 따라서 세포의 상대적 부피가 커져 공변세포의 흡수력이 줄어들 때 기공이 크게 열린다.

ㄷ. 원형질 분리는 세포의 상대적 부피가 1.0보다 작을 때 일어나므로, 공변세포에서 원형질 분리가 일어날 때 기공은 오히려 닫힌다.





적혈구에서의 삼투 현상



10 ① ㄱ. (나)에서 개구리의 등장액에 넣은 사람의 적혈구는 팽창하였으므로, 개구리의 등장액은 사람 적혈구보다 농도가 낮다고 볼 수 있다. 그런데 사람의 혈장과 등장액인 NaCl의 농도가 0.85%이므로, 혈장과 등장액인 NaCl 용액의 농도가 이보다 낮은 0.62% 즉, C가 개구리이다.

ㄴ. (나)에서 갈치의 등장액에 넣은 사람의 적혈구는 쭈그러들었고 오리의 등장액에 넣은 사람의 적혈구는 원래 모습을 유지하였다. 이는 갈치의 등장액은 사람의 적혈구보다 농도가 높고 오리의 등장액은 사람의 적혈구와 농도가 거의 같다는 것을 의미하므로, (가)에서 B가 갈치이고 A가 오리임을 알 수 있다. 따라서 갈치의 적혈구를 오리의 등장액에 넣으면 갈치의 적혈구가 물을 흡수하여 부풀어 오를 것이다.

ㄷ. 갈치의 혈장과 등장액인 NaCl 용액의 농도는 1.40%이고 개구리의 혈장과 등장액인 NaCl 용액의 농도는 0.62%이므로, 갈치의 혈장 삼투압은 개구리의 혈장 삼투압의 약 2.3배이다.

오답 피하기

ㄹ. 개구리의 적혈구는 갈치의 등장액보다 농도가 크게 낮으므로 개구리의 적혈구를 갈치의 등장액에 넣으면 개구리의 적혈구는 물이 빠져나가 쭈그러들 것이다.

11 ⑤ ㄷ. ATP를 첨가하지 않았다면 Na^+-K^+ 펌프에 의한 능동 수송이 일어나지 않아 Na^+과 K^+의 농도는 세포 안과 밖이 똑같이 유지되어 이들 물질의 농도 변화는 일어나지 않았을 것이다.

ㄹ. Na^+-K^+ 펌프는 농도 기울기를 거슬러 Na^+과 K^+을 이동시키는 능동 수송을 하므로, 적혈구나 신경 세포와 같은 동물 세포에서 세포 안팎의 Na^+과 K^+의 농도 차를 유지하는 수단이 된다.

오답 피하기

ㄱ. Na^+-K^+ 펌프는 Na^+과 K^+을 서로 반대 방향으로 이동시킨다. 따라서 인공 세포 내부의 Na^+ 농도가 감소하였다면, 인공 세포 내부의 K^+ 농도는 증가하였을 것이다.

ㄴ. 촉진 확산은 농도 기울기에 따라 물질을 이동시키므로 농도 차를 형성하지 않는다.

12 ③ ㄱ. III단계에 이어지는 IV단계에서 포도당을 공급하자 적혈구와 혈장 사이의 Na^+과 K^+의 농도 차가 확대된 사실에서 포도당이 능동 수송에 필요한 ATP를 공급하는 수단으로, 즉 세포 호흡의 기질로 이용됨을 알 수 있다.

ㄷ. II단계 처리 결과 적혈구와 혈장 사이의 Na^+과 K^+의 농도 차가 현저히 줄어든 까닭은 0℃에서는 효소 활성이 저하되어 세포 호흡을 통한 ATP 공급이 억제되므로 능동 수송이 정상적으로 일어나지 않았기 때문이다.

ㄹ. III단계에서 온도를 0℃에서 37℃로 올리자 적혈구와 혈장 사이의 Na^+과 K^+의 농도 차가 II단계에서보다 확대되었다. 이는 III단계에서 세포 호흡을 통한 ATP 공급이 일어났고, 이를 이용한 능동 수송이 일어났음을 보여 준다. 또, 이어지는 IV단계에서는

포도당까지 공급되자 세포 호흡을 통한 ATP 공급과 ATP를 이용한 능동 수송이 원활해져 적혈구와 혈장 사이의 Na^+과 K^+의 농도 차가 채취한 직후 혈액에서의 차이에 근접해 가고 있다.

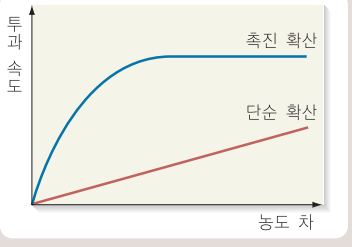
오답 피하기

ㄴ. 채취한 직후의 혈액과 II단계를 비교해 보면, 포도당을 공급하지 않고 0℃에서 세포 호흡이 억제되어도 Na^+이 적혈구 안으로 대량 들어온 것을 알 수 있다. 이는 적혈구에서 Na^+을 세포 안으로 이동시킬 때 에너지를 소비하지 않음을 보여 준다.

서술 · 논술형 문제

03. 세포막을 통한 물질의 출입 pp.084~085

농도 차에 따른 투과 속도



초기 투과 속도는 막 단백질을 통과하는 촉진 확산이 단순 확산보다 빠르게 증가한다. 그러나 단순 확산은 농도 차가 클수록 투과 속도가 계속 증가하는 반면, 촉진 확산은 막 단백질이 포화되면 더 이상 투과 속도가 증가하지 않는다.

1. 단순 확산+촉진 확산

모범 답안 | (1) ㈎의 A에서는 포도당이 단순 확산에 의해 이동하고, B에서는 촉진 확산에 의해 이동한다.

(2) 포도당이 촉진 확산될 때 통로 역할을 하는 막 단백질의 수가 한정되어 있어 막 단백질이 포도당으로 포화되면 포도당 분자의 이동 속도는 더 이상 증가하지 않는다.

알짜 풀이 | (1) ㈎의 A 장치에서는 포도당이 농도가 높은 왼쪽에서 농도가 낮은 오른쪽으로 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하고, B 장치에서는 농도가 높은 왼쪽에서 농도가 낮은 오른쪽으로 포도당이 막 단백질을 통해 이동한다. 따라서 ㈎의 A 장치에서 포도당이 이동하는 방식은 단순 확산이고, B 장치에서 포도당이 이동하는 방식은 촉진 확산이다.

(2) ㈎의 B 장치에서는 포도당이 촉진 확산의 통로 역할을 하는 막 단백질을 통해 막을 통과한다. 그런데 막 단백질의 수는 한정되어 있다. 그 때문에 왼쪽에 넣는 포도당 용액의 농도를 높여 양쪽 포도당 용액의 농도 차를 증가시키면 막 단백질이 이동하려는 포도당 분자로 포화되기 전까지는 포도당 분자의 이동 속도가 증가하지만, 막 단백질이 포화되면 포도당 분자의 이동 속도는 더 이상 증가하지 않고 일정 수준으로 유지된다.

2. 삼투의 원리

모범 답안 | 고농도 용액에서는 저농도 용액에서보다 더 많은 물 분자가 반투과성 막을 통과하지 못하는 용질 분자에 결합하게 된다. 따라서 저농도 용액에서 고농도 용액 쪽으로 이동하는 물 분자의 수가 그 반대 방향으로 이동하는 물 분자의 수보다 많아지기 때문에 결과적으로 저농도 용액에서 고농도 용액 쪽으로 물이 이동하게 된다.

알짜 풀이 | 물 분자들은 크기가 작아 반투과성 막을 통과할 수 있지만 용질 분자는 분자의 크기가 커서 반투과성 막을 통과하지 못한다. 그리고 용질 분자에 결합한 물 분자들도 반투과성 막을 통과하지 못한다. 그런데 고농도 용액에서는 저농도 용액에서보다 더 많은 물 분자가 용질 분자에 결합하게 되고, 그로 인해 고농도 용액에서 저농도 용액 쪽으로 반투과성 막을 통과하는 물 분자의 수보다 저농도 용액에서 고농도 용액 쪽으로 반투과성 막을 통과하는 물 분자의 수가 더 많아진다. 그 결과 전체적으로는 삼투가 일어날 때 저농도 용액에서 고농도 용액 쪽으로 물이 이동하게 된다.

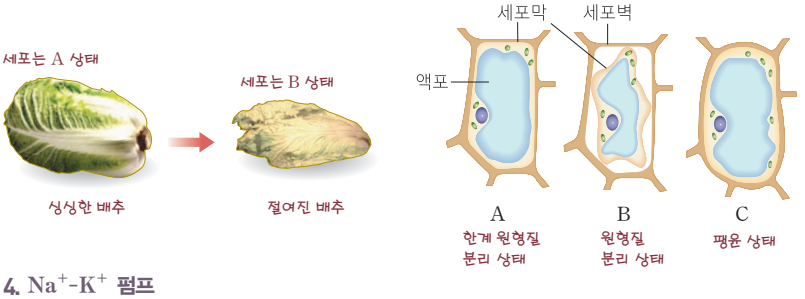
3. 삼투의 원리 + 식물 세포에서의 삼투 현상

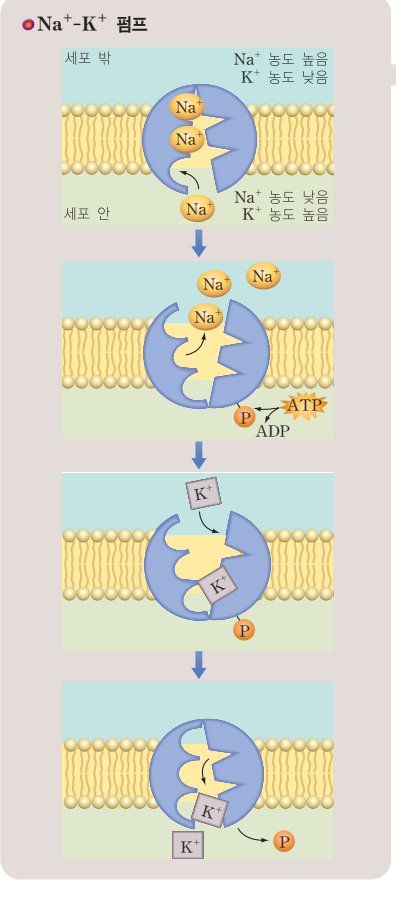
모범 답안 | (1) 배추에 소금을 뿌리면 삼투에 의해 배추 세포 속의 물이 빠져나가기 때문에 배추의 숨이 죽고 조직이 부드러워진다.

(2) 삼투에 의해 배추 세포 속의 물이 빠져나가면 배추 세포는 수축하여 세포막이 세포벽으로부터 떨어진 (나)의 B와 같은 원형질 분리 상태로 된다. 이때 배추 세포에서 빠져나간 물은 주로 액포 속에 있던 것이므로 액포의 크기도 함께 작아진다.

알짜 풀이 | (1) 배추에 소금을 뿌리면 배추 세포의 바깥쪽이 배추 세포 안쪽보다 농도가 높아지므로 삼투에 의해 배추 세포 속의 물이 세포 바깥쪽으로 빠져나간다. 그 결과, 배추의 숨이 죽고 배추는 절인 상태로 된다.

(2) (나)의 A는 배추 세포가 한계 원형질 분리 상태일 때로 싱싱한 배추에서 관찰되는 세포이고, B는 원형질이 분리된 상태로 절인 배추에서 관찰되는 세포이다. C는 팽윤 상태로 배추 세포가 물을 흡수하여 팽창한 상태이다. 배추를 절일 때 삼투에 의해 배추 세포 속의 물이 빠져나가면 배추 세포는 (나)의 B와 같은 원형질 분리 상태로 된다. 그리고 배추 세포에서 빠져나간 물은 주로 액포 속에 있던 것이므로 액포의 크기도 작아진다.





4. Na^+-K^+ 펌프

모범 답안 | (1) 살아 있는 파래에서는 능동 수송에 의해 Na^+을 세포 밖으로 이동시키고 K^+을 세포 안으로 이동시킴으로써 세포 내외의 Na^+과 K^+의 농도 차를 유지한다.

(2) 죽은 파래에서는 세포 호흡을 통한 ATP 공급이 중단되어 능동 수송은 일어나지 못하고 확산만 일어나기 때문에 세포 내 Na^+과 K^+ 농도가 바닷물과 같아진다.

(3) 대사 억제제를 투여하면 세포 호흡이 억제되어 ATP가 공급되지 않게 된다. 그로 인해 능동 수송은 일어나지 못하고 확산만 일어나기 때문에 세포 내 Na^+의 농도는 증가하고 K^+ 농도는 감소하게 된다.

알짜 풀이 | (1) 살아 있는 파래에서 Na^+ 농도는 0.21%로 바닷물에서의 Na^+ 농도인 1.09%보다 크게 낮고, K^+ 농도는 2.01%로 바닷물에서의 K^+ 농도인 0.05%보다 크게 높다. 이와 같은 세포 내외의 Na^+과 K^+의 농도 차를 유지하려면 Na^+-K^+ 펌프를 이용한 능동 수송에 의해 Na^+은 지속적으로 세포 밖으로 퍼 내고 K^+은 지속적으로 세포 안으로 들여와야 한다.

(2) 죽은 파래에서는 세포 호흡이 일어나지 못해 ATP 생성이 중단된다. ATP가 공급되지 못하면 세포 내외의 Na^+과 K^+의 농도 차를 유지하던 수단인 능동 수송이 일어나지 못한다. 능동 수송은 일어나지 못하지만 확산은 그대로 일어나기 때문에 확산에 의해 Na^+은 세포 안으로 들어오고 K^+은 세포 밖으로 나가 세포 내 Na^+과 K^+의 농도는 결국 바닷물과 같아진다.

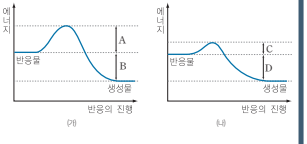
(3) 대사 억제제를 투여하면 세포 호흡이 억제되어 ATP 생성이 중단된다. ATP가 공급되지 못하면 능동 수송은 일어나지 못하지만 확산은 그대로 일어나므로 확산에 의해 Na^+은 세포 안으로 들어오고 K^+은 세포 밖으로 나가 죽은 파래와 같이 세포 내외의 Na^+과 K^+의 농도 차는 점차 줄어들다가 결국 같아진다.

04 효소

개념 체크 p.097

A 효소의 기능

그림 (가)와 (나)는 효소가 있을 때와 효소가 없을 때 반응의 진행에 따른 에너지 수준의 변화를 나타낸 것이다.

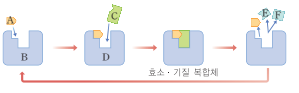


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)와 (나) 중 효소가 있을 때의 반응을 나타낸 것은 (나)이다. (○)
2. 효소가 있을 때의 활성화 에너지는 C+D이다. (×)
3. 진행되는 화학 반응은 에너지가 흡수되는 흡열 반응이다. (×)
4. A~D 중 반응열을 나타낸 것은 B와 D이다. (○)
5. 효소는 생물체 내에서 활성화 에너지를 낮추어 반응을 촉진한다. (○)
6. 한 종류의 효소는 유사한 몇몇 종류의 기질에 작용한다. (×)

B 효소의 구성

그림은 단백질과 보조 인자로 구성된 효소에 의해 반응이 진행되는 과정을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A는 보조 인자이고 B는 조효소이며, A와 B가 결합한 D는 주효소이다. (×)
2. A는 무기 이온과 조효소의 두 종류로 크게 구분한다. (○)
3. A의 성분은 금속 이온이거나 비타민과 같은 유기 화합물이고, B의 성분은 단백질이다. (○)
4. 보조 인자 중 특별히 효소와 매우 강하게 결합되어 있어 영구적으로 분리되지 않는 것을 조효소라고 한다. (×)
5. 진행된 화학 반응의 반응식은 'A+C ⟶ E+F'이다. (×)
6. 반응이 진행되면 에너지가 방출된다. (○)

C 효소의 종류

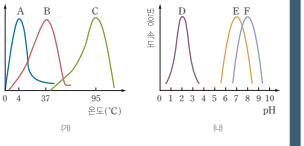
그림 (가)~(마)는 각각의 효소군이 촉매하는 반응을 모식적으로 나타낸 것이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)에서 X는 산화되고 Y는 환원되므로, (가) 반응을 촉매하는 효소군의 종류는 산화 환원 효소이다. (○)
2. (나)에서 Z가 아미노기라면, (나) 반응을 촉매하는 효소는 아미노기 전이 효소가 된다. (○)
3. (다)와 (라) 반응을 촉매하는 효소는 둘 다 가수 분해 효소이다. (×)
4. (마) 반응은 기질 분자 내에서 원자의 위치만 바꾸어 분자 구조를 변화시킨 것이므로, (마) 반응을 촉매하는 효소는 전이 효소이다. (×)

D 효소의 작용에 영향을 미치는 요인

그림 (가)는 세 종류의 생물이 가진 효소의 반응 속도를 온도에 따라 나타낸 것이고, (나)는 사람의 소화 기관에서 작용하는 세 가지 효소의 pH에 따른 반응 속도 변화를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A와 C 효소를 37℃ 정도에 두었다가 다시 각 효소의 최적 온도로 맞추면 A와 C 둘 다 높은 활성을 나타낸다. (×)
2. C는 온천수와 같은 극한의 환경에 서식하는 생물의 효소이다. (○)
3. 펩신의 활성을 나타낸 그래프는 D이다. (○)
4. E는 소장에서 작용하는 효소이다. (×)
5. F는 약한 염기성에서 최대 활성을 나타낸다. (○)

A 효소의 기능

01 효소의 작용으로 활성화 에너지가 낮아지므로 (가)와 (나) 중 효소가 있을 때 반응에 따른 에너지 수준의 변화를 나타낸 것은 (나)이다.

02 활성화 에너지는 반응을 일으키기 위해 필요한 최소한의 에너지이므로, 효소가 있을 때의 활성화 에너지를 나타낸 것은 C이다.

03 반응물의 에너지 수준보다 생성물의 에너지 수준이 낮으므로 진행되는 화학 반응은 발열 반응이다.

04 반응열은 화학 반응이 일어날 때 방출 또는 흡수되는 열량, 즉 반응물과 생성물의 에너지 차이이므로 A~D 중 반응열을 나타낸 것은 B와 D이다.

05 효소는 생물체 내에서 활성화 에너지를 낮추어 반응을 촉진하는 촉매 역할을 한다.

06 한 종류의 효소는 한 종류의 기질에만 작용하는 기질 특이성을 나타낸다.

B 효소의 구성

01 B는 효소의 단백질 부분으로 주효소이고, A는 비단백질 부분으로 보조 인자이다. A와 B가 결합하여 완전한 활성을 갖는 전효소 D를 구성한다.

02 보조 인자인 A는 크게 무기 이온과 조효소의 두 종류가 있다.

03 보조 인자인 A의 성분 중 무기 이온은 Fe^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}과 같은 금속 이온이고 조효소는 비타민과 같은 유기물 분자이다. 그리고 주효소인 B의 성분은 단백질이다.

04 보조 인자 중 특별히 효소와 매우 강하게 결합되어 있어 영구적으로 분리되지 않는 것을 보결족이라고 한다. 조효소는 주효소의 활성 부위에 일시적으로 결합하여 활성 부위 형성을 돕는다.

05 반응식은 '반응물 ⟶ 생성물'로 나타내므로, 'C ⟶ E+F'로 나타낼 수 있다.

06 C가 E와 F로 분해되는 반응이므로 에너지가 방출된다.

C 효소의 종류

01 (가)에서는 X에 결합해 있던 수소가 Y로 이동하므로, 수소가 떨어져나간 X는 산화되고 수소를 얻은 Y는 환원되는 산화 환원 반응이 일어난 것이다. 따라서 (가) 반응을 촉매하는 효소군의 종류는 산화 환원 효소이다.

02 (나)에서 Z가 아미노기라면 아미노기를 특정 기질인 X−Z에서 다른 기질인 Y로 옮겨 주는 아미노기 전이 반응이 일어난 것이다. 따라서 (나) 반응을 촉매하는 효소는 아미노기 전이 효소가 된다.

03 (다)에서는 물 분자를 첨가하여 기질을 분해하므로 (다) 반응을 촉매하는 효소는 가수 분해 효소이다. 그러나 (라)에서는 물 분자를 첨가하지 않고 X−Y가 X와 Y로 분해되므로 (라) 반응을 촉매하는 효소는 가수 분해 효소가 아니라 분해 · 부가 효소이다.

04 (마)에서는 기질 분자 내에서 원자의 위치만 바꾸어 분자 구조가 다른 이성질체로 전환시키는 반응이 일어났다고 했으므로 (마) 반응을 촉매하는 효소는 이성질화 효소이다.

D 효소의 작용에 영향을 미치는 요인

01 37℃는 A 효소의 최적 온도보다는 높고, C 효소의 최적 온도보다는 낮은 온도이다. 따라서 37℃에 두었다가 다시 최적 온도로 맞추면 C 효소는 높은 활성을 나타내겠지만, A 효소는 효소를 구성하는 단백질이 최적 온도보다 높은 37℃에서 고온 변성되기 때문에 활성이 회복되지 않는다.

02 C 효소의 최적 온도는 95℃로 매우 높다. 따라서 이는 온천수와 같은 극한의 환경에서 생활하는 생물의 효소일 것이다.

03 펩신은 강한 산성인 위에서 작용하는 소화 효소이므로, 펩신의 활성을 나타낸 그래프는 최적 pH가 2인 D이다.

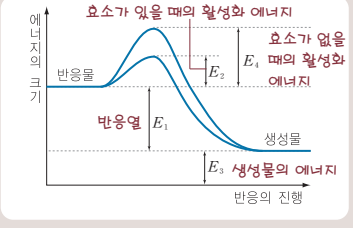
04 E는 최적 pH가 7이므로 소장이 아니라 입에서 작용하는 효소이고, 최적 pH가 8인 F가 소장에서 작용하는 효소이다.

05 F는 최적 pH가 8이므로 약한 염기성에서 최대 활성을 나타낸다.

개념 확인 문제 pp.098~101

01. ① 02. ③ 03. ① 04. ㄴ, ㄹ, ㅂ 05. ① 06. 활성 부위
07. $B+H_2O \rightarrow C+D$ 08. ④ 09. ㉠ 단백질, ㉡ 활성 부위, ㉢ 기질 특이성
10. A : ㄹ, B : ㅁ, C : ㄷ, D : ㄱ, E : ㅂ, F : ㄴ 11. (1) ㄷ (2) ㄱ (3) ㅁ (4) ㄹ (5) ㅂ (6) ㄴ
12. (1) ㄱ (2) ㅂ 13. ㄷ 14. 조효소 15. ④ 16. A : 기질, B : 생성물, C : 효소 · 기질 복합체, D : 효소 17. ③, ① 18. ③ 19. ④ 20. ②
21. ⑤ 22. A : ㄱ, ㄴ, ㅁ, B : ㄷ, ㄹ 23. A : ①, B : ③ 24. ② 25. ①

효소가 없을 때와 있을 때의 활성화 에너지

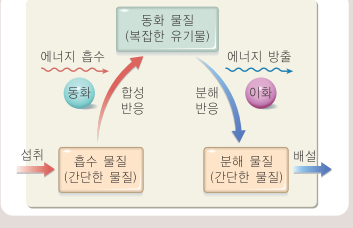


01 ① 활성화 에너지는 반응 분자들이 화학 반응을 일으키기 위해 필요한 최소한의 에너지이므로 활성화 에너지를 나타낸 것은 E_2와 E_4이고, 효소의 작용으로 활성화 에너지가 낮아지므로 효소가 있을 때의 활성화 에너지를 나타낸 것은 E_2이다. E_4는 효소가 없을 때의 활성화 에너지를 나타낸 것이다.

02 ③ 효소가 있는 조건에서 역반응이 진행될 때의 활성화 에너지는 정반응의 활성화 에너지인 E_2에 반응물과 생성물의 에너지 차이인 E_1을 더한 값 즉, 'E_1+E_2'이다.

03 ① 반응이 진행될 때는 반응물과 생성물의 에너지 차이만큼의 에너지가 방출되거나 흡수된다. 그림에 제시된 반응의 경우 반응물의 에너지가 생성물의 에너지보다 크기 때문에 반응이 진행되면 반응물의 에너지 크기에서 생성물의 에너지 크기를 뺀 값에 해당하는 E_1만큼의 에너지가 방출되는데, 이것이 반응열이다.

물질대사



- 동화 작용 : 합성 반응, 흡열 반응 예 광합성, 단백질 합성
- 이화 작용 : 분해 반응, 발열 반응 예 호흡, 소화

04 ㄴ, ㄹ, ㅂ

그림에 제시된 반응은 E_1만큼의 에너지가 방출되므로 흡열 반응과 발열 반응 중 발열 반응에 해당한다. 동화 작용과 이화 작용 중 발열 반응에 해당하는 것은 이화 작용이고, 이화 작용은 합성 반응과 분해 반응 중 분해 반응에 해당한다.

05 ① 효소는 촉매로 작용한 다음 반응이 끝나면 다시 회복되므로, A~D 중 효소를 나타낸 것은 A이다. 그리고 기질에 해당하는 것은 효소 A에 결합하여 분해되는 B이다.

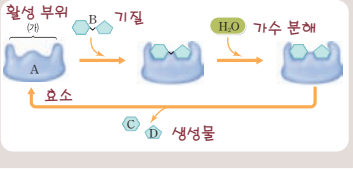
06 활성 부위

기질이 효소에 결합하는 부분을 활성 부위라고 하는데, 기질 B가 결합하는 효소 A의 ㈎ 부위가 이에 해당한다.

07 $B+H_2O \longrightarrow C+D$

A가 효소, B가 기질(반응물), C와 D가 생성물이고 H_2O가 가해지므로, B가 C와 D로 가수 분해되는 반응이 진행되는 것이다. 따라서 반응식은 $B+H_2O \longrightarrow C+D$이다.

효소의 촉매 주기

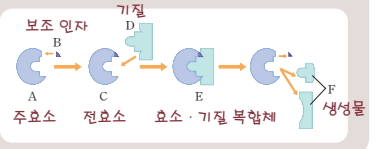


08 ④ 그림에 제시된 반응은 물 분자가 첨가되어 기질이 분해되는 가수 분해 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 가수 분해 효소이다.

09 ㉠ 단백질, ㉡ 활성 부위, ㉢ 기질 특이성

효소의 주성분은 단백질로서 독특한 입체 구조를 지닌다. 그리고 기질이 효소에 결합하는 부분을 활성 부위라고 하는데, 효소는 효소의 활성 부위와 구조가 들어맞는 기질하고만 결합할 수 있다. 따라서 한 종류의 효소는 한 종류의 기질에만 작용하는데, 이와 같은 효소의 성질을 기질 특이성이라고 한다.

효소의 작용



10 A : ㄹ, B : ㅁ, C : ㄷ, D : ㄱ, E : ㅂ, F : ㄴ

반응이 진행되면서 다시 회복되지 않는 것은 D이다. 따라서 그림은 기질(반응물)인 D가 생성물인 F로 되는 반응을 나타낸 것이다. 이때, 기질인 D와 결합하여 작용하는 C는 전효소이며, 전효소 C의 주요 부분을 구성하는 A가 주효소이고 이것에 결합하여 전효소의 활성이 나타나게 해 주는 B가 보조 인자이다. 그리고 E는 효소에 기질이 결합한 효소 · 기질 복합체이다.

11 (1) ㄷ (2) ㄱ (3) ㅁ (4) ㄹ (5) ㅂ (6) ㄴ

(1) 물 분자를 첨가하여 기질을 분해하는 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 가수 분해 효소에 속한다.

(2) A에 결합해 있던 작용기 B를 C에 옮겨 주는 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 전이 효소에 속한다.

(3) A에 결합해 있던 수소를 B로 이동시키는 산화 환원 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 산화 환원 효소에 속한다.

(4) 기질 분자 내에서 원자의 위치만 바꾸어 분자 구조가 다른 이성질체로 전환하는 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 이성질화 효소에 속한다.

(5) 가수 분해나 산화에 의하지 않고 기질 분자에서 어떤 원자단을 떼어 내어 분해하는 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 분해 · 부가 효소에 속한다.

(6) ATP로부터 인산기를 떼어 낼 때 방출되는 에너지를 이용하여 두 개의 기질 분자를 연결시키는 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 합성 효소에 속한다.

12 (1) ㄱ (2) ㅂ

(1) ATP에 있던 인산기 중 1개를 크레아틴으로 옮겨 주는 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 전이 효소에 속한다.

(2) 산화 환원에 의하지 않고 기질 분자인 피루브산으로부터 원자단인 CO_2를 떼어 내서 아세트알데하이드로 만드는 반응이므로, 이 반응을 촉매하는 효소는 분해 · 부가 효소이다.

트라이글리세라이드의 소화

예전에는 라이페이스에 의해 지방(트라이글리세라이드)이 글리세롤 1분자와 지방산 3분자로 소화되는 것으로 보았지만, 현재는 지방이 모노글리세라이드 1분자와 지방산 2분자로 소화되는 것으로 보고 있다.

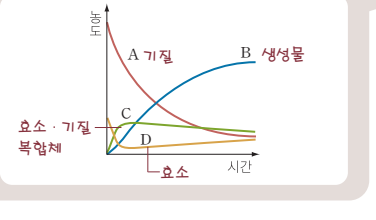
13 ㄷ 트라이글리세라이드는 글리세롤 1분자에 지방산 3분자가 결합하여 만들어진 물질이다. 그림의 반응에서는 H_2O 2분자를 첨가하여 트라이글리세라이드를 모노글리세라이드와 지방산 2분자로 분해하고 있다. 따라서 그림의 반응을 촉매하는 효소인 라이페이스는 가수 분해 효소에 속한다.

14 조효소

알코올 탈수소 효소의 주효소 부분에 일시적으로 결합해 있던 NAD^+처럼 주효소의 활성 부위 형성을 돕고 반응하는 동안 기질에서 떨어져 나온 전자나 원자를 수용하여 다른 물질이나 효소에 전달하는 기능을 하는 유기물 분자를 조효소라고 한다.

15 ④ 알코올 탈수소 효소에 의해 진행되는 화학 반응은 알코올에 있던 수소를 이탈시켜 NAD^+에 이동시키는 산화 환원 반응이므로 알코올 탈수소 효소와 같은 탈수소 효소는 산화 환원 효소에 속한다.

화학 반응에서의 농도 변화



16 A : 기질, B : 생성물, C : 효소 · 기질 복합체, D : 효소

시간이 경과함에 따라 농도가 지속적으로 감소하는 A가 기질의 농도 변화를 나타낸 것이고, 농도가 지속적으로 증가하는 B가 생성물의 농도 변화를 나타낸 것이다. 그리고 초기에는 기질과 결합하여 효소 · 기질 복합체를 형성하느라 농도가 감소하였다가 시간이 더 경과하면서 기질의 농도가 감소함에 따라 그 농도가 차츰 회복되는 D가 효소의 농도 변화를 나타낸 것이고, 초기에는 효소와 기질의 결합으로 농도가 증가하였다가 시간이

더 경과하면서 기질의 농도가 감소함에 따라 그 농도가 차츰 감소하는 C는 효소 · 기질 복합체의 농도 변화를 나타낸 것이다.

17 ③, ①

효소의 농도가 일정할 때 기질의 농도를 증가시키면 처음에는 반응 속도가 증가하지만 제한된 양의 효소가 모두 기질로 포화되면 반응 속도는 더 이상 증가하지 않는다. 따라서 효소의 농도가 일정할 때 기질의 농도 변화에 따른 반응 속도의 변화를 나타낸 그래프는 ③이다. 한편, 기질이 충분하면 효소의 농도가 증가할수록 반응 속도도 증가한다. 따라서 충분한 양의 기질이 있을 때 효소의 농도 변화에 따른 반응 속도의 변화를 나타낸 그래프는 ①이다.

18 ③ 효소 농도가 높을수록 반응은 더 빠르게 진행된다. 따라서 효소 농도가 a일 때보다 2a일 때 생성물은 더 빠르게 증가한다. 한편, 일정량의 기질은 결국 모두 생성물로 바뀌게 되므로 최종적으로 생성물의 총량은 같다. 이를 종합하면 ③과 같은 그래프가 된다.

19 ④ 효소에 의해 진행되는 반응이 최대 반응 속도에 도달하였을 때의 온도를 최적 온도라고 한다. 제시된 그래프에서 효소에 의한 반응의 속도는 30~40℃에서 가장 높게 나타나고 있다. 따라서 이 효소의 최적 온도 범위는 30~40℃이다.

20 ② 온도가 40℃를 넘으면서부터 반응 속도가 급격히 느려지는 까닭은 효소를 구성하는 단백질이 점차 열에 의해 변성되어 효소의 입체 구조가 변형되기 때문이다. 효소의 활성 부위가 변형되면 기질과 결합할 수 없으므로 촉매 작용을 할 수 없게 된다.

극한 미생물의 이용

화산 지대에 사는 극한 미생물의 효소는 끓는 물이나 강한 산성에서도 활성을 잃지 않아 극한 효소라고 부르는데, 이 효소 중에서 지방을 분해하는 효소인 라이페이스의 일종은 끓는 물속에서도 지방을 효과적으로 분해하므로 무공해 세제로 활용되고 있다.

21 ⑤ ㄴ. 효소에 의한 화학 반응의 속도는 70~80℃에서 가장 높게 나타나므로, 이 효소의 최적 온도는 70~80℃이다.

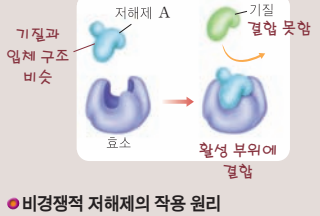
ㄹ. 이 효소는 최적 온도가 매우 높으므로 뜨거운 물에서 작용하는 효소 세제로 활용할 수 있다.

오답 피하기

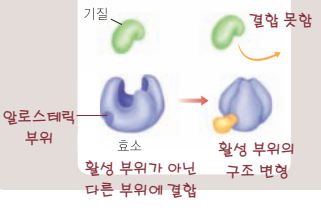
ㄱ. 효소에 의한 화학 반응의 속도는 중성인 pH 7 부근에서 최대로 나타나므로, 이 효소의 최적 pH는 7 정도이다.

ㄷ. 이 효소의 최적 온도는 70~80℃이므로 사람의 체온(약 37℃)보다 온도가 높아져도 70~80℃에 도달할 때까지는 구조가 변하지 않는다.

경쟁적 저해제의 작용 원리



비경쟁적 저해제의 작용 원리



22 A : ㄱ, ㄴ, ㅁ, B : ㄷ, ㄹ

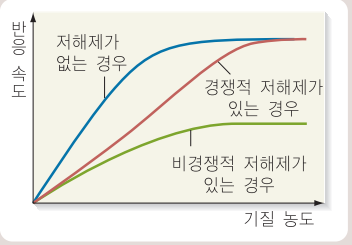
ㄱ, ㄴ, ㅁ. 저해제 A는 기질과 입체 구조가 비슷하여 효소의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합함으로써 효소의 활성을 저해하는 경쟁적 저해제이다. 경쟁적 저해제는 기질의 농도가 낮은 경우에는 저해 효과가 크지만, 기질의 농도가 높아지면 저해 효과가 약해진다.

ㄷ, ㄹ. 저해제 B는 기질과 입체 구조는 다르지만 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성 부위의 구조를 변화시킴으로써 활성 부위에 기질이 결합하는 것을 막는 비경쟁적 저해제이다. 비경쟁적 저해제의 저해 효과는 기질의 농도가 높아져도 약해지거나 사라지지 않는다.

23 A : ①, B : ③

① 경쟁적 저해제인 A는 효소의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합하는 방식으로 효소의 활성을 저해한다. 이런 경우 기질의 농도가 높아지면 저해 효과가 감소한다. 따라서 저해제가 없을 경우에 비해 기질 농도에 따라 반응 속도가 증가하는 정도는 느리지만 최대 반응 속도는 동일한 ①이 저해제가 A일 경우에 해당하는 그래프이다.

저해제가 있을 때의 최대 반응 속도



기질의 농도가 높아지면 경쟁적 저해제의 저해 효과는 약해지지만, 비경쟁적 저해제의 저해 효과는 유지된다. 그로 인해 경쟁적 저해제가 있을 때 최대 반응 속도는 저해제가 없을 때와 같지만, 비경쟁적 저해제가 있을 때 최대 반응 속도는 저해제가 없을 때에 비해 낮다.

③ 비경쟁적 저해제인 B는 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성 부위의 구조를 변화시킴으로써 효소의 활성을 저해한다. 이런 경우 기질의 농도가 증가하더라도 저해 효과가 감소하지 않는다. 따라서 저해제가 없을 경우에 비해 기질 농도에 따라 반응 속도가 증가하는 정도가 느리고 최대 반응 속도도 낮은 ③이 저해제가 B일 경우에 해당하는 그래프이다.

24 ② 카복시펩티데이스는 무기 이온인 Zn^{2+}이 있어야 활성을 나타내므로 단백질과 보조 인자로 구성된 효소이다. 카복시펩티데이스에서 Zn^{2+}을 제외한 나머지 부분은 단백질 성분인 주효소이고 Zn^{2+}은 비단백질 성분의 보조 인자 이다. 보조 인자인 Zn^{2+}은 금속 이온이기 때문에 저분자성이고 열에 강하지만, 주효소에 해당하는 부분은 단백질 성분이기 때문에 고분자성이고 열에 약하다. 그리고 주효소에 해당하는 부분과 보조 인자인 Zn^{2+}은 둘 다 반응 후 회복된다.

오답 피하기

② 카복시펩티데이스에서 Zn^{2+}이 결합하지 않은 나머지 부분은 전효소가 아니라 주효소이다.

25 ① ② 간 속에는 과산화수소를 물과 산소로 분해하는 효소인 카탈레이스가 들어 있다.

③ A와 D를 비교해 보면 생간을 넣으면 과산화수소가 분해되어 기체가 발생하지만 삶은 간을 넣으면 과산화수소가 분해되지 않음을 알 수 있다. 이는 간에 있는 효소인 카탈레이스가 가열하면 기능을 상실하기 때문이다.

④ A, B, C를 비교해 보면 HCl이나 NaOH을 넣어 산성이나 염기성을 띠게 된 B나 C에서보다 중성인 A에서 더 많은 기체가 발생하였다. 이로부터 간에 있는 효소는 중성에서 높은 활성을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

⑤ A, B, C의 결과를 비교해 보면 간에 있는 효소의 활성은 중성에서 가장 크다는 것을 알 수 있고, A와 D의 결과를 비교해 보면 간에 있는 효소는 37℃에서 활발하게 작용하는 반면 고온에서는 변성된다는 것을 알 수 있다. 즉, 간에 있는 효소의 활성은 온도와 pH의 영향을 받는다.

오답 피하기

① 과산화수소는 카탈레이스의 작용으로 물과 산소로 분해된다($2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$). 따라서 발생한 기체의 성분은 O_2이다.

개념 활용 문제

pp.102~107

01. ①	02. ①	03. ④	04. ④	05. ②	06. ⑤	07. ③
08. ③	09. ②	10. ⑤	11. ②	12. ③		

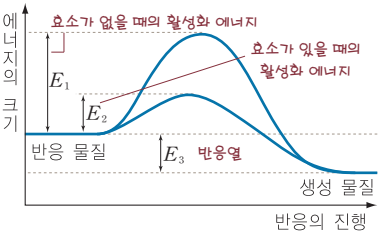
01 ① ㄱ. E_1이 효소가 없을 때의 활성화 에너지이고, E_2는 효소가 있을 때의 활성화 에너지이다. 따라서 효소는 활성화 에너지를 E_1에서 E_2로 낮춘다고 볼 수 있다.

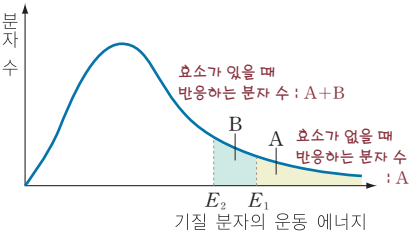
ㄴ. E_3는 반응열로 반응물과 생성물의 에너지 차이에 해당하므로 효소의 유무에 관계없이 일정하다.

ㄷ. 효소의 작용으로 활성화 에너지가 E_1에서 E_2로 낮아지면, 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가지고 있어 반응을 일으킬 수 있는 기질 분자의 수가 A에서 'A+B'로 증가한다. 즉, 효소가 없을 때에 비해 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 B만큼 늘어나 반응이 촉진된다.

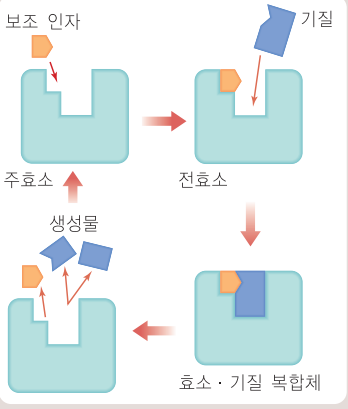
오답 피하기

ㄹ. 효소는 기질 분자의 운동 에너지를 증가시키는 것이 아니라, 활성화 에너지를 낮추어 반응을 일으킬 수 있는 기질 분자의 수를 늘림으로써 반응을 촉진한다.





효소의 작용



02 ① ② 반응이 끝난 후에 회복되는 주효소 A와 보조 인자인 Zn^{2+}을 제외하면, B가 C와 D로 분해된 것을 알 수 있다. 따라서 진행된 반응의 반응식은 'B → C + D'이다.

③ 보조 인자인 Zn^{2+}을 제거하면 효소의 활성이 나타나지 않으므로, Zn^{2+}을 제거함으로써 효소 반응을 억제할 수 있다.

④ 기질인 B와 구조가 비슷한 물질은 효소인 A의 활성 부위에 결합하는 경쟁적 저해제로 작용하여 반응 속도를 느리게 할 수 있다.

⑤ 효소의 활성이 온도와 pH의 영향을 받는 이유는 주효소인 A의 성분이 단백질인 것과 가장 관련이 깊다. 단백질은 온도나 pH가 일정 범위를 벗어나면 입체 구조가 변형되기 때문에 효소의 활성에 영향을 준다.

오답 피하기

① 반응에 재사용되는 것은 반응이 끝난 후에 회복되는 A와 Zn^{2+}으로, 이는 전효소를 구성하는 주효소와 보조 인자이다.

03 ④ ㄴ. 효소 B는 포도당인산의 분자 구조를 바꾸어 이성질체인 과당인산으로 전환시켰으므로 이성질화 효소에 속한다.

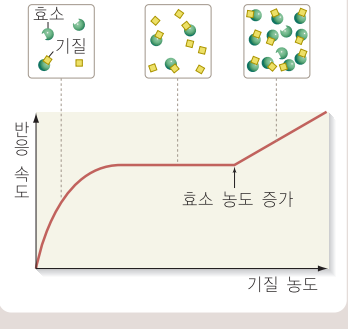
ㄷ. (가) 반응에서는 ATP가 반응물로 쓰이므로, (가) 반응이 진행되면 ATP의 농도는 감소한다.

ㄹ. 포도당인산은 (가)에서는 진행된 반응을 통해 생성되는 물질이고, (나)에서는 효소 B에 결합하는 기질로 반응 결과 생성물인 과당인산으로 전환된다.

오답 피하기

ㄱ. 효소 A는 ATP의 인산기를 포도당에 옮겨 주므로 전이 효소에 속한다.

기질의 농도와 반응 속도



효소가 포화될 때까지는 기질의 농도가 증가할수록 반응 속도도 증가한다. 효소가 포화되면 반응 속도가 일정하게 유지되는데, 이때 효소를 추가하면 다시 반응 속도가 증가한다.

04 ④ ㄴ. A는 락테이스가 기질인 젖당으로 포화된 최소 농도로 젖당의 농도가 더 높아지더라도 결합할 락테이스가 없어 반응 속도는 더 이상 증가하지 않는다. 따라서 젖당 농도가 A일 때 초기 반응 속도가 최대가 되며, 초기 반응 속도를 좌우하는 효소 · 기질 복합체의 양도 최대가 된다.

ㄹ. 젖당 농도가 B일 때 락테이스를 더 넣어 주면 추가된 락테이스가 젖당과 결합하여 추가로 효소 · 기질 복합체를 형성하므로 초기 반응 속도가 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 젖당 농도가 A 이상이 되면 초기 반응 속도가 더 이상 증가하지 않는 것은 효소가 젖당으로 포화되었기 때문이지, 생성물인 갈락토스가 락테이스의 작용을 저해하였기 때문이 아니다.

ㄷ. 젖당의 농도가 A 이상이면 초기 반응 속도가 더 이상 증가하지 않는 것이지 반응이 중지되는 것은 아니다. 따라서 포도당은 일정 속도로 계속 생성되므로, 포도당 농도는 계속 증가한다.

사람의 소화 효소
- 대부분 단백질만으로 구성된다.
- 대부분 가수 분해 효소에 속한다.
- 최적 온도는 체온 범위이다.
- 최적 pH는 작용하는 소화 기관에 따라 다르다.

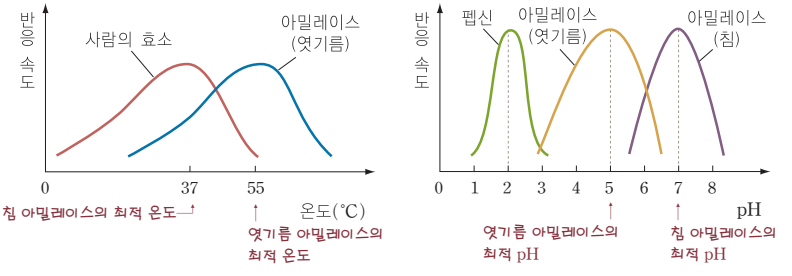
05 ② ㄱ. 사람의 효소인 아밀레이스의 최적 온도는 약 37℃인 반면, 보리의 어린 싹에서 얻은 엿기름 속의 아밀레이스는 최적 온도가 약 55℃이다. 이로부터 생물의 종류에 따라 효소의 최적 온도는 다를 수 있다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 사람의 침과 엿기름 속의 아밀레이스는 최적 pH가 각각 7과 5이므로, 생물의 종류에 따라 효소의 최적 pH는 다를 수 있다는 것을 알 수 있다. 또, 침 아밀레이스의 최적 pH는 7이지만 위로 분비되는 펩신의 최적 pH는 2이므로, 몸의 부위에 따라 작용하는 효소의 최적 pH가 다를 수 있다는 것도 알 수 있다.

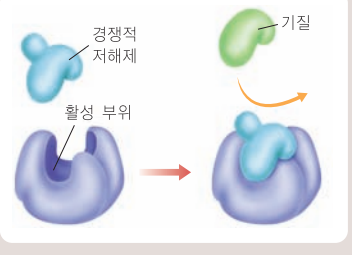
오답 피하기

ㄴ. 식혜는 엿기름 아밀레이스를 이용하여 밥알 속의 녹말을 엿당으로 분해해서 만들기 때문에 식혜를 만들 때에는 엿기름 아밀레이스의 최적 온도인 55℃ 정도의 온도를 유지해 주는 것이 좋다.

ㄹ. 같은 아밀레이스지만 사람의 아밀레이스와 보리의 아밀레이스는 작용하는 pH 범위가 서로 다르다.



경쟁적 저해제

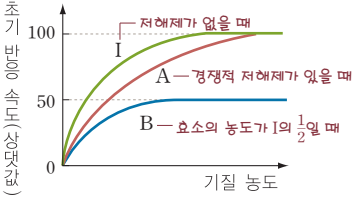


경쟁적 저해제는 기질과 구조가 유사하여 효소의 활성 부위에 결합함으로써 효소 · 기질 복합체의 형성을 방해한다.

06 ⑤ ㄱ. III에서처럼 효소의 농도를 I에서의 $\frac{1}{2}$로 낮추면 초기 반응 속도의 최대치도 $\frac{1}{2}$로 줄어든다. 따라서 B는 III에서 실시한 실험 결과를 나타낸 것이고, 남은 A는 II에서 실시한 실험 결과를 나타낸 것이다.

ㄴ. III에서 실시한 실험 결과를 나타낸 B를 I의 결과와 비교해 보면, 효소의 농도가 2배일 때 초기 반응 속도의 최대치도 2배임을 알 수 있다. 이로부터 충분한 양의 기질이 있을 경우 초기 반응 속도는 효소의 농도에 비례한다는 사실을 알 수 있다.

ㄷ. II에서 실시한 실험 결과를 나타낸 그래프 A를 I에서 실시한 실험 결과를 나타낸 그래프와 비교해 보면, 초기 반응 속도의 최대치는 같다. 이는 II에서 사용한 저해제가 효소의 활성 부위에 경쟁적으로 결합함으로써 효소 활성을 저해하는 경쟁적 저해제임을 의미한다. 기질의 농도가 크게 높아지면 경쟁적 저해제의 저해 효과는 감소한다.



07 ③ ㄱ. 수확한 옥수수를 끓는 물에 2~3분간 담그면 옥수수 세포 속의 효소는 고온 변성된다. 일단 고온 변성된 효소는 다시 상온에 두더라도 활성을 회복하지 못한다.

ㄷ. ⓐ의 처리는 온도를 낮춰서, ⓑ의 처리는 온도를 높여 효소 단백질을 고온 변성시켜서 효소의 활성을 억제하기 위한 것이다. 반면, ⓒ의 처리는 엿기름 아밀레이스의 최적 온도인 55℃에 가깝게 온도를 유지하여 엿기름 아밀레이스의 활성을 높이기 위한 것이다.

오답 피하기

ㄴ. 옥수수의 당도를 유지하기 위해서는 당이 녹말로 되는 것을 막아야 한다. 따라서 옥수수에 대한 ⓐ나 ⓑ 처리의 영향을 받는 효소는 당으로부터 녹말을 합성하는 효소이다. 반면, ⓒ 처리의 영향을 받는 효소는 밥의 녹말을 당으로 분해하는 효소이다.

08 ③ ㄱ. 에탄올을 주사하면, 에탄올이 알코올 탈수소 효소의 활성 부위에 결합함으로써 메탄올이 알코올 탈수소 효소의 작용으로 폼알데하이드로 되는 것을 저해하므로 폼알데하이드의 생성 속도가 느려진다.

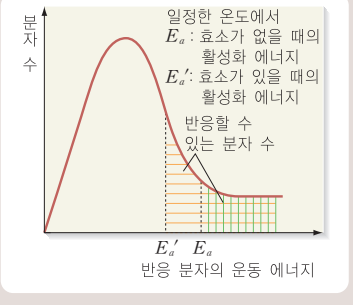
ㄷ. 알코올 탈수소 효소는 메탄올이나 에탄올에서 수소를 이탈시켜 NAD^+로 이동시키므로 산화 환원 효소에 속한다.

ㄹ. 알코올이 분해되는 과정에서 NAD^+는 알코올 탈수소 효소의 조효소로 작용한다.

오답 피하기

ㄴ. 에탄올과 메탄올이 둘 다 알코올 탈수소 효소의 활성 부위에 경쟁적으로 결합하므로 에탄올은 메탄올에 대한 경쟁적 저해제로 작용한다.

효소의 유무에 따른 반응 속도



활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가진 분자들만이 반응을 일으킬 수 있는데, 효소의 작용으로 활성화 에너지가 낮아지면 반응을 일으킬 수 있는 분자의 수가 증가하여 반응 속도가 증가한다.

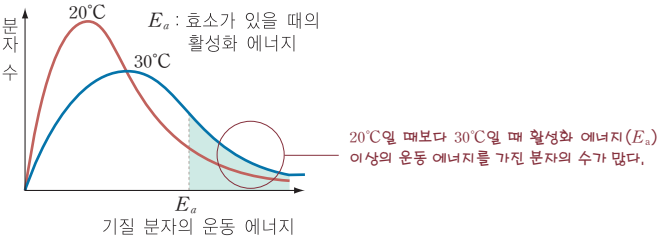
09 ② ㄱ. 20℃에서 30℃로 온도가 높아지면 활성화 에너지 이상의 운동 에너지를 가진 기질 분자의 수가 많아져 반응 속도가 빨라진다.

ㄷ. 20℃에서 30℃로 온도가 높아지면 더 높은 운동 에너지를 가진 기질 분자의 수가 증가하므로 기질 분자들의 평균 운동 에너지도 증가한다.

오답 피하기

ㄴ. 20℃에서 30℃로 온도가 높아져도 활성화 에너지는 동일하다.

ㄹ. 효소가 없으면 활성화 에너지가 E_a보다 높아져 반응을 일으킬 수 있는 분자의 수가 감소하겠지만, 기질 분자의 운동 에너지는 달라지지 않으므로 E_a 이상의 운동 에너지를 가진 분자의 수는 변함없다.



10 ⑤ ① 알코올 발효의 반응식은 '$C_6H_{12}O_6$(포도당) ⟶ $2C_2H_5OH$(에탄올)+$2CO_2$'이므로, 발생한 기포의 성분은 이산화탄소이다.

② A에는 투석되지 않은 고분자성의 성분이 들어 있는데, IV와 VI의 비교에서 A를 끓이면 알코올 발효가 일어나지 않으므로 A에 들어 있는 성분은 열에 약하다는 것을 알 수 있다. 따라서 A에는 열에 약한 고분자성의 성분, 즉 단백질이 들어 있다고 볼 수 있다.

③ II와 IV의 비교에서 B 없이 A만으로는 알코올 발효가 진행되지 않는다는 사실을 알 수 있다. 따라서 B에는 효소 활성에 필수적인 물질이 들어 있다고 볼 수 있다.

④ B에는 투석된 저분자성의 성분이 들어 있는데, IV와 V의 비교에서 B를 끓여도 알코올 발효가 진행되므로 B에 들어 있는 성분은 열에 강하다는 것을 알 수 있다. 따라서 B에는 열에 강한 저분자성의 성분, 즉 보조 인자가 들어 있다고 볼 수 있다. 이로부터 알코올 발효에 관여하는 효소가 단백질과 보조 인자로 구성되어 있음을 알 수 있다.

오답 피하기

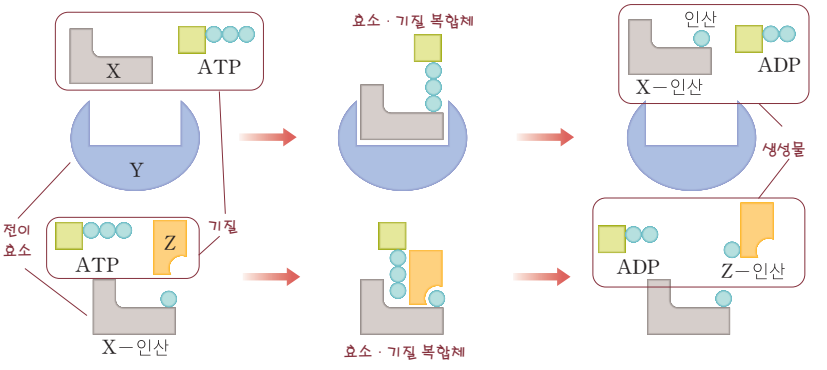
⑤ IV, V, VI의 비교에서 A를 끓이면 알코올 발효가 일어나지 않지만 B는 끓여도 알코올 발효가 일어나므로, A에 들어 있는 성분은 열에 약하고 B에 들어 있는 성분은 열에 강하다는 사실을 알 수 있다.

11 ② ㄱ. (가)의 Y는 ATP의 인산기를 X로 옮겨 주므로 전이 효소에 속한다.

ㄴ, ㄹ. (가)에서 효소 Y의 작용을 받아 생성된 X-인산이 (나)에서는 효소로 작용하고 있다. 따라서 효소는 다른 효소의 작용을 받아 활성화되기도 한다고 볼 수 있다.

오답 피하기

ㄷ. (가)에서 진행된 반응은 'X+ATP → X-인산+ADP'이고, (나)에서 진행된 반응은 'Z+ATP → Z-인산+ADP'이다. 따라서 (가)와 (나)에서는 X와 Z가 각각 기질 중 하나이다.



음성 피드백 작용

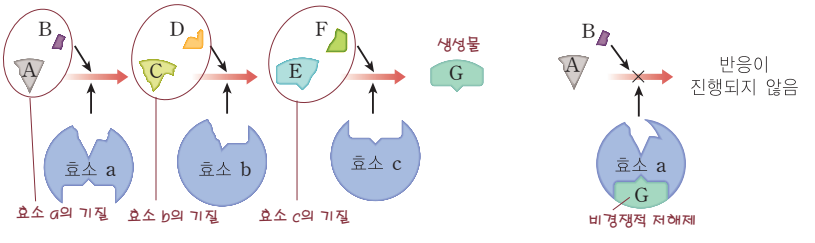
(가)의 생성물인 G가 비경쟁적 저해제로 작용하여 반응을 억제하는 조절은 음성 피드백 작용에 해당한다. 우리 몸에서는 이와 같은 음성 피드백 작용으로 호르몬의 분비량이 조절되어 항상성을 유지하고 있다.

12 ③ ㄱ. 효소 a에 G가 결합하면 효소 a의 활성 부위 구조가 변형되어 기질에 해당하는 A, B와 결합할 수 없게 된다. 그 결과 효소 a의 작용이 억제된다.

ㄷ. G의 농도가 높아지면 효소 a의 작용이 억제되어 C의 생성이 억제되고, C의 생성이 억제되면 효소 b에 의한 E의 생성도 순차적으로 억제된다.

오답 피하기

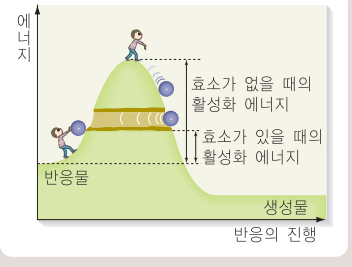
ㄴ. A와 B는 효소 a의 기질로 작용하지만, G는 효소의 활성 부위의 구조를 변형시켜 기질이 결합하지 못하게 하는 비경쟁적 저해제로 작용한다.



서술 · 논술형 문제

04. 효소 pp.108~109

효소와 활성화 에너지



효소는 활성화 에너지를 낮추어 반응을 촉진하는 생체 촉매 역할을 한다.

1. 효소의 기능

모범 답안 | (1) 용기의 높이는 물이 넘치는 것을 막는 역할을 하므로, 높이가 낮은 용기에 담겨 있던 물이 더 많이 넘칠 것이다.

(2) 높이가 낮은 용기의 물이 더 많이 넘치듯이 효소는 반응이 일어나는 것을 막는 에너지 장벽인 활성화 에너지를 낮추어 반응을 일으키는 분자 수를 늘어나게 함으로써 반응을 촉진한다.

알짜 풀이 | (1) 용기의 높이는 물이 넘치는 것을 막는 장벽 역할을 한다. 따라서 책상을 좌우로 흔들어 2개의 용기에 담겨 있던 물이 똑같은 정도로 출렁거리면 높이가 낮은 용기에서 넘친 물의 양이 높이가 높은 용기에서 넘친 물의 양보다 많을 것이다. 그 결과 높이가 낮은 용기에 남아 있는 물의 양이 높이가 높은 용기에 남아 있는 물의 양보다 적을 것이다.

(2) 용기의 높이는 반응이 일어나는 것을 막는 에너지 장벽인 활성화 에너지에 해당하고 물이 넘친 것은 반응이 일어난 것에 해당한다. 용기의 높이가 낮을 때 더 많은 양의 물이 넘치는 것처럼, 효소는 활성화 에너지를 낮추어 반응을 일으키는 분자 수가 늘어나게 함으로써 반응을 촉진한다.

효소의 종류

- 산화 환원 효소 : 수소나 산소 원자 또는 전자를 다른 분자에 이동시키는 산화 환원 반응 촉진
- 전이 효소 : 특정 기질에서 다른 기질로 아미노기, 인산기 등 작용기를 옮김
- 가수 분해 효소 : 물 분자를 첨가하여 기질을 분해
- 분해 · 부가 효소 : 가수 분해나 산화에 의하지 않고 어떤 원자단을 기질에서 떼어 내거나 기질에 붙임
- 이성질화 효소 : 기질 분자 내에서 원자의 위치를 바꾸어 분자 구조가 다른 이성질체로 전환
- 합성 효소 : ATP 에너지를 이용하여 두 분자의 기질을 결합시킴

2. 효소의 종류

모범 답안 | 효소 A는 석신산에서 수소를 이탈시켜 FAD로 이동시키므로 산화 환원 효소에 속하고, 효소 B는 포도당 6인산의 분자 구조를 바꾸어 이성질체인 과당 6인산으로 전환시키므로 이성질화 효소에 속한다. 그리고 효소 C는 글루탐산에 있던 아미노기를 피루브산으로 옮겨 주므로 전이 효소에 속한다.

알짜 풀이 | 효소 A는 석신산에서 수소를 이탈시켜 FAD로 이동시킨다. 그 결과 수소가 빠져나간 석신산은 푸마르산으로 산화되고 수소를 받은 FAD는 $FADH_2$로 환원된다. 이처럼 효소 A는 산화 환원 반응을 촉매하므로 산화 환원 효소에 속한다. 효소 B는 포도당 6인산 내에서 일부 원자의 위치를 바꾸어 분자 구조가 다른 이성질체인 과당 6인산으로 전환시킨다. 따라서 효소 B는 이성질화 효소에 속한다. 효소 C는 아미노산의 일종인 글루탐산에 있던 아미노기($-NH_3^+$)를 피루브산으로 옮겨 주었다. 그 결과, 아미노기를 잃은 글루탐산은 $\alpha-$케토글루타르산으로 되고 피루브산은 아미노기를 얻어 아미노산의 일종인 알라닌으로 바뀌었다. 따라서 효소 C는 전이 효소에 속한다.

3. 효소의 구성

모범 답안 | 알코올 발효에 관여하는 효소는 주효소인 단백질과 보조 인자로 구성되어 있는데, 셀로판 주머니에는 투석되지 않은 단백질만 남아 있고 보조 인자는 투석되어 나가고 없기 때문이다.

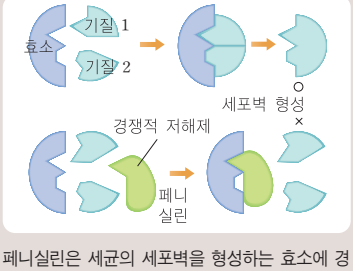
알짜 풀이 | 알코올 발효에 관여하는 효소는 단백질과 보조 인자로 구성되어 있다. 효모 효소액을 셀로판 주머니에 넣어 투석시키면 고분자성인 단백질은 셀로판 주머니 속에 남고 저분자성인 보조 인자는 셀로판 주머니를 빠져나간다. 따라서 포도당 용액에 셀로판 주머니의 용액을 부으면, 주효소인 단백질은 있지만 보조 인자가 없어 알코올 발효가 일어나지 않는다.

4. 저해제의 작용 원리

모범 답안 | 저해제 A는 경쟁적 저해제로 효소의 활성 부위에 결합하여 기질이 효소의 활성 부위에 결합할 수 없도록 함으로써 효소에 의해 반응이 진행되는 것을 억제한다. 저해제 B는 비경쟁적 저해제로 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성 부위의 구조를 변형시킴으로써 기질이 효소의 활성 부위에 결합할 수 없도록 하여 효소에 의해 반응이 진행되는 것을 억제한다.

알짜 풀이 | 저해제 A는 기질과 입체 구조가 비슷하기 때문에 효소의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합하여 효소의 활성을 저해하는 경쟁적 저해제이다. 효소의 활성 부위에 경쟁적 저해제가 결합하면 기질이 효소의 활성 부위에 결합할 수 없으므로 효소에 의한 반응이 억제된다. 저해제 B는 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 효소의 활성 부위의 구조를 변형시킴으로써 기질이 효소의 활성 부위에 결합할 수 없도록 하여 효소에 의해 반응이 진행되는 것을 억제한다.

페니실린의 작용



페니실린은 세균의 세포벽을 형성하는 효소에 경쟁적 저해제로 작용하여 세균의 번식을 막는다.

5. 페니실린의 작용 원리

모범 답안 | 페니실린은 세균의 세포벽을 형성하는 효소의 활성 부위에 결합하여 기질이 효소의 활성 부위에 결합할 수 없도록 함으로써 세균의 세포벽이 형성되는 것을 막아 세균의 번식을 억제한다.

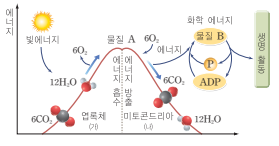
알짜 풀이 | 페니실린은 세포벽을 형성하는 효소의 활성 부위에 결합하여 효소의 활성을 저해하는 경쟁적 저해제로 작용한다. 페니실린이 효소의 활성 부위에 결합하면 기질이 효소의 활성 부위에 결합할 수 없게 된다. 그 결과 세균의 세포벽이 형성되지 못하게 되어 번식이 억제된다.

01 세포 호흡

개념 체크 p.127

A 세포의 생명 활동에 필요한 에너지의 공급

그림은 세포의 생명 활동에 필요한 에너지가 공급되기까지의 과정을 나타낸 것이다.

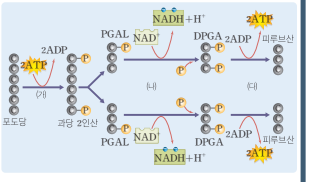


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 빛에너지를 흡수하여 CO_2를 물질 A로 환원시키는 작용 (가)는 광합성이다. (○)
2. 물질 A를 CO_2로 산화시키는 작용 (나)는 발효이다. (×)
3. 물질 A는 포도당이고, 물질 B는 AMP이다. (×)
4. 세포의 생명 활동에 쓰이는 에너지의 근원은 태양의 빛에너지이다. (○)

B 해당

그림은 해당 과정을 나타낸 것이다.

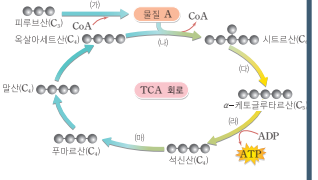


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)에서는 기질 수준 인산화가 일어난다. (×)
2. (나) 과정에는 탈수소 효소와 탈탄산 효소가 관여한다. (×)
3. (다)에서는 산화적 인산화에 의해 ATP 합성이 일어난다. (×)
4. 해당 과정을 통해 포도당 1분자로부터 2ATP가 합성된다. (○)
5. 해당 작용이 일어나는 장소는 미토콘드리아의 기질이다. (×)
6. 피루브산은 미토콘드리아로 들어간다. (○)
7. 해당 과정이 일어나는 데에는 산소가 필요하다. (×)

C 피루브산의 산화와 TCA 회로

그림은 피루브산의 산화와 TCA 회로를 나타낸 것이다.

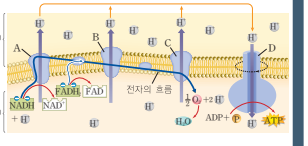


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 피루브산이 산화되어 형성되는 물질 A는 아세틸 CoA이며, 이 물질의 탄소 수는 2이다. (○)
2. CO_2의 이탈이 일어나는 단계는 (가), (다), (라)이다. (○)
3. 수소의 이탈이 일어나는 단계는 (가), (나), (다), (라), (마)이다. (×)
4. (마)에서 작용하는 탈수소 효소의 조효소는 FAD이다. (×)

D 산화적 인산화

그림은 산화적 인산화 과정을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 미토콘드리아의 막간 공간이고, (나)는 미토콘드리아의 기질이다. (○)
2. A, B, C는 H^+을 농도 기울기에 역행하여 운반하는 양성자 펌프이다. (○)
3. D를 통해 H^+이 능동 수송될 때 ATP 합성이 일어난다. (×)
4. D에 의해 H^+의 농도 기울기 에너지가 ATP의 화학 에너지로 바뀌는 화학 삼투적 인산화가 일어난다. (○)
5. 산화적 인산화를 통해 NADH와 $FADH_2$ 1분자로부터 각각 ATP 4분자와 3분자가 합성된다. (×)

A 세포의 생명 활동에 필요한 에너지의 공급

01 (가)는 광합성이고, 물질 A는 포도당이다. 엽록체에서는 빛에너지를 흡수하여 CO_2를 포도당으로 환원시키는 광합성이 일어난다.

02 미토콘드리아에서 물질 A(포도당)를 CO_2로 산화시키는 작용 (나)는 세포 호흡이다.

03 CO_2와 H_2O을 재료로 만들어지는 물질 A는 포도당($C_6H_{12}O_6$)이고, ADP와 ⓟ이 결합하여 만들어지는 물질 B는 ATP이다.

04 태양의 빛에너지가 포도당과 같은 유기물의 화학 에너지, ATP의 화학 에너지를 거쳐 생명 활동에 쓰이게 되는 것이므로, 세포의 생명 활동에 쓰이는 에너지의 근원은 태양의 빛에너지이다.

B 해당

01 (가)는 에너지 투자기로, 기질 수준 인산화로 ATP가 생성되는 것이 아니라 오히려 ATP가 소비된다.

02 (나)에서는 수소의 이탈이 일어나므로 탈수소 효소는 관여하지만, CO_2의 이탈은 일어나지 않으므로 탈탄산 효소는 관여하지 않는다.

03 (다)에서는 산화적 인산화가 아니라 기질 수준 인산화에 의해 ATP 합성이 일어난다.

04 포도당 1분자가 해당 과정을 거쳐 피루브산 2분자로 되는 동안 (가)에서 2ATP가 소비되고 (다)에서 4ATP가 만들어지므로, 포도당 1분자로부터 2ATP가 합성되는 셈이다.

05 해당 작용이 일어나는 장소는 미토콘드리아의 기질이 아니라 세포질이다.

06 세포질에서 해당 과정을 통해 생성된 피루브산은 미토콘드리아로 들어간다.

07 세포 호흡에서 산소가 있어야 진행되는 과정은 TCA 회로와 산화적 인산화이고, 해당은 산소가 없어도 진행된다.

C 피루브산의 산화와 TCA 회로

01 물질 A는 아세틸 CoA이며, 아세틸 CoA는 C_4인 옥살아세트산과 합쳐져 C_6인 시트르산을 형성하므로 탄소 수가 2이다.

02 피루브산의 산화와 TCA 회로에서 CO_2 이탈이 일어나는 단계는 탄소 수가 줄어드는 (가), (다), (라)이다.

03 탄소 수가 줄어드는 (가), (다), (라) 단계와 석신산이 푸마르산으로 되는 (마) 단계 그리고 말산이 옥살아세트산으로 되는 단계에서 수소의 이탈이 일어난다. 시트르산이 형성되는 (나) 단계에서는 수소의 이탈이 일어나지 않는다.

04 (라)에서 작용하는 탈수소 효소의 조효소는 NAD^+이고, FAD는 (마)에서 작용하는 석신산 탈수소 효소의 조효소이다.

D 산화적 인산화

01 미토콘드리아의 기질에서 내막과 외막 사이의 막간 공간으로 퍼낸 H^+이 ATP 합성 효소를 통해 미토콘드리아의 기질로 확산해 들어올 때 ATP가 생성되므로, (가)는 미토콘드리아의 막간 공간이고, (나)는 미토콘드리아의 기질이다.

02 A, B, C는 고에너지 전자가 이동할 때 방출되는 에너지를 이용하여 H^+을 막간 공간으로 능동 수송하는 양성자 펌프이다.

03 H^+의 농도 기울기에 따라 H^+이 ATP 합성 효소인 D를 통해 확산될 때 ATP가 생성된다.

04 H^+의 농도 기울기에 따라 H^+이 ATP 합성 효소인 D를 통해 확산될 때 ATP가 생성되는데, 이때 H^+의 농도 기울기 에너지(화학 삼투력)는 ATP의 화학 에너지로 전환되며 이러한 과정을 화학 삼투적 인산화라고 한다.

05 산화적 인산화를 통해 NADH와 $FADH_2$ 1분자로부터 각각 ATP 3분자와 2분자가 합성된다.

개념 확인 문제 pp.128~131

01. ㉠ 환원, ㉡ 산화, ㉢ 산화, ㉣ 환원 02. ①, ③ 03. (가) 광합성, (나) 세포 호흡, 물질 A : 포도당($C_6H_{12}O_6$), 물질 B : ATP 04. (가) 아데닌, (나) 리보스 05. ⑤
06. (가) 탈수소 효소, (나) 탈탄산 효소 07. ㉠ 리보스, ㉡ 아데노신, ㉢ 고에너지 인산
08. (가) $FADH_2$, (나) 사이토크롬 09. ④ 10. ①, ③ 11. ⑤ 12. ⑤
13. 피루브산 14. ⑤ 15. 기질 수준 인산화 16. ㉠ 3, ㉡ 4, ㉢ 1, ㉣ 1, ㉤ 3
17. (가), (다), (라) 18. ① 19. ㉠ 6, ㉡ 34, ㉢ 12 20. ③ 21. O_2 22. ③
23. (가) 탄수화물, (나) 지방, (다) 단백질 24. A : 지방산, B : 아미노산 25. ③
26. 탄수화물 27. (가) 지방, (나) 탄수화물, (다) 단백질

01 ㉠환원, ㉡산화, ㉢산화, ㉣환원

(가)에서 $6CO_2$를 합쳐서 C_6O_{12}로 보고 이것을 $C_6H_{12}O_6$과 비교하면, ㉠의 변화는 탄소가 O를 잃고 H를 얻은 것이므로 환원이다. 그리고 ㉡의 변화는 ㉠과 짝을 이룬 것으로 산화이다. (나)에서 $C_6H_{12}O_6$이 C_6O_{12}($6CO_2$)로 되는 ㉢의 변화는 탄소가 O를 얻고 H를 잃은 것이므로 산화이다. 그리고 ㉣의 변화는 ㉢과 짝을 이룬 것으로 환원이다.

02 ①, ③

① 종속 영양 생물은 광합성을 하지 못하고 유기물을 다른 생물로부터 얻어 살아가는 생물을 말하는데, 동물과 균류 및 세균이 여기에 속한다.

③ 태양의 빛에너지가 광합성에 의해 포도당과 같은 유기물의 화학 에너지로 전환된 다음, 다시 세포 호흡에 의해 ATP의 화학 에너지로 전환된 후 세포의 생명 활동에 이용된다. 따라서 생물의 세포가 이용하는 에너지의 근원은 태양의 빛에너지이다.

오답 피하기

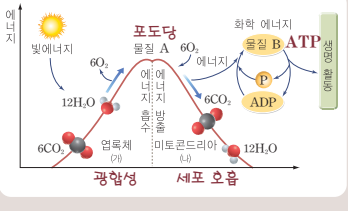
② 다른 생물로부터 유기물을 얻는 생물은 종속 영양 생물이다. 독립 영양 생물은 식물과 같이 스스로 유기물을 합성하여 살아가는 생물이다.

④ 세포의 생명 활동에 필요한 에너지를 직접 공급하는 물질은 포도당이 아니라 ATP이다.

⑤ 세포 호흡에 의해 유기물에 저장된 화학 에너지의 약 40% 정도가 ATP의 화학 에너지로 전환되고, 나머지 60%는 열에너지 형태로 방출된다.

생명 활동에 필요한 에너지의 공급

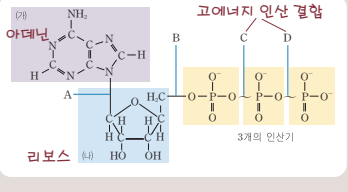
광합성의 생성물은 세포 호흡의 반응물이 되고, 세포 호흡의 생성물은 광합성의 반응물이 된다.



03 (가)광합성, (나)세포 호흡, 물질 A : 포도당($C_6H_{12}O_6$), 물질 B : ATP

엽록체에서 CO_2와 H_2O을 재료로 빛에너지를 흡수하여 만들어지는 물질 A는 포도당($C_6H_{12}O_6$)이고 작용 (가)는 광합성이다. 그리고 미토콘드리아에서 포도당($C_6H_{12}O_6$)을 O_2를 이용하여 CO_2와 H_2O로 분해하는 작용 (나)는 세포 호흡이고, 이 과정에서 ADP와 ⓟ이 결합하여 생성되는 물질 B는 ATP이다.

ATP의 구조



- $ATP + H_2O \rightleftarrows ADP + P_i + 7.3kcal$
- $ADP + H_2O \rightleftarrows AMP + P_i + 7.3kcal$

04 (가)아데닌, (나)리보스

ATP를 구성하는 염기인 (가)는 아데닌이고, ATP를 구성하는 당인 (나)는 리보스이다.

05 ⑤ A~D의 결합 중 쉽게 가수 분해되어 다량의 에너지를 방출하는 것은 두 번째 인산기와 마지막 인산기 사이의 고에너지 인산 결합인 D와, 첫 번째 인산기와 두 번째 인산기 사이의 고에너지 인산 결합인 C이다.

06 (가)탈수소 효소, (나)탈탄산 효소

(가) 반응에 작용하는 호흡 효소는 호흡 기질로부터 수소를 이탈시켜 NAD^+에 전달하는 탈수소 효소이고, (나) 반응에 작용하는 호흡 효소는 호흡 기질의 카복시기($-COO^-$)에 작용하여 CO_2를 이탈시키는 탈탄산 효소이다.

07 ㉠ 리보스, ㉡ 아데노신, ㉢ 고에너지 인산

ATP를 구성하는 5탄당 ㉠은 리보스이고, 리보스와 아데닌 염기로 이루어진 ㉡은 아데노신이다. 그리고 ATP에서 쉽게 가수 분해되어 다량의 에너지를 방출하는 인산기와 인산기 사이의 결합 ㉢은 고에너지 인산 결합이라고 부른다.

08 (가) $FADH_2$, (나) 사이토크롬

전자 전달계를 구성하는 전자 전달 효소로 전자를 제공하는 물질은 해당 작용과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH와 (가) $FADH_2$이다. 전자 전달 효소의 종류로는 (나) 사이토크롬 a, a_3, b, c 등이 있다.

09 ④ 전자 전달 효소인 사이토크롬에는 철 이온이 들어 있어 다음과 같이 2가와 3가 상태를 오가면서 전자를 전달한다.

$$Fe^{3+} + e^- \underset{\text{산화}}{\overset{\text{환원}}{\rightleftarrows}} Fe^{2+}$$

해당
포도당 1분자가 해당 과정을 거치면 피루브산 2분자, 기질 수준 인산화로 2ATP, 탈수소 효소의 작용으로 2NADH가 생성된다.

10 ①, ③

①, ③ 해당 작용을 거쳐 포도당(C_6) 1분자가 2분자의 피루브산(C_3)으로 분해되는 과정에서, 기질 수준 인산화로 2분자의 ATP가 생성되고 탈수소 효소의 작용으로 2분자의 NADH가 생성된다.

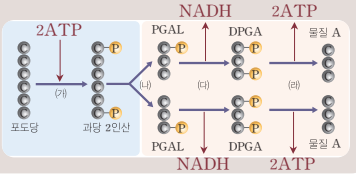
오답 피하기
②, ④ $FADH_2$의 생성이나 CO_2의 이탈은 TCA 회로에서 일어난다.
⑤ 해당 과정에서 ATP는 산화적 인산화가 아니라 기질 수준 인산화에 의해 생성된다.

산화적 인산화
각 전자 운반체들이 전자를 받아 환원되었다가 다시 산화되면서 에너지를 방출하고, 이 에너지를 이용하여 ATP가 생성되므로 산화적 인산화라고 한다.

11 ⑤ ① 산화적 인산화에서는 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH와 $FADH_2$가 운반한 전자가 전자 전달계를 거쳐 최종 전자 수용체인 O_2로 전해지고, 전자를 전달받은 산소는 H^+과 결합하여 H_2O을 생성한다.
② 산소는 최종 전자 수용체로 작용하므로 산화적 인산화가 일어나려면 산소가 필요하다.
③ ATP 합성 효소를 통해 H^+이 확산될 때 ATP가 합성되는 것을 화학 삼투적 인산화라고 하는데, 산화적 인산화에서는 전자 전달계를 통해 전자가 전달될 때 방출되는 에너지를 이용하여 화학 삼투적 인산화를 일으키는 데 필요한 H^+의 농도 기울기를 먼저 형성한 다음, ATP 합성 효소를 통해 H^+을 확산시켜 화학 삼투적 인산화를 일으킴으로써 ATP를 생성한다.
④ 산화적 인산화는 미토콘드리아의 내막에 있는 전자 전달계에서 일어난다.

오답 피하기
⑤ 산화적 인산화가 일어나는 전자 전달계에서 최종 전자 수용체는 NAD^+와 FAD가 아니라 산소이다.

해당 과정



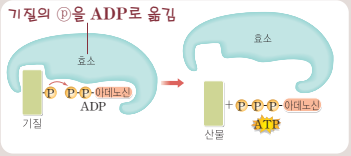
12 ⑤ ⑤ 수소의 이탈은 PGAL(인글리세르알데하이드)이 DPGA(2인글리세르산)로 산화되는 (다) 단계에서 일어나고, 기질 수준 인산화는 DPGA가 인산기를 ADP로 전해 주고 물질 A로 되는 (라) 단계에서 일어난다.

13 피루브산

해당 과정을 거치면서 포도당 1분자는 최종적으로 피루브산 2분자로 분해되므로, 물질 A는 피루브산($C_3H_4O_3$)이다.

14 ⑤ 피루브산은 산화된 후 TCA 회로를 거치면서 CO_2로 완전히 분해되고, 이 과정에서 이탈된 수소는 NAD^+나 FAD에 수용되어 NADH나 $FADH_2$를 형성한다. 그리고 TCA 회로에서도 해당 과정에서처럼 기질 수준 인산화로 ATP가 합성된다.

기질 수준 인산화



기질에 붙어 있던 인산기를 직접 ADP에 이동시켜 ATP를 합성하는 것이 기질 수준 인산화이다. 해당 과정과 TCA 회로에서는 기질 수준 인산화가 일어난다.

15 기질 수준 인산화

효소의 작용으로 호흡 기질인 유기물 분자에 붙어 있던 인산기를 직접 ADP에 이동시켜 ATP를 생산하는 것이 기질 수준 인산화이다.

16 ㉠3, ㉡4, ㉢1, ㉣1, ㉤3

피루브산 1분자는 먼저 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로를 거치면서 CO_2로 완전히 분해되는데, 이 과정에서 CO_2 3분자, NADH 4분자, $FADH_2$ 1분자, ATP 1분자를 생성한다. 전체 반응식은 다음과 같다.

$$\underset{\text{(피루브산)}}{C_3H_4O_3} + 3H_2O \xrightarrow{4NAD^+ \rightarrow 4NADH + 4H^+,\ FAD \rightarrow FADH_2,\ ADP \rightarrow ATP} 3CO_2$$

탈탄산 반응

CO_2 이탈, 탄소 수 감소, 카복시기($-COO^-$) 제거, 탈탄산 효소 작용

17 (가), (다), (라)

CO_2의 이탈이 일어나면 탄소 수가 1개 줄어든다. 따라서 (가)~(바) 중 CO_2의 이탈이 일어나는 단계는 (가), (다), (라)이다.

탈수소 반응

수소(2H) 이탈, NADH나 $FADH_2$ 생성, 탈수소 효소 작용

18 ① 탈수소 효소의 작용으로 이탈된 수소는 NAD^+나 FAD와 같은 조효소에 전달되어 NADH나 $FADH_2$를 생성한다. 따라서 탈수소 효소가 작용하는 단계가 아닌 것은 NADH나 $FADH_2$가 생성되지 않는 (나) 단계이다.

산화적 인산화

$$10NADH + 10H^+ + 5O_2$$
$$30ADP \longrightarrow 30ATP$$
$$10NAD^+ + 10H_2O$$

$$2FADH_2 + O_2$$
$$4ADP \longrightarrow 4ATP$$
$$2FAD + 2H_2O$$

19 ㉠6, ㉡34, ㉢12

NADH와 $FADH_2$가 운반해 온 전자는 전자 전달계를 따라 전해지다가 최종적으로 산소에 전달되고, 전자를 전달받은 산소는 미토콘드리아 기질에 있던 H^+과 결합하여 H_2O을 형성한다. 산화적 인산화를 통해 NADH 1분자와 $FADH_2$ 1분자로부터 각각 3ATP와 2ATP가 생성된다. 이를 반응식으로 나타내면 다음과 같다.

$$NADH + H^+ + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{3ADP \rightarrow 3ATP} NAD^+ + H_2O$$

$$FADH_2 + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{2ADP \rightarrow 2ATP} FAD + H_2O$$

이를 토대로, 포도당 1분자가 해당~TCA 회로를 거치는 동안 생성된 NADH 10분자와 $FADH_2$ 2분자가 모두 산화적 인산화를 거쳐 ATP를 생성하는 과정을 반응식으로 나타내면 다음과 같다.

$$10NADH + 10H^+ + 2FADH_2 + 6O_2 \xrightarrow{34ADP \rightarrow 34ATP} 10NAD^+ + 2FAD + 12H_2O$$

따라서 ㉠, ㉡, ㉢에 해당하는 수는 각각 6, 34, 12이다.

20 ③ ① A, B, C는 양성자 펌프로 H^+을 능동 수송하여 미토콘드리아 내막을 경계로 H^+의 농도 기울기를 형성하는 역할을 한다.

② D는 ATP 합성 효소로 이를 통해 H^+이 확산될 때 ATP가 합성된다.

④ H^+ 농도는 (나)보다 (가) 쪽이 더 높기 때문에 양성자 펌프는 전자의 흐름에서 방출된 에너지를 이용하여 (나)에서 (가)로 H^+을 능동 수송한다.

⑤ NADH와 $FADH_2$는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계에 전자를 공급한다.

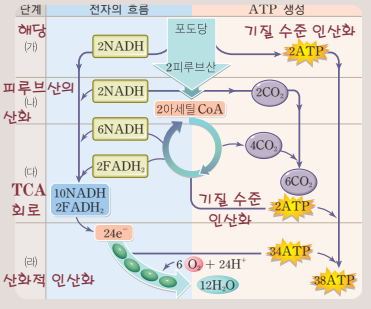
오답 피하기

③ H^+은 ATP 합성 효소인 D를 통해 확산된다.

21 O_2

그림에서 최종적으로 전자를 수용하는 것은 O_2(산소)이다. 전자(e^-)를 전달받은 O_2는 미토콘드리아의 기질에 있던 H^+과 결합하여 H_2O을 형성한다($2e^- + \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ \rightarrow H_2O$).

세포 호흡에서의 ATP 생성



22 ③ ① (가)는 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 해당 과정을 나타낸 것이다. 해당 작용은 세포질에서 일어난다.

② (나)는 피루브산의 산화 과정으로 미토콘드리아의 기질에서 진행되는데, TCA 회로로 들어가기 위한 예비 단계이다.

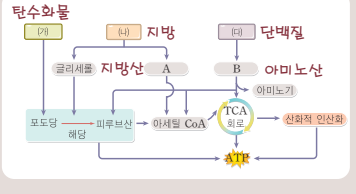
④ (라)는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계에서 진행되는 산화적 인산화 과정을 나타낸 것이다.

⑤ 미토콘드리아 내에서 진행되는 (나), (다), (라)는 산소가 필요한 과정이다. (라)에서는 산소가 최종 전자 수용체 역할을 하므로 (라)는 산소가 있을 때에만 일어나고, (나)의 피루브산의 산화와 (다)의 TCA 회로가 일어나려면 (라)에서 회복된 NAD^+와 FAD가 다시 공급되어야 하므로 (나)와 (다)도 산소가 있을 때에만 일어난다. 한편, 세포질에서 진행되는 (가)의 해당 과정은 산소의 공급이 없으면 여기서 생성된 NADH가 피루브산과 같은 호흡 기질에 전자를 공급하고 NAD^+로 회복되어 재사용되므로 산소가 없어도 진행될 수 있다.

오답 피하기

③ (다)는 TCA 회로로 미토콘드리아의 기질에서 진행된다.

3대 영양소의 산화



- 탄수화물 : 포도당으로 분해되어 해당 과정으로 들어간다.
- 지방 : 글리세롤과 지방산으로 분해되는데, 글리세롤은 해당 과정으로 들어가고, 지방산은 아세틸 CoA로 전환되어 TCA 회로로 들어간다.
- 단백질 : 아미노산으로 분해되어 탈아미노 반응을 거친 후 해당 과정과 TCA 회로로 들어간다.

23 (가) 탄수화물, (나) 지방, (다) 단백질

(가)의 탄수화물은 포도당과 같은 단당류로 분해되어 세포 호흡에 이용된다. (나)의 지방은 글리세롤과 지방산으로 분해되어 세포 호흡에 이용된다. 그리고 (다)의 단백질은 아미노산으로 가수 분해된 후 탈아미노 반응을 거쳐 세포 호흡에 이용된다.

24 A : 지방산, B : 아미노산

(나)의 지방은 글리세롤과 A의 지방산으로 가수 분해되어 세포 호흡에 이용된다. (다)의 단백질은 B의 아미노산으로 가수 분해되어 세포 호흡에 이용된다.

25 ③ ① A에서는 세포 호흡이 일어나 O_2가 소비되고 CO_2가 방출되었다. 그런데 A의 잉크 방울이 거의 이동하지 않았으므로, 세포 호흡으로 소비한 O_2의 부피와 발생한 CO_2의 부피는 거의 같다고 볼 수 있다.

②, ⑤ B에서는 세포 호흡에서 발생한 CO_2가 KOH에 흡수되어 제거되므로, 소비한 O_2의 부피만큼 시험관 내 기체의 부피가 감소한다. 그 결과 B에서 잉크 방울은 왼쪽으로 이동하였다.

④ KOH 용액은 CO_2를 흡수하여 제거하는 역할을 한다.

오답 피하기

③ 호흡률은 $\frac{CO_2\ 발생량}{O_2\ 흡수량}$이고 시험관 A에서 잉크 방울이 거의 이동하지 않은 것은 호흡 결과 발생한 CO_2의 부피가 호흡에 소비한 O_2의 부피와 거의 같다는 것을 의미하므로, 이 종자의 호흡률은 1.0이다.

26 탄수화물

호흡률은 호흡 기질의 종류에 따라 다른데, 탄수화물의 호흡률은 약 1.0, 단백질의 호흡률은 약 0.8, 지방의 호흡률은 약 0.7이다. 그런데 문제의 실험에 사용한 종자는 호흡에 소비한 O_2의 부피와 호흡 결과 방출된 CO_2의 부피가 거의 같아 호흡률이 1.0이므로, 이 종자가 싹틀 때 주로 이용한 호흡 기질은 탄수화물이라고 볼 수 있다.

27 (가) **지방,** (나) **탄수화물,** (다) **단백질**

호흡률은 $\frac{\text{세포 호흡에서 발생한 } CO_2\text{의 부피}}{\text{세포 호흡에 소비된 } O_2\text{의 부피}}$이고, 탄수화물과 단백질, 지방의 호흡률은 각각 1.0, 0.8, 0.7 정도이다. 물질 (가)는 호흡률이 $\frac{18}{26}$≒0.7이므로 지방에 해당하고, 물질 (나)는 호흡률이 $\frac{6}{6}$=1.0이므로 탄수화물에 해당한다. 또, 물질 (다)는 호흡률이 $\frac{5}{6}$≒0.8이므로 단백질에 해당한다고 볼 수 있다.

개념 활용 문제

pp.132~139

01. ②	02. ③	03. ④	04. ②	05. ⑤	06. ②	07. ②
08. ①, ④	09. ③	10. ⑤	11. ①	12. ⑤	13. ⑤	14. ②
15. ③	16. ①					

생태계의 먹이 사슬

생산자 (식물) → 1차 소비자 (초식 동물) → 2차 소비자 (육식 동물)

↓ ↘ ↙

분해자

01 ② ㄱ. 식물은 생산자로 스스로 유기물을 합성하여 살아간다.

ㄷ. (가)와 (나)는 피식을 통해 유기물이 전해지는 경로이고, (다), (라), (바)는 사체나 배설물의 상태로 유기물이 전해지는 경로이다. (마)는 분해자인 세균과 곰팡이의 작용으로 유기물이 분해되어 생긴 무기물이 식물에게 전해지는 경로이다.

오답 피하기

ㄴ. 독립 영양 생물은 다른 생물에 의존하지 않고 광합성을 통해 스스로 유기물을 합성하여 살아가는 생물로, 독립 영양 생물에 해당하는 것은 식물이다.

ㄹ. 식물, 초식 동물, 육식 동물, 세균과 곰팡이를 포함한 모든 생물은 세포 호흡을 한다.

광합성과 세포 호흡

광합성	세포 호흡
동화 작용	이화 작용
흡열 반응	발열 반응
유기물 합성	유기물 분해
CO_2 흡수, O_2 방출	O_2 흡수, CO_2 방출

02 ③ ㄴ. 생명 활동의 직접적인 에너지원으로 쓰이는 (다)는 ATP이고, ATP는 ADP와 P_i이 결합하여 생긴 것이므로, (라)는 ADP에 해당한다.

ㄷ. 포도당이 산소에 의해 CO_2와 H_2O로 분해되는 과정에서 방출되는 에너지의 일부는 생명 활동의 직접적인 에너지원으로 쓰이는 (다)의 ATP에 저장된다.

오답 피하기

ㄱ. CO_2와 H_2O을 재료로 빛에너지를 흡수하여 포도당을 합성하는 작용 (가)는 광합성이고, 역으로 포도당을 산소를 이용하여 CO_2와 H_2O로 분해하는 작용 (나)는 세포 호흡이다. (나)의 세포 호흡은 식물과 동물에서 모두 일어나지만, (가)의 광합성은 식물에서만 일어난다.

ㄹ. 여러 생명 활동에 직접 에너지를 공급하는 물질은 ATP이다.

03 ④ ④ (다) 반응은 산화적 인산화로, 그림에서 A와 B 사이에 있는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계에서 일어난다.

오답 피하기

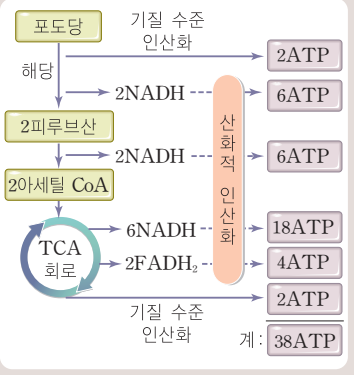
① 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 (가)는 해당 과정으로, B가 아니라 세포질에서 진행된다.

② (나)는 피루브산의 산화와 TCA 회로에서의 반응으로 탈탄산 효소가 작용하여 CO_2의 이탈이 일어난다.

③ (다)의 산화적 인산화가 일어날 때 가장 많은 ATP가 생성된다.

⑤ 해당 과정인 (가) 반응은 세포질에서 산소 없이도 진행되지만, 미토콘드리아에서 일어나는 (나)와 (다) 반응은 산소 없이는 진행되지 못한다.

세포 호흡에서 ATP의 생성

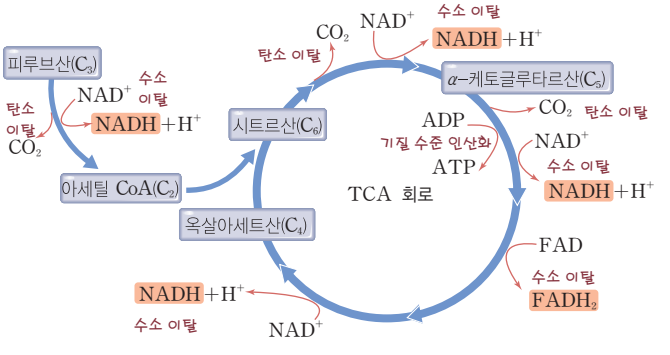


04 ② ② 탈수소 효소의 조효소인 NAD^+가 이탈된 수소를 받아 NADH로 되었으므로, 탈수소 효소가 관여한 것이다.

오답 피하기

① 반응물인 포도당이 생성물인 2피루브산보다 에너지 수준이 높으므로 에너지가 방출되는 발열 반응이다.
③ C_6인 포도당 1분자가 C_3인 피루브산 2분자로 분해되므로, CO_2의 이탈은 일어나지 않는다.
④ 해당 과정에서는 기질 수준 인산화에 의해 ATP가 생성된다.
⑤ 해당 과정은 에너지 투자기와 에너지 회수기로 구분되는데, 에너지 투자기에 2ATP가 투입되고 에너지 회수기에 4ATP가 얻어지므로, 전체적으로는 2ATP가 얻어지는 것이다.

05 ⑤ ㄱ. 탈탄산 효소가 관여하여 CO_2 이탈이 일어났다.
ㄴ. 탈수소 효소가 관여하여 NADH와 $FADH_2$가 생성되었다.
ㄷ. 산화적 인산화 단계에서 전자가 전달되는 과정을 통해 ATP 합성이 일어나고, TCA 회로에서는 기질 수준 인산화를 통한 ATP 합성이 일어난다.
ㄹ. 산화적 인산화 단계에서는 1분자의 NADH와 $FADH_2$로부터 각각 3ATP와 2ATP가 생성된다. 따라서 제시된 과정에서 이탈된 수소를 받아 생성된 4NADH와 1$FADH_2$가 모두 산화적 인산화 단계를 거치면 총 14ATP가 생성된다.



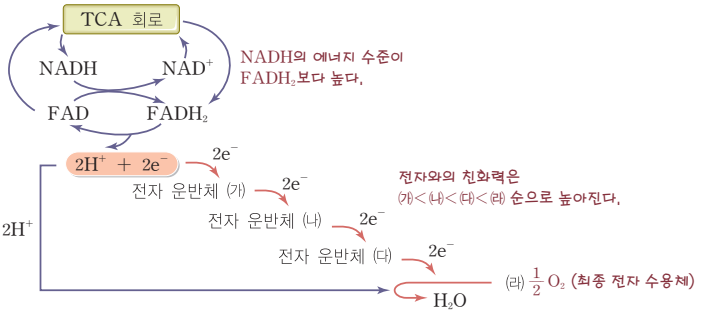
전자 운반체

미토콘드리아의 내막에는 여러 가지 전자 운반체가 있는데, 그 가운데 사이토크롬 사이에서 전자의 전달은 사이토크롬 b → 사이토크롬 c → 사이토크롬 a → 사이토크롬 a_3로 이루어지고, 마지막에 전자와의 친화력이 가장 강한 산소에게 전자가 전달된다.

06 ② ① 전자의 최종 수용체 ㈑는 전자 전달계를 따라 이동해 온 $2e^-$를 전달받은 다음 $2H^+$과 결합하여 H_2O을 생성하므로, ㈑는 $\frac{1}{2}O_2$이다.
③ 에너지 수준이 더 높은 NADH로부터는 3ATP가 만들어지고, $FADH_2$로부터는 2ATP가 만들어진다.
④ 전자와의 친화력이 더 강한 전자 운반체로 전자를 전해 주게 되므로, 전자와의 친화력은 전자 운반체 ㈎, ㈏, ㈐로 갈수록 더 강해진다.
⑤ 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 통한 전자의 이동을 이용하여 ATP를 합성하는 과정이 산화적 인산화이다.

오답 피하기

② 전자 전달계에서는 여러 전자 운반체를 거쳐 전자가 전달되므로, 에너지도 여러 단계를 거쳐 조금씩 방출되어 ATP 생성에 쓰인다.



수력과 화학 삼투력
물의 높이 차이에 의한 위치 에너지를 수력이라고 하고, H^+의 농도 기울기에 의한 에너지를 화학 삼투력이라고 한다.

07 ② 화학 삼투적 인산화에서는 미토콘드리아의 내막을 경계로 형성된 H^+의 농도 기울기를 따라 H^+이 ATP 합성 효소를 통해 확산되면서 ATP가 합성된다. 그리고 수력 발전에서는 댐에 물을 가두어 댐을 경계로 물의 높이 차를 형성한 다음, 수문을 열어 댐 내부의 물을 수로를 따라 흘려 보내 발전기의 수차를 돌리게 함으로써 전기 에너지가 발생하도록 한다. 화학 삼투적 인산화와 수력 발전을 비교해 보면, 화학 삼투적 인산화에서의 H^+은 수력 발전에서의 물에, 미토콘드리아의 내막은 댐에, ATP 합성 효소는 발전기에, ATP의 화학 에너지는 전기 에너지에 대응한다고 볼 수 있다.

오답 피하기
ㄷ. 화학 삼투적 인산화에서는 미토콘드리아의 내막을 경계로 형성된 H^+의 농도 기울기가 이용되므로 미토콘드리아의 내막이 수력 발전에서의 댐에 해당한다.

08 ①, ④
①, ④ 실험에서는 내부의 pH를 8로 만든 미토콘드리아를 pH 4의 수용액에 담갔더니 미토콘드리아 내외의 pH 차이가 줄어들면서 ATP가 합성되었다. 이는 H^+ 농도가 높은 미토콘드리아 밖에서 H^+ 농도가 낮은 미토콘드리아 내부로 H^+이 확산될 때 ATP 합성이 일어났다는 것을 의미한다. 그리고 이로부터 H^+의 농도 기울기에 의해 ATP 합성이 일어나게 된다는 사실을 알 수 있다.

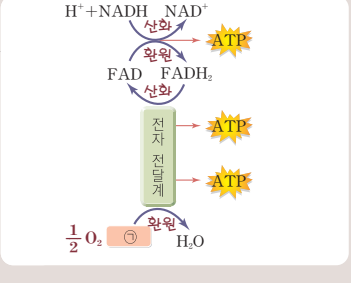
오답 피하기
② 미토콘드리아 내부보다 pH가 더 낮은 미토콘드리아 바깥쪽의 H^+ 농도가 더 높기 때문에 미토콘드리아 밖에서 미토콘드리아 내부로 H^+이 확산된다.
③, ⑤ 미토콘드리아 내외의 pH 차이, 즉 H^+의 농도 차이가 줄어들면서 ATP 합성이 일어났으므로 H^+이 확산될 때 ATP 합성이 일어난다는 것을 알 수 있다.

산화적 인산화에서의 에너지 전환
전자 전달계에서 전자 운반체의 산화 환원에 따라 전자가 흐르는 동안 방출되는 에너지(전기 에너지) → H^+의 농도 기울기 에너지(화학 삼투력) → ATP의 화학 에너지

09 ③ ㄴ. NADH로부터 전자 전달계로 전자가 공급될 때는 양성자 펌프를 통해 H^+을 (나)에서 (가)로 이동시킨 다음, 다시 ATP 합성 효소를 통해 (가)에서 (나)로 이동시켜 ATP를 합성하는 과정이 3회 진행되고, $FADH_2$로부터 전자 전달계로 전자가 공급될 때는 동일한 과정이 2회 진행된다. 즉, 1분자의 NADH로부터 전자가 공급될 때는 3ATP가, 1분자의 $FADH_2$로부터 전자가 공급될 때는 2ATP가 생성된다.
ㄷ. 양성자 펌프를 통해 (나)에서 (가)로 H^+을 이동시키는 것은 H^+의 농도 기울기를 거슬러 일어나므로 능동 수송이고, ATP 합성 효소를 통해 (가)에서 (나)로 H^+이 이동하는 것은 농도 기울기를 따라 일어나므로 확산이다.

오답 피하기
ㄱ. NADH와 $FADH_2$로부터 방출된 전자는 전자 전달계를 따라 이동하여 최종 전자 수용체인 O_2로 전해진다.
ㄹ. 양성자 펌프를 통해 H^+이 (나)에서 (가)로 능동 수송될 때 이용되는 에너지는 ATP의 에너지가 아니라 전자 전달계를 통해 전자가 이동할 때 방출되는 에너지이다. 한편, ATP 합성 효소를 통해 H^+이 (가)에서 (나)로 확산될 때는 ATP가 생성된다.

NADH와 $FADH_2$의 산화



NADH 1분자가 산화될 때 3분자의 ATP가 생성되고, $FADH_2$ 1분자가 산화될 때 2분자의 ATP가 생성된다.

10 ⑤ ① (가)의 TCA 회로는 미토콘드리아의 기질에서, (나)의 산화적 인산화는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.
② (가)에서는 탈탄산 효소의 작용으로 CO_2 이탈이 일어나고, 탈수소 효소의 작용으로 이탈된 수소를 받아 NADH와 $FADH_2$가 생성된다.
③ (나)에서 ㉠은 전자 전달계를 통해 이동해 온 전자를 최종적으로 수용하는 역할을 하므로 이것이 없으면 (나)가 진행되지 않고, 또 NADH와 $FADH_2$가 NAD^+와 FAD로 회복되어 (가)에 공급되지 못하므로 (가)도 진행되지 않는다. ㉠은 산소이다.
④ (가)에서 생성된 NADH와 $FADH_2$는 (나)에서 전자 전달계에 전자를 공급하고 NAD^+와 FAD로 산화된다.

오답 피하기

⑤ 아세틸 CoA 1분자가 (가)를 거치면 3NADH와 1$FADH_2$가 생성되고, 기질 수준 인산화로 1ATP가 생성된다. 그런데 (나)에서 1분자의 NADH와 $FADH_2$로부터 각각 3ATP와 2ATP가 생성되므로, 아세틸 CoA 1분자로부터 생성된 3NADH와 1$FADH_2$가 (나) 과정을 거치면 총 11ATP가 생성된다. 따라서 아세틸 CoA 1분자가 (가)와 (나)의 과정을 거쳐 완전히 분해되면 총 12분자의 ATP가 생성된다.

KOH의 역할

KOH은 다음과 같은 반응을 통해 CO_2를 흡수하여 제거한다.

$$2KOH+CO_2 \rightarrow K_2CO_3+H_2O$$

KOH처럼 CO_2를 흡수하는 물질로는 수산화나트륨(NaOH), 산화칼슘(CaO), 수산화칼슘(석회수 ; $Ca(OH)_2$) 등이 있다.

- $2NaOH+CO_2 \rightarrow Na_2CO_3+H_2O$
- $CaO+CO_2 \rightarrow CaCO_3$
- $Ca(OH)_2+CO_2 \rightarrow CaCO_3+H_2O$

11 ① ㄱ, ㄴ. 싹튼 종자는 세포 호흡을 하므로 O_2를 소비(흡수)하고 CO_2를 방출한다. 그러므로 C에서 잉크 방울의 이동 거리 15mm는 '소비한 O_2의 양－방출한 CO_2의 양'에 해당하는 기체 부피의 감소량을 나타낸다. 그리고 KOH은 방출된 CO_2를 흡수하여 제거하므로, B에서 잉크 방울의 이동 거리 50mm는 '소비한 O_2의 양(부피)'에 해당하는 기체 부피의 감소량을 나타낸다. 또, 'B에서 잉크 방울의 이동 거리－C에서 잉크 방울의 이동 거리'인 35mm는 '방출한 CO_2의 양'에 해당하는 기체 부피의 감소량을 나타낸다. 따라서 이 종자의 호흡률은 $\frac{35mm}{50mm}=0.7$이다.

ㄷ. C에서 잉크가 시험관 쪽으로 15mm 이동한 것은 시험관 내 기체의 부피가 감소하였다는 것이고, 이는 소비한 O_2의 양이 방출한 CO_2의 양보다 많다는 것을 의미한다.

오답 피하기

ㄹ. 탄수화물, 단백질, 지방의 호흡률은 각각 1.0, 0.8, 0.7 정도이다. 따라서 싹튼 종자의 호흡률이 0.7이라는 것은 주로 지방을 호흡 기질로 이용하였다는 것을 의미한다.

12 ⑤ ㄱ. 3대 영양소인 탄수화물과 지방 그리고 단백질의 분해 산물이 모두 해당 과정이나 아세틸 CoA를 거쳐 TCA 회로로 들어가거나 TCA 회로로 직접 들어가고 있다.

ㄴ. 탄수화물의 분해 산물인 포도당, 지방의 분해 산물 중 글리세롤, 단백질의 분해 산물인 아미노산 중 일부는 피루브산을 거쳐 아세틸 CoA를 만들고, 지방의 분해 산물 중 지방산, 단백질의 분해 산물인 아미노산 중 일부는 바로 아세틸 CoA를 만든다.

ㄷ. 아미노산은 질소를 포함한 아미노기가 제거된 다음 세포 호흡에 이용된다.

ㄹ. 아미노산으로부터 떨어져 나온 아미노기는 암모니아로 된 다음, 간에서 요소로 전환되어 오줌이나 땀의 성분으로 배설된다.

탈탄산 효소

탈탄산 효소는 단백질 성분의 주효소와 비타민으로 구성된 조효소, 무기 이온인 Mg^{2+}이 결합하여 구성된 전효소로, 기질로부터 CO_2를 떼어 내는 작용을 한다.

13 ⑤ ① 이 효소는 기질로부터 CO_2를 떼어 내는 작용을 하므로 탈탄산 효소이다.

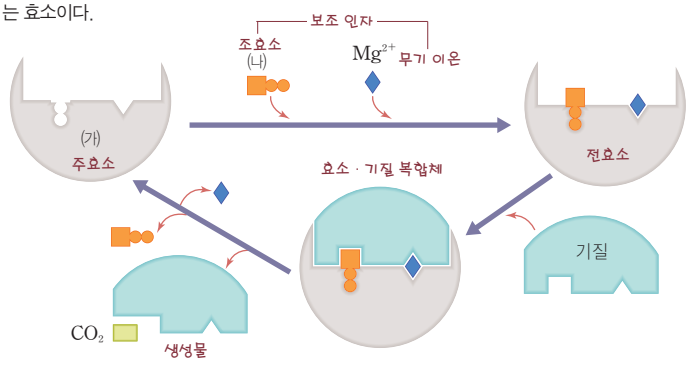
② 주효소인 (가)는 단백질 성분이므로 조효소인 (나)에 비해 열에 약하다.

③ 가수 분해나 산화에 의하지 않고 기질 분자에서 어떤 원자단(카복시기)을 떼어 내므로 분해 · 부가 효소에 속한다.

④ 비타민으로 구성된 (나)는 조효소이고 Mg^{2+}은 무기 이온으로 둘 다 효소의 활성 부위에 결합하여 효소의 활성이 나타나도록 하는 보조 인자이다.

오답 피하기

⑤ 탈탄산 효소이므로 세포 호흡의 산화적 인산화 단계가 아니라 피루브산의 산화와 TCA 회로에 관여하는 효소이다.



미토콘드리아 현탁액
미토콘드리아를 파쇄하여 등장액에 섞은 것으로 미토콘드리아의 기질과 막 성분이 포함되어 있어 피루브산의 산화와 TCA 회로, 산화적 인산화가 일어난다.

14 ② ㄱ. 미토콘드리아 현탁액에 피루브산과 인산을 넣은 후 ADP를 첨가하면 피루브산의 산화와 TCA 회로 그리고 산화적 인산화가 진행되어 ATP가 생성된다. 산소 소비량이 많다는 것은 산소를 직접 필요로 하는 단계인 산화적 인산화가 더 많이 진행되었다는 것이므로 ATP도 더 많이 생성된다는 것을 의미한다.
ㄷ. 미토콘드리아의 기질에서는 피루브산의 산화와 TCA 회로가 진행되어 NADH와 $FADH_2$가 만들어진다.

오답 피하기
ㄴ. ADP는 산화적 인산화를 일으키는 데 필요한 물질이지만 ATP는 산화적 인산화를 진행하는 데 요구되는 물질이 아니라 산화적 인산화에서 생성되는 물질이다. 따라서 ADP 대신 ATP를 첨가하면 ADP가 공급되지 않아 산화적 인산화가 진행되지 않는다.
ㄹ. 미토콘드리아의 현탁액에서는 세포질에서 일어나는 해당 작용이 일어날 수 없으므로, 피루브산 대신 포도당을 첨가하면 포도당이 피루브산으로 분해되지 않아 TCA 회로나 산화적 인산화도 진행되지 못한다. 따라서 산소 소비량은 증가하는 것이 아니라 오히려 감소한다.

세포 호흡 저해제
안티마이신 A와 같이 세포 호흡의 특정 단계를 차단하여 세포 호흡을 저해하는 여러 가지 물질을 통틀어 세포 호흡 저해제라고 한다. 세포 호흡 저해제를 처리하면 ATP가 생성되지 않는다.

15 ③ ㄱ. 사이토크롬 c는 사이토크롬 b로부터 전자를 전달받지 못해 환원되지 못하므로 산화 상태로 남게 된다.
ㄹ. 전자 전달계를 통해 정상적으로 전자가 전달될 경우, 전자 전달 시 방출되는 에너지를 이용하여 양성자 펌프가 미토콘드리아 기질에서 막간 공간으로 H^+을 능동 수송한다. 따라서 막간 공간의 H^+ 농도가 높게 유지되는데, 안티마이신 A를 처리하면 전자 전달이 저해되므로 이것이 불가능해져 막간 공간의 H^+ 농도는 안티마이신 A를 처리하기 전에 비해 감소한다.

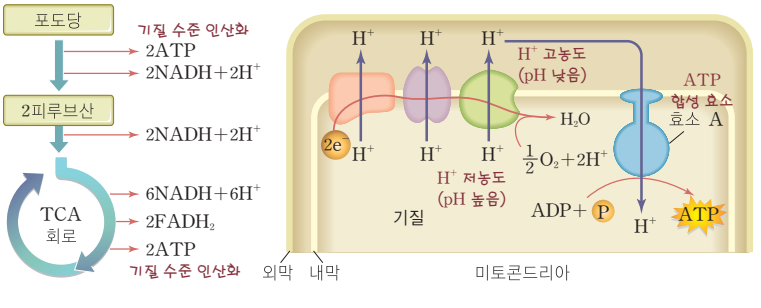
오답 피하기
ㄴ. 안티마이신 A는 사이토크롬 b에서 사이토크롬 c로의 전자 전달을 저해하므로 안티마이신 A를 처리하면 전자 전달계를 이용한 산화적 인산화가 억제되어 안티마이신 A를 처리하기 전에 비해 ATP 생성량이 크게 줄어든다.
ㄷ. 안티마이신 A가 사이토크롬 b에서 사이토크롬 c로의 전자 전달을 저해하므로, 전자 전달계를 통해 전달된 전자는 산소까지 전달되지 못한다.

NADH와 $FADH_2$의 전자 전달
- $NADH+H^+ \longrightarrow NAD^++2H^++2e^-$
- $FADH_2 \longrightarrow FAD+2H^++2e^-$

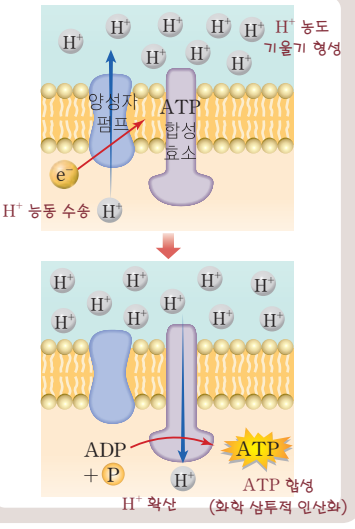
전자 전달계

16 ① ㄱ. (가)에서 생성된 NADH와 $FADH_2$가 NAD^+와 FAD로 산화되면서 (나)의 전자 전달계에 전자를 공급한다.

오답 피하기
ㄴ. (나)에서 내막의 전자 운반체들을 통해 전자가 흐르면 막간 공간으로 H^+이 능동 수송되어 막간 공간의 H^+ 농도가 높아지므로, 막간 공간의 pH는 낮아진다. pH는 $\log\frac{1}{[H^+]}$이므로 H^+의 농도가 높을수록 pH는 낮아진다.
ㄷ. 세포 호흡에서 ATP의 대부분은 (나)의 효소 A(ATP 합성 효소)의 작용으로 생성되지만, 해당 과정과 TCA 회로에서도 기질 수준 인산화로 일부 ATP가 생성되므로, 세포 호흡에서 모든 ATP가 효소 A의 작용으로 생성되는 것은 아니다.



산화적 인산화



1. 산화적 인산화

모범 답안 | (가), (나), (다)의 양성자 펌프는 NADH와 $FADH_2$에서 공급된 전자가 전자 전달계를 통해 흐르는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H^+을 미토콘드리아 기질에서 막간 공간으로 능동 수송한다. 이렇게 하여 미토콘드리아 내막을 경계로 형성된 H^+의 농도 기울기를 따라 H^+이 (라)의 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성된다.

알짜 풀이 | 세포 호흡의 해당~TCA 회로에서 생성된 NADH와 $FADH_2$에서 공급된 전자가 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 따라 최종 전자 수용체인 산소까지 이동되는 동안 방출된 에너지는 (가), (나), (다)의 양성자 펌프가 H^+을 미토콘드리아의 기질에서 내막과 외막 사이의 막간 공간으로 능동 수송하는 데 이용된다. 이렇게 하여 미토콘드리아의 내막을 경계로 H^+의 농도 기울기가 형성되며, 농도 기울기를 따라 H^+이 (라)의 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성된다.

2. 세포 호흡의 전체 과정

모범 답안 | (1) 사이토크롬에서 (나)의 Fe^{3+}은 이전 단계의 전자 운반체로부터 전자를 전달받아 (가)의 Fe^{2+}으로 환원되었다가 다시 (나)의 Fe^{3+}으로 산화되면서 다음 단계의 전자 운반체로 전자를 전해 준다.

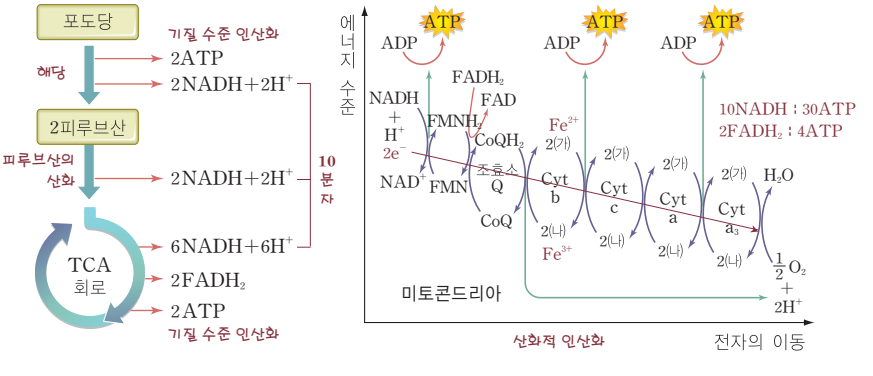
(2) 포도당 1분자로부터 해당 과정에서 기질 수준 인산화로 2ATP가 생성되고, TCA 회로에서 기질 수준 인산화로 2ATP가 생성된다. 그리고 해당~TCA 회로에서 생성된 10NADH와 $2FADH_2$가 전자 전달계에 전자를 공급하면, 산화적 인산화가 일어나 1분자의 NADH와 $FADH_2$로부터 각각 3ATP와 2ATP가 생성되므로 총 34ATP가 생성된다. 따라서 포도당 1분자가 세포 호흡을 통해 완전히 산화 분해되면 총 38ATP가 생성된다.

NADH와 $FADH_2$의 ATP 합성량

실제로 NADH 1분자가 전달하는 전자의 에너지는 2.5~3.3분자의 ATP를 합성할 수 있는 H^+ 농도 기울기를 형성하고, $FADH_2$ 1분자가 전달하는 전자의 에너지는 1.5~2.0분자의 ATP를 합성할 수 있는 H^+ 농도 기울기를 형성한다.

알짜 풀이 | (1) 사이토크롬에는 철 이온이 들어 있어 2가와 3가 상태를 오가면서 전자를 전달한다. 구체적으로 (가)와 (나)는 각각 Fe^{2+}과 Fe^{3+}으로, (나)의 Fe^{3+}은 이전 단계의 전자 운반체로부터 전자를 전달받아 (가)의 Fe^{2+}으로 환원되었다가 다시 (나)의 Fe^{3+}으로 산화되면서 다음 단계의 전자 운반체로 전자를 전해 준다.

(2) 해당 과정에서는 기질 수준 인산화로 포도당 1분자로부터 2ATP가 생성되고, TCA 회로에서도 기질 수준 인산화로 2ATP가 생성된다. 그리고 해당~TCA 회로에서는 포도당 1분자로부터 총 10NADH와 $2FADH_2$가 생성된다. 전자 전달계에서는 NADH와 $FADH_2$ 1분자로부터 각각 약 3ATP와 2ATP가 생성되므로, 10NADH와 $2FADH_2$로부터 각각 최대 30ATP와 4ATP가 생성되며, 전자 전달계에서 일어나는 산화적 인산화에 의해 최대 34ATP가 생성된다.

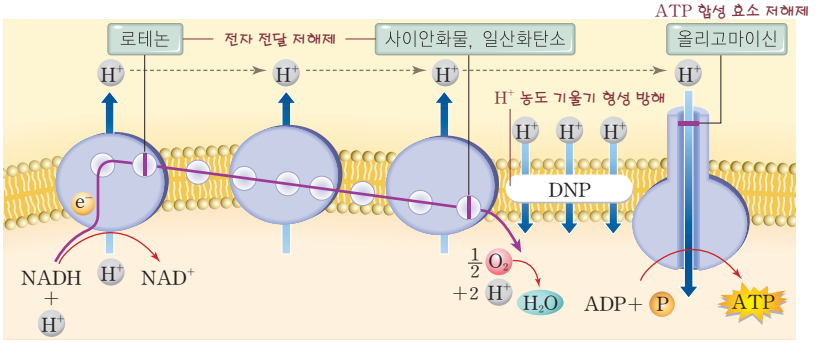


세포 호흡의 산화적 인산화에 작용하는 독극물
- 전자 전달 저해제 : 로테논, 사이안화물(청산가리), 일산화탄소 등
- ATP 합성 효소 저해제 : 올리고마이신 등
- 짝풀림제 : DNP, UCP 등

3. 산화적 인산화 단계에 작용하는 독극물

모범 답안 | (1) DNP는 미토콘드리아의 내막을 통해 H^+이 새어 나가게 하여 H^+의 농도 기울기가 형성되지 못하게 함으로써 ATP의 생성을 막는다. 따라서 같은 양의 ATP를 얻는 데에도 많은 양의 탄수화물이나 지방이 소비되므로 체중이 줄어든다.
(2) 로테논과 사이안화물 및 일산화탄소는 전자 운반체에 결합하여 전자 전달계에서 전자의 흐름을 멈추고 H^+의 농도 기울기가 형성되지 못하게 하여 ATP의 생성을 막고, 올리고마이신은 ATP 합성 효소를 통해 H^+이 확산되는 것을 막아 ATP의 생성을 막는다.

알짜 풀이 | (1) DNP는 미토콘드리아 내막에 끼어들어 H^+이 새어 나가게 하는 통로 역할을 하는데, 이를 통해 H^+이 확산될 때는 ATP가 생성되지 않는다. 결국 DNP는 산화적 인산화 단계에서 H^+의 농도 기울기가 형성되는 것을 막아 ATP 합성 효소에서 ATP가 생성되는 것을 저해하는 작용을 한다. 이렇게 되면 같은 양의 호흡 기질이 세포 호흡에 쓰여도 훨씬 적은 양의 ATP만 생성되므로, 같은 양의 ATP를 얻는 데에도 이전보다 훨씬 많은 양의 탄수화물이나 지방이 소비되어 몸무게가 감소한다.
(2) 로테논과 사이안화물 및 일산화탄소는 전자 전달 저해제로, 전자 운반체에 결합하여 전자 전달계를 통한 전자의 흐름을 저해함으로써 전체적인 산화적 인산화를 차단하여 ATP 생성을 막는다. 그리고 올리고마이신은 ATP 합성 효소 저해제로, ATP 합성 효소에 결합하여 H^+이 ATP 합성 효소를 통해 확산되는 것을 차단함으로써 ATP 생성을 막는다.



3대 영양소의 호흡률
호흡 기질에 따라 C, H, O 원자의 구성비가 다르기 때문에 호흡률도 다르다. 탄수화물은 $\frac{C}{O}$비가 1이어서 호흡률이 1.0이다. 지방과 단백질은 $\frac{C}{O}$비가 1보다 작아서 호흡률도 1보다 작다. 탄수화물, 지방, 단백질의 호흡률은 각각 약 1.0, 0.7, 0.8이다.

4. 호흡률 측정

모범 답안 | 콩의 호흡률은 $\frac{\text{B에서 잉크 물의 이동 거리}-\text{C에서 잉크 물의 이동 거리}}{\text{B에서 잉크 물의 이동 거리}}=\frac{40-11}{40}$ $=0.725$로 지방의 호흡률인 0.7에 가깝다. 따라서 콩은 주로 지방을 호흡 기질로 사용한다고 볼 수 있다. 한편, 밀의 호흡률은
$\frac{\text{D에서 잉크 물의 이동 거리}-\text{E에서 잉크 물의 이동 거리}}{\text{D에서 잉크 물의 이동 거리}}=\frac{25-1}{25}=0.96$으로 탄수화물의 호흡률인 1.0에 가깝다. 따라서 밀은 주로 탄수화물을 호흡 기질로 사용한다고 볼 수 있다.

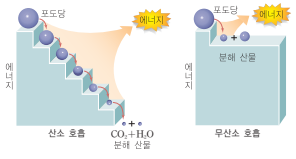
알짜 풀이 | 싹튼 콩과 밀은 세포 호흡에 O_2를 소비하고 CO_2를 발생시키며, 호흡률은 $\frac{\text{발생한 } CO_2 \text{ 부피}}{\text{소비한 } O_2 \text{ 부피}}$이다. B와 D에서는 KOH이 발생한 CO_2를 흡수하여 제거하므로 잉크 물의 이동 거리는 콩과 밀이 각각 '소비한 O_2 부피'에 해당하고, C와 E에서 잉크 물의 이동 거리는 콩과 밀이 각각 '소비한 O_2 부피 − 발생한 CO_2 부피'에 해당한다. 이에 따라 B와 C의 잉크 물의 이동 거리 차이와 D와 E의 잉크 물의 이동 거리 차이는 각각 콩과 밀이 발생한 CO_2 부피에 해당한다.

02 발효

개념 체크 p.149

A 산소 호흡과 무산소 호흡

그림은 산소 호흡과 무산소 호흡을 비교한 것이다.

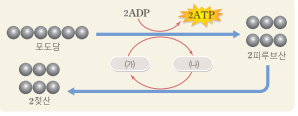


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 산소 호흡에는 산소가 필요하고, 무산소 호흡에는 산소가 필요하지 않다. (○)
2. 산소 호흡은 유기물을 완전히 분해하지만, 무산소 호흡은 유기물을 불완전 분해하여 최종 분해 산물에 많은 에너지가 남아 있다. (○)
3. 포도당을 호흡 기질로 산소 호흡과 무산소 호흡이 일어났을 때, 산소 호흡보다 무산소 호흡에서 더 많은 ATP가 생성된다. (×)
4. 무산소 호흡의 최종 산물이 인간 생활에 유용하면 발효, 해로우면 부패라고 한다. (○)

B 젖산 발효

그림은 젖산 발효 과정을 나타낸 것이다.

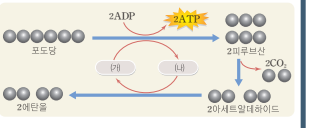


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 NADH이고, (나)는 NAD^+이다. (×)
2. 젖산 발효에서는 해당 과정을 거칠 때 기질 수준 인산화에 의해 ATP가 만들어진다. (○)
3. 젖산 발효에서는 수소의 이탈과 CO_2의 이탈이 모두 일어난다. (×)
4. 격렬한 운동을 할 때 사람의 근육 세포에서는 산소 호흡뿐만 아니라 젖산 발효에 해당하는 무산소 호흡도 일어난다. (○)
5. 산소 호흡과 젖산 발효에서 NADH가 가진 전자는 최종적으로 산소와 피루브산에 각각 전해진다. (○)

C 알코올 발효

그림은 알코올 발효 과정을 나타낸 것이다.

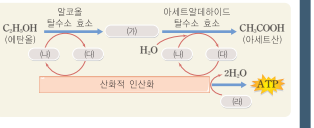


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 $FADH_2$이고, (나)는 FAD이다. (×)
2. 알코올 발효에서는 해당 과정을 거칠 때 산화적 인산화에 의해 ATP가 만들어진다. (×)
3. 알코올 발효에서는 수소의 이탈과 CO_2의 이탈이 모두 일어난다. (○)
4. 포도당은 알코올 발효에 의해 에탄올과 CO_2로 분해된다. (○)
5. 젖산 발효와 알코올 발효에서 NADH가 가진 전자를 최종적으로 받는 물질은 각각 피루브산과 아세트알데하이드이다. (○)

D 아세트산 발효

그림은 아세트산 발효 과정을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 피루브산이다. (×)
2. (나)는 NAD^+이고, (다)는 NADH이다. (○)
3. 아세트산 발효에서는 수소의 이탈과 CO_2의 이탈이 모두 일어난다. (×)
4. 아세트산 발효에서 NADH가 가진 전자를 최종적으로 받는 물질 (라)는 산소이다. (○)
5. 아세트산 발효가 젖산 발효나 알코올 발효와 다른 점은 산소를 이용한다는 점, 산화적 인산화에 의해 ATP를 생성한다는 점 등이다. (○)

A 산소 호흡과 무산소 호흡

01 산소 호흡은 산소를 이용하여 유기물을 분해함으로써 에너지를 얻는 과정이므로 산소가 필요하고, 무산소 호흡은 산소를 이용하지 않고 유기물을 분해하여 에너지를 얻는 과정이므로 산소가 필요 없는 과정이다.

02 산소 호흡은 산소를 이용하여 유기물을 물과 CO_2로 완전히 분해하지만, 무산소 호흡은 산소를 이용하지 않고 유기물을 불완전 분해하므로 최종 분해 산물에 많은 에너지가 남아 있다.

03 산소 호흡에 의해서는 포도당이 완전히 분해되는 반면 무산소 호흡에 의해서는 포도당이 불완전 분해되므로, 무산소 호흡보다 산소 호흡에서 더 많은 ATP가 생성된다.

04 무산소 호흡은 크게 두 가지로 구분하는데, 최종 산물이 인간 생활에 유용한 경우 발효라 하고 해로운 경우 부패라고 한다.

B 젖산 발효

01 젖산 발효에서는 해당 과정에서 생성된 (나)의 NADH가 산소가 아닌 피루브산에 전자를 전해 주고 (가)의 NAD^+로 재생된다.

02 젖산 발효에서는 산소 호흡과 마찬가지로 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 해당 과정에서 기질 수준 인산화에 의해 ATP 2분자가 생성된다.

03 젖산 발효에서는 수소의 이탈에 의해 NADH는 생성되지만, 6탄소 화합물인 포도당이 3탄소 화합물인 젖산 2분자로 분해되므로 CO_2의 이탈은 일어나지 않는다.

04 격렬한 운동을 할 때에는 운동에 필요한 ATP를 공급하기 위해 사람의 근육 세포에서 산소 호흡뿐만 아니라 무산소 호흡에 해당하는 젖산 발효도 일어난다.

05 산소 호흡에서는 NADH가 가진 전자가 전자 전달계를 거쳐 최종 전자 수용체인 산소에 전해지고, 젖산 발효에서는 NADH가 가진 전자가 피루브산에 전해진다.

C 알코올 발효

01 알코올 발효에서는 해당 과정에서 생성된 (나)의 NADH가 아세트알데하이드(CH_3CHO)에 전자를 전해 주고 (가)의 NAD^+로 회복된다.

02 산소 호흡이나 젖산 발효와 마찬가지로 알코올 발효에서도 해당 과정을 거칠 때 기질 수준 인산화에 의해 ATP가 생성된다.

03 알코올 발효에서는 해당 과정에서 수소의 이탈이 일어나 NADH가 생성되고, 또 피루브산이 아세트알데하이드(CH_3CHO)로 될 때 CO_2의 이탈이 일어난다.

04 알코올 발효에 의해 포도당 1분자는 에탄올 2분자와 CO_2 2분자로 분해된다.

05 젖산 발효에서는 피루브산이 NADH가 가진 전자를 최종적으로 받아 젖산으로 되고, 알코올 발효에서는 아세트알데하이드가 NADH가 가진 전자를 최종적으로 받아 에탄올로 된다.

D 아세트산 발효

01 알코올 탈수소 효소의 작용으로 에탄올에서 수소가 이탈하면 (가)의 아세트알데하이드로 된다.

02 알코올 탈수소 효소에 의해 이탈된 수소를 수용하는 (나)는 NAD^+이고, 이것이 수소를 수용하여 생성된 물질 (다)는 NADH이다.

03 아세트산 발효에서는 수소의 이탈이 일어나 NADH가 생성된다. 그러나 에탄올과 아세트산이 모두 C_2인 것으로 볼 때, CO_2의 이탈은 일어나지 않는다.

04 아세트산 발효에서는 산화적 인산화가 일어나므로 NADH가 가진 전자를 최종적으로 받는 물질 (라)는 산소이다.

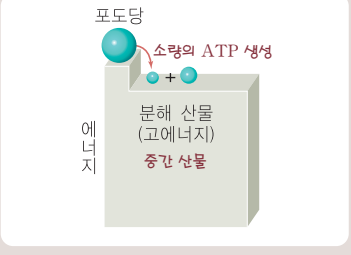
05 아세트산 발효가 젖산 발효나 알코올 발효와 다른 점은 산화적 인산화에 의해 ATP가 생성되고, 산화적 인산화를 일으키는 데 산소를 이용한다는 점, 그리고 호흡 기질이 포도당이 아니라 에탄올이라는 점 등이다.

개념 확인 문제 pp.150~151

01. ④ 02. (가) 03. ② 04. 해당(또는 해당 작용) 05. ②
06. ③ 07. (가) 08. (가) 09. (다) 10. ⑤ 11. ③ 12. ①
13. ② 14. ⑤ 15. ⑤ 16. ㄴ, ㄱ, ㄷ 17. ④ 18. ③
19. 젖산 발효 : 피루브산, 알코올 발효 : 아세트알데하이드, 아세트산 발효 : 산소

01 ④ 생물이 산소 호흡이나 무산소 호흡을 하는 공통된 목적은 생명 활동에 필요한 에너지 즉, ATP를 얻기 위한 것이다.

무산소 호흡



무산소 호흡의 최종 분해 산물은 산소 호흡에 이용될 경우 완전히 분해되면서 추가로 에너지를 방출한다. 그런 까닭에 젖산, 에탄올과 같은 무산소 호흡의 최종 산물을 중간 산물이라고 부른다.

02 (가) 산소 호흡은 산소를 이용하여 유기물을 CO_2와 H_2O로 완전히 분해하는 과정이므로 생성물에는 에너지가 거의 남아 있지 않고, 무산소 호흡은 산소를 이용하지 않고 유기물을 불완전 분해하여 에너지를 얻는 과정이므로 생성물에도 에너지가 상당량 남아 있다. 따라서 산소 호흡을 나타낸 것은 (나)이고, 무산소 호흡을 나타낸 것은 (가)이다.

03 ② 산소 호흡의 경우 산소를 이용하여 유기물이 완전히 산화 분해된다. 따라서 발생하는 에너지양이 많아 다량의 ATP가 생성되므로, 에너지 효율이 높다. 반면, 무산소 호흡의 경우 산소가 없는 상태에서 유기물이 불완전하게 산화 분해된다. 따라서 발생하는 에너지양이 산소 호흡에 비해 훨씬 적어 소량의 ATP만 생성되므로, 에너지 효율이 낮다.

오답 피하기
② 산소 호흡에서는 유기물이 무기물인 이산화탄소와 물로 완전히 산화 분해되지만, 무산소 호흡에서는 유기물이 불완전 분해되어 중간 산물인 유기물이 남는다.

04 해당(또는 해당 작용)
세포 호흡은 해당과 피루브산의 산화 및 TCA 회로 그리고 산화적 인산화의 과정으로 구분하는데, 산소 호흡과 젖산 발효 및 알코올 발효가 공통적으로 거치는 과정은 해당 과정이다.

05 ② ① 젖산 발효와 알코올 발효는 둘 다 무산소 호흡의 일종으로 산소 없이 진행된다.
③ 젖산 발효와 알코올 발효는 둘 다 포도당이 산화 분해되면서 에너지가 방출된다.
④ 젖산 발효와 알코올 발효는 둘 다 세포 호흡의 해당 과정을 거치므로, 이 과정에서 기질 수준 인산화에 의해 ATP가 생성된다.
⑤ 젖산 발효에서는 피루브산이, 알코올 발효에서는 아세트알데하이드가 NADH가 가진 전자의 최종 수용체로 작용하며, 피루브산과 아세트알데하이드는 유기물이다.

오답 피하기
② 알코올 발효에서는 CO_2의 이탈이 일어나지만, 젖산 발효에서는 CO_2의 이탈이 일어나지 않는다.

아세트산 발효가 다른 발효와 다른 점
호흡 기질이 포도당이 아닌 에탄올이고, NADH가 가진 전자의 최종 수용체로 산소를 이용하는 산화적 인산화에 의해 ATP를 생성한다.

06 ③ ① 알코올 발효는 산소가 없는 상태에서 진행되지만, 아세트산 발효는 산화적 인산화 과정에 산소를 이용한다.
② 알코올 발효의 호흡 기질은 포도당이지만, 아세트산 발효의 호흡 기질은 에탄올이다.
④ 아세트산 발효는 산소를 이용한 산화적 인산화에 의해 ATP를 생성한다.
⑤ 아세트산 발효에서 일어나는 산화적 인산화에서 NADH가 가진 전자의 최종 수용체는 산소 호흡에서와 마찬가지로 산소이다.

오답 피하기
③ 아세트산 발효의 최종 산물인 아세트산도 알코올 발효의 최종 산물인 에탄올과 마찬가지로 유기물이다.

젖산 발효와 알코올 발효의 비교

구분	젖산 발효	알코올 발효
호흡 기질	포도당	포도당
생성물	젖산	알코올
NADH가 가진 전자의 최종 수용체	피루브산	아세트 알데하이드
CO_2 이탈	없다.	있다.

07 (가) 젖산 발효와 알코올 발효에서 ATP는 해당 과정에 해당하는 (가) 단계에서 기질 수준 인산화에 의해 생성된다.

08 (가) 젖산 발효와 알코올 발효에서 탈수소 반응은 해당 과정에 해당하는 (가) 단계에서 일어난다. 이때 이탈되어 나오는 수소를 NAD^+가 받아 NADH가 생성된다.

09 (다) CO_2가 이탈되는 탈탄산 반응이 일어나면 탄소 수가 1개 줄어들므로, 탈탄산 반응은 3탄소 화합물인 피루브산이 2탄소 화합물인 에탄올로 되는 (다) 단계에서 일어난다고 볼 수 있다. 이때 탈탄산 효소가 관여한다.

산소 호흡과 발효

10 ⑤ (가)+(마)는 산소 호흡의 과정으로, (가)가 해당 과정에 해당하고 (마)는 피루브산의 산화와 TCA 회로 그리고 산화적 인산화를 합친 것에 해당한다. 그런데 O_2는 산화적 인산화가 일어날 때 최종 전자 수용체로 작용하므로 (마) 단계에서 이용된다. 그리고 아세트산 발효를 나타내는 (라) 단계에서도 산화적 인산화가 일어나므로 여기에서도 O_2가 이용된다.

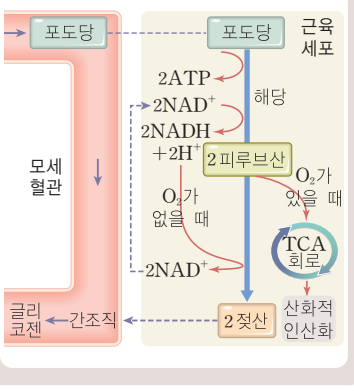
11 ③ 해당 과정에 해당하는 (가)뿐만 아니라, (마)에 포함되어 있는 TCA 회로에서는 기질 수준 인산화에 의해 ATP가 생성된다. 또 (마)에 포함되어 있는 산화적 인산화 단계뿐만 아니라, 아세트산 발효에 해당하는 (라)에서도 산화적 인산화에 의해 ATP가 생성된다.

12 ① 김치를 담그거나 요구르트를 만들 때 이용되는 단계는 젖산 발효에 해당하는 (가)+(나)이다. (가)의 해당 과정에 의해 포도당이 2분자의 피루브산으로 분해된 후, 피루브산이 NADH를 NAD^+로 산화시키면서 젖산이 되는 과정이 젖산 발효이다.

13 ② 효모를 이용하여 빵을 만들 때 거치는 단계는 알코올 발효에 해당하는 (가)+(다)이다. (가)의 해당 과정에 의해 포도당이 2분자의 피루브산으로 분해된 후, (다)에서 피루브산은 탈탄산 반응을 거쳐 CO_2를 방출하고 아세트알데하이드로 된다. 이어 아세트알데하이드는 다시 NADH에 의해 에탄올로 환원된다.

14 ⑤ 과일을 이용해 식초를 만들 때는 과일에 들어 있는 포도당이 우선 알코올 발효를 거쳐 에탄올로 된 다음, 아세트산 발효에 의해 아세트산으로 된다. 그런데 알코올 발효에 해당하는 단계는 (가)+(다)이고 아세트산 발효에 해당하는 단계는 (라)이므로, 과일을 이용하여 식초를 만들 때 거치는 단계는 (가), (다), (라)이다. (라) 과정에는 산소가 이용되므로 (라)의 아세트산 발효를 산화 발효라고도 한다.

근육 세포에서의 호흡



15 ⑤ 갑자기 심한 운동을 할 때 사람의 근육 세포에서는 초기에 산소의 공급이 원활하지 못하여 운동에 필요한 ATP를 공급하기 위해서 해당 과정을 통한 포도당의 분해가 빠른 속도로 진행된다. 그 결과, 피루브산과 NADH의 양이 급격히 증가하는데, 젖산 발효가 진행되면 피루브산은 NADH를 NAD^+로 산화시키고 젖산이 된다.

16 ㄴ, ㄱ, ㄷ

알코올 발효에 해당하는 것은 포도당 1분자로부터 에탄올(C_2H_5OH) 2분자와 CO_2 2분자가 생성되는 ㄴ이고, 젖산 발효에 해당하는 것은 포도당 1분자로부터 젖산($C_3H_6O_3$) 2분자가 생성되는 ㄱ이다. 그리고 아세트산 발효를 나타낸 것은 에탄올이 호흡 기질로 이용되고 아세트산(CH_3COOH)이 생성되는 ㄷ이다. ㄹ은 산소 호흡을 나타낸 것이다.

17 ④ 해당 과정을 거쳐 일어나는 물질대사는 포도당을 호흡 기질로 하는 산소 호흡(ㄹ)과 젖산 발효(ㄱ) 그리고 알코올 발효(ㄴ)가 있다. 아세트산 발효(ㄷ)는 호흡 기질이 포도당이 아닌 에탄올이므로 해당 과정을 거치지 않는다.

18 ③ 알코올 발효는 술이나 빵을 만드는 데 이용되고, 젖산 발효는 김치, 젓갈 등을 담그거나 치즈와 요구르트 등과 같은 유제품을 만드는 데 이용된다. 그리고 아세트산 발효는 식초를 만드는 데 이용된다.

NADH가 가진 전자의 최종 수용체
- 산소 호흡과 아세트산 발효 : 산소
- 젖산 발효 : 피루브산
- 알코올 발효 : 아세트알데하이드

19 **젖산 발효 : 피루브산, 알코올 발효 : 아세트알데하이드, 아세트산 발효 : 산소**

젖산 발효에서는 해당 작용의 산물인 피루브산이 직접 NADH가 가진 전자를 최종적으로 수용하고, 알코올 발효에서는 해당 작용의 산물인 피루브산으로부터 CO_2가 이탈되는 과정을 거쳐 생성된 아세트알데하이드가 NADH가 가진 전자를 최종적으로 수용한다. 그리고 아세트산 발효에서는 산화적 인산화가 일어나므로 산소 호흡에서와 마찬가지로 산소가 NADH가 가진 전자를 최종적으로 수용하는 역할을 한다.

개념 활용 문제

pp.152~155

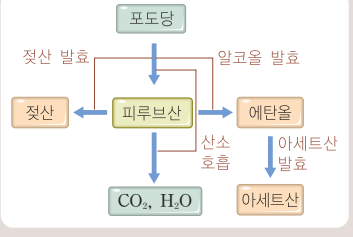
01. ⑤ **02.** ① **03.** ⑤ **04.** ⑤ **05.** ④ **06.** ④ **07.** ⑤ **08.** ⑤

01 ⑤ ㄱ. 산소 호흡에서는 포도당이 물과 이산화탄소로 완전히 산화 분해되지만, 젖산 발효, 알코올 발효, 아세트산 발효에서는 호흡 기질인 포도당이나 에탄올이 불완전 산화 분해되어 최종 분해 산물로 각각 젖산, 에탄올, 아세트산과 같은 유기물이 남는다.

ㄴ. 산소 호흡과 아세트산 발효에서는 NADH가 가진 전자의 최종 수용체로 산소가 이용되지만, 젖산 발효와 알코올 발효에서는 산소가 이용되지 않는다.

ㄷ. 산소 호흡과 알코올 발효에서는 CO_2가 이탈되는 탈탄산 반응이 일어나 CO_2가 방출되지만, 젖산 발효와 아세트산 발효에서는 CO_2의 이탈이 일어나지 않는다.

세포 호흡



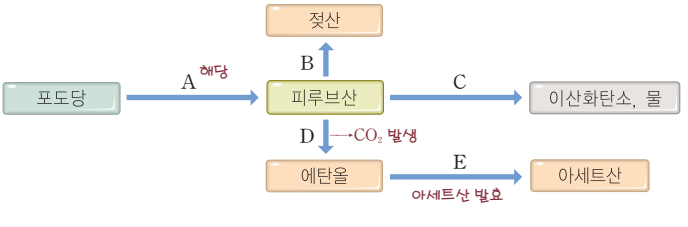
02 ① ㄱ. 김치는 젖산 발효인 A+B 과정에 의해 익는다.

ㄴ. 사과 식초를 만들 때는 먼저 알코올 발효인 A+D 과정에 의해 사과 속의 당을 에탄올과 CO_2로 분해한 다음, 아세트산 발효인 E 과정에 의해 에탄올을 아세트산으로 전환시킨다.

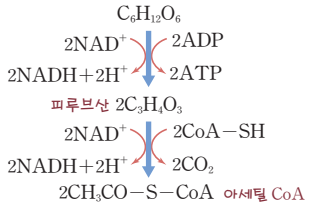
ㄷ. 효모를 이용하여 빵 반죽을 숙성시킬 때는 알코올 발효인 A+D 과정이 진행되는데, 이 과정에서 발생한 CO_2로 밀가루 반죽 속에 기포가 생성되어 반죽이 부풀면서 빵의 부드러운 조직이 형성된다.

오답 피하기

ㄹ. 격렬한 운동을 할 때 사람의 근육 세포에서는 산소 호흡인 A+C 과정도 진행되지만, 산소가 충분하지 못해 젖산 발효인 A+B 과정도 일어난다.



해당 과정과 피루브산의 산화



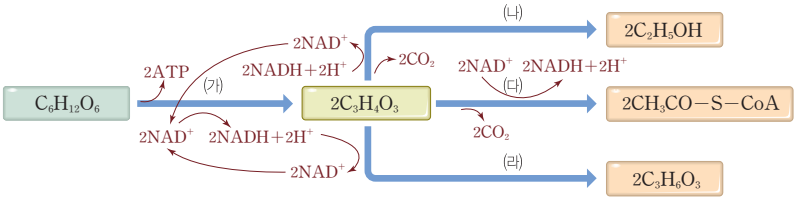
03 ⑤ ㄴ. 3탄소 화합물인 피루브산($C_3H_4O_3$)이 2탄소 화합물인 에탄올(C_2H_5OH)로 되는 (나) 과정과, 3탄소 화합물인 피루브산($C_3H_4O_3$)이 2탄소 화합물인 아세틸 CoA($CH_3CO-S-CoA$)로 되는 (다) 과정에서 탈탄산 효소의 작용으로 CO_2의 이탈이 일어난다.

ㄹ. 포도당($C_6H_{12}O_6$) 1분자가 피루브산($C_3H_4O_3$) 2분자로 분해되는 해당 과정 (가)와 피루브산이 아세틸 CoA($CH_3CO-S-CoA$)로 산화되는 과정 (다)에서 탈수소 반응에 의해 이탈된 수소를 NAD^+가 받아 NADH가 생성된다.

오답 피하기

ㄱ. 해당 과정인 (가)에서만 기질 수준 인산화로 ATP가 생성된다.

ㄷ. 알코올 발효와 젖산 발효에서는 해당 과정 (가)에서 NAD^+가 NADH로 환원되고, 나머지 과정인 (나)와 (라)에서 NADH의 산화가 일어난다. NADH의 산화를 통해 재생된 NAD^+는 다시 해당 과정에 투입된다.

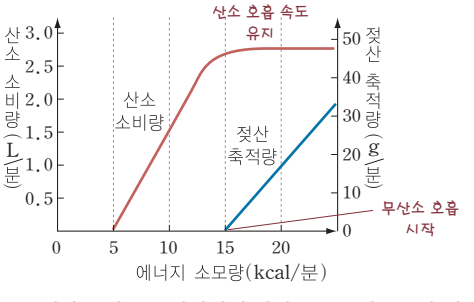


04 ⑤ ㄴ. 에너지 소모량이 지나치게 많아지면 산소 호흡에 의한 산소 소비량은 더 이상 증가하지 못하고 무산소 호흡인 젖산 발효가 일어나 젖산이 생성되기 시작한다.

ㄷ. 에너지 소모량이 많아지면 산소 소비량은 일정하게 유지되고 젖산이 축적되는 것으로 보아, 격렬한 운동을 할 때는 산소 호흡과 무산소 호흡에 의해 생성된 ATP가 모두 사용된다는 것을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 에너지 소모량이 증가할수록 산소 소비량은 증가하다가 일정해진다. 따라서 운동의 강도가 강해질수록 산소 호흡 속도가 증가하다가 일정해진다는 것을 알 수 있다.



효모의 호흡 효율

효모는 산소 호흡을 할 때 빠른 속도로 증식하므로, A 과정에서는 개체 수가 증가하며, 무산소 호흡을 할 때는 잘 증식하지 못하므로 B 과정에서는 개체 수가 거의 증가하지 않고 알코올 발효에 의해 에탄올이 생성된다.

05 ④ ① A에서는 산소를 차단하지 않았으므로 산소 호흡이 일어나며, 이때 효모가 빠른 속도로 증식한다.

② 효모의 개체 수가 늘어난 상태에서 공기와의 접촉을 차단하면, 효모는 무산소 호흡인 알코올 발효를 하게 된다.

③ 알코올 발효에 의해 포도당 1분자는 에탄올(C_2H_5OH) 2분자와 CO_2 2분자로 분해되므로, B에서 발생한 기체의 성분은 주로 CO_2이다.

⑤ B에서 알코올 발효에 의해 다량의 에탄올이 생성된 가운데, C에서 마개를 열어 산소가 들어오면 에탄올을 호흡 기질로 산소를 이용하여 아세트산 발효가 진행된다.

오답 피하기

④ B에서는 무산소 호흡의 일종인 알코올 발효가 일어나 알코올(에탄올)이 생성되지만, A에서는 산소 호흡에 의해 포도당이 CO_2와 H_2O로 완전히 분해되므로 알코올이 생성되지 않는다.

06 ④ ㄴ. 발효관 A는 효모에 의해 알코올 발효가 일어나지 않으면 맹관부에 기체가 발생하지 않는다는 것을 보여 주는 대조군으로 설정된 것이다.

ㄷ. 알코올 발효에 의해 당이 에탄올과 CO_2로 분해되므로, 에탄올의 농도는 맹관부에 모인 CO_2의 부피에 비례하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 에탄올의 농도가 높은 것부터 나열하면 기체 발생량의 순서와 똑같이 B, C, D의 순이다.

오답 피하기

ㄱ. 맹관부에 모인 기체는 KOH 용액에 흡수되어 제거되므로 알코올 발효에 의해 발생한 이산화탄소이다.
ㄹ. 설탕을 호흡 기질로 이용한 C에서의 기체 발생량이 포도당을 호흡 기질로 이용한 B에서의 기체 발생량보다는 적고 갈락토스를 호흡 기질로 이용한 D에서의 기체 발생량보다는 많다. 따라서 효모가 호흡 기질로 잘 이용하는 순서는 포도당, 설탕, 갈락토스의 순이다.

세포 호흡에서 산소가 필요한 단계

산소가 있을 때는 해당 과정에서 생성된 피루브산이 미토콘드리아로 들어가 산화된 후 TCA 회로와 산화적 인산화 단계를 거쳐 다량의 ATP가 생성되지만, 산소가 없을 때는 해당 과정까지만 진행된다.

07 ⑤ ① TCA 회로의 최초 산물인 물질 X는 6탄소 화합물인 시트르산($C_6H_8O_7$)이다.

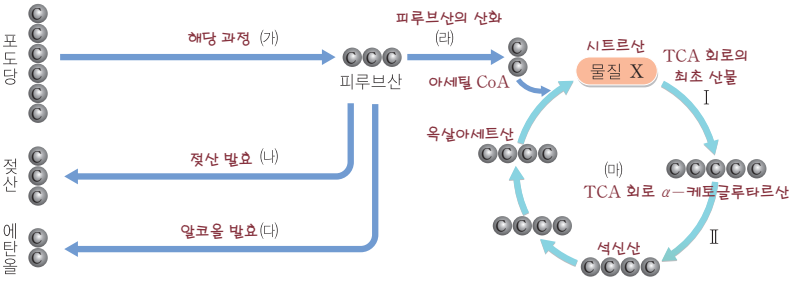
② 해당 과정 (가)와 TCA 회로 (마)의 II단계에서는 기질 수준 인산화에 의해 ATP가 생성된다.

③ CO_2의 이탈이 일어나면 탄소 수가 줄어들므로, CO_2의 이탈이 일어나는 단계는 (다)와 (라) 그리고 (마)의 I과 II단계이다.

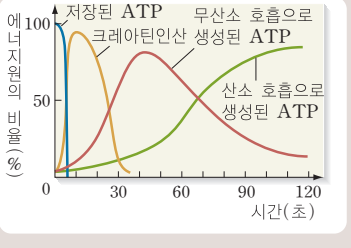
④ (가)~(마) 단계 중 미토콘드리아에서 진행되는 것은 피루브산의 산화와 TCA 회로를 각각 나타낸 (라)와 (마)이다.

오답 피하기

⑤ 산소가 없을 때는 (나)와 (다)에서 NADH의 산화로 피루브산과 아세트알데하이드가 각각 환원된다. 한편, (마)의 TCA 회로에서는 탈수소 반응을 거쳐 NADH와 $FADH_2$가 생성되며, 탄소 화합물의 환원은 일어나지 않는다.



근수축에 필요한 에너지의 공급



격렬한 운동을 할 때 저장된 ATP를 다 쓰고 나면 먼저 크레아틴인산이 분해되면서 생성된 ATP가 쓰이고, 그 다음에 무산소 호흡으로 생성된 ATP가 쓰인다. 그리고 어느 정도 시간이 경과한 후에는 산소 호흡으로 생성된 ATP가 공급된다.

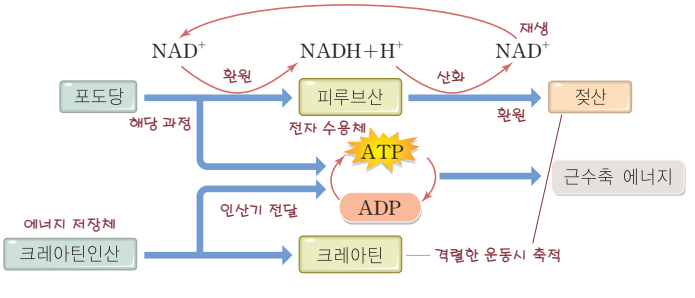
08 ⑤ ㄷ. 격렬한 운동을 하면 근육 세포에서는 젖산 발효가 일어나 젖산이 축적되고, 또 크레아틴인산이 ADP에 인산기를 전해 주고 크레아틴으로 되어 축적된다.

ㄹ. NADH는 피루브산에 수소를 제공하여 젖산으로 환원시키고 NAD^+로 재생되어 해당 과정에 공급된다.

오답 피하기

ㄱ. 크레아틴인산은 근육에 저장되어 있다가 크레아틴으로 되면서 ADP에 인산기를 전달하여 ATP를 생성하므로 에너지 저장체 역할을 하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 근육 세포에 축적된 젖산은 혈류를 타고 간으로 이동하여 다시 피루브산으로 된 다음 산소 호흡에 이용되거나 ATP를 소모하여 포도당으로 전환되므로, 에너지 저장체 역할을 하는 것으로 볼 수 없다.

ㄴ. 그림에서 NADH가 가진 전자를 최종적으로 수용하는 물질은 피루브산이다.



산소 호흡과 무산소 호흡의 비교

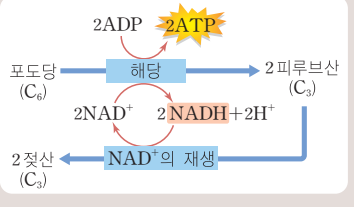
구분	산소 호흡	무산소 호흡
유기물의 분해	완전 분해	불완전 분해
산소	필요	불필요
ATP 생성량	많다.	적다.
생성물의 에너지	적다.	많다.

1. 산소 호흡과 무산소 호흡 비교

모범 답안 | (가)는 산소 호흡으로, 산소를 이용하여 포도당을 CO_2와 H_2O로 완전히 산화 분해하여 방출되는 에너지의 양이 많기 때문에 다량의 ATP가 생성된다. 반면, (나)는 무산소 호흡인 알코올 발효로, 산소가 없는 상태에서 포도당을 불완전 산화 분해하여 에탄올과 같이 많은 양의 에너지가 남아 있는 중간 산물이 생성되기 때문에 방출되는 에너지의 양이 적어 소량의 ATP만 생성된다.

알짜 풀이 | 산소 호흡에서는 포도당이 CO_2와 H_2O로 완전히 산화 분해된다. 따라서 방출되는 에너지의 양이 많아 다량의 ATP를 생성하는 것이 가능하다. 반면, 알코올 발효와 같은 무산소 호흡에서는 포도당이 불완전 산화 분해되어 에탄올과 같은 중간 산물이 생성되며, 중간 산물에 여전히 많은 양의 에너지가 남아 있기 때문에 방출되는 에너지의 양이 산소 호흡에 비해 적다. 그 결과 생성되는 ATP의 양도 적다.

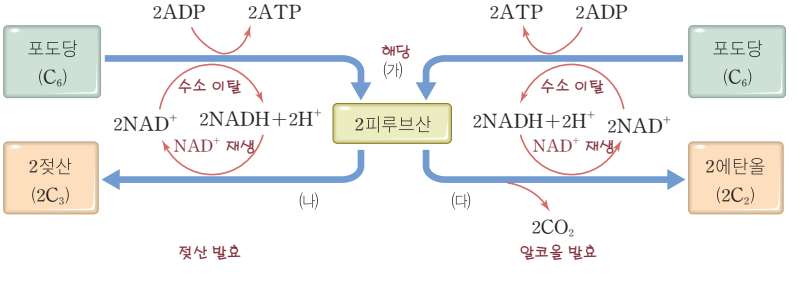
젖산 발효의 과정



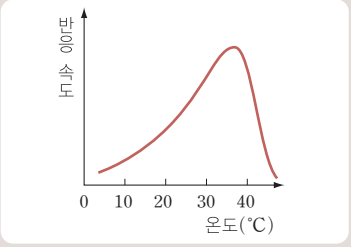
2. 젖산 발효+알코올 발효

모범 답안 | (1) (나)는 젖산 발효의 일부로 NADH가 피루브산에 전자를 전달하여 젖산이 생성되고, (다)는 알코올 발효의 일부로 NADH가 피루브산에서 CO_2가 빠져나가 생성된 아세트알데하이드에 전자를 전달하여 에탄올이 생성된다.
(2) (나)와 (다) 과정이 진행되지 않으면 (가)의 해당 과정에서 생성된 NADH가 NAD$^+$로 재생되지 못하므로 결국 NAD$^+$가 고갈되어 (가)의 해당 과정이 진행되지 못한다.

알짜 풀이 | (1) (나)는 해당 과정인 (가)에 이어 일어나는 젖산 발효 과정의 일부로, 피루브산이 해당 과정에서 생성된 NADH로부터 전자를 받아 젖산으로 환원된다. 그리고 전자를 전해 준 NADH는 NAD$^+$로 재생되어 다시 (가)의 해당 과정에 투입된다. (다)는 해당 과정인 (가)에 이어 일어나는 알코올 발효 과정의 일부로, 피루브산에서 CO_2가 이탈되어 생성된 아세트알데하이드가 해당 과정에서 생성된 NADH로부터 전자를 받아 에탄올로 환원된다. 그리고 전자를 전해 준 NADH는 NAD$^+$로 재생되어 다시 (가)의 해당 과정에 투입된다.
(2) (가)의 해당 과정에서 NAD$^+$는 이탈된 전자를 받아 NADH로 된다. 이후 NADH는 (나)와 (다) 과정에서 피루브산이나 아세트알데하이드에 전자를 전해 주고 NAD$^+$로 재생되며, 재생된 NAD$^+$는 다시 해당 과정에 투입되어 해당 작용이 계속 일어나게 해 준다. 만약 (나)와 (다) 과정이 진행되지 않으면 NADH는 전자를 전달할 수 없기 때문에 NAD$^+$로 재생되지 못하고, NAD$^+$가 고갈되면 해당 작용도 중단된다. 해당 작용이 중단되면 ATP가 더 이상 공급되지 못하므로 생물은 죽게 된다.



효소의 최적 온도



대부분의 효소는 35~40℃에서 최대 활성을 나타내고, 그 이상의 온도에서는 변성된다.

3. 효모를 이용한 알코올 발효+효소의 작용과 온도

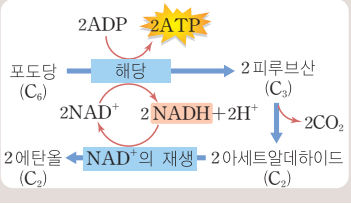
모범 답안 | (1) 효모가 알코올 발효에 직접 이용하는 호흡 기질은 포도당이고 20℃보다 30℃가 효소의 최적 온도에 더 가까우므로, 포도당 용액이 들어 있는 발효관을 30℃에 둔 C에 가장 많은 기체가 모였을 것으로 예상된다.

(2) 맹관부에 모인 기체는 CO_2이다. 이것은 발효관 팽대부의 용액을 덜어 내고 KOH 용액(또는 NaOH 용액이나 $Ca(OH)_2$ 용액)을 넣어 맹관부에 모인 기체가 사라지는지의 여부로 확인할 수 있다.

알짜 풀이 | (1) 효모가 알코올 발효에 직접 이용하는 호흡 기질은 포도당이다. 따라서 설탕 용액보다 포도당 용액을 호흡 기질로 이용한 발효관에 더 많은 기체가 모일 것이다. 또, 효모에 의한 알코올 발효는 여러 효소의 작용으로 진행된다. 따라서 20℃보다 효소의 최적 온도에 더 가까운 30℃에서 발효관에 더 많은 기체가 모인다. 이를 종합하면 포도당 용액이 들어 있는 발효관을 30℃에 둔 C에 가장 많은 기체가 모였을 것으로 예상할 수 있다.

(2) 포도당은 알코올 발효에 의해 에탄올과 이산화탄소로 분해된다. 따라서 맹관부에 모인 기체는 이산화탄소이다. 맹관부에 모인 기체가 이산화탄소라는 사실을 확인하기 위해서는 발효관 팽대부의 용액을 덜어 내고 KOH 용액(또는 NaOH 용액이나 $Ca(OH)_2$ 용액)을 넣어 맹관부에 모인 기체가 사라지는지를 확인하면 된다.

알코올 발효의 과정



4. 알코올 발효+아세트산 발효

모범 답안 | (1) 누룩곰팡이는 찐 밥 속의 녹말을 엿당이나 포도당으로 분해하는 역할을 하고, 효모는 엿당이나 포도당을 호흡 기질로 삼아 알코올 발효를 한다.

(2) 생막걸리를 오래 보관했을 때 맛이 시어지는 원인은 아세트산균이 아세트산 발효를 통해 아세트산을 생성하기 때문이다. 그런데 아세트산 발효는 산소를 필요로 하므로 보다 효율적인 밀폐 기술을 이용하여 산소 공급을 차단하면 생막걸리의 유통 기한을 늘릴 수 있다.

알짜 풀이 | (1) 과일의 주요 탄수화물 성분은 당이기 때문에 효모는 과일 속의 당을 이용하여 바로 알코올 발효를 진행하지만, 막걸리를 만드는 데 이용되는 찐 밥 속의 주요 탄수화물 성분은 녹말이기 때문에 효모는 이것을 이용하여 바로 알코올 발효를 진행하지 못한다. 그런 까닭에 막걸리를 만들려면 먼저 찐 밥 속의 녹말을 당으로 분해하는 처리가 있어야 한다. 이 역할을 해 주는 것이 누룩곰팡이이다. 누룩곰팡이는 쌀과 밀, 보리 등 곡식의 주성분인 녹말을 분해하는 효소인 아밀레이스 등을 가지고 있다. 누룩곰팡이가 찐 밥 속의 녹말을 엿당이나 포도당으로 분해하면, 효모는 엿당이나 포도당을 호흡 기질로 삼아 알코올 발효를 하여 막걸리가 만들어지는 것이다.

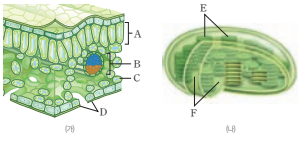
(2) 생막걸리를 오래 보관했을 때 맛이 시어지는 원인은 아세트산균이다. 아세트산균은 에탄올을 호흡 기질로 삼아 아세트산 발효를 진행함으로써 막걸리가 시어지게 만든다. 그래서 살균 막걸리의 경우, 막걸리 자체를 열 처리하여 막걸리 속에 들어 있는 균을 모두 죽임으로써 유통 기한을 길게 한다. 생막걸리의 경우 냉장 보관 외에 유통 기한을 늘릴 수 있는 방법은 잘 밀폐하여 산소를 차단하는 것이다. 아세트산균이 아세트산 발효를 하는 데는 산소 공급이 필요하므로 보다 효율적인 밀폐 방법을 고안하여 산소를 차단함으로써 유통 기한을 늘릴 수 있을 것이다.

03 광합성

개념 체크 p.179

A 엽록체

그림은 잎의 단면 구조와 엽록체의 구조를 나타낸 것이다.

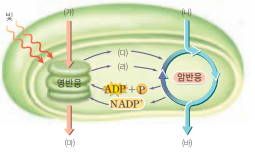


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A는 울타리 조직, B는 잎맥, C는 해면 조직, D는 공변세포를 나타낸 것이다. (○)
2. A~D 모두에 엽록체가 있다. (×)
3. E는 틸라코이드이고, F는 그라나이다. (×)
4. E의 막에는 광계와 전자 전달 효소, ATP 합성 효소가 있다. (○)
5. F에는 DNA와 RNA, 리보솜뿐만 아니라 물을 광분해하는 데 필요한 각종 효소가 들어 있다. (×)

B 광합성의 전체 과정

그림은 광합성의 전체 과정을 나타낸 것이다.

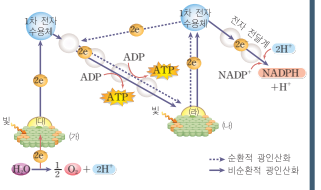


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 광합성의 명반응과 암반응은 각각 엽록체의 그라나와 틸라코이드에서 일어난다. (×)
2. 외부로부터 명반응과 암반응에 공급되는 물질 (가)와 (나)는 각각 H_2O과 CO_2이다. (○)
3. 명반응 동안 생성되어 암반응에 공급되는 물질 (다)와 (라)는 각각 NADH와 ATP이다. (×)
4. 명반응에서 생성되는 물질 (마)는 산소이고, 암반응에서 생성되는 물질 (바)는 포도당이다. (○)

C 명반응

그림은 광합성 명반응의 비순환적 광인산화와 순환적 광인산화 과정을 함께 나타낸 것이다.

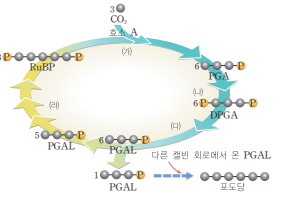


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 광계를 나타내는 (가)와 (나)는 각각 광계 II와 광계 I이다. (○)
2. 광계의 반응 중심 엽록소인 (다)와 (라)는 각각 P_{680}과 P_{700}이다. (○)
3. 순환적 광인산화에는 광계 I만 관여한다. (○)
4. 비순환적 광인산화에서는 ATP와 NADPH, 산소가 만들어지고, 순환적 광인산화에서는 ATP와 NADPH가 만들어진다. (×)

D 암반응

그림은 캘빈 회로를 탄소 화합물 위주로 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 환원 단계로, 이를 촉진하는 효소 A는 루비스코이다. (×)
2. (나)와 (라) 단계에는 ATP가 투입된다. (○)
3. NADPH가 쓰이는 단계는 (다)이다. (○)
4. CO_2 고정의 최초 산물은 PGAL이다. (×)

A 엽록체

01 A는 길쭉한 세포가 촘촘히 배열하고 있는 울타리 조직이고, C는 둥근 모양의 세포들이 엉성하게 배열되어 있는 해면 조직이다. 또 잎에 있는 관다발 B는 잎맥이고, 기공을 형성하는 세포 D는 공변세포이다.

02 엽록체는 울타리 조직(A)과 해면 조직(C)의 세포에 주로 있으며, 공변세포(D)에도 있다. 그러나 잎맥(B)의 세포에는 없다.

03 E는 그라나를 구성하는 틸라코이드이고, 내막 안쪽에서 틸라코이드를 제외한 나머지 공간을 나타내는 F는 스트로마이다.

04 틸라코이드(E) 막에는 엽록소 등 광합성 색소들이 결합된 단백질 복합체 즉, 광계와 전자 전달 효소, ATP 합성 효소 등이 있다.

05 엽록체의 스트로마에는 리보솜, DNA, RNA 등이 있고, CO_2를 이용하여 포도당을 합성하는 데 필요한 여러 가지 효소도 있다. 물을 광분해하는 데 필요한 효소는 엽록체의 틸라코이드 막에 있다.

B 광합성의 전체 과정

01 엽록체에서 광합성의 명반응은 그라나, 좀 더 구체적으로는 그라나를 구성하는 틸라코이드의 막에서 일어난다. 그리고 암반응은 엽록체의 기질인 스트로마에서 일어난다.

02 광합성의 명반응에서는 물의 광분해로 O_2를 방출하므로 외부로부터 명반응에 제공되는 물질 (가)는 H_2O이다. 광합성의 암반응에서는 명반응 산물과 CO_2를 이용하여 포도당을 합성하므로 암반응에 제공되는 물질 (나)는 CO_2이다.

03 명반응 산물 중 암반응에서 CO_2를 환원시키는 데 필요한 수소를 제공하고 $NADP^+$로 되는 물질 (다)는 NADPH이고, 명반응 산물 중 암반응에서 CO_2를 환원시키는 데 필요한 에너지를 제공하고 ADP와 ⓟ으로 분해되는 물질 (라)는 ATP이다.

04 광합성의 명반응에서 물이 분해되어 생성되는 물질 (마)는 산소이고, 암반응에서 CO_2가 환원되어 합성되는 물질 (바)는 포도당이다.

C 명반응

01 명반응의 비순환적 광인산화에서는 H_2O 1분자가 광분해되어 방출된 $2e^-$가 광계 II, 전자 전달계, 광계 I, 전자 전달계를 거쳐 $NADP^+$로 전해진다. 따라서 (가)와 (나)는 각각 광계 II와 광계 I이다.

02 (가)가 광계 II이므로 그 반응 중심 엽록소인 (다)는 P_{680}이고, (나)가 광계 I이므로 그 반응 중심 엽록소인 (라)는 P_{700}이다.

03 순환적 광인산화는 광계 I의 반응 중심 엽록소(라)에서 방출된 고에너지 전자($2e^-$)가 1차 전자 수용체에 받아들여진 다음, 전자 전달계를 따라 이동하여 다시 광계 I의 반응 중심 엽록소(라)로 되돌아오는 과정이므로, 광계 I만 관여한다.

04 비순환적 광인산화에서는 H_2O 1분자가 광분해되어 방출된 $2e^-$가 광계와 전자 전달계를 거쳐 $NADP^+$로 전해지는 과정에서 ATP와 NADPH 및 $\frac{1}{2}O_2$가 생성된다. 반면, 순환적 광인산화에서는 (라)에서 방출된 $2e^-$가 전자 전달계를 거쳐 (라)로 되돌아오는데, 이 과정에서는 ATP만 만들어진다.

D 암반응

01 (가)는 CO_2 고정 단계로, 이를 촉진하는 효소 A는 RuBP 카복실화 효소인 루비스코이다. 환원 단계는 DPGA가 PGAL로 되는 (다)이다.

02 (나) 단계에서는 6PGA(C_3−ⓟ)가 6DPGA(ⓟ−C_3−ⓟ)로 되므로 6ATP가 투입된다. (라) 단계에서는 5PGAL(C_3−ⓟ)이 3RuBP(ⓟ−C_5−ⓟ)로 되므로 이 과정에도 ATP가 투입되는데, 실제로는 3ATP가 투입되고 2ⓟ이 방출된다.

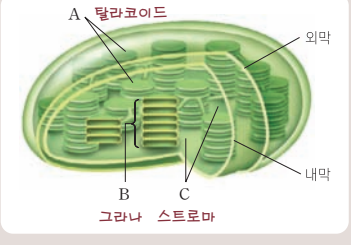
03 NADPH가 쓰이는 단계는 DPGA가 NADPH로부터 수소를 전달받아 PGAL로 환원되는 (다) 단계이다.

04 (가) 단계에서 CO_2 3분자가 RuBP 3분자와 결합하여 PGA 6분자를 형성하므로 CO_2 고정의 최초 산물은 PGA이다.

개념 확인 문제 pp.180~185

01. A : 틸라코이드, B : 그라나, C : 스트로마 02. ② 03. ④ 04. ①
05. ③ 06. ① 07. (가) 명반응, (나) 암반응 08. A : H_2O, B : CO_2, C : O_2, D : 포도당
09. NADPH, ATP 10. $NADP^+$, ADP(또는 ADP+Ⓟ) 11. ⑤ 12. ③
13. 카로틴, 약 0.95 14. ① 15. H_2O(물) 16. $NADP^+$, NADPH 17. ③
18. ③ 19. ②, ③ 20. ④ 21. ③ 22. ③ 23. ②
24. 화학 삼투적 인산화 25. ④ 26. ③ 27. ③ 28. PGA(인글리세르산)
29. RuBP의 농도는 증가하고 PGA의 농도는 감소한다. 30. (라), (나) 31. ②
32. A : 산소($6O_2$), B : 이산화탄소($6CO_2$), C : 포도당($C_6H_{12}O_6$) 33. ②
34. (가) 엽록체, (나) 미토콘드리아 35. ②, ④ 36. ⑤, ① 37. ④ 38. ③
39. I구간 : 빛의 세기, II구간 : 온도 40. A, CO_2 농도

엽록체의 구조



틸라코이드(A) 막에는 광합성 색소와 이들이 모여서 구성한 광계, 전자 전달 효소, ATP 합성 효소 등이 있고, 스트로마(C)에는 DNA, RNA, 리보솜과 CO_2를 고정하여 포도당을 합성하는 데 필요한 여러 가지 효소들이 있다.

01 A : 틸라코이드, B : 그라나, C : 스트로마

엽록체의 내막 안쪽에는 납작한 주머니 모양의 틸라코이드(A)가 겹겹이 포개져 그라나(B)를 형성하고 있다. 내막 안쪽에서 틸라코이드를 제외한 나머지 공간은 액체 상태의 기질로 채워져 있는데, 이 부분을 스트로마(C)라고 한다.

02 ② 틸라코이드(A)의 막에는 엽록소를 포함한 여러 가지 광합성 색소와 전자 전달 효소, ATP 합성 효소 등이 있으며, 광합성 색소와 전자 수용체들이 모여서 형성된 단백질 복합체 즉, 광계가 있다.

오답 피하기
② DNA는 엽록체의 기질에 해당하는 스트로마(C)에 있다.

03 ④ 액체 상태의 기질로 채워져 있는 스트로마(C)에는 리보솜, DNA, RNA 등이 있으며, CO_2를 이용하여 포도당을 합성하는 데 필요한 여러 가지 효소가 있다.

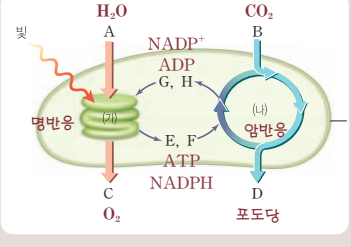
오답 피하기
④ 광합성 색소는 틸라코이드(A)의 막에 있다.

04 ① 엽록소 a는 광합성 과정에서 중심적인 역할을 하는 색소로 광합성을 하는 모든 식물과 조류에 있으며, 나머지 광합성 색소들은 종에 따라 다르게 들어 있다.

05 ③ 녹색 식물에는 엽록소 a와 엽록소 b 외에 카로틴, 잔토필과 같은 카로티노이드계 색소가 있다.

06 ① 가을이 되어 온도가 낮아지면 다른 색소에 비해 온도에 민감한 엽록소가 먼저 파괴되므로 엽록소에 가려져 있던 카로티노이드의 색깔이 드러나 은행나무의 잎이 노랗게 변한다.

광합성의 전체 과정



- 틸라코이드로 구성된 그라나에서는 명반응이 일어나 빛에너지가 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환된다.
- 스트로마에서는 명반응 산물인 ATP와 NADPH를 이용하여 CO_2를 환원시킴으로써 포도당을 합성한다.

07 (가) 명반응, (나) 암반응

광합성은 크게 명반응과 암반응의 두 단계로 구분하는데, 틸라코이드 막의 광합성 색소들이 빛에너지를 흡수하여 일어나는 반응 (가)를 명반응이라 하고 빛을 필요로 하지 않는 반응 (나)를 암반응이라고 한다.

08 A : H_2O, B : CO_2, C : O_2, D : 포도당

명반응(가)에서는 빛에너지로 물을 분해하여 O_2를 방출하므로, 물질 A는 H_2O이고 물질 C는 O_2이다. 암반응(나)에서는 CO_2를 환원시켜 포도당을 합성하므로, 물질 B는 CO_2이고 물질 D는 포도당이다.

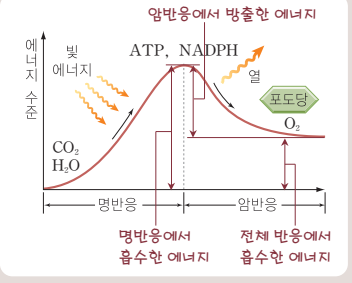
09 NADPH, ATP

명반응(가)에서 생성된 후 암반응(나)으로 공급되어 CO_2를 환원시키는 데 쓰이는 명반응 산물 E와 F는 NADPH와 ATP이다.

10 $NADP^+$, ADP(또는 ADP+Ⓟ)

암반응(나)에서 명반응 산물인 NADPH와 ATP를 CO_2를 환원시켜 포도당을 합성하는 데 이용한 다음 명반응(라)으로 다시 되돌려주는 물질 G와 H는 $NADP^+$와 ADP(또는 ADP+Ⓟ)이다.

광합성에서의 에너지 출입



- 명반응과 전체 반응 : 흡열 반응
- 암반응 : 발열 반응

11 ⑤ ① 명반응이 진행되면서 빛에너지를 흡수하여 에너지 수준이 높아지므로 명반응은 흡열 반응이다.

② 암반응이 진행되면서 에너지 수준이 낮아지므로 암반응은 발열 반응이다.

③ 광합성의 재료 물질인 CO_2와 H_2O이 가진 에너지 수준보다 광합성 산물인 포도당과 O_2가 가진 에너지 수준이 더 높다. 따라서 광합성의 전체 반응은 반응물의 에너지 수준보다 생성물의 에너지 수준이 높은 흡열 반응이다.

④ 명반응 동안 빛에너지는 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환된다.

오답 피하기

⑤ 에너지 수준의 변화를 보면 명반응에서 흡수된 에너지의 일부만 암반응에서 포도당에 저장되고, 나머지는 열에너지 형태로 방출된 것을 알 수 있다.

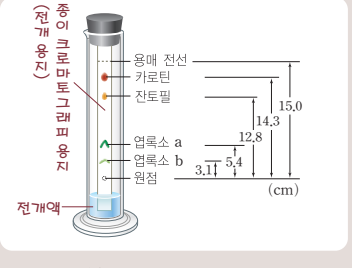
12 ③ ㄷ. 호기성 세균은 산소가 많은 곳으로 모이는 성질이 있기 때문에, 청자색광과 적색광이 비치는 해캄의 부위에 호기성 세균이 많이 분포하는 것은 이 부위에서 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생하기 때문으로 볼 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 광합성을 하는 것은 녹조류인 해캄이고, 산소 호흡을 하는 호기성 세균은 산소가 많이 발생하는 곳으로 모여드는 성질이 있기 때문에 이용한 것이다.

ㄴ. 실험 결과 녹색광보다 청자색광이 비치는 해캄의 부위에 더 많은 호기성 세균이 분포하였다. 이는 녹색광보다 청자색광이 비치는 해캄의 부위에서 광합성이 더 활발하게 일어나 더 많은 산소가 발생하였기 때문이다. 이로부터 해캄이 가진 광합성 색소는 녹색광보다 청자색광을 더 많이 흡수하여 광합성의 에너지원으로 이용한다는 사실을 알 수 있다.

각 색소의 전개율



- 카로틴 : $\frac{14.3\text{cm}}{15.0\text{cm}} \fallingdotseq 0.95$
- 잔토필 : $\frac{12.8\text{cm}}{15.0\text{cm}} \fallingdotseq 0.85$
- 엽록소 a : $\frac{5.4\text{cm}}{15.0\text{cm}} \fallingdotseq 0.36$
- 엽록소 b : $\frac{3.1\text{cm}}{15.0\text{cm}} \fallingdotseq 0.21$

13 카로틴, 약 0.95

전개율은 $\frac{\text{원점에서 각 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$이므로 분리된 색소 중 전개율이 가장 큰 것은 카로틴이며, 카로틴의 전개율은 $\frac{14.3\text{cm}}{15.0\text{cm}} \fallingdotseq 0.95$이다.

14 ① ㄱ. 전개액에 대한 용해도가 높을수록, 전개지에 대한 흡착력이 작을수록 전개율은 커진다.

오답 피하기

ㄴ. 전개지에 대한 흡착력이 크면 전개지에 붙어 잘 전개되지 않는다.

ㄷ. 전개지 대신 TLC 판을 사용하면 그에 대한 흡착력이 달라지므로 전개율도 달라진다.

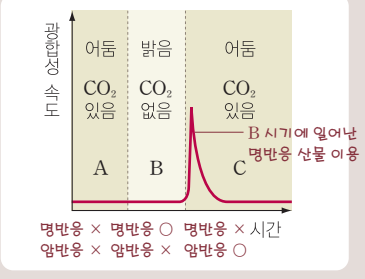
15 H_2O(물)

공기를 뺐기 때문에 시험관 속에는 기체인 CO_2나 O_2는 없었고 엽록체를 함유한 추출액의 물만 있었다. 따라서 발생한 O_2는 H_2O이 빛에너지에 의해 $2H^+$과 $2e^-$ 및 $\frac{1}{2}O_2$로 분해되어 생성된 것으로 볼 수 있다.

16 **$NADP^+$, NADPH**

옥살산철(III)의 Fe^{3+}이 전자(e^-)를 수용하여 옥살산철(II)의 Fe^{2+}으로 환원되었다. 따라서 옥살산철(III)은 물이 분해되어 나온 전자(e^-)를 수용하는 전자 수용체 역할을 하는 것으로 볼 수 있고, 옥살산철(II)는 옥살산철(III)이 전자와 결합하였을 때 생성되는 물질로 볼 수 있다. 실제 엽록체에서 옥살산철(III)처럼 전자 수용체 역할을 하는 물질은 $NADP^+$이다. 그리고 옥살산철(II)에 해당하는 물질은 $NADP^+$가 전자와 결합하여 생성되는 NADPH이다.

벤슨의 실험



명반응 산물만 제공되면 명반응이 함께 일어나지 않아도 암반응이 일어난다.

17 ③ 명반응은 광합성 색소들이 흡수한 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 과정으로 빛을 필요로 하며 CO_2는 필요 없다. 따라서 빛이 있는 B, E, F 시기에 명반응이 일어난다. 암반응은 명반응 산물과 CO_2를 이용하여 포도당을 합성하는 과정으로 빛이 반드시 필요하지는 않다. 따라서 빛과 CO_2가 있는 F 시기뿐만 아니라 B에서 생성된 명반응 산물이 공급되는 C 시기에도 일어난다.

오답 피하기

B와 E 시기에는 CO_2가 없어 암반응이 일어나지 못하고, A와 D 시기에는 CO_2는 있지만 명반응 산물이 제공되지 않아 암반응이 일어나지 못한다.

18 ③ 광합성에서 발생하는 산소 기체는 H_2O에서 유래된 것이다. 따라서 기체 A는 (가)의 $H_2{}^{18}O$에 있던 산소 원자로 구성된 ${}^{18}O_2$이고, 기체 B는 (나)의 H_2O에 있던 산소 원자로 구성된 O_2이다.

19 ②, ③

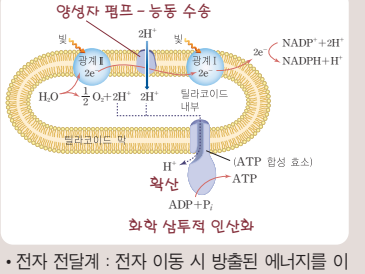
순환적 광인산화에서는 광계 I의 P_{700}에서 방출된 전자가 전자 수용체에 수용된 다음 전자 전달계를 따라 이동하면서 ATP만 생성하고 다시 광계 I의 P_{700}으로 되돌아온다. 따라서 순환적 광인산화에는 광계 I만 관여하며, ATP만 생성되고 NADPH나 산소는 생성되지 않는다.

20 ④ 비순환적 광인산화에서는 최초 전자 공여체인 H_2O 1분자가 광분해되어 방출된 $2e^-$가 광계 II의 P_{680}, 전자 전달계, 광계 I의 P_{700}, 전자 전달계를 거쳐 최종 전자 수용체인 $NADP^+$로 전해지며, 이 과정에서 1ATP, 1NADPH, $\frac{1}{2}O_2$가 생성된다.

오답 피하기

④ 비순환적 광인산화에서 O_2는 부산물로 생성되며, 최종 전자 수용체로 작용하는 것은 $NADP^+$이다.

광인산화



- 전자 전달계 : 전자 이동 시 방출된 에너지를 이용하여 양성자 펌프에서 H^+을 능동 수송시켜 H^+의 농도 기울기 형성
- ATP 합성 효소 : 농도 기울기를 따라 H^+이 확산될 때 ATP 생성, 화학 삼투적 인산화

21 ③ ㄱ. ATP를 생성하는 반응은 순환적 광인산화와 비순환적 광인산화에서 모두 일어난다.

ㄴ. 비순환적 광인산화에서 최초 전자 공여체인 H_2O 1분자가 광분해되어 방출된 $2e^-$가 광계 II의 P_{680}에 공급된다.

ㄷ. 비순환적 광인산화에서 최종 전자 수용체인 $NADP^+$가 전자를 전달받아 H^+과 결합함으로써 NADPH를 생성한다.

오답 피하기

ㄹ. CO_2가 NADPH에 의해 환원되어 포도당이 합성되는 반응은 광합성의 암반응 동안 일어난다.

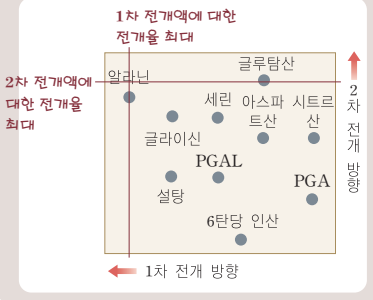
22 ③ 광계 I과 광계 II에서 반응 중심 색소로 작용하는 것은 엽록소 a이다. 엽록소 a를 제외한 나머지 광합성 색소는 보조 색소라고 하며, 이들은 여러 식물과 조류에 선택적으로 들어 있다.

23 ② 그림에서 광계 II로 전자를 공급하는 물질은 H_2O이다. H_2O은 광분해되면서 광계 II로 전자를 공급한다. 광계 I에서 방출된 전자를 최종적으로 수용하는 물질은 $NADP^+$이다. 전자를 전달받은 $NADP^+$는 H^+과 결합하여 NADPH를 생성한다.

24 **화학 삼투적 인산화**

H^+의 농도 기울기에 따라 H^+이 틸라코이드 내부에서 스트로마 쪽으로 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성되는 방식을 화학 삼투적 인산화라고 한다.

전개율



25 ④ 캘빈 회로는 명반응 산물인 ATP와 NADPH를 이용하여 대기 중에서 흡수한 CO_2를 환원시킴으로써 포도당 합성에 사용할 PGAL을 만드는 과정이므로, 암반응인 캘빈 회로에 공급되어야 할 세 가지 물질 A, B, C는 CO_2, ATP, NADPH이고, 캘빈 회로에서 빠져나오는 물질 D는 PGAL이다.

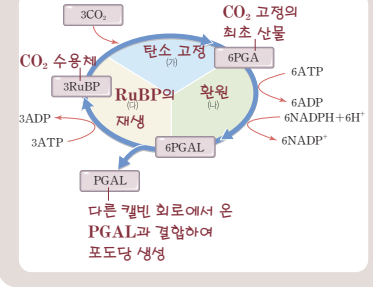
26 ③ ㄱ. 1차 전개 용액에 대한 전개율이 가장 큰 물질은 1차 전개 방향인 왼쪽으로 가장 멀리 이동한 알라닌이다.

ㄴ. 글라이신과 설탕은 1차 전개 방향인 왼쪽으로 이동한 거리가 거의 같으므로 1차 전개 용액에 대한 전개율도 거의 같다고 볼 수 있다.

오답 피하기

ㄷ. 2차 전개 용액에 대한 전개율이 가장 큰 물질은 2차 전개 방향인 위쪽으로 가장 멀리 이동한 글루탐산이다.

캘빈 회로



27 ③ (가)는 3RuBP(ⓟ−C_5−ⓟ)가 CO_2 3분자를 고정하여 6PGA(C_3−ⓟ)를 생성하는 탄소 고정 단계이고, (나)는 6PGA(인글리세르산)를 6ATP와 6NADPH를 이용하여 6PGAL(인글리세르알데하이드)로 환원시키는 단계이다. 그리고 (다)는 6PGAL 중 1분자는 캘빈 회로에서 빠져나가고 남은 5분자가 일련의 화학 반응을 거치면서 탄소가 재배열되어 3RuBP로 재생되는 단계이다.

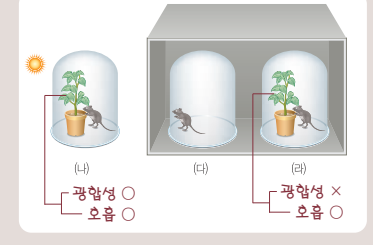
28 **PGA(인글리세르산)**

캘빈 회로에서 RuBP가 CO_2를 고정하면 2PGA가 만들어진다. 따라서 녹색 식물에 $^{14}CO_2$를 주입했을 때 가장 먼저 ^{14}C로 표지되는 물질은 탄소 고정의 최초 산물인 PGA이다.

29 **RuBP의 농도는 증가하고 PGA의 농도는 감소한다.**

CO_2 농도를 감소시키면 탄소 고정 속도가 느려지므로 RuBP의 소비와 PGA의 생산이 줄어 단기적으로 RuBP의 농도는 증가하고 PGA의 농도는 감소한다.

잉엔하우스의 실험



빛이 없으면 식물도 광합성은 하지 않고 호흡만 하여 산소를 소비한다.

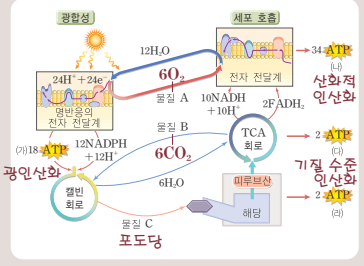
30 (라), (나)

빛이 비치지 않는 곳에 두면 식물도 동물처럼 광합성은 하지 못하고 호흡만 하게 된다. 따라서 암실에서는 식물도 동물과 마찬가지로 O_2를 소비하므로 암실에 쥐와 식물을 함께 넣은 (라)에서 O_2가 가장 빨리 고갈되어 쥐가 가장 먼저 죽을 것이다. 그리고 쥐가 가장 오래 살아 있을 것으로 예상되는 것은 식물이 광합성을 통해 생산한 O_2를 쥐에게 제공해 줄 수 있는 (나)이다.

31 ② 광합성 명반응의 전자 전달계에서는 광인산화에 의해 (가)의 ATP가 생성되고, 세포 호흡의 전자 전달계에서는 산화적 인산화에 의해 (나)의 ATP가 생성된다. 그리고 세포 호흡의 해당 작용과 TCA 회로에서는 기질 수준 인산화에 의해 (라)와 (다)의 ATP가 생성된다.

광인산화와 산화적 인산화에서는 전자 전달계를 통해 전자가 이동하는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H^+의 농도 기울기를 형성한 다음, ATP 합성 효소를 통해 H^+을 확산시켜서 ATP를 생성하는데, 이때 전자가 전달되는 과정을 제외하고 ATP 합성 효소에서 H^+의 농도 기울기를 이용하여 ATP가 생성되는 것만을 화학 삼투적 인산화라고 한다.

광합성과 세포 호흡의 비교



광합성과 세포 호흡의 생성물은 각각 세포 호흡과 광합성의 반응물이 된다.

32 A : 산소($6O_2$), B : 이산화탄소($6CO_2$), C : 포도당($C_6H_{12}O_6$)

광합성의 명반응에서 생성되어 세포 호흡의 전자 전달계로 제공되는 물질 A는 산소($6O_2$)이고, 세포 호흡의 TCA 회로에서 방출되어 광합성 암반응의 캘빈 회로로 제공되는 물질 B는 이산화탄소($6CO_2$)이다. 그리고 광합성의 암반응에서 만들어져 세포 호흡의 해당 과정에 공급되는 물질 C는 포도당($C_6H_{12}O_6$)이다.

33 ② ① 광합성의 암반응에서는 CO_2가 명반응 산물인 NADPH가 공급하는 수소를 수용하여 포도당으로 환원되고, 세포 호흡의 TCA 회로에서는 피루브산이 CO_2로 산화되는 과정에서 이탈된 수소가 NAD^+와 FAD에 전해져 NADH와 $FADH_2$가 생성된다.

③ 광합성의 암반응에서는 C_5인 RuBP가 C_3인 PGA 2분자로 될 때 CO_2 고정이 일어나고, 세포 호흡의 TCA 회로에서는 탄소 화합물의 탄소 수가 줄어들 때마다 CO_2 이탈이 일어난다.

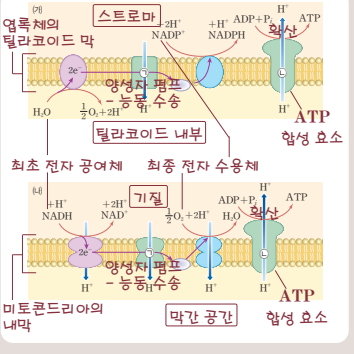
④ 광합성의 암반응에서는 명반응에서 공급된 ATP를 소비하고, 세포 호흡의 TCA 회로에서는 기질 수준 인산화로 ATP를 생성한다.

⑤ 광합성의 암반응에서는 명반응에서 공급된 NADPH를 소비하고, 세포 호흡의 TCA 회로에서는 NADH와 $FADH_2$를 생성하여 전자 전달계로 공급한다.

오답 피하기

② H_2O의 광분해는 광합성의 명반응에서 일어나고, 세포 호흡에서 H_2O의 합성은 산화적 인산화 단계에서 일어난다.

엽록체와 미토콘드리아의 전자 전달계



34 (가) 엽록체, (나) 미토콘드리아

(가)에서는 ATP뿐만 아니라 NADPH와 산소가 생성되므로, (가)의 전자 전달계는 광인산화가 일어나는 엽록체 틸라코이드 막의 전자 전달계를 나타낸 것이다. 반면 (나)에서는 NADH와 산소가 소비되고 ATP가 생성되므로, (나)의 전자 전달계는 산화적 인산화가 일어나는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 나타낸 것이다.

35 ②, ④

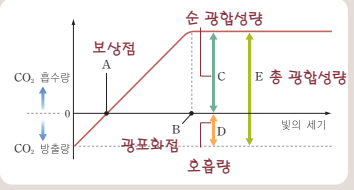
(가)에서는 H_2O이 $2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2$로 분해되면서 방출된 전자가 전자 전달계로 공급되므로, 최초 전자 공여체가 H_2O이다. 한편 (나)에서는 NADH가 NAD^+로 되면서 방출된 전자가 전자 전달계로 공급되므로, 최초 전자 공여체가 NADH이다.

36 ⑤, ①

(가)에서는 전자 전달계를 통해 이동해 온 전자가 $NADP^+$로 전해져 H^+과의 결합을 통해 NADPH를 생성하므로, 최종 전자 수용체는 $NADP^+$이다. (나)에서는 전자 전달계를 통해 이동해 온 전자가 O_2로 전해져 H^+과의 결합을 통해 H_2O을 생성하므로, 최종 전자 수용체는 O_2이다.

37 ④ 양성자 펌프인 ㉠은 전자 전달계를 통해 전자가 이동하는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H^+을 능동 수송함으로써 막을 경계로 H^+의 농도 기울기를 형성한다. ATP 합성 효소인 ㉡은 H^+의 농도 기울기를 따라 H^+이 확산될 때 ATP를 생성한다.

빛의 세기와 광합성



- 보상점 : '광합성량 = 호흡량' 일 때의 빛의 세기
- 광포화점 : 광합성량이 최대로 되는 최소한의 빛의 세기
- 총 광합성량=호흡량+순 광합성량

38 ③ ① A는 광합성량과 호흡량이 같아 외관상 CO_2 출입이 없을 때의 빛의 세기인 보상점이고, B는 광합성량이 최대로 되는 최소한의 빛의 세기 즉, 광포화점이다.

② 보상점에서는 광합성에 흡수된 CO_2의 양이 호흡에 의해 방출된 CO_2의 양과 같고, 보상점 이상의 빛의 세기에서 추가로 흡수되어 광합성에 쓰인 CO_2의 양을 순 광합성량이라고 한다. 총 광합성량은 호흡량에 순 광합성량을 합한 값이다.

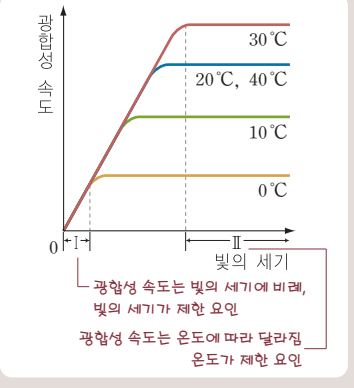
④ D는 빛의 세기가 0일 때 방출되는 CO_2의 양, 즉 호흡량에 해당한다. 그리고 C는 광포화점 이상의 빛의 세기에서 외관상 광합성량, 즉 순 광합성량에 해당한다. 따라서 C와 D를 합한 값인 E는 광포화점 이상의 빛의 세기에서의 총 광합성량에 해당한다.

⑤ 빛의 세기가 광포화점인 B 이상의 빛의 세기에서는 빛의 세기가 증가하여도 광합성량은 증가하지 않는다. 따라서 빛의 세기가 B보다 클 때, 빛의 세기는 더 이상 광합성의 제한 요인으로 작용하지 않는다.

오답 피하기

③ 빛의 세기가 보상점(A)일 때 순 광합성량은 0이며, 호흡량과 같은 것은 총 광합성량이다.

온도와 빛의 세기에 따른 광합성 속도



39 **Ⅰ구간 : 빛의 세기, Ⅱ구간 : 온도**

Ⅰ구간에서는 빛의 세기가 증가하면 광합성 속도도 증가하지만, 온도가 높아져도 광합성 속도는 달라지지 않는다. 따라서 Ⅰ구간에서는 빛의 세기가 광합성의 제한 요인으로 작용한다. 반면 Ⅱ구간에서는 빛의 세기가 증가하여도 광합성 속도는 증가하지 않지만, 온도가 달라지면 광합성 속도가 달라진다. 따라서 Ⅱ구간에서는 온도가 광합성의 제한 요인으로 작용한다.

40 **A, CO_2 농도**

광합성에 효소가 관여함을 알 수 있는 근거가 되는 것은 A로, A의 그래프는 효소의 활성과 온도의 관계를 나타낸 그래프와 같은 모양이다. A의 그래프를 보면, 광합성의 최적 온도가 효소의 최적 온도와 마찬가지로 35℃ 정도이고 온도가 35℃ 이상이면 광합성 속도가 급격히 감소하는데, 이는 광합성에는 효소가 관여하고 35℃ 이상의 온도에서는 효소의 변성으로 광합성 속도가 급격히 느려지기 때문으로 볼 수 있다. 한편, (나)의 Ⅰ구간에서는 CO_2 농도가 증가하면 광합성 속도도 증가하지만, 빛의 세기에 따라 광합성 속도가 달라지지는 않는다. 따라서 (나)의 Ⅰ구간에서 제한 요인으로 작용하는 것은 CO_2 농도이다.

개념 활용 문제

pp.186~195

01. ①	02. ⑤	03. ⑤	04. ④	05. ③	06. ④	07. ⑤
08. ③, ④	09. ⑤	10. ②	11. ⑤	12. ⑤	13. ②	14. ④
15. ③	16. ③	17. ②	18. ④	19. ③	20. ⑤	

01 ① ㄱ. DNA, RNA, 리보솜 등은 엽록체의 기질인 B에 있다. B는 스트로마이다.

ㄴ. 명반응 산물인 NADPH와 ATP는 스트로마(B)에서 암반응이 진행될 때 이용된다.

ㄷ. 광합성 색소와 전자 전달 효소, ATP 합성 효소 등은 틸라코이드(A) 막에 있다.

오답 피하기

ㄹ. 포도당은 스트로마(B)에서 일어나는 암반응 동안 합성된 다음, 녹말로 전환되어 저장된다.

녹색 식물의 광합성 색소

녹색 식물은 공통적으로 엽록소 a와 b를 가지고 있으며, 보조 색소로 카로티노이드계 색소를 가지고 있다. 가을이 되면 엽록소는 온도에 민감하여 파괴되므로 나머지 보조 색소의 색이 드러나 노랗고 붉은 단풍이 들게 된다.

02 ⑤ ㄱ. 가을 잎에서는 엽록소 a와 엽록소 b는 사라지고, 적황색 색소인 카로틴과 담황색 색소인 잔토필만 남아 있으므로 이 식물의 잎은 가을에 단풍이 든다.

ㄴ. 전개율은 $\frac{\text{원점에서 각 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$이므로 분리된 색소 중 전개율이 가장 큰 것은 카로틴이다.

ㄷ. 가을 잎에는 여름 잎에 있던 엽록소 a와 엽록소 b는 사라지고 카로티노이드 색소인 카로틴과 잔토필만 남아 있다. 이는 가을이 되어 기온이 떨어지면 온도에 민감한 엽록소가 먼저 파괴되기 때문이다.

흡수 스펙트럼과 작용 스펙트럼

녹색 식물의 주된 광합성 색소는 엽록소이므로 엽록소가 주로 흡수하는 파장대의 빛에서 광합성이 활발하게 일어난다. 엽록소는 청자색광과 적색광을 주로 흡수하며, 녹색광은 거의 흡수하지 않기 때문에 녹색을 띠는 색소이다.

03 ⑤ ① 광합성 색소들의 빛의 파장에 따른 흡수율을 조사한 결과를 나타낸 그래프를 흡수 스펙트럼이라 하고, 식물의 잎을 대상으로 빛의 파장에 따른 광합성 속도를 조사한 결과를 나타낸 그래프를 작용 스펙트럼이라고 한다.

② (가)의 그래프에서 각 광합성 색소는 빛의 파장에 따라 빛의 흡수율이 다르다는 것을 알 수 있다.

③ (가)의 그래프에서 카로티노이드는 엽록소가 잘 흡수하지 못하는 청색~녹색 파장대의 빛을 일부 흡수한다는 것을 알 수 있다.

④ (가)와 (나)의 그래프를 보면, 광합성 색소들의 빛 흡수율이 높은 청자색광이나 적색광에서 광합성 속도도 높다는 사실을 확인할 수 있다.

오답 피하기

⑤ (나)의 그래프에서 녹색광에서도 광합성이 어느 정도 일어나는 이유는 카로티노이드가 녹색광을 흡수하여 녹색광이 광합성에 이용되기 때문이다.

명반응과 암반응의 비교

구분	명반응	암반응
반응 장소	틸라코이드 막	스트로마
필요 물질	H_2O	CO_2, ATP, NADPH
생성 물질	O_2, ATP, NADPH	포도당

04 ④ ① 빛에너지를 이용하는 명반응(반응 X)에 공급되는 물질 ㉠은 H_2O이다.

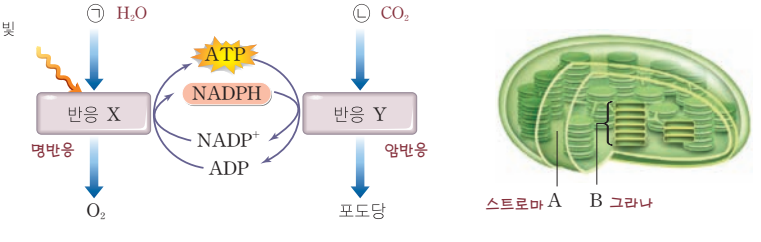
② 암반응(반응 Y)에 공급되는 물질 ㉡은 CO_2이며, 6탄당인 포도당($C_6H_{12}O_6$) 1분자를 만들기 위해서는 CO_2 6분자가 공급되어야 한다.

③ 명반응(반응 X)에서는 흡수한 빛에너지가 명반응 산물인 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환된다.

⑤ 명반응 산물인 ATP와 NADPH 그리고 CO_2(㉡)가 공급되면 빛이 없어도 암반응이 진행되어 포도당이 생성된다.

오답 피하기

④ A와 B는 각각 스트로마와 그라나를 나타낸 것이다. 명반응(반응 X)은 그라나(B)에서 일어나고, 암반응(반응 Y)은 스트로마(A)에서 일어난다.



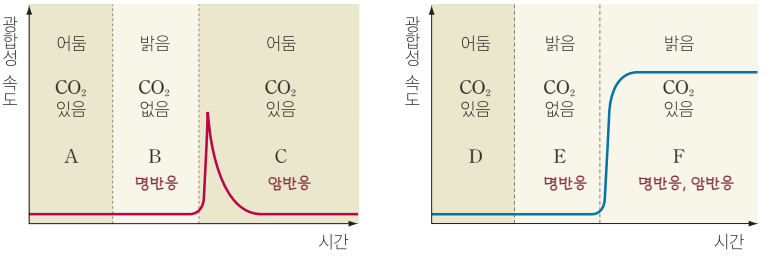
05 ③ ①, ④ C 시기에는 B 시기에 진행된 명반응에서 만들어진 명반응 산물을 이용하여 암반응이 진행되므로 포도당이 생성된다. F 시기에는 빛에너지를 화학 에너지로 전환시키는 과정인 명반응과, 명반응 산물과 CO_2를 이용하여 포도당을 합성하는 과정인 암반응이 둘 다 진행되어 포도당이 생성된다.

② 명반응은 광합성 색소들이 흡수한 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 과정으로 빛을 필요로 하며 CO_2는 필요하지 않다. 따라서 빛이 있는 B, E, F 시기에 명반응이 일어나고, 그 결과 O_2가 발생한다.

⑤ B 시기에 생성된 명반응 산물을 이용하여 C 시기에 암반응이 일어난 사실에서 명반응 산물이 공급되면 암반응은 빛이 없어도 일어날 수 있음을 알 수 있다.

오답 피하기

③ B 시기에 생성된 명반응 산물이 공급된 C 시기와 명반응이 함께 진행된 F 시기에 암반응이 일어나 CO_2가 흡수된다. 그러나 A와 D 시기에는 CO_2는 있지만 명반응 산물이 제공되지 않아 암반응이 일어나지 못하므로 CO_2가 흡수되지 않는다.



옥살산철(III)과 $NADP^+$의 환원

- $2Fe^{3+}+2e^- \rightarrow 2Fe^{2+}$
- $NADP^+ + H^+ + 2e^- \rightarrow NADPH$

06 ④ ㄴ. 힐의 실험에서는 시험관에서 공기를 제거하였기 때문에 발생한 산소는 H_2O이 빛에너지에 의해 $2H^+$과 $2e^-$ 및 $\frac{1}{2}O_2$로 분해되어 발생한 것이다.

ㄷ. 힐의 실험에서 옥살산철(III)의 Fe^{3+}은 물이 광분해되면서 발생한 전자(e^-)를 수용하여 옥살산철(II)의 Fe^{2+}으로 환원된다. 따라서 엽록체에서 옥살산철(III)에 해당하는 역할을 하는 물질은 명반응의 비순환적 광인산화에서 최종 전자 수용체로 작용하는 $NADP^+$이다.

오답 피하기

ㄱ. 옥살산철(III)의 Fe^{3+}이 옥살산철(II)의 Fe^{2+}으로 환원되려면, 전자(e^-)를 받아들여야 한다.

H^+의 이동

엽록체 안에서는 틸라코이드 막의 양성자 펌프가 H^+의 농도 기울기에 역행하여 H^+을 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송한다. 그러나 능동 수송에 필요한 에너지가 공급되지 않으면 H^+은 농도 기울기를 따라 H^+의 농도가 높은 곳에서 H^+의 농도가 낮은 곳으로 틸라코이드 막을 통해 확산된다. 따라서 틸라코이드 막을 경계로 한 농도 기울기가 유지되지 못하고, 틸라코이드 막 안팎의 H^+ 농도가 비슷해지면 ATP 합성도 일어나지 않는다.

07 ⑤ ㄱ. (가)에서 틸라코이드 내부가 pH 7에서 pH 4로 되었으므로 H^+이 틸라코이드 내부로 이동하여 틸라코이드 내부가 산성화되었음을 알 수 있다.

ㄴ. (나)에서 틸라코이드 내부의 pH는 4인 반면 틸라코이드 밖의 pH는 8이므로, 일시적으로 틸라코이드 막을 경계로 H^+의 농도 기울기가 형성된다.

ㄷ. (다)에서 pH 4로 H^+의 농도가 높은 틸라코이드 내부에서 pH 8로 H^+의 농도가 낮은 틸라코이드 밖으로 H^+의 농도 기울기를 따라 H^+이 확산될 때 ATP가 생성된다.

08 ③, ④

③ 틸라코이드 막의 전자 전달계를 통해 전자가 전달될 때 방출되는 에너지를 이용하여 양성자 펌프는 (가)에서 (나) 쪽으로 H^+을 능동 수송하므로, 전자 전달이 일어날 때 H^+의 농도는 (나) 쪽이 (가) 쪽보다 높아진다.

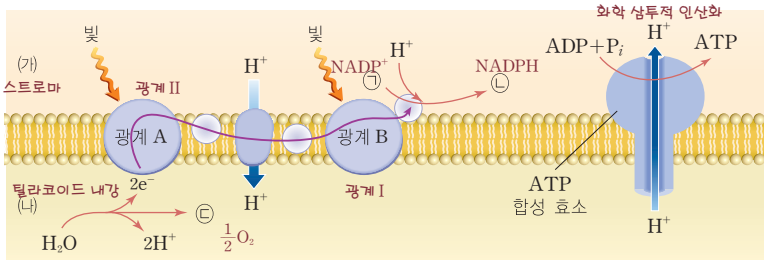
④ 광계 A(광계 II)의 반응 중심 색소는 P_{680}, 광계 B(광계 I)의 반응 중심 색소는 P_{700}이다.

오답 피하기

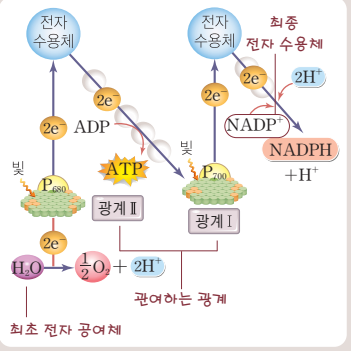
① 틸라코이드 막의 전자 전달계에 있는 양성자 펌프는 H^+을 스트로마에서 틸라코이드 내강으로 능동 수송하므로, (가)와 (나)는 각각 스트로마와 틸라코이드 내강을 나타낸 것이다.

② 전자 전달계를 통해 이동해 온 전자를 최종적으로 수용하는 최종 전자 수용체는 ㉠으로 $NADP^+$이다

⑤ ATP 합성 효소를 통해 H^+이 확산될 때 ATP가 생성되는 것을 화학 삼투적 인산화라고 한다.



비순환적 광인산화



- 생성되는 물질 : ATP, NADPH, O_2
- 관여하는 광계 : 광계I, 광계II
- 최초 전자 공여체 : H_2O
- 최종 전자 수용체 : $NADP^+$

09 ⑤ ①, ②, ④ 비순환적 광인산화에서 전자가 이동하는 순서는 H_2O → 광계 II → 전자 전달계 → 광계 I → 전자 전달계 → $NADP^+$이다. 따라서 최초 전자 공여체는 H_2O이고, 최종 전자 수용체는 $NADP^+$이며, 광계 I과 광계 II가 둘 다 관여한다.

③ 전자를 전달받은 $NADP^+$가 H^+과 결합하여 NADPH가 생성되고, 광계 II에서 광계 I로 전자가 전달될 때 ATP가 생성된다.

오답 피하기

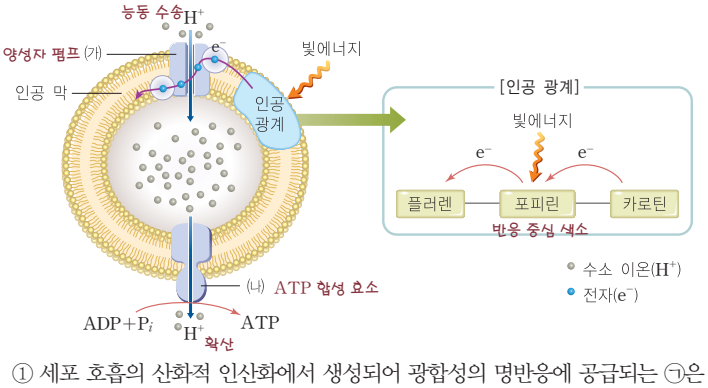
⑤ 광계I의 P_{700}에서 방출된 전자가 P_{700}으로 되돌아오는 것은 순환적 광인산화이다.

10 ② ㄱ. 엽록체에서는 광계의 반응 중심 색소인 엽록소 a가 빛에너지를 흡수하여 고에너지 전자를 방출하며, 인공 광계에서는 포피린이 이와 같은 역할을 한다.

ㄴ, ㄹ. 양성자 펌프 (가)는 H^+을 능동 수송에 의해 이동시키고, ATP 합성 효소 (나)는 인공막 외부보다 내부의 H^+ 농도가 높을 때, 즉 인공 틸라코이드의 외부보다 내부의 pH가 낮을 때 H^+을 농도 기울기를 따라 확산시켜 ATP가 생성되도록 한다.

오답 피하기

ㄷ. 막의 전자 전달계를 통해 전자가 전달될 때 방출되는 에너지를 이용하여 양성자 펌프 (가)가 H^+을 인공 틸라코이드의 내부로 능동 수송한다.



광합성과 세포 호흡의 반응식

- 광합성 : $6CO_2 + 12H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$
- 세포 호흡 : $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \longrightarrow 6CO_2 + 12H_2O$

11 ⑤ ① 세포 호흡의 산화적 인산화에서 생성되어 광합성의 명반응에 공급되는 ㉠은 H_2O이고, 명반응에서 생성되어 세포 호흡의 산화적 인산화 단계에 공급되는 ㉡은 O_2이다.

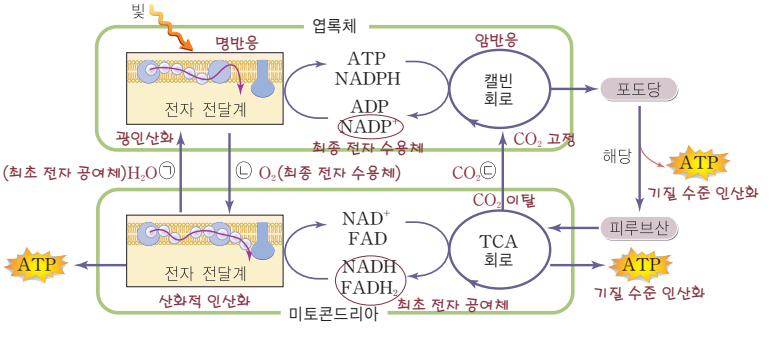
② H_2O(㉠)은 광분해되면서 엽록체의 틸라코이드 막에 있는 전자 전달계에 전자를 공급하는 최초 전자 공여체로 작용한다.

③ 세포 호흡의 TCA 회로에서 생성되어 광합성 암반응의 캘빈 회로에 공급되는 ㉢은 CO_2이다. TCA 회로에서 CO_2의 이탈은 탈탄산 효소의 작용으로 일어난다.

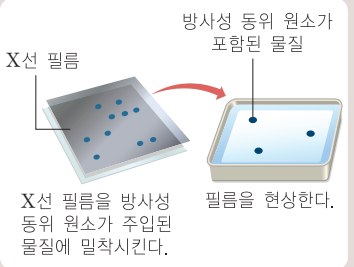
④ 해당 과정과 TCA 회로에서는 기질 수준 인산화로 소량의 ATP가 생성된다.

오답 피하기

⑤ NADH와 $FADH_2$는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계에 전자를 공급하는 역할을 하지만, NADPH는 $NADP^+$가 엽록체 틸라코이드 막의 전자 전달계를 따라 이동해 온 전자를 수용하여 생성되는 물질이다.



자기 방사법



12 ⑤ ㄱ. 제시된 실험에서는 방사성 동위 원소인 ^{14}C가 포함된 $^{14}CO_2$를 클로렐라 배양액에 공급하고 시간 경과에 따라 방사성 동위 원소인 ^{14}C에서 방출되는 방사선을 추적하였으므로, 자기 방사법이 이용된 것이다.

ㄴ. X선 감광 필름은 방사능 에너지에 감광되도록 만들어 놓은 필름이다. 방사성 동위 원소인 ^{14}C는 방사선을 방출하므로 ^{14}C를 포함한 탄소 화합물이 X선 필름에 감광되어 나타난다.

ㄷ. $^{14}CO_2$의 ^{14}C가 포함된 물질이 나타나는 순서는 시간 경과에 따라 필름에 새로이 나타나는 물질의 순서와 같다. 따라서 $^{14}CO_2$의 ^{14}C가 포함된 물질이 나타나는 순서는 'PGA→PGAL→6탄당 인산→포도당'의 순이다.

13 ② ① (가)에서 6PGA(C_3-ⓟ)가 6DPGA(ⓟ-C_3-ⓟ)로 될 때 6ATP가 쓰여 탄소 화합물에 붙어 있는 ⓟ의 수가 6개에서 12개로 늘어나고, (다)에서 5PGAL(C_3-ⓟ)이 3RuBP(ⓟ-C_5-ⓟ)로 될 때 3ATP가 쓰이고 2ⓟ이 빠져나가 탄소 화합물에 붙어 있는 ⓟ의 수가 5개에서 6개로 늘어난다.

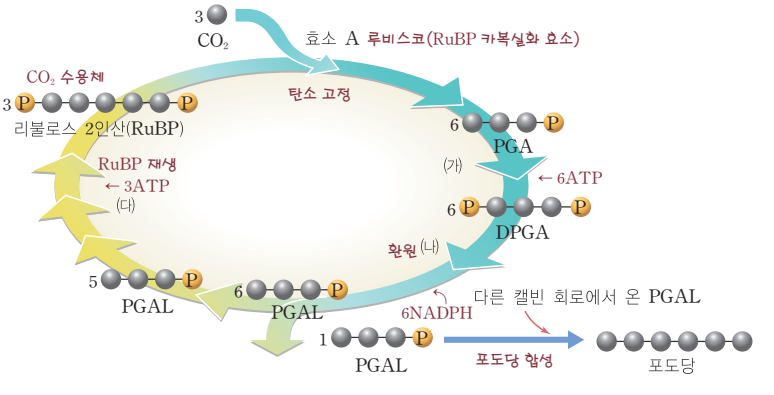
③ (나)는 NADPH에 의해 2인글리세르산인 DPGA가 인글리세르알데하이드인 PGAL로 환원되는 단계이다.

④ 효소 A는 RuBP 카복실화 효소인 루비스코로 RuBP가 CO_2를 고정하여 PGA가 합성되도록 한다.

⑤ PGAL 1분자를 만들기 위해 CO_2 3분자가 투입되어야 하므로, 포도당($C_6H_{12}O_6$) 1분자를 생성하는 데 필요한 2PGAL을 만들려면 CO_2 6분자가 투입되어야 한다.

오답 피하기

② RuBP가 CO_2와 결합하여 2PGA를 생성하므로 CO_2 수용체로 작용하는 물질은 PGA가 아니라 RuBP이다.



명반응과 암반응

- 명반응에 필요한 물질 : H_2O
- 암반응에 필요한 물질 : CO_2, NADPH, ATP
- 암반응에 공급되는 명반응의 산물 : NADPH, ATP

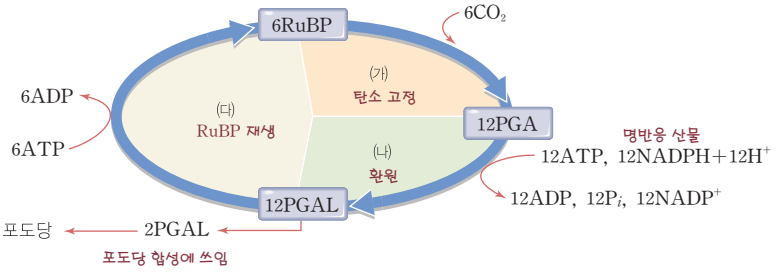
14 ④ ㄴ. 주요한 환원 반응이 일어나는 단계는 NADPH와 ATP에 의해 PGA가 PGAL로 환원되는 (나) 단계이다.

ㄷ. CO_2 공급이 중단되면 RuBP가 CO_2 고정에 쓰이지 않게 되므로 RuBP의 농도가 급격히 증가한다.

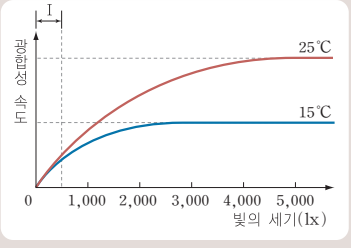
ㄹ. 6RuBP에 6CO_2가 고정되어 12PGA가 만들어지므로, RuBP의 탄소 수가 5개이면 12PGA와 12PGAL을 구성할 탄소 수가 6×5개+6개=36개가 된다. 따라서 PGA와 PGAL 1분자를 구성하는 탄소 수는 각각 3개가 된다.

오답 피하기

ㄱ. 명반응이 중단되면 PGA를 PGAL로 환원시키는 데 필요한 ATP와 NADPH의 공급이 중단되므로 PGA가 급격히 축적된다.



온도와 빛의 세기가 광합성에 미치는 영향



- 구간 I에서 광합성의 제한 요인은 빛의 세기이다.
- 광포화점 이상의 빛의 세기에서 광합성의 제한 요인은 온도이다.
- 온도가 15℃에서 25℃로 10℃ 높아지면 광포화점 이상의 빛의 세기에서 광합성 속도는 약 2배로 증가한다.

15 ③ ㄷ. 광포화점 이상의 빛의 세기에서 15℃일 때보다 25℃일 때 광합성 속도가 더 크다.

오답 피하기

ㄱ. 구간 I에서는 온도가 15℃에서 25℃로 되어도 광합성 속도가 거의 동일하다. 따라서 구간 I에서 온도는 광합성의 제한 요인이 아니며, 빛의 세기가 제한 요인이다.

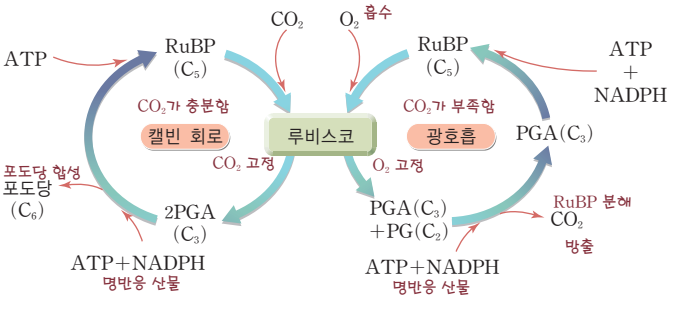
ㄴ. 15℃에서는 광포화점이 2,000~3,000lx의 값이지만, 25℃에서는 광포화점이 4,000lx보다 크다. 따라서 광포화점에 해당하는 빛의 세기는 온도의 영향을 받는다.

16 ③ ㄱ. 광호흡이 일어날 때 RuBP는 O_2를 고정하여 PGA+PG로 된 다음, ATP와 NADPH를 소비하면서 CO_2를 방출하고 PGA로 된다. 따라서 광호흡이 일어나면 O_2가 흡수되고 CO_2가 방출된다.

ㄷ. 캘빈 회로가 진행되면 유기물인 포도당이 합성되고, 광호흡이 진행되면 유기물인 RuBP가 분해된다.

오답 피하기

ㄴ. 광호흡이 일어나면 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH가 포도당을 합성하는 데 쓰이지 않고, RuBP를 구성하던 탄소의 일부를 CO_2로 분해하는 데 사용된다. 따라서 광호흡이 일어나면 C_3 식물의 광합성 효율이 낮아진다.



17 ② ① 미토콘드리아 내막에서는 여러 전자 운반체들의 산화 환원 반응에 의해 전자가 전달되는 과정에서 에너지가 방출되므로 전자의 에너지 수준이 낮아지지만, 엽록체의 틸라코이드 막에서는 광계가 흡수한 빛에너지에 의해 전자의 에너지 수준이 높아졌다가 전자가 전달되는 과정에서 낮아진다.

③ 미토콘드리아 내막에서 전자는 최종 전자 수용체인 O_2로 전해져 H^+과의 결합을 통해 H_2O을 생성하고, 엽록체의 틸라코이드 막에서 전자는 최종 전자 수용체인 $NADP^+$로 전해져 H^+과의 결합을 통해 NADPH를 생성한다.

④, ⑤ 전자 전달계를 통해 전자가 이동할 때 방출되는 에너지를 이용하여 막에 있던 양성자 펌프가 미토콘드리아에서는 H^+을 기질에서 막간 공간으로 능동 수송시키고, 엽록체에서는 H^+을 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송시킨다. 그 결과 미토콘드리아에서는 기질에 비해 막간 공간의 H^+ 농도가 높아지고, 엽록체에서는 스트로마에 비해 틸라코이드 내부의 H^+ 농도가 높아진다.

오답 피하기

② 미토콘드리아 내막에서는 해당 과정과 TCA 회로에서 생성된 NADH와 $FADH_2$가 전자 전달계에 전자를 공급하는 최초 전자 공여체 역할을 하고, 엽록체의 틸라코이드 막에서는 H_2O이 전자 전달계에 전자를 공급하는 최초 전자 공여체 역할을 한다.

캘빈 회로의 탄소 화합물
- CO_2 수용체 : RuBP(C_5)
- 최초의 탄소 고정 산물 : PGA(C_3)
- 캘빈 회로의 생성물 : PGAL(C_3)

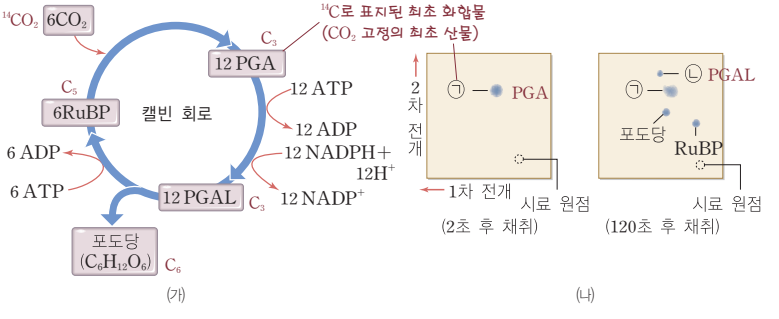
18 ④ ①, ② ^{14}C로 표지된 최초 화합물은 CO_2 고정 후 처음 나타나는 PGA이다. ^{14}C로 표지된 물질이 (나)에 나타나므로, 2초 후 처음 나타난 ㉠이 PGA이고, 120초 후 다른 물질과 함께 나타난 ㉡은 PGAL이다.

③ PGAL은 PGA가 ATP와 NADPH에 의해 환원되어 생성된 물질이므로 PGA보다 더 많은 에너지를 가지고 있다.

⑤ 12PGAL 중 10PGAL은 6RuBP의 재생에 쓰이고, 2PGAL은 포도당을 생성하는 데 쓰인다.

오답 피하기

④ 6RuBP에 $6CO_2$가 더해져 탄소 수가 3개인 PGA 12분자가 생성되므로, RuBP의 탄소 수는 5개이다.



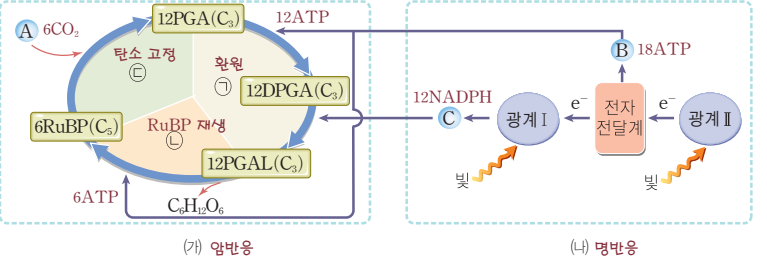
19 ③ ㄱ. (가)는 광합성의 암반응인 캘빈 회로를 나타낸 것이므로 스트로마에서 일어나고, (나)는 광합성의 명반응을 나타낸 것이므로 틸라코이드 막에서 일어난다.

ㄹ. (나)의 반응이 중단되면 B와 C의 공급이 중단되므로 (가)의 ㉠과 ㉡ 단계가 진행되지 않는다. 그 결과 PGA의 양은 증가하고, RuBP의 양은 감소한다.

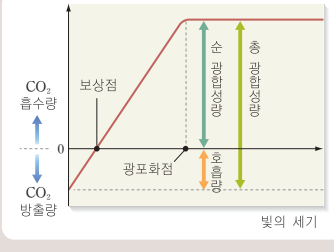
오답 피하기

ㄴ. 6RuBP(C_5)가 12PGA(C_3)로 될 때 탄소 수가 30개에서 36개로 늘어나므로 ㉢ 시기가 루비스코의 작용으로 탄소 고정이 일어나는 단계이다.

ㄷ. A, B, C는 각각 CO_2와 ATP 그리고 NADPH로 포도당 1분자를 생성하는 데 각각 6분자와 18분자 그리고 12분자가 필요하다.



빛의 세기에 따른 광합성량

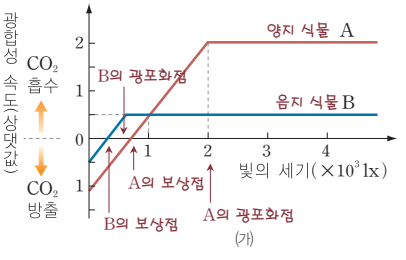


20 ⑤ ㄱ. 500lx는 B의 보상점보다는 크고 A의 보상점보다는 작은 빛의 세기이다. 보상점보다 낮은 빛의 세기가 지속되면 호흡에 소비하는 유기물의 양이 광합성에 의해 생산된 유기물의 양보다 많아 식물이 죽게 되므로, 500lx 정도의 빛이 지속되면 B는 살 수 있지만 A는 살 수 없다.

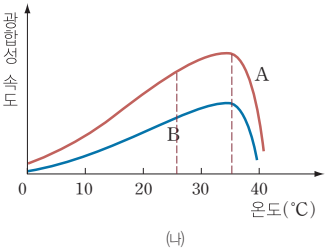
ㄴ. 빛의 세기가 0일 때의 CO_2 방출량은 호흡량을 나타내므로, A의 호흡량이 B의 호흡량보다 크다. 따라서 1,000lx에서 A와 B의 순 광합성량은 같지만, 순 광합성량에 호흡량을 더한 값인 총 광합성량은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 1,000~2,000lx에서 빛의 세기가 증가할 때 A의 총 광합성량은 증가하지만, B의 총 광합성량은 일정하게 유지된다. 따라서 1,000~2,000lx의 빛의 세기는 A에게는 광합성의 제한 요인으로 작용하지만, B에게는 광합성의 제한 요인으로 작용하지 않는다.

ㄹ. 3,000lx는 A와 B에서 모두 광포화점보다 큰 빛의 세기이므로, 3,000lx에서 온도가 25°C에서 35°C로 높아지면 (나)의 그래프와 같이 A와 B 모두 광합성량이 증가한다.



(가)



(나)

서술 · 논술형 문제

03. 광합성 pp.196~197

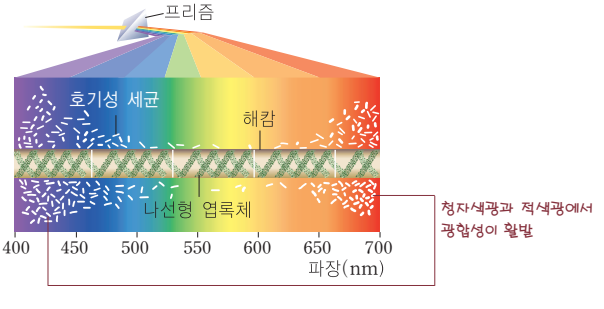
해캄과 호기성 세균의 역할

- 해캄 : 광합성을 하여 O_2를 발생시킨다.
- 호기성 세균 : 산소 호흡을 하므로 산소 농도가 높은 곳으로 모여드는 성질이 있어 눈에 보이지 않는 O_2 발생량을 시각화하는 효과가 있다.

1. 엥겔만의 실험+빛의 파장과 광합성

모범 답안 | 청자색광과 적색광이 비치는 해캄의 부위에서 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생하였기 때문에 산소 호흡을 하는 호기성 세균이 이 부위에 모여들었다.

알짜 풀이 | 녹조류의 일종인 해캄은 청자색광과 적색광을 주로 흡수하여 광합성을 활발히 하기 때문에 청자색광과 적색광이 비치는 해캄의 부위에서 산소가 많이 발생한다. 녹색광은 거의 흡수하지 않기 때문에 녹색광이 비치는 해캄의 부위에서는 산소가 거의 발생하지 않는다. 산소 호흡을 하는 호기성 세균은 산소가 많이 발생한 청자색광과 적색광이 비치는 해캄의 부위에 많이 분포하게 된다.

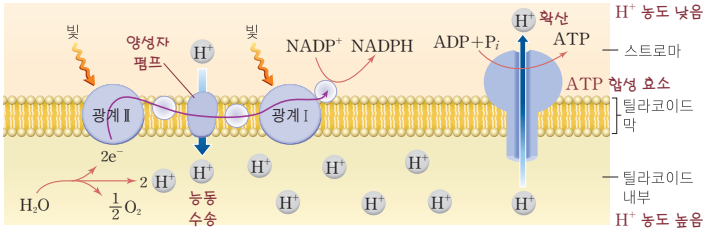


2. 광인산화의 원리

모범 답안 | 광계에서 흡수한 빛에너지에 의해 H_2O이 분해되어 방출된 전자가 틸라코이드 내막의 전자 전달계를 통해 이동하는 동안 에너지가 방출되는데, 이 에너지를 이용하여

양성자 펌프는 H^+을 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송함으로써 H^+의 농도 기울기를 형성하고, 농도 기울기를 따라 ATP 합성 효소를 통해 틸라코이드 내부에서 스트로마 쪽으로 H^+이 확산될 때 화학 삼투적 인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

알짜 풀이 | H_2O이 광분해되면서 나온 전자는 틸라코이드 내막의 전자 전달계를 통해 $NADP^+$로 전해진다. 양성자 펌프는 전자 전달계를 통해 전자가 전달될 때 방출되는 에너지를 이용하여 H^+을 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송하므로 틸라코이드 막을 경계로 H^+의 농도 기울기가 형성된다. 이후 ATP 합성 효소를 통해 H^+의 농도 기울기를 따라 틸라코이드 내부에서 스트로마 쪽으로 H^+이 확산될 때 화학 삼투적 인산화가 일어나 ATP가 생성된다. 이처럼 화학 삼투적 인산화를 일으키는 데 필요한 H^+의 농도 기울기가 빛에너지에 의해 전자를 이동시킴으로써 형성되기 때문에 엽록체에서 일어나는 ATP 합성 방법을 광인산화라고 한다.



광합성의 명반응과 암반응

• 명반응의 전체 과정

$12H_2O$
$12NADP^+$ ↘ ↗ $18ADP$
빛에너지 →
$12NADPH+12H^+$ ↗ ↘ $18ATP$
$6O_2$

• 암반응의 전체 과정

$6CO_2$
$12NADPH+12H^+$ ↘ ↗ $18ATP$
$12NADP^+$ ↗ ↘ $18ADP$
$C_6H_{12}O_6+6H_2O$

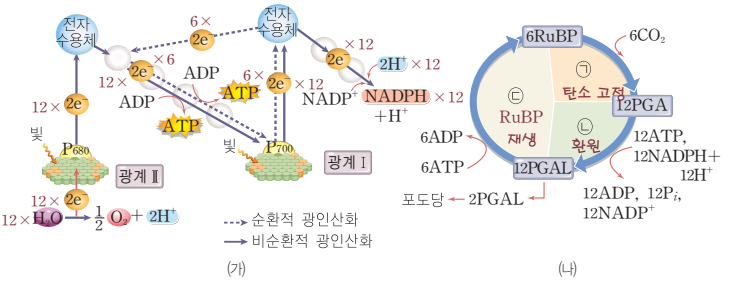
3. 광합성의 명반응과 암반응

모범 답안 | (1) 포도당 1분자를 합성하기 위해서 12NADPH와 18ATP가 필요하므로, 비순환적 광인산화가 12회 일어나 12NADPH와 12ATP를 생성하고 순환적 광인산화가 6회 일어나 6ATP를 생성하여야 한다.

(2) 그림 (나)에서 ㉠은 탄소 고정 단계로 $6CO_2$가 6RuBP와 결합하여 12PGA를 생성하고, ㉡은 환원 단계로 12PGA가 12ATP와 12NADPH에 의해 환원되어 12PGAL로 된다. 이후 12PGAL 중 2PGAL은 캘빈 회로를 빠져나가 포도당을 합성하는 데 쓰이고, 이어지는 ㉢은 RuBP의 재생 단계로 10PGAL은 6ATP를 소비하면서 6RuBP로 재생된다.

알짜 풀이 | (1) 그림 (나)에서 포도당 1분자의 합성을 위해서는 명반응 산물인 NADPH 12분자와 ATP 18분자가 암반응에 공급되어야 함을 알 수 있다. 그런데 (가)에서 순환적 광인산화가 1회 일어나면 ATP만 1분자 생성되고, 비순환적 광인산화가 1회 일어나면 NADPH 1분자와 ATP 1분자가 생성된다. 따라서 먼저 NADPH 12분자를 생성하기 위해 비순환적 광인산화가 12회 일어나야 하고, 비순환적 광인산화가 12회 일어나면 NADPH 12분자 외에 ATP 12분자도 생성되므로, 부족한 ATP 6분자를 생성하기 위해 순환적 광인산화가 6회 일어나야 한다.

(2) 그림 (나)는 광합성의 암반응인 캘빈 회로를 나타낸 것으로, 탄소 고정 단계인 ㉠에서는 RuBP 카복실화 효소인 루비스코의 작용으로 $6CO_2$가 6RuBP와 결합하여 12PGA를 생성한다. 이어 환원 단계인 ㉡에서는 12PGA가 12ATP와 12NADPH에 의해 12PGAL로 환원된다. 이후 12PGAL 중 2PGAL은 캘빈 회로를 빠져나가 포도당을 합성하는 데 쓰이고, 10PGAL은 RuBP의 재생 단계인 ㉢에서 6ATP를 소비하면서 6RuBP로 재생된다.



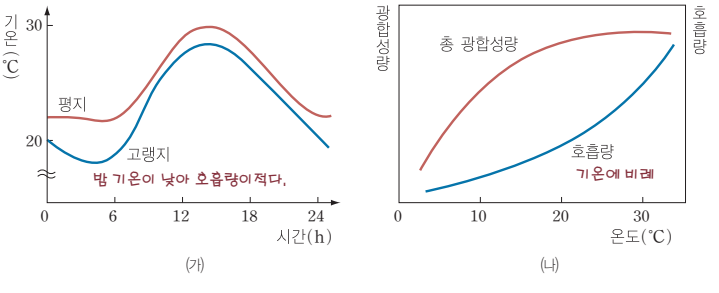
식물의 광합성량

- 호흡량 : 광합성량이 0일 때 CO_2 방출량
- 순 광합성량 : CO_2 흡수량
- 총 광합성량 = 호흡량 + 순 광합성량
- 순 광합성량 = 총 광합성량 − 호흡량

4. 고랭지 농업

모범 답안 | 감자를 대관령과 같은 고랭지에서 키우면 총 광합성량은 평지에서 키울 때와 비슷하지만, 평지에서보다 기온이 크게 낮은 밤에 호흡량이 훨씬 적어 평지에서 키울 때보다 순 생산량이 크기 때문에 감자가 잘 자란다.

알짜 풀이 | 대관령과 같은 고랭지는 일교차가 커서 낮 기온은 평지와 크게 다르지 않지만 밤에는 평지보다 기온이 낮다. 고랭지에서 밤의 기온이 평지에서보다 낮아지면 (나)와 같이 식물의 호흡량도 평지에서보다 감소한다. 그리고 식물의 생장량을 결정하는 것은 총 광합성량이 아니라 총 광합성량에서 호흡량을 뺀 값인 순 광합성량이다. 따라서 감자를 대관령과 같은 고랭지에서 키우면 총 광합성량은 평지에서 키울 때와 비슷하지만 평지에서보다 기온이 크게 낮은 밤에 호흡량이 크게 줄어들어 평지에서 키울 때보다 순 생산량이 크기 때문에 감자 농사가 잘 된다.



High Top

생명 과학 Ⅱ

2권

정답 및 해설

II 유전자와 생명 공학

chapter 1 유전자와 형질 발현

01 유전 물질의 구조

개념 체크 p.021

A 그리피스의 실험

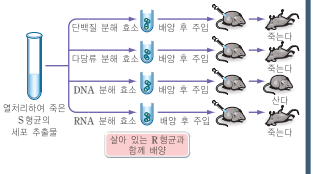
그림은 폐렴 쌍구균을 이용한 그리피스의 실험이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. S형균은 병원성이고, R형균은 비병원성이다. (○)
2. R형균은 S형균보다 돌연변이가 잘 일어난다. (×)
3. S형균을 가열하더라도 병원성은 남아 있다. (×)
4. S형균의 유전 물질은 R형균을 S형균으로 형질 전환시킬 수 있다. (○)
5. 폐렴에 걸려 죽은 쥐에서 추출한 S형균은 다른 쥐에서는 병원성을 나타내지 않는다. (×)

B 에이버리의 실험

그림은 폐렴 쌍구균을 이용한 에이버리의 실험이다.

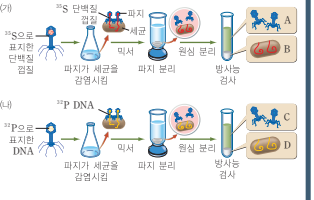


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 단백질 분해 효소는 S형균 추출물의 단백질을 분해한다. (○)
2. RNA 분해 효소를 처리한 시험관에는 S형균의 DNA가 분해되지 않고 그대로 남아 있다. (○)
3. S형균의 유전 물질은 열에 약하다. (×)
4. R형균을 S형균으로 형질 전환시키는 물질은 S형균의 DNA이다. (○)
5. 죽은 쥐의 체내에서는 살아 있는 S형균이 검출된다. (○)

C 허시와 체이스의 실험

그림은 박테리오파지를 이용한 허시와 체이스의 실험이다.

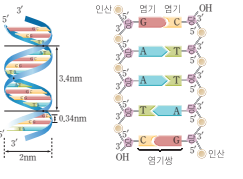


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. S은 DNA에만, P은 단백질에만 있는 원소이다. (×)
2. (가)에서 A의 파지 일부에서 방사능이 검출된다. (○)
3. (나)에서 C의 파지 일부에서 방사능이 검출된다. (×)
4. 새로 파지가 만들어진다면 B와 D에서 관찰될 것이다. (○)
5. A에는 파지의 DNA, B에는 파지의 단백질 껍질이 있다. (×)

D DNA의 분자 구조

그림은 DNA의 분자 구조를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. DNA는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 구성된다. (○)
2. DNA의 축은 당-인산의 공유 결합으로 연결되고, DNA의 두 가닥은 염기 사이의 수소 결합에 의해 연결된다. (○)
3. DNA의 두 사슬은 말단이 같은 방향을 향하고 있다. (×)
4. DNA의 2중 나선의 1회전에는 10개의 염기가 있다. (×)
5. DNA 2중 나선을 구성하는 염기 A과 T의 수는 같다. (○)

A 그리피스의 실험

01 S형균은 폐렴을 유발하는 병원성이고, R형균은 폐렴을 일으키지 않는 비병원성이다.

02 R형균과 S형균 중 어느 쪽이 돌연변이가 잘 일어나는지는 주어진 자료로 알 수 없다.

03 S형균을 가열하면 폐렴을 유발하지 않으므로 병원성이 사라졌음을 알 수 있다.

04 죽은 S형균과 살아 있는 R형균을 섞어서 쥐에 주사하면 쥐가 폐렴에 걸려 죽고, 살아 있는 S형균이 발견된다. 즉, 죽은 S형균의 유전 물질이 R형균을 S형균으로 형질 전환시켰다.

05 폐렴에 걸려 죽은 쥐의 체내에서 추출한 S형균은 다른 쥐에서도 병원성을 나타낸다.

B 에이버리의 실험

02 S형균 세포 추출물에 RNA 분해 효소를 처리하면 S형균의 RNA는 분해되지만 DNA는 그대로 남아 있다.

03 가열하여 죽은 S형균의 유전 물질이 R형균을 형질 전환시키므로 유전 물질은 열에 강함을 알 수 있다.

04 DNA 분해 효소에 의해 S형균의 DNA가 분해되면 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않는다. 즉, R형균을 S형균으로 형질 전환시키는 물질은 죽은 S형균의 DNA이다.

05 R형균이 S형균으로 형질 전환되어 폐렴에 걸려 죽은 쥐의 체내에서는 병원성의 살아 있는 S형균이 검출된다.

C 허시와 체이스의 실험

01 S은 단백질에만, P은 DNA에만 있는 원소이다.

02 파지의 단백질 껍질은 세균 속으로 들어가지 않으므로 (가)에서 A의 파지 일부에서 방사능이 검출된다.

03 파지의 DNA는 세균 속으로 들어가므로 (나)의 경우 D에서 방사능이 검출된다.

04 파지는 숙주 세포인 세균 속에서 증식하므로 새로 만들어진 파지는 B와 D에 있다.

05 파지는 증식할 때 꼬리 부분을 세균에 부착시키고 DNA를 세균 속으로 밀어 넣는다. 이때 단백질의 껍질은 겉에 그대로 남는다. 따라서 A에는 파지의 단백질 껍질이, B에는 세균 속으로 들어간 파지의 DNA가 있다.

D DNA의 분자 구조

01 뉴클레오타이드는 당, 인산, 염기가 1 : 1 : 1로 구성된 단위체이며, 뉴클레오타이드의 중합체를 폴리뉴클레오타이드라고 한다. DNA는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드가 나선형으로 꼬여 있다.

02 DNA의 축은 당-인산의 공유 결합으로 연결되고, 이들은 염기 사이의 수소 결합에 의해 2중 나선 구조를 이룬다.

03 DNA의 두 사슬 말단은 서로 반대 방향을 향하고 있다.

04 DNA 2중 나선의 1회전에는 10쌍, 즉 20개의 염기가 있다.

05 DNA 2중 나선에서 A과 T은 상보적으로 결합하므로 이들의 수는 서로 같다.

개념 확인 문제 pp.022~025

01. ①	02. ⑤	03. ㄴ	04. ④	05. DNA	06. ①, ②	07. ①
08. ㄴ, ㄷ	09. ③	10. 뉴클레오타이드		11. 3: 염기, 4: 디옥시리보스(당), 5: 인산		
12. ③	13. ④	14. ②	15. 12개	16. ②	17. ①	18. ②
19. ④	20. ③	21. ④	22. ③	23. ④		

01 ① DNA의 구성 원소가 C, H, O, N, P이라는 것은 물질의 구성 원소를 나타낸 것이지 유전 물질이라는 것을 알려 주는 자료는 아니다.

그리피스의 실험

죽은 S형균의 어떤 물질이 R형균을 S형균으로 형질 전환시켰다.

02 ⑤ ⑤ (라)에서 죽은 S형균의 어떤 물질이 R형균을 S형균으로 형질 전환시켜 쥐가 죽었다.

오답 피하기

① (가)에서 S형균을 주사하면 쥐가 폐렴에 걸려 죽으므로 S형균은 쥐의 체내에서 증식하여 폐렴을 일으킨다는 것을 알 수 있다.

② (나)에서 R형균을 주사해도 쥐가 폐렴에 걸려 죽지 않았으므로 R형균은 병을 일으키지 않는 비병원성이다.

③ (나)에서 R형균을 주사하더라도 쥐가 죽지 않은 것은 R형균은 쥐의 면역계에 의해 제거되어 병원성을 나타내지 않기 때문이지 유전 물질이 없기 때문은 아니다.

④ 만일 (다)에서 열처리에 의해 S형균의 유전 물질이 변성되었다면 살아 있는 R형균과 혼합하여 주사한 (라)에서도 쥐가 살아야 한다.

형질 전환

외부에서 들어온 유전 물질에 의해 생물의 형질이 바뀌는 현상으로, 비병원성인 R형균이 병원성인 S형균으로 형질 전환되면 쥐가 폐렴에 걸려 죽는다.

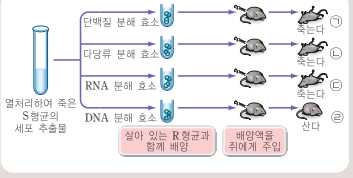
03 ㄴ ㄴ. S형균의 유전 물질인 DNA와 살아 있는 R형균이 있으면 R형균이 S형균으로 형질 전환될 수 있다.

오답 피하기

ㄱ, ㄷ. RNA와 단백질은 폐렴 쌍구균의 유전 물질이 아니므로 살아 있는 R형균과 함께 배양해도 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않는다.

ㄹ. 죽은 S형균의 추출물에 있는 S형균의 DNA는 DNA 분해 효소에 의해 분해되므로 살아 있는 R형균과 함께 배양해도 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않는다.

에이버리의 실험



04 ④ ㉣에서 DNA 분해 효소에 의해 S형균의 DNA가 분해되었으므로 살아 있는 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않았다. 그 결과 쥐가 폐렴에 걸리지 않아 살 수 있다.

05 DNA

R형균을 S형균으로 형질 전환시키는 S형균의 유전 물질은 DNA이다.

06 ①, ②

① (가)는 박테리오파지의 유전 물질인 DNA이고, (나)는 단백질 껍질이다.

② (가) DNA에는 인(P)이 있고, (나) 단백질에는 황(S)이 있다.

오답 피하기

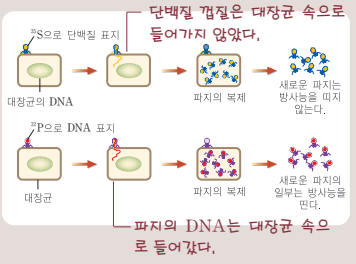
③ 박테리오파지에서 유전 물질인 (가) DNA만 숙주 세포 안으로 들어가서 증식에 관여한다.

④ 바이러스는 스스로 물질대사를 할 수 없으므로 (가)와 (나)는 모두 숙주 세포 내에서 만들어진다.

⑤ 박테리오파지의 유전 정보는 (가) DNA에 저장되어 있다.

07 ① 실험에서 새로 만들어진 파지는 ^{32}P로 표지된 파지의 DNA가 복제되어 생긴 것이므로, 새로운 파지의 일부 DNA에서는 ^{32}P에 의한 방사능이 검출된다. 그러나 단백질 껍질은 대장균 속으로 들어가지 않으므로 새로 만들어진 파지에서 ^{35}S은 검출되지 않는다.

허시와 체이스의 실험



08 ㄴ, ㄷ ㄴ. 그림은 박테리오파지를 이용하여 유전 물질이 무엇인지를 알아보는 실험으로, 파지가 증식하기 위해서는 파지의 유전 물질이 대장균 안으로 들어가야 한다는 사실을 전제로 실험하였다.

ㄷ. 파지가 증식할 때 대장균 안으로 들어가는 물질을 알아내기 위해 ^{35}S과 ^{32}P으로 표지한 파지를 이용한다. 파지를 각각 ^{32}P과 ^{35}S으로 표지하는 이유는 인(P)은 DNA에는 있고 단백질에는 없으며, 황(S)은 DNA에는 없고 단백질에는 있기 때문이다.

오답 피하기

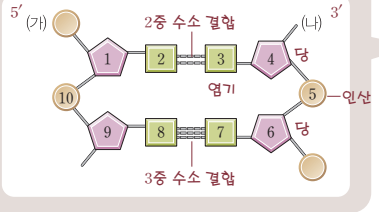
ㄱ. 박테리오파지의 단백질 껍질은 대장균 속으로 들어가지 못하므로 새로운 파지의 성분으로 이용될 수 없는 것은 실험을 통해 알게 된 사실이다.

09 ③ 실험 결과 파지의 DNA를 ^{32}P으로 표지했을 때만 일부 파지에서 방사능이 검출되었으므로 파지의 DNA만이 세균 속으로 들어가 새로운 파지를 만드는 유전 물질로 작용하였음을 알 수 있다.

10 뉴클레오타이드

핵산의 구성 단위는 뉴클레오타이드이며, 이것은 당, 염기, 인산이 1:1:1의 비로 결합한 물질이다.

DNA 분자 구조



11 3: 염기, 4: 디옥시리보스(당), 5: 인산

DNA의 5탄당인 디옥시리보스(1, 4, 6, 9)에 각각 염기(2, 3, 7, 8)와 인산(5, 10)이 결합되어 있다.

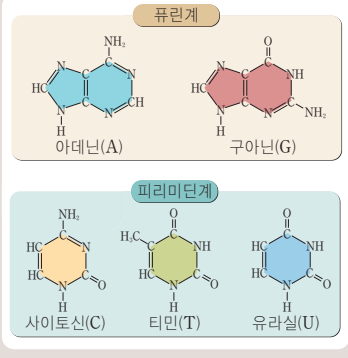
12 ③ ㄱ. 염기 사이의 결합은 수소 결합이고, 이때 A과 T은 2중 수소 결합, C과 G은 3중 수소 결합을 한다. 따라서 2와 3은 A과 T이거나 T과 A이다.

ㄴ. 7과 8은 염기이므로 이들의 결합은 수소 결합이다. 5 인산과 6 당은 공유 결합으로 연결된다.

오답 피하기

ㄷ. (가)는 당의 5번 탄소에 인산이 결합된 상태이므로 5′ 말단이고, (나)는 이와는 반대 방향이므로 3′ 말단이다.

염기의 종류



13 ④ DNA를 구성하는 염기 중 아데닌(A)과 구아닌(G)은 2개의 고리 구조를 가지는 퓨린계 염기이다.

14 ② ㄴ. DNA 2중 나선의 한 주기의 거리는 3.4nm이며, 각 염기쌍 사이의 거리는 0.34nm이므로 한 주기에는 10쌍의 염기가 있다.

오답 피하기

ㄱ. DNA의 2중 나선을 이루는 두 사슬은 말단이 서로 반대 방향을 향하는 역평행 구조이다.

ㄷ. DNA 각 사슬의 축은 당과 인산 사이의 공유 결합에 의해 형성되며, 두 사슬은 염기 간의 수소 결합에 의해 붙어 있다.

DNA의 염기 조성

각 생물 종에서 염기 A과 T의 양은 같고, G과 C의 양도 같다(샤가프의 법칙). A=T이나 G=C로 나타나는 것은 DNA 2중 나선에서 염기 A은 T과, G은 C과 결합하기 때문이다.

15 12개

A+T의 개수는 30쌍$\times\frac{2}{5}$=12쌍, 즉 24개이다. 그런데 염기 A과 T의 개수는 같으므로 A의 개수는 12개이다.

16 ② 2중 나선을 이루고 있는 DNA에서 상보적으로 결합하는 A과 T, G과 C의 수는 각각 같다. $\frac{A}{T}=\frac{C}{G}=\frac{A+C}{T+G}=1$이며, A+G=T+C 즉, 퓨린계 염기 수=피리미딘계 염기 수의 관계가 성립한다.

오답 피하기

② A+T의 수와 G+C의 수는 서로 다르며, 생물 종에 따라 다양하다.

17 ① ②, ⑤ DNA에서 상보적으로 결합하는 염기 G과 C의 개수가 같고 A과 T의 개수가 같으므로 사람과 돼지의 각 DNA에서 $\frac{C}{G}$ 및 $\frac{A}{T}$의 값은 1로 같다.

③, ④ 한 개체의 몸을 구성하는 세포는 하나의 수정란으로부터 만들어진 것이므로, 몸의 부위와 관계없이 한 개체를 이루는 모든 체세포에서 DNA의 염기 비율은 같다.

오답 피하기

① 모든 생물의 DNA에는 염기 A과 T의 양이 같고, G과 C의 양이 같다. 그러나 생물 종에 따라 A+T, G+C의 값은 각각 다르므로 사람과 돼지의 DNA는 $\frac{A+T}{G+C}$이 서로 다르다.

18 ② ㄴ. 생물의 종류에 관계없이 DNA에서 상보적 결합을 하는 A과 T의 양은 거의 같다.

오답 피하기

ㄱ, ㄷ. GC 쌍의 비율이나 $\frac{A+T}{G+C}$ 값은 생물에 따라 다르게 나타나며, 이것은 생물의 고등한 정도와는 무관하다.

DNA의 구조
DNA는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드 사슬이 서로 반대 방향으로 마주 보면서 꼬여 있는 2중 나선 구조로 되어 있으며, 염기는 A과 T, G과 C이 각각 상보적으로 수소 결합을 하고 있다.

19 ④ DNA 2중 나선을 이루는 두 사슬은 서로 상보적인 염기 서열을 가지며, 말단 방향이 반대이다. 따라서 5′−ACGTTAGCT−3′과 2중 나선을 이루고 있는 다른 쪽 사슬의 염기 서열과 방향은 3′−TGCAATCGA−5′이다.

20 ③ DNA와 RNA는 뉴클레오타이드로 구성되며, 이들을 구성하는 뉴클레오타이드의 종류는 염기의 종류에 의해 결정된다. DNA를 구성하는 염기의 종류는 A, G, C, T이고, RNA를 구성하는 염기의 종류는 A, G, C, U이다. 따라서 DNA와 RNA를 구성하는 뉴클레오타이드는 각각 4종류이다.

수소 결합
분자 내에서 약한 양전하를 띠는 수소와 약한 음전하를 띠는 산소나 질소가 전기적으로 약한 인력에 의해 결합하는 것이다.

21 ④ ④ DNA 2중 나선에서 A과 T은 2중 수소 결합, G과 C은 3중 수소 결합으로 연결된다. 염기의 수가 같다면 G와 C의 비율이 높은 (나)가 (다)보다 수소 결합의 수가 많아서 안정적인 구조이다.

오답 피하기

① (가)는 염기 T 대신 U을 가지므로 RNA이고, (나)는 염기 U이 없고 T이 있으므로 DNA이다.
② (가) RNA는 핵, 리보솜, 세포질 등에서 발견된다. 그러나 (나) DNA는 핵, 엽록체, 미토콘드리아에서 발견되며 리보솜에는 없다.
③ (가) RNA는 단일 가닥이고, (다) DNA는 A과 T, G과 C의 염기 비율이 각각 같으므로 2중 나선 구조이다.
⑤ (나)와 (다)에서 각각 A과 T, G과 C의 염기 비율이 같으므로 이들이 상보적으로 결합하고 있다는 것을 알 수 있다.

DNA 추출
브로콜리 추출액에 에탄올을 넣었을 때 에탄올 층에 흰색의 실 같은 물질이 떠오르는데, 이것이 브로콜리의 세포에 들어 있던 DNA이다.

22 ③ ㄷ. DNA는 에탄올에 녹지 않는다. 이 때문에 (다)에서 에탄올을 넣으면 브로콜리의 DNA는 용액의 경계 부분에 실처럼 나타난다.

오답 피하기

ㄱ. 세포막과 핵막 등 생체막은 인지질과 단백질 성분으로 이루어져 있다. 세제에는 지질을 용해하는 성분이 들어 있어서 (가)에서 세제 용액을 넣으면 세포막과 핵막이 손상되어 핵 속에 들어 있던 DNA가 나온다.
ㄴ. (가)에서 소금물 속의 Na^+은 음(−)전하를 띠는 DNA와 결합하여 전기적으로 중성이 되도록 하여 DNA가 잘 뭉치도록 한다.

23 ④ ④ ㈐에서 차가운 에탄올을 사용하면 DNA가 흩어지지 않고 뭉쳐서 나타난다.

오답 피하기

① 대부분 생물의 세포에는 DNA가 있으므로 실험 재료로는 식물 세포뿐 아니라 사람의 입안 상피도 많이 사용한다.

② 이 방법으로는 DNA가 단백질과 결합한 상태로 얻어지므로 순수한 DNA를 얻기 위해서는 추가적인 과정이 필요하다.

③ DNA 추출량을 늘리려면 재료인 브로콜리의 양을 늘려야 한다.

⑤ DNA의 2중 나선 구조는 맨눈으로 관찰할 수 없는 미세한 구조이다.

개념 활용 문제 pp.026~031

01. ②	02. ④	03. ①	04. ②	05. ②	06. ③	07. ④
08. ⑤	09. ⑤	10. ①	11. ⑤	12. ④		

그리피스의 형질 전환 실험

그리피스는 폐렴 쌍구균을 이용한 형질 전환 실험을 통해 유전 물질의 정체에 대한 최초의 실험적 증거를 제시하였지만, 형질 전환을 일으키는 물질이 무엇인지는 밝혀내지 못하였다.

01 ② ㄴ. 가열하여 죽은 S형균을 살아 있는 R형균과 혼합하여 주사하면 쥐가 폐렴에 걸려 죽고, 죽은 쥐에서는 살아 있는 S형균이 발견된다. 이것은 죽은 S형균의 형질을 결정하는 유전 물질이 살아 있는 R형균을 S형균으로 형질 전환시켰기 때문이다.

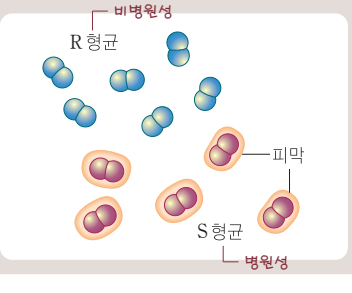
오답 피하기

ㄱ. 살아 있는 R형균을 주사하면 쥐가 폐렴에 걸리지 않으므로 R형균은 비병원성이고, 살아 있는 S형균을 주사하면 쥐가 폐렴에 걸려 죽으므로 S형균은 병원성이다.

ㄷ. 이 실험으로는 죽은 S형균의 유전 물질이 R형균을 S형균으로 형질 전환시킨다는 것은 추론할 수 있지만, 유전 물질이 무엇인지는 알 수 없다.

폐렴 쌍구균의 S형균과 R형균

- S형균 : 다당류의 피막이 있어 매끄러운 형태의 군체를 형성하며, 숙주의 면역 세포에 의해 제거되지 않아 폐렴을 유발한다.
- R형균 : 피막이 없어 거친 형태의 군체를 형성하며, 숙주의 면역 세포에 의해 쉽게 제거되므로 폐렴을 유발하지 않는다.



02 ④ ⅰ) R형균은 비병원성이고, S형균은 병원성이다. 만일 B균이 S형균이라면 모든 경우에 쥐가 죽을 것이다. 그러나 두 번째 경우에는 쥐가 살았으므로 B균은 R형균이다.

ⅱ) 두 번째를 제외한 나머지 경우에 쥐가 죽었으므로 병원성인 S형균이 생긴 것이다. 따라서 A균의 유전 물질은 열처리에 의해 손상되지 않았으며, A균은 S형균이다.

ⅲ) 열처리한 S형균의 추출물을 효소 ⓑ로 처리하면 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않아 쥐가 죽지 않는다. 이것으로 보아 효소 ⓑ는 S형균의 유전 물질을 분해하는 DNA 분해 효소임을 알 수 있다.

03 ① ㄱ. R형균을 S형균으로 형질 전환시킬 수 있는 물질은 S형균의 유전 물질이다. 효소는 기질 특이성이 있어서 특정 물질에만 작용하므로 ㈐에서 단백질 분해 효소를 처리하면 S형균의 세포 추출물에서 단백질이 분해된다. 그런데 이것을 R형균과 혼합하였을 때 살아 있는 S형균이 발견된 것으로 보아 단백질은 유전 물질이 아님을 알 수 있다.

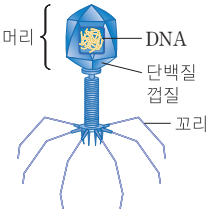
오답 피하기

ㄴ. ㈏에서 S형균이 발견되지 않는 것은 DNA 분해 효소에 의해 S형균의 DNA가 분해된 결과 R형균과 혼합하였을 때 S형균으로 형질 전환되지 않았기 때문이다. 이를 통해 S형균의 형질을 결정하는 유전 물질이 DNA라는 것을 알 수 있다. DNA는 열처리 과정에서 변성되지 않으며, 이는 ㈎와 ㈐의 실험 결과 S형균이 발견되는 것을 통해 알 수 있다.

ㄷ. 단백질 분해 효소는 S형균의 세포 추출물에 들어 있는 단백질을 분해하는 효소인데, 단백질이 분해되더라도 R형균이 S형균으로 형질 전환되는 데 영향을 주지 않는 것이지 이를 촉진하는 것이 아니다.

박테리오파지의 증식 과정

박테리오파지는 꼬리 부분을 대장균의 세포벽에 부착하고 DNA를 대장균 속으로 밀어 넣는다. 이때 단백질 껍질은 겉에 그대로 남긴다. 대장균 속으로 들어간 파지의 DNA는 대장균의 물질대사 기구를 이용해 DNA를 복제하고, 껍질을 이루는 단백질을 합성한다. 이렇게 새로 만들어진 파지가 대장균을 파괴하고 밖으로 나온다.



04 ② 파지는 핵산(DNA)과 단백질로 구성되어 있다. DNA의 구성 원소는 C, H, O N, P이고, 단백질의 구성 원소는 C, H, O, N, S이다. 즉, P은 DNA에만, S은 단백질에만 존재하므로 방사성 동위 원소인 ^{32}P으로 DNA를, ^{35}S으로 단백질을 표지한다.

ㄴ, ㄷ. B와 D에는 세균이 있고, 세균 속에는 감염된 파지의 DNA가 들어 있으며, 특히 D에는 ^{32}P을 포함한 파지의 DNA가 있다. 따라서 D를 방사성 물질이 없는 새로운 배지에서 배양하면 새로 생성된 파지의 일부에서 방사능이 검출된다.

오답 피하기

ㄱ. 파지의 유전 물질인 DNA만이 숙주 세포인 세균 속으로 들어가 증식에 관여한다. 원심 분리하면 세균은 아래에 침전되고, 세균 속으로 들어가지 못한 파지의 단백질 껍질은 침전되지 않고 윗부분의 용액(상층액)에 분리된다. 따라서 ^{35}S은 A에서, ^{32}P은 D에서 검출된다.

ㄹ. 질소(N)는 DNA와 단백질에 공통적인 원소이므로 ^{15}N를 포함한 파지를 대장균에 감염시킨 후 원심 분리하면 상층액과 침전물 모두에서 ^{15}N가 발견된다.

05 ② ㄴ. 파지 A는 단백질을 ^{35}S으로 표지하였으므로, 이 파지를 감염시키면 대장균 속으로 방사성 원소가 들어가지 않는다. 따라서 (다)에서 얻은 모든 파지의 단백질에서는 방사능이 검출되지 않는다.

오답 피하기

ㄱ. 파지 A의 DNA는 ^{32}S으로 표지되지 않았으므로 파지 A를 감염시켰을 때는 (다)에서 얻은 모든 파지의 DNA에서도 방사능이 검출되지 않는다.

ㄷ. 파지 B는 DNA를 ^{32}P으로 표지하였으므로 이 파지를 감염시키면 대장균 속으로 ^{32}P이 들어가게 된다. 그 결과 (다)에서 파지 B의 DNA 일부를 가지고 있는 일부 파지에서는 방사능이 검출된다. 그러나 새로운 파지의 대부분은 방사능을 띠지 않는 뉴클레오타이드를 결합시켜 새로 합성된 DNA를 가지므로 모든 파지가 방사능을 띠는 것은 아니다.

여러 가지 생물의 염기 조성비

생물		$\frac{A}{T}$	$\frac{G}{C}$
사람	가슴샘	1.05	1.01
	간	1.00	0.98
돼지	가슴샘	1.04	0.99
	간	0.99	1.00
연어		1.02	1.02
효모		0.95	1.09

06 ③ ㄷ. DNA를 구성하는 염기 A+G의 비율은 생물 종에 관계없이 약 50%로 일정하다. 이것은 DNA를 구성하는 4가지 염기 중 A과 T, G과 C이 상보적으로 결합하여 그 양이 각각 같기 때문이다.

오답 피하기

ㄱ. DNA 2중 나선에서 염기 A과 T, G과 C은 서로 상보적으로 결합하므로 그 비율이 거의 같다(A=T, G=C). 그러나 A+T의 비율과 G+C의 비율은 생물마다 다르다.

ㄴ. DNA 2중 나선에서 두 가닥에 포함된 G과 C의 수는 거의 같다. 그러나 각 사슬에서 G과 C의 수는 다르다.

DNA의 염기 조성 분석

생물	염기 X / 염기 Y	염기 Z / 사이토신	염기 X / 염기 Z (아데닌 / 티민)	염기 Y / 사이토신 (구아닌)
사람	1.62	1.71	0.98	1.04
옥수수	1.04	1.03	1.01	1.00
초파리	1.21	1.23	0.99	1.00

≒1

* 염기 Z는 RNA에서는 발견되지 않는다.

염기 Z는 티민(T)이다, 상보적으로 결합하므로 그 비가 1에 가깝다.

07 ④ 염기 Z는 RNA에서는 발견되지 않고 DNA에서만 발견되므로 티민(T)이다. T은 아데닌(A)과 상보적으로 결합하므로 그 비가 약 1이 되는 염기 X가 아데닌(A)이라는 것을 알 수 있다. 따라서 염기 Y는 나머지 한 가지 염기인 구아닌(G)이다.

① 염기 Y 즉, 구아닌(G)은 아데닌(A)과 함께 2개의 고리 구조를 갖는 퓨린계 염기이다.

② 염기 X 즉, 아데닌(A)의 비율이 20%라면 이와 상보적인 결합을 하는 염기 Z, 즉 티민(T)의 비율도 20%이다.

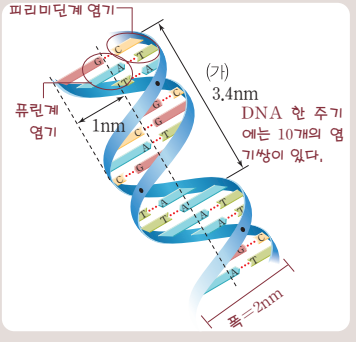
③ DNA의 염기 $\frac{A+T}{G+C}$의 값은 $\frac{A(\text{염기 X})}{G(\text{염기 Y})}$의 값과 거의 같다. 이 값은 사람이 1.62로 옥수수 1.04보다 크다.

⑤ 옥수수는 염기 간 비가 대부분 1에 가깝다. 이것은 DNA를 구성하는 4종류의 염기 조성 비율이 거의 비슷하다는 것을 의미한다.

오답 피하기

④ 하나의 DNA에서 A과 T, G과 C은 상보적으로 결합하므로 $\frac{A}{G}$의 값과 $\frac{T}{C}$의 값이 1이 아니면 A(염기 X)과 T(염기 Z)의 합이 전체 염기량의 50%가 될 수 없다. 초파리에서 $\frac{\text{염기 X(A)}}{\text{염기 Y(G)}}=1.21$이고, $\frac{\text{염기 Z(T)}}{\text{사이토신(C)}}=1.23$으로, 전체 염기$(1+1.21+1+1.23=4.44)$에서 염기 X+염기 Z의 비율은 $\frac{2.44}{4.44}$로, 약 55%이다.

DNA의 2중 나선 구조



08 ⑤ ㄱ. (가)는 DNA 2중 나선의 한 주기이다. 한 주기에는 10쌍의 염기가 있으며, 염기 C의 수가 4개라면 G의 수도 4개이다. 따라서 A+T의 수는 12개이며, A과 T의 수는 같으므로 A의 수는 6개이다.

ㄴ. DNA의 2중 나선에서 한 주기의 거리가 3.4nm이고, 10쌍의 염기가 있으므로 염기쌍 사이의 거리는 $\frac{3.4}{10}=0.34$nm이다.

ㄷ. DNA 2중 나선의 폭이 2nm로 일정하다는 것은 각 염기쌍의 폭이 일정하다는 것을 의미한다. 이것은 2개의 고리 구조인 퓨린계 염기(A, G)와 1개의 고리 구조인 피리미딘계 염기(T, C)가 상보적으로 결합하기 때문이다.

5탄당

탄소 원자 5개로 이루어진 단당류로 DNA를 구성하는 디옥시리보스, RNA를 구성하는 리보스, 자일로스 등이 있다.

09 ⑤ (가)는 2중 나선 구조의 DNA이고, (나)는 단일 가닥의 RNA이다.

ㄱ. DNA에서 염기 아데닌(A)과 쌍을 이루고 있는 ㉠은 티민(T)이며, 이것은 (나) RNA에서는 발견되지 않는다.

ㄴ. ㉡은 DNA를 구성하는 5탄당인 디옥시리보스이다.

ㄷ. ㉢은 다른 염기와 3중 수소 결합을 하며, 2개의 고리 구조를 가진 퓨린계 염기이므로 구아닌(G)이다. 이와 상보적으로 결합하는 사이토신(C)은 1개의 고리 구조를 가지는 피리미딘계 염기이다. DNA를 구성하는 염기는 탄소, 수소, 산소, 질소로 이루어져 있다.

DNA 염기의 상보적 결합

DNA 2중 나선에서 한쪽 가닥의 염기는 다른 쪽 가닥의 염기와 수소 결합으로 연결되어 있는데, A은 T과 2중 수소 결합, G은 C과 3중 수소 결합을 한다. 따라서 한쪽 가닥의 염기 서열을 알면 다른쪽 가닥의 염기 서열도 알 수 있다.

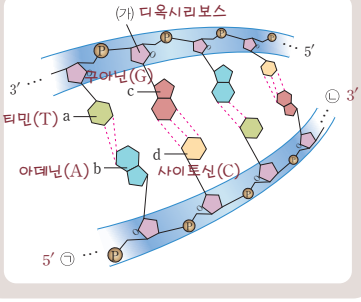
10 ① ㄱ. DNA의 가닥 I과 II는 염기가 상보적으로 결합하고 있으므로 두 가닥의 상보적인 염기 간에 조성 비율이 일치한다. 즉, 가닥 II의 A의 비율은 가닥 I의 T과 같고, 가닥 II의 G의 비율은 가닥 I의 C과 같다. 따라서 ㉠ 25, ㉡ 15, ㉢ 30이므로 ㉠+㉡은 25+15=40이다.

오답 피하기

ㄴ. ㉡은 15, ㉢은 30이므로, ㉡은 ㉢의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. 가닥 II의 염기 서열은 가닥 I의 염기 서열과 상보적이고 방향이 반대이므로 3′−TAGGTACG−5′이다. 그러므로 가닥 II의 (가)에 해당하는 염기 중 C과 G의 비는 1:3이다.

DNA 2중 나선에서 염기쌍의 형성



11 ⑤ ㄴ. 염기 a는 염기 b와 2중 수소 결합으로 연결되고, 1개 고리 구조를 가지므로 피리미딘계 염기인 티민(T)이다. T은 RNA에는 없고 DNA에만 있다.

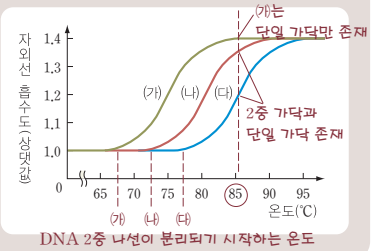
ㄷ. 염기 b와 c는 2개 고리 구조를 가진 퓨린계 염기이다. DNA 2중 나선에서 퓨린계 염기(A+G)와 피리미딘계 염기(T+C)의 조성 비율은 각각 50%로 같다.

ㄹ. DNA 2중 나선을 이루는 각 가닥은 말단 방향이 서로 반대이므로 ㉠은 5′ 말단이고, ㉡은 3′ 말단이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 DNA를 구성하는 5탄당인 디옥시리보스이다. 디옥시리보스에서 산소는 1번과 3번 탄소에 결합되며, 2번 탄소에는 −H가 결합되어 있다.

DNA 2중 나선의 분리



12 ④ i) 그래프에서 자외선 흡수도가 높아졌다는 것은 DNA 2중 나선의 염기 사이의 수소 결합이 끊어지고 단일 가닥으로 되었다는 것을 의미한다.

ii) DNA에서 A과 T은 2중 수소 결합, G과 C은 3중 수소 결합을 한다. DNA의 G+C의 비율이 높아 염기쌍의 수소 결합이 많을수록 DNA가 두 가닥으로 분리되는 온도가 높아진다. 따라서 DNA 2중 나선에서 G+C의 % 값은 (가)<(나)<(다)이다.

iii) 85℃에서 (가)는 자외선 흡수도가 최댓값을 나타내므로 모두 단일 가닥으로 분리되었고, (다)는 아직 최댓값에 이르지 못하였으므로 분리되지 않은 2중 나선이 있다. 따라서 DNA의 $\frac{\text{단일 가닥의 양}}{\text{2중 나선의 양}}$은 (가)가 (다)보다 크다.

iv) 95℃에서 (가), (나), (다)의 자외선 흡수도가 최댓값이 되었다는 것은 모두 단일 가닥으로 분리되었다는 것을 의미하는 것이지 뉴클레오타이드로 분해되었다는 것을 의미하는 것은 아니다. DNA의 폴리뉴클레오타이드 사슬이 구성 단위인 뉴클레오타이드로 분해되기 위해서는 효소가 필요하다.

뉴클레오타이드

뉴클레오타이드는 당, 염기, 인산이 각각 1분자씩 결합되어 있는 DNA를 구성하는 단위체로, DNA의 각 가닥은 수많은 뉴클레오타이드가 사슬처럼 길게 중합되어 있는 폴리뉴클레오타이드이다.

서술 · 논술형 문제

01. 유전 물질의 구조 pp.032~033

1. 세균의 형질 전환 실험

모범 답안 | (1) S형균의 어떤 물질(유전 물질)이 R형균을 S형균으로 형질 전환시켰다.

(2) 열처리한 S형균의 추출물의 성분을 조사하고, 각 성분을 분해하는 효소를 한 가지씩만 처리한 후 살아 있는 R형균과 혼합하여 쥐에게 주사하고 쥐가 폐렴에 걸리는지 여부를 관찰한다.

알짜 풀이 | S형균은 병원성이고, R형균은 비병원성이다. 그런데 열처리한 S형균과 살아 있는 R형균의 혼합물을 쥐에게 주사하였을 때 쥐가 죽었으며, 몸속에서 살아 있는 S형균이 발견되었다. 이것은 죽은 S형균의 유전 물질에 의해 R형균이 S형균으로 형질 전환되었기 때문이다. 유전 물질이 무엇인지 알아보려면 가열한 S형균의 추출물을 각각 단백질 분해 효소, DNA 분해 효소, RNA 분해 효소로 처리하여 한 가지 성분씩 분해한 후 R형균과 혼합하여 주사한 다음 쥐가 폐렴에 걸리지 않고 살아 있는 경우를 찾으면 된다.

방사성 동위 원소

원자 번호는 같지만 질량 수가 다른 원소를 동위 원소라고 하며, 동위 원소 중에서 방사선을 방출하는 동위 원소를 방사성 동위 원소라고 한다. 인(P)은 $^{31}_{15}P$이 대부분이지만, 방사능을 띠는 $^{32}_{15}P$을 동위 원소로 가지며, 황(S)은 $^{32}_{16}S$이 대부분이지만, 방사능을 띠는 $^{35}_{16}S$을 동위 원소로 가진다.

2. 박테리오파지의 증식 실험

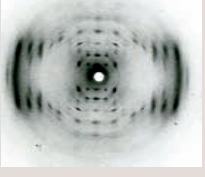
모범 답안 | (1) 시험관 A에서는 상층액, 시험관 B에서는 침전물에서 방사능이 검출된다. 파지의 유전 물질인 DNA만이 대장균 속으로 들어가서 증식에 관여한다. 파지의 단백질 껍질을 ^{35}S으로 표지하면 단백질 껍질은 대장균 속으로 들어가지 못하므로, 시험관 A에서는 상층액에서 방사능이 검출된다. 그러나 파지의 DNA를 ^{32}P으로 표지하면 DNA는 대장균 속으로 들어가므로 시험관 B에서는 대장균이 있는 침전물에서 방사능이 검출된다.

(2) 시험관 B의 침전물에는 ^{32}P으로 표지된 파지의 DNA가 포함된 대장균이 들어 있으므로 이를 방사성 물질이 없는 새로운 배지에서 배양하면 새로운 파지의 일부에서는 방사능이 검출될 것이다.

알짜 풀이 | 인(P)은 단백질에는 없고 DNA에만 있는 원소이고, 황(S)은 DNA에는 없고 단백질에만 있는 원소이다. 파지는 증식 과정에서 유전 물질인 DNA만 대장균 속으로 들어가므로 단백질 껍질을 ^{35}S으로 표지하면 대장균에서 방사능이 검출되지 않고, DNA를 ^{32}P으로 표지하면 대장균에서 방사능이 검출된다. 그리고 ^{32}P으로 표지한 DNA의 일부가 새로운 파지의 DNA를 구성하는 데 사용될 수 있으므로 새로운 파지의 일부에서는 방사능이 검출된다. 따라서 시험관 B의 침전물에 있는 방사능을 띠는 파지를 방사능이 없는 배지에서 배양하더라도 일부 파지에서는 방사능이 검출될 수 있다.

DNA의 입체 구조

- 샤가프의 법칙 : 1950년 미국의 생화학자인 샤가프는 한 종 내에서 DNA를 이루고 있는 A과 T의 양이 거의 일치하고, G과 C의 양이 거의 일치한다는 것을 발견하였다.
- DNA의 X선 회절 사진 : 윌킨스와 프랭클린은 DNA 결정에 X선을 쏘아 다음과 같은 사진을 얻었다.



중앙의 X자 형태는 DNA가 나선형이라는 것을 보여 주며, 점의 배열 형태는 나선의 크기와 그 아래쪽의 반복적인 구조에 대한 정보를 제공한다.

3. DNA의 분자 구조

모범 답안 | (1) DNA 2중 나선의 염기 A은 T과, G은 C과 상보적으로 결합한다. 퓨린계 염기와 피리미딘계 염기가 쌍을 이룸으로써 DNA 2중 나선의 폭은 일정하다.

(2) DNA 분자는 당과 인산이 공유 결합으로 연결되어 바깥쪽 축을 이루고 있으며, 일정한 간격으로 반복되는 나선형 구조를 가진다. 또, 인산 때문에 산성을 나타내며 전기적으로 음(−)전하를 띠게 된다.

알짜 풀이 | 퓨린계 염기인 A과 G은 2개의 고리 구조이고, 피리미딘계 염기인 T과 C은 1개의 고리 구조로 퓨린계 염기보다 크기가 작다. A과 T, G과 C이 상보적으로 결합함으로써 DNA 2중 나선의 폭은 일정하게 유지된다. 그리고 DNA 각 사슬은 당과 인산이 공유 결합으로 연결되어 바깥쪽 축을 형성하며, DNA의 X선 회절 사진에서 X자 형태로 나타나는 것은 나선형으로 일정하게 반복되는 구조를 가진다는 것을 의미한다. 인산이 바깥쪽 축을 형성함으로써 DNA는 산성을 띠며, 음(−)전하를 띠게 된다.

DNA와 RNA의 비교

핵산	DNA	RNA
당	디옥시리보스	리보스
염기	A, G, C, T	A, G, C, U
분자 구조	2중 나선	단일 사슬
기능	유전 정보의 저장	유전 정보를 리보솜에 전달, 단백질 합성에 관여
장소	핵 속의 염색사(미토콘드리아와 엽록체에도 존재)	핵, 리보솜, 세포질

4. DNA와 RNA의 비교

모범 답안 | (1) ㉠ 디옥시리보스, ㉡ A, G, C, T, ㉢ A, G, C, U

(2) DNA는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 된 2중 나선 구조이고, 두 사슬은 염기 사이의 수소 결합에 의해 연결된다. 이때 A은 T과, G은 C과 상보적으로 결합하므로 DNA 2중 나선에서 염기 조성 비율은 A과 T, G과 C이 각각 같다. 그러나 RNA는 단일 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 이루어져 있어 각 염기의 조성 비율에 일정한 규칙성이 없다.

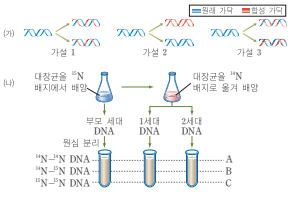
알짜 풀이 | DNA와 RNA는 유전 정보의 저장과 전달에 관여하고, 구성 단위는 뉴클레오타이드이다. 그러나 DNA는 당으로 디옥시리보스를, RNA는 리보스를 가지며, 염기 중 T은 DNA에만 있고 U은 RNA에만 있는 차이점이 있다. 그리고 DNA는 2중 나선 구조이지만, RNA는 단일 가닥으로 되어 있다. DNA 2중 나선은 염기 사이의 상보적 결합으로 염기 조성 비율이 A=T, G=C의 특징이 있다.

02 DNA 복제

개념 체크 p.043

A DNA 복제 가설

그림 (가)는 DNA 복제 방식에 대한 3가지 가설이고, (나)는 메셀슨과 스탈의 실험이다.

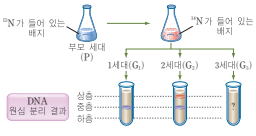


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 가설 1이 옳다면 1세대 DNA 따는 B에만 나타날 것이다. (○)
2. 가설 2가 옳다면 1세대 DNA 따는 C에만 나타날 것이다. (×)
3. 가설 3이 옳다면 2세대 DNA 따는 A와 B에 나타날 것이다. (×)

B 메셀슨과 스탈의 DNA 복제 실험

그림은 메셀슨과 스탈이 실시한 DNA 복제 실험이다.

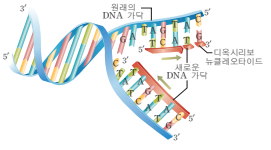


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 1세대의 DNA 2중 나선 중 한 가닥은 ^{15}N를 포함한 염기로 되어 있고, 나머지 한 가닥은 ^{14}N를 포함한 염기로 되어 있다. (○)
2. 2세대의 상층과 중층의 DNA양은 같다. (○)
3. 3세대의 DNA 원심 분리 결과 DNA 따는 3개 나타난다. (×)
4. 3세대의 DNA 원심 분리 결과 DNA 양은 상층 : 중층 : 하층=3 : 1 : 0으로 나타난다. (○)
5. ^{14}N 배지에서 세대를 거듭할수록 DNA 원심 분리 결과 상층의 DNA 띠가 두껍게 나타날 것이다. (○)

C DNA 복제

그림은 DNA 복제 과정을 나타낸 것이다.

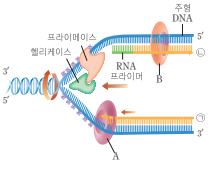


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. DNA 복제가 일어날 때는 프라이메이스에 의해 2중 나선의 염기 사이의 수소 결합이 풀린다. (×)
2. DNA 복제가 일어날 때는 2중 나선을 이루던 두 가닥이 모두 주형 가닥으로 작용한다. (○)
3. DNA 주형 가닥의 염기 서열이 5′−ATCGTA−3′일 경우 새로 만들어지는 DNA 가닥의 염기 서열은 3′−TAGCAT−5′이다. (○)
4. DNA 복제가 완료된 후 만들어진 DNA의 한 가닥은 원래의 것이고, 다른 한 가닥은 새로 합성된 것이다. (○)

D DNA 복제 방향과 효소

그림은 DNA 복제 과정의 일부를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A는 DNA 연결 효소이고, B는 DNA 중합 효소이다. (×)
2. ㉠은 선도 가닥이고, ㉡은 지연 가닥이다. (○)
3. ㉠은 5′→3′ 방향으로, ㉡은 3′→5′ 방향으로 합성된다. (×)
4. ㉠의 염기 서열은 ㉡의 염기 서열과 같다. (×)

A DNA 복제 가설

01 가설 1은 반보존적 복제이다. 이것이 옳다면 1세대 DNA는 모두 ^{14}N−^{15}N로 되어 있어 DNA 띠는 B에만 나타날 것이다.

02 가설 2는 보존적 복제이다. 이것이 옳다면 1세대 DNA는 절반은 원래의 ^{15}N−^{15}N, 나머지 절반은 새로 만들어진 ^{14}N−^{14}N를 가지므로 DNA 띠는 A와 C에 나타날 것이다.

03 가설 3은 분산적 복제이다. 이것이 옳아서 새로 합성된 DNA에는 원래의 것과 새로 만들어진 것이 반씩 섞여 있다면 1세대 DNA 띠는 B에만, 2세대 DNA 띠는 A와 B 사이에만 나타날 것이다.

B 메셀슨과 스탈의 DNA 복제 실험

01 1세대의 DNA 2중 나선 중 한 가닥은 ^{15}N를 포함한 염기로 되어 있고, 나머지 한 가닥은 ^{14}N를 포함한 염기로 되어 있어 원심 분리 결과 중층에 한 개의 띠가 나타난다.

02 대장균을 2회 분열시킨 2세대에서 ^{14}N−^{14}N : ^{14}N−^{15}N=1 : 1이 되어 2세대의 DNA 원심 분리 결과 상층 : 중층 : 하층=1:1:0으로 상층과 중층의 DNA 양은 같다.

03 3세대의 DNA 원심 분리 결과 DNA 띠는 상층과 중층에 나타나므로 2개 나타난다.

04 대장균을 3회 분열시킨 3세대에서는 ^{14}N−^{14}N DNA : ^{14}N−^{15}N DNA=3 : 1이 되어 3세대의 DNA 원심 분리 결과 상층 : 중층 : 하층=3:1:0으로 나타난다.

05 ^{14}N 배지에서 세대를 거듭할수록 새로 합성되는 DNA는 모두 ^{14}N를 가지므로 DNA 원심 분리 결과 상층의 DNA 띠가 점점 두껍게 나타날 것이다.

C DNA 복제

01 DNA 복제가 일어날 때는 헬리케이스에 의해 2중 나선의 염기 사이의 수소 결합이 풀리는 것부터 시작된다. 프라이메이스는 디옥시리보뉴클레오타이드가 결합할 3′ 말단을 제공하는 RNA 프라이어머를 합성한다.

02 DNA 복제가 일어날 때는 2중 나선을 이루던 두 가닥이 모두 주형 가닥으로 작용하여 복제된다.

03 DNA 주형 가닥의 염기 서열이 5′−ATCGTA−3′일 경우 새로 만들어지는 DNA 가닥은 방향은 반대이고 상보적인 염기를 가지므로 3′−TAGCAT−5′이다.

04 반보존적 복제 방식에 따라 새로 만들어진 DNA는 한 가닥은 원래의 것이고, 다른 한 가닥은 새로 합성된 것이다.

D DNA 복제 방향과 효소

01 A는 새로운 뉴클레오타이드를 한 개씩 결합시키는 DNA 중합 효소이고, B는 DNA 절편을 이어 주는 DNA 연결 효소이다.

02 ㉠은 DNA가 풀리는 방향으로 연속적으로 복제되는 선도 가닥이고, ㉡은 DNA가 풀리는 방향의 반대쪽으로 절편을 만들고 DNA 연결 효소로 이어지는 지연 가닥이다.

03 DNA 2중 나선을 이루는 두 가닥은 말단이 서로 반대 방향을 향하고 있다. 따라서 주형으로 작용하는 DNA의 두 가닥 모두에서 2중 나선이 풀리는 방향으로 새로운 가닥의 합성이 일어날 수 없다. 이때 DNA 복제가 시작되는 부분이 5′이고, 새로 첨가되는 뉴클레오타이드가 붙는 쪽이 3′이다. 따라서 ㉠의 오른쪽 끝부분은 5′ 말단, ㉡의 오른쪽 끝부분은 3′ 말단이며 ㉠과 ㉡은 모두 5′→3′ 방향으로 합성된다.

04 ㉠과 ㉡은 서로 상보적인 염기 서열을 가지는 DNA 가닥을 주형으로 합성되므로 ㉠과 ㉡의 염기 서열도 상보적이다.

개념 확인 문제 pp.044~045

01. ③ 02. ④ 03. 반보존적 복제 04. ③ 05. ③ 06. ④
07. ① 08. DNA 중합 효소 09. ③ 10. ⑤
11. 3′ … TAGGTACGATC … 5′ 12. ④

주형
주물을 만들 때 녹인 쇠붙이를 부어 넣는 거푸집이 주형이다. 즉, 주형은 어떤 일정한 형태를 만드는 틀이다. DNA 복제에서 분리된 두 가닥은 새로 만들어지는 DNA 사슬의 염기 서열을 결정하는 틀로 작용하므로 이를 주형 가닥이라고 한다.

01 ③ DNA 복제는 세포 주기 중 간기(S기)에 일어나며, DNA 중합 효소의 작용으로 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 새로운 뉴클레오타이드가 결합된다. DNA 복제는 항상 5′→3′ 방향으로 일어난다.

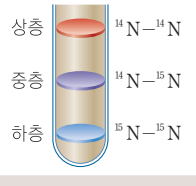
오답 피하기
③ DNA 복제가 일어날 때는 2중 나선이 풀어진 후 두 가닥 모두 주형으로 작용한다.

02 ④ DNA의 복제는 반보존적으로 일어나므로 원래의 가닥이 각각 새로운 가닥을 위한 주형으로 쓰이며, 원래 가닥과 새로 합성된 가닥의 염기끼리 수소 결합을 하여 새로운 DNA 2중 나선이 만들어진다.

반보존적 복제
반은 원래 있던 것이고, 나머지 반은 새로 만들어진 것이라는 뜻으로, 새로 생기는 DNA의 두 가닥 중 한 가닥은 원래의 것이고, 나머지 한 가닥만 새로 만들어지는 방식을 말한다.

03 반보존적 복제
DNA의 복제가 일어나면 새로 합성된 DNA에서 한 가닥은 원래의 것이고, 다른 한 가닥은 새로 합성된 것이므로 이를 반보존적 복제라고 한다.

메셀슨과 스탈 실험의 원심 분리 결과
원심 분리에 의해 DNA는 원심관의 밑부분부터 무거운 분자가 위치하므로 $^{14}N-^{14}N$의 DNA는 원심관의 윗부분에 모이고, $^{14}N-^{15}N$의 DNA는 가운데에, 그리고 $^{15}N-^{15}N$의 DNA는 원심관의 아랫부분에 모인다.



04 ③ ^{15}N를 포함한 어버이(P) 세대의 대장균을 ^{14}N 배지로 옮겨 얻은 자손 1세대(G_1)의 DNA는 새로 만들어지는 뉴클레오타이드 사슬이 ^{14}N를 가지므로 모두 $^{14}N-^{15}N$ 위치에 분리된다. 이 자손 1세대(G_1)를 다시 한 번 분열시킨 자손 2세대(G_2)의 DNA는 새로 만들어지는 뉴클레오타이드 사슬이 ^{14}N를 가지므로 원심 분리 결과 $^{14}N-^{14}N$: $^{14}N-^{15}N=1:1$로 분리된다.

05 ③ 자손 2세대(G_2)의 DNA 각 가닥을 주형으로 하여 만들어진 자손 3세대(G_3)의 DNA는 $^{14}N-^{14}N$ 위치에 $\frac{3}{4}$, $^{14}N-^{15}N$ 위치에 $\frac{1}{4}$이 분포한다. 따라서 자손 3세대(G_3)의 대장균 1,600개체 중 $\frac{1}{4}$인 400개체가 어버이(P) 세대의 ^{15}N DNA 가닥을 가지고 있다.

06 ④ 세균의 DNA에서 구아닌(G) 함량이 20%라면, 사이토신(C)의 함량도 20%이다. 티민(T)과 아데닌(A)의 함량은 같으므로 나머지 60%의 절반인 30%가 티민(T) 함량이다. 이 DNA를 주형으로 하여 복제되어 만들어진 DNA는 원래의 DNA와 동일한 염기 서열을 가지므로 티민(T)의 함량은 30%로 유지된다.

^{15}N로 표지된 대장균을 ^{14}N가 들어 있는 배지에서 배양할 경우
^{14}N 배지에서 여러 세대에 걸쳐 대장균을 배양하면 DNA를 원심 분리했을 때 상층($^{14}N-^{14}N$)은 점차 양이 많아지고, 중층($^{14}N-^{15}N$)에는 항상 일정량이 남아 있게 된다. 이것은 새로 만들어지는 DNA 가닥은 모두 ^{14}N로 표지되며, ^{15}N로 표지된 원래의 DNA 두 가닥은 보존되기 때문이다.

07 ① 모든 DNA에 ^{15}N가 포함된 대장균을 ^{14}N가 들어 있는 배지로 옮겨 배양할 경우 각 세대의 DNA가 원심 분리되는 위치는 다음과 같다.

	상층($^{14}N-^{14}N$)	:	중층($^{14}N-^{15}N$)	:	하층($^{15}N-^{15}N$)
1세대(G_1)	0	:	1	:	0
2세대(G_2)	1	:	1	:	0
3세대(G_3)	3	:	1	:	0
4세대(G_4)	7	:	1	:	0

08 **DNA 중합 효소**

(라) 단계에서 새로운 뉴클레오타이드를 차례대로 결합시키는 효소는 DNA 중합 효소이다.

09 ③ DNA 복제는 헬리케이스에 의해 염기 사이의 수소 결합이 끊어지고 2중 나선이 풀리면서 시작된다(나). 프라이메이스에 의해 새로운 뉴클레오타이드가 결합할 자리를 제공하는 RNA 프라이머가 합성된 후(가), DNA 중합 효소에 의해 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 뉴클레오타이드가 한 개씩 연결되어 DNA 사슬이 길어지고(라), 복제가 완료되면 새로운 DNA 2분자가 만들어진다(다).

> **RNA 프라이머**
> DNA 중합 효소는 뉴클레오타이드의 3′ 말단에만 뉴클레오타이드를 한 개씩 결합시켜 새로운 DNA 가닥을 만들기 때문에 DNA 복제 시 3′ 말단을 제공할 RNA 절편이 생성되는데 이것을 RNA 프라이머라고 한다. 프라이머는 프라이메이스에 의해 합성되고, DNA 중합 효소에 의해 제거되면 그 자리에 디옥시리보뉴클레오타이드가 대신 결합한다.

10 ⑤ ① (가)의 RNA 프라이머는 새로운 뉴클레오타이드가 결합할 3′ 말단을 제공하는 역할을 한다.

② (나) 과정에서는 헬리케이스에 의해 염기 사이의 수소 결합이 풀어진다.

③ (다)에서 새로 만들어진 2분자의 DNA는 원래의 DNA 두 가닥을 각각 주형으로 하여 복제된 것이므로 원래의 것과 염기 서열이 같다.

④ (라)에서 선도 가닥은 연속적으로 합성되므로, 짧은 가닥으로 만들어진 후 연결되는 지연 가닥보다 DNA 가닥의 합성 속도가 빠르다.

오답 피하기

⑤ 선도 가닥과 지연 가닥 모두 복제되는 사슬의 3′ 말단에 새로운 뉴클레오타이드가 연결되며, 그 결과 5′ → 3′ 방향으로 복제된다.

> **DNA 복제**
> DNA 2중 나선 구조에서는 A은 T과, G은 C과만 결합하므로 DNA 한 사슬은 항상 다른 사슬과 상보적이다. 즉, 5′−CATG−3′ 염기 서열은 항상 3′−GTAC−5′의 염기 서열과 결합한다.

11 3′−TAGGTACGATC−5′

가닥 I을 주형으로 하여 복제되는 새로운 사슬은 가닥 I과 2중 나선을 이루고 있는 가닥 II와 염기 서열 및 말단 방향이 같다.

12 ④ ㄴ. DNA 복제가 일어날 때 새로운 뉴클레오타이드가 한 개씩 연결되어 사슬이 길어진다. 이때 DNA중합 효소가 관여한다.

ㄷ. DNA의 복제는 5′ → 3′ 방향으로 일어난다. 가닥 II를 주형으로 하여 새로 합성되는 폴리뉴클레오타이드 사슬은 복제 분기점 이동 방향으로 5′ → 3′ 방향이 되므로 복제가 연속적으로 일어나는 선도 가닥이다.

오답 피하기

ㄱ. 2중 나선을 이루고 있던 DNA의 두 가닥은 말단 방향이 반대이고 염기 서열이 상보적이다. 따라서 (가)의 염기 서열은 5′−TAG−3′이고, (나)의 염기 서열은 3′−TAG−5′이다.

개념 활용 문제

pp.046~049

01. ④ 02. ③ 03. ③ 04. ④ 05. ① 06. ⑤ 07. ① 08. ⑤

01 ④ i) 가설 1은 보존적 복제, 가설 2는 반보존적 복제, 가설 3은 분산적 복제를 나타낸 것이다.

ii) 원심 분리 결과 가벼운 DNA 위치에는 두 가닥의 DNA가 모두 ^{14}N를 가진 염기로 구성되어 있는 DNA($^{14}N-^{14}N$ DNA)가 있고, 무거운 DNA 위치에는 두 가닥의 DNA가 모두 ^{15}N를 가진 염기로 구성되어 있는 DNA($^{15}N-^{15}N$ DNA)가 있다(ㄷ). 중간 무게의 DNA 위치에는 한 가닥은 ^{14}N, 다른 한 가닥은 ^{15}N를 가진 염기로 구성되어 있는 DNA($^{14}N-^{15}N$ DNA)가 있다.

DNA 복제 가설

보존적 복제 가설에 따르면 $^{14}N-^{15}N$인 DNA는 생성되지 않으므로 자손 세대에서 중간 무게의 DNA 띠는 나타나지 않아야 하며, 분산적 복제 가설에 따르면 세대를 거듭할수록 ^{15}N보다 ^{14}N가 더 많이 포함된 DNA가 만들어지므로 DNA 띠는 점점 원심 분리관 상층 쪽에 가까워질 것이다.

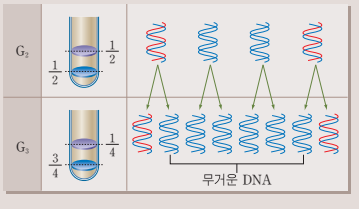
iii) 1세대를 원심 분리한 결과 중간 무게의 DNA만 있으므로 이를 통해 가설 1이 옳지 않음을 알 수 있다. 만일 가설 1이 옳다면 1세대의 분리 결과는 무거운 DNA 위치와 가벼운 DNA 위치에 1:1로 나타나야 한다(ㄱ).

iv) 가설 3이 옳다면 2세대 결과는 가벼운 DNA 위치와 중간 무게의 DNA 위치 사이에 DNA 띠가 나타날 것이다(ㄴ). 따라서 2세대의 결과를 통해 가설 3이 옳지 않음을 알 수 있다.

02 ③ 실험 결과 가설 2에서 제시한 것과 같이 DNA는 반보존적으로 복제된다는 것을 알 수 있다. 따라서 ^{14}N 배지에서 3회 분열시켜 얻은 3세대 대장균의 DNA는 가벼운 DNA : 중간 무게의 DNA : 무거운 DNA=3 : 1 : 0의 비로 나타난다. 따라서 ③과 같이 원심 분리된다.

G_2, G_3 세대의 DNA 원심 분리 결과

G_2세대 대장균을 ^{15}N 배지에서 한 번 더 분열시켜 G_3세대를 얻어 DNA를 원심 분리하면 DNA 띠가 $^{15}N-^{15}N$ 위치에 $\frac{3}{4}$, $^{14}N-^{15}N$ 위치에 $\frac{1}{4}$로 나타난다.



03 ③ ㄱ. 1세대 DNA를 주형으로 하여 복제되어 만들어진 2세대 DNA는 1세대와 염기 서열이 동일하다. 따라서 각 세대 DNA의 $\frac{\text{G의 개수}}{\text{A의 개수}}$는 같다.

ㄴ. DNA는 반보존적 복제를 하므로 ^{14}N 배지에서 배양한 대장균을 어버이 세대로 하여 ^{15}N 배지에서 배양한 결과는 다음과 같다.

	상층($^{14}N-^{14}N$)	:	중층($^{14}N-^{15}N$)	:	하층($^{15}N-^{15}N$)
1세대(G_1)	0	:	1	:	0
2세대(G_2)	0	:	1	:	1
3세대(G_3)	0	:	1	:	3

따라서 2세대와 3세대의 DNA 띠의 위치는 중층과 하층으로 같고, 세대가 거듭될수록 하층에 더 두꺼운 띠가 만들어질 것이다.

오답 피하기

ㄷ. 3세대 DNA에서 DNA 분자 수의 비는 상층 : 중층 : 하층=0 : 1 : 3으로, ^{14}N로 표지된 대장균을 ^{15}N 배지에서 증식시키면 $^{14}N-^{14}N$인 가벼운 DNA는 나올 수 없다.

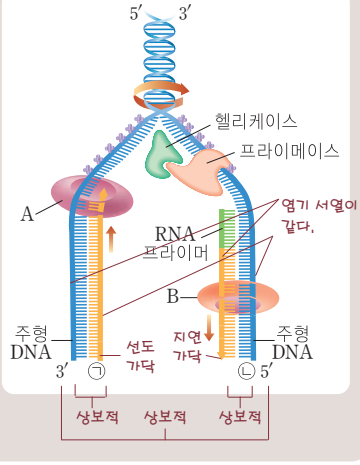
04 ④ ㄱ. (가)의 대장균(P) DNA는 가벼운 DNA 위치에 나타나고, 세대를 거듭할수록 무거운 DNA가 많아진다. 따라서 그래프 I은 (가)의 대장균, II는 (다) 과정에서 얻은 1세대 대장균, III은 (다) 과정에서 얻은 3세대 대장균의 DNA 분석 결과를 나타낸 것이다.

ㄷ. 새로 합성되는 DNA 사슬은 ^{15}N를 가지며, 한 번 복제될 때마다 DNA의 양은 2배씩 증가한다. 따라서 (가)의 대장균 DNA양을 1이라고 할 때, (다)의 1세대 대장균은 가벼운 DNA : 중간 무게의 DNA : 무거운 DNA=0 : 2 : 0이다. 또, (다)의 2세대 대장균은 가벼운 DNA : 중간 무게의 DNA : 무거운 DNA=0 : 2 : 2이다. 따라서 중간 무게 DNA와 무거운 DNA의 상대량은 2로 같게 나타난다.

오답 피하기

ㄴ. (다)의 3세대 대장균은 가벼운 DNA : 중간 무게의 DNA : 무거운 DNA=0 : 2 : 6이다. 따라서 $^{14}N-^{15}N$ DNA(중간 무게의 DNA)를 가진 대장균은 전체 대장균의 $\frac{2}{8}$, 즉 25%이다.

선도 가닥과 지연 가닥



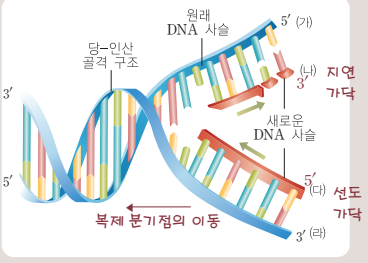
05 ① ㄱ. ㉠의 주형 가닥은 ㉡과 서로 반대 방향이며 상보적인 염기 서열을 가진다. 따라서 ㉠의 염기 서열은 ㉡과 같다.

오답 피하기

ㄴ. ㉠은 5′ → 3′ 방향으로 연속적으로 복제되는 선도 가닥이다. 선도 가닥도 새로운 뉴클레오타이드가 결합할 3′ 말단을 제공할 RNA 프라이머가 필요하다.

ㄷ. A는 DNA 중합 효소이며, 이것은 뉴클레오타이드 사슬 말단의 3′−OH에 새로 첨가되는 뉴클레오타이드의 인산을 결합시킨다. 즉, 당과 인산의 공유 결합을 촉매한다. B는 지연 가닥의 DNA 절편을 연결하는 DNA 연결 효소이다. 이 경우에도 DNA 절편의 당과 인산의 공유 결합을 촉매한다. 차이점은 DNA 중합 효소는 사슬의 끝 부분에 뉴클레오타이드를 한 개씩 결합시키고, DNA 연결 효소는 DNA 절편 사이를 연결한다.

DNA 복제 과정



06 ⑤ ㄱ. DNA의 복제는 DNA가 있는 핵 속에서 일어난다.

ㄴ. 복제되고 있는 가닥 (나)에서 새로운 뉴클레오타이드의 결합은 5′ → 3′ 방향으로 일어난다.

ㄷ. (다)는 (라)를 주형으로 하여 복제되고 있는 가닥이다. (라)의 염기 서열이 3′−AGTCTA−5′이라면 (다)는 (라)와 말단 방향은 반대이고 상보적인 염기 서열을 가지므로 5′− TCAGAT−3′이다.

07 ① ㄱ. 대장균은 단세포 생물로, 분열법으로 증식한다. [실험 1]에서 대장균의 수는 20분마다 2배씩 증가하므로 대장균의 분열 주기는 20분이다.

오답 피하기

ㄴ. 대장균의 분열 주기가 20분이므로 60분이면 3세대까지 얻을 수 있다. ^{15}N 배지에서 ^{14}N 배지로 옮겨 3세대를 얻으면 DNA 양은 상층 : 중층 : 하층=3 : 1 : 0으로 원심 분리된다.

ㄷ. [실험 2]에서 상층에 나타난 DNA는 이전 세대(2세대)의 $^{14}N-^{14}N$ DNA로부터 복제된 것과 $^{14}N-^{15}N$ DNA 중 ^{14}N DNA 가닥을 주형으로 하여 합성된 것이 포함되어 있다.

오카자키 절편

지연 가닥에서 생성되는 짧은 DNA 절편을 발견한 사람의 이름을 따서 오카자키 절편이라고 한다. 오카자키 절편은 DNA 2중 나선이 풀리는 방향과 반대인 5′ → 3′ 방향으로 DNA 절편이 만들어지고 이 절편들이 연결되면서 긴 사슬이 만들어진다.

08 ⑤ ㄱ. DNA 복제 과정에서 지연 가닥의 DNA 절편은 복제 분기점으로부터 멀리 있는 것부터 합성된 것이다. 따라서 ㉠보다 ㉡이 먼저 합성된 것이다.

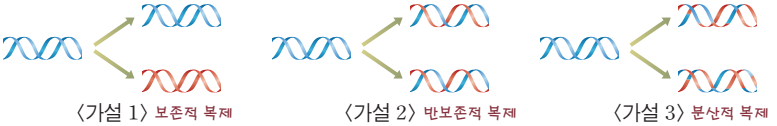
ㄴ. (나) 지연 가닥의 합성 과정에서 새로운 뉴클레오타이드 사슬의 신장은 DNA 중합 효소에 의해 일어나고, DNA 절편을 연결하는 데는 DNA 연결 효소가 관여한다.

ㄷ. 새로운 뉴클레오타이드의 결합은 항상 5′ → 3′ 방향으로 일어난다. 따라서 (가) 선도 가닥은 복제 분기점 쪽으로 연속적으로 진행되고, (나) 지연 가닥은 복제 분기점으로부터 멀어지는 쪽으로 진행된다.

서술 · 논술형 문제

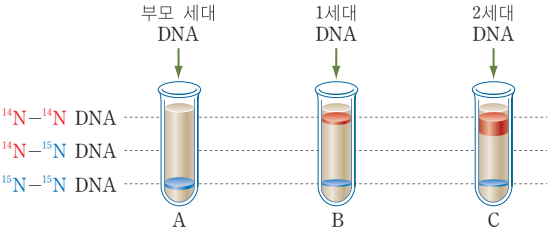
02. DNA 복제 pp.050~051

1. DNA 복제 가설+DNA 복제 실험



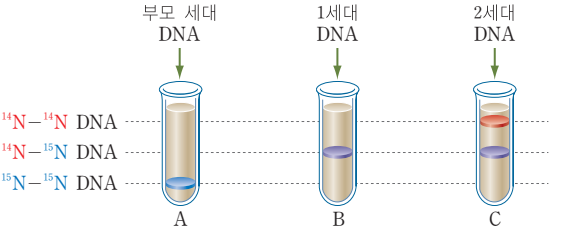
〈가설 1〉 보존적 복제 〈가설 2〉 반보존적 복제 〈가설 3〉 분산적 복제

모범 답안 | (1)



(2) 가설 2가 옳다면 원심 분리 결과 2세대에서 $^{14}N-^{14}N$: $^{14}N-^{15}N$: $^{15}N-^{15}N$=1 : 1 : 0으로 DNA 띠가 2개 나타날 것이고, 가설 3이 옳다면 2세대에서 $^{14}N-^{14}N$ DNA와 $^{14}N-^{15}N$ DNA 사이에 DNA 띠가 나타날 것이다.

(3) 가설 2의 반보존적 복제에 따른 원심 분리 결과는 그림과 같이 나타낼 수 있다.



(4) ^{14}N 배지에서 4회 분열시키면 DNA양은 $^{14}N-^{14}N$: $^{14}N-^{15}N$: $^{15}N-^{15}N$=7 : 1 : 0이 된다. 따라서 ^{15}N DNA를 가진 대장균은 전체의 $\frac{1}{8}$이므로 16,000개체 $\times\frac{1}{8}$=2,000개체이다. 또, 이 DNA를 원심 분리하면 상층과 중층에 각각 DNA 띠가 나타나고, 띠의 두께는 상층이 더 두껍게 나타난다.

DNA의 반보존적 복제 결과
DNA는 반보존적으로 복제되므로 G_1세대 이후부터 중간 무게를 가진 DNA 분자는 항상 나타난다.

알짜 풀이 | 가설 1은 보존적 복제, 가설 2는 반보존적 복제, 가설 3은 분산적 복제 가설이다. 실험 결과 DNA는 가설 2에서 제시한 것처럼 원래의 두 가닥이 풀어져서 각각 주형으로 작용하여 새로운 뉴클레오타이드 사슬이 합성된다. 따라서 새로 만들어진 DNA 2중 나선의 한 가닥은 원래의 것이고, 다른 한 가닥은 새로 만들어진 것이다. 즉, DNA는 반보존적 복제를 한다.

2. DNA 복제와 유전 정보의 보존

모범 답안 | DNA 2중 나선의 두 가닥은 서로 반대 방향이고, 상보적인 염기 서열을 가진다. DNA 복제가 일어날 때 DNA의 각 가닥이 주형이 되어 상보적인 염기 서열을 가지며 방향이 반대인 새로운 사슬이 만들어진다. 이와 같은 반보존적 복제 방식으로 만들어지는 DNA 두 분자는 원래의 DNA와 동일한 염기 서열을 가지게 되며, 유전 정보는 염기 서열 속에 저장되므로 결국 복제된 DNA도 원래의 DNA와 동일한 유전 정보를 가지도록 보존된다.

알짜 풀이 | 유전 정보는 DNA의 염기 서열 속에 저장되어 있다. 따라서 딸세포에게 동일한 유전 정보를 전달한다는 것은 DNA의 염기 서열이 보존되어야 한다는 것을 의미한다. 모세포는 DNA를 반보존적으로 복제하여 딸세포에게 나누어 주므로 딸세포는 모세포와 동일한 유전 정보를 가진다.

DNA 복제에 관여하는 효소
- 헬리케이스(helicase) : DNA 2중 나선을 이루는 염기 사이의 수소 결합을 풀어 단일 가닥으로 분리하는 효소
- DNA 중합 효소(DNA polymerase) : DNA의 사슬 한쪽 끝에서부터 뉴클레오타이드를 한 개씩 붙여 나가는 효소로, 뉴클레오타이드 사슬의 3′ 말단에 새로운 뉴클레오타이드를 결합시킨다.
- 프라이메이스(primase) : 프라이머를 합성하는 효소
- DNA 연결 효소(DNA ligase) : DNA 절편 사이에서 뉴클레오타이드와 뉴클레오타이드의 당과 인산을 결합시켜 절편을 연결하는 효소

3. DNA 복제 과정

모범 답안 | (1) DNA 복제는 헬리케이스에 의해 2중 나선이 풀리면서 시작된다. 풀어진 DNA 두 가닥이 각각 주형으로 작용하여 DNA 중합 효소에 의해 상보적 염기를 가진 뉴클레오타이드가 한 개씩 결합됨으로써 새로운 사슬이 만들어진다. 이 때 DNA 복제 방향은 항상 5′ → 3′ 방향으로만 일어나므로, 한쪽 가닥은 연속적으로 복제되는 데 반해 다른 쪽 가닥은 짧은 DNA 절편을 합성하여 DNA 연결 효소로 이어 주는 방식으로 진행된다. DNA의 복제가 완료되면 원래의 DNA와 동일한 두 분자의 DNA가 만들어진다.

(2) DNA 중합 효소는 3′−OH에만 새로운 뉴클레오타이드를 결합시킬 수 있다. 따라서 복제가 시작되기 위해서는 3′−OH 말단이 있어야 하는데, 이때 RNA 프라이머가 합성되어 이러한 역할을 한다. 복제가 된 후에 RNA 프라이머는 제거된다.

알짜 풀이 | DNA의 복제는 크게 2중 나선의 풀림 → 새로운 뉴클레오타이드의 결합에 의한 폴리뉴클레오타이드 사슬의 신장 → 완료의 단계로 이루어진다. 이때 DNA 2중 나선의 염기 사이의 수소 결합을 끊어 2중 나선을 풀어 주는 효소가 헬리케이스이다. 새로운 뉴클레오타이드를 결합시켜 뉴클레오타이드 사슬을 신장시키는 효소는 DNA 중합 효소이며, 지연 가닥의 DNA 절편을 이어 주는 효소는 DNA 연결 효소이다. DNA 중합 효소는 이미 존재하는 뉴클레오타이드의 3′−OH 말단에만 새로운 뉴클레오타이드를 결합시키기 때문에 3′−OH 말단을 제공하는 RNA 프라이머가 필요하며, 일정한 방향(5′ → 3′)으로만 DNA 합성이 진행된다.

DNA 가닥의 방향성

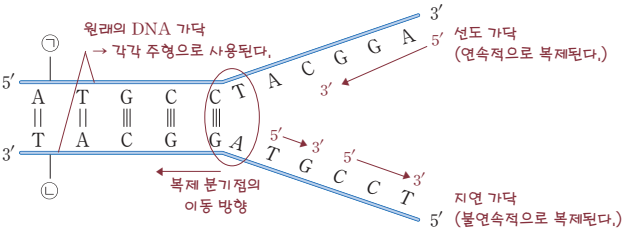
디옥시리보스의 탄소는 염기가 결합되어 있는 것이 1번(1′)이고 시계 방향 순으로 번호를 붙인다. DNA 가닥의 한쪽 끝에는 5번 탄소가, 반대쪽 끝에는 3번 탄소가 위치하여 가닥 전체가 방향성을 가지게 되는데, 이것을 5′ 말단과 3′ 말단이라고 한다.

4. DNA 복제

모범 답안 | (1) DNA의 복제는 항상 5′ → 3′ 방향으로만 일어나므로 새로 만들어지는 사슬의 방향이 복제 분기점의 이동 방향으로 5′ → 3′이 되는 것이 선도 가닥이다. 따라서 ㉠을 주형으로 하여 만들어지는 것이 선도 가닥이다.

(2) 5′−TCCGTAGGCAT−3′

알짜 풀이 | 연속적으로 DNA 합성이 일어나기 위해서는 새로 만들어지는 사슬의 방향이 복제 분기점의 이동 방향으로 5′ → 3′이 되어야 한다. 따라서 ㉠을 주형으로 하여 생성되는 사슬이 연속적으로 복제되는 선도 가닥이며, 이 가닥의 방향은 ㉠과 반대이고 ㉠에 대해 상보적인 염기 서열을 가지므로 ㉡과 염기 서열 및 방향이 같다.

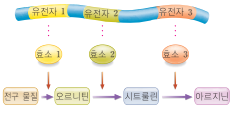


03 유전자 발현

개념 체크 p.071

A 1유전자 1효소설

그림은 붉은빵곰팡이의 아르지닌 합성에 관여하는 효소와 유전자의 관계를 나타낸 것이다. (단, 전구 물질은 최소 배지에 있는 물질이다.)



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 붉은빵곰팡이의 생장에 반드시 필요한 물질은 아르지닌이다. (○)
2. 효소 2가 결핍되더라도 최소 배지에서 생장할 수 있다. (×)
3. 효소 3이 결핍되면 시트룰린이 축적된다. (○)
4. 유전자 1, 2, 3 중 한 가지에 돌연변이가 일어나 효소가 만들어지지 않으면 최소 배지에서 붉은빵곰팡이가 생장할 수 없다. (○)
5. 1유전자 1효소설을 나타낸 것이다. (○)

B 유전 정보의 중심 원리

그림은 유전 정보가 전달되는 과정을 나타낸 것이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. ㉠은 복제이며, 진핵 세포의 핵에서 일어난다. (○)
2. ㉡은 전사이며, 진핵 세포의 세포질에서 일어난다. (×)
3. ㉢은 번역이며, 진핵 세포의 리보솜에서 일어난다. (○)
4. ㉠에서는 DNA 2중 나선의 두 가닥이 모두 주형이 되지만, ㉡에서는 DNA 두 가닥 중 한 가닥만이 주형으로 작용한다. (○)
5. ㉠에는 DNA 중합 효소, ㉡에는 RNA 중합 효소가 관여한다. (○)
6. tRNA가 관여하는 시기는 ㉡이다. (×)
7. 원핵 세포에서는 ㉠, ㉡, ㉢ 과정이 모두 세포질에서 일어난다. (○)

C 전사와 번역

다음은 DNA 염기 서열과 코돈표를 나타낸 것이다.

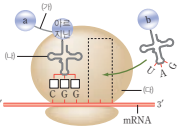
코돈	UAU	UGA	ACC	AUG
아미노산	타이로신	종결 코돈	트레오닌	메싸이오닌
코돈	GCA	GGU	CCA	CGU
아미노산	알라닌	글라이신	프롤린	아르지닌

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 이 DNA 가닥으로부터 전사되는 mRNA의 염기 서열은 3′-AUGCGUGGUUAUUGA-5′이다. (×)
2. 이 DNA로부터 전사와 번역을 거쳐 만들어진 폴리펩타이드에는 총 4개의 펩타이드 결합이 있고, 5개의 아미노산으로 구성된다. (×)
3. 이 DNA로부터 전사와 번역을 거쳐 만들어진 폴리펩타이드의 두 번째 아미노산은 아르지닌이다. (○)
4. DNA의 트리플렛 코드 3′-GCT-5′에 대응되는 mRNA의 코돈과 결합하는 tRNA의 안티코돈은 3′-GCU-5′이다. (○)

D 단백질 합성

그림은 단백질 합성 과정의 일부를 모식도로 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 수소 결합이다. (×)
2. (나)는 tRNA이고, (다)는 rRNA와 단백질로 구성된다. (○)
3. a는 개시 tRNA에 의해 운반되어 온 아미노산이다. (○)
4. b를 암호화하는 코돈은 5′-ATC-3′이다. (×)
5. 아르지닌을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 5′-GCC-3′이다. (×)
6. 리보솜은 왼쪽에서 오른쪽으로 3개 코돈만큼 이동한다. (×)
7. mRNA와 (나)는 DNA로부터 전사되어 만들어진다. (○)

A 1유전자 1효소설

01 붉은빵곰팡이의 생장에 반드시 필요한 물질은 최종 산물인 아르지닌이다.

02 효소 2가 결핍되면 오르니틴을 시트룰린으로 전환하지 못하므로 생장에 필요한 아르지닌을 합성할 수 없어 최소 배지에서 생장할 수 없다.

03 효소 3이 결핍되면 시트룰린이 아르지닌으로 전환되지 않아 시트룰린이 축적된다.

04 유전자 1, 2, 3 중에 한 가지라도 이상이 생기면 붉은빵곰팡이는 아르지닌을 합성할 수 없으므로 최소 배지에서 생장할 수 없다.

05 이 실험 결과를 통해 하나의 유전자가 한 가지 효소를 합성한다는 1유전자 1효소설을 알 수 있다.

B 유전 정보의 중심 원리

01 ㉠은 DNA로부터 DNA를 합성하는 복제이며, 핵 속에서 일어난다.

02 ㉡은 DNA의 유전 정보를 RNA로 전달하는 전사이며, 이 과정도 DNA가 있는 핵 속에서 일어난다.

03 ㉢은 RNA의 유전 정보에 따라 단백질이 만들어지는 번역이며, 세포질의 리보솜에서 일어난다.

04 ㉠ 복제에서는 DNA 2중 나선의 두 가닥이 모두 주형이 되고, ㉡ 전사에서는 DNA 두 가닥 중 한 가닥만이 주형으로 작용한다.

05 ㉠ 복제는 DNA 중합 효소, ㉡ 전사는 RNA 중합 효소에 의해 일어난다.

06 tRNA는 아미노산을 운반하는 역할을 하므로 ㉢ 번역 과정에 필요하다.

07 원핵 세포는 DNA가 세포질에 있으므로 유전 정보의 복제, 전사, 번역의 전 과정이 세포질에서 일어난다.

C 전사와 번역

01 전사는 주형 DNA 가닥에 상보적인 염기가 결합하여 이루어지며, T 대신 U이 들어가고 방향이 반대이다. 따라서 이 DNA 가닥으로부터 전사되는 mRNA의 염기 서열은 5′-AUGCGUGGUUAUUGA-3′이다.

02 번역은 5′ → 3′ 방향으로 일어나며 5′-AUG/CGU/GGU/UAU/UGA-3′에서 마지막 UGA가 종결 코돈이므로 이를 제외한 나머지가 아미노산을 암호화하여 총 4개의 아미노산으로 이루어진 폴리펩타이드가 만들어진다. 또, 구성 아미노산이 4개이므로 펩타이드 결합은 3개이다.

03 두 번째 아미노산은 코돈 CGU가 지정하는 아르지닌이다.

04 DNA의 트리플렛 코드 3′-GCT-5′에 대응되는 mRNA의 코돈은 5′-CGA-3′이고, 이에 대응하는 tRNA의 안티코돈은 3′-GCU-5′이다.

D 단백질 합성

01 (가)는 아미노산 사이의 펩타이드 결합으로 공유 결합의 일종이다.

02 (나)는 아미노산을 운반하는 tRNA이고, (다) 리보솜은 rRNA와 단백질로 구성된다.

03 a는 리보솜에서 합성되는 폴리펩타이드의 첫 번째 아미노산이므로 개시 tRNA에 의해 운반되어 온 것이다.

04 b를 운반하는 tRNA의 안티코돈은 3′-UAG-5′이므로 이에 상응하는 코돈은 5′-AUC-3′이다. RNA에는 염기 T이 없다.

05 아르지닌을 암호화하는 코돈은 5′-CGG-3′이므로 이에 상응하는 안티코돈은 3′-GCC-5′이다.

06 리보솜은 왼쪽(5′)에서 오른쪽(3′)으로 3개 염기, 즉 한 개 코돈만큼 이동한다.

07 RNA는 모두 DNA로부터 전사되어 만들어진다.

개념 확인 문제 pp.072~075

01. ④, ⑤	02. b → c → a		03. (가) 복제, (나) 전사, (다) 번역		04. ①	05. ③
06. ④	07. ③	08. ③	09. ⑤	10. ⑤	11. a : 코돈, b : 안티코돈	
12. ③	13. ③	14. ③	15. ②	16. ①	17. ②	18. 쥐
19. ㄱ, ㄷ	20. ⑤	21. ②	22. ⑤			

유전자와 효소
최소 배지에서는 살지 못하고, 어떤 물질을 넣어 주면 생장하는 것은 그 물질을 만드는 효소의 합성이 불가능하기 때문이다.

01 ④, ⑤

④ 효소 c가 결핍되면 시트룰린을 아르지닌으로 전환하지 못하므로 최소 배지에 오르니틴이나 시트룰린을 첨가하더라도 곰팡이가 살지 못하고 아르지닌을 첨가해야만 생장할 수 있다.

⑤ 최소 배지에 오르니틴을 첨가하면 살지 못하지만, 시트룰린이나 아르지닌을 첨가하면 살 수 있는 돌연변이주는 유전자 B에 이상이 생겨 효소 b가 합성되지 않는 것이다.

오답 피하기

① 유전자 A, B, C는 각각 효소 a, b, c를 암호화하므로 이상이 생긴 유전자로부터 합성되는 효소만 결핍된다.

② B는 오르니틴을 시트룰린으로 전환하는 데 필요한 효소 b를 암호화한다.

③ 효소 a가 결핍되면 최소 배지에 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 한 가지를 주면 곰팡이가 살 수 있다.

붉은빵곰팡이
붉은빵곰팡이는 자낭균류에 속하는 곰팡이의 일종으로, 돌연변이가 일어나면 바로 표현형으로 발현되는 특성이 있어 돌연변이와 형질의 관계를 쉽게 알 수 있다.

02 b → c → a

각 돌연변이주의 첨가 물질에 따른 생장 여부를 표로 나타내면 다음과 같다

최소 배지에 첨가한 물질 / 돌연변이주	a	b	c
I	생장	생장	생장
II	생장	생장 안 함	생장
III	생장	생장 안 함	생장 안 함

이 자료에 따라 붉은빵곰팡이의 생장에 반드시 필요한 최종 산물은 a이고, 이것은 c로부터 만들어진다. 따라서 물질의 합성 순서는 전구 물질 → b → c → a이다.

전사와 번역
DNA에서 RNA로의 유전 정보의 전달은 뉴클레오타이드라는 동일한 물질을 사용하고 염기 서열이라는 동일한 암호 체계를 사용하므로 전사(transcription)라고 한다. 그러나 RNA로부터의 단백질 합성은 아미노산이라는 다른 물질을 사용하므로 번역(translation)이라고 부른다. 전사는 영어로 된 책의 복사, 번역은 영어책의 내용을 한글로 바꾸는 것에 비유할 수 있다.

03 (가) 복제, (나) 전사, (다) 번역

DNA로부터 DNA가 합성되는 과정 (가)는 복제, DNA로부터 RNA가 합성되는 과정 (나)는 전사, RNA의 정보에 따라 단백질이 합성되는 과정 (다)는 번역이다.

04 ① 진핵 세포의 경우 DNA는 핵 속에 있으므로 (가) 복제와 (나) 전사는 핵 속에서 일어나고, (다) 번역(단백질 합성)은 세포질의 리보솜에서 일어난다.

폴리펩타이드(polypeptide)
여러 개의 아미노산이 펩타이드 결합으로 길게 연결된 것이다. 흔히 단백질과 같은 의미로 쓰이지만, 보통 분자량이 작은 단백질을 가리킨다.

05 ③ 3개의 염기가 한 개의 아미노산을 지정하는 방식으로 암호화되어 있으므로 개시 코돈과 종결 코돈을 무시한다면 300개의 뉴클레오타이드로 구성된 mRNA로부터 100개의 아미노산으로 구성된 폴리펩타이드가 합성된다.

06 ④ 전사는 복제와는 달리 DNA의 두 가닥 중 한 가닥만을 주형으로 하여 한 방향으로 일어난다.

주형 DNA 가닥으로부터 전사되는 RNA의 염기 서열

DNA로부터 RNA로 전사될 때 DNA의 염기는 다음과 같은 규칙에 의해 RNA 염기로 옮겨진다.

DNA A T G C
↓ ↓ ↓ ↓
RNA U A C G

이와 같은 관계를 상보적이라고 한다.

07 ③ 전사 결과 합성된 mRNA는 주형 DNA 가닥과 방향이 반대이며, 상보적 염기 서열을 갖는다. 그리고 T 대신 U이 결합한다. 제시된 DNA 가닥의 반대쪽 사슬을 주형으로 하여 mRNA가 전사되었다면 mRNA는 제시된 DNA와 방향이 같고 염기 서열은 T 대신 U이 있는 것을 제외하면 같다. 따라서 5′－AUCCUAGAU－3′이다.

08 ③ ③ I과 II는 염기 T을 가지므로 DNA이고, III은 U을 가지므로 RNA이다. 전사가 일어나면 DNA 주형 가닥의 A과 RNA의 U의 비율이 같으므로 III의 주형 가닥은 II이다.

오답 피하기

① I과 II는 DNA 가닥이고, III은 mRNA이다.
② I과 II가 결합하여 2중 나선을 이룬다.
④ DNA 2중 나선에서는 염기가 상보적으로 결합하므로 A과 T, G과 C의 양이 같지만, 각 가닥 내에서는 이러한 원리가 성립되지 않는다.
⑤ 주형 DNA 가닥의 염기 T＋G의 비율과 이에 상보적인 염기 서열을 가지는 mRNA의 A＋C의 비율이 같다.

코돈

mRNA가 가지는 3개의 염기 조합이다. 총 64가지(4^3)가 있으며, 61가지 코돈이 아미노산을 지정하고 나머지 3가지 코돈은 지정하는 아미노산이 없어 종결 코돈(UAA, UAG, UGA)으로 쓰인다.

09 ⑤ 코돈은 mRNA가 가지는 3개 염기 조합으로 총 64가지가 있다. 이 중에는 개시 코돈이 있고, 아미노산을 암호화하지 않는 종결 코돈이 있다. 그리고 아미노산의 종류보다 코돈의 종류가 많으므로 하나의 아미노산을 지정하는 코돈이 여러 개 있을 수 있다.

10 ⑤ ㄱ, ㄴ. 사슬 A는 티민(T)이 있고, 사슬 B는 유라실(U)이 있으므로 DNA 가닥인 사슬 A를 주형으로 하여 RNA인 사슬 B를 합성하는 전사 과정이다. 전사는 DNA가 있는 핵 속에서 일어난다.

ㄷ. 전사가 일어나 합성된 RNA(사슬 B)는 핵공을 통해 세포질로 이동하여 각각의 기능을 담당한다.

안티코돈

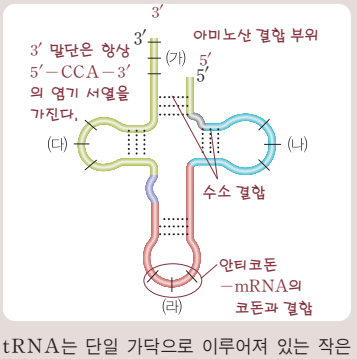
안티코돈은 코돈과 상보적으로 결합하는 3개의 염기 조합으로 구성된 tRNA의 유전 암호이다. 안티코돈과 코돈이 상보적으로 결합하여 코돈이 지정하는 아미노산을 운반할 수 있다.

11 a : 코돈, b : 안티코돈

a는 mRNA가 가지는 3개 염기 조합인 코돈, b는 코돈과 상보적으로 결합하는 tRNA가 가지는 3개 염기 조합인 안티코돈이다.

12 ③ 제시된 그림에서 (가)는 리보솜으로 rRNA와 단백질로 구성되며, 단백질을 합성할 때 대단위체와 소단위체가 결합하여 완전한 기능을 한다. (나)는 펩타이드 결합으로 공유 결합의 일종이다. (다)는 아미노산을 운반하는 tRNA이고, (라)는 단백질의 아미노산 서열에 대한 정보를 저장한 mRNA이며, 이들 RNA는 모두 핵 속의 DNA로부터 전사되어 만들어진다.

tRNA의 구조



tRNA는 단일 가닥으로 이루어져 있는 작은 RNA 분자이며, 단백질 합성에 필요한 아미노산을 리보솜으로 운반한다.

13 ③ tRNA의 (가)는 아미노산 결합 부위로, 이 부분의 염기 서열은 5′－CCA－3′이다. (라)에는 안티코돈이 있어 mRNA의 코돈과 결합한다. tRNA가 운반하는 아미노산은 (라)의 안티코돈에 의해 결정된다.

오답 피하기

③ (나)와 (다)의 염기 서열은 tRNA에 따라 다양하며, 정해져 있지 않다.

14 ③ 리보솜은 rRNA와 단백질로 구성되며, 펩타이드 결합이 일어나 단백질이 합성되는 장소이다. 대단위체와 소단위체가 있는데, 소단위체에는 mRNA 결합 자리가 있고 대단위체에는 tRNA 결합 자리가 있어서 단독으로는 기능을 수행하지 못하고, 이들이 결합해야 단백질 합성이 일어날 수 있다.

오답 피하기

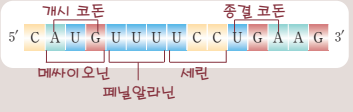
③ tRNA와 아미노산의 결합은 세포질에서 일어난다.

리보솜

리보솜은 단백질의 합성 장소로, 대단위체와 소단위체로 구성되는데 단백질을 합성하지 않을 때에는 대단위체와 소단위체가 따로 존재한다. 리보솜 대단위체에는 tRNA가 결합할 수 있는 E 자리, P 자리, A 자리가 있다.

15 ② 핵 속에서 전사된 mRNA는 핵공을 통해 세포질로 나오며, mRNA와 리보솜 소단위체가 결합하면서 번역이 시작된다(나). 개시 tRNA가 메싸이오닌을 부착하여 개시 코돈에 결합한 후(다), 리보솜 대단위체가 결합한다. 이때 개시 tRNA는 리보솜의 P 자리에 위치한다. A 자리에 두 번째 아미노산을 부착한 tRNA가 오면 개시 tRNA가 운반해 온 메싸이오닌과 두 번째 아미노산 사이에 펩타이드 결합이 일어나고, 리보솜이 한 개 코돈만큼 5′→3′ 방향으로 이동한다. 그에 따라 P 자리에 있던 개시 tRNA가 E 자리로 이동한 후 리보솜을 떠나고(라), 비게 된 A 자리에 또 다른 아미노산을 부착한 tRNA가 와서 아미노산 사이에 펩타이드 결합이 일어난다. 이런 과정에 의해 3번째, 4번째… 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되면서 폴리펩타이드가 길어진다(가). 리보솜이 mRNA를 따라 이동하다가 A 자리에 종결 코돈이 놓이면 이에 상응하는 tRNA가 없어서 단백질 합성이 종결된다(마). 단백질 합성이 끝나면 폴리펩타이드가 리보솜에서 떨어져 나가고, mRNA, tRNA, 리보솜 대단위체와 소단위체가 분리된다.

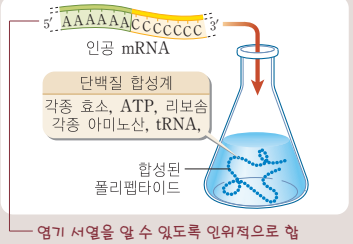
mRNA의 번역



16 ① mRNA의 번역은 5′→3′ 방향으로 일어나며, 개시 코돈부터 시작되어 종결 코돈에서 끝난다. 따라서 5′−C/AUG(개시 코돈)/UUU/UCC/UGA(종결 코돈)/AG−3′으로 두 번째 염기부터 번역이 일어나며, 그 결과 메싸이오닌−페닐알라닌−세린의 아미노산 서열을 가진 펩타이드가 만들어진다.

니런버그의 실험

니런버그는 단백질 합성에 필요한 리보솜, 효소, tRNA, 아미노산 등을 넣은 단백질 합성계를 만든 후, 인공 mRNA를 넣어 어떤 폴리펩타이드가 만들어지는지 실험하였다.



염기 서열을 알 수 있도록 인위적으로 합성한 mRNA로, 번역은 5′→3′ 방향으로 일어난다.

17 ② 13개의 염기로 구성된 mRNA로부터 얻은 폴리펩타이드 1과 2는 4개의 아미노산으로 구성되었으므로 이것은 첫 번째 또는 두 번째 염기부터 번역이 된 것이다. 그런데 폴리펩타이드 1은 첫 번째와 두 번째 아미노산이 다르므로 두 번째 염기부터 번역이 시작된 것이다. 따라서 폴리펩타이드 1, 2, 3은 각각 두 번째, 첫 번째, 세 번째 염기부터 번역이 시작된 것을 알 수 있다. 이것을 정리하면 다음과 같다.

폴리펩타이드 1	Lys−Asn−Pro−Pro	5′−A/AAA/AAC/CCC/CCC−3′
폴리펩타이드 2	Lys−Lys−Pro−Pro	5′−/AAA/AAA/CCC/CCC/C−3′
폴리펩타이드 3	Lys−Thr−Pro	5′−AA/AAA/ACC/CCC/CC−3′

따라서 라이신의 코돈은 AAA, 아스파라진의 코돈은 AAC, 프롤린의 코돈은 CCC, 트레오닌의 코돈은 ACC이다.

18 쥐 생물은 공통적으로 동일한 유전 암호를 가지므로 한 생물의 유전 정보가 다른 생물체 내에서도 같은 의미로 사용된다. 따라서 단백질을 합성하기 위해 쥐의 mRNA, 소의 tRNA, 개의 리보솜, 돼지의 효소, 양의 ATP를 사용할 때 단백질의 종류는 아미노산 서열에 의해 결정되며, 이에 대한 유전 정보는 mRNA에 저장되어 있으므로 쥐의 단백질이 만들어진다.

유전 암호의 구분

- DNA→ 트리플렛 코드
- mRNA→ 코돈
- tRNA→ 안티코돈

19 ㄱ, ㄷ

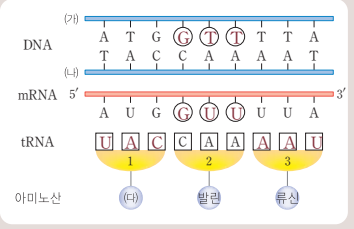
ㄱ. 코돈 5′−UCC−3′에 대응하는 트리플렛 코드는 3′−AGG−5′이므로 이것은 세린을 암호화한다.

ㄷ. 트리플렛 코드는 코돈과 염기 서열이 상보적이고, 코돈은 안티코돈과 염기 서열이 상보적이므로 트리플렛 코드는 안티코돈의 염기 U가 T로 바뀌는 것을 제외하고는 안티코돈과 염기 서열 및 방향이 서로 일치한다. 즉, 안티코돈이 3′−AAU−5′인 tRNA에 대응하는 DNA의 트리플렛 코드는 3′−AAT−5′이므로 이 tRNA는 류신을 운반한다.

오답 피하기

ㄴ. 리보솜은 mRNA를 5′→3′ 방향으로 인식하므로 단백질 합성의 종결 코돈은 5′−UAA−3′이 된다.

유전 정보의 중심 이론



유전 정보의 중심 이론에 따라 DNA의 유전 정보는 전사 과정을 통해 mRNA의 코돈으로 전달되고 tRNA의 안티코돈에 의해 아미노산이 지정되어 단백질이 합성된다.

20 ⑤ ① (가)의 빈칸의 염기 서열은 그에 대응하는 (나)의 CAA에 상보적인 염기 서열을 가지므로 GTT이다.

② mRNA의 첫 번째 코돈이 AUG이므로 이에 상보적인 TAC 염기 서열을 가진 (나)를 주형으로 하여 mRNA가 합성되었다.

③ mRNA의 빈칸의 염기 서열은 주형 가닥인 (나)의 CAA에 상보적인 염기 서열을 가지므로 GUU이다.

④ 개시 코돈은 1번 아미노산을 지정하는 AUG이다.

오답 피하기

⑤ 아미노산 (다)의 안티코돈은 mRNA의 코돈에 상보적이므로 UAC이고, 류신을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 AAU이다. 따라서 이들 코돈의 두 번째 염기는 A로 서로 같다.

21 ② ① 야생형에서 합성된 mRNA의 세 번째 코돈은 UAU이므로 세 번째 아미노산은 타이로신이다.

③ 돌연변이 2의 세 번째 코돈은 UAC로 타이로신을 지정한다. 따라서 돌연변이는 일어났지만 야생형과 동일한 아미노산 서열을 가지는 단백질이 합성되므로 기능은 야생형과 같다.

④ 돌연변이 3의 세 번째 코돈은 UGU이므로 시스테인을 암호화한다.

⑤ 돌연변이 4의 세 번째 코돈은 UUU로 페닐알라닌을 암호화하므로 합성된 단백질을 구성하는 아미노산의 수는 야생형과 같다.

오답 피하기

② 돌연변이 1에서 세 번째 코돈은 UAA로 종결 코돈이다. 따라서 여기에서 단백질 합성이 종료되어 2개의 아미노산이 결합된 펩타이드를 만들게 되므로 합성된 단백질의 크기는 야생형보다 작다.

RNA 중합 효소

DNA의 한 가닥을 주형으로 하여 리보뉴클레오타이드를 중합시켜 RNA 사슬을 만드는 효소로, 5개의 폴리펩타이드 입자로 이루어져 있다.

22 ⑤ ① ㉠ 복제와 ㉡ 전사는 DNA가 있는 곳에서 일어난다. 따라서 (가) 핵에서 일어난다.

②, ③ ㉡ 전사는 RNA 중합 효소에 의해 일어나며, 이를 통해 mRNA, tRNA, rRNA가 만들어진다.

④ (나) 리보솜을 구성하는 rRNA는 ㉡ 전사를 통해, 단백질은 ㉡ 전사와 ㉢ 번역을 통해 합성된다.

오답 피하기

⑤ ㉢ 번역 과정에서 단백질의 아미노산 서열에 대한 정보는 mRNA에 저장되어 있다.

개념 활용 문제

pp.076~081

01. ②	02. ④	03. ①	04. ③	05. ③	06. ②	07. ①
08. ③	09. ②	10. ③	11. ③	12. ②		

돌연변이주

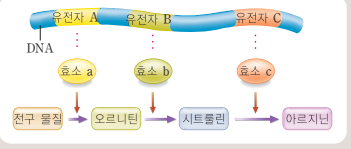
각 돌연변이주는 하나의 특정 유전자에 돌연변이가 일어난 것이다. 돌연변이는 DNA에 X선이나 자외선을 쪼였을 때 유발된다.

01 ② i) 페닐알라닌은 붉은빵곰팡이의 생장에 반드시 필요한 물질이다. 물질 A를 첨가하였을 때 생장한 돌연변이주가 가장 많고, 물질 C를 첨가하였을 때 돌연변이주는 모두 생장하지 않았으므로 물질의 합성 과정은 C → B → A → 페닐알라닌이다(ㄷ).

ii) 돌연변이주 I형은 페닐알라닌을 첨가했을 때만 생장할 수 있으므로 페닐알라닌을 합성하지 못한다(ㄱ).

iii) 돌연변이주 II형과 III형은 A를 첨가했을 때 생장하였으므로, A를 기질로 하여 페닐알라닌을 합성할 수 있는 효소가 있다(ㄴ).

아르지닌 합성에 관여하는 유전자와 효소의 관계



하나의 특정 유전자로부터 하나의 특정 효소가 생성된다. 전구 물질로부터 오르니틴을 합성하기 위해서는 유전자 A의 산물인 효소 a가, 오르니틴으로부터 시트룰린을 합성하기 위해서는 유전자 B의 산물인 효소 b가, 시트룰린으로부터 아르지닌을 합성하기 위해서는 유전자 C의 산물인 효소 c가 반드시 필요하다.

02 ④ ㄴ. 돌연변이종 II는 유전자 B가 손상되어 효소 b가 결핍된다. 따라서 오르니틴을 시트룰린으로 전환하지 못하므로 오르니틴이 축적된다.

ㄷ. 돌연변이종 I은 유전자 A가 손상되어 효소 a를 합성하지 못한다. 따라서 전구 물질을 오르니틴으로 전환하지 못하기는 하지만, 효소 b와 c가 정상이므로 최소 배지에 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 한 가지만 첨가해도 생장이 가능하다.

오답 피하기

ㄱ. 유전자 C는 아르지닌을 암호화하는 것이 아니라 시트룰린으로부터 아르지닌을 합성하는 데 관여하는 효소 c에 대한 유전 정보이다.

03 ① i) ㈎는 RNA 중합 효소이며, ㈏는 주형 DNA 가닥이고 ㈐는 이로부터 전사되어 합성되는 RNA 사슬이다(ㄷ).

ii) DNA 2중 나선은 역평행 구조로 한쪽 가닥의 끝이 3′ 말단이면 맞은편에 있는 다른 쪽 가닥의 끝은 5′ 말단㉠이다. 또한 RNA 가닥의 한쪽 끝이 3′ 말단이라면 다른 쪽 끝은 5′ 말단㉡이다. 따라서 ㉠과 ㉡은 5′ 말단이다(ㄱ).

iii) 전사는 주형 DNA 가닥에 상보적인 염기쌍을 형성하는 리보뉴클레오타이드를 5′→3′ 방향으로 연결시켜 mRNA를 합성하는 과정으로 B 방향으로 일어난다(ㄴ).

iv) 전사된 RNA는 주형 DNA 가닥에 상보적인 염기 서열을 가지므로, ㈏ 주형 가닥의 염기 T의 조성 비율은 전사된 범위 내에서 ㈐ RNA의 염기 A의 조성 비율과 같다. ㈐의 염기 U의 조성 비율은 전사된 범위 내에서 ㈏의 염기 A의 조성 비율과 같다.

DNA 복제 과정과 RNA 전사 과정의 차이

DNA가 복제될 때는 두 가닥의 사슬이 모두 주형으로 사용되어 두 분자의 새로운 DNA 2중 나선을 만들지만, RNA가 전사될 때는 DNA 두 가닥 중 한 가닥만 주형으로 사용되어 단일 가닥으로 된 RNA를 만든다.

또, DNA가 복제될 때는 주형 가닥의 염기가 아데닌(A)이면 티민(T)이 상보적으로 결합하지만, RNA가 전사될 때는 티민(T) 대신 유라실(U)이 결합한다.

04 ③ ㄱ. 가닥 I과 II는 염기가 상보적으로 결합하므로 가닥 II의 G과 C의 조성 비율은 각각 가닥 I의 C과 G의 조성 비율과 같다. 따라서 ㉠ 15, ㉡ 30이다. mRNA의 각 염기 조성 비율은 주형 DNA 가닥의 상보적인 염기 조성 비율과 같다. 그러므로 DNA의 두 가닥 중 A의 조성 비율이 mRNA의 U의 조성 비율과 같은 가닥 II가 주형 가닥이다. 따라서 ㉢ 30, ㉣ 15이다. 염기 조성 비율 ㉡+㉢=60으로 ㉠+㉣=30의 2배이다.

ㄷ. mRNA의 주형 가닥은 II이므로 이로부터 전사된 mRNA의 염기 서열은 5′-AUUGAGUUA-3′이다.

오답 피하기

ㄴ. 가닥 I과 가닥 II는 방향은 반대이고 상보적인 염기 서열로 되어 있으므로 ㈎의 염기 서열은 5′-TGA-3′이다. 따라서 가닥 I을 주형으로 하여 복제된 DNA에서 ㈎에 대응하는 염기 서열은 3′-ACT-5′, 즉 ㈎에 대응하는 가닥 II의 방향 및 염기 서열과 같다.

05 ③ ㄱ. 45번째 염기부터 번역이 개시되므로 개시 코돈은 45번째부터 3개 염기 조합인 5′-AUG-3′이다.

ㄷ. 45번째 염기부터 1,202번째 염기까지 단백질로 번역되었으므로 1,202-44=1,158개의 염기가 번역되었고, 중복 없이 차례대로 3개 염기가 하나의 아미노산을 암호화하므로 $\frac{1158}{3}$=386개의 아미노산으로 이루어진 폴리펩타이드가 만들어진다.

오답 피하기

ㄴ. 종결 코돈은 아미노산을 지정하지 않는다. 따라서 1,202번째 염기까지 단백질로 번역되었다면 1,203번째 염기부터 3개의 염기 조합 5′-UAA-3′이 종결 코돈이다.

유전 암호의 해독 틀

3개의 염기 조합이 코돈이 되어 하나의 아미노산을 지정하기 때문에 염기 서열의 특정 위치에 돌연변이가 생기면 해독 틀이 변경될 수 있다. 예를 들어 염기 서열의 특정 위치에 염기 1개, 2개가 추가될 경우에는 전혀 다른 아미노산 서열이 생기지만, 염기 3개가 추가될 경우에는 아미노산 1개가 추가된 것을 제외하고는 처음과 동일한 아미노산 서열을 가진다.

	5′				3′
mRNA	GAC	GAC	GAC	GAC	GAC
	Asp	Asp	Asp	Asp	Asp
염기 1개 추가	GAC	GGA	CGA	CGA	CGA
	Asp	Gly	Arg	Arg	Arg
염기 2개 추가	GAC	UGG	ACG	ACG	ACG
	Asp	Trp	Thr	Thr	Thr
염기 3개 추가	GAC	UUG	GAC	GAC	GAC
	Asp	Leu	Asp	Asp	Asp

변경된 코돈

06 ② i) 12개의 염기로 구성된 mRNA에서 펩타이드 ㈐는 4개의 아미노산으로 이루어져 있으므로 첫 번째 염기 G부터 번역되었다. 따라서 5′−GGG/GGG/UUA/AAA−3′으로 GGG는 글라이신, UUA는 류신, AAA는 라이신을 지정하는 코돈이다.

ii) 펩타이드 ㈎는 글라이신 2개가 결합되어 있다. 이것은 종결 코돈 UAA 이전의 2개 코돈만 번역되었음을 의미한다. 따라서 5′−G/GGG/GGU/UAA/AA−3′으로 두 번째 염기 G부터 번역이 시작되었으며, GGG와 GGU는 모두 글라이신을 암호화한다.

iii) 펩타이드 ㈏는 3개의 아미노산이 결합되어 있으므로 세 번째 염기 또는 네 번째 염기부터 번역이 시작된 것이다. 만일 네 번째 염기부터 번역되었다면 ㈏의 아미노산 서열이 ㈐의 첫 번째를 제외한 나머지 아미노산 서열과 같아야 하는데, 발린과 류신으로 다르므로 세 번째 염기 G부터 번역된 것이다. 그러므로 5′−GG/GGG/GUU/AAA/A−3′으로 GUU가 발린을 암호화하는 코돈이라는 것을 알 수 있다.

mRNA		5′−GGGGGGUUAAAA−3′
펩타이드	㈎	5′−GGGGGGUUAAAA−3′ 글라이신 글라이신 종결 코돈
	㈏	5′−GGGGGGUUAAAA−3′ 글라이신 발린 라이신
	㈐	5′−GGGGGGUUAAAA−3′ 글라이신 글라이신 류신 라이신

ㄷ. ㈐에서 류신의 코돈은 5′−UUA−3′으로 첫 번째 염기는 U이다.

오답 피하기

ㄱ. ㈎와 ㈐에서 두 번째 글라이신을 암호화하는 코돈은 ㈎에서는 GGU, ㈐에서는 GGG로 서로 다르다.

ㄴ. ㈏에서 발린의 코돈은 5′−GUU−3′이므로 이에 대응하는 tRNA의 안티코돈은 3′−CAA−5′이다.

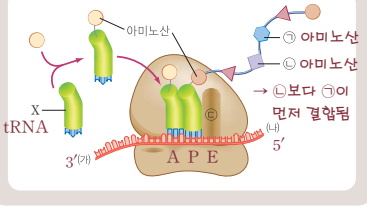
07 ① ㄱ. ㉠과 ㉡ 두 가닥 중 한 가닥을 주형으로 하여 전사된 RNA에는 개시 코돈이 있어야 하므로 개시 코돈 5′−AUG−3′에 상응하는 3′−TAC−5′이 있는 DNA 가닥 ㉠ 5′−CGGTCAGTCGTTAGGCATCGC−3′이 주형 DNA로 이용된 것이다.

오답 피하기

ㄴ. 주형 DNA 가닥 ㉠으로부터 전사된 mRNA 염기 서열은 3′−GCC/AGU/CAG/CAA/UCC/GUA/GCG−5′이며, mRNA의 번역은 5′ → 3′ 방향으로 개시 코돈부터 일어난다. 따라서 세 번째 아미노산인 아스파라진을 암호화하는 코돈은 5′−AAC−3′으로 첫 번째 염기는 A이다.

ㄷ. 이 펩타이드의 합성에 사용된 mRNA의 종결 코돈은 5′−UGA−3′이다.

단백질 합성



08 ③ ③ ㉠과 ㉡은 아미노산이며, 폴리펩타이드의 끝 쪽에 있는 아미노산이 먼저 결합된 것이다. 따라서 ㉠은 ㉡보다 폴리펩타이드 사슬에 먼저 결합된 것이다.

오답 피하기

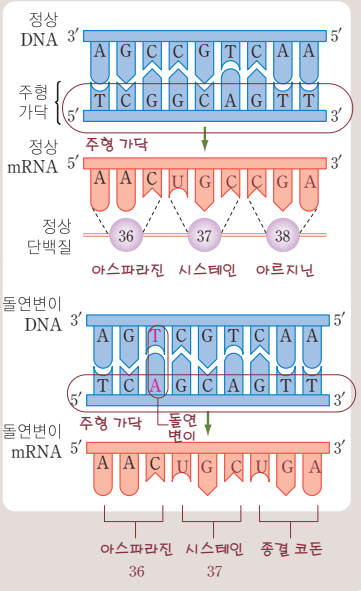
① X는 tRNA이며, 이것은 핵 속에서 DNA로부터 합성된다. 인에서는 리보솜을 구성하는 rRNA가 합성된다.

② 리보솜은 ㈏에서 ㈎ 방향으로 이동하면서 단백질을 합성하고 있다. 따라서 mRNA에서 ㈏ → ㈎ 방향이 5′ → 3′이다.

④ ㉢은 E 자리로, 리보솜이 이동함에 따라 P 자리에 있던 tRNA가 리보솜을 떠나게 될 때 잠시 머무는 자리이다. 폴리펩타이드 사슬에 첨가될 아미노산을 부착한 tRNA가 결합하는 자리는 A 자리이다.

⑤ 펩타이드 결합이 일어나면 리보솜은 mRNA를 따라 코돈 1개, 즉 염기 3개만큼 이동한다.

전사와 번역



09 ② ㄱ, ㄴ. 정상 mRNA는 아래쪽에 있는 DNA 가닥을 주형으로 하여 전사된 것이다. 따라서 방향에 주의하여 mRNA의 염기 서열을 쓰면 5′…AAC/UGC/CGA…3′이 된다. 37번 코돈은 UGC로 시스테인을 암호화하며, 38번 아미노산을 암호화하는 코돈은 5′−CGA−3′이다.

오답 피하기

ㄷ. 돌연변이 DNA로부터 전사된 mRNA의 염기 서열은 5′…AAC/UGC/UGA…3′으로 38번째 코돈이 5′−UGA−3′으로 종결 코돈이다. 따라서 이로부터 번역된 단백질은 총 37개의 아미노산으로 구성된다.

10 ③ ㄱ. 정상과 돌연변이 I에서 글루탐산을 암호화하는 코돈은 GAA, GAG로 다르다. 따라서 글루탐산을 암호화하는 코돈은 2개 이상 있다.

ㄴ. 돌연변이 I은 염기 서열은 바뀌었으나 단백질의 아미노산 서열은 같다. 형질 발현은 단백질의 기능에 의해 나타나는데, 단백질의 기능을 결정하는 아미노산 서열이 정상과 같으므로 형질 발현은 정상으로 나타난다.

오답 피하기

ㄷ. 돌연변이 II에서 만들어진 β 사슬의 6번 아미노산이 발린으로 바뀌기는 했지만 아미노산 수는 정상과 같다.

코돈의 아미노산 지정

아미노산의 종류가 20가지이므로 한 종류의 아미노산을 지정하는 코돈이 2개 이상 있는 경우가 많다.

11 ③ ㄱ. 폴리펩타이드 A의 43번 아미노산 아스파라진을 암호화하는 코돈은 5′−AAU−3′이다. 따라서 이에 상보적인 염기 서열을 가진 DNA 가닥 II가 주형 가닥이다. 이로부터 전사된 mRNA의 염기 서열은 5′−AAU GAG UG□GCU UAA−3′인데, 45번 아미노산 시스테인을 지정하는 코돈은 UGC이므로 □에 들어갈 염기는 C이다.

mRNA 염기 서열은 주형 가닥 II와 상보적으로 결합하고 있는 DNA 가닥 I과 T이 U로 바뀐 것을 제외하면 방향과 염기 서열이 같다. 따라서 ㉠은 C이고, 이에 상보적으로 결합하는 염기 ㉡은 G이다.

ㄴ. DNA 2중 나선을 이루는 한 가닥의 염기 G은 다른 가닥의 염기 C과 상보적으로 결합하므로 DNA 단일 가닥 I의 C과 단일 가닥 II의 G의 수가 같고, 단일 가닥 I의 G과 단일 가닥 II의 C의 수가 같다. 따라서 두 가닥에서 G+C의 비율은 서로 같다.

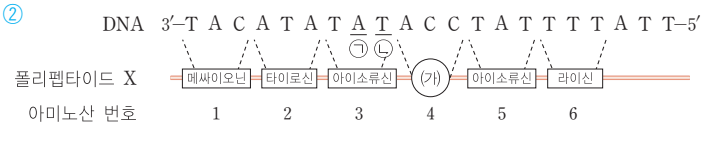
오답 피하기

ㄷ. 정상 mRNA의 종결 코돈은 47번째인 UAA이다. 그런데 폴리펩타이드 B는 44번 아미노산까지만 있으므로 45번 코돈이 종결 코돈이다. 정상 mRNA의 45번 코돈은 UGC이므로, 염기 한 개가 바뀌어 종결 코돈이 되었다면 3번째 염기 C가 A로 바뀐 것이다. 따라서 폴리펩타이드 B의 종결 코돈은 UGA로 정상 mRNA의 종결 코돈과 다르다.

유전자 이상과 유전 암호

폴리펩타이드	mRNA와 아미노산
X	5′−AUG/UAU/AUA/UGG/AUA/AAA/UAA−3′ Met Tyr Ile Trp Ile Lys 종결 코돈
A	5′−AUG/UAU/AU□/AUG/GAU/AAA/AUA/A−3′ Met Tyr Met Asp Lys Ile
B	5′−AUG/UAU/AUC/UGG/AUA/AAA/UAA−3′ Met Tyr Ile Trp Ile Lys 종결 코돈
C	5′−AUG/UAU/AUU/GGA/UAA/AAU/AA−3′ Met Tyr Ile Gly 종결 코돈

12 ②



폴리펩타이드	유전자 이상
A	㉠과 ㉡ 사이에 염기 1개 삽입
B	㉡치환(T→G)
C	㉡결실

코돈	아미노산	코돈	아미노산
AUG	메싸이오닌	GGU, GGC GGA, GGG	글라이신
AAA, AAG	라이신		
AAU, AAC	아스파라진	UGG	트립토판
AUU, AUC, AUA	아이소류신	UAU, UAC	타이로신
GAU, GAC	아스파트산	UAA, UAG UGA	종결 코돈

① DNA로부터 전사된 mRNA의 염기 서열은 5′－AUG UAU AUA UGG AUA AAA UAA －3′이다. 따라서 아미노산 ㈎는 코돈 UGG가 암호화하는 트립토판이다.
③ ㉡ 염기 T이 G으로 바뀌게 되면 mRNA의 3번 코돈은 아이소류신을 암호화하는 5′－AUC－3′이 된다.
④ 폴리펩타이드 X의 종결 코돈은 5′－UAA－3′이다. 폴리펩타이드 C는 DNA의 ㉡ 염기 T이 결실된 상태에서 전사와 번역이 된 것이므로, 이때의 mRNA의 염기 서열은 5′－AUG UAU AUU GGA UAA AAU AA－3′이 된다. 따라서 폴리펩타이드 C의 종결 코돈은 5′－UAA－3′으로 폴리펩타이드 X의 종결 코돈과 같다.
⑤ 각 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산의 수는 폴리펩타이드 X는 6개, 폴리펩타이드 B는 6개, 폴리펩타이드 C는 4개이다. 폴리펩타이드 A에 대한 정보를 저장한 mRNA의 염기 서열은 5′－AUG UAU AU □AUG GAU AAA AUA A －3′으로 7개의 아미노산으로 구성된다. 따라서 폴리펩타이드 중 아미노산의 수가 가장 적어 펩타이드 결합의 수가 가장 적은 것은 C이다.

오답 피하기

② 폴리펩타이드 A는 7개의 아미노산으로 구성되어 있으므로 7개의 tRNA가 필요하다.

서술 · 논술형 문제

03. 유전자 발현 pp.082~083

1유전자 1효소설

비들과 테이텀은 붉은빵곰팡이의 돌연변이 실험을 근거로 하여 하나의 유전자가 한 가지 효소의 합성에 관여한다는 1유전자 1효소설을 확립하였다.

1. 1유전자 1효소설

모범 답안 | 1유전자 1효소설로부터 DNA의 유전자에는 특정 단백질에 대한 유전 정보가 저장되어 있다는 것을 알게 되었다.

알짜 풀이 | 여러 과학자들에 의해 DNA가 유전 물질이라는 것이 실험적으로 밝혀졌지만, DNA에 어떤 정보가 들어 있는지 알 수 없었다. 그러나 1유전자 1효소설을 통해 DNA의 유전자가 단백질 합성에 관여한다는 것이 밝혀졌다.

유전 정보의 중심 원리

DNA는 유전 정보를 저장하고 있고, 이것은 단백질의 아미노산 서열을 결정한다. 그러나 DNA로부터 직접 단백질이 합성되는 것이 아니라 RNA를 매개로 하여 일어난다. 따라서 유전 정보는 DNA → RNA → 단백질의 순서로 전달된다는 것이 유전 정보의 중심 원리이다.

2. 유전 정보의 중심 원리

모범 답안 | 원핵 세포를 나타낸 것이다. DNA로부터 RNA를 합성하는 전사와 단백질을 합성하는 번역이 세포질에서 동시에 일어나기 때문이다.

알짜 풀이 | 진핵 세포는 DNA가 막으로 싸인 핵 속에 있어서 단백질을 합성하는 장소와 분리되어 있다. 이 때문에 전사는 핵 속에서 일어나지만, 번역은 세포질에서 일어난다. 전사와 번역은 일어나는 장소뿐만 아니라 시간적으로도 차이가 난다. 그러나 제시된 그림에서는 전사와 번역이 같은 장소에서 동시에 일어나고 있으므로 DNA가 핵막으로 분리되어 있지 않은 원핵 세포를 나타낸 것이다.

트리플렛 코드(triplet code)

단백질을 구성하는 아미노산은 20여 종이 있으므로 DNA의 유전 암호는 최소한 20개 이상이어야 한다. 4종류의 염기가 3개씩 한 조가 되면 $64(=4^3)$개의 유전 암호를 만들 수 있으므로, 모든 아미노산의 종류에 대응하는 유전 암호를 만들 수 있다. 이때 3개의 염기로 이루어진 DNA 유전 암호를 트리플렛 코드라고 한다.

3. 유전 암호

모범 답안 | (1) DNA에는 염기 3개가 한 조가 되어 특정 아미노산을 암호화하는 방식으로 유전 정보가 저장되어 있다.

(2) 4종류의 염기가 조합을 이루어 90종의 아미노산을 지정하려면 최소한 유전 암호가 90개 이상이 되어야 한다. 따라서 4개의 염기가 한 조가 되어 아미노산을 지정하는 방식으로 유전 암호가 구성되어야 할 것이다.

알짜 풀이 | (1) DNA의 유전자에는 단백질에 대한 정보가 염기 서열로 저장되어 있고, 단백질의 종류와 특성은 아미노산 서열에 의해 결정된다. 따라서 DNA의 염기에 의한 유전 암호는 단백질을 구성하는 아미노산의 종류인 20가지 이상이 되어야 한다. 4가지 염기를 이용하여 1개의 염기가 아미노산을 지정하는 암호가 된다면 유전 암호는 4개밖에 안 되고, 2개의 염기가 묶여서 유전 암호가 된다면 유전 암호는 $16(=4^2)$개 밖에 안 된다. 3개의 염기가 묶여서 유전 암호가 된다면 유전 암호는 $64(=4^3)$개가 되어 20종류의 아미노산을 지정하기에 충분하다.

(2) 3개의 염기가 한 조가 되어 암호가 되는 방식으로는 최대 64개의 암호가 생기며, 이것으로는 90종의 아미노산을 모두 지정할 수 없다. 따라서 4개의 염기가 한 조가 되면 $256(=4^4)$개의 암호가 만들어지므로 90종의 아미노산을 모두 지정할 수 있게 된다.

4. 전사

모범 답안 | DNA 중합 효소는 DNA 2중 나선 두 가닥을 모두 주형으로 하여 DNA를 합성하지만, RNA 중합 효소는 DNA 두 가닥 중 한 가닥만을 주형으로 하여 RNA를 합성한다. DNA 중합 효소는 3′−OH에만 뉴클레오타이드를 결합시킬 수 있으므로 복제가 시작될 때 3′−OH를 제공할 프라이머가 필요하지만, RNA 중합 효소는 프라이머가 필요 없다. 또, DNA 중합 효소는 A, G, C, T 염기를 가진 디옥시리보뉴클레오타이드를 결합시키는 데 비해 RNA 중합 효소는 A, G, C, U 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 결합시킨다. 이러한 차이점은 있지만 두 효소 모두 5′ → 3′ 방향으로 뉴클레오타이드 사슬이 신장되게 한다는 공통점이 있다.

알짜 풀이 | DNA 중합 효소는 DNA 두 가닥을 모두 주형으로 하여 새로운 폴리뉴클레오타이드를 합성하며, 이때는 DNA를 구성하는 디옥시리보뉴클레오타이드를 결합시킨다. RNA 중합 효소는 DNA 두 가닥 중 한 가닥만을 주형으로 하여 리보뉴클레오타이드를 결합시켜 RNA 사슬을 합성한다. 그리고 RNA 중합 효소는 DNA 중합 효소와는 달리 3′−OH 말단을 제공하는 프라이머가 필요 없다.

5. 단백질 합성

모범 답안 | (1) 번역 과정에는 단백질에 대한 유전 정보를 저장한 mRNA 외에도 단백질 합성 장소인 리보솜, 단백질을 구성하는 20종류의 아미노산, 아미노산을 운반하는 tRNA, 아미노산과 tRNA의 결합에 필요한 에너지를 공급하는 ATP, 효소 등이 필요하다.

(2) 메싸이오닌−페닐알라닌−페닐알라닌−세린−세린−페닐알라닌

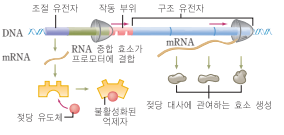
알짜 풀이 | 번역 과정에는 리보솜, mRNA, tRNA, 아미노산, ATP와 각종 효소 등이 필요하며, 번역은 mRNA의 개시 코돈부터 시작하여 5′ →3′ 방향으로 일어난다.

04 유전자 발현의 조절

개념 체크 p.101

A 원핵생물의 유전자 발현 조절

그림은 대장균에 있는 젖당 오페론의 작동을 모식도로 나타낸 것이다.

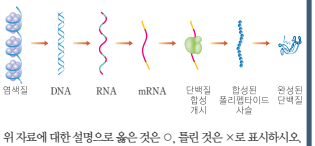


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 오페론은 조절 유전자, 프로모터, 작동 부위로 구성된다. (×)
2. 조절 유전자는 젖당 유무에 관계없이 항상 형질이 발현된다. (○)
3. 억제자는 작동 부위와 젖당 유도체에 동시에 결합할 수 있다. (×)
4. 억제자가 젖당 유도체와 결합하면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합할 수 있다. (○)
5. 젖당은 젖당 대사에 관여하는 효소들의 생성을 억제한다. (×)
6. 사람의 세포에서도 오페론이 발견된다. (×)

B 진핵생물의 유전자 발현 조절

그림은 진핵 세포에서 유전 정보가 전달되어 발현되는 과정을 나타낸 것이다.

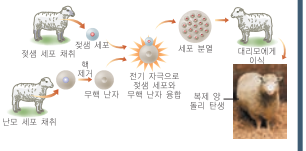


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 염색질이 응축되어 있을 때 RNA로의 전사가 활발하게 일어난다. (×)
2. DNA로부터 전사된 RNA가 성숙한 mRNA가 되는 과정은 핵에서 일어난다. (○)
3. RNA가 성숙한 mRNA가 되는 과정에서 엑손이 제거되고 인트론만 남는다. (×)
4. 리보솜에서 합성된 폴리펩타이드는 가공 과정을 거쳐 기능을 가지는 단백질이 된다. (○)

C 세포 분화와 유전자 발현의 조절

그림은 복제양 돌리의 탄생 과정을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 난자의 핵에는 완전한 개체를 형성하는 데 필요한 유전자가 모두 들어 있다. (×)
2. 첫샘 세포에는 완전한 개체를 형성하는 데 필요한 유전자가 모두 들어 있다. (○)
3. 세포 분화 과정에서 세포의 특정 기능에 관련된 유전자만 남고 나머지는 사라진다. (×)
4. 이 방법으로 얻어진 복제 양은 첫샘 세포를 제공한 양과 유전적으로 동일한 형질을 가진다. (○)
5. 분화된 세포에서 특정 유전자를 제외한 나머지 유전자는 조건이 달라지더라도 다시 발현되지 않는다. (×)

D 세포 분화의 조절 원리

그림은 섬유 아세포에 유전자를 도입한 결과를 나타낸 것이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 액틴 필라멘트 유전자와 마이오신 유전자는 근육 단백질을 암호화하는 유전자이다. (○)
2. 섬유 아세포에 도입된 마이오신 유전자는 형질이 발현되었다. (○)
3. *myoD* 유전자는 분화를 유도하는 핵심 조절 유전자이다. (○)
4. 자연적으로는 섬유 아세포에서 *myoD* 유전자가 발현되지 않는다. (○)
5. 특정 유전자의 발현에 의해 세포 분화가 일어날 수 있다. (○)

A 원핵생물의 유전자 발현 조절

01 오페론은 프로모터, 작동 부위, 구조 유전자로 구성되며, 조절 유전자는 오페론에 포함되지 않는다.

02 조절 유전자는 젖당 유무에 관계없이 항상 형질이 발현되어 억제자를 합성한다.

03 억제자는 작동 부위와 젖당 유도체에 결합할 수 있지만 동시에 결합할 수는 없다.

04 억제자가 젖당 유도체와 결합하여 작동 부위가 비게 되면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합할 수 있다.

05 젖당이 있으면 젖당 유도체가 만들어져 억제자와 결합함으로써 구조 유전자의 전사가 일어나도록 한다. 따라서 젖당은 젖당 대사에 관여하는 효소들의 생성을 유도한다.

06 오페론은 세균과 같은 원핵 세포의 유전자 발현 조절 방식으로, 하나의 조절 부위에 의해 여러 개의 관련된 유전자의 발현이 조절된다.

B 진핵생물의 유전자 발현 조절

01 염색질이 응축되어 있으면 RNA 중합 효소가 결합할 수 없어 전사가 일어나지 않는다.

02 DNA로부터 전사된 RNA가 가공 과정을 거쳐 성숙한 mRNA가 되는 과정은 핵에서 일어난다.

03 전사된 RNA는 인트론이 제거되고 엑손만 남는 과정을 거쳐 성숙한 mRNA가 된다.

04 리보솜에서 합성된 폴리펩타이드는 필요한 물질을 결합시키거나 불필요한 부위를 절단하는 등의 가공 과정을 거쳐 기능을 가지는 단백질이 된다.

C 세포 분화와 유전자 발현의 조절

01 난자 핵의 핵상은 n으로 이것만으로는 완전한 개체를 형성하지 못한다.

02 첫샘 세포는 체세포이므로 핵상이 $2n$이고, 이것에는 완전한 개체를 형성하는 데 필요한 유전자가 모두 들어 있어 복제 양을 만드는 데 이용된다.

03 분화된 첫샘 세포의 핵을 이용하여 완전한 개체를 발생시킬 수 있는 것은 분화 과정에서 유전자가 보존되기 때문이다.

04 형질을 결정하는 유전 물질은 핵 속에 있으므로 복제 양은 첫샘 세포를 제공한 양과 유전적으로 동일한 형질을 가진다.

05 분화되어 첫샘 세포가 된 세포를 핵을 제거한 난자에 넣어 적절한 자극을 주면 완전한 개체로 발생시킬 수 있는 것으로 보아 유전자의 발현은 조건에 따라 달라질 수 있다.

D 세포 분화의 조절 원리

01 액틴 필라멘트 유전자와 마이오신 유전자는 근육 단백질 합성에 관여한다.

02 섬유 아세포에 도입된 마이오신 유전자에 의해 근육 단백질이 합성되었으므로 이들 유전자는 형질이 발현되었다.

03 *myoD* 유전자에 의해 섬유 아세포가 근육 세포로 되었으므로 이것은 세포 분화를 유도하는 핵심 조절 유전자라는 것을 알 수 있다.

04 섬유 아세포는 피부와 같은 결합 조직에 많이 존재하는 세포로, 섬유 아세포가 자연적으로 근육 세포로 분화하지 않는 것은 *myoD* 유전자가 발현되지 않기 때문이다.

05 *myoD*와 같은 핵심 조절 유전자의 발현에 의해 세포 분화가 일어날 수 있다.

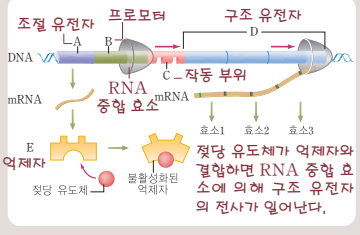
개념 확인 문제 pp.102~105

01. ⑤	02. ④	03. ㄱ, ㄴ	04. ②	05. ④	06. ①	07. ②
08. ④	09. ③	10. ③	11. ③	12. ⑤	13. ㉤	14. ②
15. ③	16. ②	17. ②, ④	18. ④	19. ②		

억제자
조절 유전자에 의해 만들어지는 단백질로서, 작동 부위에 결합하여 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하는 것을 방해하여 구조 유전자의 전사를 억제하는 물질이다.

01 ⑤ 오페론은 원핵생물의 유전자 발현 조절 방식으로 하나의 조절 부위에 의해 한 가지 대사 경로에 관여하는 여러 유전자의 발현이 한번에 조절되는 방식이다. 따라서 몇 가지 효소가 함께 합성되거나 합성이 억제될 수 있다. 이때 젖당 오페론과 같은 유도성 오페론의 경우 오페론 밖에 있는 조절 유전자는 항상 형질이 발현되어 억제자를 합성하는데, 이것이 작동 부위에 결합하면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합할 수 없어 구조 유전자(암호화 부위)의 전사가 일어나지 않는다.

젖당 오페론



02 ④ 조절 유전자(A)는 억제자(E)를 암호화하고, 프로모터(B)는 RNA 중합 효소가 결합하는 부위이다. 작동 부위(C)는 억제자가 결합하는 부위이고, 구조 유전자(D)는 젖당 분해에 관여하는 세 가지 효소를 암호화하는 부위이다. 억제자(E)가 젖당 유도체와 결합하면 불활성화되어 작동 부위(C)에 결합하지 못한다.

오답 피하기
① 조절 유전자(A)는 젖당 유무와 관계없이 항상 발현되어 억제자를 합성한다.

03 ㄱ, ㄴ
조절 유전자가 결실되면 억제자(E)가 합성되지 않아 젖당이 없어도 젖당 분해에 관여하는 효소(효소 1, 2, 3)가 계속 합성된다.

04 ② 포도당이 없고 젖당만 있으면 조절 유전자로부터 합성된 억제자가 젖당 유도체와 결합하여 불활성화된다. 그 결과 억제자가 작동 부위에 결합하지 못하여 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 구조 유전자의 전사가 일어난다.

오답 피하기
③ 조절 유전자는 젖당의 유무에 관계없이 항상 형질이 발현된다.

05 ④ ㄱ. (가) 시기에 대장균은 주로 포도당을 에너지원으로 이용하므로 포도당의 농도가 감소한다.
ㄷ. (다) 시기에 대장균은 젖당을 에너지원으로 하여 생장한다. 젖당을 에너지원으로 이용하기 위해서는 젖당 분해 효소(β 갈락토시데이스)에 의해 젖당을 포도당과 갈락토스로 분해하는 작용이 일어나야 한다.

오답 피하기
ㄴ. (나) 시기에 젖당 농도가 감소되기 시작하는 것은 젖당 유도체가 억제자와 결합하여 작동 부위가 비어 있는 상태가 된다는 것을 의미한다. 그 결과 RNA 중합 효소가 작동 부위에 결합하여 구조 유전자의 전사가 일어나 젖당 대사에 관여하는 효소들이 합성되기 시작한다.

유도성 오페론과 억제성 오페론
젖당 오페론은 젖당이 존재할 경우에만 젖당 이용에 필요한 효소가 생성되므로 유도성 오페론이라고 한다. 반면 트립토판 합성에 필요한 효소는 트립토판이 존재할 경우 트립토판 합성에 필요한 효소가 만들어질 필요가 없으므로 생성이 억제되는데, 이러한 오페론을 억제성 오페론이라고 한다.

06 ① 젖당 유도체는 억제자와 결합하여 억제자를 불활성화시켜 작동 부위에 결합하지 못하게 한다. 그 결과 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 구조 유전자가 전사되고 젖당 대사에 관여하는 효소들이 합성된다.

오답 피하기
②, ④ 트립토판은 억제자와 결합하여 억제자를 활성 상태로 만들어 작동 부위에 결합하게 만든다. 그 결과 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하지 못하여 구조 유전자의 전사가 일어나지 않게 되므로 트립토판 합성에 관여하는 효소가 합성되지 않는다.

③, ⑤ 억제자는 젖당 유도체와 작동 부위에 동시에 결합하지 못하므로 젖당 유도체가 억제자와 결합하면, 억제자가 불활성화되어 억제자는 작동 부위에 결합하지 못한다.

바소체

바소체는 여성의 X 염색체 중 하나가 응축되어 기능적으로 불활성화된 상태로, 이 염색체의 유전 정보는 발현되지 않는다. X 염색체의 불활성화는 배 발생 시에 나타나며, DNA 메틸화와 관계 있다.

07 ② 바소체는 X 염색체 하나가 응축되어 불활성화된 것으로, 이를 통해 암컷에서는 X 염색체의 전사물이 많아지는 것을 막는다. 이때 X 염색체의 응축은 부계 또는 모계에서 물려받은 것 중 어느 쪽인가에 관계없이 무작위로 일어난다.

08 ④ ④ 진핵 세포 DNA의 유전자에는 원핵 세포와는 달리 아미노산을 암호화하지 않는 부위인 인트론이 있다. 이 때문에 DNA로부터 1차 mRNA가 전사된 후 인트론이 제거되는 가공 과정을 거쳐 성숙한 mRNA가 된다.

오답 피하기

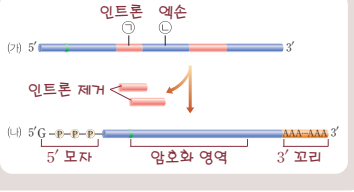
① mRNA 가공은 진핵 세포에서 일어난다. 대장균과 같은 원핵생물의 유전자에는 인트론이 없고 전사와 번역이 세포질에서 동시에 진행되므로 mRNA 가공이 일어나지 않는다.
② 오페론은 주로 원핵생물에서만 나타나는 형질 발현 조절 방식이다.
③ 기능이 연관된 몇 개의 유전자가 하나의 프로모터에 의해 조절되는 것은 오페론이며, 오페론은 원핵세포에서만 나타난다.
⑤ 염색질의 히스톤이 변형되어 느슨해지면 RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 일어날 수 있다.

09 ③ ㄱ. 진핵 세포 DNA의 유전자에서 엑손은 아미노산을 암호화하는 부위이고, 인트론은 아미노산을 암호화하지 않는 부위이다.
ㄷ. 인트론은 진핵 세포의 유전자가 가지는 특징으로, 원핵 세포인 세균의 유전자에는 없다.

오답 피하기

ㄴ. 인트론도 엑손과 함께 전사가 되지만, RNA 스플라이싱 과정에서 제거되어 성숙한 mRNA에는 존재하지 않는다.

mRNA 가공



10 ③ ① 제시된 자료는 mRNA 가공 과정을 나타낸 것으로, 진핵 세포의 핵 속에서 전사가 일어난 후 진행된다.
② 성숙한 mRNA에는 없는 ㉠은 인트론이고, 성숙한 mRNA에 있는 ㉡이 엑손이다.
④ (가)와 (나) 모두 RNA이므로 뉴클레오타이드로 이루어진 핵산이다.
⑤ (나)는 가공 과정을 거쳤으므로 번역이 일어날 수 있는 성숙한 mRNA이다.

오답 피하기

③ (가)와 (나) 모두 RNA이며, 그림은 (가)를 가공하여 (나)와 같이 성숙한 mRNA를 만드는 과정이다. 전사는 DNA로부터 RNA를 합성하는 과정이다.

11 ③ ㄱ. ㉠은 뉴클레오솜이며, DNA와 히스톤으로 구성된다.
ㄴ. (가)는 염색질이 응축된 상태이며, 아세틸기가 붙어 (나)와 같이 염색질이 느슨해지면 RNA 중합 효소가 결합할 수 있어 전사가 일어난다.

오답 피하기

ㄷ. DNA에 메틸기가 결합되어 (가)와 같이 염색질이 응축된 상태에서는 RNA 중합 효소가 결합할 수 없어 RNA 합성이 일어나지 않는다.

초파리의 거대 염색체

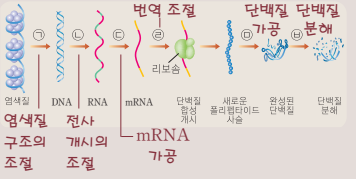
초파리 유충의 침샘에서는 염색체가 여러 번 복제된 후 분리되지 않아 보통 염색체보다 수백 배 큰 거대한 염색체가 만들어진다. 이 염색체에는 유전자의 가로무늬 띠가 선명하게 나타나는데, 이 중에서 특히 부푼 곳을 퍼프라고 한다. 퍼프는 유전자의 전사가 활발하게 일어나는 부위를 나타낸다.

12 ⑤ ㄱ, ㄴ. 발생 단계에 따라 염색체에서 퍼프의 위치가 달라진다는 것은 발생 단계에 따라 발현되는 유전자가 달라진다는 것을 의미한다.
ㄷ. 퍼프는 염색질이 느슨해지고 RNA로의 전사가 활발하게 일어나는 부위를 나타낸다.

13 ㉤ 리보솜에서 합성된 단백질이 헴과 결합하여 기능을 할 수 있는 완성된 단백질로 되는 과정은 ㉤에 해당한다.

진핵 세포의 유전자 발현 과정

진핵 세포는 전사와 번역 및 그 전후 단계의 조절을 통해 세포의 종류에 따라 유전자가 차별적으로 발현되며, 생성되는 단백질의 종류와 양이 결정된다.



14 ② ① ㉠은 염색질이 느슨해지는 것이고, ㉡은 DNA로부터 RNA 합성이 일어나는 전사이며, ㉢은 1차 전사된 RNA를 성숙한 mRNA로 가공하는 과정이다. 이러한 과정은 모두 핵 속에서 일어난다.

③ ㉢은 RNA 스플라이싱을 포함한 RNA 가공 과정, ㉤은 번역 직후의 폴리펩타이드 사슬을 가공하여 기능을 갖춘 단백질을 만드는 단백질 가공 과정을 나타낸 것이다.

④ 소형 RNA 중에는 mRNA에 결합하여 번역을 억제하거나 분해하는 작용을 하는 것이 있다. 따라서 소형 RNA에 의해 ㉣ 과정이 억제될 수 있다.

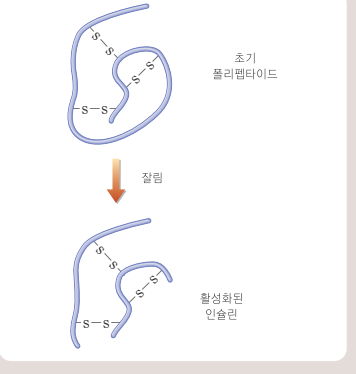
⑤ 단백질의 선택적 분해는 번역과 단백질의 가공이 일어난 후에 일어나므로 ㉥에 해당한다.

오답 피하기

② ㉡에서 주형 DNA 가닥의 일부분만을 RNA로 전사하므로 전체 길이는 주형 DNA 가닥이 길다.

인슐린의 활성화

합성된 긴 초기 폴리펩타이드가 절단되어 두 개의 짧은 폴리펩타이드가 연결된 상태가 되어야 기능을 할 수 있다.



15 ③ ㄱ. (가) 염색질의 히스톤 변형을 통해 유전자의 전사 여부가 결정된다.

ㄴ. (나)는 번역이 일어난 후 폴리펩타이드가 가공되어 기능을 갖춘 단백질이 되는 것을 나타낸다. 이 과정을 조절하면 특정 기능을 갖춘 단백질의 양이 조절될 수 있다.

오답 피하기

ㄷ. (다)는 RNA의 인트론을 제거하는 RNA 스플라이싱으로, 주로 진핵 세포의 핵에서 일어난다.

16 ② 캘러스는 미분화된 세포 덩어리이며(ㄱ), 적절한 처리에 의해 특정 기능을 가지는 세포로 분화될 수 있다. 캘러스는 분화된 당근 뿌리의 형성층으로부터 얻어졌으며, 완전한 개체를 만들 수 있으므로 분화된 세포의 핵에는 식물의 발생에 필요한 모든 유전자가 들어 있다(ㄷ). 따라서 (가)와 (나)를 구성하는 세포의 유전자는 동일하다(ㄴ).

17 ②, ④

① MyoD 단백질은 마이오신 유전자와 액틴 유전자의 발현을 조절하는 전사 인자를 합성하도록 하는 전사 촉진 인자로, MyoD 단백질을 암호화하는 *myoD* 유전자는 근육 세포 분화의 핵심 조절 유전자이다.

③ 근육 모세포의 분화 과정에서 마이오신과 액틴 같은 근육 세포 특이적인 단백질이 합성된다.

⑤ *myoD* 유전자는 근육 세포의 분화에 필요한 마이오신과 액틴 단백질의 합성을 조절하는 전사 인자를 암호화하는 조절 유전자를 조절하는 상위 유전자이므로, 이 유전자가 발현되지 않으면 근육 모세포가 근육 세포로 분화되지 않는다.

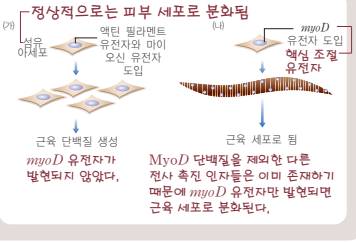
오답 피하기

② 마이오신 유전자와 액틴 유전자는 근육을 구성하는 단백질을 암호화한다. 전사 인자는 조절 유전자에 의해 암호화되어 있다.

④ Myo D 단백질은 근육 세포 특이적인 단백질인 마이오신과 액틴의 유전자 전사를 직접 조절하는 것이 아니라, 이들 단백질 유전자의 전사를 조절하는 전사 인자의 생성을 촉진한다.

근육 세포의 분화

섬유 아세포는 주로 피부를 구성하는 세포로, 정상적으로는 근육 세포로 분화되지 않는다. 그러나 *myoD* 유전자를 도입하면 근육 세포로 분화된다.



18 ④ ㄴ. (가)의 섬유 아세포에서 근육 단백질인 마이오신이 합성되었으므로 마이오신 유전자의 형질이 발현되었다.

ㄷ. *myoD* 유전자가 발현되지 않은 (가)의 경우에는 근육 특이적인 단백질을 합성할 수는 있지만 근육 세포로 분화되지는 않는다. 그러나 *myoD* 유전자가 발현된 (나)의 경우에는 섬유 아세포가 근육 세포로 분화되었으므로 *myoD* 유전자는 세포의 분화를 조절하는 핵심 조절 유전자이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 근육 단백질이 생성되었지만 근육 세포로 분화하지 않았다. 즉 근육 단백질이 생긴다고 해서 근육 세포로 분화되는 것은 아니다.

19 ② ㄴ. 배 발생 과정에서 세포가 서로 다른 조직이나 기관을 구성하는 세포로 분화하는 것은 특정 유전자의 발현이 발생 시기에 따라 조절되기 때문이다. 따라서 다리가 형성될 세포군에서 발현되지 않아야 할 *ey* 유전자가 인위적으로 삽입되면 다리에 눈 구조가 생기는 것과 같은 돌연변이 개체가 생길 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. *ey* 유전자의 삽입으로 다리에 눈 구조가 형성되었으므로 이 유전자는 눈 형성의 핵심 조절 유전자이다.

ㄷ. *ey* 유전자의 삽입으로 다리에서 눈 구조가 형성될 수 있는 것은 하나의 수정란으로부터 서로 다른 기관을 형성하도록 분화가 일어났더라도 유전자 구성이 변하지 않고 동일하기 때문이다. 즉, 세포의 분화는 특정 유전자의 발현 여부에 의해 결정되는 것이지 특정 유전자만이 남고 다른 유전자는 사라지기 때문은 아니다.

개념 활용 문제

pp.106~109

01. ① 02. ① 03. ③ 04. ③ 05. ③ 06. ① 07. ① 08. ②

오페론

서로 연관된 기능을 가진 유전자들이 모인 것으로, 유전자 발현 과정을 조절하는 프로모터, 작동 부위, 구조 유전자 등의 유전자 집단을 말하며, 원핵생물에만 존재한다.

01 ① ㄱ. A는 억제자로 조절 유전자로부터 합성된다. 조절 유전자는 젖당 유도체의 유무에 관계없이 항상 형질이 발현되어 억제자(A)를 생성한다.

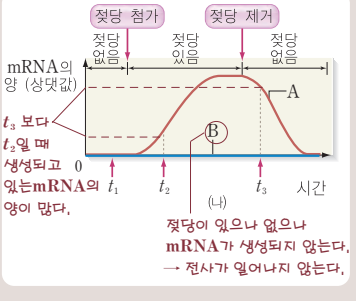
ㄷ. A 억제자는 젖당 유도체나 DNA의 작동 부위에 결합할 수 있지만, 두 가지와 동시에 결합할 수는 없다.

오답 피하기

ㄴ. 프로모터는 RNA 중합 효소가 결합하는 부위이다. 효소 I을 암호화하는 염기 서열은 RNA로 전사되는 구조 유전자에 있다.

ㄹ. B는 젖당 대사에 관여하는 효소 I, II, III의 정보를 가지고 있는 mRNA이다. 원핵 세포는 막으로 싸인 핵이 없기 때문에 전사와 번역이 세포질에서 일어나므로 B의 합성 장소와 효소 I의 합성 장소는 핵막으로 분리되어 있지 않다.

젖당 오페론의 돌연변이



02 ① ㄱ. A는 야생형의 대장균이므로 젖당 오페론이 정상적으로 작동한다. t_1일 때는 젖당이 없지만 조절 유전자는 젖당의 유무와 관계없이 항상 형질이 발현되어 억제자가 합성된다.

오답 피하기

ㄴ. 젖당 유도체가 억제자와 결합하여 억제자가 작동 부위에 결합하지 않을 때 RNA 중합 효소에 의해 구조 유전자의 전사가 일어난다. 따라서 젖당이 있는 t_2일 때가 젖당이 없는 t_3일 때보다 RNA 중합 효소의 작용이 활발하고, 구조 유전자로부터 생성되고 있는 mRNA의 양이 많다.

ㄷ. 조절 유전자에 돌연변이가 생긴 B는 젖당이 있더라도 mRNA가 합성되지 않는다. 이것은 조절 유전자의 돌연변이로 합성된 억제자 구조에 이상이 생겨, 억제자가 작동 부위에 결합한 상태로 분리되지 않아 RNA 중합 효소가 프로모터와 결합하지 못하여 전사가 일어나지 않는 경우라고 추론할 수 있다.

03 ③ ㄷ. A는 조절 유전자, B는 프로모터, C는 작동 부위, D는 구조 유전자이다. 시험관 II에서 젖당 유도체가 억제자와 결합하여 작동 부위가 비게 되면 RNA 중합 효소가 프로모터(B)에 결합된 후 C를 지나 D로 이동하여 mRNA를 전사한다. 이 mRNA가 번역되어 젖당 분해 효소가 생성된다.

오답 피하기

ㄱ. 오페론은 프로모터+작동 부위+구조 유전자이므로 B+C+D이다.

ㄴ. 시험관 I의 대장균에서 젖당 분해 효소가 생성되지 않은 것은 젖당이 없어서 억제자가 작동 부위에 결합된 상태이기 때문이다. 이 때문에 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합할 수 없어 구조 유전자의 전사가 일어나지 않아 젖당 분해 효소가 합성되지 않았다. 조절 유전자(A)의 전사는 젖당의 유무에 관계없이 항상 일어난다.

진핵 세포의 유전자 발현 조절

진핵 세포는 유전자 발현 조절을 통해 적절한 시기에 특정 유전자가 발현되도록 하여 특정 단백질의 생성과 양을 조절한다.

04 ③ ㄱ. 애기장대의 FLC의 유전자가 발현되면 개화가 억제되므로 이 유전자는 개화를 억제하는 기능을 한다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 생물의 형질 발현은 단백질을 통해 이루어지므로 형질 발현을 조절하는 전 과정은 결국 세포 내 특정 단백질의 생성과 양을 조절함으로써 이루어진다.

오답 피하기

ㄴ. (나)는 소형 RNA가 mRNA와 결합하여 mRNA의 분해를 촉진함으로써 번역을 조절하는 과정이다. (다)는 mRNA와 리보솜의 결합과 개시를 촉진함으로써 단백질의 양을 조절하는 과정이다. mRNA의 합성을 조절하는 과정은 핵 속의 DNA에서 mRNA의 전사량을 조절하는 방식으로 이루어진다.

05 ③ ㄷ. *tra* 유전자의 전사 후 RNA 스플라이싱이 일어날 때 엑손 B가 포함되면 수컷이 되고, 엑손 B가 포함되지 않으면 암컷이 된다. 즉, 선택적 RNA 스플라이싱이 초파리의 성 결정에 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 성숙한 mRNA에 포함되어 있는 것은 엑손이다. 따라서 *tra* mRNA에 있는 A, B, C, D는 모두 엑손에 해당한다. 성숙한 mRNA에서 사라진 A와 B 사이, C와 D 사이에 있는 부분이 인트론이다.

ㄴ. *tra* mRNA에 B가 포함되더라도 번역은 일어나 단백질은 생성되지만 단백질의 기능이 없다.

핵심 조절 유전자

핵심 조절 유전자는 필요한 유전자만 선택적으로 발현시키는 조절 유전자 중 가장 상위의 조절 유전자이다. 핵심 조절 유전자가 발현되면 그 하위 조절 유전자들이 연속적으로 발현되어 유전자 조절 과정이 연속적으로 일어난다.

06 ① ㄷ. 배아 발생 단계에서 *antp*, *ubx*, *ey*와 같은 핵심 조절 유전자의 발현 여부에 따라 기관의 형성이 결정된다는 것을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. *antp*와 *ey* 유전자는 전사 인자를 암호화하며, 세포들의 분화와 기관 결정에 결정적인 영향을 주는 핵심 조절 유전자이다. 핵심 조절 유전자는 하위 조절 유전자의 발현을 조절함으로써 세포가 분화되도록 한다.

ㄴ. 세포는 분화가 될 때 유전자가 손상되는 것이 아니므로 *ubx* 유전자는 날개를 형성할 세포뿐 아니라 모든 세포에 존재한다.

젖당 오페론

젖당 오페론은 원핵 생물인 대장균의 대표적인 유전자 발현 조절 체계로, 대장균의 최우선 먹이는 호흡 과정에 곧바로 이용할 수 있는 포도당이다. 하지만 포도당이 없고 젖당이 존재하면, 젖당으로부터 영양분을 공급받기 위해 특정 유전자를 발현시킨다. 그러나 포도당이 존재하면 젖당이 존재해도 젖당 오페론에서 젖당 대사를 위해 필요한 유전자는 발현되지 않는다.

07 ① ㄱ. 조절 유전자(R)가 결실된 대장균은 억제자를 합성하지 못하므로 젖당이 없어도 젖당 대사에 관여하는 효소를 합성한다. 따라서 젖당을 에너지원으로 사용하여 60분에도 계속 세포 수가 증가할 것이다.

ㄴ. 프로모터(P)는 RNA 중합 효소가 결합하는 부위이다. 따라서 이 부위에 돌연변이가 일어나면 RNA 중합 효소가 결합하지 못하여 젖당 대사에 관여하는 효소를 합성하지 못한다. 그러나 대장균은 30분 정도까지는 배지의 포도당을 이용하여 생장할 수 있으므로 세포 수는 처음보다 증가한다.

오답 피하기

ㄷ. 작동 부위(O)에 돌연변이가 일어나 억제자가 결합하지 못하면 프로모터에 RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 일어나 젖당 대사에 관여하는 효소가 합성된다. 따라서 대장균은 90분에도 계속 생장한다.

ㄹ. *lac*Z는 젖당 분해 효소(β 갈락토시데이스)를 암호화하는 부위이므로 여기에 돌연변이가 일어나면 젖당 분해 효소가 정상적으로 생성되지 않는다.

08 ② ㄱ. *myoD* 유전자는 다른 조절 유전자의 전사를 조절하는 전사 인자를 암호화한다. 따라서 핵심 조절 유전자이다.

ㄴ. *myoD* 유전자로부터 합성되는 MyoD 단백질은 전사 인자로서 DNA에 결합하여 다른 조절 유전자의 mRNA 전사 여부를 조절한다.

오답 피하기

ㄷ. 피부 세포는 마이오신 유전자가 없어서가 아니라 마이오신 유전자의 형질 발현이 일어나도록 촉진하는 전사 인자가 합성되지 않기 때문에 마이오신 단백질이 만들어지지 않는 것이다. 따라서 근육 단백질의 발현을 조절하는 핵심 조절 유전자인 *myoD* 유전자가 발현된다면 마이오신이 합성될 수도 있다.

서술 · 논술형 문제

04. 유전자 발현의 조절 pp.110~111

대장균의 에너지원

일반적으로 대장균은 포도당이 있으면 포도당을 흡수하여 에너지원으로 사용하지만, 포도당이 없고 젖당만 존재할 경우에는 젖당 대사에 관여하는 효소를 합성하여 이당류인 젖당을 포도당과 갈락토스로 분해하여 에너지원으로 사용한다. 이때 대장균이 젖당을 체내로 흡수하여 에너지원으로 이용하려면 젖당 분해 효소, 젖당 투과 효소, 아세틸기 전이 효소가 동시에 필요하므로 이 세 가지 효소의 유전자가 함께 존재하여 동시에 발현되거나 억제된다. 이와 같이 젖당의 유무에 따라 대장균이 젖당 대사에 관여하는 효소들의 생산을 조절하는 것을 젖당 오페론이라고 한다.

1. 젖당 오페론

모범 답안 | (1) 프로모터는 RNA 중합 효소가 결합하는 DNA의 특정 부위이다.

(2) 젖당 유도체가 억제자와 결합하여 작동 부위가 비게 되면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 구조 유전자의 전사가 일어나 젖당 대사에 관여하는 효소들이 합성된다.

(3) ① 조절 유전자에 이상이 생기면 억제자가 생성되지 않아 젖당 분해 효소가 합성되며, 대장균은 배지의 젖당을 에너지원으로 이용하여 생장한다.

② 프로모터가 결실되면 RNA 중합 효소가 결합하지 못하므로 구조 유전자의 전사가 일어나지 않아 젖당 분해 효소가 생성되지 않는다. 그 결과 젖당만 있는 배지에서는 대장균이 생장하기 어렵다.

③ 작동 부위에 억제자가 결합하지 못하면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 구조 유전자를 전사하여 젖당 분해 효소가 합성되며, 대장균은 배지의 젖당을 에너지원으로 이용하여 생장한다.

알짜 풀이 | 조절 유전자는 억제자를 암호화하는 부위로 젖당의 유무에 관계없이 형질이 발현된다. 조절 유전자가 결실되면 억제자가 생성되지 않으므로 젖당이 없어도 젖당 분해 효소가 합성된다. 프로모터는 RNA 중합 효소가 결합하는 부위이다. RNA 중합 효소는 작동 부위에 억제자가 결합하지 않았을 때 프로모터에 결합하여 구조 유전자를 전사한다. 따라서 프로모터가 결실되면 RNA 중합 효소가 결합하지 못하고, 구조 유전자의 전사도 일어나지 않아 젖당 분해 효소가 합성되지 않는다. 작동 부위는 억제자가 결합하는 부위이다. 억제자는 젖당이 없으면 작동 부위에 결합하여 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하는 것을 막는데, 만일 억제자가 작동 부위에 결합하지 못하면 RNA 중합 효소에 의해 구조 유전자가 전사된다.

2. 진핵생물의 유전자 발현 조절

모범 답안 | (1) 퍼프가 나타나는 부위는 염색질이 느슨하고, 퍼프가 나타나지 않는 부위는 염색질이 응축되어 있다.

(2) 유전자는 염색체의 특정 부위에 있는데, 발생 시간에 따라 퍼프의 위치가 변한다는 것은 발현되는 유전자가 달라진다는 것을 의미한다.

(3) • 전사 조절: 전사될 부분의 염색질은 느슨하게 만들고, 그렇지 않은 부분은 응축시켜 전사 여부를 조절한다. 또, 유전자의 전사에는 여러 가지 전사 인자들이 필요한

데, 이러한 전사 인자의 생성과 결합을 조절함으로써 전사가 조절된다.

- 전사 후 조절 : 진핵 세포의 유전자에는 아미노산을 암호화하지 않는 인트론이 있다. 전사된 1차 mRNA는 RNA 스플라이싱을 통해 인트론이 제거되고, 가공 과정을 거쳐 성숙한 mRNA가 된다.
- 번역 조절 : mRNA 번역에 필요한 리보솜, 아미노산이 결합된 tRNA 등의 접근성에 의해 번역 속도가 조절된다.
- 번역 후 조절 : 단백질은 가공 과정을 거쳐 기능을 갖춘 단백질이 되며, 단백질의 분해 속도를 조절하여 특정 단백질의 양을 조절한다.
- 퍼프는 염색질의 상태 변화를 통해 DNA의 특정 유전자의 발현을 조절하는 것이므로 전사 조절 단계에 해당한다.

알짜 풀이 | 유전자 발현은 전사와 번역 및 그 전후 단계의 조절을 통해 특정 단백질의 생성과 양을 조절함으로써 이루어진다. 유전자는 염색체의 특정 위치에 존재하며, 퍼프 부위는 RNA로 전사가 활발한 부위이다. 발생 시기에 따라 퍼프의 위치가 달라진다는 것은 발현되는 유전자가 달라진다는 것을 의미하며, 이것은 전사를 조절하는 단계에 해당한다.

세포 분화와 유전자

세포 분화가 일어나더라도 분화된 세포가 가진 DNA의 유전자는 손실되는 것이 아니라 분화되기 전과 동일하며, 분화된 세포가 서로 다른 특성을 가지는 이유는 세포마다 발현되는 유전자가 달라 각 세포 특성에 맞는 단백질을 생성하기 때문이다.

3. 세포 분화와 유전자 발현 조절

모범 답안 | (1) 분화된 젖샘 세포를 무핵 난자와 융합시켜 완전한 개체를 얻었으므로 세포 분화와 발생 과정에서 세포의 유전자 구성은 수정란과 같은 상태로 보존된다.
(2) 세포가 분화되기 위해서는 *myoD* 유전자와 같은 핵심 조절 유전자가 발현되어야 하며, 이와 함께 여러 전사 조절 인자들의 조합이 가능해야 한다.

알짜 풀이 | (가)는 세포 분화 과정에서 유전자가 손실되지 않는다는 것과 분화된 세포의 핵도 완전한 배 발생에 필요한 유전자를 모두 가진다는 것을 보여 준다. (나)는 세포의 분화에는 *myoD* 유전자와 같은 핵심 조절 유전자의 발현이 중요하다는 것을 보여 주며, (다)는 핵심 조절 유전자가 발현되더라도 그에 필요한 다양한 전사 인자들이 있어야 세포가 분화된다는 것을 보여 준다.

4. 기관 형성과 유전자 발현 조절

모범 답안 | 발생 과정에서 날개 형성을 조절하는 핵심 조절 유전자에 돌연변이가 생겼기 때문이다. 기관의 형성 발생에는 여러 전사 인자들의 연쇄적 작용으로 나타나는 유전자 발현 양상이 매우 중요하며, 각 기관 형성에 필요한 유전자의 발현을 조절하는 핵심 조절 유전자는 세포의 분화와 기관 형성에 특히 중요한 영향을 준다.

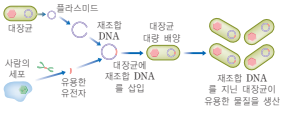
알짜 풀이 | 생물의 기관을 형성하는 과정에서 핵심 조절 유전자가 발생 초기의 배아 단계에서 발현되어 각 기관 형성에 필요한 여러 유전자의 발현을 조절함으로써 기관 형성이 유도된다.

01 생명 공학 기술

개념 체크 p.133

A DNA 재조합

그림은 DNA 재조합 과정을 나타낸 것이다.

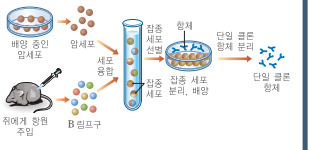


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 플라스미드는 대장균의 주염색체이다. (×)
2. 플라스미드와 유용한 유전자가 포함된 DNA를 같은 제한 효소로 자른다. (○)
3. 재조합 DNA를 만들 때 DNA 중합 효소가 필요하다. (×)
4. 대장균은 한 주기가 길어서 숙주 세포로 적합하다. (×)
5. 대장균이 증식할 때 재조합 DNA도 복제된다. (○)
6. 재조합 DNA를 가진 대장균을 선별하기 위해서는 플라스미드를 가지고 있는 대장균을 숙주 세포로 사용한다. (×)

B 단일 클론 항체

그림은 단일 클론 항체를 만드는 과정을 나타낸 것이다.

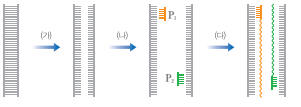


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 쥐에게 항원을 주입하는 이유는 항체를 얻기 위해서이다. (×)
2. 암세포는 항체를 합성할 수 있다. (×)
3. B 림프구는 암세포보다 수명이 짧다. (○)
4. 잡종 세포를 선별할 때 선택 배지에서 오래 배양하면 융합되지 않은 암세포와 B 림프구가 제거된다. (○)
5. 잡종 세포의 항체 생성 능력은 B 림프구로부터 유래된 것이다. (○)

C 중합 효소 연쇄 반응

다음은 PCR을 이용하여 DNA를 증폭시키는 과정을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. DNA의 특정 부위를 다량으로 얻고자 할 때 이용된다. (○)
2. (가)는 95℃ 정도의 고온에서 진행되는 변성 과정이다. (○)
3. (가)에 의해 DNA 2중 나선의 수소 결합이 끊어지고 DNA는 단일 가닥으로 된다. (○)
4. (나)는 (가)보다 고온에서 진행되어야 한다. (×)
5. P_1과 P_2는 서로 다른 프라이머이다. (○)
6. (다)에서 DNA 중합 효소가 관여한다. (○)
7. (가)~(다) 과정이 10회 반복되면 DNA는 100배 증폭된다. (×)

D 줄기 세포

그림은 줄기 세포를 만드는 과정을 나타낸 것이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 줄기 세포를 만드는 과정에서 핵치환 기술이 이용되었다. (○)
2. 환자가 남자일 경우 줄기 세포는 Y 염색체를 가진다. (○)
3. (가)의 핵상은 $2n$이다. (○)
4. (나)의 줄기 세포는 신체의 모든 기관을 이루는 세포로 분화될 수 있다. (○)
5. (나)의 유전자 구성은 체세포를 제공한 환자와 동일하다. (○)
6. (나)를 분화시켜 얻은 조직은 난자를 제공한 사람에게 이식하면 면역 거부 반응이 일어나지 않는다. (×)
7. 이 방법으로 얻은 줄기 세포는 성체 줄기 세포이다. (×)

A DNA 재조합

01 플라스미드는 대장균을 비롯한 각종 세균 속에 주염색체와 별도로 존재하는 고리 모양의 DNA이다. 플라스미드는 생존에 필수적이지 않고 다른 세포로 전달될 수 있으며, 자기 복제가 가능하기 때문에 DNA의 운반체로 사용된다.

02 플라스미드와 공여체 DNA는 같은 제한 효소로 잘라야 잘린 DNA 절편의 염기가 서로 상보적으로 결합할 수 있다.

03 재조합 DNA를 만들 때는 DNA 절편을 이어 주는 DNA 연결 효소가 필요하다.

04 대장균을 DNA의 숙주 세포로 사용하는 이유는 한 주기가 짧기 때문이다.

05 대장균이 증식할 때 재조합 DNA도 복제된다.

06 재조합 DNA를 가진 대장균을 선별하기 위해서 플라스미드가 없는 대장균을 숙주 세포로 사용한다.

B 단일 클론 항체

01 쥐에게 항원을 주입하는 이유는 항체를 생산하는 B 림프구를 얻기 위해서이다.

02 암세포는 항체를 합성하지 못하지만 빠르게 분열할 수 있다.

03 B 림프구는 암세포보다 수명이 짧고 분열하지 않는다.

04 완전 배지에서 세포 융합을 실시한 후 선택 배지로 옮겨 배양하면 먼저 선택 배지에서 생존할 수 없는 암세포가 제거되고, 15일 이상 배양하면 수명이 10일 정도인 B 림프구가 제거되어 잡종 세포만 선별할 수 있다.

05 잡종 세포의 항체 생성 능력은 B 림프구로부터 유래된 것이고, 빠르게 분열하고 수명이 긴 것은 암세포로부터 유래된 것이다.

C 중합 효소 연쇄 반응

01 PCR은 DNA의 특정 부위를 반복적으로 복제하여 다량의 DNA를 얻는 기술이다

02 (가)는 95℃ 정도의 고온으로 만들어 DNA 2중 나선을 두 가닥으로 분리하는 변성 과정이다.

03 (가)에서 DNA 2중 나선의 수소 결합이 끊어지고 단일 가닥으로 분리된다.

04 (나)는 프라이머를 결합시키는 단계로 (가)보다는 낮은 온도에서 진행되어야 한다.

05 P_1과 P_2는 각기 다른 염기 서열을 가지는 프라이머이다.

06 (다)에서 DNA 중합 효소에 의해 DNA 사슬이 길어진다.

07 (가)~(다) 과정이 10회 반복되면 DNA는 $2^{10}(=1,024)$배 증폭된다.

D 줄기 세포

01 환자의 체세포 핵을 무핵 난자에 넣는 과정에는 핵치환 기술이 사용되었다.

02 환자가 남자라면 핵을 주입하여 만든 줄기 세포에 Y 염색체가 있다.

03 (가)는 환자의 체세포를 주입하여 만들었으므로 핵상은 체세포와 동일한 $2n$이다.

04 (나)의 줄기 세포는 배아 줄기 세포이므로 신체의 모든 기관을 이루는 세포로 분화될 수 있다.

05 (나)의 줄기 세포는 유전자 구성이 핵을 제공한 환자와 동일한 복제 줄기 세포이다.

06 (나)를 분화시켜 얻어진 조직은 체세포를 제공한 사람과 유전자 구성이 동일하므로 체세포를 제공한 사람에게 이식하면 면역 거부 반응이 일어나지 않는다. 그러나 난자를 제공한 사람에게 이식하면 면역 거부 반응이 일어난다.

07 이 방법으로 얻은 줄기 세포는 복제 배아 줄기 세포이다.

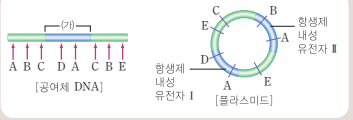
개념 확인 문제 pp.134~137

01. ①	02. ⑤	03. ②	04. ②	05. ②	06. ⑤	07. ①
08. ②	09. ③	10. ⑤	11. ㄴ	12. ⑤	13. ③	14. ⑤
15. ③	16. ①	17. ④	18. ①	19. ㄷ	20. ⑤	

01 ① DNA를 재조합할 때는 재조합하고자 하는 사람의 DNA와 플라스미드를 자른다.

02 ⑤ 제한 효소마다 인식하는 염기 서열과 절단 부위가 다르며, 절단된 말단의 염기 서열도 다르다. 따라서 DNA 재조합을 할 때는 공여체 DNA와 운반체 DNA를 동일한 제한 효소로 잘라야 말단의 염기 서열이 같아 염기 간 상보적 결합을 이룰 수 있다.

DNA 재조합



03 ② 제한 효소는 공여체 DNA를 절단하지 않아야 하므로 B, C, E 중에 선택해야 한다. 그리고 재조합 DNA를 선별하기 위해서는 운반체로 사용하고자 하는 플라스미드의 항생제 내성 유전자 Ⅰ, Ⅱ 중 한 개만 절단하는 것이 좋으므로 B를 사용하는 것이 가장 적합하다.

04 ② ㄱ, ㄷ. 플라스미드는 스스로 복제할 수 있으며 세포 안팎으로 드나들기 쉽고, 항생제 내성 유전자를 가지고 있어 재조합 DNA를 선별하는 데 유용하다.

오답 피하기

ㄴ, ㄹ. 플라스미드는 세균의 주염색체와는 별도로 존재하므로 이를 조작하여 숙주 세포로 삽입하거나 추출하는 것이 용이하다. 플라스미드를 추출, 삽입할 때 제한 효소와 DNA 연결 효소는 사용하지 않는다.

플라스미드를 운반체로 사용하는 이유

① 복제 원점이 있어 스스로 복제가 가능하다.
② 제한 효소로 자를 수 있다.
③ 항생제 내성 유전자를 가지므로 재조합 DNA를 가진 숙주 세포를 선별할 수 있다.
④ 세균의 생존에 필수적이지 않으며, 세포 내로 도입하기 쉽다.
⑤ 각종 세균 속에 플라스미드의 수가 많으며, 쉽게 분리 · 정제할 수 있다.

05 ② ㄴ. 제시된 그림은 DNA 재조합 기술을 나타낸 것이다. 이러한 기술은 인터페론과 같이 유용한 물질을 대장균으로부터 생산하는 데 이용된다.

오답 피하기

ㄱ, ㄷ. 가지와 감자가 동시에 열리는 식물의 생산에는 세포 융합 기술이 이용되며, 우량 젖소와 동일한 형질을 가지는 복제 젖소의 생산에는 핵치환 기술이 이용된다.

클로닝(Cloning)

한 세포로부터 유래된 유전적으로 동일한 집단을 클론이라고 하며, 클론을 만드는 과정을 클로닝이라고 한다.

06 ⑤ DNA 클로닝은 동일한 DNA를 복제하여 대량으로 생산하는 것으로, 유전자에 대한 기초 연구, 유전자를 이용한 형질 전환 생물의 생산, 인슐린과 같은 특정 단백질의 대량 생산 등에 이용된다.

오답 피하기

⑤ 종이 다른 생물의 DNA를 재조합하는 것은 DNA 재조합 기술로 제한 효소와 DNA 연결 효소가 필요하다.

07 ① DNA 재조합 기술을 이용하여 물고기의 부동 단백질 유전자를 가진 식물을 만들기 전에 물고기의 부동 단백질이 식물체를 추위에 견딜 수 있게 하는 효과가 있는지를 먼저 확인해야 한다. 그러므로 (가) 이전에 이러한 실험을 실시하여 부동 단백질의 효과성을 확인한다.

08 ② ㄱ. 재조합하고자 하는 플라스미드와 인슐린 유전자가 포함된 DNA는 동일한 제한 효소로 잘라야 점착말단이 같아서 연결할 수 있다.
ㄴ. DNA 재조합을 할 때 플라스미드의 테트라사이클린 내성 유전자를 절단하고 인슐린 유전자를 삽입하였다. 따라서 재조합 DNA를 가진 세균은 앰피실린을 넣은 배지에서는 군체를 형성하지만, 테트라사이클린을 넣은 배지에서는 생존하지 못한다.

오답 피하기

ㄷ. 플라스미드의 항생제 내성 유전자를 이용하는 것은 재조합 DNA를 가진 세포를 선별하기 위한 것이다. 만일 숙주로 사용하는 대장균이 항생제 내성 유전자를 가진 플라스미드가 있으면 재조합 DNA를 가진 것을 선별할 수 없으므로 숙주는 플라스미드가 없는 대장균을 사용해야 한다.

B 림프구, 암세포, 잡종 세포의 특성

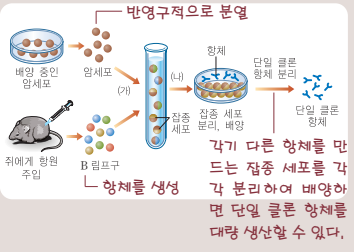
구분	B 림프구	암세포	잡종 세포
항체 생산	가능	불가능	가능
수명	10일 이내	반영구적	반영구적
체외 배양	어려움	빠르게 증식	빠르게 증식
완전 배지	생존	생존	생존
선택 배지	생존	죽음	생존

09 ③ ㄱ, ㄷ. 암세포와 B 림프구를 융합하여 잡종 세포를 얻었으므로 단일 클론 항체를 생산할 때는 세포 융합 기술을 이용한다. 이때 B 림프구를 사용하는 것은 항체를 생산할 수 있기 때문이며, 암세포를 사용하는 것은 반영구적으로 분열할 수 있기 때문이다.

오답 피하기

ㄴ. 단일 클론 항체는 쥐에게 주입했던 항원과 항원 항체 반응으로 결합한다.

단일 클론 항체 생산 과정



10 ⑤ ㄱ. (가)의 완전 배지에는 융합된 잡종 세포, B 림프구, 암세포가 섞여 있다.

ㄴ. (나)에서 선택 배지를 사용하면 선택 배지에서 살지 못하는 암세포가 제거된다. 그리고 15일 이상 배양하면 수명이 짧은 B 림프구가 제거된다.

ㄷ. (나)에서 살아 남은 세포는 B 림프구와 암세포의 특징을 모두 가지는 잡종 세포로, 선택 배지에서 반영구적으로 분열하면서 항체를 합성할 수 있다.

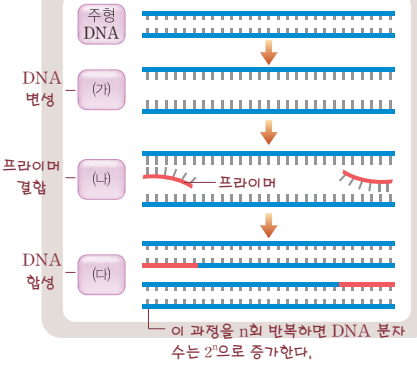
11 ㄴ ㄴ. 단일 클론 항체가 암세포에만 특이적으로 결합하여 항암제가 암세포에만 작용하도록 해야 한다. 따라서 정상 세포에는 없고 암세포에만 있는 항원 결정기에 대응하는 단일 클론 항체를 만들어야 한다.

오답 피하기

ㄱ. 단일 클론 항체는 암세포를 식별하기 위해 사용되는 것이고, 암세포의 생장을 억제하거나 암세포를 제거하기 위해서는 항암제를 사용한다.

ㄷ. 단일 클론 항체를 사용하는 이유는 암세포와 특이적으로 결합하여 항암제가 정상 세포에는 영향을 주지 않고 암세포에만 작용하도록 하기 위해서이다.

PCR 과정



12 ⑤ ㄱ. (가)는 DNA를 가열하여 두 가닥으로 분리하는 변성 단계이다.

ㄴ. (나)는 프라이머가 주형 가닥에 결합하는 단계로, 이때 온도를 낮추어야 프라이머가 잘 결합한다.

ㄷ. (다)는 DNA 중합 효소에 의해 새로운 뉴클레오타이드가 결합하여 DNA가 복제되는 과정으로, 이를 위해서는 DNA 중합 효소와 4가지 dNTP가 필요하다.

13 ③ PCR을 할 때는 증폭할 DNA 두 가닥이 모두 주형이 되기 때문에 각 가닥에 결합하는 2종류의 프라이머가 필요하다. DNA 변성, 프라이머 결합, DNA 합성(신장)의 단계를 거쳐 한 주기를 반복할 때마다 DNA는 2배씩 증폭된다.

오답 피하기

③ PCR에서 DNA 합성에 이용되는 Taq DNA 중합 효소는 비교적 열에 강해서 고온에서 변성되지 않기 때문에 프라이머를 신장시킬 때마다 효소를 첨가해 줄 필요가 없다.

14 ⑤ 단일 염기 변이를 연구하는 데는 염기 서열 분석법과 DNA 염기 서열의 차이를 확인하는 DNA 지문을 이용할 수 있다.

오답 피하기

핵치환은 DNA의 염기 서열을 분석할 수는 없고 특정 개체와 동일한 유전자 구성을 가지는 복제 생물이나 복제 줄기 세포를 만드는 데 이용될 수 있다.

전기 영동

DNA는 뉴클레오타이드의 인산기 때문에 음(−) 전하를 띠고 있어 전기장을 주면 양(+)극으로 이동한다. 다공성의 젤은 체와 같은 역할을 하기 때문에 길이가 긴 DNA 절편은 짧은 절편에 비해 젤을 빠져나가기 어려워 천천히 이동한다. 이러한 성질을 이용하여 물질을 분리하는 방법을 전기 영동이라고 한다.

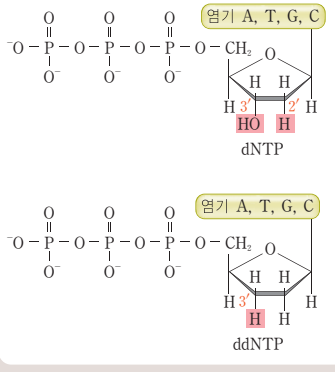
15 ③ ①, ② DNA 지문은 제한 효소로 자른 DNA 절편을 전기 영동하였을 때 나타나는 DNA 띠인데, 이것은 개인마다 염기 서열이 달라서 제한 효소로 잘린 DNA 절편의 길이와 수가 다르다는 것에 기초한다.

④ DNA 시료가 적으면 PCR을 이용하여 시료의 양을 증폭시킬 수 있다.
⑤ 복제 동물의 경우에는 핵을 제공한 생물과 핵의 DNA 지문이 동일하므로 이를 통해 복제 동물인지 아닌지를 판별할 수도 있다.

오답 피하기
③ 개인 식별을 위한 DNA 지문에는 DNA에서 개인마다 차이가 나는 부위를 이용해야 한다. 일반적으로 생존에 필수적인 유전자는 개인에 따른 차이가 거의 없기 때문에 유전자 사이의 반복적인 염기 서열을 이용하는 경우가 많다.

16 ① 인간 유전체 사업은 염기 서열 분석법의 개발로 예정보다 빠르게 완성되었다.

dNTP와 ddNTP
dNTP는 DNA를 구성하는 기본 단위체로 dATP, dTTP, dGTP, dCTP의 4 종류가 있다.
dNTP는 3′ 탄소에 −OH가 연결되어 있어 계속해서 다른 뉴클레오타이드가 결합될 수 있지만, ddNTP는 3′ 탄소에 −H가 연결되어 있어 다른 뉴클레오타이드가 결합될 수 없다.



17 ④ ① DNA 염기 서열 분석을 위해 사용하는 주형 DNA는 단일 가닥이다.
② ddNTP는 dNTP와 마찬가지로 염기 A, G, C, T의 4종류를 사용하는데, 염기의 종류에 따라 서로 다른 색깔의 형광으로 염색하여 사용한다.
③ DNA 중합 효소는 주형 DNA 가닥에 상보적인 염기를 가진 뉴클레오타이드를 결합시킨다. 이때 dNTP와 ddNTP 모두 사용될 수 있으며, 만일 ddNTP가 결합되면 3′−OH를 제공할 수 없어 DNA 합성이 멈춘다.
⑤ 프라이머는 짧은 DNA 가닥으로 주형 DNA의 일부에 상보적으로 결합할 수 있는 것을 사용한다.

오답 피하기
④ 각기 다른 색깔의 형광으로 염색하여 사용하는 것은 dNTP가 아니라 ddNTP이다.

18 ① ㄱ, ㄹ. 인간 유전체의 염기 서열을 밝히거나 혈흔에 존재하는 소량의 DNA를 증폭시키는 데는 염기 서열 분석법과 중합 효소 연쇄 반응(PCR)이 이용된다. 염기 서열 분석법은 형광 염색한 ddNTP를 섞어서 DNA를 복제한 후 전기 영동하여 합성된 DNA 길이에 따라 형광을 읽어서 염기 서열을 알아내는 방법이다.

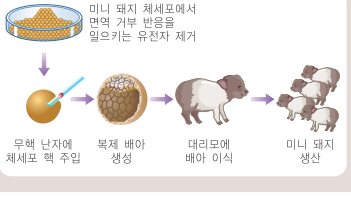
오답 피하기
ㄴ, ㄷ. 핵치환 기술이나 세포 융합 기술은 염기 서열 분석이나 DNA 증폭과는 관련이 없는 기술이다.

분화
아직 어떤 세포와 조직이 될 것인지 정해지지 않은 상태를 미분화라고 하며, 신경 세포, 피부 세포, 근육 세포와 같이 특정 구조와 기능을 가진 세포나 조직으로 운명이 결정되는 것을 분화라고 한다.

19 ㄷ (가)는 배아 줄기 세포로 아직 운명이 결정되지 않은 미분화된 세포이다. (나)는 골수로부터 분리한 성체 줄기 세포로 (가)와 마찬가지로 미분화된 세포이다. 그러나 신체 내의 모든 기관으로 분화할 수 있는 (가) 배아 줄기 세포에 비해 (나)는 분화될 수 있는 세포나 조직이 제한적이다.

오답 피하기
(가), (나) 모두 미분화된 세포로, (가)는 (나)보다 증식이 빠르고 다양한 조직이나 기관으로 분화하는 능력이 크다.

무균 미니 돼지의 생산 과정
인간의 유전자를 삽입하거나 유전자를 조작한 형질 전환 동물로부터 생체 인공 장기를 얻을 때 면역 거부 반응을 제거하고, 동물의 병원체 감염을 방지해야 한다.



20 ⑤ ①, ③ 면역 거부 반응을 일으키는 유전자를 제거한 핵을 이식할 때는 핵치환 기술이 이용되었으며, 이 방법으로 태어난 미니 돼지는 장기 이식 시 사람에게 거부 반응을 일으키지 않는다.
② 동물의 장기를 이식할 경우 병원체에 감염될 수 있기 때문에 안전한 이식용 장기를 얻기 위해서 미니 돼지는 무균 상태에서 사육되어야 한다.
④ 미니 돼지를 사용하는 이유는 장기의 크기가 사람과 비슷하고 번식률이 높아서 이식용 장기를 얻기에 적합하기 때문이다.

오답 피하기
⑤ 이 방법을 사용하는 목적은 배아 줄기 세포를 얻기 위한 것이 아니라 완전한 개체를 얻는 것이다.

개념 활용 문제 pp.138~145

01. ④	02. ④	03. ④	04. ⑤	05. ②	06. ②	07. ①
08. ③	09. ①	10. ①	11. ②	12. ①	13. ⑤	14. ②
15. ③	16. ④					

재조합 DNA를 가진 숙주 세포의 선별
DNA 재조합 과정에서 숙주 세포는 플라스미드가 들어가지 않은 것과 재조합되지 않은 플라스미드가 들어간 것, 재조합 플라스미드가 들어간 것으로 세 가지가 생성되므로 이 중에서 재조합 DNA가 들어간 숙주 세포만을 골라 증식시켜야 한다.

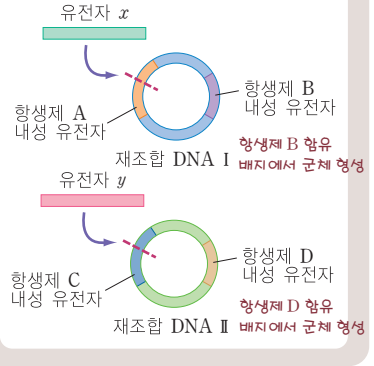
01 ④ ㄱ. ㉠은 정상 대장균이므로 유전자 X를 갖는다.
ㄴ. DNA 재조합을 하기 위해서는 공여체 DNA와 운반체로 사용하는 플라스미드는 동일한 제한 효소로 잘라야 한다. 따라서 ㉡은 (나)에서 사용된 것과 동일한 제한 효소이다.
ㄷ. (라)에서 사용하는 ㉢ 돌연변이 대장균은 유전자 X가 있는 재조합 DNA를 선별하기 위한 숙주이다. 따라서 ㉢은 A가 없는 배지에서는 생존할 수 없는 것을 사용해야 (마)에서 유전자 X를 가지고 있어서 A를 합성하는 것만 선별할 수 있다.

오답 피하기
ㄹ. (라)에서 얻은 ㉣ 대장균에는 유전자 X가 있어서 A가 없는 배지에서 자랄 수 있는 것도 있고, 유전자 X가 없어서 A가 없는 배지에서 자라지 못하는 것도 있다. 이것을 선별하기 위해 A가 없는 배지에서 배양하는 것이다.

항생제
살아 있는 미생물의 생장을 억제하거나 죽이는 물질로서 원래는 곰팡이나 세균이 자신을 보호하고 외부의 미생물을 죽이기 위해 분비한다.

02 ④ i) 대장균 I은 항생제 내성 유전자가 없기 때문에 항생제를 처리한 배지에서 생장하지 못하므로 군체를 형성하지 않는다.
ii) 대장균 II는 재조합이 이루어지지 않은 플라스미드가 있으므로 항생제에 대한 내성이 있고 효소 A를 합성한다. 따라서 물질 X를 분해하여 청색을 나타내는 군체를 형성한다.
iii) 대장균 III은 인슐린 유전자가 효소 A 유전자 자리에 삽입된 재조합 플라스미드를 가지므로 항생제에 대한 내성이 있지만 효소 A를 합성하지는 못한다. 따라서 물질 X를 분해하지 못하므로 흰색 군체를 형성한다.
iv) 실험 결과 얻은 흰색 군체의 대장균은 인슐린 유전자를 가지며, 청색 군체의 대장균은 효소 A를 합성한다.

재조합 DNA의 제작



03 ④ ④ (마)에서 재조합 DNA I과 재조합 DNA II를 모두 가지는 세균은 재조합 DNA I의 항생제 B 내성 유전자와 재조합 DNA II의 항생제 D 내성 유전자를 가지므로 항생제 B와 D가 모두 들어 있는 배지에서 군체를 형성할 수 있다.

오답 피하기
① 유전자 x는 항생제 A 내성 유전자를 절단하고 삽입되었다. 따라서 재조합 DNA I을 가진 세균은 항생제 A에 대한 내성이 없으므로 (나)에서 항생제 B가 들어 있는 배지에서 군체를 형성하는 세균을 선별한다.
② 재조합 DNA II를 가진 세균은 항생제 C 내성 유전자를 절단하고 유전자 y가 삽입되었으므로 항생제 D에 대한 내성은 있지만 항생제 A, B, C에 대한 내성은 없다.
③ (라)에서 숙주 세균으로 사용하는 것은 유전자 x와 유전자 y가 없는 것을 사용한다.
⑤ (마)에서 선별된 세균은 재조합 DNA I과 재조합 DNA II를 모두 가지는 것이므로 유전자 x와 유전자 y를 모두 가지는 것이다.

04 ⑤ i) A는 림프구와 암세포를 융합하는 과정이다. 이때 사용되는 림프구는 항체를 생산할 수 있는 것이어야 한다.
ii) B는 잡종 세포를 선별하는 과정이다. 선택 배지에서 15일 이상 배양하면 선택 배지에서 살지 못하는 암세포와 수명이 짧은 림프구가 제거되고, 두 세포의 특징을 모두 가지는 잡종 세포만이 살아 남는다.

iii) C는 한 종류의 항체를 생산하는 잡종 세포를 증식시켜 얻은 클론이므로, 이로부터 얻은 항체는 한 종류이다.

HCG(사람 융모성 생식샘 자극 호르몬)
임신 중 태반에서 분비되는 호르몬으로, 임신 초기에 분비가 급격하게 증가하는데 분비된 HCG 일부는 모체의 혈액으로 들어가 소변으로 배출된다. 이러한 특성을 이용하여 소변 검사를 통해 간단하게 임신 여부를 알 수 있다.

05 ② i) 소변 속의 HCG과 반응하여 임신 여부를 판별하기 위해서는 HCG에 대한 항체가 필요하다. 따라서 쥐에게 주사하는 ㉠은 HCG이고, 이에 대한 항체를 생산하는 ㉡은 B 림프구이다(ㄱ).
ii) HCG에 대한 항체를 생산하는 B 림프구는 수명이 짧으므로 빠르게 분열하여 증식하는 세포 ㉢을 융합시킨다. 일반적으로 암세포를 이용한다(ㄴ).
iii) ㉣은 융합된 잡종 세포 중 한 종류만을 선별한 것인데, 이것은 B 림프구처럼 HCG에 대한 한 가지 항체를 만들 수 있으며 암세포처럼 반영구적으로 빠르게 분열할 수 있다(ㄷ).

프라이머(primer)
DNA 합성 과정에서 출발점 역할을 하는 짧은 단일 가닥의 DNA나 RNA이다.

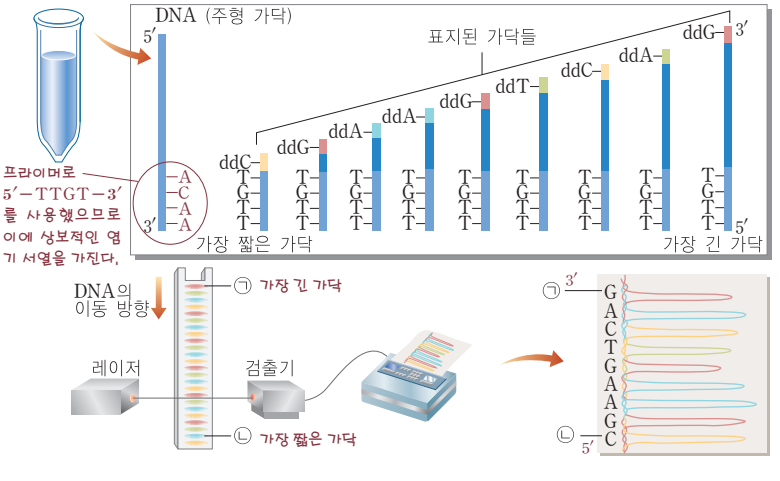
06 ② ㄴ. (다)는 프라이머에 새로운 뉴클레오타이드를 결합시켜 DNA를 합성하는 과정으로, 이때 DNA 중합 효소가 필요하다. 고온에서도 변성되지 않는 Taq DNA 중합 효소를 사용하면 주기를 반복할 때마다 효소를 넣을 필요가 없다.

오답 피하기
ㄱ. DNA 2중 나선을 분리하여 단일 가닥으로 만드는 (가)는 95℃ 정도의 고온에서 진행한다. 그러나 (나) 과정은 그보다 낮은 50~65℃로 처리하는데, 높은 온도에서는 프라이머가 DNA 가닥에 잘 결합하지 않기 때문이다.
ㄷ. A와 B는 프라이머인데, DNA의 두 가닥의 서로 다른 부분에 결합하기 때문에 염기 서열이 서로 다른 것을 사용한다.

염기 서열 결정법
DNA 복제는 주형 DNA에 상보적인 dNTP가 결합하여 이루어지는데, dNTP 대신 ddNTP가 결합하면 DNA 복제가 중단되는 원리를 이용한다.

07 ① ㄴ. DNA 주형 가닥에 상보적인 염기를 갖는 DNA가 합성될 때 다양한 길이의 DNA 가닥이 만들어진다. 이것은 ddNTP가 무작위로 사용되기 때문인데, ddNTP는 결합되면 3′ 탄소에 −H가 연결되어 있어 새로운 뉴클레오타이드를 결합시킬 수 없으므로 DNA 합성이 중지된다.

오답 피하기
ㄱ. (가)에서 넣은 프라이머의 염기 서열은 5′−TTGT−3′이다.
ㄴ. (다)에서 전기 영동할 때는 DNA 가닥이 짧을수록 젤의 구멍을 빠져나가기 쉬워 ㉡ 쪽으로 멀리 이동하고, DNA 가닥이 길수록 멀리 이동하지 못하고 ㉠ 쪽에서 발견된다.



08 ③ 이 실험에서 프라이머를 포함해서 ㉡에서 ㉠ 쪽으로 ddNTP가 결합한 염기를 차례대로 읽으면 5′－TTGTCGAAGTCAG－3′이다. 이것은 주형 가닥과 반대 방향이고 상보적인 염기 서열을 가지므로 DNA 주형 가닥의 염기 서열은 3′－AACAGCTTCAGTC－5′이다.

09 ① ① DNA는 인산을 가지고 있어서 음(－)전하를 띤다. 따라서 DNA를 이동시키기 위해서는 ㉠을 (－)극, ㉡을 (＋)극이 되도록 전기를 걸어 주어야 한다.

오답 피하기

② DNA Ⅰ과 DNA Ⅱ를 비교하려면 동일한 제한 효소로 처리하여 결과를 비교해야 한다.
③ 전기 영동할 때 DNA 절편이 클수록 젤의 구멍을 빠져나가기가 어려워서 ㉠ 쪽에 있다.
④ DNA를 증폭시킬 때는 PCR을 사용하며, DNA 합성에 필요한 뉴클레오타이드를 제공하기 위해서는 dNTP를 넣어 준다. 만일 ddNTP를 넣어 주면 ddNTP가 끼어 들어간 이후에는 DNA 합성이 중단되므로 DNA를 증폭시킬 수 없다.
⑤ 상동 염색체는 부모로부터 한 개씩 물려받은 것이므로 대립 유전자가 다를 수 있다. 대립 유전자는 염기 서열로 저장되어 있으므로 상동 염색체의 동일한 위치의 DNA 염기 서열은 다를 수 있다.

10 ① ⅰ) 줄기 세포는 회색 쥐의 핵을 이식하여 만들어진 것이다. 따라서 줄기 세포의 핵은 회색 쥐의 체세포 핵과 유전자가 동일하므로 DNA 지문 결과가 같다.
ⅱ) 미토콘드리아의 DNA는 세포질을 제공하는 난자로부터 제공된 것이다. 따라서 줄기 세포와 난자를 제공한 흰 쥐의 미토콘드리아 DNA 지문 결과가 같다.
ⅲ) 핵의 DNA 지문에서 A와 C가 일치하고 미토콘드리아 DNA 지문에서 B와 C가 일치하므로 C가 줄기 세포의 DNA이고, A는 회색 쥐의 DNA, B는 흰 쥐의 DNA이다(ㄱ).

오답 피하기

ㄴ. 줄기 세포는 회색 쥐의 체세포와 유전 형질이 같다.
ㄷ. 줄기 세포의 미토콘드리아는 흰색 쥐로부터만 물려받는다.

DNA 지문 검사
사람의 DNA 중 비암호화 부위에는 짧은 염기 서열이 여러 번 반복되는 반복 부위가 있다. 이 부위를 PCR로 증폭시켜 제한 효소로 자르면 사람마다 길이가 다른 DNA 절편이 형성되며, 이 DNA 절편을 젤 전기 영동으로 분리하면 사람마다 띠의 위치가 다르게 나타난다.

11 ② ㄱ. DNA 지문으로 개인을 식별하기 위해서는 시료 DNA에 동일한 제한 효소를 처리하여 결과를 비교해야 한다.
ㄴ. 용의자의 옷에 묻은 혈액과 피해자 혈액의 DNA 지문이 같은 것으로 보아 용의자의 옷에 묻은 혈액은 피해자의 혈액일 가능성이 크다.

오답 피하기

ㄷ. DNA 지문을 통해 개인을 식별할 수는 있지만, 개인이 가진 유전자의 염기 서열을 밝힐 수는 없다. 염기 서열을 알아내기 위해서는 염기 서열 분석법을 사용해야 한다.

역분화 줄기 세포
분화된 세포가 미분화 상태로 되는 것을 역분화라고 한다. 일반적으로 세포는 분화되어 운명이 결정되면 다시 미분화 상태로 될 수 없다. 그러나 분화된 체세포에서 몇 개의 조절 유전자를 발현시키면 다양한 분화 능력을 갖춘 줄기 세포가 되는데 이를 역분화 줄기 세포라고 한다.

12 ① ㄱ. (가)는 복제 배아 줄기 세포를 만드는 과정을 나타낸다. 이 방법을 사용하면 체세포 핵을 무핵 난자에 이식하여 특정인과 동일한 유전자 구성을 가지는 줄기 세포를 만들 수 있다.

오답 피하기

ㄴ. (나)는 정자와 난자의 수정에 의해 만들어지는 배아 줄기 세포를 나타낸 것이다. 배아 줄기 세포는 신체의 모든 기관으로 분화할 수 있어 완전한 개체 발생이 가능하다.
ㄷ. (다)는 성체의 체세포로부터 얻는 역분화 줄기 세포를 나타낸 것이다. 환자 자신의 역분화 줄기 세포를 이용하여 체세포를 제공한 환자에게 면역 거부 반응을 일으키지 않는 장기를 만들 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 혈액형이 같다고 해서 면역 거부 반응이 일어나지 않는 것은 아니다.

13 ⑤ ⑤ 〈실험 I〉은 난자 제공자와 체세포 핵 제공자가 여자이며, 동일인이다. 〈실험 II〉에서는 남자로부터 얻은 체세포 핵을 무핵 난자에 이식하였다. 〈실험 I〉과 〈실험 II〉에서 얻은 줄기 세포는 각각 체세포 핵을 이식하여 얻은 것으로 염색체 수는 46개로 같으며, 이것은 생식 세포 염색체 수의 2배이다.

오답 피하기

① 〈실험 I〉에서 얻은 줄기 세포의 핵형은 체세포 핵을 제공한 여자의 핵형과 같다. 그러나 난자의 염색체 수는 체세포의 염색체 수의 절반이므로 핵형이 다르다.

② 〈실험 I〉과 〈실험 II〉에서 얻은 줄기 세포는 각기 다른 사람으로부터 제공된 체세포 핵을 이식하여 얻은 것이므로 유전자가 다르다.

③ 〈실험 II〉에서 얻은 줄기 세포는 남자의 핵을 이식하여 만들어졌다. 따라서 줄기 세포에는 남자와 마찬가지로 X염색체와 Y염색체가 모두 있다.

④ 〈실험 II〉에서 얻은 줄기 세포를 발생시켜 얻은 장기는 체세포 핵을 제공한 남자 환자와 유전자 구성이 동일하므로 남자 환자에게 이식하였을 때 거부 반응을 일으키지 않지만, 난자를 제공한 여자에게 이식하면 거부 반응이 나타날 수 있다.

무균 미니 돼지

동물로부터 생산한 장기를 사람에게 이식할 경우 동물에게 감염된 병원체가 사람에게 전염될 수 있으므로 장기를 생산하는 동물은 반드시 무균 상태에서 사육되어야 한다. 그중 미니 돼지가 번식률도 높고, 장기의 크기와 구조가 사람과 유사하기 때문에 주로 사용된다.

14 ② ㄴ. 미니 돼지를 생산하는 과정 중 미니 돼지 체세포에서 면역 거부 반응을 일으키는 유전자를 제거하는 단계에서 유전자 조작 기술이 사용되었다. 또한 미니 돼지의 핵을 무핵 난자에 이식하여 발생시키는 과정에서 복제 배아를 만드는 방법이 이용되었다.

오답 피하기

ㄱ. 미니 돼지는 면역 거부 반응을 일으키는 유전자를 제거한 핵을 주입했기 때문에 사람에게 장기를 이식하더라도 거부 반응을 일으키지 않는다. 그러나 미니 돼지가 사람의 유전자를 가진 것은 아니다.

ㄷ. 미니 돼지는 면역 거부 반응을 일으키는 유전자가 제거된 미니 돼지의 유전자를 가진다.

젖당 분해 효소

흰색의 X－gal이라는 화학 물질을 분해하여 청색의 물질로 변하게 한다. 따라서 X－gal 배지에서 대장균을 배양하면 젖당 분해 효소 유전자를 가진 경우에는 청색 군체를, 가지지 못한 경우에는 흰색 군체를 형성한다.

15 ③ i) DNA 재조합을 하기 위해 사용하는 제한 효소는 공여체 DNA의 젖당 분해 효소 유전자를 절단하지 않아야 한다. 따라서 B와 C는 사용할 수 없으므로 (가)에서 제한 효소 A를 사용한다(ㄱ).

ii) 제한 효소 A를 사용하면 플라스미드의 항생제 α 내성 유전자가 절단되므로 항생제 α 내성 물질을 생성할 수 없다. ㉠재조합 플라스미드는 항생제 β 내성 유전자와 젖당 분해 효소 유전자를 가지므로 ㉠재조합 플라스미드는 젖당 분해 효소와 항생제 β 내성 물질이 생성된다.

iii) 따라서 (다)에서 ㉠재조합 플라스미드가 도입된 형질 전환 대장균은 항생제 β를 포함한 배지에서 생장할 수 있으며, 젖당 분해 효소는 시약 X를 분해하여 청색을 나타낸다.

16 ④ ① (가)는 DNA의 염기 사이의 수소 결합을 끊어 단일 가닥의 DNA를 만드는 변성 단계이다. DNA의 염기 A과 T은 2중 수소 결합, G과 C은 3중 수소 결합으로 연결된다. 따라서 DNA시료의 G+C 함량이 높으면 그만큼 염기 사이의 수소 결합의 수도 많아서 변성 온도를 높게 설정한다.

② (나)에서 프라이머는 짧은 DNA 가닥으로, 새로운 뉴클레오타이드가 결합할 자리를 제공한다. 프라이머는 DNA의 각 가닥에 상보적으로 결합할 수 있도록 2가지를 사용한다.

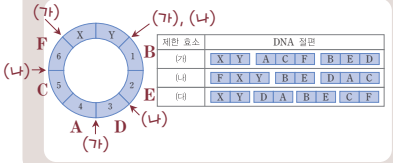
③ (가)~(다)를 10회 반복하면 DNA 시료가 $2^{10}=1{,}024$, 약 1,000배 정도 증폭된다.

⑤ PCR은 소량의 DNA 특정 부위를 증폭시키는 데 이용되는 기술이다.

오답 피하기

④ PCR을 할 때는 처음에 4종류의 dNTP와 DNA 중합 효소를 충분히 넣고, 주기를 반복할 때마다 첨가해 줄 필요는 없다.

제한 효소 자리



제한 효소	DNA 절편						
(가)	X	Y	A	C	F	B	E	D
(나)	F	X	Y	B	E	D	A	C
(다)	X	Y	D	A	B	E	C	F

1. 플라스미드와 제한 효소

모범 답안 | (1) B E D A C F (2)

X	Y	B	E	D	A	C	F

알짜 풀이 | (1) 제한 효소 (가)를 처리하였을 때 X－Y의 절편이 생겼는데, 제한 효소 (나)를 처리하였을 때 F－X－Y 절편이 나왔으므로 X 옆의 6번이 F이다. 이어 제한 효소 (다)를 처리하였을 때 C－F 절편이 나왔으므로 F 옆의 5번이 C이고, 제한 효소 (나)를 처리하였을 때 D－A－C 절편이 나왔으므로 3과 4는 각각 D와 A이다. 그리고 제한 효소를 (가)를 처리하였을 때, B－E－D의 절편이 나왔으므로 1과 2는 각각 B와 E이다.

(2) 제한 효소 (가)를 처리하였을 때 X－Y, A－C－F, B－E－D 절편이 생겼는데, 제한 효소 (나)를 함께 처리하면 A－C－F는 A－C와 F 절편으로, B－E－D 절편은, B－E와 D 절편으로 잘라진다. 따라서 제한 효소 (가)와 (나)를 함께 처리하였을 때 생기는 DNA 절편은 X－Y, B－E, D, A－C, F이다.

점착 말단

제한 효소에 의해 잘린 DNA의 짧은 단일 가닥 말단으로, 다른 DNA 절편의 상보적인 단일 가닥 말단과 수소 결합을 하여 염기쌍을 이루기 때문에 점착 말단이라고 한다. 한 종류의 제한 효소는 언제나 같은 염기 서열을 인식하여 DNA를 자르므로 같은 제한 효소로 자른 DNA 절편의 말단은 어떤 생물 종이든지 같다.

2. DNA 재조합

모범 답안 | (1) 연결해야 할 두 DNA 절편이 동일한 점착 말단을 가지도록 하기 위해서이다.

(2) 숙주 대장균은 플라스미드를 가지지 않으며 항생제 A와 항생제 B에 대한 내성을 가지지 않는 것으로 한다.

(3) ㉠ 항생제를 넣지 않은 일반 배지, 항생제 A를 넣은 배지, 항생제 B를 넣은 배지를 만든 후, 일반 배지에서 배양하여 군체를 형성한 것을 항생제 처리 배지로 그대로 옮겨 배양한다. 이때 항생제 A 처리 배지에서는 군체를 형성하지만 항생제 B 처리 배지에서는 죽는 것을 선별한다. ㉡ 녹말 배지에서 세 종류의 대장균을 배양한 후 아이오딘-아이오딘화칼륨 용액을 떨어뜨려 군체 주변에서는 청람색의 아이오딘 반응이 나타나지 않는 것을 선별한다.

알짜 풀이 | (1) DNA 재조합을 할 때는 연결하고자 하는 두 DNA 절편 말단의 단일 가닥 부분의 염기가 상보적이 되도록 하여 염기 사이의 수소 결합에 의해 연결될 수 있게 한다. 따라서 연결하고자 하는 두 DNA를 동일한 제한 효소로 처리하여 점착 말단이 같게 만든다.

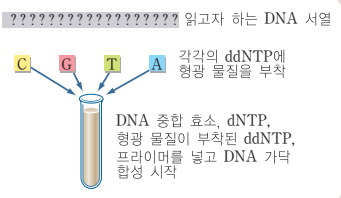
(3) ㉠ 대장균 (가)는 항생제 내성 유전자가 없으므로 항생제 A나 B 처리 배지에서 모두 군체를 형성하지 못하고, 대장균 (나)는 항생제 A나 B를 처리한 배지에서 모두 군체를 형성한다. 대장균 (다)는 녹말 분해 효소 유전자가 항생제 B 내성 유전자에 끼어 들어갔으므로, 항생제 A 처리 배지에서는 살지만 항생제 B 처리 배지에서는 살 수 없다. ㉡ 대장균 (가)와 (나)는 녹말 분해 효소가 없으므로 배지의 녹말을 분해하지 못한다. 따라서 청람색의 아이오딘 반응이 나타난다. 그러나 대장균 (다)는 녹말 분해 효소가 있기 때문에 녹말이 분해되어 군체 주변에서 청람색의 아이오딘 반응이 나타나지 않는다.

3. 단일 클론 항체

모범 답안 | 암세포는 빠르게 분열하면서 수명이 반영구적이기 때문이다.

알짜 풀이 | 항체를 생산하는 B 림프구는 분화된 세포이기 때문에 분열하지 않으며 수명이 짧다. 따라서 인공 배양을 통해 항체를 다량 생산할 수 없다. 이를 보완하기 위해 빠르게 분열하면서 수명이 반영구적인 암세포와 융합시킨다.

DNA 염기 서열 분석법에 필요한 요소



4. 염기 서열 분석법

모범 답안 | (1) 새로운 뉴클레오타이드를 결합시켜 DNA를 합성하는 과정에서 dNTP 또는 ddNTP가 무작위로 결합된다. 그런데 ddNTP는 3′ 탄소에 −H로 연결되어 있어 ddNTP가 결합하면 새로운 뉴클레오타이드를 더 이상 결합시킬 수 없게 된다. 이때 ddNTP가 결합하는 것은 무작위이므로 다양한 길이의 DNA 절편이 생긴다.

(2) dNTP와는 달리 ddNTP는 4가지 서로 다른 염기를 서로 다른 색깔의 형광으로 표지하여 소량을 넣는다. 주형 DNA 가닥에 대해 상보적인 염기를 가지는 뉴클레오타이드가 결합하는 과정에서 ddNTP가 결합하면 DNA 합성은 종료된다. 시험관에서 생성된 다양한 크기의 DNA의 마지막은 형광 표지된 ddNTP로 이루어져 있으므로 DNA를 전기 영동하여 길이별로 구분하고 각 가닥의 마지막 염기는 형광의 색깔을 판별하여 짧은 가닥부터 긴 가닥 쪽으로 하나씩 읽어간다. 이렇게 얻은 염기 서열과 방향은 반대이고 상보적인 염기 서열이 되도록 읽으면 주형 DNA 가닥의 염기 서열을 알 수 있다.

알짜 풀이 | 염기 서열 분석법에는 염기 서열을 알고자 하는 DNA 단일 가닥, 프라이머, DNA 중합 효소, 4종류의 dNTP, 서로 다른 색깔의 형광 물질로 표지된 4종류의 ddNTP가 필요하다. 재료를 모두 넣고 처리하면 DNA 절편에 상보적인 새로운 DNA 가닥이 합성되는데, 이때 dNTP 대신 ddNTP가 결합하면 DNA 합성이 종료된다. 그 결과 말단에 형광 표지된 ddNTP가 있는 다양한 길이의 DNA 가닥이 합성된다. 새로 합성된 DNA 절편을 젤 전기 영동하면 길이에 따라 순서대로 나열된다. 이때 길이가 짧은 DNA 절편일수록 빨리 움직여 멀리까지 이동한다. 형광 검출기로 스캔하면 분광 사진으로 출력되는데, 출력된 사진의 형광 표지 색은 DNA 가닥 끝에 위치한 염기의 종류이므로 이를 순서대로 읽으면 분석하고자 하는 DNA 가닥에 상보적인 염기 서열을 알 수 있다.

배아 줄기 세포

배아는 수정 후 아직 사람의 모습을 갖추지 않은 발생 중인 세포 덩어리로 자궁에 착상하기 전까지를 말한다. 인간의 복제 배아 줄기 세포는 핵을 제거한 난자에 체세포의 핵을 넣어 분열을 유도하여 배반포 상태까지 발생시켜 얻는다.

5. 줄기 세포와 장기 이식

모범 답안 | (1) ㈎는 복제 배아 줄기 세포이고, ㈏는 성체 줄기 세포이다. 배아 줄기 세포는 신체를 구성하는 모든 장기로 분화될 수 있지만, ㈏와 같이 골수에서 얻은 줄기 세포는 혈구와 같이 특정한 세포로만 분화할 수 있다.

(2) ㈎와 같이 환자의 체세포 핵을 이식하여 얻은 복제 배아 줄기 세포를 이용하여 장기를 만들면 체세포 핵을 제공한 환자에게 이식하여도 면역 거부 반응을 일으키지 않는 장점이 있다.

(3) 동물의 장기를 이식할 때는 사람에게 면역 거부 반응이 일어나지 않게 해야 하고, 장기를 통해 동물의 병원체가 사람에게 감염되지 않도록 해야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 면역 거부 반응을 일으키는 유전자를 제거하고, 장기를 제공하는 동물은 무균 상태에서 사육되어야 한다.

알짜 풀이 | (1) ㈎와 ㈏는 특정인과 동일한 유전자 정보를 가진 줄기 세포를 얻을 수 있다는 공통점이 있다. 그러나 배아 줄기 세포는 신체의 모든 세포와 조직으로 분화할 수 있는 데 비해, 성체 줄기 세포는 증식이 어렵고 쉽게 분화되는 경향이 있으며 특정 세포나 조직으로만 분화될 수 있다.

(2) 복제 배아 줄기 세포는 체세포 핵을 제공한 특정인과 유전자 구성이 같아서 면역 거부 반응을 일으키지 않는 장기를 생산하는 데 이용될 수 있다.

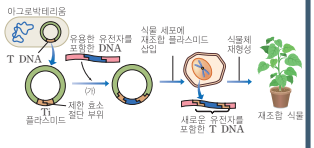
(3) 동물의 장기를 사람에게 이식하면 짧은 시간 내에 급성 면역 거부 반응을 일으켜 생명에 위협이 되는 경우가 발생한다. 이를 막기 위해 급성 면역 거부 반응을 일으키는 유전자를 제거한 핵을 무핵 난자에 이식하여 발생시킨 동물로부터 이식용 장기를 얻는다. 또, 장기 이식용 동물은 무균 상태에서 사육하여 병원체에 감염되지 않게 한다.

02 생명 공학 기술의 미래

개념 체크 p.159

A 형질 전환 식물의 생산

그림은 형질 전환 식물을 만드는 과정을 나타낸 것이다.

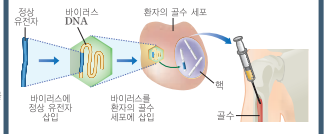


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. Ti 플라스미드는 유용한 유전자의 운반체로 사용되었다. (○)
2. Ti 플라스미드와 유용한 유전자를 포함한 DNA는 같은 제한 효소로 처리한다. (○)
3. (가) 과정에 DNA 중합 효소가 사용된다. (×)
4. T DNA는 식물의 줄기나 뿌리에 혹을 만드는 유전자이다. (○)
5. 재조합 플라스미드를 삽입하여 만들어진 재조합 식물의 뿌리에는 혹이 생긴다. (×)

B 유전자 치료

그림은 환자의 골수 세포를 이용한 유전자 치료 과정을 나타낸 것이다.

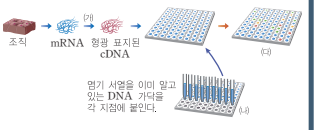


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 바이러스는 정상 유전자의 운반체로 사용되었다. (○)
2. 바이러스 DNA에 정상 유전자를 삽입하는 데 DNA 재조합 기술이 이용되었다. (○)
3. 골수 세포 속에서 빠르게 증식하는 바이러스를 사용한다. (×)
4. 골수 세포에 삽입된 정상 유전자는 형질이 발현된다. (○)
5. 이 방법으로 치료한 환자는 자손에게 유전병 유전자를 물려주지 않는다. (×)

C DNA 칩

그림은 DNA 칩을 이용하여 암과 같은 병을 진단하는 과정을 나타낸 것이다.

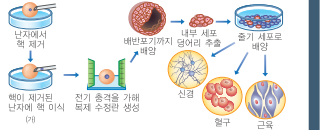


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가) 과정에는 역전사 효소가 필요하다. (○)
2. (나)에는 단일 가닥 DNA를 붙인다. (○)
3. (나)의 모든 지점에는 염기 서열이 같은 DNA 절편이 있다. (×)
4. cDNA는 2중 나선 구조이다. (×)
5. (다)에서 이 조직에서 발현된 유전자는 형광을 나타낸다. (○)

D 복제 배아 줄기 세포를 이용한 장기 생산

그림은 복제 배아 줄기 세포를 만들어 분화시키는 과정을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)에서 이식하는 핵의 핵상은 $2n$이다. (○)
2. 줄기 세포가 가진 유전자는 난자를 제공한 여성의 체세포가 가진 유전자와 같다. (×)
3. 이와 같은 방법으로 얻어진 줄기 세포는 항상 Y 염색체가 없다. (×)
4. 이와 같은 방법으로 분화하여 얻은 신경 조직을 핵을 제공한 사람에게 이식하면 면역 거부 반응이 일어나지 않는다. (○)
5. 이와 같은 방법으로 얻은 줄기 세포는 신체의 일부 조직으로만 분화될 수 있다. (×)

A 형질 전환 식물의 생산

01 Ti 플라스미드는 토양 미생물인 아그로박테리움이 가지고 있는 플라스미드로, 주로 식물 세포로 유용한 유전자를 도입할 때 운반체로 사용된다.

02 Ti 플라스미드와 유용한 유전자를 포함한 DNA는 같은 제한 효소로 처리해야 점착 말단이 같아 서로 연결된다.

03 DNA 절편을 연결하는 (가) 과정에 DNA 연결 효소가 사용된다.

04 T DNA는 식물의 줄기나 뿌리에 비정상적인 혹을 만드는 유전자이다.

05 DNA 재조합을 할 때 T DNA를 절단하고 유용한 유전자를 삽입하였으므로 재조합 플라스미드를 삽입하여 만들어진 재조합 식물은 T DNA가 발현되지 않아 혹이 생기지 않는다.

B 유전자 치료

01 바이러스는 정상 유전자의 운반체로 사용되었다.

02 한 생물의 특정 DNA를 다른 생물의 DNA에 삽입하여 재조합 DNA를 만들고, 이를 세포에 주입하여 발현시키는 것은 DNA 재조합 기술이다.

03 바이러스를 사용한 것은 증식을 시키기 위한 것이 아니라 환자 골수 세포의 염색체에 유용한 유전자를 끼워 넣기 위한 것이므로 빠르게 증식할 필요는 없으며 독성이 없고 안전해야 한다.

04 골수 세포에 삽입된 정상 유전자의 형질이 발현됨으로써 환자의 증상이 치료된다.

05 이 방법은 체세포의 결함 유전자를 정상 유전자로 치환했기 때문에 생식 세포의 결함 유전자는 그대로 있다. 따라서 환자는 생식 세포를 통해 유전병 유전자를 자손에게 물려줄 가능성이 있다.

C DNA 칩

01 (가)는 mRNA로부터 DNA를 합성하는 역전사 과정이며, 이때 역전사 효소가 필요하다.

02 (나)의 유리 기판에는 염기 서열이 알려진 단일 가닥 DNA 절편을 붙여 탐침으로 사용한다.

03 (나)의 각 지점에는 서로 다른 염기 서열을 가진 DNA 절편을 붙이지만 한 지점에는 모두 같은 염기 서열을 가진 DNA 절편만 있다.

04 cDNA는 형광 표지를 한 단일 가닥으로 (나)의 DNA 탐침과 상보적으로 결합한다.

05 (다)에서 형광을 나타내는 부분은 cDNA와 결합한 것이므로 조직에서 발현된 유전자이다.

D 복제 배아 줄기 세포를 이용한 장기 생산

01 (가)에서 무핵 난자에 이식하는 핵은 체세포의 핵이므로 핵상은 $2n$이다.

02 줄기 세포의 유전자는 핵을 제공한 사람의 체세포와 같다.

03 복제 배아 줄기 세포를 만들 때 남자의 체세포 핵을 이식하면 줄기 세포는 Y 염색체를 가지며, 여자의 체세포 핵을 이식하면 Y 염색체를 가지지 않는다.

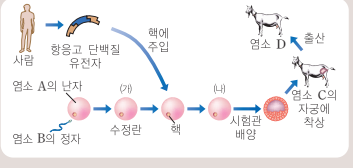
04 이 방법으로 얻은 조직은 핵을 제공한 사람에게 이식했을 때 면역 거부 반응을 일으키지 않는다.

05 이 방법은 복제 배아 줄기 세포를 얻는 것이므로 이 줄기 세포는 신체의 모든 조직과 기관으로 분화될 수 있다.

개념 확인 문제 pp.160~163

01. ①	02. ④	03. ⑤	04. ②	05. ②	06. ①	07. ④
08. ④	09. ③	10. ④	11. ③	12. ⑤	13. ⑤	14. ③
15. ②	16. ①	17. ③				

형질 전환 염소의 생산
항응고 단백질 유전자를 수정란에 주사하여 염소의 유전체에 유전자를 삽입한다. 이 수정란을 배반포 상태로 배양하여 자궁에 착상시키면 항응고 단백질을 포함한 젖을 생산하는 형질 전환 염소를 얻을 수 있다.



01 ① ㄱ. (가)의 수정란에 항응고 단백질 유전자를 주입하더라도 염색체 수는 같으므로 (가)와 (나)의 핵상은 같다.

오답 피하기
ㄴ, ㄷ. 염소 D의 미토콘드리아는 난자를 제공한 염소 A로부터 유래하였으며, 핵의 유전자는 염소 A와 B로부터 반씩 물려받은 것이므로 핵의 DNA 지문이 D와 완전히 일치하는 염소는 없다.

02 ④ 세균을 이용하여 옥수수의 단백질 A 유전자를 감자 세포의 염색체에 삽입한 후에는 감자 세포에 단백질 A의 유전자가 들어 있는지를 확인한다. 그런 다음 (마)에서 단백질 A의 생산량을 측정한다.

Ti 플라스미드와 T DNA
토양 세균인 아그로박테리움이 가지고 있는 플라스미드를 Ti 플라스미드라고 부르며, 형질 전환 식물을 만들 때 운반체로 자주 사용한다.
Ti 플라스미드의 일부가 T DNA이며, T DNA에 의해 식물의 줄기나 뿌리에 비정상적인 혹이 생긴다.

03 ⑤ ㄱ. Ti 플라스미드의 T DNA는 식물 세포의 염색체에 삽입되어 식물의 뿌리에 혹이 생기게 한다.
ㄴ. (가)는 제한 효소와 DNA 연결 효소를 이용하여 해충 저항성 유전자 A와 Ti 플라스미드를 재조합하는 과정이다.
ㄷ. (나)는 재조합 DNA를 가지게 된 식물 세포를 완전한 식물체로 만드는 과정으로, 이때 유전자 A는 식물 세포의 염색체에 삽입되어 있으므로 식물 세포의 증식 과정에서 복제된다.

04 ② 이 방법으로 만들어진 식물체는 T DNA를 절단하고 그 자리에 유전자 A를 삽입한 재조합 DNA를 가진다. 따라서 뿌리에 혹이 만들어지지 않으며, 유전자 A의 형질이 발현되어 해충에 대한 저항성을 가진다. 아그로박테리움의 모든 유전자가 식물 세포의 핵 속에 삽입되는 것이 아니므로 식물이 아그로박테리움의 모든 단백질을 합성하는 것은 아니다.

세포 융합
세포 융합은 2개의 다른 종류의 세포를 인공적으로 융합시켜 잡종 세포를 만드는 방법으로 그 결과 잡종 세포는 2개의 핵을 갖게 된다.

05 ② ㄷ. 환자의 체세포에 정상 유전자를 끼워 넣은 바이러스를 감염시켜 얻은 (나) 세포는 환자로부터 분리한 체세포를 배양한 것이므로 환자의 치료에 면역 거부 반응 없이 이용할 수 있다.

오답 피하기
ㄱ. 환자의 체세포를 사용하는 이유는 환자의 DNA에 정상 유전자가 있기 때문이 아니라 면역 거부 반응이 일어나지 않게 하기 위한 것이다. 환자는 정상 유전자가 없어서 유전병 증상을 나타내는 것이다.
ㄴ. 바이러스는 세포 구조를 갖춘 것이 아니며, 사람의 세포에 감염되어 기생하는 것이기 때문에 바이러스의 감염은 세포 융합이라고 할 수 없다.

06 ① ㄴ. 환자의 체세포 핵을 이식하여 복제 배아 줄기 세포를 만드는 것은 환자에게 면역 거부 반응을 일으키지 않는 조직이나 장기를 생산할 수 있다는 장점이 있다.

오답 피하기
ㄱ. 선천적으로 유전자에 이상이 있는 환자를 치료하기 위해서는 이상이 있는 유전자를 정상 유전자로 대체하거나 정상 유전자를 이식하는 유전자 치료 방법을 이용한다.
ㄷ. 이 방법으로 만든 장기는 체세포 핵을 제공한 환자 이외의 다른 사람에게는 면역 거부 반응을 일으킬 수 있다. 혈액형이 같다고 면역 유형이 같은 것은 아니기 때문이다.

07 ④ ㄱ. 자궁암 유발 유전자의 증폭에는 중합 효소 연쇄 반응(PCR)이 이용되며, mRNA로부터 cDNA를 합성하는 과정에는 역전사 효소가 필요하다.

ㄷ. 자궁암 유발 유전자로부터 얻은 DNA 절편은 단일 가닥으로 만들어 유리 기판에 붙인다.

ㄹ. 만일 검사 대상자에서 자궁암 유발 유전자가 발현된다면 mRNA를 역전사하여 만든 cDNA가 유리 기판 위의 단일 가닥과 결합할 것이다. 유전자의 발현이 일어나고 이로부터 만들어진 cDNA의 양이 많아서 유리 기판의 DNA 절편과 상보적으로 결합하는 양이 많을수록 (라)에서 형광의 강도가 강하게 나타날 것이다.

오답 피하기

ㄴ. (가)에서 사용하는 자궁암 유발 유전자는 염기 서열이 이미 밝혀져 있는 것을 사용한다.

08 ④ 피부 세포의 핵을 무핵 난자에 이식하여 만들어진 복제 배아 줄기 세포는 신체의 모든 조직과 기관으로 분화될 수 있다.

09 ③ ㄷ. 빌리브란트 인자 유전자를 돼지의 수정란에 주입하고 배양하여 형질 전환 돼지를 얻으면 젖을 통해 혈액 응고 단백질을 얻을 수 있다. 이 과정에는 유전자 주입술과 같은 유전자 조작 기술이 이용된다.

오답 피하기

ㄱ. 세포 융합은 두 세포의 특징을 모두 가지는 잡종 세포를 얻을 때 이용되며, 단일 클론 항체를 만드는 잡종 세포를 얻을 때 주로 이용된다.

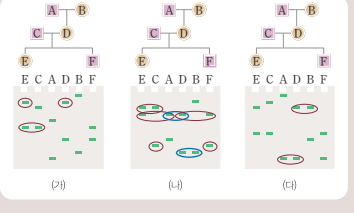
ㄴ. 돼지의 젖샘 세포에서 핵을 제거하면 세포의 생명 활동을 조절하는 유전자가 없어서 세포는 생존할 수 없다.

환경 오염 모니터링

세균 A가 오염 물질을 분해하고 있는지를 확인하기 위해 산소량과 세균 A의 형광 세기가 비례하는지를 확인한다. 세균 A 배양액의 산소량이 많을수록 세균 A의 형광 세기가 강하므로 물의 오염 정도를 판별할 수 있다.

10 ④ 물의 오염도에 따라 형질 전환된 세균 A의 형광 유전자 발현이 달라지므로 형광의 세기를 통해 물의 오염 정도를 눈으로 확인할 수 있다. 따라서 형광의 세기로 물의 오염도를 측정하기 전 (라)에서는 세균 A의 형광 세기가 배양액의 산소량과 비례하는지를 조사해야 한다.

가계도와 DNA 지문



11 ③ ㄱ. 자식이 가지는 상동 염색체는 부모로부터 한 개씩 물려받은 것이다. 따라서 자식의 DNA 지문은 부모 중 어느 한쪽과 일치하지는 않지만, 부모와는 다른 위치에 DNA 띠가 나타나지는 않는다. (가) 가족에서 E의 모든 DNA 띠는 부모인 C와 D의 DNA 띠 중 어느 한쪽과는 반드시 일치하고 부모에게 없는 위치에 DNA 띠가 나타나지 않으므로 E는 친자일 가능성이 높다.

ㄴ. (나) 가족에서 DNA 지문을 분석하면 D는 부모 A와 B, E와 F는 부모 C와 D의 친자일 가능성이 높으므로 가계도와 일치한다.

오답 피하기

ㄷ. (다) D의 DNA 지문에서 나타나는 DNA 띠는 부모인 A와 B의 DNA 띠와 일치하며, 부모에게 없는 위치에 DNA 띠가 나타나지 않으므로 D는 친자일 가능성이 높다.

12 ⑤ ㄴ. (나)는 항체를 만드는 B 림프구와 반영구적으로 빠르게 분열하는 암세포를 융합하여 잡종 세포를 만드는 과정이 포함된다.

ㄷ. (다)는 DNA 재조합 기술을 이용하여 제초제 A 저항성 유전자를 콩의 종자에 삽입하여 만든다. 이렇게 만들어진 콩은 제초제 A를 살포하더라도 생장할 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 피틴산 분해 유전자를 돼지의 염색체에 삽입하는 유전자 주입술이 사용되었다. (나)는 B 림프구와 암세포를 융합시킨 잡종 세포로부터 얻은 단일 클론 항체를 이용하는 사례이다.

13 ⑤ 유전자 재조합의 장점은 자연적으로는 가질 수 없는 다른 생물의 유전자를 직접 도입함으로써 원하는 형질을 가진 형질 전환 생물을 만들어 유용한 단백질을 얻을 수 있다는 점이다.

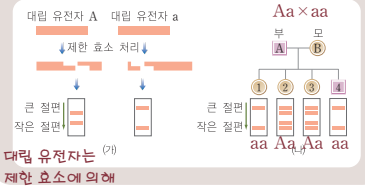
오답 피하기

① 같은 종 내에서는 자유 교배가 가능하므로 유전자 재조합이 아니어도 유전자 교환이 자유롭게 이루어질 수 있다.

②와 ④는 육종에 의한 품종 개량 방법의 특징이다. 육종에 의해 개량된 생물 품종은 오랜 시간에 걸쳐 식품으로 이용되어 안전성이 검증되었다.

③ 여러 생물이 가진 장점을 모두 가진 새로운 종의 생물은 현재의 기술로는 만들어 낼 수 없다. 세포 융합에 의해 만들어진 감자와 토마토의 잡종 식물인 포메이토는 증식시킬 수 없어 새로운 생물 종이라고 할 수 없다.

대립 유전자의 지문 분석



대립 유전자는 제한 효소에 의해 서로 다른 DNA 절편을 형성한다.

14 ③ i) 대립 유전자 A와 a는 염기 서열이 달라서 제한 효소에 의해 잘린 DNA 크기가 다르므로 서로 다른 위치에 두 개의 DNA 띠가 나타난다.

ii) 사람은 형질 I을 결정하는 대립 유전자를 쌍으로 가지므로 DNA 절편의 전기 영동 결과를 통해 자녀의 유전자형을 알 수 있다. 1과 4는 대립 유전자 a의 위치에만 DNA 띠가 나타나므로 유전자형이 aa이다. 2와 3은 대립 유전자 A와 a의 위치 모두에 DNA 띠가 나타났으므로 유전자형이 Aa이다.

iii) 부모로부터 유전자형이 Aa, aa인 자녀가 태어났으므로 부모는 둘 다 대립 유전자 a를 가지며, 두 사람 중 적어도 한 사람은 대립 유전자 A를 가진다. 따라서 부모의 유전자형으로 가능한 조합은 Aa와 Aa 또는 Aa와 aa이다. 즉, 부모의 유전자를 전기 영동하면 최소한 한 명은 유전자형이 Aa이므로 자녀 3과 같은 결과가 나타난다.

15 ② 미생물 농약은 화학 농약에 비해 살충 효과는 상대적으로 느리고 살충 효과의 적용 범위는 좁지만, 저독성으로 환경 오염이 적고 생물 농축을 일으키지 않는다. 그러나 살충에 이용한 미생물이 생태계에 아무런 영향을 주지 않는지에 대해서는 좀 더 시간을 두고 확인해야 한다.

생명 공학 기술의 의약 분야 응용

의약품 생산	DNA 재조합 기술을 이용하여 유용한 유전자를 미생물이나 동물의 염색체에 끼워 넣어 만든 형질 전환 생물을 이용하여 사람의 질병을 치료하는 희귀 의약품을 생산한다.
유전자 치료	생명 공학 기술을 이용하여 정상 유전자를 세포에 도입하여 결함이 있는 유전자를 대체하거나 치료 단백질을 생산하도록 함으로써 질병을 치료한다.
질병 진단	DNA 칩이나 단백질 칩 등을 이용하여 조기에 질병을 진단할 수 있다.
질병 치료	형질 전환시킨 바이러스 등을 이용하여 암세포를 제거하거나, 복제 배아 줄기 세포나 역분화 줄기 세포를 이용하여 이식용 장기를 생산한다.

16 ① 태아의 성별을 구별하는 것은 생명 공학 기술을 사용하지 않더라도 간단히 확인할 수 있으므로 이로 인한 문제점이라고 할 수는 없다.

17 ③ 생명 공학을 이용하여 제초제 저항성이나 해충 저항성 작물을 만들어 농약 사용량을 줄이고 식량 생산을 늘릴 수 있는 것은 긍정적 측면이다. 그러나 유전자 변형 작물을 재배하는 과정에서 제초제 저항성 유전자가 잡초에게 유입된다면 제초제에도 죽지 않는 슈퍼 잡초가 생길 수 있는 위험도 있다.

오답 피하기

역분화 줄기 세포를 이용한 면역 거부 반응이 없는 장기 생산, 개인 맞춤 의약, 유전자 변형 식물이나 미생물을 이용한 환경 오염 감소는 생명 공학 기술을 이용하는 데 있어 기대하는 긍정적인 효과이다.

개념 활용 문제 pp.164~169

01. ②	02. ③	03. ④	04. ⑤	05. ③	06. ④	07. ③
08. ①	09. ⑤	10. ⑤	11. ④	12. ③		

잘 무르지 않는 토마토
토마토는 열매가 익으면 폴리갈릭튜로네이스(PG)라고 불리는 효소가 작용하여 세포벽의 구성 성분인 펙틴이 분해되어 껍질이 연해진다. 이때 PG와 결합하여 PG의 발현을 억제시키는 유전자(FLAVR SAVR)를 플라스미드에 끼워 넣어 재조합 DNA를 만든 후 토마토 종자에 삽입하면 PG 생성이 억제되어 익어도 무르지 않는 토마토가 만들어진다.

01 ② ㄱ. A는 토마토가 숙성하면서 펙틴을 분해하도록 하여 무르게 만드는 유전자이고, B는 A의 기능을 억제하여 토마토가 무르지 않게 만드는 유전자이다. 무르지 않는 토마토는 유전자 B에 의해 유전자 A의 형질이 발현되지 않을 때 얻어진다. 이렇게 만들어진 무르지 않는 토마토는 오랜 기간 저장이 가능하다.
ㄴ. 형질 전환 토마토는 유전자 A를 제거하여 만들어진 것이 아니므로 유전자 A와 B가 모두 존재한다.

오답 피하기
ㄷ. 유전자 A와 B의 DNA를 재조합하여 만든 것이 아니라 유전자 A가 있는 토마토 종자에 유전자 B를 삽입하는 방법으로 무르지 않는 토마토가 만들어졌다. 따라서 제한 효소와 DNA 연결 효소로 A, B 두 유전자를 연결하는 과정은 없다.

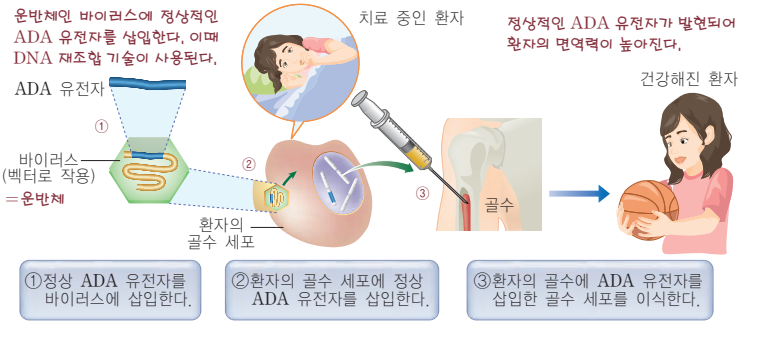
02 ③ 특정 유전자를 수정란에 주입하여 형질 전환 동물을 만드는 방법이다. 이러한 방법을 사용하면 더 부드러운 육질의 소, 사람의 단백질을 젖으로 생산하는 돼지 등을 만들 수 있다.

오답 피하기
ㄴ. 좋은 털을 가진 양을 만들 때는 이 방법을 사용할 수 있으나, 이러한 양을 무성적으로 증식시키기 위해 복제 양을 만드는 과정에는 무핵 난자에 체세포 핵을 이식시키는 핵치환 기술이 이용된다.

중증복합면역결핍증(SCID)
면역 기능을 갖는 데 필요한 효소인 아데노신 디아미네이스(ADA)가 결합되어 나타나는 유전병이다. ADA는 혈액 속의 독성 대사 산물을 제거하는 효소로, ADA가 없으면 독성 물질이 혈액에 축적되고 백혈구가 파괴되어 병원체의 감염을 방어하지 못하여 면역 결핍 증상이 나타나 일찍 사망한다.

03 ④ ㄱ. 중증복합면역결핍증(SCID)은 환자의 ADA 유전자 이상으로 나타난다. 유전자에 이상이 있는데도 골수 세포를 환자로부터 채취하여 사용하는 것은 유전자 치료를 위해 골수 세포를 다시 환자에게 주입하더라도 자신의 것이기 때문에 면역 거부 반응이 일어나지 않기 때문이다.
ㄴ. 바이러스는 정상 유전자를 골수 세포의 염색체에 전달해 주는 운반체로 사용되었다. 따라서 자신의 유전자를 숙주 세포의 염색체에 삽입시키는 특징이 있는 것을 이용한다.

오답 피하기
ㄷ. 골수 세포는 줄기 세포의 일종이기는 하지만 혈구와 같은 특정 세포로만 분화될 수 있는 성체 줄기 세포이다. 따라서 골수 세포에 정상 유전자를 삽입하였다 하더라도 환자의 몸을 구성하는 세포가 정상 ADA 유전자를 가진 것으로 바뀌지는 않는다.



유전자 치료
유전자 결함에 의한 유전병은 정상 유전자를 가진 바이러스를 직접 넣어 주거나 바이러스를 이용하여 환자의 체세포에 정상 유전자를 넣어 준 후 정상 유전자로 치환된 세포를 배양하여 넣어 준다. 즉, 결함이 있는 유전자가 정상 유전자로 대체되거나 치료 단백질이 생산됨으로써 질병이 치료된다.

04 ⑤ ① (가)는 정상 유전자를 바이러스 DNA와 연결하는 것으로 이때 DNA 연결 효소를 사용한다.

② 바이러스는 숙주의 종류에 따라 동물성, 식물성, 세균성 바이러스로 구분할 수 있다. 치료에 이용하는 바이러스 A는 사람의 세포에 감염될 수 있어야 하므로 동물성 바이러스이다.

③ 체세포는 남자 환자로부터 얻은 것이므로 Y 염색체가 있다.

④ 바이러스 A는 정상 유전자를 환자 체세포의 염색체에 삽입하기 위해 사용된다. 따라서 (나)에서 바이러스 A에 의해 정상 유전자가 체세포에 전달된다.

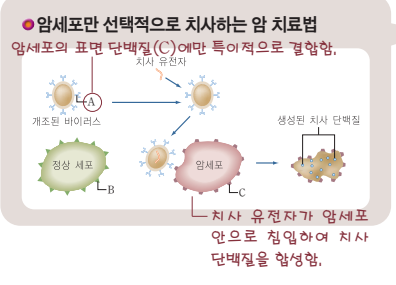
오답 피하기

⑤ 바이러스가 체세포에 감염되는 것은 세포 융합이 아니다. (다)에서 배양된 세포는 바이러스에 의해 정상 유전자가 전달된 재조합 DNA를 가진 세포이다.

05 ③ ㄱ, ㄷ. 환자로부터 추출한 줄기 세포를 연골 세포로 분화시켜 기관지를 둘러싸도록 하였다. 그리고 환자 자신의 세포로 둘러싸인 기관지를 얻어 이식하였으므로 면역 거부 반응이 일어나지 않는다.

오답 피하기

ㄴ. 이 방법에서 기증자의 기관지에서 면역 거부 반응을 일으킬 수 있는 연골 세포는 모두 제거하고 기관지의 형태만을 이용한다. 기관지 겉부분은 환자로부터 추출한 줄기 세포를 분화시켜 연골 세포로 배양한 후 기관지를 둘러싸므로 환자와 기증자의 면역 유형이 반드시 같을 필요는 없다.



06 ④ ①, ② A는 정상 세포에 존재하는 표면 단백질 B는 인식하지 못하고 암세포에만 특이적으로 존재하는 표면 단백질 C를 인식하도록 개조된 것이다.

③ 바이러스에 의해 암세포로 운반된 치사 유전자가 치사 단백질을 생성함으로써 암세포가 죽게 된다. 따라서 치사 유전자는 암세포 안에서 발현된다.

⑤ 이때 바이러스는 치사 유전자를 암세포에 전달하는 운반체 역할을 한다.

오답 피하기

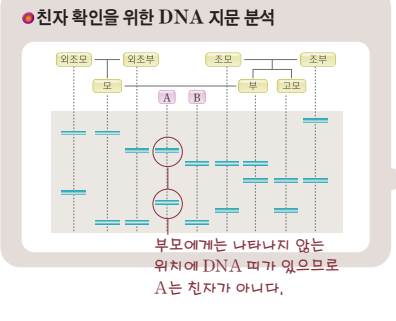
④ 바이러스가 암세포로 전달하는 것은 치사 유전자이다. 치사 유전자가 암세포에서 형질 발현되어 치사 단백질이 만들어진다.

07 ③ i) (가)에서 골수 세포를 사용하는 것은 정상 유전자를 세포의 핵 속으로 도입하기 위해서이다. 그런데 적혈구는 핵이 없어 정상 유전자 H를 도입하더라도 유전자의 발현이 일어나지 않으므로 (가)에서 적혈구는 사용할 수 없다.

ii) 환자는 비정상 유전자 H′ 때문에 병적 증상이 나타나는 상태이므로 (나)에서 비정상 유전자 H′의 존재를 확인할 필요는 없다. 유전자의 존재를 알아보고자 할 때는 일반적으로 염기 서열을 분석하는 방법을 사용해야 한다.

iii) (다)에서 정상 유전자 H의 운반체로 바이러스를 이용할 경우 DNA 재조합 기술로 정상 유전자와 바이러스 DNA를 연결하는 과정이 포함된다.

iv) (라)에서 정상 유전자 H를 가진 골수 세포를 환자에게 주입하더라도 모든 골수 세포나 생식 세포가 정상 유전자 H를 가지게 되는 것은 아니다. 정상 유전자 H를 가진 골수 세포로부터 분화되는 일부 세포만이 정상 유전자 H를 가지게 되며, 주기적으로 정상 유전자 H를 가진 골수 세포를 주입하는 시술을 계속 해 주어야 한다.



08 ① ㄱ. 자식의 유전자는 생식 세포의 염색체를 통해 부계와 모계로부터 물려받은 것이다. 따라서 자식의 DNA 지문에서 나타나는 DNA 띠는 부모 중 누군가에게는 있는 것이어야 한다.

오답 피하기

ㄴ. A는 부모에게는 나타나지 않는 위치에 DNA 띠가 나타나므로 친자가 아닐 가능성이 높다. 반면에 B의 DNA 지문 결과는 부모 중 누군가에게는 있는 위치에만 DNA 띠가 나타나므로 B는 친자일 가능성이 있다.

ㄷ. 같은 부모로부터 태어나는 형제 자매라 하더라도 상동 염색체 중 어떤 것을 물려받는지에 따라 유전자 구성이 다르므로 형질이 다르고, DNA 지문도 다르게 나타난다.

생명 공학 기술의 환경 분야 응용

오염 물질의 제거 (생물적 환경 정화)	기름을 분해하는 세균, 폐수 속에 함유된 오염 물질을 분해하는 미생물, 가축 분뇨의 악취를 제거하는 미생물이나 동물, 중금속을 흡수하는 식물 등을 개발하여 이용한다.
환경 모니터링	형질 전환된 미생물 등을 이용하여 환경 오염 정도를 쉽게 파악한다.
미생물 농약	곰팡이, 방선균, 고초균 등의 미생물을 형질 전환시켜 이들이 분비하는 항생 물질을 대량으로 얻어 독성이 적고 생태계에 미치는 영향이 적은 미생물 농약을 개발한다.

09 ⑤ ①, ② (가)에서 형질 전환 식물을 만들 때 식물 B가 생태계에 미치는 영향을 검토하여 안전성이 확보되어야 하고, 다양한 환경 조건에서도 적응하여 살 수 있어서 적용 범위가 넓고 경제성이 있는지를 연구해야 한다.

③, ④ 기름을 분해하는 세균 C를 실제로 활용하기 위해서는 석유만을 에너지원으로 사용하여 기름 제거 효율성이 높은지, 염분이 있는 바닷물에서도 생장할 수 있는지 등을 확인해야 한다.

오답 피하기

⑤ 단백질 X의 중금속 분해 과정이나 효소 Y의 대사 과정에 대한 연구는 형질 전환 생물을 실제로 이용하기 위해 반드시 알아야 하는 것은 아니다.

생명 공학 기술

DNA 재조합	한 생물의 특정 DNA를 다른 생물의 DNA에 삽입하여 재조합 DNA를 만들고, 이를 세포에 주입하여 발현시키는 기술
PCR	DNA의 특정 염기 서열을 반복적으로 복제하여 증폭시키는 기술
DNA 염기 서열 분석법	DNA 복제 시 말단에 형광 표지된 ddNTP가 붙은 다양한 길이의 DNA 절편을 얻어 전기 영동하여 염기 서열을 읽는 기술

10 ⑤ ㄱ. (가)에서는 유전체가 가진 염기 서열을 분석하기 위해서 염기 서열 분석법을 이용하고, (나)에서 소량의 DNA를 증폭시키는 데 중합 효소 연쇄 반응(PCR)이 이용된다.

ㄴ. (다)에서 암을 유발하는 유전자 또는 돌연변이 유전자의 단일 가닥 DNA 절편을 유리 기판에 붙여 DNA 칩을 만든 후 세포나 바이러스에서 얻은 DNA를 반응시켜 암을 진단하거나 돌연변이체를 검색할 수 있다.

ㄷ. (라)에서 생분해 플라스틱 생성 유전자를 운반체 DNA에 삽입할 때는 제한 효소와 DNA 연결 효소를 이용하는 DNA 재조합 기술이 이용된다.

핵치환 생물의 유전적 동일성

핵치환된 생물이 핵을 제공한 생물과 유전적으로 100% 동일한 것은 아니다. 핵 외에 미토콘드리아에도 DNA가 들어 있는데, 핵 속의 유전자는 핵 제공자와 같지만 미토콘드리아의 유전자는 난자의 제공자와 같다.

11 ④ ㄱ. X 생성 유전자를 수정란 단계에서 주입하는 이유는 수정란이 분열할 때 X 생성 유전자도 복제되어 흑염소의 모든 세포 속에 포함되도록 하기 위해서이다.

ㄷ. C가 일반 수컷과 자연 교배하여 생긴 D도 X를 생성하였으므로 X 생성 유전자는 생식 세포를 통해 D에게 전달되어 형질이 발현되었다는 것을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄴ. C는 핵치환에 의해 만들어진 것이 아니므로 A와 B 어느 쪽과도 핵의 DNA 지문이 일치하지 않는다. 또, C의 미토콘드리아의 DNA 지문은 수정란을 형성할 때 난자를 제공한 A와 일치한다.

12 ③ ㄱ. (가)에서 각 지점에는 염기 서열이 밝혀진 특정 유전자의 단일 가닥의 DNA 절편을 붙인다. 또, 지점마다 서로 다른 염기 서열을 가진 DNA를 붙인다.

ㄷ. 암 조직에서 발현되는 유전자는 적색 형광으로, 정상 조직에서 발현되는 유전자는 녹색 형광으로 나타나며, 두 조직에서 모두 발현되는 유전자라면 적색 형광과 녹색 형광이 혼합되어 노란색으로 나타나게 된다.

오답 피하기

ㄴ. 암 조직에 존재하는 유전자라고 해서 모두 (나)에서 나타나는 것은 아니다. 왜냐하면 암 조직의 모든 유전자가 발현되는 것은 아니며, 암 조직에서 발현되는 유전자만이 mRNA로 전사되어 이로부터 역전사시켜 얻은 cDNA에 있기 때문이다.

형질 전환 동물
다른 종의 유전자를 삽입, 조작함으로써 본래의 특성과 다른 유전적 특성을 가지게 된 동물이다.

1. 생명 공학 기술의 이용

모범 답안 | (1) 젖소 C의 핵은 젖소 A의 핵과 DNA 지문 결과가 일치한다. 또, 젖소 C의 미토콘드리아는 젖소 B의 미토콘드리아와 DNA 지문 결과가 일치한다.
(2) 젖소 C를 생산하는 데 핵치환 기술이 이용되었으며, 이 기술을 이용하면 복제 배아 줄기 세포를 얻을 수 있고 우수한 형질의 복제 젖소를 대량 생산할 수 있다. 또, 젖소 D는 수정란에 유용한 물질의 유전자를 주입하는 기술이 이용되었는데, 이 기술을 이용하면 사람의 혈액 응고 단백질 같은 의약품을 젖으로 분비하는 젖소를 만들 수 있다.

알짜 풀이 | (1) 젖소 C의 핵 DNA는 체세포 핵을 제공한 젖소 A와 일치하고, 미토콘드리아 DNA는 난자를 제공한 젖소 B와 일치한다.
(2) 젖소 C는 젖소 A의 복제 젖소이며, 이것은 특정 개체와 동일한 유전자 구성을 가지는 복제 동물이나 치료용 복제 배아 줄기 세포를 만드는 데 이용될 수 있다. 젖소 D는 수정란에 특정 단백질의 유전자를 주입한 것이며, 이것은 사람의 질병 치료 단백질을 동물에서 생산하고자 할 때 이용될 수 있다.

2. 형질 전환 식물의 생산

모범 답안 | (1) 형질 전환 식물은 병충해 저항성을 가지며, 혹이 만들어지지 않는다.
(2) 이와 같은 방법을 사용하면 병충해나 제초제에 대한 저항성을 가지는 형질 전환 식물을 만들어 이 식물의 생산량을 늘릴 수 있다. 그러나 식물에 도입된 유전자가 다른 생물로 전달될 경우 생태계가 교란되고 특히 잡초로 전달될 경우 제초제를 뿌려도 죽지 않는 슈퍼 잡초가 생길 가능성이 있다.

알짜 풀이 | 병충해 저항성 유전자는 식물에 혹이 생기게 하는 T DNA를 절단하고 삽입되었으므로 형질 전환 식물은 병충해에 대해 저항성을 가지지만 혹은 생기지는 않는다. 이러한 형질 전환 식물을 이용하면 생산성을 높일 수 있으며 제초제를 적게 사용할 수 있는 장점이 있지만, 인위적으로 도입된 유전자가 생태계로 유출되었을 경우 여러 가지 문제점이 나타날 수 있으므로 안전성에 대한 고려가 필요하다.

유전병
유전자 돌연변이에 의한 염기 서열의 이상이나 유전자의 결실 등에 의해 나타나는 질환으로, 알비노증, 낫모양 적혈구 빈혈증, 헌팅턴 무도증, 페닐케톤뇨증 등이 있다.

3. 유전자 치료

모범 답안 | (1) 바이러스는 정상 유전자를 환자 골수 세포의 염색체에 전달해 주는 운반체로 사용되었다.
(2) 골수 세포는 정상 유전자를 삽입시킨 후 다시 환자에게 주입해야 하므로 면역 거부 반응을 일으키지 않도록 환자 자신의 골수 세포를 이용한다.
(3) 환자의 체세포인 골수 세포를 대상으로 정상 유전자를 도입하였으므로 환자의 증상을 치료하더라도 생식 세포를 통해 자손이 유전병 유전자를 물려받을 수 있다. 또, 골수 세포의 염색체에 바이러스의 DNA가 무작위로 삽입되는 과정에서 잘못된 위치에 DNA가 삽입되어 암세포가 될 수도 있다.

알짜 풀이 | 사람의 세포에는 플라스미드를 운반체로 사용할 수 없으므로 바이러스를 운반체로 사용한다. 자신의 DNA를 숙주 세포의 염색체에 끼워 넣는 특성이 있는 바이러스를 이용하여 정상 유전자를 골수 세포의 염색체에 삽입시키는 것이다. 그러나 이 과정에서 세포 분열을 조절하는 유전자에 잘못 끼어 들어가면 반영구적으

로 세포 분열이 일어나는 암세포가 될 위험성이 존재한다. 그리고 골수 세포에 정상 유전자가 성공적으로 도입되었다 하더라도 환자의 몸에 있는 다른 세포에 정상 유전자가 생기는 것은 아니므로 자손은 유전병 유전자를 물려받는다.

단일 클론 항체
하나의 특정 항원 결정기에만 결합하는 한 종류의 항체가 세포 융합 기술을 통해 클론으로 대량 생산되는 것이다. 단일 클론 항체는 항체를 형성하지만 수명이 짧고 체외에서 배양하기 어려운 B림프구와 반영구적으로 분열하는 암세포를 융합한 잡종 세포에서 만들어진다.

4. 생명 공학 기술과 암 치료

모범 답안 | (1) ㈎에서 사용되는 단일 클론 항체는 항체를 생산하는 B 림프구를 빠르게 분열하는 암세포와 융합시켜 얻은 잡종 세포를 배양하여 대량으로 생산한다.
(2) 항체나 개조된 바이러스가 정상 세포에는 없고 암세포에만 있는 항원 결정기나 표면 단백질만을 인식하여 특이적으로 결합하도록 해야 한다.

알짜 풀이 | (1) 단일 클론 항체는 B 림프구와 암세포를 융합하여 얻은 잡종 세포로부터 대량으로 생산된다.
(2) 단일 클론 항체를 암세포 치료에 사용하고자 할 때는 암세포에만 존재하는 항원 결정기에 특이적으로 결합하는 항체를 생산하는 것이 중요하다. 또, 바이러스를 이용하여 암세포에 치사 유전자를 주입하려고 할 때는 정상 세포의 표면 단백질과는 결합하지 않고 암세포에 존재하는 표면 단백질하고만 특이적으로 결합하도록 바이러스를 개조하는 것이 중요하다.

High Top

생명 과학 Ⅱ

3권

정답 및 해설

III 생물의 진화

chapter 1 생물의 기원과 진화

01 생명의 기원

개념 체크 p.025

A 파스퇴르의 실험

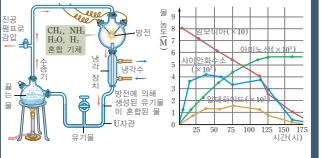
그림은 파스퇴르의 실험 과정을 나타낸 것이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)에서 고기즙은 미생물의 생장에 필요한 양분을 제공하기 위한 것이다. (○)
2. (나)에서 플라스크 목 부분을 S자형으로 만든 것은 공기는 통하고 먼지나 미생물은 고기즙 속으로 들어가지 못하게 하기 위한 것이다. (○)
3. (다)에서 고기즙을 끓이는 것은 고기즙 속의 미생물을 멸균하기 위한 것이다. (○)
4. 파스퇴르는 이 실험을 통해 미생물은 영양분이 많을 때 자연적으로 발생한다는 것을 증명하였다. (×)

B 밀러와 유리의 실험

그림은 밀러와 유리의 실험 장치와 결과를 나타낸 것이다.

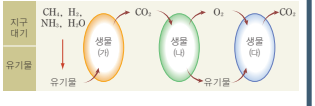


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 둥근 플라스크 속의 혼합 기체는 원시 지구 대기, U자관은 원시 지구 바다에 해당한다. (○)
2. 전기 방전은 원시 지구의 풍부한 에너지에 해당한다. (○)
3. 밀러와 유리의 실험은 원시 지구에서 화학 반응에 의해 간단한 유기물로부터 복잡한 유기물이 합성될 수 있음을 실험적으로 증명하였다. (×)
4. 암모니아의 농도가 감소한 이유는 아미노산의 질소원으로 사용되었기 때문이다. (○)

C 원시 생명체의 진화

그림은 원시 지구에서 생명체가 탄생한 이후 생물의 진화와 대기 및 유기물의 변화를 나타낸 것이다.

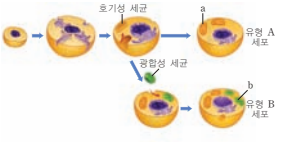


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 종속 영양을 한다. (○)
2. (가)의 출현 이후에 지구 대기는 산화성 기체로 바뀌었다. (×)
3. (나)는 빛에너지를 이용하여 무기물로부터 유기물을 합성할 수 있다. (○)
4. (나)의 출현 이후에 산소를 이용하여 호흡하는 생물이 출현하였다. (○)
5. (다)의 출현 이후 생물이 육상으로 진출하는 계기가 마련되었다. (×)

D 세포 내 공생설

그림은 진핵 세포의 출현에 대한 가설을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. a는 미토콘드리아이고, b는 엽록체이다. (○)
2. 유형 A 세포는 2번의 공생 과정을 거쳤다. (×)
3. 식물 세포는 유형 B 세포에 해당한다. (○)
4. a와 b는 2중막 구조이다. (○)
5. a와 b는 독립적인 유전 정보가 없으며 분열 능력이 없다. (×)
6. a와 b는 자체적으로 DNA, RNA, 리보솜을 가지고 있다. (○)

A 파스퇴르의 실험

01 (가)에서 고기즙에는 미생물 생장에 필요한 양분이 포함되어 있다.

02 (나)에서 플라스크 목 부분을 S자형으로 만든 이유는 끓인 고기즙이 식을 때 물이 고여 외부로부터 공기는 통과하고 먼지나 미생물은 물방울에 갇혀 통과하지 못하게 하기 위한 것이다.

03 (다)에서 고기즙을 끓이는 것은 멸균하기 위한 것이다.

04 파스퇴르는 이 실험을 통해 생물은 저절로 발생하는 것이 아니라 반드시 이미 존재하는 생물로부터만 발생한다는 생물 속생설을 확립하였다.

B 밀러와 유리의 실험

01 둥근 플라스크 속의 혼합 기체는 원시 지구 대기, U자관은 원시 지구 바다를 모형화한 것이다. 둥근 플라스크에는 환원성 기체를 넣는다.

02 전기 방전은 원시 지구에 풍부한 번개 등의 에너지에 해당한다.

03 밀러와 유리의 실험은 원시 지구에서 화학 반응에 의해 무기물로부터 간단한 유기물이 합성될 수 있음을 실험적으로 증명하였다.

04 전기 방전 에너지에 의해 암모니아가 화학 반응을 일으켜 사이안화수소, 아미노산 등의 간단한 유기물로 합성되므로 둥근 플라스크에서 암모니아의 농도가 감소한다.

C 원시 생명체의 진화

01 (가)는 최초의 생물체로 무산소 호흡, 종속 영양을 한다.

02 무산소 호흡, 독립 영양을 하는 (나)의 출현 이후에 지구 대기는 산화성 기체로 바뀌었다.

03 (나)는 빛에너지를 이용하여 무기물로부터 유기물을 합성하는 독립 영양 생물이다.

04 (나)의 광합성에서 방출된 산소로 인해 대기의 산소 농도가 증가하였다. 이후 산소 호흡 생물이 출현하였다.

05 생물의 육상 진출은 오존층의 형성과 관련 있으므로 대기의 산소 농도 증가와 관련이 깊다.

D 세포 내 공생설

01 a는 산소 호흡을 담당하는 미토콘드리아이고, b는 빛에너지를 이용하여 영양소를 합성하는 엽록체이다.

02 유형 A 세포는 1번의 공생 과정을 거쳤으며, 유형 B 세포가 2번의 공생 과정을 거쳤다.

03 식물 세포는 미토콘드리아와 엽록체를 모두 가지므로 유형 B 세포에 해당한다.

04 미토콘드리아 (a)와 엽록체 (b)는 이중막 구조이다.

05 a와 b는 자체 DNA를 가지므로 독립적인 유전 정보가 있으며, 분열하여 수가 늘어난다.

06 a와 b는 숙주인 진핵 세포와는 별개로 독자적인 DNA, RNA, 리보솜을 가진다.

개념 확인 문제 pp.026~027

01. ②	02. ④	03. A	04. 코아세르베이트	05. ③	06. ②
07. ③, ④	08. ③	09. ②	10. ② 11. ②	12. ③, ⑤	13. ⑤

생물 발생에 대한 논쟁

① 자연 발생설 : 생물은 자연계에 존재하는 무생물로부터 저절로 발생한다는 학설

② 생물 속생설 : 생물은 이미 존재하고 있던 생물로부터 발생한다는 학설

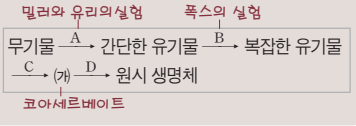
01 ② (가)는 파리가 들어가서 알을 낳은 경우에만 구더기가 생기는 것을 증명한 것으로 생물 속생설과 관련이 있으며, 이를 통해 눈에 보이는 큰 생물은 생물로부터만 생긴다는 것을 증명하였다. (나)는 미생물의 생물 속생설을 보여 주고자 하는 실험이지만 끓인 후 밀폐한 고기즙에서 미생물이 생기지 않은 것이 공기가 통하지 않기 때문이라는 반론 때문에 생물 속생설을 완전히 확립하지는 못하였다.

02 ④ (다)에서 S자관을 통해 산소와 같은 기체는 유리관을 통과할 수 있지만 미생물은 유리관을 통과할 수 없어 고기즙이 부패하지 않는다.

오답 피하기

S자관은 공기는 통과하고 미생물은 통과하지 못하도록 하기 위한 것이며, (나)에서 고기즙을 멸균하는 과정에서 플라스크의 S자관을 통해 수증기가 밖으로 나간다. (다)에서 고기즙이 부패하지 않은 것은 미생물이 들어가지 못하였기 때문이라는 것은 플라스크의 목을 깨뜨리면 고기즙이 부패한다는 것으로 확인할 수 있다.

원시 생명체 탄생 과정



03 A 밀러와 유리는 무기물로부터 간단한 유기물이 합성되는 것을 실험적으로 증명하였다.

04 코아세르베이트

오파린은 원시 생명체의 기원이 되는 유기물 복합체로 코아세르베이트를 제안하였다.

05 ③ 생명체가 탄생하기 위해서는 세포막에 의한 환경과의 구분과 유전 물질이 필수적이다.

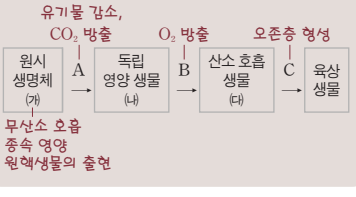
06 ② 밀러와 유리의 실험은 무기물로부터 간단한 유기물이 합성될 수 있다는 것을 증명하였다. U자관에서 검출된 것은 아미노산과 같은 간단한 유기물이며, 단백질과 핵산 같은 복잡한 유기물은 검출되지 않는다.

07 ③, ④

밀러와 유리의 실험은 오파린의 가설에 따라 원시 지구 대기에서 화학 반응을 통해 간단한 유기물이 생긴다는 것을 보여 주고자 한 것이었다. 그러나 원시 지구 대기에는 이산화탄소와 같은 산화성 기체가 많았으며, 이러한 조건에서는 유기물이 잘 합성되지 않는다는 반론이 제기되었다. 그러나 심해 열수구 주변에는 수소, 메테인, 암모니아와 같은 환원성 기체가 높은 농도로 존재하고, 온도가 높아서 화학 반응에 필요한 에너지를 공급할 수 있다는 점을 들어 이곳에서 유기물이 합성되었을 것이라는 의견이 힘을 얻고 있다.

08 ③ 최초의 생명체는 막으로 싸인 안정된 내부 환경을 가지고 있으며, 주변으로부터 유기물을 흡수하여 에너지를 얻는 종속 영양을 했을 것이다. 그러나 원시 지구 대기에는 산소가 거의 없어 무산소 호흡을 했을 것이라고 추정된다.

생물의 진화 과정



09 ② 육상 생물의 출현은 오존층이 생성되어 지표면에 도달하는 자외선의 양이 감소한 것이 직접적인 계기가 되었을 것이다.

10 ② ㄴ. 원시 생명체는 유기물을 흡수, 분해하여 에너지를 얻는 종속 영양을 하였을 것이므로 A 시기에 바다의 유기물이 감소했을 것이다.

ㄷ. 독립 영양 생물이 출현한 후에 대기의 산소 농도가 높아지면서 B 시기에 산소의 강한 산화력 때문에 무산소 호흡을 하는 원핵생물이 크게 감소하였을 것이다.

오답 피하기

ㄱ. 최초의 생명체인 (가)와 이후에 생긴 독립 영양 생물 (나)는 원핵생물일 것이다. 대부분의 진핵생물은 산소 호흡을 하므로 진핵생물은 (나)의 출현 이후에 지구에 등장하였을 것이다.

ㄹ. 대기의 산소 농도는 독립 영양을 하는 생물의 등장으로 증가하였으며, 특히 엽록체를 갖추고 광합성을 하는 생물의 등장은 산소 농도를 급격하게 증가시키는 계기가 되었다.

11 ② 세포 소기관 중 엽록체와 미토콘드리아를 제외한 소포체와 핵막은 세포막 함입설로 설명될 수 있다.

오답 피하기

리보솜, 인은 막으로 싸여 있지 않다.

세포 내 공생설의 증거

① 자신의 DNA를 가지고 단백질을 합성한다.
② 리보솜의 크기와 특성이 원핵 세포의 리보솜과 유사하다.
③ 세균과 유사한 방식으로 독립적으로 증식한다.
④ 두 겹의 막 구조를 가진다.

12 ③, ⑤

미토콘드리아와 엽록체는 독자적인 DNA를 가지고 자기 복제를 할 수 있으며, 이중막으로 싸여 있고, 리보솜의 크기과 특성이 원핵 세포의 것과 유사하다. 이것은 독자적으로 살아가던 원핵 세포가 숙주 세포에 공생하게 된 것이라는 학설을 뒷받침해 주는 근거가 된다. 미토콘드리아와 엽록체에서 외막은 숙주 세포 내로 막으로 싸여서 들어오는 과정에서 생긴 것이라고 설명된다.

13 ⑤ 생물의 진화는 원핵 세포로부터 진핵 세포, 단세포 생물로부터 군체를 거쳐 다세포 생물로, 무산소 호흡으로부터 산소 호흡, 수중 생물로부터 육상 생물의 출현의 방향으로 이루어져 왔다.

오답 피하기

산소 호흡을 할 수 있게 됨에 따라 에너지 효율이 높은 호흡을 할 수 있게 되어 더 많은 에너지가 필요한 진핵 세포, 다세포 생물이 탄생할 수 있게 되었다.

개념 활용 문제

pp.028~033

01. ②	02. ④	03. ②	04. ③	05. ②	06. ②	07. ②
08. ④	09. ⑤	10. ③	11. ②	12. ③	13. ⑤	14. ④

파스퇴르의 실험

파스퇴르에 의해 생물 속생설이 확립된 것은 첫째, S자관을 통해 산소가 공급되었는데도 유기물 용액에 미생물이 생기지 않았다는 것을 증명하였고, 둘째 목 부분을 잘라 내어 공기 중의 미생물이나 포자가 들어가면 유기물 용액에서 미생물이 발생하는 것을 보여 줌으로써 끓인 유기물 용액에서도 미생물이 번식할 수 있다는 것을 증명하였기 때문이다.

01 ② ㄴ. (나)의 S자로 휘어진 B 부위는 수증기가 식어서 된 물이 있어서 공기 중의 미생물은 B 부위를 통해 A 속으로 들어갈 수 없어 오랫동안 두어도 고기즙이 부패하지 않는다. 즉, 공기 중의 미생물은 B 부위를 통해 A 부위로 이동할 수 없다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 고기즙을 끓이면 미생물이 죽어 멸균이 되지만 영양 물질은 남아 있다. 이를 증명하려면 (나) 이후에 플라스크 목 부분을 깨뜨려 공기 중의 미생물이 들어가서 부패되는 것을 보여 주면 된다.

ㄷ. 공기는 (나)의 B 부위를 통해 A 부위로 들어갈 수 있다. 따라서 A 부위에는 공기가 있다.

생명체의 조건

세포막으로 둘러싸여 내부 환경을 안정한 상태로 유지할 수 있는 세포 구조를 갖추어야 하고, 유전 물질을 가지고 자기 복제를 하면서 번식할 수 있어야 하며, 필요한 물질과 에너지를 이용하기 위한 물질대사가 일어날 수 있도록 효소계를 가져야 한다.

02 ④ (가)와 (나)는 모두 유기물 복합체로 크기가 커지고, 일정 크기 이상이 되면 분열하여 수가 늘어난다. 마이크로스피어는 코아세르베이트에 비해 구조가 더 안정적이다.

오답 피하기

마이크로스피어와 코아세르베이트를 원시 생명체로 여기지지는 않는데, 그 이유는 유전 물질을 가지고 있지 않아 자기 복제 능력이 없기 때문이다.

03 ② ㄴ. 밀러와 유리는 둥근 플라스크에 환원성 기체를 넣고 전기 방전을 하여 U자관에 아미노산과 같은 간단한 유기물이 생긴다는 것을 보여 줌으로써 원시 지구 대기에서 무기물로부터 유기물이 합성된다는 가설을 실험적으로 증명하였다.

오답 피하기

ㄱ. 둥근 플라스크에 넣어 준 기체는 C, H, O, N가 수소와 결합한 환원성 상태인 메테인, 수증기, 수소, 암모니아이다.

ㄷ. 물을 끓이는 것은 원시 지구의 높은 온도를 재현하고 수증기를 지속적으로 공급하기 위한 것이다. 유기물 합성에 필요한 에너지는 전기 방전을 통해 제공되었다.

04 ③ ㄷ. 실험에서 암모니아의 양이 감소하는 것은 화학 반응을 거쳐 아미노산을 합성하는 데 질소원으로 이용되었기 때문이다.

오답 피하기

ㄱ. 사이안화수소와 알데하이드는 둥근 플라스크에서 화학 반응에 의해 생성된 후 물과 함께 U자관으로 들어가 발견된다.

ㄴ. 150시간이 지나더라도 아미노산이 단백질로 합성되지는 않는다.

심해 열수구

해저 화산 활동에 의해 뜨거운 물과 황화수소 및 황화철이 바다로 분출되는 장소이다. 열수구 주변에는 짙은 농도의 수소 가스, 메테인, 암모니아가 존재하며, 높은 온도가 유지되기 때문에 유기물 합성이 일어나기에 가장 적합한 장소로 여겨지고 있다.

05 ② ㄴ. 최근 들어 밀러와 유리 실험에 대해 제기되는 가장 큰 반론은 원시 지구 대기에는 이산화탄소와 같은 산화성 기체가 많이 포함되어 있었으며, 이런 조건에서는 유기물이 잘 합성되지 않는다는 것이다.

오답 피하기

ㄱ. 원시 지구 대기에는 번개와 같은 방전이 많이 일어나 에너지가 풍부한 상태였을 것이다.

ㄷ. 원시 지구에서 무기물로부터 유기물이 합성되는 과정은 효소의 작용 없이 풍부한 에너지에 의해 화학적으로 진행되었을 것이라고 여겨진다.

06 ② 무기물은 화학 반응에 의해 간단한 유기물인 아미노산과 염기(A) 등으로 합성될 수 있으며, 간단한 유기물은 단백질과 핵산(B) 등 복잡한 유기물로 합성되었다. 오파린은 유기물 복합체인 코아세르베이트(C)가 원시 생명체의 기원이 될 것이라고 제안하였다.

리보자임

유전 정보를 저장하는 동시에 촉매 기능을 하는 RNA이다. RNA는 단일 가닥으로 되어 있어 3차원적 입체 구조를 가질 수 있는데, 이 입체 구조가 효소로서의 기능을 나타내기도 한다. 일부 리보자임은 뉴클레오타이드가 공급되면 단백질 효소가 없는 조건에서 짧은 RNA를 상보적으로 복제할 수 있다는 것이 실험적으로 증명되었다. 이러한 특성 때문에 RNA는 원시 생명체의 탄생에 필수적인 요소로 받아들여지고 있다. 즉, RNA의 정보에 따라 단백질이 합성되고 합성된 단백질이 RNA나 DNA를 복제하는 효소로 작용했다는 것이다.

07 ② DNA는 이중 나선 구조이고, RNA는 단일 가닥이다. 구조적으로는 DNA가 안정적이고 훨씬 많은 유전 정보를 저장할 수 있지만, DNA는 단백질 효소가 없이는 복제될 수 없다. 초기 원시 생명체가 생성되는 시기에는 단백질 효소가 없는 상태에서 유전 정보가 복제될 수 있어야 하는데, RNA는 핵산의 일종으로 유전 정보를 저장할 수 있으면서 단일 가닥으로 다양한 입체 구조를 만들 수 있어 촉매 기능을 할 수 있는 것(리보자임)이 있다. 이 때문에 초기의 유전 물질은 RNA였을 것이라고 추정된다.

08 ④ ㄱ. A는 지구상에 최초로 등장한 무산소 호흡을 하는 종속 영양 생물로, 원핵생물이었을 것이다.

ㄴ. B는 이산화탄소를 흡수하여 영양소를 스스로 합성하는 독립 영양 생물이며, 이 과정에서 산소를 방출하여 대기의 산소 농도를 높였다.

오답 피하기

ㄷ. C는 산소 호흡을 하는 종속 영양 생물이다. A의 개체수 감소에 직접적인 영향을 미치는 것은 C보다는 대기의 산소 농도가 높아지게 된 것이다.

산소에 의한 지구 대기의 성분 변화

대기 중의 산소는 태양의 자외선을 흡수하여 오존(O_3)이 되고, 메테인과 암모니아는 제각기 산소와 반응하여 기체 상태의 이산화탄소와 질소로 바뀌었다.

09 ⑤ ㄴ. 대기로 방출되어 환원성의 원시 대기를 산화성의 현재 대기로 바꾸고 오존층 형성에 직접적인 계기가 된 물질 X는 산소이다. 산소의 농도가 증가한 후에 출현한 (다)는 산소 호흡을 하는 생물로, 무산소 호흡을 하는 (가)보다 세포 호흡의 에너지 효율이 크다.

ㄷ. 독립 영양 생물의 출현으로 대기의 산소 농도가 높아지게 되어 오존층이 형성되었다. 오존층이 형성되어 우주에서 유입되는 자외선이 대부분 차단되어 지표면에 도달하는 자외선의 양이 감소함에 따라 육상 생물이 출현하는 계기가 마련되었다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 유기물을 흡수하여 분해하는 종속 영양을 하고, (나)는 스스로 영양소를 합성하는 독립 영양을 한다. (나)의 독립 영양의 결과 산소가 방출되었다.

협기성 생물

무산소 상태에서 생명 활동을 할 수 있는 성질을 갖는 생물이다.

10 ③ ① 람블편모충은 운동 기관인 편모가 있으므로 운동성이 있을 것이다.

②, ④ 사람의 장 내에 기생하는 협기성 생물이므로 산소가 적은 곳에서 주로 서식하면서 유기물을 흡수하여 에너지원으로 이용하는 종속 영양 생물일 것이다.

⑤ 미토콘드리아는 없지만 미토콘드리아 DNA의 일부분이 핵 DNA에 존재하므로 진화 과정 중 미토콘드리아를 가졌던 시기가 있었을 것이다. 이후 미토콘드리아가 퇴화하고 DNA의 흔적만이 남아 있게 되었을 것이다.

오답 피하기

③ 람블편모충은 핵을 가지므로 진핵생물이다.

조류의 군체

동일한 세포의 집합으로 이루어진 고니움, 판도리나, 훈장말 등과 세포의 수가 많고 체세포와 생식 세포가 구별되는 군체로 존재하는 볼복스, 해캄 등이 있다. 이들을 통해 세포가 모여 다세포가 되고, 기능이 분화되는 다세포 생물이 출현하는 과정을 유추할 수 있다.

11 ② ① 제시된 그림은 단세포 생물로부터 군체, 다세포 생물로 진화하는 것을 보여 준다.

③ (나)에서 하나의 몸을 이루는 운동 세포와 영양 세포는 기능은 다르지만 같은 유전 정보를 가진다.

④ (가)에서 (나)로 될 때 몸을 구성하는 세포는 구조와 기능이 달라지는 분화 과정을 거친다.

⑤ (다)에서 몸은 핵을 가진 여러 개의 체세포로 이루어지므로 다세포 진핵생물이고, 생식을 담당하는 세포가 분화되는 것으로 보아 유성 생식을 한다.

오답 피하기

② (가)는 군체를 나타내며, 군체를 이루는 세포들은 유기적인 관계가 약하여 따로 떨어져서도 독립적으로 살 수 있다.

12 ③ ㄷ. 조직이나 기관은 다세포 생물에서만 나타나는 특징이다. Ⅲ 시기는 다세포 생물의 출현 이전이므로 이 시기에는 조직이나 기관이 발달한 생물체가 존재하지 않았다.

오답 피하기

ㄱ. Ⅰ 시기는 종속 영양을 하는 생명체가 탄생하여 번성한 시기로 대기의 산소 증가는 그 이후에 일어났다.

ㄴ. 대기의 산소 증가는 광합성 생물의 출현 이후에 일어난 사건이다. 따라서 Ⅱ 시기 전에 광합성 생물이 출현하였다.

13 ⑤ ⑤ 최초의 생명체 (가)가 출현하는 당시의 지구 대기에는 산소가 거의 없었으므로 (가)는 유기물을 흡수하여 세포질에서 분해하여 에너지를 얻는 종속 영양 생물이다.

오답 피하기

① 오파린은 무기물에서 간단한 유기물이 합성되는 A 과정이 원시 지구 대기에서 일어났다고 설명하였다.

② B 과정은 간단한 유기물이 복잡한 유기물인 단백질로 되는 단계로 효소가 없는 상태에서 진행되었다.

③ 밀러와 유리의 실험에 의해 증명된 과정은 A이다.

④ 원시 지구의 대기가 산화성 기체로 바뀐 것은 생명체가 탄생한 이후에 일어난 사건이다. 최초의 생명체는 종속 영양 생물이지만, 이후에 등장한 독립 영양 생물이 광합성을 통해 산소를 방출하여 대기의 산소 농도가 높아지면서 산화성 기체로 바뀌었다고 설명한다.

세포 내 공생설의 증거

① 미토콘드리아와 엽록체는 모두 두 겹의 막 구조로 되어 있다. 그 중 내막은 특히 원핵 세포의 막과 유사하다.

② 미토콘드리아와 엽록체는 원핵 세포와 유사한 분열 방식으로 복제되며, 자체의 유전 물질을 가지고 있다.

③ 미토콘드리아와 엽록체의 리보솜은 원핵 세포의 리보솜과 유사하다.

14 ④ ㄱ. a는 미토콘드리아이며, 이중막으로 싸여 있다.

ㄴ. b는 엽록체이며, 이중막으로 싸여 있다. 엽록체는 원핵 세포에서 볼 수 있는 것처럼 고리 모양의 DNA를 가지며, 크기와 특징이 원핵 세포의 것과 비슷한 리보솜을 가지고 있다.

ㄹ. 진화 과정에서 유형 B 세포는 2번의 공생을 거쳤고, 유형 A 세포는 1번의 공생을 거쳤다. 따라서 유형 B 세포가 유형 A 세포보다 더 많은 공생 과정을 거쳤다.

오답 피하기

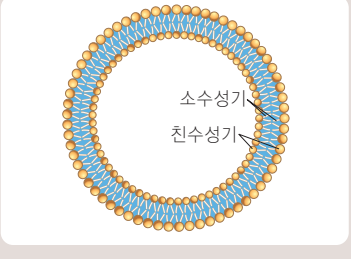
ㄷ. 유형 A 세포는 1번의 세포 내 공생을 거쳐 미토콘드리아를 가지는 생물이므로 산소 호흡을 하는 종속 영양 생물이다.

1. 파스퇴르의 실험과 생물 속생설의 확립

모범 답안 | (1) 파스퇴르는 플라스크의 목 부분을 S자로 구부려서 외부로부터 플라스크 내부로 공기는 들어가고 미생물이나 포자는 들어가지 못하도록 하였다.
(2) 고기즙을 식혀서 오랫동안 두어도 미생물이 생기지 않은 플라스크의 목 부분을 깨트려 공기 중의 미생물이 들어가면 고기즙이 부패하는 것을 보여 준다.

알짜 풀이 | 스팔란차니 실험의 한계는 공기 특히 산소가 공급되지 않았다는 데 있다. 따라서 미생물은 못 들어가고 공기는 들어갈 수 있도록 하여 이러한 반론을 잠재울 수 있다. 또, 끓인 고기즙에 미생물이 번식하지 않은 것이 영양소가 없기 때문이 아니라는 것을 보여 주려면 미생물이 들어가도록 하였을 때 부패하는 것을 보여 주면 된다.

리포솜
인지질과 다른 유기 분자를 물에 첨가하였을 때 생기는 인지질의 2중층으로 이루어진 작은 방울이다. 리포솜을 둘러싸는 인지질의 2중층은 세포막의 인지질 2중층과 구조적으로 같다.



인지질 2중층

2. 리포솜과 원시 세포

모범 답안 | (1) 리포솜과 원시 세포는 인지질 2중층으로 된 막으로 싸여 있으며, 간단한 물질대사를 할 수 있고, 작은 개체를 만들어 수를 늘릴 수 있다.
(2) 원시 세포는 리포솜과는 달리 핵산에 유전 정보를 저장하며, 물질대사가 효소에 의해 촉매된다.

알짜 풀이 | 리포솜은 인지질을 물속에 넣었을 때 형성되는 인지질 2중층으로 된 구조물이다. 이것이 세포막의 구성에 중요한 역할을 한 것으로 여겨진다. 리포솜이 막 구조를 가진 세포로 진화하기 위해서는 유전 물질을 가지고 물질대사를 할 수 있어야 한다.

3. 최초의 유전 물질

모범 답안 | 유전 물질은 유전 정보를 저장하고 자기 복제를 할 수 있어야 한다. DNA는 효소 없이는 복제될 수 없지만 RNA 중에는 유전 정보를 저장하면서 촉매 기능을 하는 것도 있으므로 초기의 유전 물질은 RNA였을 것이라고 판단된다.

알짜 풀이 | DNA는 이중 나선 구조이고, RNA는 단일 가닥이다. 구조적으로는 DNA가 안정적이고 훨씬 많은 유전 정보를 저장할 수 있지만, DNA는 단백질 효소가 없이는 복제될 수 없다. 그러나 RNA 중에는 유전 정보를 저장하는 동시에 다양한 입체 구조로 촉매 역할도 하는 리보자임이 있다는 것이 밝혀졌다. 리보자임의 존재는 초기의 유전 물질이 DNA가 아니라 RNA였을 것이라는 것을 뒷받침하는 근거가 된다.

진핵 세포의 탄생 가설
① 세포막 함입설 : 세포막의 함입으로 핵막과 소포체 등이 생겼다.
② 세포 내 공생설 : 미토콘드리아와 엽록체는 독립적으로 생활하던 호기성 세균과 광합성 세균이 숙주 세포 내에서 공생하던 것이 분화되어 만들어진 것이다.

4. 진핵 세포의 탄생

모범 답안 | (1) A는 핵막이다. 핵막과 같은 막은 세포막이 내부로 함입되어 만들어진 것으로 여겨지는데, 핵막의 구성 물질과 막 구조는 기본적으로 세포막과 동일하기 때문이다.
(2) 미토콘드리아(B)는 독립적으로 생활하던 산소 호흡 세균(호기성 세균), 엽록체(C)는 남세균과 같은 광합성 세균이 숙주 세포 내에서 공생하게 된 것으로부터 유래된 것이다. 이것은 미토콘드리아와 엽록체가 독자적인 DNA를 가지고 자기 복제를 할 수 있으며, 이중막 구조이고, 리보솜의 크기과 특성이 원핵 세포의 것과 유사하다는 것에 의해 뒷받침된다.

알짜 풀이 | (1) 핵막, 소포체와 같은 세포 내 막 구조는 세포막이 안쪽으로 함입하여 만들어졌다는 세포막 함입설에 의해 설명된다. 세포막을 비롯하여 세포 내에서 발견되는 모든 생체막은 구성 성분과 기본적인 막 구조가 동일하다. 핵막은 외부의 다양한 방향으로부터 형성되는 과정에서 이중막 구조를 가지게 되었으며, 핵막의 일부는 세포막과 연결되어 있는 것도 이러한 세포막 함입설의 주요 근거가 될 수 있다.

(2) 미토콘드리아와 엽록체는 자체 DNA를 가지고 자기 복제를 하며, DNA의 구조는 진핵 세포의 핵에서 발견되는 것과는 달리 원핵 세포와 같은 고리 구조이다. 그리고 이중막의 외막은 막으로 싸여서 숙주 세포 내로 들어오는 과정에서 생긴 것이라고 여겨진다. 미토콘드리와 엽록체는 자체 리보솜을 가지고 있는데, 크기와 특징이 원핵 세포의 것과 유사하다.

생명체의 출현과 진화

무산소 호흡, 종속 영양 원핵생물

↓ CO_2 증가

무산소 호흡, 독립 영양 원핵생물 출현

↓ O_2 증가

산소 호흡, 종속 영양 원핵생물 출현

↓

산소 호흡, 독립 영양 진핵생물의 출현

↓ 대기 중 O_2 농도 증가, 오존층 형성

육상 생물의 출현

5. 생명체의 진화

모범 답안 | (라) → (다) → (가) → (나)

원시 지구의 대기에는 산소가 없었으므로 무산소 호흡 생물이 먼저 출현하였으며, 독립 영양을 하기 위해서는 복잡한 구조가 필요하므로 종속 영양 생물이 독립 영양 생물보다 먼저 출현하였을 것이다. 또, 구조가 단순한 원핵 세포가 크고 복잡한 구조를 가진 진핵 세포보다 먼저 출현하였으며, 단세포 생물이 다세포 생물보다 먼저 출현하였을 것이다. 그리고 오존층의 형성 이후 육상 생물이 출현하였을 것이다.

알짜 풀이 | 최초의 생물체는 무산소 호흡을 하는 종속 영양 생물이며, 이것은 핵막이 없는 원핵생물이었을 것이다. 이후 독립 영양을 하는 원핵생물이 출현하였으며, 그에 따라 대기의 산소 농도가 증가하게 되었다. 대기에 산소가 풍부해지면서 산소 호흡을 하는 생물이 출현하였으며, 효율적인 에너지 대사 체계를 갖추게 됨에 따라 단세포 생물이 다세포 생물로 진화하게 되었다. 그리고 독립 영양을 하는 진핵생물의 출현으로 대기의 산소 농도가 급격히 증가하고 대기에 오존층이 형성되어 지표면에 도달하는 자외선이 양이 크게 감소함에 따라 육상 생물이 출현하게 되었다.

02 생물의 진화

개념 체크 p.055

A 비교해부학적 증거

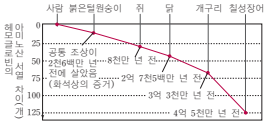
그림 (가)는 척추동물의 앞다리 구조를 나타낸 것이고, (나)는 새와 곤충의 날개를 나타낸 것이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 상동 기관, (나)는 상사 기관이다. (○)
2. (가)는 발생 기원이 달라도 같은 환경에 적응하는 과정에서 형태와 기능이 비슷해질 수 있다는 것을 보여 준다. (×)
3. 고양이의 앞다리와 고래의 가슴지느러미는 발생 기원이 같다. (○)
4. (나)는 수렴 진화의 예이다. (○)
5. (나)와 같은 관계의 또 다른 예로는 완두의 덩굴손과 포도의 덩굴손이 있다. (○)
6. 위와 같은 예는 생물 진화의 발생학적 증거에 해당한다. (×)

B 분자생물학적 증거

그림은 헤모글로빈을 구성하는 β 글로빈의 아미노산 서열을 비교하여 얻은 척추동물의 유연관계를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 칠성장어를 기준으로 다른 동물과의 유연관계를 알 수 있다. (×)
2. 사람과 붉은털원숭이는 가장 최근에 공통 조상으로부터 분리되었다. (○)
3. 사람이 가진 유전자는 진화 과정에서 변하지 않는다는 것을 가정한 것이다. (×)
4. 사람과 칠성장어는 공통 조상을 가지지 않는다. (×)

C 생물의 진화 과정

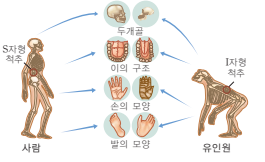
다음은 지질 시대 중 현생 이언 각 대의 지층에서 발견되는 대표적인 화석을 나타낸 것이다.

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 지구상에 (나)→(가)→(다)의 순서로 출현하였다. (×)
2. (가)가 나타난 지질 시대에는 캄브리아기 폭발이 포함된다. (×)
3. (가)와 (다)는 폐호흡을 하였다. (○)
4. (나)가 나타나 번성한 지질 시대에 육상 식물이 출현하였다. (○)
5. (다)가 번성한 지질 시대의 말기에 최초의 포유류가 출현하였다. (○)

D 인류와 유인원의 특징

그림은 사람과 유인원의 특징을 비교한 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 두개골의 용량은 사람이 유인원보다 크다. (○)
2. 사람은 송곳니가 크고 날카로워 음식을 물어뜯기에 적합하다. (×)
3. 사람의 손은 물건을 쥐거나 연장을 다루기에 알맞다. (○)
4. 사람의 척추는 직립 보행 시 충격을 완화시킬 수 있다. (○)
5. 사람의 발은 엄지발가락이 벌어져 있어서 직립 보행에 적합하다. (×)

A 비교해부학적 증거

01 (가)는 발생 기원은 같지만 형태와 기능이 다른 상동 기관, (나)는 발생 기원은 다르지만 형태와 기능이 같은 상사 기관이다.

02 (가)는 겉모습과 기능은 다르지만 발생 기원이 같은데, 이를 통해 각기 다른 환경에 적응하면서 앞다리가 각기 다른 기능을 수행하도록 변화할 수 있다는 것을 보여 준다.

03 고양이의 앞다리와 고래의 가슴지느러미는 발생 기원이 같은 상동 기관이다.

04 (나)는 겉모습과 기능은 비슷하지만 발생 기원이 다른 것으로 비슷한 환경에 적응하면서 형태가 비슷하게 되는 수렴 진화의 예이다.

05 완두의 덩굴손은 잎이 변한 것이고 포도의 덩굴손은 줄기가 변한 것으로 상사 기관이다.

06 상동 기관과 상사 기관은 비교해부학적 증거이다.

B 분자생물학적 증거

01 사람의 β 글로빈의 아미노산 서열을 기준으로 다른 생물들의 β 글로빈의 아미노산 서열을 비교하고 있으므로 사람을 기준으로 다른 동물과의 유연관계를 알 수 있다.

02 사람과의 유연관계가 가까운 종일수록 아미노산의 서열이 비슷하다. 사람과 붉은털원숭이는 가장 최근에 공통 조상으로부터 분리되어 β 글로빈의 아미노산 서열의 차이가 가장 적다.

03 DNA와 RNA의 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열의 차이를 통해 생물 간의 유연관계를 판별하는 것은 생물의 진화 과정에서 유전자가 변한다는 것을 전제로 한 것이다.

04 사람과 칠성장어는 4억 5천만 년 전에 공통 조상으로부터 분리되었다.

C 생물의 진화 과정

01 메머드(가)는 신생대, 삼엽충(나)은 고생대, 공룡(다)은 중생대의 대표 화석이다. 따라서 지구에 출현한 순서는 (나)→(다)→(가)이다.

02 고생대 초기인 캄브리아기에 많은 새로운 동물들이 갑작스럽게 출현한 것을 캄브리아기 폭발이라고 한다. 캄브리아기 폭발 시기는 (나)가 번성했던 고생대 시기이다.

03 (가)와 (다)는 육상에 적응하여 폐호흡을 하였다.

04 (나)가 나타나 번성한 지질 시대는 고생대이며, 이 시기에 육상 식물이 출현하였다. 고생대의 오르도비스기에 최초의 육상 식물인 선태식물과 양지식물이 출현하였다.

05 공룡(다)이 번성한 중생대 말기에 포유류가 출현하였다. 포유류는 신생대에 번성하였다.

D 인류와 유인원의 특징

01 사람의 뇌용량은 1,400~1,600mL이고 유인원의 뇌용량은 400mL이다. 따라서 두개골의 용량은 사람이 유인원보다 크다.

02 유인원은 송곳니가 크고 날카로워 먹이를 찢기에 알맞다. 사람은 송곳니가 작고, 송곳니와 앞니 사이에 틈이 없다.

03 사람의 손은 엄지손가락이 다른 손가락과 마주 닿을 수 있어 물건을 쥐거나 연장을 다루기에 알맞다.

04 사람의 척추는 S자형으로 직립 보행 시 충격을 완화시킬 수 있다.

05 사람의 발은 엄지발가락이 다른 발가락과 나란히 있으며, 발바닥의 가운데가 오목하여 직립 보행에 적합하다.

개념 확인 문제 pp.056~059

01. ②	02. ④	03. ①	04. ④	05. ①	06. ③	07. 침팬지
08. ②	09. ①	10. 생물지리학적 증거		11. A	12. 이언－대－기	
13. ②	14. ③	15. ⑤	16. ⑤	17. 선캄브리아대		18. ②
19. ④	20. ⑤	21. ③	22. ③	23. ㄹ	24. ①	

01 ② 말은 몸집이 커지고, 다리가 길어졌으며 발가락 수가 적어졌다. 이것은 서식지가 초원으로 된 것과 관련이 있을 것이다. 어금니는 커지고 주름이 복잡해져 풀을 씹기에 적합하게 되었다.

02 ④ 소철고사리는 양치식물과 종자식물의 특징을 모두 가지고 있으며, 시조새는 파충류와 조류의 특징을 모두 가지고 있다. 이것은 한 생물 무리로부터 다른 생물 무리가 분화되는 과정에서 두 생물 무리의 특징을 모두 가진 중간 형태가 있다는 것을 보여 준다.

상동 기관과 상사 기관

① 상동 기관 : 발생 기원은 같지만 형태와 기능이 다른 상동 기관은 공통 조상으로부터 각기 다른 환경에 적응하여 진화하였음을 보여 준다. 예 사람의 팔, 고양이의 앞다리, 고래의 가슴지느러미, 박쥐의 날개

② 상사 기관 : 발생 기원은 다르지만 형태와 기능이 같은 상사 기관은 생물이 비슷한 환경에 적응하며 진화하였음을 보여 준다. 예 곤충의 날개와 새의 날개, 담쟁이 · 완두 · 포도의 덩굴손

03 ① 박쥐와 새의 날개는 상동 기관이며, 나머지는 상사 기관이다.

04 ④ 박쥐의 날개와 고래의 가슴지느러미는 모두 앞다리가 변한 것으로 발생 기원이 같다. 이것은 척추동물이 서로 다른 환경에 적응하는 과정에서 기관의 형태와 기능이 다양해진 것을 보여 준다.

오답 피하기

ㄱ. 이 자료로 척추동물의 서식지 변화를 알 수 있는 것은 아니다.

05 ① ㄱ. 닭과 사람의 초기 발생 과정에서 아가미 틈과 항문 뒤쪽의 꼬리가 공통적으로 있는 것을 통해 이들이 공통 조상으로부터 분화되었음을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ. 닭과 사람의 초기 발생에서 아가미 틈과 항문 뒤쪽의 꼬리가 있는 것은 오래전에 가진 공통적인 특징을 보여 주는 것이지 아가미 호흡 시기나 꼬리로 헤엄치는 시기가 있다는 것을 의미하는 것은 아니다.

06 ③ 환형동물과 연체동물이 공통 유생기를 거치는 것은 발생학적 증거에 해당한다. 척추동물의 발생 초기 배가 유사한 것도 발생학적 증거에 해당한다.

07 침팬지

사람과 유연관계가 가까울수록 사람의 DNA 염기 서열과 유사하다.

분자생물학적 증거

유연관계가 가까운 생물일수록 DNA와 RNA의 염기 서열이 유사하고, 단백질의 아미노산 서열이 유사하다.

08 ② ㄱ. 유연관계가 멀수록 DNA의 염기 서열과 아미노산 서열의 차이가 커지고, 유연관계가 가까울수록 DNA의 염기 서열과 아미노산 서열이 유사하다.

ㄴ. 이것은 공통 조상으로부터 갈라진 지 오래될수록 염기 서열의 차이가 커지고, 그에 따라 단백질의 아미노산 서열에도 차이가 생기기 때문이다.

오답 피하기

ㄷ. 시간이 지나면서 DNA의 염기 서열에는 자연적인 돌연변이가 축적된다. 따라서 시간이 지나면서 생물의 유전 형질은 변할 수 있으며, 이러한 변이가 축적되어 다른 생물 종으로 분화되기도 한다.

09 ① 한 조상형으로부터 서로 다른 환경에 적응하는 과정에서 겉모습이나 기능이 다양해지는 것은 상동 기관의 예로 알 수 있다. 반대로 서로 다른 발생 기원을 가지더라도 서식 환경이 비슷할 때 겉모습과 기능이 비슷해지는 상사 기관은 수렴 진화의 예를 보여 준다.

10 생물지리학적 증거

갈라파고스 군도의 서로 다른 섬 환경에 적응하면서 핀치의 부리 모양이 다른 것은 지리적으로 분리되었을 때 서로 다른 생물상을 가지는 생물지리학적 증거에 해당한다.

표준 화석

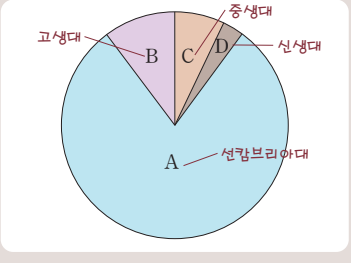
화석 중에서 생존 기간이 짧아 특정한 지층에서만 발견되는 것을 표준 화석이라고 한다. 표준 화석을 통해 그것이 발견된 지층의 연대를 추정할 수 있다. 삼엽충은 고생대, 암모나이트와 공룡은 중생대, 화폐석과 매머드는 신생대의 표준 화석이다.

11 A 지질 시대를 알려 주는 표준 화석은 특정 시기에만 생존하고 널리 분포하고 있어서 지질 시대를 대표할 수 있어야 한다. 따라서 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓은 A가 가장 적합하다.

12 이언-대-기

지질 시대의 시간 단위가 가장 긴 것은 이언(시생 이언, 원생 이언, 현생 이언)이고, 현생 이언은 고생대, 중생대, 신생대와 같이 여러 개의 대로 나뉘며, 고생대는 캄브리아기, 오르도비스기 등 여러 기로 구분된다.

지질 시대의 상대적 길이



13 ② ② 고생대(B)의 캄브리아기에 현존하는 동물 종 대부분의 조상이 출현하였다.

오답 피하기

① 판게아의 형성으로 해양 생물이 대량으로 멸종한 것은 고생대(B) 말기의 특징이다.
③ 대륙 이동과 각 대륙에서 개별적으로 포유류가 진화한 것은 신생대(D)의 특징이다.
④ 인류의 조상은 신생대(D)의 최근에 출현하였다.
⑤ 시조새는 중생대(C) 말기에 출현하였다.

14 ③ ③ 파충류가 번성하고 초기 포유류가 출현한 시기는 중생대이다. 중생대에는 겉씨식물이 번성하였다.

오답 피하기

①, ② 오존층의 형성으로 육상 절지동물과 양치식물 등이 출현한 것은 고생대이다.
④ 신생대 초기에는 해양에서는 유공충의 일종인 화폐석이 번성하였다.
⑤ 해양에서 몸이 유연하고 부드러운 동물이 출현한 것은 선캄브리아대이다. 에디아카라 동물군이 대표적인 예이다.

폐어

폐어는 어류이지만 원시적인 폐를 가지고 있어서 공기 중에서 호흡하는 폐호흡의 기원을 보여 준다.

실러캔스

실러캔스는 원시적인 다리 형태의 지느러미로 바닥을 기어다닐 수 있는데, 이를 통해 네 다리의 기원을 짐작할 수 있다.

15 ⑤ 폐어는 어류의 일종으로 아가미 호흡을 하지만 원시적인 폐를 가지고 있다. 실러캔스는 4개의 다리 형태의 지느러미가 있어 물속에서 기어다닐 수 있으나 육상에서 움직일 수 있는 형태는 아니다. 그러나 육상 동물의 출현에서 폐어(가)는 폐호흡, 실러캔스(나)는 네 다리의 기원에 대한 실마리를 제공한다는 면에서 의의가 있다.

오답 피하기

껍질에 싸인 알을 낳는 것은 척추동물이 육상에 진출한 이후에 보다 진화하여 파충류에 이르러 획득된 특징이다.

16 ⑤ 포유류는 파충류와는 달리 정온 동물이다. 이 때문에 기온에 관계없이 체온을 일정하게 유지할 수 있어 행동이 민첩하고 환경에 대한 적응력이 높았다.

17 선캄브리아대

선캄브리아대는 지질 시대 중 가장 긴 시간을 차지하며 생물의 다양성이 크지 않다.

이 시기에 최초의 생명체가 탄생하고, 진핵생물이 출현하였으며, 후기에는 에디아카라 동물군에서 볼 수 있듯이 몸이 유연하고 골격이 없는 동물이 출현하였다.

18 ② A는 고생대, B는 중생대, C는 신생대이다. 다세포 진핵생물은 선캄브리아대에 출현하였고, 중생대에는 육상에 겉씨식물과 파충류가 번성하였으며, 해양에는 암모나이트가 번성하였다.

오답 피하기

ㄱ. 고생대에는 육상 생물이 출현하였으며 양치식물이 번성하였다.

ㄷ. 신생대에는 포유류와 속씨식물이 번성하였다.

19 ④ 사람은 척추가 S자형이어서 보행 시 충격을 완화할 수 있다. 또, 골반이 짧고 넓으며 아래에는 다리의 근육이 부착할 수 있는 면적이 넓어서 두 다리로 몸을 지탱할 수 있는 힘이 강하므로 직립 보행에 적합한 골격을 가지고 있다.

오답 피하기

ㄷ. 사람의 발은 엄지발가락과 다른 발가락이 나란하다. 엄지발가락이 다른 발가락과 방향이 다르고 벌어져 있는 것은 유인원의 특징이며, 이것은 나뭇가지를 잡는 데 적합하다.

사람과 유인원의 특징 비교

구분	사람	유인원
뇌용량	1,400~1,600mL	400mL
시야 방향	정면(앞)	바닥
척추의 모양	S자형	I자형 또는 C자형
치아 구조	송곳니가 작고, 송곳니와 앞니 사이에 틈이 없다.	송곳니가 크고 날카로우며, 송곳니와 앞니 사이에 틈이 있다.
골반	짧고 넓다.	길고 좁다.
손의 모양	엄지가 길고 나머지 손가락과 마주 닿을 수 있다.	엄지가 짧고 나머지 손가락과 마주 닿을 수 없다.
발의 모양	엄지발가락이 나머지 발가락과 나란하며, 발바닥의 가운데가 오목하다.	엄지발가락이 나머지 발가락과 다른 방향이며 벌어져 있다.

20 ⑤ 사람은 유인원보다 송곳니가 작으며, 정면을 보기 때문에 시야가 넓다. 직립 보행을 하기 때문에 팔이 다리보다 짧고, 엄지손가락은 길고 다른 손가락과 맞닿을 수 있어 물건을 집기에 적합하다. 또, 골반이 짧고 넓다.

21 ③ 호모 에렉투스는 불을 사용할 수 있어 온대 지방으로 이주하여 생활할 수 있었던 최초의 화석 인류이다.

22 ③ 화석 인류로 가장 오래된 것은 ㅂ. 사헬란트로푸스 차덴시스이며, 이후 ㅁ. 오스트랄로피테쿠스, ㄴ. 호모 하빌리스가 있다. 그 후 불을 사용하는 ㄱ. 호모 에렉투스가 아프리카로부터 다른 지역으로 이주하였으며, ㄷ. 네안데르탈인과 ㄹ. 크로마뇽인이 나타났다. 크로마뇽인은 현생 인류의 직접 조상으로 현생 인류와 해부학적인 구조가 거의 비슷하다.

23 ㄹ 크로마뇽인은 현생 인류의 직접 조상으로 학명이 *Homo sapiens*로 같다. 그러나 네안데르탈인은 현생 인류의 조상과 같은 시대에 살기는 했지만, 미토콘드리아 DNA 분석을 통해 현생 인류의 직계 조상이 아닌 것으로 밝혀졌다.

24 ① ① 크로마뇽인은 동굴 생활을 하였으며, 동굴 속에서는 이들이 남긴 벽화가 발견되었다.

오답 피하기

② 네안데르탈인은 미토콘드리아 DNA 분석을 통해 현생 인류의 직접적인 조상이 아니라는 것이 밝혀졌다.

③ 오스트랄로피테쿠스는 인류의 조상으로 여겨지고 있다. 그러나 최초로 발견한 학자가 유인원의 화석으로 여겨 피테쿠스라는 명칭이 붙었다.

④ 호모 에렉투스 이전의 오스트랄로피테쿠스 등의 화석 인류도 직립 보행을 한 것으로 여겨진다. 다만 호모 에렉투스는 이전의 화석 인류와는 달리 대퇴골이 외형적으로 현생 인류와 거의 차이가 없기 때문에 직립 인간이라는 의미로 이름이 붙여졌다.

⑤ 호모속에 속하는 최초의 화석 인류는 호모 하빌리스이다.

개념 활용 문제 pp.060~067

01. ②	02. ①	03. ③	04. ②	05. ⑤	06. ①	07. ③
08. ④	09. ③	10. ②	11. ③	12. ①	13. ⑤	14. ⑤
15. ③	16. ③					

01 ② ㄱ. 오래 전 지층에서 발견되는 고래의 화석은 육상 생활에 적합한 네 다리를 모두 가지고 있지만, 현생 고래 쪽으로 가까워질수록 다리 특히 뒷다리가 퇴화하고 있다. 이를 통해 현생 고래는 육지에서 살던 네 다리 동물로부터 진화하였음을 알 수 있다.
ㄴ. 고래의 가슴지느러미는 고양이의 앞다리와 발생 기원이 같은 상동 기관이다.

오답 피하기
ㄷ. 현생 고래는 씹는 이빨이 퇴화하였으나 물속의 동물성 플랑크톤을 걸러서 먹는 육식성이다.

척추동물의 초기 배의 유사성
척추동물의 초기 배 발생 과정에서 나타났던 아가미 틈은 어류에서는 아가미가 되지만, 육상 척추동물의 경우에는 발생이 진행되면서 아가미로 되지 않고 두개골을 지지하는 뼈나 성대가 된다. 이와 같이 발생 후기의 기관과 전체 모습에서는 비슷한 특징을 찾아보기 어렵다.

02 ① ㄱ. 척추동물의 초기 배가 유사하다는 것은 이들이 오래 전에 공통 조상으로부터 분리되어 진화하였다는 것을 보여 주는 발생학적 증거에 해당한다.

오답 피하기
ㄴ. 생물이 환경에 적응하는 과정에서 몸의 구조가 변한다는 것을 알아보려면 상동 기관을 비교해야 한다.
ㄷ. 생물의 진화 과정에서 두 종의 특징을 모두 가지는 중간 형태의 생물이 출현하는 것은 시조새나 소철고사리의 화석을 통해 알 수 있다.

03 ③ 겉모습과 기능이 달라도 척추동물의 앞다리로부터 기원한 것을 보여 주는 상동 기관은 비교해부학상의 증거에 해당한다. 담쟁이의 덩굴손과 포도의 덩굴손은 상사 기관이다.

오답 피하기
① 중간 단계의 분류군에 해당하는 시조새의 화석은 화석상의 증거에 해당하며, ② 환형동물과 연체동물이 공통 유생기를 거치는 것은 발생학적 증거이다. ④ 오스트레일리아의 독특한 생물상은 생물지리학적 증거이며, ⑤ 단백질의 아미노산 서열의 차이를 분석하는 것은 분자생물학적 증거이다.

사이토크롬 c
사이토크롬 c는 미토콘드리아의 내막에 있는 전자 전달 과정에 관여하는 호흡 효소이다. 따라서 산소 호흡을 하는 대부분의 생물은 사이토크롬 c를 가지고 있다.

04 ② ㄷ. 사이토크롬 c의 아미노산 서열을 사람의 것과 비교한 결과 거북은 붉은털원숭이보다 차이가 나는 아미노산의 수가 더 많다. 이것은 사람은 거북보다 붉은털원숭이와 유연관계가 가까운 것을 의미한다. 즉, 사람과 거북의 공통 조상에 이르는 시간은 사람과 붉은털원숭이의 공통 조상에 이르는 시간보다 길며 더 오래 전에 서로 다른 진화의 경로를 거쳤다.

오답 피하기
ㄱ. 제시된 자료는 사람과 다른 동물과의 유연관계를 알아보는 것이다. 따라서 개와 닭 사이의 유연관계를 개와 사람의 유연관계와 비교하여 설명할 수 없다.
ㄴ. 사람과 침팬지의 사이토크롬 c의 아미노산 서열이 일치한다는 것은 몸을 구성하는 수많은 단백질 중 한 가지의 아미노산 서열이 일치하는 것이다. 사람과 침팬지는 염색체 수도 다르고 염기쌍의 수도 다르므로 이들의 유전체가 가지는 전체 염기 서열이 일치할 수는 없다.

05 ⑤ 제시된 자료는 지리적으로 다른 곳에 위치하는 생물들의 분포를 통해 생물들의 진화와 서로 다른 환경에 적응하는 과정에서 차이가 나타난다는 것을 보여 주는 생물지리학적 증거이다. 이러한 증거에는 ㄴ. 갈라파고스 군도에 서식하는 핀치의 부리 모양 차이와 ㄷ. 남아메리카와 아프리카에서 공통으로 발견되는 조개 화석은 조개가 대륙 이동 전에 출현했다는 것을 알려 주는 것 등이 있다.

오답 피하기
ㄱ. 비단뱀의 뒷다리는 걷는 데는 사용되지 않고 흔적으로만 남아 있는 것은 비교해부학적 증거이다.

06 ① ㄱ. B~E의 아미노산 서열을 A와 비교하여 차이가 적은 것부터 나열하면 A와의 유연관계를 알 수 있다. B는 4개, C는 3개, D는 3개, E는 1개가 다르다. 따라서 A와 유연관계가 가까운 것부터 나열하면 E, C와 D, B이다.

오답 피하기

ㄴ. 특정 단백질의 아미노산 서열을 비교한 것이므로 A~E를 구성하는 모든 단백질에서 같은 결과가 나타나는 것은 아니다.

ㄷ. 서로 다른 종의 생물의 경우 동일한 기능을 수행하는 단백질이라 하더라도 아미노산 서열이 조금씩 다르다. 이것은 동일한 기능을 하는 단백질을 암호화하는 DNA의 염기 서열이 다르다는 것을 의미한다.

항원 항체 반응

항체는 그것을 만들게 한 항원에만 작용하는 특이성이 있다. 따라서 사람의 혈청에 의해 만들어진 항체는 사람의 혈청 단백질이나 이와 유사한 단백질을 항원으로 인식하여 면역 반응을 일으키게 된다.

07 ③ i) ㄱ. 항원 항체 반응은 특이성 있어서 항체는 그것을 만들게 한 항원하고만 결합한다.

ii) ㄴ. 그러므로 사람의 혈청 단백질에 대해 토끼에서 만들어진 항체는 사람의 혈청 단백질과 유사할수록 반응하여 침강하는 비율이 높다. 따라서 침강률이 높은 동물의 혈청 단백질은 사람의 혈청 단백질과 유사하다는 것을 알 수 있다.

iii) ㄷ. 이 자료를 근거로 사람과 유연관계가 가까운 동물을 나열하면 침팬지> 고릴라> 여우원숭이> 고슴도치> 돼지> 개> 염소로 나타낼 수 있다. 이러한 결론을 도출할 수 있는 것은 사람과 최근에 공통 조상으로부터 분화된 동물은 유전자의 염기 서열이 유사하여 단백질의 아미노산 서열이 비슷하다는 데 근거를 두고 있다.

핵심 조절 유전자

생물의 배 발생 과정에서 몸의 형태 발달을 명령하는 유전자의 활성을 조절하는 유전자이다. 초파리나 포유류와 같이 매우 다른 생물 종이 가지고 있는 핵심 조절 유전자가 매우 유사하며, 대부분의 진핵생물은 배 발생 시 이와 유사한 조절 유전자를 가질 것으로 추정된다. 이러한 핵심 조절 유전자의 유사성은 모든 진핵생물이 공통 조상으로부터 유래했다는 것을 암시한다.

08 ④ ㄴ, ㄷ. 핵심 조절 유전자는 발생 과정에서 세포의 분화를 결정하는 상위 조절 유전자이다. 초파리와 쥐의 발생 과정에서 작용 부위가 비슷한 핵심 조절 유전자가 있다는 것을 통해 배 발생에 중요한 기능을 하는 핵심 조절 유전자 집단이 진화 과정에서 보존되며, 이들이 공통 조상으로부터 유래되었다는 것을 추론할 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 초파리와 쥐의 핵심 조절 유전자 집단에 공통점이 있다는 것은 이들이 공통 조상으로부터 진화하였다는 것을 보여 준다.

09 ③ ㄱ. 제시된 자료에는 원시 포유류가 다양한 환경에 적응하여 진화한 것을 보여 준다. 포유류의 다양한 진화는 신생대에 일어났다.

ㄴ. 박쥐의 날개, 사슴의 앞다리, 사람의 팔은 포유류의 선조가 되는 네 다리 동물의 앞다리가 변한 것으로, 이와 같이 겉모습과 기능은 다르지만 발생 기원이 같은 기관을 상동 기관이라고 한다.

오답 피하기

ㄷ. 물개와 고래는 육상 생활을 하던 포유류가 물속 생활로 돌아간 것이다. 그러나 물개는 고래로 진화하는 중간 단계가 아니라 포유류의 선조로부터 고래와는 각기 다르게 진화한 종이다.

10 ② i) (가)는 포유류가 번성한 신생대, (나)는 몸이 연하고 부드러운 에디아카라 동물군이 나타나는 선캄브리아대, (다)는 해양에 삼엽충이 번성한 고생대, (라)는 파충류가 번성한 중생대를 나타낸 것이다. 따라서 지질 시대를 연대순으로 배열하면 (나) → (다) → (라) → (가)이다.

ii) 선캄브리아대(나)는 지질 시대 중 가장 길이가 긴 시기로, 원핵생물이 진핵생물로 진화하였으며, 대기의 산소 농도가 증가하여 산소 호흡을 하는 생물이 출현하였다.

iii) 고생대(다)에는 현존하는 대부분의 동물의 조상이 출현하였고, 육상 생물이 출현하였으며, 양치식물이 번성하였다.

11 ③ i) 물속에 사는 조류는 양치식물, 양치식물과 종자식물의 중간 형태(가)를 거쳐 은행나무(나)와 같은 겉씨식물로 진화하였다. (가)는 고생대에 등장하였으며, 겉씨식물(나)은 중생대에 번성하였다.

ii) 조류가 육상 식물로 진화한 것은 몸의 표면에서 물의 증발을 막고 잎, 줄기, 뿌리가 분

화하여 이산화탄소와 물을 흡수하는 부위가 분리되었으며, 양분과 수분의 운반 통로인 관다발이 발달하였다는 것을 의미한다.

iii) 식물의 번식 방법은 포자에서 종자로 진화하였다.

틱타알릭 로제

틱타알릭은 턱과 지느러미, 비늘 등 어류의 특징을 갖추고 있는 동시에 육상 동물의 특징인 관절과 발목 그리고 지느러미에 몸통을 지탱하는 뼈를 가지고 있었다. 네 다리 달린 동물의 진화 과정 중 과도기적인 다리 구조를 가진 틱타알릭은 어류와 현생 육상 동물을 이어주는 중간 단계로 여겨진다.

12 ① ㄷ. (나)는 육지로 진출하는 과도기적인 다리 구조를 가진 것이고, (다)는 완전한 다리 구조를 가지고 육상을 네 다리로 걸어다닌다. 그런데 (다)의 경우에는 다리의 발달과 함께 공기로 숨을 쉬는 폐호흡을 하게 된 것이 물을 떠나 육상에서 살아가는 데 매우 중요한 역할을 하였을 것이다.

오답 피하기

ㄱ. 육상 척추동물의 출현은 고생대에 일어났으며, 중생대에는 완전히 육상 생활에 적응한 파충류가 번성하였다.

ㄴ. (가)의 가슴지느러미는 아직 완전한 앞다리의 구조를 갖추지 못하였으며, 해부학적으로 다리의 구조라고 할 수는 없다. 따라서 고래의 가슴지느러미와 상동 기관이라고 할 수 없다.

13 ⑤ ㄴ. 사람은 엄지손가락이 다른 손가락과 맞닿을 수 있어 물건을 집기에 적합하다.

ㄷ. 사람은 유인원보다 뇌의 용량이 크고, 정면을 바라보기 때문에 시야가 넓다.

ㄹ. 사람의 척추는 S자형으로 휘어 있어서 직립 보행 시 충격을 완충시켜 준다. 그 밖에도 사람의 골반은 짧고 넓으며, 엄지발가락은 다른 발가락과 나란하고 발바닥은 가운데가 오목하여 오래 걸을 수 있도록 되어 있다.

오답 피하기

ㄱ. 턱이 앞으로 돌출되어 있어 안면각이 작은 것은 유인원의 특징이다.

화석 인류 출현 시기

화석 인류를 출현 시기별로 나열하면 오스트랄로피테쿠스 아파렌시스→호모 하빌리스→호모 에렉투스→네안데르탈인→ 크로마뇽인의 순이다.

14 ⑤ ① 현생 인류의 학명은 *Homo sapiens*이며, *Homo*는 속명이고 *sapiens*는 종소명이다. 따라서 제시된 화석 인류의 학명에서 현생 인류와 같은 *Homo*속에 속하는 종은 호모 하빌리스, 호모 에렉투스, 네안데르탈인, 크로마뇽인 4종이다.

② 호모 에렉투스는 불을 사용한 최초의 화석 인류로 온대 지방으로 이동하였다.

③ 네안데르탈인은 오스트랄로피테쿠스보다 뇌용량이 더 크고 최근에 존재했던 화석 인류이다.

④ 현생 인류와 유연관계가 가장 가까운 종은 현생 인류와 학명이 같은 크로마뇽인이다.

오답 피하기

⑤ 호모 하빌리스는 호모 에렉투스 이전의 화석 인류로 이 때는 불을 사용하지 못하였으므로 서식 지역은 아프리카로 제한된다.

15 ③ ㄱ. 공통 조상 종과의 염기 서열 차이는 (가) 1개, (나) 2개, (다) 3개로 (가)~(다) 중 진화 과정에서 DNA 염기 서열의 변화가 가장 적게 일어난 것은 공통 조상 종과 염기 서열 차이가 가장 적은 (가)이다.

ㄷ. (다)의 염기 서열을 기준으로 (가)는 4개, (나)는 1개가 다르다. 따라서 (다)는 (가)보다 (나)와 계통상 유연관계가 더 가깝다.

오답 피하기

ㄴ. 공통 조상 종의 특징을 보존하다가 가장 먼저 분화된 것은 공통 조상 종과 아미노산 서열이 가장 유사한 (가)이다.

16 ③ ㄱ. A는 고생대이다. 이 시기에는 최초의 어류인 갑주어가 출현하였다. B 시기는 중생대이며, 해양에서는 암모나이트가 번성하였다.

ㄷ. (가)는 고생대의 말기로 해양 생물의 대멸종이 일어났는데, 이것은 여러 대륙이 판게아라는 초대륙을 형성한 것과 관련이 있다.

오답 피하기

ㄴ. C는 신생대이며, 이 시기에 육상에서는 속씨식물이 번성하였다. 최초의 종자식물은 속씨식물이 아니라 겉씨식물로 고생대(A)에 출현하였고, 겉씨식물은 중생대(B)에 번성하였다.

중간 단계의 생물
- 소철고사리 : 양치식물+종자식물
- 오리너구리 : 포유류+조류
- 폐어 : 어류+양서류
- 시조새 : 조류+파충류

1. 진화의 증거

모범 답안 | (1) 두 가지 생물의 특징을 함께 갖는 중간형 생물은 생물의 진화 방향을 알려 준다. 시조새를 통해 조류는 파충류로부터 진화하였다는 것을 알 수 있다.
(2) 발생 기원은 다르지만 비슷한 환경에 적응하는 과정에서 겉모습과 기능이 비슷한 기관을 가지기도 한다.
(3) 유연관계가 가까울수록 DNA의 염기 서열과 단백질의 아미노산 서열이 비슷하다.

알짜 풀이 | ㈎는 중간 단계의 생물 화석을 통해 생물의 진화 방향을 알 수 있다. ㈏는 상사 기관이며, 이것은 비슷한 환경에 적응하는 과정에서 외형과 기능이 비슷해지도록 진화한다는 것을 보여 준다. ㈐는 분자생물학적 증거로서 생물이 가진 DNA 유전 정보는 시간이 지나면서 점차 달라지게 되는데, 공통 조상으로부터 오래전에 갈라진 것은 DNA 염기 서열의 차이가 크다. DNA의 유전 정보는 단백질을 통해 발현되는데, 유전 정보가 달라지면 단백질의 아미노산 서열도 달라진다.

지질 시대
- 선캄브리아대 : 최초의 진핵생물이 출현하는 시기이며, 에디아카라 동물군에서는 오늘날의 해파리, 지렁이와 비슷한 몸이 유연하고 골격이 없는 동물이 나타난다.
- 고생대 : 다양한 어류가 번성하고 단단한 껍질을 가진 동물이 나타났다. 오존층이 형성된 후 육상 생물이 출현하였으며, 고생대 말기에는 판게아가 형성되어 해양 생물의 대멸종이 일어났다.
- 중생대 : 파충류가 번성하였고 초기 포유류가 나타났으며, 겉씨식물이 번성하였다.
- 신생대 : 포유류와 속씨식물이 크게 번성하였고, 최초의 인류가 출현하였다.

2. 지질 시대와 생물의 진화

모범 답안 | A－최초의 척추동물인 어류가 출현하였고, 육상 생물이 출현하였다. B－파충류와 겉씨식물이 번성하였다. C－원핵생물로부터 진핵생물이 출현하였으며, 다세포 생물이 출현하였다.

알짜 풀이 | 고생대(A)에는 해양에서 최초의 어류인 갑주어가 출현하였으며, 오존층 형성으로 육상 생물이 출현하였고 양치식물이 번성하였다. 중생대(B)에는 파충류가 번성하였고, 은행나무와 소철 같은 겉씨식물이 번성하였다. 선캄브리아대(C)에는 진핵생물의 출현, 다세포 생물의 출현이 일어났다.

3. 육상 척추동물의 출현

모범 답안 | (1) 네 다리를 가진 육상 동물의 출현은 고생대에 일어났을 것이다
(2) 물속에서 생활하던 생물이 육상으로 올라오는 데 결정적인 계기가 된 것은 지구 대기에 오존층이 형성된 것이다.
(3) 육상 척추동물은 공기를 직접 호흡하는 폐호흡을 하고, 중력에 대해 몸을 지탱하고 움직이기 위해 네 다리가 발달하였으며, 암컷의 체내에서 수정하고 껍질에 싸인 알을 육지에 낳음으로써 번식 과정에서 물에 의존하지 않게 되었다.

알짜 풀이 | 육상 동물의 출현은 오존층이 형성된 고생대에 일어났으며, 완전히 육상 생활에 적응한 척추동물인 파충류의 경우 폐호흡을 하고, 네 다리로 움직이며, 체내 수정을 하고 껍질에 싸인 알을 낳는다.

4. 인류의 진화

모범 답안 | (1) 오스트랄로피테쿠스 → 호모하빌리스 → 호모 에렉투스 → 호모 네안데르탈렌시스
(2) 호모 에렉투스는 불을 사용하여 온대 지역으로 이동할 수 있었으므로 그 이후에 출현한 화석 인류는 여러 대륙에서 발견된다.

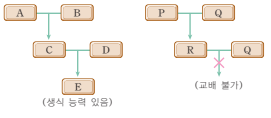
알짜 풀이 | 오스트랄로피테쿠스는 약 400만 년 전, 호모 하빌리스는 약 240만 년 전, 호모 에렉투스는 약 180만 년 전, 호모 네안데르탈렌시스는 약 20만 년 전에 출현한 화석인류이다. 인류는 아프리카로부터 기원한 것으로 여겨지는데 호모 에렉투스는 불을 사용할 수 있게 되어 겨울이 있는 온대 지역에서도 살 수 있게 되어 호모 에렉투스 이후부터는 아프리카 이외의 지역에서도 인류의 화석이 발견된다.

01 생물의 분류와 진화의 계통

개념 체크 p.083

A 종의 개념

다음은 같은 종에 속하는지 알아보기 위해 몇 가지 동물의 암수를 교배시킨 결과이다. (단, A~E, P~R는 동물 개체를 나타낸다.)



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A와 B는 같은 종에 속한다. (○)
2. C와 D는 같은 종에 속한다. (○)
3. E는 A와 같은 종이 아니다. (×)
4. P와 Q는 같은 종에 속한다. (×)
5. R는 P, Q와는 독립된 종이다. (×)
6. 위의 방법으로 종을 구별하는 것은 형태학적 종의 개념에 근거한 것이다. (×)

B 분류 계급

다음은 생물의 분류 계급을 나타낸 것이다.

역 – 계 – 문 – 강 – 목 – 과 – 속 – 종

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 생물은 현재 3개의 역과 6개의 계로 분류된다. (○)
2. 역에서 종으로 갈수록 그 단계의 분류군에 속하는 생물이 다양해진다. (×)
3. 종에서 역으로 갈수록 그 단계의 분류군에 속하는 생물들끼리의 유연관계가 가깝다. (×)
4. 같은 강에 속하는 생물 집단은 모두 같은 목에 속한다. (×)
5. 같은 과에 속하는 생물 집단은 모두 같은 목에 속한다. (○)
6. 학명이 같은 개체들은 같은 과에 속한다. (○)
7. 문과 강 사이에 아문의 단계를 둘 수 있다. (○)
8. 종의 아래 단계에 아종, 변종, 품종이 있다. (○)
9. 다른 아종에 속하는 개체들끼리는 교배하여 생식 능력이 있는 자손이 나올 수 없다. (×)

C 학명

다음은 세 가지 식물의 학명을 나타낸 것이다.

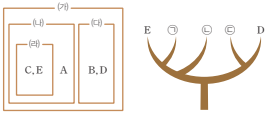
- 동백나무 *Camellia japonica* Linné
- 쪽동백나무 *Styrax obassia* Siebold & Zucc.
- 때죽나무 *Styrax japonica* Miers

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 세 학명 모두 이명법을 사용하였다. (○)
2. 때죽나무는 동백나무와 다른 종이다. (○)
3. 쪽동백나무와 동백나무는 같은 '속'에 속한다. (×)
4. 쪽동백나무와 때죽나무는 같은 '과'에 속한다. (○)
5. 동백나무와 때죽나무는 종소명이 다르다. (×)
6. 쪽동백나무는 때죽나무보다 동백나무와 유연관계가 가깝다. (×)

D 계통수

그림은 생물 종 A~E를 특징 (가)~(라)에 따라 분류한 후, 이를 바탕으로 작성한 계통수의 일부를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A~E는 공통적으로 특징 (가)를 가진다. (○)
2. ㉠에 해당하는 생물 종은 A이다. (×)
3. ㉡에 해당하는 생물 종은 특징 (가)와 (나)를 가진다. (○)
4. ㉢은 생물 종 D와 가장 유연관계가 가깝다. (○)
5. A는 D보다 E와 유연관계가 가깝다. (○)
6. E와 A의 분화가 E와 C의 분화보다 더 최근에 일어났다. (×)

A 종의 개념

01 A와 B는 생식 능력이 있는 자손을 낳으므로 같은 종이다.

02 C와 D도 생식 능력이 있는 자손을 낳으므로 같은 종이다.

03 교배를 통해 대를 이어갈 수 있으므로 E와 A는 같은 종이다.

04 P와 Q에서 태어난 자손은 생식 능력이 없으므로 같은 종이 아니다.

05 R는 서로 다른 종 사이에 태어난 잡종으로, 생식 능력이 없으므로 독립된 종으로 취급하지 않는다.

06 이와 같은 방법은 생물학적 종의 개념에 기초한 것이다.

B 분류 계급

01 생물의 분류 체계는 현재 3역 6계이다.

02 가장 큰 분류 단계인 역으로 갈수록 그 단계의 분류군에 속하는 생물이 다양해진다.

03 가장 작은 분류 단계인 종으로 갈수록 그 단계의 분류군에 속하는 생물들끼리의 유연관계가 가깝다.

04 같은 강에는 여러 개의 목이 속하므로 같은 강에 속하는 생물 집단이라고 해서 하위 분류 단계인 목이 같은 것은 아니다.

05 같은 과에 속하는 생물 집단은 상위 분류 단계인 목이 같다.

06 학명이 같은 개체들은 같은 속에 속하므로 상위 분류 단계인 과도 같다.

07 아문은 문과 강 사이의 분류 단계이다.

08 종보다 하위 단계에 아종, 변종, 품종이 있다.

09 아종이 달라도 종이 같으면 교배하여 생식 능력이 있는 자손이 나올 수 있다.

C 학명

01 세 학명 모두 속명과 종소명을 표기하였으므로 이명법을 사용하였다.

02 때죽나무와 동백나무의 속명이 각각 *Styrax*, *Camellia*이므로 속명이 다르다. 따라서 서로 다른 종이다.

03 쪽동백나무와 동백나무의 속명이 *Styrax*, *Camellia*이므로 속명이 다르다. 따라서 서로 다른 속에 속한다.

04 쪽동백나무와 때죽나무의 속명은 모두 *Styrax*로 같다. 따라서 상위 분류 단계인 과도 같다.

05 동백나무와 때죽나무의 종소명은 *japonica*로 같다.

06 쪽동백나무는 동백나무와는 다른 속이고, 때죽나무와는 같은 속이므로 동백나무보다 때죽나무와 유연관계가 가깝다.

D 계통수

01 A~E는 모두 공통 특징 (가)를 가진다.

02 ㉠은 E와 유연관계가 가장 가까운 C이다.

03 ㉡은 C, E와 유연관계가 가까운 A이다. 생물 종 A는 특징 (가), (나)를 가진다.

04 ㉢은 D와 유연관계가 가까운 B이다. 생물 종 B는 특징 (가), (다)를 가진다.

05 A는 다른 가지에 있는 D보다 같은 가지에 있는 E와 유연관계가 가깝다.

06 C와 E는 A와 E보다 공통적인 특징이 가장 많으므로 E와 C의 분화가 E와 A의 분화보다 더 최근에 일어났다.

개념 확인 문제 pp.084~087

01. ④, ⑤	02. ③	03. ④	04. ③	05. ⑤	06. ③	07. ④
08. ①	09. ⑤	10. ④	11. *Felis catus*(Linné)		12. ③	13. ②, ③
14. (가), (다), (라), (나)		15. ⑤	16. ④	17. ②	18. ⑤	19. ③
20. ④	21. ⑤					

01 ④, ⑤
종자의 유무, 체강의 종류, 관다발 유무와 같은 생물이 가진 고유한 특징을 기준으로 분류하는 것은 자연 분류이다.

오답 피하기
서식지, 겨울눈의 위치, 식성, 사람의 사용 용도 등을 기준으로 하는 것은 인위 분류이다.

02 ③ 척추의 유무, 관다발 유무는 자연 분류의 기준이다. 그러나 약용과 식용 같은 사람의 사용 용도, 육식과 초식 같은 동물의 식성은 인위 분류 기준이다.

종간 잡종
종간 잡종은 생식 세포 형성을 위한 감수 분열이 제대로 일어나지 않아 불임이 될 가능성이 높다. 종간 잡종의 예로는 암말과 수탕나귀 사이에서 태어난 노새, 수말과 암탕나귀 사이에서 태어난 버새 등이 있는데, 이들은 정상적인 생식 기관을 갖지 못하여 불임이다.

03 ④ ㄱ. 풍산개와 진돗개는 염색체 수가 같고 교배하여 생식 능력 있는 자손을 낳으므로 같은 종이다.
ㄷ. 노새는 암말의 난자(32개)와 수탕나귀의 정자(31개)가 수정하여 태어났으므로 체세포 염색체 수는 63개이다.

오답 피하기
ㄴ. 호랑이와 사자는 염색체 수가 38개로 같지만 이들 사이에 태어난 라이거는 생식 능력이 없으므로 다른 종이다. 따라서 염색체 수가 같다고 해서 같은 종은 아니다.

04 ③ 호랑이와 사자처럼 종이 다르더라도 교배하여 자손을 낳을 수는 있지만, 태어난 자손이 대체로 생식 능력이 없다.

05 ⑤ 새 A, B, C가 같은 종이라면 교배하여 생식 능력이 있는 자손이 생길 것이므로 이를 조사하면 된다.

아종, 변종, 품종
- 아종 : 같은 종이지만 주로 지리적 분포가 다른 생물 집단
- 변종 : 같은 종이지만 돌연변이가 생긴 생물 집단
- 품종 : 같은 종이지만 사람이 이용하기 위해 재배하고 사육하는 동안에 형질이 개량된 생물 집단

06 ③ 분류 단계를 세분화할 때는 '아'를 붙인 하위 중간 단계를 두기도 한다. 예를 들어 아과는 과보다는 아래 단계, 속보다는 상위 단계에 속하므로 과와 속 사이에 위치한다.

오답 피하기
① 생물의 분류 계급은 역, 계, 문, 강, 목, 과, 속, 종의 8단계로 구성된다.
② 역이 가장 상위 분류 단계이다.
④ 역으로 갈수록 그 단계에 속하는 생물의 종류가 다양한데, 같은 목에 속하는 생물보다 같은 강에 속하는 생물의 종류가 많다.
⑤ 종 아래에는 아종, 변종, 품종을 두는데, 이 중에서 지역적인 분포가 다른 같은 종의 생물들을 아종으로 분류한다.

07 ④ 사람과 개는 같은 강에 속하므로 이들은 같은 문, 계, 역에 속한다.

오답 피하기
사람과 개는 강보다 하위 분류 단계는 다른데, 사람은 영장목, 개는 식육목에 속한다.

08 ① ② 호랑이와 개는 다른 과에 속하지만, 호랑이와 고양이는 같은 과에 속한다. 따라서 호랑이는 개보다 고양이와 유연관계가 가깝다.
③ 호랑이와 고양이는 다른 속에 속하므로 학명이 다르다.
④ 개, 호랑이, 고양이는 같은 포유강에 속하므로 그보다 상위 분류 단계인 문, 계, 역은 같다.

⑤ 유사한 속을 묶으면 상위 단계인 과가 되고, 유사한 과를 묶으면 상위 단계인 목이 된다.

오답 피하기

① 목은 과보다 상위 분류 단계이다. 따라서 고양이과는 식육목에 속하는 여러 과 중의 하나이다.

09 ⑤ 상위 분류 단계가 다를수록 유연관계가 멀다. 따라서 문이 다른 경우가 목, 과, 속, 종이 다른 경우보다 유연관계가 가장 멀다.

10 ④ 변종은 자연 돌연변이에 의해 생긴 종으로 예로는 고추의 변종인 피망이 있다. 인위적인 품종 개량에 의해 생긴 종은 품종이며, 예로는 사과의 품종인 부사와 홍옥이 있다.

오답 피하기

① 변종, 품종, 아종은 종보다 하위 분류 단계이다.
② 아종은 지리적 분포가 다른 같은 종의 무리이다.
③ 변종은 자연 돌연변이에 의해 생긴 같은 종의 무리이다.
⑤ 품종은 인공적인 품종 개량에 의해 생긴 같은 종의 무리이다.

이명법

11 ***Felis catus* (Linné)**

이명법은 속명+종소명+명명자를 쓴다. 속명과 종소명은 이탤릭체로 쓰고, 속명은 대문자, 종소명은 소문자로 시작한다. 명명자는 고유 명사이므로 대문자로 시작하고 정체로 쓰는데, 약자로 쓰거나 생략할 수 있다.

12 ③ ① 진달래 학명의 마지막에 정체로 쓴 Turcz는 명명자이다.
② 개나리 학명의 속명 첫 글자는 대문자로 고쳐서 *Forsythia*로 써야 한다.
④ 살구나무는 다른 속에 속하는 진달래보다 속명이 같은 왕벚나무와 유연관계가 가깝다.
⑤ 4종의 식물 중 왕벚나무와 살구나무는 같은 속이지만 나머지는 다른 속에 속하므로 3속이 제시되어 있다.

오답 피하기

③ 왕벚나무의 종소명은 *yedoensis*이고, 살구나무의 종소명은 *ansu*로 다르다.

종소명과 종명

학명에서 속명 뒤에 나오는 종소명은 종이 갖는 특징을 표현한 단어로, 종명과는 다른 개념이다. 종명은 학명과 같은 의미이다.

13 ②, ③

벼와 귀리는 속명이 *Oryza*로 같으므로 상위 분류 단계인 과도 같다. 그리고 벼와 귀리의 명명자는 Linné로 같다.

오답 피하기

① 벼와 귀리의 서식지에 대한 정보는 학명으로 알 수 없다.
④ 벼와 귀리는 종소명이 다르므로 동일한 종이 아니며, 진화적으로 동일한 종에서 유래했는지는 학명으로는 알 수 없다.
⑤ 벼와 귀리는 속명은 같지만 종소명은 다르다.

14 (가), (다), (라), (나)

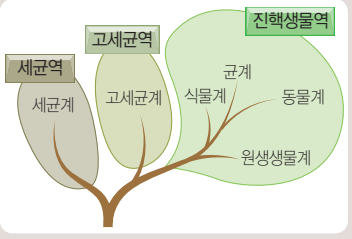
A~E 5종의 생물 개체군에 공통적인 특징 ㉠은 (가)이다. 그리고 A와 E가 갖는 공통 특징 ㉡은 (다)이다. B, C, D의 공통 특징 ㉢은 (라)이며, B와 C만이 가지는 공통 특징 ㉣은 (나)이다.

15 ⑤ ⑤ D와 E는 공통적으로 특징 ㉠, ㉢, ㉣, ㉤을 갖는다.

오답 피하기

① B는 특징 ㉠과 ㉡을 가진다.
②, ③ 특징 ㉠은 A~F의 모든 생물이 가지는 공통 특징이다. 따라서 A와 F는 공통 특징으로 ㉠을 가진다.
④ C와 F는 특징 ㉣의 유무에 의해 다른 가지로 나뉜다.

3역 6계 분류 체계



16 ④ ① 생물 지식의 발달에 따라 분류 체계는 변해왔으며, 앞으로도 추가되는 생물 지식에 의해 계속 변할 수 있다.

②, ③ 린네는 식물계와 동물계의 2계로 분류하였으며, 현미경의 발달로 미생물이 발견됨에 따라 2계 분류 체계에서 원생생물계를 포함한 3계 분류 체계로 바뀌게 되었다.

⑤ 3역 6계 분류 체계는 분자생물학적 근거에 따라 진화의 계통을 반영하여 분류한 것으로, 2계 분류 체계보다 진화적 유연관계를 더 잘 반영한다.

오답 피하기

④ 휘태커는 종속 영양을 하는 균계를 독립 영양을 하는 식물계에 포함시킬 수 없다고 하여 영양 방식의 차이를 기준으로 식물계에서 균계를 독립시켜 별도의 계로 분류하였다.

17 ② 특징의 유사도가 1에 가까운 것은 같은 가지나 가까운 가지에 두고 유사도가 낮은 것은 멀리 둔다. 따라서 (가)와 (나)가 가장 가깝고 (다)는 (가)와 (나)로부터 멀리 둔다. 그런데 (가)와 (나)는 (다), (라)와의 유사도가 같으므로 이들은 별도의 가지에서 분리된 것으로 유연관계를 동일하게 표현해야 한다. 따라서 ②와 같이 나타내는 것이 가장 적합하다.

오답 피하기

(라)는 (다)보다는 (가), (나)와의 유연관계가 가까우므로 ④와 같이 나타내는 것은 적합하지 않다.

18 ⑤ ⑤ B와 C의 최근의 공통 조상은 (나)이며, 이들은 더 오래전에 A와의 공통 조상인 (가)로부터 갈라진 후 서로 다른 종으로 분화되었다.

오답 피하기

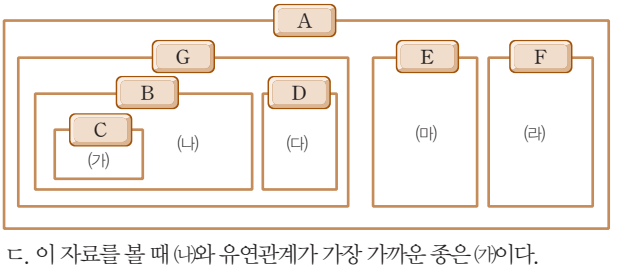
① 계통수에서 분기점에는 공통 조상이 있다. B와 C의 최근의 공통 조상은 (나)이며, (가)는 B와 C가 갈라지기 전의 공통 조상인 (나)와 A와의 공통 조상이다.

② (라)는 D, E, F의 공통 조상이다.

③ D, E, F는 동시에 분리되어 진화하였으므로, 이들 사이의 유연관계는 같으며 어느 쪽이 더 가깝다고 할 수 없다.

④ (다)는 (나) 이전의 유형이므로 조상형 특징이 더 많다.

19 ③ 생물 종을 특징에 따라 무리지어 보면 다음과 같다.



ㄷ. 이 자료를 볼 때 (나)와 유연관계가 가장 가까운 종은 (가)이다.

ㄹ. (라)와 (마)는 공통적으로 특징 A를 가지므로 특징 A를 갖는 생물로부터 분화되었다.

오답 피하기

ㄱ. (가)와 유연관계가 가장 먼 종은 (마)와 (라)이다.

ㄴ. 특징 A는 (가)~(마)의 공통 특징이므로 이들이 공통 조상으로부터 진화하였다는 것은 설명할 수 있지만, 이들을 분류하는 기준은 될 수 없다.

20 ④ (가)와는 달리 (나)와 (다)는 다리가 있으므로 분류 기준 A는 다리의 유무가 된다. 그리고 (나)와 (다)를 분류하는 기준 B는 체절당 다리가 1쌍인지, 2쌍인지가 된다.

오답 피하기

(가)~(다)는 공통적으로 체절 구조를 가지고 있으므로 체절의 유무는 분류 기준이 될 수 없다.

고세균

고세균은 세균과 같은 원핵생물이지만, 전사와 번역에 관여하는 고세균의 유전자가 진핵생물과 매우 유사하며, 고세균의 세포벽이 세균과 달리 펩티도글리칸으로 되어 있지 않고 세포막을 구성하는 지질의 성분도 세균과 다르다. 이처럼 고세균은 원핵생물에 속하는 세균역의 생물보다 진핵생물역의 생물들과 유연관계가 더 가깝다.

21 ⑤ (가)는 5계 분류 체계이고, (나)는 3역 6계 분류 체계이다.

ㄴ. (가)에서 (나)로 바뀌는 과정에서 원핵생물계에 속해 있던 생물이 세균역과 고세균역으로 분리되었다.

ㄷ. (나)에서 세균역보다 고세균역이 진핵생물역에 가깝게 위치하는 것은 고세균의 분자생물학적 특징이 진핵생물과 유사하다는 것을 반영한 것이다.

오답 피하기

ㄱ. 세균역과 고세균역은 이전 분류 체계인 (가)에서 원핵생물계로 묶여 있던 것이다. 이들은 모두 핵막이 없는 원핵생물이므로 (나)로 바뀌게 된 것은 세포의 핵막 유무가 아니라 이들의 분자생물학적 증거가 진화 계통상 고세균이 진핵생물과 유사하다는 데 따른 것이다.

개념 활용 문제 pp.088~093

01. ②	02. ⑤	03. ③	04. ⑤	05. ②	06. ①	07. ②
08. ⑤	09. ⑤	10. ③	11. ④	12. ③		

인위 분류와 자연 분류

- 인위 분류 : 생물의 기본적인 특징이나 유연관계를 고려하지 않고 인위적인 기준에 따라 분류하는 방법
  - ㉠ 인간의 이용 : 약용 식물, 식용 식물
  - ㉡ 서식지 : 수중 동물, 육상 동물
  - ㉢ 식성 : 초식 동물, 육식 동물, 잡식 동물
- 자연 분류 : 생물이 가진 고유한 특징을 기준으로 유연관계에 따라 분류하는 방법
  - ㉠ 번식 방법 : 종자식물, 포자로 번식하는 식물
  - ㉡ 척추(내부 구조) : 척추동물, 무척추동물
  - ㉢ 체강(발생 과정) : 의체강 동물, 진체강 동물

01 ② (나) 핵막의 유무에 따른 진핵생물과 원핵생물의 구분, (다) 체강의 종류에 따른 진체강 동물의 분류는 생물 고유의 특징을 기준으로 한 것이므로 자연 분류에 해당한다.

오답 피하기

(가) 서식지를 기준으로 습지 식물로 분류한 것, (라) 식성에 따른 육식 동물과 초식 동물의 분류, (마) 겨울눈의 위치와 같은 생태적 특징에 의한 분류는 인위 분류에 해당한다.

02 ⑤ ㄴ. 노새는 생식 능력이 없으므로 생물학적으로 독립된 종이 아니다.

ㄷ. 풍산개와 진돗개 사이에서 태어난 풍진개는 생식 능력이 있으므로 이들은 모두 동일 종이다.

ㄹ. 노새는 말과 당나귀의 생식 세포가 수정하여 체세포의 염색체 수가 63개로 감수 분열이 제대로 되지 않아 생식 능력이 없다.

오답 피하기

ㄱ. 공작의 암컷과 수컷의 형태가 매우 다른 것처럼 형태적 특징만으로는 종을 구별하기 어렵다.

03 ③ ㄱ. 3역 6계의 분류 체계에서 5종의 동물은 모두 진핵생물역의 동물계에 속한다.

ㄷ. 5종을 계통수로 나타내면 호랑나비는 절지동물문이고, 나머지 동물은 척삭동물문에 속하므로 호랑나비가 가장 먼저 분리된 것이다. 따라서 호랑나비와 다른 생물의 분기점이 가장 아래쪽에 나타난다.

오답 피하기

ㄴ. 문은 목에 비해 상위 분류 단계이므로 문의 단계가 같은 것보다는 목의 단계가 같은 동물들의 유연관계가 더 가깝다.

04 ⑤ ㄱ. 파리목에 속하는 종의 공통 특징은 외골격을 가지고 있는 것이므로 이들은 탈피를 하며 성장한다.

ㄴ. 분류 단계 중 과는 목보다는 하위 분류 단계에 해당한다.

ㄷ. 검정집파리의 속명은 *Musca*이고 검정딸집파리의 속명은 *Fannia*이므로는 이들은 서로 다른 속에 속한다.

05 ② ㄴ. *Hibiscus hamabo* Sieb. et Zucc.에서 정체로 쓴 명명자 Sieb. et Zucc. 앞에 이탤릭체로 속명과 종소명 2가지만 썼으므로 이것은 이명법을 따르고 있다.

오답 피하기

ㄱ. *Hibiscus trionum*은 꽃이 황색이 아니고 초본이다.

ㄷ. *Hibiscus manihot*와 *Hibiscus syriacus*를 분류한 기준은 꽃의 색깔이다. 즉, 꽃이 황색인지 황색이 아닌지에 따라 분류하였다.

06 ① (가)에는 *Vespa crabro*와 유연관계가 가까운 것을 넣어야 하므로 속명이 같은 것을 넣는다. 또, (나)에는 *Polistes snelleni*와 유연관계가 가장 가까운 것을 넣어야 하므로 역시 속명이 같은 것을 넣는다.

분류 계급
종<속<과<목<강<문<계<역
역으로 갈수록 그 단계에 속하는 생물이 다양해지며, 종으로 갈수록 그 단계에 속하는 생물들 간의 유연관계가 가깝다.

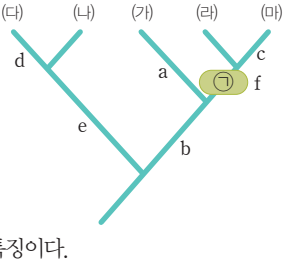
07 ② ㄴ. (가)~(라)는 같은 과에 속하고, (마)는 나머지 4개와는 다른 과에 속한다. 이를 기준으로 보면 (가)~(라)는 공통적으로 꽃잎이 4장이고, (마)는 꽃잎이 5장이므로 과의 분류 기준은 꽃잎의 수라는 것을 알 수 있다. 같은 과에 속하는 (가)~(라)에서 (다)는 나머지 3종과는 다른 속에 속한다. (가), (나), (라)는 잎차례가 어긋나기이고, (다)는 마주나기이다. 따라서 속을 분류한 기준은 잎차례라는 것을 알 수 있다. 따라서 상위 분류 단계인 과를 분류하는 데 우선 적용된 기준은 생식 기관의 특징이고, 하위 분류 단계인 속을 분류하는 데 적용된 기준은 영양 기관의 특징이라는 것을 알 수 있다.

오답 피하기
ㄱ. 잎차례는 속을 분류하는 형질이다.
ㄷ. (가), (나), (라)는 같은 속에 속한다. 과와 속을 구별하는 공통 특징을 제외한 나머지 특징을 비교하여 공통 특징이 있는 것은 ○로 표시하면 다음과 같다.

	(가)	(나)	(라)
꽃 색깔	○		○
잎 모양		○	○
뿌리 모양	○	○	
줄기	○	○	

이 결과에 따르면 (가)와 (나)는 공통 특징이 2개이고, (가)와 (라)는 공통 특징이 1개 있다. 따라서 (가)와 (라) 사이의 유연관계는 (가)와 (나) 사이의 유연관계보다 멀다.

08 ⑤ 분류군이 가지는 특징에 기초하여 계통수를 완성하면 그림과 같다.



ㄱ. 이 계통수에 따르면 ㉠은 (가)에는 없고 (라), (마)에는 공통적으로 있는 특징이므로 f이다.
ㄴ. X의 위치는 (다)와 공통 특징이 가장 많은 (나)이다.
ㄷ. b는 (가), (라), (마)의 공통적인 특징이고, c는 (마)에서만 나타나는 특징이다. 따라서 b가 c보다 먼저 나타난 특징이다.

분류 체계의 변화
2계－식물계, 동물계
3계－원생생물계, 식물계, 동물계
4계－원핵생물계, 원생생물계, 식물계, 동물계
5계－원핵생물계, 원생생물계, 균계, 식물계, 동물계
6계－세균계, 고세균계, 원생생물계, 균계, 식물계, 동물계
3역－세균역, 고세균역, 진핵생물역

09 ⑤ ① (가)는 2계 분류 체계이며, 린네는 운동성의 유무로 식물계와 동물계를 구분하였다.
② (나)는 원생생물계를 추가한 3계 분류 체계이다. 이때는 현미경의 발달로 맨눈으로 볼 수 없던 미생물이 발견되면서 원생생물계가 추가되었다.
③ (다)는 핵막이 없는 원핵생물계가 추가된 4계 분류 체계이다. 이것은 막으로 싸인 핵이 없는 단세포의 발견이 중요한 계기가 되었다.
④ 휘태커는 종속 영양을 하는 균계를 식물계에 함께 둘 수 없다고 제안하면서 이전까지 식물계로 분류되어 있던 균계를 영양 방식을 기준으로 분리하여 5계 분류 체계를 제안하였다.

오답 피하기
⑤ (마)의 3역 6계 분류 체계는 이전까지 원핵생물계로 묶여 있던 고세균의 분자생물학적 특징이 세균보다 진핵생물과 가깝다는 것을 알게 되면서 제안된 방식이다.

10 ③ ㄱ. A, B, C는 역을 나타낸 것이며, 역은 계보다 상위 분류 단계를 나타낸다.
ㄷ. A는 세균역, B는 고세균역이다. A와 B의 공통점은 핵막이 없는 원핵 세포로 이루어

져 있다는 것이다. 그리고 C는 진핵생물역이다. 진핵생물은 A, B와는 달리 막으로 싸인 핵을 갖고 있다. 따라서 B와 C를 구분하는 분류 기준은 핵막의 유무이다.

오답 피하기

ㄴ. 효모와 곰팡이는 핵이 있는 세포로 되어 있으며 종속 영양을 하는 균계이다. 핵이 있는 세포로 이루어져 있으므로 진핵생물역(C)에 속한다.

삼명법

종보다 하위 단계인 아종이나 변종 또는 품종을 표기할 때는 종명 다음에 그 이름을 추가하여 기재하는 것

- 송어 *Onchorthynchus* (속명) *masou* (종소명) *masou* (아종명) Brevoort
- 산천어 *Onchorthynchus* (속명) *masou* (종소명) *ishikawai* (아종명)
- 열목어 *Brachymystax* (속명) *lenox* (종소명) *tsinlingensis* (아종명)

11 ④ ① 송어와 연어는 속명이 같으므로 상위 분류 단계인 과도 같다.

② 연어와 산천어는 종소명이 다르므로 다른 종이다. 따라서 생식적으로 격리되어 있다.

③ 학명을 통해 속명, 종소명을 구분할 수 있으므로, 생물 종 간의 유연관계를 파악할 수 있다.

⑤ 열목어는 이탤릭체로 된 것이 3개이므로 속명, 종소명, 아종명의 삼명법으로 표기하였다. 명명자는 표기하지 않았다.

오답 피하기

④ 송어와 산천어는 삼명법으로 표기되어 있는데, 속명과 종소명은 같고 아종명이 다르다. 속명과 종소명이 같으면 같은 종에 속하므로 이들은 교배하여 자손을 늘릴 수 있다.

계통수

계통수에서 분기점이 아래에 있을수록 분기가 먼저 일어난 것이며, 같은 가지에 있는 종은 다른 가지에 있는 종보다 유연관계가 더 가깝다. 분기점은 분기된 두 생물 집단의 최근의 공통 조상을 나타내며, 하나의 분기점을 기준으로 같은 가지에 속하는 분류군끼리는 다른 가지의 분류군과 구별되는 특성을 공유한다.

12 ③ ③ 계통수에서 가지가 갈라지는 것은 종의 분화가 일어난 것을 의미하고, 시기 III 이후에 가장 윗부분에 표기된 A~E는 현존하는 종을 표현한 것이다. 계통수에서 시기 III에서는 분기가 일어난 지점이 없으므로 이 시기에는 새로운 종이 출현하지 않았다.

오답 피하기

① 시기 I에 분화된 종 중에서 X는 시기 I에 멸종하였고, Y는 시기 II에 멸종하였다.

② 종 분화는 분기점의 수로 계산하면 된다. 시기 I에서는 4회, 시기 II에서는 3회의 종 분화가 일어났다.

④ A와 B가 갈라진 지점이 D와 E가 갈라진 지점보다 위에 있으므로 D와 E보다 나중에, 즉 최근에 공통 조상으로부터 분화되었다.

⑤ 현존하는 종들을 두 무리로 분류할 때 시기 I에서 갈라진 계통을 따라 'A, B'를 한 무리로, 'C, D, E'를 다른 무리로 하는 것이 가장 타당하다.

서술 · 논술형 문제

01. 생물의 분류와 진화의 계통 p.094~095

1. 종의 개념

모범 답안 | (1) 종은 자연 상태에서 자유로이 교배하여 생식 능력을 가진 자손을 낳는 개체들의 집단을 말한다.

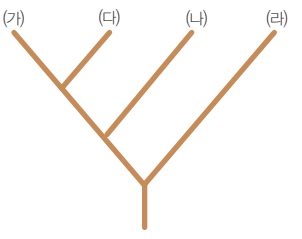
(2) (가)와 (나)를 교배하여 얻은 자손은 생식 능력이 없으므로 (가)와 (나)는 다른 종이다. 그러나 (나)와 (다)를 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 얻었으므로 이들은 같은 종이다.

알짜 풀이 | 교배를 통해 생식 능력이 있는 자손을 낳는지를 통해 동일 종 여부를 판별하는 것은 생물학적 종의 개념이다. 생물학적 종의 개념은 생식적 격리 여부를 중요하게 여긴다. 따라서 생식 능력이 있는 자손을 낳은 (나)와 (다)는 같은 종이지만, 그렇지 않은 (가)는 다른 종이다.

2. 학명과 계통수

모범 답안 | (1) 좀개소시랑개비는 솜양지꽃과 속명이 같으므로 유연관계가 가깝다. 좀개소시랑개비의 명명자는 Maxim.이다.

(2)



(3) 역, 계, 문, 강, 목, 과

알짜 풀이 | (1) 좀개소시랑개비의 속명은 솜양지꽃과 같다. 이를 통해 두 종은 같은 속에 속하며, 다른 식물보다 유연관계가 가깝다. 또, 명명자가 Maxim.이라는 것도 알 수 있다.

(2) 속명이 같은 (가)와 (다)의 유연관계가 가장 가깝고 다른 과에 속하는 (라)는 나머지 식물들과 유연관계가 가장 먼 상태이므로 계통수에서 가장 먼저 분기되는 것으로 그린다.

(3) 식물 (가)~(다)는 같은 과에 속한다. 따라서 과보다 상위 분류 단계도 같다.

3. 분류 형질과 계통수

모범 답안 | ㉠ 척추 있음, ㉡ 양막 있음 또는 체내 수정, ㉢ 난생

알짜 풀이 | 악어, 붕어, 참새, 개구리, 고래는 각각 파충류, 어류, 조류, 양서류, 포유류에 해당한다. ㉠은 5종 생물의 공통 특징이므로 '척추 있음'이 된다. ㉡은 붕어, 개구리와는 달리 악어, 참새, 고래가 가지는 공통 특징이다. ㉡에 폐호흡이라고 한다면 붕어, 개구리, (악어, 참새, 고래)의 3개로 분기되어야 하는데, 붕어와 개구리가 이미 하나로 분기되었으므로 ㉡에 폐호흡은 적절하지 않다.

4. 생물의 분류 체계

모범 답안 | (1) 고세균의 분자생물학적 특징이 같은 원핵생물인 세균보다는 진핵생물과 유사한 점이 많아서 고세균을 세균으로부터 독립시키게 되었으며, 이 과정에서 계보다 상위 분류 단계인 역이 제안되었다.

(2) 유전 물질이 막으로 싸여 있지 않고 세포질에 있는 원핵생물이다.

알짜 풀이 | (1) 최근에는 진화적 유연관계와 계통을 DNA의 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열과 같은 분자생물학적 증거에 기초하여 설명한다. 고세균은 극한 환경에 서식하므로 원시 지구의 극한 환경에 적응했던 원시적인 형태라고 생각하였으나 분자생물학적 분석 결과 오히려 진핵생물과 유사한 점이 많다는 것이 알려져 분류 체계가 수정되어 제안되었다.

(2) 세균역과 고세균역에 속하는 생물들은 원핵생물이라는 공통점이 있다. 원핵세포는 막으로 싸인 핵이 없다.

세균역과 고세균역의 비교

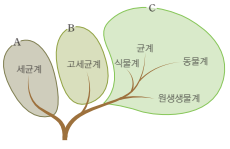
구분	세균역	고세균역
핵막	없다	없다
막성 소기관	없다	없다
세포벽의 펩티도글리칸	있다	없다
리보솜 크기	70S	70S
RNA 중합 효소	1종류	여러 종류
단백질 합성의 개시 아미노산	포밀메싸이오닌	메싸이오닌
인트론(비암호화 유전자)	없다	일부 있다
원형 염색체	있다	있다
100°C 이상에서 생존 능력	없다	일부 있다

02 생물의 다양성

개념 체크 p.135

A 3역의 비교

그림은 생물의 분류 체계를 나타낸 것이다.

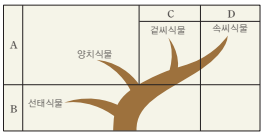


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A와 B는 원핵생물이고, C는 진핵생물이다. (○)
2. 대장균은 A에 속한다. (○)
3. A는 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다. (○)
4. A는 세포벽이 있고, B는 세포벽이 없다. (×)
5. B는 지구 상에 나타난 최초의 생물체에 해당한다. (×)
6. B에 속하는 생물은 모두 산소 호흡을 한다. (×)
7. C에 속하는 생물은 모두 다세포 생물이다. (×)

B 식물계

그림은 식물의 계통수를 나타낸 것이다.

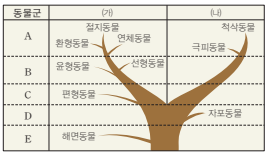


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A에 속하는 식물은 관다발이 발달하였다. (○)
2. A에 속하는 식물은 모두 종자로 번식한다. (×)
3. B에 속하는 식물은 포자로 번식한다. (○)
4. C에 속하는 식물은 종자로 번식한다. (○)
5. D에 속하는 식물은 밑씨가 노출되어 있다. (×)
6. C와 D를 구분하는 기준은 종자의 유무이다. (×)
7. D에 속하는 식물은 중복 수정하여 배젖의 핵상이 $3n$이다. (○)

C 동물계

그림은 주요 동물군의 계통수를 나타낸 것이다.

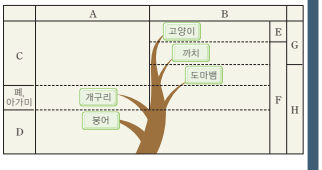


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 선구동물, (나)는 후구동물이다. (○)
2. A는 진체강을 가진다. (○)
3. B는 체강이 없는 동물이다. (×)
4. C는 중배엽이 형성되지 않는 동물이다. (×)
5. D는 내배엽과 외배엽이 형성되는 동물이다. (○)
6. E는 조직과 기관이 발달한 동물이다. (×)

D 척추동물

그림은 척추동물의 계통수를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A와 B의 분류 기준은 양막의 유무이다. (○)
2. C는 폐호흡, D는 아가미 호흡이다. (○)
3. C에 속하는 동물은 육상에 적응하였다. (○)
4. E는 정온 동물, F는 변온 동물이다. (×)
5. G는 태생, H는 난생이다. (×)
6. 척추동물은 배 발생 과정에서 척삭을 가진다. (○)

A 3역의 비교

01 A는 세균역, B는 고세균역, C는 진핵생물역이다. A와 B는 핵막이 없어 DNA가 세포질에 분포하는 원핵생물이다. C는 핵막으로 둘러싸인 핵을 가진 진핵생물이다.

02 대장균은 세균이므로 A에 속한다.

03 A 세균역은 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.

04 A와 B 모두 세포벽이 있으나 성분이 다르다. A 세균역은 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있으나, B 고세균역은 세포벽에 펩티도글리칸 성분이 없다.

05 B 고세균역에 속하는 생물은 진핵생물과 유연관계가 가까우므로 지구상에 나타난 최초의 생물체라고 볼 수 없다.

06 B 고세균역에 속하는 메테인 생성균은 산소가 있는 환경에서는 생장이 어렵다.

07 C 진핵생물역 중 원생생물계에는 단세포 생물이 많다.

B 식물계

01 A는 관다발식물로 양치식물, 겉씨식물, 속씨식물이 해당된다. 또, 잎, 줄기, 뿌리가 발달한 경엽식물이다.

02 A에 속하는 식물 중 양치식물은 포자로 번식한다.

03 B에 속하는 선태식물은 포자로 번식한다.

04 C는 겉씨식물이며, D 속씨식물과 함께 종자로 번식하는 종자식물이다.

05 D는 속씨식물이며, 밑씨가 씨방에 싸여 있다. 밑씨가 노출된 식물은 C 겉씨식물이다.

06 C와 D를 구분하는 기준은 씨방의 유무이다.

07 D 속씨식물은 중복 수정하여 배젖의 핵상이 $3n$이다. 정핵(n)+극핵(n, n)→배젖($3n$)

C 동물계

01 (가)는 원구가 입이 되는 선구동물이고, (나)는 원구가 항문이 되고 입이 나중에 생기는 후구동물이다.

02 A는 진체강을 가진다. 3배엽성 동물 중 무체강을 가지는 편형동물, 의체강을 가지는 선형동물 · 윤형동물을 제외한 나머지 동물은 진체강을 가진다.

03 B는 의체강을 가진다. 체강이 없는 동물은 편형동물이다.

04 C는 중배엽이 형성되는 3배엽성 동물이지만, 체강이 없다.

05 D는 내배엽과 외배엽의 2배엽이 형성되는 동물로 자포동물이 해당된다.

06 배엽은 다세포 생물의 발생 과정에서 형성되는 세포층으로, 진정한 조직과 기관을 형성하기 위해 필요하다. E는 배엽이 형성되지 않으므로 진정한 의미의 조직과 기관이 발달하지 않은 동물이다.

D 척추동물

01 어류, 양서류는 양막을 가지지 않는 무양막류이고, 파충류, 조류, 포유류는 양막을 가지는 유양막류이다. 따라서 A는 무양막류, B는 유양막류이므로 분류 기준은 양막의 유무이다.

02 포유류, 조류, 파충류는 폐호흡, 어류는 아가미 호흡을 한다. 따라서 C는 폐호흡, D는 아가미 호흡이다.

03 C에 속하는 파충류, 조류, 포유류는 육상 생활에 완전히 적응하여 공기 중의 산소를 들이마시는 폐호흡을 한다.

04 포유류, 조류는 정온 동물이고, 파충류, 양서류, 어류는 변온 동물이다. 따라서 G가 정온 동물, H가 변온 동물이다.

05 포유류는 새끼를 낳고, 조류, 파충류, 양서류, 어류는 알을 낳는다. 따라서 E가 태생, F가 난생이다.

06 모든 척추동물은 배 발생 과정에서 척삭을 가지는 공통점이 있다.

개념 확인 문제 pp.136~139

01. ①, ②	02. ②	03. ⑤	04. ⑤	05. ⑤	06. ③	07. ④
08. ⑤	09. ②	10. ②	11. ③	12. ⑤	13. ②	14. ④
15. ④	16. ②, ④	17. 균사의 격벽 유무		18. ③	19. ④	20. ③
21. ③	22. ①					

01 ①, ② A는 세균역, B는 고세균역이다. 공통적으로 단세포 생물이며, 핵막이 없는 원핵생물이다.

오답 피하기
세균 중에는 광합성이나 화학 합성을 하는 독립 영양 세균이 있다. 펩티도글리칸 성분의 세포벽은 A는 해당되지만 B는 해당되지 않는 특징이며, A와 B 모두 미토콘드리아와 같은 막성 세포 소기관이 없다.

원핵생물과 진핵생물
원핵생물의 세포는 핵막이 없어 DNA가 세포질에 분포하며, 핵, 소포체, 골지체, 리소좀, 미토콘드리아, 엽록체 등과 같은 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없다. 반면 진핵생물의 세포는 핵이 핵막에 싸여 있고, 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 발달해 있다.

02 ② 모든 세포에서는 리보솜이 있어 단백질을 합성할 수 있다.

오답 피하기
막으로 둘러싸인 핵과 소포체, 리소좀, 엽록체는 C 진핵생물역의 세포에만 해당되는 특징이다.

03 ⑤ 세균은 분열법으로 빠르게 증식하므로 돌연변이가 생길 경우 분열에 의해 생기는 모든 자손은 돌연변이 유전자를 가지게 된다.

오답 피하기
① 세균은 단세포 생물이며, 핵막은 없지만 세포벽은 있다.
② 푸른곰팡이는 세균이 아니라 진핵생물역의 균계에 속한다.
③ 세균 중에는 독립 영양을 하는 것도 있다.
④ 유전 정보의 전사, 번역 과정에 관여하는 유전자가 진핵생물과 유사한 것은 고세균이다.

펩티도글리칸
세균의 세포벽에 있는 당단백질로 다당류에 짧은 펩타이드가 결합된 화합물이다.

04 ⑤ A는 고세균, B는 세균(진정세균)이다. 고세균과 세균의 차이는 세포벽의 성분이다. 고세균은 펩티도글리칸 성분이 없는 세포벽을 가지며, 세균은 펩티도글리칸 성분의 세포벽을 가진다.

오답 피하기
A와 B 모두 핵막은 없으며, 분열법으로 번식한다. B 중에서 염주말은 엽록소가 있어 독립 영양을 하며, 황세균은 화학 합성을 한다.

05 ⑤ 대장균, 탄저균, 젖산균, 콜레라균은 모두 종속 영양을 하고, 아나베나는 엽록소가 있어 독립 영양을 한다.

남세균
남세균은 엽록체는 없지만 세포막이 함입되어 틸라코이드와 유사한 막 구조를 가지며, 엽록소 a와 남조소를 가지고 있어 광합성을 한다. 아나베나, 흔들말, 염주말 등이 남세균에 해당된다.

06 ③ 남세균은 식물과 마찬가지로 엽록소 a를 가진다.

07 ④ A, B, C는 고세균을 서식 환경에 따라 나눈 것이다. A는 고온에 적응하여 높은 온도에서도 단백질이 변성되지 않고 안정된 상태를 유지한다. B는 산소가 부족한 늪지 등에 살면서 이산화탄소를 수소로 환원시키는 과정에서 메테인을 생성한다. C는 염분 농도가 높은 곳에서 서식한다. 이들 모두 공통적으로 펩티도글리칸이 없는 세포벽을 가진다.

08 ⑤ ㄱ, ㄴ. 고세균역은 핵막이 없고(㉠), 세균역은 원형 염색체가 있으며(㉡), 유전자에 인트론이 없다(㉢). 유전자에 인트론이 없으므로 RNA 스플라이싱과 같은 가공을 거치지 않고 전사와 번역이 동시에 진행될 수 있다.

ㄷ. 고세균역은 세균역과 마찬가지로 원핵 세포로 이루어져 있지만, RNA 중합 효소와 단백질 합성 개시 아미노산, 인트론의 존재 등 유전 정보의 전사와 번역에 관여하는 분자들이 진핵생물과 유사하다.

원생생물계의 분류

원생생물계는 진핵생물 중 식물계, 균계, 동물계에 포함시키기 어려운 생물들의 분류군이다. 단세포성, 군체, 다세포성으로 다양하고, 영양 방법도 독립 영양, 종속 영양, 혼합 영양이 있다. 원생생물계는 이전에 광합성 여부, 엽록소의 종류, 운동 기관의 종류 등을 분류 기준으로 분류하였으나, 형태적 특성만으로는 분류하기가 어려워 분류 기준이 계속 수정되고 있다.

09 ② ㄱ. (가)는 종속 영양 생물이고, (나)는 독립 영양 생물이다. 따라서 (가)와 (나)의 분류 기준은 영양 방법이다.

ㄴ. (가)에서 A에 속하는 것은 섬모로 운동하고, B에 속하는 것은 위족으로 운동한다. 따라서 A와 B의 분류 기준은 운동 기관의 종류이다.

오답 피하기

ㄷ. (나)에서 C에 속하는 것은 엽록소 a와 c를 가진 것이고, D에 속하는 것은 엽록소 a와 b를 가진 것이다. 엽록소 a는 C와 D의 공통적인 특징이므로 C와 D를 분류하는 기준으로 적합하지 않다.

10 ② ㄱ. 자료의 생물들은 모두 엽록소를 가지고 있어서 광합성을 할 수 있으므로 독립 영양 생물이다.

ㄴ. 녹조류와 육상 식물은 엽록소 a, b를 가지므로 같은 종류의 엽록소를 가진다.

오답 피하기

ㄷ. 홍조류와 갈조류는 다세포이기는 하지만, 조류는 잎, 줄기, 뿌리가 분화되어 있지 않은 상태이다. 잎, 줄기, 뿌리의 분화는 육상 식물에서 나타나는 특징이다.

적조 현상

바다에 영양 염류가 증가하여 플랑크톤의 수가 급격하게 증가함으로써 바닷물이 적색 계통의 색을 띠는 현상이다. 황적색 색소를 가진 와편모조류의 급격한 증가가 원인인 경우가 많다.

11 ③ ㄱ. 제시된 그림은 규조류이다. 규조류는 엽록소 a와 c 및 규조소를 가진다.

ㄷ. 규조류는 주로 분열법으로 번식하는데, 분열을 거듭하면 크기가 작아진다. 그런 경우 접합을 하여 크기가 커지는 증대 포자를 형성하기도 한다.

오답 피하기

ㄴ. 규조류는 식물성 플랑크톤 중 가장 많은 양을 차지한다. 그러나 적조 현상을 일으키는 원인이 되는 것은 와편모류(쌍편모조류)에 속하는 짐노디움, 세라티움 등이다.

12 ⑤ ① 변형체는 유주자가 접합하여 만들어진 접합자로부터 만들어지므로 변형체의 핵상은 $2n$이다.

② 포자로 번식하는 무성 생식과 유주자의 접합으로 번식하는 유성 생식을 모두 한다.

③ 아메바처럼 움직이는 변형체, 포자를 형성하는 시기, 편모로 운동하는 유주자의 단계를 모두 거친다.

④ 포자낭에서 포자를 형성할 때는 감수 분열을 하므로 포자의 핵상은 n이다.

오답 피하기

⑤ 제시된 그림은 원형질성 점균류의 생활사이다. 세포성 점균류의 경우에는 편모를 갖는 단계가 없고, 포자가 발아하면 바로 아메바가 생기며, 이들이 뭉쳐 군체를 형성하여 포자체를 만든다.

조류와 식물의 비교

조류는 물속에서, 식물은 육상에서 생활하기에 적합하도록 적응되어 있다. 조류는 물의 부력을 받기 때문에 몸을 지탱하는 구조가 필요 없고, 온몸으로 물과 빛, 이산화탄소, 양분을 흡수할 수 있으므로 뿌리, 줄기 잎이 분화되어 있지 않다. 반면 식물은 몸의 건조를 막기 위해 표면에 큐티클층이 발달하였고, 뿌리, 줄기, 잎의 분화, 관다발 등 육상 생활에 적응할 수 있는 특징을 가진다.

13 ② ①, ⑤ 식물은 뿌리, 줄기, 잎이 분화되었으며, 잎의 기공을 통해 기체 교환을 하고 뿌리를 통해 토양으로부터 물을 흡수한다. 이와 같이 이산화탄소와 물을 흡수하는 부위가 분리되었다.

③ 식물은 건조한 육상 생활에 적합하도록 적응되어 있다. 먼저 줄기나 잎의 표면을 큐티클층이 덮고 있어 체내의 물이 증발되는 것을 막아 건조로부터 보호해 준다.

④ 식물은 뿌리에서 흡수한 물을 잎으로 운반하고, 잎에서 합성한 유기 양분을 몸의 다른 곳으로 운반할 수 있도록 줄기에 관다발이 발달하였다. 그리고 줄기는 중력에 대해 몸을 지탱해 주는 역할도 하여 식물이 높이 자랄 수 있게 한다.

오답 피하기

② 식물은 주로 잎에서 광합성이 일어나며, 조류는 몸 전체가 잎처럼 생긴 엽상체로 되어 있어 여기에서 기체 교환과 물의 흡수 및 광합성이 일어난다.

14 ④ 선태식물은 습지에 살면서 관다발이 발달하지 않아 높이 자라지 못하지만 양치식물은 관다발이 발달하였다. 따라서 A는 관다발이다. 포자로 번식하는 양치식물과는 달리 겉씨식물은 종자로 번식한다. 따라서 B는 종자이다. 겉씨식물은 씨방이 없어 밑씨가 노출되어 있지만 속씨식물은 씨방에 싸여 있으므로 C는 씨방이다.

오답 피하기

떡잎의 수는 속씨식물을 세분할 때 분류 기준이 될 수 있다.

중복 수정

속씨식물은 감수 분열에 의해 화분에서 정핵(n)을 형성하고, 배낭에서 극핵(n, n)과 난세포(n)를 형성한다. 수분이 일어난 후 화분관을 통해 들어온 정핵 1개는 난세포와 수정하여 배($2n$)가 되고, 나머지 정핵 1개는 극핵 2개와 결합하여 배젖($3n$)이 된다. 이와 같이 2개의 정핵이 모두 수정하여 배와 배젖을 형성하는 것을 중복 수정이라고 한다.

15 ④ ① (가)는 선태식물이며, 선태식물은 배우체가 본체로 포자체보다 우세하다. 포자체는 암배우체에 기생하며, 선태식물은 대부분의 시기를 배우체 상태로 보낸다.

② (나)는 포자로 번식하는 관다발 식물인 양치식물이며, 뿌리, 줄기, 잎이 구별되어 있는 경엽식물이다.

③ (다)는 종자로 번식하며 밑씨가 노출되어 있는 겉씨식물이다. 겉씨식물은 관다발에 헛물관, 체관, 형성층이 있다.

⑤ (마)는 속씨식물 중 떡잎이 2장인 쌍떡잎식물이다. 쌍떡잎식물은 잎맥이 그물맥이고 관다발이 고리 모양으로 배열되어 있으며, 곧은뿌리를 가지는 특징이 있다.

오답 피하기

④ (라)는 떡잎이 1장인 외떡잎식물이다. 외떡잎식물도 속씨식물이기 때문에 종자를 생성하며, 중복 수정을 하여 배젖의 핵상은 $3n$이다.

배우체와 포자체

배우체는 배우자를 형성하는 개체 또는 조직이고, 포자체는 포자를 형성하는 개체 또는 조직이다. 주변에서 흔히 보는 이끼는 반수체인 배우체(n)이며, 배우체에서 생성된 배우자(생식 세포)끼리 수정하여 포자체($2n$)를 형성한다.

16 ②, ④

① 솔이끼는 선태식물에 속하며 포자체는 암배우체 위에 형성된다.

③ 솔이끼의 배우체는 포자가 발아한 것이므로 반수체(n) 상태이며, 이것이 본체로 대부분의 시기를 반수체 상태인 배우체로 보낸다.

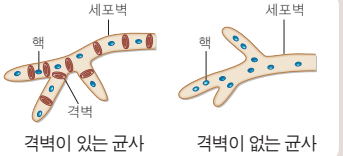
⑤ 장정기의 핵상은 n이며, 정자의 핵상도 n이다. 따라서 장정기에서 정자가 형성될 때는 체세포 분열이 일어난다.

오답 피하기

② 솔이끼는 선태식물이며, 관다발이 없다.

④ 포자낭은 정자와 난자의 수정으로 생겼으므로 핵상이 $2n$이다. 포자낭에서는 감수 분열에 의해 핵상이 n인 포자를 형성하므로 염색체 조합에 따라 유전자 구성이 다양한 포자가 형성된다.

격벽이 있는 균사와 없는 균사



격벽이 있는 균사　　격벽이 없는 균사

17 균사의 격벽 유무

접합균류는 균사에 격벽이 없고, 자낭균류와 담자균류는 균사에 격벽이 있다.

18 ③ 그림은 균사가 접합하여 접합 포자를 형성하는 접합균류를 나타낸 것이다. 접합균류에는 털곰팡이, 거미줄곰팡이, 검은빵곰팡이 등이 있다.

오답 피하기

송이버섯과 녹병균은 담자균류이고, 누룩곰팡이, 푸른곰팡이, 붉은빵곰팡는 자낭균류이다.

체강의 종류

체강은 체벽과 내장 사이의 빈 곳으로 중배엽으로 둘러싸여 있다. 3배엽성 동물은 체강의 종류와 유무에 따라 분류할 수 있다.

- 무체강 동물 : 편형동물
- 의체강 동물 : 선형동물, 윤형동물
- 진체강 동물 : 연체동물, 환형동물, 절지동물, 극피동물, 척삭동물

19 ④ ㄴ. B는 의체강이며, 선형동물인 회충은 의체강을 가진다. 의체강을 가지는 동물 무리에는 선형동물 외에도 윤형동물이 있다.

ㄷ. C는 진체강이며, 후구동물인 극피동물과 척삭동물, 선구동물 중에서 연체동물, 환형동물, 절지동물에서 볼 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. A는 체강이 없다. 그러나 내배엽, 중배엽, 외배엽이 모두 있으므로 3배엽성 동물이다. 3배엽성이면서 무체강인 동물 무리는 편형동물이다.

20 ③ 동물은 다세포 진핵생물이며, 종속 영양을 한다. 몸의 대칭성이나 배엽의 수, 척삭의 유무 등에 따라 분류되며, 대부분 수정에 의해 번식한다.

오답 피하기

③ 해면동물은 배엽을 형성하지 않으므로 진정한 의미의 조직이나 기관이 형성되지 않으며, 동물체의 구성 단계에서는 조직계가 없고 비슷한 기능을 하는 기관들의 모임인 기관계가 있다.

원구

낭배기에 내배엽을 형성하기 위해 세포의 이동이 시작되어 처음 함입이 일어나는 부위이다. 발생이 진행되면서 선구동물에서는 입, 후구동물에서는 항문으로 분화한다.

21 ③ 자포동물은 2배엽성이고, 나머지 동물은 3배엽성이다. 따라서 (가)의 분류 기준은 배엽의 수이다. 편형동물은 무체강이고, 선형동물은 의체강이며, 나머지 동물은 진체강이다. 따라서 (나)의 분류 기준은 체강의 종류이다. 편형동물, 절지동물, 연체동물은 원구가 입이 되는 선구동물이고, 극피동물과 척삭동물은 원구가 항문이 되고 입이 나중에 생기는 후구동물이다. 따라서 (다)의 분류 기준은 원구와 입의 관계이다.

오답 피하기

체절은 환형동물, 절지동물에서 볼 수 있으며, 배엽이 없는 동물은 해면동물이다.

22 ① ② 양서류는 사지를 가지므로 다리를 가진다.

③ 파충류, 조류, 포유류는 발생 중 배를 보호하는 양막이 있는 유양막 동물이다.

④ 조류와 파충류는 같은 가지에 그려져 있으므로 이들은 다른 동물 무리보다 유연관계가 가깝다.

⑤ 어류, 양서류, 파충류, 조류는 알을 낳는 난생이고, 포유류는 새끼를 낳아 젖을 먹여 기르는 태생이다.

오답 피하기

① 유두동물 중에서 먹장어류와 칠성장어류는 턱이 없지만 척추동물은 모두 턱이 있다. 따라서 척추동물에 속하는 어류, 양서류, 파충류, 조류, 포유류는 모두 턱이 발달되어 있다.

개념 활용 문제

pp.140~147

01. ③	02. ②	03. ⑤	04. ②	05. ③	06. ④	07. ③
08. ②	09. ④	10. ③	11. ①	12. ②	13. ⑤	14. ③
15. ⑤	16. ③					

01 ③ A는 고세균, B는 독립 영양 세균, C는 원생생물 중 난균류, D는 균계, E는 종속 영양 세균이다.

ㄱ. A는 고세균계에 속하고, B와 E는 세균계에 속한다. 이들 무리는 막으로 싸인 핵이 없는 원핵생물이다.

ㄴ. B는 빛을 이용하거나 화학 에너지를 이용하여 스스로 탄수화물을 합성하여 살아가는

독립 영양을 하고, E는 스스로 양분을 합성하지 못하고 외부의 유기물을 분해하여 흡수하는 종속 영양을 한다.

ㄹ. D는 균계에 속하는 다세포 진핵생물로, 몸은 균사체로 이루어져 있으며 키틴 성분의 세포벽이 있다.

오답 피하기

ㄷ. C는 원생생물계에 속하는 난균류로, 이들은 균사로 이루어져 있고 세포벽이 있는 점은 균류와 같지만, 난균류의 세포벽 성분은 셀룰로스이다.

4가지 생물의 분류

- A 대장균 : 세균역–세균계–종속 영양 세균
- B 부채버섯 : 진핵생물역–균계–담자균류
- C 멍게 : 진핵생물역–동물계–척삭동물
- D 파래 : 진핵생물역–원생생물계–녹조류

02 ② ㄴ. B는 스스로 양분을 합성하지 못하므로 종속 영양을 하고, D는 엽록소를 가지고 빛에너지를 이용하여 광합성을 하는 독립 영양을 한다.

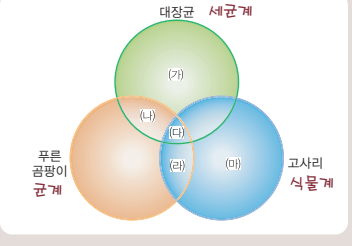
ㄷ. B는 균계, C는 동물계, D는 원생생물계에 속하며, 이들은 몸이 진핵 세포로 이루어져 있는 진핵생물역에 속한다.

오답 피하기

ㄱ. A는 세균계에 속하는 대장균이며, 이들은 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있는 것이 특징이다. B는 균계에 속하는 버섯으로, 이들은 키틴 성분의 세포벽이 있는 것이 특징이다.

ㄹ. C 우렁쉥이(멍게)는 동물계의 척삭동물에 속하고, D 파래는 원생생물계의 녹조류에 속한다.

대장균, 푸른곰팡이, 고사리의 비교



(가)는 대장균만의 특징, (나)는 대장균과 푸른곰팡이의 공통적인 특징, (다)는 대장균, 푸른곰팡이, 고사리의 공통적인 특징이다. (라)는 푸른곰팡이와 고사리의 공통적인 특징, (마)는 고사리만의 특징이다.

03 ⑤ i) 대장균은 원핵 세포로 이루어진 단세포 생물이다. 이들은 스스로 양분을 합성하지 못하고 외부의 유기물을 흡수하여 에너지를 얻는 종속 영양을 한다.

ii) 푸른곰팡이는 진핵 세포로 이루어진 다세포 생물이며, 종속 영양을 한다.

iii) 고사리는 진핵 세포로 이루어진 다세포 생물로, 광합성 색소를 가지고 있어서 스스로 양분을 합성하여 살아가는 독립 영양을 한다.

iv) ㄱ. '원핵 세포'는 대장균에만 해당하므로 (가), '진핵 세포'는 푸른곰팡이와 고사리의 공통적인 특징이므로 (라)에 해당한다.

ㄴ. '종속 영양'은 대장균과 푸른곰팡이의 공통적인 특징이므로 (나), '독립 영양'은 고사리에만 해당하는 특징이므로 (마)에 해당한다.

ㄷ. 세포벽은 대장균, 푸른곰팡이, 고사리를 구성하는 세포의 공통적인 특징이므로 '세포벽이 있음'은 (다)에 해당한다. 그러나 세포벽의 성분은 대장균이 펩티도글리칸, 푸른곰팡이는 키틴, 고사리는 셀룰로스로 다르다.

04 ② i) 엽록체가 있는 A는 클로렐라, 엽록체는 없지만 광합성 색소가 있는 B는 흔들말, 광합성 색소가 없는 C는 짚신벌레이다.

ii) 미토콘드리아는 진핵 세포로 이루어진 A와 C에는 있고, 원핵 세포인 B에는 없다.

iii) A와 C는 막으로 싸인 핵을 가지고 있는 진핵생물이다.

iv) B는 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있지만, C는 세포벽이 없다.

조류와 식물

조류 중 얕은 물에 살던 녹조류가 선태식물을 거쳐 양치식물 → 겉씨식물 → 속씨식물로 진화하였다. 식물을 구분하는 중요한 기준은 관다발의 분화, 번식 방법, 씨방의 유무 등이다.

05 ③ i) 다시마는 갈조류, 클로렐라는 녹조류, 이끼는 선태식물, 고사리는 양치식물, 소나무는 겉씨식물, 옥수수는 속씨식물이다. 이들의 특성을 표로 정리하면 다음과 같다.

구분	다시마	클로렐라	이끼	고사리	소나무	옥수수
엽록소	a, c	a, b	a, b	a, b	a, b	a, b
관다발	없음	없음	없음	있음	있음	있음
번식 방법	포자	포자	포자	포자	종자	종자
씨방	–	–	–	–	없음	있음

ii) 다른 생물에는 있고 다시마에는 없는 특징 ㉠은 엽록소 b이다. 엽록소 a는 제시된 6종의 식물의 공통적인 색소이므로 특징 ㉠이 될 수 없다. 특징 ㉡은 양치식물, 겉씨식물, 속씨식물의 공통 특징이므로 '관다발 있음'이다. 겉씨식물과 속씨식물은 다른 생물과는 달리 종자를 형성하는 식물이므로 특징 ㉢은 종자 번식이다.

06 ④ ⅰ) 젖산균은 세균역, 메테인 생성균은 고세균역, 푸른곰팡이와 버섯은 진핵생물역의 균계, 파래는 진핵생물역의 원생생물계, 우산이끼는 진핵생물역의 선태식물이다. 따라서 이 계통수에는 3역에 해당하는 생물이 모두 포함되어 있다.

ⅱ) 젖산균과 메테인 생성균은 원핵생물이고, 나머지는 진핵생물이다. 따라서 A는 핵막의 유무이다.

ⅲ) 푸른곰팡이와 버섯은 둘 다 격벽이 있는 균사를 가진다. 따라서 격벽의 유무는 B의 기준이 될 수 없다. 푸른곰팡이는 담자 포자를 형성하는 버섯과는 달리 자낭 포자를 형성하므로 B는 자낭 포자 형성 여부가 될 수 있다.

ⅳ) 우산이끼와 파래는 계통수의 같은 가지의 가장 가까운 위치에 있으므로 이들은 유연관계가 가깝다. 녹조류는 식물의 조상으로 여겨진다.

고사리의 생활사

포자체($2n$)의 포자낭에서 감수 분열에 의해 포자(n)가 생성된다(무성 생식). 포자가 땅에 떨어져 발아하면 체세포 분열을 거듭하며 자라 배우체인 전엽체(n)가 된다. 전엽체의 장란기와 장정기에서 각각 생성된 난자와 정자가 수정하여 접합자($2n$)가 된다(유성 생식). 접합자가 자라서 포자체(고사리)가 된다.

07 ③ ① 고사리는 양치식물이며, A 포자체가 본체이다. 고사리에는 관다발이 있으며, 헛물관과 체관이 존재한다.

② A 포자체는 정자와 난자가 수정하여 만들어진 수정란이 발아하여 형성되었으므로 핵상은 $2n$이다. 포자낭에서 포자를 형성할 때는 감수 분열이 일어나므로 포자 B는 핵상이 n이다. 따라서 세포의 염색체 수는 A가 B의 2배이다.

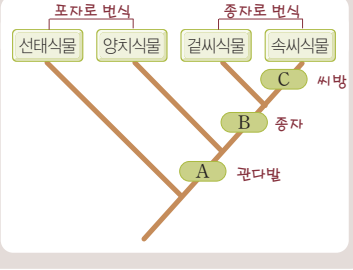
④ 포자낭에서는 감수 분열을 통해 포자를 형성하므로 하나의 포자낭에서는 유전자형이 다양한 포자가 만들어진다.

⑤ 고사리의 배우체인 C 전엽체는 포자체 A와는 독립적으로 생활하는 점이 선태식물과 다르다.

오답 피하기

③ C 전엽체는 포자가 발아하여 만들어진 것이므로 핵상이 n이다. 따라서 정자 D가 만들어질 때는 핵상의 변화가 없는($n \rightarrow n$) 체세포 분열이 일어난다.

식물계의 계통수



08 ② ㄱ. 소나무는 겉씨식물이다. 따라서 관다발이 있으며 종자로 번식하고, 씨방은 없다.

ㄴ. 겉씨식물에는 씨방이 없고 속씨식물만 씨방이 있으므로 C 과정에서 밑씨가 씨방에 싸이게 되었다.

오답 피하기

ㄷ. 식물을 유연관계에 따라 분류할 경우 관다발의 유무를 먼저 고려하고, 번식 방법과 씨방의 유무를 고려하고 있으므로 여기에서는 생식 기관보다 영양 기관의 특징을 가장 우선적으로 고려한 것이다.

09 ④ ⅰ) (가)는 접합균류이며, 이것은 균사에 격벽이 없다(특징 b). 그리고 접합 포자를 만들어서 번식하므로 (가)에 해당하는 생물은 거미줄곰팡이다.

ⅱ) (나)는 균사에 격벽이 있고, 담자 포자를 가지는(특징 a) 담자균류이다. 송이버섯이 여기에 해당한다. (다)는 자낭 포자로 번식하는 자낭균류이며, 누룩곰팡이에 해당한다.

ⅲ) ㄱ. (가)는 거미줄곰팡이, (나)는 송이버섯이다. ㄴ. (나)와 (다)는 격벽이 있는 균사로 되어 있다. ㄷ. 특징 a는 담자 포자, 특징 b는 '격벽 없음'이다.

버섯의 생활사

담자 포자(n)가 땅에 떨어져 적당한 환경이 되면 1핵성 균사(n)로 자란다. 1핵성 균사체가 생장하다가 다른 1핵성 균사체와 접합하여 1개의 세포에 핵이 2개인 2핵성 균사를 만든다.

2핵성 균사체가 자라면서 많은 균사가 얽혀 성장하면 지상부로 나와 담자과(버섯)를 만든다. 담자과의 갓 아래 많은 주름 사이에서 담자기가 형성되고, 담자기에서는 핵융합($2n$)이 이루어진 후 감수 분열에 의해 4개의 담자 포자(n)가 생성된다.

10 ③ ① 버섯은 균사에 격벽이 있으며 담자 포자로 번식하는 담자균류이다. 버섯의 균사 A에는 격벽이 존재한다.

② 균사 A에는 키틴 성분의 세포벽이 존재한다.

④ 담자기에서 담자 포자를 형성할 때는 감수 분열이 일어난다. 그 결과 담자 포자의 핵상은 n이다.

⑤ 버섯은 감수 분열을 통해 담자 포자를 형성하고, 담자 포자가 발아하여 만들어진 균사가 접합하여 버섯을 형성한다. 따라서 버섯은 유성 생식으로 번식한다.

오답 피하기

③ B 버섯은 관다발이 없다.

11 ① ㄱ. ㉠은 3배엽이지만 체강이 없는 것을 나타내고, ㉡은 중배엽으로 둘러싸인 진체강을 나타낸다. A는 진체강 동물이므로 특징 ㉡을 가지며, C 편형동물은 무체강이므로 특징 ㉠을 가진다.

ㄴ. B의 윤형동물과 선형동물은 체강은 있지만 중배엽으로 완전히 둘러싸이지 않은 의체강을 가진다. 이들은 3배엽 동물이므로 각 배엽으로부터 분화한 기관이 있어서 신경계, 소화계 등이 발달한다.

오답 피하기

ㄷ. E의 해면동물은 포배 단계에서 발생이 끝난 동물군으로, 이들은 배엽을 형성하지 않아 진정한 의미의 조직이나 기관이 없다. 따라서 신경계가 없다.

ㄹ. 극피동물과 척삭동물은 원구가 항문이 되는 후구동물이다. 그러나 자포동물은 2배엽성으로 항문이 발달하지 않는다.

척삭

척삭은 척삭동물의 일생 동안 또는 발생 중 일정 시기에 몸을 지지하는 구조로, 척추동물에서는 발생이 더 진행되면서 척추로 바뀐다. 발생 중 척삭의 형성 여부도 동물 분류의 기준이 되는데, 척삭은 척삭동물에서만 형성되고 다른 동물군에서는 형성되지 않는다.

12 ② ① A에 속하는 생물은 선구동물이며, 모두 진체강을 가진다.

③ 히드라는 내배엽과 외배엽의 2배엽성 동물로, 두 배엽으로부터 분화한 기관이 있다.

④ 촌충은 편형동물이며, 원구가 입이 되는 선구동물이다. 이들은 3배엽 동물이지만 체강이 없다.

⑤ 히드라와 같은 자포동물은 낭배 단계에서 발생이 멈춘 것이고, 3배엽 동물 중 선형동물 이상에서는 체강이 나타난다. 따라서 진화 과정에서 낭배가 체강보다 먼저 나타났다고 볼 수 있다.

오답 피하기

② B에 속하는 생물 중 우렁쉥이(멍게)와 칠성장어는 발생 중에 척삭을 가진다. 그러나 성게는 극피동물로 척삭이 나타나지 않는다.

선구동물과 후구동물

3배엽성 동물은 원구가 입이 되고 항문보다 먼저 만들어지는 선구동물과, 원구가 항문이 되고 입이 나중에 만들어지는 후구동물로 나뉜다. 편형동물~절지동물은 선구동물이고, 극피동물과 척삭동물은 후구동물이다.

13 ⑤ i) 불가사리를 포함한 두 생물 (나), (다)에는 공통적이지만, 다른 한 생물 (가)에는 없는 특징은 원구가 항문이 되는 것이다.

ii) 따라서 특징 A는 '원구가 항문이 됨' 이고, (가)는 원구가 입이 되는 나비이다.

iii) 나비는 선구동물이고, 불가사리, 상어, 참새는 후구동물이다.

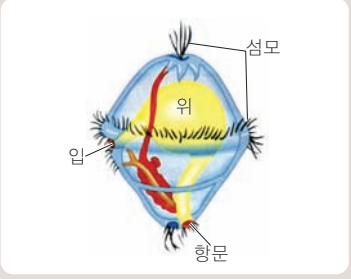
14 ③ ㄱ. 우렁쉥이는 미삭동물, 칠성장어는 칠성장어류, 잉어는 어류, 개구리는 양서류, 뱀은 파충류, 참새는 조류, 고양이는 포유류이다. A에 속하는 파충류, 조류, 포유류는 모두 배를 둘러싸서 보호하는 양막을 갖는 유양막류에 속한다.

ㄷ. 진화 과정에서 척추는 칠성장어에서 잉어로 되는 과정에서 생기고, 이보다 늦게 ㉡ 단계에서 네 다리가 생겼다.

오답 피하기

ㄴ. ㉠ 단계에서는 신경관의 앞쪽 끝 부분에 뇌와 눈 등의 감각 기관이 있고 머리뼈가 형성된다. 칠성장어는 턱뼈가 없지만 척추동물인 어류부터는 턱뼈가 있다. 따라서 턱뼈의 형성은 ㉠ 이후, ㉡ 이전에 해당하며, 이 시기에 척추도 생긴다.

트로코포라



환형동물과 연체동물의 알에서 발생하는 유생의 하나로 담륜자라고도 한다.

15 ⑤ i) (가)는 해면동물, (나)는 자포동물, (다)는 편형동물, (라)는 연체동물, (마)는 환형동물, (바)는 절지동물, (사)는 선형동물, (아)는 윤형동물이다.

ii) 자세포가 있는 동물은 (나) 자포동물에 속하며, 플라나리아는 (다) 편형동물에 속한다.

iii) (마) 환형동물은 무척추동물 중 드물게 폐쇄 순환계를 가지며, 곤충류와 갑각류는 (바) 절지동물에 속한다.

iv) 트로코포라 유생기를 가지는 동물은 (라) 연체동물과 (마) 환형동물이다.

16 ③ i) 두삭동물인 창고기는 턱뼈와 척추가 형성되지 않고, 어류인 붕어는 턱뼈와 척추가 있다. 따라서 A, A′은 턱뼈의 유무 또는 척추의 유무이다.

ii) 양서류인 개구리는 양막이 없고, 파충류인 거북과 포유류인 고래는 양막이 있다. 따라서 분류 기준 B, B′은 양막의 유무이다. 개구리는 성체가 되면 폐호흡을 하므로 B, B′은 폐호흡의 유무가 적합하지 않다.

iii) 거북은 알을 낳는 난생이고, 고래는 새끼를 낳는 태생을 한다. 따라서 C, C′는 번식 방법이다.

서술 · 논술형 문제

02. 생물의 다양성 pp.148~149

3역 6계

- 세균역 — 세균계
- 고세균역 — 고세균계
- 진핵생물역
  - 원생생물계
  - 식물계
  - 균계
  - 동물계

1. 3역 6계 분류군의 특징

모범 답안 | (1) 핵막의 유무이다.

(2) • 공통점 : 원핵 세포로 되어 있다.

• 차이점 : A는 세포벽에 펩티도글리칸 성분이 있지만, C는 세포벽에 펩티도글리칸 성분이 없다.

(3) A는 세균계, B는 균계, C는 고세균계, D는 원생생물계에 속한다.

알짜 풀이 | (1) A 흔들말은 세균역에 속하고, C 메테인 생성균은 고세균역에 속한다. A와 C는 막으로 싸인 핵이 없는 원핵 세포로 되어 있다. B 털곰팡이는 균계에 속하고, D 물곰팡이는 원생생물계에 속한다. B와 D는 모두 핵이 있는 진핵생물역에 속한다.

(2) 세균역과 고세균역의 공통점은 원핵 세포로 이루어져 있다는 점이고, 차이점은 이들이 가진 세포벽의 성분이 다르다는 것이다. 세균역에 속한 생물은 세포벽에 펩티도글리칸 성분이 있지만, 고세균역에 속한 생물은 세포벽에 펩티도글리칸 성분이 없다.

(3) 털곰팡이는 키틴 성분의 세포벽을 가지는 균계에 속하고, 물곰팡이는 셀룰로스 성분의 세포벽을 가지며 원생생물계에 속한다.

2. 녹조류와 육상 식물의 유연관계

모범 답안 | 녹조류는 식물처럼 광합성 색소로 엽록소 a와 b 그리고 카로티노이드를 보조 색소로 가진다. 광합성 산물은 녹말, 세포벽의 성분은 셀룰로스로 같다는 점도 육상 식물과의 유연관계를 보여 준다.

알짜 풀이 | 녹조류는 엽록체를 가지며 광합성 색소가 a와 b로 같고, 광합성 산물이 녹말이며 세포벽 성분이 셀룰로스라는 점 등에서 육상 식물의 조상이라고 여겨진다.

3. 식물계의 분류

모범 답안 | • 공통점 : 엽록소 a와 b를 가지고 광합성을 하여 독립 영양을 하며, 포자로 번식한다.
• 차이점 : 솔이끼는 관다발이 없지만, 고사리는 관다발이 발달되어 있다. 솔이끼는 배우체가 본체이며 생활사의 대부분을 차지하지만, 고사리는 포자체가 본체이며 생활사의 대부분을 차지한다.

알짜 풀이 | 솔이끼는 선태식물이고, 고사리는 양치식물이다. 선태식물과 양치식물은 다세포 진핵 세포로 이루어져 있고, 엽록소 a와 b를 가지고 광합성을 하여 독립 영양을 하며, 포자로 번식하는 공통점이 있다. 그러나 양치식물은 관다발이 발달하고, 선태식물과는 달리 배우체보다 포자체가 우세하다는 차이점이 있다.

균사

균사는 균류의 몸을 구성하는 가는 실 모양의 세포로, 균사의 군데군데에서 자루가 나오고 그 끝에 포자가 형성된다.

4. 식물계와 균계의 비교

모범 답안 | (1) 균류는 독립 영양을 하는 식물과는 달리 종속 영양을 하기 때문이다.
(2) 균류는 몸이 균사체로 이루어져 있으며, 키틴 성분의 세포벽으로 이루어져 있다. 식물과는 달리 잎, 줄기, 뿌리와 같은 기관을 형성하지 않으며, 관다발도 없다.

알짜 풀이 | (1) 균류는 광합성 색소가 없어 동식물의 사체를 분해하거나 유기물을 분해한 후 흡수하여 살아간다. 이러한 특성을 근거로 휘태커는 종속 영양을 하는 균류를 식물계로부터 분리하였다.
(2) 균류는 포자가 발아하여 이루어진 실 같은 구조의 균사체로 이루어져 있으며, 세포벽의 성분은 셀룰로스가 아니라 키틴이다.

5. 동물계의 분류

모범 답안 | (1) 원구와 입의 관계를 기준으로 A는 선구동물, B는 후구동물로 분류한 것이다.
(2)

무체강	의체강	진체강
플라나리아	회충	달팽이, 지렁이, 나비, 불가사리, 창고기, 도롱뇽, 거북, 개

알짜 풀이 | 10종의 동물은 모두 3배엽성 동물이며, 플라나리아(편형동물), 달팽이(연체동물), 지렁이(환형동물), 회충(선형동물), 나비(절지동물)는 모두 원구가 입이 되는 선구동물이다. 불가사리(극피동물), 창고기, 도롱뇽, 거북, 개(척삭동물)는 모두 원구가 항문이 되고 나중에 입이 생기는 후구동물이다. 동물을 체강에 따라 분류하면 편형동물은 무체강, 선형동물과 윤형동물은 의체강, 나머지 3배엽성 동물은 모두 진체강이다.

체외 수정과 체내 수정

암컷의 몸 밖에서 수정이 일어나는 것을 체외 수정, 암컷의 몸 안에서 수정이 일어나는 것을 체내 수정이라고 한다. 물속에 알을 낳는 어류, 양서류는 체외 수정을 하고, 육상 생활에 완전히 적응한 파충류, 조류, 포유류는 체내 수정을 한다.

6. 척추동물의 분류

모범 답안 | A는 네 다리(사지)이며, B는 양막 또는 체내 수정이다.

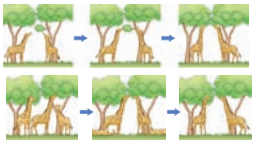
알짜 풀이 | 양서류는 육상으로 진출하는 과정에서 네 다리를 가지게 된 동물이다. 파충류, 조류, 포유류는 완전히 육상 생활에 적응하여 생식 과정을 물에 의존하지 않게 되어 체내 수정을 하고 발생 중인 배를 보호하는 양막이 발달하는 유양막류이다.

01 개체군 내 변이와 자연선택

개념 체크 p.161

A 라마르크의 용불용설과 다윈의 자연선택설

그림 (가)와 (나)는 라마르크의 용불용설과 다윈의 자연선택설에 따라 각각 기린이 어떻게 현재와 같이 긴 목을 갖도록 진화하게 되었는지를 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)에서는 목이 짧은 기린이 계속 목을 늘임으로써 목이 길어졌다. (○)
2. (나)에서 생존 경쟁과 적자 생존에 의해 목이 긴 기린이 자연선택된 것이다. (○)
3. (가)와 (나) 중 기린이 현재와 같이 긴 목을 갖도록 진화하는 과정을 더 설득력 있게 설명한 것은 (나)이다. (○)

B 다윈 이후의 진화설과 현대 종합설

다음은 여러 진화설에 대한 설명이다. 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 생식질 연속설에 따르면, 체세포에 생긴 변이는 유전되지만 생식 세포에 일어난 변이는 유전되지 않는다. (×)
2. 더프리스는 개체 변이에 의해 새로운 종이 만들어져 진화가 일어난다고 주장하였다. (×)
3. 격리설에 따르면 생식적 격리는 종 분화의 중요한 요인이지만, 지리적 격리는 그렇지 못 하다. (×)
4. 정향 진화설에 따르면, 생물의 진화는 환경의 변화와 관계없이 내적인 요인에 의해 항상 일정한 방향으로 일어난다. (○)
5. 교잡설에 따르면 교잡에 의해 만들어진 잡종에 의해 새로운 종이 형성된다. (○)
6. 현대 종합설에서는 용불용설과 자연선택설, 돌연변이설, 격리설, 교잡설 등을 종합하여 생물의 진화를 체계적으로 설명한다. (×)
7. 현대 종합설에서는 진화는 한 개체의 변화가 아니라 집단 내에서 특정 유전자를 가진 개체의 비율이 변화하는 것이다. (○)

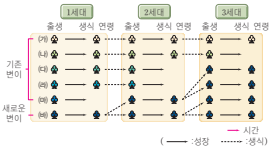
C 변이

다음은 변이에 대한 설명이다. 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 변이는 다른 종에 속하는 생물 개체 사이에서 나타나는 다양한 형질의 차이를 말한다. (×)
2. 개체 변이는 유전 변이와 환경 변이 및 방황 변이의 세 가지로 구분된다. (×)
3. 환경 변이는 당대에서 끝나며 자손에게 전해지지 않지만 유전 변이는 자손에게 전해진다. (○)
4. 유전 변이는 무성 생식과 유성 생식에 의해 다양한 유전자 조합이 만들어지거나 생식 세포에서 돌연변이가 일어날 때 나타난다. (×)
5. 환경 변이는 발생과 생장 과정을 거치면서 변한 것이기 때문에 유전학을 통한 예측이 불가능하다. (○)
6. 유전 변이는 부모가 갖고 있던 유전자의 전달을 통해 형질을 물려받은 것이기 때문에 유전학을 통해서 예측할 수 있다. (○)

D 자연선택에 의한 진화

그림은 어떤 진화의 과정을 모식적으로 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 환경에 잘 적응하여 자연선택된 변이는 (바)이다. (○)
2. (가)~(라)의 변이가 도태되어 사라진다. (×)
3. 세대가 거듭될수록 (바)의 변이를 가진 개체의 비율이 증가한다. (○)
4. 자연 상태에서는 생물 집단에서 특정 변이가 출현하고 자연선택되는 과정이 계속 일어나 진화가 일어난다. (○)
5. 자연선택은 개체에 작용하지만, 개체의 변화가 개체군의 변화로 이어져 생물이 진화하게 된다. (○)
6. 인간이 먹는 농작물이나 인간이 기르는 가축들은 거의 대부분 자연선택을 통해 개량된 품종이다. (×)

A 라마르크의 용불용설과 다윈의 자연선택설

01 (가) 용불용설에서는 목이 짧은 기린이 높은 나뭇가지의 잎을 먹기 위해 계속 목을 늘임으로써 목이 길어졌다고 설명한다.

02 (나)에서는 목이 긴 기린이 목이 짧은 기린과의 생존 경쟁에서 유리해서 자연선택된 것이다.

03 현재 획득 형질의 유전을 주장한 용불용설은 받아들여지지 않으며, (나)의 자연선택의 원리가 받아들여지고 있다. 따라서 (가)보다 (나)가 기린의 목의 진화 과정을 더 설득력 있게 설명한 것이다.

B 다윈 이후의 진화설과 현대 종합설

01 생식질 연속설은 생식 세포에 일어난 변이만이 유전된다고 설명한다.

02 더프리스는 돌연변이에 의해 새로운 종이 만들어져 진화가 일어난다는 돌연변이설을 주장하였다.

03 격리설은 지리적 격리와 생식적 격리가 종 분화의 중요한 요인이라고 설명한다.

04 정향 진화설은 생물의 진화가 내적인 요인에 의해 일정한 방향으로 일어난다는 것으로, 내적인 요인이 무엇인지에 대해서는 분명하지 않다는 제한점이 있다.

05 교잡설은 유전적 조성이 다른 개체들의 교잡에 의해 만들어진 잡종에 의해 새로운 종이 형성된다는 학설이다.

06 용불용설은 현대 종합설에서 진화의 원리를 설명하는 학설로 받아들여지지 않는다.

07 현대 종합설에서는 진화의 단위를 개체가 아닌 집단(개체군)으로 보며, 진화는 한 개체의 변화가 아니라 집단 내에서 새로운 유전자를 가진 개체의 비율이 변화하는 것이라고 한다.

C 변이

01 변이는 같은 종의 생물 개체 사이에서 나타나는 다양한 형질의 차이이다.

02 개체 변이는 유전 변이와 환경 변이(방황 변이)의 두 가지로 구분된다.

03 환경 변이는 환경의 영향을 받아 나타나는 변이로, 당대에서 끝나며 자손에게 전해지지 않는다. 반면에 유전 변이는 부모로부터 물려받은 유전자에 의해 나타나는 것으로 자손에게 전해진다.

04 유전 변이는 유성 생식에 의한 유전자 조합이나 생식 세포에서 돌연변이가 일어나 나타난다.

05 환경 변이는 발생과 생장 과정에서 어떤 환경의 영향을 받을 것인지 알 수 없기 때문에 유전학을 통한 예측이 불가능하다.

06 유전 변이는 유전학을 통해서 예측할 수 있다.

D 자연선택에 의한 진화

01 환경에 잘 적응하여 자연선택된 변이는 세대를 거듭할수록 비율이 증가하는 (바)이다.

02 (가)는 3세대까지 도태되지 않고 유지된다.

03 (바)는 자연선택되어 세대가 거듭될수록 (바)의 변이를 가진 개체의 비율이 증가한다.

04 이 자료는 세대를 거듭하면서 특정 변이가 자연선택되는 과정이 계속 일어나 진화가 일어나는 것을 보여 준다.

05 자연선택은 특정 변이를 가진 개체에 작용하지만, 이러한 변이를 가진 개체들의 수가 증가함에 따라 개체군에서 차지하는 비율이 증가함으로써 생물이 진화하게 된다.

06 농작물이나 가축들은 거의 대부분 사람의 필요에 따라 인위 선택을 통해 개량된 품종이다.

개념 확인 문제 pp.162~163

01. ③	02. ③	03. ⑤	04. ③	05. ⑤	06. 적자 생존
07. ②	08. ②	09. ②	10. ④	11. ⑤	12. ③, ⑤ 13. ④
14. ②	15. ④	16. (가) 용불용설, (나) 자연선택설			

01 ③ 다인 이전의 진화설로 용불용설이 있다.

오답 피하기

격리설, 교잡설, 돌연변이설, 정향 진화설은 다윈의 자연선택설 이후에 제안된 학설이다.

02 ③ 용불용설은 다윈의 자연선택설 이전에 라마르크에 의해 제안된 학설이다. 획득 형질이 유전되지 않는다는 사실이 밝혀져 오늘날 진화의 원리로 인정받지 못하고 있지만, 생물이 환경의 영향을 받아 변할 수 있다는 생물 진화의 개념에 대한 설명을 최초로 체계적으로 제시하였다는 점에서 진화론의 확립에 기여하였다.

03 ⑤ 현대 종합설에서는 유전학과 자연선택을 기초로 돌연변이, 격리, 교잡 등을 종합하여 생물의 진화를 체계적으로 설명한다.

04 ③ 현대 종합설에서는 생물 진화의 단위를 개체가 아니라 집단(개체군)으로 본다. 따라서 진화란 집단 내에서 특정 유전자를 가진 개체의 비율이 변화하는 것을 의미한다.

현대의 진화설

유전학과 자연선택을 기초로 돌연변이, 격리, 교잡 등을 종합하여 생물의 진화를 체계적으로 설명한다.

05 ⑤ 현대 종합설에서는 유전학과 자연선택을 기초로 돌연변이, 격리, 교잡 등이 종합적으로 작용하여 생물의 진화가 일어난다고 설명한다. 획득 형질은 유전되지 않으므로 진화의 요인으로 여기지 않는다.

06 적자 생존

적자 생존은 생존 경쟁에서 환경에 적응한 개체들이 살아남는다는 것을 의미한다.

07 ② 라마르크의 용불용설은 다윈 이전의 진화설로, 획득 형질이 자손에게 전해짐으로써 진화가 일어난다고 설명한다. 이때 생물이 환경에 적응하고자 하는 내적인 욕구가 형질을 변화시키는 원동력이 된다. 오늘날 용불용설은 진화를 설명하는 학설로 받아들여지지 않지만, 최초로 생물 진화의 개념에 대한 설명을 체계적으로 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

오답 피하기

② 획득 형질은 유전되지 않는다는 것이 밝혀짐에 따라 용불용설은 오늘날 진화의 원리로 인정받지 못하고 있다.

다윈의 자연선택 과정

① 과잉 생산 : 실제 생존할 수 있는 것보다 더 많은 자손을 생산한다.
② 개체 변이 : 개체들 사이에는 형태나 기능이 조금씩 다른 변이가 존재한다.
③ 생존 경쟁 : 과잉 생산된 개체들은 살아남기 위해 경쟁을 하게 된다.
④ 적자 생존과 자연선택 : 환경에 보다 잘 적응하는 변이를 가진 개체만이 살아남아 자손을 남긴다.
⑤ 진화 : 이러한 과정이 오랫동안 계속되어 생물의 진화가 일어난다.

08 ② 다윈의 자연선택설은 '과잉 생산 → 개체 변이 → 생존 경쟁 → 적자 생존 → 자연선택 → 종 분화'로 설명된다.

오답 피하기

② 집단의 개체들 사이에는 돌연변이가 진화의 중요한 요인이라는 것은 다윈의 진화설 이후 더프리스에 의해 제안되었다.

09 ② 다윈의 자연선택설은 다음과 같이 설명할 수 있다. 생물은 종의 유지에 필요한 것 이상으로 자손을 과잉 생산하며, 집단의 개체들 사이에는 다양한 변이(개체 변이)가 존재한다. 개체들은 제한된 먹이나 서식 공간을 두고 생존 경쟁을 하며, 환경에 적응하기 유리한 개체들이 살아남아(적자 생존) 더 많은 자손을 남기는 자연선택이 일어나게 된다. 자연선택의 결과 대를 거듭할수록 개체군 내에서는 환경 적응에 유리한 형질을 지닌 개체의 빈도가 점차 높아지고 이 과정에서 작은 변이가 누적되어 생물이 진화하고 새로운 종이 출현하게 됨으로써 다양한 종이 생겼다.

10 ④ 아이머는 화석 생물의 형질 변화를 연구하여 생물의 진화는 환경의 변화와 관계없이 내적인 요인에 의해 항상 일정한 방향으로 일어난다는 정향 진화설을 주장하였다.

여러 가지 진화설

생식질 연속설	체세포에 생긴 변이는 유전되지 않으며, 생식 세포에 일어난 변이만이 유전된다.
돌연변이설	돌연변이에 의해 새로운 종이 만들어져 진화가 일어난다.
격리설	지리적 격리와 생식적 격리가 종 분화의 중요한 요인이다.
정향 진화설	생물의 진화는 환경의 변화에 관계없이 내적인 요인에 의해 항상 일정한 방향으로 일어난다.
교잡설	교잡이 새로운 종의 형성과 진화의 원동력이 된다.

11 ⑤ 바이스만은 체세포에 생긴 변이는 유전되지 않으며 생식 세포에 일어난 변이만이 유전된다는 생식질 연속설을 주장하였다.

12 ③, ⑤

(가)는 돌연변이에 의해 생긴 왕달맞이꽃과 같은 변종에 의해 새로운 종이 생긴다고 설명하는 돌연변이설과 관련이 깊다. (나)는 쥐의 꼬리를 자르는 것과 같이 후천적으로 획득되거나 체세포에 생긴 변이는 유전되지 않으며 생식 세포에 생긴 변이만이 유전된다는 생식질 연속설과 관련이 깊다.

13 ④ 인간이 재배하고 기르는 농작물이나 가축은 사람의 목적에 맞는 형질을 가진 개체들을 교배하여 얻는 경우가 많은데, 이러한 것을 인위 선택이라고 한다.

변이

같은 종의 개체 사이에 나타나는 다양한 형질의 차이

① 유전 변이 : 부모로부터 유전자를 물려받아 나타나는 변이, 유전자의 차이에 의해 나타나기 때문에 자손에게 전해진다.

② 환경 변이(방황 변이) : 환경의 영향을 받아 나타나는 변이, 자손에게 전해지지 않는다.

14 ② 같은 종의 개체 사이에서 나타나는 다양한 형질의 차이를 변이라고 하며, 유전 변이와 환경 변이가 있다. 부모로부터 유전자를 물려받아 나타나는 변이를 유전 변이라고 하며, 유전학에 의해 예측이 가능하다. 환경 변이는 개체가 발생하고 생장해 가면서 환경의 영향을 받아 나타나는 변이로, 유전학에 의한 예측이 불가능하다. 환경 변이는 개체가 태어난 후에 유전자와는 상관없이 나타나는 것이기 때문에 당대에서 끝나며 자손에게 유전되지 않는다.

15 ④ 가뭄이라는 환경의 변화에 따라 딱딱한 껍질을 가진 씨가 많아지고, 그에 적응하여 부리가 큰 핀치들이 먹이를 얻기에 유리해져서 더 많은 자손을 남김으로써 핀치 개체군의 부리 평균 크기가 커지는 것과 같은 현상은 자연선택으로 설명할 수 있다.

16 (가) **용불용설**, (나) **자연선택설**

(가)는 원래 목이 짧은 기린이 목을 늘여 현재와 같이 목이 긴 기린이 되었다고 설명하는 것으로, 자주 사용하는 기관이 발달되어 자손에게 전달된다는 용불용설에 기초한 것이다. (나)는 기린은 목의 길이가 다양했고, 이들 중 생존에 유리한 목이 긴 기린이 살아남아 자손을 더 많이 남기게 된다고 설명한다. 이와 같이 개체 간에는 변이가 있고, 이들 사이에 생존 경쟁이 일어나 환경에 보다 잘 적응한 것이 살아남아 자손을 남긴다고 설명하는 것은 자연선택설에 기초한 것이다.

개념 활용 문제 pp.164~167

01. ③ 02. ③ 03. ⑤ 04. ② 05. ⑤ 06. ③ 07. ④ 08. ④

기린의 목과 성적 선택
기린은 어깨 높이의 나뭇잎을 따 먹기 때문에 목 길이가 실제로는 섭식에 대한 자연선택에 아무런 도움을 주지 못했다는 최근의 연구 결과가 있다. 이 연구에 따르면 기린의 목 길이는 암컷이 짝짓기 과정에서 긴 목을 가진 수컷을 선택하는 성적 선택 과정과 관련이 있다고 설명한다.

01 ③ ㄱ. (가)는 목이 긴 형질을 가진 기린이 살아남았다는 자연선택설과 관련된 설명이다.
ㄷ. (다)는 갑자기 나타난 유전 형질의 변화로 목이 긴 기린이 생긴 것은 돌연변이설, 목이 긴 기린이 생존에 유리해졌다는 것은 자연선택설과 관련된 설명이다.
ㄹ. (나)는 후천적으로 획득된 목이 길어진 형질이 자손에게 물려진다고 설명하고 있으므로 과학적으로 타당성이 없다.

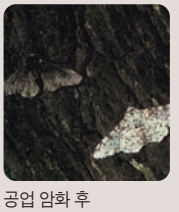
오답 피하기
ㄴ. (나)는 목을 후천적으로 길게 늘이다 보니 목이 길어졌다는 용불용설과 관련된 설명이다.

02 ③ (가)는 적자 생존, (나)는 과잉 생산, (다)는 자연선택, (라)는 개체 변이, (마)는 생존 경쟁에 대한 설명이다. 다윈의 자연선택설에 따르면 생물의 진화가 일어나는 과정은 과잉 생산 → 개체 변이 → 생존 경쟁 → 적자 생존 → 자연선택 → 종 분화의 단계로 이루어진다. 따라서 (나) → (라) → (마) → (가) → (다)의 순서로 진화가 진행된다.

03 ⑤ 갈라파고스 군도는 19개의 섬으로 구성되어 있고, 각 섬은 바다에 의해 격리되어 있기 때문에 환경이 서로 다르고 그에 따라 핀치들의 먹이도 차이가 날 것이다. 장기간에 걸쳐 서로 다른 섬 환경에서 살면서 각각의 환경에서 먹이를 섭취하기에 유리한 부리를 가진 핀치들이 자연선택된 결과 핀치의 부리가 다양해졌다.

공업 암화
공업 도시가 증가함에 따라 그 주변에 사는 나방 중 검은색을 띠는 것이 증가하는 현상이다.

공업 암화 전


공업 암화 후

04 ② ㄱ. 오염된 숲에서는 흰색 후추나방의 재포획률이 25%이고, 검은색 후추나방의 재포획률은 53.2%로 검은색 후추나방의 재포획률이 높다.
ㄴ, ㄹ. 매연 때문에 나무의 색깔이 어둡게 변하면 검은색 후추나방보다 흰색 후추나방이 천적(포식자)인 새의 눈에 잘 띄어 더 많이 잡아먹힐 것이다. 결국 공업이 발달하면서 바뀐 환경에서는 검은색 후추나방이 흰색 후추나방보다 생존에 유리해져 자연선택됨으로써 검은색 후추나방의 수가 이전에 비해 증가할 것이다. 즉, 생존 경쟁에 유리한 형질을 가진 개체의 생존율이 증가하여 그 형질이 유전된다. 반대로 대기 오염이 줄어들면 검은색 후추나방이 천적의 눈에 잘 띄어 피식률이 높아지면서 밀도가 감소할 것이다.

오답 피하기
ㄷ. 숲이 오염되면 검은색 후추나방은 천적의 눈에 잘 띄지 않게 되어 오염되기 전보다 포식자에게 잡아먹히는 비율이 낮아지게 되어 검은색 후추나방의 밀도가 높아지게 된다.

05 ⑤ 바둑돌이 피식자라면, 흰색과 검은색은 개체들 사이의 변이를 의미한다. 잔디밭에서 눈에 잘 띄어 철수가 찾은 바둑돌은 포식자에게 잡아먹혀 죽은 것에 해당하고 찾지 못한 바둑돌은 살아남은 것에 해당한다. 이를 통해 환경에 잘 적응한 개체는 살아남고 적응하지 못한 것은 도태된다는 자연선택의 원리를 이해할 수 있다.

현대 종합설
(나) 격리 → (다) 돌연변이 → (라) 자연선택 → (마) 종 분화
한 개체군에 속하는 개체들이 서로 다른 환경에 격리된 후 생식 세포에 발생한 돌연변이와 교잡 등에 의해 여러 가지 변이가 발생하고 이들 변이를 갖는 개체들이 각각 자연선택을 받는 과정에서 생식적으로 격리되어 서로 다른 종으로 분화된다.

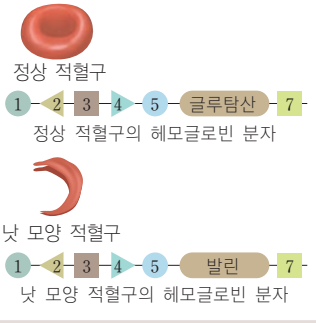
06 ③ ㄱ. A, B, C는 서로 다른 종이 되었으므로 유전적으로 서로 다른 변이를 가지는 종이 되었다.
ㄷ. 지리적 격리가 일어난 후 새로 등장한 형질의 B와 C는 생존 경쟁에서 유리해져서 격리된 두 지역에서 각각 개체수가 증가하였으며, A는 자연 도태되었다.
ㄹ. 현대 종합설은 자연선택을 기초로 돌연변이, 격리 등이 종합적으로 진화에 영향을 준다고 설명한다. 제시된 자료에서는 지리적 격리, 돌연변이, 자연선택, 생식적 격리와 같은 다양한 요인에 의해 생물의 진화와 종 분화가 일어나는 것으로 설명하고 있다.

오답 피하기
ㄴ. 양의 진화가 일어난 과정은 격리 → 돌연변이 → 자연선택의 순이다.

07 ④ ㄴ, ㄷ. 시간이 경과함에 따라 바이러스 독성도가 감소한 것은 돌연변이에 의해 독성이 약한 바이러스가 생겨난 후 자연선택에 의해 독성이 약한 바이러스의 개체수가 많아졌기 때문이다.

오답 피하기
ㄱ, ㄹ. 시간이 경과함에 따라 토끼 치사율이 낮아지므로 토끼가 멸종하지 않는다. 토끼의 치사율이 낮아진 것은 바이러스 독성도가 낮아졌기 때문일 수도 있고, 바이러스에 내성을 가진 토끼가 생겨났기 때문일 수도 있다. 시간이 경과함에 따라 바이러스의 독성에 내성을 갖는 토끼가 자연선택되어 개체수가 많아지면서 그 비율이 증가한다.

정상 적혈구와 낫 모양 적혈구
낫 모양 적혈구 빈혈증은 헤모글로빈(Hb) 유전자의 이상으로 헤모글로빈을 구성하는 6번째 아미노산인 글루탐산이 발린으로 바뀌어 발생한다.



08 ④ ㄴ. 말라리아가 발생하지 않는 지역이나 자주 발생하는 지역에서 모두 Hb^SHb^S의 출현 빈도가 낮다. 이것은 유전자형이 Hb^SHb^S의 경우 악성 빈혈 환자로 보통 20세 이전에 사망하기 때문이다.
ㄷ. Hb^AHb^S의 출현 빈도가 (가)보다 (나)에서 훨씬 높은 것은 치사율이 높은 말라리아가 자주 발생하는 지역에서는 말라리아 저항성이 있는 것이 자연선택되었기 때문이다.
ㄹ. Hb^AHb^A의 출현 빈도가 (가)보다 (나)에서 낮은 것은 말라리아 감염에 의해 사망하는 비율이 높아서 이러한 유전자형을 가진 사람들의 수가 감소하기 때문이다.

오답 피하기
ㄱ. 유전자형이 헤테로인 Hb^AHb^S의 경우 Hb^A와 Hb^S의 두 유전자가 모두 발현되어 정상 헤모글로빈과 비정상 헤모글로빈이 모두 생성된다. 그 결과 정상 모양의 적혈구와 낫 모양의 적혈구가 둘 다 나타난다. 그러므로 형질의 발현이라는 관점에서는 Hb^S 유전자와 Hb^A 유전자 사이에 우열이 분명하지 않다.

서술 · 논술형 문제

01. 개체군 내 변이와 자연선택 pp.168~169

획득 형질
생물이 태어난 후 환경의 영향이나 기관의 용불용(用不用)에 의해 얻게 된 형질로, 후세에 유전되지 않는다. 예를 들면 운동을 많이 하여 발달한 근육 따위가 이에 해당한다.

1. 용불용설

모범 답안 | (1) 생물의 몸은 잘 사용하지 않는 부분은 퇴화하지만 많이 사용하는 부분은 발달하고, 발달한 기관은 다음 세대로 전해진다.
(2) 후천적으로 얻은 획득 형질은 유전되지 않기 때문이다.

알짜 풀이 | 라마르크는 한 개체가 환경에 적응하고자 하는 내적인 욕구에 의해 자주 사용하는지의 여부에 따라 후천적으로 얻은 획득 형질이 자손에게 전해짐으로써 진화가 일어난다고 주장하였다. 이 처럼 라마르크는 획득 형질의 유전을 기반으로 용불용설을 주장하였지만, 이후 유전학의 발달로 후천적으로 얻은 획득 형질은 유

전되지 않는 것이 밝혀짐에 따라 라마르크의 진화설은 오늘날 진화의 원리로 인정받지 못하고 있다.

2. 공업 암화 현상+자연선택

모범 답안 | (1) 산업 혁명 전에는 숲이 오염되지 않아 밝은 상태에서 흰색 후추나방은 포식자의 눈에 잘 띄지 않아 피식률이 낮았지만, 산업 혁명 후에 대기 오염으로 숲이 어두워지게 되어 검은색 후추나방이 포식자의 눈에 잘 띄지 않아 피식률이 낮아졌기 때문이다.
(2) 대기 오염을 규제하여 숲이 밝아지면 흰색 후추나방이 포식자의 눈에 잘 띄지 않게 되므로 자연선택되어 개체수가 증가하기 때문이다.

알짜 풀이 | 오염되지 않은 숲에서는 나무줄기에 지의류 등이 살 수 있어 숲이 밝은 상태이다. 따라서 검은색 후추나방보다 흰색 후추나방이 포식자인 새의 눈에 잘 띄지 않아 피식률이 낮아서 흰색 후추나방이 많았다. 즉, 흰색 후추나방이 자연선택되었다. 그러나 산업 혁명으로 대기가 오염되자 지의류가 죽어 나무줄기의 검은색이 드러나게 되자 흰색 후추나방이 포식자의 눈에 잘 띄게 되어 많이 잡아먹히게 되었다. 이러한 환경에서 검은색 후추나방이 자연선택되어 개체수가 증가하였다. 한편, 대기 오염을 규제하여 대기가 오염되지 않은 상태로 회복되어 숲이 밝아짐에 따라 흰색 후추나방이 다시 생존에 유리해져서 자연선택되었다.

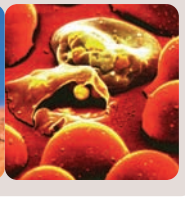
핀치
다윈 핀치는 갈라파고스 군도에 서식하는 핀치(또는 핀치새)를 말하는데, 다윈이 이 새에서 진화론의 단서를 발견하였다고 해서 붙여진 이름이다. 다윈은 참새만 한 작은 새인 핀치가 섬마다 조금씩 차이나는 먹이와 생활 조건에 따라 부리의 크기와 모양 등이 다양하다는 사실로부터 진화론의 단서를 발견하였다.

3. 가뭄 전후 핀치 개체군의 부리 크기 변화

모범 답안 | (1) 가뭄 전에 비해 가뭄 후에 핀치 개체군의 부리 평균 크기는 커졌다. 이것은 가뭄이 들어 전체적으로 씨가 부족해지고 가뭄에 잘 견디는 크고 딱딱한 씨의 비율이 높아짐에 따라 딱딱한 씨를 깨서 먹이를 얻기에 적합한 큰 부리를 가진 개체들이 자연선택되어 이들의 비율이 증가하였기 때문이다.
(2) 홍수가 나면 우선 전체적으로 씨가 많아지고 작고 연한 씨의 비율이 높아지며 크고 딱딱한 씨의 비율은 낮아질 것이다. 따라서 작은 씨를 먹는 부리가 작은 개체들이 먹이를 풍부하게 얻을 수 있어 자연선택됨으로써 핀치 개체군 부리의 평균 크기는 작아질 것이다.

알짜 풀이 | 가뭄이 들면 작고 연한 씨의 비율은 낮아지고 가뭄에 잘 견디는 크고 딱딱한 씨의 비율이 높아진다. 바뀐 환경에서는 딱딱한 씨를 깨뜨릴 수 있는 큰 부리를 가진 핀치들이 생존에 유리해지고, 이들이 더 많은 자손을 남기게 됨에 따라 큰 부리를 가진 개체들의 비율이 증가하게 된다. 이후 만약 홍수가 나면, 수분이 충분히 공급되므로 전체적으로 씨가 많아지고 작고 연한 씨의 비율은 증가할 것이다. 그렇게 되면, 작고 연한 씨를 먹기에 유리한 부리가 작은 핀치들의 개체수가 증가하게 되어 핀치 개체군의 부리 평균 크기는 작아지게 될 것이다.

말라리아(malaria)
말라리아 병원충을 가진 학질모기에게 물려서 감염되는 전염병으로 고열이 나며 특이한 발작을 되풀이하는 열대병이다.



4. 낫 모양 적혈구 빈혈증 +자연선택

모범 답안 | 중앙아프리카는 말라리아가 자주 발생하는 지역이어서 낫 모양 적혈구 유전자가 이형 접합(Hb^AHb^S)으로 말라리아 저항성을 갖는 사람이 생존에 유리해져서 더 많은 자손을 남기기 때문이다.

알짜 풀이 | 낫 모양 적혈구 유전자가 동형 접합(Hb^SHb^S)이거나 이형 접합(Hb^AHb^S)인 사람이 말라리아 저항성을 갖는다. 따라서 중앙아프리카와 같이 말라리아가 자주 발생하는 지역에서는 정상인은 말라리아에 걸려 죽는 경우가 많지만 낫 모양 적혈구 유전자를 가진 사람은 말라리아에 저항성을 가진다. 그런데 동형(Hb^SHb^S)인 사람은 악성 빈혈로 20세 전후에 사망하므로 이형 접합(Hb^AHb^S)인 사람이 자연선택되어 더 많은 자손을 남길 수 있게 된다. 따라서 이런 지역에서는 낫 모양 적혈구 유전자가 더 많이 발견된다.

02 유전적 평형과 유전자풀의 변화

개념 체크 p.181

A 유전자풀과 대립 유전자 빈도

어떤 분꽃 집단을 대상으로 분꽃 개체들이 가진 꽃 색과 유전자형 등을 조사하여 표와 같은 결과를 얻었다. (단, 분꽃의 꽃 색은 중간 유전을 한다.)

분꽃의 꽃 색	유전자형	개체수
붉은색	RR	60개체
분홍색	(가)	48개체
흰색	rr	42개체

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 분꽃의 꽃 색에 대한 대립 유전자의 종류는 두 가지이며, (가)의 유전형은 Rr이다. (○)
2. 집단 내에서 분꽃의 꽃 색에 대한 대립 유전자의 총 수는 150개이다. (×)
3. 유전자형이 RR인 개체들이 갖는 대립 유전자 R의 수는 120개이다. (○)
4. 집단 내에서 대립 유전자 r의 수는 132개이다. (○)
5. 유전자 R의 빈도는 0.6이다. (×)
6. 유전자 R의 빈도는 유전자 r의 빈도보다 크다. (○)

B 유전적 평형과 하디-바인베르크 법칙

하디-바인베르크 법칙이 성립되는 어느 생물 집단에서 두 가지 대립 유전자 A와 a의 지배를 받아 유전되는 어떤 형질에 대해 조사한 결과, 전체 10,000개체 중 열성인 개체가 100개체로 나타났다. 이를 토대로 각 유전자형의 빈도는 다음과 같이 구할 수 있다. (단, 유전자 A와 a의 빈도는 각각 p와 q라고 가정한다.)

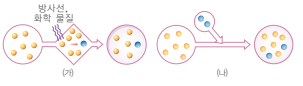
정자 \ 난자	p(A)	q(a)
p(A)	p^2(AA)	pq(Aa)
q(a)	pq(Aa)	q^2(aa)

위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. 유전자 A와 a의 빈도 p와 q는 각각 0.9와 0.1이다. (○)
2. 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 9%이다. (×)
3. 전체 10,000개체 중 유전자형이 AA인 개체의 수는 이론상 8,100개체이다. (○)
4. 유전자형이 Aa인 개체의 비율이 유전자형이 AA인 개체의 비율보다 높다. (×)

C 돌연변이와 유전자 이동

그림은 어떤 요인들에 의해 유전자풀이 변하는 과정을 모식적으로 나타낸 것이다.

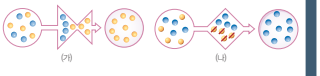


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)와 (나)의 두 경우 모두 원래 없던 새로운 대립 유전자가 나타나 유전자풀에 변화가 생긴 것이다. (○)
2. (가)는 돌연변이에 의해 DNA에 변화가 일어나 유전자풀에 변화가 일어난 것이다. (○)
3. (나)는 유전적 부동에 의해 대립 유전자의 빈도가 변화한 경우이다. (×)
4. 방사선, 화학 물질 등에 의해 유전자가 바뀌는 변화가 생식 세포에서 일어나야 (가)와 같은 유전자풀의 변화가 진행될 수 있다. (○)
5. (나)와 같은 과정이 지속적으로 일어나면 집단의 유전적 다양성이 줄어들게 된다. (×)

D 자연선택과 유전적 부동

그림은 어떤 요인들에 의해 유전자풀이 변하는 과정을 모식적으로 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)와 (나)의 두 경우 모두 원래 있던 대립 유전자 중 하나가 사라져 유전자풀에 변화가 생긴 것이다. (○)
2. (가)는 자연 재해에 의해 집단의 크기가 크게 줄어드는 과정에서 나타날 수 있는 유전자풀의 변화로 유전자 이동이라고 한다. (×)
3. (가)에서는 한 가지 대립 유전자가 우연적 사건에 의해 제거되고, (나)에서는 한 가지 대립 유전자가 도태됨으로써 제거된다. (○)
4. (가)와 (나)의 두 경우 모두 원래 집단에 비해 유전적 다양성이 감소하였다. (○)

A 유전자풀과 대립 유전자 빈도

01 분꽃의 꽃 색에 대한 대립 유전자의 종류는 R와 r 두 가지이다. (가)에 알맞은 유전자형은 Rr이다.

02 집단 내에서 분꽃 개체수가 150개체이고, 각 개체는 꽃 색에 대한 대립 유전자를 2개씩 가지므로 집단 전체의 꽃 색에 대한 대립 유전자의 총 수는 300개이다.

03 유전자형이 RR인 개체가 60개체이므로 이들이 갖는 대립 유전자 R의 수는 $60\times2=120$개이다.

04 집단 내에서 대립 유전자 r의 수는 $(48\times1)+(42\times2)=132$개이다.

05~06 유전자 R의 수는 $(60\times2)+(48\times1)=168$개로, 유전자 R의 빈도는 $\frac{168}{300}=0.56$이다. 또, 유전자 r의 빈도는 $\frac{132}{300}=0.44$이다. 따라서 유전자 R의 빈도가 유전자 r의 빈도가 크다.

B 유전적 평형과 하디-바인베르크 법칙

01 열성인 개체의 유전자형은 aa이고, 이러한 개체의 빈도는 q^2이다. $q^2=\frac{100}{10,000}$이므로 유전자 a의 빈도 $q=\frac{1}{10}=0.1$이다. 따라서 유전자 A의 빈도 $p=1-0.1=0.9$이다.

02 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 $2pq=2\times0.9\times0.1=0.18$이므로 18%이다.

03 전체 10,000개체 중 유전자형이 AA인 개체의 수는 $p^2\times10,000=0.9^2\times10,000=8,100$개체이다.

04 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 $2pq=2\times0.9\times0.1=0.18$이고, 유전자형이 AA인 개체의 비율은 $p^2=0.9^2=0.81$이다. 따라서 유전자형이 Aa인 개체의 비율이 유전자형이 AA인 개체의 비율보다 낮다.

C 돌연변이와 유전자 이동

01 (가)는 돌연변이, (나)는 유전자 이동(유전자 흐름)에 의해 집단에 없던 새로운 대립 유전자가 나타나 유전자풀에 변화가 생겼다.

02 (가)는 돌연변이에 의해 DNA(유전 물질)에 변화가 일어나 유전자풀에 변화가 일어난 것이다.

03 (나)는 다른 집단으로부터 유전자 이동에 의해 새로운 대립 유전자가 집단 내로 들어와서 대립 유전자의 빈도가 변화한 경우이다. 유전적 부동은 집단의 크기가 작을 때 우연한 사건에 의해 특정 대립 유전자의 빈도가 증가하거나 감소하는 경우이다.

04 돌연변이는 생식 세포에서 일어나야 자손에게 물려져 집단의 유전자풀이 변화될 수 있다.

05 집단 간의 유전자 이동이 활발해지면 집단 내 유전적 다양성은 증가하고, 집단 간 유전적 차이는 줄어들게 된다.

D 자연선택과 유전적 부동

01 (가)는 유전적 부동, (나)는 자연선택을 나타낸 것이다. 제시된 그림에서는 원래 있던 대립 유전자 중 하나가 사라져 유전자풀에 변화가 생긴 것을 나타낸다.

02 (가)는 자연 재해와 같은 우연한 사건에 의해 유전자풀이 변화하는 유전적 부동을 나타낸 것이다. 유전자 이동은 원래 집단에 없던 새로운 대립 유전자가 유입되어 대립 유전자의 빈도가 달라지는 경우이다.

03 (가)에서는 자연 재해와 같은 우연적 사건, (나)에서는 자연 도태에 의해 한 가지 대립 유전자가 집단에서 사라지는 것을 나타낸다.

04 (가)와 (나)의 두 경우 모두 한 가지 대립 유전자가 집단에서 사라졌으므로 원래 집단에 비해 유전적 다양성이 감소하였다.

개념 확인 문제 pp.182~185

01. ③ 02. A의 빈도 : 0.7 a의 빈도 : 0.3 03. ③ 04. ②
05. $p=\frac{2N_{AA}+N_{Aa}}{2N_T}$, $q=\frac{2N_{aa}+N_{Aa}}{2N_T}$ 06. AA의 빈도 : p^2, Aa의 빈도 : $2pq$, aa의 빈도 : q^2
07. 우성인 개체가 나타날 빈도 : p^2+2pq 열성인 개체가 나타날 빈도 : q^2 08. 유전병 유전자의 빈도 : 0.02, 정상 유전자의 빈도 : 0.98 09. 392명 10. 10명 11. (가) ㄷ, (나) ㄱ, (다) ㄹ, (라) ㄴ
12. (A)-(나), (B)-(가), (C)-(라) 13. ③ 14. ⑤ 15. ① 16. ④ 17. ⑤
18. ① 19. (가) ㄴ, (나) ㄷ, (다) ㄱ 20. ② 21. ⑤ 22. ① 23. ③
24. ④ 25. 유전자 이동

01 ③ 유전자풀은 특정 시기에 집단에 속하는 개체들이 가지고 있는 대립 유전자 전체로, 집단의 유전적 특성을 결정하고 다음 세대를 이루는 집단 구성원들이 얻게 될 유전자의 모음이 된다.

오답 피하기
③ 유전자풀은 집단의 유전적 특성을 결정하므로 유전자풀이 변하면 그 집단의 유전적 특성이 달라지는 것이다.

02 **A의 빈도 : 0.7 a의 빈도 : 0.3**
집단의 개체수는 1,000개체이고, 각 개체는 2개의 대립 유전자를 가지므로 집단의 대립 유전자의 총 수는 2,000개이다. 집단이 가지는 유전자 A의 수는 $(450\times2)+(500\times1)=1{,}400$개이므로 유전자 A의 빈도는 $\frac{1{,}400}{2{,}000}=0.7$이다. 유전자 a의 빈도는 $1-0.7=0.3$이다.

멘델 집단의 조건
1. 집단의 크기가 충분히 클 것
2. 집단 내에서 자유롭게 무작위로 교배가 일어날 것
3. 대립 유전자에 돌연변이가 일어나지 않을 것
4. 이입과 이출이 없어 외부 집단과의 유전자 이동이 일어나지 않을 것
5. 특정 대립 유전자에 대한 자연선택이 작용하지 않을 것

03 ③ 멘델 집단은 집단의 크기가 충분히 크고, 돌연변이나 이주 및 자연선택이 일어나지 않아야 하며, 집단 내에서 자유롭게 무작위로 교배가 일어나는 이상적인 집단이다.

오답 피하기
③ 멘델 집단에서는 특정 유전자에 대한 자연선택이 일어나지 않아야 한다.

04 ② 유전자풀의 변화 요인으로는 돌연변이, 자연선택, 유전자 이동, 유전적 부동이 있다.

오답 피하기
개체 변이는 같은 종 내에서 부모로부터 물려받은 유전자에 의해 결정되는 개체 간의 차이와 환경의 영향으로 나타나는 환경 변이를 의미하는 것으로, 이것 자체가 유전자풀의 변화 요인은 아니다.

05 $p=\frac{2N_{AA}+N_{Aa}}{2N_T}$, $q=\frac{2N_{aa}+N_{Aa}}{2N_T}$

대립 유전자의 빈도는 $\frac{\text{특정 대립 유전자의 수}}{\text{집단 내 특정 형질에 대한 대립 유전자의 총 수}}$로 나타낸다. 집단 내 특정 형질에 대한 대립 유전자의 총 수는 (총 개체수×2)로 나타낼 수 있으므로 $2N_T$이다. 유전자 A의 수는 (유전자형이 AA인 개체수×2)+(유전자형이 Aa인 개체수×1)이므로 $2N_{AA}+N_{Aa}$이다. 유전자 a의 수는 (유전자형이 aa인 개체수×2)+(유전자형이 Aa인 개체수×1)이므로 $2N_{aa}+N_{Aa}$이다. 따라서 유전자 A의 빈도 $p=\frac{2N_{AA}+N_{Aa}}{2N_T}$이고, 유전자 a의 빈도 $q=\frac{2N_{aa}+N_{Aa}}{2N_T}$이다.

F₁에서 대립 유전자 A와 a의 빈도
대립 유전자 전체의 빈도 : $p^2+2pq+q^2=(p+q)^2=1$
대립 유전자 A의 빈도 : $p^2+2pq\times\frac{1}{2}=p(p+q)=p$
대립 유전자 a의 빈도 : $q^2+2pq\times\frac{1}{2}=q(p+q)=q$

06 **AA의 빈도 : p^2, Aa의 빈도 : $2pq$, aa의 빈도 : q^2**

집단의 유전자 A의 빈도는 p, a의 빈도는 q이다. 이 집단은 멘델 집단이므로 대립 유전자 A와 a를 갖는 생식 세포가 만들어지는 비율은 대립 유전자 A와 a의 빈도인 p, q와 각각 일치하며, 그에 따라 이들 생식 세포의 수정에 의해 생기는 자손 제1대(F_1)에서 나타나는 유전자형의 빈도는 표와 같다.

정자 \ 난자	p(A)	q(a)
p(A)	p^2(AA)	pq(Aa)
q(a)	pq(Aa)	q^2(aa)

따라서 다음 세대에서 유전자형이 AA와 Aa 그리고 aa인 개체의 빈도는 p^2, $2pq$, q^2이 된다.

07 **우성인 개체가 나타날 빈도 : p^2+2pq, 열성인 개체가 나타날 빈도 : q^2**

유전자 A가 a에 대해 우성이므로 유전자형이 AA인 개체와 Aa인 개체는 우성으로 나타난다. 따라서 우성인 개체가 나타날 빈도는 p^2+2pq이다. 또, 유전자형이 aa인 경우에만 열성으로 나타나므로 열성인 개체가 나타날 빈도는 q^2이다.

하디-바인베르크 법칙의 증명
하디-바인베르크 법칙은 어버이 세대의 대립 유전자 빈도가 다음 세대의 대립 유전자 빈도와 일치한다는 사실을 통해 증명된다.

08 **유전병 유전자의 빈도 : 0.02, 정상 유전자의 빈도 : 0.98**

유전병이 열성 형질이므로 정상 유전자를 A, 유전병 유전자를 a로 하고, 정상 유전자 A의 빈도를 p, 유전병 유전자 a의 빈도를 q라고 하자. 유전병 환자의 유전자형은 aa이고, 이들의 빈도는 $q^2=\frac{4}{10,000}$이다. 따라서 유전병 유전자 a의 빈도 $q=0.02$이다. 정상 유전자 A의 빈도 $p=1-0.02=0.98$이다.

09 **392명**

정상인 사람들 중 유전병 유전자를 갖는 사람의 유전자형은 Aa이고, 이들의 빈도는 $2pq$이다. 따라서 이러한 사람들의 수는 이론상 $2pq\times10,000=2\times0.98\times0.02\times10,000=392$명이다.

10 **10명**

정상 유전자를 X, 색맹 유전자를 X′이라 하고, 유전자 빈도를 각각 p, q라고 하자. 남자의 경우 X′Y이면 색맹이므로 색맹이 나타나는 빈도는 q가 된다. 따라서 색맹 유전자의 빈도 $q=\frac{100}{1,000}=0.1$이고, 정상 유전자의 빈도 $p=1-0.1=0.9$이다. 여자는 유전자형이 X′X′일 경우에만 색맹으로 나타나므로 여자들 중에서 색맹인 사람의 수는 $q^2\times1,000=0.1^2\times1,000=10$명이다.

11 **(가) ㄷ, (나) ㄱ, (다) ㄹ, (라) ㄴ**

(가)는 자연 재해와 같은 우연한 사건에 의해 개체수가 급격히 감소하면서 유전자풀의 변화가 생기는 유전적 부동을 나타낸 것이고, (나)는 돌연변이로 집단 내에 새로운 대립 유전자가 생기는 것을 나타낸다. (다)는 다른 집단으로부터 개체 등이 이주하여 집단 내에 없던 대립 유전자가 생기는 유전자 이동을 나타내며, (라)는 환경에 잘 적응한 개체는 살아남고 그렇지 않은 개체는 도태되는 자연선택을 나타낸다.

12 **(A)-(나), (B)-(가), (C)-(라)**

(A)는 돌연변이, (B)는 유전적 부동, (C)는 자연선택을 설명한 것이다. 돌연변이를 나타내는 것은 (나), 유전적 부동을 나타낸 것은 (가), 자연선택을 나타낸 것은 (라)이다.

13 ③ 말라리아 발생률이 높은 곳에서는 말라리아에 대한 저항성이 있는 낫 모양 적혈구 빈혈증 유전자를 가진 사람이 자연선택되어 더 많은 자손을 남기게 됨으로써 이러한 유전자를 가진 사람의 수가 증가한다.

14 ⑤ 과도한 포획 등으로 개체수가 크게 줄어들게 됨에 따라 유전자 빈도가 크게 달라지게 된 것은 유전적 부동의 예이다.

15 ① 원래의 집단에는 없던 다리가 아주 짧은 것과 같은 새로운 형질을 나타내는 대립 유전자는 돌연변이에 의해 나타난 것이다.

16 ④ 제시된 그림은 유전자 A를 가진 개체가 도태되고 유전자 a를 가진 개체가 자연선택되어 집단의 대립 유전자 빈도가 변한 것을 나타낸다. 자연선택에 의한 유전자풀의 변화 예로는 공업화가 진행될 때 흰색 나방에 비해 검은색 나방의 비율이 증가하는 공업 암화가 있다.

오답 피하기

①, ③ 4배체의 큰달맞이꽃이 생긴 것과 슈퍼박테리아의 출현은 돌연변이에 의한 것이다.
② 육지와 멀리 떨어진 섬에는 뱀이 없는 것은 지리적 격리에 의한 것이다.
⑤ 울릉도와 육지인 한반도에 살고 있는 개구리 집단의 특정 대립 유전자의 빈도 차이는 지리적 격리나 창시자 효과와 같은 유전적 부동의 결과로 설명할 수 있다.

17 ⑤ ㄴ, ㄷ. 제시된 그림에서 원래 집단에서 대립 유전자 A의 빈도는 $\frac{11}{20}$로 대립 유전자 a의 빈도 $\frac{9}{20}$보다 컸지만, 대립 유전자 A가 도태됨에 따라 대립 유전자 A의 빈도는 감소하고, 대립 유전자 a의 빈도는 증가하였다.

오답 피하기

ㄱ. 유전자풀의 변화 요인은 자연선택이다.

18 ① 멘델 집단은 유전자풀의 변화 요인인 돌연변이, 자연선택, 유전자 이동, 유전적 부동 등이 일어나지 않는다. 따라서 멘델 집단은 진화가 일어나지 않는 집단이다.

19 (가) ㄴ, (나) ㄷ, (다) ㄱ

(가)는 집단의 평균값이 검은 쪽으로 이동하는 방향성 선택이고, (나)는 집단의 평균값이 변하지 않으며 평균에 해당하는 개체수가 증가하고 양 극단의 개체수는 감소하여 변이가 감소하는 안정화 선택이다. (다)는 양 극단의 변이를 가진 개체들이 선택되고 평균에 해당하는 개체들이 도태되는 분단성 선택이다.

20 ② 집단이 접하고 있는 환경이 장기간 지속적으로 변할 때는 (가)와 같은 방향성 선택이 일어나며, (다)와 같은 분단성 선택은 심할 경우 종 분화가 일어날 수 있다.

21 ⑤ (나)와 같은 안정화 선택은 중간의 표현형을 가진 개체들이 적응도가 높고, 양쪽 극단의 표현형을 가진 개체들이 도태되는 유형이다. 그 결과 집단이 가진 변이의 폭이 줄어든다.

22 ① 항생제인 페니실린에 대한 저항성을 가지는 대장균이 출현한 것은 돌연변이에 의한 것이고, 페니실린을 처리한 배지에서 저항성을 가지는 대장균의 개체수가 증가하여 콜로니를 형성한 것은 자연선택의 결과이다.

23 ③ ㄱ. 모집단의 남자와 여자에서 각각 전체 바둑알의 수는 50개이고, 검은색 바둑알의 수는 30개이므로 검은색 바둑알의 빈도는 $\frac{30+30}{50+50}=0.6$이다.

ㄴ. '남자'와 '여자'로 표시한 원통에서 바둑알을 한 개씩 꺼내는 것은 생식 세포를 나타낸 것이고, 꺼낸 2개의 바둑알을 짝별로 배열한 것은 수정에 의해 가지게 되는 자손의 유전자형에 해당한다.

자연선택의 유형

방향성 선택	• 평균에서 벗어난 한쪽 극단의 표현형을 가진 개체들이 상대적으로 적응도가 높아 지속적으로 선택될 때 일어난다. • 집단이 접하고 있는 환경이 장기간 지속적으로 변화할 때 일어난다.
분단성 선택	• 양쪽 극단의 표현형을 가진 개체들이 상대적으로 적응도가 높아 선택되고 중간의 표현형을 가진 개체들이 도태될 때 일어난다. • 심할 경우 종 분화가 일어나게 될 수도 있다.
안정화 선택	• 중간의 표현형을 가진 개체들이 상대적으로 적응도가 높아 선택되고 양쪽 극단의 표현형을 가진 개체들이 도태될 때 일어난다.

오답 피하기

ㄷ. 각 원통에서 검은색 바둑알을 꺼낼 확률은 $\frac{30}{50}=0.6$이고, 흰색 바둑알을 꺼낼 확률은 $\frac{20}{50}=0.4$이다. 따라서 꺼낸 2개의 바둑알을 짝별로 배열하였을 때, 둘 다 검은색 바둑알일 확률은 $0.6\times0.6=0.36$, 검은색 바둑알과 흰색 바둑알이 1개씩일 확률은 $2\times0.6\times0.4=0.48$이므로 둘 다 검은색 바둑알일 확률이 더 작다.

24 ④ ㄱ. 모집단에서 빨간색 구슬의 빈도는 $\frac{180}{300}=0.6$이다. 1회 털었을 때 빨간색 구슬의 빈도는 10개 중 4개이므로 0.4로 모집단에서의 빨간색 구슬의 빈도와 크게 다르다.

ㄷ. 1회 털었을 때 빨간색 구슬의 빈도가 모집단과 다르게 나타난 결과는 우연적 사건에 의해 개체수가 크게 줄었을 때 모집단과는 유전자 빈도가 달라지는 유전적 부동 현상 중 병목 효과에 비유할 수 있다.

구슬별 유전자 빈도 계산

	1회		10회	
	빨간색 구슬	파란색 구슬	빨간색 구슬	파란색 구슬
수	4	6	89	61
빈도	$\frac{4}{10}=0.4$	$\frac{6}{10}=0.6$	$\frac{89}{150}\fallingdotseq0.59$	$\frac{61}{150}\fallingdotseq0.41$

오답 피하기

ㄴ. 10회 털었을 때 빨간색 구슬의 빈도는 $\frac{89}{150}\fallingdotseq0.59$로 모집단에서의 빨간색 구슬의 빈도 0.6과 거의 비슷하다.

25 유전자 이동

집단에는 없던 노란색 구슬을 추가하였으므로 다른 집단으로부터 집단에 없던 대립 유전자가 들어오는 유전자 이동에 비유할 수 있다.

개념 활용 문제

pp.186~191

01. ④	02. ⑤	03. ③	04. ②	05. ③	06. ①	07. ⑤
08. ①	09. ③	10. ⑤	11. ①	12. ④		

01 ④ i) 달팽이 껍데기 색깔을 결정하는 대립 유전자 A는 회색 유전자, a는 흰색 유전자이다. 유전자형이 Aa일 경우 껍데기 색깔이 회색이므로 A는 a에 대해 우성이다.

ii) 이 집단의 대립 유전자의 총 수는 $100\times2=200$이고, 대립 유전자 A의 수는 $(64\times2)+(32\times1)=160$개, 대립 유전자 a의 수는 $(4\times2)+(32\times1)=40$개이다. 따라서 대립 유전자 A의 빈도는 $\frac{160}{200}=0.8$이고, 대립 유전자 a의 빈도는 $\frac{40}{200}=0.2$이다. 즉, 대립 유전자 A의 빈도는 80%, 대립 유전자 a의 빈도는 20%이다.

iii) 만일 흰색 달팽이가 회색 달팽이보다 더 높은 비율로 포식자에게 잡아먹힐 경우, 대립 유전자 a가 도태되어 집단 내 빈도가 감소하게 되면 대립 유전자 A의 빈도가 증가할 것이다.

하디-바인베르크 법칙

유전적 평형 상태가 유지되는 멘델 집단에서는 대립 유전자의 종류와 빈도가 대를 거듭하더라도 변하지 않는다.

02 ⑤ i) 대립 유전자 H는 말라리아 저항성이 없고, H^*는 말라리아 저항성이 있다. 유전자형이 HH^*인 경우 말라리아 저항성이 있으므로 H는 H^*에 대해 열성이다.

ii) 대립 유전자 H의 빈도를 q, 대립 유전자 H^*의 빈도를 p라고 할 때, 총 10,000명 중 말라리아 저항성이 없는 사람(HH)의 수는 $10,000-5,100=4,900$명이다.

이것은 $q^2=\frac{4,900}{10,000}$이므로 대립 유전자 H의 빈도 $q=0.7$이다. 따라서 대립 유전자 H^*의 빈도 $p=1-0.7=0.3$이다.

iii) 말라리아 저항성이 없는 여성(HH)으로부터는 유전자 H를 갖는 난자만 생기고, 임의의 남성으로부터는 유전자 H와 H^*를 갖는 정자가 $0.7(q)$과 $0.3(p)$의 확률로 생긴다. 따라서 말라리아 저항성이 없는 한 여성이 임의의 남성과 결혼하여 말라리아 저항성이 없는 아이를 낳을 확률은 H를 갖는 난자가 H를 갖는 정자와 수정할 확률인 $1\times0.7=0.7(70\%)$이다.

03 ③ i) ㄱ. 어버이 세대에서 각 원통에는 흰색 바둑알(T) 40개씩, 검은색 바둑알(t) 10개씩을 넣었으므로 T의 빈도는 $\frac{80}{100}=0.8$이고, t의 빈도는 $\frac{20}{100}=0.2$이다.

ii) ㄴ, ㄷ. 1세대에서 T의 빈도는 $\frac{(34\times2)+12}{100}=0.8$이고, t의 빈도는 $1-0.8=0.2$이다.

또, 2세대에서 T의 빈도는 $\frac{(35\times2)+10}{100}=0.8$이고, t의 빈도는 $1-0.8=0.2$이다.

따라서 어버이 세대와 1세대, 2세대에서 각 대립 유전자의 빈도는 같으므로, 이 실험 집단은 유전적 평형이 유지되는 멘델 집단이다.

유전자풀의 변화

하디-바인베르크 법칙이 적용되는 이상적인 멘델 집단은 실제로는 거의 존재하지 않는다. 실제 집단에서는 다양한 요인에 의해 대립 유전자의 구성과 빈도가 변하여 유전자풀을 변화시키게 되고 그 결과 진화가 일어난다.

04 ② i) 1세대에서 대립 유전자 A의 빈도는 $\frac{(20\times2)+60}{200}=0.5$이고, a의 빈도는 $1-0.5=0.5$이다. 10세대에서 대립 유전자 A의 빈도는 $\frac{(60\times2)+30}{200}=0.75$이고, a의 빈도는 $1-0.75=0.25$이다.

ii) 1세대와 10세대에서 대립 유전자의 빈도가 다르므로 이 집단에서는 하디-바인베르크 법칙이 적용되지 않는다.

iii) 유전자 빈도 변화의 경향으로 볼 때 10세대의 다음 세대인 11세대에서 유전자형이 AA인 개체의 비율이 60%보다 약간 큰 값이 나올 것으로 예상되는데, 이는 Aa×Aa의 교배에서뿐만 아니라 AA×AA, AA×Aa, AA×aa, 그리고 Aa×aa의 교배에서 태어나는 자손 AA를 모두 합하여 구한 비율이다. 단순히 유전자형이 Aa인 암수 개체끼리의 교배에서 유전자형이 Aa인 개체가 태어날 확률만 구하면, 그 값은 $\frac{1}{4}=25\%$가 된다.

유전자풀의 변화 요인

돌연변이	개체의 DNA가 변하여 새로운 대립 유전자가 형성되는 돌연변이가 일어나면, 집단 내에 새로운 대립 유전자가 나타나 유전자풀에 변화가 생기게 된다.
자연선택	환경 변화 등으로 인해 어떤 집단 내에서 특정 대립 유전자를 가진 개체가 그렇지 않은 개체보다 적응력이 커져 생존 경쟁에서 살아남아 더 많은 자손을 남기게 되는 자연선택이 이루어지면, 대립 유전자의 빈도가 변하게 된다.
유전적 부동	집단의 크기가 작을 때에는 자연선택이나 돌연변이가 아닌 우연한 사건에 의해서도 특정 대립 유전자의 빈도가 갑자기 크게 증가하거나 감소하는 유전적 부동이 일어날 수 있다.
유전자 이동	유전자풀이 다른 인접 집단의 개체들이 이주해 오는 등의 원인으로 원래 집단에 없던 새로운 대립 유전자가 유입되는 유전자 이동이 일어나면, 대립 유전자의 빈도가 변하게 된다.

05 ③ 안데스 산맥 원주민 중 PTC 미맹인 사람은 이들이 재배하여 섭취하는 채소에 들어 있는 AITC의 쓴맛을 느끼지 못하여 미각자보다 AITC의 섭취량이 많아질 수 있다. 이 때문에 PTC 미맹인 사람은 갑상샘종에 걸릴 확률이 높으며 병으로 인해 생존에 불리해지게 되어 자연 도태될 가능성이 높다. 따라서 이들이 가진 PTC 미맹 유전자를 자손에게 물려줄 확률이 낮아지게 되어 PTC 발생 빈도가 인류 전체 평균치의 $\frac{1}{4}$ 이하로 낮다고 추론할 수 있다. 즉, 자연선택의 결과이다.

06 ① ㄱ. (가)는 방향성 선택으로, 예로는 영국 리버풀 지역에 원래는 흰색 나방이 가장 많았으나 산업화가 진행되면서 검은색 나방이 지속적으로 자연선택되어 이들의 빈도가 높아진 것을 들 수 있다.

ㄴ. (나)는 분단성 선택으로, 예로는 카메룬의 핀치가 부리의 크기가 확실히 다른 두 집단으로 나뉜 것과 같이 양 극단의 형질을 가진 개체들이 선택되는 것을 들 수 있다.

ㄷ. (다)는 안정화 선택으로, 예로는 스위스찌르레기는 한 번에 낳는 알의 개수가 4개일 때 새끼들의 생존율이 가장 높은 특성이 유지되는 것을 들 수 있다.

오답 피하기

ㄹ. 비교적 안정된 환경에서 전형적으로 나타나는 자연선택의 유형은 안정화 선택(다)으로, 평균값이 변하지 않고 변이의 폭은 좁아진다.

유전적 부동의 종류

병목 효과	• 자연 재해에 의해 집단의 크기가 급격히 줄어들었을 때 나타나는 유전적 부동 현상 • 자연 재해를 겪고 난 후 살아남은 개체들로 구성된 집단의 대립 유전자 빈도는 원래 집단과 달라진다. • 예 : 북방코끼리바다표범이 1890년대 사냥꾼들의 과도한 포획으로 개체수가 20마리 정도까지 감소하였다가 보호종으로 관리되면서 개체수가 3만 마리 이상으로 회복되었지만 유전적 다양성이 크게 감소한 것
창시자 효과	• 원래의 집단에서 떨어져 나온 소수의 개체가 새로운 지역에 정착하면서 나타나는 유전적 부동 현상 • 창시자 효과는 새로운 지역으로 떨어져 나온 개체의 수가 적을수록 그 효과가 크며, 원래의 집단과 유전자풀이 큰 차이를 보일 수 있다. • 예 : 갈라파고스 군도의 핀치가 남미 대륙의 핀치와 먹이의 종류나 부리의 모양에서 큰 차이를 보이는 것

07 ⑤ ㄱ. 제시된 그림에서 자연 재해가 발생하여 살아남은 개체들을 병목을 통과한 구슬의 수로 나타낸 것이며, 이것은 우연한 사건에 의해 집단의 크기가 갑자기 감소하는 것을 나타낸다.

ㄴ. 이러한 유전적 부동에 의해 살아남은 개체들로 이루어진 집단에서는 유전자 B가 사라지고, 유전자 A의 빈도는 크게 낮아졌다.

ㄷ. 변화 이후 집단의 크기가 작아지고 유전자 다양성이 감소하였으므로 갑작스런 환경 변화가 발생할 경우 멸종될 가능성이 높아졌다.

08 ① ㄱ. 모집단에서 대립 유전자 A의 빈도는 0.5, a의 빈도는 0.5이다. 집단 (가)에서는 대립 유전자 A의 수가 9개, a의 수도 9개로 같다. 따라서 (가)에서 대립 유전자 A와 a의 빈도는 각각 0.5로 같으므로 모집단과 같다.

오답 피하기

ㄴ. 집단 (나)에서 대립 유전자 A의 빈도는 $\frac{4}{6}$ ≒0.67이고, a의 빈도는 $1-0.67=0.33$으로, 모집단과 다르다. 따라서 (나)가 형성될 때 하디－바인베르크 법칙이 적용되지 않는다.

ㄷ. 모집단에서 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 $2pq=2\times0.5\times0.5=0.5$이고, 유전자형이 AA인 개체의 비율은 $p^2=0.5^2=0.25$이다. 따라서 유전자형이 Aa인 개체가 AA인 개체의 수보다 더 많을 것이다.

독립의 법칙

두 쌍 이상의 형질이 동시에 유전될 때 각각의 형질을 나타내는 유전자는 서로 영향을 주지 않고 분리의 법칙에 따라 각각 독립적으로 유전된다. 이 경우에 각각의 형질을 결정하는 유전자는 다른 염색체 상에 위치해 있다.

09 ③ i) 초파리의 몸 색깔과 날개 길이를 결정하는 유전자는 서로 다른 상염색체에 존재하므로 몸 색깔과 날개 길이는 독립적으로 유전되며, 성에 관계없이 발현 빈도는 같다.

ii) 회색 몸 색깔(GG, Gg)이 510마리이므로 검은 몸 색깔(gg)이 490마리이다. G의 빈도를 p, g의 빈도를 q라고 하면 검은 몸 색깔 개체가 나올 확률 $q^2=\frac{490}{1,000}$이므로 g의 빈도 $q=0.7$이다. 따라서 G의 빈도 $p=1-0.7=0.3$으로 g의 빈도보다 작다.

iii) 긴 날개(LL, Ll)가 750마리이므로 흔적 날개(ll)가 250마리이다. L의 빈도를 p', l의 빈도를 q'이라고 하면 흔적 날개 개체가 나올 확률 $q'^2=\frac{250}{1,000}$이므로 l의 빈도 $q'=0.5$이다. 따라서 L의 빈도 $p'=1-0.5=0.5$로 l의 빈도와 같다.

iv) 유전자형이 Gg인 개체의 비율은 $2pq=2\times0.3\times0.7=0.42$이고, 유전자형이 Ll인 개체의 비율은 $2p'q'=2\times0.5\times0.5=0.5$이다. 따라서 유전자형인 Gg인 개체의 비율이 유전자형이 Ll인 개체의 비율보다 더 작다.

v) 유전자형이 GGLl인 암컷으로부터는 유전자형이 GL인 난자와 Gl인 난자가 각각 0.5의 확률로 생기고, 임의의 수컷으로부터는 유전자형이 GL, Gl, gL, gl인 정자가 각각 $0.15(pp'=0.3\times0.5)$, $0.15(pq'=0.3\times0.5)$, $0.35(qp'=0.7\times0.5)$, $0.35(qq'=0.7\times0.5)$의 확률로 생긴다. 따라서 유전자형이 GGLl인 암컷이 임의의 수컷과 교배하여 낳은 자손의 유전자형이 GgLl일 확률은 GL인 난자가 gl인 정자와 수정할 확률인 $0.5\times0.35=0.175$와 Gl인 난자가 gL인 정자와 수정할 확률인 $0.5\times0.35=0.175$의 합인 0.35(35%)이다.

10 ⑤ ㄱ. 집단의 크기가 작을수록 유전적 부동에 의해 집단의 유전자 빈도가 변하기 쉽다. 따라서 (가)는 개체수가 1,000인 집단이고, (나)는 개체수가 10인 집단이다.
ㄴ. 유전적 부동의 영향을 더 크게 받는다는 것은 세대가 거듭되면서 대립 유전자 빈도가 달라지는 것을 의미하므로 (나)이다.
ㄷ. (가)와 같은 조사 결과를 나타낸 집단에서 대립 유전자 A의 빈도는 0.5 정도를 유지한다. 따라서 a의 빈도도 0.5이며, 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 $2\times0.5\times0.5=0.5$로 대략 전체의 50% 정도이다.

적록 색맹의 유전
원뿔 세포 이상으로 적색과 녹색을 잘 구분하지 못하는 적록 색맹의 유전자는 X 염색체 상에 있으며, 정상에 대해 열성으로 작용한다. 성염색체 구성이 XY인 남자는 1개의 X 염색체에 색맹 유전자가 있으면 색맹이 되지만, 성염색체 구성이 XX인 여자는 2개의 X 염색체에 모두 색맹 유전자가 있어야 색맹이 된다.

11 ① i) 정상 유전자를 X, 적록 색맹 유전자를 X′이라 하고, 각각의 유전자 빈도를 p, q라고 하자. 이 집단에서 여자의 색맹 비율은 $q^2=\frac{40}{1,000}$이므로 적록 색맹 유전자 X′의 빈도 $q=0.2$이다. 따라서 정상 유전자 X의 빈도 $p=0.8$이다.
ii) 남자는 X′Y이면 색맹이므로 색맹인 남자의 비율은 q와 같아서, 사람 수는 이론상 $0.2\times1,000=200$명이다.
iii) 영희는 색맹이 아니지만 어머니가 색맹이므로 색맹 유전자를 가진 보인자(XX′)이다. 따라서 임의의 남자와 결혼하여 색맹인 딸(X′X′)을 낳으려면 남자는 반드시 색맹 유전자를 가져야 한다. 따라서 남자의 유전자형이 X′Y일 확률은 0.2이고, 이들 사이에서 적록 색맹인 딸(X′X′)이 태어날 확률은 XX′×X′Y → XX′, X′X′, XY, X′Y로 0.25이므로 결국 $0.2\times0.25=0.05$, 즉 5%이다.

작은 파란색 구슬
작은 파란색 구슬이 다른 구슬에 비해 상대적으로 플라스틱병을 잘 빠져나올 수 있다는 사실은 돌연변이에 의한 형질의 변화가 자연선택되어 유전자풀의 변화를 초래할 수 있음을 의미하기도 한다.

12 ④ ㄱ. (가)에서 모집단의 빨간색 구슬의 빈도는 $\frac{180}{300}=0.6$이다. 그리고 실험 결과 150개 중에서 빨간색 구슬이 90개이므로 빨간색 구슬의 빈도는 $\frac{90}{150}=0.6$으로 모집단에서와 같다.
ㄷ. (나)는 자연 재해 등에 의해 소수의 개체만 살아남은 경우로, 유전적 부동의 병목 효과에 해당한다. 또, (다)에서 빨간색 구슬과 파란색 구슬의 크기를 다르게 하여 병을 빠져나오는 데 유리하거나 불리한 조건을 주었으므로 자연선택에 의한 유전자풀의 변화를 보여주는 모의 실험이다.

오답 피하기
ㄴ. 각 실험에서 파란색 구슬의 빈도는 다음과 같다. (가) $\frac{60}{150}=0.4$, (나) $\frac{3}{5}=0.6$, (다) $\frac{90}{160}\fallingdotseq0.56$으로, (나)와 (다)에서의 파란색 구슬의 빈도가 (가)에서의 파란색 구슬의 빈도보다 더 크다.

서술 · 논술형 문제

02. 유전적 평형과 유전자풀의 변화 pp.192~193

ABO식 혈액형과 대립 유전자 A, B, O의 빈도 p, q, r의 관계
A형, B형, AB형, O형의 빈도는 각각 p^2+2pr, q^2+2qr, $2pq$, r^2이다. 그리고 $p+q+r=1$이다.

1. 하디-바인베르크 법칙+혈액형의 유전자 빈도

모범 답안 | A형, B형, AB형, O형의 빈도는 각각 0.21, 0.45, 0.3, 0.04이다. 그런데 A형, B형, AB형, O형의 유전자형은 각각 AA 또는 AO, BB 또는 BO, AB, OO이므로, A형, B형, AB형, O형의 빈도는 각각 p^2+2pr, q^2+2qr, $2pq$, r^2에 해당한다. 이에 따라, 다음과 같은 4개 식이 얻어진다.

① $p^2+2pr=0.21$, ② $q^2+2qr=0.45$, ③ $2pq=0.3$, ④ $r^2=0.04$
④에서 r는 0.2이다. 이에 따라, ①로부터 p값을 다음과 같이 구할 수 있다.
$p^2+2pr=p^2+0.4p=0.21 \rightarrow p^2+0.4p-0.21=0 \rightarrow (p+0.7)(p-0.3)=0 \rightarrow$ 확률인 p는 0보다 큰 값이므로, $p=0.3$이다.
그리고 p와 r가 각각 0.2와 0.3이고 세 대립 유전자의 합인 $p+q+r$가 1이므로, q는 $1-p-r=0.5$이다.

DDT
유기염소 계열의 살충제이다. 1940년대부터 살충제로 널리 사용되었으나 인체에 유해하여 1970년대 이후 사용이 금지되었다.

2. 유전자풀의 변화 요인

모범 답안 | ㈎에서는 집단에 없던 새로운 유전자 R가 생겼으므로 돌연변이가 발생한 것이다. ㈏에서는 DDT를 살포하는 환경 변화에 DDT에 대한 저항성이 있는 유전자 R를 가진 개체의 비율이 증가하였으므로 이것은 자연선택의 결과이다.

알짜 풀이 | 유전자 이동은 일어나지 않았다고 하였으므로 ㈎에서 R의 출현은 돌연변이로 설명할 수 있다. DDT를 살포하면 이에 대한 저항성이 없는 모기(rr)는 자연 도태되고, DDT에 대한 저항성을 가지는 모기(Rr)가 자연선택되어 자손을 더 많이 남기게 되므로 집단에서 R의 빈도가 크게 증가하였다.

3. 유전자풀의 변화 요인–자연선택

모범 답안 | 시간이 지나면서 껍데기에 줄무늬가 없는 개체들의 비율이 증가할 것이다.

알짜 풀이 | 제시된 자료에 따르면 껍데기에 줄무늬가 있는 달팽이 500마리 중 살아 있는 것은 200마리이고 새에게 포식되어 달팽이 껍데기가 깨진 것인 300마리이다. 따라서 피식률은 60%이다. 반면에 껍데기에 줄무늬가 없는 달팽이 500마리 중 살아 있는 것은 300마리이고 새에게 포식된 것은 200마리이다. 따라서 피식률은 40%이다. 결과적으로 껍데기에 줄무늬가 없는 개체들이 더 많은 자손을 남겨 집단 내에서의 비율이 높아질 것이다.

4. 유전자풀의 변화 요인–유전적 부동

모범 답안 | (1) 빨간색 대립 유전자의 빈도는 감소하였으며, 파란색 대립 유전자의 빈도가 증가하였다. 또, 노란색 대립 유전자는 집단에서 사라지고 없어서 변화 이후에는 빨간색과 파란색 두 가지 대립 유전자만 있으므로 유전적 다양성은 감소하였다.
(2) 자연 재해 등으로 개체수가 급격하게 감소할 경우 나타날 수 있으며, 이러한 유전자풀의 변화 요인을 유전적 부동이라고 한다.

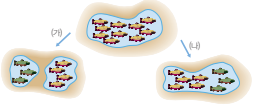
알짜 풀이 | (1) 변화 이전에 병 속에는 파란색 구슬과 빨간색 구슬과 노란색 구슬이 2 : 1 : 1의 비로 들어 있었지만, 병 속에 들어 있는 구슬이 병목을 통해 무작위로 몇 개만 빠져나오는 과정에서 파란색 구슬 3개와 빨간색 구슬 1개만 빠져나오고 노란색 구슬은 빠져나오지 못했다. 결국 변화 이후의 집단에서는 노란색 대립 유전자는 사라져 유전적 다양성이 줄어들고, 파란색 대립 유전자의 빈도는 증가하고 빨간색 대립 유전자의 빈도는 감소하였다.
(2) 병목을 통과한 구슬은 자연 재해에서 살아남은 개체를 의미하며, 이와 같이 우연에 의한 유전자풀의 변화 요인을 유전적 부동이라고 한다.

03 종 분화

개념 체크 p.201

A 종 분화

그림은 두 가지 유형의 종 분화 과정을 나타낸 것이다.

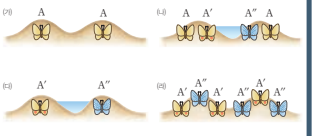


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 지리적 격리에 의해 종 분화가 일어난 경우이다. (○)
2. (나)는 지리적 격리 없이 동일한 장소에서 종 분화가 일어난 경우이다. (○)
3. (가)는 분리된 두 집단 중 한 집단에서 돌연변이가 일어난 후 자연선택되는 과정이 있었다. (○)
4. (나)에서는 돌연변이 없이 종의 분화가 일어났다. (×)
5. (가)는 이소적 종 분화, (나)는 동소적 종 분화의 과정을 각각 나타낸 것이다. (○)

B 이소적 종 분화

그림은 이소적 종 분화 과정을 나타낸 것이다.

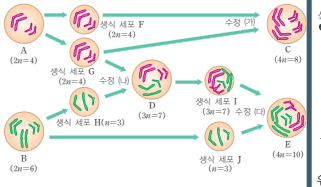


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)는 지리적 격리가 일어나기 전의 모집단을 나타낸 것이다. (○)
2. (나)는 지리적 격리가 일어나 두 집단으로 나뉜 상태이다. (○)
3. (나)는 분리된 두 집단에서 같은 종류의 돌연변이 개체가 나타난 것이다. (×)
4. (다)에서는 자연선택이 일어난 것이다. (○)
5. (라)는 지리적 장벽이 사라져 A′와 A″간에 교배가 이루어진 것이다. (×)

C 배수성에 의한 동소적 종 분화

그림은 배수성에 의한 동소적 종 분화 과정을 나타낸 것이다.

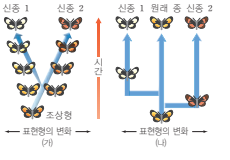


위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. A~E 중 정상적인 감수 분열을 통해서 생식 세포를 만들 수 없는 것은 D이다. (○)
2. 수정 (가)~(다) 중 자가 수정에 해당하는 것은 (가)이다. (○)
3. 생식 세포 F~J는 모두 감수 분열 시 염색체 비분리 현상이 일어나 만들어진 것이다. (×)
4. E는 이종 간의 교배에서 생성되는 배수체이다. (○)

D 점진주의설과 단속평형설

그림은 종 분화 속도에 대한 두 가지 이론을 나타낸 것이다.



위 자료에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×로 표시하시오.

1. (가)에서는 오랜 기간 동안 변이가 점진적으로 축적되어 종 분화가 일어난다. (○)
2. 화석에서 나타나는 비약적인 생물 종의 변화를 설명하기 위해 나온 이론에 따른 종 분화를 보여 주는 것은 (나)이다. (○)
3. (가)와 (나)는 각각 점진주의설과 단속평형설에 따른 종의 분화를 보여 준다. (○)

A 종 분화

01 (가)는 지리적 격리가 일어난 후 종 분화가 일어난 이소적 종 분화이다. 이소적 종 분화는 지리적 격리에 의해 모집단과의 유전자 교류가 차단된 집단이 새로운 종이 되는 것이다.

02 (나)는 지리적 격리 없이 동일한 장소에서 종 분화가 일어난 동소적 종 분화이다.

03 (가)는 분리된 두 집단 중 한 집단에서 돌연변이가 일어난 후 자연선택되어 모집단에는 없는 새로운 종이 생긴 것을 보여 준다.

04 (나)에서는 돌연변이에 의해 새로운 유전자를 가진 개체가 생겨난 후 종 분화가 일어났다.

05 (가)는 이소적 종 분화, (나)는 동소적 종 분화의 과정을 나타낸 것이다.

B 이소적 종 분화

01 (가)는 육지로 연결되어 있으므로 지리적 격리가 일어나기 전의 모집단을 나타낸 것이다.

02 (나)는 바다나 협곡에 의해 두 지역이 나누어진 상태이다. 즉, 지리적 격리가 일어난 상태이다.

03 (나)에서는 분리된 두 집단에서 A′와 A″로 서로 다른 종류의 돌연변이 개체가 나타난 것이다.

04 (다)에서 두 집단에서 A는 사라지고 A′와 A″만 남은 것은 자연선택의 결과이다.

05 (라)는 지리적 장벽이 사라지더라도 A′와 A″간에 교배가 일어나지 않아 생식적으로 격리된 것을 보여 준다. A′와 A″가 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 만들지 못하므로 다른 종이 된 것이다.

C 배수성에 의한 동소적 종 분화

01 D는 3배체이므로 정상적인 감수 분열을 통해서 생식 세포를 만들 수 없고 돌연변이에 의해 염색체가 분리되지 않은 생식 세포를 만든다.

02 (가)는 돌연변이로 만들어진 동일한 개체의 생식 세포가 수정하였으므로 자가 수정을 나타낸다.

03 F, G, I는 감수 분열 시 염색체 비분리 현상이 일어나 만들어진 것이지만, H와 J는 정상적인 감수 분열을 통해 만들어진 생식 세포이다.

04 E는 염색체 수가 서로 다른 A와 B 종 사이의 교배에서 배수성 돌연변이가 일어나 생긴 것으로, 이러한 돌연변이는 수정이 일어나는 과정이 수반되어야 하므로 동소적 종 분화의 예로 볼 수 있다.
A, B, E는 모두 체세포의 염색체 수와 구성이 서로 다르며, 감수 분열을 통해 생식 세포를 형성하여 수정을 통해 자손이 생길 수 있으므로 생물학적으로 다른 종이다.

D 점진주의설과 단속평형설

01 (가)는 오랜 기간 동안 변이가 축적되어 점진적인 종 분화가 일어나는 점진주의설을 나타낸 것이다.

02 비약적인 생물 종의 변화와 오랜 시간 동안 그 상태를 유지하는 것은 단속평형설(나)로 설명된다.

03 (가)는 오랜 기간 동안 변이가 점진적으로 축적되어 종 분화가 일어난다는 점진주의설, (나)는 안정적인 평형 상태를 유지하다가 짧은 기간 동안 새로운 종의 분화가 급격하게 일어난다는 단속평형설에 따른 종의 분화를 보여 준다.

개념 확인 문제 pp.202~203

01. ② 02. ⑤ 03. ⑤ 04. ③, ④ 05. ② 06. ㄷ → ㄴ → ㄱ → ㄹ
07. (나) → (라) → (가) → (다) 08. ⑤ 09. ② 10. ③ 11. ④
12. (가) 점진주의설, (나) 단속평형설 13. ⑤

01 ② 소진화는 돌연변이, 자연선택, 유전자 이동, 유전적 부동 등에 의해 한 집단의 유전자풀이 변하는 것을 의미한다.

오답 피하기
ㄷ. 한 집단이 동종의 다른 집단과 서로 교배가 불가능한 새로운 종으로 분화되는 것은 소진화에서 대진화로 가는 중간 과정에서 나타나는 것이다.
ㄹ. 종이 계속해서 분화되어 더 큰 범주에서 계통이 나뉘게 되는 것은 대진화라고 한다.

02 ⑤ 생물학적 종은 자연 상태에서 서로 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 있는 개체들의 무리로 정의된다. 따라서 종 분화란 생식적 격리가 일어나는 것을 의미한다.

03 ⑤ 이소적 종 분화는 지리적으로 격리되어 각기 다른 환경에 적응하여 오랜 기간에 걸쳐 점진적인 유전적 변이가 축적되어 일어나며, 개체수가 적고 고립된 집단에서 잘 일어난다.

오답 피하기
⑤ 빵밀과 같은 배수체 농작물은 같은 지역 내에서도 서로 다른 종 사이의 교배로 배수체 돌연변이가 생겨 만들어지므로, 동소적 종 분화의 대표적인 예이다.

> **배수성**
> 감수 분열 시 염색체 전체에서 비분리 현상이 일어나 염색체 한 벌을 더 갖게 되어 염색체 수가 $4n$, $8n$…으로 증가하는 것을 말한다. 쉬운 예로 2배체($2n$) 식물에서 감수 분열 시 전체 염색체가 비분리되는 현상이 발생하여 염색체 수가 반감되지 않은 2배체($2n$)의 생식 세포가 형성된 후 자가 수정이 이루어지면 4배체($4n$)의 자손이 생기게 된다.

04 ③, ④
동소적 종 분화는 지리적 격리가 일어나지 않고 같은 지역에서 염색체의 배수성이나 성 선택에 의해 서로 교배하지 않게 됨으로써 일어날 수 있다.

오답 피하기
① 동소적 종 분화 중 염색체 배수성은 식물에서 흔하게 발생하며, 성 선택은 동물에서 나타난다.
②, ⑤ 동소적 종 분화는 돌연변이가 나타날 경우 짧은 시간에 급격하게 일어날 수도 있다.

05 ② ①, ③ (가)는 지리적 격리에 의해 일어나는 이소적 종 분화로, 점진적인 변이의 누적을 통해 오랜 시간이 걸리는 경우가 많다.
④ (나)는 동소적 종 분화로 대개 배수성이나 성 선택에 의해 일어난다.
⑤ (가)에서 분리된 두 집단에서 서로 다른 종이 서식하게 되는 것은 각각 다른 변이를 가진 개체가 자연선택되는 과정이 있었다는 것을 의미한다.

오답 피하기
② (나)는 동소적 종 분화를 나타낸 것이다.

> **이소적 종 분화 과정**
> 지리적 격리→돌연변이→자연선택→생식적 격리→신종 형성

06 ㄷ → ㄴ → ㄱ → ㄹ
이소적 종 분화는 지리적 격리가 일어나 분리된 두 집단에서 돌연변이 등에 의해 다른 변이를 가진 개체들이 나타나고, 이들이 자연선택됨으로써 생식적 격리가 일어나는 경우가 많다.

07 (나) → (라) → (가) → (다)
(가)는 지리적 격리가 일어난 두 집단에서 돌연변이 A′와 A″가 자연선택된 것을 나타내고, (나)는 지리적 격리가 일어나기 전의 상태, (다)는 지리적 장벽이 사라져도 각 집단의 개체들 간의 교배가 일어나지 않는 생식적 격리 상태, (라)는 지리적 격리가 일어난 두 집단에

서 돌연변이 A′와 A″가 생긴 것을 나타낸다. 따라서 이소적 종 분화의 과정은 (나)→(라)→(가)→(다)의 순서로 일어난다.

08 ⑤ 배수성 돌연변이는 주로 식물에서 일어난다. 제시된 그림에서 생식 세포를 만들 때 염색체 비분리에 의해 $2n$인 생식 세포를 만들고, 이러한 생식 세포가 수정하여 만들어진 자손 A는 $4n=8$의 염색체 구성을 가진다. A는 4배체로, 감수 분열에 의해 $2n=4$의 생식 세포를 만들어 수정할 수 있으므로 생식 능력이 있다.

오답 피하기

⑤ 배수성에 의한 종 분화는 식물에서 동소적 종 분화가 일어나게 하는 주요 원인이다.

염색체 비분리

생식 세포를 형성하는 감수 분열 과정에서 일부 또는 전체 염색체가 분리되지 않는 것이다. 염색체 비분리 결과 형성된 생식 세포의 염색체 수는 정상보다 많거나 적게 되며, 이 생식 세포가 수정하면 염색체 수에 이상이 생긴 돌연변이가 나타난다.

09 ② 생식 세포 a와 c는 염색체 비분리에 의해 체세포와 동일한 염색체 구성을 가진다.

오답 피하기

생식 세포 b와 d는 종 B의 정상적인 감수 분열에 의해 체세포의 절반의 염색체를 가진다.

10 ③ ① 잡종 C는 생식 세포 a로부터 4개와 생식 세포 b로부터 3개를 받아 총 7개의 염색체를 가진다.

② 잡종 D는 생식 세포 c로부터 7개와 생식 세포 d로부터 3개를 받아 총 10개의 염색체를 가진다.

④ 잡종 D는 각 상동 염색체가 쌍을 이루고 있으므로 감수 분열에 의해 생식 세포를 만들 수 있으므로 정상적인 생식 능력이 있다.

⑤ 염색체 배수성 돌연변이에 의한 종 분화는 동소적 종 분화의 예이다.

오답 피하기

③ 잡종 C는 염색체 수가 홀수이므로 감수 분열이 정상적으로 일어나지 않아 정상적인 생식 능력이 없다.

11 ④ 단속평형설은 생물이 오랜 기간 거의 변화되지 않고 안정적인 평형 상태를 유지하다가 짧은 기간 동안 새로운 종의 분화가 급격하게 일어난다는 것으로, 화석에서 나타나는 비약적인 생물 종의 변화를 설명하기에 적합하다. 이에 따르면 중간 형태의 화석이 거의 없는 것은 그 자체가 존재하지 않기 때문이라고 설명한다.

오답 피하기

ㄱ. 오랜 기간 동안 변이가 점진적으로 축적되어 종 분화가 일어난다는 것은 점진주의설에 의한 설명이다.

종 분화 속도

점진주의설	새로운 환경에 적응하는 과정에서 오랜 기간 동안 변이가 점진적으로 축적되어 종 분화가 일어난다는 학설
단속평형설	생물이 오랜 기간 거의 변화되지 않고 안정적인 평형 상태를 유지하다가 짧은 기간 동안 새로운 종의 분화가 급격하게 일어난다는 학설

12 (가) **점진주의설**, (나) **단속평형설**

(가)는 오랜 시간에 걸쳐 변이가 누적되어 점진적으로 종이 분화되는 것을 나타낸 것이고, (나)는 갑작스럽게 새로운 종이 생긴 후 오랜 시간에 걸쳐 안정된 상태를 유지하는 것을 나타낸 것이다.

13 ⑤ ㄱ, ㄹ. (가)는 오랜 시간에 걸쳐 변이가 점진적으로 축적되어 종 분화가 일어남을 보여 주며, 변이가 누적되는 과정에서 많은 중간형이 나타난다.

ㄴ, ㄷ. (나)에서는 종 분화가 짧은 시간 동안 급격하게 일어난 후 오랜 시간에 걸쳐 안정된 상태를 유지하는데, 중간형의 화석이 거의 없고 어느 시기에 갑작스럽게 새로운 형태의 화석이 나타나는 화석상의 기록에 잘 부합되는 학설이다.

개념 활용 문제 pp.204~207

01. ⑤ 02. ⑤ 03. ④ 04. ③ 05. ③, ⑤ 06. ④ 07. ③
08. ④

01 ⑤ ㄱ. (나)에서 협곡과 강이 생겨 지리적으로 격리된 두 집단이 생겼고, 양쪽 집단에서 돌연변이에 의해 B와 C가 각각 새로 나타났다.

ㄴ. (다)에서 양쪽 집단에서 B와 C가 A보다 환경에 더 잘 적응하여 살아남았다. 즉, B와 C가 자연선택되었다.

ㄷ. (라)에서는 지리적 장벽은 사라졌지만 B와 C 간의 유전자 교류가 일어나지 않는다면 생식적으로 격리된 새로운 종이 생긴 것이다.

ㄹ. 제시된 자료에서 이소적 종 분화의 과정은 지리적 격리, 돌연변이, 자연선택, 생식적 격리의 순으로 일어났다.

3배체 식물
3배체 식물은 상동 염색체 수가 홀수이기 때문에 감수 분열 시 상동 염색체끼리 짝을 이루지 못하여 정상적으로는 생식 세포를 형성하지 못해 불임이 된다.

02 ⑤ ① 자손 A는 상동 염색체가 4개씩 있으므로 4배체이고, 자손 B는 3개씩 있으므로 3배체이다.

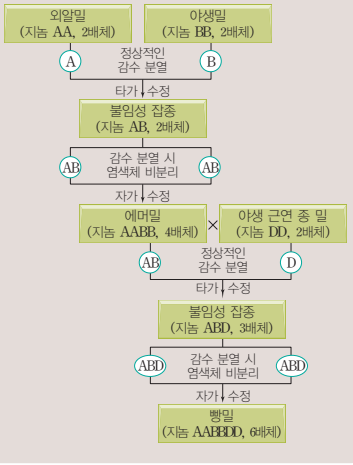
② 생식 능력이 있으려면 정상적인 감수 분열이 일어나야 하므로 상동 염색체가 접합하여 2가 염색체를 형성할 수 있어야 한다. 4배체인 A는 새로운 종이 될 수 있지만 3배체인 B는 정상적인 감수 분열이 일어나지 않아 불임이므로 새로운 종이 될 수 없다.

③ 생식 세포 c는 2배체인 어버이로부터 정상적인 감수 분열을 통해 만들어진다.

④ 생식 세포 a와 b를 만들 때, 염색체 비분리 현상이 일어나 어버이의 체세포와 동일한 염색체 구성을 가지는 생식 세포가 만들어졌다.

오답 피하기
⑤ 자손 B는 상동 염색체가 3개씩 있어서 정상적인 감수 분열이 일어나지 않는다.

밀의 진화 과정



03 ④ ㄴ. 빵밀에는 외알밀의 염색체 AA와 야생밀의 염색체 BB 및 야생 근연 종 밀의 염색체 DD가 모두 존재한다.

ㄷ. 비정상적인 감수 분열에 의해 생식 세포가 형성되는 과정이 있어야 하는 것은 교배 결과 배수체가 형성된 (나)와 (라)이다. (가)와 (다)는 정상적인 감수 분열이 일어난 생식 세포가 수정하였다.

오답 피하기
ㄱ. 배수성 염색체 돌연변이와 교배에 의한 새로운 종의 형성은 동소적 종 분화의 한 예이다.

04 ③ ㄱ. 자연 상태에서 A 종과 B 종의 암컷은 동일 종의 수컷하고만 교배를 하므로 이들은 생식적으로 격리되어 있다.

ㄴ. 그러나 인공적으로 단색의 주황색광을 비추었을 때는 두 종의 수컷의 색깔이 비슷하게 보이고 A 종과 B 종의 암컷이 종 구분 없이 교배를 하여 생식력 있는 자손을 생산하였다. 따라서 자연 상태에서는 서로 다른 종으로 존재하지만 최근에 종 분화가 일어나서 생식적 격리가 견고하지는 않은 상태라는 것을 알 수 있다.

오답 피하기
ㄷ. 시클리드 A와 B의 종 분화는 성 선택에 의해 일어났으며, 같은 장소에서 살고 있는 암컷의 성 선택이 없으면 동일 종의 무리가 될 수 있다는 것을 보여 준다. 이러한 성 선택에 의한 종 분화는 동소적 종 분화가 일어날 수 있음을 보여 준다.

05 ③, ⑤

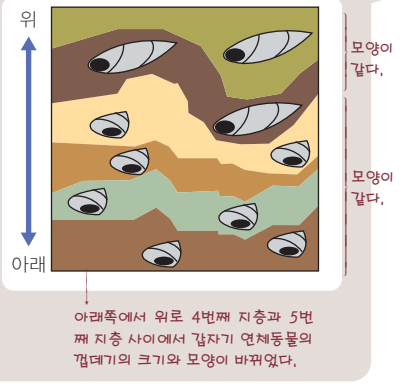
ⅰ) 실험 결과 서로 다른 집단이라 하더라도 같은 배지에서 자란 초파리끼리 교배 빈도가 높다. 즉, 각 배지에서 자란 초파리 암컷은 동일 배지에서 자란 수컷을 선호한다.

ⅱ) 초파리를 다른 병에 넣는 것은 지리적 격리에 해당하며, 녹말 배지와 엿당 배지처럼 서로 다른 먹이를 먹는 것과 같이 다른 환경에서 자란 개체와는 교배가 잘 일어나지 않아 서로 다른 종으로 분화될 수 있다는 것을 보여 준다. 즉, 이소적 종 분화를 지지하는 결과이다.

ⅲ) 녹말 배지가 든 병에서 꺼낸 암수를 함께 배양했을 때(A+B)와 엿당 배지가 든 병에서 꺼낸 암수를 함께 배양했을 때(C+D)의 두 경우 모두 교배 빈도는 22회이다. 따라서 배지의 종류에 따라 교배 빈도가 차이 나지는 않는다.

ⅳ) 그러나 제시된 자료만으로는 초파리가 녹말 배지보다 엿당 배지에서 배양할 때 돌연변이가 더 잘 일어나는지에 대해서는 알 수 없다.

단속평형설



06 ④ ⅰ) 아래쪽 4개 지층의 껍데기 화석의 크기와 모양이 같고, 위쪽 2개 지층의 껍데기 화석의 크기와 모양이 같다.

ⅱ) 이것은 연체동물의 껍데기가 점차 변해가는 중간 단계를 거치지 않고 갑작스럽게 몸집이 커지고 껍데기가 길어지게 되었으며, 종 분화가 빠르게 일어난 것을 의미한다.

ⅲ) 이와 같은 화석의 결과는 짧은 시간 동안 종 분화가 급격하게 일어난 후 오랜 시간 안정된 상태로 변하지 않는다는 단속평형설을 지지한다.

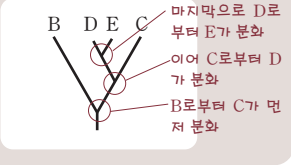
07 ③ ㄱ. 생물학적 종이 되기 위해서는 정상적인 감수 분열을 통해 생식 세포를 형성할 수 있어야 하므로, 상동 염색체가 짝수로 쌍을 이루어야 한다. 따라서 A~E 중 생물학적 종으로 볼 수 있는 것은 A, B, C, E 네 가지이다.

ㄴ. 생식 세포 a~e 중 염색체 비분리에 의해 형성된 것은 a, b, d 세 가지이다.

오답 피하기

ㄷ. C는 A의 감수 분열 과정에서 생긴 배수체 돌연변이 생식 세포의 자가 수정에 의해 생긴 것이므로 동종 간의 교배에 의해 생성된 배수체이다. 그러나 E는 A와 B의 이종 간의 교배와 배수성 돌연변이에 의해 생긴 생식 세포 d와 B의 감수 분열에 의해 생긴 생식 세포 e의 수정으로 생겼으므로 이종 간의 교배에 의해 생성된 배수체이다.

계통수



08 ④ 육지에 서식하는 A 종이 가까운 섬으로 이주하여 B로 가장 먼저 종 분화가 일어났다(A ⇒ B). 그 후 B 종이 다른 섬으로 이주하여 C 종으로 분화되었고(B ⇒ C), C 종이 다른 섬으로 이주하여 D 종으로 분화되었다(C ⇒ D). 그 후 D 종이 인접한 여러 섬으로 이주하였으며, 한 섬에서는 E 종으로 분화하였다(D ⇒ E). 따라서 이를 토대로 종 B~E의 계통수를 작성하면, ④와 같이 아래쪽에서 위로 올라가면서 B로부터 C가 먼저 분지되고, 이어 C로부터 D가 분지된 다음, 마지막으로 D로부터 E가 분지되어야 한다.

종 분화의 종류

이소적 종 분화	하나였던 생물 집단이 지리적으로 격리되어 더 이상 유전적 교류가 일어날 수 없는 둘 이상의 집단으로 나뉜 다음 나뉜 집단들이 오랜 세월 동안 각기 다른 방향으로 진화하여 종이 분화되는 것
동소적 종 분화	지리적 격리가 없는 동일한 장소에 서식하는 집단에서 종 분화가 일어나는 것을 말하는데, 염색체의 배수성이나 성 선택에 의해 서로 교배하지 않게 됨으로써 일어날 수 있다.

1. 종 분화

모범 답안 | (가)는 이소적 종 분화, (나)는 동소적 종 분화이다. (가)는 지리적 격리가 일어난 후 나누어진 집단들이 오랜 세월 동안 각기 다른 방향으로 진화하여 종 분화가 일어나고, (나)는 지리적 격리가 일어나지 않고 같은 지역에서 서로 교배하지 않음으로써 종 분화가 일어난다.

알짜 풀이 | 이소적 종 분화는 바다, 강, 협곡 등에 의해 지리적으로 격리되는 것이 일어난 후 나누어진 집단들이 오랜 세월 동안 각기 다른 방향으로 진화하여 종이 분화된다. 반면에 동소적 종 분화는 같은 지역 내에서 염색체의 배수성이나 성 선택에 의해 서로 교배하지 않음으로써 종 분화가 일어나는 것이다

2. 이소적 종 분화

모범 답안 | (나)에서 지리적 격리가 일어나고 오른쪽 장소에서 돌연변이에 의해 새로운 형질을 가진 개체가 생겼다. (다)로 가면서 오른쪽 지역에서는 새로운 형질을 가진 개체가 자연선택되어 살아남았으며, (라)와 (마)를 거치면서 지리적 장벽이 사라졌지만 생식적으로 격리되어 기존의 종 A와는 다른 종 B가 분화되었다.

알짜 풀이 | (나)는 지리적 격리와 새로운 형질의 출현, (다)는 자연선택에 의해 새로운 형질을 가진 개체가 살아남은 것을 보여 주며, (라)와 (마)를 거치면서 지리적 장벽이 사라졌지만 이들이 생식적으로 격리되어 종 B가 분화되었다는 것을 보여 준다.

3. 초파리의 생식적 격리 현상

모범 답안 | 녹말 배지에서 배양한 초파리와 엿당 배지에서 배양한 초파리는 교배 빈도가 낮아지면서 유전자 교류가 잘 일어나지 않게 되어 생식적 격리가 일어나 서로 다른 종으로 분화될 것이다.

알짜 풀이 | 여러 세대에 걸쳐 서로 다른 배지에서 배양함에 따라 다른 배지에서 자란 초파리와는 교배하지 않게 되는 현상이 나타나고 있으므로 이러한 경향이 계속된다면 서로 다른 배지에서 자란 초파리와는 유전자 교류가 일어나지 않게 되어 생식적으로 격리가 일어나게 될 것이다.

4. 배수성에 의한 동소적 종 분화

모범 답안 | (1) (가)와 같이 생식 세포를 형성할 때 염색체 전체가 비분리되어 2배체의 생식 세포가 만들어지고, 자가 수정에 의해 생긴 자손은 어버이와는 다른 4배체가 된다. 이렇게 생긴 자손은 어버이와는 생식적으로 격리된 새로운 종에 해당하므로, 배수성은 단 한 세대만에 같은 지역 내에서 종 분화가 일어나게 하기도 한다.
(2) 염색체의 배수성 돌연변이에 의해 새로운 종이 생기려면 비정상적인 감수 분열에 의해 생성된 2배체 생식 세포끼리 자가 수정되어야 하는데, 동물은 식물과는 달리 자웅 동체가 매우 드물어 자가 수정이 일어나기 어렵기 때문이다.

알짜 풀이 | (1) 염색체 비분리에 의해 생긴 4배체 식물은 2배체 식물과는 교배하더라도 불임인 3배체($3n$)의 자손을 생산하기 때문에 생식이 불가능하지만, 자가 수정이나 다른 4배체 식물과 교배하면 생식력 있는 4배체 자손을 남길 수 있으므로 새로운 종이 된다.

작물과 배수체
식물학자들에 의하면 식물 중 20~25%는 배수체라고 한다. 서로 다른 종 사이에 교배가 일어나 잡종이 형성될 때 배수체가 만들어지는 경우가 많은데, 이것은 서로 다른 종으로부터 다양한 유전자를 물려받은 잡종 개체가 생존에 유리하기 때문인 것으로 추정된다. 사람이 재배하는 귀리, 감자, 바나나, 땅콩, 보리, 자두, 사과, 사탕수수, 커피, 밀 등 대부분의 작물은 배수체이다.

(2) 염색체 비분리에 의해 생긴 생식 세포끼리 자가 수정하면 생식 능력이 있는 4배체의 자손을 얻을 수 있다. 그러나 돌연변이에 의해 생긴 2배체의 생식 세포가 다른 개체에서 만들어진 정상적인 생식 세포(n)와 수정하면 3배체($3n$)가 되어 상동 염색체가 쌍을 이루지 못하여 정상적인 감수 분열이 일어나지 않게 되고, 그 결과 불임이 되므로 새로운 종이 생길 수 없다. 동물에서는 자웅 동체가 매우 드물어 자가 수정이 일어나기 어려우므로 식물과는 달리 배수체 돌연변이에 의한 동소적 종 분화가 일어나기 어렵다.

5. 종 분화 속도

모범 답안 | (1) 점진주의설은 새로운 환경에 적응하는 과정에서 오랜 기간 동안 변이가 점진적으로 축적되어 종 분화가 일어난다는 학설이고, 단속평형설은 생물이 오랜 기간 거의 변화되지 않고 안정적인 평형 상태를 유지하다가 짧은 기간 동안 새로운 종의 분화가 급격하게 일어난다는 학설이다.
(2) 화석 종은 대부분 중간 단계 없이 어느 특정 시기의 지층에서부터 갑자기 출현하기 시작하였다가 멸종될 때까지 거의 변화 없이 유지된다. 따라서 화석상의 기록은 단속평형설에 잘 부합된다.

알짜 풀이 | (1) ㈎는 신종이 분화되기까지 수많은 중간형이 존재한다. 이것은 오랜 기간 동안 변이가 점진적으로 축적되는 것을 의미한다. ㈏는 갑작스럽게 신종이 생기고, 일단 형성된 신종은 중간형이 없이 형질이 안정적으로 유지된다.
(2) 점진주의설은 자연선택설에 잘 부합되지만, 실제로 화석을 연구하면 이러한 점진적인 변화를 보여 주는 중간형의 화석은 거의 발견되지 않고, 화석 종은 대부분 중간 단계 없이 어느 특정 시기의 지층에서부터 갑자기 출현하기 시작하였다가 멸종될 때까지 거의 변화 없이 유지된다. 화석에서 나타나는 비약적인 생물 종의 변화를 설명하기 위해 단속평형설이 제안되었다.