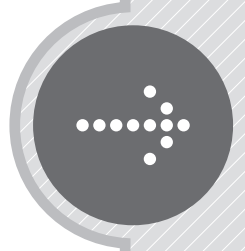


정답과 해설



01 생명 과학의 역사

2 점 수능 테스트

본문 10쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ③

01 생명 과학자들의 연구 사례

㉠은 미생물을 발견한 레이우엔훅, ㉡은 유전의 기본 원리를 밝힌 멘델이다.

㉢. ㉠은 레이우엔훅, ㉡은 멘델이다.

✕. ㉢(멘델)은 유전의 기본 원리를 밝혔고, 최초로 DNA가 유전 물질임을 규명하지는 않았다. 1944년 에이버리에 의해 유전 물질은 DNA임이 규명되었다.

㉣. 1673년에 (가)가 일어났고, 1865년에 (나)가 일어났다.

02 세포의 연구

(가)는 세포의 발견(1665년), (나)는 세포설의 확립(1858년)이다.

㉠. 세포의 발견 이후에 세포설이 확립되었으므로 (가)는 세포의 발견, (나)는 세포설의 확립이다.

㉢. 훅은 자신이 만든 현미경으로 얇게 자른 코르크 조각을 관찰하여 세포라고 명명하였다. 현미경의 발명은 (가)(세포의 발견)의 연구에 기여하였다.

㉣. 피르호는 모든 세포는 세포로부터 생성된다고 주장하고 세포설을 확립하였다. (나)(세포설의 확립)는 피르호에 의한 성과이다.

03 생물의 분류와 진화에 대한 연구

린네는 생물 분류 체계를 정립했고, 라마르크는 용불용설을 주장했으며, 다윈은 자연 선택설을 주장했다.

㉠. 린네는 생물을 체계적으로 분류하는 방법을 제안했으며, 분류의 기본 단위인 종의 개념을 명확히 하였다.

㉢. 라마르크는 사용하는 형질은 발달하고 사용하지 않는 형질은 퇴화한다는 용불용설을 주장하였다.

✕. 다윈은 생물 개체 사이에 번이가 있고 환경에 잘 적응한 개체만이 살아남으며, 이러한 번이가 누적되어 진화가 일어난다고 주장하였다.

04 생명 과학자들의 연구 사례

㉠은 파스퇴르, ㉡은 제너이다.

㉢. 플레밍은 푸른곰팡이에서 페니실린을 발견하였다. 페니실린은 세균의 증식을 억제하는 항생 물질이다.

㉣. ㉢(파스퇴르)은 백조목 플라스크를 이용한 실험을 통해 생물

은 생물로부터 생성된다는 생물 속생설을 입증하였다. 생물 속생설은 ㉠에 해당한다.

✕. ㉡은 중두법을 개발한 제너이다.

3 점 수능 테스트

본문 11쪽

01 ③ 02 ④

01 생명 과학자들의 주요 성과

A는 아리스토텔레스, B는 하비, C는 파스퇴르이다.

㉠. I은 아리스토텔레스가 주장한 자연 발생설, II는 하비가 확립한 혈액 순환 이론이다. B는 하비이다.

✕. C는 파스퇴르이다. 생물 속생설을 입증한 파스퇴르의 실험에서 끓이기 전 고기즙 ㉠에는 미생물이 있지만, 끓인 후 고기즙 ㉡에는 미생물이 없다.

㉢. 파스퇴르는 백조목 플라스크(S자형 목의 플라스크)를 이용하여 생물 속생설을 입증하였다. (가)는 C(파스퇴르)가 생물 속생설을 입증하기 위해 수행한 실험을 나타낸 것이다.

02 분자 생물학의 주요 성과

(가)는 DNA 구조 규명(1953년), (나)는 유전부호 해독(1960년대), (다)는 DNA 증폭 기술 개발(1983년)이다.

㉠. (가)는 DNA 구조 규명으로 왓슨과 크릭은 DNA 염기 조성의 특징과 X선 회절 사진 등을 종합하여 DNA의 구조를 알아냈다.

㉢. (나)는 니런버그와 마테이가 인공 합성 RNA를 이용하여 유전부호를 해독한 유전부호 해독이다. (나)(유전부호 해독)를 통해 DNA 염기 서열과 단백질의 아미노산 서열 사이의 관계를 알 수 있게 되었다.

✕. (다)는 1983년에 이루어진 성과로 DNA 증폭 기술 개발이고, 사람 유전체 사업은 2003년에 완료되었다. 따라서 (다)가 이루어진 이후에 사람 유전체의 염기 서열을 밝히는 사람 유전체 사업이 완료되었다.

02 세포의 특성

2월 수능 테스트

본문 22~24쪽

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

01 생명체의 유기적 구성

동물에서는 세포가 모여 조직을, 조직이 모여 기관을, 기관이 모여 기관계를, 기관계가 모여 하나의 개체를 이룬다. 식물에서는 세포가 모여 조직을, 조직이 모여 조직계를, 조직계가 모여 기관을, 기관이 모여 하나의 개체를 이룬다.

✗. (가)와 (나)에 모두 있는 A는 조직이고, C는 기관이다. 따라서 A와 C 사이의 구성 단계인 B는 조직계이고, (가)는 식물의 구성 단계이다. C와 개체 사이의 구성 단계인 D는 기관계이고, (나)는 동물의 구성 단계이다.

✗. 유조직은 식물의 영구 조직의 예이다. 따라서 유조직은 (가)의 A의 예이다.

Ⓒ. C는 동물과 식물의 구성 단계에 모두 있는 기관이다.

02 식물의 유기적 구성

(가)는 조직계, (나)는 기관, (다)는 조직이다.

Ⓐ. 관다발 조직계는 조직계(가)의 예이다.

Ⓒ. 꽃(㉠)은 식물의 생식 기관이다.

Ⓓ. 생장점과 형성층은 분열 조직의 예이므로 (다)는 조직이다.

03 생명체를 구성하는 물질

(가)는 아미노산, (나)는 뉴클레오타이드이다.

Ⓐ. 아미노산의 아미노기와 뉴클레오타이드의 염기를 구성하는 원소에 모두 질소(N)가 있다.

Ⓒ. 2분자의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결될 때 1분자의 물(H₂O)이 생성된다.

Ⓓ. 디옥시리보스를 갖는 뉴클레오타이드는 DNA의 기본 단위이다.

04 생명체를 구성하는 물질

(가)는 중성 지방, (나)는 콜레스테롤, (다)는 셀룰로스이다.

✗. 중성 지방은 1분자의 글리세롤(㉠)과 3분자의 지방산(㉡)이 결합된 화합물이다.

Ⓒ. 콜레스테롤(나)은 지질에 속하며, 셀룰로스(다)는 탄수화물에

속한다. 따라서 (나)는 (다)보다 유기 용매에 잘 녹는다.

Ⓒ. (다)는 셀룰로스이고, 올타리 조직은 식물의 조직이므로 올타리 조직을 이루는 세포에는 (다) 성분의 세포벽이 있다.

05 핵산

(가)는 단일 가닥 RNA이고, (나)는 이중 나선 DNA이다.

Ⓐ. DNA와 RNA의 기본 단위는 모두 인산, 당, 염기가 1:1:1로 결합된 뉴클레오타이드이다.

✗. 원핵세포에서도 DNA의 전사가 일어나 RNA가 합성되며, DNA와 RNA는 모두 원핵세포의 세포질에 있다.

Ⓒ. 염색체의 스트로마에는 독자적인 DNA가 있다.

06 세포 내 구조물

(가)는 소포체, (나)는 골지체, (다)는 미토콘드리아이다.

Ⓐ. 단백질의 합성과 분비 과정에서는 소포체(가)에서 떨어져 나온 운반 소낭(수송 소낭)이 골지체(나)로 물질을 전달하고, 골지체에서 분리된 분비 소낭이 세포막과 융합하면 분비 소낭 안의 물질이 세포 밖으로 분비된다.

Ⓒ. (다)에서 유기물의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환되는 세포 호흡이 일어난다.

Ⓓ. (가)~(다)는 원핵생물인 대장균에는 모두 없는 세포 소기관이다.

07 원핵세포와 동물 세포

선형 DNA를 갖는 (가)는 진핵세포인 사람의 간세포이고, 원형 DNA를 갖는 (나)는 대장균이다.

✗. (가)는 사람의 간세포, (나)는 대장균이다.

✗. 리보솜은 사람의 간세포와 대장균에 모두 있다. 따라서 리보솜은 ㉠에 해당하지 않는다.

Ⓒ. 세포벽은 사람의 간세포에는 없고, 대장균에는 있다. 따라서 세포벽은 ㉡에 해당한다.

08 세포 분획법

원심 분리기를 이용하여 세포 소기관을 분리하면 크기와 밀도에 따라 상대적으로 크고 무거운 세포 소기관이 먼저 침전되어 분리되고, 작고 가벼운 세포 소기관이 상층액에 남아 있게 된다. 1차 원심 분리 과정에서 먼저 분리된 침전물 C에는 핵이 있고, 2차 원심 분리 과정에서 분리된 침전물 B에는 염색체가 있으며, 상층액 A에는 미토콘드리아가 있다.

✗. (나)는 핵을 나타낸 것이고, 핵은 침전물 C에 있다.

Ⓒ. ㉠은 인, ㉡은 염색질이다. 인(㉠)은 단백질과 RNA가 모여 있는 부분이고, 염색질(㉡)은 DNA가 히스톤 단백질을 감고 있

는 구조이다. 인(㉠)에서 리보솜을 구성하는 rRNA가 합성된다.
 ✕. 미토콘드리아에서 세포 호흡이, 엽록체에서 광합성이 일어난다. 침전물 B에는 엽록체가 포함되어 있고 엽록체에서는 세포 호흡이 일어나지 않는다.

09 세포내 소화

A는 골지체, B는 리소좀이다.
 ㉠. 골지체(A)에서 단백질의 가공(변형)이 일어난다.
 ㉡. 리소좀(B)에는 가수 분해 효소가 들어 있어 세포내 소화가 일어난다.
 ㉢. 골지체(A)와 리소좀(B)은 모두 단일막 구조이다.

10 전자 현미경의 특징

(가)는 주사 전자 현미경, (나)는 투과 전자 현미경이다.
 ㉠. (가)는 시료의 입체 구조 관찰에 용이한 주사 전자 현미경이다.
 ㉡. (가)와 (나)는 모두 광원으로 전자선을 이용한다.
 ㉢. 해상력은 가까운 거리에 있는 두 점이 확실하게 분리되어 보이는 최소한의 거리이다. 해상력은 투과 전자 현미경이 광학 현미경보다 뛰어나다.

11 세포 내 구조물

A는 리보솜, B는 액포, C는 매끈면 소포체이다.
 ㉠. 대장균은 막성 세포 소기관을 갖지 않는다. 따라서 대장균은 A~C 중 리보솜(A)만 갖는다.
 ✕. 액포(B)는 주로 식물 세포에 존재한다.
 ㉢. 매끈면 소포체(C)에서 스테로이드와 같은 지질이 합성된다.

12 세포 내 구조물

리보솜은 A~C에 모두 있고, 엽록체는 장미의 울타리 조직 세포에만, 골지체는 대장균을 제외한 두 세포에만 있다. 따라서 ㉠은 리보솜, ㉡은 엽록체, ㉢은 골지체이고, A는 생쥐의 간세포, B는 장미의 울타리 조직 세포, C는 대장균이다.
 ㉠. B(장미의 울타리 조직 세포)와 C(대장균)에는 모두 리보솜이 있다. 따라서 ㉠과 ㉡는 모두 'O'이다.
 ㉢. 골지체(㉢)는 시스터나가 층층이 쌓인 형태이다.
 ㉣. 대장균(C)의 세포질에는 원형의 DNA가 있다.

3 점 수능 테스트

본문 25~29쪽

- 01 ㉡ 02 ㉢ 03 ㉡ 04 ㉡ 05 ㉣ 06 ㉣ 07 ㉡
 08 ㉡ 09 ㉠ 10 ㉡

01 생명체의 유기적 구성

A는 표피 조직계, B는 관다발 조직계, C는 해면 조직이다. 동물의 구성 단계는 세포 → 조직 → 기관 → 기관계 → 개체이고, 식물의 구성 단계는 세포 → 조직 → 조직계 → 기관 → 개체이다. 해면 조직(C)이 식물의 구성 단계 중 (나)의 예이므로, (가)는 기관계, (나)는 조직, (다)는 기관, (라)는 조직계이다.
 ㉠. 표피 조직계(A)는 식물의 구성 단계 중 조직계(라)의 예이다.
 ㉡. 관다발 조직계(B)는 물관부와 체관부로 구성되며, 물관부를 통해 물이 이동하고 체관부를 통해 양분이 이동한다.
 ㉢. 혈관의 한 종류인 동맥은 동물의 순환계를 구성하는 기관(다)의 예이다.

02 동물의 유기적 구성

A는 상피 조직, B는 신경 조직, C는 근육 조직이고, (가)는 C, (나)는 A, (다)는 B이다.
 ㉠. (가)는 C이다.
 ㉡. 조직은 모양과 기능이 비슷한 세포들로 구성된다. 상피 조직(A)을 이루는 세포에 상피 세포가 있다.
 ✕. 위는 간, 소장과 함께 소화계를 이룬다. 소화계는 기관계의 예이며, 조직계는 동물과 식물 중 식물의 구성 단계에만 포함된다.

03 동물 세포의 구조

A는 리보솜, B는 핵, C는 세포막이고, ㉠은 중성 지방, ㉡은 DNA, ㉢은 단백질이다.
 ㉠. 중성 지방(㉠)을 구성하는 원소에는 질소(N)와 인(P)이 없고, DNA(㉡)를 구성하는 원소에는 수소(H), 질소(N), 인(P)이 모두 있으며, 단백질(㉢)을 구성하는 원소에는 인(P)이 없다. 따라서 ㉠과 ㉡는 모두 'x'이다.
 ㉣. 리보솜(A)과 세포막(C)의 구성 물질에 모두 단백질(㉢)이 있다.
 ㉤. 핵(B)에 있는 염색질의 기본 단위는 뉴클레오솜이고, 뉴클레오솜은 DNA(㉣)와 히스톤 단백질이 결합한 형태이다. 따라서 DNA(㉣)는 핵(B)에 있는 염색질을 이루는 물질이다.

04 생명체를 구성하는 물질

I은 스테로이드, II는 글리코젠, III은 엷당, IV는 단백질이다. 다당류인 ㉠은 글리코젠이고, 항체의 주성분인 ㉡는 단백질이다.

‘성호르몬의 구성 성분인가?’라는 기준에서 ‘예’에 해당하는 것은 스테로이드이다. 따라서 해당 기준은 ㉠이고, ㉡는 스테로이드이며, ㉢는 엷당이다.

㉣ ㉡는 스테로이드(I)이다.

㉤ 리보솜에서 단백질(㉣)이 합성된다.

㉥ ㉠은 글리코젠, ㉢는 엷당이고, ㉡와 ㉢는 모두 당당류인 포도당을 기본 단위로 갖는 탄수화물이다. 따라서 ‘탄수화물에 속하는가?’는 ㉠, ㉢와 ㉣, ㉤를 구분하는 기준인 ㉠에 해당한다.

05 자기 방사법

㉠에는 메싸이오닌(아미노산)을, ㉡에는 타이민(T)을 방사성 동위 원소로 표지하여 공급하였다. 타이민(T)은 DNA를 구성하는 뉴클레오타이드에 포함되는 염기이고, DNA는 핵에 집중되어 있다. X에 배양한 세포에서 방사선량은 DNA 복제가 일어나는 핵에서 가장 많이 검출되었으므로, X는 방사성 동위 원소로 표지한 타이민(T)을 공급한 ㉡이고, Y는 ㉠이다. Y에 방사성 동위 원소로 표지한 아미노산을 공급한 이후 Y에 배양한 세포에서 시간에 따라 A, B, C 순으로 방사선량이 높게 나타났다. 리보솜에서 단백질이 합성된 이후 거친면 소포체, 골지체, 분비 소낭을 거쳐 세포 밖으로 단백질이 분비되므로, A는 거친면 소포체, B는 골지체, C는 분비 소낭이다.

✕ X는 ㉡, Y는 ㉠이다.

㉢ 거친면 소포체(A)의 막 일부는 핵막과 연결되어 있다.

㉣ 골지체(B)는 소화 효소를 분비하는 소화샘 세포, 호르몬을 분비하는 내분비샘 세포, 항체를 분비하는 형질 세포 등 분비 기능이 활발한 세포에 발달되어 있다.

06 세균과 동물 세포

(가)는 동물 세포, (나)는 세균이다. 리보솜은 동물 세포와 세균에 모두 있고, 세포벽은 세균에만, 핵막은 동물 세포에만 있다. 따라서 ㉠은 ‘있음’, ㉢는 ‘없음’이고, ㉡은 핵막, ㉣은 세포벽, ㉤은 리보솜이다.

㉥ ㉠은 ‘있음’, ㉢는 ‘없음’이다.

✕ 세포벽(㉣)은 세포막 바깥쪽에 형성되며, 세균과 식물 세포에서 세포벽은 세포 보호 및 형태 유지 등의 기능을 한다. A는 핵이며, 핵(A)은 핵막(㉡)으로 둘러싸여 있다.

㉤ 세포 분열 시 중심체(B)에서 방추사가 형성된다.

07 식물 세포의 구조와 세포 분획법

A는 엽록체, B는 미토콘드리아, C는 핵이다. 세포벽이 제거된 식물 세포 파쇄액을 원심 분리하면 핵, 엽록체, 미토콘드리아 순으로 침전물에 분리된다. 따라서 ㉠은 핵(C), ㉡은 엽록체(A), ㉢은 미토콘드리아(B)이다.

㉣ 상층액 ㉠을 이전보다 더 빠른 속도에서 원심 분리했을 때 ㉡이 침전되므로, ㉠에는 미토콘드리아(㉢, B)가 있다.

㉤ 핵(㉡)에는 리보솜을 구성하는 rRNA가 합성되는 부분인 인자 있다.

㉥ 엽록체(A)에서는 빛에너지가 유기물의 화학 에너지로, 미토콘드리아(㉢)에서는 유기물의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환된다. 따라서 엽록체(A)와 미토콘드리아(㉢)에서 모두 에너지 전환이 일어난다.

08 세포 골격

㉠은 미세 소관, ㉡은 미세 섬유이다. 편모는 미세 소관으로 이루어진 세포의 운동 기관이다.

✕ ㉢는 ㉠으로 이루어져 있다.

✕ X는 투과 전자 현미경이고, 투과 전자 현미경은 시료를 투과한 전자선에 의해 스크린에 나타나는 상을 관찰한다. 시료를 투과한 가시광선을 이용하여 상을 관찰하는 것은 광학 현미경이다.

㉤ 중심립은 미세 소관(㉠)으로 이루어져 있다.

09 식물 세포의 구조

㉠은 세포막, ㉡은 2차 세포벽, ㉢은 1차 세포벽이다. A는 기본 조직계를 이루는 조직, B는 물관, C는 뿌리털이다. 뿌리털(C)이 있는 (나)는 식물 뿌리의 단면 구조이고, (다)는 식물 잎의 단면 구조이다.

㉣ 세포는 세포막으로 둘러싸여 있다. 따라서 A와 B를 이루는 세포에 모두 세포막(㉠)이 있다.

✕ 2차 세포벽(㉢)이 1차 세포벽(㉡)보다 나중에 형성되었다.

✕ 뿌리털(C)은 표피 조직계에 속한다.

10 세포 내 구조물

빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 광합성은 엽록체에서, 유기물의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환하는 과정은 미토콘드리아에서 일어난다. 따라서 A와 D는 각각 엽록체와 미토콘드리아 중 하나이다. B는 2중막 구조이므로 핵이고, C는 단일막 구조이므로 소포체이다. 따라서 소포체(C)가 포함된 II는 상층액 X이고, 핵(B)이 포함된 I은 침전물 Y이다. 세포벽이 제거된 식물 세포 파쇄액을 원심 분리했을 때 상대적으로 밀도가 높은 핵과 엽록체가 먼저 침전되므로, A는 엽록체이고, D는 미토콘드리아이다.

㉣ I은 Y이다.

㉤ 핵(B)에는 뉴클레옴이 기본 단위인 염색질이 있다.

㉥ 물질대사에 속하는 세포 호흡 과정에는 다양한 효소가 관여한다. 따라서 미토콘드리아(D)에는 세포 호흡에 관여하는 효소가 있다.

03 세포막과 효소

2 점 수능 테스트

본문 39~42쪽

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

01 세포막의 구조

A는 다당류, B는 콜레스테롤, C는 단백질, D는 인지질이다.

✗. 펩타이드 결합은 단백질(C)에 있고, 다당류(A)에는 펩타이드 결합이 없다.

○. 지질에는 중성 지방, 인지질, 스테로이드가 포함되며, 콜레스테롤(B)은 스테로이드에 속한다.

○. 세포막을 관통하고 있는 단백질(C)과 지방산 꼬리를 가지는 인지질(D)에는 모두 소수성 부분이 있다.

02 세포막을 통한 물질 출입

○의 이동 방식은 단순 확산이므로 ①은 B이고, ㉠의 이동 방식은 촉진 확산이므로 ㉡은 A이다.

○. ①은 B이다.

✗. 폐포에서 세포막을 통한 O₂의 이동 방식은 단순 확산이므로 B의 이동 방식과 같다.

○. ㉠은 A이고, ㉡일 때 A의 세포 밖 농도에서 세포 안 농도를 뺀 값이 양수이므로 ㉡은 세포 밖에서 안으로 확산하여 이동한다.

03 삼투

○. 삼투에 의해 비커 안의 물이 깔때기로 유입되어 유리관에서 용액의 이동이 일어나므로 t₁일 때 설탕 용액의 농도는 A에서가 B에서보다 높다.

✗. t₂일 때 반투과성 막을 통한 물 분자의 이동은 있지만, 물의 유입량과 유출량이 같아서 순이동이 없으므로 유리관에서의 용액의 위치는 변하지 않는다.

✗. 삼투에 의한 물 분자의 이동에 ATP가 사용되지 않는다.

04 리포솜

○. 리포솜의 막은 인지질 2중층 구조이므로 구성 성분에 인지질이 있다.

○. 리포솜의 막은 유동성이 있어서 세포막과 쉽게 융합할 수 있으므로 물질을 세포로 운반해 주는 운반체로 이용될 수 있다.

✗. 리포솜의 내부에 있는 A는 수용성 물질이고, 리포솜의 막에 삽입된 B는 지용성 물질이다.

05 세포막을 통한 물질 출입

세포를 배양액에 넣었을 때 시간이 지남에 따라 물질 ㉠의 세포 안 농도와 세포 밖 농도가 같아져 평형을 이루게 되므로 ㉠의 이동 방식은 촉진 확산이다.

✗. 세포막을 통한 ㉠의 이동 방식은 촉진 확산이므로 ATP가 사용되지 않는다.

○. 세포막을 통한 ㉠의 이동 속도는 그래프의 기울기에 비례하므로 ㉠의 이동 속도는 t₁일 때가 t₂일 때보다 빠르다.

✗. 모세 혈관에서 폐포로의 CO₂ 이동 방식은 단순 확산이므로 ㉠의 이동 방식과 다르다.

06 식물 세포의 삼투

○. 감자 조각을 등장액(㉠)에 넣으면 감자 조각의 질량에 변화가 없고, 감자 조각을 저장액(㉡)에 넣으면 삼투에 의해 유입되는 물의 양이 더 많아서 감자 조각의 질량이 증가하며, 감자 조각을 고장액(㉢)에 넣으면 삼투에 의해 유출되는 물의 양이 더 많아서 감자 조각의 질량이 감소한다. 따라서 NaCl 용액의 농도는 ㉢ > ㉠ > ㉡이다.

✗. 삼투압은 팽압과 흡수력을 더한 값이므로 팽압은 삼투압보다 작거나 같다.

○. 비커 Ⅲ의 감자 세포에서는 유입되는 물의 양보다 유출되는 물의 양이 더 많아 세포막과 세포벽이 분리되는 원형질 분리가 일어났다.

07 식물 세포의 삼투

A는 삼투압, B는 팽압이다.

○. 식물 세포를 설탕 용액 ㉠에 넣었을 때 유입되는 물의 양보다 유출되는 물의 양이 더 많아서 원형질 분리가 일어났고, 설탕 용액 ㉡으로 옮겼을 때 유출되는 물의 양보다 유입되는 물의 양이 더 많아서 세포의 부피가 증가하였으므로 설탕 용액의 농도는 ㉠이 ㉡보다 높다.

✗. V₁일 때 이 세포의 팽압은 0이고, 흡수력은 삼투압과 같다.

○. $\frac{\text{팽압}}{\text{삼투압}}$ 은 V₂일 때 0보다 크고 1보다 작은 값이다. V₁일 때는

팽압이 0이므로 $\frac{\text{팽압}}{\text{삼투압}}$ 은 0이다. 따라서 $\frac{\text{팽압}}{\text{삼투압}}$ 은 V₂일 때가 V₁일 때보다 크다.

08 효소의 작용

✗. 아밀레이스(㉠)에 의해 녹말이 엿당으로 분해되는 반응에서

녹말은 기질이요 엿당은 생성물이다.

㉠. 아밀레이스(㉠)는 녹말이 아닌 다른 영양소와는 결합하지 않는 기질 특이성을 갖는다.

㉡. 녹말이 엿당으로 분해되는 반응의 활성화 에너지는 효소인 아밀레이스(㉠)가 있을 때가 아밀레이스(㉡)가 없을 때보다 작다.

09 효소와 활성화 에너지

㉠. 반응물보다 생성물이 가지는 에너지가 더 크므로 효소 X에 의한 반응은 동화 작용에 해당한다.

㉡. 반응물이 생성물로 전환되는 반응에서 X가 없을 때의 활성화 에너지는 (㉠+㉡)이고, X가 있을 때의 활성화 에너지는 (㉠+㉢)이다.

㉢. 반응열은 반응물과 생성물의 에너지 차이므로 이 반응의 반응열은 ㉢이다.

10 효소의 작용

㉠은 보조 인자, ㉡은 기질, ㉢은 주효소이다.

㉣. 보조 인자(㉠)는 비단백질 성분으로 구성된다.

㉤. 효소는 반응 과정에서 소모되거나 변형되지 않으므로 반응이 끝난 후 효소 반응에 재사용된다.

㉥. A는 주효소(㉢)와 보조 인자(㉠)가 결합한 전효소이다.

11 효소의 종류

(가)는 이성질화 효소, (나)는 가수 분해 효소, (다)는 산화 환원 효소이다.

㉠. 이성질화 효소(가)에 의해 기질은 원자 배열이 바뀌어서 이성질체로 전환된다.

㉡. 가수 분해 효소(나)에 의한 반응은 이화 작용에 해당하며 발열 반응이다.

㉢. 탈수소 효소는 수소(H)나 산소(O) 원자 또는 전자를 다른 분자에 전달하는 산화 환원 효소(다)에 속한다.

12 효소의 작용

㉠은 생성물, ㉡은 효소, ㉢은 효소·기질 복합체이다. A는 생성물(㉠), B는 효소(㉡), C는 효소·기질 복합체(㉢)이다.

㉣. (가)는 물 1분자를 첨가하여 기질을 분해하는 가수 분해 반응으로 이화 작용에 해당한다.

㉤. B는 효소(㉡)이고, ㉢은 효소·기질 복합체이다.

㉥. 이 효소에 의한 반응 속도는 생성물(A) 농도 변화 그래프의 기울기에 비례하므로 반응 속도는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 빠르다.

13 효소의 활성에 영향을 미치는 요인

최적 온도가 30~40 °C인 ㉠은 사람의 소화 효소이고, 최적 온도가 70~80 °C인 ㉡은 세균 X의 DNA 중합 효소이다.

㉢. 37 °C일 때에 비해 72 °C일 때는 ㉠이 변성되어 반응이 거의 일어나지 않으므로 ㉢의 입체 구조는 37 °C일 때와 72 °C일 때가 서로 다르다.

㉣. ㉡은 세균 X의 DNA 중합 효소이다.

㉤. 시간에 따른 생성물의 양이 3가지 온도 중 72 °C에서 가장 빠른 시간 내에 증가하므로 (나)에서 반응에 사용된 효소는 ㉤이다.

14 효소의 활성에 영향을 미치는 요인

(나)에서 시간에 따라 물질 A의 농도가 감소하므로 A는 효소 E의 기질이다. ㉠일 때가 ㉡일 때보다 초기 반응 속도가 더 빠르므로 ㉠이 C_2 이고, ㉡이 C_1 이다.

㉢. A는 E의 기질이다.

㉣. ㉠은 C_2 이다.

㉤. 효소·기질 복합체의 농도는 반응 속도에 비례하고, (나)에서 그래프의 기울기가 가파를수록 반응 속도가 빠르다. 따라서 t_1 일 때 효소·기질 복합체의 농도는 ㉠에서가 ㉡에서보다 높다.

15 효소의 활성에 영향을 미치는 요인

효소 X에 의한 반응에서 시간에 따라 ㉠의 총량이 증가하다가 일정해지므로 ㉠은 생성물이다. 추가한 ㉡이 X일 경우에는 기질이 없으므로 생성물의 총량이 더 증가하지 않는다. 따라서 ㉡은 기질이다.

㉢. ㉡은 기질이다.

㉣. X에 의한 반응의 활성화 에너지는 기질(㉡)을 추가하더라도 변하지 않으므로 t_1 일 때와 t_2 일 때가 같다.

㉤. X에 의한 반응 속도는 그래프의 기울기에 비례하므로 t_1 일 때가 t_3 일 때보다 빠르다.

16 효소와 저해제

기질은 효소 E의 활성 부위에 결합하고, 저해제 X는 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하므로 X는 비경쟁적 저해제이다. ㉠은 X가 없을 때이고, ㉡은 X가 있을 때이다.

㉢. 비경쟁적 저해제 X가 E에 결합하면 E의 활성 부위 구조가 변형되어 기질이 결합할 수 없게 된다. 따라서 E의 활성 부위 구조는 X가 E에 결합했을 때와 결합하지 않았을 때가 서로 다르다.

㉣. 기질 농도가 증가하더라도 초기 반응 속도는 ㉠일 때가 ㉡일 때보다 느리므로 ㉡이 X가 있을 때이고, ㉠은 X가 없을 때이다.

㉤. X는 비경쟁적 저해제이므로 기질 농도가 증가하더라도 X에 의한 저해 효과가 감소하지 않는다.

3 점 수능 테스트

본문 43~47쪽

- 01 ⑤ 02 ④ 03 ④ 04 ① 05 ① 06 ② 07 ②
08 ⑤ 09 ③ 10 ④

01 세포막의 특성

형광 물질을 제거한 후 A가 B보다 ㉠에서의 형광 세기의 회복이 더 빠르다. 따라서 A가 세포막의 유동성을 증가시키는 물질인 X를 처리한 세포이고, B는 X를 처리하지 않은 세포이다.

- ㉠. ㉠에 있는 막단백질의 형광 물질을 제거한 후 시간이 지남에 따라 ㉠에서의 형광 세기가 회복되고 있으므로 유동성을 가지고 움직이는 막단백질이 ㉠에 있다.
㉡. X는 콜레스테롤의 합성을 억제하여 세포막의 유동성을 증가시키는 물질인데 X의 처리 여부가 사람 세포인 A와 B에서 세포막의 유동성에 영향을 미쳤으므로 사람 세포의 세포막에는 콜레스테롤이 있다.
㉢. A는 X를 처리한 세포이다.

02 식물 세포의 삼투

- ✗. 식물 세포 A를 저장액에 넣은 후 부피가 가장 클 때인 최대 팽윤 상태(V_3)가 되었을 때 A의 삼투압과 팽압의 크기가 같고, 흡수력은 0이 된다. 따라서 ㉠은 흡수력이다.
㉡. 세포의 부피가 1.0보다 작은 V_1 일 때는 팽압이 0이므로 삼투압과 흡수력이 같고, 세포의 부피가 1.0보다 큰 V_2 일 때는 팽압이 0보다 크므로 흡수력이 삼투압보다 작다. 따라서 A의 $\frac{\text{흡수력}}{\text{삼투압}}$ 은 V_1 일 때가 V_2 일 때보다 크다.
㉢. V_3 일 때는 최대 팽윤 상태로 A에서 세포막을 통한 물의 유입량과 유출량은 같아서 순이동이 없으므로 세포의 부피가 더 이상 커지지 않는다.

03 세포막을 통한 물질 출입

- ✗. 적혈구에서 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프에 의해 Na^+ 은 세포 안에서 밖으로, K^+ 은 세포 밖에서 안으로 능동 수송된다. 따라서 II가 세포질이고, I은 혈장이다.
㉠. 사람에서 Na^+ 의 농도는 혈장(I)에서가 적혈구의 세포질(II)에서보다 높게, K^+ 의 농도는 적혈구의 세포질(II)에서가 혈장(I)에서보다 높게 유지된다.
㉡. (나)에서 ATP가 분해되어 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프의 인산화가 일어나 운반체 단백질의 구조가 변형된다.

04 세포막을 통한 물질 출입

- ㉠. (나)에 제시된 세포 안팎의 농도 차이에 따른 각 물질의 세포

막을 통한 이동 속도 그래프에서 X의 이동 속도는 증가하다가 일정해지므로 X의 이동에 막단백질이 이용된다.

- ✗. (가)에서 ATP 농도에 따른 각 물질의 세포막을 통한 이동 속도에 변화가 없으므로 X의 이동과 Y의 이동에 모두 ATP가 사용되지 않는다.
✗. 인슐린이 세포 밖으로 이동하는 방식은 세포의 배출에 해당하므로 막단백질을 통해 이동하는 X의 이동 방식과 다르다.

05 세포막을 통한 물질 출입

- ㉠. I에서 시간이 지남에 따라 ㉠의 세포 안 농도가 감소하므로 ㉠은 세포 안에서 밖으로 이동하였고, ㉡의 세포 안 농도는 증가하므로 ㉡은 세포 밖에서 안으로 이동하였다.
✗. 그림에서 시간이 지남에 따라 ㉠의 세포 안 농도는 C_1 과 같아져 평형을 이루므로 ㉠의 이동 방식은 촉진 확산이고, ㉡의 세포 안 농도는 평형 상태를 벗어나 C_2 보다 커졌으므로 ㉡의 이동 방식은 능동 수송이다.
✗. ㉡의 이동 방식인 능동 수송은 표의 특징 3개를 모두 가진다.

06 효소의 기능과 특성

- 시험관 I에서가 II에서보다 시간에 따른 생성물의 농도가 더 빠르게 증가하였으므로 물질 A를 가열한 I에서는 효소 X가 제대로 기능하였고, 물질 B를 가열한 II에서는 X가 제대로 기능하지 못하였음을 알 수 있다.
✗. A는 가열에 의해 변성되지 않았으므로 비단백질 성분이다.
✗. B는 가열에 의해 변성되었으므로 구성 성분이 단백질인 주효소이다.
㉡. 반응 속도는 생성물 농도 변화 그래프에서 기울기에 비례하므로 t_1 일 때 반응 속도는 II에서가 I에서보다 빠르다.

07 효소의 작용

- ✗. (나)에서 ㉠과 ㉡이 함께 있을 때와 ㉠만 있을 때 모두 반응이 일어났고, 기질이 없으면 반응이 일어날 수 없으므로 ㉠이 기질이고, ㉡은 저해제이다.
㉠. (나)에서 기질 농도가 S_1 일 때 초기 반응 속도는 I일 때가 II일 때보다 빠르므로 I은 기질(㉠)만 있을 때이고, II는 기질(㉠)과 저해제(㉡)가 함께 있을 때이다.
✗. I에서 반응이 완전히 끝난 후 생성물의 총량은 기질 농도에 비례하므로 S_1 일 때가 S_2 일 때보다 적다.

08 효소와 저해제

- ㉠. 기질 농도가 S_2 일 때의 초기 반응 속도는 ㉡이 있을 때와 저해제가 없을 때가 같으므로 ㉡에 의한 저해 효과가 나타나지 않았

다. 따라서 ㉠은 경쟁적 저해제이고, ㉡은 비경쟁적 저해제이다.
 ㉢. 경쟁적 저해제(㉢)는 효소 E의 활성 부위에 결합한다.
 ㉣. 기질과 결합한 E의 수는 초기 반응 속도에 비례하므로 기질 농도가 S₁일 때 기질과 결합한 E의 수는 ㉠이 있을 때가 ㉡이 있을 때보다 작다. 따라서 기질 농도가 S₁일 때 일정량의 E에 대해 $\frac{\text{기질과 결합하지 않은 E의 수}}{\text{기질과 결합한 E의 수}}$ 는 ㉠이 있을 때가 ㉡이 있을 때보다 크다.

09 효소의 활성에 영향을 미치는 요인

㉠. 감자즙(㉠)에는 과산화 수소 분해 효소인 카탈레이스가 있다.
 ✕. 카탈레이스에 의해 과산화 수소가 분해되어 생성된 O₂ 기포에 의해 거름종이 조각이 떠오른다. 카탈레이스의 활성이 커서 반응이 빠르게 일어날수록 거름종이 조각이 떠오를 때까지 걸린 시간이 짧으므로 과산화 수소 분해 효소의 활성은 I의 용액에서가 II의 용액에서보다 크다.
 ㉢. III에서 거름종이 조각이 떠올랐으므로 과산화 수소가 분해되어 O₂가 생성되었다.

10 효소와 저해제

㉠가 2이면 I과 III의 조건이 같아지므로 ㉠는 I이다. 효소 X의 농도가 2이고 저해제 ㉠과 ㉡이 모두 없는 III이 A이다. B는 A와 X의 농도가 같고 경쟁적 저해제가 있을 때이므로 B는 II이고, ㉠는 2이며, ㉡은 경쟁적 저해제이다. 따라서 ㉠은 비경쟁적 저해제이다. X의 농도가 1이고 ㉠과 ㉡이 모두 없는 I이 C이고, X의 농도가 1이고 비경쟁적 저해제(㉢)가 있는 IV가 D이다.
 ㉠. ㉠는 I이다.
 ✕. ㉠은 비경쟁적 저해제이다.
 ㉢. S₁일 때 $\frac{\text{기질과 결합한 X의 수}}{\text{X의 총수}}$ 는 I(C)에서와 III(A)에서 모두 $\frac{1}{2}$ 이다.

04 세포 호흡과 발효

2 수능 테스트 본문 60~63쪽

01 ㉠ 02 ㉠ 03 ㉣ 04 ㉣ 05 ㉢ 06 ㉢ 07 ㉣
 08 ㉠ 09 ㉠ 10 ㉡ 11 ㉠ 12 ㉠ 13 ㉠ 14 ㉠
 15 ㉡ 16 ㉠

01 미토콘드리아의 구조와 피루브산의 산화
 A는 막 사이 공간, B는 미토콘드리아 기질이다. (나)는 피루브산의 산화 과정이다.
 ㉠. 미토콘드리아의 외막과 내막 사이의 공간인 A는 막 사이 공간이다.
 ㉢. (나)에서 CO₂가 생성된다.
 ㉢. (나)는 미토콘드리아 기질(B)에서 일어난다.

02 해당 과정에서의 물질 출입
 ㉠은 ATP, ㉡은 ADP, ㉢은 NAD⁺, ㉣은 NADH이다.
 ㉠. ATP(㉠)는 ADP(㉡)보다 인산 결합이 많으므로 1분자당 에너지량은 ㉠(ATP)이 ㉡(ADP)보다 많다.
 ✕. ㉢(NAD⁺)이 환원되어 NADH(㉣)가 된다.
 ㉢. 해당 과정에서 1분자의 포도당이 1분자의 과당 2인산으로 전환될 때 2분자의 ATP(㉠)가 소모되고, 1분자의 과당 2인산이 2분자의 피루브산이 될 때 2분자의 NADH(㉣)와 4분자의 ATP(㉠)가 생성된다. 따라서 순생성되는 ATP(㉠)의 분자 수와 NADH(㉣)의 분자 수는 각각 2로 같다.

03 해당 과정에서의 에너지 변화
 I에서 1분자의 포도당이 1분자의 과당 2인산으로 전환되고, II에서 1분자의 과당 2인산이 2분자의 피루브산으로 분해된다.
 ✕. 해당 과정에서는 산소가 이용되지 않는다.
 ㉢. II에서 기질 수준 인산화에 의해 ATP가 합성된다.
 ㉢. 해당 과정(I, II)은 세포질에서 일어난다.

04 TCA 회로
 ㉠은 옥살아세트산, ㉡은 시트르산, ㉢은 5탄소 화합물이다.
 ✕. 1분자당 탄소 수는 ㉠(옥살아세트산, C₄)이 ㉡(시트르산, C₆)보다 작다.
 ㉢. I에서 CO₂가 생성되지 않으므로 I은 옥살아세트산이 시트르산으로 전환되는 과정이다. 따라서 ㉢은 5탄소 화합물이다.

㉔. 5탄소 화합물(㉔)이 옥살아세트산(㉕)으로 전환되는 과정 Ⅲ에서 CO₂, ATP, NADH, FADH₂가 모두 생성된다.

05 기질 수준 인산화

(가)는 기질의 인산기를 이용하여 ATP를 생성하는 기질 수준 인산화이다. I 은 세포질에서 일어나는 해당 과정이고, II 는 미토콘드리아 기질에서 일어나는 피루브산의 산화이며, III 은 미토콘드리아 기질에서 일어나는 TCA 회로의 일부이다.

㉑. 기질에서 분리한 인산기를 ADP와 결합시켜 ATP를 생성하는 (가)는 기질 수준 인산화이다.

✕. 포도당을 이용한 세포 호흡에서 기질 수준 인산화(가)는 해당 과정(I)과 TCA 회로의 일부(III)에서 모두 일어난다.

㉒. I ~ III에서 모두 NADH가 생성된다.

06 화학 삼투와 ATP 합성

(가)는 미토콘드리아 기질, (나)는 막 사이 공간이다. 세포 호흡이 활발하게 일어나는 미토콘드리아에서는 고에너지 전자가 전자 전달계를 통해 이동하면서 미토콘드리아 기질의 H⁺이 막 사이 공간으로 능동 수송되어 미토콘드리아의 내막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성된다. 그 결과 ATP 합성 효소를 통해 H⁺이 막 사이 공간에서 미토콘드리아 기질로 촉진 확산되는 화학 삼투가 일어나 ATP가 합성된다.

㉑. (가)는 미토콘드리아 기질이다. 미토콘드리아의 DNA는 미토콘드리아 기질(가)에 있다.

✕. ATP의 합성이 활발한 미토콘드리아에서 ATP 합성 효소(㉑)를 통한 H⁺의 이동은 pH가 낮은(H⁺ 농도가 높은) 막 사이 공간(나)에서 pH가 높은(H⁺ 농도가 낮은) 미토콘드리아 기질(가)로 일어난다. 따라서 pH는 미토콘드리아 기질(가)에서가 막 사이 공간(나)에서보다 높다.

㉒. ATP 합성 효소(㉑)를 통해 H⁺이 막 사이 공간(나)에서 미토콘드리아 기질(가)로 확산되는 화학 삼투가 일어난다.

07 전자 전달계

㉑은 NADH, ㉒은 FADH₂, ㉓은 O₂이다.

㉑. ㉑은 NADH이다.

㉒. NADH(㉑) 1분자와 FADH₂(㉒) 1분자로부터 각각 전자 전달계를 거쳐서 1/2 O₂(㉓)로 전달되는 전자의 개수는 2개로 서로 같다.

✕. 사람의 근육 세포에서 O₂(㉓)의 공급이 중단되면 미토콘드리아에서 일어나는 피루브산의 산화, TCA 회로, 산화적 인산화는 중단되지만, 세포질에서 젖산 발효가 일어나므로 해당 과정은 일어난다.

08 TCA 회로

㉑은 5탄소 화합물, ㉒은 옥살아세트산이다.

✕. 옥살아세트산(㉒)이 시트르산으로 전환될 때 아세틸 CoA가 이용되므로 TCA 회로는 ㉒ 방향으로 진행된다.

㉑. 1분자당 탄소 수는 5탄소 화합물(㉑)이 5이고, 옥살아세트산(㉒)이 4이다.

㉑. 과정 I에서 CO₂, ATP, NADH, FADH₂가 생성되므로 탈탄산 효소(부가 제거 효소), 인산기 전이 효소(전이 효소), 탈수소 효소(산화 환원 효소)가 모두 관여한다.

09 호흡 기질에 따른 세포 호흡 경로

A는 탄수화물, B는 단백질이다.

㉑. 단백질(B)은 아미노산으로 분해되어 세포 호흡에 이용된다.

✕. 탄수화물(A)의 호흡률은 1이고, 단백질(B)의 호흡률은 약 0.8이다.

✕. 해당 과정에는 탈수소 효소와 전이 효소가 관여하며, 탈탄산 효소는 관여하지 않는다.

10 포도당을 이용한 세포 호흡의 생성물

해당 과정에서는 NADH가 생성되고, 피루브산의 산화에서는 CO₂와 NADH가 생성되며, TCA 회로에서는 CO₂, NADH, FADH₂가 모두 생성된다. 따라서 I ~ III에서 모두 생성되는 ㉑은 NADH이고, ㉑~㉓이 모두 생성되는 II는 TCA 회로이다. TCA 회로에서만 생성되는 ㉑은 FADH₂이므로 ㉒은 CO₂이다. NADH(㉑)와 CO₂(㉒)가 생성되는 III은 피루브산의 산화이므로 I은 해당 과정이다. 이를 바탕으로 표를 정리하면 다음과 같다.

구분	분자 수(상댓값)		
	㉑ (FADH ₂)	㉒ (NADH)	㉓ (CO ₂)
I (해당 과정)	0	1	0
II (TCA 회로)	1	③(3)	?(2)
III (피루브산의 산화)	0	1	1

✕. 해당 과정(I)에서 2분자의 NADH가 생성되고, TCA 회로(II)에서는 6분자의 NADH가 생성되므로 ③은 3이다.

㉑. 해당 과정(I)은 세포질에서 일어나고, TCA 회로(II)와 피루브산의 산화(III)는 모두 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

✕. 산화적 인산화를 통해 1분자의 FADH₂(㉑)로부터 생성되는 ATP 양보다 1분자의 NADH(㉒)로부터 생성되는 ATP 양이 많다.

11 세포 호흡 저해제

(가)는 막 사이 공간, (나)는 미토콘드리아 기질이다. 전자 전달계를 통해 이동하는 고에너지 전자는 (나)에서 (가)로 H^+ 을 능동 수송시키는 데 필요한 에너지를 공급하고 최종 전자 수용체인 산소를 환원시켜 물을 생성하는 데 이용된다.

✗. I은 ATP 합성 효소를 통한 H^+ 의 이동을 차단하므로 (가)의 pH는 I을 처리하기 전이 I을 처리한 후보다 높다.

Ⓒ. II를 처리하면 H_2O 의 생성에 필요한 산소가 환원되지 않으므로 II를 처리하기 전이 II를 처리한 후보다 단위 시간당 생성되는 H_2O 의 양이 많다.

Ⓓ. II는 전자 전달계를 통한 전자의 흐름을 차단하여 내막을 경계로 한 H^+ 의 농도 기울기 형성을 저해한다. 그 결과 ATP 합성 효소를 통해 이동하는 H^+ 의 양이 감소하게 되므로 ATP 합성이 저해된다. 따라서 ATP 합성 효소에 의해 단위 시간당 생성되는 ATP 양은 II를 처리한 후가 II를 처리하기 전보다 적다.

12 효모의 세포 호흡과 발효

I은 알코올 발효, II는 피루브산의 산화이다.

Ⓐ. 효모에서 알코올 발효(I)는 세포질에서 일어난다.

Ⓒ. 효모의 미토콘드리아에서 피루브산의 산화(II)가 일어나려면 산소가 필요하다.

Ⓔ. I과 II에서 모두 CO_2 가 생성된다.

13 발효와 산소 호흡

산소를 거의 이용하지 않는 발효(가)에서는 포도당이 불완전 분해되어 소량의 ATP와 분해 산물(에탄올, 젖산 등)이 생성되고, 산소를 이용한 산소 호흡(나)에서는 포도당이 완전 분해되어 다량의 ATP와 CO_2 , H_2O 이 생성된다.

Ⓐ. (가)는 포도당의 불완전 분해가 일어나는 발효이다.

✗. 사람에서는 포도당이 젖산으로 분해되는 젖산 발효가 일어나며, 에탄올이 생성되는 알코올 발효는 일어나지 않는다.

✗. 포도당이 발효(가)에서는 불완전 분해되지만, 산소 호흡(나)에서는 완전 분해되므로 1분자의 포도당으로부터 생성되는 ATP 양은 산소 호흡(나)에서가 발효(가)에서보다 많다.

14 발효와 산소 호흡

시간 경과에 따라 ㉠의 농도는 감소하고, ㉡의 농도는 산소가 없을 때 증가하므로 ㉠은 포도당, ㉡은 젖산이다.

Ⓐ. 젖산은 포도당을 이용한 발효의 결과 생성되는 물질이므로 농도가 감소하는 ㉠은 포도당이다.

✗. 1분자의 포도당(㉠)이 젖산 발효를 거쳐 분해되면 2분자의 젖산(㉡)이 생성된다.

Ⓒ. X에서 포도당을 이용한 해당 과정은 산소의 유무에 관계없이 세포질에서 일어나므로 t_1 일 때와 t_2 일 때 모두 해당 과정이 일어난다.

15 젖산 발효와 알코올 발효

발효 과정에서 CO_2 가 생성되지 않는 (가)는 젖산 발효이고, CO_2 가 생성되는 (나)는 알코올 발효이다. 따라서 ㉠은 젖산, ㉡은 에탄올이다.

✗. 발효 과정에서 CO_2 가 생성되는 (나)는 알코올 발효이므로 ㉡이 에탄올, ㉠은 젖산이다.

Ⓒ. (나)에서는 탈탄산 반응이 일어나 CO_2 가 방출되므로 1분자당 탄소 수는 젖산(㉠)이 에탄올(㉡)보다 크다.

✗. NADH가 산화되면 NAD^+ 가 생성된다. NADH로부터 전자를 받아 환원되는 물질이 (가)에서는 피루브산이지만, (나)에서는 아세트알데하이드이다.

16 발효와 산소 호흡

Ⓐ. 젖산 발효와 알코올 발효에서는 모두 해당 과정이 일어난다.

Ⓑ. 산소 호흡에서는 포도당의 완전 분해가 일어나 젖산, 에탄올과 같은 분해 산물 대신에 CO_2 와 H_2O 이 생성된다.

Ⓒ. 사람의 근육 세포에서 산소가 충분한 환경에서는 산소 호흡이 일어나고, 산소가 부족한 환경에서는 젖산을 생성하는 젖산 발효가 일어난다.

3 점 수능 테스트

본문 64~69쪽

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

01 미토콘드리아와 세포 호흡

- ㉠은 미토콘드리아 기질, ㉡은 세포질이다. I은 해당 과정의 일부이고, II는 피루브산의 산화이며, III은 TCA 회로의 일부이다.
㉢. 미토콘드리아 기질(㉠)에서 아세틸 CoA가 TCA 회로를 거쳐 분해되면 FADH₂가 생성된다.
X. I은 세포질(㉡)에서 일어나고, II와 III은 모두 미토콘드리아 기질(㉠)에서 일어난다.
㉣. I과 III에서 모두 기질 수준 인산화가 일어난다.

02 TCA 회로

- TCA 회로에서 물질의 전환은 시트르산 → 5탄소 화합물 → 4탄소 화합물 → 옥살아세트산 순으로 일어난다. 시트르산이 5탄소 화합물로 전환될 때는 CO₂, NADH가 생성되고, 5탄소 화합물이 옥살아세트산으로 전환될 때는 CO₂, ATP, NADH, FADH₂가 생성되므로 생성되는 물질의 가짓수가 2인 I은 시트르산(가)이 5탄소 화합물(다)로 전환되는 과정이고, II는 5탄소 화합물(다)이 옥살아세트산(나)으로 전환되는 과정이다.
X. (가)는 시트르산이고, (다)는 5탄소 화합물이며, (나)는 옥살아세트산이므로 TCA 회로는 ㉠ 방향으로 진행된다.
㉢. II는 5탄소 화합물(다)이 옥살아세트산(나)으로 전환되는 과정으로 CO₂, ATP, NADH, FADH₂가 생성된다. 이때 ATP는 기질 수준 인산화에 의해 생성된다.
X. 1분자당 탄소 수는 시트르산(가)이 6, 5탄소 화합물(다)이 5, 옥살아세트산(나)이 4이다.

03 포도당을 이용한 세포 호흡

- 해당 과정에서 ATP와 NADH가 생성되고, 피루브산의 산화에서 CO₂와 NADH가 생성되므로 ㉠은 NADH, ㉡은 ATP, ㉢은 CO₂, ㉣은 FADH₂이다.
㉢. 해당 과정과 TCA 회로에서 생성되는 ㉡은 기질 수준 인산화에 의해 생성되는 ATP이다.
X. 산화적 인산화를 통해 1분자의 FADH₂(㉣)로부터 생성되는 ATP 양보다 1분자의 NADH(㉠)로부터 생성되는 ATP 양이 많다.
X. 1분자의 포도당이 세포 호흡에 이용될 때 피루브산의 산화(I)와 TCA 회로(II)에서 NADH(㉠) 8분자와 CO₂(㉢) 6분자가 생성된다. 따라서

과정 I과 II에서 생성되는 ㉠의 분자 수를 더한 값은 4이다.
과정 I과 II에서 생성되는 ㉢의 분자 수를 더한 값은 3이다.

04 전자 전달계

- I은 막 사이 공간, II는 미토콘드리아 기질이고, ㉠은 NADH, ㉡은 FADH₂, ㉢은 H₂O이다.
㉢. 피루브산의 산화에서는 CO₂와 NADH(㉠)가 생성된다.
㉣. NADH(㉠)와 FADH₂(㉡)로부터 방출된 고에너지 전자는 전자 전달계로 전달되어 미토콘드리아 기질(II)로부터 막 사이 공간(I)으로 H⁺의 농도 수송에 필요한 에너지를 공급하고, 최종적으로 산소를 환원시킨다. 그 결과 내막을 경계로 형성된 H⁺의 농도 기울기에 따라 ATP 합성 효소를 통해 H⁺이 막 사이 공간(I)에서 미토콘드리아 기질(II)로 축적 확산되면서 ATP가 합성된다.
X. 1분자의 H₂O(㉢)이 생성되기 위해서는 1분자의 NADH(㉠) 또는 1분자의 FADH₂(㉡)로부터 방출된 2개의 전자가 전자 전달계를 통해 1/2 O₂로 전달되어야 한다.

05 화학 삼투

- 미토콘드리아의 내막을 경계로 H⁺의 농도가 높은(pH가 낮은) 막 사이 공간으로부터 H⁺의 농도가 낮은(pH가 높은) 미토콘드리아 기질로 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산되면서 ATP가 합성된다.
㉢. II에서만 ATP가 합성되었으므로 II는 pH가 높은 용액에 넣었다가 pH가 낮은 용액으로 옮긴 미토콘드리아이다. 따라서 ㉠ < ㉡이다.
X. TCA 회로 반응의 물질이 고갈된 미토콘드리아를 이용하였으므로 NADH, FADH₂가 생성되지 않는다. 따라서 (라)의 II에서 전자 전달계를 통한 전자의 이동은 일어나지 않았다.
X. 미토콘드리아에서는 해당 과정이 일어나지 않는다. 따라서 (라)의 I에 포도당을 추가로 공급하더라도 ATP가 합성되지 않는다.

06 세포 호흡 저해제

- X를 처리하면 미토콘드리아 내막을 경계로 H⁺의 농도 차이가 감소하여 ATP의 합성이 저해되므로 ㉠은 O₂, ㉡은 ATP이고, ㉢은 막 사이 공간, ㉣은 미토콘드리아 기질이다.
㉢. ㉠은 X를 처리하였을 때 계속 증가하므로 O₂이다.
X. 미토콘드리아의 DNA는 미토콘드리아 기질(㉣)에 있다.
㉣. X를 처리하면 H⁺의 농도가 높은 막 사이 공간(㉢)에서 H⁺의 농도가 낮은 미토콘드리아 기질(㉣)로 H⁺이 새어 나가므로 막 사이 공간(㉢)의 pH는 X를 처리하기 전이 처리한 후보다 낮고, 미토콘드리아 기질(㉣)의 pH는 X를 처리하기 전이 처리한 후보다

높다. 따라서 $\frac{\text{㉞의 pH}}{\text{㉠의 pH}}$ 는 X를 처리하기 전이 처리한 후보다 크다.

07 알코올 발효

1분자당 탄소 수는 포도당이 6, 피루브산이 3, 아세트알데하이드가 2, 에탄올이 2이다. A와 D는 반응 경로의 끝에 위치하므로 각각 포도당과 에탄올 중 하나인데, A와 C의 1분자당 탄소 수를 더한 값(㉠)이 B와 D의 1분자당 탄소 수를 더한 값(㉡)보다 크므로 A는 포도당, B는 피루브산, C는 아세트알데하이드, D는 에탄올이다. ㉠은 $8(=6+2)$ 이고, ㉡은 $5(=3+2)$ 이다.

✗. 알코올 발효에서 최종적으로 전자를 받아 환원되는 물질은 아세트알데하이드(C)이다.

㉢. I은 아세트알데하이드가 에탄올로 전환되는 과정으로 산화 환원 효소가 관여하여 NAD^+ 가 재생성된다.

㉣. 1분자당 수소 수는 포도당(A)이 12, 아세트알데하이드(C)가 4, 에탄올(D)이 6이다. 따라서 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 포도당(A)이 2, 아세트알데하이드(C)가 2, 에탄올(D)이 3이므로 $D > A = C$ 이다.

08 알코올 발효

발생한 CO_2 총량은 II와 IV에서 같으므로 ㉢은 ATP이고, 발생한 CO_2 총량은 I에서가 III에서보다 적으므로 ㉠이 포도당이고, ㉡이 과당 2인산이다.

㉠. II에는 ㉢과 ㉡이 각각 2만큼, IV에는 ㉠과 ㉡이 각각 1만큼 첨가되었다. 만일 ㉠과 ㉡ 중 하나가 ATP라면 해당 과정을 통해 생성되는 피루브산의 분자 수가 서로 다르므로 발생한 CO_2 총량이 같을 수 없다. 따라서 ㉡이 ATP이다.

✗. I에서는 포도당(㉠)만 첨가되었다. 해당 과정이 일어나려면 ATP가 필요한데, I에는 ATP가 없으므로 해당 과정이 일어나지 않아 알코올 발효가 일어나지 않는다.

㉢. II는 ATP(㉢)와 과당 2인산(㉡)이 각각 2만큼, IV는 포도당(㉠)과 과당 2인산(㉡)이 각각 1만큼 첨가되었다. 포도당(㉠) 1분자로부터 순생성되는 ATP의 분자 수는 2이고, 과당 2인산(㉡)으로부터 순생성되는 ATP의 분자 수는 4이므로 시험관 내 ATP의 양은 II에서가 10, IV에서가 6이다.

09 알코올 발효와 젖산 발효

(가)에서 피루브산이 ㉠으로 전환될 때는 NAD^+ 만 생성되고, 피루브산이 ㉡으로 전환될 때는 CO_2 와 NAD^+ 가 생성되었으므로 ㉠은 젖산, ㉡은 에탄올이다.

㉠. 사람의 체내에서는 알코올 발효는 일어나지 않으므로 X는 젖산(㉠)이다.

㉢. 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 젖산이 $2\left(=\frac{6}{3}\right)$, 에탄올이 $3\left(=\frac{6}{2}\right)$ 이므로 에탄올(㉡)이 젖산(㉠)보다 크다.

㉣. 포도당 1분자가 산소 호흡에 이용될 때는 완전 분해되므로 최대 32분자의 ATP가 생성되지만, 젖산 발효에 이용될 때는 불완전 분해되므로 최대 2분자의 ATP가 생성된다. 따라서 포도당 1분자당 생성되는 ATP의 분자 수는 젖산의 농도 변화가 없는 운동 전일 때가 젖산 농도가 크게 증가하는 운동 중일 때보다 많다.

10 효모의 세포 호흡

I은 해당 과정으로 NADH가 생성되고, II는 피루브산의 산화 과정으로 CO_2 와 NADH가 모두 생성된다. III은 아세트알데하이드의 환원 과정으로 NAD^+ 가 생성된다. CO_2 , NAD^+ , NADH 중 2가지가 생성되는 (다)는 II이고, B는 NAD^+ 이다. 이를 바탕으로 표를 완성하면 다음과 같다.

구분	A (NADH)	B (NAD^+)	C (CO_2)
(가)I	○	?(×)	×
(나)III	×	○	?(×)
(다)II	○	?(×)	○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

✗. (나)는 III이다.

㉢. I에서 NADH(A)가 생성되므로 NAD^+ (B)는 탈수소 효소의 조효소로 이용된다.

✗. 산소가 없을 때 효모에서 피루브산의 산화 과정인 II(다)는 일어나지 않고, 해당 과정인 I(가)과 아세트알데하이드의 환원 과정인 III(나)이 일어난다.

11 세포 호흡 저해제

전자 전달계에서 전자 전달을 차단하는 저해제인 X를 처리하면 최종 전자 수용체인 O_2 의 환원에 필요한 NADH와 FADH_2 로부터의 전자 전달이 억제되므로 O_2 의 소모가 일어나지 않게 된다. 반면 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하는 저해제인 Y를 처리하면 전자 전달계를 통한 전자의 이동이 활발하게 일어나 O_2 의 소모가 증가한다.

㉢. t_1 일 때 X와 ADP를 첨가한 시험관은 O_2 의 소모가 일어나지 않는 A이다.

㉣. B의 구간 II에서 ATP 합성이 산화적 인산화에 의해 일어난다.

✗. Y를 처리하기 전보다 Y를 처리한 후에 소모되는 O_2 의 양이 더 많으므로 C에서 단위 시간당 전자 전달계를 통해 이동하는 전자의 수는 구간 I에서보다 구간 II에서가 더 많다.

12 호흡 기질에 따른 세포 호흡 경로

지방은 지방산과 글리세롤로 분해되어 세포 호흡에 이용된다. 지방산은 아세틸 CoA로 전환되고, 글리세롤은 해당 과정의 중간 산물을 거쳐 피루브산으로 전환된다. 따라서 ㉠은 글리세롤, ㉡은 지방산, ㉢은 아세틸 CoA이고, A는 지방, B는 탄수화물이다.

- ✗. 호흡률은 탄수화물(B)이 1이고, 지방(A)이 약 0.7이다.
- . 해당 과정에 이용되는 ㉠은 글리세롤이다.
- ✗. 1분자의 아세틸 CoA가 TCA 회로를 통해 완전 분해될 때, CO₂는 2분자, NADH는 3분자가 생성된다.

05 광합성

2 점 수능 테스트

본문 80~83쪽

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

01 엽록체의 구조

- A는 스트로마, B는 틸라코이드 막, C는 틸라코이드 내부이다.
 ○. 스트로마(A)에서 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다.
 ✗. 틸라코이드 막(B)은 인지질 2중층의 단일막 구조이다.
 ✗. 엽록체의 DNA는 스트로마(A)에 있다.

02 엽록체의 ATP 합성 실험

- . 틸라코이드 내부의 pH가 ④이고 틸라코이드 외부의 pH가 ⑥일 때 ATP가 생성되었으므로 ④는 ⑥보다 작다.
 ✗. (다)에서 H⁺ 농도가 높은 틸라코이드 내부에서 H⁺ 농도가 낮은 외부로 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 이동하는 방식은 축진 확산이다.
 ○. (다)에서 화학 삼투에 의한 인산화를 통해 ATP(㉠)가 생성되었다.

03 엽록체의 실험과 작용 스펙트럼

- . (가)에서 해감에 청자색광과 적색광을 비춘 부위에서 광합성을 통한 O₂의 발생량이 많아 세균 X가 많이 분포하였으므로 X는 호기성 세균이다.
 ✗. (나)에서 황색광(550~600 nm)에서 청색광(450~500 nm)에서보다 광합성 속도가 느리므로 O₂의 발생량이 적다.
 ○. 원생생물계에 속하는 녹조류인 해감과 식물계에 속하는 식물은 모두 진핵생물이며 엽록체를 가진다.

04 광계

- 은 보조 색소이고, ㉡은 반응 중심 색소이다.
 ✗. 보조 색소(㉠)는 빛에너지를 흡수해서 반응 중심 색소(㉡)로 모아주는 역할을 하며, 고에너지 전자를 방출하지는 않는다. 빛에너지를 흡수하여 고에너지 전자를 방출하는 것은 반응 중심 색소(㉡)이다.
 ✗. 카로티노이드에는 카로틴, 잔토필 등이 있으며, 반응 중심 색소(㉡)는 엽록소 a이다.

㉠ H_2O 의 광분해에 관여하는 광계 II의 반응 중심 색소인 P_{680} 은 파장이 680 nm인 빛을 파장이 700 nm인 빛보다 더 잘 흡수한다.

05 광합성 색소의 빛 흡수율

- ✕. 빛 ㉠을 비추었을 때가 빛 ㉡을 비추었을 때보다 엽록소에 빛이 많이 흡수되어 엽록소 추출액을 통과한 빛의 세기가 약하므로 ㉠은 청색광이고, ㉡은 녹색광이다.
- ✕. P는 녹색광(㉡)보다 청색광(㉠)을 광합성에 주로 이용한다.
- ㉢. 광합성을 하는 식물인 P에는 엽록소 a와 b가 모두 있다.

06 순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름

- (가)는 순환적 전자 흐름이고, (나)는 비순환적 전자 흐름이다. A와 C는 모두 광계 I이고, B는 광계 II이다.
- ㉠. 광계 I인 A와 C의 반응 중심 색소는 모두 P_{700} 이다.
- ㉡. 순환적 전자 흐름(가)을 통해서 $NADPH$ 가 생성되지 않고, ATP 가 생성된다.
- ㉢. 비순환적 전자 흐름(나)을 통해 H_2O 의 광분해가 일어나 O_2 가 틸라코이드에서 생성된다.

07 광합성의 전체 반응

- ✕. ㉠은 12, ㉡은 6이므로 ㉠+㉡=18이다.
- ㉢. 광합성 과정에서 $6CO_2$ (㉢)가 환원되어 1분자의 포도당($C_6H_{12}O_6$)이 생성된다.
- ㉠. 포도당($C_6H_{12}O_6$)이 생성될 때 명반응 산물인 ATP 와 $NADPH$ 의 화학 에너지가 이용된다.

08 명반응에 영향을 미치는 요인

- 빛을 공급했을 때 농도가 증가한 ㉠은 ATP , 농도가 감소한 ㉡은 ADP 이다.
- ✕. t_1 일 때 $\frac{ADP(㉡)의 농도}{ATP(㉠)의 농도}$ 는 1보다 작다.
- ㉢. 빛을 공급했을 때 엽록체에서 명반응 산물이 생성되므로 t_1 일 때 포도당이 생성된다.
- ✕. 광인산화는 엽록체의 명반응에서 $ADP(㉡)$ 가 전환되어 $ATP(㉠)$ 가 생성되는 것으로, t_2 일 때 $ADP(㉡)$ 가 광인산화에 의해 생성되는 것이 아니다.

09 엽록체의 ATP 합성 효소

- ✕. 틸라코이드 막의 ATP 합성 효소에서는 스트로마를 향한 부위에서 ATP 가 생성되므로 I은 틸라코이드 내부, II는 스트로마이다.

㉢. 스트로마(II)에서 캘빈 회로 반응이 일어난다.

㉢. 광합성 과정에서 H^+ 이 전자 전달계를 통해 스트로마(II)에서 틸라코이드 내부(I)로 이동하는 방식은 고에너지 전자의 에너지를 이용하는 능동 수송이다.

10 흡수 스펙트럼과 작용 스펙트럼

- ㉢. (가)에서 청색광과 적색광에 해당하는 파장의 빛을 주로 흡수하는 ㉢은 엽록소 a이고, ㉠은 카로티노이드이다.
- ㉢. 광계의 반응 중심 색소는 엽록소 a(㉢)이다.
- ㉢. 엽록체에서 광합성 속도가 빠를수록 O_2 생성량이 많으므로 (나)에서 단위 시간당 O_2 생성량은 파장이 450 nm인 빛에서가 파장이 550 nm인 빛에서보다 많다.

11 엽록체와 미토콘드리아의 구조 비교

- 엽록체의 리보솜이 있는 II가 스트로마, I이 틸라코이드 내부이다. 미토콘드리아의 리보솜이 있는 III은 미토콘드리아 기질이고, ㉢은 미토콘드리아 내막, ㉠은 미토콘드리아 외막이며, IV는 미토콘드리아의 막 사이 공간, V는 미토콘드리아 외부의 세포질이다.
- ✕. H_2O 의 광분해는 스트로마(II)에서 일어나지 않고, 틸라코이드에서 일어난다.
- ㉢. 틸라코이드 막과 미토콘드리아 내막(㉢)에 모두 ATP 합성 효소가 있다.
- ㉢. ATP 가 합성될 때 엽록체에서 틸라코이드 내부(I)의 pH는 스트로마(II)의 pH보다 낮고, 미토콘드리아에서 미토콘드리아 기질(III)의 pH는 막 사이 공간(IV)의 pH보다 높으므로 $\frac{I의 pH}{II의 pH}$ 는 $\frac{III의 pH}{IV의 pH}$ 보다 작다.

12 광합성 반응과 엽록체의 전자 전달계

- 엽록체에서 광합성이 일어날 때 전자 전달계를 통해 스트로마(I)에서 틸라코이드 내부(II)로 H^+ 이 능동 수송된다.
- ㉢. 캘빈 회로에서 (가)가 1회 일어날 때 1분자의 ATP 와 1분자의 $NADPH$ 가 사용된다.
- ✕. 명반응의 비순환적 전자 흐름에서 물의 광분해에 의해 2분자의 H_2O 이 분해되어 1분자의 O_2 가 생성될 때 (나)가 2회 일어난다.
- ㉢. H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 틸라코이드 내부(II)에서 스트로마(I)로 이동할 때 ATP 가 생성된다.

13 캘빈의 실험

- 캘빈 회로에서 $^{14}CO_2$ 가 고정된 후 ㉢ → ㉠ → ㉡ 순으로 생성되었으므로 ㉠은 PGAL, ㉡은 3PG, ㉢은 RuBP이고, C가 5초.

B가 90초, A가 5분이다.

- ✕. ㉠~㉣ 중 ¹⁴C가 포함된 최초 생성물은 3PG(㉡)이다.
- . 1분자당 인산기 수는 PGAL(㉠)과 3PG(㉡) 모두 1이다.
- ✕. 5분일 때 얻은 세포 추출물을 이용한 실험 결과(A)에서 2차 전개 시 PGAL(㉠)이 3PG(㉡)보다 멀리 전개되었다.

14 탄소 고정 반응

3분자의 CO₂가 고정될 때 3분자의 RuBP가 6분자의 3PG로 전환된다. 따라서 X는 PGAL, Y는 RuBP, Z는 3PG이다.

- . X는 PGAL이다.
- . 과정 II에서 RuBP가 3PG로 전환될 때 CO₂가 고정된다.
- ✕. 과정 I에서 5분자의 PGAL이 3분자의 RuBP로 전환될 때 3분자의 ATP가 사용되고, 과정 III에서 6분자의 3PG가 6분자의 PGAL로 전환될 때 6분자의 ATP와 6분자의 NADPH가 사용되므로 6분자의 NADP⁺가 생성된다. 따라서

$$\frac{\text{과정 I에서 사용되는 ATP의 분자 수}}{\text{과정 III에서 생성되는 NADP}^+\text{의 분자 수}} = \frac{1}{2} \text{이다.}$$

15 엽록체와 미토콘드리아의 전자 전달계 비교

- . ㉠에는 H₂O이 있으며, 비순환적 전자 흐름이 일어날 때 전자 공여체의 산화가 일어난다.
- ✕. 미토콘드리아에서 1분자의 NADH가 산화될 때 전자 전달계로 전달되는 전자의 수는 2이다.
- ✕. 미토콘드리아의 전자 전달계에서 최종 전자 수용체인 O₂(㉡)가 환원되어 H₂O이 생성되며, NAD⁺는 ㉠에 해당하지 않는다.

16 캘빈 회로와 TCA 회로 비교

㉠은 CO₂, ㉡은 ATP이다. 캘빈 회로에서 A는 3PG, B는 PGAL, C는 RuBP이다. TCA 회로에서 D는 옥살아세트산, E는 시트르산, F는 5탄소 화합물이다.

- . ㉡은 ATP이다.
- . 1분자당 $\frac{\text{옥살아세트산(D)의 탄소 수}}{3\text{PG(A)의 탄소 수} + \text{RuBP(C)의 탄소 수}} = \frac{4}{3+5} = \frac{1}{2}$ 이다.

✕. TCA 회로에서 옥살아세트산(D)이 아세틸 CoA와 결합하여 시트르산(E)으로 전환되는 단계에 NADH가 사용되지 않는다.

3 점 수능 테스트

본문 84~89쪽

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

01 흡수 스펙트럼과 광합성 색소 분리

- . I과 ㉡은 모두 엽록소 b이고, II와 ㉠은 모두 엽록소 a이다.
- . 광합성을 하는 식물에는 모두 엽록소 a(II)가 있다.
- ✕. 전개율은 $\frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$ 이므로 엽록소 a(㉠)의 전개율은 $\frac{Y}{X+Y}$ 이다.

02 루벤의 실험

- ✕. 광합성에서 발생한 O₂ 중 ¹⁸O₂의 비율은 전체 H₂O 중 H₂¹⁸O의 비율과 같음을 루벤이 실험을 통해 밝혀냈으므로 ㉠은 0.85, ㉡은 0.2이다.
- . (나)의 I과 II에서 모두 H₂O의 광분해가 일어나 O₂가 발생하였다.
- ✕. 루벤은 이 실험을 통해 광합성에서 발생한 O₂는 CO₂가 아니라 H₂O에서 유래하였음을 증명하였다.

03 벤슨의 실험

- . 구간 I에서는 CO₂만 있고, 구간 II에서는 빛만 있으며, 구간 III에서는 CO₂만 있고, 구간 IV에서는 빛과 CO₂가 모두 있다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 '○'이다.
- . II와 IV에서는 모두 빛이 있으므로 명반응 결과 O₂가 생성되었다.
- . III에서 포도당이 생성되었으므로 탄소 고정 반응에서 NADPH의 산화가 일어났다.

04 엽록체의 명반응 실험

- 청색의 X만 첨가한 시험관 A는 대조군이며 엽록체를 넣지 않았으므로 용액의 색이 변하지 않는다. 엽록체만 넣은 시험관 C에서는 전자 전달계의 최종 전자 수용체가 부족해서 O₂ 발생량이 적다. 엽록체와 청색의 X를 모두 넣은 시험관 B에서는 청색의 X가 비순환적 전자 흐름의 최종 전자 수용체로 작용하여 환원되면서 무색으로 변하였고, 명반응이 활발하게 일어나 O₂ 발생량이 많다.
- ✕. 광합성의 명반응에서 청색의 X(㉠)와 같은 역할을 하는 물질은 NADP⁺이다.
 - . 비순환적 전자 흐름은 O₂ 발생량이 많은 B에서가 O₂ 발생량이 적은 C에서보다 더 활발하게 일어났다.

㉔ B와 C에서 모두 O_2 가 발생하였으므로 명반응을 통해 ATP가 생성되었다.

05 명반응의 전자 전달계

㉑ (가)는 광계 II, (나)는 광계 I이다.

㉒ 물질 X를 처리하면 ㉑에서의 전자 전달이 차단되어 광계 I(나)에서 산화된 P_{700} 의 비율이 증가한다. 따라서 $\frac{\text{산화된 } P_{700} \text{의 수}}{P_{700} \text{의 총수}}$

는 X를 처리한 후가 처리하기 전보다 크다.

㉓ 물질 Y를 처리하면 ㉑에서 전자를 가로채 O_2 를 환원시키므로 $NADP^+$ 가 환원되지 못하지만 H_2O 의 광분해는 일어나므로 O_2 가 생성된다.

06 광합성에 영향을 미치는 요인

㉑ ㉑이 그라나이고 ㉒이 스트로마의 성분일 경우, 빛이 있는 곳에 스트로마의 성분을 둔 플라스크 III과 빛이 없는 곳에 그라나를 둔 플라스크 II의 혼합 용액(II + III)에서 포도당이 생성될 수 없는데 (라)의 실험 결과에서 포도당이 생성되었으므로 ㉑은 스트로마의 성분, ㉒은 그라나이다.

㉓ 빛이 있는 곳에 스트로마의 성분을 둔 플라스크 I과 빛이 없는 곳에 그라나를 둔 플라스크 IV의 혼합 용액(I + IV)에서 포도당이 생성될 수 없으므로 ㉓는 '×'이다.

㉔ 빛이 없는 곳에 스트로마의 성분을 둔 (다)의 II에는 명반응 산물이 없으므로 암반응이 일어나지 않았다.

07 탄소 고정 반응

$^{14}CO_2$ 를 공급한 후 시간에 따라 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 순으로 생성되었고, C에는 인산기가 없으므로 A가 3PG, B가 RuBP, C가 포도당이다.

㉑ 1분당 $\frac{\text{인산기 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 3PG(A)가 $\frac{1}{3}$ 이고, RuBP(B)가 $\frac{2}{5}$ 이므로 A가 B보다 작다.

㉒ 캘빈 회로에서 RuBP(B)가 3PG(A)로 전환될 때 효소인 루비스코의 작용에 의해 CO_2 고정이 일어난다.

㉓ 1분당 에너지양은 3PG(A)가 포도당(C)보다 작다.

08 탄소 고정 반응

㉑ 1분당 탄소 수는 3PG가 3, PGAL이 3, RuBP가 5인데, 1분당 탄소 수는 X가 Y보다 작으므로 Y가 RuBP이다. (가)에서 Y가 RuBP이므로 Z가 3PG이고, X가 PGAL이다.

㉓ (나)에서 CO_2 농도 변화 시점 직후 RuBP(Y)의 농도가 증가하고 3PG(Z)의 농도가 감소하였으므로 ㉑은 CO_2 농도가 더 낮은 0.003%일 때이고, ㉒은 CO_2 농도가 1%일 때이다.

㉔ 과정 I에서 3PG(Z)가 PGAL(X)로 전환될 때 ATP와 NADPH가 사용되고, 과정 II에서 PGAL(X)이 RuBP(Y)로 전환될 때 ATP가 사용되므로 I과 II에서 모두 ATP가 사용되어 ADP가 생성된다.

09 광합성에 영향을 미치는 요인과 탄소 고정 반응

빛을 공급했을 때 pH가 낮아지는 ㉑은 틸라코이드 내부이고, pH가 높아지는 ㉒은 스트로마이다. 1분당 탄소 수가 5인 A는 RuBP이므로 반응의 진행 순서에 따라 B는 3PG, C는 PGAL, D는 포도당이다.

㉑ ㉑은 스트로마이다.

㉒ 3PG(B)가 PGAL(C)로 전환되는 과정에서 ATP와 NADPH가 모두 사용된다.

㉓ 빛을 차단했을 때는 빛을 공급했을 때보다 RuBP 재생에 필요한 명반응 산물의 농도가 낮다. 따라서 RuBP(A)의 농도는 빛을 공급했을 때인 t_1 일 때가 빛을 차단했을 때인 t_2 일 때보다 높다.

10 광합성 반응과 세포 호흡 반응 비교

㉑ 캘빈 회로에서 반응 (가)가 1회 일어나는 과정에서 3분자의 ATP가 사용되므로 반응 (나)가 3회 일어난다.

㉒ (나)는 세포 호흡의 해당 과정에서 일어난다.

㉓ 산소 호흡을 통해 1분자의 포도당이 완전히 분해되는 과정에서 10분자의 NADH와 2분자의 $FADH_2$ 가 전자 전달계를 통해 산화되므로 반응 (다)가 12회 일어난다.

11 순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름

㉑ 순환적 전자 흐름은 '광인산화가 일어난다.'와 ' P_{700} 의 산화·환원이 일어난다.'의 특징을 가지므로 ㉑은 2이고, 비순환적 전자 흐름은 4가지 특징을 모두 가지므로 ㉒은 4이다. 따라서 ㉑ + ㉒ = 6이다.

㉑ 광계 I의 반응 중심 색소인 P_{700} 은 엽록소 a이므로 광합성 색소에 속한다.

㉒ 광인산화(㉑)가 일어날 때 H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 틸라코이드 내부에서 스트로마로 촉진 확산되면서 ATP가 생성되므로 H^+ 의 농도는 틸라코이드 내부에서가 스트로마에서보다 높다.

12 광합성과 세포 호흡 비교

㉑ 엽록체의 전자 전달계에서 ㉑의 광분해에 의해 ㉒이 생성되고, 미토콘드리아의 전자 전달계에서 최종 전자 수용체인 ㉒이 환원되어 ㉑이 생성되므로 ㉑은 H_2O , ㉒은 O_2 이다. H_2O (㉑)은 엽록체의 전자 전달계에서 전자 공여체로 작용한다.

- ㉠. TCA 회로에서 생성되어 켈빈 회로에 공급되는 ㉠은 CO₂이다.
- ㉡. TCA 회로와 해당 과정을 통해 생성된 (가)의 ATP는 모두 기질 수준 인산화를 통해 생성되었다.

06 유전 물질

2 점 수능 테스트

본문 98~102쪽

- | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 01 ② | 02 ③ | 03 ① | 04 ⑤ | 05 ③ | 06 ③ | 07 ⑤ |
| 08 ④ | 09 ⑤ | 10 ⑤ | 11 ④ | 12 ③ | 13 ② | 14 ⑤ |
| 15 ⑤ | 16 ⑤ | 17 ① | 18 ⑤ | 19 ④ | 20 ② | |

01 원핵세포와 진핵세포의 유전체 비교

(가)는 대장균, (나)는 사람이다.

- ✗. (가)는 같은 길이의 DNA에 유전자가 높은 밀도로 있고 단백질 비암호화 부위인 인트론이 없는 대장균이다.
- ㉠. (나)는 진핵생물인 사람이므로 (나)의 DNA는 히스톤 단백질과 결합한다.
- ✗. 대장균의 유전체는 원형 DNA이며, 사람의 유전체는 선형 DNA이다.

02 유전 물질

- ㉠. 유전 물질은 세포와 개체의 생명 활동에 필요한 정보를 저장하고 있다.
- ㉡. 유전 물질에 돌연변이가 일어나면 진화에 필요한 유전적 변이(다양성)를 제공한다.
- ✗. 유전 물질에 대한 연구 초기에는 DNA가 4가지 뉴클레오타이드로, 단백질은 20가지의 아미노산으로 이루어져 있으므로 유전 정보를 저장하기에 단백질이 적절하다고 여겼다.

03 에이버리의 실험

- ㉠. ㉠을 처리한 실험에서 살아 있는 S형 균이 관찰되었으므로 이 실험에서 형질 전환이 일어났다.
- ✗. ㉡을 처리한 실험에서 살아 있는 R형 균만 관찰되었으므로 형질 전환이 일어나지 않았다. 형질 전환을 일으키는 물질은 DNA이므로 ㉡은 DNA 분해 효소이다. 따라서 ㉡의 기질은 DNA이다.
- ✗. 살아 있는 R형 균(㉢)은 원핵세포이므로 핵막을 갖지 않는다.

04 DNA 추출 실험

- ㉠. 소금·세제액(㉠)의 세제는 핵막의 주요 성분인 인지질을 녹여 막을 분해한다.
- ㉡. DNA는 물에는 녹으나 에탄올(㉡)에는 녹지 않으므로 차가운 에탄올을 첨가하면 DNA가 에탄올 층에 떠오르며 흰색 실과 같은 덩어리가 나타난다.

수능특강 연계 기출

수능특강과의 완벽한 시너지
 오개념 위험이 높은 변형 문제는 NO!
 보장된 고퀄리티 기출문제 OK!

㉔ 관찰한 덩어리(㉔)에는 DNA가 있다.

05 DNA 연구

㉑ (가)는 메셀슨과 스탈의 실험이다.

㉒ (나)는 에이버리의 실험으로 페렴 쌍구균과 다양한 분해 효소를 이용하여 어떤 성분이 형질 전환을 일으키는지 알아보았으며, 유전 물질이 DNA임을 확인하였다.

㉓ (다)는 허시와 체이스의 실험으로 박테리오파지를 구성하는 단백질과 DNA 중 단백질에만 있는 황(S)과, DNA에만 있는 인(P)의 방사성 동위 원소를 이용하여 유전 정보를 가진 물질이 DNA임을 확인하였다. 이 실험에서 ^{32}P 과 ^{35}S 중 ^{32}P 만 DNA를 표지하는 데 사용되었다.

06 사가프의 법칙

이중 가닥 DNA에서 상보적인 두 단일 가닥 DNA는 아데닌(A)과 타이민(T)의 조성 비율이 서로 같고, 구아닌(G)과 사이토신(C)의 조성 비율이 서로 같다. 이중 가닥 DNA에서 $A+G=T+C=50\%$ 이므로 ㉑은 21(%) , ㉒은 23(%)이고, ㉓은 25(%)이다. 따라서 I과 IV, II와 III이 각각 서로 상보적이다. 이를 바탕으로 정리하면 아래 표와 같다.

구분	염기 조성(%)			
	A	G	C	T
I	㉑(21)	29	25	㉔(25)
II	24	26	?(27)	23
III	㉒(23)	27	26	?(24)
IV	25	㉓(25)	29	㉑(21)

㉑ II와 III은 서로 상보적이다.

㉒ ㉑+㉒+㉓=21+23+25=69이다.

㉓ I~IV 중 타이민(T)의 개수가 가장 많은 가닥은 I이다.

07 DNA 이중 가닥의 분리 온도

같은 개수의 염기쌍으로 이루어진 이중 가닥 DNA에서 GC쌍의 비율이 높을수록 염기 간 수소 결합의 수가 증가한다. 전체 염기 중 GC쌍의 비율이 높을수록 열을 가하여 DNA의 이중 가닥이 두 단일 가닥으로 분리되는 온도가 높아진다. 따라서 ㉑~㉔ 중 GC쌍이 가장 많은 것은 분리 온도가 가장 높은 ㉔이다.

㉓ DNA 이중 가닥에서 A는 항상 T과, G는 항상 C과 염기쌍을 형성한다. 따라서 피리미딘 계열 염기인 C과 T의 염기 함량은 ㉑~㉔에서 모두 같다.

㉒ 이중 가닥 DNA에서 A과 T의 비율은 같고, G과 C의 비율이 같으므로 $\frac{G+T}{A+C}$ 의 값은 이중 가닥 DNA ㉑~㉔에서 모두 1

로 같다.

㉔ GC쌍의 비율이 높을수록 DNA 이중 가닥이 두 단일 가닥으로 분리되는 온도가 높다. ㉑에서보다 ㉔에서 분리되는 온도가 더 높으므로 $\frac{A+T}{G+C}$ 의 값은 ㉑이 ㉔보다 크다.

08 사가프의 법칙

㉑과 ㉔은 피리미딘 계열 염기, ㉒과 ㉓은 퓨린 계열 염기이다. ㉑과 ㉔은 2개의 수소 결합을 형성하고 있으므로 ㉑은 타이민(T), ㉒은 아데닌(A)이고, ㉓과 ㉔은 3개의 수소 결합을 형성하고 있으므로 ㉓은 사이토신(C), ㉔은 구아닌(G)이다.

㉑ ㉑은 타이민(T)이다.

㉓ I에서 염기 조성이 $\frac{㉑+㉒}{㉑+㉒}=\frac{3}{2}$ 이므로 ㉑(T)과 ㉒(A)은 각각 60개, ㉓(C)과 ㉔(G)은 각각 90개이다. II에서 염기 조성이 $\frac{㉑+㉒}{㉓+㉔}=\frac{1}{2}$ 이므로 ㉑(T)과 ㉒(A)은 각각 50개, ㉓(C)과 ㉔(G)은 각각 100개이다. 따라서 I에서 구아닌(G)의 개수와 II에서 사이토신(C)의 개수의 합은 190이다.

㉔ 염기 간 수소 결합의 총개수는 I에서 $2 \times 60 + 3 \times 90 = 390$ 이고, II에서 $2 \times 50 + 3 \times 100 = 400$ 이므로 I에서가 II에서보다 10개 적다.

09 원핵세포와 진핵세포의 유전체 비교

(가)는 대장균의 유전체, (나)는 사람의 유전체 일부이다. ㉑은 DNA, ㉒은 히스톤 단백질이다.

㉑ 대장균은 핵막이 없으므로 유전체(가)가 세포질에 있다.

㉒ 사람의 유전체 일부(나)의 DNA는 단백질 비암호화 부위인 인트론을 가진다.

㉓ ㉑은 히스톤 단백질이며, 단백질은 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결된 것이다.

10 허시와 체이스의 실험

S(황)은 DNA와 단백질 중 단백질에만 있는 원소이므로 ^{35}S 은 단백질의 표지로, P(인)은 DNA에만 있는 원소이므로 ^{32}P 은 DNA의 표지로 사용된다.

㉑ ^{32}P 으로 표지된 파지의 DNA는 대장균으로 들어가서 침전물에서 방사선이 검출된다. 침전물 B와 D 중 B에서만 방사선이 검출되었으므로 ㉑은 ^{32}P 이다.

㉒ 믹서를 이용하여 대장균과 파지를 분리한 후 원심 분리하면 시험관의 상층액에 파지의 단백질 껍질이 존재하게 된다. 따라서 A와 C에 단백질이 있다.

㉓ 파지는 대장균에 자신의 DNA를 주입하므로 B와 D에 모두

파지의 DNA를 갖는 대장균이 있다.

11 DNA의 복제 가설과 메셀슨-스탈의 실험

가설 1은 보존적 복제 가설, 가설 2는 반보존적 복제 가설, 가설 3은 분산적 복제 가설이다. 메셀슨과 스탈의 실험을 통해 반보존적 복제 가설이 지지되었으므로 A~C는 각각 G_1 , G_0 , G_2 의 DNA 원심 분리 결과이다.

㉠. A는 G_1 의 DNA 원심 분리 결과이다.

✕. C는 G_2 의 DNA 원심 분리 결과이다. 보존적 복제 가설이 옳다면 G_2 의 DNA 원심 분리 결과 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 띠가 나타나지 않으므로 가설 1(보존적 복제 가설)은 C에 의해 기각된다.

㉡. C에서 전체 DNA 중 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA의 비율은 각각 $\frac{1}{2}$ 이다.

12 DNA의 복제

(가)는 DNA 중합 효소이고, (나)는 DNA 연결 효소이다.

㉠. ㉠은 이중 가닥 DNA가 풀어지는 방향과 같은 방향으로 연속적인 복제가 일어나므로 선도 가닥이다. 선도 가닥은 5' → 3' 방향으로 연속적으로 합성된다.

㉡. 주형 가닥의 염기 간 수소 결합이 오른쪽에서 왼쪽으로 풀어지고 있으므로 ㉡이 ㉠보다 먼저 합성되었다.

✕. 이중 가닥 DNA의 염기 간 수소 결합을 끊는 것은 헬리케이스이다.

13 형질 전환 실험

I에는 S형 균과 R형 균이 있고, II와 III에는 R형 균만 있으므로 열처리하여 죽은 ㉠은 S형 균이고 형질 전환되는 ㉡은 R형 균이다. II와 III에서는 형질 전환이 일어나지 않았으므로 공통적으로 첨가한 ㉢가 DNA 분해 효소이다.

✕. ㉢(R형 균)는 병원이 없다.

✕. I에서 일부 R형 균이 S형 균으로 형질 전환되었다.

㉡. ㉡는 DNA 분해 효소이므로 ㉡의 기질은 DNA이다.

14 DNA 중합 효소

DNA 중합 효소는 이미 만들어져 있는 폴리뉴클레오타이드의 3'-OH가 있을 때만 새로운 뉴클레오타이드의 인산기를 결합시켜 첨가시킬 수 있으므로 DNA 복제는 5' → 3'의 방향으로만 일어난다. 따라서 ㉠는 5' 말단이고, ㉡은 수산기(-OH)이며, ㉢는 주형 가닥의 3' 말단이다.

㉠. ㉢는 5' 말단이다.

㉡. ㉡은 수산기(-OH)이다.

㉢. DNA 중합 효소는 5탄당과 인산 사이의 결합 반응에 관여

한다.

15 사가프의 법칙

X는 100개의 염기쌍으로 구성되어 있고, X에서 퓨린 계열 염기 ㉠의 함량은 27.5%이므로 A(또는 G)의 개수는 55개이다. 따라서 상보적인 T(또는 C)의 개수는 55개, G(또는 A)의 개수는 45개, C(또는 T)의 개수는 45개이다. ㉠이 A, ㉡이 G이라고 하면,

가닥 I에서 $\frac{\text{㉠(G)}}{\text{C}} = \frac{5}{6}$ 이므로 II에서 $\frac{\text{G}}{\text{C}} = \frac{6}{5}$ 이다. 그러나 II에서 $\frac{\text{㉠(G)}}{\text{C}} = \frac{4}{5}$ 이므로 조건에 부합하지 않는다. 따라서 ㉠은 G,

㉡은 A이다. 가닥 I에서 $\frac{\text{㉠(A)}}{\text{C}} = \frac{5}{6}$ 이고, 가닥 II에서 $\frac{\text{㉠(A)}}{\text{C}}$

$= \frac{4}{5}$ 이므로 가닥 I에서 $\frac{\text{T}}{\text{G}} = \frac{4}{5}$ 이다. 가닥 I에서 C가 6a개 있

으면 A는 5a개 있고, G가 5b개 있으면 T는 4b개 있다. 따라서 가닥 I에서 $\frac{\text{A}+\text{T}}{\text{C}+\text{G}} = \frac{5a+4b}{6a+5b}$ 이다. $5a+4b < 6a+5b$ 이므로 $5a+4b=45$, $6a+5b=55$ 이다. $a=5$, $b=5$ 이므로 가닥 I에서 A의 개수는 25개, T는 20개, G는 25개, C는 30개이다.

구분	염기 개수				계
	A	T	G	C	
I	25	20	25	30	100
II	20	25	30	25	100

✕. ㉠은 구아닌(G)이다.

㉠. I에서 타이민(T)의 개수는 20개이다.

㉡. II에서 $\frac{\text{A}+\text{C}}{\text{G}+\text{T}} = \frac{20+25}{30+25} = \frac{9}{11}$ 이다.

16 DNA의 복제

㉠. I에 상보적인 가닥을 주형으로 합성된 DNA 가닥이 II이므로 I과 II의 염기 서열은 서로 같다.

㉡. ㉡은 4종류의 염기로 구성되어 있으므로 ㉡에는 유라실(U)이 있다.

㉢. 주형 가닥과 새로운 가닥은 방향이 서로 반대이므로 DNA 중합 효소는 주형 가닥의 3' → 5' 방향으로 이동한다.

17 DNA 복제 실험

G_3 에서 추출한 DNA의 원심 분리 결과가 상층($^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$) : 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$) = 1:1이므로 G_2 에서 추출한 DNA는 중층만 있으며 ㉡은 ^{14}N 가 들어 있는 배양액이다. ㉢(^{14}N 가 들어 있는 배양액)에서 배양한 G_2 에서 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)만 있으려면 G_1 에서는 하층($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)만 있어야 하므로 G_0 는 ^{15}N 로 표지되어 있고 ㉠

은 ^{15}N 가 들어 있는 배양액이다.

㉠. ㉠은 ^{15}N 가 들어 있는 배양액이다.

✕. G_1 의 DNA를 추출하여 원심 분리하면 하층($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)만 DNA가 있으므로 ㉠은 1이다. G_2 의 DNA를 추출하여 원심 분리하면 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)만 있으므로 ㉡는 1이다. G_4 의 DNA를

추출하여 원심 분리하면 전체 DNA 중 상층의 비율은 $\frac{3}{4}$, 중층의 비율은 $\frac{1}{4}$ 이므로 ㉢는 $\frac{3}{4}$ 이다. 따라서 ㉠+㉡+㉢= $\frac{11}{4}$ 이다.

✕. G_4 를 ㉠(^{15}N 가 들어 있는 배양액)으로 옮겨 배양한 후 얻은 5세대 대장균(G_5)의 DNA를 추출하여 원심 분리하면 전체 DNA 중 중층의 비율은 $\frac{7}{8}$, 하층의 비율은 $\frac{1}{8}$ 이다.

18 DNA의 복제

이중 가닥 DNA가 풀어지는 방향과 같은 방향으로 연속적인 복제가 일어나는 가닥을 선도 가닥이라고 하고, 반대 방향으로 짧은 가닥이 불연속적으로 복제가 일어나는 가닥을 지연 가닥이라고 한다. I과 II는 지연 가닥이 합성되는 과정에서 형성된 짧은 가닥이고, III는 선도 가닥이다.

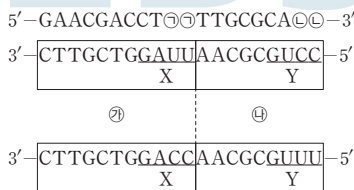
㉠. 지연 가닥이 합성되는 과정에서 형성된 I과 II는 DNA 연결 효소에 의해 연결된다.

㉡. III는 선도 가닥이다.

㉢. 새로운 가닥은 5' → 3' 방향으로 합성되고 주형 가닥과 새로운 가닥은 역평행하므로 ㉠은 3' 말단이다.

19 DNA의 복제

㉠의 염기의 개수 = $\frac{9}{11}$ 의 조건을 만족시키는 Y의 상보적인 염기 서열이 5'-ACCT-3'이라고 하면, X에서 퓨린 계열 염기의 개수와 피리미딘 계열 염기의 개수가 같다는 조건을 만족할 수 없다. 따라서 X의 상보적인 서열은 5'-CT㉠㉠-3'이며, Y의 상보적인 염기 서열은 5'-CA㉡㉡-3'이고, 다음과 같이 나타낼 수 있다.



㉠과 ㉡이 A 또는 G일 때 ㉠과 ㉡에서 X를 제외한 나머지 부분의 각 염기의 개수를 구하면 표와 같다.

구분	㉠과 ㉡에서 X를 제외한 나머지 부분의 각 염기의 개수				
	A	G	C	T	U
㉠(A), ㉡(G)일 때	2	4	6	3	1
㉠(G), ㉡(A)일 때	2	4	4	3	3

X가 5'-CCAG-3'일 때만 ㉠과 ㉡에서 X를 제외한 나머지 부분의 5종류의 염기의 각 개수는 ㉠개, ㉡개, ㉢개 중 하나이고, ㉠+㉡+㉢=9인 조건에 부합한다.

따라서 ㉠은 G, ㉡은 A이다.

✕. ㉠은 구아닌(G)이다.

㉡. 지연 가닥의 합성은 불연속적으로 이루어지므로 ㉠이 ㉡보다 먼저 합성되며 나중에 DNA 연결 효소에 의해 연결된다.

㉢. ㉠에서 $\frac{\text{피리미딘 계열 염기의 개수}}{\text{퓨린 계열 염기의 개수}} = \frac{5}{4}$ 이므로 1보다 크다.

20 DNA의 복제

이중 가닥 DNA에서 A의 개수=T의 개수, G의 개수=C의 개수이며, 새로 합성된 가닥은 주형 가닥과 상보적인 염기로 구성된다.

㉠에서 A의 개수는 180개이므로 T의 개수도 180개이다. A의 개수+T의 개수=360개이고, G+C 함량은 40%이므로 $\frac{360\text{개}}{\text{㉠의 염기 개수}} \times 100 = 60\%$ 이다. 따라서 ㉠의 염기 개수는 600개이고, G의 개수+C의 개수=240개이므로 G의 개수=120개, C의 개수=120개이다.

㉠의 염기 개수(600개)는 X의 염기 개수의 30%이므로 X의 염기 개수는 2000개이다. ㉠에서 새로 합성된 가닥의 염기 개수는 X의 염기 개수의 70%이므로 1400개이다. ㉠에서 새로 합성된 가닥의 A+T 함량은 60%이므로 $\frac{\text{A의 개수+T의 개수}}{1400\text{개}} \times 100 = 60\%$ 이고, A의 개수+T의 개수=840개이다. 따라서 ㉠에서 새로 합성된 가닥의 A의 개수=420개, T의 개수=420개, G의 개수=280개, C의 개수=280개이다.

주형 가닥	700	300
신생 가닥	700	
신생 가닥	700	
주형 가닥	700	300
㉠의 신생 가닥(회색)	AT 60%(A 420, T 420) GC 40%(G 280, C 280)	㉡ AT 60%(A 180, T 180) GC 40%(G 120, C 120)

✕. ㉠의 염기 개수는 주형 가닥의 개수+새로 합성된 가닥의 개수=1400개+1400개=2800개이다.

㉔. ㉔에서 $\frac{\text{사이토신(C)의 개수}}{\text{타이민(T)의 개수}} = \frac{120\text{개}}{180\text{개}} = \frac{2}{3}$ 이다.

✕. ㉔에서 A의 개수+T의 개수=1680개, ㉔에서 A의 개수+T의 개수=360개이므로 ㉔과 ㉔ 모두에서 A의 개수+T의 개수=2040개이다.

3 점 수능 테스트

본문 103~107쪽

- 01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ④ 05 ① 06 ③ 07 ③
08 ③ 09 ① 10 ②

01 원핵세포와 진핵세포의 유전체 비교

‘염색체를 갖는다.’는 시금치의 공변세포만 갖는 특징이고, ‘선형의 DNA를 갖는다.’와 ‘히스톤 단백질과 결합한 DNA를 갖는다.’는 진핵세포인 시금치의 공변세포와 사람의 간세포가 모두 갖는 특징이다. a~c의 크기는 $a > b > c > 0$ 이고, $a + b + c = 6$ 이므로 A는 3가지의 특징을 갖는 시금치의 공변세포, B는 2가지의 특징을 갖는 사람의 간세포, C는 1가지의 특징을 갖는 대장균이다.

- ㉔. A(시금치의 공변세포)의 유전체에는 인트론이 있다.
㉔. C(대장균)의 유전체에는 오페론이 있어 여러 유전자의 전사가 한꺼번에 조절된다.
㉔. ‘핵막이 없다.’는 대장균이 갖는 특징이고 ㉔가 1인 조건에 부합하므로 ㉔에 해당한다.

02 그리피스의 실험과 에이버리의 실험

(가)는 S형 균과 R형 균을 이용한 형질 전환 현상을 발견한 실험이고, (나)는 그리피스의 실험을 발전시켜 어떤 성분이 형질 전환을 일으키는지 알아보고 유전 물질이 DNA임을 증명한 실험이다.

- ㉔. (가)에서 살아 있는 ㉔을 주사한 쥐는 죽고, 살아 있는 ㉔을 주사한 쥐는 살았으므로 ㉔은 S형 균, ㉔은 R형 균이다. (나)에서 열처리하여 죽은 S형 균의 추출물에 DNA 분해 효소를 처리한 후 살아 있는 R형 균과 함께 배양한 경우 형질 전환이 일어나지 않아 살아 있는 S형 균이 관찰되지 않는다. 따라서 ㉔는 S형 균이다. ㉔과 ㉔는 모두 피막이 있어 병원성을 나타낸다.
✕. 에이버리는 그리피스의 실험(가)을 발전시켜 폐렴 쌍구균 형질 전환 실험(나)을 수행하였다.
㉔. 열처리로 죽은 S형 균 추출물에 살아 있는 R형 균을 넣었을 때 형질 전환이 일어났으므로 ㉔에는 형질 전환을 일으키는 물질이 있다.

03 허시와 체이스의 실험

^{32}P 으로 표지된 박테리오파지의 DNA는 대장균 내부로 들어가 원심 분리 후 침전물로 침전되므로 상층액에서는 방사선이 검출되지 않고, 침전물(대장균 존재)에서 방사선이 검출된다. ^{35}S 으로 표지된 박테리오파지의 단백질은 대장균 내부로 들어가지 않고 대장균의 표면에 부착되어 있다가 믹서로 흔들 때 떨어져 나와 상

층액에 남아서 방사선이 검출되고, 침전물에서는 방사선이 검출되지 않는다.

㉠ ㉠은 ^{35}S 이다.

㉡ ㉡에는 박테리오파지의 단백질 껍질이 존재하고, ㉢에는 대장균이 존재한다.

㉣ 대장균 내로 들어간 방사성 동위 원소를 가진 파지의 DNA가 자손 파지에게 전달되므로 자손 파지의 일부가 방사성을 띠는 DNA를 갖는다. 따라서 방사선이 검출된 ㉢을 방사성 동위 원소가 없는 새로운 배양액에서 배양해도 새로 생성된 자손 파지에서 방사선이 검출된다.

04 염기의 종류

X는 퓨린이고 Y는 피리미딘이며, A와 G은 퓨린 계열 염기이고 C, T, U은 피리미딘 계열 염기이다. A, G, C은 DNA와 RNA에 공통적으로 존재하고, 이중 가닥 DNA에서 A와 T 사이에 2개의 수소 결합이 형성된다. 따라서 ㉠은 G, ㉡은 T, ㉢은 C, ㉣은 A, ㉤은 U이다.

㉥ ㉠은 구아닌(G)이다.

㉦ 이중 가닥 DNA에서 퓨린 계열 염기(A+G)의 비율과 피리미딘 계열 염기(T+C)의 비율이 같으므로 $\frac{\text{㉡(T)} + \text{㉢(C)}}{\text{㉠(G)} + \text{㉣(A)}} = 1$ 이다.

㉧ ㉣(U)은 피리미딘(Y) 계열 염기이다.

05 DNA의 복제 가설과 DNA 복제 실험

가설 I은 보존적 복제 가설, 가설 II는 반보존적 복제 가설, 가설 III은 분산적 복제 가설이다.

㉨ 가설 I(보존적 복제 가설)에서 G_1 의 대장균 DNA를 원심 분리하면 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N} : ^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ 가 1 : 1로 나타내게 되고(E), G_2 의 대장균 DNA를 원심 분리하면 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N} : ^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ 가 3 : 1로 나타내게 된다(E).

㉩ 가설 II(반보존적 복제 가설)에서 G_1 의 대장균 DNA를 원심 분리하면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 층만 나타내게 되고(A), G_2 의 대장균 DNA를 원심 분리하면 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N} : ^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ 가 1 : 1로 나타내게 된다(D).

㉪ 가설 III(분산적 복제 가설)에서 G_1 의 대장균 DNA를 원심 분리하면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 층만 나타내게 되고(A), G_2 의 대장균 DNA를 원심 분리하면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 층보다 높은 부분에 DNA 층이 나타내게 된다(F).

06 사가프의 법칙

이중 가닥 DNA에서 피리미딘 계열 염기의 함량이 50%, 퓨린 계열 염기의 함량이 50%이다. I에서 C의 함량은 37.5%이므로 T의 함량은 12.5%이고 T와 상보적인 A의 함량이 12.5%,

C과 상보적인 G의 함량이 37.5%이다. 따라서 I의 $\frac{G+C}{A+T} =$

㉠=3이다. II에서 퓨린 계열 염기 중 한 염기의 함량은 30%

이고, II의 $\frac{G+C}{A+T} = \frac{\text{㉡}}{\text{㉢}}$ 인 조건에 부합하는 경우는 G의 함량이

30%일 때이다. 따라서 ㉣은 2이고, III의 $\frac{G+C}{A+T} = \frac{\text{㉣}}{\text{㉤}} = \frac{2}{3}$ 이므로 정리하면 표와 같다.

구분	염기 함량 및 개수				계
	A	T	G	C	
I	12.5 %	12.5 %	37.5 %	37.5 %	100 %
	50개	50개	150개	150개	400개
II	20 %	20 %	30 %	30 %	100 %
	80개	80개	120개	120개	400개
III	30 %	30 %	20 %	20 %	100 %
	90개	90개	60개	60개	300개

㉢ ㉢은 구아닌(G)이다.

㉣ I에서 아데닌(A)의 개수는 50개이다.

㉤ 염기 간 수소 결합의 총개수는 II에서 $(80 \times 2) + (120 \times 3) = 520$ 개이고, III에서 $(90 \times 2) + (60 \times 3) = 360$ 개이므로 II에서가 III에서보다 160개 많다.

07 DNA의 복제 실험

㉠이 ^{14}N 가 들어 있는 배양액, ㉡이 ^{15}N 가 들어 있는 배양액인 경우 실험 결과는 표와 같다.

배양액	대장균	이중 나선 DNA 상대량	대장균	이중 나선 DNA 상대량
㉠(^{14}N)	A(G_0)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(1)$	B(G_0)	$^{15}\text{N}-^{15}\text{N}(1)$
	A(G_1)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(2)$	B(G_1)	$^{14}\text{N}-^{15}\text{N}(2)$
	A(G_2)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(4)$	B(G_2)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(2)$, $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}(2)$
	A(G_3)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(8)$	B(G_3)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(6)$, $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}(2)$
㉡(^{15}N)	A(G_4)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(16)$	B(G_4)	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}(14)$, $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}(2)$
			B(G_5)	$^{14}\text{N}-^{15}\text{N}(30)$, $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}(2)$

이 경우는

$\frac{\text{㉡에 존재하는 DNA 상대량} + \text{㉢에 존재하는 DNA 상대량}}{\text{㉣에 존재하는 DNA 상대량}} = 2$

의 조건에 부합한다.

㉠이 ^{15}N 가 들어 있는 배양액, ㉡이 ^{14}N 가 들어 있는 배양액인 경우 실험 결과는 표와 같다.

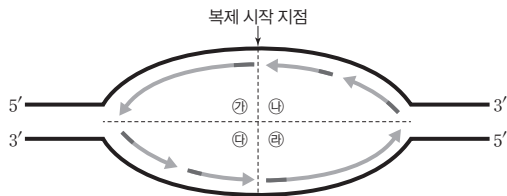
이며, U은 없음을 알 수 있다. ㉠~㉤에서 G과 C의 총개수는 각각 80개이고, $\frac{\text{㉤에서 C의 개수}}{\text{㉠~㉤에서 C의 총개수}} = \frac{1}{4}$ 이므로 ㉤에서 C의 개수는 20개, G의 개수는 25개이다. ㉠와 상보적인 염기로 구성된 ㉢에서 $\frac{A}{T} = \frac{7}{46}$ 이므로 ㉢에서 A는 7개, T는 46개, 나머지 2개는 U이다. 이를 정리하면 표와 같다.

구분	염기 개수					계
	T	U	C	G	A	
㉠	30	2	25	10	33	100
㉢	46	2	25	20	7	100
㉡	33	0	10	25	32	100
㉣	7	0	20	25	48	100
계	120		80	80	120	

- ㉠ ㉠와 ㉢에는 모두 U이 있으므로 프라이머가 있어 지연 가닥이 합성되는 과정에서 합성된 것이다.
- ✗ ㉢에서 C의 개수는 25개, ㉣에서 A의 개수는 48개이므로 합은 73개이다.
- ✗ X에서 ㉠의 복제 주형 가닥은 A이 120개, T이 120개, G이 80개, C이 80개이다. ㉢에서 A이 60개, T이 60개, G이 140개, C이 140개이다. 따라서 X에서 $\frac{A+T}{G+C} = \frac{180+180}{220+220} = \frac{9}{11}$ 이다.

10 DNA의 복제

영역 ㉠~㉣에서의 복제 과정은 그림과 같다.



- ✗ ㉡에서 새로 합성된 가닥의 복제 방향이 왼쪽이므로 새로 합성된 가닥의 왼쪽이 3' 말단이다. 따라서 주형 가닥 I의 왼쪽이 5' 말단, 오른쪽 말단인 ㉠은 3' 말단이다.
- ✗ ㉡와 ㉣에서는 선도 가닥이 합성되고 ㉢와 ㉣에서 지연 가닥이 합성된다.
- ㉢ DNA 복제 시 DNA 중합 효소는 새로 합성되는 가닥의 5' → 3' 방향으로 이동하므로 ㉣에서 DNA 복제 시 주형 가닥 II의 3' → 5' 방향으로 이동한다.

07 유전자 발현

2 점 수능 테스트

본문 117~120쪽

- 01 ㉣ 02 ㉢ 03 ㉠ 04 ㉤ 05 ㉢ 06 ㉣ 07 ㉢
 08 ㉡ 09 ㉡ 10 ㉣ 11 ㉡ 12 ㉤ 13 ㉠ 14 ㉡
 15 ㉣ 16 ㉤

01 중심 원리

- ㉠은 DNA 복제, ㉢은 전사, ㉤은 번역이다.
- ✗ ㉠은 DNA 복제이고, ㉢이 전사이다.
- ㉢ 핵에서 ㉠(DNA 복제)과 ㉢(전사)이 모두 일어난다.
- ㉤ ㉤(번역) 과정에서 리보솜은 mRNA와 결합한 후 mRNA의 유전 정보에 따라 아미노산과 아미노산의 결합인 펩타이드 결합 형성을 촉진하여 폴리펩타이드를 합성한다.

02 전사

- ㉠은 구아닌(G)이고, (가)는 DNA, (나)는 mRNA이다.
- ㉢ mRNA의 염기 서열은 5' - AU㉠?CU - 3'이므로 전사 주형 가닥은 가닥 II이다. 가닥 II의 염기 서열은 3' - TACCGA - 5'이므로 mRNA 염기 서열 5' - AU㉠(G)?(G)CU - 3'에서 ㉠은 구아닌(G)이다.
- ㉢ (나)는 mRNA이고, mRNA를 구성하는 뉴클레오타이드에는 5탄당인 리보스가 있다.
- ✗ (가)에서 전사 주형 가닥은 가닥 II이다.

03 전사

- 과정 I은 전사이고, 과정 II는 전사 후 가공 과정이다.
- ㉢ 과정 I은 전사로 RNA 중합 효소에 의해 일어난다.
- ✗ 과정 II는 전사 후 가공 과정으로 핵에서 일어난다.
- ✗ ㉠은 엑손, ㉢은 인트론이다.

04 RNA

- ㉠은 rRNA, ㉢은 mRNA, ㉤은 tRNA이다.
- ㉢ ㉠은 리보솜을 구성하는 rRNA이다.
- ㉢ ㉢은 아미노산 합성 정보가 저장되어 있는 mRNA이고, 개시 코돈이 있다.
- ㉢ ㉤은 tRNA로 아미노산이 결합할 수 있는 아미노산 결합 부위와 안티코돈이 있다.

05 1유전자 1효소설

돌연변이주 I 은 유전자 a에 돌연변이가 일어난 돌연변이주이다.

㉠. 돌연변이주 I 은 ㉠(최소 배지에 오르니틴이 첨가된 배지)에서 생장했으므로 유전자 b와 유전자 c는 정상이다. 따라서 돌연변이주 I 은 유전자 a에 돌연변이가 일어났다.

✕. 유전자 b가 결실된 돌연변이주를 ㉠(최소 배지에 오르니틴이 첨가된 배지)에서 배양하면 오르니틴을 시트룰린으로 전환시킬 수 없으므로 생장할 수 없다.

㉡. 효소 C는 시트룰린이 결합하는 활성 부위가 있어 시트룰린을 아르지닌으로 전환시킬 수 있다.

06 폴리솜

㉠은 3' 말단이고, ㉡와 ㉢는 모두 개시 코돈이 암호화하는 메싸이오닌이다.

✕. 번역은 mRNA의 5'에서 3' 방향으로 리보솜이 이동하면서 진행된다. 그림의 가장 좌측 리보솜에서 합성된 폴리펩타이드의 아미노산 개수가 가장 많으므로 ㉠은 3' 말단이고 리보솜은 그림의 우측에서 좌측 방향으로 이동한다.

㉡. ㉡와 ㉢는 모두 mRNA의 개시 코돈이 암호화하는 메싸이오닌이다.

㉢. 리보솜은 그림의 우측에서 좌측으로 이동하면서 폴리펩타이드를 합성하므로 X는 Y보다 먼저 mRNA에 결합하였다.

07 전사

㉠은 유라실(U), ㉡은 사이토신(C), ㉢은 타이민(T)이고, ㉣는 25, ㉤는 30이다.

㉠. ㉠~㉣은 서로 다른 종류의 피리미딘 계열 염기이므로 각각 타이민(T), 사이토신(C), 유라실(U) 중 하나이다. 유라실(U)은 mRNA에만 있고, ㉠은 Ⅲ에만 있으므로 ㉠은 유라실(U)이며 Ⅲ은 mRNA이다.

㉡. Ⅲ은 mRNA이고, ㉠(U)의 비율이 10%이므로 DNA 전사 주형 가닥에서 아데닌(A)의 비율은 10%이고, DNA 전사 주형 가닥은 Ⅱ임을 알 수 있다. I과 Ⅱ를 구성하는 염기는 상보적이므로 ㉡은 사이토신(C), ㉢은 타이민(T)이다.

구분		염기 조성 비율(%)					계
		A	㉠(U)	G	㉡(C)	㉢(T)	
DNA	I	25	0	35	30	10	100
	Ⅱ	10	0	30	?(35)	㉡(25)	100
mRNA	Ⅲ	25	10	?(35)	㉢(30)	0	100

㉡+㉢=25+30=55이다.

✕. mRNA가 합성될 때 주형으로 사용된 가닥은 Ⅱ이다.

08 번역

과정 I 은 세포질에서 일어나고, 리보솜은 ㉠(5' 말단)에서 ㉡(3' 말단) 방향으로 이동한다.

✕. 과정 I 에서 아미노산은 tRNA의 3' 말단에 결합한다.

㉡. 리보솜은 mRNA의 5'에서 3' 방향으로 이동하면서 폴리펩타이드를 합성한다. 그림에서 하나의 아미노산을 가진 tRNA는 리보솜의 A 자리에 있고, 리보솜의 A 자리는 mRNA의 3' 말단 방향에 있으므로 ㉡이 3' 말단이다. 따라서 리보솜은 ㉠에서 ㉡ 방향으로 이동하면서 폴리펩타이드를 합성한다.

✕. 리보솜의 P 자리에 위치한 tRNA의 폴리펩타이드가 A 자리로 들어온 tRNA의 아미노산에 연결되므로, 아미노산 ㉢가 아미노산 ㉡보다 먼저 폴리펩타이드 사슬에 결합하였다.

09 전사

전사 주형 가닥은 가닥 Ⅱ이고, RNA 중합 효소는 전사 주형 가닥을 3'에서 5' 방향으로 이동하면서 RNA를 합성한다.

✕. 가닥 I 을 구성하는 DNA의 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 타이민(T), 사이토신(C)이고, 유라실(U)은 RNA를 구성하는 염기이다. 따라서 가닥 I 에는 유라실(U)이 없다.

✕. 합성된 mRNA의 길이는 RNA 중합 효소 A에서가 RNA 중합 효소 B에서보다 짧으므로 A는 B보다 프로모터에 나중에 결합했다.

㉡. 전사 주형 가닥은 가닥 Ⅱ이므로 가닥 Ⅱ에는 mRNA인 (가)의 염기 서열과 상보적인 염기 서열이 있다.

10 번역

I 은 mRNA의 5' 말단 1번째 염기부터 번역된 것이고, Ⅱ는 mRNA의 5' 말단 2번째 염기부터 번역된 것이며, Ⅲ은 mRNA의 5' 말단 3번째 염기부터 번역된 것이다.

✕. ㉠을 암호화하는 코돈은 CCC이고, ㉡을 암호화하는 코돈은 CCU이다.

㉡. Ⅲ을 통해 코돈 GAA는 글루탐산을 암호화함을 알 수 있다.

㉢. 코돈 AAA는 라이신을 암호화한다. Ⅲ을 구성하는 아미노산은 3개이므로 Ⅲ은 (가)의 5' 말단에서 3번째 또는 4번째 염기부터 번역된 것이다. Ⅲ이 (가)의 5' 말단 4번째 염기부터 번역된 것이라면 Ⅲ의 아미노산 서열 중 라이신이 있어야 하지만 Ⅲ에는 라이신이 없다. 따라서 Ⅲ은 (가)의 5' 말단 3번째 염기부터 번역된 것이다.

11 번역

(가)를 암호화하는 mRNA의 염기 서열은 5'-AUG UUU GCC UAU ACG UAA-3'이다.

- ✗. (가)는 5'-AUG UUU GCC UAU ACG-3'이 암호화하는 5개의 아미노산으로 구성되므로 4개의 펩타이드 결합이 있다.
- ㉠. (가)를 암호화하는 mRNA의 3번째 코돈은 GCC이므로 안티코돈으로 3'-CGG-5'을 갖는 tRNA는 (가)의 3번째 아미노산을 운반할 수 있다.
- ✗. (가)가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다.

12 번역

- ㉠은 아데닌(A), 전사 주형 가닥은 가닥 I, (가)는 발린이다.
- ㉠. 전사 주형 가닥의 염기 서열과 전사된 mRNA의 염기 서열은 상보적이므로 전사 주형 가닥은 가닥 I이다. (가)를 암호화하는 3염기 조합은 3'-CAA-5'이고, 이로부터 전사된 코돈은 GUU이다. 표를 통해 (가)는 발린임을 알 수 있다.
- ㉠. ㉠은 타이민(T)의 상보적 염기인 아데닌(A)이고, 아데닌(A)은 퓨린 계열 염기이다.
- ㉠. mRNA가 만들어질 때 사용된 전사 주형 가닥은 가닥 I이다.

13 유전자 발현

- ㉠은 페닐알라닌이고, 코돈의 염기 서열과 안티코돈의 염기 서열은 서로 상보적이다.
- ㉠. ㉠을 암호화하는 코돈은 UUU이고, 그림에서 코돈 UUU는 페닐알라닌을 암호화하므로 ㉠은 페닐알라닌이다.
- ✗. 프롤린을 암호화하는 코돈은 CCG이고, 프롤린을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 5'-CGG-3'이다.
- ✗. 같은 아미노산을 암호화하는 mRNA의 코돈과 DNA의 3염기 조합을 구성하는 염기 서열은 서로 상보적이다. 그림에서 알라닌을 암호화하는 코돈은 GCU이므로 알라닌을 암호화하는 DNA의 3염기 조합은 5'-AGC-3'이다.

14 번역

인공 합성 mRNA로부터 생성될 수 있는 코돈과 합성된 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산을 정리하면 다음과 같다.

인공 합성 mRNA	생성될 수 있는 코돈	폴리펩타이드를 구성하는 아미노산
A로만 이루어진 mRNA	AAA	라이신
AG가 반복되는 mRNA	AGA, GAG	아르지닌, 글루탐산
AAG가 반복되는 mRNA	AAG, AGA, GAA	라이신, 아르지닌, 글루탐산

- ✗. ㉠(라이신)을 암호화하는 코돈은 AAA이고, ㉠(라이신)을 암호화하는 코돈은 AAG이다.
- ✗. ㉠(글루탐산)을 암호화하는 코돈은 GAG, ㉠(글루탐산)을 암

- 호화하는 코돈은 GAA이다. 코돈에서 $\frac{A}{G}$ 는 ㉠을 암호화하는 코돈에서 $\frac{1}{2}$, ㉠을 암호화하는 코돈에서 2이므로 코돈에서 $\frac{A}{G}$ 는 ㉠을 암호화하는 코돈에서가 ㉠을 암호화하는 코돈에서보다 작다.
- ㉠. 코돈 AGA는 아르지닌을 암호화한다.

15 전사

- 효소 ㉠은 RNA 중합 효소이고, mRNA가 합성될 때 전사 주형 가닥은 DNA의 아래쪽 가닥이다.
- ㉠. mRNA가 합성될 때 전사 주형 가닥은 DNA의 아래쪽 가닥이므로 DNA의 아래쪽 가닥과 mRNA의 염기 서열은 상보적이다. DNA의 위쪽 가닥의 I에서 $\frac{A}{C} = \frac{3}{2}$ 이므로 DNA의 위쪽 가닥의 I과 상보적인 DNA의 아래쪽 가닥에서 $\frac{T}{G} = \frac{3}{2}$ 이다.
- DNA의 아래쪽 가닥에서 $\frac{T}{G} = \frac{3}{2}$ 이므로 DNA의 아래쪽 가닥과 상보적인 mRNA인 II에서 $\frac{A}{C} = \frac{3}{2}$ 이다.

- ✗. 전사에 의해 mRNA가 합성될 때 프라이머는 필요하지 않으므로 II의 5' 말단에는 프라이머가 없다.
- ㉠. 효소 ㉠은 RNA를 5' → 3' 방향으로 신장시키는 RNA 중합 효소이다.

16 유전자 발현

- ㉠. DNA 전사 주형 가닥과 전사된 mRNA의 염기 서열은 다음과 같다. 밑줄 친 부분은 X의 합성에 이용되는 부분이다.

DNA 전사 주형 가닥	5'-GATC CTA ACA TAA GCT AGC CGG CAT GTAA-3'
mRNA	5'-UUAC AUG CCG GCU AGC UUA UGU UAG GAUC-3'

- X는 6개의 아미노산으로 구성된다.
- ㉠. X의 2번째 아미노산을 암호화하는 코돈은 CCG이다.
- ㉠. X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAG이다.

3 점 수능 테스트

본문 121~125쪽

- 01 ② 02 ⑤ 03 ① 04 ③ 05 ① 06 ① 07 ⑤
08 ② 09 ⑤

01 유전자의 기능

㉠은 유전자 *b*의 기능이 상실된 돌연변이주, ㉡은 유전자 *c*의 기능이 상실된 돌연변이주, ㉢은 야생형 붉은빵곰팡이, ㉣은 유전자 *a*의 기능이 상실된 돌연변이주이고, ㉤는 아르지닌, ㉥는 시트룰린, ㉦는 오르니틴이다.

✕. 야생형 붉은빵곰팡이와 돌연변이주 I~III 중 최소 배지에서 생장할 수 있는 곰팡이는 야생형 붉은빵곰팡이이므로 ㉢은 야생형 붉은빵곰팡이이고, 4종류의 붉은빵곰팡이 모두 '최소 배지+아르지닌' 조건에서 생장할 수 있으므로 ㉤는 아르지닌이다. 유전자 *a*의 기능이 상실된 돌연변이주는 최소 배지에서만 생장할 수 없으므로 ㉣이 유전자 *a*의 기능이 상실된 돌연변이주이고, 유전자 *b*의 기능이 상실된 돌연변이주는 최소 배지에 ㉠~㉢ 중 2가지 물질이 첨가된 배지에서 생장할 수 있으므로 ㉠이 유전자 *b*의 기능이 상실된 돌연변이주이다. 나머지 ㉡은 유전자 *c*의 기능이 상실된 돌연변이주이다. 표를 정리하면 다음과 같다.

구분	기능이 상실된 유전자	최소 배지	최소 배지+ ㉤(아르지닌)	최소 배지+ ㉥(시트룰린)	최소 배지+ ㉦(오르니틴)
㉠	<i>b</i>	×	?(○)	○	×
㉡	<i>c</i>	?(×)	○	×	×
㉢	없음	○	○	?(○)	○
㉣	<i>a</i>	?(×)	○	○	○

(○: 생장함, ×: 생장 못함)

효소 B의 기질은 ㉦(오르니틴)이다.

- ㉣. ㉣(유전자 *c*의 기능이 상실된 돌연변이주)과 ㉣(유전자 *a*의 기능이 상실된 돌연변이주)은 모두 최소 배지에서 생장할 수 없다.
✕. ㉢은 야생형 붉은빵곰팡이로 유전자 *a~c* 모두 정상이다.

02 유전 정보의 흐름

- ㉠은 미토콘드리아, ㉡은 엽록체, ㉢은 핵이고, 과정 I은 전사, 과정 II는 번역이다.
㉣. ㉢(핵)에서는 전사가 일어나고, 번역은 세포질에서 일어난다.
㉣. 과정 II는 mRNA의 유전 정보로부터 단백질이 합성되는 번역 과정이다. 리보솜은 mRNA의 유전 정보에 따라 단백질을 합성한다.
㉣. ㉠(미토콘드리아)과 ㉡(엽록체)은 모두 자체 DNA를 갖고, DNA 복제, 전사, 번역이 모두 일어날 수 있다. 따라서 ㉠과 ㉡에서 모두 과정 I(전사)이 일어난다.

03 유전자 발현

- ㉠은 5'-AAGAAGAAGAAG-3'이고, ㉡은 5'-GAGGAGGAGGAG-3'이다.
㉠. 12개의 뉴클레오타이드로 구성된 ㉠으로부터 합성된 폴리펩타이드의 아미노산 서열 종류에는 아르지닌, 라이신, 글루탐산이 있으므로 ㉠의 염기 서열은 A과 G이 있는 5'-AAGAAGAAGAAG-3'이다.
✕. 12개의 뉴클레오타이드로 구성된 ㉡으로부터 4개의 글루탐산으로 구성된 폴리펩타이드 VII이 합성되었고, IV와 V의 아미노산 서열 종류가 각각 글리신과 아르지닌 한 종류로 구성되어 있으므로 ㉡의 염기 서열은 5'-GAGGAGGAGGAG-3' 또는 5'-GAAGAAGAAGAA-3'이다.
만약 ㉡의 염기 서열이 5'-GAAGAAGAAGAA-3'이라면 글리신을 갖는 IV가 합성될 수 없으므로 ㉡의 염기 서열은 5'-GAGGAGGAGGAG-3'이고, ㉡에서 G의 수는 8이다.
✕. ㉠을 암호화하는 코돈은 GAA이고, ㉡를 암호화하는 코돈은 GAG로 서로 다르다.

04 유전자 발현

- ㉠은 C, ㉡은 A, ㉢은 G, ㉣은 T이고, *x*의 DNA 이중 가닥 중 전사 주형 가닥의 염기 서열은 3'-CC TAC CGT TGC TCA ACC ATC ATG-5'이다.
㉠. *x*의 DNA 이중 가닥 중 전사 주형 가닥에서 개시 코돈과 상보적인 주형 가닥의 염기는 3'-TAC-5'으로 각 염기의 종류가 다르다. 전사 주형 가닥의 3' 말단의 두 번째 염기부터가 3'-TAC-5'이라면 ㉠은 T, ㉡은 A, ㉢은 C이 되고, X는 5개의 아미노산으로 구성되므로 3'-㉠㉡㉢-5'은 종결 코돈으로 전사되어야 하지만 3'-㉠(T)㉡(C)㉢(A)-5'은 종결 코돈으로 전사될 수 없다. 전사 주형 가닥의 3' 말단의 세 번째 염기부터가 3'-TAC-5'이라면 ㉡은 T, ㉢은 A, ㉣은 C이 되고, X는 5개의 아미노산으로 구성되므로 3'-㉡㉢㉣-5'은 3'-ATC-5'이고, 종결 코돈 UAG로 전사될 수 있다. 전사 주형 가닥의 3' 말단의 첫 번째, 네 번째, 다섯 번째 염기부터 3개의 염기는 염기의 종류 수가 3이 아니므로 개시 코돈으로 전사될 수 없다. 전사 주형 가닥의 3' 말단의 여섯 번째 염기부터 3개의 염기는 염기의 종류 수가 3이므로 개시 코돈이 될 수는 있지만, 종결 코돈으로 전사될 수 없다. 따라서 ㉡은 T, ㉢은 A, ㉣은 C, ㉣은 G이다. *x*와 mRNA의 염기 서열은 다음과 같고, 밑줄 친 부분은 X의 합성에 이용되는 부분이다.

x 의 염기 서열	3'- <u>①①</u> <u>②③④</u> <u>⑤⑥⑦</u> <u>⑧⑨⑩</u> <u>⑪⑫⑬</u> <u>⑭⑮⑯</u> ⑰⑱⑲-5'
x 의 염기 서열	3'-CC TAC CGT TGC TCA ACC ATC ATG-5'
mRNA의 염기 서열	5'-GG <u>AUG GCA ACG AGU UGG UAG</u> UAC-5'

- ㉠, ㉡(C)과 ㉢(T)은 모두 피리미딘 계열 염기이다.
 ✕. X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAG이다.

05 유전자 발현

㉠은 5'-AACUCC-3'이고, ㉡는 5'-ACGCAG-3'이며, X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다.
 ✕. 개시 코돈은 AUG이므로 DNA 전사 주형 가닥의 염기 서열은 3'-TAC-5'이므로, 3'-TAC-5'에서부터 번역이 시작되었음을 알 수 있다. DNA, RNA의 염기 서열과 X의 아미노산 서열을 정리하면 표와 같고, 밑줄 친 부분은 X의 합성에 이용되는 부분이다.

㉠(주형 가닥) 염기 서열	3'-GTC AAT TAC TTG AGG CTA ACA TTG AAG TGC GTC TAA ATT ATG AGC-5'
처음 만들어진 mRNA 염기 서열	5'-CAG UUA AUG AAC UCC GAU UGU <u>AAC UUC ACG CAG AUU UAA UAC</u> UCG-3'
성숙한 mRNA 염기 서열	5'-CAG UUA <u>AUG GAU UGU AAC UUC</u> <u>AUU UAA UAC UCG</u> -3'
X의 아미노산 서열	메싸이오닌-아스파르탄-시스테인-아스파라진- 페닐알라닌-아이소류신

㉠은 5'-AACUCC-3'이고, ㉡는 5'-ACGCAG-3'이다.
 ㉠에서 피리미딘 계열 염기(U, C)의 수는 4, ㉡에서 퓨린 계열 염기(A, G)의 수는 4이므로 $\frac{㉠에서 피리미딘 계열 염기의 수}{㉡에서 퓨린 계열 염기의 수} = 1$ 이다.
 ㉢. 성숙한 mRNA의 코돈 중 AAC는 아스파라진을 암호화함을 알 수 있다.
 ✕. X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다.

06 유전자 발현

x 의 전사 주형 가닥으로부터 합성된 mRNA의 염기 서열은 다음과 같다. 밑줄 친 부분은 X의 합성에 이용되는 부분이다.
 5'-GG AUG GUG AGC GAC CAA CCG UGA AA-3'
 Y는 4개의 아미노산으로 구성되고, Y를 암호화하는 mRNA의 5번째 코돈이 종결 코돈이 되어야 하므로 X를 암호화하는 염기 서열에서 CAA가 UAA로 바뀌었고, y 는 x 의 전사 주형 가닥에서 G가 A로 바뀐 것임을 알 수 있다. Y를 지정하는 mRNA

의 염기 서열은 다음과 같다. 밑줄 친 부분은 Y의 합성에 이용되는 부분이다.
 5'-GG AUG GUG AGC GAC UAA CCG UGA AA-3'
 ㉣. ㉣은 구아닌(G)이다.
 ✕. Y의 2번째 아미노산을 암호화하는 코돈의 5' 말단 염기는 구아닌(G)이다.
 ✕. X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UGA이고, Y가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다.

07 유전자 발현

X~Z가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이고, ㉤은 구아닌(G), ㉥은 아데닌(A)이다.
 ㉦. X와 Y의 아미노산 서열에서 라이신의 유무를 제외한 나머지 아미노산 서열이 같으므로 y 는 x 의 전사 주형 가닥에서 '히스티딘-종결 코돈'을 암호화하는 부위의 염기 중 1개의 아데닌(A)이 결실된 것이다. 라이신을 암호화하는 코돈은 AAA, AAG이므로 X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다. x 에서 트레오닌을 암호화하는 염기 중 ㉧이 ㉨으로 치환되어 트레오닌이 메싸이오닌으로 치환되었으므로 트레오닌과 메싸이오닌을 암호화하는 코돈의 3개 염기 중 2개 염기의 종류가 같다. 따라서 X에서 트레오닌을 암호화하는 코돈은 ACG이고, ㉧은 구아닌(G), ㉨은 아데닌(A)이다. X~Z가 합성될 때 사용된 코돈(아미노산)은 다음과 같다.

폴리펩타이드	코돈(아미노산)
X	AUG / GG- / ACG / CA- / UAA / GUAAA.UAA (메싸이오닌-글리신- 트레오닌 -히스티딘)
Y	AUG / GG- / ACG / CA- / AAG / UAA / A.UAA (메싸이오닌-글리신-트레오닌 -히스티딘-라이신)
Z	AUG / GG- / AUG / CA- / CAA / GUA / AA- / UAA (메싸이오닌-글리신-메싸이오닌-히스티딘-글루타민-발린-라이신)

X~Z가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다.
 ㉣. ㉣(구아닌, G)과 ㉤(아데닌, A)은 모두 퓨린 계열에 속하는 염기이다.
 ㉥. Z에서 글루타민을 암호화하는 코돈은 CAA이다.

08 유전자 발현

Y는 24개의 아미노산으로 구성되고, Y와 Z가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 서로 다르다.
 ✕. y 는 x 의 23번 코돈에서 1개 염기가 결실되어 생성된 것이므로 y 의 코돈 번호, y 의 염기 서열, Y의 아미노산 서열은 다음과 같다.

y의 코돈 번호	...	22	23	24	25	26	27	28	...
y의 염기 서열	...	AGC	○○G	AAA	UAA	AUG	ACA	AA○	...
Y의 아미노산 서열	세린	?	라이신	(종결 코돈)					

Y는 24개의 아미노산으로 구성된다.

㉠. z는 x의 25번 코돈에서 1개 염기가 삽입되어 생성된 것이므로 z의 코돈 번호, z의 염기 서열, Z의 아미노산 서열은 다음과 같다.

z의 코돈 번호	...	22	23	24	25	26	27	28	...
z의 염기 서열	...	AGC	AGA	GAA	○○○	AAA	UGA	CAA	...
Z의 아미노산 서열	...	세린	아르 지닌	글루탐산	?	라이신	(종결 코돈)		...

z의 26번 코돈이 암호화하는 아미노산은 라이신이다.

✕. Y가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이고, Z가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UGA이다.

09 유전자 발현

㉠는 3' 말단이고, 전사 주형 가닥은 가닥 II이다.

㉡. 리보솜은 mRNA의 5' → 3' 방향으로 이동하면서 폴리펩타이드를 합성한다. ㉠는 3' 말단이다.

㉢. 가닥 I과 가닥 II 중 전사 주형 가닥의 염기 서열과 전사된 mRNA의 염기 서열은 서로 상보적이므로 전사 주형 가닥은 가닥 II이다.

㉣. (가)는 코돈 AUG → AUG → GUA가 암호화하는 아미노산 순서대로 합성된 폴리펩타이드이므로 (가)를 구성하는 아미노산 서열은 메싸이오닌-메싸이오닌-발린이다.

08 유전자 발현의 조절

2 점 수능 테스트

본문 135~138쪽

- 01 ㉡ 02 ㉠ 03 ㉢ 04 ㉤ 05 ㉣ 06 ㉤ 07 ㉢
 08 ㉤ 09 ㉣ 10 ㉣ 11 ㉠ 12 ㉤ 13 ㉤ 14 ㉢
 15 ㉣ 16 ㉢

01 원핵생물의 유전자 발현 조절

㉠는 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자, ㉡는 젓당 오페론의 프로모터, ㉢는 젓당 오페론의 작동 부위이고, ㉣은 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 발현되어 생성된 억제 단백질이다.

✕. 억제 단백질(㉣)은 젓당 오페론의 작동 부위(㉢)에 결합한다.

✕. 억제 단백질이 젓당 오페론의 작동 부위(㉢)에 결합하고 있으므로, 젓당 오페론의 프로모터(㉡)에는 RNA 중합 효소가 결합하지 못한다.

㉤. 포도당은 없고 젓당이 있는 배지에서 억제 단백질은 젓당 유도체와 결합하여 구조가 변형되므로 젓당 오페론의 작동 부위에 결합하지 못한다. 따라서 RNA 중합 효소가 젓당 오페론의 프로모터에 결합하여 젓당 오페론의 구조 유전자의 전사가 일어난다. 그림에서는 억제 단백질이 젓당 오페론의 작동 부위에 결합하고 있으므로, 이 배지에는 젓당이 없고, 포도당이 있다.

02 진핵세포에서의 전사 조절

진핵세포에서는 RNA 중합 효소가 여러 전사 인자들과 함께 프로모터에 결합하여 전사 개시 복합체를 형성해야 전사가 시작된다. 전사 인자는 DNA 프로모터와 조절 부위 등에 결합하여 전사를 촉진하거나 억제하는 작용을 한다.

㉠. 진핵세포인 사람의 핵에 있는 DNA (가)는 선형 DNA이다.

✕. 프로모터에 결합한 ㉡는 RNA 중합 효소이고, ㉠는 전사 인자이다. RNA 중합 효소(㉡)에 의한 전사 개시 과정에는 프라이머가 합성되지 않는다. 따라서 RNA 중합 효소(㉡)는 프라이머 없이 DNA 주형 가닥에 상보적인 염기 서열을 갖는 RNA를 합성한다.

✕. 진핵세포의 DNA는 대부분 하나의 프로모터에 하나의 유전자가 연결되어 있으며, x가 전사될 때 전사 개시 복합체가 형성되므로 x는 오페론에 의해 유전자 발현이 조절되지 않는다.

03 원핵생물의 유전자 발현 조절

포도당과 젓당이 모두 있을 때 대장균은 포도당을 먼저 에너지원으로 이용하여 증식한다. 따라서 구간 I에서는 포도당을 에너지

원으로 이용하여 증식하고, 구간 II에서는 젖당을 에너지원으로 이용하여 증식한다.

㉠. 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자는 젖당의 유무와 관계없이 항상 발현되므로, 구간 I과 II에서 모두 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자로부터 억제 단백질이 생성된다.

✕. 젖당 분해 효소가 있어야 대장균은 젖당을 에너지원으로 이용하여 증식할 수 있다. t_2 일 때 대장균은 배지에 있는 젖당을 분해하여 증식하고 있으므로 배지에 있는 젖당의 농도는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 낮다.

㉡. 구간 II는 포도당이 고갈된 이후이므로 젖당을 이용하여 대장균이 증식하였다. 따라서 구간 II에는 젖당 오페론의 구조 유전자가 전사되어 생성된 젖당 분해 효소가 있다.

04 세포 분화와 유전자 발현 조절

하나의 수정란이 분열하여 분화된 세포는 수정란과 동일한 유전체를 갖지만, 세포에 따라 특정 유전자만 발현시켜 고유한 형태와 기능을 갖는다.

㉠. 간세포는 수정란의 분열 결과 형성된 세포이고, 하나의 수정란에서 분화된 모든 체세포의 유전체는 같다. 따라서 간세포에는 인슐린 유전자의 전사 인자 결합 부위가 있다.

㉢. 근육 세포에서 액틴 유전자가 발현되므로, 근육 세포에서는 액틴 유전자의 발현에 필요한 전사 인자가 생성된다.

㉡. 진핵생물인 사람의 간세포에서는 전사 개시 복합체가 형성되어야 알부민 유전자의 전사가 일어난다.

05 진핵생물의 유전자 발현 조절

A, B, C가 발현된 I에서 x 가 전사되었으므로, x 의 전사에는 D가 관여하지 않는다. D가 발현되지 않은 I과 A가 발현되지 않은 III에서 모두 y 가 전사되지 않았으므로 A와 D는 y 의 전사를 촉진하고, B와 C는 x 의 전사를 촉진한다. B와 C는 각각 ㉠과 ㉢ 중 서로 다른 하나에, A와 D는 각각 ㉡과 ㉣ 중 서로 다른 하나에 결합한다.

✕. II에서는 A와 D가 모두 발현되었으므로 y 가 전사되며, III에서는 B와 C가 모두 발현되었으므로 x 가 전사된다. 따라서 ㉡는 '전사됨'이다.

㉢. 수정란의 분열 결과 형성된 체세포 I과 II는 수정란과 동일한 유전체를 가진다. 따라서 I과 II에는 모두 B를 암호화하는 유전자가 있다.

㉡. I과 III에서 모두 x 가 전사되었으므로, I과 III에는 ㉠과 ㉢에 결합하는 전사 인자가 모두 있다. 따라서 x 의 전사를 촉진하는 전사 인자는 B와 C이다.

06 초파리의 흑스 유전자와 유전자 발현 조절

흑스 유전자는 호미오 박스라고 하는 특정 염기 서열을 공통으로 가지는 유전자들이며, 유전자 산물은 전사 인자이다.

㉠. 흑스 유전자의 산물이 전사 인자이므로, 흑스 유전자는 전사 인자를 암호화하고 있다.

㉢. 초파리의 흑스 유전자는 배아의 각 체절에서 형성될 기관을 결정하는 데 중요한 역할을 한다.

㉡. 초파리에는 여러 개의 흑스 유전자가 있고, 이는 모두 한 개의 염색체에 있다.

07 원핵생물의 유전자 발현 조절

㉡는 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자, ㉠는 젖당 오페론의 작동 부위, ㉢는 젖당 오페론의 구조 유전자이다. 포도당은 있고 젖당이 없는 배지에서 야생형 대장균은 억제 단백질(물질 X)이 젖당 오페론의 작동 부위(㉠)에 결합하여 젖당 분해 효소를 암호화하는 구조 유전자의 전사가 일어나지 않는다.

㉠. ㉡와 ㉢ 중 하나에 돌연변이가 일어난 대장균 (가)를 포도당은 있고 젖당이 없는 배지에서 배양했을 때 젖당 분해 효소가 합성되었으므로, (가)는 ㉡에 돌연변이가 일어나 억제 단백질이 합성되지 않거나 작동 부위에 결합하지 못하는 비정상적인 억제 단백질이 합성된 돌연변이 대장균이다.

㉢. 야생형 대장균에서 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자(㉡)는 젖당의 유무와 관계없이 발현된다.

✕. 야생형 대장균에서 억제 단백질(물질 X)이 젖당 오페론의 작동 부위(㉠)에 결합하면 젖당 오페론의 구조 유전자(㉢)의 전사가 억제된다.

08 원핵생물의 유전자 발현 조절

돌연변이 대장균 I은 시간에 따라 대장균 수가 변하지 않으므로 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이 대장균이고, II는 젖당 오페론의 작동 부위가 결실된 돌연변이 대장균이다.

㉠. I은 젖당 오페론의 프로모터가 결실되어 배지에 있는 젖당을 에너지원으로 이용하지 못한다.

㉢. 젖당 오페론의 작동 부위가 결실되면, 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 못하여 젖당 오페론의 프로모터에 RNA 중합 효소가 결합하고 젖당 분해 효소 유전자의 전사가 일어난다. 따라서 II는 젖당을 에너지원으로 이용하여 증식할 수 있으므로, ㉡는 I보다 크다.

㉡. 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자는 젖당의 유무와 관계없이 발현되므로, t_1 일 때 I과 II에서 모두 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 발현되어 억제 단백질이 생성된다.

09 진핵세포에서의 전사 조절

(가)는 전사가 억제될 때 염색질이 응축되는 과정을, (나)는 전사가 촉진될 때 응축된 염색질이 풀어지는 과정을 나타낸 것이다.

✗. 염색질이 많이 응축되어 있을수록 RNA 중합 효소와 전사 인자가 DNA에 접근하기 어려워진다. 따라서 (가)가 일어나면 인슐린 유전자의 전사가 억제된다.

㉠. 진핵세포의 전사 조절 과정인 (가)와 (나)는 모두 핵에서 일어난다.

㉡. 진핵생물에서는 RNA 중합 효소가 여러 전사 인자들과 함께 프로모터에 결합하여 전사 개시 복합체를 형성해야 전사가 시작된다. 따라서 인슐린 유전자의 전사 과정에서 전사 개시 복합체가 형성된다.

10 원핵생물의 유전자 발현 조절

야생형 대장균에서 젓당 분해 효소가 생성되었으므로, 배지 A는 포도당은 없고 젓당이 있는 배지이다. 젓당 오페론의 프로모터가 결실되면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하지 못하여 젓당의 이용과 관련된 여러 효소를 암호화하는 구조 유전자의 전사가 일어나지 않는다. 따라서 I은 젓당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이이고, II는 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이이다.

㉠. A는 포도당은 없고 젓당이 있는 배지이다.

㉡. II는 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실되었으므로 II에서는 억제 단백질이 생성되지 않는다. 따라서 ㉡는 'x'이다.

✗. 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자는 젓당 오페론에 포함되지 않는다. 따라서 II는 젓당 오페론의 구성 요소에 결실이 일어나지 않았다.

11 진핵생물의 유전자 발현 조절

성숙한 mRNA는 인트론이 제거되었으므로 주형 가닥 DNA와 성숙한 mRNA 사이에서 상보적 결합을 형성시키면 인트론으로 제거된 RNA 부위와 상보적인 DNA 부위는 고리 구조를 형성한다.

㉠. ㉠은 성숙한 mRNA이고, ㉡은 DNA이다.

✗. 고리 구조 부분은 유전자 발현 조절 과정에서 제거된 인트론에 해당한다.

✗. ㉠을 구성하는 뉴클레오타이드의 당은 리보스이고, ㉡을 구성하는 뉴클레오타이드의 당은 디옥시리보스이다. 따라서 ㉠과 ㉡을 구성하는 뉴클레오타이드의 당은 서로 다르다.

12 진핵생물의 유전자 발현 조절

조절 유전자는 다른 유전자의 발현을 조절하는 단백질을 암호화

한다.

✗. I의 암술 세포에는 A의 전사 인자 결합 부위가 있다.

㉠. II의 수술 세포에서는 b와 c가 발현되므로 B가 C가 모두 생성된다.

㉡. I에서는 암술이 정상적으로 형성되었으므로 I은 a와 b 중 하나가 발현되지 않은 돌연변이 애기장대이고, II에서는 수술이 정상적으로 형성되므로 a가 발현되지 않은 돌연변이 애기장대이다. 따라서 I은 b, II는 a, III은 c가 발현되지 않은 돌연변이 애기장대이고, III에서는 a와 b가 모두 발현되므로 꽃잎과 꽃받침이 모두 정상적으로 형성된다.

13 진핵생물의 유전자 발현 조절

(가)는 전사 과정을, (나)는 전사 후 조절 과정을, (다)는 번역 과정을 나타낸 것이다. DNA가 전사되어 합성된 처음 만들어진 RNA가 성숙한 mRNA로 가공되면서 ㉠이 전사된 부분은 제거되었다. 따라서 ㉠은 인트론이고, ㉡은 엑손이다.

㉠. ㉠은 엑손이다.

㉡. 과정 (가)와 (나)는 모두 핵에서 일어나고, 과정 (다)는 세포질에서 일어난다.

㉢. (다)는 세포질에서 일어나는 번역 과정으로, mRNA의 분해 속도를 조절하여 번역을 촉진하거나 억제할 수 있다.

14 세포의 분화 과정

배아 전구 세포는 개체를 구성하는 다양한 세포로 분화할 수 있고, 세포마다 생성되는 특이적인 전사 인자의 작용에 의해 특정 유전자가 발현되어 세포 분화가 일어난다.

㉠. 배아 전구 세포는 세포 분화의 운명이 결정되기 전의 세포로, 모든 세포로 분화할 수 있다.

㉡. 근육 모세포(㉡)에서 핵심 조절 유전자인 마이오디 유전자(MyoD)가 발현되어 근육 세포로의 분화가 일어난다.

✗. 근육 모세포와 조혈모세포에서 발현되는 전사 인자의 종류와 조합이 다르기 때문에 근육 모세포가 근육 세포로, 조혈모세포가 B 림프구로 분화되었다.

15 진핵생물의 유전자 발현 조절

유전자 x가 전사되기 위해서는 A와 B 중 하나만 있어도 되고, y가 전사되기 위해서는 A가 반드시 있고, C와 D 중 하나만 있어도 된다. z가 전사되기 위해서는 B와 D가 모두 있어야 한다. (가)와 (나)에서는 각각 A~D 중 3가지의 전사 인자가 발현되므로 발현된 전사 인자의 조합은 (A, B, C), (A, B, D), (A, C, D), (B, C, D) 중 하나이고, (A, B, C)가 있으면 x와 y가, (A, B, D)가 있으면 x, y, z가, (A, C, D)가 있으면 x와 y가, (B, C, D)가 있으면 x와 z가 전사된다.

㉠ (가)와 (나)에서는 각각 A~D 중 3가지의 전사 인자가 발현되므로 A 또는 B 중 하나는 반드시 있다. 따라서 (가)와 (나)에서 모두 x 가 전사된다.

✕. $x \sim z$ 중 전사되는 유전자의 수는 (나)에서가 (가)에서보다 많으므로, (나)에서는 A, B, D가 발현되었고, 이 중 A와 D가 각각 ㉠과 ㉡에 결합하여 y 의 전사가 일어난다.

㉢. (나)에는 전사 인자 A, B, D가 있고, 이 중 B와 D가 각각 ㉠과 ㉡에 결합하여 z 의 전사가 일어난다.

16 생쥐의 흑색 유전자

야생형 생쥐 A에서는 가슴 부위에만 갈비뼈가 형성되었지만, 돌연변이 생쥐 B에서는 허리 부위까지 갈비뼈가 형성되었다.

㉠. 흑색 $b6$ 유전자(㉠)의 발현 산물은 전사 인자이다.

㉢. A는 가슴 부위에만 갈비뼈가 형성되었지만, B는 허리 부위까지 갈비뼈가 형성되었으므로 형태 형성 과정 중 B의 허리 부위의 세포에서는 흑색 $b6$ 유전자(㉠)가 발현되었고, B에서 흑색 $b6$ 유전자(㉠)는 허리 부위의 갈비뼈 형성에 관여한다.

✕. B를 구성하는 세포는 하나의 수정란으로부터 세포 분열을 거쳐 분화된 것이므로, B의 상피 세포의 핵 DNA에는 흑색 $b6$ 유전자(㉠)가 있다.

3 점 수능 테스트

본문 139~143쪽

- 01 ④ 02 ① 03 ⑤ 04 ② 05 ⑤ 06 ④ 07 ④
08 ④ 09 ① 10 ②

01 원핵생물과 진핵생물의 유전자 발현 조절

(가)는 사람에서 일어나는 유전자 발현의 조절 과정을, (나)는 대장균에서 일어나는 유전자 발현의 조절 과정을 나타낸 것이다. RNA 중합 효소가 결합하는 B는 프로모터이고, A는 전사 인자 결합 부위이다.

㉠. (가)에서 여러 전사 인자와 RNA 중합 효소가 전사 개시 복합체를 형성하여 전사가 시작되므로, (가)는 사람에서 일어나는 유전자 발현의 조절 과정이다.

✕. A는 x 의 전사에 관여하는 전사 인자가 결합하는 전사 인자 결합 부위이다.

㉢. (나)에서 하나의 mRNA가 번역되어 효소 I~III이 모두 합성되므로 대장균의 DNA에는 여러 유전자가 하나의 프로모터에 연결되어 있는 오페론이 있고, (나)에서 효소 I~III이 암호화된 DNA 부위는 하나의 프로모터에 의해 전사가 조절된다.

02 원핵생물의 유전자 발현 조절

다음 표는 대장균 I~III을 젓당이 없는 배지와 젓당이 있는 배지에서 배양했을 때 젓당 오페론의 구조 유전자의 전사 여부를 나타낸 것이다.

대장균	젓당이 없는 배지	젓당이 있는 배지
I	전사 안 됨	전사됨
II	전사됨	전사됨
III	전사 안 됨	전사 안 됨

✕. 배지의 젓당 조건과 관계없이 젓당 오페론의 구조 유전자가 전사되지 않는 B는 III이다. 젓당의 유무에 따라 전사 여부가 달라지는 A는 I이다. 따라서 A는 결실 부위가 없는 야생형 대장균이다.

㉢. A에서 전사된 mRNA의 양이 증가하였다가 감소하였으므로, t_1 는 젓당을 첨가한 시점이고, t_4 는 젓당을 제거한 시점이다.

✕. 젓당 오페론의 구조 유전자로부터 전사된 mRNA가 번역되면 젓당 이용에 관련된 효소가 생성된다. t_2 일 때 B는 젓당 오페론의 구조 유전자의 전사가 일어나지 않으므로 젓당 이용에 관련된 효소가 생성되지 않아 배지의 젓당을 이용하지 못한다. t_3 일 때 A는 젓당 오페론의 구조 유전자의 전사가 일어나므로 젓당 이용에 관련된 효소가 생성되어 배지의 젓당을 이용할 수 있다. A와 B의 배양 조건이 동일하므로 젓당의 농도는 t_2 일 때 B가 있는 배지에서가 t_3 일 때 A가 있는 배지에서보다 낮지 않다.

03 원핵생물의 유전자 발현 조절

배지에 포도당은 없고 젓당이 있으면 젓당 오페론의 구조 유전자의 전사가 일어나 구조 유전자로부터 전사된 mRNA 양이 증가하므로 t_1 은 젓당 첨가 시점이고, t_2 는 젓당 제거 시점이다. 젓당 분해 효소는 젓당 오페론의 구조 유전자가 전사된 후 합성된다. 따라서 ㉠은 젓당 분해 효소이고, ㉡은 젓당 오페론의 구조 유전자로부터 전사된 mRNA이다.

㉢. ㉠은 젓당 분해 효소이다.

㉣. 구간 I에서 젓당 오페론의 구조 유전자로부터 전사된 mRNA의 농도가 증가하고 있으므로, 젓당 오페론에서 전사가 계속 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 구간 I에서 젓당 오페론의 프로모터에 RNA 중합 효소가 결합한다.

㉤. 구간 II에서 젓당 오페론의 구조 유전자가 전사되지 않고 있다. 따라서 구간 II에서 젓당 오페론의 작동 부위에 결합한 억제 단백질이 있다.

04 진핵생물의 유전자 발현 조절

성 결정 유전자인 *sox9*와 *sry*는 야생형 생쥐 수컷에서는 모두 발현되지만, 야생형 생쥐 암컷에서는 모두 발현되지 않는다. I에서 *sox9*의 발현을 억제했을 때 *sry*는 정상적으로 발현되었으므로, *sox9*의 발현 산물인 SOX9는 *sry*의 전사를 촉진하지 않는다. 따라서 SRY가 *sox9*의 전사를 촉진하는 전사 인자로 작용한다.

㉨. II에서 *sry*의 발현을 억제하면 SRY가 합성되지 않으므로 *sox9*의 전사를 촉진하지 못한다. *sry*가 발현된 I와 IV에서 분화 결과 형성된 생식 기관이 다르므로 IV에서는 *sox9*가 발현되었음을 알 수 있다. IV에서 *sry*의 발현을 유도하면 SRY가 합성되므로 *sox9*의 전사를 촉진한다. 따라서 ㉢는 'x', ㉤는 'O'이다.

㉩. 야생형 생쥐 수컷에서 SOX9는 *sry*의 전사를 촉진하는 전사 인자가 아니고, SRY가 *sox9*의 전사를 촉진하는 전사 인자이다.

㉪. 야생형 생쥐 암컷에서는 *sox9*와 *sry*가 모두 발현되지 않으며, 난소가 생성된다. SRY가 *sox9*의 전사 인자로 작용하므로, 생식 기관의 분화에는 *sox9*의 발현 여부가 중요함을 알 수 있다. 따라서 성염색체 조합이 XX이고 생식 기관이 미분화된 생쥐에게 *sry*의 발현을 유도하고, *sox9*의 발현을 억제하면 SRY는 생성되지만, *sox9*가 발현되지 않으므로 I의 결과와 동일하게 난소가 형성된다.

05 초파리의 흑스 유전자

*Scr*가 발현된 T₁에서는 다리가 형성되었고, *Antp*가 발현된 T₂에서는 다리와 날개가 형성되었으며, *Antp*와 *Ubx*가 발현된 T₃에서는 다리와 평균곤이 형성되었다. *Ubx*는 T₃의 기관 형성에 관여하는 유전자이므로 결실되어도 머리의 더듬이 발현에 영향을 주지 않는다. *Ubx*가 결실되면 T₃에서 형성되는 기관에 변화가

나타난다. 따라서 I은 *Antp*가 머리 부위에 발현되어 머리에 더듬이 대신 다리가 형성된 돌연변이 초파리이고, II는 *Ubx*가 결실되어 T₃에 평균곤 대신 날개가 형성된 돌연변이 초파리이다.

㉠. 흑스 유전자의 발현 산물은 전사 인자이므로, *Scr*가 발현되어 생성된 물질은 전사 인자이다.

㉡. 머리 부위에 *Antp*가 발현되었을 때, 머리에 더듬이 대신 다리가 형성되었다. 초파리 배아의 체절에 따라 발현되는 흑스 유전자의 종류가 다르므로 야생형 초파리 머리 세포에서는 *Antp*가 발현되지 않는다.

㉢. II는 *Ubx*가 결실되어 T₃에 평균곤 대신 날개가 형성된 돌연변이 초파리이다.

06 근육 세포의 분화 과정

*x*는 근육 모세포에서 발현되는 유전자로, *x*가 발현되어 X가 생성되어야 *y*의 전사가 일어난다.

㉠. 이 동물의 근육 세포와 상피 세포 모두 하나의 수정란에서 세포 분열을 통해 만들어진 세포이므로, 동일한 유전체를 가진다. 따라서 ㉠의 상피 세포의 핵 DNA에는 X와 Y의 결합 부위가 모두 있다.

㉨. *x*의 전사를 촉진하는 전사 인자 결합 부위가 결실되면, X와 Y가 모두 생성되지 않지만, *y*의 전사를 촉진하는 전사 인자 결합 부위가 결실되면, X는 정상적으로 생성된다. 따라서 ㉠은 *x*이고, ㉡은 *y*이다.

㉣. 근육 세포로 분화되기 위해서는 근육 특이적인 단백질이 합성되어야 한다. II는 ㉠과 ㉡ 중 *x*(㉠)만 발현되므로, 전사 인자 X는 만들어지지만 X가 결합하는 *y*의 전사 인자 결합 부위가 결실된 돌연변이 근육 모세포이다.

07 원핵생물의 유전자 발현 조절

포도당과 젓당이 모두 있는 배지에서 대장균을 배양하면, 대장균은 포도당을 에너지원으로 먼저 사용한다. 따라서 ㉠은 포도당이다. RNA 중합 효소가 젓당 오페론의 프로모터에 결합하면 젓당 오페론의 구조 유전자의 전사가 일어나 젓당 분해 효소가 생성된다. 구간 I에서 대장균은 포도당과 젓당 중 포도당을 에너지원으로 사용하여 증식하고, 구간 II에서 대장균은 젓당을 에너지원으로 사용하여 증식한다.

㉨. 포도당(㉠)이 대장균의 생장에 사용되는 과정에는 젓당 분해 효소가 필요하지 않다.

㉣. 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자는 젓당의 유무와 관계없이 발현되므로 구간 I과 II에서 모두 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 발현된다.

㉤. 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 전사되면 억제 단백질이 생성된다. t_1 일 때 배지에 젓당(㉡)이 있으므로 억제 단백질은

젓당 유도체와 결합한다. 억제 단백질이 젓당 유도체와 결합하여 구조가 변형되면 작동 부위에 결합하지 못하여 젓당 오페론의 구조 유전자가 전사되고, 젓당 이용에 관련된 효소가 생성된다. 대장균은 젓당을 이용하여 증식할 수 있다.

08 원핵생물의 유전자 발현 조절

㉠은 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자, ㉡은 젓당 오페론의 프로모터, ㉢은 젓당 오페론의 작동 부위, ㉣은 젓당 오페론의 구조 유전자이다. 야생형 대장균을 A와 B에서 각각 배양했을 때 B에서 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합이 일어나지 않으므로 B에는 젓당이 없다. 따라서 A는 포도당은 없고 젓당이 있는 배지, B는 포도당과 젓당이 모두 없는 배지이다.

표에서 β 가 결실된 IV를 A에서 배양했을 때 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합하므로 β 는 프로모터(㉡)가 아니고, IV를 B에서 배양했을 때 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합하지 않으므로 β 는 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자(㉠)와 작동 부위(㉢)가 아니다. 따라서 β 는 구조 유전자(㉣)이다. 이때 B에서 배양한 IV에서 ㉣가 생성되지 않았으므로 ㉣는 젓당 분해 효소이다. α 가 결실된 I을 B에서 배양했을 때 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합하므로 α 는 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자(㉠)와 젓당 오페론의 작동 부위(㉢) 중 하나이다. α 와 γ 가 결실된 II를 A에서 배양했을 때 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합하지 않으므로 γ 는 프로모터(㉡)이다. 구조 유전자(㉣, β)와 δ 가 결실된 III을 A에서 배양했을 때 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합하였고, δ 는 젓당 오페론에 포함되는 부위이므로 작동 부위(㉢)이다. 따라서 α 는 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자(㉠)이다. 이를 정리하면 α 는 ㉠, β 는 ㉣, γ 는 ㉡, δ 는 ㉢이다.

구분	결실 부위	프로모터와 RNA 중합 효소의 결합		젓당 분해 효소(㉣)의 생성	
		A	B	A	B
야생형	없음	?(○)	×	+	?(-)
I	α	?(○)	○	+	?(+)
II	α, γ	×	?(×)	@(-)	?(-)
III	β, δ	○	?(○)	-	@(-)
IV	β	○	×	?(-)	-

(○: 결합함, ×: 결합 못함, +: 생성됨, -: 생성 안 됨)

㉠ 젓당 오페론의 프로모터(㉡, γ)가 결실된 II와 구조 유전자(㉣, β)가 결실된 III에서는 젓당 오페론의 구조 유전자의 전사가 일어나지 않으므로 젓당 분해 효소가 생성되지 않는다. 따라서 ㉠과 ㉣는 모두 ‘- (생성 안 됨)’이다.

✕ A에서 젓당 오페론의 작동 부위(㉢, δ)가 결실된 대장균을 배양하면 억제 단백질이 젓당 유도체와 결합한다.

㉡ IV는 구조 유전자(㉣, β)가 결실된 대장균이다.

09 진핵생물의 유전자 발현 조절

X가 y 의 전사 인자라고 가정하면 IV에서 x 가 ‘전사 안 됨’이면 y 도 ‘전사 안 됨’이어야 하므로, 이는 주어진 조건에 모순된다. 따라서 Y가 x 의 전사 인자이고, x 는 y 의 발현 산물인 Y에 의해 전사가 조절된다. ㉠이 결실된 II에서는 x 가 전사되고, ㉡이 결실된 IV에서는 x 가 전사되지 않으므로 x 의 전사 인자 결합 부위는 ㉡이다. ㉢이 결실된 II와 ㉣이 결실된 IV에서 모두 y 가 전사되므로 y 의 전사 인자 결합 부위는 ㉢이다. 따라서 ㉢에 전사 인자가 결합하여 y 의 전사 산물인 Y가 합성되면 Y가 ㉣에 결합하여 x 의 전사를 촉진한다.

㉠ ㉢이 결실되면 y 의 전사가 일어나지 않으며, Y가 합성되지 않아 x 도 전사되지 않는다. 따라서 ㉠과 ㉢는 모두 ‘전사 안 됨’이다.

✕ Y는 ㉣에 결합한다.

✕ ㉠~㉣ 중 ㉣만 결실된 세포에서는 x 의 전사만 억제된다.

10 진핵생물의 유전자 발현 조절

㉡과 ㉢이 결실된 V의 근육 세포에서 x 가 전사되었으므로 ㉡과 ㉢은 ㉠가 아니고, 근육 세포에서는 ㉠에 결합하는 A와 ㉣에 결합하는 B가 발현된다. ㉠과 ㉢이 결실된 III의 이자 세포에서 x 가 전사되었으므로 ㉠과 ㉢은 ㉠가 아니고, 이자 세포에서는 ㉣에 결합하는 B와 ㉢에 결합하는 D가 발현되며, ㉠는 ㉣이다. ㉠과 ㉢이 결실된 III의 근육 세포에서 x 가 전사되지 않으므로, 근육 세포에서는 ㉢에 결합하는 D가 발현되지 않는다. 따라서 I~V의 근육 세포에서는 A, B, C가 발현된다.

✕ ㉠는 ㉣이다.

㉡ 근육 세포에서는 A~D 중 A, B, C만 발현되고, D는 발현되지 않는다.

✕ IV의 이자 세포에 A~D를 모두 첨가해도 ㉡(㉠)이 결실되었기 때문에 x 는 전사되지 않는다.

09 생명의 기원

2 점 수능 테스트

본문 153~155쪽

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

01 원시 생명체의 탄생 가설

A는 화학적 진화설, B는 심해 열수구설이다.

㉠. 원시 지구는 대규모의 화산 활동으로 생성된 열에너지가 풍부하고, 강한 자외선이 그대로 지구 표면에 도달하여 복사 에너지가 풍부했으며, 번개와 같은 방전 현상에 의한 전기 에너지가 풍부하였다. 화학적 진화설은 이러한 원시 지구의 환경에서 원시 세포(원시 생명체)가 출현하게 된 과정을 설명하는 학설이다.

㉡. 화학적 진화설에 따르면 원시 대기에 메테인(CH₄), 암모니아(NH₃), 수증기(H₂O), 수소(H₂) 등 환원성 기체가 있었다.

㉢. B는 심해 열수구설로, 심해 열수구는 화산 활동으로 에너지가 풍부하여 유기물이 합성될 수 있는 조건을 갖추고 있어 최근 최초의 생명체 탄생 장소로 주목받고 있다.

02 밀러와 유리의 실험

㉠. 밀러와 유리는 원시 지구의 대기 성분으로 추정되는 메테인(CH₄), 암모니아(NH₃), 수증기(H₂O), 수소(H₂)를 이용하여 혼합 기체를 만들었다.

㉡. U자관에 고인 물은 원시 지구의 바다를 재현한 것이고, 냉각 장치를 통해 응결된 물은 비를 재현한 것이다.

㉢. 실험 결과 U자관에서 아미노산 등의 간단한 유기물이 합성되었다.

03 화학적 진화설

㉠. 화학적 진화설에 따르면 원시 대기를 구성하는 기체(무기물)로부터 간단한 유기물이 합성되어 원시 바다에 축적되었다.

㉡. 유기물 복합체의 예에는 코아세르베이트, 마이크로스피어, 리포솜 등이 있으며, 핵산은 복잡한 유기물의 예에 해당한다.

㉢. 폭스는 아미노산 혼합물을 고압 상태에서 가열하여 아미노산 중합체를 만들었으며, 간단한 유기물인 아미노산으로부터 복잡한 유기물인 아미노산 중합체가 합성될 수 있음을 증명하였다.

04 막의 중요성

㉠. 대장균의 세포막은 인지질 2중층으로 구성되어 있다.

㉡. ㉠(대장균 내부의 물질 조성)에 유전 정보를 저장할 수 있는

물질(DNA)이 포함되어 있다.

㉢. ㉠(대장균 내부)은 외부 환경과 분리되어 독자적인 화학 반응이 일어날 수 있다.

05 유기물 복합체의 막 구조 비교

코아세르베이트의 막은 액상의 막이며, 마이크로스피어의 막 구성 성분은 단백질이고, 리포솜의 막은 인지질 2중층으로 구성되어 있다. 따라서 (가)는 마이크로스피어, (나)는 코아세르베이트, (다)는 리포솜이다.

㉠. (가)는 마이크로스피어이다.

㉡. 오파린은 탄수화물, 단백질, 핵산의 혼합물로부터 막에 둘러싸인 작은 액체 방울 형태의 유기물 복합체인 코아세르베이트를 만들었고, 코아세르베이트에는 탄소가 포함된 물질이 있다.

㉢. 리포솜의 막은 선택적 투과성이 있다.

06 유전 정보 체계의 변화

생물의 초기 유전 정보는 RNA에 기반하였으나, 이후 효소 기능을 담당하는 단백질이 출현하면서 RNA-단백질을 기반으로 하는 중간 단계를 거쳐, 정보의 저장 기능을 수행하는 DNA의 출현으로 오늘날과 같은 DNA-RNA-단백질의 유전 정보 체계가 형성된 것으로 추정한다. 따라서 ㉠은 DNA, ㉡은 RNA, ㉢은 단백질이다.

㉠. 리보스는 RNA를 구성하는 당이며, DNA(㉡)를 구성하는 당은 디옥시리보스이다.

㉡. DNA(㉡)는 화학적으로 안정된 이중 나선 구조를 하고 있어 RNA보다 유전 정보의 저장에 더 유리하다.

㉢. 단백질(㉢)은 핵에 있는 유전 정보에 따라 리보솜에서 합성된다.

07 리보자임

그림에서 입체 구조를 가진 리보자임(X)이 RNA 중합 효소로 작용하여 주형 RNA로부터 상보적 RNA 복사본이 합성되고 있음을 알 수 있다.

㉠. ㉠은 RNA를 구성하는 뉴클레오타이드이고 4종류의 염기가 있으므로 ㉠에 유라실(U)이 있다.

㉡. X는 단일 가닥의 RNA가 입체 구조를 형성한 것이다.

㉢. 그림에서 주형 RNA로부터 상보적 RNA 복사본이 만들어지고 있으므로 X는 촉매로 작용한다.

08 원시 생명체의 진화

㉠. 최초의 생명체는 약 39억 년 전에 나타났으며, 무산소 호흡하는 종속 영양 생물이었다.

㉡. 최초의 생명체는 원핵생물이었고, 이후 원핵생물보다 복잡한

구조를 가지는 진핵생물이 출현하였다.

㉠. 최초의 진핵생물은 단세포 생물이었으며, 이후에 다세포 진핵생물이 등장하였다.

09 세포내 공생설

세포내 공생설에 따르면 미토콘드리아는 산소 호흡을 하던 종속 영양 원핵생물이 숙주 세포에 공생하여 형성된 것이고, 엽록체는 광합성을 하던 독립 영양 원핵생물이 숙주 세포에 공생하여 형성된 것이다.

㉠. ㉠은 종속 영양 원핵생물이다.

㉡. 숙주 세포에 산소 호흡을 하는 종속 영양 원핵생물이 공생하여 미토콘드리아를 가지게 된 진핵생물이 출현하였다. 따라서 ㉡은 진핵생물의 조상 세포이다.

㉢. 세포내 공생설을 뒷받침해 주는 것으로 미토콘드리아와 엽록체의 특징을 들 수 있는데, 두 세포 소기관의 2중막 중 내막의 구조가 원핵생물의 세포막과 유사하다. 따라서 ㉢의 세포막은 엽록체의 내막의 구조와 유사하다.

10 지구 대기의 변화와 생물의 출현

무산소 호흡 종속 영양 생물의 무산소 호흡 결과 대기에는 이산화탄소가 증가하였고, 바닷속 유기물의 양은 감소하였다. 그 결과 유기물을 스스로 합성하는 독립 영양 생물인 광합성 세균이 출현하였고 대기 중 산소의 농도와 바닷속 유기물의 양이 증가하였다. 산소의 농도와 유기물의 양 증가로 산소를 이용하여 호흡하는 종속 영양 생물(산소 호흡 세균)이 출현하였다. 따라서 A는 무산소 호흡 종속 영양 생물, B는 광합성 세균, C는 산소 호흡 세균이고, ㉠은 CO₂, ㉡은 O₂이다.

✕. A(무산소 호흡 종속 영양 생물)는 종속 영양 생물이고, B(광합성 세균)는 독립 영양 생물이다.

✕. C(산소 호흡 세균)는 원핵생물이므로 엽록체가 없다.

㉢. 대기 중 ㉡(O₂) 농도의 증가로 오존층이 형성되어 생물이 육상으로 진출하는 계기가 되었다.

11 다세포 진핵생물의 출현

독립된 단세포 진핵생물이 모여 군체를 이룬 후, 환경에 적응하는 과정에서 세포의 형태와 기능이 분화되어 다세포 진핵생물로 진화하였다.

✕. (가)는 단세포 진핵생물의 군체이다.

㉡. 초기 다세포 진핵생물(나)은 진화하여 현재의 원생생물, 식물, 동물, 균류의 조상이 되었다.

㉢. ㉠(이동성 세포)과 ㉡(영양 세포)은 진핵세포이므로 모두 핵막을 갖는다.

12 원시 생명체의 출현

최초의 광합성 세균이 출현한 이후 대기 중의 산소 농도가 증가하였으며, 산소 농도 증가로 산소 호흡을 하는 최초의 산소 호흡 세균이 출현하였다. 이후 원핵생물보다 복잡한 구조를 가지는 최초의 진핵생물이 출현하였다.

㉠. ㉠은 최초의 광합성 세균이다.

✕. ㉡은 최초의 산소 호흡 세균으로 원핵생물이며 미토콘드리아와 같은 막성 세포 소기관이 없다.

✕. ㉢은 최초의 진핵생물로 단세포 생물이다.

3 점 수능 테스트

본문 156~159쪽

- 01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ③ 06 ④ 07 ③
08 ②

01 화학적 진화설, 밀러와 유리의 실험, 폭스의 실험

밀러와 유리는 오파린과 홀데인의 화학적 진화설 중 일부를 입증하였으며, 무기물로부터 간단한 유기물이 합성될 수 있음을 확인하였다. 폭스는 아미노산 혼합물을 고압 상태에서 가열하여 아미노산 중합체를 합성할 수 있음을 확인하였다. 따라서 A는 밀러와 유리의 실험이고 B는 폭스의 실험이다.

- ㉠. 밀러와 유리는 원시 지구의 대기 성분으로 추정되는 메테인(CH₄), 암모니아(NH₃), 수증기(H₂O), 수소(H₂)를 사용하였으며, 이들은 모두 환원성 기체이다.
㉡. B는 ㉠(간단한 유기물)로부터 복잡한 유기물이 생성되는 과정을 증명한 것으로, 폭스는 간단한 유기물인 아미노산으로부터 복잡한 유기물인 아미노산 중합체가 합성될 수 있음을 확인하였다.
㉢. 밀러와 유리의 증명 실험에서 암모니아로부터 아미노산 등의 간단한 유기물이 합성됨을 확인하였으며, 폭스의 증명 실험에서 간단한 유기물로 20여 종류의 아미노산을 사용하여 복잡한 유기물이 합성됨을 확인하였다. 따라서 아미노산은 ㉢에 해당한다.

02 밀러와 유리의 실험

- 밀러와 유리는 원시 지구 환경과 비슷한 조건을 조성하여 혼합 기체(무기물)로부터 간단한 유기물이 합성됨을 확인하였다.
㉠. 혼합 기체는 원시 지구의 대기 성분으로 추정되는 메테인(CH₄), 암모니아(NH₃), 수증기(H₂O), 수소(H₂)를 사용하였고, 모두 수소(H)를 포함한다.
㉡. 원시 지구의 자연 에너지를 재현한 것은 고전압의 전기를 방전한 것이며, 냉각 장치(㉡)를 통과하면서 응결된 물은 비를 재현한 것이다.
㉢. 밀러와 유리는 시간이 경과함에 따라 U자관 내 암모니아의 농도는 감소하고 아미노산의 농도는 증가하는 것을 확인하였다. 따라서 A는 암모니아, B는 아미노산이고 아미노산은 단백질의 기본 단위이다.

03 유기물 복합체

‘주변 환경으로부터 물질을 흡수하면서 커진다.’와 ‘일정 크기 이상이 되면 분열할 수 있다.’는 리포솜, 마이크로스피어, 코아세르베이트가 모두 갖는 특징이며, ‘물속의 인지질이 뭉쳐 만들어졌다.’는 리포솜만 갖는 특징이다. ‘탄소 화합물로 구성된 막을 갖고

있다.’는 리포솜과 마이크로스피어가 갖는 특징이다. ㉠>㉡>㉢이므로 A는 리포솜, B는 마이크로스피어, C는 코아세르베이트이고, ㉠은 4, ㉡는 3, ㉢는 2이다.

- ㉠. 리포솜, 마이크로스피어, 코아세르베이트 중 인지질 2층층의 구조를 갖는 것은 리포솜(A)이다.
X. 오파린은 탄수화물, 단백질, 핵산의 혼합물로부터 막에 둘러싸인 작은 액체 방울 형태의 유기물 복합체를 만들었고 이를 코아세르베이트(C)라고 하였다.
㉢. 코아세르베이트(C)의 막 구성 성분은 물이다.

04 DNA, 리보자임, 단백질의 특징 비교

DNA에 기반을 둔 오늘날의 생명체에서 DNA는 유전 정보의 저장 기능을 담당하고 있고, RNA는 유전 정보의 전달을 담당하며, 단백질은 효소 기능을 담당한다. 따라서 ㉠은 DNA, ㉡은 단백질이다. DNA, 리보자임, 단백질의 특징을 정리하면 표와 같다.

특징 \ 물질	A (단백질)	B (리보자임)	C (DNA)
유전 정보를 저장할 수 있다.	×	㉠(○)	○
기본 단위가 뉴클레오타이드이다.	㉡(×)	?(○)	㉢(○)
효소 기능을 할 수 있다.	?(○)	○	×

(○: 있음, ×: 없음)

- X. A(단백질)는 ㉡이다.
㉠. ㉠~㉢ 중 ‘○’는 2개이다.
㉢. B(리보자임)와 C(DNA)는 인산, 당, 염기로 이루어진 뉴클레오타이드로 구성되어 있으므로 모두 인(P)을 포함한다.

05 원시 생명체의 출현

무산소 호흡 중속 영양 생물의 무산소 호흡 결과 대기에는 이산화탄소가 증가하였고, 바닷속 유기물의 양은 감소하였다. 그 결과 유기물을 스스로 합성하는 독립 영양 생물인 광합성 세균이 출현하였고 대기 중 산소의 농도와 바닷속 유기물의 양이 증가하였다. 산소의 농도와 유기물의 양 증가로 산소를 이용하여 호흡하는 중속 영양 생물(산소 호흡 세균)이 출현하였다. 따라서 A는 무산소 호흡 중속 영양 생물, B는 광합성 세균, C는 산소 호흡 세균이며, I은 무산소 호흡 중속 영양 생물, II은 광합성 세균, III은 산소 호흡 세균이다.

- ㉠. I은 A(무산소 호흡 중속 영양 생물)이다.
X. II(광합성 세균)와 III(산소 호흡 세균)은 모두 원핵생물이므로 핵막이 없다.

㉔ 무산소 호흡 종속 영양 생물, 광합성 세균, 산소 호흡 세균은 모두 RNA를 가진다. 따라서 ㉓는 '○'이다.

06 세포내 공생설과 세포 소기관

㉑는 산소 호흡 세균이 기원인 세포 소기관이므로 미토콘드리아이고, ㉒는 광합성 세균이 기원인 세포 소기관이므로 엽록체이다.
 ✕. ㉑(미토콘드리아)는 세포 호흡을 하는 세포 소기관이고, 빛에 에너지를 화학 에너지로 전환하는 세포 소기관은 ㉒(엽록체)이다.
 ○. ㉑는 숙주 세포에 산소 호흡 세균이 공생하여 미토콘드리아를 가지게 된 종속 영양을 하는 조상 진핵생물이고, ㉒는 이 세포에 광합성을 하는 광합성 세균이 공생하여 엽록체를 가지게 된 독립 영양을 하는 조상 진핵생물이다. 따라서 ㉑와 ㉒는 모두 산소 호흡을 한다.
 ○. 미토콘드리아와 엽록체는 모두 독자적인 유전 물질로 DNA를 갖는다.

07 지구 대기의 변화와 생물의 출현

II와 IV는 막성 세포 소기관이 없고, IV는 독립 영양 생물이므로 IV는 광합성 세균, II는 산소 호흡 세균이다. I은 III보다 먼저 출현하였으므로 I은 단세포 진핵생물, III은 다세포 진핵생물이다.
 ○. 광합성 세균, ㉑는 산소 호흡 세균, ㉒는 단세포 진핵생물, ㉓는 다세포 진핵생물이다.
 ○. II(산소 호흡 세균)는 ㉑이다.
 ✕. I(단세포 진핵생물)과 III(다세포 진핵생물)은 모두 핵막이 있다.
 ○. IV(광합성 세균)가 번성하여 대기 중 산소(O₂)의 농도가 증가하였다.

08 지구 대기의 변화와 생물의 출현

A는 무산소 호흡 종속 영양 생물, B는 광합성 세균, C는 산소 호흡 세균이고, ㉑는 이산화 탄소(CO₂), ㉒는 산소(O₂)이다. 대기 중 ㉑(O₂)의 증가로 형성되는 ㉒은 오존(O₃)이다.
 ✕. A는 종속 영양 생물, B는 독립 영양 생물이다.
 ○. 1분자당 산소 원자 수는 ㉑=㉒<㉓이다.
 ✕. 미토콘드리아는 산소 호흡 세균이 세포내 공생 과정을 거쳐 나타난 세포 소기관이다. C(산소 호흡 세균)는 원핵생물이므로 미토콘드리아를 갖지 않는다.

10 생물의 분류와 다양성

2 점 수능 테스트

본문 167~170쪽

01 ㉒ 02 ㉓ 03 ㉑ 04 ㉑ 05 ㉓ 06 ㉓ 07 ㉑
 08 ㉑ 09 ㉓ 10 ㉓ 11 ㉑ 12 ㉒ 13 ㉑ 14 ㉑
 15 ㉓ 16 ㉑

01 학명과 분류 단계

이명법은 속명과 종소명으로 구성되므로 ㉑는 속명이다.
 ✕. A의 학명에서 ㉑는 속명이다.
 ○. 생물의 분류 단계에서 강은 목보다 상위 분류 단계에 해당한다. A와 B는 모두 토끼목에 속하므로 같은 강에 속한다.
 ✕. A와 B는 속명과 종소명이 모두 다르고, A와 C는 속명은 같고 종소명이 다르므로 A와 C의 유연관계가 A와 B의 유연관계보다 가깝다.

02 생물학적 종

서로 다른 두 개체 사이에서 생식 능력이 있는 자손이 태어난다면, 교배한 두 개체와 자손은 모두 같은 생물학적 종이다.
 ○. 수컷 말과 암컷 말 사이에서 생식 능력이 있는 ㉑이 태어났으므로 수컷 말과 암컷 말은 같은 종이며, 학명이 같다.
 ✕. 말과 당나귀 사이에서 생식 능력이 없는 ㉑이 태어났으므로 말과 당나귀는 서로 다른 생물학적 종이다.
 ○. 말인 ㉑는 당나귀와 같은 *Equus* 속에 속한다. 속은 목보다 하위 분류 단계에 해당하므로 ㉑과 당나귀는 같은 목에 속한다.

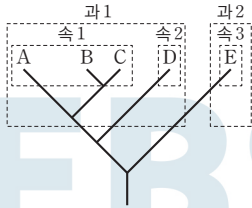
03 학명과 계통수

계통수에서 같은 가지에 위치한 생물 사이의 유연관계는 그렇지 않은 생물 사이의 유연관계보다 가깝다. ㉑는 물음표로 표기된 식물보다 A와 유연관계가 가까우므로 A와 속명이 같은 B이다.
 ○. 표에서 A~C의 학명은 모두 속명과 종소명으로 구성되어 있으므로 이명법으로 나타낸 것이다.
 ○. B(㉑)는 A와 속명이 같고, 분류 단계에서 속은 목보다 하위 분류 단계에 해당하므로 B(㉑)도 A와 같이 장미과에 속한다.
 ○. 문은 목보다 상위 분류 단계에 해당하므로 같은 장미목에 속하는 B와 C는 같은 문에 속한다.

04 계통수

2개의 과와 3개의 속으로 분류되는 A~E에서 같은 가지에 위치

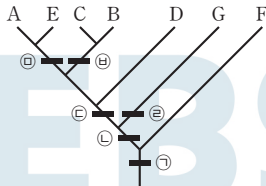
한 A~D가 하나의 과에 속하고 다른 가지에 위치한 나머지 E가 또 다른 하나의 과에 속하며, 이를 3개의 속으로 구분하여 그림에 나타내면 다음과 같다.



- ㉠. A, B, C는 모두 같은 속에 속한다.
- ㉡. 강은 과보다 상위 분류 단계이므로, 같은 과에 속하는 B와 D는 같은 강에 속한다.
- ㉢. C와 D는 같은 과에 속하고, D와 E는 서로 다른 과에 속하므로 C와 D의 유연관계는 D와 E의 유연관계보다 가깝다.

05 계통수

A~G가 가지는 특징을 기준으로 계통수를 나타내면 그림과 같다.



06 계통수

계통수에서 분기점이 아래에 위치할수록 오래전에 분화가 일어난 것이다.

- ✗. A~E는 2개의 과로 분류되므로 같은 가지에 위치한 A~C가 하나의 과에 속하고, D와 E가 나머지 하나의 과에 속한다. C와 D는 서로 다른 과에 속하므로 서로 다른 속에 속한다.
- ✗. A와 B의 분기점은 D와 E의 분기점보다 위쪽에 위치하므로 D와 E의 분화가 A와 B의 분화보다 먼저 일어났다.
- ㉠. A와 B는 같은 가지에 위치하고, A와 E는 서로 다른 가지에 위치하므로 A와 B의 유연관계는 A와 E의 유연관계보다 가깝다.

07 학명과 분류 단계

종소명이 같더라도 속명이 다르면 서로 다른 종이다. A와 D는 속명이 같고, C와 E는 속명이 같으므로 A는 매자나무과, E는 장미과에 속하는 식물이다.

- ㉠. A와 D는 모두 매자나무과에 속하는 식물이므로 같은 목에 속한다.
- ✗. B와 E는 종소명이 *amurensis*로 같지만 속명이 다르므로 B와 E는 서로 다른 종이다.

✗. E는 장미과에 속하는 식물이므로 같은 장미과에 속하는 B와의 유연관계가 종소명이 같지만 서로 다른 속, 과에 속하는 D와의 유연관계보다 가깝다.

08 분류 체계

- ㉠은 진정세균계, ㉡은 고세균계, (가)는 진핵생물역이다.
- ㉠. 5계 중 원생생물계, 균계, 식물계, 동물계에 속하는 생물 집단은 모두 핵이 있는 세포를 가지므로 3역 6계 분류 체계에서 진핵생물역(가)에 포함된다.
- ㉡. 진정세균계(㉠)에는 펩티도글리칸 성분의 세포벽을 가지는 세균이 있다.
- ㉢. 극호열균, 극호염균, 메테인 생성균 등은 고세균계(㉡)에 속한다.

09 3역 6계 분류 체계

- A는 진정세균계, B는 고세균계, C는 동물계이다.
- ㉠. A는 남세균, 대장균, 폐렴 쌍구균 등이 속하는 진정세균계이다.
- ㉡. 계통수에서 같은 가지에 위치하는 고세균계(B)와 동물계(C)의 유연관계는 고세균계(B)와 진정세균계(A)의 유연관계보다 가깝다.
- ✗. 식물계에 속하는 생물은 셀룰로스 성분의 세포벽을 갖지만, 동물계(C)에 속하는 생물은 세포벽을 갖지 않는다.

10 식물계

‘관다발이 있다.’는 장미와 고사리가 가지는 특징이고, ‘종자로 번식한다.’는 장미만 가지는 특징이며, ‘독립 영양 생물이다.’는 장미, 고사리, 우산이끼가 가지는 특징이다. 이를 바탕으로 표를 정리하면 다음과 같다.

구분	㉠ (종자로 번식한다.)	㉡ (관다발이 있다.)	㉢ (독립 영양 생물이다.)
A (고사리)	×	○	○
B (장미)	○	○	?(○)
C (우산이끼)	?(×)	×	○

(○: 있음, ×: 없음)

- ㉠. 고사리(A)에는 형성층이 없는 관다발이 있으며, 체관과 헛물관이 있다.
- ✗. ㉡은 고사리(A)와 장미(B)는 가지고, 우산이끼(C)는 가지지 않는 특징이므로 ‘관다발이 있다.’이다.
- ㉢. C는 특징 ‘관다발이 있다.’(㉡)를 가지지 않으므로 우산이끼

이다.

11 식물계

뽕이끼는 비관다발 식물에 속하고, 쇠뜨기는 비종자 관다발 식물에 속한다. 소나무는 종자식물 중 겉씨식물에 속하고, 무궁화는 종자식물 중 속씨식물에 속한다.

㉠ 쇠뜨기, 소나무, 무궁화에는 모두 관다발이 있고, 뽕이끼에는 관다발이 없으므로 '관다발이 있다.'는 ㉠에 해당한다.

㉡ 쇠뜨기와 뽕이끼는 포자로 번식하고, 소나무와 무궁화는 종자로 번식하므로 '포자로 번식한다.'는 ㉡에 해당하지 않는다.

㉢ 겉씨식물에 해당하는 소나무는 씨방이 없어 밑씨가 겉으로 노출되어 있지만, 속씨식물에 해당하는 무궁화는 밑씨가 씨방에 들어 있다. 따라서 '밑씨가 씨방에 싸여 있다.'는 ㉢에 해당한다.

12 동물계

A는 우렁쟁이, B는 말미잘, C는 플라나리아, D는 거미이다.

㉠ A는 후구동물이면서 중배엽을 갖는 우렁쟁이이다.

㉡ 자포동물에 속하는 말미잘(B)은 몸의 대칭성이 방사 대칭성이다. 따라서 '몸의 대칭성이 방사 대칭성이다.'는 ㉡에 해당한다.

㉢ 플라나리아(편형동물, C)는 촉수담륜동물에 속하지만 거미(절지동물, D)는 탈피동물에 속한다.

13 동물계

B는 체절을 가지고 있으며, 촉수담륜동물에 속하므로 지렁이(환형동물)이고, 체절을 가지는 A는 탈피동물에 속하는 가재(절지동물)이다. 촉수담륜동물에 속하는 C는 달팽이(연체동물)이고, 나머지 D는 원구가 항문이 되는 후구동물 중 극피동물에 속하는 불가사리이다.

㉡ 가재(A), 지렁이(B), 달팽이(C)는 모두 선구동물이고, 불가사리(D)는 후구동물이다. 따라서 가재(A)와 달팽이(C)의 유연관계가 가재(A)와 불가사리(D)의 유연관계보다 가깝다.

㉢ A~C의 몸의 대칭성은 모두 좌우 대칭성이다.

㉣ 극피동물에 속하는 불가사리(D)는 호흡, 순환, 운동의 복합적인 역할을 담당하는 수관계를 가진다. 따라서 수관계는 (가)에 해당한다.

14 동물계와 계통수

A는 창고기, B는 오징어, C는 나비이다. ㉠은 고래와 창고기(A)가 가지는 특징이므로 '척삭을 갖는 시기가 있다.'이고, ㉡은 오징어(B)와 나비(C)가 모두 가지는 특징이므로 '원구가 입이 된다.'이고, 나머지 ㉢은 '탈피를 한다.'이다.

㉣ 일생 동안 척삭이 뚜렷하게 나타나는 창고기(A)는 척삭동물

에 속한다.

㉠ 특징 '원구가 입이 된다.'(㉠)은 가지고, '탈피를 한다.'(㉡)은 가지지 않는 B는 오징어이다.

㉢ ㉢은 A~C 중 탈피동물인 나비(C)만 가지는 특징이므로 '탈피를 한다.'이다.

15 동물계

해파리는 자포동물에 속하고, 목욕해면은 해면동물에 속한다. 잠자리는 절지동물에 속하고, 예쁜꼬마선충은 선형동물에 속한다.

㉠ 해파리(㉠)가 속하는 자포동물은 자세포가 있는 촉수를 이용하여 먹이를 잡거나 몸을 보호한다.

㉡ 목욕해면은 배엽을 형성하지 않고, 자포동물은 내배엽과 외배엽을 형성하므로 '배엽 형성 여부'는 (가)에 해당하지 않는다.

㉢ II에 속하는 잠자리, 예쁜꼬마선충은 모두 탈피동물로 성장 과정에서 탈피를 한다.

16 동물계

㉠ 해파리(가)는 2배엽성 동물이고, 해면(나)은 무배엽성 동물이다. 따라서 배엽의 수는 해파리(가)가 해면(나)보다 많다.

㉡ 해면동물에 속하는 해면(나)은 포배 단계의 동물로 조직이나 기관이 분화되어 있지 않다.

㉢ 3배엽성 동물인 플라나리아(다)는 원구가 입이 되는 선구동물이다.

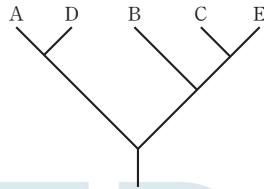
3 점 수능 테스트

본문 171~175쪽

- 01 ③ 02 ⑤ 03 ④ 04 ② 05 ③ 06 ① 07 ③
08 ② 09 ④ 10 ①

01 분류 단계

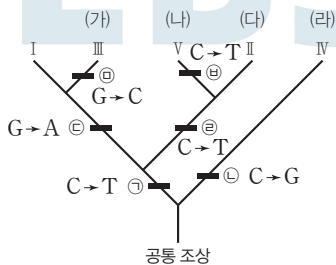
표의 학명에서 A와 D, C와 E는 속명이 같다. 자료에서 A, B, E는 모두 서로 다른 ㉠에 속하므로 D, B, C도 모두 서로 다른 ㉠에 속한다. A(D)와 C(E)는 서로 다른 ㉡에 속하는데, B와 E(C)는 같은 ㉡에 속하므로 ㉠은 ㉡의 하위 분류 단계이다. C(E)와 D(A)는 같은 ㉢에 속하지만, 서로 다른 ㉡에 속하므로 ㉠은 ㉡의 상위 분류 단계이다. 따라서 ㉠은 과, ㉡은 문, ㉢은 목이다. 이를 바탕으로 A~E의 계통수를 나타내면 그림과 같다.



- ㉠. ㉠은 과이다.
㉡. B와 D는 모두 포유강에 속하는 생물이므로 같은 문(㉡)에 속한다.
X. A와 B는 서로 다른 목(㉢)에 속하지만, B와 C는 같은 목(㉢)에 속하므로 A와 B의 유연관계는 B와 C의 유연관계보다 멀다.

02 염기 서열과 계통수

계통수에서 (라)는 염기 치환이 1회만 일어난 종이므로 IV이고, 염기 치환이 3회 일어난 III과 V는 각각 (가)와 (나) 중 하나이다. 그중 I과 염기 서열이 유사한 III이 (가)이므로 V는 (나)이고, 나머지 II는 (다)이다. 표의 염기 치환을 계통수에 나타내면 그림과 같다.



- ㉠. (가)는 I과 염기 서열이 가장 유사한 III이다.

- ㉡. I~V는 3개의 속으로 분류되므로 I과 III이 하나의 속, II와 V가 하나의 속, IV가 하나의 속으로 분류된다.
㉢. ㉠, ㉡, ㉢에서 모두 사이토신(C)이 타이민(T)으로 치환되었다.

03 분류 체계의 변화

5계 분류 체계에서 원핵생물계(㉠)에 속하던 생물을 3역 6계 분류 체계에서는 세균역의 진정세균계(㉡)와 고세균역의 고세균계로 분류한다. ㉢은 식물계, ㉣은 동물계이다.

- X. 5계에서 원핵생물계(㉠)에 속하는 생물을 3역 6계 분류 체계에서는 진정세균계(㉡)와 고세균계로 분류하였다.
㉡. 진정세균계(㉡)에 속하는 생물은 펩티도글리칸 성분의 세포벽을 갖고, 식물계(㉢)에 속하는 생물은 셀룰로스 성분의 세포벽을 갖는다.
㉣. 식물계(㉢)과 동물계(㉣)에 속하는 생물의 세포에는 핵막이 있으므로 모두 진핵생물역에 속한다.

04 3역 6계

- ‘체관이 있다.’는 고사리만 가지는 특징이고, ‘광합성을 한다.’는 고사리와 남세균이 가지는 특징이며, ‘세포벽이 있다.’는 버섯, 고사리, 남세균이 가지는 특징이다.
X. 산호는 동물계에 속하는 생물로 (가)의 3가지 특징을 모두 가지지 않는다. 따라서 ㉠은 0이다.
㉡. A는 (가)의 특징 중 1개만 가지므로 버섯이다. 버섯은 균계에 속한다.
X. B는 (가)의 특징 중 2가지 특징을 가지므로 세균역에 속하는 남세균이고, 나머지 C는 진핵생물역에 속하는 고사리이다.

05 식물계

- ‘씨방이 있다.’는 무궁화만 가지는 특징이고, ‘관다발이 있다.’는 석송, 무궁화, 은행나무가 가지는 특징이며, ‘종자로 번식한다.’는 무궁화와 은행나무가 가지는 특징이다. (가)에서 ㉡은 A~D가 모두 가지는 특징이므로 ‘잎에 큐티클층이 있다.’이고, ㉠~㉣을 모두 가지는 B는 무궁화이다. ㉠~㉣ 중 석송, 무궁화(B), 은행나무가 모두 가지는 특징인 ㉢은 ‘관다발이 있다.’이고, 은행나무는 ㉠~㉣ 중 3가지를 가지므로 D이다. D(은행나무)는 ㉣을 가지지 않으므로 ㉣은 ‘씨방이 있다.’이다. A는 ㉣만 가지므로 우산이끼이고, 나머지 C는 석송이다. 이를 바탕으로 표를 정리하면 다음과 같다.

특징 \ 식물	㉠ (종자로 번식한다.)	㉡ (잎에 큐티클층이 있다.)	㉢ (관다발이 있다.)	㉣ (씨방이 있다.)
A (우산이끼)	×	○	×	? (×)
B (무궁화)	○	○	○	○
C (석송)	×	○	? (○)	×
D (은행나무)	? (○)	○	○	×

(○: 있음, ×: 없음)

- ㉠ A는 ㉠~㉣ 중 1가지 특징만 가지므로 우산이끼이다.
- ㉡ ㉡은 A~D가 모두 가지는 특징으로 '잎에 큐티클층이 있다.'이다.
- ✕ ㉢(관다발이 있다.)은 B(무궁화), C(석송), D(은행나무)가 가지는 특징이다. C(석송)에는 형성층이 없다.

06 식물계

- A는 선태식물, B는 양치식물, C는 겉씨식물이다.
- ㉠ 양치식물과 겉씨식물은 모두 관다발이 있으므로 ㉣는 '○'이고, ㉡는 '×'이다.
 - ✕ II는 관다발이 있지만 종자를 가지지 않으므로 비종자 관다발 식물인 양치식물(B)이다.
 - ✕ ㉠은 비관다발 식물인 선태식물(A)과 나머지 식물을 구분하는 분류의 기준이 되는 특징이다. '포자로 번식한다.'는 선태식물(A)과 양치식물(B)에 모두 해당하는 특징으로 B, C, 속씨식물과 A를 분류하는 분류 기준이 되는 특징(㉠)이 될 수 없다.

07 식물계

- 벼와 소나무는 모두 종자로 번식하며 벼는 밀씨가 씨방에 싸여 있는 속씨식물이고, 소나무는 씨방이 없어 밀씨가 노출된 겉씨식물이다. 따라서 A는 벼, B는 소나무이다. 솔이끼와 쇠뜨기는 포자로 번식하며, 솔이끼는 관다발이 없고, 쇠뜨기는 관다발이 있다. 따라서 C는 쇠뜨기, D는 솔이끼이다.
- ㉠ A는 벼이다.
 - ㉡ 소나무(B)와 쇠뜨기(C)의 관다발에는 체관과 헛물관이 있다.
 - ✕ 솔이끼(D)는 선태식물에 속한다.

08 동물계

'탈피를 한다.'는 새우만 가지는 특징이고, '원구가 입이 된다.'는 새우와 오징어가 가지는 특징이고, '몸의 대칭성이 좌우 대칭성이다.'는 새우, 오징어, 창고기가 가지는 특징이다. ㉠~㉣을 모두

가지는 A는 새우이고, A~C가 모두 가지는 ㉡은 '몸의 대칭성이 좌우 대칭성이다.'이고, ㉠을 가지지 않는 D는 해파리이다. B는 ㉠과 ㉡을 가지고, ㉢을 가지지 않으므로 오징어이고, ㉣은 '탈피를 한다.'이며, ㉣은 '원구가 입이 된다.'이다. 따라서 C는 창고기이다. 이를 바탕으로 표를 정리하면 다음과 같다.

특징 \ 동물	㉠ (원구가 입이 된다.)	㉡ (몸의 대칭성이 좌우 대칭성이다.)	㉢ (탈피를 한다.)
A(새우)	○	? (○)	○
B(오징어)	○	○	×
C(창고기)	×	○	? (×)
D(해파리)	? (×)	×	×

(○: 있음, ×: 없음)

- ✕ 새우(A)와 오징어(B)는 원구가 입이 되는 선구동물이고, 창고기(C)는 원구가 항문이 되는 후구동물이다. 따라서 새우(A)와 창고기(C)의 유연관계보다 새우(A)와 오징어(B)의 유연관계가 더 가깝다.
- ✕ 창고기는 척추동물이 아닌 두삭동물로 척추가 아닌 척삭을 가진다.
- ㉣ 해파리(D)에는 자세포가 있다.

09 분류 단계와 계통수

- A는 F와 속명이 같으므로 고양이과에 속하고, B와 E는 속명이 같으므로 식육목의 개과에 속한다. A와 G가 모두 쥐목에 속하는 생물이라면 식육목에 속하는 B와 E는 계통수에 나타낼 수 없으므로 A와 G 이외에 계통수에는 C, D, F가 있다. 그런데 A와 F는 속이 같으므로 ㉠과 유연관계가 가장 가까운 동물과, ㉠은 각각 C와 D 중 하나이다. 그러면 계통수에서 G와 유연관계가 가까운 생물이 존재하지 않게 되므로 A와 G는 서로 다른 목에 속하고, A는 식육목에 속한다. A, B, D, E, F가 모두 식육목에 속하므로 C는 쥐목에 속한다. A~G는 4개의 속으로 분류되는데 A, B, D, G가 서로 다른 속이므로 G와 유연관계가 가장 가까운 생물은 G와 같은 속에 속해야 한다.
- ✕ ㉠은 A와 같은 식육목에 속하면서 고양이과가 아닌 B와 E 중 하나이다. B와 E는 모두 개과에 속하므로 ㉠은 개과에 속한다.
 - ㉡ C는 G와 유연관계가 가장 가까운 생물이다. A, B, D, G가 서로 다른 속에 속하므로 C와 G는 같은 속(Castor)에 속한다.
 - ㉢ A와 D는 모두 식육목의 고양이과에 속하고, E는 식육목의 개과에 속하므로 A와 D의 유연관계는 D와 E의 유연관계보다 가깝다.

10 동물계

A는 달팽이, B는 불가사리, C는 해파리, D는 가재이다. I은 원구가 입이 되는 발생 과정의 일부이고, II는 원구가 항문이 되는 발생 과정의 일부이다.

○ 달팽이(A)와 가재(D)는 I의 발생 과정을 거치는 선구동물이고, 불가사리(B)는 II의 발생 과정을 거치는 후구동물이다. '㉠의 발생 과정을 거친다.'는 불가사리(B)만 가지는 특징이므로 ㉠은 II이다.

✕ 달팽이(A)는 I(㉠)의 발생 과정을 거치지만, 해파리(C)는 중배엽을 갖지 않으므로 I과 II의 발생 과정을 모두 거치지 않는다.

✕ 가재(D)의 몸은 단단한 외골격으로 둘러싸여 있다. 외투막으로 둘러싸인 몸을 가진 것은 달팽이(A)이다.

11 진화의 원리

2. 수능 테스트

본문 183~186쪽

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

01 화석상의 증거

화석을 통해 지층이 형성될 당시의 생물 다양성과 환경의 특징을 알 수 있다.

○ 자료의 첫 번째 문장에서 최초의 ㉠(어류의 화석)이 생성된 이후에 최초의 ㉡(양서류의 화석)이 생성되었음을 알 수 있다.

✕ 스트로마톨라이트는 약 35억 년 전의 지층에서도 발견되므로 ㉢(약 3억 7500만 년 전에 해당하는 지층)에서만 발견되는 것은 아니다.

✕ ㉣(틱타알릭 화석)은 생물 진화의 증거 중 화석상의 증거에 해당한다.

02 화석상의 증거

오늘날의 고래는 바다에 서식하며 뒷다리는 흔적 기관으로 남아 있다.

✕ 오늘날 고래의 ㉠(가슴지느러미)은 헤엄을 치는 용도로 사용되므로 흔적 기관이 아니다.

○ 고래의 진화 과정에서 뒷다리가 짧아졌고, 오늘날 고래에는 흔적 기관으로 남아 있다.

✕ 고래 조상 종과 고래의 화석을 통해 알 수 있는 진화의 증거는 화석상의 증거에 해당한다.

03 생물지리학적 증거

생물은 지리적으로 격리된 후 독자적인 진화 과정을 거친다.

✕ 갈라파고스 군도의 핀치 부리 모양이 다양한 것은 생물 진화의 증거 중 생물지리학적 증거에 해당한다.

○ 먹이의 종류와 같은 서식 환경은 핀치 부리 모양의 진화에 영향을 미쳤다.

○ 뾰족하고 단단한 부리는 나무 구멍 속 곤충을 잡아 먹기에 적합하고, 크고 튼튼한 부리는 종자를 부숴먹기에 적합하다. A는 나무 구멍 속 곤충을 먹고, B는 단단한 종자를 먹는다.

04 분자진화학적 증거

DNA 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열과 같은 분자생물

학적 특징을 비교하면 생물 간의 진화적 유연관계를 알 수 있다.

- ㉠ 여러 생물 사이에서 단백질의 아미노산 서열을 비교하는 것은 생물 진화의 증거 중 분자진화학적 증거에 해당한다.
- ㉡ 사람과 유연관계가 가까운 동물일수록 사람 글로빈 단백질의 아미노산 서열과의 유사성이 크다. 사람과 붉은털원숭이 사이에서 아미노산 서열의 유사성은 95%이고, 사람과 개구리 사이에서 아미노산 서열의 유사성은 54%이므로 사람과 붉은털원숭이의 유연관계는 사람과 개구리의 유연관계보다 가깝다.
- ㉢ 공통 조상이 존재했던 시기가 가까울수록 DNA 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열이 유사하다. 따라서 공통 조상에서 분화한 지 오래될수록 아미노산 서열 차이가 커진다.

05 생물 진화의 증거

- (가)는 생물지리학적 증거, (나)는 화석상의 증거, (다)는 비교해부학적 증거이다.
- ㉣ 켄거루와 같은 유대류가 특정 지역에 서식하는 것은 생물지리학적 증거에 해당한다. (가)는 생물지리학적 증거이다.
- ㉤ '고래 조상 종의 화석에 뒷다리뼈가 있다.'는 (나)(화석상의 증거)의 예에 해당한다.
- ㉥ ㉠(새의 날개와 곤충의 날개)은 발생 기원은 다르지만 기능은 유사한 상사 형질(상사 기관)의 예에 해당한다.

06 유전자풀의 변화 요인

- 유전자풀의 변화 요인에는 돌연변이, 유전적 부동, 자연 선택, 유전자 흐름이 있다.
- ㉦ 병목 효과와 창시자 효과는 유전적 부동의 한 현상이다.
- ㉧ 자연 선택이 일어나면 환경에 가장 적합한 형질을 가진 개체의 비율이 증가한다.
- ㉨ 돌연변이에 의해 DNA 염기 서열 변화가 생겨 새로운 대립유전자가 나타나므로, 돌연변이는 유전자풀에 새로운 대립유전자를 제공한다.

07 유전자풀의 변화 요인

- 과정 I에서 병목 효과가 일어나 대립유전자의 구성과 빈도가 변하였다.
- ㉩ 과정 I에서 포획에 의해 집단의 크기가 급격히 작아지는 병목 효과가 일어났다.
- ㉪ 과정 II에서 북방코끼리바다표범 집단의 개체 수가 증가하였으므로 북방코끼리바다표범 집단의 크기가 증가하였다.
- ㉫ t_1 과 t_2 일 때 북방코끼리바다표범 집단의 크기가 다르므로 북방코끼리바다표범 집단의 유전자풀도 다르다.

08 유전자풀의 변화 요인

- 과정 I에서 돌연변이가 일어났고, 과정 II에서 자연 선택이 일어났다.
- ㉬ 과정 I에서 돌연변이에 의해 살충제 내성이 있는 바퀴벌레가 나타났다.
- ㉭ 과정 II에서 살충제 살포 환경에 살아남을 수 있는 ㉠(살충제 내성이 있는 바퀴벌레)이 자연 선택되어 개체 수가 증가했다.
- ㉮ 살충제 살포 환경에서는 ㉡(살충제 내성이 없는 바퀴벌레)이 ㉠(살충제 내성이 있는 바퀴벌레)보다 생존에 불리하다.

09 유전자 흐름

- (가)는 유전자 흐름이다.
- ㉯ 두 집단 사이에 개체의 이주나 배우자의 이동으로 두 집단의 유전자풀이 달라지는 유전자 흐름은 (가)에 해당한다.
- ㉺ (가)가 없을 때 I과 II에는 각각 A와 B 중 한 종류의 대립유전자만 있었지만, (가)가 있을 때 I과 II에는 모두 A와 B가 있다. 따라서 (가)(유전자 흐름)에 의해 I과 II 사이의 유전자풀 차이가 감소했음을 알 수 있다.
- ㉻ (가)가 없을 때 I에서 A의 빈도는 1이고, (가)가 있을 때 I에서 B의 빈도는 $\frac{1}{6}$ 이므로 $\frac{(가)가 없을 때 I에서 A의 빈도}{(가)가 있을 때 I에서 B의 빈도} > 1$ 이다.

10 종분화

- 산맥 형성 후에 A에서 B로의 종분화가 일어났고, 섬의 분리 후에 A에서 C로의 종분화가 일어났다.
- ㉼ A와 B는 서로 다른 종으로 생식적으로 격리되어 있다.
- ㉽ 섬의 분리 이후에 A가 C로 분화하는 과정이 일어났다.
- ㉾ B와 C는 서로 다른 종이므로 B의 유전자풀과 C의 유전자풀은 서로 다르다.

11 종분화

- ㉿ ㉠과 ㉡은 각각 B와 C 중 하나이고, ㉢은 A이다.
- ㊀ 종분화에 의해 A로부터 B가 나타났고, B로부터 C가 나타났으므로 ㉠과 ㉡은 각각 B와 C 중 하나이고, ㉢은 A이다.
- ㊁ 가장 최근에 분화된 종일수록 유연관계가 가깝다. 계통수에서 A와 B의 분화는 B와 C의 분화보다 먼저 일어났으므로 A와 B의 유연관계는 B와 C의 유연관계보다 멀다.
- ㊂ 이입과 이출 없이 B로부터 C가 나타났으므로 B가 C로 분화하는 과정에서 돌연변이가 발생하였음을 알 수 있다.

12 자연 선택

P는 자연 선택에 의해 검은색 쪽 털을 가진 개체의 비율이 증가했다.

- ㉠. I에서 P의 털색에 따른 개체 수가 다양하므로 I에서 P의 개체 사이에 털색에 대한 변이가 있다.
- ㉡. I에서는 II에서 없는 털색 형질에 대한 개체가 있고, P의 전체 개체 수도 다르다. 따라서 I과 II에서 P의 유전자풀은 서로 다르다.
- ㉢. 털색이 ㉠인 개체 수는 I에서가 II에서보다 많다.

13 하디·바인베르크 평형

A는 A*에 대해 열성이다.

- ㉡. 검은색 몸 대립유전자 A의 빈도가 증가할수록 검은색 몸 개체 수가 증가하므로 그림에서 Y 축은 검은색 몸 개체의 비율이다. A의 빈도가 0.5일 때, 검은색 몸 개체의 비율이 0.25이므로 검은색 몸은 회색 몸에 대해 열성이고, A는 A*에 대해 열성이다.
- ㉢. A*의 빈도를 p , A의 빈도를 q 라 하자. A의 빈도(q)가 0.5인 집단에서 검은색 몸을 갖는 개체 수는 $10000 \times (0.5)^2 = 2500$ 이다.
- ㉣. A의 빈도가 A*의 빈도의 3배인 집단에서 q 의 빈도는 $\frac{3}{4}$, p 의 빈도는 $\frac{1}{4}$ 이다. 이 집단에서 유전자형이 A*A인 개체의 빈도는 $2pq = 2 \times \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{8}$ 이다.

14 하디·바인베르크 평형

- ㉡. I에서 A의 빈도를 p , a의 빈도를 q 라 하자. 유전자형이 AA인 개체와 Aa인 개체를 합쳐서 a의 빈도를 구하면 $\frac{1}{3}$ 이므로 $\frac{pq}{p^2+2pq} = \frac{1}{3}$ 이다. $\frac{q}{1+q} = \frac{1}{3}$ 이고, $p+q=1$ 이므로 $q = \frac{1}{2}$, $p = \frac{1}{2}$ 이다. I에서 임의의 정상 수컷으로부터 ㉠ 발현 자손이 태어나기 위해서는 정상 수컷의 유전자형이 이형 접합성이어야 한다. I에서 임의의 정상 수컷의 유전자형이 이형 접합성(Aa)일 확률은 $\frac{2pq}{p^2+2pq} = \frac{2}{3}$ 이고, ㉠ 발현(aa) 암컷 사이에서 자손(F₁)이 태어날 때, 이 F₁에게서 ㉠이 발현될(aa) 확률은 $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{3}$ 이다.

15 하디·바인베르크 평형

I에서 A의 빈도를 p , a의 빈도를 q 라 하자. 이 집단에서 유전자형이 AA인 개체 수는 $p^2 \times 1000 = 490$ 에서 $p = 0.7$ 이므로, $q = 1 - p = 0.3$ 이다.

㉠. I에서 A의 빈도(p)는 0.7이다.

- ㉡. I의 유전자풀에서 a의 수는 $420 + (2 \times 90) = 420 + 180 = 600$ 이다.
- ㉢. I은 하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단이므로 세대를 거듭하여도 A의 빈도와 a의 빈도는 변하지 않고 유지된다. 따라서 I에서 세대가 거듭될수록 물갈퀴를 가진 개체의 비율이 증가하지는 않는다.

16 하디·바인베르크 평형

A의 빈도를 p , A*의 빈도를 q 라 하자. 긴 털 대립유전자 A가 짧은 털 대립유전자 A*에 대해 열성이고, I의 전체 개체 수를 N이라 하면, I에서 $\frac{\text{긴 털 대립유전자 수}}{\text{긴 털을 갖는 개체 수}} = \frac{(2p^2+2pq)N}{p^2N} = \frac{8}{7}$ 이고,

$p = \frac{14}{8} > 1$ 이 되어 p 의 최댓값이 1이라는 조건을 만족하지 않는다.

다. A가 A*에 대해 우성이라면 I에서 $\frac{\text{긴 털 대립유전자 수}}{\text{긴 털을 갖는 개체 수}}$

$= \frac{(2p^2+2pq)N}{(p^2+2pq)N} = \frac{8}{7}$ 이라는 조건에서, $q = \frac{3}{4}$, $p = \frac{1}{4}$ 이 되어 p

와 q 의 최댓값이 1이라는 조건을 만족한다.

㉠. I에서 A의 빈도(p)는 $\frac{1}{4}$ 이다.

- ㉢. 유전자형이 AA*인 개체는 우성 대립유전자 A에 의해 긴 털을 갖는다.
- ㉣. 하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단에서는 세대가 거듭되더라도 대립유전자의 빈도는 변하지 않는다.

3 점 수능 테스트

본문 187~191쪽

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

01 생물 진화의 증거

(가)는 생물 진화의 증거 중 비교해부학적 증거에 해당하는 상사 형질(상사 기관)의 예이고, (나)는 생물 진화의 증거 중 생물지리학적 증거에 해당한다.

㉠ 잠자리의 날개와 박쥐의 날개는 발생 기원은 다르지만 생김새와 기능이 비슷한 상사 형질(상사 기관)의 예에 해당한다.

㉡ 캥거루와 코알라는 지리적으로 격리된 후 오랜 세월 동안 독자적인 진화 과정을 거쳤다.

✕ (가)는 생물 진화의 증거 중 비교해부학적 증거에 해당한다. 오스트레일리아구에는 동남아시아구에서 발견되지 않는 캥거루, 코알라와 같은 유대류가 서식하고 있다. 이는 오스트레일리아구가 대륙으로부터 분리되면서 유대류가 원시 포유류에서 독자적으로 진화하였음을 보여준다. (나)는 생물 진화의 증거 중 생물지리학적 증거에 해당한다.

02 유전적 부동

㉠은 병목 효과의 예에 해당하고, 가뭄 환경에서 B는 생존하지 못했다.

㉡ ㉠은 가뭄에 의해 집단의 크기가 급격히 작아졌으므로 병목 효과의 예에 해당한다.

✕ $\frac{A \text{의 개체 수}}{\text{전체 개구리 개체 수}}$ 는 가뭄 발생 전일 때 $\frac{4}{11}$ 이고, 가뭄 발생 후일 때 $\frac{8}{11}$ 이므로 가뭄 발생 전일 때가 가뭄 발생 후일 때보다 작다.

✕ A와 C는 같은 종이므로 생식적으로 격리되어 있지 않다.

03 종분화

㉠과 ㉡을 구성하는 종의 수는 각각 1이고, 과정 ㉢에서 자연 선택이 일어났다.

✕ ㉠에는 A만 있고, ㉡에는 B만 있으므로 ㉠과 ㉡을 구성하는 종의 수는 1로 같다.

㉢ 과정 ㉢에서 큰 섬에 존재하는 B의 개체 수와 개체 수 비율이 모두 증가했다.

㉣ A로부터 B로의 종분화보다 A로부터 C로의 종분화가 최근에 일어났으므로 A와 C의 유연관계는 A와 B의 유연관계보다 가깝다.

04 종분화

㉠은 과, ㉡는 속이다.

✕ 분류 단계는 과가 속보다 크므로 두 종이 서로 다른 속에 속하더라도 같은 과에 속할 수 있다. 표의 A와 C에서 ㉠은 같지만 ㉡는 다르므로 ㉠은 과, ㉡는 속이다. A와 C는 서로 다른 속에 속한다.

㉢ 과정 (가)에서 새로운 C가 출현했으므로 돌연변이가 일어났음을 알 수 있다.

㉣ A로부터 B로의 분화가 일어난 후 A로부터 C로의 분화가 일어났다.

05 종분화

㉠은 돌연변이, ㉡은 자연 선택이다.

㉢ 바다 형성이라는 지리적 격리에 의해 새로운 종 B가 출현하였으므로 지리적 격리는 종분화가 일어나는 요인 중 하나이다.

㉣ ㉠에 의해 C와 B*가 출현했으므로 ㉠은 돌연변이, ㉡에 의해 B*가 사라졌으므로 ㉡은 자연 선택이다.

㉣ A와 B는 서로 다른 종으로 유전자풀은 서로 다르다.

06 고리종

(가)의 A~E에서 인접한 두 집단 사이에서는 유전자 흐름이 일어나고, (나)는 지리적 격리에 의한 종분화 사례이다.

㉠ (가)의 A~E는 고리종을 구성하므로 B와 C 같이 인접한 두 집단에서는 유전자 흐름이 일어날 수 있다.

✕ (나)에서 협곡에 의한 지리적 격리가 일어나 공통 조상 다람쥐로부터 해리스영양다람쥐와 흰꼬리영양다람쥐로의 종분화가 일어났다.

㉢ 고리종은 종분화가 점진적으로 일어나고 있음을 보여주는 사례이므로 (가)는 종분화가 점진적인 변화에 의해 일어날 수 있음을 보여주는 사례이다.

07 하디·바인베르크 평형

I에서 A의 빈도를 p , a의 빈도를 q , II에서 A의 빈도를 p' , a의 빈도를 q' 이라 하자. I에서 유전자형이 Aa인 개체들과 aa인 개체들을 합쳐서 a의 빈도를 구하면 $\frac{pq+q^2}{2pq+q^2} = \frac{1}{1+p} = \frac{5}{8}$ 이므로 $p=0.6$, $q=0.4$ 이다. II에서 유전자형이 AA인 개체들과 Aa인 개체들을 합쳐서 a의 빈도를 구하면 $\frac{p'q'}{p'^2+2p'q'} = \frac{q'}{1+q'}$ $= \frac{1}{6}$ 이므로 $p'=0.8$, $q'=0.2$ 이다.

✕ I의 전체 개체 수를 N이라 하면, I에서 회색 몸 개체 수는 3200이므로 $q^2 \times N = 3200$ 이고, $(0.4)^2 \times N = 3200$ 에서

N=20000이다.

㉠. I에서 A의 빈도(p)=0.6, II에서 a의 빈도(q')=0.2이므로

$$\frac{\text{I에서 A의 빈도}}{\text{II에서 a의 빈도}} = \frac{0.6}{0.2} = 3 \text{이다.}$$

㉡. II에서 임의의 검은색 몸 암컷이 임의의 회색 몸 수컷과 교배하여 자손(F₁)을 낳을 때, 이 F₁이 회색 몸이 되려면 검은색 몸 암컷의 유전자형은 Aa이어야 한다. 임의의 검은색 몸 암컷의 유전자형이 Aa일 확률은 $\frac{2p'q'}{p'^2+2p'q'} = \frac{0.32}{0.96} = \frac{1}{3}$ 이다. 임의의 검은색 몸 암컷(Aa)과 임의의 회색 몸 수컷(aa) 사이에서 자손(F₁)이 태어날 때, 이 F₁이 회색 몸(aa)일 확률은 $\frac{1}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$ 이다.

08 하디·바인베르크 평형

A는 정상 대립유전자, A*는 ㉠ 발현 대립유전자이고, A는 A*에 대해 열성이다.

㉠. A(정상 대립유전자)의 빈도를 p, A*(㉠ 발현 대립유전자)의 빈도를 q라 하자. A*의 빈도가 증가할수록 ㉠을 나타내는 개체의 비율이 증가했으므로 A*는 ㉠ 발현 대립유전자이고, A는 정상 대립유전자이다. A*(㉠ 발현 대립유전자)가 A(정상 대립유전자)에 대해 열성이라면 ㉠을 나타내는 개체의 비율은 q²이고, 그림의 곡선은 아래로 볼록해야 하지만 그렇지 않으므로 A*(㉠ 발현 대립유전자)는 A(정상 대립유전자)에 대해 우성이고, ㉠을 나타내는 개체의 비율은 q²+2pq이다.

㉡. A*의 빈도(q)가 ㉠인 집단에서 ㉠을 나타내지 않는 개체 수는 p²×10000=900이므로 p=0.3, q=0.7이다. 따라서 ㉢는 0.7이다.

㉢. A*의 빈도가 ㉢(q=0.7)인 집단에서 ㉠을 나타내는 임의의 암컷이 ㉠을 나타내지 않는 임의의 수컷과 교배하여 자손(F₁)을 낳을 때, 이 F₁이 ㉠을 나타내지 않기(AA) 위해서는 ㉠을 나타내는 임의의 암컷의 유전자형은 이형 접합성인 A*A이어야 한다. ㉠을 나타내는 임의의 암컷의 유전자형이 A*A일 확률은

$$\frac{2pq}{q^2+2pq} = \frac{2p}{1+p} = \frac{0.6}{1.3} = \frac{6}{13} \text{이다. 따라서 유전자형이 A*A인 암컷과 유전자형이 AA인 수컷 사이에서 태어난 F}_1\text{이 ㉠을 나타내지 않을(AA) 확률은 } \frac{6}{13} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{13} \text{이다.}$$

09 하디·바인베르크 평형

검은색 몸 대립유전자 A의 빈도를 p, 회색 몸 대립유전자 a의 빈도를 q, 긴 날개 대립유전자 B의 빈도를 p', 짧은 날개 대립유전자 b의 빈도를 q'이라 하자.

I에서 A를 가진 개체들을 합쳐서 구한 a의 빈도는 $\frac{pq}{p^2+2pq}$

$$= \frac{q}{1+q} = \frac{1}{3} \text{이므로, } q=0.5 \text{이고, } p=0.5 \text{이다. I에서}$$

$$\frac{\text{검은색 몸 개체 수}}{\text{짧은 날개 개체 수}} = \frac{p^2+2pq}{q^2} = \frac{0.75}{0.25} = 3 \text{에서 } q^2=0.25 \text{이므로 } q'=0.5 \text{이고, } p'=0.5 \text{이다.}$$

$$\text{㉠. } \frac{\text{A의 빈도}(p)}{\text{b의 빈도}(q')} = \frac{0.5}{0.5} = 1 \text{이다.}$$

㉡. I에서 유전자형이 Aa인 개체의 빈도는 2·(0.5)·(0.5)=0.5이다.

㉢. I의 전체 개체 수를 N이라 하면,

$$\frac{\text{회색 몸 개체 수}}{\text{긴 날개 개체 수}} = \frac{(q^2)N}{(p^2+2p'q')N} = \frac{0.25}{0.75} = \frac{1}{3} \text{이다.}$$

10 하디·바인베르크 평형

A의 빈도는 0.8, a의 빈도는 0.2, B의 빈도는 0.6, b의 빈도는 0.4이다.

㉠. 긴 날개 대립유전자 A의 빈도를 p, 짧은 날개 대립유전자 a의 빈도를 q, 검은색 몸 대립유전자 B의 빈도를 p', 회색 몸 대립유전자 b의 빈도를 q'이라 하자. I~IV 중 하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단에서 유전자형 AA의 빈도는 p², Aa의 빈도는 2pq이므로 IV가 하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단인 P이다. P(IV)에서 A의 빈도(p)=0.8, a의 빈도(q)=0.2이다. P의 전체 개체 수를 N이라 하면, P에서 a를 갖는 수컷 개체 수는 $\frac{1}{2}(2pq+q^2)$ 이므로

$$\frac{\text{a를 갖는 수컷 개체 수}}{\text{회색 몸 개체 수}} = \frac{\frac{1}{2}(2pq+q^2)N}{(q^2)N} = \frac{0.18}{0.2} = \frac{9}{8} \text{에서 } q' =$$

0.4, p'=0.6이다. P에서 임의의 긴 날개·검은색 몸 암컷과 임의의 긴 날개·회색 몸 수컷이 교배하여 자손(F₁)을 낳을 때, 이 F₁이 짧은 날개·회색 몸(aabb)이 되기 위해서는 긴 날개 암컷과 긴 날개 수컷의 날개 길이의 유전자형은 모두 이형 접합성인 Aa이어야 하고, 검은색 몸 암컷의 몸 색의 유전자형도 이형 접합성인 Bb이어야 한다. P의 임의의 긴 날개 암컷과 임의의 긴 날개 수컷에서 유전자형이 Aa일 확률은 각각 $\frac{2pq}{p^2+2pq} = \frac{2q}{1+q} = \frac{0.4}{1.2} = \frac{1}{3}$ 이고, 임의

$$\text{의 검은색 몸 암컷의 유전자형이 Bb일 확률은 } \frac{2p'q'}{p'^2+2p'q'} = \frac{2q'}{1+q'}$$

$$= \frac{0.8}{1.4} = \frac{4}{7} \text{이다. 따라서 P에서 임의의 긴 날개(Aa) 암컷과 임의}$$

의 긴 날개(Aa) 수컷이 교배하여 자손(F₁)을 낳을 때, 이 F₁이 짧은 날개(aa)일 확률은 $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{36}$ 이고, 임의의 검은색 몸(Bb) 암컷과 임의의 회색 몸(bb) 수컷이 교배하여 자손(F₁)을 낳

을 때, 이 F_1 이 회색 몸(bb)일 확률은 $\frac{4}{7} \times \frac{1}{2} = \frac{2}{7}$ 이다. F_1 이 짙은 날개·회색 몸일 확률은 $\frac{1}{36} \times \frac{2}{7} = \frac{1}{126}$ 이다.

12 생명 공학 기술과 인간 생활

2 점 수능 테스트

본문 199~201쪽

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

01 세포 융합과 유전자 재조합

(가)는 유전자 재조합 기술이고, (나)는 세포 융합 기술이다.

- ㉠. 제한 효소(②)는 DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 절단하는 효소이다.
- ㉡. 단일 클론 항체의 생산 과정에서 특정 항체를 생산할 수 있는 B 림프구와 반영구적으로 분열이 가능한 암세포를 융합하여 잡종 세포를 만든다. 따라서 단일 클론 항체의 생산 과정에서 ㉢ 중 한 종류로 B 림프구를 이용한다.
- ㉢. 형질 전환 농작물의 개발 과정 중 유용한 유전자를 도입하는 과정에 (가)가 활용될 수 있다.

02 핵치환

어떤 동물의 체세포에서 핵을 추출하여 핵을 제거한 난자에 이식하면 복제 동물을 만들 수 있다. A는 핵을 제공한 원숭이이고, B는 무핵 난자를 제공한 원숭이이며, C는 대리모 원숭이이다. D는 핵을 제공한 A와 핵에 있는 DNA가 유전적으로 동일하다.

- ㉠. (가)는 A의 체세포에서 추출한 핵과 B의 무핵 난자를 융합한 세포이다. (가)를 만드는 과정에서 핵치환 기술이 사용되었다.
- ㉡. A는 핵을 제공한 원숭이이고, 핵에 성염색체가 있으므로 D와 A는 성별이 같다. 따라서 D는 수컷이다.
- ㉢. 멸종 위기 동물을 보존하기 위해 복제 개체를 만드는 과정에 핵치환 기술이 활용될 수 있다.

03 유전자 재조합

Ⅱ는 플라스미드가 도입되지 않은 대장균, Ⅲ은 재조합된 플라스미드가 도입된 대장균, Ⅳ는 재조합되지 않은 플라스미드가 도입된 대장균이다. 인슐린 유전자는 플라스미드에서 젓당 분해 효소 유전자가 있는 부위에 삽입되었다.

- ㉠. Ⅲ은 인슐린 유전자가 재조합된 플라스미드가 도입된 대장균이다. 따라서 Ⅲ을 배양하여 인슐린을 생산할 수 있다.
- ㉡. 물질 X가 젓당 분해 효소에 의해 분해되면 대장균 군체가 흰색에서 푸른색으로 변화된다. Ⅱ는 플라스미드가 도입되지 않아 젓당 분해 효소 유전자가 없으므로 X가 포함된 배지에서 Ⅱ를 배양하면 흰색 군체가 형성된다.

㉔. 플라스미드가 도입되지 않은 II는 항생제 ㉑ 저항성 단백질을 생성할 수 없어서 항생제 ㉑이 포함된 배지에서 배양하면 균체를 형성하지 못한다. III과 IV는 도입된 플라스미드에 항생제 ㉑ 저항성 유전자가 있으므로, 해당 유전자가 발현되어 항생제 ㉑ 저항성 단백질이 생성된다. 따라서 II~IV를 항생제 ㉑이 포함된 배지에서 배양하면 III과 IV만 균체를 형성한다.

04 조직 배양

그림은 생물체에서 떼어낸 세포나 조직을 영양 배지에서 증식하는 조직 배양을 나타낸 것이다.

- ㉑. 캘러스(㉑)는 미분화 상태의 세포 덩어리로, 세포 분열을 통해 다양한 기관으로 분화가 가능하다.
- ㉒. 조직 배양 기술을 활용하면 어버이와 동일한 형질을 가진 식물체를 만들 수 있다. 따라서 A와 B는 유전적으로 동일하다.
- ㉓. 조직 배양 기술을 활용하면 식물의 경우 하나의 세포로부터 유전적으로 동일한 개체를 다량으로 얻을 수 있으므로, 번식 능력이 약한 식물을 인공적으로 증식시키는 데 조직 배양 기술이 활용될 수 있다.

05 생명 공학 기술의 활용

생명 공학 기술은 의과학, 약학, 농림 축산, 식품, 의공학, 정보, 환경, 화학 등 사회의 다양한 분야에 활용되고 있다.

- ㉑. 생명 공학 기술의 발달은 생물학뿐만 아니라 사회의 여러 분야에 영향을 미친다.
- ㉒. 새로운 의약품 개발 과정에 생명 공학 기술이 활용된다.
- ㉓. 화석 연료의 연소 과정에서 발생하는 이산화 탄소와 대기 오염 물질은 지구 온난화와 환경 오염 문제를 일으킨다. 바이오 에탄올용 감자의 개발은 생명 공학 기술을 환경 분야에 활용한 예에 해당한다.

06 유전자 재조합

같은 종류의 제한 효소로 P의 DNA와 플라스미드 Q를 절단하면, 상보적인 말단이 형성되므로 DNA 연결 효소에 의해 재조합 플라스미드가 형성될 수 있다. 서로 다른 종류의 제한 효소로 P의 DNA와 플라스미드 Q를 절단했을 때 제한 효소에 의해 절단되어 형성된 단일 가닥의 염기 서열이 서로 상보적이면, DNA 연결 효소에 의해 재조합 플라스미드가 형성될 수 있다.

- ㉑. 실험 결과 x가 포함된 재조합 플라스미드가 형성되었으므로 x에는 ㉑과 ㉒의 인식 서열이 없다. 실험 과정 중 P의 DNA와 플라스미드 Q를 ㉑으로 절단했을 때 형성된 단일 가닥끼리 상보적인 결합이 형성되고, P의 DNA에서 ㉑으로 절단되어 형성된 단일 가닥과 Q에서 ㉒으로 절단되어 형성된 단일 가닥 사이에 상보적인 결합이 형성되었다.

- ㉒. 식물 P의 핵에 있는 DNA는 선형 DNA이고, 플라스미드 Q의 DNA는 원형 DNA이다. 선형 DNA에서 총 2군데의 인식 서열이 제한 효소에 의해 절단되었으므로 형성된 DNA 조각의 수(㉓)는 3이고, 원형 DNA에서 총 2군데의 인식 서열이 제한 효소에 의해 절단되었으므로 형성된 DNA 조각의 수(㉔)는 2이다.
- ㉓. DNA 연결 효소는 제한 효소에 의해 절단된 DNA 조각 사이의 결합을 촉매하여 재조합 DNA가 만들어지도록 한다.

07 중합 효소 연쇄 반응(PCR)

PCR는 이중 가닥의 주형 DNA에 DNA 중합 효소, 2종류의 프라이머, 4종류의 디옥시리보뉴클레오타이드(dNTP)를 넣고 단계적으로 온도를 변화시켜 중합 반응을 연쇄적으로 일으키는 기술이다.

- ㉑. 과정 I은 이중 가닥의 주형 DNA가 단일 가닥으로 분리되는 DNA 변성 과정이고, 과정 II는 프라이머가 상보적인 염기 서열에 결합하는 과정이다. (나)에서 과정 I은 94℃에서 일어나고, 과정 II는 55℃에서 일어나고 있다. 따라서 과정 I은 과정 II보다 높은 온도에서 일어난다.
- ㉒. DNA 복제는 합성 중인 3' 말단 수산기(-OH)에 새로 첨가되는 뉴클레오타이드의 5' 말단 인산기가 결합하여 이루어지며, 프라이머는 DNA 중합 효소가 작용할 수 있는 3' 말단을 제공해 준다. 따라서 과정 III에서 DNA 중합 효소는 ㉑의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드를 첨가한다.
- ㉓. (나)에서 PCR가 1회 진행되는 데 걸리는 시간은 3분이다. 따라서 30분 동안 PCR를 진행하면 1분자의 DNA로부터 2¹¹분자의 이중 가닥 DNA가 생성되지 않는다.

08 유도 만능(역분화) 줄기세포

체세포 ㉑을 역분화시켜 만든 줄기세포 ㉒은 유도 만능(역분화) 줄기세포이다.

- ㉑. ㉑은 분화가 이루어진 성체의 체세포이다.
- ㉒. ㉒은 유도 만능(역분화) 줄기세포이다.
- ㉓. 유도 만능(역분화) 줄기세포(㉒)는 배아 줄기세포처럼 다양한 세포로 분화될 수 있다. 따라서 ㉑을 분화시켜 근육 세포를 얻을 수 있다.

09 유전자 치료

㉑의 형성 과정에서 분화가 끝난 체세포를 역분화시켰으므로, ㉑은 유도 만능(역분화) 줄기세포이다.

- ㉒. ㉒은 유도 만능(역분화) 줄기세포이다.
- ㉓. 유전자 가위를 사용하면 이상이 있는 DNA를 자르고 교정할 수 있다. 따라서 유전자 가위 기술은 난치병 치료에 사용할 수 있다.

✕. 환자 체세포를 역분화시켜 줄기세포 ①을 얻은 후 질병 유전자를 제거하였으므로 ④와 ⑥의 전체 DNA의 염기 서열은 동일하지 않다.

10 세포 융합과 조직 배양

세포 융합은 서로 다른 두 종류의 세포를 융합시켜 잡종 세포를 만드는 기술이다.

- Ⓐ. 세포벽을 제거한 토마토의 원형질체와 감자의 원형질체를 세포 융합에 사용한다.
- Ⓑ. 토마토는 토마토와 감자의 세포를 융합하여 만든 기준에 없던 새로운 품종이다. 따라서 이는 세포 융합 기술을 품종 개량에 활용한 사례에 해당한다.
- Ⓒ. 토마토와 감자의 잡종 세포를 만들어 완전한 개체가 될 때까지 배양하는 과정에서 조직 배양 기술이 사용된다.

11 유전자 변형 생물체(LMO)

생명 공학 기술을 이용하여 만들어진 새로운 조합의 유전 물질을 가진 생물체를 유전자 변형 생물체(LMO)라고 한다.

- Ⓐ. (가)와 (나)는 기존의 생물체가 가지고 있지 않던 유전자가 도입된 세균과 식물체이다. 따라서 (가)와 (나)를 만드는 과정에서 모두 유전자 재조합 기술이 사용되며, 유전자 재조합 과정에 제한 효소와 DNA 연결 효소가 사용된다.
- Ⓑ. (가)는 유해한 폐기물을 분해하는 효소를 암호화하는 유전자가 도입되었으므로, 해당 유전자가 발현되면 환경 오염 문제 해결에 도움을 줄 수 있다.
- Ⓒ. (나)를 단일 품종으로 재배하면 생물 다양성이 감소하게 된다. 따라서 이는 LMO의 부정적 영향을 보여주는 사례이다.

12 유전자 재조합

제한 효소 ①을 처리하여 얻은 재조합 플라스미드가 도입된 대장균은 항생제 A 저항성 유전자 부위에 (나)의 DNA 조각이 삽입되므로 항생제 A가 포함된 배지에서 균체를 형성하지 못한다. 제한 효소 ②을 처리하여 얻은 재조합 플라스미드가 도입된 대장균은 항생제 A 저항성 유전자와 항생제 B 저항성 유전자가 모두 있으므로 항생제 A와 B가 포함된 배지에서 모두 균체를 형성한다. 제한 효소 ③을 처리하여 얻은 재조합 플라스미드가 도입된 대장균은 항생제 B 저항성 유전자 부위에 (나)의 DNA 조각이 삽입되므로 항생제 B가 포함된 배지에서 균체를 형성하지 못한다. 따라서 I (플라스미드 P가 도입된 대장균)을 얻는 과정에서는 ①을, II (플라스미드 Q가 도입된 대장균)를 얻는 과정에서는 ②을 처리하였다.

Ⓐ. P는 ①을 처리하여 만든 재조합 플라스미드이다.

✕. 제한 효소에 의해 (나)의 ㉠ 부위가 절단되면 인슐린 유전자

의 염기 서열 부위가 절단되므로 인슐린 유전자가 포함된 재조합 플라스미드를 얻을 수 없다. 따라서 P를 만들 때 사용한 ①과 Q를 만들 때 사용한 ②은 ④ 또는 ⑥의 염기 서열을 인식하여 절단한다.

✕. Q는 항생제 A 저항성 유전자 부위에 인슐린 유전자가 삽입된 재조합 플라스미드이다. 따라서 Q가 도입된 II에서는 항생제 A 저항성 단백질이 생성되지 않는다.

3 점 수능 테스트

본문 202~207쪽

- 01 ② 02 ② 03 ④ 04 ④ 05 ② 06 ⑤ 07 ⑤
08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 ③

01 단일 클론 항체

단일 클론 항체는 한 종류의 항체만 생산해 내는 잡종 세포뿐만 아니라 유전자 재조합 기술을 사용하여 원하는 항체 유전자를 도입한 세균에서도 얻을 수 있다.

✗. 핵치환 기술은 한 세포에서 핵을 꺼내어 핵을 제거한 난자에 이식하는 기술이다. 과정 (가)는 B 림프구에서 분리한 항체 유전자를 파지의 유전체에 삽입하는 과정이다. 따라서 (가)에 핵치환 기술이 사용되지 않았다.

✗. 하나의 B 림프구는 한 종류의 항체를 생산할 수 있다.

○. 단일 클론 항체에는 한 종류의 특정 항원과만 결합하는 항원 결합 부위가 있다. 이러한 특이성을 이용하여 단일 클론 항체를 암이나 감염성 질환의 진단과 치료 과정에 사용하거나 임신 진단 키트와 같은 진단 시약에 사용할 수 있다.

02 유전자 재조합

재조합 플라스미드가 형성되기 위해서는 선형 DNA X와 플라스미드 Y에서 제한 효소에 의해 절단되어 생긴 단일 가닥이 서로 상보적인 염기 서열을 가져야 한다.

✗. ㉠가 ㉡, ㉢가 ㉣일 경우 ㉡에 의해 절단된 DNA의 단일 가닥과 ㉢에 의해 절단된 DNA의 단일 가닥의 염기가 상보적이므로 DNA 연결 효소에 의해 연결될 수 있다. ㉠가 ㉢, ㉢가 ㉣(또는 ㉡)일 경우 ㉡에 의해 절단된 DNA 단일 가닥과 ㉣(또는 ㉢)에 의해 절단된 DNA의 단일 가닥의 염기가 상보적이지 않으므로 DNA 연결 효소에 의해 연결되지 않아 재조합 플라스미드를 얻을 수 없다. 따라서 ㉠는 ㉡, ㉢는 ㉣이다.

✗. (가)의 X에는 ㉡(㉢)의 인식 서열이 없다. 따라서 (가)의 X에 ㉢만 처리하여 완전히 잘랐을 때 3개의 DNA 조각이 형성되지 않는다.

○. X에 ㉠과 ㉡을, Y에 ㉠과 ㉢를 처리하여 P를 얻었다. ㉠, ㉡, ㉢으로 절단된 단일 가닥 부위는 서로 상보적으로 연결될 수 있지만 ㉢의 인식 서열은 만들어지지 않는다.

03 유전자 재조합

유전자 재조합 실험 결과 인슐린 유전자가 발현되어 인슐린이 생성되는 군체가 있으므로, 제한 효소 ㉠와 ㉢에 의해 절단된 단일 가닥 염기 서열 사이에 상보적인 결합이 일어났다. 따라서 제한 효소 ㉠와 ㉢는 X 또는 Z이다.

✗. ㉠와 ㉢는 모두 Y가 아니다.

○. I은 자의선을 비추었을 때 녹색 형광을 띠므로, I에서는 *gfp* 유전자가 발현되었다.

○. II에서는 *gfp* 유전자가 발현되지 않았다. 따라서 II는 인슐린 유전자가 포함된 재조합 플라스미드가 도입된 대장균 군체이다.

04 줄기세포

성체 줄기세포는 뱀줄 혈액이나 성체의 골수 등에서 얻는다. 따라서 ㉠은 성체 줄기세포이고, ㉡은 배아 줄기세포이다.

✗. 성체 줄기세포(㉠)는 배아 줄기세포(㉡)와 다르게 분화될 수 있는 세포의 종류가 한정된다.

○. 환자(A)의 골수나 뱀줄 혈액에서 얻을 수 있는 ㉠은 성체 줄기세포이다.

○. 배아 줄기세포(㉡)를 얻는 과정에서 기증자(B)의 무핵 난자에 환자(A)의 체세포 핵을 이식하는 핵치환 기술이 사용되었다.

05 핵치환

C는 A의 체세포 핵을 물려받았으므로, A와 C의 핵에 있는 DNA는 유전적으로 동일하다. C는 B의 세포질을 물려받았으므로, B와 C의 체세포 세포질에 있는 미토콘드리아 DNA는 유전적으로 동일하다. 1번 염색체 DNA에 제한 효소 X를 처리했을 때 ㉠과 ㉡에서 생성된 DNA 조각의 크기가 일치하므로 ㉡은 B이다. 미토콘드리아 DNA에 제한 효소 X를 처리했을 때 ㉠과 ㉡에서 생성된 DNA 조각의 크기가 일치하므로 ㉡은 A이다. 따라서 ㉠은 C, ㉡은 A, ㉢은 B이다.

✗. ㉡은 A이다.

✗. ㉠에서는 핵치환 기술이 사용되었다. 단일 클론 항체의 생산 과정에는 핵치환 기술이 사용되지 않는다.

○. 제한 효소 X를 처리했을 때 C(㉠)와 B에서 같은 크기의 미토콘드리아 DNA 조각이 만들어지므로 C(㉠)와 B의 체세포에 있는 미토콘드리아 DNA는 유전적으로 동일하다.

06 생명 공학 기술의 활용

1세대 세포 독성 항암제는 암세포 이외에 신체 내 분열이 활발하게 일어나는 정상 세포를 공격하므로, 이를 투여하였을 때 환자에게 부작용이 나타날 수 있다. 2세대 표적 항암제는 암세포만을 표적으로 하여 암세포를 제거하거나 암세포의 분열을 막는다. 3세대 면역 항암제는 환자의 체내 면역계를 활성화시켜 암세포를 공격하도록 한다.

○. 1세대 세포 독성 항암제는 암세포 이외에 정상 세포인 골수의 조혈모세포도 공격할 수 있으므로, 이를 환자에게 투여하였을 때 부작용이 나타날 수 있다.

○. ㉠은 위암 세포의 항원을 주입한 후 얻은 B 림프구와 분열 능

력이 있는 골수암 세포를 융합시켜 만든 잡종 세포를 배양하여 얻었다. 잡종 세포에서 생성된 항체는 위암 세포에 특이적으로 결합하므로 ㉠은 위암 세포를 표적으로 치료하는 데 사용된다.

㉢ 3세대 면역 항암제는 신세 내 면역 기능을 활성화시켜 암세포를 효과적으로 공격하도록 하므로, 기존의 면역 체계에 회피 기능이 있는 암세포를 제거하는 데 1~3세대 항암제 중 가장 효과적이다.

07 단일 클론 항체

단일 클론 항체는 임신 진단 키트나 특정 질병의 감염 여부를 확인하기 위한 진단 키트에 사용된다.

㉠ (가)에서 생쥐에 ㉡를 일으키는 병원체의 항원 ㉢을 주입하여 단일 클론 항체 X를 얻었다. (나)의 자가 진단 키트에는 발색 물질이 부착된 항체 X가 포함되어 있어 검사자의 분비물에 항원 ㉣이 있을 경우 1차 밴드와 2차 밴드에서 붉은색 띠가 모두 나타난다. 따라서 (나)의 자가 진단 키트에는 단일 클론 항체가 사용되었다.

㉢ ㉡의 병원체에 감염되지 않은 사람은 분비물에 항원 ㉣이 없기 때문에 항원 ㉣-항체 X 복합체가 형성되지 않는다. 따라서 이 사람이 자가 진단 키트로 검사하면 1차 밴드(T)에는 붉은색 띠가 나타나지 않고, 발색 물질이 부착된 항체 X가 2차 밴드의 ㉤에 결합하여 2차 밴드(C)에만 붉은색 띠가 나타난다.

㉤ 항체 X는 항원 ㉣에 특이적으로 결합한다.

08 생명 공학 기술의 활용

(가)는 토마토와 감자의 세포를 융합하여 식물체 X(포마토)를 만드는 과정을, (나)는 건조 내성 유전자와 세균의 플라스미드를 재조합하여 식물체 Y(건조에 내성이 있는 밀)를 만드는 과정을 나타낸 것이다.

㉠ 과정 I에는 세포 융합 기술이, 과정 II에는 조직 배양 기술이 사용되었다.

X, X는 토마토와 감자의 세포를 융합하여 만든 잡종 세포가 분열하여 생성되었으므로, 잡종 세포에는 토마토와 감자의 유전체가 모두 있다. 따라서 감자의 세포(㉡)와 잡종 세포(㉢)의 전체 DNA 염기 서열은 동일하지 않다.

㉢ Y에는 건조 내성 유전자(㉣)를 가진 재조합 플라스미드가 있으므로, 건조 내성 유전자(㉣)가 발현된 Y는 건조 내성 유전자(㉣)를 갖지 않는 품종 개량 이전의 밀보다 건조한 기후에서 잘 자란다.

09 유전자 변형 생물체(LMO)

카르타헤나 의정서(바이오 안전성 의정서)는 LMO가 국제 사회에 미치는 부정적 영향을 최소화하고, 안전성을 확보하기 위해 제

택되었다.

㉠ LMO는 변형된 유전자를 가진 DNA를 복제할 수 있는 생물체로서, 해당 유전자가 발현되면 유용한 산물을 얻을 수 있다.

㉢ 우리나라 「유전자 변형 생물체의 국가 간 이동 등에 관한 법률」의 제2조(정의)에서는 유전자를 재조합하는 기술을 이용하여 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 생물체를 LMO로 정의하고 있다. 따라서 재조합 플라스미드를 주입한 대장균은 유전자 변형 생물체에 해당한다.

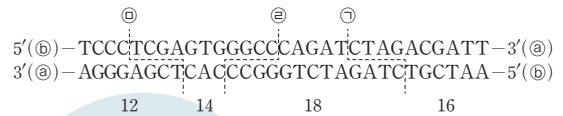
㉤ 제초제 저항성이 있는 슈퍼 잡초는 생태계에서 우점종이 되어 다른 식물 개체의 생장을 저해하거나 먹이 사슬을 깨뜨릴 수 있다. 따라서 환경 또는 인체에 미칠 수 있는 잠재적 위해성(㉥)의 예로 제초제 저항성이 있는 슈퍼 잡초에 의한 생태계 파괴가 있다.

10 유전자 재조합

x는 서로 상보적인 가닥으로 이루어진 DNA이므로, 제시된 염기 서열을 통해 나머지 한 가닥의 염기 서열을 알 수 있다. ㉡가 5' 말단, ㉢가 3' 말단이라고 가정할 때 DNA x의 염기 서열과 제한 효소 ㉣~㉥에 의해 절단되는 위치 및 DNA 조각의 염기 개수는 그림과 같다.



㉡가 3' 말단, ㉢가 5' 말단이라고 가정할 때 DNA x의 염기 서열과 제한 효소 ㉣~㉥에 의해 절단되는 위치 및 DNA 조각의 염기 개수는 그림과 같다.



제한 효소 I과 II를 처리했을 때 염기 수가 16, 44인 조각이 생성되었으므로, ㉡는 3' 말단, ㉢는 5' 말단이고, I과 II 중 하나는 ㉣이고, 나머지 하나는 ㉤과 ㉥ 중 하나이다. 제한 효소 I, IV, V를 처리했을 때 염기 수가 12, 48인 조각이 생성되었으므로, I은 ㉤과 ㉥ 중 하나이고, II는 ㉣이다. IV와 V 중 하나는 ㉡이다. II와 III을 처리했을 때 염기 수가 16, 18, 26인 조각이 생성되었으므로, III은 ㉡이다. I, III, V를 처리했을 때 염기 수가 12, 14, 34인 조각이 생성되었으므로, V는 ㉡이다.

㉣ ㉡는 3' 말단, ㉢는 5' 말단이다.

㉤ III은 ㉡이다.

X, x는 ㉡에 의해 절단되지 않고, V(㉡)에 의해서만 절단된다. 따라서 x에 ㉤과 V(㉡)를 함께 처리하여 완전히 자르면 염기 수

가 12와 48인 DNA 조각이 생성된다.

11 유전자 재조합

P에서 제한 효소 ㉠이 작용하여 생성된 DNA 조각의 크기는 서로 같다고 하였으므로, ㉠의 작용 부위는 ㉡와 ㉢이고, ㉠의 작용 부위는 ㉣, ㉤, ㉥ 중 하나이고, 나머지 두 부위는 ㉠의 작용 부위이다. 재조합 플라스미드 P₁, P₂, P₃의 염기 수는 각각 2560, 3950, 1150인데, ㉠은 P의 한 부분만 절단하므로 ㉠을 처리하여 만든 재조합 플라스미드의 염기 수는 3000(P의 염기 수)보다 많다. 또한 DNA X에 ㉠을 처리하면 염기 수가 950인 DNA 조각이 형성되므로 P₂는 ㉠을 처리하여 만든 재조합 플라스미드이다. ㉠을 처리하면 DNA X에서는 염기 수가 1060인 DNA 조각이 형성되고, P에서는 염기 수가 1500인 DNA 조각이 형성된다. 따라서 P₁은 ㉠을 처리하여 만든 재조합 플라스미드이고, P₃은 ㉡를 처리하여 만든 재조합 플라스미드이다. DNA X에 ㉡를 처리하면 염기 수가 250인 DNA 조각이 형성되므로, P에 ㉡를 처리했을 때 생성되는 DNA 조각의 염기 수는 900이다. 따라서 P에서 ㉡의 작용 부위는 ㉣와 ㉤이고, β는 200보다 크다는 조건을 고려하면 ㉠의 작용 부위는 ㉢이며, α는 450, β는 300이다. 또한 P₃에는 항생제 A 저항성 유전자는 없고, 항생제 B 저항성 유전자는 있다.

I은 항생제 A를 첨가한 배지와 항생제 B를 첨가한 배지에서 모두 균체를 형성하였으므로, I에서는 항생제 A 저항성 유전자와 항생제 B 저항성 유전자가 모두 발현되었다. 따라서 I은 P₂를 가진 대장균이다. II는 항생제 A를 첨가한 배지와 항생제 B를 첨가한 배지에서 모두 균체를 형성하지 못하였으므로, II에서는 항생제 A 저항성 유전자와 항생제 B 저항성 유전자가 모두 발현되지 않았다. 따라서 II는 P₁을 가진 대장균이고, III은 P₃을 가진 대장균이다.

㉠. α는 450, β는 300이다.

㉡. P에서 ㉠이 인식하여 절단하는 부위는 ㉢이다.

✕. II는 P₁을 가진 대장균이고, P₁은 ㉠을 처리하여 만든 재조합 플라스미드이다. DNA X에 ㉠을 처리하면 유전자 x가 절단되지 않으므로, II에 도입된 재조합 플라스미드에는 x가 있다.

[인용 사진 출처]

- 미토콘드리아의 전자 현미경 사진 ©Science History Images / Alamy Stock
- 세포 형광 현미경 ©Science History Images / Alamy Stock Photo
- 엽록체 1 ©blickwinkel / Alamy Stock Photo
- 백혈구 주사 전자 현미경 ©Science Source / booknfoto
- 백혈구 투과 전자 현미경 ©David M. Phillips / Science Source / booknfoto
- 엽록체 2 ©Science History Images / Alamy Stock Photo
- DNA X선 회절 ©Science History Images / Alamy Stock Photo
- 정상 초파리 날개 ©DAVID M. PHILLIPS / Science Source / booknfoto
- 정상 초파리 ©Science Photo Library RM / 게티이미지코리아
- Antp 돌연변이 ©EYE OF SCIENCE / SCIENCE PHOTO LIBRARY / 게티이미지코리아
- Ubx 돌연변이 ©DAVID SCHARF / SCIENCE PHOTO LIBRARY / 게티이미지코리아
- 코아세르베이트 ©Buzun / Alamy Stock Photo
- 마이크로스피어 ©STEVE GSCHMEISSNER / SCIENCE PHOTO LIBRARY / 게티이미지코리아
- 리포솜 ©Science History Images / Alamy Stock Photo
- 예쁜꼬마선충 ©Heiti Paves / Alamy Stock Photo
- 돼지 배아 ©Universal Images Group North America LLC / Alamy Stock Photo
- 쥐 배아 ©SINCLAIR STAMMERS / SCIENCE PHOTO LIBRARY
- 틱타알릭의 화석 ©Corbin17 / Alamy Stock Photo

01 생명 과학의 역사

2점 수능 테스트 본문 10쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ③

3점 수능 테스트 본문 11쪽

01 ③ 02 ④

02 세포의 특성

2점 수능 테스트 본문 22~24쪽

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

3점 수능 테스트 본문 25~29쪽

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

03 세포막과 효소

2점 수능 테스트 본문 39~42쪽

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

3점 수능 테스트 본문 43~47쪽

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

04 세포 호흡과 발효

2점 수능 테스트 본문 60~63쪽

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

3점 수능 테스트 본문 64~69쪽

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

05 광합성

2점 수능 테스트 본문 80~83쪽

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

3점 수능 테스트 본문 84~89쪽

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

06 유전 물질

2점 수능 테스트 본문 98~102쪽

01 ② 02 ③ 03 ① 04 ⑤ 05 ③ 06 ③ 07 ⑤
08 ④ 09 ⑤ 10 ⑤ 11 ④ 12 ③ 13 ② 14 ⑤
15 ⑤ 16 ⑤ 17 ① 18 ⑤ 19 ④ 20 ②

3점 수능 테스트 본문 103~107쪽

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

07 유전자 발현

2점 수능 테스트

본문 117~120쪽

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

3점 수능 테스트

본문 121~125쪽

- 01 ② 02 ⑤ 03 ① 04 ③ 05 ① 06 ① 07 ⑤
- 08 ② 09 ⑤

08 유전자 발현의 조절

2점 수능 테스트

본문 135~138쪽

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

3점 수능 테스트

본문 139~143쪽

- 01 ④ 02 ① 03 ⑤ 04 ② 05 ⑤ 06 ④ 07 ④
- 08 ④ 09 ① 10 ②

09 생명의 기원

2점 수능 테스트

본문 153~155쪽

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

3점 수능 테스트

본문 156~159쪽

- 01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ③ 06 ④ 07 ③
- 08 ②

10 생물의 분류와 다양성

2점 수능 테스트

본문 167~170쪽

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

3점 수능 테스트

본문 171~175쪽

- 01 ③ 02 ⑤ 03 ④ 04 ② 05 ③ 06 ① 07 ③
- 08 ② 09 ④ 10 ①

11 진화의 원리

2점 수능 테스트

본문 183~186쪽

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

3점 수능 테스트

본문 187~191쪽

- 01 ③ 02 ① 03 ④ 04 ⑤ 05 ⑤ 06 ④ 07 ②
- 08 ④ 09 ⑤ 10 ①

12 생명 공학 기술과 인간 생활

2점 수능 테스트

본문 199~201쪽

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

3점 수능 테스트

본문 202~207쪽

- 01 ② 02 ② 03 ④ 04 ④ 05 ② 06 ⑤ 07 ⑤
- 08 ④ 09 ⑤ 10 ③ 11 ③