

# 수능특강

과학탐구영역 | 생명과학Ⅱ

정답과 해설

# 01

## 생명 과학의 역사

### 수능 2점 테스트

본문 8쪽

- 01 ⑤    02 ③    03 ⑤    04 ②

### 01 생명 과학자들의 주요 성과

(가)는 흑의 현미경 발명과 세포 명명, (나)는 캘빈과 벤슨의 캘빈 회로 규명이다.

Ⓐ. 흑은 자신이 만든 현미경(⑦)으로 코르크를 관찰하여 수많은 작은 벌집 모양의 구조가 배열되어 있음을 발견하고 이를 세포라고 명명하였다.

Ⓑ. 캘빈과 벤슨은 이산화 탄소로부터 포도당(⑧)과 같은 광합성 산물이 합성되는 경로인 캘빈 회로를 규명하였다.

Ⓒ. (가)는 1600년대, (나)는 1900년대에 이룬 성과이다. 따라서 (가)는 (나)보다 먼저 이룬 성과이다.

### 02 생명 과학자들의 주요 성과

Ⓐ은 플레밍, Ⓑ은 파스퇴르이다.

Ⓐ. 플레밍(⑨)은 푸른곰팡이에서 세균을 죽일 수 있는 물질인 페니실린(⑩)을 발견하였다.

Ⓑ. 파스퇴르(⑪)는 백조목 플라스크 실험을 통해 자연 발생설(⑫)을 부정하고 생물 속생설을 입증하였다.

ⓧ. (가)는 1900년대, (나)는 1800년대에 이룬 성과이다. 따라서 (나)는 (가)보다 먼저 이룬 성과이다.

### 03 생명 과학자들의 주요 성과

A는 멘델, B는 에이버리이다. 에이버리는 DNA가 유전 물질임을 증명하였다.

Ⓐ. 완두 교배 실험을 통해 유전의 기본 원리를 발견한 A는 멘델이다.

Ⓑ. 세균에 속하는 결핵균(⑬)은 DNA(⑭)를 갖는다.

Ⓒ. (가)는 1800년대, (나)는 1900년대에 이룬 성과이다. 따라서 (가)는 (나)보다 먼저 이룬 성과이다.

### 04 DNA의 특징과 구조에 관한 연구 성과

왓슨과 크릭은 샤크프에 의해 밝혀진 DNA 염기 조성의 특징과 프랭클린이 촬영한 DNA의 X선 회절 사진 등을 분석하여 DNA 이중 나선 구조를 규명하였다.

ⓧ. 유라실(U)은 RNA를 구성하는 염기이고, DNA를 구성하는 염기에는 아데닌(A), 사이토신(C), 구아닌(G), 타이민(T)이 있다.

- Ⓐ. 왓슨과 크릭은 DNA의 이중 나선(⑮) 구조를 규명하였다.  
 ✗. 왓슨과 크릭에 의해 DNA 이중 나선 구조가 규명될 때 샤크프의 DNA의 염기 조성의 특징과 프랭클린의 DNA의 X선 회절 사진이 중요한 단서가 되었다. 따라서 (나)는 (다)보다 먼저 이룬 성과이다.

### 수능 3점 테스트

본문 9쪽

- 01 ⑤    02 ⑤

### 01 생명 과학자들의 주요 성과

A는 유전자 재조합 기술 개발(1970년대), B는 DNA 증폭 기술 개발(1980년대), C는 사람 유전체 사업 완료(2000년대)이다.

Ⓐ. 코헨과 보이어는 제한 효소와 DNA 연결 효소를 이용하여 유전자 재조합(⑯) 기술을 개발하였다.

Ⓑ. B(DNA 증폭 기술 개발)는 멜리스가 이룬 성과이다.

Ⓒ. C(사람 유전체 사업 완료)를 통해 사람 유전체의 염기 서열이 밝혀졌다.

### 02 생명 과학자들의 주요 성과

A의 내용은 참(⑰), D의 내용은 거짓(⑱)이다. 라마르크는 용불용설을 주장하였고, 자연 선택설을 주장한 생명 과학자는 다윈이다.

Ⓐ. 레이우엔혹은 자신이 제작한 단안 렌즈 현미경으로 침, 호숫물, 벗물 등을 관찰하였으며, 단세포 조류, 원생동물, 세균 등의 미생물을 처음 발견하였다.

Ⓑ. 생물을 체계적으로 분류하는 방법을 제안하고 이명법을 고안한 생명 과학자는 런네(⑲)이다.

Ⓒ. B는 1600년대, C는 1700년대에 이룬 성과이다. 따라서 B는 C보다 먼저 이룬 성과이다.

## 02 세포의 특성

### 수능 2점 테스트

분문 18~20쪽

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

### 01 식물의 구성 단계

A는 조직, B는 조직계, C는 기관, ⑦은 울타리 조직, ⑨은 해면 조직이다.

- ☒ B는 조직계, C는 기관이다.  
 ☒ ⑨은 해면 조직으로 분열 능력이 없는 영구 조직에 해당한다.  
 ☐ ⑦은 울타리 조직으로 A(조직)의 예이다.

### 02 동물의 구성 단계

(가)는 조직, (나)는 기관계, (다)는 기관이다.

- ☐ (가)는 조직이다. (가)(조직)의 예로는 상피 조직, 결합 조직, 근육 조직, 신경 조직이 있다.  
 ☒ (나)는 기관계, (다)는 기관이다.  
 ☐ ⑦(소장)은 기관계 중 소화계에 속한다.

### 03 생명체 구성 물질

A는 단백질, B는 인지질, C는 RNA이다.

- ☐ A는 리보솜의 구성 물질이므로 RNA 또는 단백질 중 하나이다. B는 리보솜을 구성하는 물질이 아니므로 인지질이다. C는 구성 성분에 당이 있으므로 RNA이다. C가 RNA이므로 A는 단백질이다.

- ☐ B(인지질)는 세포막의 구성 성분이다.  
 ☐ A(단백질)를 구성하는 기본 단위인 아미노산에는 아미노기가 있고, C(RNA)를 구성하는 기본 단위인 뉴클레오타이드에는 염기가 있다. 아미노기와 염기 모두 구성 원소로 질소(N)를 갖는다.

### 04 생명체 구성 물질

⑦은 단백질, ⑧은 과당, ⑨은 중성 지방이다.

- ☒ 과당, 중성 지방, 단백질 중 항체의 주성분은 단백질이므로 ⑦은 단백질이다. ⑦(단백질)은 탄수화물에 속하지 않으므로 ⑧은 'x'이다.  
 ☒ 탄수화물에 속하는 ⑨은 과당이고, 나머지 ⑨은 중성 지방이다.  
 ☐ ⑦(단백질)에는 아미노산과 아미노산 사이의 펩타이드 결합이

존재하고, (가)는 ⑦~⑨ 중 ⑦(단백질)만 가지므로 '펩타이드 결합이 존재한다.'는 (가)에 해당한다.

### 05 생명체 구성 물질

- ㉠은 중성 지방, ㉡은 인지질, ㉢은 콜레스테롤이다.  
 ☒ ㉠은 1분자의 글리세롤과 3분자의 지방산이 결합된 중성 지방이고, ㉡은 세포막을 구성하는 인지질이다. ㉠(중성 지방)에는 인산기가 없고, ㉡(인지질)에 인산기가 있다.  
 ☐ ㉡(인지질)은 친수성 머리와 소수성 꼬리를 모두 가지므로 ㉡(인지질)은 친수성 부분과 소수성 부분을 모두 갖는다.  
 ☐ ㉢은 고리 구조를 가지며 세포막을 구성하는 콜레스테롤이다.

### 06 세포의 구조

(가)는 동물 세포, (나)는 대장균이다.

- ☐ (가)는 핵막을 갖는 동물 세포이다.  
 ☒ (나)는 대장균으로 핵막을 갖지 않는 원핵세포이다.  
 ☒ (가)(동물 세포)는 세포벽을 갖지 않지만, (나)(대장균)는 세포벽을 갖는다.

### 07 핵의 구조

A는 인, B는 핵막, C는 핵공이다.

- ☐ A는 핵에서 단백질과 RNA가 많이 모여 있는 인으로 rRNA가 합성되는 장소이다.  
 ☐ B는 외막과 내막의 2중막 구조를 갖는 핵막이다.  
 ☐ C는 핵공으로 핵공을 통해 핵과 세포질 사이의 물질 이동이 일어난다.

### 08 식물 세포의 구조

A는 엽록체, B는 거친면 소포체, C는 미토콘드리아이다.

- ☐ A는 광합성이 일어나는 엽록체이다.  
 ☐ B는 표면에 리보솜이 있는 거친면 소포체로 리보솜에서 합성된 단백질의 가공과 변형이 일어난다.  
 ☒ C는 미토콘드리아이다. 시스터나가 층층이 쌓인 형태는 골지체에서 나타난다.

### 09 세포의 연구 방법

(가)는 주사 전자 현미경, (나)는 투과 전자 현미경, (다)는 광학 현미경이고, ⑦은 전자선, ⑨은 가시광선이다.

- ☒ 광학 현미경의 광원은 가시광선이고, 주사 전자 현미경과 투과 전자 현미경의 광원은 모두 전자선이므로 ⑦은 전자선, ⑨은 가시광선이다.  
 ☐ ⑦(전자선)을 광원으로 이용하고 세포의 입체 구조 관찰이 가능한 (가)는 주사 전자 현미경이고, ⑨(전자선)을 광원으로 이용하

고 세포의 단면 구조 관찰이 가능한 (나)는 투과 전자 현미경이다. 나머지 (다)는 광학 현미경이다. (다)(광학 현미경)를 이용하여 시료를 관찰할 때 광원인 가시광선은 시료를 투과할 수 있다. ⑭ 세포 표면을 입체적으로 관찰하기 위한 현미경으로는 (가)(주사 전자 현미경)가 (나)(투과 전자 현미경)보다 적합하다.

## 10 세포의 연구 방법

- ①은 거친면 소포체, ②은 골지체, ③은 분비 소낭이다.
- ⑦. 방사성 동위 원소로 표지된 아미노산 X가 들어 있는 배지에서 세포를 배양할 때 X는 세포 안으로 흡수된 후 거친면 소포체 → 골지체 → 분비 소낭을 거쳐 세포 밖으로 방출된다. ⑦은 표면에 리보솜이 있는 거친면 소포체이다.
- ⑧ ⑨은 골지체, ⑩은 분비 소낭이다.
- ⑨. X의 이동 경로를 알아보기 위해 방사성 동위 원소로 표지된 물질이 사용되었고, 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적했으므로 자기 방사법이 이용되었다.

## 11 세포 분획법

- A는 리보솜, B는 미토콘드리아, C는 핵이다.
- ⑦. 원심 분리 결과 상층액에는 비교적 크기가 작고 가벼운 세포 구조물이 있으며, 침전물에는 비교적 크기가 크고 무거운 세포 구조물이 있다. 핵은 미토콘드리아보다 무겁고, 미토콘드리아는 리보솜보다 무겁다. 따라서 원심 분리 I의 결과 상층액에는 리보솜이 있고, 침전물에는 핵과 미토콘드리아가 있다. 원심 분리 I을 통해 분리한 상층액을 원심 분리 II를 통해 분리하면 침전물에는 리보솜이 있으므로 A는 리보솜이다. 원심 분리 I을 통해 분리한 침전물을 원심 분리하면 상층액에는 미토콘드리아가 있고, 침전물에는 핵이 있으므로 B는 미토콘드리아, C는 핵이다. A(리보솜)와 자체 리보솜을 갖는 B(미토콘드리아)에서는 모두 단백질이 합성된다.
  - ☒. C는 핵으로 세포 호흡이 일어나지 않는다. B(미토콘드리아)에서 세포 호흡의 일부가 일어난다.
  - ⑮. 원심 분리 I의 결과 상층액에는 리보솜이 있고, 원심 분리 II의 결과 리보솜이 침전물에 있으므로 원심 분리 속도는 II가 I보다 빠르다.

## 12 세포의 형태 유지와 운동

- Ⓐ. 진핵세포에서 편모는 세포 골격의 한 종류인 미세 소관으로 이루어져 있다.
- Ⓑ. 세포가 형성하는 세포 골격에 따라 세포의 모양과 크기가 달라진다.
- ☒. 중심체에 있는 중심립은 미세 소관으로 이루어져 있으며, 세포 분열 시 방추사가 뻗어 나온다.

## 수능 3점 테스트

본문 21~25쪽

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

## 01 세포의 구조와 기능

엽록체는 특징 ⑦~⑩이 모두 있으므로 ⑪는 '○'이고, ⑫는 '✗'이다. 핵은 ⑦~⑩ 중 '광합성이 일어난다.'의 특징만 갖지 않고, 핵은 ⑪에 대해 ⑫(✗)이므로 ⑪은 '광합성이 일어난다.'이다. 리보솜은 ⑦~⑩ 중 'RNA가 있다.'의 특징만 갖고, 리보솜은 ⑪에 대해 ⑫(○)이므로 ⑪은 'RNA가 있다.'이고, ⑫은 '2중막을 갖는다.'이다.

구분	⑪(RNA가 있다.)	⑫(광합성이 일어난다.)	⑬(2중막을 갖는다.)
핵	?(○)	⑫(✗)	⑫(○)
리보솜	⑫(○)	?(✗)	⑫(✗)
엽록체	⑫(○)	⑫(○)	?(○)

(○: 있음, ✗: 없음)

- ☒. ⑫는 '✗', ⑪는 '○'이다.  
⑬. ⑪은 'RNA가 있다.'이다.  
⑭. 미토콘드리아는 외막과 내막의 2중막 구조를 가지므로 ⑬(2중막을 갖는다.)을 갖는다.

## 02 단백질의 합성과 분비

- A는 거친면 소포체, B는 매끈면 소포체, C는 리보솜, D는 골지체이다.
- ⑭. A는 표면에 리보솜이 있는 거친면 소포체이다.
  - ☒. B는 인지질 2중층의 막 구조를 갖는 매끈면 소포체이고, C는 인지질 2중층의 막 구조를 갖지 않는 리보솜이다.
  - ⑮. D는 골지체이다. D(골지체)에서 단백질 ⑯이 ⑰으로의 가공(변형)이 일어났다.

## 03 생물의 구성 단계

- (가)는 기관계의 예에 해당하고, (나)는 기관의 예에 해당한다.
- ☒. 동물의 구성 단계는 세포 → 조직 → 기관 → 기관계 → 개체이고, 식물의 구성 단계는 세포 → 조직 → 조직계 → 기관 → 개체이다. 기관, 조직계, 기관계 중 동물과 식물에 모두 포함되는 구성 단계는 기관이므로 B는 기관이고, ⑬은 '○', ⑭은 '✗'이다. 따라서 동물의 구성 단계에만 있는 A는 기관계, 식물의 구성 단계에만 있는 C는 조직계이다.

구분	A(기관계)	B(기관)	C(조직계)
동물	Ⓐ(○)	?(○)	Ⓑ(✗)
식물	Ⓑ(✗)	Ⓐ(○)	Ⓐ(○)

(○: 있음, ✗: 없음)

- Ⓐ. (가)는 소화계로 A(기관계)의 예에 해당한다.  
Ⓑ. (나)는 잎으로 기관의 예에 해당한다. 기관은 동물과 식물의 구성 단계에 모두 있다.

## 04 세포 분획법

I 은 시험관 Ⓛ이고, II 는 시험관 Ⓜ이다. Ⓛ는 리보솜, Ⓜ는 미토콘드리아, Ⓝ는 핵이다.

- Ⓐ. 1차 원심 분리 결과 Ⓛ에는 Ⓛ~Ⓝ가 모두 있고, 2차 원심 분리 결과 Ⓜ에는 Ⓛ~Ⓝ 중 2개만 있으므로 I 은 Ⓛ이고, II 는 Ⓜ이다.

Ⓒ. 동물 세포 파쇄액을 세포 분획법에 따라 원심 분리하면 상대적으로 크기와 밀도가 큰 세포 내 구조물이 침전물에 있고, 상대적으로 크기와 밀도가 작은 세포 내 구조물이 상층액에 있다. 세포 파쇄액을 1차 원심 분리한 결과 Ⓛ(I)의 침전물에는 핵, 리보솜, 미토콘드리아 중 크기와 밀도가 가장 큰 핵이 있으므로 Ⓝ는 핵이고, Ⓛ와 Ⓜ는 각각 리보솜과 미토콘드리아 중 하나이다. 미토콘드리아가 리보솜보다 상대적으로 크기와 밀도가 크므로 Ⓛ(II)의 침전물에 있는 Ⓜ는 미토콘드리아이고, 상층액에 있는 Ⓛ는 리보솜이다. Ⓛ(미토콘드리아)의 내막은 주름진 구조로 크리스탈을 형성한다.

- Ⓓ. Ⓝ(핵)의 인에서는 Ⓛ(리보솜)를 구성하는 rRNA가 합성된다.

## 05 생물의 구성 단계

A는 식물, B는 동물에 해당하고, I 은 올타리 조직, II 는 해면 조직, III 은 관다발 조직계이다.

☒. 동물의 구성 단계는 세포 → 조직 → 기관 → 기관계 → 개체이고, 식물의 구성 단계는 세포 → 조직 → 조직계 → 기관 → 개체이다. A의 4번째 단계에 Ⓛ이 있고, B의 3번째 단계에 Ⓛ이 있으므로 Ⓛ은 기관이고, A는 식물, B는 동물에 해당한다. Ⓛ은 세포, Ⓛ은 조직, Ⓛ은 조직계, Ⓛ은 기관계이다.

Ⓒ. 식물 잎의 단면에서 세포가 밀집되어 있는 I 은 올타리 조직, 세포 사이에 빈 공간이 존재하는 II 는 해면 조직이다. I (올타리 조직)과 II (해면 조직)는 모두 Ⓛ(조직)에 해당한다.

☒. III 은 물관과 체관으로 구성된 관다발 조직계로 조직계에 해당한다. 동물의 구성 단계 중 조직계는 없다.

## 06 생명체 구성 물질

(가)는 탄수화물에 속하는 녹말, (나)는 단백질, (다)는 DNA이다.

☒. 탄수화물을 구성하는 주요 원소는 탄소(C), 수소(H), 산

소(O)이고, 단백질을 구성하는 주요 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N)이며, 핵산을 구성하는 주요 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N), 인(P)이다. 따라서 (가)~(다)에는 모두 탄소가 있으므로 Ⓛ는 '○', Ⓜ는 '✗'이다. (나)는 아미노산으로 구성된 단백질이고, (다)는 이중 나선 구조를 갖는 DNA이며, 나머지 (가)는 녹말이다. (가)(녹말)는 여러 개의 단당류가 결합되어 있으므로 이당류가 아니다.

Ⓒ. Ⓛ는 '○', Ⓜ는 '✗'이다.

Ⓓ. 염록체는 단백질로 구성된 효소와 자체 DNA를 가지므로 염록체에는 (나)(단백질)와 (다)(DNA)가 모두 있다.

## 07 생명체 구성 물질

Ⓐ은 RNA, Ⓛ은 인지질, Ⓛ은 단백질, Ⓛ은 중성 지방이다.

Ⓒ. (가)의 특징 중 '구성 원소에 탄소(C)가 있다.'의 특징만 갖는 Ⓛ은 RNA이고, (가)의 특징 모두를 갖는 Ⓛ은 인지질이다. (가)의 특징 중 '세포막의 구성 성분이다.'와 '구성 원소에 탄소(C)가 있다.'의 2가지 특징을 갖는 Ⓛ은 단백질이고, 나머지 Ⓛ은 중성 지방이다.

☒. Ⓛ(인지질)의 기본 단위는 아미노산이 아니고, Ⓛ(단백질)의 기본 단위가 아미노산이다.

☒. Ⓛ은 중성 지방이다. Ⓛ(중성 지방)은 (가)의 특징 중 '세포막의 구성 성분이다.'의 특징을 제외한 나머지 3가지 특징을 가지므로 Ⓛ는 3이다.

## 08 세포의 구조

A는 리소좀, C는 골지체이고, B와 D는 각각 핵과 리보솜 중 하나이다.

Ⓒ. 핵, 골지체, 리보솜, 리소좀 중 손상된 세포 소기관을 분해하는 것은 리소좀이므로 Ⓛ은 '손상된 세포 소기관을 분해한다.'이고, A는 리소좀이다. 리소좀은 단일막 구조를 가지므로 Ⓛ은 '단일막 구조이다.'이다. 골지체도 Ⓛ(단일막 구조이다.)을 가지므로 C는 골지체이다. 나머지 B와 D는 각각 핵과 리보솜 중 하나이다.

Ⓓ. Ⓛ은 '단일막 구조이다.'이다.

Ⓔ. Ⓛ(Ⓐ)은 [B와 D(핵과 리보솜)], [A(리소좀)와 C(골지체)]를 구분하는 특징이다. 핵과 리보솜은 모두 RNA를 갖고, 리소좀과 골지체는 모두 RNA를 갖지 않으므로 'RNA가 있다.'는 [B와 D(핵과 리보솜)], [A(리소좀)와 C(골지체)]를 구분하는 특징이 되는 Ⓛ에 해당한다.

## 09 세포의 연구 방법

Ⓐ은 전자선을 시료에 투과시켜 상을 얻는 투과 전자 현미경, Ⓛ은 전자선을 시료에 쪼였을 때 시료 표면에서 방출된 전자를 이용하여 상을 얻는 주사 전자 현미경, Ⓛ은 가시광선을 광원으로 이

용하는 광학 현미경이다.

☒ 해상력은 아주 가까운 거리에 있는 두 점이 분리되어 보이는 최소한의 거리로 고배율 관찰이 가능한 ⑦(주사 전자 현미경)에서 가 ⑨(광학 현미경)에서보다 짧다.

⑨ A는 크리스타를 갖는 미토콘드리아이다. A(미토콘드리아)에서는 유기물을 분해하여 ATP를 합성한다.

⑩ (나)는 시료의 단면을 나타낸 것으로 ⑦(투과 전자 현미경)으로 관찰한 결과이다.

## 10 세포의 구조

A는 액포, B는 핵, ⑦은 2차 세포벽, ⑨은 1차 세포벽이다.

☒ 식물 세포에서는 1차 세포벽이 형성된 후, 세포가 성숙하면서 1차 세포벽과 세포막 사이에 두껍고 단단한 2차 세포벽이 형성된다. ⑦은 2차 세포벽이고, ⑨은 1차 세포벽으로 ⑦(2차 세포벽)은 ⑨(1차 세포벽)보다 나중에 형성되었다.

⑨ A는 영양소나 노폐물을 저장하는 액포이고, B는 유전 물질을 갖는 핵이다. ⑩은 ‘×’이다.

☒ ⑦(2차 세포벽)은 주로 셀룰로스로 이루어져 있다. 미세 소관은 세포 골격의 한 종류이다.

## 03 세포막과 효소

### 수능 2점 테스트

본문 34~37쪽

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

### 01 세포막의 구조

A는 탄수화물, B는 콜레스테롤, C는 단백질, D는 인지질이다.

☒ A(탄수화물)의 기본 단위는 단당류이다.

⑨ B(콜레스테롤)와 D(인지질)는 모두 지질에 속한다.

⑩ C(단백질)의 주요 구성 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N)이다.

### 02 세포막의 특성

세포막은 인지질 2중층의 구조를 가지며, (가)와 (나)를 통해 막단백질의 유동성을 확인할 수 있다.

⑨ ⑦(세포막)은 인지질 2중층의 구조를 갖는다.

⑩ ⑨의 형광 세기는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때보다 크다.

⑪ 세포막을 구성하는 막단백질은 고정되어 있는 것이 아니라 유동성이 있다.

### 03 세포막의 선택적 투과성

⑨은 산소( $O_2$ ), ⑩은  $Na^+$ 이다.

☒ 산소, 이산화 탄소와 같이 크기가 작고 극성이 없는 물질은 인지질 2중층을 쉽게 통과하므로 ⑨은 산소( $O_2$ )이다.

⑨ 포도당, 아미노산과 같이 극성을 띠거나  $Na^+$ 과 같이 전하를 띠는 물질은 인지질 2중층을 직접 통과하기 어려워 막단백질(⑩)의 도움을 받아 통과한다.

⑩ 세포막을 통한 물질 이동은 물질의 종류와 특성에 따라 선택적으로 일어나는데, 이를 선택적 투과성이라고 한다.

### 04 확산

이동 속도가 세포 안팎의 농도 차에 따라 증가하다가 일정 수준 이상으로 증가하지 않는 A의 이동 방식은 촉진 확산이고, 세포 안팎의 농도 차에 비례하여 이동 속도가 증가하는 B의 이동 방식은 단순 확산이다.

⑨ A의 이동 방식은 촉진 확산이다.

⑩ 구간 I에서 세포 안 농도가 세포 밖 농도보다 높으므로 B는 세포 안에서 세포 밖으로 이동한다.

▣. 신경 세포에서  $K^+$  통로를 통한  $K^+$ 의 이동 방식은 촉진 확산 이므로 A의 이동 방식과 같다.

## 05 삼투

반투과성 막으로 둘러싸인 달걀을 등장액에 넣으면 달걀의 부피가 변화하지 않고, 고장액에 넣으면 삼투에 의해 유출되는 물의 양이 유입되는 물의 양보다 많아 부피가 감소하며, 저장액에 넣으면 유출되는 물의 양보다 유입되는 물의 양이 많아 부피가 증가한다.

▣. I에 넣었던 달걀의 질량은 증가하였고 II에 넣었던 달걀의 질량은 변화 없으므로 ㉠은 ㉡보다 작다.

㉡. 등장액이 들어 있는 비커(Ⅱ)의 달걀에서 반투과성 막을 통한 물 분자의 이동이 일어나는데, 이때 물의 유입량과 유출량이 같아 부피의 변화가 없다.

▣. 고장액이 들어 있는 비커(Ⅲ)의 달걀에서 반투과성 막을 통한 물 분자의 이동은 삼투에 의한 것으로 ATP가 사용되지 않는다.

## 06 식물 세포의 삼투

㉠은 식물 세포를 저장액(I)에 넣었을 때의 상태로 유입되는 물의 양이 유출되는 물의 양보다 많아 팽윤이 일어났고, ㉡은 등장액(Ⅱ)에 넣었을 때의 상태이며, ㉢은 고장액(Ⅲ)에 넣었을 때의 상태로 유입되는 물의 양보다 유출되는 물의 양이 많아 원형질 분리가 일어났다.

▣. A는 세포막이고 B는 세포벽이다. 세포막은 물질의 종류와 특성에 따른 선택적 투과성을 갖지만 세포벽은 물과 용질을 모두 통과시키는 구조로 물질 출입을 조절하지 못한다.

▣. 삼투압은 팽압과 흡수력을 더한 값으로 팽압은 삼투압보다 작거나 같다.

㉡. ㉢은 고장액(Ⅲ)에 넣었을 때의 상태로 유입되는 물의 양보다 유출되는 물의 양이 많아 원형질 분리가 일어났다.

## 07 식물 세포의 삼투압, 팽압, 흡수력

고장액에 있던 식물 세포를 저장액에 넣으면 세포 안으로 들어오는 물의 양이 많아 부피가 커짐에 따라 세포의 삼투압과 흡수력은 모두 감소한다. 일정 시점부터 팽압이 증가하여 삼투압과 팽압의 크기가 같고 흡수력이 0인 최대 팽윤 상태가 된다. 따라서 A는 삼투압, B는 팽압, C는 흡수력이다. 표의 내용을 정리하면 다음과 같다.

세포의 부피 압력	I (팽윤 상태)	Ⅱ	Ⅲ (최대 팽윤 상태)
A(삼투압)	6	8	5
B(팽압)	4	㉡(0)	5
C(흡수력)	㉠(2)	8	㉢(0)

(단위: 기압)

㉡. A는 B와 C보다 압력이 높거나 같고, 압력이 0이 되지 않으므로 삼투압이다. 세포의 부피가 커짐에 따라 삼투압과 흡수력은 모두 감소하고, 팽압은 증가하므로 B는 팽압, C는 흡수력이다.

㉡. ㉠+㉡+㉢=2+0+0=2이다.

㉢. Ⅲ일 때는 최대 팽윤 상태이므로 세포막을 통해 세포 안으로 유입되는 물의 양과 세포 밖으로 유출되는 물의 양은 서로 같다.

## 08 능동 수송

시간에 따른 물질 ㉠의 세포 안팎의 농도 차이가 증가하였으므로 ㉠의 이동 방식은 능동 수송이다. ㉡은 촉진 확산이고, ㉢은 능동 수송이다.

▣. ㉠은 세포 밖 농도에 비해 세포 안 농도가 능동 수송을 통해 증가하므로 ㉠은 세포 밖에서 안으로 이동한다. 따라서 A는 세포 밖이고 B는 세포 안이다.

㉡. ㉠의 이동 방식은 ㉢(능동 수송)에 해당한다.

▣. 백혈구가 세균을 세포 안으로 이동시키는 방식은 세포 밖의 큰 물질을 세포막으로 감싸서 세포 안으로 끌어들이는 물질 이동 방식으로 세포내 섭취이다.

## 09 세포내 섭취와 세포외 배출

I은 세포 밖의 큰 물질을 세포막으로 감싸서 세포 안으로 끌어들이는 물질 이동 방식인 세포내 섭취이고, Ⅱ는 분비 소낭이 세포막과 융합하면서 분비 소낭 속의 물질을 세포 밖으로 내보내는 물질 이동 방식인 세포외 배출이다.

㉡. 백혈구의 식세포 작용은 세포내 섭취의 예이므로 A는 I(세포내 섭취)이다.

㉡. 이자 세포에서 인슐린과 글루카곤을 분비하는 것은 세포외 배출의 예이므로 글루카곤은 ㉢에 해당한다.

㉢. I(세포내 섭취)과 Ⅱ(세포외 배출)는 모두 에너지를 사용하는 물질 이동 방식이다.

## 10 리포솜

리포솜은 인지질 2중층의 막으로 둘러싸인 인공 구조물로 내부의 빈 공간에는 수용성 물질(㉠)을 담아 세포 내로 운반할 수 있고, 인지질 2중층 막에는 지용성 물질(㉢)을 삽입할 수 있다.

▣. ㉠은 수용성 물질이다.

㉡. 리포솜의 막은 인지질 2중층 구조를 갖는다.

㉢. 리포솜 X가 세포내 섭취에 의해 ㉠을 세포로 운반하므로 X의 막이 세포막과 융합하는 과정에는 에너지가 사용된다.

## 11 활성화 에너지와 효소의 기능

(가)에서 반응의 진행에 따라 농도가 증가하는 ㉣은 생성물이고, 농도가 감소하는 ㉤는 기질이다. 효소는 활성화 에너지를 낮춤으

로써 화학 반응의 속도를 빠르게 하므로 (나)에서 X가 있을 때 이 반응의 활성화 에너지는 ⑤이고, X가 없을 때 활성화 에너지는 ⑦이다.

⑦. ⑥는 생성물이다.

⑤. (가)에서 각 시점에서의 반응 속도는 생성물 농도 그래프의 기울기에 해당한다. 기울기는  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때보다 더 크므로 X에 의한 반응 속도는  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때보다 빠르다.

☒. (나)에서 X에 의한 반응의 활성화 에너지는 ⑤이다.

## 12 효소의 특성

효소 X는 이당류인 ①을 단당류인 포도당과 과당으로 분해하는 반응을 촉매한다.

⑤. ⑦은 포도당과 포도당이 결합하여 생성된 엿당이고, ⑤은 포도당과 과당이 결합하여 생성된 설탕이므로 엿당과 설탕은 모두 이당류이다.

⑤. X의 기질인 ⑤은 X의 활성 부위에 결합한다.

⑤. 물( $H_2O$ ) 분자가 첨가되어 기질인 ⑤이 분해되었으므로 X는 가수 분해 효소이다.

## 13 효소의 구성

산화 환원 효소는 수소나 산소 원자 또는 전자를 다른 분자에 전달하는 작용을 한다. 이 효소 반응에서 ⑦은 ⑤ 결합 부위와 활성 부위가 있으므로 주효소이고, ⑤은 비단백질 성분인 보조 인자( $NAD^+$ ), ⑤은 ⑤이 환원되어 생성된 NADH이다.

⑤. ⑦(주효소)은 단백질 성분으로 이루어져 있으므로 펩타이드 결합이 있다.

⑤. ⑦( $NAD^+$ )은 이 효소의 보조 인자에 해당한다.

⑤. ⑤은 NADH이다.

## 14 효소의 활성이 영향을 미치는 요인

효소의 활성이 최대가 되는 최적 온도가 될 때까지 온도가 높아질 수록 기질이 더 활발하게 효소 활성 부위에 충돌하여 효소·기질 복합체가 더 많이 형성되므로 반응 속도가 빨라지고, 온도가 최적 온도보다 높아지면 효소 활성 부위의 입체 구조가 변성되어 효소·기질 복합체의 형성이 어려워져 반응 속도가 급격히 느려진다. 사람의 효소는 종류가 다르더라도 최적 온도는 같고 최적 pH는 다를 수 있다. 따라서 ⑦은 온도, ⑤은 pH이다.

☒. ⑦은 온도이다.

☒. A의 반응 속도는 ⑥일 때가 ⑧일 때보다 빠르므로 단위 시간당 형성되는 효소·기질 복합체의 양은 ⑧일 때가 ⑥일 때보다 적다.

⑤. B의 최적 pH는 ④이고, ⑤에서는 B의 활성이 나타나지 않는다. 효소 활성이 나타나는 pH를 벗어나면 효소 활성 부위의 입체 구조가 변성되므로 입체 구조는 ⑥일 때와 ⑧일 때가 서로 다르다.

## 15 페니실린의 효소 저해 작용

플레밍은 1900년대에 푸른곰팡이에서 항생물질인 페니실린을 발견하였다. 페니실린은 세균의 세포벽 구성 물질을 합성하는 효소의 활성 부위에 결합하여 세포벽이 합성되는 것을 막아 세균을 죽게 한다.

⑤. 플레밍은 ⑥(페니실린)를 발견하였다.

☒. 페니실린은 세균을 죽게 하는 항생물질이므로 세균이 ⑦에 해당한다.

⑤. 효소와 기질이 결합하는 부위인 활성 부위에 페니실린이 결합하여 기질의 결합을 방해하고 있으므로 활성 부위는 ⑦에 해당한다.

## 16 저해제

E의 농도가 1이고 ⑦이 있을 때인 (가)의 그래프를 통해 E의 농도가 1이고 ⑦과 ⑤이 모두 없을 때인 (나)의 결과는 Ⅱ임을 알 수 있으며, Ⅱ와 (가)를 통해 ⑦이 경쟁적 저해제임을 알 수 있다. ⑤(비경쟁적 저해제)만 있을 때인 (다)의 결과는 Ⅲ, E의 농도가 2이고 ⑦과 ⑤이 모두 없을 때인 (라)의 결과는 I이다.

⑤. ⑦(경쟁적 저해제)은 E의 활성 부위에 결합한다.

☒. 효소는 효소·기질 복합체를 형성하여 반응을 촉진한다.  $S_2$ 일 때 반응 속도가 (가)에서가 (다)(Ⅲ)에서보다 빠르므로 효소·기질 복합체의 농도는 (가)에서가 (다)(Ⅲ)에서보다 높다.

☒. E에 의한 반응에서 기질의 농도와 상관없이 활성화 에너지는 일정하므로 (라)에서 E에 의한 반응의 활성화 에너지는  $S_1$ 일 때와  $S_2$ 일 때가 같다.

### 수능 3점 테스트

본문 38~41쪽

01 ⑤    02 ④    03 ②    04 ⑤    05 ⑤    06 ④

07 ③    08 ②

## 01 세포막의 구성 성분

단백질, 인지질, 탄수화물, 콜레스테롤 중 인산과 지방산을 모두 포함하는 물질은 인지질이고, 지질에 속하는 물질은 인지질과 콜레스테롤이다. 기본 단위가 아미노산인 물질은 단백질이고, 탄소(C), 수소(H), 산소(O)를 포함하는 물질은 단백질, 인지질, 탄수화물, 콜레스테롤이다. 이를 정리하면 표와 같다.

물질	특징	① (지질에 속한다.)	④ (구성 성분에 인산과 지방산이 모두 포함된다.)	⑤ (구성 원소에 탄소(C), 수소(H), 산소(O)가 포함된다.)	⑥ (기본 단위가 아미노산이다.)
인지질	○	○	○	×	
A (단백질)	?(×)	×	○	○	
B (탄수화물)	×	×	?(○)	×	
C (콜레스테롤)	○	?(×)	○	×	

(○: 있음, ×: 없음)

① 세포막에서 A(단백질)는 유동성을 갖는다.

② 갈락토스는 단당류로 B(탄수화물)에 속한다.

③ C(콜레스테롤)는 유기 용매에 녹는다.

## 02 능동 수송과 측진 확산

(가)는  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프에 의한  $\text{Na}^+$ 의 세포 안에서 밖으로의 이동, (나)는  $\text{K}^+$  통로에 의한  $\text{K}^+$ 의 세포 안에서 밖으로의 이동, (다)는  $\text{Na}^+$  통로에 의한  $\text{Na}^+$ 의 세포 밖에서 안으로의 이동이다. (가)~(다) 중 저농도에서 고농도로 물질이 이동하는 방식은 능동 수송으로 (가)에 해당하며, 이때  $\text{Na}^+$ 이 세포 안에서 밖으로 이동 하므로 ⑦은  $\text{K}^+$ 이다. 이를 정리하면 표와 같다.

특징 이동 방식	저농도에서 고농도로 물질이 이동함	⑦( $\text{K}^+$ )이 세포 안에서 세포 밖으로 이동함
I (나) 또는 (다)	⑧(×)	?(○ 또는 ×)
II (가)	○	×
III (다) 또는 (나)	?(×)	?(× 또는 ○)

(○: 있음, ×: 없음)

ⓧ. ⑦은  $\text{K}^+$ 이다.

⑨. ⑧은 ‘×’이다.

⑩. II (가)는  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프에 의해  $\text{Na}^+$ 이 세포 안에서 밖으로 이동하는 능동 수송에 해당하므로 ATP가 사용된다.

## 03 동물 세포(적혈구)의 삼투

동물 세포(적혈구)를 저장액에 넣으면 유입되는 물의 양이 유출되는 물의 양보다 많아 세포의 부피가 증가하고 과도하게 부피가 증가하는 경우 세포막이 터지는 용혈 현상이 일어날 수 있다. 생리 식염수(0.9 % NaCl 용액)는 사람 적혈구의 등장액이므로 시험관 A에 용액 I을 넣으면 적혈구를 등장액에 넣은 경우에 해당하므로 세포막을 통한 물의 유입량과 유출량은 같다. 용혈 현상이 많이 일어날수록 상층액의 흡광도(상댓값)가 1보다 커진다고 하였는데, 흡광도 측정 결과가  $B > C > 1 > A$ 이므로 B와 C에서는 용혈

현상이 일어났고 A에서는 일어나지 않았다. B의 흡광도가 C의 흡광도보다 크므로 B에서 더 많은 용혈 현상이 일어났음을 알 수 있다. 따라서 (가)에서 NaCl 용액 농도는 ⑪이 ⑫보다 작다.

ⓧ. (가)에서 NaCl 용액 농도는 ⑪이 ⑫보다 작다.

ⓧ. (다)의 A(등장액)에서 세포막을 통한 물의 유입량과 유출량은 서로 같다.

ⓧ. A(등장액)에서는 적혈구의 부피 변화가 없고, C(저장액)에서는 물의 유출량보다 유입량이 많아 적혈구의 부피가 증가한다. 따라서 ⑬(침전된 적혈구) 중 세포막이 터진 적혈구를 제외한 적혈구의 평균 부피는 C에서가 A에서보다 크다.

## 04 능동 수송과 리포솜

$\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프는 ATP를 에너지원으로 사용하여  $\text{Na}^+$ 과  $\text{K}^+$ 을 서로 반대 방향으로 능동 수송한다.  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프가 삽입된 리포솜을 용액 A에 넣기 전과 후 각 물질의 농도를 비교하여 각 이온의 이동 방향과 ATP 사용 여부를 알 수 있다.

리포솜을 A에 넣기 전 각 물질의 농도의 값이 1보다 크면 리포솜을 A에 넣은 후 각 물질의 농도를 비교하여 각 물질의 농도가 넣은 후 물질의 농도보다 크므로 농도가 감소했음을 알 수 있고, 반대로 그 값이 1보다 작으면 리포솜을 A에 넣기 전 물질의 농도가 넣은 후 물질의 농도보다 작으므로 농도가 증가했음을 알 수 있다. 이를 정리하면 다음과 같다.

구분	리포솜을 A에 넣기 전 각 물질의 농도 리포솜을 A에 넣은 후 각 물질의 농도		
	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	ATP
리포솜 내부	$\frac{20}{21}$ (증가)	?(감소)	1(변화 없음)
용액 A	2(감소)	$\frac{5}{6}$ (증가)	2(감소)
이동 및 사용	A에서 리포솜 내부로 이동	리포솜 내부에 서 A로 이동	A에서 ATP 사용

이를 통해 리포솜의 막에 삽입된  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프가 동물 세포의 세포막에서 각 이온을 수송하는 방향과 반대로 수송하도록 삽입되었음을 알 수 있다.

ⓧ. ⑪(리포솜의 막)는 인지질 2중층 구조를 갖는다.

ⓧ. 리포솜에 삽입된  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프를 통해  $\text{Na}^+$ 은 A에서 리포솜 내부로 이동한다.

ⓧ. (다)의 A에서 ATP의 농도가 감소하였으므로 ATP가 ADP와 무기 인산으로 분해되었음을 알 수 있다. 따라서 (다)의 A에서 ADP가 생성되었다.

## 05 식물 세포의 삼투

팽압은 저장액에서 식물 세포가 물을 흡수하면 세포의 부피가 커져 세포질 용액이 세포벽을 밀어내는 압력이다. 고장액에 있던 식물 세포 X를 저장액에 넣으면 삼투 현상에 의해 X 안으로 물이

유입되어 세포의 부피와 팽압은 모두 증가하고 흡수력은 감소한다. 따라서 A는 흡수력, B는 팽압이다. X의 부피가  $V_1$ 일 때는 원형질 분리가 일어난 상태이고,  $V_2$ 일 때는 세포막을 통한 물의 유출량보다 유입량이 많으며,  $V_3$ 일 때는 삼투압과 팽압이 같아 흡수력이 0인 최대 팽윤 상태이다. 이를 정리하면 다음과 같다.

구분	특징
I ( $V_3$ )	ⓐ(삼투압 또는 팽압)=ⓑ(팽압 또는 삼투압)>ⓒ(흡수력)
II ( $V_1$ )	세포막이 세포벽으로부터 떨어져 있음
III ( $V_2$ )	세포막을 통한 물의 유출량보다 유입량이 더 많음

- Ⓐ A(흡수력)는 ⓒ이다.
- Ⓑ II는 X의 부피가  $V_1$ 일 때이다.
- Ⓒ 흡수력은 삼투압과 팽압의 차이므로 삼투압은 A(흡수력)와 B(팽압)의 합과 같다. 따라서 X의 삼투압은 III일 때( $V_2$ )가 I일 때( $V_3$ )보다 크다.

## 06 효소의 활성에 영향을 미치는 요인

카탈레이스(효소)는 기질인 과산화 수소( $H_2O_2$ )를 분해하여 물( $H_2O$ )과 산소( $O_2$ )가 발생하는 반응을 촉매한다.

- ⓧ 시간에 따른 기질과 결합하지 않은 효소 농도와 효소·기질 복합체 농도의 합은 일정하며, 시간이 0일 때 효소·기질 복합체의 농도가 0이므로 Ⓛ은 효소·기질 복합체(카탈레이스· $H_2O_2$  복합체)이고, Ⓜ은 기질( $H_2O_2$ ), Ⓝ은 기질과 결합하지 않은 효소(카탈레이스)이다.
- Ⓟ 효소·기질 복합체(카탈레이스· $H_2O_2$  복합체)의 농도가 높고 물질의 농도 변화가 클수록 반응 속도가 빠르다. 따라서 (나)의 II에서 반응 속도는  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때보다 빠르다.
- Ⓠ 카탈레이스의 활성이 클수록 기포( $O_2$ ) 발생량이 많으므로 (나)에서 카탈레이스의 활성은 II의 pH일 때가 III의 pH일 때보다 크다.

## 07 효소와 삼투

젖당불내증은 분해되지 않은 젖당이 소장 안을 지나는 동안 물 농도가 높은 소장 밖에서 물 농도가 낮은 소장 안으로 삼투(㉠)에 의해 물이 이동하여 나타나는 증상이다.

- Ⓐ ①(젖당)와 ②(포도당)는 모두 탄수화물이다.
- Ⓑ ③(젖당 분해 효소)는 물 분자를 첨가하여 기질인 젖당을 분해 하므로 가수 분해 효소이다.
- ⓧ ④(삼투)에 의한 물( $H_2O$ )의 이동에는 ATP가 사용되지 않는다.

## 08 경쟁적 저해제

그림을 통해 메탄올(기질)이 알코올 탈수소 효소의 활성 부위에

결합하여 품알데하이드(생성물)가 생성되고, 에탄올 또한 알코올 탈수소 효소의 활성 부위에 결합하여 아세트알데하이드(생성물)가 생성됨을 알 수 있다. 따라서 에탄올은 경쟁적 저해제(㉠)로 작용한다.

- ⓧ ㉠은 경쟁적 저해제이다.
- ⓧ 알코올 탈수소 효소는 에탄올을 아세트알데하이드로 산화시키는 반응을 촉매하므로 산화 환원 효소이다.
- ⓧ 알코올 탈수소 효소에 의해 메탄올과 에탄올이 분해되는 반응을 보면  $NAD^+$ 가 효소에 결합하였다가 반응이 끝나면  $NADH$ 가 분리되는 것을 알 수 있다.  $NAD^+$ 는 알코올 탈수소 효소의 보조 인자(조효소)이다.

## 04 세포 호흡과 발효

### 수능 2점 테스트

본문 50~53쪽

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

### 01 세포 호흡

④ 산소를 이용한 세포 호흡의 경우 세포질과 미토콘드리아에서 일어나고, 유기물의 화학 에너지는 세포 호흡 결과 ATP의 화학 에너지와 열에너지로 전환된다.

### 02 TCA 회로와 산화적 인산화 과정

⑦은 막 사이 공간이고, ⑧은 미토콘드리아 내막이다. 세포 호흡 과정 중 일어나는 반응 I과 II 중 옥살아세트산이 시트르산으로 전환되는 반응 I은 TCA 회로의 일부이고, NADH가 산화되는 반응 II는 산화적 인산화 과정의 일부이다.

☒. 옥살아세트산이 시트르산으로 전환되는 반응(I)에서는 NADH가 생성되지 않는다.

◎. 미토콘드리아 내막(⑧)에는 ATP 합성 효소가 있다.

☒. NADH의 산화 반응(II)은 미토콘드리아 내막(⑧)에 있는 효소에 의해 일어난다.

### 03 해당 과정

(가)는 ATP 소모 단계, (나)는 ATP 생성 단계이다. ⑨은 ATP, ⑩은  $\text{NAD}^+$ , ⑪은  $\text{ADP}$ 이다.

☒. ATP 생성 단계(나)에서 기질 수준 인산화 반응에 의해  $\text{ADP}$ (⑪)는 ATP(⑨)가 된다.

☒. 포도당이 과당 2인산으로 전환되는 과정(가)에서 ATP가 ADP로 전환되고, 탈수소 반응은 일어나지 않는다.

◎. 해당 과정인 ATP 소모 단계(가)와 ATP 생성 단계(나)는 모두 세포질에서 일어난다.

### 04 전자 전달계

(가)는 막 사이 공간이고, (나)는 미토콘드리아 기질이다. ⑫은  $\text{NADH}$ , ⑬은  $\text{FADH}_2$ 이다.

☒. 해당 과정에서  $\text{NADH}$ (⑫)는 생성되고,  $\text{FADH}_2$ (⑬)는 생성되지 않는다.

☒. DNA는 미토콘드리아 기질(나)에 있다.

◎. 전자 전달계에서 고에너지 전자의 에너지에 의해  $\text{H}^+$ 이 미토콘

드리아 기질(나)에서 막 사이 공간(가)으로 능동 수송되므로, pH는 막 사이 공간(가)에서가 미토콘드리아 기질(나)에서보다 낮다.

### 05 피루브산의 산화와 TCA 회로

⑦은 피루브산, ⑧은 아세틸 CoA, ⑨은 시트르산이다.

☒. 피루브산(⑦) 1분자당 탄소 수는 3이고, 시트르산(⑨) 1분자당 탄소 수는 6이다.

☒. 피루브산(⑦)이 아세틸 CoA(⑧)로 전환되는 과정(I)에서 이 산화 탄소와 NADH가 생성되고, 아세틸 CoA(⑧)가 시트르산(⑨)으로 전환되는 과정(II)에서는 NADH가 생성되지 않는다.

◎. 과정 I은 피루브산의 산화 과정이고, II는 TCA 회로 과정의 일부이므로 모두 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

### 06 TCA 회로

1분자당  $\frac{\text{A의 탄소 수} + \text{B의 탄소 수}}{\text{C의 탄소 수} + \text{D의 탄소 수}} = \frac{4+4}{6+5} = \frac{8}{11}$ 이고, 과정 ⑨~⑪에서는 각각 NADH와  $\text{FADH}_2$  중 하나가 생성되므로, TCA 회로의 중간 산물 중 A와 B는 각각 4탄소 화합물, C는 6탄소 화합물인 시트르산, D는 5탄소 화합물이고, ⑦에서  $\text{FADH}_2$ 가, ⑨~⑪에서는 각각 NADH가 생성된다.

☒. B는 4탄소 화합물, C는 6탄소 화합물이지만, ⑪에서 NADH가 생성되므로 B는 옥살아세트산이 아니다.

☒. A와 B는 모두 4탄소 화합물이며, ⑦에서  $\text{FADH}_2$ 가 생성되므로 ⑨에서는 기질 수준 인산화가 일어나지 않는다.

◎. C는 6탄소 화합물, D는 5탄소 화합물이므로 ⑨에서  $\text{CO}_2$ 가 생성되고, D는 5탄소 화합물, A는 4탄소 화합물이므로 ⑪에서  $\text{CO}_2$ 가 생성된다.

### 07 피루브산의 산화와 TCA 회로

TCA 회로의 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정에서  $\text{CO}_2$ 가 생성되고, 기질 수준 인산화가 일어나므로 과정 I에서 A는 5탄소 화합물, B는 4탄소 화합물이며, ⑦은  $\text{FADH}_2$ 가 생성된다.'이다. 과정 II에서  $\text{FADH}_2$ 는 생성되지만,  $\text{CO}_2$ 가 생성되지 않고, 기질 수준 인산화가 일어나지 않으므로 C는 시트르산, D는 피루브산이다. 과정 III에서 피루브산(D)이 시트르산(C)으로 전환되는 과정에서  $\text{CO}_2$ 가 생성되므로, ⑨은 ' $\text{CO}_2$ 가 생성된다.'이다. ⑪은 '기질 수준 인산화가 일어난다.'이다.

☒. III은 피루브산(D)이 시트르산(C)으로 전환되는 과정이므로 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

◎. ⑦은 ' $\text{FADH}_2$ 가 생성된다.', ⑪은 '기질 수준 인산화가 일어난다.', ⑨은 ' $\text{CO}_2$ 가 생성된다.'이다.

◎. TCA 회로에서 1분자의 5탄소 화합물(A)이 1분자의 시트르산(C)으로 전환될 때 2분자의 NADH가 생성된다.

## 08 산화적 인산화

- ①은 미토콘드리아 기질, ②은 막 사이 공간, ③은  $O_2$ 이다.  
④. 산화적 인산화에서 화학 삼투는 미토콘드리아 기질(①)과 막 사이 공간(②)에 생긴  $H^+$  농도 기울기에 의해 막 사이 공간(③)에서 미토콘드리아 기질(④)로 ATP 합성 효소를 통해  $H^+$ 이 축진 확산되는 것이므로 (나)는 화학 삼투이다.  
⑤. 미토콘드리아 기질(④)에서 NADH가 생성된다.  
☒. ⑥. ③은  $O_2$ 이다.

## 09 전자 전달계

- I 은 미토콘드리아 기질, II 는 막 사이 공간이고, ⑦은  $FADH_2$ , ⑧은 NADH이다.  
⑨. 미토콘드리아 기질(I)에서 기질 수준 인산화가 일어난다.  
⑩. 산화적 인산화를 통해 1분자의  $FADH_2$ (⑦)로부터 생성되는 ATP의 분자 수는 약 1.5이고, 1분자의 NADH(⑧)로부터 생성되는 ATP의 분자 수는 약 2.5이다.  
⑪. 2분자의  $FADH_2$ (⑦)가 산화될 때 전자 전달계로 전달된 전자에 의해 1분자의  $O_2$ 가 소모된다.

## 10 해당 과정, 피루브산의 산화, TCA 회로

- ⑫. 과당 2인산, ⑬은 아세틸 CoA, ⑭은 4탄소 화합물, ⑮은 5탄소 화합물이다.  
⑯. 1분자의 과당 2인산(⑫)이 2분자의 피루브산으로 전환되는 과정에서 2분자의 NADH, 4분자의 ATP가 생성되고, 2분자의 피루브산이 2분자의 아세틸 CoA(⑬)로 전환되는 과정에서 2분자의  $CO_2$ , 2분자의 NADH가 생성된다. 그러므로 ⑮은 4이다.  
☒. 1분자의 5탄소 화합물이 1분자의 4탄소 화합물로 전환되는 과정에서 ATP가 생성되므로 ⑭은 5탄소 화합물, ⑮은 4탄소 화합물이 아니다. 1분자의 4탄소 화합물이 1분자의 5탄소 화합물로 전환되는 과정에서 1분자의  $CO_2$ 와 2분자의 NADH가 생성되고, ATP와  $FADH_2$ 는 생성되지 않으므로 ⑭은 4탄소 화합물, ⑮은 5탄소 화합물이다.  
⑯. 1분자의 아세틸 CoA(⑬)가 1분자의 4탄소 화합물(⑭)로 전환되는 과정에서 2분자의  $CO_2$ , 2분자의 NADH, 1분자의 ATP, 1분자의  $FADH_2$ 가 생성된다.

## 11 해당 과정, 피루브산의 산화, TCA 회로

- A는 TCA 회로, B는 해당 과정, C는 피루브산의 산화이다.  
⑰. 해당 과정(B)에서 생성되는 물질은 피루브산, NADH, ATP이고, 피루브산의 산화(C)에서 생성되는 물질은  $CO_2$ , NADH이고, TCA 회로(A)에서 생성되는 물질은  $CO_2$ , ATP, NADH,  $FADH_2$ 이다. NADH는 A~C 모두에서 생성되는 물질(⑱)에 해당한다.

- ⑲. 사람의 근육 세포에서는 산소가 부족해도 해당 과정(B)이 진행된다.  
⑳. TCA 회로(A)와 피루브산의 산화(C)는 모두 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

## 12 해당 과정, 피루브산의 산화, 산화적 인산화

- 특징 '탈탄산 반응이 일어난다.'가 나타나는 과정은 피루브산의 산화이고, 특징 'NAD<sup>+</sup>가 환원된다.'가 나타나는 과정은 해당 과정과 피루브산의 산화이므로 특징의 개수가 1인 과정 A는 산화적 인산화, 특징의 개수가 2인 과정 B는 해당 과정, 특징의 개수가 3인 과정 C는 피루브산의 산화이다.  
☒. 특징 ①은 해당 과정, 산화적 인산화, 피루브산의 산화에서 모두 나타나는데, 해당 과정(B)과 산화적 인산화(A)에서는 ATP가 생성되나, 피루브산의 산화(C)에서는 ATP가 생성되지 않으므로 'ATP가 생성된다.'는 ①에 해당하지 않는다.  
②. 산화적 인산화(A)에서 산소가 환원되어 물이 생성된다.  
☒. 해당 과정(B)은 산소가 있을 때와 없을 때 모두 진행되고, 피루브산의 산화(C)는 산소가 있을 때 진행된다.

## 13 세포 호흡 저해제

- I 은 막 사이 공간, II 는 미토콘드리아 기질이다.  
⑭. 전자 전달계를 통한 전자의 이동을 차단하는 X를 처리하면 처리한 후가 처리하기 전보다 단위 시간당  $O_2$  소비량이 적다.  
☒. ATP 합성 효소를 통한  $H^+$ 의 이동을 차단하는 Y를 처리하면 처리한 후가 처리하기 전보다 단위 시간당 ATP 생성량이 적다.  
⑮. 미토콘드리아 내막의 인지질을 통해  $H^+$ 이 막 사이 공간(I)에서 미토콘드리아 기질(II)로 새어 나가게 하는 Z를 처리하면 처리한 후가 처리하기 전보다  $\frac{\text{막 사이 공간(I)의 pH}}{\text{미토콘드리아 기질(II)의 pH}}$  가 크다.

## 14 젖산 발효

- ⑯. 포도당, ⑰은 젖산이고, 구간 I 은 산소가 있을 때, II 는 산소가 부족할 때이다.  
☒. 산소가 없을 때 미생물 X에서 젖산 발효가 일어나므로, 산소가 없을 때 알코올 발효가 일어나는 효모는 X에 해당하지 않는다.  
⑱. 포도당(⑯) 1분자당 탄소 수는 6, 젖산(⑰) 1분자당 탄소 수는 3이므로 1분자당  $\frac{\text{포도당(⑯)의 탄소 수}}{\text{젖산(⑰)의 탄소 수}} = 2$ 이다.  
⑲. 구간 I 에서는 산소 호흡이 일어나고 구간 II 에서는 젖산 발효가 주로 일어나므로 단위 시간당 소모되는 산소의 양은 구간 I 에서가 구간 II 에서보다 많다.

## 15 알코올 발효

Ⅱ에서  $\text{CO}_2$ , ADP, NADH 중 하나가 생성되는 분자 수는 2이므로 Ⅱ는 포도당이 과당 2인산으로 전환되는 과정이고, C는 포도당, D는 과당 2인산, ⑦은 ADP라는 것을 알 수 있다. Ⅲ에서 1분자의 E가 1분자의 A로 전환되고, I에서 1분자의 A가 1분자의 B로 전환되므로, E는 피루브산, A는 아세트알데하이드, B는 에탄올이다. Ⅲ에서 1분자 생성되는 ⑩은  $\text{CO}_2$ 이므로 ⑪은 NADH이다.

☒. 아세트알데하이드(A)가 에탄올(B)로 전환되는 과정(I)에서는 NADH가 생성되지 않으므로 ⑫는 0이다.

☒. 피루브산(E)이 아세트알데하이드(A)로 전환되는 과정(Ⅲ)에서 NADH(⑪)는 산화되지 않는다.

⑬. 1분자의 과당 2인산(D)이 2분자의 피루브산(E)으로 전환되는 과정에서 ADP(⑦)가 소모된다.

## 16 호흡 기질에 따른 세포 호흡 경로

①은 지방, ②은 단백질이고, ③는 글리세롤, ④는 지방산, ⑤는 아미노산이다.

⑥. 호흡률은 지방(①)이 0.7, 단백질(②)이 0.8이다.

☒. 과정 I에서는 단백질(②)이 아미노산(⑤)으로 분해되고, 아미노산이 세포 호흡에 이용될 때 아미노기가 제거된다.

☒. 지방은 글리세롤 머리에 지방산 꼬리가 3개 있는 구조로, 지방이 분해되어 해당 과정으로 들어가는 ③는 글리세롤, 아세틸 CoA로 분해된 후 TCA 회로로 들어가는 ④는 지방산이다.

### 수능 3점 테스트

본문 54~59쪽

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

## 01 세포 호흡

①은 막 사이 공간, ②는 미토콘드리아 기질이다.

③.  $\text{NAD}^+$ (⑦)는 기질을 산화시키는 탈수소 효소의 조효소이다.

④. 산소가 물로 환원되는 반응(나)이 활발히 일어날 때 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 통해  $\text{H}^+$ 이 미토콘드리아 기질(⑥)에서 막 사이 공간(①)으로 능동 수송되므로, 막 사이 공간(①)의 pH는 미토콘드리아 기질(⑥)의 pH보다 낮다.

⑤. 미토콘드리아 기질(⑥)에서 (가)와 (다)가 모두 일어난다.

## 02 해당 과정 실험

⑨를 넣은 시험관 Ⅲ에서 피루브산이 생성되는 것으로 보아 ⑪는 과당 2인산이고, ⑩과 과당 2인산(⑪)을 넣은 시험관 V에서 생성되는 피루브산의 농도가 과당 2인산(⑪)을 넣은 시험관 Ⅲ에서 생성되는 피루브산의 농도와 같으므로 ⑫는 포도당, ⑬는 ATP이다.

☒. 해당 과정은 탈수소 효소가 관여하고, 탈탄산 효소는 관여하지 않는다. 그러므로 탈탄산 효소는 ⑭에 해당하지 않는다.

☒. ⑫는 포도당, ⑬는 ATP, ⑭는 과당 2인산이다.

⑯. 2분자의 피루브산이 생성될 때 포도당(⑫)과 ATP(⑬)를 넣은 시험관 IV에서 사용된 ATP 분자 수는 2, 합성된 ATP 분자 수는 4이고, ATP(⑬)와 과당 2인산(⑪)을 넣은 시험관 V에서 사용된 ATP 분자 수는 0, 합성된 ATP 분자 수는 4이다. 그러므로 2분자의 피루브산이 생성될 때,  $\frac{\text{사용된 ATP 분자 수}}{\text{합성된 ATP 분자 수}}$  IV에서는 0.5, V에서는 0이다.

## 03 해당 과정

(가)는 NADH 합성 단계, (나)는 ATP 생성 단계, (다)는 ATP 소모 단계이다.  $\text{NAD}^+$ 가 소모되는 단계(Ⅲ)는 NADH 합성 단계(가)이고, 기질 수준 인산화가 일어나는 단계(I)는 ATP 생성 단계(나)이다. Ⅱ는 (다)이다.

⑭. I은 (나), Ⅱ는 (다), Ⅲ은 (가)이다.

☒. Ⅱ는 (다)이고, (다)는 ATP가 소모되는 단계이므로 ⑮은 '○', Ⅲ은 NADH 합성 단계(가)이므로 ⑯은 '✗'이다.

⑯. 해당 과정에서 NADH 합성 단계((가), Ⅲ)는 ATP 생성 단계((나), I)보다 먼저 일어난다.

## 04 화학 삼투 실험

미토콘드리아 기질의 pH가 막 사이 공간의 pH보다 높으면 화학 삼투에 의한 인산화를 통해 ATP가 합성된다.

⑰. pH 5인 Ⅱ에서는 ATP가 합성되고, pH 8인 Ⅲ에서는 ATP가 합성되지 않는 것으로 보아 ⑱은 7이다.

⑲. I에  $P_i$ 이 없으므로 ATP가 합성되지 않는다. ⑳는 '합성 안 됨'이다.

⑳.  $P_i$ 을 첨가한 Ⅲ에서는 ATP가 합성되지 않는데, NADH 와  $P_i$ 이 첨가된 Ⅳ에서는 ATP가 합성된다. Ⅳ에서 NADH가  $\text{NAD}^+$ 로 산화되면서 방출된 고에너지 전자는 전자 전달계를 통해 단계적으로 이동 후 최종적으로  $\text{O}_2$ 에 전달되어 물이 생성된다. 그러므로 Ⅳ에서 산소가 소모된다.

## 05 TCA 회로

표의 조건이 성립하고, A가 C로 전환될 때 CoA가 생성되기 위해서는 A는 옥살아세트산, B는 5탄소 화합물, C는 시트르산, D는 4탄소 화합물이고, ㉑은 NADH, ㉒은  $\text{CO}_2$ , ㉓은 ATP, ㉔는

은 FADH<sub>2</sub>이다.

- ☒. 옥살아세트산(A)의 1분자당 탄소 수는 4, 5탄소 화합물(B)의 1분자당 탄소 수는 5, 시트르산(C)의 1분자당 탄소 수는 6이므로 1분자당

$\frac{5\text{탄소 화합물}(B)\text{의 탄소 수}}{\text{옥살아세트산}(A)\text{의 탄소 수} + \text{시트르산}(C)\text{의 탄소 수}} = \frac{1}{2}$ 이다.

- Ⓐ TCA 회로에서 4탄소 화합물(D)이 옥살아세트산(A)으로 전환되는 과정에서 NADH(⑦)가 생성된다.  
Ⓑ TCA 회로에서 5탄소 화합물(B)이 4탄소 화합물(D)로 전환되는 과정에서 기질 수준 인산화로 ATP가 생성된다.

## 06 해당 과정, 피루브산의 산화, 산화적 인산화

탈탄산 반응이 일어나는 것은 피루브산의 산화이고, NADH가 산화되는 것은 산화적 인산화이므로, I은 피루브산의 산화, II는 산화적 인산화, III은 해당 과정이다. 해당 과정(III)은 ⑦에서 일어나므로 ⑦은 세포질, ⑧은 막 사이 공간, ⑨은 미토콘드리아 기질이다. 막 ⑩은 미토콘드리아 외막, ⑪은 미토콘드리아 내막이다.

- ☒. ATP 합성 효소는 미토콘드리아 내막(⑪)에 있다.  
Ⓐ 미토콘드리아 기질(⑩)에서 일어나는 TCA 회로에서 시트르산이 합성된다.  
Ⓑ 피루브산의 산화(I)와 해당 과정(III) 모두에서 탈수소 효소의 작용에 의해 NADH가 생성된다.

## 07 산화적 인산화

(가)는 미토콘드리아 기질, (나)는 막 사이 공간이고, 과정 I은 해당 과정의 일부이고, II는 피루브산의 산화이다.

- ☒. 해당 과정은 세포질에서, 피루브산의 산화는 미토콘드리아 기질(가)에서 일어난다.

☒. 미토콘드리아 기질(가)의 H<sup>+</sup> 농도는 막 사이 공간(나)의 H<sup>+</sup> 농도보다 낮다.

- Ⓐ H<sup>+</sup>은 전자 전달체를 통해 미토콘드리아 기질(가)에서 막 사이 공간(나)으로 이동한다.

## 08 산화적 인산화와 세포 호흡 억제제

X는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H<sup>+</sup>을 새어 나가게 하는 물질로 X를 처리했을 때 더 이상 증가하지 않는 ⑫은 생성된 ATP 총량이고, 계속 증가하는 ⑬은 소비된 O<sub>2</sub> 총량이다.

- Ⓐ 구간 I에서 ATP가 합성되는 것으로 보아 NADH가 생성된다.

☒. X를 처리했을 때 소비되는 O<sub>2</sub> 총량이 계속 증가하므로 X는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H<sup>+</sup>을 새어 나가게 한다.

- Ⓐ ⑭은 소비된 O<sub>2</sub> 총량, ⑬은 생성된 ATP 총량이다.

## 09 세포 호흡과 발효

젖산 발효에서 NADH에 있는 전자와 H<sup>+</sup>에 의해 피루브산이 젖산으로 환원되므로 C는 젖산 발효, 세포 호흡에서 산화적 인산화 반응이 일어나므로 B는 세포 호흡이다. 따라서 A는 알코올 발효이다.

- Ⓐ 탈탄산 반응은 알코올 발효(A)와 세포 호흡(B)에서는 일어나고 젖산 발효(C)에서는 일어나지 않으므로 ‘탈탄산 반응이 일어난다.’는 (가)에 해당한다.  
Ⓑ 젖산 발효(C)는 요구르트를 만드는 데 이용된다.

☒. 1분자의 포도당으로부터 생성되는 ATP 분자 수는 A는 2, B는 약 32, C는 2이므로 1분자의 포도당에서 생성되는 ATP 분자 수는 A~C 중 B에서가 가장 크다.

## 10 알코올 발효 실험

알코올 발효에서 해당 과정을 거치는 동안 생성된 NADH가 아세트알데하이드에 의해 산화되어 NAD<sup>+</sup>가 생성되고, 아세트알데하이드가 에탄올로 전환된다.

- ☒. 맹관부에 모인 기체(⑤)는 이산화 탄소이고, 알코올 발효에서 이산화 탄소는 피루브산이 아세트알데하이드로 전환되는 과정에서 생성된다.

Ⓐ 맹관부에 모인 기체의 부피는 B>C>A 순이므로 실험 결과 (나)에서 생성된 에탄올의 양은 B에서가 C에서보다 많다.

- ☒. KOH 용액을 넣자 B와 C에서 맹관부 수면의 높이가 높아지는 것을 보아 KOH은 이산화 탄소를 흡수한다.

## 11 산화적 인산화

(가)는 막 사이 공간, (나)는 미토콘드리아 기질이다.

- ☒. ATP 합성 효소에 결합하여 H<sup>+</sup>의 촉진 확산을 차단하는 물질(I)은 ATP 합성 효소에 작용하고 X는 전자 전달 효소 복합체 중 하나이므로 I은 전자 전달 효소 복합체(X)에 작용하지 않는다.

☒. NADH가 산화되는 전자 전달 효소 복합체(X)에서는 물이 생성되지 않는다.

- Ⓐ 미토콘드리아 기질(나)의 pH는 미토콘드리아 내막의 인지질을 통해 H<sup>+</sup>을 새어 나가게 하는 물질(Ⅱ)을 처리한 후가 처리하기 전보다 낮다.

## 12 산소 호흡과 알코올 발효

1분자의 D는 2분자의 A로 전환되므로 D는 포도당, A는 피루브산이다. 과정 I에서 탈수소 반응이 일어나므로 B는 아세틸CoA이고, C는 아세트알데하이드이다.

- ☒. 세포 X에서는 산소가 있을 때는 산소 호흡, 산소가 부족할 때는 알코올 발효가 일어나므로 산소가 부족할 때 젖산 발효가 일어

나는 사람의 근육 세포는 X에 해당하지 않는다.

Ⓐ 피루브산(A)이 아세틸 CoA(B)로 전환되는 과정(I)은 산소가 있을 때 일어난다.

Ⓑ 피루브산(A)이 아세트알데하이드(C)로 전환되는 과정(II)과 포도당(D)이 피루브산(A)으로 전환되는 과정(III)은 모두 세포질에서 일어난다.



## 05 광합성

### 수능 2점 테스트

본문 68~71쪽

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

### 01 엽록체의 구조

A는 스트로마이고, B는 틸라코이드 내부이다.

Ⓐ 엽록체의 DNA는 스트로마(A)에 있다.

✗ 엽록체에서 3PG의 환원 반응(가)과 NADP<sup>+</sup>의 환원 반응(나)은 모두 스트로마(A)에서 일어난다.

Ⓑ 3PG의 환원 반응(가)에서 ATP와 NADPH(㉠)가 사용된다.

### 02 광합성 색소와 흡수 스펙트럼

X와 ㉡은 엽록소 b, Y와 ㉠은 엽록소 a이다.

Ⓐ X는 엽록소 b(㉡)이다.

㉡ 광계 I과 광계 II의 반응 중심 색소는 모두 엽록소 a(Y, ㉠)이다.

✗ 용매 전선과 색소 사이의 거리는 엽록소 b(X, ㉡)가 엽록소 a(Y, ㉠)보다 크다.

### 03 엽록체의 구조

ⓐ는 그라나이고, 그라나가 있는 식물의 세포 소기관 X는 엽록체이다.

㉠ Ⓛ는 틸라코이드가 겹겹이 쌓인 그라나이다.

✗ 물의 광분해(㉠)는 비순환적 전자 흐름에서 일어난다.

✗ 표의 특징 중 엽록체(X)가 갖는 특징은 '물의 광분해가 일어난다.'뿐이다.

### 04 광합성 연구

A는 벤슨이고, B는 루벤이다.

✗ 산소의 동위 원소를 이용하여 광합성 과정에서 생성되는 산소가 물로부터 비롯됨을 밝혀낸 B는 루벤이다.

Ⓐ 광합성 과정에서 O<sub>2</sub>의 생성은 명반응 중 비순환적 전자 흐름에서 일어난다. 따라서 빛을 필요로 하는 단계(㉠)에서 O<sub>2</sub>의 생성(㉡)이 일어난다.

Ⓑ CO<sub>2</sub>를 필요로 하는 단계(㉡)의 3PG가 PGAL로 전환되는 과정에서 NADPH가 NADP<sup>+</sup>로 산화된다.

## 05 명반응과 탄소 고정 반응

①은  $\text{CO}_2$ 이고, ②은 빛이다.

① 빛을 이용하여 생성된 명반응의 산물이 탄소 고정 반응에 이용되므로 구간 Ⅱ에서 명반응이 일어나고, Ⅲ에서 탄소 고정 반응이 일어났다. 따라서 ①은  $\text{CO}_2$ 이다.

☒ 광합성이 일시적으로 일어나는 구간 Ⅲ에는 빛(②)이 없다.

☒ 명반응이 일어날 때 텔라코이드 내부의 pH가 감소하고, 스트로마의 pH는 증가하므로 텔라코이드 내부의 pH는 명반응이 일어나지 않는  $t_1$ 일 때가 명반응이 일어나는  $t_2$ 일 때보다 작다.

## 06 비순환적 전자 흐름

X는 광계 Ⅱ이고, ①은 스트로마, ②은 텔라코이드 내부이다.

① 물의 광분해가 일어나는 ②은 텔라코이드 내부이고, ①은 스트로마이다.

☒ 비순환적 전자 흐름에서 물의 광분해로 방출된 전자를 받아 환원되는 광계 X는 광계 Ⅱ이다. 광계 Ⅱ의 반응 중심 색소는 680 nm 파장의 가시 광선을 가장 잘 흡수하는  $\text{P}_{680}$ 이다.

② 광합성이 활발하게 일어나고 있으므로 텔라코이드 내부(②)의 pH가 스트로마(①)의 pH보다 낮다.

## 07 명반응

순환적 전자 흐름에는 광계 Ⅰ만 관여하고, 비순환적 전자 흐름에는 광계 Ⅰ과 Ⅱ가 모두 관여한다. 표는 둘의 특징을 정리하여 나타낸 것이다.

구분	순환적 전자 흐름	비순환적 전자 흐름
공통점	• 광계 Ⅰ 관여, ATP 생성( $\text{H}^+$ 농도 기울기 형성)	
차이점	• 광계 Ⅰ 만 관여	• $\text{O}_2$ 생성 • NADPH 생성 • 광계 Ⅰ, Ⅱ 모두 관여

☒  $\text{O}_2$ 는 비순환적 전자 흐름에서만 생성된다.

① 순환적 전자 흐름에서 전자는 광계 Ⅰ에서 전자 전달계를 거쳐 광계 Ⅰ로, 비순환적 전자 흐름에서 전자는  $\text{H}_2\text{O}$ 에서 광계 Ⅱ, 광계 Ⅰ을 거쳐  $\text{NADP}^+$ 로 전달되어 NADPH 생성에 이용된다.

② 순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름에서 모두 전자 전달계를 거쳐 전자가 이동하면서 텔라코이드 막을 경계로  $\text{H}^+$ 의 농도 기울기를 형성하여 ATP가 합성된다.

## 08 화학 삼투

텔라코이드 내부의 pH가 스트로마의 pH보다 낮으면 텔라코이드 막에 있는 ATP 합성 효소를 통해 화학 삼투가 일어나 ATP가 합성된다.

① X에 빛을 비추었을 때 산소가 발생하였으므로 명반응이 일어났다. 따라서 X는 엽록체이다.

② ATP가 합성되려면 텔라코이드 내부의 pH가 스트로마의 pH보다 낮아야 하므로 ①은 ②보다 작다.

③ 암실에 있는 (다)의 엽록체(X)에서 ATP가 합성되었으므로 ATP 합성 효소를 통해 화학 삼투가 일어났다.

## 09 비순환적 전자 흐름

비순환적 전자 흐름에서 물의 광분해가 일어나 1분자의  $\text{H}_2\text{O}$ 로부터 방출된 2개의 전자는 광계 Ⅱ(②) → 전자 전달계 → 광계 Ⅰ(①)을 거쳐  $\text{NADP}^+$ 에게 전달되어 1분자의 NADPH 생성에 이용된다.

① ②은 광계 Ⅱ이다.

☒ 1분자의  $\text{H}_2\text{O}$ 로부터  $\text{O}_2$ 는  $\frac{1}{2}$ 분자, NADPH는 1분자가 생성된다. 따라서 ④ : ⑤ = 1 : 2이다.

☒ 광계 Ⅱ(②)의 반응 중심 색소는  $\text{P}_{680}$ 이고, 광계 Ⅰ(①)의 반응 중심 색소는  $\text{P}_{700}$ 이다. 따라서 반응 중심 색소가 가장 잘 흡수하는 가시광선의 파장은 광계 Ⅱ(②)에서가 광계 Ⅰ(①)에서보다 짧다.

## 10 캘빈 회로

A는 PGAL, B는 RuBP, C는 3PG이다.

①  $\text{CO}_2$ 의 고정은 RuBP(B)가 3PG(C)로 전환되는 과정 Ⅱ에서 일어난다.

☒ 3PG(C)가 PGAL(A)로 전환되는 과정 Ⅲ에서 ATP와 NADPH가 사용되고, PGAL(A)이 RuBP(B)로 전환되는 과정 Ⅰ에서 ATP가 사용된다. 과정 Ⅱ에서는 루비스코에 의한  $\text{CO}_2$ 의 고정이 일어난다.

② 1분자당 3PG(C), PGAL(A), RuBP(B)의 탄소 수와 인산기 수는 표와 같다.

구분	3PG(C)	PGAL(A)	RuBP(B)
탄소 수	3	3	5
인산기 수	1	1	2

따라서 1분자당  $\frac{\text{A의 탄소 수} + \text{C의 탄소 수}}{\text{B의 인산기 수}} = \frac{6}{2} = 3$ 이다.

## 11 명반응

빛을 공급했을 때 pH가 증가하는 ①은 스트로마이다.

① 스트로마(①)에서  $\text{CO}_2$ 를 이용한 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다.

② 스트로마(①)의 pH가 높은 구간 Ⅱ에서가 구간 Ⅰ에서보다 텔라코이드 막의 ATP 합성 효소를 통한  $\text{H}^+$ 의 확산이 잘 일어나므로 단위 시간당 생성되는 ATP의 양은 구간 Ⅰ에서가 구간

Ⅱ에서보다 적다.

- Ⓐ 빛이 있을 때 물의 광분해가 일어나  $O_2$ 가 생성되므로 빛이 있는 구간 Ⅱ에서가 빛이 차단된 구간 Ⅲ에서보다 단위 시간당 생성되는  $O_2$ 의 양이 많다.

## 12 탄소 고정 반응

㉠은 PGAL, ㉡은 3PG, ㉢은 RuBP이다.

- Ⓐ  $^{14}CO_2$ 를 공급한 후 X선 필름에 감광한 결과에서 5초 후에 최초로 검출되는 ㉠은 3PG이다.

㉡은  $^{14}CO_2$ 를 공급하여 물질의 합성 순서를 밝혀내는 과정에 자기 방사법이 이용되었다.

- ✖ PGAL(㉠)이 RuBP(㉢)로 전환되는 과정에 ATP가 사용되며, NADPH는 사용되지 않는다.

## 13 캘빈 회로

빛의 공급이 차단되면 명반응의 산물이 공급되지 않아 3PG에서 PGAL, PGAL에서 RuBP로의 전환이 중단되어 3PG의 농도는 일시적으로 증가하고, RuBP의 농도는 일시적으로 감소한다. 따라서 ㉠은 3PG이고, ㉢은 RuBP이다.

㉠ ㉠은 3PG이다.

- ㉡ 3PG(㉠)가 PGAL로 전환되는 과정에서 명반응의 산물인 ATP와 NADPH가 사용되므로 빛이 공급되는 구간 I에서가 빛이 차단된 구간 Ⅱ에서보다 단위 시간당 합성되는 PGAL의 양이 많다.

- ✖ 1분자당  $\frac{\text{인산기 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 3PG(㉠)가  $\frac{1}{3}$ 이고, RuBP(㉢)가  $\frac{2}{5}$  이므로 RuBP(㉢)가 3PG(㉠)보다 크다.

## 14 광합성과 세포 호흡

㉠은 텔라코이드 내부, ㉡은 스트로마이고, ㉢은 미토콘드리아의 막 사이 공간, ㉣은 미토콘드리아 기질이다.

✖ 엽록체의 리보솜은 스트로마(㉡)에 있다.

㉡ 미토콘드리아 기질(㉣)의 TCA 회로에서  $FADH_2$ 가 생성된다.

- ✖ ATP 합성 효소를 통한 텔라코이드 내부(㉠)에서 스트로마(㉡)로의  $H^+$ 의 이동 방식은 확산이다.

## 15 광합성과 세포 호흡

A는 세포 호흡이고, B는 광합성이다. 광합성(B)이 일어나는 장소인 ㉠은 엽록체이고, ㉡은  $NAD^+$ , FAD 등이다.

- ✖ 세포 호흡(A)이 일어나는 미토콘드리아에서 고에너지 전자와 결합하는 조효소는  $NAD^+$ , FAD 등이며,  $NADP^+$ 는 광합성(B)이 일어나는 엽록체에서 고에너지 전자와 결합하는 조효소이다.

㉡ 식물 세포에서 광합성이 일어나는 장소인 엽록체(㉡)는 미토콘드리아와 같은 2중막 구조를 갖는다.

- Ⓐ 미토콘드리아에서의 세포 호흡(A)과 엽록체에서의 광합성(B)에서 모두 화학 삼투에 의한 ATP의 합성이 일어난다.

## 16 광합성과 세포 호흡

㉠은  $O_2$ 이고, ㉡은  $CO_2$ 이다.

Ⓐ 과정 (가)에서  $H_2O$ 의 광분해가 일어나 방출된 전자는 광계를 거쳐 전자 전달계로 전달된다.

㉡ 과정 (나)는 미토콘드리아의 전자 전달계에서  $NADH$ 와  $FADH_2$ 로부터 방출된 전자가 최종 전자 수용체와 결합하여  $H_2O$ 이 되는 과정이다. 이 과정의 최종 전자 수용체는  $O_2$ (㉠)이다.

㉢ 과정 (다)는 세포질에서 일어나는 해당 과정으로 1분자의 포도당으로부터 2분자의 피루브산이 생성되면서 기질 수준 인산화가 일어나 2분자의 ATP가 순생성된다.

### 수능 3점 테스트

본문 72~77쪽

01 ① 02 ③ 03 ② 04 ③ 05 ④ 06 ⑤

07 ② 08 ② 09 ⑤ 10 ② 11 ① 12 ③

## 01 명반응

㉠은 스트로마, ㉡은 텔라코이드 내부이다.

Ⓐ 빛이 있으면 스트로마에서 텔라코이드 내부로 텔라코이드 막에 있는 전자 전달계를 통한  $H^+$ 의 능동 수송이 일어나 스트로마의 pH는 증가하고, 텔라코이드 내부의 pH는 감소한다. 따라서 빛이 있을 때 pH가 증가하는 ㉠은 스트로마(㉠)이고, pH가 감소하는 ㉡은 텔라코이드 내부(㉡)이다.

✖ 엽록체의 자체 DNA, 리보솜은 스트로마(㉠, ㉡)에 있다.

✖ 빛이 있으면 엽록체 내  $NADP^+$ 가  $H_2O$ 에서 방출된 전자를 받아 환원되어 NADPH가 되는 반응이 지속되고, 빛이 없으면 명반응이 일어나지 않아 NADPH가 생성되지 못하므로 엽록체 내  $NADP^+$ 의 농도는  $t_1$ 일 때가  $t_2$ 일 때보다 낮다.

## 02 명반응

명반응 과정의 비순환적 전자 흐름에서  $H_2O$ 로부터 전자가 방출되면서  $O_2$ 가 생성되므로 ㉠은  $^{18}O_2$ 이고, ㉡은  $O_2$ 이다.

Ⓐ A에는 산소의 동위 원소인  $^{18}O$ 가 포함된  $H_2^{18}O$ 을, B에는  $H_2O$ 을 넣었으므로 ㉠과 ㉡ 중  $^{18}O_2$ 는 ㉠이다.

㉡ 비순환적 전자 흐름에서 전자는  $H_2O \rightarrow$  광계 Ⅱ  $\rightarrow$  전자 전달계  $\rightarrow$  광계 I을 거쳐  $NADP^+$ 로 전달되어 NADPH 생성 과정

(⑦)에 이용된다. 따라서 ⑦는 비순환적 전자 흐름에서 일어난다.  
☒. 엽록체에서 명반응이 일어날 때 ATP와 NADPH가 생성된다.  $H^+$ 은 텔라코이드 내부에서 스트로마로 ATP 합성 효소를 통해 촉진 확산되므로 B에 있는 녹조류의 엽록체에서 ⑨가 일어날 때  $\frac{\text{스트로마의 pH}}{\text{텔라코이드 내부의 pH}}$ 는 1보다 크다.

### 03 명반응과 탄소 고정 반응

명반응의 산물이 탄소 고정 반응에 이용되므로 구간 Ⅱ와 Ⅲ으로부터 ④가 명반응에 필요한 빛이고, ⑤가 탄소 고정 반응에 필요한  $CO_2$ 임을 알 수 있다. (나)의 탄소 고정 반응에서 B가 C로 전환되는 과정에 NADPH가 사용되므로 B는 3PG, C는 PGAL이고, 나머지 A는 RuBP이다.

☒.  $O_2$ 의 생성은 명반응 과정 중 비순환적 전자 흐름에서 일어나며, 빛(⑧)은 구간 I에는 없고, 구간 Ⅱ에는 있으므로 단위 시간당  $O_2$  생성량은 구간 I에서 구간 Ⅱ에서보다 적다.  
⑥ 3PG(B)는 PGAL(C)로 전환되는 과정에서 NADPH로부터 고에너지 전자를 받아 환원되므로 1분자당 에너지양은 PGAL(C)이 3PG(B)보다 많다.  
☒. 구간 Ⅲ에서는  $CO_2$ (⑩)가 있으므로 RuBP(A)가 3PG(B)로 전환되는 반응은 일어난다.

### 04 명반응

(가)는 명반응 과정 중 비순환적 전자 흐름으로 1분자의  $H_2O$ 로부터 방출된 2개의 전자는 텔라코이드 막에 있는 전자 전달계를 거쳐  $NADP^+$ 에 전달된다.

⑦ 1분자의  $H_2O$ 이 분해되어 방출된 2개의 전자에 의해 1분자의 NADPH가 생성되므로 2분자의 NADPH(⑦) 생성 과정에서 1분자의  $O_2$ 가 생성된다.

⑧ X는 텔라코이드 막에 있는 전자 전달계를 통한 전자 전달을 차단하므로 X를 처리하면 광계 Ⅱ가 산화되지 않아  $H_2O$ 의 광분해가 일어나지 않게 된다. 그 결과 더 이상  $O_2$ 가 생성되지 않으므로 X를 처리한 결과는 ⑨이다.

☒. 텔라코이드 막에 있는 전자 전달계를 통해 전자가 전달되는 과정에서 방출된 에너지는 스트로마의  $H^+$ 을 텔라코이드 내부로 능동 수송하는 데 이용된다. X를 처리하면 이 과정이 억제되므로 스트로마의 pH는 감소하고, 텔라코이드 내부의 pH는 증가한다.

따라서  $\frac{\text{스트로마의 pH}}{\text{텔라코이드 내부의 pH}}$ 는 X를 처리하기 전이 X를 처리한 후보다 크다.

### 05 명반응

엽록체에서  $H_2O$ 의 광분해는 텔라코이드 내부에서 일어나고, NADPH의 생성은 스트로마에서 일어나므로 I은 텔라코이드

내부이고, Ⅱ는 스트로마이다. X의 단위체는 인산과 염기를 갖고 있으므로 뉴클레오타이드이고, X는 DNA이다.

⑨ DNA의 단위체인 뉴클레오타이드는 당(⑩)으로 디옥시리보스를 갖는다.

⑩ 엽록체의 DNA(X)는 스트로마(Ⅱ)에 있다.

☒. 고에너지 전자가 텔라코이드 막에 있는 전자 전달계를 거치면서  $H^+$ 은 스트로마(Ⅱ)에서 텔라코이드 내부(I)로 능동 수송되므로 텔라코이드 막을 경계로  $H^+$ 의 농도 기울기가 형성된다. ATP 합성 효소를 통해  $H^+$ 이 텔라코이드 내부(I)에서 스트로마(Ⅱ)로 촉진 확산되면서 ATP가 합성된다.

### 06 캘빈 회로

3분자의  $CO_2$ 가 고정될 때의 캘빈 회로에서 3분자의 RuBP가 6분자의 3PG가 된다. 1분자당 탄소 수는 RuBP가 5, 3PG가 3이므로 1분자당 3PG의 탄소 수와 3PG의 분자 수를 더한 값은 9이고, 1분자당 RuBP의 탄소 수와 RuBP의 분자 수를 더한 값은 8이다. 따라서 ⑪은 9, ⑫는 8이고, A는 3PG, C는 RuBP이며, ⑬은 6, ⑭은 3이다. 나머지 B는 PGAL이고, ⑮과 B의 1분자당 탄소 수를 더한 값이 8(⑯)이므로 과정 I에서 포도당 합성에 1분자의 PGAL(B)이 사용되었으며, ⑮은 5이다.

☒. A는 3PG이다.

⑯ 과정 I은 3PG(A)가 PGAL(B)로 전환되는 과정이므로 명반응의 산물인 ATP와 NADPH가 사용된다.

☒. ⑬은 6이고, RuBP(C)의 1분자당 인산기 수는 2이므로 둘을 더한 값은 8(⑯)이다.

### 07 캘빈 회로

⑮은 PGAL, ⑯은 3PG, ⑰은 RuBP이고, C에서 A로 전환되는 과정에서 포도당이 생성되므로 A는 RuBP(⑰), B는 3PG(⑯), C는 PGAL(⑮)이다.

☒. 캘빈 회로에 공급된  $CO_2$ 가 고정되어 3PG가 먼저 생성되고, 이후 PGAL, RuBP 순으로 생성된다. 따라서 X선 필름으로 감광하였을 때 ⑮만 있는 (가)의 세 번째 전개 결과가 5초일 때의 결과이고, ⑯과 ⑰이 있는 (가)의 첫 번째 전개 결과가 90초일 때의 결과이며, 나머지 (가)의 두 번째 전개 결과가 5분일 때의 결과이다. 따라서 90초일 때의 전개 결과에 방사성을 띠는 ⑯과 ⑰은 있지만 ⑮은 없다.

⑯ 1분자당 탄소 수는 3PG(⑯, B)가 3, PGAL(⑮, C)이 3으로 서로 같다.

☒. RuBP(⑰, A)가 3PG(⑯, B)로 전환되는 과정에서  $CO_2$ 의 고정이 일어나며, ATP는 소모되지 않는다.

### 08 명반응과 탄소 고정 반응

$H_2O$ 의 광분해로 방출된 전자를 받아 생성되는 ⑮은 NADPH이

고, ATP 합성 효소를 통한  $H^+$ 의 확산 과정에서 생성되는 ⑤은 ATP이다. A와 B 사이의 전환 과정에서 ATP(⑤)가, A와 C 사이의 전환 과정에서 NADPH(⑦)와 ATP(⑤)가 사용되므로 A는 PGAL, B는 RuBP, C는 3PG이다.

☒ 순환적 전자 흐름에서는  $H_2O$ 의 광분해가 일어나지 않으므로 NADPH(⑦)는 생성되지 않고, ATP(⑤)만 생성된다.

☒ 캘빈 회로는 3PG(C) → PGAL(A) → RuBP(B) 순으로 진행되므로 (나)에서 회로의 진행 방향은 ⑥이다.

⑦ 1분자당 탄소 수와 인산기 수는 RuBP(B)가 5, 2이고, 3PG(C)가 3, 1이므로  $\frac{\text{탄소 수}}{\text{인산기 수}}$ 는 RuBP(B)가 2.5, 3PG(C)가 3이다.

## 09 빛 흡수율과 명반응

ⓐ는 카로티노이드이고, Ⓩ는 엽록소 a이다.

☒ 녹색광에서 빛의 흡수율이 높은 Ⓛ는 카로티노이드이므로 Ⓩ는 엽록소 a이다. 광계 I의 반응 중심 색소인 ⑦은 엽록소 a(ⓑ)이다.

⑦ 빛에너지를 흡수한 엽록소 a(ⓑ, ⑦)에서 방출된 고에너지 전자는 전자 전달계를 거치면서 에너지 X를 방출하며, 이때 방출된 X는 틸라코이드 막의 전자 전달계를 통해  $H^+$ 이 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송되는 데 이용된다.

⑦ 이 식물에서 명반응은 반응 중심 색소인 엽록소 a가 잘 흡수하는 적색광과 청자색광에서가 녹색광에서보다 활발하게 일어난다.

## 10 미토콘드리아와 엽록체

$\frac{1}{2}O_2$ 가  $2H^+$ 과 결합하여  $H_2O$ 로 전환되는 물질대사가 일어나는

I은 미토콘드리아 기질이고,  $H_2O$ 이 분해되는 물질대사가 일어나는 IV는 틸라코이드 내부이다. 따라서 II는 미토콘드리아의 막 사이 공간, ⑦은 세포질, III은 스트로마이다.

☒ 엽록체와 미토콘드리아는 자체 리보솜을 가지고 있다. 엽록체의 자체 리보솜은 스트로마(III)에, 미토콘드리아의 자체 리보솜은 미토콘드리아 기질(I)에 있으며, 세포질(⑦)에도 리보솜이 있다.

☒ II는 미토콘드리아의 막 사이 공간이며, 3PG가 PGAL로 전환되는 3PG의 환원은 엽록체의 스트로마(III)에서 일어난다.

⑦ 스트로마(III)와 틸라코이드 내부(IV)를 구분하는 틸라코이드 막에서 전자 전달계를 통한  $H^+$ 의 능동 수송은 스트로마(III)에서 틸라코이드 내부(IV)로 일어난다.

## 11 화학 삼투에 의한 인산화

⑦은 7.5, ⑧은 7, ⑨은 8이다.

⑦ 틸라코이드 내부의 pH와 스트로마의 pH 차이가 클수록 ATP 합성 효소를 통한  $H^+$ 의 촉진 확산이 잘 일어나므로 ATP

합성량이 많은 I에서가 II에서보다 엽록체의 스트로마와 틸라코이드 내부 사이의 pH 차가 크다. 따라서 ⑦(7.5)은 ⑧(7)보다 크다.☒ 틸라코이드 막을 통한 전자의 이동은 빛이 공급될 때 일어나는 명반응 과정에 해당한다. 이 실험은 암실에서 진행되었으므로 I ~ III의 엽록체에서 모두 틸라코이드 막의 전자 전달계를 통한 전자 이동은 일어나지 않는다.

☒ (라)의 I ~ III에서 모두 틸라코이드 내부와 스트로마의  $H^+$ 의 농도 차에 의해 ATP가 생성되는 화학 삼투에 의한 인산화가 일어났다.

## 12 캘빈 회로와 TCA 회로

(가)는 캘빈 회로, (나)는 TCA 회로이다. ⑧은  $CO_2$ , ⑨은  $NADP^+$ , ⑩은  $NAD^+$ 이고, ⑪은 3PG, ⑫은 RuBP, ⑬은 옥살아세트산, ⑭은 시트르산이다.

⑦ ATP가 사용되는 (가)는 캘빈 회로이므로 ⑧은  $CO_2$ , ⑨은  $NADP^+$ 이다.

⑦ TCA 회로(나)는 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

☒ 1분자당 탄소 수는 시트르산(⑭)이 6, RuBP(⑫)가 5, 옥살아세트산(⑬)이 4, 3PG(⑪)가 3이다.

## 06 유전 물질

### 수능 2점 테스트

본문 84~87쪽

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

### 01 원핵세포와 진핵세포의 유전체

A는 사람, B는 대장균이다.

- Ⓐ 유전체 크기(염기쌍)는 사람(A)이 대장균(B)보다 크므로, '유전체 크기(염기쌍)'는 (가)에 해당한다.  
Ⓑ 뉴클레오솜(ⓐ)에는 DNA와 히스톤 단백질이 있다.  
Ⓒ 사람(A)은 다세포 진핵생물이고 대장균(B)은 원핵생물이므로 Ⓛ > Ⓜ이다.

### 02 원핵세포와 진핵세포의 유전체

같은 길이의 DNA에서 (가)의 유전체에는 53개의 유전자가 있고, (나)의 유전체에는 2개의 유전자가 있다. 또한 (나)의 유전자 안에는 단백질 정보가 들어 있지 않은 부위가 있으므로 (가는 대장균, 나)는 사람이다.

- ⓧ 대장균(가)의 유전체는 세포질에 있다.  
ⓨ 핵막으로 싸여 있는 사람(나)의 유전체는 선형 DNA로 구성되어 있다.  
ⓩ 인트론은 유전자 안에 단백질 정보가 들어 있지 않은 부위이며 유전자 사이의 빈 공간(ⓓ)은 인트론이 아니다.

### 03 그리피스의 실험

피막이 없는 Ⓛ은 R형 균, 피막이 있는 Ⓛ은 S형 균이다. Ⓛ는 병원성이 있는 S형 균(ⓑ), Ⓛ는 병원성이 없는 R형 균(ⓓ)이다.

- ⓧ 병원성이 없는 Ⓛ는 피막이 없는 R형 균(ⓓ)이다.  
ⓨ (다)의 쥐가 폐렴으로 죽은 것으로 보아 (다)에서 살아 있는 R형 균(ⓑ)이 열처리하여 죽은 S형 균(ⓓ)의 물질로 인해 S형 균(ⓐ, Ⓛ)으로 형질 전환되었다는 것을 알 수 있다.  
ⓩ 그리피스의 실험은 폐렴 쌍구균에서 형질 전환 시 원인 물질이 무엇인지 알아보지 못하여 S형 균의 어떤 물질이 R형 균을 S형 균으로 형질 전환시킨다는 것만을 확인하였다.

### 04 허시와 체이스의 실험

$^{35}\text{S}$ (ⓐ)으로 표지한 파지를 대장균에 감염시킨 후 원심 분리한 결과 시험관의 상층액에서 방사선이 검출되었다.

- ⓧ Ⓛ은  $^{35}\text{S}$ 이다.

- ⓧ 대장균과 파지를 분리(ⓐ)하기 위해 면서를 사용한다.  
ⓨ 침전물에 대장균이 존재한다.

### 05 DNA의 구조

- ⓐ은 폴리뉴클레오타이드이고, DNA 이중 나선의 폭은 2.0(ⓐ) nm이며, 이중 나선이 한 바퀴 회전할 때 나선의 길이는 3.4(ⓑ) nm이다.  
ⓧ DNA를 구성하는 두 가닥은 폴리뉴클레오타이드(ⓓ)이다.  
ⓨ Ⓛ은 2, Ⓛ는 3.4이므로 Ⓛ는 Ⓛ보다 작다.  
ⓩ DNA 이중 나선이 한 바퀴 회전할 때(ⓐ)에 염기쌍 10개가 포함된다.

### 06 DNA의 추출 실험

- 세포에서 세포막과 핵막을 녹여야 DNA를 추출할 수 있다.  
ⓐ 소금-세제액(ⓐ)은 인지질 2중층을 분해하여 세포막과 핵막을 파괴한다.  
ⓑ 브로콜리 여과액(ⓑ)에는 DNA가 있다.  
ⓒ 브로콜리 여과액(ⓑ)과 차가운 에탄올(ⓓ) 사이에 생긴 실 모양으로 엉긴 물질(ⓔ)에는 DNA가 있어 핵산을 염색하는 염색약으로 염색이 가능하다.

### 07 DNA의 구조

- ⓐ은 사이토신(C), Ⓛ은 구아닌(G), Ⓛ은 아데닌(A), Ⓛ은 타이민(T)이다.  
ⓧ DNA를 구성하는 당(ⓐ)은 디옥시리보스이다.  
ⓨ RNA에는 타이민(T, Ⓛ) 대신에 유라실(U)이 있다.  
ⓩ 이중 가닥 DNA에서 아데닌(A)은 타이민(T)과 수소 결합을 통해 염기쌍을 이루고, 사이토신(C)은 구아닌(G)과 수소 결합을 통해 염기쌍을 이루므로  $X_1$ 의 아데닌(A)의 개수는  $X_2$ 의 타이민(T)의 개수와 같고,  $X_1$ 의 사이토신(C)의 개수는  $X_2$ 의 구아닌(G)의 개수와 같다. 그러므로  
 $X_1$ 의  $\frac{\text{아데닌(A, Ⓛ)} + \text{타이민(T, Ⓛ)}}{\text{사이토신(C, Ⓛ) + 구아닌(G, Ⓛ)}}$  은  
 $X_2$ 의  $\frac{\text{아데닌(A, Ⓛ)} + \text{타이민(T, Ⓛ)}}{\text{사이토신(C, Ⓛ) + 구아닌(G, Ⓛ)}}$  과 같다.

### 08 유전 물질 연구

- (가)는 에이버리의 실험, (나)는 허시와 체이스의 실험이다.  
ⓧ Ⓛ은 DNA 구성 원소로  $^{32}\text{P}$ 으로 표지한 파지(ⓐ)는 파지의 DNA에서 방사선이 검출된다.  
ⓨ 감염된 대장균 안으로 파지의 DNA가 들어가고, 대장균은 원심 분리했을 때 시험관의 침전물에 존재하므로 Ⓛ는 '침전물'이다.  
ⓩ 에이버리의 실험(가)과 허시와 체이스의 실험(나)의 실험 결과를 통해 유전 물질이 DNA라는 것을 알 수 있다.

## 09 DNA 복제

DNA 복제 시 새로 합성되는 가닥은 항상  $5' \rightarrow 3'$  방향으로 합성된다.

Ⓐ. DNA 중합 효소가 주형 가닥과 상보적인 염기를 갖는 뉴클레오타이드를 결합시킬 때 합성 중인 가닥의 3' 말단에 새로 첨가하는 뉴클레오타이드의 5' 말단 인산기가 결합하므로 새로 합성되는 가닥은  $5' \rightarrow 3'$  방향으로만 합성된다. 그러므로 Ⓛ은  $5' \rightarrow 3'$ 에 해당한다.

⓪. 불연속적으로 합성되는 각각의 짧은 가닥을 연결하는 Ⓜ는 DNA 연결 효소이다.

⓫. DNA 복제 과정은 (나)  $\rightarrow$  (가)  $\rightarrow$  (라)  $\rightarrow$  (다) 순서로 일어난다.

아데닌(A)+타이민(T)  
구아닌(G)+사이토신(C)의 값은 같다.

## 12 DNA 복제

Ⓐ를 주형 가닥으로 사용하여 선도 가닥(I)이 합성된다면 X는 5'-CAG-3'이고, Z는 X와 서로 상보적이므로 5'-CUG-3'인데, Ⓛ를 주형 가닥으로 사용하여 만들어지는 지연 가닥에는 Z가 5'-CUG-3'은 없으므로 성립하지 않는다. Ⓛ를 주형 가닥으로 사용하여 선도 가닥(I)이 합성되고, Ⓜ를 주형 가닥으로 사용하여 지연 가닥(Ⅱ, Ⅲ)이 합성되었다.

Ⓐ. X의 염기 서열은 5'-GUC-3', Y의 염기 서열은 5'-CAG-3', Z의 염기 서열은 5'-GAC-3'이다.

⓪. Ⅱ에서  $\frac{A+G}{C+T} = \frac{3+1}{1+2} = \frac{4}{3}$ 이다.

⓫. Ⅲ이 Ⅱ보다 먼저 합성되었다.

## 10 DNA 복제

(가)는 주형 가닥을 기준으로 새로운 가닥을 합성하는 DNA 중합 효소이고, Ⓛ은 3' 말단이다.

⓪. Ⓛ의 프라이머가 제시된 그림의 오른쪽에 있으므로 주형 가닥의 오른쪽 끝인 Ⓛ은 3' 말단이다.

Ⓐ. 복제 분기점의 진행 방향은 제시된 그림의 왼쪽에서 오른쪽이므로 가닥 Ⓛ는 가닥 Ⓛ보다 먼저 합성되었다.

⓫. DNA 중합 효소(가)는 프라이머를 합성하지 않는다.

## 11 DNA 구조

X에서 구아닌(G)의 함량은 23.5 %이므로, 사이토신(C)의 함량은 23.5 %, 아데닌(A)의 함량은 26.5 %, 타이민(T)의 함량은 26.5 %이고, Y에서 아데닌(A)의 함량은 26.5 %이므로, 타이민(T)의 함량은 26.5 %, 구아닌(G)의 함량은 23.5 %, 사이토신(C)의 함량은 23.5 %이다.

⓫. X의 피리미딘 계열 염기(C, T)의 함량과 Y의 피리미딘 계열 염기(C, T)의 함량은 모두 50 %로 동일하나, 다세포 진핵생물의 유전체인 Y는 원핵생물의 유전체인 X보다 크므로 X의 피리미딘 계열 염기(C, T)의 개수와 Y의 피리미딘 계열 염기(C, T)의 개수는 다르다.

Ⓐ. X의 총염기 개수를  $x$ 라고 하고, Y의 총염기 개수를  $y$ 라고 하면 X의  $\frac{\text{아데닌(A)} + \text{사이토신(C)}}{\text{구아닌(G)} + \text{타이민(T)}} = \frac{(26.5\% + 23.5\%)x}{(23.5\% + 26.5\%)x} = 1$ 이고, Y의  $\frac{\text{아데닌(A)} + \text{사이토신(C)}}{\text{구아닌(G)} + \text{타이민(T)}} = \frac{(26.5\% + 23.5\%)y}{(23.5\% + 26.5\%)y} = 1$ 이므로 X와 Y에서  $\frac{\text{아데닌(A)} + \text{사이토신(C)}}{\text{구아닌(G)} + \text{타이민(T)}}$ 의 값은 같다.

Ⓐ. X의  $\frac{\text{아데닌(A)} + \text{타이민(T)}}{\text{구아닌(G)} + \text{사이토신(C)}} = \frac{(26.5\% + 26.5\%)x}{(23.5\% + 23.5\%)x} = \frac{53}{47}$ 이고, Y의  $\frac{\text{아데닌(A)} + \text{타이민(T)}}{\text{구아닌(G)} + \text{사이토신(C)}} = \frac{(26.5\% + 26.5\%)y}{(23.5\% + 23.5\%)y} = \frac{53}{47}$ 이므로 X와 Y에서의

## 13 DNA 복제

DNA 복제 시 (가)를 주형으로 지연 가닥이 합성되고, (나)를 주형으로 선도 가닥이 합성된다.

⓪. Ⓛ에는 DNA 복제 분기점이 있다.

⓫. DNA 복제 시 (가)를 주형으로 지연 가닥이 합성되므로 (가)에 결합하는 효소에는 DNA 중합 효소와 DNA 연결 효소 등이 있다.

Ⓐ. (나)의 오른쪽 끝은 3' 말단으로 (나)를 주형으로 하여 합성되는 가닥은 선도 가닥이다.

## 14 DNA 복제

Z는 서로 다른 4개의 염기로 구성되고, (나)와 Ⅱ 사이의 염기 간 수소 결합의 총개수가 30개이므로 제시된 염기 서열은 (나)의 서열이고, Ⓛ은 타이민(T), Ⓜ은 사이토신(C)이다.

Ⓐ. X의 염기 서열은 5'-ACUC-3', Y의 염기 서열은 5'-GUAA-3', Z의 염기 서열은 5'-GACU-3'이다.

Ⓐ. (나)와 Ⅱ 사이의 염기 간 수소 결합의 총개수가 30개이므로 Ⓛ은 타이민(T)이다. Z는 서로 다른 염기로 구성되므로 Ⓜ은 사이토신(C)이다.

Ⓐ. Ⅲ에서 아데닌(A)과 타이민(T)의 개수의 합은 4이다.

## 15 DNA 구조

100개의 염기쌍으로 구성된 X에서 염기 간 수소 결합의 총개수가 258개이므로 구아닌(G)의 개수와 사이토신(C)의 개수는 각각 58개, 아데닌(A)의 개수와 타이민(T)의 개수는 각각 42개이다. X에서 염기 Ⓛ의 함량이 29 %이므로 Ⓛ은 사이토신(C)과 구아닌(G) 중 하나이다. I에서  $\frac{\text{Ⓛ}}{\text{Ⓐ}} = \frac{8}{3}$ 이고, Ⅱ에서  $\frac{\text{C}}{\text{A}} = \frac{8}{3}$

이므로 ⑦은 구아닌(G), ⑧은 타이민(T)이다. 그러므로 ⑨은 사이토신(C)이다. Ⅱ에서  $\frac{\text{구아닌}(G, ⑦)}{\text{타이민}(T, ⑧)} = \frac{5}{12}$ 이므로, X의 염기의 종류에 따른 염기의 개수는 표와 같다.

구분	아데닌(A)	사이토신(C, ⑦)	구아닌(G, ⑨)	타이민(T, ⑧)
I	24	10	48	18
II	18	48	10	24

- ⑦. ⑨은 사이토신(C), ⑦은 구아닌(G), ⑧은 타이민(T)이다.  
 ⑨. I에서 사이토신(C, ⑦)의 개수는 10개이다.  
 ✗. II에서  $\frac{\text{타이민}(T, ⑧)}{\text{사이토신}(C, ⑦)} = 0.5$ 이다.

## 16 DNA 구조

⑦은 아데닌(A), ⑧은 타이민(T), ⑨은 구아닌(G), ⑩은 사이토신(C)이다.

- ⑦. ⑦은 아데닌(A)이고, X의  $\frac{\text{⑦} + ⑨}{\text{⑧} + ⑩}$ 과 Y의  $\frac{\text{⑦} + ⑨}{\text{⑧} + ⑩}$ 은 모두 1이 아니므로 ⑧은 타이민(T)이다. ⑩은 피리미딘 계열 염기이며 사이토신(C)이고, ⑨은 구아닌(G)이다.  
 ⑨. Y의  $\frac{\text{아데닌}(A, ⑦) + \text{타이민}(T, ⑧)}{\text{구아닌}(G, ⑨) + \text{사이토신}(C, ⑩)} = \frac{2}{3}$ 이므로 아데닌(A, ⑦)은 40개, 타이민(T, ⑧)은 40개, 구아닌(G, ⑨)은 60개, 사이토신(C, ⑩)은 60개이다. Y에서 타이민(T, ⑧)의 개수와 구아닌(G, ⑨)의 개수의 합은 100이다.  
 ⑨. X의  $\frac{\text{아데닌}(A, ⑦) + \text{타이민}(T, ⑧)}{\text{구아닌}(G, ⑨) + \text{사이토신}(C, ⑩)} = 3$ 이므로 A+T 염기쌍의 수는 75, G+C 염기쌍의 수는 25이고, Y에서 A+T 염기쌍의 수는 40, G+C 염기쌍의 수는 60이다. 그러므로 X에서 염기 간 수소 결합의 총개수는 225개이고, Y에서 염기 간 수소 결합의 총개수는 260개이다.

### 수능 3점 테스트

본문 88~93쪽

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

## 01 원핵세포와 진핵세포의 유전체

A의 유전체는 여러 개의 DNA로 구성되어 있고, 핵막으로 둘러싸여 있으므로 A는 사람이다.

- ✗. A는 사람이다.  
 ✗. 핵막으로 둘러싸인 사람(A)의 DNA(⑦)는 선형이다.

⑦. 인트론은 유전자의 단백질 비암호화 부위(⑦)에 해당한다.

## 02 형질 전환 실험

⑦은 S형 균, ⑧은 R형 균이다. ⑨는 DNA이다.

- ⑦. S형 균(⑦)은 피막을 갖는다.  
 ⑨. 열처리하여 죽은 S형 균(⑦)의 추출물을 ⑨ 분해 효소로 처리한 후 살아 있는 R형 균(⑧)과 섞어 쥐에 주사하였더니 쥐가 살아 있는 것으로 보아 ⑨는 DNA이다.  
 ✗. (나)의 살아 있는 쥐(⑨)에서 병원성이 있는 S형 균(⑦)이 관찰되지 않는다.

## 03 DNA 복제 실험

⑦은  $^{14}\text{N}$ , ⑧은  $^{15}\text{N}$ 이고, A는 보존적 복제 모델, B는 분산적 복제 모델, C는 반보존적 복제 모델이다.

- ⑦. 2세대 대장균( $G_2$ )의 DNA 원심 분리 결과 중층과 하층에서 DNA가 관찰되는 것으로 보아 ⑦은  $^{14}\text{N}$ , ⑧은  $^{15}\text{N}$ 이다.  
 ✗. 보존적 복제 모델(A)에 따라 DNA가 복제된다면 2세대 대장균( $G_2$ )의 DNA 원심 분리 결과 상층과 하층에서 DNA가 관찰될 것이다.  
 ✗.  $G_4$ 에서 전체 DNA가  $^{15}\text{N}$ 를 갖는다.

## 04 생물의 유전체

A는 대장균, B는 효모, C는 초파리이다.

- ✗. 대장균(A)은 원핵생물이므로 유전체에는 뉴클레오솜이 없다.  
 ✗. 웨티도글리칸 성분은 대장균(A)의 세포벽에 있다.  
 ⑨. 효모(B)의 유전체 크기는 초파리(C)의 유전체 크기보다 작다.

## 05 DNA 복제 실험

가설 I은 분산적 복제, 가설 II는 보존적 복제, 가설 III은 반보존적 복제이고, ⑦는 3세대 대장균( $G_3$ )이다. ⑦은 하층, ⑧은 중층, ⑨은 상층이다.

- ✗. 분산적 복제(I)는 2세대 대장균( $G_2$ )의 DNA를 추출하여 원심 분리하였을 때 상층(⑨)에 DNA가 존재해 기각되었다.  
 ⑨. 보존적 복제(II)에 따라 DNA가 복제된다면 3세대 대장균(⑦,  $G_3$ )의 DNA를 추출하여 원심 분리하였을 때 하층(⑦)에 DNA가 존재할 것이다.  
 ⑨. 2세대 대장균( $G_2$ )에서  $\frac{\text{}^{14}\text{N} \text{로 표지된 단일 가닥 DNA 수}}{\text{}^{15}\text{N} \text{로 표지된 단일 가닥 DNA 수}} = \frac{6}{2} = 3$ 이다.

## 06 DNA의 구조

⑦은 타이민(T)이다. X에서 퓨린 계열 염기의 개수는 150개이

므로, 피리미딘 계열 염기의 개수도 150개이다. X에서  $\frac{A+T}{C+G} = 1.5$ 이고, 아데닌(A)과 타이민(T)의 개수가 같고, 사이토신(C)과 구아닌(G)의 개수가 같으므로 아데닌(A)의 개수는 90개, 타이민(T)의 개수는 90개, 사이토신(C)의 개수는 60개, 구아닌(G)의 개수는 60개이다. I에서 타이민(T, ⑤)의 함량이 20%이므로 타이민(T)의 개수는 30개이다. I에서 퓨린 계열 염기의 함량은 70%이므로 퓨린 계열 염기의 개수는 105개인데, 아데닌(A)의 개수가 60개이므로 구아닌(G)의 개수는 45개이다. 이를 정리하면 표와 같다.

구분	아데닌(A)	구아닌(G)	사이토신(C)	타이민(T)
I	60	45	15	30
II	30	15	45	60
X	90	60	60	90

☒. I에서 사이토신(C)의 개수는 15개이다.

㉡. II에서  $\frac{\text{사이토신(C)}}{\text{타이민(T)}} = \frac{45}{60} = \frac{3}{4}$ 이다.

㉢. A+T 염기쌍의 개수는 90개, G+C 염기쌍의 개수는 60개이다. 그러므로 I과 II 사이의 염기 간 수소 결합의 총개수는 360개이다.

## 07 DNA 복제 모의 실험

㉠은 ㉡과 상보적 결합을, ㉢은 ㉣과 상보적 결합을 하고, X<sub>1</sub>에서  $\frac{A+T}{G+C} > 1$ 이므로 ㉠은 구아닌(G), ㉡은 타이민(T), ㉢은 사이토신(C), ㉣은 아데닌(A)이다.

구분	아데닌(A, ㉣)	구아닌(G, ㉠)	사이토신(C, ㉢)	타이민(T, ㉡)
X <sub>1</sub>	9	12	7	11
X <sub>2</sub>	11	7	12	9
X	20	19	19	20

☒. 뉴클레오타이드 모형을 ④에서 ④ 방향으로 순차적으로 붙여 폴리뉴클레오타이드 I을 만들므로, 풀(④)은 DNA 중합 효소 역할을 한다.

㉡. ㉠은 구아닌(G), ㉡은 타이민(T), ㉢은 사이토신(C), ㉣은 아데닌(A)이다.

☒. X에서 아데닌(A)의 개수는 20개, 사이토신(C)의 개수는 19개이다.

## 08 유전 물질 연구

(가)는 메셀슨과 스탈의 실험, (나)는 허시와 체이스의 실험, (다)는 에이버리의 실험이다.

☒. 메셀슨과 스탈의 실험(가)은 DNA의 반보존적 복제를 확인

한 실험이다.

㉡. 에이버리의 실험(다)은 허시와 체이스의 실험(나)보다 먼저 진행되었다.

㉢. 질소(N)와 인(P)은 DNA의 구성 원소이고, 황(S)은 단백질의 구성 원소이다.

## 09 DNA 복제

만약 ㉠가 3' 말단, ㉡가 5' 말단이라면 Y와 Z 중 하나에 타이민(T)이 있게 되어 성립하지 않고, Z의  $\frac{\text{구아닌(G)}}{\text{아데닌(A)}} = \frac{1}{2}$ , Y의 G+C 함량이 75%가 성립하지 않는다. 그러므로 ㉠는 5' 말단, ㉡는 3' 말단이고, ㉢는 Ⅲ, ㉣는 Ⅱ이다. ㉠은 아데닌(A), ㉡은 사이토신(C), ㉢은 타이민(T), ㉣은 구아닌(G)이다. 이를 정리하면 표와 같다.

가닥	염기 서열
㉠(Ⅲ)	①—⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲—⑥ 5'-AACGGTACTGTACATGGGGC-3'
㉡(Ⅱ)	①—②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲—⑥ 5'-CGAGGATGACGTAACCTCAT-3'

☒. ㉠은 아데닌(A), ㉡은 사이토신(C), ㉢은 타이민(T), ㉣은 구아닌(G)이다.

㉡. Ⅱ(㉡)에서  $\frac{\text{구아닌(G, ㉠)}}{\text{사이토신(C, ㉡)}} = \frac{5}{5} = 1$ 이다.

㉢. (가)에서 퓨린 계열 염기(A, G)의 개수는 23개, 피리미딘 계열 염기(C, T)의 개수는 17개이다.

## 10 DNA 복제

(가)와 I~Ⅲ 사이의 염기 간 수소 결합의 총개수는 370개이므로 이중 가닥 DNA를 구성하는 염기쌍의 개수는 124(A+T=2개, C+G=122개)개와 185(A+T=185개, C+G=0개)개 사이에 있다. I~Ⅲ의 염기 개수가 같아야 하며, I에서  $\frac{A+T}{C+G} = \frac{18}{7}$ 이고, Ⅱ에서  $\frac{A+T}{C+G} = \frac{1}{2}$ 이고, Ⅲ에서  $\frac{A+T}{C+G} = 1$ 이 성립하기 위해서는 I~Ⅲ의 염기 개수는 각각 50개이다. (가)의 퓨린 계열 염기의 총개수는 80개이며, 피리미딘 계열 염기의 총개수는 70개이다. (가)에서  $\frac{A}{G} = \frac{5}{3}$ 이고,  $\frac{T}{C} = \frac{3}{4}$ 이므로, 아데닌(A)의 개수는 50개, 구아닌(G)의 개수는 30개, 사이토신(C)의 개수는 40개, 타이민(T)의 개수는 30개이다.

☒. (가)의 염기의 개수는 150개이다.

㉡. (나)의 타이민(T)의 개수는 50개이다.

㉢. Y는 Z와 염기 서열이 같고 Ⅱ에 유라실(U)이 2개 있으므로 Y와 Z에 각각 유라실(U)이 2개 있다.

## 07 유전자 발현

### 수능 2점 테스트

본문 103~106쪽

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

### 01 유전 정보의 흐름

- ㉠은 DNA 복제, ㉡은 전사, ㉢은 번역이다.
- ㉠. DNA 복제(㉠)에서 DNA 중합 효소가 주형 가닥과 상보적인 DNA 뉴클레오타이드를 결합시켜 새로운 DNA 가닥을 합성한다.
- ㉡. 진핵세포의 핵에서 전사(㉡)가 일어난다.
- ㉢. RNA의 유전 정보로부터 단백질이 합성되는 ㉢은 번역이다.

### 02 붉은빵곰팡이의 1유전자 1효소설

- ㉠은 시트룰린, ㉡은 오르니틴, ㉢은 아르지닌이다. Ⅰ은 *b*에, Ⅱ는 *a*에, Ⅲ은 *c*에 돌연변이가 일어난 것이다.
- ⓧ. 최소 배지 X에 ㉠이 첨가된 배지에서 Ⅰ ~ Ⅲ이 모두 생장하므로 ㉠은 아르지닌이고, ㉡이 첨가된 배지에서 Ⅱ만 생장하므로 ㉡은 오르니틴이며, 나머지 ㉠은 시트룰린이다.
- ⓧ. Ⅱ는 X에서는 생장하지 못하지만, 오르니틴(㉡), 시트룰린(㉠), 아르지닌(㉢)이 각각 첨가된 배지에서 모두 생장하므로 전구 물질로부터 오르니틴을 합성하는 과정에 관여하는 효소 A를 암호화하는 유전자 *a*에 돌연변이가 일어난 것이다.
- ㉡. Ⅲ은 시트룰린(㉠)을 아르지닌(㉢)으로 전환하는 과정에 관여하는 효소 C를 암호화하는 유전자 *c*에 돌연변이가 일어났으므로 X에 아르지닌(㉢)을 첨가한 배지에서 전구 물질 → 오르니틴(㉡) → 시트룰린(㉠)으로의 물질 합성을 일어난다. 따라서 'X + 아르지닌(㉢)' 배지의 Ⅲ에서 오르니틴(㉡)이 합성된다.

### 03 전사와 번역

DNA를 이루는 두 가닥 중 한 가닥이 전사 주형 가닥으로 이용되어 mRNA가 합성되며, 이때 전사된 mRNA의 염기 서열은 비주형 가닥의 염기 서열에서 타이민(T)이 유라실(U)로 바뀐 것과 같다. 합성된 mRNA의 염기 서열이 가닥 Ⅰ과 유사하므로 mRNA는 가닥 Ⅱ를 전사 주형 가닥으로 하여 합성되었다.

- ⓧ. 전사 주형 가닥의 3' 말단에서부터 5' 말단 방향으로 전사가 일어나 mRNA가 합성되며, 전사된 mRNA의 방향은 비주형 가닥과 같으므로 ⓐ는 3' 말단이다.
- ㉡. mRNA의 염기 서열이 Ⅰ과 Ⅱ 중 Ⅰ과 유사하므로 mRNA

합성에 이용된 전사 주형 가닥은 Ⅱ이다.

- ⓧ. 세린을 암호화하는 mRNA의 코돈이 5'-AGC-3'이므로 세린을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 5'-GCU-3'이다.

### 04 전사와 번역

진핵세포의 핵에서 DNA로부터 RNA가 합성되는 전사가 일어나며, 이후 RNA 가공 과정(I)을 통해 인트론을 제거한 성숙한 mRNA를 만든다. 핵공을 통해 세포질로 이동한 성숙한 mRNA에 리보솜이 결합하여 번역이 진행되어 폴리펩타이드가 합성된다.

- ⓧ. 핵에서 RNA 가공 과정(I)이 일어난다.
- ⓧ. RNA 가공 과정을 통해 단백질 합성이 이용되지 않는 인트론 부위를 제거하므로 성숙한 mRNA에는 인트론이 없다.
- ⓧ. 성숙한 mRNA에 결합한 리보솜은 mRNA의 5' 말단 방향에서 3' 말단 방향으로 이동하며 번역을 진행한다. 따라서 성숙한 mRNA와 결합한 리보솜의 이동 방향은 ⓐ이다.

### 05 전사

이중 가닥 DNA를 구성하는 Ⅰ과 Ⅱ는 서로 상보적이므로 각 가닥에서  $\frac{A+T}{C+G}$ 은 Ⅰ과 Ⅱ에서 서로 같다.

- ⓧ. RNA의 합성은 전사 주형 가닥의 3' 말단으로부터 5' 말단 방향으로 일어나므로 합성된 RNA의 끝에 해당하는 ⓐ는 5' 말단이다.

- ⓧ.  $\frac{A+T}{C+G}$ 이 Ⅰ에서 1이므로 상보적인 염기 서열을 갖는 Ⅱ에서도 1이어야 한다. 따라서 ㉠은 Ⅱ, ㉡은 Ⅲ이다. ㉠(Ⅱ)은 DNA 가닥이므로 유라실(U)이 없다.
- ⓧ. RNA 중합 효소가 결합하는 프로모터는 DNA에 있다.

### 06 tRNA의 구조

tRNA는 mRNA의 코돈과 상보적인 안티코돈을 가지고 있으며, 각 코돈이 지정하는 아미노산을 리보솜으로 운반하는 기능을 한다.

- ⓧ. 아미노산은 tRNA의 3' 말단에 있는 아미노산 결합 부위에 결합된다.
- ⓧ. 제시된 tRNA의 안티코돈이 5'-GUA-3'이므로 상보적인 코돈은 5'-UAC-3'이다. 따라서 ㉠은 타이로신이다.
- ⓧ. 종결 코돈인 UAG는 아미노산을 지정하지 않으며, 이와 상보적으로 결합하는 안티코돈을 갖는 tRNA가 없다.

### 07 유전부호

DNA의 3염기 조합으로부터 전사 과정을 통해 코돈이 합성되며, 코돈의 염기 서열에 따라 지정하는 아미노산의 종류가 결정된다.

다. ⑦은 코돈이고, ⑧은 DNA의 3염기 조합이다.

⑨ 유라실(U)은 RNA를 구성하는 뉴클레오타이드의 염기에 해당하므로 ⑦은 코돈이다.

⑩ DNA의 3염기 조합(⑨)이 5'-CGA-3'이므로 이에 대응하는 코돈(⑦)은 5'-UCG-3'(⑧)이다. 따라서 5' 말단으로부터 3 번째에 위치한 뉴클레오타이드의 염기는 퓨린 계열 염기에 속하는 구아닌(G)이다.

⑪ 코돈(⑦) 5'-UCG-3'(⑧), 5'-AGC-3'은 모두 세린을 지정하므로 코돈의 염기 서열이 다르더라도 같은 아미노산을 지정하는 경우가 있다.

## 08 번역

⑦은 코돈 ACA와 결합하였으므로 ⑨과 같은 안티코돈 UGU를 갖는다. 따라서 ⑦과 ⑨은 모두 트레오닌을 운반하는 tRNA이다.

※ 트레오닌과 결합한 ⑨은 리보솜의 A 자리로 들어온 후 P 자리를 거쳐 트레오닌과 분리된 후 E 자리로 빠져나간다.

⑫ ⑦과 ⑨은 모두 트레오닌을 운반하는 tRNA이므로 (가)에는 트레오닌이 있다.

⑬ 개시 코돈 AUG에서부터 번역이 시작되고, 종결 코돈 UAA에서 번역이 끝나므로 합성이 완료된 폴리펩타이드는 4개의 아미노산으로 구성된다. 따라서 펩타이드 결합이 3개 있다.

## 09 번역

번역 과정에서 리보솜은 1개의 코돈만큼씩 이동하며 아미노산을 연결하므로 제시된 mRNA의 서열로부터 번역에 이용된 염기 서열만을 나타내면 다음과 같이 3가지가 가능하다.

5'-CAC/ACA/CAC/ACA-3'(①)

5'-ACA/CAC/ACA-3'(②)

5'-CAC/ACA/CAC-3'(③)

따라서 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산의 개수가 4개인 Ⅱ가 ①이므로 코돈 CAC는 히스티딘을, 코돈 ACA는 트레오닌을 지정한다. 첫 번째 아미노산이 트레오닌인 I은 ②, 나머지 Ⅲ은 ③이다.

⑭ 코돈 CAC는 히스티딘을 지정한다.

⑮ ⑦을 지정하는 코돈은 ACA이므로 ⑨은 트레오닌이다. 트레오닌(⑨)을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 코돈 ACA와 상보적 이므로 5'-UGU-3'이다.

※ Ⅲ은 3개의 아미노산으로 구성되고, 세 번째 아미노산이 히스티딘이므로 mRNA의 5' 말단으로부터 번역이 시작된 코돈의 첫 번째 염기가 C이며, 5' 말단으로부터 세 번째에 위치한 염기부터 번역된 것이다.

## 10 전사

타이민(T)이 있는 ⑩은 Ⅲ이 아니고, 유라실(U)이 없는 ⑪도

Ⅲ이 아니다. 따라서 ⑦은 Ⅱ, ⑨은 Ⅲ, ⑨은 Ⅰ이다.

⑯ ⑦은 Ⅱ이다.

⑰ Ⅰ(⑩)과 Ⅱ(⑨)는 서로 상보적인 가닥이고, Ⅰ(⑩)을 전사 주형 가닥으로 하여 전사된 Ⅲ(⑨)에는 타이민(T) 대신 유라실(U)이 있다. 이를 바탕으로 표를 정리하면 다음과 같으므로 ⑪(16)는 ⑩(31)보다 작다.

가닥	염기 조성 비율(%)					
	A	C	G	T	U	계
⑦(Ⅱ)	27	26	⑩(16)	?(31)	0	100
⑨(Ⅲ)	?(27)	?(26)	16	?(0)	⑩(31)	100
Ⅰ(⑩)	?(31)	?(16)	26	27	?(0)	100

※ Ⅲ에서 퓨린 계열 염기 조성 비율은 43%이므로 퓨린 계열 염기 수는 피리미딘 계열 염기 수보다 작다.

## 11 번역

리보솜은 mRNA의 5' 말단 방향에서 3' 말단 방향으로 이동하면서 폴리펩타이드를 합성한다. 리보솜이 ⑦을 따라 이동하므로 ⑨은 mRNA이고, ⑨은 폴리펩타이드이다.

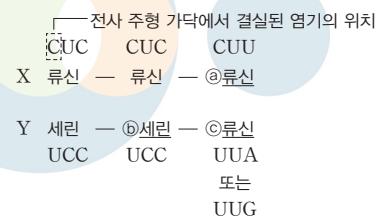
※ 프로모터는 RNA 중합 효소가 결합하는 DNA에 있는 부분으로 mRNA(⑩)에는 없다.

⑪ 리보솜에서는 tRNA가 운반해 온 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 폴리펩타이드(⑨)가 합성된다. 폴리펩타이드(⑨)의 기본 단위는 아미노산이다.

⑫ 합성된 폴리펩타이드의 길이가 긴 리보솜일수록 번역이 먼저 시작된 것이므로 리보솜은 (가)에서 (나) 방향으로 이동한다.

## 12 번역

류신을 지정하는 코돈의 2번째 염기는 유라실(U)이고, 세린을 지정하는 코돈은 2번째 염기가 사이토신(C)과 구아닌(G) 중 하나이므로 X와 Y의 2~4번째 아미노산을 지정하는 염기 서열은 다음과 같다.



※ X의 전사 주형 가닥에서 결실된 염기 ⑩은 사이토신(C)과 상보적인 구아닌(G)이다.

⑬ ⑩를 지정하는 코돈은 UCC이므로 ⑪를 운반하는 tRNA의 안티코돈은 5'-GGA-3'이다.

※ ①를 지정하는 코돈은 CUU이고, ②를 지정하는 코돈은 UUA 또는 UUG이므로 서로 다르다.

13 폴리펩타이드의 합성

전사 주형 가닥의 3' 말단으로부터 5' 말단 방향으로 전사가 진행되어 mRNA가 합성되고, mRNA의 5' 말단으로부터 3' 말단 방향으로 리보솜이 이동하며 폴리펩타이드가 합성된다.

⑦ 개시 코돈 AUG와 상보적인 전사 주형 가닥의 3염기 조합은 3'-TAC-5'이다. ⑧가 3' 말단이라면 개시 코돈에 상보적인 염기 서열이 전사 주형 가닥에 없으므로 번역이 시작될 수 없다. 따라서 ⑨는 5' 말단이다.

※ 제시된 전사 주형 가닥으로부터 전사된 mRNA의 염기 서열은 다음과 같다.

따라서 X의 합성에 이용된 종결 코돈은 UGA이다.

⑤ 폴리펩타이드의 합성 과정에서 리보솜은 1개의 코돈만큼씩 이동하며, 종결 코돈은 지정하는 아미노산이 없으므로 X는 7개의 아미노산으로 구성된다.

14 번역

번역은 개시 코돈 AUG에서 시작하여 종결 코돈(UAA, UAG, UGA)에서 끝난다. 염기 서열이 제시된 부분을 (가)라고 할 때  $x$ 의 염기 서열이 (가)-①-⑦ 순이라면 종결 코돈이 없으므로  $x$ 의 염기 서열은 (가)-⑦-① 순이고, I은 ⑦, II는 ①이다. 완성된 mRNA  $x$ 의 서열은 다음과 같다.

※ ⑦은 I이다.

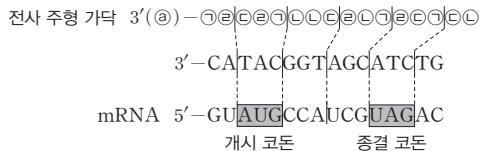
☒. 개시 코돈부터 종결 코돈 이전까지 5개의 코돈이 있으므로 X는 5개의 아미노산으로 구성된다.

④ X의 합성 과정에 사용된 종결 코돈은 UAG이다.

15 번역

개시 코돈 AUG와 상보적인 전사 주형 가닥의 3염기 조합은 3'-TAC-5'이다.

X. ⑧가 5' 말단이라면 제시된 가닥에서 연속된 3개의 염기가 서로 다른 모든 경우에서 종결 코돈과 상보적인 전사 주형 가닥의 3염기 조합이 나타나지 않는다. ⑧가 3' 말단이라면 제시된 가닥에서 연속된 3개의 염기가 서로 다른 경우 중 종결 코돈과 상보적인 전사 주형 가닥의 3염기 조합이 나타나는 경우와 전사 주형 가닥으로부터 전사된 mRNA의 염기 서열은 그림과 같다.



※ ⑦은 사이토신(C)이다.

㉡ 종결 코돈은 아미노산을 지정하지 않으므로 X는 3개의 아미노산으로 구성된다.

16 전사와 번역

유전자  $x$ 의 전사 주형 가닥으로부터 합성된 mRNA  $y$ 의 염기 서열에서 종결 코돈의 첫 번째 염기가 유라실(U)이므로  $y$ 에서 제거된 연속된 4개의 염기 위치는 그림과 같다.

☒ ⑦의 염기 서열은 5'-UACC-3'이므로 퓨린 계열 염기의 개수는 1개이다.

㉡  $y'$ 으로부터 Y의 합성에 이용된 코돈의 개수는 종결 코돈을 포함하여 5개이므로 Y는 4개의 아미노산으로 구성된다

④  $y$ 로부터  $y'$ 이 되는 RNA 가공 과정은 핵에서 일어난다

## 수능 3점 테스트

## 01 붉은빨곰팡이의 1유전자 1효소설

걔는 오르니티 나이는 시트룰리 나이는 아르지님이다

⑦ 최소 배지에 오르니틴이 첨가된 배지에서 I 과 III은 모두 생장하지 못하므로 ⑦는 오르니틴이다. I ~ III 중 최소 배지에 시트룰린이 첨가된 배지에서 I 과 II 만 생장하므로 시트룰린은 ④이고, 나머지 ⑧는 아르지닌이다.

㉡ Ⅱ는 오르니틴(⑦)을 합성하지 못하므로 효소 A를 암호화하는 유전자  $a$ 에 돌연변이가 일어난 것이며, Ⅱ는 아르지닌(⑨)이 첨가된 배지에서 오르니틴(⑦), 시트룰린(⑪)의 합성이 일어나지 않지만 생장한다.

㉡ Ⅲ은 최소 배지에 시트룰린(④)이 첨가된 배지에서 생장하지 못하므로 효소 C를 암호화하는 유전자  $c$ 에 돌연변이가 일어났으며, 유전자  $b$ 는 정상적으로 발현된다. 따라서 효소 B는 정상적으로 합성된다.

## 02 번역

mRNA  $y$ 로부터 합성된 폴리펩타이드  $Y$ 를 구성하는 아미노산의 개수가  $\frac{3}{2} \times ③$ 이므로 ③은 2의 배수이다. C과 U로 구성된 ④과, A과 U로 구성된 ⑤에는 개시 코돈이 위치할 수 없으므로, ⑦의 5' 말단 첫 번째 뉴클레오타이드의 염기는 G이다. 폴리펩타이드 합성에 이용되는 염기의 개수는 종결 코돈을 포함하여 (아미노산 개수+1)  $\times 3$ 이므로  $Y$ 의 합성에 이용된 염기의 총개수는  $\left(\frac{9}{2} \times ③ + 3\right)$ 개이다. 제시된 가닥으로부터 합성 가능한  $Y$  중 최소 길이를 갖는 것은 ⑦의 3' 말단에 위치한 뉴클레오타이드가 U인 경우(①)이고, 최대 길이를 갖는 것은 ⑤의 3' 말단의 연속된 2 염기가 5'-UA-3'인 경우(②)이다. ①의 경우  $Y$ 의 합성에 이용되는 염기의 총개수는 종결 코돈을 포함하여  $2 + ③ + 1 + ③ + 2 = 2③ + 5$ 이고, ②의 경우  $Y$ 의 합성에 이용되는 염기의 총개수는 종결 코돈을 포함하여  $2 + ③ + 1 + ③ + 2 + ③ + 1 = 3③ + 6$ 이다. 따라서  $2③ + 5 \leq \frac{9}{2} \times ③ + 3 \leq 3③ + 6$ 이며, 이를 정리하면  $\frac{4}{5} \leq ③ \leq 2③$ 이므로 ③은 2이다. 이를 바탕으로 mRNA의 염기 서열을 정리하면 다음과 같다.



- ☒ ①가 2이므로  $Y$ 는 3개의 아미노산으로 구성된다. 따라서  $Y$ 에 있는 펩타이드 결합의 수는 2이다.
- Ⓒ  $Y$ 의 합성에 이용된 종결 코돈은 UAG이다.
- ☒  $y$ 의 3' 말단으로부터 4번째에 위치한 뉴클레오타이드의 염기는 유라실(U)이므로 피리미딘 계열 염기에 속한다.

## 03 번역

아미노산과 결합한 tRNA는 리보솜의 A 자리로 들어온 후 P 자리로 이동하며, 아미노산과 분리된 tRNA는 E 자리를 통해 리보솜에서 빠져나간다.

- ☒ 리보솜은 mRNA의 5' 말단으로부터 3' 말단 방향으로 1개의 코돈만큼씩 이동하므로 ③은 5' 말단이다.
- Ⓒ 코돈 UUA와 결합한 tRNA는 ⑦을 운반하며, 코돈 CUC와 결합한 tRNA도 ⑦을 운반한다. 코돈 CUC가 암호화하는 아미노산이 류신이므로 ③은 류신이고, 코돈 UUA도 류신(⑦)을 암호화한다.
- ☒ ③을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 5'-UGU-3'이므로 5' 말단으로부터 두 번째에 위치한 뉴클레오타이드의 염기는 구아닌(G)이다.

## 04 유전자의 기능 연구

- (가)는 1유전자 1효소설, (나)는 1유전자 1폴리펩타이드설이다.
- ㉠. 비둘과 테이텀이 붉은뺨곰팡이를 이용한 실험을 통해 1개의 유전자가 1개의 효소 합성에 관한 정보를 갖는다는 1유전자 1효소설을 주장하였고, 이후 1유전자 1단백질설을 거쳐 1유전자 1폴리펩타이드설로 발전하였다. 따라서 (가)는 (나)보다 먼저 이론 성과이다.
- ㉡. 혜모글로빈은  $\alpha$ 사슬 유전자와  $\beta$ 사슬 유전자 각각 발현된 2종류의 폴리펩타이드로 구성되므로 ③에 해당한다.
- ㉢.  $\alpha$ 사슬 유전자로부터 mRNA가 합성되는 과정에서 RNA 종합 효소는  $\alpha$ 사슬 유전자의 프로모터에 결합하여 전사를 시작한다.

## 05 유전부호

- ㉠은 유라실(U), ㉡은 사이토신(C)이다.
- ☒. 시험관 I에서 ㉠과 ㉡의 구성비가 1:2이므로 I에서 RNA가 합성되는 과정에서 ㉠이 결합할 확률은  $\frac{1}{3}$ 이고, ㉡이 결합할 확률은  $\frac{2}{3}$ 이다. I에서 생성된 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산 수의 상대적인 비가 류신이 2, 페닐알라닌이 1이므로 류신을 지정하는 코돈의 수가 페닐알라닌을 지정하는 코돈의 수보다 많다는 것을 알 수 있다. 따라서 ㉠은 유라실(U)이고, ㉡은 사이토신(C)이다.
- ☒. 유라실(U, ㉠)과 사이토신(C, ㉡)의 구성비로부터 각 시험관에서 생성되는 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산이 형성될 확률은 표와 같다.

아미노산	페닐알라닌	세린	류신	프롤린
아미노산이 형성될 확률	I	$\frac{3}{27}$	$\frac{6}{27}$	$\frac{6}{27}$
	II	$\frac{36}{64}$	$\frac{12}{64}$	$\frac{12}{64}$

따라서 ③은 4, ④는 3이므로 서로 다르다.

- ㉢. (나)의 II에서 세린을 암호화하는 코돈이 형성될 확률과 류신을 암호화하는 코돈이 형성될 확률은 서로 같으므로 생성된 폴리펩타이드의 아미노산 구성비는 류신과 세린이 1:1이다.

## 06 원핵세포의 유전자 발현

DNA로부터 전사 중인 mRNA에 리보솜이 불어 폴리펩타이드의 합성이 일어나고 있으므로 X는 전사와 번역이 동시에 일어나는 원핵세포이다.

- Ⓐ. X는 원핵세포로 구성된 대장균이다.
- Ⓑ. ③에 연결된 폴리펩타이드의 길이가 ④에 연결된 폴리펩타이드의 길이보다 길므로 mRNA에 ③과 ④보다 먼저 결합하였다.
- ☒. 대장균과 같은 진정세균의 유전체에는 인트론이 없다.

07 전사

㉠은 아데닌(A), ㉡은 사이토신(C), ㉢은 구아닌(G), ㉣은 타이민(T)이다.

- X. 제시된 가닥 I에서 ㉠은 7개, ㉡은 5개, ㉢은 3개, ㉣은 5개이다. X가 4개의 아미노산으로 구성되므로 변역에 이용된 코돈의 수는 5(염기 15개)이며, 개시 코돈의 위치는 가닥의 말단으로부터 최대 8개 염기 서열 내에 위치해야 한다. 가닥 I이 전사 주형 가닥이 아니라면 Ⅲ의 염기 서열은 I과 타이민(T) 염기를 제외하고 같은데 Ⅲ에서 사이토신(C)이 3개이므로 ㉡과 ㉢ 중 하나는 아데닌(A)이고, ㉡은 사이토신(C)이다. 이 경우 5' 말단으로부터 4번째 염기~6번째 염기인 ㉡ ㉢ ㉠이 개시 코돈이 될 수 있지만 종결 코돈이 없어 모순이다. 따라서 Ⅲ의 합성에 이용된 전사 주형 가닥은 I이고, ㉡은 구아닌(G)이며, ㉢과 ㉣ 중 하나는 타이민(T)이다.

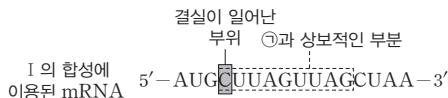
※ I에서 개시 코돈 및 종결 코돈과 상보적인 연속된 3개 염기의 위치는 그림과 같다

따라서 ④은 아데닌(A)과 상보적인 타이민(T), ⑦은 유라실(U)과 상보적인 아데닌(A), ⑤은 구아닌(G)과 상보적인 사이토신(C)이다.

㉡ I에서 종결 코돈으로 전사된 부분의 염기 서열은 5'-CTA(㉡㉡㉠)-3'이므로 X의 합성에 이용된 종결 코돈은 UAG이다.

08 푸르

류신을 지정하는 코돈의 2번째 염기가 유라실(U)이고, 발린을 지정하는 코돈의 1번째 염기와 2번째 염기가 각각 구아닌(G)과 유라실(U)이다. I 의 3번째 아미노산이 세린이고, II 에서는 발린이므로 I 의 3번째 아미노산인 세린을 지정하는 코돈은 AGU이다. ⑦에서 구아닌(G) 1개가 결실된 DNA의 전사 주형 가닥으로부터 II 가 합성되었으므로 I 의 류신을 지정하는 코돈에는 사이토신(C)이 있다. ⑦에서 구아닌(G)이 결실되었을 때 I 의 세린을 지정하는 코돈의 1번째 염기가 II 의 류신을 지정하는 3번째 염기가 되므로 류신(@)을 지정하는 코돈은 CUU이다. 또, II 에서는 I 의 합성에 이용된 mRNA에서 종결 코돈에 해당하는 위치로부터 세린이 합성되었으므로 II 의 세린(⑥)을 지정하는 코돈의 1번째와 2번째 염기는 I 의 합성에 이용된 종결 코돈의 2번째와 3번째 염기이므로 AGC이다. 이를 바탕으로 I 과 II 의 합성에 이용된 mRNA의 염기 서열은 다음과 같다.



Ⅱ의 합성에  
이용된 mRNA 5'-AUGUUAGUUAGCUAA-3'

- ☒. I 의 류신(⑧)을 지정하는 코돈은 CUU이므로 이를 운반한 tRNA의 암티코돈은 5'-AAG-3'이다.
  - ☒. II 의 세린(⑯)을 지정하는 코돈은 AGC이다.
  - ☑. ⑦에서 퓨린 계열 염기의 개수는 5개이고, 피리미딘 계열 염기의 개수는 4개이다.

09 유전자 발현

I ~ III은 각각 5개의 뉴클레오타이드로 구성되므로  $w$ 의 전사 주형 가닥에는 25개의 뉴클레오타이드가 있다. W는 7개의 아미노산으로 구성되므로 W의 합성에 이용된 코돈의 개수는 8개이며, 제시된  $w$ 의 전사 주형 가닥으로부터 전사된 mRNA에서 1개의 뉴클레오타이드를 제외한 나머지 부분이 모두 번역 과정에 이용되었다. X의 아미노산의 수가 4이고, 류신을 지정하는 코돈의 2번째 염기는 U이며, W의 아미노산 서열을 통해 알 수 있는  $w$ 의 전사 주형 가닥으로부터 전사된 mRNA의 염기 서열은 다음과 같다.

5'-AU/G○○○○/○○○U○/CCUAG/UUCAUGAU-3'(①)

I에서 퓨린 계열 염기의 개수와 피리미딘 계열 염기의 개수의 비가 4 : 1이므로 ①에서 구간 I에 대응하는 나머지 부분의 염기는 C과 U이다. W의 2번째와 3번째 아미노산을 지정하는 코돈에서 1번째 염기는 U, 2번째 염기는 C이다

5'-AU/GUCOU/C<sub>2</sub>O/U<sub>2</sub>O/CCUAG/UUCAU<sub>2</sub>GAU-3' (2)

Ⅱ에서 A과 G의 수가 각각 2이므로 ②에서 Ⅱ에 대응되는 부분에서 U과 C의 수는 각각 2이다. 만일 ②의 5' 말단으로부터 9번째 위치한 뉴클레오타이드의 염기가 U이라면 W에서 류신을 지정하는 코돈은 CUA와 CUG 중 하나이다. 이 경우 Ⅱ에 대응되는 부분에서 동일한 염기를 가진 연속된 2개의 뉴클레오타이드가 없으므로 모순이다. ②의 5' 말단으로부터 9번째 위치한 뉴클레오타이드의 염기가 C이라면 W에서 류신을 지정하는 코돈은 UUA와 UUG 중 하나이다. 이 경우 Y에 프롤린이 있을 수 없으므로 모순이다. X에 류신과 트레오닌이 각각 1개 있으려면 ②의 5' 말단으로부터 9번째 위치한 뉴클레오타이드의 염기가 A이고, W의 류신을 지정하는 코돈은 CUU이다.

5'-AU/GUCCU/CACUU/CCUAG/UUCAUGAU-3'(③)

- ※ ①는 아데닌(A)이다.  
 ※ 류신(?)을 지정하는 코돈은 CUU이다



## 08 유전자 발현의 조절

### 수능 2점 테스트

본문 123~126쪽

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

### 01 원핵생물의 유전자 발현 조절

원핵생물은 유전자마다 프로모터가 있거나 오페론처럼 여러 유전자가 하나의 프로모터에 연결된다.

- Ⓐ. 사람은 많은 종류의 조절 단백질(전사 인자)이 전사에 관여하는 반면, 대장균(원핵생물)은 조절 단백질(젖당 오페론의 경우 억제 단백질)의 수가 적다.  
Ⓑ. 대장균에서 번역은 세포질에서 일어난다.  
Ⓒ. 젖당 오페론은 하나의 프로모터에 젖당 이용에 관련된 세 효소의 암호화 부위가 연결되어 조절된다.

### 02 원핵생물의 유전자 발현 조절

돌연변이 대장균 Ⅲ은 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합하지 못하므로 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이이다.

- Ⓐ. 돌연변이 대장균 Ⅰ에서는 젖당 분해 효소가 생성되므로 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이이고, 돌연변이 대장균 Ⅱ는 젖당 오페론의 구조 유전자가 결실된 돌연변이이다. 따라서 ④는 ‘생성 안 됨’이다.  
Ⓑ. Ⅰ은 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이이다.  
Ⓒ. Ⅱ에서 생성된 억제 단백질은 젖당 유도체와 결합하여 구조가 변형되므로 작동 부위에 결합하지 못한다.

### 03 원핵생물의 유전자 발현 조절

①은 젖당 오페론의 프로모터, ②는 젖당 오페론의 작동 부위, ③은 젖당 오페론의 구조 유전자이다.

- Ⓐ. 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 억제 단백질은 젖당 유도체와 결합하여 구조가 변형되므로 젖당 오페론의 작동 부위에 결합하지 못한다. RNA 중합 효소가 젖당 오페론의 프로모터에 결합한다.  
Ⓑ. ③은 젖당 오페론의 작동 부위이다.  
Ⓒ. 젖당 오페론의 구조 유전자(③)에는 젖당 분해 효소를 포함하여 젖당 이용에 관련된 세 가지 효소가 암호화되어 있다.

### 04 세포의 분화 과정

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

- Ⓐ. 간세포는 수정란의 분열 결과 형성된 세포이고, 하나의 수정란에서 분화된 간세포, 이자 세포, 근육 세포의 유전체는 같다. 따라서 간세포에는 액틴 유전자가 있다.  
Ⓑ. 일부민과 인슐린은 단백질의 아미노산 배열 순서가 다르므로 단백질의 아미노산 배열 순서를 결정하는 DNA의 염기 서열도 다르다.  
Ⓒ. 액틴 유전자가 전사되는 과정에서 RNA 중합 효소와 여러 전사 인자들은 프로모터에 함께 결합하여 전사 개시 복합체를 형성 한다.

### 05 원핵생물의 유전자 발현 조절

대장균은 포도당과 젖당이 모두 있는 배지에서 포도당을 먼저 에너지원으로 이용하고, 포도당이 고갈되면 젖당을 에너지원으로 이용한다.

- Ⓐ. ⑦은 포도당이다.  
Ⓑ. 배지에 포도당이 고갈된 이후 대장균은 젖당을 이용하여 증식 한다. 대장균의 수는 구간 Ⅱ에서보다 구간 Ⅲ에서 많으므로 배지의 젖당 농도는 구간 Ⅱ에서 구간 Ⅲ에서보다 높다.  
Ⓒ. 구간 Ⅰ에서는 포도당을 에너지원으로 이용하고, 구간 Ⅲ에서는 젖당을 에너지원으로 이용하므로 단위 시간당 젖당 분해 효소의 생성량은 구간 Ⅰ에서 구간 Ⅲ에서보다 적다.

### 06 진핵생물에서의 전사 조절

①은 전사 인자, ②는 RNA 중합 효소이다. 사람의 간세포에서는 RNA 중합 효소 단독으로 전사를 시작할 수 없으며, 전사 개시 복합체를 형성하여야 전사가 시작된다.

- Ⓐ. ⑦(전사 인자) 결합 부위는 ⑧(전사 인자)이 결합하는 DNA 염기 서열이다. ⑦(전사 인자) 결합 부위가 발현되어 ⑨(전사 인자)이 생성되는 것이 아니다.  
Ⓑ. 사람의 간세포에서는 오페론을 구성하지 않으므로 ⑩(전사 인자) 결합 부위와 프로모터는 오페론을 구성하지 않는다.  
Ⓒ. ⑪은 RNA 중합 효소이다.

### 07 원핵생물의 유전자 발현 조절

포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 야생형 대장균의 수는 증가 하지만, 돌연변이 대장균 X의 수는 변하지 않으므로 X는 젖당 오페론의 구조 유전자가 결실된 돌연변이이다.

- Ⓐ. X의 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자는 정상적으로 발현되므로 X는 구간 Ⅰ에서 억제 단백질을 생성한다.

☒. 야생형 대장균은 젖당을 이용하여 증식하고, X는 젖당을 이용하지 못하므로  $t_1$ 일 때 젖당의 농도는 야생형 대장균이 있는 배지에서가 X가 있는 배지에서보다 낮다.

☒. 야생형 대장균에서는 젖당이 없을 때보다 젖당이 있을 때 젖당 오페론의 구조 유전자의 전사가 활발하게 일어난다. 젖당이 고갈된 후인 구간 II에서는 젖당이 고갈되기 전인 구간 I에서보다 젖당 오페론의 구조 유전자로부터 단위 시간당 전사되는 mRNA의 양이 적다.

## 08 진핵생물의 유전자 발현 조절

진핵생물의 유전자 발현 조절 단계 중 과정 I은 전사 전 조절을, 과정 II는 전사 조절, 과정 III은 번역 조절을 나타낸 것이다.

Ⓐ. 전사 후 조절에서 처음 만들어진 RNA로부터 남아 있는 부위는 엑손이고, 잘려나가는 부위는 인트론이다. ⓒ는 처음 만들어진 RNA로부터 잘려나가는 부위이므로 인트론이다.

☒. 염색질이 많이 응축되어 있을수록 RNA 중합 효소와 전사 인자가 DNA에 접근하기 어려워진다. 따라서 과정 I 이 일어나면 인슐린 유전자의 전사가 억제된다.

☒. 과정 II는 전사 조절로 핵에서 일어나지만, 과정 III은 번역 조절로 세포질에서 일어난다.

## 09 진핵생물의 유전자 발현 조절

w, x, y의 전사는 전사 인자가 전사 인자 결합 부위에 모두 결합해야 촉진된다.

Ⓐ. III에는 전사 인자 ⓒ, ⓓ, ⓔ이 있고 y가 전사되므로 ⓒ, ⓓ, ⓔ 중 하나는 B에 결합하는데, III에서는 w가 전사되지 않는다. ⓒ, ⓓ, ⓔ 중 어느 하나도 A에 결합하지 않으므로 Ⓛ은 A에 결합한다. IV에서는 전사 인자 Ⓛ, ⓒ, ⓔ이 있고 w가 전사되지 않는다. Ⓛ, ⓒ, ⓔ 중 어느 하나도 B에 결합하지 않으므로 Ⓛ은 B에 결합한다. II에는 전사 인자 ⓒ, Ⓛ, ⓔ이 있고, x가 전사되므로 Ⓛ은 C에 결합한다. 따라서 Ⓛ은 D에 결합한다.

☒. I에는 ⓒ, Ⓛ, ⓔ이 있어 w, y, z만 전사된다. I에서 x는 전사되지 않는다.

Ⓐ. I ~ IV는 모두 동일한 유전체를 가지고 있으므로 I ~ IV에는 모두 Ⓛ을 암호화하는 유전자가 있다.

## 10 근육 세포의 분화 과정

근육 세포의 분화 과정에서 유전자 x의 발현 조절이 이루어진다.

Ⓐ. 마이오디 단백질(MyoD)은 유전자 x의 발현을 촉진하는 전사 인자로 작용하였다.

Ⓐ. 마이오디 유전자(*MyoD*)는 근육 세포의 분화에 관련된 다른 유전자의 발현을 조절하는 가장 상위의 조절 유전자는 핵심 조절 유전자이므로 마이오디 유전자(*MyoD*)가 발현되어 근육 세포로의 분화가 일어난다.

☒. 마이오신 유전자와 액틴 유전자는 모두 근육에서 특이적으로 발현되는 유전자로 핵심 조절 유전자가 아니다.

## 11 원핵생물의 유전자 발현 조절

야생형 대장균은 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 젖당을 에너지원으로 이용한다.

Ⓐ. 야생형 대장균에서 젖당 분해 효소는 A에서 생성되지 않고, B에서 생성되므로 A는 젖당이 없을 때이다.

☒. 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이는 젖당 유무와 관련없이 젖당 분해 효소를 생성한다. 젖당이 없을 때 (A) II는 젖당 분해 효소를 생성하지 않으므로 II는 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이이다. 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이는 젖당이 있을 때(B) 구조 유전자가 발현되지 않는다.

Ⓐ. I은 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이로 젖당이 있을 때(B) 젖당 분해 효소를 생성한다. 따라서 Ⓛ은 'O'이다.

## 12 진핵생물의 유전자 발현 조절

조절 유전자는 다른 유전자의 발현을 조절하는 단백질을 암호화 한다.

Ⓐ. (가)~(라)는 유전자 구성이 동일하므로, 야생형 식물체의 (가)에는 a~c가 모두 있지만 a는 발현되고, b와 c는 발현되지 않는 것이다.

☒. I은 a~c 중 1개만 결실된 돌연변이 식물체인데 꽃잎이 형성되므로 c가 결실되었다. 수술과 암술의 형성에는 c의 발현이 필요하므로 I에서는 수술과 암술이 모두 형성되지 않는다.

Ⓐ. II는 a~c 중 2개만 결실된 돌연변이 식물체인데 암술이 형성되므로 a와 b가 모두 결실되었다.

## 13 초파리의 흑스 유전자

흑스 유전자는 몸의 각 체절에 만들어질 기관을 결정하는 핵심 조절 유전자이다.

☒. 한 개체의 모든 체세포는 유전자 구성이 동일하므로, 머리 체절 부위의 세포에는 *Antp* 유전자가 있다.

Ⓐ. *Ubx*는 흑스 유전자이므로 유전자 산물은 전사 인자이다.

Ⓐ. *Ubx*가 발현되지 않는 T<sub>2</sub>에서는 1쌍의 날개가 형성되고, *Ubx*가 발현되는 T<sub>3</sub>에서는 1쌍의 평균근이 형성되므로 *Ubx*는 T<sub>3</sub>에서 평균근 형성에 관여한다.

## 14 세포의 분화 과정

배아 세포는 세포마다 생성되는 특이적인 전사 인자의 작용에 의해 특정 유전자가 발현되어 세포 분화가 일어난다.

- Ⓐ 전사 인자는 유전자의 발현 결과 생성되는 단백질에 해당한다.
- ⓪ 배아 세포 I과 II는 동일한 유전체를 가진다. 따라서 I의 DNA에도 Ⓡ이 결합하는 부위가 있다.
- Ⓒ 진핵생물에서 전사는 핵에서 일어나므로 전사 인자 Ⓡ에 의한 전사 조절은 핵에서 일어난다.

## 15 원핵생물의 유전자 발현 조절

- Ⓐ 야생형 대장균은 배지 A에서 구조 유전자를 발현하지 않으므로 A는 포도당과 젖당이 없는 배지이고, B는 포도당은 없고 젖당이 있는 배지이다.
- Ⓑ 돌연변이 대장균 II는 포도당과 젖당이 없는 배지(A)에서 구조 유전자를 발현하므로 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이이다. 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이는 포도당은 없고 젖당이 있는 배지(B)에서도 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합한다.
- ⓪ 야생형 대장균은 젖당 유무와 관련없이 억제 단백질을 생성하지만, 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이 (II)는 젖당 유무와 관련없이 억제 단백질을 생성하지 못한다. Ⓛ는 '○'이고, Ⓜ는 '✗'이다.

## 16 세포의 분화 과정

- ⓪ 진핵세포인 사람의 세포는 오페론의 작동 부위가 없다.
- Ⓐ Ⓡ의 형성 과정에서 b는 발현되지 않으므로 b가 결실된 개체에서도 Ⓡ은 형성된다.
- ⓪ 이 개체의 미분화 세포는 a와 b를 갖지만 모든 세포가 Ⓡ으로 분화되는 것은 아니다.

### 수능 3점 테스트

본문 127~133쪽

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

## 01 원핵생물의 유전자 발현 조절

- ㉠에서 Ⅲ은 젖당 오페론의 작동 부위에 억제 단백질 결합하므로 Ⓡ은 포도당과 젖당이 없는 배지이고, Ⓢ은 포도당은 없고 젖당이 있는 배지이다. 포도당은 없고 젖당이 있는 배지(⑨)에서 Ⅱ는 젖당 오페론의 구조 유전자를 발현하지 않으므로 Ⅱ는 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이 대장균이다. 포도당과 젖당이 없는 배지(⑩)에서 I은 젖당 오페론의 구조 유전자를 발현하므로 I은 젖당 오페론의 작동 부위가 결실된 돌연변이 대장균이고, Ⅲ은 야생형 대장균이다.

- Ⓐ Ⓡ은 포도당과 젖당이 없는 배지이다.
- ⓪ I(젖당 오페론의 작동 부위가 결실된 돌연변이 대장균)은 작동 부위가 결실되어 없으므로 젖당 유무와 관련없이 작동 부위에 억제 단백질이 결합하지 않는다.
- Ⓒ Ⓣ(포도당은 없고 젖당이 있는 배지)에서 Ⅲ(야생형 대장균)은 억제 단백질이 젖당 유도체와 결합하여 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소가 결합한다.

## 02 원핵생물의 유전자 발현 조절

젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이는 젖당 유무와 관계없이 RNA 중합 효소가 프로모터와 결합함으로써 항상 젖당 분해 효소가 생성되므로 배지의 젖당을 바로 이용하여 대장균의 수가 증가한다. 그러므로 대장균의 수가 가장 먼저 증가하는 I은 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이 대장균이다. 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이 대장균은 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 RNA 중합 효소가 결합할 프로모터가 없으므로 구조 유전자의 전사가 일어나지 못해 젖당 분해 효소가 생성되지 않는다. 그러므로 배지의 젖당을 이용하지 못해 대장균의 수가 증가하지 못하는 Ⅲ은 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이 대장균이고, Ⅱ는 야생형 대장균이다.

⓪ I과 Ⅱ에서 억제 단백질과 작동 부위의 결합, 억제 단백질과 젖당 유도체의 결합, 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합을 표로 나타내면 아래와 같다.

구분	억제 단백질과 작동 부위의 결합	억제 단백질과 젖당 유도체의 결합	젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합
I	✗	✗	○
Ⅱ	✗	○	○

(○: 일어났음, ✗: 일어나지 않았음)

만약 Ⓛ가 '○'이면 A와 B 모두에서 억제 단백질과 작동 부위의 결합, 억제 단백질과 젖당 유도체의 결합, 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합 중 두 가지 결합이 일어나므로 모순이다. Ⓜ는 '✗'이고, Ⓝ는 '○'이다.

⓪ Ⓛ는 '✗'이고, Ⓝ는 '○'이므로 A는 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이(I)이고, B는 야생형 대장균(Ⅱ)이다. 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이(A, I)와 야생형 대장균(B, Ⅱ)에서 모두 '✗'인 Ⓡ은 '억제 단백질과 작동 부위의 결합', 모두 '○'인 Ⓣ은 '젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합'이고, Ⓢ은 '억제 단백질과 젖당 유도체의 결합'이다.

⓪ 구간 X에서 대장균의 수는 A(I)에서가 B(Ⅱ)에서보다 많으므로 세포당 젖당 분해 효소의 합성량도 A(I)에서가 B(Ⅱ)에서 보다 많다.

### 03 진핵생물의 유전자 발현 조절

- Q에 ㉠과 ㉡을 넣어주면 Ⅲ으로 분화하므로 (가)~(다)의 전사가 모두 촉진되었다. A~C 중 B와 C에 결합하는 전사 인자가 발현되었을 때 (가)~(다)의 전사가 모두 촉진되므로 ㉠과 ㉡은 각각 B와 C 중 서로 다른 하나에만 결합하고, ㉢은 A에 결합한다.
- ㉡. Q에 ㉠과 ㉡을 넣어주면 Ⅱ로 분화하므로 (가)~(다) 중 둘의 전사가 촉진되었다. 따라서 ㉠은 B에 결합하고, ㉡은 C에 결합한다.
- ㉢. Q에 ㉠과 ㉢을 넣어주면 (가)~(다) 중 (나)만 전사가 촉진되므로 Q는 I로 분화한다. 따라서 ④는 I이다.
- ㉣. Q에 ㉠만 넣어주면 (가)~(다) 중 (가)만 전사가 촉진된다.

### 04 진핵생물의 유전자 발현 조절

- 야생형 얘기장대에서 미분화 조직 (가)는 꽃받침, (나)는 꽃잎, (다)는 수술, (라)는 암술로 분화하므로 a~c 중 (가)에서는 a만, (나)에서는 a와 b만, (다)에서는 b와 c만, (라)에서는 c만 발현되었다.
- ☒. 야생형 얘기장대의 (가)는 꽃받침으로 분화되었는데, 돌연변이 얘기장대 Ⅱ의 (가)는 암술로 분화되었으므로 Ⅱ는 꽃받침 분화에 영향을 주는 a가 결실되었다.
- ㉡. 야생형 얘기장대의 (라)는 암술로 분화되었는데, 돌연변이 얘기장대 I의 (라)는 꽃받침으로 분화되었으므로 I은 암술 분화에 영향을 주는 c가 결실되었고, Ⅲ은 b가 결실되었다. Ⅲ의 (가)와 (나)에서는 a~c 중 a만 발현되고, Ⅲ의 (다)와 (라)에서는 a~c 중 c만 발현된다. 따라서 Ⅲ의 (나)에서는 꽃받침이 형성된다.
- ☒. a가 결실된 Ⅱ의 (가)는 암술로, (나)는 수술로 분화되었으므로 a가 결실된 돌연변이 개체는 a가 발현되어야 할 미분화 조직에서 c(㉠)가 발현된다.

### 05 원핵생물의 유전자 발현 조절

배지 A에서 젖당 분해 효소가 생성되지 않고, 배지 B에서 젖당 분해 효소가 생성되므로 A는 포도당과 젖당이 없는 배지, B는 포도당은 없고 젖당이 있는 배지이다.

- ☒. ④는 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자, ⑤는 젖당 오페론의 프로모터, ⑥는 젖당 오페론의 작동 부위이다. 오페론은 하나의 프로모터와 여러 개의 유전자를 포함하는 유전자 발현의 조절 단위로 젖당 오페론은 프로모터, 작동 부위, 구조 유전자로 구성되며, 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자(④)는 젖당 오페론의 구성 요소가 아니다.
- ㉡. 단백질 ㉠은 조절 유전자의 발현으로 생성된 억제 단백질이다. 억제 단백질은 젖당 유무와 관계없이 항상 발현된다.
- ☒. B에서 젖당 분해 효소가 생성되므로 ⑦(억제 단백질)은 ⑧(젖당 오페론의 작동 부위)에 결합하지 않는다.

### 06 진핵생물의 유전자 발현 조절

- ㉠과 ㉡이 결실되었을 때 I에서 x가 발현되므로, A는 ㉢과 ㉣ 중 한 곳에 결합하고, ㉤와 ㉥에서 x가 발현되지 않으므로 B와 C는 각각 ㉠과 ㉡ 중 한 곳에 결합한다.
- ㉠. ㉡과 ㉢이 결실되었을 때 I에서 x가 발현되지 않으므로 A는 ㉣에 결합한다. D는 ㉤에 결합하므로 ㉠과 ㉡이 결실되었을 때 Ⅳ에서는 x가 발현된다. 따라서 ⑧는 'O'이다.
- ㉡. ㉡과 ㉢이 결실되었을 때 Ⅲ에서 x가 발현되므로 C는 ㉠에 결합하고, B는 ㉡에 결합한다.
- ☒. (가)와 (나)가 결실되었을 때 I과 Ⅳ에서만 x가 발현되지 않았으므로 A가 결합하는 ㉣과 D가 결합하는 ㉤이 결실되었다. (가)와 (나)는 각각 ㉢과 ㉣ 중 하나이다.

### 07 초파리의 혹스 유전자

- ㉠. 혹스 유전자는 동물의 발생 초기 단계에서 몸의 각 기관이 정확한 위치에 형성되도록 유전자 발현을 총괄적으로 조절하는 핵심 조절 유전자이다. 혹스 유전자는 *Antp*는 핵심 조절 유전자이다.
- ㉡. *Ubx*는 혹스 유전자이다. 혹스 유전자의 발현 산물은 전사 인자로 작용한다.
- ㉢. 초파리의 혹스 유전자는 모두 하나의 염색체에 있다.

### 08 원핵생물의 유전자 발현 조절

- $t_1$ 은 젖당이 첨가된 시점이고,  $t_2$ 는 젖당이 제거된 시점이다.
- ☒. 젖당 분해 효소는 젖당 오페론의 구조 유전자가 전사된 후 합성된다. 따라서 A는 젖당 오페론의 구조 유전자로부터 전사된 mRNA이고, B는 젖당 분해 효소이다.
- ㉡. Ⅱ에서 억제 단백질과 작동 부위의 결합은 일어나고, 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합은 일어나지 않으므로 ㉠은 억제 단백질과 작동 부위의 결합, ㉡은 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합이다. I에서 억제 단백질과 작동 부위의 결합은 일어나지 않으므로 ④는 'X'이다.
- ㉢. I에서 젖당이 있으므로 억제 단백질과 젖당 유도체가 결합한다.

### 09 초파리의 발생 과정의 유전자 발현 조절

- 초파리의 앞쪽과 뒤틱의 형태 형성은 유전자의 선택적 발현을 통한 단백질의 불균등한 분포에 의해 일어난다.
- ㉠. 초파리 난자에서 b가 전사된 mRNA는 앞쪽과 뒤틱에 고르게 있지만 B의 농도는 뒤틱에서 높고, 앞쪽에서 낮으므로 ㉠은 억제이다.
- ㉡. 진핵생물의 유전자 발현 조절 단계 중 번역 조절(④)은 세포질에서 일어난다.
- ☒. 하나의 수정란에서 분화된 모든 배아 세포의 유전체는 같다. 따라서 초기 배아 뒤틱의 세포에는 a가 있다.

## 10 진핵생물의 유전자 발현 조절

IV에서는  $x \sim z$  중 하나만 전사가 되므로 전사 인자는 C에 결합하였고, (나)는 y이다. (가)가 w인 경우 I에 W, ⑦, ⑨ 중 2가지를 넣었을 때 z가 전사될 수 없으므로 (다)는 w, (가)는 x이다.

☒. V에 W와 ⑦을 넣었을 때와 W와 ⑨을 넣었을 때 z가 전사되지 않고, V에 ⑦과 ⑨을 넣었을 때 z가 전사되므로 ⑨은 C에 결합하고, ⑦은 B에 결합한다.

㉡. IV는 I에 ⑨을 넣어준 세포이다. I에 W를 넣어준 세포는 x(가)와 y(나)의 전사가 일어나고, I에 ⑨을 넣은 세포는 w(다), x(가), y(나)의 전사가 모두 일어나므로 II는 W를 넣어준 세포, III은 ⑨을 넣어준 세포이다.

☒. I에 ⑦과 ⑨을 넣어준 세포에서는 D에 전사 인자가 결합하지 않으므로 z의 전사가 일어나지 않는다.

## 11 진핵생물의 유전자 발현 조절

I에서 (가)~(다)가 모두 전사되므로 A와 B는 각각 ⑦과 ⑨ 중 서로 다른 한 곳에 결합한다. II에서 (가)와 (나)는 전사되고, (다)는 전사되지 않으므로 C는 ⑦에 결합한다.

㉠. III에서 (가)와 (다)는 전사되고, (나)는 전사되지 않으므로 A는 ⑦, B는 ⑨, D는 ⑨에 결합한다.

☒. IV에서는 b와 d가 발현되는데, (가)에는 ⑦과 ⑨이 없으므로 ⑨은 ‘ $\times$ ’이다.

☒. I~V에서는 a~d 중 각각 서로 다른 2개만 발현되므로 b와 c가 발현되거나 c와 d가 발현된다. b와 c가 발현되는 경우 (나)가 발현되고, c와 d가 발현되는 경우 (나)가 발현되지 않으므로 V에는 c와 d가 발현된다.

## 09 생명의 기원

### 수능 2점 테스트

본문 141~143쪽

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

### 01 원시 지구와 원시 생명체의 탄생 가설

☒. 원시 지구 대기는 메테인( $\text{CH}_4$ ), 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 수증기( $\text{H}_2\text{O}$ ), 수소( $\text{H}_2$ ) 등으로 구성되어 있었을 것으로 추정되며, 산소( $\text{O}_2$ )는 없었을 것으로 추정된다.

㉡. 화학적 진화설에 의하면 원시 지구 환경에서 무기물로부터 유기물이 합성되었고, 유기물 복합체가 물질대사와 자기 복제 기능을 갖게 되면서 최초의 생명체가 출현하였다고 설명한다.

☒. 심해 열수구설에서는 화산 활동에 의한 에너지 공급이 풍부하여 유기물이 합성될 수 있는 조건을 갖춘 심해 열수구를 최초의 생명체 탄생 장소로 설명한다.

### 02 원시 생명체의 탄생 가설

(가)는 화학적 진화설, (나)는 심해 열수구설이다.

㉡. 유기물 합성 장소가 대기인 (가)는 화학적 진화설이고, 나머지 (나)는 심해 열수구설이다.

㉢. (가)(화학적 진화설)에서 에너지원으로는 자외선, 번개, 화산 활동에 의한 열에너지가 있으므로 번개는 ⑦에 해당한다.

㉣. (나)(심해 열수구설)에서는 해저의 심해 열수구에서 최초의 생명체가 탄생하였다고 설명한다.

### 03 DNA, 단백질, 리보자임

A는 리보자임, B는 DNA, C는 단백질이고, ⑦은 ‘있음’, ⑨은 ‘없음’이다.

㉠. 리보자임은 유전 정보 저장 기능과 촉매 기능을 모두 가지므로 A는 리보자임이고, ⑦은 ‘있음’이다. 나머지 ⑨은 ‘없음’이다.

☒. B는 유전 정보 저장 기능을 갖지만, 촉매 기능은 갖지 않으므로 DNA이고, 나머지 C는 단백질이다. B(DNA)는 뉴클레오타이드로 구성되어 있고, C(단백질)가 아미노산으로 구성된다.

☒. C는 단백질이다.

### 04 폭스의 실험

A는 마이크로스피어이다.

☒. 폭스는 아미노산 용액에 열을 가한 후 물에 넣어 식혀 유기물 복합체를 만들었고, 이를 마이크로스피어라고 하였다. A는 마이

크로스피어이다.

Ⓐ A(마이크로스피어)는 주변 환경으로부터 선택적으로 물질을 흡수하면서 커지고, 일정 크기 이상이 되면 스스로 분열하여 수가 증가한다.

✗ Ⓛ(아미노산 중합체)은 유전 정보 저장 기능을 갖지 않는다.

## 05 다세포 진핵생물의 출현

㉠과 ㉡은 모두 진핵세포로 구성된다.

Ⓐ ㉠은 단세포 진핵생물로 핵막을 갖는 진핵세포로 구성된다.

Ⓑ ㉡은 세포의 운동 기관인 편모를 가지므로 Ⓛ(이동성 세포)은 운동 기능을 갖는다.

Ⓒ 과정 I은 다세포 진핵생물로부터 배우자가 형성되는 과정으로 세포의 기능 분화가 일어났다.

## 06 밀려와 유리의 실험

밀려와 유리의 실험 결과 무기물로부터 간단한 유기물이 합성될 수 있음이 증명되었다.

Ⓐ 밀려와 유리의 실험 장치에서 혼합 기체는 원시 대기를 재현한 것으로 메테인( $\text{CH}_4$ ), 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 수증기( $\text{H}_2\text{O}$ ), 수소( $\text{H}_2$ ) 등이 포함되어 있다.

Ⓑ Ⓛ(일정 기간 동안 방전)은 번개와 같은 원시 지구의 자연 에너지를 재현한 것으로 무기물로부터 유기물 합성에 필요한 에너지를 공급한다.

Ⓒ U자관 내에서 농도가 감소하는 Ⓛ는 무기물인 암모니아이고, 농도가 증가하는 Ⓛ는 유기물인 아미노산이다.

## 07 화학적 진화설

A는 간단한 유기물, B는 복잡한 유기물, C는 유기물 복합체이다.

Ⓐ 오파린의 화학적 진화설에 따른 원시 세포(원시 생명체) 출현 과정은 무기물 → 간단한 유기물(A) → 복잡한 유기물(B) → 유기물 복합체(C) → 원시 세포(원시 생명체)이므로 B는 복잡한 유기물이다.

Ⓑ C는 유기물 복합체이다. C(유기물 복합체)의 예로는 코아세르베이트, 마이크로스피어, 리포솜이 있다.

✗ 밀려와 유리의 실험을 통해 무기물로부터 A(간단한 유기물) 가 합성되는 과정이 증명되었다.

## 08 생명체의 진화 과정

㉠은 무산소 호흡 종속 영양 생물, Ⓛ은 광합성 세균, Ⓛ은 호기성 세균이다.

Ⓐ 바다에 유기물이 증가하여 출현한 Ⓛ은 유기물을 분해하여 에너지를 얻는 무산소 호흡 종속 영양 생물이다. Ⓛ(무산소 호흡 종속 영양 생물) 출현 이후 유기물 농도가 감소하고, 대기 중  $\text{CO}_2$

농도가 증가함에 따라 빛에너지를 이용하여 스스로 유기물을 합성할 수 있는 Ⓛ(광합성 세균)이 출현하였다.

Ⓑ Ⓛ(광합성 세균) 출현 이후 대기 중  $\text{O}_2$  농도가 증가하였고, 이로 인해 대기 상층부에는 오존층( $\text{O}_3$ )이 형성되었다. 오존층( $\text{O}_3$ )은 지표에 도달하는 자외선을 차단하여 수중에서 육상으로 생물이 진출할 수 있도록 하였다.

✗ Ⓛ(호기성 세균)은 산소 호흡 종속 영양 생물로 막으로 둘러싸인 세포 소기관을 갖지 않는 원핵생물이다.

## 09 RNA 우선 가설

㉠은 RNA, ㉡은 단백질, Ⓛ은 DNA이다.

Ⓐ DNA에 기반을 둔 생명체에서 DNA는 유전 정보의 저장, RNA는 유전 정보의 전달, 단백질은 효소 기능을 갖는다. (다)는 Ⓛ~㉢을 모두 가지므로 DNA에 기반을 둔 생명체이고, Ⓛ은 DNA, Ⓛ은 RNA, Ⓛ은 단백질이다. Ⓛ(RNA)과 Ⓛ(DNA)은 모두 핵산으로 유전 정보 저장 기능이 있다.

Ⓑ Ⓛ은 단백질이다.

Ⓒ Ⓛ(RNA)과 Ⓛ(단백질)을 갖는 (나)는 RNA와 단백질에 기반을 둔 생명체이고, 나머지 (가)는 RNA에 기반을 둔 생명체이다.

## 10 세포내 공생설

㉠은 소포체, ㉡은 미토콘드리아, Ⓛ은 엽록체이다.

✗ Ⓛ은 핵막과 연결된 소포체이다.

Ⓐ Ⓛ은 산소 호흡 세균이 세포내 공생하여 형성된 미토콘드리아로 내막과 외막의 2중막 구조를 갖는다.

Ⓒ Ⓛ은 광합성 세균이 세포내 공생하여 형성된 엽록체로 광합성이 일어난다.

## 11 원핵생물과 진핵생물의 존재 기간

㉠은 원핵생물, ㉡은 단세포 진핵생물, Ⓛ은 다세포 진핵생물이다.

Ⓐ 최초의 생물은 원핵생물이고, 이후 진핵생물이 출현하였으므로 Ⓛ은 원핵생물이다. Ⓛ(원핵생물)이 존재하던 구간 I에 대기 중 산소 증가가 일어났으므로 I에는 산소를 방출하는 광합성 세균이 존재했음을 알 수 있다.

✗ Ⓛ은 원핵생물이고, Ⓛ은 단세포 진핵생물이다. Ⓛ(원핵생물)은 핵막을 갖지 않지만, Ⓛ(단세포 진핵생물)은 핵막을 갖는다.

Ⓒ Ⓛ은 다세포 진핵생물이다.

## 12 진핵생물의 출현

A는 최초의 산소 호흡 세균, B는 최초의 원핵생물, C는 최초의 광합성 세균, D는 최초의 진핵생물이다.

Ⓐ A와 C는 핵막을 갖지 않으므로 원핵생물이다. A~D 중 가장 먼저 출현한 B는 최초의 원핵생물이고, 주변에 풍부한 유기물

을 분해하여 에너지를 얻는 종속 영양을 하였다. C는 빛에너지를 이용하여 무기물로부터 유기물을 합성할 수 있으므로 최초의 광합성 세균이다. 따라서 A는 최초의 산소 호흡 세균, B는 최초의 원핵생물, C는 최초의 광합성 세균, D는 최초의 진핵생물이다.

☒. 코아세르베이트는 유기물 복합체로 A~D와 같은 세포의 형태를 갖추지 못했다.

☒. B(최초의 원핵생물)와 C(최초의 광합성 세균) 모두 D(최초의 진핵생물) 출현 이전에 출현하였다.

### 수능 3점 테스트

본문 144~147쪽

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

## 01 밀려와 유리의 실험

밀려와 유리는 실험을 통해 원시 대기의 무기물로부터 간단한 유기물이 합성될 수 있음을 증명하였다.

- ☒. (가)의 혼합 기체에는 메테인( $\text{CH}_4$ ), 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 수증기( $\text{H}_2\text{O}$ ), 수소( $\text{H}_2$ )가 들어 있다. 혼합 기체의 무기물이 전기 방전의 에너지에 의해 아스파트산, 글리신, 알라닌과 같은 아미노산으로 합성되어 U자관에 모인다.
- Ⓒ. (가)의 U자관에 고인 물은 원시 지구의 바다를 재현한 것이다.
- ☒. 크로마토그래피로 전개한 결과 서로 다른 위치에 있는 A와 B는 서로 다른 물질이다.

## 02 다세포 진핵생물의 출현

(가)는 단세포 진핵생물, (나)는 군체를 형성한 진핵생물, (다)는 다세포 진핵생물이다.

- ☒. (가)는 1개의 세포로 구성된 생물로 단세포 진핵생물이고, (나)는 같은 종류의 세포 여러 개가 모인 생물로 군체를 형성한 진핵생물이며, (다)는 여러 종류의 세포로 구성된 다세포 진핵생물이다.

Ⓒ. 과정 I에서 세포의 형태와 기능 분화가 일어나 (나)(군체를 형성한 진핵생물)로부터 (다)(다세포 진핵생물)로의 진화가 일어났다.

Ⓒ. ⑦과 ⑧은 모두 진핵생물을 구성하는 세포로 핵막을 갖는다.

## 03 생물의 출현과 대기 중 산소 농도 변화

최초의 생명체 출현 후 생물체의 출현 순서는 광합성 세균 → 산소 호흡 세균 → 단세포 진핵생물이므로 ⑦은 광합성 세균, ⑧은 산소 호흡 세균, ⑨은 단세포 진핵생물이다.

Ⓒ. ⑦은 광합성 세균으로 빛에너지를 흡수하여 유기물을 합성할 수 있다.

☒. X는 핵을 갖는 단세포 진핵생물로, 최초의 ⑨(단세포 진핵생물) 출현 시점 또는 그 이후에 존재했다.  $t_2$ 는 최초의 ⑨(단세포 진핵생물) 출현 이전 시점으로  $t_2$ 일 때 X는 존재하지 않았다.

☒. 대기 중 오존( $\text{O}_3$ )의 농도는 대기 중 산소 농도가 높은  $t_3$ 일 때가 대기 중 산소 농도가 낮은  $t_1$ 일 때보다 높았을 것이다.

## 04 진핵생물의 출현 과정

과정 I은 막 진화설에 따른 세포 소기관 형성이고, ⑦은 엽록체의 기원인 생물, ⑧은 미토콘드리아의 기원인 생물이다.

☒. 과정 I에서 세포막이 세포 안으로 함입되어 핵막, 소포체 등과 같은 막성 세포 소기관이 형성되었으므로 과정 I은 막 진화설에 따른 세포 소기관 형성을 나타낸 것이다. 세포내 공생설은 독립적으로 생활하던 원핵생물이 숙주 세포와 공생하여 세포 소기관으로 분화되었다는 가설이다.

Ⓒ. ⑦은 엽록체의 기원인 광합성 세균이다. 광합성 세균은 스스로 양분을 합성하는 독립 영양을 한다.

☒. ⑧은 미토콘드리아의 기원인 산소 호흡 세균으로 산소 호흡이 가능하다.

## 05 유기물 복합체

A는 액상의 막을 갖는 코아세르베이트이고, B는 표에서 '아미노산 중합체로부터 만들어진다.'의 특징을 가지므로 마이크로스피어, 나머지 C는 리포솜이다.

☒. B는 마이크로스피어로 단백질로 구성된 막을 갖는다. 따라서 ⑦은 단백질이다.

☒. B(마이크로스피어)는 탄소 화합물로 구성된 막(단백질로 구성된 막)을 가지므로 ⑧는 '○'이다. C(리포솜)는 아미노산 중합체로부터 만들어지지 않았으므로 ⑨는 '✗'이다.

Ⓒ. A~C 중 현재 존재하는 세포의 세포막과 가장 유사한 구조의 막을 갖는 것은 C(리포솜)이다.

## 06 원시 생명체의 진화

원핵생물의 출현 과정은 유기물 단계 → 최초의 무산소 호흡 종속 영양 생물 → 최초의 광합성 세균 → 최초의 산소 호흡 세균 → 육상 생물 출현이다.

Ⓒ. (나)의 첫 번째 문장에서 I의 출현 이후 Ⅲ이 출현하였으므로 I은 최초의 무산소 호흡 종속 영양 생물 또는 최초의 광합성 세균이다. (나)의 두 번째 문장에서 Ⅱ의 출현 이후 최초의 광합성 세균이 출현하였으므로, Ⅱ는 최초의 무산소 호흡 종속 영양 생물이고, I은 최초의 광합성 세균이다. I(최초의 광합성 세균)에서는 무기물로부터 유기물을 합성하는 ⑩이 일어난다.

☒. Ⅱ는 최초의 무산소 호흡 종속 영양 생물이다.

Ⓐ. Ⅲ은 최초의 산소 호흡 세균이다. Ⅱ(최초의 무산소 호흡 종속 영양 생물)에서는 Ⓛ이 일어나고, Ⅲ(최초의 산소 호흡 세균)에서는 Ⓜ이 일어난다. Ⓛ과 Ⓜ은 모두 유기물이 분해되어 CO<sub>2</sub>가 발생하는 물질대사이다.

## 07 원시 생명체의 진화

최초의 생명체 출현 후 최초의 광합성 세균이 출현하여 대기 중 산소(O<sub>2</sub>) 농도를 증가시켰고, 대기 중 산소(O<sub>2</sub>)를 이용하여 에너지를 얻는 최초의 산소 호흡 세균이 출현하였다.

Ⓐ. A는 최초의 광합성 세균이고, B는 최초의 산소 호흡 세균이다. A(최초의 광합성 세균)는 물(H<sub>2</sub>O)과 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)를 흡수하여 유기물을 합성할 수 있다.

Ⓑ. 기본 단위가 아미노산이 아닌 Ⓛ은 리보자임이고, Ⓜ은 단백질이다. Ⓛ(리보자임)은 유전 정보를 저장하므로 Ⓝ는 '○'이다. Ⓜ(단백질)은 유전 정보를 저장하지 않으므로 Ⓞ는 '×'이고, 기본 단위가 아미노산이므로 Ⓟ는 '○'이다. 따라서 Ⓛ~Ⓟ 중 '○'는 2개이다.

Ⓒ. B(최초의 산소 호흡 세균)에는 효소가 있고, 효소의 주성분은 단백질이므로 B(최초의 산소 호흡 세균)에는 Ⓠ(단백질)이 있다.

## 08 생명체의 탄생과 출현

Ⓐ는 메테인(CH<sub>4</sub>), 암모니아(NH<sub>3</sub>), 수증기(H<sub>2</sub>O), 수소(H<sub>2</sub>) 등으로 구성된다. Ⓛ은 CO<sub>2</sub>, Ⓜ은 O<sub>2</sub>이고, (가)는 무산소 호흡 종속 영양 생물, (나)는 산소 호흡 세균이다.

☒. (가)는 무산소 호흡 종속 영양 생물로 CO<sub>2</sub>를 방출하므로 Ⓛ은 CO<sub>2</sub>이고, Ⓜ은 오존층 형성을 가능하게 한 O<sub>2</sub>이다. (나)는 산소 호흡 세균이다. Ⓛ는 원시 지구의 환원성 기체로 O<sub>2</sub>는 없었을 것으로 추정된다. 따라서 Ⓛ에서 기체의 구성 비율은 메테인(CH<sub>4</sub>)이 Ⓜ(O<sub>2</sub>)보다 높았다.

Ⓓ. 폭스는 아미노산 용액에 높은 열을 가해 아미노산 중합체를 만든 후 이것을 물에 넣어 서서히 식혀 작은 액체 방울 형태의 유기물 복합체를 만들었고, 이를 마이크로스피어라고 하였다. 폭스의 마이크로스피어 합성 과정은 과정 I(복잡한 유기물 → 유기물 복합체)에 해당한다.

☒. (가)는 무산소 호흡 종속 영양 생물, (나)는 산소 호흡 세균이다.

# 10 생물의 분류와 다양성

## 수능 2점 테스트

분문 155~157쪽

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

## 01 학명과 계통수

같은 속에 속하면 같은 과에 속하므로 속명이 같은 B와 D는 같은 과에 속한다. A~D 중 3종은 고양잇과이고, 1종은 갯과이므로 Ⓛ은 A이고, B와 D는 같은 속이므로 Ⓜ은 C, Ⓝ과 Ⓞ은 각각 B와 D 중 하나이다.

Ⓐ. A~D의 학명은 모두 속명과 종소명으로 구성되어 있으므로 이명법으로 나타낸 것이다.

Ⓑ. D는 고양잇과이다.

☒. Ⓛ은 B와 D 중 하나이다.

## 02 학명과 분류 단계

이명법은 속명과 종소명으로 구성되며, 속명의 첫 글자는 대문자로, 종소명의 첫 글자는 소문자로 표기한다.

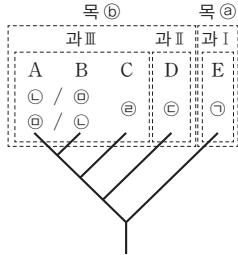
Ⓐ. B의 학명에서 Ⓛ은 속명이다.

Ⓑ. 생물의 분류 단계에서 모든 과보다 상위 분류 단계에 해당한다. B와 D는 참나무과에 속하므로 같은 목에 속한다.

Ⓒ. A와 C는 속명이 같으므로 같은 속에 속하고, A와 D는 속명이 다르므로 다른 속에 속한다. 따라서 A와 C의 유연관계는 A와 D의 유연관계보다 가깝다.

## 03 계통수와 분류 단계

2개의 목으로 분류되는 동물 종 A~E에서 가장 과거에 분기된 가지에 있는 E가 하나의 목에 속하고 다음 분기점에서 공통 조상을 공유하는 나머지 A~D가 다른 하나의 목에 속한다. A~E는 3개의 과로 분류되므로 같은 목인 A~D 중 가장 최근에 공통 조상을 공유하는 A~C가 같은 과에 속하고, 가장 과거에 분기된 가지에 있는 D는 다른 과에 속한다. 목이 다른 E는 다른 하나의 과에 속한다. 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



☒. ④과 ⑤은 서로 다른 과에 속하는데, 다른 과의 종은 속이 같을 수 없으므로 (가)는 목이고, (나)는 속이다.

◎. ④과 ⑤은 같은 속에 속하므로 ④과 ⑤은 모두 Ⅲ에 속한다. 계통수에서 D와 E가 각각 다른 과에 속하므로 ④과 ⑤은 각각 D와 E 중 하나이고, ④, ⑤, ⑥은 같은 과(Ⅲ)에 속한다.

☒. ④과 ⑤은 같은 목에 속하므로 ④은 D이고, ⑤은 E이다. ④과 ⑤은 같은 속에 속하므로 ④은 A와 B 중 하나이다. ④과 ⑤은 서로 다른 속에 속하고, ④과 ⑤은 서로 같은 속에 속하므로 ④과 ⑤의 유연관계는 ④과 ⑤의 유연관계보다 가깝다.

## 04 3역 6계 분류 체계

3역 6계 분류 체계에서는 세균계, 고세균계, 진핵생물역의 3역과 진정세균계, 고세균계, 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계의 6계로 분류한다.

☒. ④(진정세균계)에는 남세균과 같은 독립 영양 생물과 대장균과 같은 종속 영양 생물이 모두 있다.

☒. ④은 진정세균계, ⑤은 고세균계, ⑥은 식물계, ⑦은 균계이다. ◎. ⑥(식물계)에 속하는 생물과 ⑦(균계)에 속하는 생물은 모두 진핵생물역에 속한다.

## 05 3역 6계 분류 체계

‘핵막이 있다.’는 소나무와 푸른곰팡이가 갖는 특징이고, ‘관다발이 있다.’는 소나무가 갖는 특징이며, ‘펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.’는 대장균이 갖는 특징이다.

◎. ④~⑦ 중 ‘핵막이 있다.’는 소나무와 푸른곰팡이가 갖고, ‘관다발이 있다.’와 ‘펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.’는 각각 소나무와 대장균이 갖는 특징이다. ⑧가 ‘○’, ⑨가 ‘×’인 경우에 ⑦을 갖는 생물이 B, C이고, ⑥을 갖는 생물이 A, C이므로 모순이다. 따라서 ⑧는 ‘×’, ⑨는 ‘○’이다.

☒. ④은 A와 B가 모두 가지므로 ④은 ‘핵막이 있다.’이고, C는 대장균이다. C는 ⑦을 가지므로 ⑦은 ‘펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.’이고, ⑦은 ‘관다발이 있다.’이다.

☒. B는 ⑦을 가지므로 B는 소나무, A는 푸른곰팡이이다. B(소나무)에는 미토콘드리아가 있지만, C(대장균)에는 미토콘드리아가 없다.

## 06 3역 6계 분류 체계

A는 대장균, B는 극호열균(호열성 고세균), C는 효모이다.

◎. 대장균(A)과 극호열균(B)은 모두 핵막과 막성 세포 소기관이 없는 원핵생물이다.

☒. C(효모)에는 선형 DNA가 있지만, A(대장균)에는 원형 DNA가 있다.

◎. 대장균(A)에는 펩티도글리칸 성분의 세포벽, 극호열균(B)에는 펩티도글리칸 성분이 없는 세포벽, 효모(C)에는 키친 성분의 세포벽이 있다.

## 07 식물계

뿔이끼, 석송, 장미 중 씨방은 장미에만 있으므로 A는 장미이다. 뿐이끼와 석송 중 석송에는 관다발이 있고, 뿐이끼에는 관다발이 없으므로 B는 석송, C는 뿐이끼이다.

◎. B는 석송이다.

☒. 뿐이끼(C)는 선태식물에 속한다.

☒. 장미(A)는 종자로 번식하지만, 석송(B)은 포자로 번식한다.

## 08 식물계

우산이끼는 비관다발 식물에 속하고, 쇠뜨기는 비종자 관다발 식물에 속한다. 은행나무는 종자식물 중 겉씨식물에 속하고, 벼는 종자식물 중 속씨식물에 속한다. A는 우산이끼, B는 쇠뜨기, C는 은행나무이다.

☒. 우산이끼(A)와 쇠뜨기(B)는 포자로 번식하고, 은행나무(C)와 벼는 종자로 번식하므로 ‘종자로 번식한다.’는 ⑦에 해당하지 않는다.

☒. 은행나무(C)는 씨방이 없고, 벼는 씨방이 있으므로 ‘씨방이 있다.’는 ⑦에 해당하지 않는다.

◎. 식물계에 속하는 생물은 모두 엽록소 a가 있으므로 A~C에는 모두 엽록소 a가 있다.

## 09 식물계

고사리, 민들레, 솔이끼 중 ‘체관이 있다.’는 고사리와 민들레에서 나타나는 특징이고, ‘종자로 번식한다.’는 민들레에서 나타나는 특징이다.

◎. ④은 ‘체관이 있다.’, ⑤은 ‘종자로 번식한다.’이고, A는 솔이끼, B는 고사리, C는 민들레이므로 ④는 ‘○’이다.

◎. 고사리(B)는 비종자 관다발 식물로 헛물관이 있다.

◎. 콩은 종자식물이므로 ⑤은 콩이 갖는 특징에 해당한다.

## 10 동물계

지네는 체절이 있고, 불가사리는 원구가 항문이 되므로 A는 지네, B는 불가사리, C는 오징어이다.



세균이다. B(메테인 생성균)는 균계에 속하지 않는다.

- Ⓐ A(산호)와 C(광대버섯)는 모두 진핵생물역에 속하고, D(남세균)는 세균역에 속하므로 A(산호)와 C(광대버섯)의 유연관계는 A(산호)와 D(남세균)의 유연관계보다 가깝다.

## 05 식물계

은행나무와 장미는 종자로 번식하므로 B와 D는 각각 은행나무와 장미 중 하나이고, A와 C는 각각 석송과 우산이끼 중 하나이다.

- Ⓐ 석송, 우산이끼, 은행나무, 장미 중 석송, 장미, 은행나무에 관다발이 있으므로 A는 우산이끼, C는 석송이고, Ⓡ은 관다발이다. 석송, 우산이끼, 은행나무, 장미 중 장미만 씨방이 있으므로 B는 장미, D는 은행나무이고, Ⓢ은 씨방이다.

- Ⓒ C(석송)는 관다발에 형성층은 없고, 협물관과 체관이 있다.

- Ⓓ 식물계에 속하는 생물은 모두 셀룰로스 성분의 세포벽이 있으므로 A~D에는 모두 셀룰로스가 있다.

## 06 식물계

'관다발이 있다.'는 보리, 소철, 쇠뜨기가 가지고, '종자로 번식한다.'는 보리와 소철이 가지는 특징이다.

- ✖. (가)의 특징을 모두 가지지 않는 A는 솔이끼, 1개만 가지는 B는 쇠뜨기, 2개만 가지는 C는 소철이다.

- Ⓐ 식물계에 속하는 생물은 엽록소 a, 엽록소 b, 카로티노이드 등과 같은 광합성 색소를 가지고 있다. 따라서 B(쇠뜨기)와 C(소철)에는 모두 엽록소 b가 있다.

- Ⓒ Ⓛ는 보리, 소철, 쇠뜨기, 솔이끼 중 보리만 갖는 특징이므로 '씨방이 있다.'는 Ⓛ에 해당한다.

## 07 동물계

촉수담륜동물에 속하는 동물은 달팽이이므로 A는 달팽이이고, 성체가 방사 대칭성의 몸 구조를 가지는 동물은 성게이므로 B는 성게이다.

- Ⓐ A(달팽이)는 선구동물로 원구가 입이 되고 원구의 반대쪽에 항문이 생기므로 I은 (가)이다. B(성게)는 후구동물로 원구가 항문이 되고 원구의 반대쪽에 입이 생기므로 II는 (나)이다.

- Ⓒ C는 선구동물이므로 새우이다. C(새우)는 절지동물에 속하며 체절이 있다.

- Ⓓ B와 D는 후구동물이고, D는 우렁쉥이(멍게)이다. 우렁쉥이(멍게)는 척삭동물에 속한다.

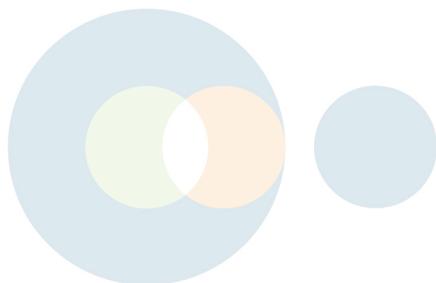
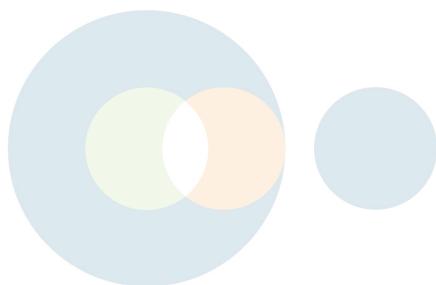
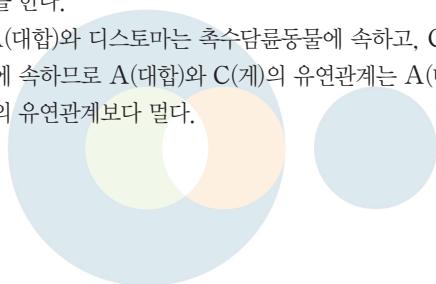
## 08 동물계

'체절이 있다.'는 게가 가지는 특징이고, '탈피동물에 속한다.'는 게와 회충이 가지는 특징이며, '촉수담륜동물에 속한다.'는 대합과 디스토마가 가지는 특징이다.

- Ⓐ B와 C는 Ⓡ의 특징을 가지고 있으므로 Ⓡ은 '탈피동물에 속한다.'이고, A는 대합이다. A는 Ⓡ과 Ⓢ의 특징이 없으므로 Ⓣ은 '촉수담륜동물에 속한다.'이고, Ⓤ는 'O'이다. Ⓥ은 '체절이 있다.'이고, B는 회충, C는 게이다. 게는 체절이 있으므로 Ⓦ는 'O'이다.

- Ⓓ B(회충)는 큐티클층으로 덮여 있어 성장하면서 주기적으로 탈피를 한다.

- ✖. A(대합)와 디스토마는 촉수담륜동물에 속하고, C(게)는 탈피동물에 속하므로 A(대합)와 C(게)의 유연관계는 A(대합)와 디스토마의 유연관계보다 멀다.



## 11 생물의 진화

### 수능 2점 테스트

본문 168~171쪽

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

### 01 분자진화학적 증거

- Ⓐ 제시된 자료는 생물 진화의 증거 중 분자진화학적 증거에 해당한다.
- Ⓑ 단백질의 아미노산 서열의 차이가 클수록 상대적으로 오래전에 공통 조상에서 분화한 것이다. 사람 혈액으로 빈 단백질의 아미노산 서열과 차이나는 아미노산의 수가 닭보다 개구리에서 더 크므로 사람과 닭의 유연관계는 사람과 개구리의 유연관계보다 가깝다.
- Ⓒ 혈액으로 빈 단백질의 아미노산 서열과 같은 분자생물학적 특징을 비교하면 척추동물 간의 진화적 유연관계를 알 수 있다.

### 02 비교해부학적 증거

현존하는 여러 생물의 해부학적 특징을 비교해보면 이들이 공통 조상을 갖는지 서로 다른 조상으로부터 진화했는지를 알 수 있다. 어떤 분류군에 속한 생물들이 공통 조상으로부터 어떤 형질을 물려받아 비슷한 모습을 가지게 되는 것을 상동성이라고 하며 그 공통인 특징을 상동 형질, 또는 상동 기관이라고 한다. 사람과 고양이가 춥거나 놀랐을 때 피부에 닦살이 돋거나 털을 곧추세우는 것은 상동(Ⓑ) 형질에 해당한다.

- Ⓓ 제시된 자료는 생물 진화의 증거 중 비교해부학적 증거에 해당한다.

Ⓔ Ⓑ은 ‘상동’이다.

- ⓪ 새의 날개와 곤충의 날개가 발생의 기원은 다르지만 생김새와 기능이 비슷한 것은 상사 형질(상사 기관)의 예에 해당한다.

### 03 생물지리학적 증거

- Ⓐ Ⓑ은 생물 진화의 증거 중 생물지리학적 증거에 해당한다.
- Ⓑ 생물의 분포 양상은 대륙의 이동, 산맥, 해협, 강과 같은 지리적 장벽에 따라 달라지는데, 이는 같은 종의 생물이 지리적으로 격리된 후 오랜 세월 동안 독자적인 진화 과정을 거쳤기 때문이다.
- Ⓒ 화산 활동으로 갈라파고스 군도가 생긴 이후 다양한 부리 모양을 가진 여러 종의 편치가 사는 것은 Ⓑ과 같은 생물지리학적 증거에 해당한다.

### 04 비교해부학적 증거

발생 기원은 다르지만 생김새와 기능이 비슷한 형질을 상사 형질(상사 기관)이라고 한다. 상사 형질은 기원이 다른 생물들이 비슷한 환경에 적응하면서 유사한 형질을 갖도록 진화하였음을 보여주는 증거이다.

⓪ 제시된 자료는 생물 진화의 증거 중 비교해부학적 증거에 해당한다.

Ⓒ 원두의 덩굴손과 포도의 덩굴손은 기능은 유사하지만 기원이 각각 잎과 줄기로 서로 다르므로 상사 형질(상사 기관)의 예에 해당한다.

Ⓓ Ⓑ(잎)과 Ⓒ(줄기)은 식물의 구성 단계 중 기관의 예에 해당한다.

### 05 생물 진화의 증거

(가)는 비교해부학적 증거, (나)는 화석상의 증거, (다)는 분자진화학적 증거이다.

Ⓓ Ⓑ은 흔적 기관에 대한 설명으로 사람의 꼬리뼈는 흔적 기관의 예에 해당한다.

⓪ (나)는 화석상의 증거이다.

⓪ 척추동물의 발생 초기 배아에서 나타나는 유사한 특징을 통해 척추동물이 공통 조상으로부터 진화하였음을 보여주는 증거는 진화발생학적 증거의 예에 해당한다.

### 06 변이와 자연 선택

Ⓐ은 변이, Ⓑ은 자연 선택이다.

Ⓓ Ⓑ은 변이이다.

Ⓓ 정상 혈액으로 빈 대립유전자와 비정상 혈액으로 빈 대립유전자는 뉴클레오파이드의 종류에 차이가 있으며, 이 차이는 아미노산 서열의 차이를 유발하여 적혈구의 형태를 변형시킨다. 따라서 Ⓐ(정상적인 동근 모양의 적혈구)와 Ⓑ(비정상적인 낫 모양 적혈구)를 구성하는 혈액으로 빈의 아미노산 서열은 서로 다르다.

Ⓔ 다원은 자연 환경에서 생존에 유리한 형질을 지닌 개체가 자연 선택(Ⓒ)되는 과정이 생물 진화의 주된 원동력이라고 설명하였다.

### 07 유전자풀과 대립유전자의 빈도

500개체의 동물 종 P로 구성된 집단 I에서 물갈퀴 유무는 상염색체에 있는 대립유전자 A와 A\*에 의해 결정되며, 대립유전자 사이의 우열 관계는 분명하다고 했으므로 이를 정리하면 표와 같다.

표현형	물갈퀴 없는 발가락	물갈퀴 없는 발가락	물갈퀴 있는 발가락
유전자형	AA	AA*	A*A*
개체 수	320	160	20
유전자풀 내의 대립유전자 수 (총 1000개)	A:640	A*:160	A*:40

Ⓐ I에서 A의 빈도를  $p$ , A\*의 빈도를  $q$ 라고 할 때,  $p(A) = \frac{800}{1000} = 0.8$ ,  $q(A^*) = \frac{200}{1000} = 0.2$ 이다.

ⓧ I의 유전자풀에서 A\*의 수는  $160 + 40 = 200$ 이다.

Ⓒ 유전자형이 AA\*인 개체가 물갈퀴 없는 발가락을 가지므로 A는 A\*에 대해 우성이다. 따라서 A를 가진 개체는 물갈퀴가 없는 발가락을 갖는다.

## 08 유전자풀의 변화 요인

돌연변이는 DNA의 염기 서열에 변화가 생겨 새로운 대립유전자가 나타나는 현상이다. 식물의 발생을 조절하는 유전자에 돌연변이가 일어나 식물의 표현형 변화가 일어났으므로 Ⓡ은 돌연변이이다.

Ⓐ Ⓡ은 돌연변이이다.

Ⓒ 테오신테의 결가지가 없어지고 암꽃과 열매가 형성된 것을 통해 돌연변이(Ⓐ)는 테오신테의 표현형을 변화시켰음을 알 수 있다.

Ⓒ 돌연변이가 발생하여 테오신테가 옥수수로 진화하였으므로 테오신테와 옥수수는 Ⓟ(식물의 발생을 조절하는 유전자)의 염기 서열이 서로 다르다.

## 09 유전자풀의 변화 요인

병목 효과는 가뭄, 홍수, 산불 등과 같은 자연재해로 개체군의 크기가 급격히 줄어들면서 나타나는 유전적 부동의 한 현상이다. 병목 효과가 일어난 후에 살아남은 개체군은 유전자풀이 기존 개체군의 유전자풀과 매우 다르다.

Ⓐ 병목 효과는 유전적 부동의 한 현상이다.

ⓧ 병목 효과가 일어나기 전에는 갈색, 초록색, 노란색의 개구리가 있었으나 살아남은 개체군에 갈색, 노란색의 개구리만 남았으므로 Ⓟ(기존 개체군)와 Ⓠ(살아남은 개체군)의 유전자풀은 서로 다르다.

Ⓒ 가뭄, 홍수, 산불, 질병 등과 같은 자연재해로 집단의 크기가 급격히 줄어들 때 병목 효과가 나타날 수 있다.

## 10 유전자풀의 변화 요인

(가)는 창시자 효과, (나)는 유전자 흐름, (다)는 자연 선택이다.

Ⓒ Ⓛ(기존 딱정벌레 개체군)에는 다양한 형질이 존재하였으나 창시자 효과에 의해 다른 지역으로 떨어져 나온 개체들이 특정

형질만을 나타내는 Ⓜ(새로운 딱정벌레 개체군)를 형성하였으므로 Ⓛ와 Ⓜ의 유전자풀은 서로 다르다.

ⓧ. (나)는 유전자 흐름이다. 병목 효과와 창시자 효과는 유전적 부동의 현상이다.

ⓧ. 자연 선택(다)은 환경 변화에 대한 개체의 적응 능력과 관계가 있다.

## 11 지리적 격리에 의한 종분화

한 종에 속했던 두 집단 사이에서 생식적 격리가 일어나 기존의 생물종에서 새로운 종이 생겨나는 과정을 종분화라고 한다.

Ⓐ A와 C는 서로 다른 생물학적 종이므로 유전자풀이 서로 다르다.

Ⓑ B와 C는 서로 다른 생물학적 종으로 생식적으로 격리되어 있다.

ⓧ. 산맥 형성 이후에 A가 B로 분화하였고, Ⓛ(섬의 분리) 이후에 A가 C로 분화하였다.

## 12 종분화(고리종)

어느 한 종으로 이루어진 여러 집단들이 고리 모양으로 분포하고 있는 상황에서 지리적으로 인접한 집단 사이에서는 Ⓡ(생식적 격리)이 없어 교배를 통한 Ⓛ(유전자 흐름)이 일어난다. 그러나 고리의 양쪽 끝에 위치한 두 집단은 서로 인접해 있지만 Ⓡ(생식적 격리)이 일어나 교배하지 않는다. 이러한 현상이 나타나는 이웃 집단들의 모임을 고리종이라고 한다.

ⓧ. Ⓡ은 생식적 격리이다.

Ⓐ Ⓛ(유전자 흐름)은 유전자풀의 변화 요인에 해당한다.

Ⓒ 고리종은 종분화의 사례에 해당한다.

## 13 멘델 집단

멘델 집단은 하디·바인베르크 법칙을 따르는 유전적 평형(Ⓐ) 상태의 집단이다. 멘델 집단은 집단의 개체 사이에서 무작위 교배가 일어나야 하고, 돌연변이, 집단 사이의 유전자 흐름, 자연 선택과 같은 유전자풀의 변화 요인이 없어야 한다.

Ⓓ. 유전적 평형은 Ⓡ에 해당한다.

ⓧ. 멘델 집단은 집단의 개체 사이에서 무작위 교배가 일어나야 하므로 ‘집단의 개체 사이에서 선택적 교배가 일어나야 한다.’는 (가)에 해당하지 않는다.

Ⓔ. 자연 선택은 Ⓛ(유전자풀의 변화 요인)에 해당한다.

## 14 하디·바인베르크 법칙

검은색 털 대립유전자 A의 빈도가 1일 때 개체의 비율이 1이므로 그라프에서 개체의 비율은 검은색 털을 갖는 개체의 비율이다. A의 빈도가 0.5일 때 검은색 털을 갖는 개체의 비율이 0.25이므로

유전자형이 AA일 때 검은색 털이 나타난다. 따라서 A는 A\*에 대해 열성이고, 검은색 털이 흰색 털에 대해 열성 형질이다.

ⓧ 검은색 털은 흰색 털에 대해 열성 형질이다.

⓪ A의 빈도를  $p$ , A\*의 빈도를  $q$ 라 할 때,  $p+q=1$ 이고, AA의 빈도는  $p^2$ , AA\*의 빈도는  $2pq$ 이다. A\*의 빈도가 A의 빈도의 2배일 때  $q=2p$ 이므로 AA\*의 빈도는  $2p \times 2p = 4p^2$ 이고, AA의 빈도  $p^2$ 의 4배이다.

⓫ A의 빈도( $p$ )가 0.2인 집단에서 흰색 털을 갖는 개체의 비율은  $1 - 0.2^2 = 0.96$ 이다. A의 빈도( $p$ )가 0.8인 집단에서 흰색 털을 갖는 개체의 비율은  $1 - 0.8^2 = 0.36$ 이다. 따라서 A의 빈도가 0.8인 집단에서 흰색 털을 갖는 개체의 비율은  $\frac{3}{8}$ 이다. A의 빈도가 0.2인 집단에서 흰색 털을 갖는 개체의 비율은  $\frac{3}{8}$ 이다.

## 15 하디 · 바인베르크 법칙

④ 집단 I에서 A의 빈도를  $p_1$ , A\*의 빈도를  $q_1$ 이라 하면, I에서 유전자형이 AA\*인 개체의 비율과 A\*A\*인 개체의 비율이  $4 : 1$ 이므로  $2p_1q_1 = 4q_1^2$ 이다. 따라서  $p_1 = \frac{2}{3}$ ,  $q_1 = \frac{1}{3}$ 이다.

II에서 A의 빈도를  $p_2$ , A\*의 빈도를  $q_2$ , III에서 A의 빈도를  $p_3$ , A\*의 빈도를  $q_3$ 이라 하자.

II에서 ⑦이 발현되지 않은 개체의 비율은  $\frac{q_2^2}{p_1^2 + 2p_1q_1} = \frac{1}{2}$ 이므로 I에서 ⑦이 발현된 개체의 비율은  $\frac{p_1^2}{p_1^2 + 2p_1q_1} = \frac{1}{2}$ 이다. 따라서  $p_2 = \frac{1}{3}$ ,  $q_2 = \frac{2}{3}$ 이다. I과 II에서 A의 빈도의 합은 III에서

A의 빈도와 같으므로 III에서 A의 빈도는

I과 II에서 A의 빈도의 합은  $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서  $p_3 = \frac{1}{2}$ ,  $q_3 = \frac{1}{2}$ 이다.

III에서 ⑦이 발현되지 않은 임의의 암컷이 ⑦이 발현된 임의의 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>에서 ⑦이 발현될 확률은 ⑦이 발현된 임의의 수컷이 A를 물려줄 확률과 같으므로

$\frac{p_3^2 + 2p_3q_3 \times \frac{1}{2}}{p_3^2 + 2p_3q_3} = \frac{p_3 + q_3}{p_3 + 2q_3} = \frac{1}{1+q_3} = \frac{2}{3}$ 이다.

## 16 하디 · 바인베르크 법칙

⑤ 검은색 털 대립유전자 A가 흰색 털 대립유전자 A\*에 대해 완전 우성이라 가정하면, I에서 임의의 검은색 털 암컷이 임의의 흰색 털 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>이 검은색 털을 가질 확률이  $\frac{4}{9}$ 라는 조건을 만족하는 흰색 털 대립유전자 A\*

의 빈도를 구하면 그 빈도가 1보다 큰 값( $\frac{5}{4}$ )을 가지게 되어 제시된 조건을 만족시키지 못한다. 따라서 흰색 털 대립유전자 A\*가 검은색 털 대립유전자 A에 대해 완전 우성이다.

I에서 흰색 털 대립유전자 A\*의 빈도를  $p_1$ , 검은색 털 대립유전자 A의 빈도를  $q_1$ 이라 하자. I에서 임의의 검은색 털 암컷이 임의의 흰색 털 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>이 검

은색 털을 가질 확률은 흰색 털 수컷이 F<sub>1</sub>에게 A를 물려줄 확률과 같다. 따라서 구하는 확률은  $\frac{2p_1q_1 \times \frac{1}{2}}{p_1^2 + 2p_1q_1} = \frac{q_1}{p_1 + 2q_1} = \frac{q_1}{1+q_1} = \frac{4}{9}$ 이고  $p_1=0.2$ ,  $q_1=0.8$ 이다. I과 II에서 흰색 털을 갖는 개체 수의 합이  $\frac{147}{100}N$ 이므로  $2N(1-q_1^2) + N(1-q_2^2) = \frac{147}{100}N$ 이다. 따라서 II에서 흰색 털 대립유전자 A\*의 빈도  $p_2=0.5$ , 검은색 털 대립유전자 A의 빈도  $q_2=0.5$ 이다. II에서 A\*의 빈도  $= \frac{0.5}{0.5} = 1$ 이다.

### 수능 3점 테스트

본문 172~177쪽

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

## 01 비교해부학적 증거

(가)는 상사 형질(상사 기관)의 예이고, (나)는 상동 형질(상동 기관)의 예이다.

ⓧ (가)는 상사 형질(상사 기관)의 예이다.

ⓧ 사람의 팔, 밀의 앞다리, 고래의 가슴지느러미는 생김새와 기능은 다르지만 해부학적 구조와 발생 기원이 같은 상동 형질(상동 기관)의 예이다. 공통 조상을 갖지 않은 생물들이 비슷한 환경에 적응하면서 유사한 형질을 갖도록 진화한 결과는 상사 형질(상사 기관)의 예에 해당한다.

ⓧ (가)와 (나)는 모두 생물 진화의 증거 중 비교해부학적 증거에 해당한다.

## 02 분자진화학적 증거

단백질의 아미노산 서열과 같은 분자생물학적 특징을 비교하여 생물 간의 진화적 유연관계를 알 수 있는 것은 분자진화학적 증거에 해당한다.

ⓧ (가)에서 사람의 사이토크롬 c와 차이 나는 아미노산 수가 침팬지의 경우 0이므로 침팬지와 사람의 사이토크롬 c의 아미노산 서열이 같음을 알 수 있다.

ⓧ (나)에서 글로빈 단백질의 아미노산 서열과의 유사성이 사람과 생쥐는 87%, 사람과 칠성장어는 14%이므로 사람과 생쥐의 유연관계가 사람과 칠성장어의 유연관계보다 가깝다는 것을 알 수 있다.

ⓧ (가)는 사람의 사이토크롬 c와 차이 나는 아미노산 수를, (나)는 글로빈 단백질의 아미노산 서열 유사성을 나타낸 것이므로 (가)와

(나)는 모두 생물 진화의 증거 중 분자진화학적 증거에 해당한다.

### 03 자연 선택

가뭄을 겪으면서 부리 크기가 작은 핀치는 크고 딱딱한 씨앗을 먹지 못해 살아남기 어려웠으므로 가뭄 후 부리의 평균 크기는 증가했을 것이다. 따라서 I은 가뭄 전 개체 수이고, II는 가뭄 후 개체 수이다.

Ⓐ. 가뭄을 겪으면서 부리의 크기가 큰 개체가 환경 적응에 유리하여 자연 선택되었으며, 부리의 크기가 작은 개체는 크고 딱딱한 씨앗을 먹지 못해 살아남기 어려웠다. 따라서 자연 선택(Ⓐ)에 의해 부리 크기에 따른 개체 수 변화가 나타났다.

Ⓑ. I은 가뭄 전 개체 수이다.

Ⓒ. I과 II에서 핀치 개체군은 표현형의 변이도 다르고 유전자풀을 구성하는 대립유전자의 빈도도 같지 않다. 따라서 I과 II에서 핀치 개체군의 유전자풀은 서로 다르다.

### 04 유전자풀의 변화 요인

돌연변이는 DNA의 염기 서열에 변화가 생겨 유전자풀에 새로운 대립유전자가 나타나는 현상이다. 유전적 부동 현상에는 병목 효과와 창시자 효과가 있다. 원래 집단에서 적은 수의 개체가 분리되어 다른 지역으로 이주한 후 새로운 집단을 형성하여, 원래 집단과 대립유전자의 빈도가 달라지는 현상을 창시자 효과라고 한다. 따라서 A는 창시자 효과, B는 돌연변이, C는 병목 효과이다.

Ⓐ은 ‘집단의 유전자풀에 새로운 대립유전자를 제공할 수 있다.’, Ⓑ은 ‘유전적 부동의 한 현상이다.’, Ⓒ은 ‘원래의 집단에서 적은 수의 개체들이 다른 지역으로 이주하여 새로운 집단을 형성할 때 나타나는 현상이다.’이다. 이를 정리하면 표와 같다.

특징 변화 요인	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ
A	?(x)	○	○
B	○	x	?(x)
C	x	Ⓐ(○)	x

(○: 있음, x: 없음)

Ⓐ. C는 유전적 부동의 한 현상인 병목 효과이므로 Ⓑ은 ‘○’이다.  
Ⓑ. 유전자 흐름은 두 집단 사이에서 개체의 이주나 배우자의 이동으로 두 집단의 유전자풀이 달라지는 현상으로 집단에 없던 새로운 대립유전자를 도입시킬 수 있다. 따라서 유전자 흐름은 Ⓑ(집단의 유전자풀에 새로운 대립유전자를 제공할 수 있다.)을 갖는다.

Ⓒ. Ⓑ은 ‘원래의 집단에서 적은 수의 개체들이 다른 지역으로 이주하여 새로운 집단을 형성할 때 나타나는 현상이다.’이다.

### 05 병목 효과와 돌연변이

병목 효과는 가뭄, 홍수, 산불, 질병 등과 같은 자연재해로 개체군의 크기가 급격히 줄어들면서 나타나는 유전적 부동의 한 현상이다. 제시된 자료를 통해 서식지 감소로 인해 큰초원뇌조 개체군이 병목 효과를 겪고 난 후 유전적 다양성이 감소한 것을 알 수 있다.

Ⓐ. Ⓑ(병목 효과)는 Ⓒ(유전적 부동)의 한 현상이다.

Ⓑ. Ⓒ(돌연변이 대립유전자)의 빈도가 증가하여 생장과 번식 능력의 감소를 겪었다고 하였으므로 Ⓓ는 큰초원뇌조의 생존율과 번식률을 감소시켰다.

Ⓒ. I에서 II가 될 때 병목 효과를 겪으면서 유전적 다양성이 감소하였으며, 돌연변이 대립유전자의 빈도가 증가하였다고 하였으므로 I 일 때와 II 일 때 큰초원뇌조 개체군의 유전자풀은 서로 다르다.

### 06 지리적 격리에 의한 종분화

지리적 격리에 의한 종분화 사례이다.

Ⓐ. Ⓑ(해리스영양다람쥐)와 Ⓒ(흰꼬리영양다람쥐)의 속명이 같으므로 같은 과에 속한다.

Ⓑ. 깊은 협곡에 의한 지리적 격리가 있었다.

Ⓒ. Ⓑ(해리스영양다람쥐)와 Ⓒ(흰꼬리영양다람쥐)는 종분화가 일어나 서로 다른 종이 되어 생식적으로 격리되어 있다.

### 07 고리종

자료에는 고리종의 사례로 재갈매기 집단 A~G에 대한 설명이 제시되어 있다.

Ⓐ. 고리종에서 고리의 양쪽 끝에 위치한 두 집단을 제외하고 지리적으로 인접한 두 집단 사이에서는 생식적 격리가 없어 교배를 통한 유전자 흐름이 일어난다. Ⓑ~Ⓒ은 B, C, D를 순서 없이 나타낸 것이므로 Ⓑ과 Ⓒ은 각각 B와 D 중 하나이고, Ⓓ은 C이다.

Ⓓ. 고리의 양쪽 끝에 위치한 두 집단(A와 G)은 서로 인접해 있지만 생식적으로 격리되어 있다.

Ⓔ. 고리종은 종분화를 위한 생식적 격리가 점진적으로 일어날 수 있음을 보여주는 사례이다.

### 08 유전자풀과 대립유전자의 빈도

하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단에서 유전자형 AA, Aa, aa의 빈도는 각각  $p^2$ ,  $2pq$ ,  $q^2$ 이 성립한다. 따라서 I~VII 중 I, IV, VII에서 하디·바인베르크 평형이 유지된다. Aa의 빈도는  $2pq$ 이고, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ은 모두 0.16보다 크므로 이를 만족하는 경우를 표에 완성하면 다음과 같다.

집단	I	II	III	IV	V	VI
AA	Ⓐ(0.49)	0.50	0.44	Ⓑ(0.64)	0.52	Ⓒ(0.36)
Aa	0.42 (2 × 0.7 × 0.3)	0.40	0.52	0.32 (2 × 0.8 × 0.2)	0.36	0.48 (2 × 0.6 × 0.4)
aa	0.09	0.10	0.04	0.04	0.12	0.16
A의 빈도	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6
a의 빈도	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4

- ⓧ I ~ VI 중 a의 빈도가 가장 큰 집단은 VI이다.
- ⓧ  $\frac{Ⅱ, Ⅳ, Ⅴ \text{에서 } a\text{의 빈도의 합}}{Ⅰ, Ⅲ, Ⅵ \text{에서 } A\text{의 빈도의 합}} = \frac{0.3+0.2+0.3}{0.7+0.7+0.6} = \frac{2}{5}$  이다.
- Ⓒ I ~ VI 중 유전자형이 Aa인 개체 수(Aa인 개체의 비율)가 aa인 개체 수(aa인 개체의 비율)의 3배인 집단은 V와 VI으로 2개이다.

## 09 하디 · 바인베르크 법칙

I에서 A\*의 빈도를  $p_1$ , A의 빈도를  $q_1$ , II에서 A\*의 빈도를  $p_2$ , A의 빈도를  $q_2$ 라고 하자. 정상 대립유전자 A\*가 열성이라면 유전자형이 AA인 개체와 AA\*인 개체에서 Ⓡ이 발현되므로, I에서  $\frac{\text{⑦이 발현된 개체 수}}{\text{A의 수}} = \frac{q_1^2 + 2p_1q_1}{2q_1^2 + 2p_1q_1} = \frac{3}{10}$  이므로  $p_1$ 이  $-\frac{2}{5}$  가 나와 제시된 조건을 만족시키지 못한다. 따라서 정상 대립유전자 A\*가 우성이며, I에서  $\frac{\text{⑦이 발현된 개체 수}}{\text{A의 수}} = \frac{q_1^2}{2q_1^2 + 2p_1q_1} = \frac{3}{10}$  이므로  $p_1=0.4$ ,  $q_1=0.6$ 이다. I의 개체 수는  $2N$ , II의 개체 수는  $N$ 이므로 I에서 Ⓡ의 우성 대립유전자 수는  $(2p_1^2 + 2p_1q_1) \times 2N = 4p_1N$ 이다. II에서 Ⓡ의 우성 대립유전자 수는  $(2p_2^2 + 2p_2q_2) \times N = 2p_2N$ 이다. Ⓡ의 우성 대립유전자 수는 I에서가 II에서의 4배이므로  $4p_1N = 2p_2N \times 4$ 이다. 따라서  $p_2=0.2$ ,  $q_2=0.8$ 이다.

ⓧ Ⓡ은 열성 형질이다.

Ⓒ I에서 Ⓡ의 우성 대립유전자 수  $= \frac{(2p_2^2 + 2p_2q_2) \times N}{(2q_1^2 + 2p_1q_1) \times 2N} = \frac{1}{6}$ 이다.

Ⓒ II에서 A\*를 갖는 암컷이 A\*를 갖는 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>에서 Ⓡ이 발현될 확률은  $\frac{2p_2q_2}{p_2^2 + 2p_2q_2} \times \frac{2p_2q_2}{p_2^2 + 2p_2q_2} \times \frac{1}{4} = \frac{16}{81}$ 이다.

## 10 하디 · 바인베르크 법칙

짧은 날개 대립유전자 A\*가 긴 날개 대립유전자 A에 대해 완전 우성다면 I에서 긴 날개를 갖는 임의의 암컷이 자손(F<sub>1</sub>)에게 A를 물려주므로 긴 날개를 갖는 임의의 암컷이 짧은 날개를 갖는 임의의 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>이 짧은 날개

를 가질 확률은 짧은 날개를 갖는 임의의 수컷이 자손에게 A\*를 물려줄 확률과 같다. I에서 A\*의 빈도를  $a$ , A의 빈도를  $b$ 라고

하면  $\frac{a^2 + 2ab \times \frac{1}{2}}{a^2 + 2ab} = \frac{a+b}{a+2b} = \frac{1}{1+b} = \frac{2}{7}$  이므로  $b = \frac{5}{2}$ 인데, 이는 대립유전자의 빈도가 1보다 클 수 없으므로 제시된 조건을 만족시키지 못한다. 따라서 A가 A\*에 대해 완전 우성이다. 긴 날개를 갖는 임의의 암컷이 짧은 날개를 갖는 임의의 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>이 짧은 날개를 가질 확률은 긴 날개를 갖는 임의의 암컷이 자손에게 A\*를 물려줄 확률과 같다.

$\frac{2ab \times \frac{1}{2}}{b^2 + 2ab} = \frac{2}{7}$  이므로  $a = \frac{2}{5}$ ,  $b = \frac{3}{5}$ 이다.

I에서 회색 몸 대립유전자 B의 빈도를  $c$ , 검은색 몸 대립유전자 B\*의 빈도를  $d$ 라고 하자. 회색 몸 대립유전자가 검은색 몸 대립유전자에 대해 완전 우성이고 검은색 몸 암컷의 개체 수가  $\frac{8}{25}N$  이므로  $d^2 = \frac{16}{25}$ 이다. 따라서  $c$ 는  $\frac{1}{5}$ ,  $d$ 는  $\frac{4}{5}$ 이다.

날개 길이와 몸 색을 결정하는 유전자는 서로 다른 상염색체에 존재하므로 독립의 법칙에 따라 유전된다.

Ⓐ I에서  $\frac{\text{긴 날개 개체 수}}{\text{A의 수}} = \frac{b^2 + 2ab}{2b^2 + 2ab} = \frac{b(b+2a)}{2b(b+a)} = \frac{1+a}{2} = \frac{7}{10}$ 이다.

Ⓒ I에서  $\frac{B^*\text{의 빈도}}{B\text{의 빈도}} = \frac{0.8}{0.2} = 4$ 이다.

Ⓒ I에서 짧은 날개(A\*A\*), 검은색 몸(B\*B\*)인 임의의 암컷이 A와 B를 모두 갖는 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>이 짧은 날개, 검은색 몸을 갖기 위해서는 수컷의 날개 길이와 몸 색에 대한 유전자형이 각각 AA\*, BB\*이어야 한다. 따라서 F<sub>1</sub>이 짧은 날개, 검은색 몸을 가질 확률은

$\left(\frac{2ab}{b^2 + 2ab} \times \frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{2cd}{c^2 + 2cd} \times \frac{1}{2}\right) = \frac{a}{1+a} \times \frac{d}{1+d} = \frac{2}{7} \times \frac{4}{9} = \frac{8}{63}$ 이다.

## 11 하디 · 바인베르크 법칙

I에서 Ⓡ 발현 대립유전자 A의 빈도를  $p$ , 정상 대립유전자 a의 빈도를  $q$ , II에서 Ⓢ 발현 대립유전자 B의 빈도를  $p'$ , 정상 대립유전자 b의 빈도를  $q'$ 이라 하자. I에서 Ⓡ이 발현되지 않은 개체 수  $= \frac{q^2}{p^2 + 2pq} = \frac{4}{21}$ 이다.

$21q^2 = 4p^2 + 8pq = 4p(p+2q) = 4p(1+q) = 4(1-q)(1+q) = 4(1-q^2)$

$25q^2 = 4$ 이므로  $q = 0.4$ 이고,  $p = 0.6$ 이다. I에서 A의 빈도와 II에서 B의 빈도는 같으므로  $p' = 0.6$ ,  $q' = 0.4$ 이다.

ⓧ II에서 b의 수  $= \frac{(2q'^2 + 2p'q') \times 3N}{(2p'^2 + 2p'q') \times 2N} = 1$ 이다.

$$\textcircled{Q} \frac{\text{II에서 } \textcircled{O} \text{이 발현되지 않은 개체 수}}{\text{I에서 } \textcircled{O} \text{이 발현된 개체 수}} = \frac{0.4^2 \times 3N}{(1-0.4^2) \times 2N} = \frac{2}{7} \text{이다.}$$

☒ II에서 B를 갖는 임의의 암컷이 B를 갖는 임의의 수컷과 교배하여 자손(F<sub>1</sub>)을 낳을 때, 이 F<sub>1</sub>에서  $\textcircled{O}$ 이 발현되지 않을 확률은  $\frac{2p'q'}{p'^2+2p'q'} \times \frac{2p'q'}{p'^2+2p'q'} \times \frac{1}{4} = \frac{q'}{1+q'} \times \frac{q'}{1+q'} = \frac{4}{49}$ 이다.

## 12 하디·바인베르크 법칙

⑤ 하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단인 I에서 A의 빈도를  $a$ , A<sup>\*</sup>의 빈도를  $b$ , B의 빈도를  $c$ , B<sup>\*</sup>의 빈도를  $d$ 라고 하자. II에서 A의 빈도를  $e$ , A<sup>\*</sup>의 빈도를  $f$ , B의 빈도를  $g$ , B<sup>\*</sup>의 빈도를  $h$ 라고 하자.

대립유전자 A<sup>\*</sup>가 열성이라면 유전자형이 AA인 개체와 AA<sup>\*</sup>인 개체에서 (가)가 발현되므로, I에서  $\frac{\text{(가)가 발현된 개체 수}}{A\text{의 수}} =$

$$\frac{a^2+2ab}{2a^2+2ab} = \frac{1}{5}$$
이므로  $b$ 가  $-\frac{3}{5}$ 이 나와 성립하지 않는다. 따라서 정상 대립유전자 A<sup>\*</sup>가 (가) 발현 대립유전자에 대해 우성이며, I에서  $\frac{\text{(가)가 발현된 개체 수}}{A\text{의 수}} = \frac{a^2}{2a^2+2ab} = \frac{1}{5}$ 이므로  $a=0.4$ ,  $b=0.6$ 이다. I에서 A의 빈도와 II에서 B의 빈도는 같다고 하였으므로  $g=0.4$ ,  $h=0.6$ 이다. 하디·바인베르크 평형이 유지되는 I에서  $\frac{B^*\text{를 가진 개체 수}}{B\text{를 가진 개체 수}} = \frac{d^2+2cd}{c^2+2cd} = \frac{1-c^2}{1-d^2} = 1$ 이므로  $c$ 와  $d$ 가 각각  $0.5\left(\frac{1}{2}\right)$ 이다. 지금까지 알게 된 내용을 정리하면 표와 같다.

구분	I	II		
대립유전자 의 빈도	$A(a)=0.4$ $B(c)=0.5$	$A^*(b)=0.6$ $B^*(d)=0.5$	$A(e)=?$ $B(g)=0.4$	$A^*(f)=?$ $B^*(h)=0.6$

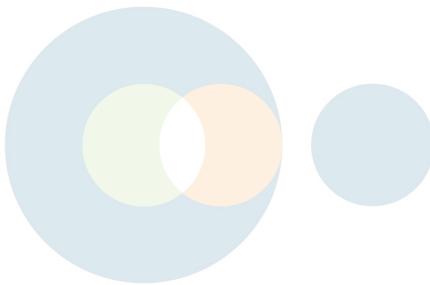
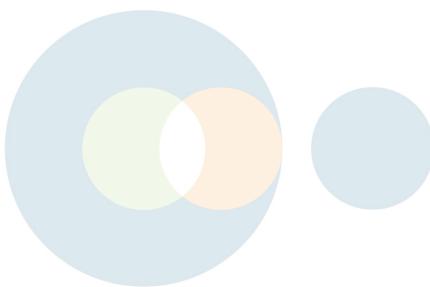
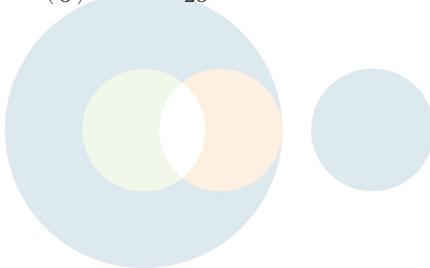
II에서 (가)가 발현되지 않은 개체 수 =  $\frac{(1-e^2) \times ?N}{d^2 \times ?N} = \frac{54}{25}$  인 조건을 만족하기 위해서 다음의 경우를 따져 보아야 한다.

I의 개체 수가 2N이고 II의 개체 수가 3N일 때, II에서 (가)가 발현되지 않은 개체의 비율이 (1-(가)가 발현된 개체의 비율) =  $(1-e^2)$ 인 경우,  $\frac{(1-e^2) \times 3N}{0.25 \times 2N} = 6(1-e^2) = \frac{54}{25}$ 이므로  $e=0.8$ ,  $f=0.2$ 가 된다.

반대로, I의 개체 수가 3N이고 II의 개체 수가 2N일 때, II에서 (가)가 발현되지 않은 개체의 비율이 (1-(가)가 발현된 개체의 비율) =  $(1-e^2)$ 인 경우,

$$\frac{(1-e^2) \times 2N}{0.25 \times 3N} = \frac{8(1-e^2)}{3} = \frac{54}{25}$$
이므로  $e^2 = \frac{19}{100}$ 가 된다. 따라서

$e = \frac{\sqrt{19}}{10}$ 이고,  $f = 1 - \frac{\sqrt{19}}{10}$ 가 된다. 이때 하디·바인베르크 평형을 유지하는 집단이 되려면  $e+f=1$ ,  $e^2+2ef+f^2=1$ 인 조건을 만족해야 하는데, 이 경우에는 만족하지 못한다. 따라서 I의 개체 수가 2N이고 II의 개체 수가 3N이다. II에서 (가)가 발현된 개체 수는  $\left(\frac{4}{5}\right)^2 \times 3N = \frac{48}{25}N$ 이다.



## 12 생명 공학 기술과 인간 생활

### 수능 2점 테스트

본문 183~184쪽

- 01 ①    02 ③    03 ⑤    04 ⑥    05 ③    06 ④  
07 ③    08 ④

### 01 줄기세포

(가)는 배아 줄기세포, (나)는 유도 만능 줄기세포(여분화 줄기세포), (다)는 성체 줄기세포이다.

Ⓐ. (가)는 배반포에서 세포를 추출하여 만든 줄기세포이므로 배아 줄기세포이다.

✗. (나)는 체세포의 여분화를 통해 만든 줄기세포이므로 유도 만능 줄기세포(여분화 줄기세포)이다. 줄기세포는 미분화된 세포로 다양한 세포로 분화할 수 있다.

✗. (다)는 골수에서 세포를 추출하여 만든 줄기세포로 성체 줄기세포이다. (다)는 적혈구 외에 다양한 혈구 세포로 분화할 수 있다.

### 02 유전자 변형 생물체(LMO)

Ⓐ. 유전자 변형 생물체(LMO)는 생명 공학 기술을 이용하여 만들어진 새로운 조합의 유전 물질을 가진 생물체로 해충 저항성 식물, 빠르게 생장하는 슈퍼 연어, 장기 이식용 돼지 등이 있다.

Ⓑ. 기름을 분해하는 세균은 환경 오염 문제 해결에 이용될 수 있다.

✗. 단일 품종의 유전자 변형 생물체(LMO)를 재배하는 것은 생물 다양성 감소의 원인이 될 수 있다.

### 03 유전자 재조합 기술

유전자 재조합 기술에 이용되는 효소에는 DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 자르는 제한 효소, 잘린 DNA의 말단끼리 이어주는 DNA 연결 효소가 있다.

Ⓐ. 플라스미드(운반체)와 유용한 유전자를 선별적으로 잘라주는 ⑦은 제한 효소이다.

Ⓐ. 과정 I은 잘린 플라스미드와 유용한 유전자를 연결하여 재조합 DNA를 생성하는 과정으로, 과정 I에서는 DNA를 연결해주는 DNA 연결 효소가 사용된다.

Ⓐ. 유용한 단백질을 생산하는 형질 전환 대장균 A를 만드는 과정에서 사용된 생명 공학 기술은 유전자 재조합 기술이다.

### 04 생명 공학 기술

(가)는 핵치환 기술, (나)는 세포 융합 기술이다.

Ⓐ. 한 세포에서 핵을 꺼내어 핵을 제거한 난자에 이식하는 기술

은 핵치환 기술이다. 따라서 (가)는 핵치환 기술이고, (나)는 세포 융합 기술이다.

Ⓐ. 복제 동물의 성별은 핵을 제공한 양 B와 같다.

Ⓐ. Ⓟ(무의 뿌리와 배추의 잎을 모두 갖는 식물) 생성 과정에서는 무의 세포와 배추의 세포를 융합시킨 잡종 세포를 배양액이나 영양 배지에서 증식시키는 과정이 필요하다. 따라서 Ⓟ(무의 뿌리와 배추의 잎을 모두 갖는 식물) 생성 과정에서 조직 배양 기술이 사용된다.

### 05 단일 클론 항체

㉠은 암세포, ㉡은 B 림프구이고, 과정 I에 세포 융합 기술이 이용된다.

Ⓐ. 골수암 세포를 배양하여 얻은 ㉠은 암세포이고, 쥐에 유방암 세포를 주입하여 얻은 ㉡은 B 림프구이다. Ⓟ(암세포)은 반영구적으로 분열하고, Ⓡ(B 림프구)은 항체 생산 능력을 갖는다.

✗. 과정 I에서 Ⓟ(암세포)과 Ⓡ(B 림프구)을 융합하여 잡종 세포를 생성하는 세포 융합 기술이 사용된다.

Ⓐ. Ⓟ(항체-항암제 복합체)의 항체는 쥐에 ⓐ(유방암 세포)를 주입하여 활성화된 B 림프구로부터 유래한 항체이므로 Ⓟ(항체-항암제 복합체)는 Ⓛ(유방암 세포)에 결합할 수 있다.

### 06 유전자 치료

유전자 치료는 유전적으로 결함이 있는 사람에게 정상 유전자를 넣어 이상이 있는 유전자를 대체하거나 정상 단백질이 합성되게 함으로써 질병을 치료하는 방법이다.

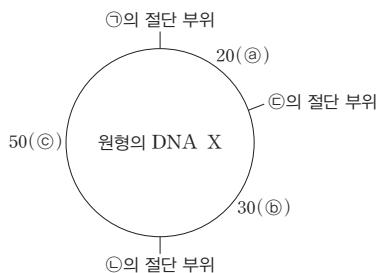
✗. 핵치환 기술은 한 세포에서 핵을 꺼내어 핵을 제거한 난자에 이식하는 기술이다. 유전자 치료 과정에서 핵치환 기술은 사용되지 않았다.

Ⓐ. Ⓟ(바이러스)은 Ⓛ(정상 유전자)을 갖는 재조합 DNA를 환자의 체세포로 옮기는 운반체 역할을 한다.

Ⓐ. Ⓛ(교정된 체세포)에는 Ⓛ(정상 유전자)이 있다.

### 07 제한 효소

ⓐ에 의해 생성된 DNA 조각 수가 1개이므로 X는 원형 DNA이고, 길이는 100이다. X에 Ⓛ과 Ⓜ을 동시에 처리하면 생성된 DNA 조각 수가 2개이고, 길이는 Ⓛ로 같으므로 Ⓛ는 50이다. X에 Ⓛ과 Ⓝ을 동시에 처리하면 생성되는 조각 수는 2개이고, 생성된 DNA 조각 길이의 합이 Ⓛ+80=100이므로 Ⓛ는 20이다. 따라서 X에 있는 Ⓛ~Ⓝ의 제한 자리는 다음과 같다.



X에 ⑦+⑨+◎을 처리하면 생성된 DNA 조각 수는 3개이고, 길이는 20, 30, 50이므로 ⑨는 30이다.

㉠ X는 원형 DNA이다.

☒ X에서 ⑦의 절단 위치는 1곳이다.

㉡ ⑦는 20, ⑨는 30, ◎는 50이다.

## 08 조직 배양

조직 배양 기술을 이용하면 유전 정보가 같은 식물을 대량 생산할 수 있다.

☒ 캘러스는 미분화된 세포 덩어리로 다양한 기관으로 분화할 수 있다.

㉡ 배로부터 어린 식물이 되는 과정 I에서는 체세포 분열이 일어난다.

㉢ B는 A의 뿌리로부터 조직 배양 기술을 이용하여 생성된 개체로 A와 동일한 유전 정보를 갖는다.

### 수능 3점 테스트

본문 185~192쪽

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

## 01 제한 효소

x는 서로 상보적인 가닥으로 이루어진 DNA이므로, 제시된 염기 서열을 통해 나머지 한 가닥의 염기 서열을 알 수 있다. DNA의 염기 서열과 제한 효소 Eag I, Hae III, Nru I, Pvu I에 의해 절단되는 위치는 그림과 같다.



☒ I에서 ◎에 의해 생성된 DNA 조각 수가 3개이므로 x에서 ◎이 인식하여 절단할 수 있는 절단 위치는 2곳이고, ◎은 Hae III이다. II의 결과 ◎은 Eag I임을 알 수 있고, III과 IV의 결과 ◎은 Pvu I임을 알 수 있다. 나머지 ◎은 Nru I이다.

㉡ x에서 ◎(Eag I)이 인식할 수 있는 절단 위치는 1곳이고, ◎(Nru I)이 인식할 수 있는 절단 위치도 1곳이므로 IV에서 ◎(Eag I)과 ◎(Nru I)에 의해 생성된 DNA 조각 수는 3이고, 각 조각의 염기 수는 16, 18, 48이다. ⑧는 ⑥보다 작으므로 ⑧는 16이고, ⑥는 18이다.

㉢ x에서 ◎(Hae III)이 인식할 수 있는 절단 위치는 2곳이다.

## 02 핵치환과 줄기세포

I은 골수로부터 얻은 성체 줄기세포, II는 체세포의 역분화를 통해 얻은 유도 만능 줄기세포(역분화 줄기세포)이고, III은 배반포의 내세포 덩어리로부터 얻은 배아 줄기세포이다.

☒ I은 성체 줄기세포이고, III은 배아 줄기세포이다.

㉡ ◎은 체세포의 핵( $2n$ )이고, ◎은 생식세포인 난자의 핵( $n$ )으로 DNA 양은 서로 다르다.

㉢ 유도 만능 줄기세포(역분화 줄기세포)(II)는 자신의 세포로부터 유래하였으므로 면역 거부 반응이 없고 사람의 난자나 배아를 사용하지 않아 배아 줄기세포(III)보다 생명 윤리 문제가 작다.

## 03 핵치환

핵치환 기술을 통해 복제 동물을 만들 수 있다.

☒ C에서 미토콘드리아 DNA의 유전 정보는 핵을 제공한 A가 아닌 난자를 제공한 B에서와 같다. A는 핵을 제공한 동물로 A의 핵 DNA 유전 정보는 C의 핵 DNA 유전 정보와 같다.

㉡ ◎은 배아 줄기세포로 다양한 종류의 세포로 분화할 수 있다.

☒ ◎에서 일어나는 분열은 체세포 분열이다.

## 04 유전자 재조합

Z와 앰피실린이 첨가된 배지에서 생존할 수 있는 대장균은 II, III, IV이다. 표에서 Z와 앰피실린이 첨가된 배지에서 생존한 ◎, ◎, ◎은 각각 II, III, IV 중 하나이고, 나머지 ◎은 I이다. Z와 앰피실린이 첨가된 배지에서 II, III, IV 중 II의 군체만 젖당 분해효소 유전자가 발현되어 군체색을 푸른색으로 변화시키므로 ◎은 II이고, II의 군체색만 ◎이므로 ◎는 푸른색, ◎는 흰색이다. ◎은 앰피실린과 테트라사이클린이 첨가된 배지에서 모두 생존 가능하므로 ◎은 III이고, 나머지 ◎은 IV이다.

구분		◎(III)	◎(I)	◎(II)	◎(IV)
Z와 앰피실린이 첨가된 배지	군체 형성 여부	○	×	○	○
	군체색	◎(흰)	?	◎(푸)	◎(흰)
Z와 테트라사이클린이 첨가된 배지	군체 형성 여부	○	×	○	×
	군체색	◎(흰)	?	◎(푸)	?

(○: 형성함, ×: 형성 안 함)

- Ⓐ Ⓛ은 Ⅲ, Ⓜ은 I, Ⓝ은 Ⅱ, Ⓞ은 Ⅳ이다.  
 Ⓑ Ⓛ은 흰색, Ⓜ는 푸른색이다.  
 ✕ Ⓛ(I)은 재조합 플라스미드를 갖지 않는다.

## 05 단일 클론 항체

Ⓐ은 항체 생산 능력이 없으므로 암세포이고, Ⓛ은 잡종 세포 전의 세포로 항체 생산 능력을 갖고 세포의 수명이 수 일인 B 림프구이다. Ⓝ은 항체 생산 능력을 갖고 수명이 반영구적인 잡종 세포이다.

- Ⓐ Ⓛ은 암세포, Ⓛ은 B 림프구, Ⓝ은 잡종 세포이다.  
 Ⓑ 과정 I에서 원하는 항체를 생산하는 잡종 세포만 선별하여 배양한다.  
 Ⓒ Ⓛ(항암제가 부착된 항체)의 생산 과정에서 사용된 생명 공학 기술은 서로 다른 종류의 세포를 융합한 세포 융합 기술과 세포를 배양하는 세포 배양 기술이다.

## 06 유전자 치료

Ⓐ(정상 유전자)이 환자의 체내에서 발현되면 환자가 치료될 수 있다.

- ✕ Ⓛ(재조합 DNA)을 갖는 세포를 환자 A의 골수에 주입했으므로 완치된 환자 A의 생식세포에는 Ⓛ이 없다.  
 Ⓑ Ⓛ의 생성에는 제한 효소를 이용한 DNA 절단과 DNA 연결 효소를 이용한 DNA 연결이 일어나는 유전자 재조합 기술이 사용되었다.  
 ✕ 체세포 Ⓛ를 배양하여 환자의 골수에 주입했으므로 Ⓛ는 분화가 완료되지 않아 세포 분열이 가능한 세포이다.

## 07 조직 배양과 유전자 재조합

(가)는 조직 배양 기술을 이용한 당근 생산 과정이고, (나)는 형질 전환 당근을 생산하는 과정이다.

- Ⓐ (가)는 조직 배양 기술을 통해 당근 A의 뿌리로부터 당근 B를 생산하는 과정으로 A와 B의 유전 정보는 같다.  
 ✕ (나)의 과정 I에는 DNA를 절단하는 제한 효소가 사용되었고, 과정 II에는 DNA를 연결하는 DNA 연결 효소가 사용되었다.  
 Ⓑ (가)와 (나)에서는 모두 배지에서 세포를 배양하여 당근을 얻는 과정이 포함되어 있다. 이때 사용된 기술은 조직 배양 기술이므로 (가)와 (나)에서 모두 조직 배양 기술이 사용되었다.

## 08 단일 클론 항체

- (가)는 세포 융합 기술을 이용한 단일 클론 항체 생성 과정이고, (나)는 유전자 재조합 기술을 이용한 단일 클론 항체 생성 과정이다.  
 Ⓑ Ⓛ은 항원 X에 대한 항체로 X에 결합할 수 있는 부위를 갖는다.  
 Ⓒ B 림프구에서 항체 유전자를 분리하여 재조합된 바이러스를

만드는 과정에서 유전자 재조합 기술이 사용되었다.

- Ⓒ Ⓛ(잡종 세포)는 항체 유전자를 갖고 항체를 생산할 수 있다. Ⓛ(재조합된 바이러스)는 항체 유전자를 세균에 옮겨주는 역할을 한다. 따라서 Ⓛ(잡종 세포)와 Ⓛ(재조합된 바이러스)에는 모두 항체를 암호화하는 유전자가 있다.

## 09 제한 효소

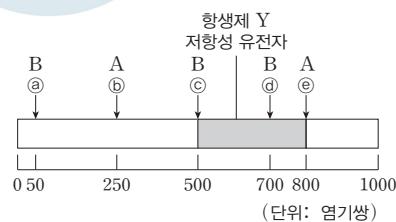
Bgl II와 Sma I에 의해 생성된 DNA 조각 수가 각각 2개이므로 x에서 Bgl II와 Sma I의 절단 위치는 각각 1곳이다. Sma I의 절단 위치의 염기 서열은 5'-CCCGGG-3'이고 x에서 같은 종류의 염기가 연속 3개 있는 곳은 5'-ⓐⓑⓒⓓⓓⓓ-3'이므로 Ⓛ은 C, Ⓛ은 G이다. x에서 Bgl II의 절단 위치는 5'-ⓐⓑⓐⓐⓐ-3'(5'-ⓐGⓐCⓐCⓐ-3')이므로 Ⓛ은 A, Ⓛ은 T이다.



- Ⓐ Ⓛ은 T, Ⓛ은 G, Ⓛ은 A, Ⓛ은 C이다.  
 Ⓑ x는 Sma I에 의해 잘려 염기 수가 각각 12개와 48개인 DNA 조각이 생성되므로 Ⓛ는 12, Ⓛ는 48이고,  $\frac{ⓐ}{ⓑ} = \frac{12}{48} = \frac{1}{4}$ 이다.  
 Ⓒ Ⅲ에서 생성된 DNA 조각 중 염기의 수가 18인 조각은 5'-TGAATCA-3'과 3'-ACTTAGTCTAG-5'의 염기 서열을 갖는다. 이 DNA 조각에서 Ⓛ(G)의 개수는 3개이다.

## 10 유전자 재조합

X를 A로 절단하면 3개의 DNA 조각이 생기므로 X에서 A의 절단 위치는 2곳이고, 나머지 3곳은 B의 절단 위치이다. P<sub>1</sub>에 삽입된 X 조각의 크기는 550 염기쌍이므로 Ⓛ와 Ⓛ는 같은 제한 효소의 절단 위치이고, Ⓛ와 Ⓛ는 Ⓛ와 Ⓛ를 자른 제한 효소와는 다른 제한 효소의 절단 위치이다. 만약 Ⓛ와 Ⓛ를 자른 제한 효소가 Ⓛ 또는 Ⓛ를 자른다면 550 염기쌍을 갖는 DNA 조각이 생성될 수 없다. P<sub>2</sub>에 삽입된 X 조각의 크기는 450 염기쌍이므로 Ⓛ와 Ⓛ가 잘리거나 Ⓛ와 Ⓛ가 잘려야 하는데 Ⓛ와 Ⓛ는 서로 다른 제한 효소의 절단 위치이므로 Ⓛ와 Ⓛ가 같은 제한 효소의 절단 위치이다. 따라서 A의 절단 위치는 Ⓛ와 Ⓛ이고, B의 절단 위치는 Ⓛ, Ⓛ, Ⓛ이다.



$P_1$ 에는 X가 A에 의해 잘린 DNA 조각이 있고, 이 DNA 조각에는 항생제 Y 저항성 유전자가 있다.  $P_2$ 에는 X가 B에 의해 잘린 DNA 조각이 있고, 이 DNA 조각에는 항생제 Y 저항성 유전자가 없다.  $P_1$ 을 갖는 I은 항생제 Y 첨가 배지에서 군체를 형성하므로 ⑦은 I의 군체이다. ⑧은 카나마이신 첨가 배지에서는 군체를 형성하지 못하므로 P에서 A의 절단 위치는 앰피실린 저항성 유전자에 있다. ⑨은 Ⅲ의 군체이다.

⑩ ⑪는 I의 군체이고, ⑫는 Ⅲ의 군체이다.

Ⓐ X에서 A의 절단 위치는 ⑬, ⑭이고, B의 절단 위치는 ⑮, ⑯, ⑰이다.

Ⓑ P에서 A의 절단 위치는 앰피실린 저항성 유전자에 있다.

## 11 유전자 재조합

ⓐ(가위)는 제한 효소, 셀로판테이프는 DNA 연결 효소 역할을 한다.

Ⓒ 플라스미드 DNA 모형에 EcoR I의 절단 위치가 있으므로 (다)의 결과 플라스미드 DNA 모형의 특정 부분이 잘린다.

☒. ⓑ(가위)는 DNA를 자르므로 유전자 재조합에서 제한 효소의 역할을, 셀로판테이프는 DNA를 연결하므로 유전자 재조합에서 DNA 연결 효소의 역할을 한다.

☒. ⓒ(재조합 DNA)에서 EcoR I이 인식하는 절단 위치는 최소 2곳이다.

## 01 생명 과학의 역사

### 수능 2점 테스트

01 ⑤ 02 ③ 03 ⑤ 04 ②

### 수능 3점 테스트

01 ⑤ 02 ⑤

본문 8쪽

## 03 세포막과 효소

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

본문 34~37쪽

본문 38~41쪽

## 02 세포의 특성

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

본문 18~20쪽

본문 21~25쪽

## 04 세포 호흡과 발효

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

본문 50~53쪽

본문 54~59쪽

## 05 광합성

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

## 07 유전자 발현

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

## 06 유전 물질

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

## 08 유전자 발현의 조절

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

## 09 생명의 기원

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

## 11 생물의 진화

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

## 10 생물의 분류와 다양성

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

## 12 생명 공학 기술과 인간 생활

### 수능 2점 테스트

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

### 수능 3점 테스트

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

# ● 고1~2, 내신 중점

구분	고교 입문	>	기초	>	기본	>	특화	+	단기		
국어	고등예비 과정	내 등급은?	윤혜정의 개념의 나비효과 입문 편 + 워크북	기본서 올림포스	—	국어 특화 국어 독해의 원리	국어 문법의 원리	단기 특강			
			어휘가 독해다! 수능 국어 어휘								
			정승익의 수능 개념 잡는 대박구문	올림포스 전국연합 학력평가 기출문제집	—	영어 특화 Grammar POWER Reading POWER	Listening POWER Voca POWER				
			주혜연의 해석공식 논리 구조편								
			기초 50일 수학 + 기출 워크북			유형서 올림포스 유형편	영어 특화 고급영어독해				
수학			매쓰 디렉터의 고1 수학 개념 끝장내기			수학 특화 수학의 왕도					
한국사 사회				기본서 개념완성	고등학생을 위한 多담은 한국사 연표						
과학			50일 과학	개념완성 문항편	인공지능 수학과 함께하는 고교 AI 입문 수학과 함께하는 AI 기초						

과목	시리즈명	특징	난이도	권장 학년
전 과목	고등예비과정	예비 고등학생을 위한 과목별 단기 완성	■■■■■	예비 고1
국/영/수	내 등급은?	고1 첫 학력평가 + 반 배치고사 대비 모의고사	■■■■■	예비 고1
	올림포스	내신과 수능 대비 EBS 대표 국어·수학·영어 기본서	■■■■■	고1~2
	올림포스 전국연합학력평가 기출문제집	전국연합학력평가 문제 + 개념 기본서	■■■■■	고1~2
한/사/과	단기 특강	단기간에 끝내는 유형별 문항 연습	■■■■■	고1~2
	개념완성&개념완성 문항편	개념 한 권 + 문항 한 권으로 끝내는 한국사·탐구 기본서	■■■■■	고1~2
	윤혜정의 개념의 나비효과 입문 편 + 워크북	윤혜정 선생님과 함께 시작하는 국어 공부의 첫걸음	■■■■■	예비 고1~고2
국어	어휘가 독해다! 수능 국어 어휘	학평·모평·수능 출제 필수 어휘 학습	■■■■■	예비 고1~고2
	국어 독해의 원리	내신과 수능 대비 문학·독서(비문학) 특화서	■■■■■	고1~2
	국어 문법의 원리	필수 개념과 필수 문항의 언어(문법) 특화서	■■■■■	고1~2
	정승익의 수능 개념 잡는 대박구문	정승익 선생님과 CODE로 이해하는 영어 구문	■■■■■	예비 고1~고2
영어	주혜연의 해석공식 논리 구조편	주혜연 선생님과 함께하는 유형별 지문 독해	■■■■■	예비 고1~고2
	Grammar POWER	구문 분석 트리로 이해하는 영어 문법 특화서	■■■■■	고1~2
	Reading POWER	수준과 학습 목적에 따라 선택하는 영어 독해 특화서	■■■■■	고1~2
	Listening POWER	유형 연습과 모의고사·수행평가 대비 올인원 듣기 특화서	■■■■■	고1~2
	Voca POWER	영어 교육과정 필수 어휘와 어원별 어휘 학습	■■■■■	고1~2
	고급영어독해	영어 독해력을 높이는 영미 문학/비문학 읽기	■■■■■	고2~3
수학	50일 수학 + 기출 워크북	50일 만에 완성하는 초·중·고 수학의 맥	■■■■■	예비 고1~고2
	매쓰 디렉터의 고1 수학 개념 끝장내기	스타강사 강의, 손글씨 풀이와 함께 고1 수학 개념 정복	■■■■■	예비 고1~고1
	올림포스 유형편	유형별 반복 학습을 통해 실력 잡는 수학 유형서	■■■■■	고1~2
	올림포스 고난도	1등급을 위한 고난도 유형 집중 연습	■■■■■	고1~2
	수학의 왕도	직관적 개념 설명과 세분화된 문항 수록 수학 특화서	■■■■■	고1~2
한국사	고등학생을 위한 多담은 한국사 연표	연표로 흐름을 잡는 한국사 학습	■■■■■	예비 고1~고2
과학	50일 과학	50일 만에 통합과학의 핵심 개념 완벽 이해	■■■■■	예비 고1~고1
기타	수학과 함께하는 고교 AI 입문/AI 기초	파이선 프로그래밍, AI 알고리즘에 필요한 수학 개념 학습	■■■■■	예비 고1~고2

# ● 고2~N수, 수능 집중

구분	수능 입문	> 기출/연습	>	연계 + 연계 보완	>	고난도	>	모의고사
국어	윤혜정의 개념/패턴의 나비효과		윤혜정의 기출의 나비효과	수능특강 문학 연계 기출	수능특강 사용설명서	하루 3개 1등급 국어독서		FINAL 실전모의고사
영어	기본서 수능 빌드업	수능 특강 Light	수능 기출의 미래	수능연계교재의 VOCA 1800 수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200	수능완성 사용설명서 수능 영어 간접연계 서치라이트	하루 6개 1등급 영어독해		만점마무리 봉투모의고사 시즌1
수학	수능 감(感)잡기	수능 개념	수능 기출의 미래 미니모의고사	수능연계교재 수능특강 수능완성	수능연계완성 3주 특강			만점마무리 봉투모의고사 시즌2
한국사 사회	수능 스타트		수능특강Q 미니모의고사	eBook 전용 수능완성R 모의고사   수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴			만점마무리 봉투모의고사 고난도 Hyper
과학								수능 직전보강 클리어 봉투모의고사

구분	시리즈명	특징	난이도	영역
수능 입문	윤혜정의 개념/패턴의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 수능 국어 개념/패턴 학습	●	국어
	수능 빌드업	개념부터 문항까지 한 권으로 시작하는 수능 특화 기본서	●	국/수/영
	수능 스타트	2028학년도 수능 예시 문항 분석과 문항 연습	●	사/과
	수능 감(感) 잡기	동일 소재·유형의 내신과 수능 문항 비교로 수능 입문	●	국/수/영
	수능특강 Light	수능 연계교재 학습 전 가볍게 시작하는 수능 도전	●	영어
	수능개념	EBSi 대표 강사들과 함께하는 수능 개념 다지기	●	전 영역
기출/연습	윤혜정의 기출의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 까다로운 국어 기출 완전 정복	●	국어
	수능 기출의 미래	올해 수능에 딱 필요한 문제만 선별한 기출문제집	●	전 영역
	수능 기출의 미래 미니모의고사	부담 없는 실전 훈련을 위한 기출 미니모의고사	●	국/수/영
	수능특강Q 미니모의고사	매일 15분 연계교재 우수문항 풀이 미니모의고사	●	국/수/영/사/과
	수능완성R 모의고사	과년도 수능 연계교재 수능완성 실전편 수록	●	수학
연계 + 연계 보완	수능특강	최신 수능 경향과 기출 유형을 반영한 종합 개념 학습	●	전 영역
	수능특강 사용설명서	수능 연계교재 수능특강의 국어·영어 지문 분석	●	국/영
	수능특강 문학 연계 기출	수능특강 수록 작품과 연관된 기출문제 학습	●	국어
	수능완성	유형·테마 학습 후 실전 모의고사로 문항 연습	●	전 영역
	수능완성 사용설명서	수능 연계교재 수능완성의 국어·영어 지문 분석	●	국/영
	수능 영어 간접연계 서치라이트	출제 가능성이 높은 핵심 간접연계 대비	●	영어
	수능연계교재의 VOCA 1800	수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록	●	영어
	수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200	수능 - EBS 연계와 평가원 최다 빈출 어휘 선별 수록	●	영어
고난도	하루 N개 1등급 국어독서/영어독해	매일 꾸준한 기출문제 학습으로 완성하는 1등급 실력	●	국/영
	수능연계완성 3주 특강	단기간에 끝내는 수능 1등급 변별 문항 대비	●	국/수/영
	박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴	박봄 선생님과 사회·문화 표 분석 문항의 패턴 연습	●	사회탐구
	수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	EBSi 선생님이 직접 선별한 고변별 문항 연습	●	수/영
모의고사	FINAL 실전모의고사	EBS 모의고사 중 최다 분량 최다 과목 모의고사	●	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 시즌1/시즌2	실제 시험지 형태와 OMR 카드로 실전 연습 모의고사	●	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 고난도 Hyper	고난도 문항까지 국·수·영 논스톱 훈련 모의고사	●	국·수·영
	수능 직전보강 클리어 봉투모의고사	수능 직전 성적을 끌어올리는 마지막 모의고사	●	국/수/영/사/과

**memo**