

와자

정답친해



생물의 유전

유전자와 유전물질

1 사람의 유전과 유전병

01 / 사람의 유전

개념 확인 문제

13쪽

- ① 대립유전자 ② 염색체 ③ 우성 ④ 분리의 법칙
⑤ 독립의 법칙 ⑥ 가계도 ⑦ 쌍둥이

1 ㉠ a, ㉡ B, ㉢ B 2 (1) Yy (2) ㉠ YY : Yy : yy = 1 : 2 : 1,
㉡ 노란색 완두 : 초록색 완두 = 3 : 1 3 (1) ㉠ RrYy, ㉡ RY,
Ry, rY, ry (2) 둥근 완두 : 주름진 완두 = 3 : 1 (3) 노란색 완두 :
초록색 완두 = 3 : 1 4 (1) ㉡ (2) ㉢

1 하나의 염색체를 구성하는 두 염색분체는 유전자 구성이 같고, 상동염색체의 같은 위치에는 대립유전자가 있다. 따라서 ㉠은 A와 대립유전자인 a, ㉡은 b와 대립유전자인 B, ㉢은 ㉡과 같은 B이다.

2 (1) P의 유전자형은 각각 YY, yy이므로 F₁의 유전자형은 Yy이다.
(2) Yy × Yy → YY, Yy, Yy, yy이므로 F₁을 자가수분하여 얻은 F₂에서 유전자형의 분리비는 YY : Yy : yy = 1 : 2 : 1이고, 표현형의 분리비는 노란색 완두 : 초록색 완두 = 3 : 1이다.

3 (1) P의 유전자형은 각각 RRYy, rryy이므로 F₁인 (가)의 유전자형은 RrYy이다. (가)에서 만들어지는 생식세포의 유전자 구성은 RY, Ry, rY, ry의 4가지이다.
(2) F₂에서 둥근 완두 : 주름진 완두 = 12 : 4 = 3 : 1이다.
(3) F₂에서 노란색 완두 : 초록색 완두 = 12 : 4 = 3 : 1이다.

4 (1) 쌍둥이 연구는 일란성쌍둥이와 이란성쌍둥이의 형질 차이를 연구하여 형질 발현에 유전자와 환경이 미치는 영향을 연구하는 것이다. 따라서 형질 발현에 유전자와 환경이 미치는 영향을 알아보기에는 쌍둥이 연구가 적합하다.
(2) 가계도 조사는 특정 유전형질이 있는 집안의 가계도를 분석하여 그 형질의 유전 방식을 연구하는 방법이다. 가계도 조사를 통해 특정 형질의 우열 관계, 가족 구성원의 유전자형과 태어날 자손에서 형질이 나타날 확률 등을 추론할 수 있다.

개념 확인 문제

16쪽

- ① 없다 ② 한 ③ 우성 ④ 열성 ⑤ 복대립유전 ⑥ O
⑦ I^AI^B, I^Bi

1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 (1) 열성형질 (2) 1: Rr, 2: Rr, 5: rr
(3) $\frac{1}{2}$ 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

1 (1) 부모에게서 모두 A가 발현되지 않는데 자녀에게서 A가 발현되므로 A는 열성형질이다.
(2) 남녀에게 A가 발현되는 비율이 비슷하므로 A의 유전자는 상염색체에 있다.
(3) 열성형질인 A가 모두 발현된 부모 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 열성형질인 A가 발현될 확률은 1이다.

2 (1) 정상인 부모 1과 2 사이에서 (가)가 발현된 딸 5가 태어났으므로 정상이 우성형질이고 (가)는 열성형질이다.
(2) 정상 대립유전자는 R, (가) 발현 대립유전자는 r이다. 1과 2의 (가)의 유전자형은 Rr이고, 5의 (가)의 유전자형은 rr이다.
(3) 6의 (가)의 유전자형은 2와 같으므로 Rr이다. 6과 7 사이에서 태어난 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 Rr × rr → Rr, rr로 $\frac{1}{2}$ 이다.

3 (1) PTC 미맹(㉠)과 ABO식 혈액형(㉡)은 모두 상염색체 유전 형질이다.
(2) ABO식 혈액형(㉡)의 유전만 하나의 형질을 결정하는 데 관여하는 대립유전자가 세 가지인 복대립유전이다.
(3) PTC 미맹(㉠)과 ABO식 혈액형(㉡)은 모두 한 쌍의 대립유전자에 의해 형질이 결정되는 단일유전자유전 형질이다.
(4) PTC 미맹(㉠)의 표현형은 정상과 미맹의 2가지이고, ABO식 혈액형(㉡)의 표현형은 A형, B형, AB형, O형의 4가지이다.
(5) PTC 미맹(㉠)의 유전자형은 3가지이고, ABO식 혈액형(㉡)의 유전자형은 6가지이다.

개념 확인 문제

20쪽

- ① 반성 ② 성염색체 ③ X ④ 아들 ⑤ 딸 ⑥ 한

1 (가) 44+XX, 여자 (나) 44+XY, 남자 2 (1) × (2) ○ (3) ×
3 (1) (가) X^rY (나) X^RX^r (2) 5 4 (1) 다 (2) 단일 (3) 다

1 (가)는 염색체 구성이 44+XX이므로 여자이고, (나)는 염색체 구성이 44+XY이므로 남자이다.

2 (1), (2) ㉠은 여자보다 남자에서 많이 나타나므로 ㉠의 유전자는 X염색체에 있다. ㉠이 우성형질이라면 남자보다 여자에게서 많이 나타나므로 ㉠은 열성형질이다.

(3) 아버지가 우성형질을 나타내고, 딸은 아버지로부터 우성 대립유전자를 물려받으므로 태어난 아이가 ㉠이 발현된 딸일 확률은 0이다. 우성 대립유전자를 X^R , 열성 대립유전자를 X^r 로 표시한다면 ㉠이 발현된 여자의 유전자형은 X^rX^r 이고, ㉠이 발현되지 않은 남자의 유전자형은 X^RY 이다. 이들 사이에서 태어난 아이는 $X^rX^r \times X^RY \rightarrow \underline{X^RX^r}$, X^rY 로 딸은 모두 ㉠이 발현되지 않는다.

3 (1) (가)는 적록색맹 남자이므로 유전자형이 X^rY 이고, (나)는 정상이지만 적록색맹인 딸이 태어났으므로 유전자형이 X^RX^r 이다.

(2) 딸은 아버지의 적록색맹 대립유전자를 물려받으므로, 구성원 중에서 적록색맹 대립유전자를 갖는 사람은 부모와 딸 3명을 포함하여 총 5명이다.

4 (1) 형질이 여러 쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전을 다 유전자유전이라고 한다.

(2) 단일유전자유전은 한 쌍의 대립유전자에 의해 형질이 결정되므로 대립형질이 뚜렷하게 구분된다.

(3) 단일유전자유전에 비해 다유전자유전은 환경의 영향을 많이 받는다.

완자샘 비법 특강

21쪽

Q1 $\frac{3}{16}$ **Q2** $\frac{1}{2}$

Q1 (가)와 (나)의 유전자가 서로 다른 염색체에 있으므로 (가)와 (나)가 모두 발현될 확률은 '(가)가 발현될 확률'×'(나)가 발현될 확률'이다.

8과 9의 (가)와 (나)의 유전자형은 모두 AaBb이므로

- 아이에게서 (가)가 발현될 확률: $Aa \times Aa \rightarrow \underline{AA, Aa, Aa}$, $aa: \frac{3}{4}$
- 아이에게서 (나)가 발현될 확률: $Bb \times Bb \rightarrow BB, Bb, Bb, \underline{bb}: \frac{1}{4}$

아이에게서 (가)와 (나)가 모두 발현될 확률 = $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$ 이다.

Q2 ㉠의 (가)와 (나)의 유전자형은 aabb, 11의 (가)와 (나)의 유전자형은 Aabb이므로

- 아이의 (가)의 유전자형이 aa일 확률: $aa \times Aa \rightarrow \underline{aa, aa}$, $Aa, Aa: \frac{1}{2}$
- 아이의 (나)의 유전자형이 bb일 확률: $bb \times bb \rightarrow \underline{bb, bb}$, $bb, bb: 1$

아이의 (가)와 (나)의 유전자형이 ㉠과 같을 확률 = $\frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{2}$ 이다.

대표 자료 분석 1

22쪽

- 1** AaBb, 큰 키·보라색 꽃 **2** AB, Ab, aB, ab **3** 큰 키·보라색 꽃 : 큰 키·흰색 꽃 : 작은 키·보라색 꽃 : 작은 키·흰색 꽃 = 9 : 3 : 3 : 1 **4** (1) 상동염색체 (2) 이형접합 (3) Bb (4) 없다
5 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

1 이 식물의 유전자형은 AaBb이고, 표현형은 키와 꽃 색깔 모두 우성형질을 나타내므로 큰 키·보라색 꽃이다.

2 키와 꽃 색깔의 유전자가 서로 다른 염색체에 있어 독립적으로 유전되므로 유전자형이 AaBb인 개체에서 만들어지는 생식세포의 유전자 구성은 AB, Ab, aB, ab의 4종류이다.

3 키와 꽃 색깔은 독립의 법칙을 따르므로 AaBb인 개체를 자가수분하였을 때, F₁의 표현형은 다음과 같다.

꽃 색깔 \ 키	3A_	1aa
3B_	9A_B_ (큰 키·보라색 꽃)	3aaB_ (작은 키·보라색 꽃)
1bb	3A_bb (큰 키·흰색 꽃)	1aabb (작은 키·흰색 꽃)

즉, F₁에서 표현형의 분리비는 큰 키·보라색 꽃 : 큰 키·흰색 꽃 : 작은 키·보라색 꽃 : 작은 키·흰색 꽃 = 9 : 3 : 3 : 1이다.

- 4** (1) 키를 결정하는 대립유전자 A와 a는 상동염색체의 같은 위치에 있다.
(2) 이 식물에서 키의 유전자형은 Aa로, 이형접합이다.
(3) 이 식물에서 꽃 색깔의 유전자형은 Bb로, 이형접합이다.
(4) A는 키를 결정하는 대립유전자이고, b는 꽃 색깔을 결정하는 대립유전자이므로, A와 b는 하나의 형질을 결정하는 대립유전자가 아니다.

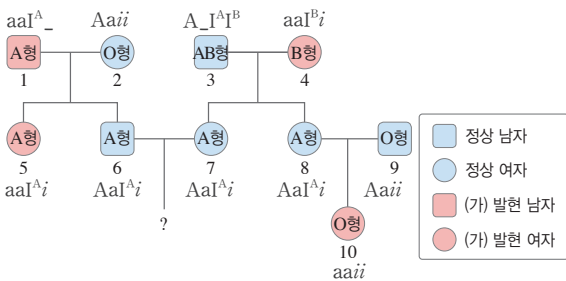
- 5 (1) 유전자형이 Aa이면 우성형질인 큰 키로 표현된다.
 (2) B와 b는 꽃 색깔을 결정하는 대립유전자이다.
 (3) 감수분열이 일어날 때 상동염색체는 분리되어 서로 다른 세포로 들어가므로 A와 a는 감수 1분열에서 분리되어 서로 다른 생식세포로 들어간다.
 (4) 키를 결정하는 유전자와 꽃 색깔을 결정하는 유전자는 서로 다른 염색체에 있어 독립적으로 유전된다.
 (5) 이 식물의 유전자형은 AaBb이므로 자가수분하였을 때, 작은 키·보라색 꽃(aaB_)인 개체가 나올 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$ 이다.
 (6) AaBb × aabb → AaBb, Aabb, aaBb, aabb이므로, 큰 키·흰색 꽃인 개체가 나올 확률은 $\frac{1}{4}$ 이다.

대표자료분석 2

23쪽

- 1 6: Aa, 7: Aa 2 6: I^Ai, 7: I^Ai 3 (1) $\frac{1}{4}$ (2) $\frac{3}{4}$ (3) $\frac{3}{16}$
 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) × (7) ○

꼼꼼 문제 분석



- 1 6은 아버지 1로부터 물려받은 (가) 발현 대립유전자가 있고, 7은 어머니 4로부터 물려받은 (가) 발현 대립유전자가 있다. 따라서 6과 7 모두 (가)의 유전자형은 Aa이다.
 2 6은 어머니 2가 O형이고, 7은 어머니 4가 B형이므로, 6과 7 모두 ABO식 혈액형의 유전자형은 I^Ai이다.

- 3 (1) 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 Aa × Aa → AA, Aa, Aa, aa로 $\frac{1}{4}$ 이다.
 (2) 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이가 A형일 확률은 I^Ai × I^Ai → I^AI^A, I^Ai, I^Ai, ii로 $\frac{3}{4}$ 이다.
 (3) 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현되면서 아이의 혈액형이 A형일 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$ 이다.

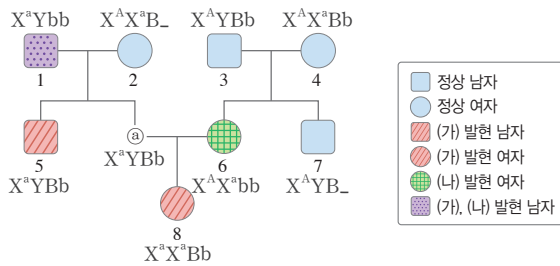
- 4 (1) (가)가 발현되지 않은 8과 9 사이에서 (가)가 발현된 딸 10이 태어났으므로 (가)는 열성형질이다.
 (2) 딸 5의 (가)의 유전자형은 aa이므로 2의 (가)의 유전자형은 Aa이다. 즉, 2는 (가) 발현 대립유전자를 갖는다.
 (3) 7의 ABO식 혈액형의 유전자형은 I^Ai이고, i는 4로부터 물려받은 것이므로, 4의 ABO식 혈액형의 유전자형은 I^Bi로 이형접합이다.
 (4) 5의 (가)의 유전자형은 aa로, (가) 발현 대립유전자를 1과 2로부터 하나씩 물려받았다.
 (5) 자녀 10에게서 (가)가 발현되었으므로 8과 9의 (가)의 유전자형은 모두 Aa로 이형접합이다.
 (6) 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 2와 같이 (가)가 발현되지 않을 확률은 Aa × Aa → AA, Aa, Aa, aa로 $\frac{3}{4}$ 이고, 2와 같이 O형일 확률은 I^Ai × I^Ai → I^AI^A, I^Ai, I^Ai, ii로 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$ 이다.
 (7) 8과 9 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현되지 않을 확률은 Aa × Aa → AA, Aa, Aa, aa로 $\frac{3}{4}$ 이고, O형일 확률은 I^Ai × ii → I^Ai, ii로 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$ 이다.

대표자료분석 3

24쪽

- 1 (가) X염색체 (나) 상염색체 2 (1) ㉠ a, ㉡ b (2) 아들 (3) 동형접합 3 X^aYBb 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

꼼꼼 문제 분석



- (나)가 발현되지 않은 3과 4 사이에서 (나)가 발현된 딸 6이 태어났으므로 (나)는 열성형질이며, (나)의 유전자는 상염색체에 있다.
- (가)의 유전자는 X염색체에 있으며, (가)가 발현되지 않은 2로부터 (가)가 발현된 아들 5가 태어났으므로 (가)는 열성형질이다.

1 (나)가 발현되지 않은 3과 4 사이에서 (나)가 발현된 딸 6이 태어났으므로 (나)는 열성형질이며, (나)의 유전자는 상염색체에 있다. 따라서 (가)의 유전자는 X염색체에 있다.

2 (1) (가)와 (나)는 모두 열성형질이므로 (가) 발현 대립유전자는 a이고, (나) 발현 대립유전자는 b이다.

(2) (가)의 유전자는 X염색체에 있으며 (가)는 열성형질이므로 어머니에게서 (가)가 발현되었다면 아들에게서도 반드시 (가)가 발현된다.

(3) 6에게서 (나)가 발현되었으므로 6의 (나)의 유전자형은 bb인 동형접합이다.

3 딸인 8의 (가)의 유전자형이 X^aX^a 이므로 ③은 8에게 X^a 를 물려준 것으로, ③의 (가)의 유전자형은 X^aY 이다. 6의 (나)의 유전자형은 bb인데 8은 6에게서 b를 물려받았으므로 8의 (나)의 유전자형은 Bb이다. 따라서 8은 ③에게서 B를 물려받았으므로 ③은 B를 갖는다. 또한 ③의 아버지인 1의 (나)의 유전자형이 bb이므로 ③은 1에게서 b를 물려받아 b를 갖는다. 따라서 ③의 (나)의 유전자형은 Bb이다.

- 4** (1) (가)를 결정하는 대립유전자 A와 a는 X염색체에 있다.
 (2) (가)의 유전자는 X염색체에 있고 (나)의 유전자는 상염색체에 있으며, (가)와 (나)는 모두 열성형질이므로, (가)와 (나)가 모두 발현된 남자 1의 (가)와 (나)의 유전자형은 X^aYbb 이다.
 (3) ③은 어머니인 2에게서 a를 물려받았다.
 (4) (나)가 발현되지 않은 3과 4 사이에서 (나)가 발현된 딸 6이 태어났으므로 3과 4의 (나)의 유전자형은 Bb로 이형접합이다.
 (5) 이 가계도의 구성원에서 a와 B를 모두 갖는 사람은 2, 4, 5, ③, 8로 5명이다.

(6) ③과 6 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 $X^aY \times X^AX^a \rightarrow \underline{X^aX^a}, X^aY, X^AX^a, X^AY$ 로 $\frac{1}{2}$ 이고, (나)가 발현될 확률은 $Bb \times bb \rightarrow Bb, \underline{bb}$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ 이다.

대표자료분석 4

25쪽

- 1** 7가지 **2** (1) 8 (2) 3 (3) 7 **3** (1) 0, 1, 2, 3 (2) 1, 2 (3) 1, 2, 3, 4, 5 **4** (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$ (4) $\times$ (5) $\bigcirc$ (6) $\times$

1 (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해 결정되므로 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6의 최대 7가지가 있다.

2 (1) P의 (가)의 유전자형은 AaBbDd이므로, 이로부터 만들어질 수 있는 생식세포의 유전자 구성은 ABD, ABd, AbD, Abd, aBD, aBd, abD, abd의 최대 8가지이다.

(2) P의 (가)의 유전자형은 AaBbDd이므로 (가)의 표현형이 P와 같으려면 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3이어야 한다.

(3) P와 같은 (가)의 표현형을 나타내는 유전자형은 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3인 AABbdd, AAbbDd, AaBBdd, AabbDD, AaBbDd, aaBBDD, aaBbDD의 7가지이다.

3 (1) P의 생식세포의 유전자 구성은 ABD, ABd, AbD, Abd, aBD, aBd, abD, abd이므로, 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 0, 1, 2, 3의 최대 4가지이다.

(2) Q는 (가)의 표현형이 P와 같으므로 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3이다. 그러나 조건에서 P와 Q 사이에서 태어난 ③에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형이 최대 5가지라고 했으므로, Q가 가질 수 있는 (가)의 유전자형은 AABbdd, AaBBdd, aaBbDD, AAbbDd, AabbDD, aaBBDD의 6가지이다. 따라서 Q의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 1, 2이다.

(3) P와 Q에서 각각 형성될 수 있는 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 (0, 1, 2, 3)과 (1, 2)이므로, ③에게서 나타날 수 있는 (가)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 이들을 조합한 (1, 2, 3, 4, 5)이다.

- 4** (1) (가)는 다유전자유전 형질이다.
 (2) P에서는 유전자 구성이 ABD, ABd, AbD, Abd, aBD, aBd, abD, abd인 생식세포가 만들어진다.

(3) Q에서 가능한 (가)의 유전자형은 AABbdd와 같이 (가)를 결정하는 대립유전자 3쌍 중 1쌍은 반드시 2개 모두 대문자로 표시되어야 한다.

(4) Q에서는 유전자 구성이 ABd, Abd, AbD, aBd, aBD, abD인 생식세포가 만들어질 수 있다.

(5) P의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3일 확률은 각각 $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{8}$ 이다. 또한

Q의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1, 2일 확률은 각각 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 ㉔의 (가)의

표현형이 P와 같이 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3인 경우는 (P의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수, Q의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수)의 조합이 (1, 2), (2, 1)이 되는 경우이므로 확률은 $\left(\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}\right) = \frac{3}{8}$ 이다.

(6) ㉔가 (가)의 유전자형이 Aabbdd인 사람과 같이 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1인 경우는 (P의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수, Q의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수)의 조합이 (0, 1)이 되는 경우이므로 확률은 $\frac{1}{8} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$ 이다.

내신 만점 문제

26쪽~29쪽

- 01 ③ 02 해설 참조 03 ① 04 ③
05 해설 참조 06 ① 07 ④ 08 ② 09 ③
10 ⑤ 11 ④ 12 붉은 눈 암컷 : 붉은 눈 수컷 = 2 : 1
13 ④ 14 ⑤ 15 해설 참조 16 ⑤

01 ㄱ. A는 a와 대립유전자이며, 두 대립유전자는 DNA 염기서열에서 차이가 난다.

ㄴ. 상동염색체의 같은 위치에 있는 대립유전자 D와 d는 염색체와 함께 부모에게서 하나씩 물려받은 것이다. 즉, 하나는 어머니에게서, 다른 하나는 아버지에게서 물려받은 것이다.

[바로알기] ㄷ. 이 생물에서 만들어질 수 있는 생식세포의 유전자 구성은 AD, Ad, aD, ad로, 감수분열 과정에서 A와 D가 같은 생식세포로 들어갈 확률은 $\frac{1}{4}$ 이다.

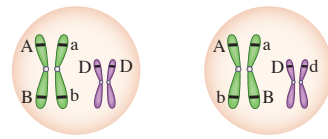
02 F₁의 유전자형은 Rr이므로 F₂에서 Rr×Rr → RR, Rr, Rr, rr로 유전자형과 표현형이 F₁과 같은 둥근 완두(Rr)의 비율은 50%이다.

모범 답안 (1) 50 %

(2) 부모의 생식세포 형성 과정에서 대립유전자 쌍이 분리되어 각각 다른 생식세포로 들어가기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 50 %라고 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 생식세포 형성 과정에서 대립유전자 쌍이 분리되어 이동하기 때 문이라고 옳게 서술한 경우	70 %
분리의 법칙이 적용되기 때문이라고만 서술한 경우	30 %

03 품앗이 문제 분석



(가) 생식세포 ABD, abD
(나) 생식세포 AbD, Abd, aBD, aBd

- 키와 씨 모양의 유전자는 같은 염색체에 있다. → 키와 씨 모양의 유전은 독립의 법칙을 따르지 않는다.
- 키와 꽃 색깔의 유전자는 서로 다른 염색체에 있다. → 키와 꽃 색깔의 유전은 독립의 법칙을 따른다.

ㄱ. (가)에서 형성되는 생식세포의 유전자 구성은 ABD, abD이므로, 생식세포가 A, B, D를 모두 가질 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다.

[바로알기] ㄴ. (나)에서 생식세포가 형성될 때, 생식세포가 A와 b를 모두 가질 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다.

ㄷ. 두 형질의 유전이 독립의 법칙을 따르려면 형질을 결정하는 유전자가 서로 다른 염색체에 있어야 한다. 그런데 키의 유전자와 씨 모양의 유전자는 같은 염색체에 있으므로 두 형질의 유전은 독립의 법칙을 따르지 않는다.

04 ㄱ. 특정 형질을 가진 가계도를 조사하면 대립형질의 우열 관계와 유전 양상을 추론할 수 있다.

ㄴ. 유전자가 같은 일란성쌍둥이를 연구하여 형질 발현에 유전자와 환경이 미치는 영향을 추론할 수 있다.

[바로알기] ㄷ. 핵형분석을 통해 염색체의 수, 모양, 크기 등의 특징은 알 수 있지만, 특정 형질의 유전자를 알 수는 없다.

05 부모에게서 모두 (가)가 발현되지 않았는데 (가)가 발현된 딸이 태어났으므로 (가)는 열성형질이다. 또한 (가)의 유전자가 X염색체에 있다면 아버지가 우성형질이면 딸도 우성형질이어서야 하므로 조건에 모순된다. 따라서 (가)의 유전자는 상염색체에 있다.

모범 답안 (1) ㉠ 열성, ㉡ 상염색체

(2) (가)가 발현되지 않은 부모로부터 (가)가 발현된 딸이 태어났으므로 (가)는 열성형질이며, 아버지가 우성형질인데 딸이 열성형질이므로 (가)의 유전자는 상염색체에 있다.

채점 기준	배점
(1) ㉠과 ㉡에 알맞은 말을 모두 옳게 고른 경우	40 %
㉠과 ㉡에 알맞은 말 중 하나만 옳게 고른 경우	20 %
(2) 까닭 두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	60 %
까닭 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

06 ㄱ. ㉠이 발현되지 않은 1과 2 사이에서 ㉠이 발현된 아들 3이 태어났으므로 ㉠은 열성형질이다. 따라서 ㉠ 미발현 대립유전자는 A이고, ㉠ 발현 대립유전자는 a이며, 1과 2의 ㉠의 유전자형은 모두 Aa이다.

바로알기 ㄴ. ㉠의 유전자형이 3은 aa이고, 4는 2와 ㉠의 유전자형이 다르므로 AA이다.

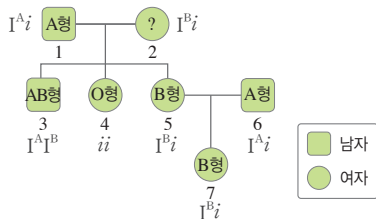
ㄷ. 1과 2 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 ㉠이 발현될 확률은 $Aa \times Aa \rightarrow AA, Aa, Aa, aa$ 로 $\frac{1}{4}$ 이고, 아들일 확률은 $\frac{1}{2}$ 이므로, 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ 이다.

07 ㄱ. 분꽃의 꽃 색깔을 결정하는 대립유전자는 생식세포 형성 시 분리되어 서로 다른 생식세포로 들어가므로 멘델의 분리의 법칙을 따른다.

ㄷ. 붉은색 꽃(RR)과 분홍색 꽃(RW)을 교배하여 나온 자손은 $RR \times RW \rightarrow RR, RW$ 로 붉은색 꽃과 분홍색 꽃의 분리비는 1 : 1이다.

바로알기 ㄴ. 꽃 색깔의 유전자형이 이형접합(RW)일 때 분홍색 꽃이 나타나는 것은 대립유전자 사이의 우열 관계가 불완전하여 붉은색과 흰색의 중간형의 표현형이 나타나기 때문이다.

08 ————— 품종 문제 분석



3이 AB형이므로 2는 I^B 를 갖고, 4가 O형이므로 1과 2는 모두 i 를 갖는다. 따라서 2는 B형이고 유전자형이 $I^B i$ 이다.

ㄷ. 5와 6 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이가 3과 같은 AB

형일 확률은 $I^B i \times I^A i \rightarrow I^A I^B, I^B i, I^A i, ii$ 로 $\frac{1}{4}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 2의 ABO식 혈액형의 유전자형은 $I^B i$ 로 이형접합이다.

ㄴ. 5의 ABO식 혈액형의 유전자형은 $I^B i$ 이고, 우성 대립유전자 I^B 는 2로부터, 열성 대립유전자 i 는 1로부터 물려받았다.

09 ㄱ. (가)는 한 쌍의 대립유전자에 의해 결정되므로 단일유전자유전 형질이고, 대립유전자가 3가지이므로 복대립유전 형질이다.

ㄴ. ㉠이 가질 수 있는 유전자형은 DE, EE, DF, EF이다. ㉠의 (가)의 표현형이 아버지와 같을 확률은 $\frac{3}{4}$ 이므로 DE, EE, EF는 모두 같은 표현형을 나타내야 한다. 따라서 E는 D와 F에 대해 각각 완전 우성이다.

바로알기 ㄷ. ㉡이 가질 수 있는 유전자형은 DD, DF, DE, EF인데 ㉡에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형이 최대 3가지이므로 DD와 DF는 서로 다른 표현형을 나타내야 한다. 따라서 F는 D에 대해 완전 우성이다.

10 ① (가)의 유전자형은 $X^R X^r$ 로 적록색맹 보인자이다.

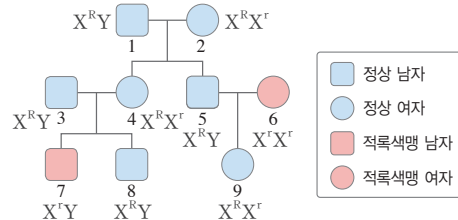
② (나)의 유전자형은 $X^r Y$ 로 적록색맹을 나타낸다.

③ ⑧와 ⑨는 모두 적록색맹 대립유전자 X^r 를 갖는다.

④ ㉡의 유전자형은 $X^r Y$ 로 적록색맹을 나타내는 아들이다.

바로알기 ⑤ 유전자형에서 적록색맹 대립유전자의 수는 ㉠과 ㉡에서 모두 1로 같다.

11 ————— 품종 문제 분석



• 7의 적록색맹 대립유전자는 $2 \rightarrow 4 \rightarrow 7$ 로 전달된 것이다. 따라서 2와 4는 모두 적록색맹 대립유전자를 갖는 보인자이다.

• 9는 6으로부터 적록색맹 대립유전자를 물려받아 보인자이다.

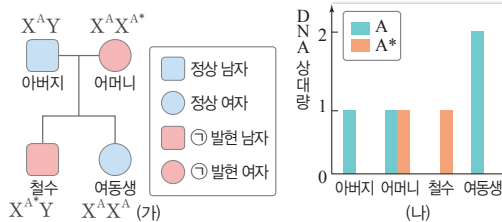
ㄱ. 2는 보인자이므로 적록색맹의 유전자형이 이형접합이다.

ㄷ. 5와 6 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이가 정상 여자일 확률은 $X^R Y \times X^r X^r \rightarrow X^R X^r, X^r Y$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 9는 5와 6으로부터 X염색체를 하나씩 물려받으므로 6의 적록색맹 대립유전자는 9에게 전달되었다.

12 흰 눈 수컷과 붉은 눈 암컷을 교배하여 붉은 눈 암컷을 얻었으므로 붉은 눈이 우성형질이고 흰 눈이 열성형질이다. 붉은 눈 대립유전자를 X^+ , 흰 눈 대립유전자를 X^W 라고 할 때, F_1 의 붉은 눈 암컷의 유전자형은 X^+X^W 이다. F_2 는 $X^+X^W \times X^+Y \rightarrow X^+X^+, X^+X^W, X^+Y, X^WY$ 로 붉은 눈 암컷(X^+X^+, X^+X^W): 붉은 눈 수컷(X^+Y)=2:1이다.

13 품종 문제 분석

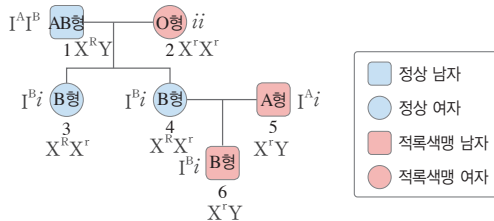


- ①의 유전자형이 AA^* 인 어머니에게서 ①이 발현되었으므로 ①은 우성형질이다. ①의 유전자형이 AA 인 여동생에게서 ①이 발현되지 않았으므로 A 는 ① 미발현 대립유전자이고, A^* 는 ① 발현 대립유전자이다.
- 체세포 1개당 대립유전자 A 와 A^* 를 더한 DNA 상대량이 여자가 남자의 2배이므로 ①의 유전자는 X염색체에 있다.

ㄴ. ①의 유전자는 X염색체에 있으며, ①은 우성형질이므로 아버지가 ①이 발현되었다면 딸은 반드시 ①이 발현된다.
 ㄷ. 아버지와 어머니 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이가 ①이 발현된 남자일 확률은 $X^A Y \times X^A X^{A*} \rightarrow X^A X^A, X^A X^{A*}, X^A Y, X^{A*} Y$ 로 $\frac{1}{4}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 어머니의 ①의 유전자형이 $X^A X^{A*}$ 인데 ①이 발현되었으므로 ①은 우성형질이다.

14 품종 문제 분석



- 3과 4의 혈액형의 유전자형은 O형인 어머니에게서 열성 대립유전자를 물려받아 모두 $I^B i$ 이다.
- 3과 4의 적록색맹의 유전자형은 어머니에게서 적록색맹 대립유전자를 물려받아 이형접합($X^{R+} X^{R-}$)인 보인자이다.
- 5는 A형인데 아들인 6이 B형이므로 5와 6은 모두 열성 대립유전자를 가지고 있으며, 혈액형의 유전자형은 5가 $I^A i$, 6이 $I^B i$ 이다.

① 3의 ABO식 혈액형의 유전자형은 $I^B i$ 로 이형접합이다.

② 3과 4는 어머니 2에게서 적록색맹 대립유전자를 물려받았으므로 3과 4의 적록색맹의 유전자형은 모두 이형접합($X^{R+} X^{R-}$)이다.

③ 6은 A형인 아버지 5에게서 열성 대립유전자를 물려받았으므로 ABO식 혈액형의 유전자형이 $I^B i$ 로 4와 같다.

④ 남자인 6의 적록색맹 대립유전자는 어머니인 4에게서 물려받은 것이고, 4는 어머니인 2에게서 물려받은 것이다.

바로알기 ⑤ 4와 5 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이가 A형일 확률은 $I^B i \times I^A i \rightarrow I^A I^B, I^B i, I^A i, ii$ 로 $\frac{1}{4}$ 이고, 적록색맹인

여자일 확률은 $X^{R+} X^{R-} \times X^{R+} Y \rightarrow X^{R+} X^{R+}, X^{R+} X^{R-}, X^{R-} Y, X^{R-} Y$ 로 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$ 이다.

15 **모범 답안** 키, PTC 미맹은 대립형질이 뚜렷하고 불연속적인 변이로 나타나므로 한 쌍의 대립유전자가 관여하는 단일유전자유전 형질이고, 키는 표현형이 다양하며 연속적인 변이를 나타내므로 여러 쌍의 대립유전자가 관여하는 다유전자유전 형질이기 때문이다.

채점 기준	배점
키라고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
키라고 썼으나 그 까닭에 대한 서술이 미흡한 경우	50 %

16 5와 6의 (가)의 유전자형은 각각 $AABbdd$ 과 $AaBbDd$ 이므로, 이로부터 형성될 수 있는 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 (1, 2)와 (0, 1, 2, 3)이다. 5의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1, 2인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ 이다. 또한 6의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{8}$ 이다. 따라서 이들 사이에서 표현형이 5와 같이 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3인 경우는 (5의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수, 6의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수)의 조합이 (1, 2), (2, 1)이 되는 경우이므로 확률은 $\left(\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}\right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}\right) = \frac{3}{8}$ 이다.

실력UP문제

30쪽~31쪽

01 ③ 02 ④ 03 ⑤ 04 ㄱ 05 ② 06 ②

01 품종 문제 분석

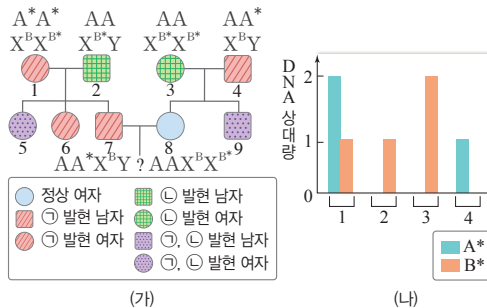
- (가)는 상염색체에 있는 한 쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립 유전자에는 A, B, D가 있다. (가)의 표현형은 4가지이다.
 - ⇒ (가)는 단일유전자유전 형질이며, 복대립유전 형질이다.
- 유전자형이 AA인 사람과 AB인 사람은 표현형이 같고, 유전자형이 DD인 사람과 BD인 사람은 표현형이 같지만 AD인 사람과는 표현형이 다르다.
 - ⇒ A는 B에 대해 완전 우성이고, D는 B에 대해 완전 우성이지만, A와 D 사이에는 우열 관계가 없다. (A=D>B)
- 유전자형이 AB인 아버지와 AD인 어머니 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이의 (가)의 표현형이 아버지와 같을 확률은 ⑦이고, 어머니와 같을 확률은 ①이다.
 - ⇒ $AB \times AD \rightarrow AA, AD, AB, BD$ 이므로 (가)의 표현형이 아버지와 같을(AA, AB) 확률은 $\frac{1}{2}$ 이고, 어머니와 같을(AD) 확률은 $\frac{1}{4}$ 이다.
- 유전자형이 BD인 아버지와 AD인 어머니 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 ③가지이다.
 - ⇒ $BD \times AD \rightarrow AB, BD, AD, DD$ 이므로, ③에서 나타날 수 있는 표현형은 최대 (AB), (BD, DD), (AD)의 3가지이다.

ㄱ. (가)를 결정하는 대립유전자는 A, B, D의 3가지이므로 (가)는 복대립유전 형질이다.

ㄴ. ⑦은 $\frac{1}{2}$ 이고, ①은 $\frac{1}{4}$ 이므로 $\frac{⑦}{①}=2$ 이다.

바로알기 ㄷ. ③이다.

02 품종 문제 분석



- 1은 체세포 1개당 A*의 DNA 상대량이 2이며 ①이 발현되었다.
 - ⇒ A*는 ① 발현 대립유전자이다.
- 4는 체세포 1개당 A*의 DNA 상대량이 1이며 ①이 발현되었고, 3에 A*가 없는데도 아들인 9에게서 ①이 발현되었다. ⇒ A*는 A에 대해 완전 우성이며, 아버지 4의 A*가 아들 9에게 전달되는 것으로 보아 ①의 유전자는 상염색체에 있다.
- B*의 DNA 상대량이 1인 여자 1에게서 ②이 발현되지 않았지만 남자인 2에게서 ②이 발현되었다. ⇒ B*는 ② 발현 대립유전자이고 B는 B*에 대해 완전 우성이며, ②의 유전자는 X염색체에 있다.

ㄴ. ②의 유전자는 X염색체에 있으며 ②는 열성형질이므로, ②은 여자보다 남자에서 발현 빈도가 높다.

ㄷ. 7은 2에게서 A를 물려받았으므로 ⑦의 유전자형이 AA*이고, 8은 ⑦이 발현되지 않으므로 ⑦의 유전자형이 AA이다. 7은 ②이 발현되지 않으므로 ②의 유전자형이 X^BY이고, 8은 3에게서 X^B를 물려받았으므로 ②의 유전자형이 X^BX^B이다.

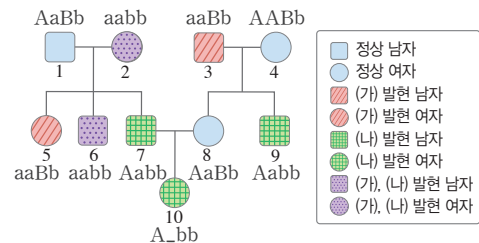
7과 8 사이에서 남자 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 ⑦이 발현될 확률은 $AA^* \times AA \rightarrow AA, AA^*$ 로 $\frac{1}{2}$ 이고, ②이 발현될

확률은 $X^B Y \times X^B X^B \rightarrow X^B Y, X^B X^B$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 구하고

자 하는 확률은 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ 이다.

바로알기 ㄱ. A*는 A에 대해, B는 B*에 대해 완전 우성이다.

03 품종 문제 분석



• (가)가 발현되지 않은 남자 1로부터 (가)가 발현된 딸 5가 태어났으므로 (가)는 X염색체 유전, 열성형질이 아니며, (가)가 발현된 남자 3으로부터 (가)가 발현되지 않은 딸 8이 태어났으므로 (가)는 X염색체 유전, 우성형질이 아니다. 따라서 (가)는 상염색체 유전형질이다.

• (나)가 발현되지 않은 3과 4로부터 (나)가 발현된 9가 태어났으므로 (나)는 열성형질이다. 1~4 각각의 체세포 1개당 b의 DNA 상대량을 더한 값은 (나)가 X염색체 유전형질인 경우 3이고, (나)가 상염색체 유전형질인 경우 5이며, 1~4 각각의 체세포 1개당 a의 DNA 상대량을 더한 값은 (가)가 열성형질인 경우 5이고, (가)가 우성형질인 경우 6이므로 (나)는 상염색체 유전형질이고, (가)는 열성형질이다.

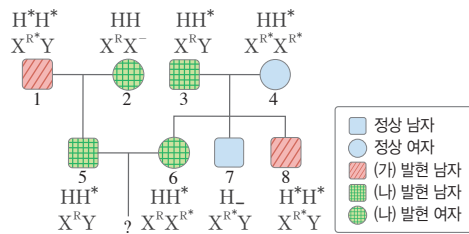
ㄴ. (나)가 발현되지 않은 3과 4 사이에서 (나)가 발현된 9가 태어났으므로 (나)는 열성형질이다.

ㄷ. 7(Aabb)과 8(AaBb) 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 $Aa \times Aa \rightarrow AA, Aa, Aa, aa$ 로 $\frac{1}{4}$ 이고, (나)가 발현될 확률은 $bb \times Bb \rightarrow Bb, bb$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다.

따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)의 유전자는 모두 상염색체에 있다.

04 품종 문제 분석



- 1과 2는 각각 H와 H* 중 한 가지만 갖고 있으므로 5의 (가)의 유전자형은 HH*인데 (가)가 발현되지 않으므로, H*가 (가) 발현 대립유전자이다. → (가)의 유전자형은 1은 H*H*, 2는 HH이다.
- (가)가 발현된 8은 (가)의 유전자형이 H*H*이므로 3과 4의 (가)의 유전자형은 모두 HH*이다. → 6의 (가)의 유전자형은 4와 같으므로 HH*이다.
- (나)의 유전자는 X염색체에 있는데, 아버지가 (나)가 발현되었다면 딸은 반드시 (나)가 발현되므로 R가 (나) 발현 대립유전자이다.

ㄱ. (가)는 열성형질이며, H*는 (가) 발현 대립유전자이다. (가)가 발현되지 않은 3과 4 사이에서 (가)가 발현된 8(H*H*)이 태어났으므로 3과 4의 (가)의 유전자형은 모두 HH*이다.

[바로알기] ㄴ. (나)의 유전자는 X염색체에 있고, (나)는 우성형질이며, R는 (나) 발현 대립유전자이다. 따라서 (나)의 유전자형이 3은 X^RY이고, 4는 X^RX^R이므로 4는 R*를 갖는다.

ㄷ. 6의 (가)의 유전자형은 4와 같으므로 5와 6의 (가)의 유전자형이 모두 HH*이다. 또한 5의 (나)의 유전자형은 X^RY이고, 6은 4에게서 X^R를 물려받아 6의 (나)의 유전자형은 X^RX^R이다. 5와 6 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 HH* × HH* → HH, HH*, HH*, H*H*로 $\frac{1}{4}$ 이고, (나)가 발현될 확률은 X^RY × X^RX^R → X^RX^R, X^RX^R, X^RY, X^RY로 $\frac{3}{4}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$ 이다.

05 품종 문제 분석

- (가)는 서로 다른 3개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다. → (가)는 다유전자유전 형질이다.
- (가)의 표현형은 ㉠ 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- ㉠이 3인 남자 P와 ㉠이 2인 여자 Q 사이에서 ㉡가 태어날 때 ㉡에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 최대 4가지이다.
- P와 Q에서 생식세포가 형성될 때, 생식세포가 A, b, d를 모두 가질 확률은 P에서 $\frac{1}{2}$, Q에서 $\frac{1}{4}$ 이다.

→ P는 ㉠이 3인데 A, b, d를 모두 갖는 생식세포가 형성될 확률이 $\frac{1}{2}$ 이므로 유전자형은 AABbDd이거나 AAbbDd이다. 이 경우 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1, 2인 생식세포가 만들어진다. Q는 ㉠이 2인데 A, b, d를 모두 갖는 생식세포가 형성될 확률이 $\frac{1}{4}$ 이므로 유전자형이 AaBbdd이거나 AabbDd이다. 이 경우 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2인 생식세포가 만들어진다.

ㄷ. P에서 ㉠이 1, 2인 생식세포가 형성될 확률은 각각 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$ 이고, Q에서 ㉠이 0, 1, 2인 생식세포가 형성될 확률은 각각 $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ 이다. ㉡의 (가)의 표현형이 P와 같을 확률은 ㉠이 3일 확률이므로, (P의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수, Q의 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수)의 조합이 (1, 2), (2, 1)이므로 $\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) = \frac{3}{8}$ 이다.

[바로알기] ㄱ. P에서는 ㉠이 1, 2인 생식세포만 형성된다.

ㄴ. Q에서 ㉠이 1인 난자가 형성될 확률은 $\frac{1}{2}$ 이고, ㉠이 2인 난자가 형성될 확률은 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 $\frac{㉠이 1인 난자가 형성될 확률}{㉠이 2인 난자가 형성될 확률} = 2$ 이다.

06 품종 문제 분석

- (가)는 서로 다른 3개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다. → (가)는 다유전자유전 형질이다.
- (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (나)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다. (나)의 유전자는 (가)의 유전자와 서로 다른 상염색체에 있다. → (나)는 단일유전자유전, 불완전우성 형질이며, (가)와 (나)는 독립적으로 유전된다.
- P의 (가)와 (나)의 유전자형은 AaBbDdEe이고, P와 Q는 (가)의 표현형이 서로 같다. → P와 Q는 (가)의 표현형이 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3으로 같다.
- P와 Q 사이에서 ㉡가 태어날 때, ㉡에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형은 최대 15가지이다. → ㉡에서 (가)의 표현형은 5가지이고 (나)의 표현형은 3가지이다.
- P에서는 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 (0, 1, 2, 3)인 4가지 생식세포가 형성되는데, Q와 결합하여 나타나는 ㉡의 (가)의 표현형은 5가지이므로 Q에서 형성되는 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 (1, 2) 2가지이다.
- ㉡에서 (나)의 표현형이 3가지이므로 Q의 (나)의 유전자형은 Ee이다. → Q의 (가)와 (나)의 유전자형은 AABbDdEe 또는 AaBBddEe 또는 aaBbDDEe 또는 AAbbDdEe 또는 AabbDDEe 또는 aaBBDDdEe이다.

ㄷ. ③가 유전자형이 AabbDdEe인 사람과 (가)와 (나)의 표현형이 모두 같을 확률은 다음과 같다.

• P에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{8}$ 이고, Q에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1, 2인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ 이다. 따라서 ③의 (가)의 표현형이 AabbDdEe인 사람과 같이 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 2일 확률은 P와 Q에서 각각 형성되는 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수의 조합이 (0, 2), (1, 1)일 확률이므로 $\left(\frac{1}{8} \times \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}\right) = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$ 이다.

• (나)의 표현형이 같을 확률은 $Ee \times Ee \rightarrow EE, \underline{Ee}, \underline{Ee}, ee$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다.

따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)와 (나)의 유전자형이 AabbDDEe인 사람과 aaBBddEE인 사람은 (가)의 표현형이 유전자형에서 대문자로 표시된 대립유전자의 수가 3으로 같지만, (나)의 표현형은 Ee와 EE로 다르다.

ㄴ. Q에서 형성되는 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1이거나 2이므로, Q에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3인 생식세포가 형성될 확률은 0이다.

02 / 사람의 유전병

개념확인문제

36쪽

- ① 염색체비분리현상 ② 다운증후군 ③ 터너증후군 ④ 결실
⑤ 전좌 ⑥ 염기서열

- 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 (1) 44+XXY, 클라인펠터증후군
(2) 44+X, 터너증후군 (3) 45+XX 또는 45+XY, 다운증후군
3 (가) 중복 (나) 결실 (다) 역위 (라) 전좌 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×
5 (1) ㄴ, ㄷ, ㄹ (2) ㄱ, ㄴ, ㄹ

1 (1) 돌연변이로 DNA 염기서열이나 염색체에 이상이 생기면 유전병이 나타날 수 있다.

(2) 체세포에서 일어난 돌연변이는 자손에게 유전되지 않으며, 생식세포에서 일어난 돌연변이만 자손에게 유전된다.

(3) 핵형은 염색체의 수, 모양, 크기와 같은 특징으로, 유전자의 상에 의한 유전병은 핵형분석으로 알아낼 수 없다.

2 A와 B가 형성되는 과정에서는 감수 1분열에서 성염색체의 염색체비분리현상이 일어났고, C가 형성되는 과정에서는 감수 2분열에서 21번 염색체의 염색체비분리현상이 일어났다.

(1) A의 염색체 구성은 22+XY이고, 정상 난자의 염색체 구성은 22+X이다. 따라서 A와 정상 난자가 수정되면 체세포 염색체 구성이 44+XXY로, 이 아이는 클라인펠터증후군의 염색체 이상을 보인다.

(2) B의 염색체 구성은 22, 정상 난자는 22+X이다. 따라서 B와 정상 난자가 수정되면 체세포 염색체 구성이 44+X로, 이 아이는 터너증후군의 염색체 이상을 보인다.

(3) C는 21번 염색체가 2개이므로 염색체 구성은 23+X 또는 23+Y이다. 따라서 C가 정상 난자와 수정되면 체세포 염색체 구성이 45+XX 또는 45+XY로, 이 아이는 다운증후군의 염색체 이상을 보인다.

3 (가)는 de가 반복되므로 중복, (나)는 a가 없으므로 결실, (다)는 ef가 거꾸로 연결되었으므로 역위, (라)는 염색체 일부가 상동염색체가 아닌 다른 염색체와 교환되었으므로 전좌이다.

4 (1) 방사선, 자외선, 화학 물질 등에 의해 유전자이상에 의한 유전병이 발생할 수 있다.

(2) 유전자이상에 의한 유전병은 유전자를 구성하는 DNA의 염기서열 이상으로 발생한다.

(3) 헌팅턴무도병, 연골무형성증과 같이 우성으로 유전되는 유전병도 있다.

5 (1) 고양이울음증후군은 5번 염색체의 일부가 결실된 경우로 염색체구조이상 유전병이고, 터너증후군은 성염색체 구성이 X, 클라인펠터증후군은 성염색체 구성이 XXY로 염색체수이상 유전병이다.

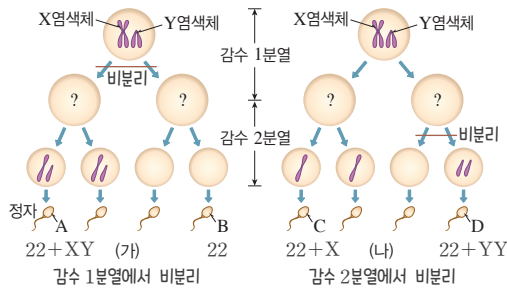
(2) 알비노증과 낫모양적혈구빈혈증은 유전자이상에 의한 유전병이고, 고양이울음증후군은 염색체의 일부가 결실된 경우이므로 체세포의 염색체 수는 정상인과 같은 46이다. 터너증후군은 체세포의 염색체 수가 45이고, 클라인펠터증후군은 체세포의 염색체 수가 47이다.

대표자료분석 1

37쪽

- 1 (가) 감수 1분열 (나) 감수 2분열 2 (1) ㉠ 24, ㉡ 22 (2) ㉠ 22+XY, ㉡ 22+YY (3) 같다 3 ㉠ 44+XXY, ㉡ 클라인펠터증후군, ㉢ 44+X, ㉣ 터너증후군 4 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

꼼꼼 문제 분석



- 1 (가)에서는 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어났고, (나)에서는 감수 2분열에서 염색체비분리현상이 일어났다.
- 2 (1) A의 염색체 구성은 22+XY로 총염색체 수는 24이고, B는 상염색체만 22개를 갖는다.
(2) A는 상염색체 수가 22이고 성염색체로 XY를 가지며, D는 상염색체 수가 22이고 Y염색체를 2개 가진다.
(3) C와 D는 상염색체 수가 22로 같다.
- 3 A의 염색체 구성은 22+XY이고, 정상 난자의 염색체 구성은 22+X이다. 따라서 이들이 수정되어 태어난 아이의 체세포 염색체 구성은 44+XXY(㉠)이고, 클라인펠터증후군(㉡)의 염색체이상을 보인다. B의 염색체 구성은 22이고, 정상 난자의 염색체 구성은 22+X이다. 따라서 이들이 수정되어 태어난 아이의 체세포 염색체 구성은 44+X(㉢)이고, 터너증후군(㉣)의 염색체이상을 보인다.
- 4 (1) A와 B는 감수 1분열 과정에서 상동염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 것이다.
(2) C의 염색체 수는 23이다.
(3) C와 D의 상염색체 수는 같고, 성염색체 구성만 각각 X염색체 1개와 Y염색체 2개로 다르다. 따라서 DNA양은 성염색체 구성만큼만 차이가 난다.
(4) (나)에서는 감수 2분열에서 염색체비분리현상이 일어났으므로 C와 같이 염색체 수가 정상인 생식세포가 형성된다.
(5) $X^R Y + X^r \rightarrow X^R X^r Y$ 이므로 클라인펠터증후군의 염색체이상을 보이는 정상인 아이가 태어난다.

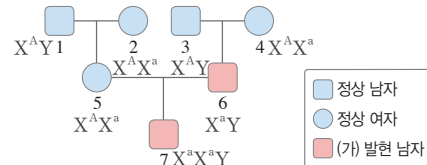
(6) $X^R + X^r \rightarrow X^R X^r$ 이므로 정상인 딸이 태어난다.

대표자료분석 2

38쪽

- 1 1: $X^A Y$, 2: $X^A X^a$, 3: $X^A Y$, 4: $X^A X^a$, 5: $X^A X^a$, 6: $X^a Y$, 7: $X^a X^a Y$ 2 P: $X^a Y$, Q: X^a 3 (1) $X^a X^a$ (2) 감수 2분열 (3) Y 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○

꼼꼼 문제 분석



감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어나 형성된 정자 P($X^a Y$)와 5의 정상 난자 Q(X^a)가 수정되어 7이 태어났다.

- 1 (가)가 발현되지 않은 3과 4 사이에 (가)가 발현된 아들 6이 태어났으므로 (가)는 열성형질이며, a는 (가) 발현 대립유전자이다. (가)의 유전자형은 (가)가 발현되지 않은 남자 1과 3이 $X^A Y$ 이고, (가)가 발현된 남자 6은 $X^a Y$ 이며, (가)가 발현되지 않은 4는 6에게 X^a 를 물려주었으므로 $X^A X^a$ 이다. 7은 클라인펠터증후군의 염색체이상을 보이며 (가)가 발현되었으므로 $X^a X^a Y$ 이고, (가)가 발현되지 않은 5는 7에게 X^a 를 물려주었으므로 $X^A X^a$ 이며, 5는 2에게서 X^a 를 물려받았으므로 2는 $X^A X^a$ 이다.
- 2 P는 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어나 형성된 정자이므로 성염색체 구성이 $X^a Y$ 이고, 7이 (가)가 발현된 남자이므로 7은 5에게서 X^a 를 물려받아 Q는 성염색체 구성이 X^a 이다.
- 3 ㉠은 감수 2분열에서 염색체비분리현상이 일어나 성염색체 구성이 $X^a X^a$ 이고, 7의 동생이 (가)가 발현된 클라인펠터증후군의 염색체이상을 보이는 남자이므로 7의 동생은 5에게서 Y를 물려받아 ㉡의 성염색체 구성은 Y이다.
- 4 (1) 7은 5에게서 X^a 를 물려받았으므로 Q에는 a가 있다.
(2) 7은 6에게서 $X^a Y$ 를 물려받았으므로 P는 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어나 형성된 것이다.
(3) P가 형성될 때 상동염색체의 염색체비분리현상이 일어났다.
(4) 5와 6이 모두 a를 갖고 있으므로 2와 4의 (가)의 유전자형은 모두 $X^A X^a$ 이다.
(5) 7은 5와 6으로부터 각각 a를 물려받았다.
(6) 1~7 중 A를 갖고 있는 사람은 1, 2, 3, 4, 5로 모두 5명이다.

나신 만점문제

39쪽~42쪽

01 ③	02 ④	03 ③	04 해설 참조	05 ③
06 ㄴ	07 ㄷ	08 ⑤	09 ②	10 해설 참조
11 ④	12 ⑤	13 ③	14 해설 참조	15 ④
16 ①	17 ①			

01 ①, ⑤ 염색체나 유전자에 변화가 일어나 부모에게 없던 형질이 나타나는 것을 돌연변이라고 한다. 생식세포 형성 과정에서 일어난 돌연변이는 자손에게 유전된다.

④ 돌연변이는 자연적으로도 일어나지만, 방사선, 화학 물질, 자외선 등에 의해서도 일어날 수 있다.

바로알기 ③ 돌연변이는 유전병의 원인이 될 수 있으나 모든 돌연변이가 유전병의 원인이 되는 것은 아니다. 돌연변이는 새로운 대립유전자를 만들어 유전적 다양성을 증가시키기도 한다.

02 ①, ③ 염색체비분리현상은 세포분열 과정 중 상염색체와 성염색체에서 모두 일어날 수 있다.

②, ⑤ 염색체비분리현상은 생식세포분열 과정의 감수 1분열과 감수 2분열에서 모두 일어날 수 있으며, 염색체 수가 비정상인 생식세포가 형성되어 수정될 경우 염색체수이상에 의한 유전병이 발생할 수 있다.

바로알기 ④ 감수 1분열에서 상동염색체의 염색체비분리현상이 일어날 수 있다.

03 ㄱ. 그림에서 상동염색체가 분리되어 이동하고 있으므로 생식세포분열 과정 중 감수 1분열 후기의 세포이다.

ㄴ. 감수 1분열에서 한 쌍의 상동염색체에서 염색체비분리현상이 일어난 후 세포분열이 완료되면 염색체 수가 24와 22인 생식세포가 형성된다.

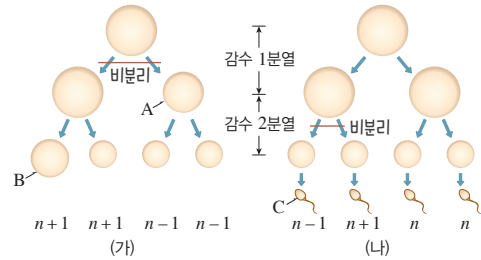
바로알기 ㄷ. 고양이올름증후군은 5번 염색체 일부가 결실되어 나타나며, 염색체비분리현상에 의해 나타나는 유전병이 아니다.

04 정자 형성 과정 중 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 1회 일어나면 염색체 수가 $n-1$, $n+1$ 인 정자가 형성되고, 감수 2분열에서 염색체비분리현상이 1회 일어나면 염색체 수가 n , $n-1$, $n+1$ 인 정자가 형성된다.

모범 답안 감수 2분열, 정자 형성 과정 중 감수 2분열에서 염색체비분리현상이 1회 일어나면 n , $n-1$, $n+1$ 로 염색체 수가 서로 다른 3가지 정자가 형성되지만, 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 1회 일어나면 $n-1$, $n+1$ 로 염색체 수가 서로 다른 2가지 정자가 형성되기 때문이다.

채점 기준	배점
감수 2분열이라고 쓰고, 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
감수 2분열이라고만 쓴 경우	30 %

05 품평 문제 분석



- (가) 생식세포의 염색체 수가 $n+1$ 과 $n-1$ 이므로 감수 1분열 과정에서 21번 염색체의 염색체비분리현상이 일어났다. → A는 21번 염색체가 없고, B는 21번 염색체가 2개이다.
- (나) 생식세포의 염색체 수가 $n-1$, $n+1$, n 이므로 감수 2분열에서 성염색체의 염색체비분리현상이 일어났다. → C는 상염색체 22개만 있고 성염색체가 없다.

① (가)에서는 감수 1분열에서 21번 상동염색체의 염색체비분리현상이 일어났다.

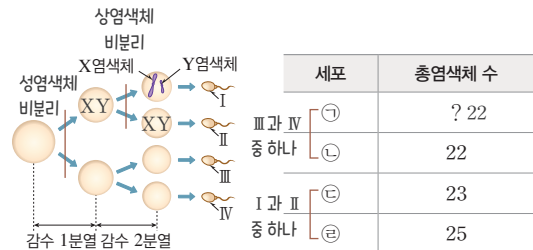
② (나)에서는 감수 2분열에서 염색체비분리현상이 일어났다.

④ B는 21번 염색체를 2개 가지므로 정상 정자와 수정되어 태어난 아이는 21번 염색체가 3개인 다운증후군의 염색체이상을 보인다.

⑤ C에는 성염색체가 없고 상염색체만 22개 있으므로 C와 정상 난자가 수정되어 태어난 아이는 염색체 구성이 $44+X$ 인 터너증후군의 염색체이상을 보인다.

바로알기 ③ (가)에서 21번 염색체의 염색체비분리현상이 일어났지만 성염색체는 정상적으로 분리되었으므로 A에는 X염색체가 있다.

06 품평 문제 분석



- I에 X염색체와 Y염색체가 모두 있으므로 감수 1분열에서 성염색체의 염색체비분리현상이 일어났다. 그 결과 총염색체 수가 I과 II는 24, III과 IV는 22가 되어야 하는데, ㉠과 ㉡은 각각 23과 25이므로 감수 2분열에서 상염색체의 염색체비분리현상이 일어나 I과 II가 형성되었다.
- III과 IV의 총염색체 수는 22로 같고, 각각 ㉠과 ㉡ 중 하나이다.

ㄴ. ㉠은 Ⅲ과 Ⅳ 중 하나이며, 총염색체 수는 22이다.

바로알기 ㄱ. I에 X염색체와 Y염색체가 모두 있으므로 I의 형성 과정 중 감수 1분열에서 성염색체의 염색체비분리현상이, 감수 2분열에서 상염색체의 염색체비분리현상이 일어났다.

ㄴ. Ⅳ는 감수 1분열에서 성염색체의 염색체비분리현상이 일어나 성염색체는 없고 상염색체만 22개인 정자이므로 정상 난자(22+X)와 수정되어 태어난 아이의 체세포 염색체 구성은 44+X이다. 따라서 체세포 1개당 상염색체 수는 44이다.

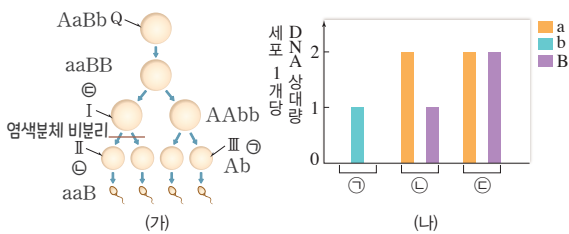
07 유전자형이 Tt인 경우 감수 2분열에서 염색분체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 생식세포의 유전자 구성은 TT 또는 tt이고, 감수 1분열에서 상동염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 생식세포의 유전자 구성은 Tt이다.

ㄴ. 21번 염색체를 2개 갖는 ㉠과 정상 난자가 수정되어 태어난 아이는 다운증후군의 염색체이상을 보인다.

바로알기 ㄱ. I은 감수 2분열 중기의 세포이고 Ⅱ는 감수 2분열이 완료된 세포이다. Ⅲ이 T를 2개 가지므로 I은 T를 갖고, 이 남자의 유전자형이 Tt이므로 Ⅱ는 t를 갖는다.

ㄴ. T를 2개 갖는 Ⅲ이 형성되었으므로 염색분체의 염색체비분리현상이 일어났음을 알 수 있다. 따라서 (가)의 감수 2분열에서 염색분체의 염색체비분리현상이 일어났다.

08 꼭꼭 문제 분석



정상적으로 분열되었다면 Ⅱ는 I과 유전자 구성이 같고 각 유전자의 DNA 양만 절반이 되어야 한다. $\Rightarrow$ ㉠과 ㉡은 유전자 구성이 같고 ㉡은 ㉠보다 B의 DNA 양이 2배이므로, ㉡이 I이고 ㉠이 II이다. 그런데 ㉠의 a의 DNA 양이 ㉡과 같으므로 감수 2분열에서 a가 있는 염색분체의 염색체비분리현상이 일어났다.

ㄴ. Ⅲ은 ㉠이며, a가 없으므로 A를 갖는다.

ㄴ. I(㉡)로부터 II(㉠)가 형성되는 감수 2분열에서 염색체비분리현상이 일어났다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 Ⅲ, ㉡은 Ⅱ, ㉢은 I이다.

09 ① (가)는 정상인보다 21번 염색체가 1개 더 많으므로 체세포 1개당 염색체 수는 47이다.

③ (다)는 성염색체 수는 하나 더 많지만, 상염색체 수는 정상이므로 (다)의 체세포 염색체 구성은 44+XXY이다.

④ (라)는 5번 염색체 일부가 결실되었지만 체세포 1개당 염색체 수는 정상인과 같은 46이다.

⑤ 감수 1분열에 성염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 정자의 염색체 구성은 22 또는 22+XY이므로, 정상 난자(22+X)와 수정될 경우 44+X(나) 또는 44+XXY(다)가 나타날 수 있다.

바로알기 ② (나)는 상염색체 수가 정상인과 같으므로 체세포 1개당 상염색체 수는 44이다.

10 (가)가 발현되지 않은 부모 1, 2에게서 (가)가 발현된 딸 3이 태어났으므로 (가)는 열성형질이다. (가)의 유전자가 X염색체에 있으며 아버지(1)가 우성형질이므로 딸(3)은 우성형질이어야 하는데 열성형질인 (가)가 발현되었으므로, 아버지(1)의 생식세포 형성 과정에서 염색체비분리현상이 일어나 아버지에게서 성염색체(X^A)를 물려받지 못하고 어머니(2)에게서만 성염색체(X^a)를 물려받았다고 추론할 수 있다.

모범 답안 1, 3은 성염색체가 X염색체 1개 밖에 없는 터너증후군의 염색체이상을 보인다.

채점 기준	배점
1이라고 쓰고, 3의 유전병에 대해 옳게 서술한 경우	100 %
1이라고만 쓴 경우	30 %

11 꼭꼭 문제 분석

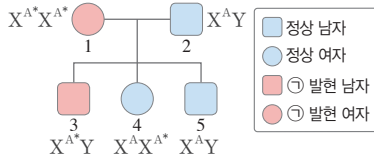
- (가)는 대립유전자 A와 A*에 의해 결정되며, A와 A*는 7번 염색체에 있다.
- 부모 모두에게서 (가)가 발현되지 않았고 아들인 철수에게서는 (가)가 발현되었다. $\Rightarrow$ (가)는 열성형질이다.
- 아버지의 (가)의 유전자형은 AA이고, 어머니의 (가)의 유전자형은 AA*이다. $\Rightarrow$ A*가 (가) 발현 대립유전자이며, A는 A*에 대해 완전 우성이다.
- 철수는 7번 염색체 쌍을 모두 어머니에게서, 나머지 상동염색체 쌍은 아버지와 어머니에게서 하나씩 물려받았다. $\Rightarrow$ 철수는 어머니에게서 A*A*를 물려받았다.
- 어머니의 난자 ㉠과 아버지의 정자 ㉡이 수정되어 철수가 태어났으며, ㉠과 ㉡의 형성 과정에서 염색체비분리현상이 각각 1회 일어났다. $\Rightarrow$ ㉡: 23+X, 7번 염색체 2개(A*A*) ㉠: 21+Y, 7번 염색체 없음
- 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

ㄱ. (가)의 유전자형이 아버지가 AA이고 어머니가 AA*인데 모두 (가)가 발현되지 않았으므로 A는 A*에 대해 완전 우성이다.

ㄴ. ㉠은 A*가 있는 7번 염색체를 2개 가지므로, 감수 2분열 과정에서 7번 염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성되었다.

바로알기 ㄴ. ㉡은 7번 염색체가 없으므로 ㉡에는 상염색체가 21개 있다.

12 품목 문제 분석



- 1과 2가 각각 A와 A* 중 한 종류만 갖는데 성별이 다른 3과 4의 ①의 표현형이 다르므로 ①의 유전자는 X염색체에 있다.
- 딸 4는 1과 2에게서 X염색체를 1개씩 물려받았는데 ①이 발현되지 않았으므로 ①은 열성형질이고 A*가 ① 발현 대립유전자이다.

1과 2가 각각 A와 A* 중 한 종류만 가지므로 4의 ①의 유전자형은 $X^A X^A$ 이고, 4는 ①이 발현되지 않았으므로 A*가 ① 발현 대립유전자이다. 따라서 ①의 유전자형은 1이 $X^A X^A$, 2가 $X^A Y$ 이며, 3은 어머니에게서 A*를 물려받으므로 $X^A Y$ 이다. 5는 ①이 발현되지 않았으므로 어머니에게서 X염색체를 물려받지 않고 아버지에게서 X염색체와 Y염색체를 모두 물려받아 5의 ①의 유전자형은 $X^A Y$ 이다.

ㄱ. ①의 유전자형이 3은 $X^A Y$, 4는 $X^A X^A$ 이므로 체세포 1개당 A*의 DNA 상대량은 3과 4에서 같다.

ㄴ. ③은 성염색체가 없어 염색체 수가 22이고, ④는 X염색체와 Y염색체가 모두 있어 염색체 수가 24이다.

ㄷ. ④는 X염색체와 Y염색체가 모두 있으므로 감수 1분열에서 성염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성되었다.

13 ㄱ. ①과 ②는 상동염색체이며, 같은 위치에 하나의 형질을 결정하는 대립유전자가 있다.

ㄴ. (나)에서 염색체 부위 RS가 SR로 뒤바뀌어 역위가 일어난 염색체가 있다.

바로알기 ㄷ. 전좌는 염색체 일부가 떨어진 후 상동염색체가 아닌 다른 염색체에 연결되는 것이다.

14 골수에 있는 조혈모세포는 체세포이고, 9번 염색체와 22번 염색체와 같이 상동염색체가 아닌 다른 염색체 사이에 염색체 일부가 바뀌어 들어가는 염색체구조이상은 전좌이다.

모범 답안 (1) 전좌

(2) 유전되지 않는다. 조혈모세포는 체세포이고, 체세포에 생긴 돌연변이는 자손에게 유전되지 않기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 전좌라고 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 체세포에 생긴 돌연변이는 유전되지 않는다고 옳게 서술한 경우	70 %
체세포이기 때문이라고만 쓴 경우	30 %

15 ㄴ. 낫모양적혈구가 형성되었을 때 빈혈 증세가 나타나는

것은 낫모양적혈구가 정상 적혈구에 비해 산소 운반 기능이 떨어지기 때문이다.

ㄷ. 낫모양적혈구빈혈증 환자는 정상인과 핵형이 같으므로 체세포 1개당 염색체 수는 정상인과 같다.

바로알기 ㄱ. 낫모양적혈구빈혈증은 유전자의 DNA 염기서열에서 염기 하나가 바뀐 유전자이상에 의한 유전병에 해당하므로, 염색체의 형태적 특징을 분석하는 핵형분석으로는 알아낼 수 없다.

16 ㄱ. 터너증후군(가)은 염색체 구성이 $44+X$ 로, 성염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 생식세포가 수정된 경우 나타난다.

바로알기 ㄴ. 고양이올름증후군(나)은 염색체 일부가 결실되었지만 염색체 수는 정상인과 같은 46개이다.

ㄷ. 알비노증(다)은 DNA 염기서열에 이상이 생긴 경우이므로 핵형분석으로는 진단할 수 없다.

17 (가)는 염색체수이상에 의한 유전병, (나)는 염색체구조이상에 의한 유전병, (다)는 유전자이상에 의한 유전병이다.

ㄱ. (가)의 경우 양수검사를 통해 핵형분석을 하면 태아 시기에도 유전병 여부를 진단할 수 있다.

바로알기 ㄴ. 남성성염증은 (다)에 해당한다.

ㄷ. 헌팅턴무도병은 우성형질이다.

실력 UP 문제

43쪽~44쪽

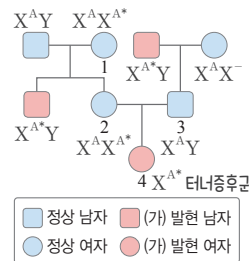
01 ⑤

02 ④

03 ④

04 ⑤

01 품목 문제 분석



구성원	A*의 DNA 상대량	총염색체 수
1	① 1	46
2	1	46
3	0	46
4	1	45

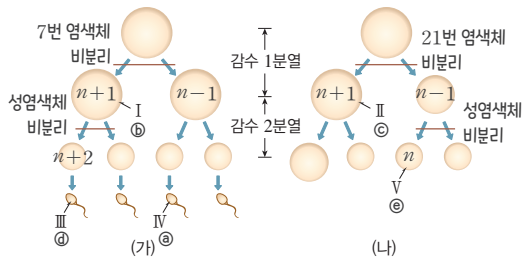
- 부모에게서 모두 (가)가 발현되지 않았는데 (가)가 발현된 아이들이 태어났으므로 (가)는 열성형질이다.
- 아버지에게서 (가)가 발현되었는데 3의 체세포 1개당에서 A*의 DNA 상대량이 0이다. 따라서 아버지의 A*는 3에게 전달되지 않으므로 A*는 X염색체에 있다.
- 4의 체세포 1개당 염색체 수가 45, A*의 DNA 상대량이 1인데 (가)가 발현된 여자이므로 X염색체가 1개만 있는 터너증후군의 염색체이상을 보인다.

ㄱ. 1은 (가)가 발현되지 않았지만 아들에게서 (가)가 발현되었으므로 (가)의 유전자형은 $X^A X^{A^*}$ 이다. 따라서 ㉠은 1이다.

ㄴ. 남자는 X염색체를 하나만 가지므로 X염색체에 A^* 가 있으면 유전병이 나타난다. 따라서 A^* 를 가진 정상 남자는 없다.

ㄷ. 4의 체세포 1개당 염색체 수가 45이고, A^* 의 DNA 상대량이 1인데 (가)가 발현되었으므로 X염색체를 1개 가지는 터너증 후군의 염색체 이상을 보인다. 4는 A^* 를 2에게서 물려받았으며, 3에게서는 성염색체를 물려받지 않았다. 따라서 3의 정자 형성 과정에서 성염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 성염색체가 없는 정자가 정상 난자와 수정되어 4가 태어난 것이다.

02 — 꼼꼼 문제 분석



세포	총염색체 수	X염색체 수
㉠	22	1
㉡	24	0
㉢	24	1
㉣	25	0
㉤	㉠ 23	2

- X염색체가 없으면서 총염색체 수가 정상 생식세포의 23보다 많은 ㉡와 ㉣는 정자 형성 과정에서 Y염색체가 있는 세포이다. → ㉡는 7번 염색체가 2개 있는 I이고, ㉣는 7번 염색체와 Y염색체가 2개씩 있는 III이다.
- IV는 7번 염색체가 없어 총염색체 수가 22이고, X염색체가 1개 있는 ㉢이다.
- ㉢는 총염색체 수가 24이고, X염색체가 1개 있으므로 21번 염색체가 2개 있는 II이다.
- V는 21번 염색체가 없고, X염색체가 비분리되어 2개이므로 ㉤이고, 총염색체 수는 23(㉠)이다.
- 각 세포의 염색체 구성을 정리하면 다음과 같다.

세포	염색체 구성	특징
I (㉠)	23+Y	7번 염색체 2개
II (㉢)	23+X	21번 염색체 2개
III (㉡)	23+YY	7번 염색체 2개, Y염색체 2개
IV (㉣)	21+X	7번 염색체 0개
V (㉤)	21+XX	21번 염색체 0개, X염색체 2개

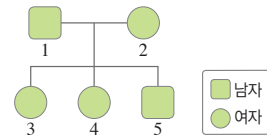
ㄴ. I (㉠)과 II (㉢)에서 성염색체 수는 1개로 같다.

ㄷ. IV (㉣)에는 7번 염색체가 없고, V (㉤)에는 21번 염색체가 없다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 23이다.

03 — 꼼꼼 문제 분석

- (가)는 상염색체에 있는 한 쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 D, E, F가 있다.
→ 단일유전자유전 형질, 복대립유전 형질
- D는 E, F에 대해, E는 F에 대해 각각 완전 우성이다.
→ 표현형의 종류는 (DD, DE, DF), (EE, EF), (FF)의 3가지이다.
- 그림은 이 가족 구성원의 가계도를 나타낸 것이고, 표는 구성원의 체세포 1개당 ㉠~㉤의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. ㉠~㉤은 D, E, F를 순서 없이 나타낸 것이다.



구성원	1DF	2EF	3DE	4EFF	5FF
DNA 상대량					
㉠F	1	1	0	2	2
㉢D	1	0	? 1	0	? 0
㉤E	0	? 1	1	? 1	0

- 3, 4, 5의 (가)의 표현형은 모두 다르고, 1은 3과, 2는 4와 각각 (가)의 표현형이 같다.
- 정상 정자 P와 생식세포 형성 과정에서 염색체비분리현상이 1회 일어나 형성된 난자 Q가 수정되어 자녀 ㉡가 태어났다. ㉡는 3~5 중 하나이다. → ㉡는 4이다.
- ㉣를 제외한 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

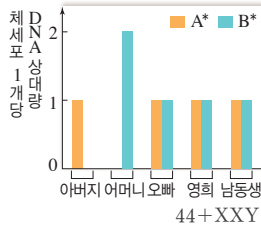
3, 4, 5의 (가)의 표현형이 모두 다르므로 3~5 중 한 명은 (가)의 유전자형이 FF이다. 따라서 1과 2는 모두 F를 가지므로 ㉠이 F이다. 1의 (가)의 표현형은 ㉢에 의해 결정되는데, 3과 (가)의 표현형이 같으므로 ㉢은 ㉤에 대해 완전 우성이다. 따라서 ㉢이 D, ㉤이 E이며, (가)의 유전자형은 1이 DF, 2가 EF이다. 이때 표현형이 3은 [D], 4는 [E]이므로 5는 [F]이다. 따라서 5가 FF이고, 3은 DE, 4는 EFF이며, P와 Q가 수정하여 태어난 자녀 ㉡는 4이다.

ㄴ. (가)의 유전자형은 1이 DF, 2가 EF, 4가 EFF이다. 따라서 정상 정자 P에는 F가 있고, 염색체비분리현상이 일어나 형성된 난자 Q에는 EF가 있으므로 Q가 형성될 때 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어났다.

ㄷ. ㉣는 (가)의 유전자형이 EFF인 4이다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 F, ㉢은 D, ㉤은 E이다.

04 품종 문제 분석



구성원	①	②
아버지	○ AA*	× X ^B Y
어머니	× AA	○ X ^B X ^B *
오빠	○ AA*	○ X ^B *Y
영희	○ AA*	× X ^B X ^B *
남동생	○ AA*	× X ^B X ^B *Y

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

- A*의 DNA 상대량이 1이면 남녀에 관계없이 ①가 발현된다. → A*는 ① 발현 대립유전자이고, ①은 우성형질이며, ①의 유전자는 상염색체에 있다.
- 여자는 B*의 DNA 상대량이 2이면 ②가 발현되고, 남자는 B*의 DNA 상대량이 1이면 ②가 발현된다. → B*는 ② 발현 대립유전자이고, ②는 열성형질이며, ②의 유전자는 X염색체에 있다.
- 영희의 남동생은 어머니에게서 물려받은 B*가 1개 있지만 ②가 발현되지 않았으므로 B가 있는 X염색체를 아버지에게서 물려받았다. → 아버지의 생식세포 형성 과정 중 감수 1분열에 상염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 정자가 정상 난자와 수정되어 남동생이 태어났으며, 남동생은 체세포의 염색체 구성이 44+XXY인 클라인펠터증후군의 염색체 이상을 보인다.

ㄱ. A*는 ① 발현 대립유전자이고, ①은 우성형질이므로 A*는 A에 대해 완전 우성이다.

ㄴ. ②의 유전자형은 아버지가 X^BY, 어머니가 X^BX^B*이므로 남동생은 어머니에게서 X^B*를 물려받았지만 ②가 발현되지 않았으므로 아버지에게서 X^BY를 물려받아 X^BX^B*Y이다. 따라서 아버지와 남동생의 체세포 1개당 B의 DNA 상대량은 1로 같다.

ㄷ. ①과 ②의 유전자형이 ①만 발현된 남자는 AA, X^B*Y이고, 영희는 AA*, X^BX^B*이다. ①가 발현될 확률은 AA×AA* → AA, AA*로 $\frac{1}{2}$ 이고, ②가 발현될 확률은 X^B*Y×X^BX^B* → X^BX^B*, X^BX^B*, X^BY, X^B*Y로 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ 이다.

중단원 핵심정리

45쪽~46쪽

- | | | | | |
|----------|-------------|----------|------------------|---------|
| 1 염색체 | 2 우성 | 3 분리 | 4 가계도 | 5 쌍둥이 |
| 6 없다 | 7 열성 | 8 상 | 9 불완전 | 10 복대립 |
| 11 정자 | 12 성 | 13 아들 | 14 $\frac{1}{4}$ | 15 다유전자 |
| 16 돌연변이 | 17 염색체비분리현상 | 18 다운증후군 | 19 전좌 | |
| 20 헤모글로빈 | | | | |

중단원 마무리 문제

47쪽~51쪽

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

01 ①, ⑤ (나)에서 (다)가 될 때 상동염색체가 분리되어 서로 다른 세포에 들어갔으므로 생식세포분열 과정 중 일부이고, 그 결과 분열이 완료된 후 딸세포에는 A와 a 중 하나만 들어 있게 된다.

② ㉠과 ㉡은 복제되어 형성된 염색분체이므로 유전자 구성이 동일하다.

③ 복제되어 형성된 염색분체에 a가 있으므로 ㉢에는 a가 있다.

[바로알기] ④ 세포 (가)와 (나)의 핵상은 모두 2n이고, (다)의 핵상은 n이다.

02 ㄱ. 완두 모양이라는 하나의 형질에 대해 둥근 것과 주름진 것과 같이 서로 대비되는 형질을 대립형질이라고 한다.

[바로알기] ㄴ. 완두 색깔을 결정하는 대립유전자는 상동염색체의 같은 위치에 있으므로, 노란색 대립유전자와 초록색 대립유전자는 하나의 염색체에 함께 있을 수 없다.

ㄷ. 콩깍지 색깔은 초록색이 우성형질이므로, 유전자형이 우성 동형접합이거나 이형접합이다. 우성 동형접합을 자가수분할 경우 자손 1대는 모두 초록색이고, 이형접합을 자가수분할 경우 자손 1대는 초록색과 노란색이 3 : 1로 나타난다.

03 ㄱ. 이란성쌍둥이에 비해 일란성쌍둥이가 높은 일치율을 보이는 치매는 유전의 영향을 받는다.

ㄷ. 낫모양적혈구빈혈증은 일란성쌍둥이에서 일치율이 1.0인데, 이것은 유전자에 의해서만 형질이 결정되고 환경의 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 일란성쌍둥이는 성장 환경이 달라도 낫모양적혈구빈혈증의 표현형이 같다.

[바로알기] ㄴ. 제시된 질병 중 일란성쌍둥이와 이란성 쌍둥이의 일치율의 차이가 가장 작은 알코올 중독은 유전자의 영향을 가장 적게 받는다.

04 ㄱ. A에서 부모는 모두 축축한 귀지인데 마른 귀지인 자녀가 태어났으므로 축축한 귀지가 우성형질이고, 마른 귀지가 열성형질이다.

ㄴ. B에서 축축한 귀지와 마른 귀지인 부모 사이에서 태어난 축축한 귀지인 자녀는 마른 귀지 대립유전자를 물려받아 유전자형이 이형접합이다.

ㄷ. C에서 마른 귀지인 부모에게서 마른 귀지인 자녀만 태어난 것은 마른 귀지인 사람의 유전자형이 열성 동형접합이기 때문이다.

05 ㄱ. (가)가 발현되지 않은 부모로부터 (가)가 발현된 딸이 태어났으므로 (가)는 열성형질이며, (가)의 유전자는 상염색체에 있다.

바로알기 ㄴ. (가)는 상염색체 유전형질이다. 따라서 체세포 1개 당 (가) 발현 대립유전자(a)의 DNA 상대량이 1은 1이고, 2는 2이다.

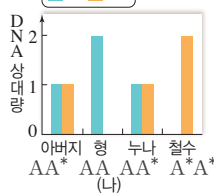
ㄷ. 2의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현될 확률은 $Aa \times aa \rightarrow Aa, aa$ 로 $\frac{1}{2}$ 이고, 아이가 남자일 확률은 $\frac{1}{2}$ 이므로, 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ 이다.

06 부모와 자녀 2명의 ABO식 혈액형이 각각 서로 다르고 아버지와 어머니의 유전자형이 모두 이형접합이다. 따라서 부모의 혈액형은 A형과 B형이고, 유전자형은 각각 $I^A i, I^B i$ 이다. 아이가 ABO식 혈액형 유전자형이 이형접합일 확률은 $I^A i \times I^B i \rightarrow I^A I^B, I^A i, I^B i, ii$ 로 $\frac{3}{4}$ 이고, 딸일 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$ 이다.

07 품종 문제 분석

가족	㉠의 발현 여부
아버지	발현 안 됨 AA*
형	발현 안 됨 AA
누나	발현 안 됨 AA*
철수	발현됨 A*A*

(가)



- ㉠의 유전자형이 AA, AA*이면 ㉠이 발현되지 않고, A*A*이면 ㉠이 발현된다. $\Rightarrow$ A*는 ㉠ 발현 대립유전자이며, ㉠은 열성형질이다.
- 철수는 A*를 아버지와 어머니에게서 하나씩 물려받았고, 형은 A를 아버지와 어머니에게서 하나씩 물려받았다. $\Rightarrow$ 어머니의 ㉠의 유전자형은 AA*이다.

ㄴ. 남자와 여자 모두 한 쌍의 대립유전자를 가지므로 ㉠의 유전자는 상염색체에 있다.

바로알기 ㄱ. 어머니의 ㉠의 유전자형은 AA*이므로 어머니에게서 ㉠이 발현되지 않는다.

ㄷ. 누나의 ㉠의 유전자형은 AA*이므로 누나와 ㉠이 발현된 남자 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 ㉠이 발현될 확률은 $AA^* \times A^*A^* \rightarrow AA^*, A^*A^*$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다.

08 품종 문제 분석

- A는 한 쌍의 대립유전자에 의해 결정된다. $\Rightarrow$ 단일유전자유전 형질
- A가 발현된 부모 사이에서 A가 발현되지 않은 아들이 태어났다. $\Rightarrow$ A는 우성형질이다.
- A가 발현된 남자와 A가 발현되지 않은 여자 사이에서 태어난 ㉠ 딸은 모두 A가 발현되었고, 아들은 모두 A가 발현되지 않았다. $\Rightarrow$ A의 유전자는 X염색체에 있다.

ㄴ. A는 단일유전자유전 형질이며, 반성유전을 따르는 형질이므로 A의 유전자는 X염색체에 있다.

ㄷ. ㉠은 아버지에게서 A 발현 대립유전자와 어머니에게서 A 미발현 대립유전자를 물려받아 A의 유전자형이 이형접합이다.

바로알기 ㄱ. 부모가 모두 A가 발현되었는데 A가 발현되지 않은 아들이 있으므로 A는 우성형질이다.

09 품종 문제 분석

구성원	성별	DNA 상대량			
		P	P*	T	T*
아버지	남	?0	㉠1	㉡1	㉢1
어머니	여	2	0	0	2
자녀 1	여	1	1	0	2
자녀 2	남	1	0	1	1



- 여자와 남자 모두 T와 T*의 DNA 상대량을 더한 값이 2이므로 T와 T*는 상염색체에 있다.
- 여자에서는 P와 P*의 DNA 상대량을 더한 값이 2이고, 남자에서는 P와 P*의 DNA 상대량을 더한 값이 1이므로 P와 P*는 X염색체에 있다.

ㄴ. P와 P*는 X염색체에 있으며, 어머니의 유전자형은 $X^P X^{P*}$ 인데, 자녀 1의 유전자형은 $X^P X^{P*}$ 이다. 따라서 자녀 1의 P*는 아버지에게서 물려받은 것이므로 ㉠은 1이다. T와 T*는 상염색체에 있으며, 어머니와 자녀 1의 유전자형은 T^*T^* 이고, 자녀 2의 유전자형은 TT^* 이다. 따라서 아버지의 유전자형은 TT^* 이므로 ㉡과 ㉢은 모두 1이다.

ㄷ. 자녀 2의 동생이 P와 P*를 모두 가질 확률은 $X^{P*}Y \times X^P X^P \rightarrow X^P X^{P*}, X^P Y$ 로 $\frac{1}{2}$ 이고, T와 T*를 모두 가질 확률은

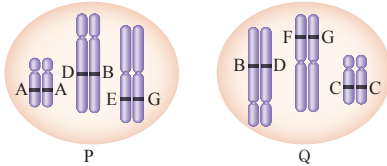
$TT^* \times T^*T^* \rightarrow TT^*, T^*T^*$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 구하고자 하는

확률은 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ 이다.

바로알기 ㄱ. P와 P*는 X염색체에 있으므로 (가)는 X염색체이다.

10 품종 문제 분석

- (가)는 복대립유전 형질이고, (나)는 다유전자유전 형질이다.
 ⇒ (가)를 결정하는 대립유전자에는 3가지 이상이 있고, (나)는 두 쌍 이상의 대립유전자에 의해 형질이 결정된다.
- (가)와 (나)를 결정하는 대립유전자에는 A~G가 있다.
- A~G는 각각 (가)와 (나) 중 한 가지 유전형질에만 관여하며, 서로 다른 3개의 상염색체에 있다.
- 그림은 여자 P와 남자 Q의 체세포에서 일부 염색체와 A~G의 위치를 나타낸 것이다.



⇒ P와 Q에서 상동염색체의 같은 위치에 있는 E, F, G가 (가)를 결정하는 대립유전자이고, 나머지 A와 C, B와 D는 (나)를 결정하는 대립유전자이다.

ㄷ. P와 Q 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이의 (나)의 유전자형은 ACBB, ACBD, ACDD으로 최대 3가지이다.

Q의 생식세포	P의 생식세포	
	AB	AD
CB	ACBB	ACBD
CD	ACBD	ACDD

바로알기 ㄱ. A와 C, B와 D는 (나)를 결정하는 데 관여한다.

ㄴ. E는 (가)를 결정하는 데 관여하며, (가)는 한 쌍의 대립유전자에 의해 형질이 결정되는 단일유전자유전 형질이다.

11 ㄴ. (가)와 (나)의 유전자형이 모두 AaBbDdEe인 여자와 남자 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이(㉠)의 (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6의 7가지이고, (나)의 표현형은 우성(E_)과 열성(ee)의 2가지이므로 ㉠에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형은 최대 14(=7×2)가지이다.

ㄷ. (가)와 (나)의 유전자형이 AaBbDdEe인 여자(㉡)와 남자 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이(㉢)의 (가)와 (나)의 표현형이 ㉡과 같을 확률은 다음과 같다.

• (가)의 표현형이 같을 확률: (가)의 유전자형이 AaBbDd일 때 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3일 확률은 각각 $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{8}$ 이다. 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3인 아이가 태어날 수 있는 경우는 생식세포의 결합이 (0, 3), (1, 2), (2, 1), (3, 0)일 때이므로 확률은 $(\frac{1}{8} \times \frac{1}{8}) + (\frac{3}{8} \times \frac{3}{8}) + (\frac{3}{8} \times \frac{3}{8}) + (\frac{1}{8} \times \frac{1}{8}) = \frac{20}{64}$ 이다.

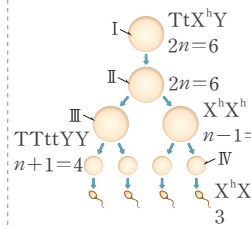
• (나)의 표현형이 같을 확률: Ee×Ee → EE, Ee, Ee, ee로

㉡과 표현형이 같은 우성일 확률은 $\frac{3}{4}$ 이다.

따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{20}{64} \times \frac{3}{4} = \frac{15}{64}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)는 다유전자유전 형질이고, (나)는 단일유전자유전 형질이다.

12 품종 문제 분석



세포	총염색체 수	DNA 상대량			
		H	h	T	t
㉠ II	6	③0	⑤2	2	2
㉡ I	?6	0	④1	1	1
㉢ IV	3	0	2	0	0
㉣ III	④4	0	?0	2	2

• I과 II는 2n=6이고, II는 DNA가 복제된 상태이므로 각 대립유전자의 DNA 상대량이 I의 2배이다. 따라서 ㉠이 II, ㉡이 I이다. ⇒ ③은 0이고, ㉡의 총염색체 수는 6이다.

• 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어난 경우 상염색체에 있는 대립유전자가 복제된 상태로 하나의 세포로 들어간다. ⇒ ㉢이 III이며, T와 t는 상염색체에 있고, ④는 4이다.

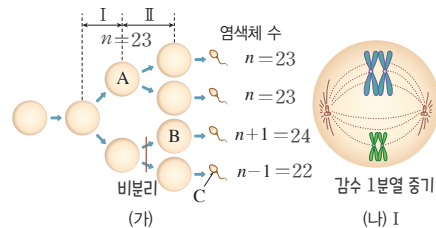
• ㉣은 IV이며, 염색체 수가 3이므로 감수 2분열에서 X염색체의 염색체비분리현상이 일어났다. h의 DNA 상대량이 2이므로 H와 h는 X염색체에 있다. ⇒ ㉣은 10이고, ⑤는 2이다.

ㄱ. ㉠은 II, ㉡은 I, ㉢은 IV, ㉣은 III이다.

ㄷ. ㉡(I)은 X염색체와 Y염색체가 모두 있으므로 성염색체 수는 2이다. ㉢(IV)은 감수 2분열 과정에서 X염색체의 염색체비분리현상이 일어났으므로 성염색체 수는 2이다.

바로알기 ㄴ. ③+④+⑤=0+2+1=3이고, ④는 4이다.

13 품종 문제 분석



• (가)에서 정자의 염색체 수가 n, n+1, n-1이므로 감수 2분열(II) 과정에서 염색체비분리현상이 일어났다.

• (나)에서 2가염색체가 세포 중앙에 배열되어 있으므로 (나)가 관찰되는 시기는 감수 1분열(I) 중기이다.

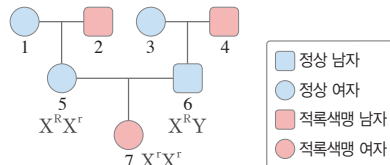
ㄴ. 성염색체의 염색체비분리현상이 일어났으므로 C는 22개의

상염색체만을 가지고 성염색체가 없다. 따라서 C가 정상 남자(22+X)와 수정되어 태어난 아이는 터너증후군의 염색체이상을 보인다.

[바로알기] ㄱ. 세포의 DNA양은 A가 B보다 많지만 2배보다는 작다.

ㄷ. (가)에서 염색체비분리현상은 감수 2분열(Ⅱ)에서 일어났고, (나)는 감수 1분열(Ⅰ)에서 관찰된다.

14 고평 문제 분석



6은 정상이지만 딸 7은 적록색맹이며 핵형은 정상이므로, 7은 어머니 5에게서 적록색맹 대립유전자가 있는 X염색체를 2개 물려받고, 아버지 6에게서 X염색체를 물려받지 않았다.

ㄱ. 성염색체의 염색체비분리현상이 일어나 형성된 생식세포의 염색체 구성이 ①은 22+XX이고 ②는 22로, 염색체 수는 ①이 ②보다 2개 많다.

ㄴ. 5에서 염색체비분리현상은 감수 2분열에서 일어났으므로 ①에는 적록색맹 대립유전자가 있는 X염색체 2개가 있다.

[바로알기] ㄷ. 7은 적록색맹 대립유전자를 어머니 5에게서만 물려받았으며, 5의 적록색맹 대립유전자는 2로부터 물려받은 것이다.

15 ㄷ. (다)는 생식세포분열이 완료된 생식세포인데 상동염색체가 있다. 이는 감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어났기 때문이다.

[바로알기] ㄱ. ⑤에는 a가 반복되어 있으므로 중복이 일어났다.

ㄴ. (나)로부터 정상적인 세포분열 과정을 통해 형성된 생식세포에는 ①~④ 중 1개만 있게 된다. 즉, ①과 ②이 함께 있는 생식세포는 만들어지지 않는다.

16 (가)는 고양이올름증후군, (나)는 다운증후군, (다)는 클라인펠터증후군, (라)는 알비노증이다.

ㄱ. 상염색체구조이상, 상염색체수이상, 유전자이상에 의한 유전병은 성별과 관계없이 나타날 수 있다.

ㄴ. 클라인펠터증후군(다)의 염색체 구성은 44+XXY로, 핵형 분석을 하면 정상인보다 성염색체가 많다.

ㄷ. 알비노증(라)은 DNA에서 특정 유전자의 염기서열이 바뀌어 나타나는 유전자이상에 의한 유전병이다.

17 **[모범 답안]** (1) ①은 우성형질이고, ①의 유전자는 상염색체에 있다. ③이 발현된 1과 2로부터 ③이 발현되지 않은 딸 3이 태어났기 때문이다.

(2) ① 발현 대립유전자를 E, ③ 미발현 대립유전자를 e라고 할 때, 1과 2의 ③의 유전자형은 모두 Ee이다. 아이에게서 ③이 발현될 확률은 $Ee \times Ee \rightarrow EE, Ee, Ee, ee$ 로 $\frac{3}{4}$ 이다. 1과 2로부터 B형인 3이 태어났으므로

1은 ABO식 혈액형의 열성 대립유전자를 갖는다. 아이가 AB형일 확률은 $I^A i \times I^A i \rightarrow I^A I^A, I^A i, I^A i, i i$ 로 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 구하고자 하는 확률은

$$\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16} \text{이다.}$$

채점 기준	배점
(1) 우열 관계와 유전자가 있는 염색체를 구분하고, 그렇게 판단한 까닭을 옳게 서술한 경우	40 %
우열 관계와 유전자가 있는 염색체만 옳게 쓴 경우	20 %
(2) 풀이 과정과 답을 모두 옳게 서술한 경우	60 %
답만 옳게 쓴 경우	30 %

18 (가)는 3쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 다유전자유전 형질이며, 3쌍의 대립유전자는 서로 다른 상염색체에 있으므로 독립적으로 유전된다. (가)의 유전자형이 AaBbDd인 여자(①)에서 만들어질 수 있는 생식세포의 유전자 구성은 ABD, Abd, AbD, Abd, aBD, aBd, abD, abd의 8가지이고, 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{8}$ 이다. AabbDd인 남자가 만들어질 수 있는 생식세포의 유전자 구성은 AbD, Abd, abD, abd의 4가지이고, 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자 수가 0, 1, 2인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ 이다.

[모범 답안] ①의 (가)의 표현형이 ③과 같을 확률은 ③ 생식세포의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 각각 1과 2, 2와 1, 3과 0의 조합일 때 가능하다. AaBbDd(③)에서 @가 1, 2, 3일 확률은 각각 $\frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{8}$ 이고, AabbDd에서 @가 2, 1, 0일 확률은 각각 $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ 이다. 따라서 $\left(\frac{3}{8} \times \frac{1}{4}\right) + \left(\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{8} \times \frac{1}{4}\right) = \frac{10}{32} = \frac{5}{16}$ 이다.

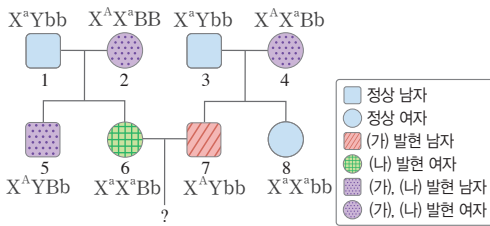
채점 기준	배점
풀이 과정과 답을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
답만 옳게 쓴 경우	50 %

중단원 고난도 문제

52쪽~53쪽

01 ② 02 ③ 03 ② 04 ①

01 품종 문제 분석



구성원	1	2	5	8
DNA 상대량				
a	1	① 1	② 0	? 2
B	? 0	③ 2	④ 1	⑤ 0

선택지 분석

- ~~㉠~~ (가)의 유전자는 상염색체에 있다. X염색체
 ㉡ ㉢은 2이다.
~~㉣~~ 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)와 (나) 중 (나)만 발현될 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다. $\frac{1}{4}$

전략적 풀이 ① 자료를 분석하여 (가)와 (나)의 유전자가 어떤 염색체에 있는지 파악한다.

ㄱ. (가)가 우성형질인데 a의 DNA 상대량이 1인 1에게서 (가)가 발현되지 않았으므로 1의 (가)의 유전자형은 X^aY 이다. 따라서 (가)의 유전자는 X염색체에 있고, (나)의 유전자는 상염색체에 있다.

㉡ 구성원 1, 2, 5, 8에서 a와 B의 DNA 상대량을 유추하여 ㉠~㉤이 무엇인지를 판별한다.

ㄴ. (가)와 (나)는 모두 우성형질이고, (나)가 발현된 2와 5의 B의 DNA 상대량 ①과 ③은 0일 수 없으므로 ㉡이 0이다. a의 DNA 상대량이 0인 5에게서 (가)가 발현되었고, a의 DNA 상대량이 1인 1에게서 (가)가 발현되지 않았으므로 (가)의 유전자는 X염색체에 있고, (나)의 유전자는 상염색체에 있다. 2에게서 (가)가 발현되었으므로 2는 A를 가지고, 2의 a의 DNA 상대량인 ①은 1이며, 나머지 ③은 2이다.

㉢ 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)와 (나) 중 (나)만 발현될 확률을 구한다.

ㄷ. 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)가 발현되지 않을 확률은 $X^aX^a \times X^AY \rightarrow X^aX^a$, X^AX^a , X^aY , X^AY 로 $\frac{1}{2}$ 이고, (나)가 발현될 확률은 $Bb \times bb \rightarrow Bb$, bb 로 $\frac{1}{2}$ 이다.

따라서 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ 이다.

02 품종 문제 분석

- (가)는 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 A, B, D가 있다. ㉠은 ㉡, ㉢에 대해, ㉣은 ㉤에 대해 각각 완전 우성이다. ㉠~㉤은 A, B, D를 순서 없이 나타낸 것이다.

⇒ (가)는 복대립유전 형질이다.

- (나)는 서로 다른 3개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 E와 e, F와 f, G와 g에 의해 결정된다. ⇒ (나)는 다유전자유전 형질이다.

- (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.

- (가)와 (나)의 유전자는 서로 다른 상염색체에 있다.

- P의 (가)와 (나)의 유전자형은 ABEEffGg이고, P와 Q는 (나)의 표현형이 서로 같다.

⇒ P와 Q는 (나)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3이다.

- P와 Q 사이에서 R가 태어날 때, R가 (가)의 유전자형이 BD인 사람과 (가)의 표현형이 같을 확률은 $\frac{3}{4}$ 이다.

⇒ 자손의 (가)의 표현형이 (가)의 유전자형이 BD인 사람과 같을 확률이 $\frac{3}{4}$ 이 되려면,

P와 Q에 공통적인 우성 대립유전자(B)가 있어야 한다.

- R가 (가)와 (나)의 유전자형이 DDEeffGg인 사람과 (가)와 (나)의 표현형이 모두 같을 확률은 $\frac{1}{16}$ 이다.

⇒ R의 (가)의 유전자형이 DD와 같을 확률이 존재하므로 Q의 (가)의 유전자형은 BD이고, D는 A에 대해 완전 우성이다. 따라서 ㉢은 B, ㉣은 D, ㉤은 A이다. P와 Q의 (가)의 유전자형이 AB와 BD이므로 R의 (가)의 표현형이 DD와 같을 확률은 $AB \times BD \rightarrow AB, AD, BB, BD$ 로 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 (나)의 표현형이 같을 확률도 $\frac{1}{4}$ 이다.

P의 (나)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{8}, \frac{3}{8}, \frac{3}{8}, \frac{1}{8}$ 이다. Q의 (나)의 유전자형에서는 대문자로

표시되는 대립유전자의 수가 1, 2인 생식세포가 만들어질 확률은 각각 $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ 이다.

R의 (나)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 2가 되려면 P와 Q의 생식세포의 조합이 (0, 2), (1, 1)이므로 $(\frac{1}{8} \times \frac{1}{2}) + (\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}) = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$ 이다.

- R에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 ㉢ 2가지이고, (나)의 표현형은 최대 ㉤ 5가지이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉡은 D이다.

- ~~㉢~~ ㉢+㉤=9이다. 7

- ㉤ R의 (가)와 (나)의 표현형이 모두 Q와 같을 확률은 $\frac{9}{32}$ 이다.

전략적 풀이 ① (가)에 대한 자료를 이용하여 (가)를 결정하는 ㉠~㉤이 무엇인지를 판별한다.

ㄱ. P와 Q에는 공통적으로 B가 있고, B는 A와 D에 대해 완전 우성이다. 따라서 ㉢은 B이다. P와 Q 사이에 태어난 R의 (가)

의 표현형이 DD와 같을 수 있으려면 Q에 D가 있어야 한다. 따라서 Q의 (가)의 유전자형은 BD이고, $AB \times BD \rightarrow AB, \underline{AD}, BB, BD$ 인데, AD가 DD와 표현형이 같으므로 D는 A에 대해 완전 우성이다. 따라서 ㉠은 D, ㉡은 A이다.

㉢ P와 Q로부터 태어난 R의 표현형의 비율을 이용하여 R에서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형의 최대 가지수를 구한다.

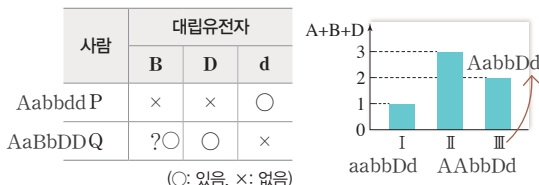
ㄴ. P와 Q 사이에서 태어난 R의 (가)의 표현형은 $AB \times BD \rightarrow (AD), (AB, BB, BD)$ 로 최대 2가지이다. 또한 P에서 형성되는 생식세포의 (나)의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 0, 1, 2, 3이고, Q에서 형성되는 생식세포의 (나)의 유전자 구성에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1, 2이므로 R의 (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1, 2, 3, 4, 5이다. 즉, (나)의 표현형은 최대 5가지이다. 따라서 ㉢+㉣=2+5=7이다.

㉤ R에서 Q와 (가)와 (나)의 표현형이 같을 확률을 구한다.

ㄷ. Q의 (가)의 유전자형은 BD로 표현형은 [B]이다. R의 (가)의 유전자형은 $AB \times BD \rightarrow AD, \underline{AB}, BB, BD$ 로 R에서 [B]가 나타날 확률은 $\frac{3}{4}$ 이다. Q의 (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3에 해당하는 표현형이다. R의 (나)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3이 될 수 있는 생식세포의 조합은 (1, 2), (2, 1)이고, 확률은 $(\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}) + (\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}) = \frac{6}{16} = \frac{3}{8}$ 이다. 따라서 R의 (가)와 (나)의 표현형이 모두 Q와 같을 확률은 $\frac{3}{4} \times \frac{3}{8} = \frac{9}{32}$ 이다.

03 품종 문제 분석

- (가)~(다)의 유전자는 서로 다른 3개의 상염색체에 있다.
- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해 결정된다. A, B, D는 a, b, d에 대해 각각 완전 우성이며, (가)~(다)는 모두 열성형질이다.
- 표는 남자 P와 여자 Q의 유전자형에서 B, D, d의 유무를 나타낸 것이고, 그림은 P와 Q 사이에서 태어난 자녀 I ~ III에서 체세포 1개당 A, B, D의 DNA 상대량을 합한 값(A+B+D)을 나타낸 것이다.



- ⇒ P의 (나)의 유전자형은 bb, (다)의 유전자형은 dd이다.
- ⇒ Q의 (다)의 유전자형은 DD이므로, Q에서 형성되는 생식세포에는 항상 D가 있다. 따라서 P와 Q의 자녀에서 (다)의 유전자형은 모두 Dd이다.
- ⇒ I의 A+B+D가 1이므로 I의 유전자형은 aabbDd이다. 따라서 P는 a를 가지며, Q는 a와 b를 갖는다.

- (가)와 (나) 중 한 형질에 대해서만 P와 Q의 유전자형이 서로 같다.
⇒ 만일 P와 Q의 (나)의 유전자형이 bb로 같다면 P와 Q는 모두 a를 가지므로 P와 Q의 (가)의 유전자형은 각각 Aa와 aa 중 하나이다. 이 경우 A+B+D가 3인 자녀가 태어날 수 없다. 따라서 P와 Q의 유전자형은 각각 Aabbdd와 AaBbDD이다.
- 자녀 II와 III은 (가)~(다)의 표현형이 모두 같다.
⇒ II의 유전자형은 AAbbDd이고, III의 유전자형은 AabbDd이다.

선택지 분석

- ✗ Q의 체세포 1개당 A, B, D의 DNA 상대량을 더한 값은 3이다. 4
- ✗ II와 III은 (가)의 유전자형이 서로 같다. 다르다
- ㉠ III의 동생이 태어날 때, 이 아이의 (가)~(다)의 표현형이 모두 Q와 같을 확률은 $\frac{3}{8}$ 이다.

전략적 풀이 ① 표와 그림을 분석하여 P와 Q의 대립유전자 구성을 정리하고, 주어진 조건을 이용하여 P와 Q의 유전자형을 판별한다.

ㄱ. 표에서 P의 (가)~(다)의 유전자형은 $(\)(\)bbdd$ 이고, Q의 (가)~(다)의 유전자형은 $(\)(\)(\)DD$ 라는 것을 알 수 있다. 자녀 I의 (가)~(다)의 유전자형이 aabbDd라는 것을 통해 P와 Q의 (가)~(다)의 유전자형은 $(\)abbdd$ 와 $(\)a(\)bDD$ 라는 것을 알 수 있다. P와 Q의 (나)의 유전자형이 같다면 P와 Q의 유전자 조합이 (Aabbdd, aabbDD) 또는 (aabbdd, AabbDD)가 되는데, 이 경우 A+B+D가 3인 자녀가 태어날 수 없으므로 (가)의 유전자형이 Aa로 같다. 따라서 P와 Q의 (가)~(다)의 유전자형은 각각 Aabbdd와 AaBbDD이며, Q의 체세포 1개당 A, B, D의 DNA 상대량을 더한 값은 4이다.

② II와 III의 (가)의 유전자형을 판별한다.

ㄴ. II와 III의 A+B+D가 3과 2로 다른데 (가)~(다)의 표현형은 모두 같다. II와 III은 모두 D를 가지므로 II와 III은 같은 우성 대립유전자를 각각 2개와 1개를 갖는다. P와 Q의 (가)~(다)의 유전자형이 Aabbdd와 AaBbDD이므로 자녀가 같은 우성 대립유전자를 2개 가질 수 있는 경우는 AA이다. 따라서 II와 III의 (가)~(다)의 유전자형은 각각 AAbbDd와 AabbDd로, (가)의 유전자형은 서로 다르다.

③ P와 Q 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)~(다)의 표현형이 나타날 확률을 구한다.

ㄷ. P와 Q 사이에서 아이가 태어날 때

• (가)의 표현형이 Q와 같을 확률은 $Aa \times Aa \rightarrow \underline{AA}, \underline{Aa}, \underline{Aa}, aa$ 로 $\frac{3}{4}$ 이다.

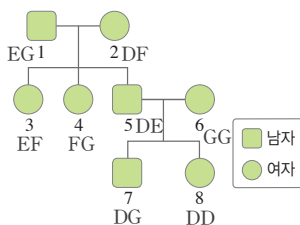
• (나)의 표현형이 Q와 같을 확률은 $bb \times Bb \rightarrow \underline{Bb}, bb$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다.

• (다)의 표현형이 Q와 같을 확률은 $dd \times DD \rightarrow \underline{Dd}$ 로 1이다.

따라서 (가)~(다)의 표현형이 모두 Q와 같을 확률은 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \times 1 = \frac{3}{8}$ 이다.

04 품목 문제 분석

- (가)는 상염색체에 있는 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립 유전자에는 D, E, F, G가 있다. $\Rightarrow$ (가)는 복대립유전 형질이다.
- D는 E, F, G에 대해, E는 F, G에 대해, F는 G에 대해 각각 완전 우성이다. $\Rightarrow D > E > F > G$
- 그림은 구성원 1~8의 가계도를, 표는 1, 3, 4, 5의 체세포 1개당 G의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. 가계도에 (가)의 표현형은 나타내지 않았다.



구성원	G의 DNA 상대량
1	1
3	0
4	1
5	0

- 1~8의 (가)의 유전자형은 각각 서로 다르다.
- 3, 4, 5, 6의 (가)의 표현형은 각각 서로 다르고, 2와 8의 (가)의 표현형은 같다.
- 5와 6 중 한 명의 생식세포 형성 과정에서 ④ 대립유전자 ㉠이 대립유전자 ㉡으로 바뀌는 돌연변이가 1회 일어나 ㉡을 갖는 생식세포가 형성되었고, 이 생식세포가 정상 생식세포와 수정되어 8이 태어났다. ㉠과 ㉡은 각각 D, E, F, G 중 하나이다.
 $\Rightarrow$ 돌연변이는 6에서 일어나 G(㉡)가 D(㉠)로 바뀌었으며, 8은 DD이다.

선택지 분석

- ☒ ㉠은 E이다. G
- ☒ ㉡ 1과 3의 (가)의 표현형은 같다.
- ☒ 8의 동생이 태어날 때, 이 아이의 (가)의 표현형이 3과 같을 확률은 $\frac{1}{4}$ 이다. $\frac{1}{2}$

전략적 풀이 ❶ 복대립유전에서 대립유전자의 우열 관계에 따른 표현형과 1~8의 유전자형이 각각 서로 다르다는 것을 이용하여 가계도 구성원의 유전자형을 추론한다.

- ① 3, 4, 5, 6의 표현형이 각각 서로 다르다면 한 명은 유전자형이 GG이다. 표에서 3, 4, 5는 유전자형이 GG가 아니므로 6이 GG이다. 1에는 G가 있는데, 1의 유전자형이 DG이고, 자녀에게서 E, F의 형질이 표현되려면 자녀의 유전자형이 각각 EG, FG로 두 명이 G를 가져야 하므로 조건에 모순된다. 따라서 유전자형이 1은 EG, 2는 DF, 4는 FG이다.
- ② 3과 5는 각각 DE와 EF 중 하나인데, 5가 EF라면 유전자형이 GG인 6과의 사이에서 태어난 7은 EG나 FG가 된다. 이 경우 1~8의 유전자형은 각각 서로 다르다는 조건에 모순되므로 3은 EF, 5는 DE이다.
- ③ 5(DE)와 6(GG) 사이에서 태어난 7은 나머지 사람과 다른 유전자형을 가지므로 7은 DG이다. 5에서 돌연변이가 일어난다

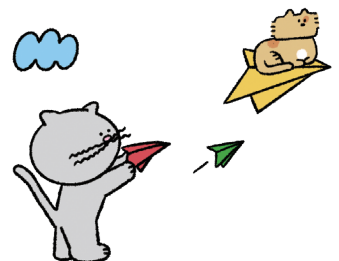
면 8은 반드시 G를 가지게 되어 DG가 되는데, 이는 7과 유전자형이 같으므로 조건에 모순된다. 따라서 돌연변이는 6에서 일어났고, G(㉠)가 D(㉡)로 바뀌었으며, 8은 DD이다.

② 분석한 결과를 적용하여 표현형을 파악한다.

ㄴ. 1과 3의 (가)의 유전자형은 각각 EG와 EF로 유전자형은 다르지만, E가 F, G에 대해 완전 우성이므로 표현형은 같다.

㉢ 태어날 아이에게서 (가)의 표현형이 3과 같을 확률을 구한다.

ㄷ. 5와 6 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이는 $DE \times GG \rightarrow DG, EG$ 로 (가)의 표현형이 3(EF)과 같을 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다.



2 유전물질

01 / 유전물질

개념 확인문제

57쪽

1 S형균 2 형질전환 3 DNA 4 DNA

1 (나), (다) 2 ㉠ DNA, ㉡ 단백질

1 (가)에서는 DNA 분해효소를 처리하여 S형균의 DNA가 분해되므로, R형균이 S형균으로 형질전환되지 않는다. 그러나 (나)와 (다)에서는 S형균의 DNA가 남아 있어 R형균이 S형균으로 형질전환되므로 살아 있는 S형균이 관찰된다.

2 DNA의 구성 원소는 C, H, O, N, P이고, 단백질의 구성 원소는 C, H, O, N, S이므로, 박테리오파지의 DNA는 ^{32}P 으로, 단백질은 ^{35}S 으로 표지한다.

개념 확인문제

62쪽

1 뉴클레오타이드 2 디옥시라이보스 3 A, G, C, T 4 이중나선
5 수소 6 T 7 C 8 크고 9 뉴클레오솜 10 많고

1 (1) 6개 (2) 디옥시라이보스 (3) ㉠ 타이민(T), ㉡ 사이토신(C)
(4) ㉢ 3' 말단, ㉣ 5' 말단 2 3'-TGCCATTGA-5'
3 (1) ○ (2) ○ (3) × 4 ㉠ 많, ㉡ 많아서, ㉢ 낮다, ㉣ 인트론

1 (1) DNA의 단위체인 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 결합한 형태이므로, 염기나 당의 개수는 단위체의 개수와 같다.

(2) DNA를 구성하는 당인 (가)는 디옥시라이보스이다.

(3) 아데닌(A)과 상보적으로 결합하는 ㉠은 타이민(T)이고, 구아닌(G)과 상보적으로 결합하는 ㉡은 사이토신(C)이다.

(4) 이중나선 DNA를 이루는 두 가닥의 방향은 서로 반대이므로 ㉢는 3' 말단이고, ㉣는 5' 말단이다.

2 이중나선 DNA에서 A는 T와, G는 C와 상보적으로 결합하므로, 가닥 I에 상보적으로 결합하는 가닥 II의 염기서열은 3'-TGCCATTGA-5'이다.

3 (1) 핵막이 없는 원핵세포의 유전체는 세포질에 있고, 핵막이 있는 진핵세포의 유전체는 핵 속에 있다.

(2) 원핵세포의 유전체는 대부분 원형 DNA 1개로 구성되고, 진핵세포의 유전체는 선형 DNA 여러 개로 구성된다.

(3) 대부분의 원핵세포는 히스톤 단백질이 없어 뉴클레오솜을 형성하지 않는다.

4 진핵세포는 원핵세포보다 유전자의 수가 많지만 유전자 사이에 비유전자 부위가 많아서, DNA에서 유전자가 차지하는 비율이 낮다. 또한 진핵세포의 유전자에는 단백질을 암호화하는 엑손과 암호화하지 않는 인트론이 있다.

대표 자료 분석 1

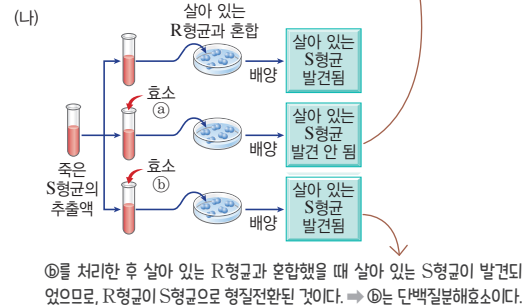
63쪽

1 ㉠ S형균, ㉡ R형균 2 ㉢ DNA 분해효소, ㉣ 단백질분해효소
3 (1) 있다 (2) 되지 않는다 (3) ㉠ R형균, ㉡ S형균 4 ㉢, ㉣
5 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

꼼꼼 문제 분석



㉢를 처리한 후 살아 있는 R형균과 혼합했을 때 살아 있는 S형균이 발견되지 않았으므로, 죽은 S형균의 유전물질(DNA)이 분해된 것이다. ⇒ ㉢는 DNA 분해효소이다.



1 병원성이 있는 것(㉠)은 생쥐에게 주입했을 때 생쥐를 죽게 하는 S형균이다. 반면 R형균은 병원성이 없어(㉡) 생쥐에게 주입하더라도 생쥐가 죽지 않는다.

2 ㉢는 유전물질인 DNA를 분해하는 DNA 분해효소이고, ㉣는 단백질분해효소이다.

3 (1) 살아 있는 S형균은 피막이 있어 숙주의 면역반응을 피해 증식하므로 병원성을 나타낸다.

(2) (가)의 IV를 통해 열처리를 하더라도 S형균의 유전물질은 분해되지 않음을 알 수 있다.

(3) (가)의 IV에서 죽은 S형균의 유전물질에 의해 살아 있는 R형균이 S형균으로 형질전환되었다.

4 DNA 분해효소를 처리한 경우에는 DNA 분해효소에 의해 죽은 S형균의 DNA가 분해되어 R형균이 S형균으로 형질전환되지 않는다. 반면 RNA 분해효소나 탄수화물분해효소를 처리한 경우에는 죽은 S형균의 DNA에 의해 R형균이 S형균으로 형질전환되어 살아 있는 S형균이 발견된다.

5 (1) 피막이 있는 S형균은 폐렴을 유발하여 생쥐를 죽게 한다.

(2) 그리피스는 R형균을 S형균으로 형질전환시킨 물질(유전물질)이 정확히 무엇인지는 밝혀내지 못했다.

(3) (나)에서 DNA 분해효소(㉔)에 의해 S형균의 유전물질이 분해되어 형질전환이 일어나지 않았다.

(4) 단백질을 분해하는 단백질분해효소(㉕)의 기질은 단백질이다.

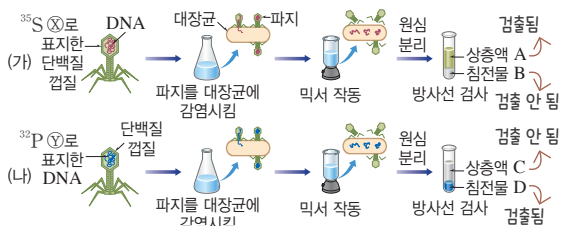
(5) S형균의 유전물질(DNA)이 R형균 안으로 들어가면, S형균의 유전정보에 따라 피막 합성에 관여하는 유전자가 발현된다.

대표 자료 분석 2

64쪽

- 1 ㉔ ^{35}S , ㉕ ^{32}P 2 (1) ㉔ DNA, ㉕ 단백질 (2) ㉔ 단백질, ㉕ DNA (3) 상층액 (4) 침전물 (5) D 3 (1) A (2) D (3) DNA
4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

꼼꼼 문제 분석



- (가) 박테리오파지의 단백질 껍질을 ^{35}S 으로 표지하였으므로 상층액 A에서 방사선이 검출된다.
- (나) 박테리오파지의 DNA를 ^{32}P 으로 표지하였으므로 대장균이 있는 침전물 D에서 방사선이 검출된다.

1 ㉔는 단백질을 표지하는 데 사용되는 ^{35}S 이고, ㉕는 DNA를 표지하는 데 사용되는 ^{32}P 이다.

2 (1), (2) 인(P)은 DNA에는 있지만 단백질에는 없는 원소이고, 황(S)은 단백질에는 있지만 DNA에는 없는 원소이다.

(3), (4) 원심분리 결과 가벼운 박테리오파지의 단백질 껍질은 위로 떠서 주로 상층액에 있고, 크고 무거운 대장균은 아래로 가라앉아 주로 침전물에 있다.

(5) 박테리오파지의 유전물질은 대장균 내부로 들어가 증식한다. 만약 단백질이 유전물질이라면 ^{35}S 으로 표지한 파지의 단백질이 대장균 내부로 들어가 B에서 방사선이 검출될 것이고, DNA가 유전물질이라면 ^{32}P 으로 표지한 파지의 DNA가 대장균 내부로 들어가 D에서 방사선이 검출될 것이다.

3 (1), (2) 실험 결과 (가)에서는 A에서, (나)에서는 D에서 방사선이 주로 검출된다.

(3) 박테리오파지의 DNA만이 대장균 내부로 들어가 파지가 증식하는 데 관여하므로, 실험 결과를 통해 DNA가 유전물질임을 알 수 있다.

4 (1), (2) 박테리오파지는 세균에 기생하는 바이러스로, 스스로 증식하지 못한다. 대장균이 파지에 감염되면 파지의 유전물질이 대장균 내부로 들어가 대장균의 물질대사 체계를 이용하여 복제되고 새로운 박테리오파지가 형성된다.

(3) 믹서는 대장균 내부로 들어가지 않은 박테리오파지의 나머지 부분을 대장균으로부터 떨어뜨리기 위해 사용한다.

(4) (나)에서 ^{32}P 으로 표지된 DNA가 복제에 참여하여 자손 파지가 형성되므로, 새로 형성된 파지의 일부에서 방사선이 검출된다.

대표 자료 분석 3

65쪽

- 1 (1) 3' 말단 (2) 디옥시라이보스 (3) 공유 (4) 수소 (5) 퓨린 2 (1) ㉔ T, ㉕ A, ㉖ G, ㉗ C (2) ㉔ (3) ㉔ : ㉕ = 1 : 1 3 (1) × (2) ○
(3) × (4) × (5) ○ (6) ○

1 (1) DNA 이중나선을 이루는 두 폴리뉴클레오타이드의 방향은 서로 반대이며, 가닥의 한쪽 끝이 인산이 결합되어 있는 5' 말단이므로 반대쪽 가닥의 끝인 (가)는 3' 말단이다.

(2) ㉔은 X의 단위체를 구성하는 디옥시라이보스이다. 라이보스는 RNA를 구성하는 당이다.

(3) 한 폴리뉴클레오타이드 가닥에서 인접한 뉴클레오타이드의 당과 인산은 공유결합으로 연결된다.

(4) DNA를 이루는 두 폴리뉴클레오타이드 사이에서 염기와 염기는 수소결합으로 연결된다.

(5) ④와 ④는 고리 1개 구조인 피리미딘 계열 염기이고, ⑥와 ⑥는 고리 2개 구조인 퓨린 계열 염기이다.

2 (1) ③는 ⑥와 2개의 수소결합으로 연결되는 피리미딘 계열 염기이므로 타이민(T)이고, ⑥는 T와 상보적으로 결합하는 아데닌(A)이다. ⑤는 ④와 3개의 수소결합으로 연결되는 퓨린 계열 염기이므로 구아닌(G)이고, ④는 G와 상보적으로 결합하는 사이토신(C)이다.

(2) 타이민(T, ③)은 RNA에는 없고 DNA에만 있다. RNA에는 타이민(T) 대신 유라실(U)이 있다.

(3) DNA 이중나선에서 상보적으로 결합하는 구아닌(G, ⑤)과 사이토신(C, ④)의 개수의 비는 1 : 1이다.

3 (1) 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기로 구성되므로, ㉠은 뉴클레오타이드가 아니다.

(2) I의 염기서열은 5'-TGTA-3'이므로, I에서 타이민(T)의 개수는 2개이다.

(3), (4) II의 염기서열은 5'-TTACA-3'이므로, II에서 5' 말단 염기는 타이민(T)이며, 퓨린 계열 염기(A 또는 G)의 개수는 2개이다.

(5) I에서 T와 A의 개수는 각각 II에서 A와 T의 개수와 같고, I에서 G와 C의 개수는 각각 II에서 C와 G의 개수와 같다. 따라서 I과 II에서 $\frac{\text{아데닌(A)} + \text{타이민(T)}}{\text{사이토신(C)} + \text{구아닌(G)}}$ 은 같다.

(6) X에서 AT쌍이 4개, GC쌍이 1개이므로, 염기 간 수소결합의 총개수는 $2 \times 4 + 3 \times 1 = 11$ 개이다.

내신 만점문제

66쪽~68쪽

- | | | | | |
|------|----------|---------|----------|------|
| 01 ② | 02 ③ | 03 ③ | 04 해설 참조 | 05 ⑤ |
| 06 ④ | 07 해설 참조 | 08 ②, ③ | 09 ④ | 10 ⑤ |
| 11 ② | 12 ① | 13 ⑤ | | |

01 ㉠을 주입했을 때 생쥐가 죽지 않았으므로 ㉠은 비병원성을 나타내는 R형균이고, ㉡을 주입했을 때 생쥐가 죽었으므로 ㉡은 병원성을 나타내는 S형균이다.

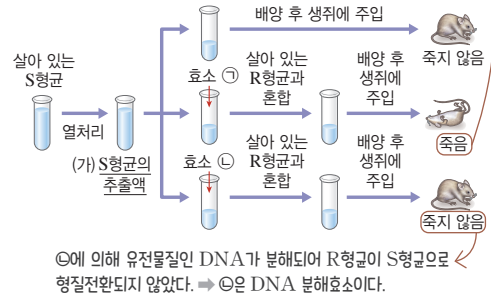
㉢. 살아 있는 R형균(㉠)과 열처리한 S형균(㉡)을 혼합하여 생쥐 A에 주입했을 때 A가 죽었으므로, R형균에서 S형균으로 형질전환이 일어나 A에는 살아 있는 S형균(㉡)이 있음을 알 수 있다. S형균(㉡)은 피막을 가지므로 A에는 피막을 갖는 폐렴균이 있다.

바로알기 ㉣. ㉠은 병원성이 없는 R형균이다.

㉣. 그리피스에 이 실험을 통해 S형균의 유전물질에 의해 R형균이 S형균으로 형질전환된다는 사실은 밝혀졌지만, 유전물질이 정확히 무엇인지는 밝혀내지 못했다.

02 품고 문제 분석

배양액 속에 병원성이 있는 살아 있는 S형균이 있다는 것을 의미한다.
 ⇒ S형균의 DNA에 의해 R형균이 S형균으로 형질전환되었으며, ㉠은 단백질분해효소이다.



㉣. 열처리한 S형균의 추출액(가)에는 R형균을 S형균으로 형질전환시키는 S형균의 유전물질인 DNA가 있다.

㉣. DNA 분해효소(㉠)의 기질은 DNA이다.

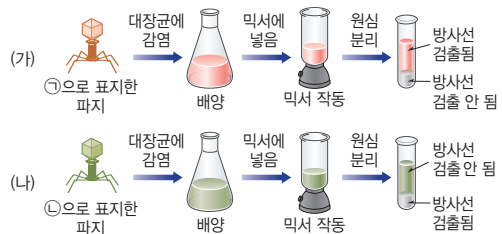
바로알기 ㉣. 형질전환은 단백질분해효소(㉠)가 아닌 S형균의 DNA에 의해 일어났다.

03 ㉣. (가)에서 생쥐가 죽고 생쥐의 혈액에서 살아 있는 ㉠이 관찰되었으므로, ㉠이 병원성이 있는 S형균이다.

㉣. (가)에서 S형균(㉠)의 유전정보가 R형균(㉡)으로 전달되어 형질전환이 일어났다.

바로알기 ㉣. (나)에서 DNA 분해효소에 의해 S형균의 유전물질이 분해되었으므로 폐렴균의 형질전환이 일어나지 않았다.

04~05 품고 문제 분석



• (가)의 상층액에서 방사선이 검출되었으므로 ㉠은 대장균 내부로 들어가지 못한 박테리오파지의 단백질 껍질에 있다. ⇒ ㉠은 파지의 단백질을 표지한 ^{35}S 이다.

• (나)의 침전물에서 방사선이 검출되었으므로 ㉡은 대장균 내부로 들어간 박테리오파지의 DNA에 있다. ⇒ ㉡은 파지의 DNA를 표지한 ^{32}P 이다.

04 **모범 답안** 대장균 내부로 들어가지 못한 박테리오파지의 껍질과 대장균을 분리하기 위해서이다.

채점 기준	배점
대장균 내부로 들어가지 못한 박테리오파지의 껍질을 분리하기 위해서라고 옳게 서술한 경우	100 %
대장균과 박테리오파지를 분리하기 위해서라고만 서술한 경우	70 %

05 ㄴ. (가)와 (나)에서 모두 박테리오파지의 유전물질은 대장균 내부로 들어가 새로운 파지를 만드는 데 사용된다.

ㄷ. (나)에서 얻은 침전물에는 대장균이 있으며, 대장균 속에는 박테리오파지의 DNA가 들어 있다. 파지의 DNA는 새로운 파지를 합성하는 데 필요한 유전물질이다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 박테리오파지의 단백질을 표지한 ^{35}S 이다.

06 ㉠은 3개의 수소결합으로 연결되는 피리미딘 계열 염기이므로 사이토신(C)이고, ㉡은 C와 상보적으로 결합하는 구아닌(G)이다. 또한 ㉢은 2개의 수소결합으로 연결되는 퓨린 계열 염기이므로 아데닌(A)이고, ㉣은 A와 상보적으로 결합하는 타이민(T)이다.

ㄱ. 사이토신(C, ㉠), 구아닌(G, ㉡), 아데닌(A, ㉢)은 DNA와 RNA에 공통으로 있는 염기이다.

ㄴ. 이중나선 DNA에서 A는 T과, G는 C와 상보적으로 결합하므로, 피리미딘 계열 염기인 사이토신(C, ㉠)과 타이민(T, ㉢)의 개수의 합은 퓨린 계열 염기인 구아닌(G, ㉡)과 아데닌(A, ㉣)의 개수의 합과 같다. 따라서 (가)에서

$$\frac{\text{사이토신(C, ㉠)의 개수} + \text{타이민(T, ㉢)의 개수}}{\text{구아닌(G, ㉡)의 개수} + \text{아데닌(A, ㉣)의 개수}} = 1 \text{이다.}$$

바로알기 ㄷ. 사이토신(C, ㉠)+구아닌(G, ㉡)의 함량은 I과 II에서 각각 60 %로 같으므로, 아데닌(A, ㉢)+타이민(T, ㉣)의 함량은 I과 II에서 각각 $100 - 60 = 40$ %이다.

07 **모범 답안** DNA에서 A와 T의 함량이 거의 같고 G와 C의 함량도 거의 같으므로, 생물의 종류와 관계없이 DNA 이중나선에서 A는 T과, G는 C와 상보적으로 결합한다.

채점 기준	배점
제시된 자료를 근거로 DNA 이중나선에서 A는 T과, G는 C와 상보적으로 결합한다고 옳게 서술한 경우	100 %
염기가 상보적으로 결합한다고만 서술한 경우	50 %

08 ② DNA 이중나선의 지름(㉡)은 2 nm이다.

③ DNA 이중나선 1회전당 10개의 염기쌍이 있으며, 그 길이는 3.4 nm이므로, 이웃한 염기쌍 사이의 길이(㉢)는 0.34 nm이다.

바로알기 ① DNA를 이루는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드의 방향은 서로 반대이므로 ㉠은 5' 말단이다.

④ 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기가 상보적으로 결합하기 때문에 DNA 지름이 일정하게 유지된다.

⑤ 이중나선을 이루는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드는 염기 사이의 수소결합으로 연결된다.

09 ㄱ. X를 구성하는 염기의 개수가 100개이므로 X의 한 가닥에는 50개의 염기가 있다. 한 가닥에서 인접한 염기쌍 사이의 간격 수는 염기의 총개수보다 1개 적으므로 49이다. 이때 X의 길이는 인접한 염기쌍 사이의 거리만 고려한다고 하였으므로 $0.34 \text{ nm} \times 49 = 16.66 \text{ nm}$ 이다. 따라서 X의 길이는 17 nm보다 짧다.

ㄷ. X에서 $A + T + G + C = 100$, $2(A + T) = 3(G + C)$ 이므로, $A + T = 60$, $G + C = 40$ 이다. 따라서 구아닌(G)과 사이토신(C)의 개수는 각각 20개이다.

ㄴ. X에서 염기 간 수소결합의 총개수는 $(2 \times 30) + (3 \times 20) = 120$ 개이다.

바로알기 ㄴ. DNA 이중나선은 1회전당 10개의 염기쌍이 있으므로, 50개의 염기쌍으로 구성된 X에서 이중나선의 회전 수는 5바퀴이다.

10 ㄱ. 소금-세제액(㉠)에서 세제액은 세포막과 핵막의 인지질을 녹여 막을 분해하고, 소금의 Na^+ 은 DNA를 서로 잘 뭉치게 한다.

ㄴ. 에탄올은 DNA가 에탄올에 잘 녹지 않는 성질을 이용하여 DNA를 분리시키며, DNA는 브로콜리 추출액과 에탄올의 경계면에 모여 가는 실 모양으로 관찰된다. 이때 에탄올(㉢)의 온도가 낮을수록 DNA가 잘 응축되어 더 선명하게 관찰된다.

ㄷ. ㉢에는 브로콜리 세포에서 추출한 가는 실 모양의 DNA가 있다.

11 (가)는 유전체가 원형의 DNA로 구성되어 있으므로 원핵세포의 유전체이고, (나)는 유전체가 핵 속에 있으며 선형의 DNA 여러 개로 구성되어 있으므로 진핵세포의 유전체이다.

ㄷ. 진핵세포에서는 DNA가 히스톤 단백질과 결합하여 뉴클레오솜을 형성한다.

바로알기 ㄱ. (가)는 원핵세포의 유전체이다.

ㄴ. 원핵세포에는 핵막이 없으므로 원핵세포의 유전체(가)는 세포질에 있다.

12 ㄱ. 원핵생물인 대장균의 유전체는 원형 DNA로 구성되고, 진핵생물인 사람의 유전체는 선형 DNA로 구성된다.

바로알기 ㄴ. 사람의 유전체는 대장균의 유전체보다 크므로, 유전체를 구성하는 염기쌍의 개수도 사람이 대장균보다 많다.
 ㄷ. 대장균의 유전자는 단백질을 암호화하는 부위로만 이루어져 있지만, 사람의 유전자에는 단백질을 암호화하는 부위(엑손)와 암호화하지 않는 부위(인트론)가 있다.

13 원핵생물의 DNA에는 유전자 부위가 비유전자 부위보다 많지만, 진핵생물의 DNA에는 비유전자 부위가 유전자 부위보다 많고 유전자 부위의 일부 영역만 단백질을 암호화한다. 따라서 (가)는 대장균이고, (나)는 사람이다.
 ㄱ. 대장균(가)의 DNA에는 비유전자 부위가 차지하는 비율이 낮아 유전자가 매우 조밀하게 배열되어 있다.
 ㄴ. 유전체에서 단백질을 암호화하는 부위가 차지하는 비율은 대장균(가)이 사람(나)보다 높다.
 ㄷ. 하나의 DNA에서 유전자가 차지하는 비율은 대장균(가)이 사람(나)보다 높다.

실력UP문제

69쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 ⑤

01 ← 꼼꼼 문제 분석

IV에서 R형균이 S형균으로 형질전환되었다. ⇒ B는 DNA이며, ㉔은 단백질분해효소이다.

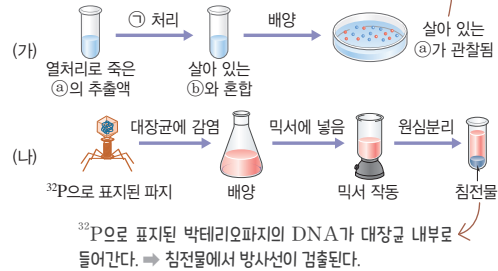
시험관	I	II	III	IV
첨가한 추출물	A	A	B	B
첨가한 효소	㉑	㉒	㉑	㉒
페렴균의 종류	㉓ ㉔		R형균	R형균, S형균

I과 II에는 단백질(A)이 들어 있으므로, 첨가한 효소의 종류와 관계없이 형질전환이 일어나지 않는다. ⇒ ㉓와 ㉔은 모두 R형균이다.

ㄱ. DNA(B)의 구성 원소에는 인(P)이 포함된다.
 ㄴ. IV에서 R형균이 S형균으로 형질전환되었으므로 B는 죽은 S형균으로부터 추출한 DNA이고, ㉒은 단백질분해효소이다. 따라서 A는 단백질이고, ㉑은 DNA 분해효소이다.
바로알기 ㄷ. I과 II에는 단백질(A)이 첨가되었으므로 형질전환이 일어나지 않는다. 따라서 ㉓와 ㉔은 모두 R형균이다.

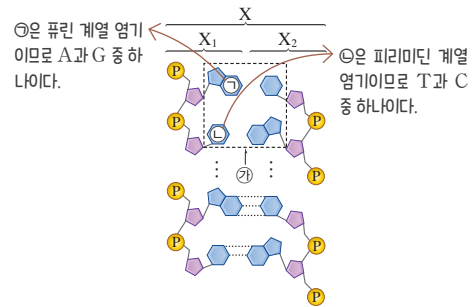
02 ← 꼼꼼 문제 분석

㉑을 처리했을 때 ㉒가 ㉓로 형질전환되었다. ⇒ ㉓는 S형균, ㉒는 R형균이며, ㉑은 단백질분해효소이다.



ㄱ. 단백질분해효소(㉑)는 기질인 단백질의 펩타이드결합을 끊는다.
 ㄴ. (가)에서 살아 있는 S형균(㉓)은 피막을 갖는다.
 ㄷ. (나)의 침전물에는 ³²P으로 표지된 박테리오파지의 DNA가 있다.

03 ← 꼼꼼 문제 분석



- X에서 염기 간 수소결합의 총개수가 30개이므로, 염기쌍의 총개수는 10개 초과, 15개 미만이다.
- ㉒이 타이민(T)이라면, X₁에서 ㉑ : ㉒ = 4 : 5, T : C = 1 : 4이므로 C의 개수는 최소 16개가 되어 조건에 맞지 않는다. 따라서 ㉒은 사이토신(C)이다.
- ㉑이 구아닌(G)이라면 C : G = 4 : 5, T : C = 1 : 4이므로 GC쌍이 최소 9개가 된다. 이때 AT쌍을 x개라고 하면 염기 간 수소결합의 총개수는 2x + 3 × 9가 되어 30개가 되지 않으므로, ㉑은 아데닌(A)이다.
- X₁에서 $\frac{C(㉒)}{A(㉑)} = \frac{4}{5}$, $\frac{T}{C} = \frac{1}{4}$ 이므로 AT쌍의 개수는 6개이고, 2 × 6 + 3 × (GC쌍의 개수) = 30개이므로 GC쌍의 개수는 6개이다. 따라서 X₁에서 구아닌(G)의 개수는 2개이다.

ㄴ. X₁에서 염기의 개수는 A 5개, C 4개, G 2개, T 1개이므로, 상보적인 가닥인 X₂에서 사이토신(C, ㉒)의 개수는 2개이다.
 ㄷ. X₁에서 염기의 총개수는 12개이므로, X를 구성하는 뉴클레오타이드의 총개수는 24개이다.
바로알기 ㄱ. ㉑은 아데닌(A)이다.

02 / DNA의 복제

개념 확인문제

74쪽

- ① 반보존적 ② 이중나선 ③ 프라이머 ④ DNA 중합효소
⑤ 5' → 3' ⑥ 지연 가닥 ⑦ DNA 연결효소

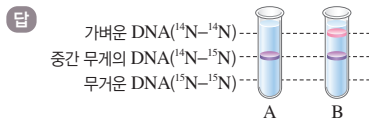
1 (1) (나) (2) (가) 2 해설 참조 3 (라) → (가) → (마) → (나) → (다) 4 (1) ⑥ (2) ① 5' 말단, ② 3' 말단 (3) (가) (4) (다)

1 (가)는 반보존적 복제모델, (나)는 보존적 복제모델, (다)는 분산적 복제모델이다.

(1) 복제를 거듭하더라도 기존 DNA 이중나선이 그대로 보존되는 복제모델은 보존적 복제모델(나)이다.

(2) 복제된 DNA 이중나선이 기존 가닥 한 개와 새로 합성된 가닥 한 개로 이루어지는 복제모델은 반보존적 복제모델(가)이다.

2 반보존적 복제가 1회 일어나면 새로 만들어진 DNA의 두 가닥 중 한 가닥은 ^{15}N 를 포함하고, 다른 한 가닥은 ^{14}N 를 포함하므로 중간 무게의 DNA 띠가 나타난다. 이것이 다시 반보존적으로 복제되면 A의 DNA를 이루는 각 가닥을 주형으로 새로운 가닥이 합성되므로, 절반은 중간 무게의 DNA 띠가 나타나고, 나머지 절반은 가벼운 DNA 띠가 나타난다.



3 DNA가 복제될 때는 염기 사이의 수소결합이 끊어져 DNA 이중나선이 두 가닥으로 분리되고(라), 프라이머가 합성된다(가). 이후 DNA 중합효소에 의해 주형 가닥에 상보적인 염기를 갖는 뉴클레오타이드가 순서대로 연결되면서 새로운 가닥이 합성된다(마). 이어서 프라이머가 제거된 후 합성된 DNA 조각들이 연결되고(나), 최종적으로 기존 DNA와 염기서열이 같은 DNA가 2개 만들어진다(다).

4 (1) DNA 이중나선이 풀리는 방향으로 복제분기점이 진행되므로, 복제분기점의 진행 방향은 ⑥이다.
(2) DNA를 이루는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드의 방향은 서로 반대이며, 새로 합성되는 가닥은 모두 5' → 3' 방향으로만 합성된다. 따라서 ①은 5' 말단이고, ②은 3' 말단이다.
(3) 연속적으로 합성되는 (가)는 선도 가닥이고, 짧은 DNA 조각인 (나)와 (다)는 서로 연결되어 지연 가닥을 이룬다.

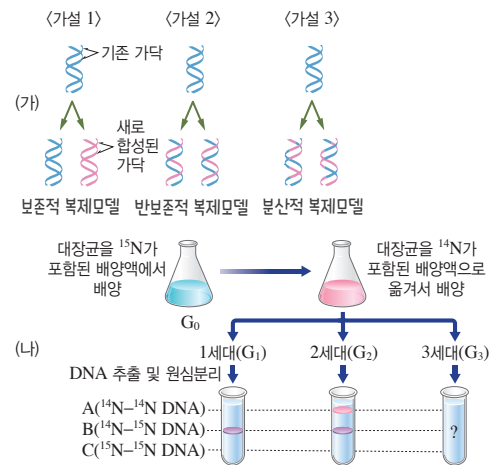
(4) 새로 합성되는 가닥은 5' → 3' 방향으로 합성되며, 복제는 ⑥ 방향으로 진행되므로 (다)는 (나)보다 먼저 합성되었다.

대표 자료 분석 1

75쪽

1 C 2 (1) B (2) B (3) A, B (4) A 3 (1) 0 : 1 : 0 (2) 1 : 1 : 0 (3) 3 : 1 : 0 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

품평 문제 분석



G_1 에서는 B(^{14}N - ^{15}N)에서 DNA 띠가, G_2 에서는 A(^{14}N - ^{14}N)와 B(^{14}N - ^{15}N)에서 DNA 띠가 나타났으므로, DNA는 반보존적으로 복제된다는 것을 알 수 있다.

1 G_1 에서 ^{14}N - ^{15}N DNA 띠만 나타났으므로, G_0 의 DNA는 두 가닥이 모두 ^{15}N 를 포함한다. 따라서 G_0 의 DNA를 원심분리하면 DNA 띠는 C(^{15}N - ^{15}N)에 나타난다.

2 (1) 〈가설 1〉은 기존 DNA 두 가닥이 모두 보존된다는 보존적 복제모델이다. 보존적 복제모델이 옳다면 세대를 거듭해도 G_0 의 DNA가 보존되므로, DNA 띠는 A(^{14}N - ^{14}N)와 C(^{15}N - ^{15}N)에만 나타나고 B(^{14}N - ^{15}N)에는 나타나지 않는다.
(2), (3) 〈가설 2〉는 복제된 DNA 이중나선이 기존 DNA 한 가닥과 새로 합성된 DNA 한 가닥으로 이루어진다는 반보존적 복제모델이다. 반보존적 복제모델이 옳다면 G_1 의 DNA 중 한 가닥은 ^{15}N 를, 다른 한 가닥은 ^{14}N 를 포함하므로 DNA 띠는 B(^{14}N - ^{15}N)에 나타난다. 또한 G_1 의 DNA가 분리된 후 각 가닥을 주형으로 새로운 가닥이 합성되므로, G_2 의 DNA 띠는 A(^{14}N - ^{14}N)와 B(^{14}N - ^{15}N)에 1 : 1의 비율로 나타난다.

(4) <가설 3>은 기존 DNA가 작게 잘리고, 각각을 주형으로 새로운 조각이 합성된 후 다시 연결된다는 분산적 복제모델이다. 분산적 복제모델이 옳다면 세대를 거듭할수록 ^{14}N 로 표지된 DNA 조각의 비율이 증가하므로 DNA 띠는 $\text{A}(^{14}\text{N}-^{14}\text{N})$ 에 가까이 나타난다.

3 반보존적 복제모델에 따라 A, B, C에서의 DNA 상대량의 비는 G_1 에서 0 : 1 : 0, G_2 에서 1 : 1 : 0, G_3 에서 3 : 1 : 0으로 나타난다. 이때 G_n 의 분리비는 $2^{n-1} - 1 : 1 : 0$ 이다.

4 (1) DNA를 구성하는 뉴클레오타이드에서 질소(N)는 당과 인산에는 없고 염기에만 존재한다. 따라서 ^{14}N 는 DNA의 구성 성분 중 염기에 포함된다.

(2) 세대를 거듭할수록 ^{14}N 를 포함한 가닥이 새로 합성되므로 전체 DNA 중 $\text{A}(^{14}\text{N}-^{14}\text{N})$ 의 DNA 비율은 증가하고, $\text{B}(^{14}\text{N}-^{15}\text{N})$ 의 DNA 비율은 감소한다.

(3) 복제를 거듭해도 유전자 구성은 동일하므로 $G_0 \sim G_3$ 의 DNA에서 유전자의 염기서열은 서로 같다.

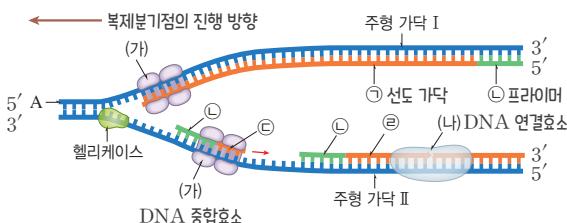
(4) 세대를 거듭해도 중간 무게의 DNA가 있으므로, G_4 의 DNA를 추출하여 원심분리하더라도 $\text{B}(^{14}\text{N}-^{15}\text{N})$ 에서 DNA 띠가 관찰된다.

대표자료분석 2

76쪽

1 선도 가닥 **2** (RNA) 프라이머 **3** (1) $5' \rightarrow 3'$ (2) $5' \rightarrow 3'$
(3) 다르다 (4) (가) **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) × (7) ○

꼼꼼 문제 분석



1 DNA 복제 과정에서 주형 가닥을 따라 ㉠과 같이 연속적으로 합성되는 가닥을 선도 가닥이라고 하며, ㉡, ㉢과 같은 짧은 DNA 조각이 연결되어 형성되는 가닥을 지연 가닥이라고 한다.

2 ㉣은 DNA 합성을 시작할 때 뉴클레오타이드가 결합할 $3'$ 말단을 제공해 주는 짧은 RNA 조각인 프라이머이다.

3 (1), (2) DNA 중합효소는 합성 중인 폴리뉴클레오타이드의 $3'$ 말단에 다음 뉴클레오타이드를 연결하므로, DNA 합성은 $5' \rightarrow 3'$ 방향으로만 진행된다.

(3) 선도 가닥인 ㉠은 복제분기점의 진행 방향과 같은 방향으로 합성되지만, 지연 가닥을 이루는 ㉡과 ㉢은 복제분기점의 진행 방향과 반대 방향으로 합성된다.

(4) 새로운 뉴클레오타이드를 하나씩 순서대로 첨가하여 DNA 합성을 촉매하는 효소는 DNA 중합효소인 (가)이다.

4 (1) ㉠은 $5' \rightarrow 3'$ 방향으로 합성되므로, ㉠과 상보적인 주형 가닥 I의 A는 $5'$ 말단이다.

(2) DNA 이중나선을 이루는 I과 II의 염기서열은 서로 상보적이다.

(3) ㉠은 DNA 복제 과정에서 합성된 가닥이므로, RNA를 구성하는 염기인 유라실(U)을 포함하지 않는다.

(4) 프라이머(㉣)는 DNA 합성이 시작되기 전에 합성되어 DNA 중합효소가 새로운 뉴클레오타이드를 연결할 수 있는 $3'$ 말단을 제공한다.

(5) DNA 이중나선이 풀리면서 복제분기점이 진행되므로, 복제분기점에서 더 멀리 있는 ㉢이 ㉡보다 먼저 합성되었다.

(6) DNA 중합효소(가)는 DNA 합성을 촉매하는 효소이다. 상보적으로 결합하고 있던 염기 사이의 수소결합을 끊어 DNA 이중나선을 분리하는 효소는 헬리케이스이다.

(7) DNA 연결효소(나)는 DNA 조각을 연결하는 반응을 촉매한다.

내신만점문제

77쪽~79쪽

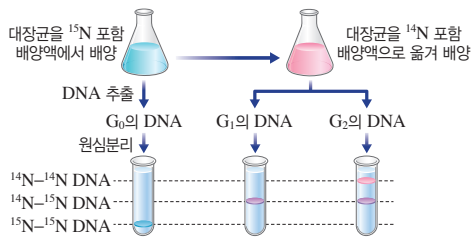
01 ① **02** ① **03** ③ **04** 해설 참조 **05** ⑤
06 ④ **07** ② **08** 해설 참조 **09** ⑤ **10** ②
11 ④

1 ㄴ. 반보존적 복제모델(나)에서는 기존 DNA 이중나선이 두 가닥으로 분리되고, 각각의 가닥을 주형으로 하여 새로운 가닥이 합성된다.

[바로알기] ㄴ. (가)는 기존 DNA 두 가닥이 모두 보존되는 보존적 복제모델이다.

ㄷ. 분산적 복제모델(다)에서는 기존 DNA가 여러 조각으로 잘리고 각각을 주형으로 하여 새로운 조각이 합성된 후 다시 연결된다. 따라서 분산적 복제모델(다)은 DNA 유전정보를 안정적으로 보존하는 데 적합하지 않다.

02 — 품평 문제 분석



DNA 복제는 반보존적 복제 방식으로 일어나므로, 제시된 자료에서 각 세대별 상층, 중층, 하층에 존재하는 이중나선 DNA의 상대량은 표와 같다.

구분	G ₀	G ₁	G ₂
상층(¹⁴ N- ¹⁴ N)	0	0	2
중층(¹⁴ N- ¹⁵ N)	0	2	2
하층(¹⁵ N- ¹⁵ N)	1	0	0

ㄱ. DNA를 구성하는 뉴클레오타이드의 염기에 질소가 있다. 따라서 ¹⁴N가 포함된 배양액으로 옮겨 배양한 후 얻은 G₁의 DNA에는 ¹⁴N를 가진 염기가 존재한다.

[바로알기] ㄴ. G₁의 DNA는 G₀에서 유래한 가닥 한 개와 새로 합성된 가닥 한 개로 이루어져 있으므로, G₁에서는 중간 무계의 DNA(¹⁴N-¹⁵N) 떠만 나타난다. 따라서 G₁의 모든 DNA 분자는 G₀에서 유래한 가닥을 포함하므로, G₁의 전체 대장균 중 G₀의 DNA를 이루던 가닥을 포함하는 대장균의 비율은 100 %이다.
ㄷ. G₂에서 ¹⁴N-¹⁴N DNA와 ¹⁴N-¹⁵N DNA의 비율은 1 : 1이므로, 전체 DNA 중 ¹⁴N-¹⁵N DNA의 비율은 $\frac{1}{2}$ 이다.

03 — 품평 문제 분석

모든 DNA가 ¹⁴N로 표지된 G₀을 ¹⁵N가 들어 있는 배양액으로 옮긴 후 G₁~G₃을 얻었으므로, 이들의 DNA를 추출하고 원심분리하였을 때 상층, 중층, 하층에 존재하는 이중나선 DNA의 상대량은 표와 같다.

구분	G ₀	G ₁	G ₂	G ₃
상층(¹⁴ N- ¹⁴ N) Ⅱ	1	0	0	0
중층(¹⁴ N- ¹⁵ N) Ⅰ	0	2	2	2
하층(¹⁵ N- ¹⁵ N) Ⅲ	0	0	2	6

ㄱ. ㉠에서 DNA 상대량이 Ⅰ : Ⅱ : Ⅲ = 1 : 0 : 3이므로 ㉠은 G₃이다.

ㄴ. Ⅰ은 중층(¹⁴N-¹⁵N), Ⅱ는 상층(¹⁴N-¹⁴N), Ⅲ은 하층(¹⁵N-¹⁵N)이다.

[바로알기] ㄷ. G₂의 DNA를 추출하여 원심분리하면 DNA는 중층(Ⅰ)과 하층(Ⅲ)에만 존재하며, 상층(Ⅱ)에는 존재하지 않는다.

04 모든 DNA가 ¹⁵N로 표지된 대장균을 ¹⁴N가 들어 있는 배양액에서 배양하여 4세대 대장균(G₄)을 얻으면 대장균의 수는 2⁴=16배가 된다. 이때 전체 대장균 중 G₀에서 유래한 ¹⁵N로 표지된 단일 가닥을 포함하는 대장균의 비율은 $\frac{2}{16} = \frac{1}{8}$ 이다.

[모범 답안] 4세대 대장균(G₄)에서 ¹⁴N-¹⁵N DNA를 갖는 대장균의 비율은 $\frac{1}{8}$ 이므로, ¹⁵N로 표지된 단일 가닥을 포함하는 대장균은 $2400 \times \frac{1}{8} = 300$ 마리이다.

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 값을 정확히 구한 경우	100 %
값은 정확히 구했으나 풀이 과정의 일부를 틀리게 서술한 경우	70 %
값만 정확히 구한 경우	50 %

05 — 품평 문제 분석

구분	G ₀	G ₁	G ₂	G ₃
Ⅰ 하층	1	② 0	② 0	② 0
Ⅱ 상층	② 0	0	2	④ 6
Ⅲ 중층	② 0	2	④ 2	2

- G₀의 모든 DNA는 ¹⁵N로 표지되었으므로 Ⅰ은 하층(¹⁵N-¹⁵N)이다.
- G₁의 DNA는 모두 ¹⁴N-¹⁵N DNA이므로 Ⅲ은 중층(¹⁴N-¹⁵N)이다. 따라서 Ⅱ는 상층(¹⁴N-¹⁴N)이다.
- 세대를 거듭할수록 대장균의 수가 2배씩 증가하므로 DNA 상대량도 매 세대마다 2배씩 증가한다.

ㄱ. ㉠은 6이고, ㉡는 2이므로 ㉠과 ㉡를 더한 값은 8이다.

ㄴ. 메셀슨과 스탈은 대장균을 이용한 실험을 통해 DNA가 반보존적으로 복제된다는 것을 증명하였다.

ㄷ. DNA 복제가 일어나더라도 염기서열은 유지되므로 A, T, C, G의 상대적 조성은 변하지 않는다. 따라서 모든 세대의 DNA에서 $\frac{\text{사이토신(C)의 개수}}{\text{전체 염기의 개수}}$ 는 일정하다.

06 세대가 진행될수록 중간 무계의 DNA(¹⁴N-¹⁵N)의 비율은 절반씩 감소하므로, 그 비율은 G₁에서 1, G₂에서 $\frac{1}{2}$, G₃에서 $\frac{1}{4}$ 이다. 이후 G₃을 ¹⁵N가 들어 있는 배양액으로 옮겨 1회 배양하면, ¹⁴N-¹⁵N DNA로부터 ¹⁴N-¹⁵N DNA와 ¹⁵N-¹⁵N DNA가 각각 1개씩 생성되고 ¹⁴N-¹⁴N DNA로부터 ¹⁴N-¹⁵N DNA가 2개씩 생성된다. 따라서 G₄에서 ¹⁴N-¹⁵N DNA : ¹⁵N-¹⁵N DNA = 7 : 1이므로, 전체 DNA 중 중간 무계의 DNA(¹⁴N-¹⁵N)의 비율은 $\frac{7}{8}$ 이다.

07 ① (가)에서 헬리케이스에 의해 염기 사이의 수소결합이 끊어지면서 이중나선 DNA가 두 가닥으로 분리된다.

③ 새로운 뉴클레오타이드(㉔)는 합성 중인 폴리뉴클레오타이드의 3' 말단에 하나씩 순서대로 연결되므로, DNA는 5' → 3' 방향으로 합성된다.

④ 불연속적으로 합성된 짧은 DNA 조각들은 DNA 연결효소에 의해 연결된다.

⑤ 복제가 완료되면 기존 이중나선 DNA(㉑)와 염기서열이 같은 새로운 이중나선 DNA(㉒)가 만들어진다.

바로알기 ② 프라이머는 DNA 합성을 시작하기 위해 주형 가닥에 결합하여 3' 말단을 제공해 주는 짧은 RNA 조각이다. DNA 중합효소는 합성 중인 가닥의 3' 말단에 주형 가닥의 염기와 상보적인 염기를 갖는 뉴클레오타이드를 연결한다.

08 DNA 중합효소가 결합하고 있는 ㉑은 새로 합성된 가닥이고, ㉒은 프라이머이다.

모범 답안 (1) Ⅱ, DNA 중합효소는 합성 중인 가닥의 3' 말단에만 뉴클레오타이드를 연결할 수 있는데, 그림에서 DNA 중합효소가 Ⅰ의 3' 말단에 있으므로 복제분기점은 주형 가닥의 5' → 3' 방향으로 진행된다. 따라서 복제분기점에서 더 멀리 있는 Ⅱ가 먼저 합성된 가닥이다.

(2) ㉑은 5'-TCAGA-3'이고, ㉒은 5'-AAGCU-3'이다. 새로 합성된 가닥은 주형 가닥과 상보적인 염기서열을 가지며 방향이 반대이고, 프라이머(㉒)는 타이민(T) 대신 유라실(U)을 포함하기 때문이다.

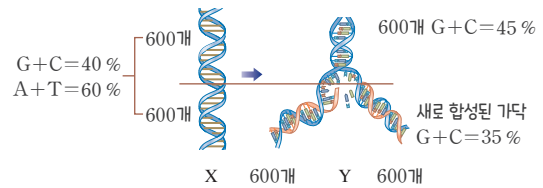
채점 기준	배점
(1) Ⅱ라고 쓰고, 그 까닭을 DNA 중합효소의 작용과 관련지어 옳게 서술한 경우	40 %
Ⅱ라고만 쓴 경우	20 %
(2) ㉑과 ㉒의 염기서열을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	60 %
㉑과 ㉒의 염기서열을 옳게 썼으나, 그 까닭에 대한 서술이 미흡한 경우	40 %
㉑과 ㉒의 염기서열만 옳게 쓴 경우	20 %

09 ㄱ. 새로 합성되는 가닥은 5' → 3' 방향으로 합성되며, 주형 가닥과 합성되는 가닥의 방향은 서로 반대이다. 따라서 ㉑은 3' 말단이고, 이에 상보적인 ㉒은 5' 말단이다.

ㄴ. ㉑과 ㉒은 불연속적으로 합성되는 DNA 조각이며, DNA 이중나선이 풀리는 방향으로 복제분기점이 진행된다. 따라서 복제분기점에서 더 멀리 있는 ㉑이 ㉒보다 먼저 합성되었다.

ㄷ. Ⅰ을 구성하는 염기의 개수는 X의 전체 염기 개수의 40 %이므로 $1600 \times 0.4 = 640$ 개이다. Ⅰ에서 G+C 함량이 60 %이므로 G+C의 개수는 $640 \times 0.6 = 384$ 개이다. 이때 G과 C의 개수는 같으므로 G의 개수는 192개이다. 또한 A+T의 개수는 $640 - 384 = 256$ 개이며, A과 T의 개수는 같으므로 T의 개수는 128개이다. 따라서 Ⅰ에서 구아닌(G) 개수+타이민(T) 개수 = $192 + 128 = 320$ 개이다.

10 품공 문제 분석



• Y는 X가 50 % 복제되었을 때의 DNA이므로 Y를 구성하는 염기의 개수는 X의 1.5배이다. 따라서 $1.5x = 1800$ 이므로 X를 구성하는 염기의 개수는 1200개이다.

• Y에서 새로 합성된 가닥과 복제되지 않은 부분의 G+C 함량은 각각 35 %와 45 %이므로, X의 절반은 G+C 함량이 35 %이고, 나머지 절반은 45 %이다. 따라서 X 전체의 G+C 함량은 $\frac{35+45}{2} = 40 \%$ 이다.

ㄴ. X에서 G+C 함량은 40 %이므로 A+T 함량은 60 %이다. 따라서 X에서 구아닌(G)과 아데닌(A)의 비율은 2 : 3이다.

바로알기 ㄱ. X를 구성하는 염기의 개수는 $1800 \times \frac{2}{3} = 1200$ 개이다.

ㄷ. X를 구성하는 염기쌍의 개수는 600개이며, 이 중 GC쌍은 240개, AT쌍은 360개이다. 따라서 X에서 염기 간 수소결합의 총개수는 $240 \times 3 + 360 \times 2 = 1440$ 개이다.

11 품공 문제 분석

Ⅰ 3' ATTAGGCTAAC GCAATCGGGAA 5'
 ㉑ 5' UAAUCCGATTG CGTTAGCCCTT 3'
 ㉒ 3' ATTAGGCUAAACGCAATCGGGAA 5'
 Ⅱ 5' TAATCCGATTG CGTTAGCCCTT 3'

• ㉑과 ㉒은 각각 11개의 염기로 구성되므로 Y와 Z는 (5'-AUUA-3'과 5'-GCAA-3') 또는 (5'-CAAU-3'과 5'-AAGG-3') 중 하나의 조합이다. 이때 각 프라이머의 G+C 함량은 5'-GCAA-3'과 5'-AAGG-3'이 50 %, 5'-CAAU-3'이 25 %, 5'-AUUA-3'이 0 %이므로, 문제의 조건인 $Y > Z > X$ 를 만족하려면 Y는 5'-AAGG-3', Z는 5'-CAAU-3', X는 5'-UAAU-3'이어야 한다.

• ㉒에서 프라이머를 제외한 나머지 부분은 7개의 염기로 구성되며, 이 부분과 Ⅱ 사이의 염기 간 수소결합의 총개수가 18개이다. 따라서 $A+T+G+C=7$, $2(A+T)+3(G+C)=18$ 을 만족해야 하므로, A+T의 개수는 3개이고 G+C의 개수는 4개이다.

• ㉒에서 프라이머를 제외한 나머지 부분의 G+C는 3개, A+T는 4개이고, ㉒에서 프라이머를 제외한 나머지 부분의 G+C는 4개, A+T는 3개이므로, Y는 ㉒에, Z는 ㉑에 존재한다.

ㄴ. Y는 ㉔에, Z는 ㉓에 존재한다.

ㄷ. Z의 염기서열은 5'-CAAU-3'이므로

$$\frac{\text{피리미딘 계열 염기(C, U)의 개수}}{\text{퓨린 계열 염기(A)의 개수}} = \frac{2\text{개}}{2\text{개}} = 1\text{이다.}$$

[바로알기] ㄱ. X는 RNA 조각인 프라이머이며, RNA는 타이민(T) 대신 유라실(U)을 갖는다. 따라서 X의 염기서열은 5'-UAAU-3'이다.

ㄱ. Ⅱ는 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA가 있는 하층이다.

ㄷ. G_3 을 ^{14}N 가 들어 있는 배양액으로 옮겨 배양하면, G_4 의 DNA는 ^{14}N 와 ^{15}N 중 하나로 표지된 단일 가닥을 주형으로 ^{14}N 로 표지된 새 가닥이 합성된다. 따라서 G_3 의 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA로부터 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA가 각각 1개씩 생성되고, $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA로부터 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA가 2개 생성된다. 따라서 G_4 의 DNA는 상층($^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$)과 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)에만 존재하며, 그 비율은 각각 $\frac{3}{8}$ 과 $\frac{5}{8}$ 이다.

[바로알기] ㄴ. G_3 의 DNA는 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)과 하층($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)에만 존재하며, 그 비율은 각각 $\frac{3}{4}$ 과 $\frac{1}{4}$ 이다. 따라서 ㉓은 0.25이다.

실력 UP 문제

80쪽

01 ㉓ 02 ㉕

01 품목 문제 분석

[실험 과정]

(가) 모든 DNA가 ^{14}N 로 표지된 대장균(G_0)을 ^{15}N 가 들어 있는 배양액에서 배양하여 1세대 대장균(G_1)을 얻는다.

• G_1 의 DNA는 원심분리 결과 상층에만 존재한다. ⇒ Ⅲ이 상층이다.

• G_2 의 DNA는 ^{14}N 로 표지된 단일 가닥을 주형으로 ^{15}N 로 표지된 새 가닥이 합성되므로 원심분리 결과 중층에만 존재한다. ⇒ Ⅰ이 중층이며, Ⅱ가 하층이다.

(나) G_1 을 ^{14}N 가 들어 있는 배양액으로 옮겨 배양하여 2세대 대장균(G_2)을 얻고, G_2 를 ^{15}N 가 들어 있는 배양액으로 옮겨 배양하여 3세대 대장균(G_3)을 얻는다.

• G_2 의 DNA는 ^{14}N 와 ^{15}N 중 하나로 표지된 단일 가닥을 주형으로 ^{14}N 로 표지된 새 가닥이 합성되므로 원심분리 결과 상층과 중층에 각각 0.5만큼 존재한다.

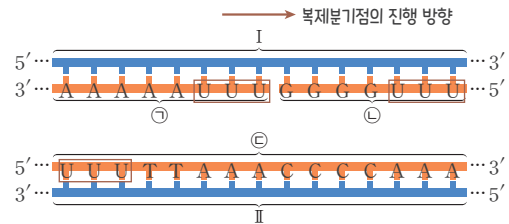
• G_3 의 DNA는 ^{14}N 와 ^{15}N 중 하나로 표지된 단일 가닥을 주형으로 ^{15}N 로 표지된 새 가닥이 합성되므로 원심분리 결과 중층에 0.75만큼, 하층에 0.25만큼 존재한다. ⇒ ㉕은 0.25이다.

(다) $G_0 \sim G_3$ 의 DNA를 추출하고 각각 원심분리하여 상층($^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$), 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$), 하층($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)에 존재하는 이 중나선 DNA의 상대량을 확인한다.

[실험 결과]

구분	G_0	G_1	G_2	G_3
Ⅰ 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)	? 0	1	0.5	? 0.75
Ⅱ 하층($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)	? 0	? 0	? 0	㉓ 0.25
Ⅲ 상층($^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$)	1	? 0	? 0.5	? 0

02 품목 문제 분석



• ㉓과 ㉔은 지연 가닥을 이루고, ㉕은 선도 가닥을 이룬다.

• ㉓과 ㉔의 말단에는 3개의 염기로 구성된 프라이머가 있고, ㉓과 ㉔은 각각 두 종류의 염기로 구성되어 있는데, 복제가 끝나면 주형 가닥 I과 동일한 염기서열을 가지게 될 ㉕에서 세 종류가 아닌 네 종류의 염기를 포함하므로 ㉕의 프라이머는 RNA에만 있는 염기인 U로 이루어져 있다. 따라서 ㉓과 ㉔의 프라이머의 염기서열도 UUU이다.

• ㉓과 ㉔은 U를 포함한 두 종류의 염기로 이루어져 있는데, ㉓과 I 사이의 염기 간 수소결합의 총개수보다 ㉔과 I 사이의 염기 간 수소결합의 총개수가 많으므로, ㉓에서 나머지 하나의 염기는 A 또는 T이고, ㉔에서 나머지 하나의 염기는 C 또는 G이다.

• ㉕에서 프라이머의 염기서열이 UUU가 되려면 주형 가닥인 II의 염기서열에 AAA가 있어야 하므로 ㉓이 A를 갖는다. 따라서 ㉕에서 왼쪽에 프라이머가 있으므로 왼쪽이 5' 말단, 오른쪽이 3' 말단 방향이다. ㉓과 ㉔의 방향은 ㉕과 반대이므로 왼쪽이 3' 말단, 오른쪽이 5' 말단 방향이다.

• U 대신 T이 있고 ㉓, ㉔과 염기서열이 동일한 II에서 퓨린 계열 염기의 개수가 피리미딘 계열 염기의 개수보다 많으므로 ㉔에는 G이 있다.

⇒ ㉓의 염기서열은 5'-UUUAAAAA-3', ㉔의 염기서열은 5'-UUUGGGG-3', ㉕의 염기서열은 5'-UUUTTAAACCCCAA-3'이다.

ㄱ. 새로 합성되는 가닥은 5' → 3' 방향으로 합성되며, 복제분기점의 진행 방향은 I의 5' → 3' 방향이므로, ㉓이 ㉔보다 먼저 합성되었다.

ㄴ. 퓨린 계열 염기의 개수는 ㉠에서 아데닌(A) 5개, ㉡에서 구아닌(G) 4개이다. 따라서 ㉠에서가 ㉡에서보다 많다.

ㄷ. ㉢의 염기서열은 5'—UUUTTAACCCCAAA—3'이므로 5' 말단으로부터 5번째 뉴클레오타이드의 염기는 타이민(T)이다.

중단원 핵심 정리

81쪽

- ① R형균 ② S형균 ③ DNA ④ DNA ⑤ 디옥시라이보스
⑥ 퓨린 ⑦ T ⑧ C ⑨ 작 ⑩ 크 ⑪ 반보존적
⑫ 프라이머 ⑬ DNA 중합효소 ⑭ 선도 ⑮ 지연
⑯ DNA 연결효소

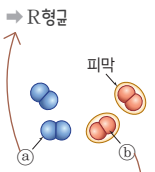
중단원 마무리 문제

82쪽~85쪽

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

01 품평 문제 분석

피막이 없어 병원성을 나타내지 못한다.
⇒ R형균



피막이 있어 병원성을 나타낸다. ⇒ S형균

㉠을 주사했을 때 생쥐가 죽었다. ⇒ ㉠은 병원성이 있는 S형균(㉡)이다.

실험	주사액의 조성	생쥐의 생존 여부
(가)	㉠	죽는다.
(나)	㉡	죽지 않는다.
(다)	열처리한 ㉠	죽지 않는다.
(라)	㉡ + 열처리한 ㉠	죽는다.

㉠을 주사했을 때 생쥐가 죽지 않았다. ⇒ ㉠은 병원성이 없는 R형균(㉢)이다.

ㄴ. (라)에서 살아 있는 R형균(㉡)과 열처리한 S형균(㉠)의 혼합물을 주사했을 때 생쥐가 죽었으므로, 병원성이 없는 R형균(㉡)이 병원성이 있는 S형균(㉠)으로 형질전환되었음을 추론할 수 있다.

[바로알기] ㄱ. ㉠은 S형균(㉡), ㉡은 R형균(㉢)이다.

ㄷ. 그리피스는 이 실험을 통해 죽은 S형균의 유전물질이 R형균으로 이동하여 R형균을 S형균으로 형질전환시킨다고 추론하였지만, 유전물질이 정확히 무엇인지는 밝혀내지 못했다.

02 ㄴ. (가)에서 살아 있는 S형균이 관찰되었으므로 살아 있는 R형균이 S형균으로 형질전환된 것이다. 따라서 열처리로 죽은 S형균의 추출액(㉢)에는 형질전환을 일으키는 유전물질인 DNA가 있다.

ㄷ. R형균과 S형균은 원핵생물인 세균에 속하므로 유전체가 원형 DNA로 구성된다. 따라서 살아 있는 S형균(㉡)은 원형 DNA를 갖는다.

[바로알기] ㄱ. 죽은 S형균의 유전물질에 의해 R형균이 S형균으로 형질전환되었으므로 유전물질은 분해되지 않았다. 따라서 ㉠은 단백질분해효소이다.

03 ㄱ. (가)에서는 침전물에서 방사선이 검출되지 않고 상층액에서만 방사선이 검출되므로, ㉠은 박테리오파지의 단백질을 표지한 ^{35}S 이다. 반면 (나)에서는 상층액에서 방사선이 검출되지 않고 침전물에서만 방사선이 검출되므로 ㉡은 박테리오파지의 DNA를 표지한 ^{32}P 이다.

ㄴ. 믹서를 사용하여 박테리오파지를 대장균으로부터 분리한 후 이를 원심분리하면 크고 무거운 대장균은 침전물에, 대장균에 들어가지 못한 파지의 일부는 상층액에 존재한다.

ㄷ. (나)의 침전물에서 방사선이 검출되므로 대장균에는 ^{32}P 으로 표지된 파지의 DNA가 존재한다. 이를 방사성 물질이 없는 배지에서 배양하면, ^{32}P 으로 표지된 DNA를 주형으로 하여 복제가 일어나므로 새로 생성된 파지의 일부에서 방사선이 검출된다.

04 ㄱ. (가)는 메셀슨과 스탈이 DNA를 구성하는 염기의 질소를 동위원소로 표지하여 세대별 대장균 DNA의 밀도를 비교함으로써 DNA의 반보존적 복제를 확인한 실험이다.

[바로알기] ㄴ. (나)는 허시와 체이스가 박테리오파지에서 대장균 내부로 들어가 다음 세대의 박테리오파지 형성에 이용되는 유전물질이 DNA라는 것을 밝힌 실험이다. 허시와 체이스가 파지의 증식 과정을 밝힌 것은 아니며, 증식 과정을 이용한 것이다.

ㄷ. 인(P)은 DNA에는 있지만 단백질에는 없는 원소이므로, 허시와 체이스는 박테리오파지의 DNA를 ^{32}P 으로 표지하였다.

05 ㄴ. ㉠은 고리 1개로 이루어진 피리미딘 계열 염기이며, 다른 쪽 가닥의 염기와 2개의 수소결합으로 연결되므로 타이민(T)이다.

[바로알기] ㄱ. DNA 이중나선에서 한쪽 가닥의 끝이 5' 말단이면, 마주 보는 다른 쪽 가닥의 끝은 3' 말단이다. 당에 인산이 결합한 쪽이 5' 말단이므로, 이에 마주 보는 (가)는 3' 말단이다.

ㄷ. 아데닌(A)은 고리 2개로 이루어진 퓨린 계열 염기로, 타이민(T)과 2개의 수소결합으로 연결된다. 따라서 X₁에는 아데닌(A)이 총 2개 있다.

06 ㄱ. 염기 Z는 RNA에서 발견되지 않으므로 타이민(T)이다. (가)~(다)에서 $\frac{\text{염기 X}}{\text{염기 Z}}$ 는 약 1이므로, X는 타이민(T)과 상보적으로 결합하는 아데닌(A)이다.

ㄴ. (가)~(다) 중 DNA를 구성하는 네 가지 염기의 비율 차이가 가장 작은 것은 염기의 비율이 대부분 1에 가까운 (나)이다.

ㄷ. (가)~(다)에서 $\frac{\text{염기 Y}}{\text{사이토신}}$ 가 약 1이므로 Y는 구아닌(G)이다.

다. (가)에서 $\frac{\text{염기 X}}{\text{염기 Y}} = \frac{\text{아데닌(A)}}{\text{구아닌(G)}}$ 은 약 1.6이므로, A의 비율이 G의 비율보다 약 1.6배 높다. DNA 이중나선에서 A=T, G=C이고 모든 염기의 비율의 합은 100 %이므로, A : T : G : C = 1.6 : 1.6 : 1 : 1이다. 따라서 전체 염기 중 구아닌(G)이 차지하는 비율은 20 %보다 낮다.

07 ㄱ. X는 50개의 염기쌍으로 구성되어 있으므로 염기의 총 개수는 100개이다. 또한 X에서

$$\frac{\text{구아닌(G)의 개수} + \text{사이토신(C)의 개수}}{\text{아데닌(A)의 개수} + \text{타이민(T)의 개수}} = \frac{2}{3} \text{이므로 구아닌(G)}$$

과 사이토신(C)의 개수는 각각 20개이고, 아데닌(A)과 타이민(T)의 개수는 각각 30개이다.

ㄷ. X에서 염기 간 수소결합의 총개수는 $(20 \times 3) + (30 \times 2) = 120$ 개이다.

바로알기 ㄴ. X에서 퓨린 계열 염기(A, G)와 피리미딘 계열 염기(T, C)의 비율은 1 : 1이다.

08 — 품평 문제 분석

- I에서 T(㉓)의 개수와 II에서 C(㉔)의 개수가 같다. → 염기의 상보적 결합에 의해 I에서 T의 개수는 II에서 A의 개수와 같고, I에서 G의 개수는 II에서 C의 개수와 같다. 따라서 I에서 T의 개수와 G의 개수, II에서 A의 개수와 C의 개수는 모두 같다.
- II에서 G(㉔)의 개수는 I에서 A(㉓)의 개수의 2배이다. → 염기의 상보적 결합에 의해 II에서 G의 개수는 I에서 C의 개수와 같고, II에서 T의 개수는 I에서 A의 개수와 같다. 따라서 I에서 C=2A이고, II에서 G=2T이다.
- 퓨린 계열 염기의 개수는 II에서가 I에서보다 20개 많다. → II에서 G의 개수는 I에서 A의 개수의 2배이고, I에서 G의 개수와 II에서 A의 개수는 같으므로 I에서 A의 개수는 20개, C의 개수는 40개이다.
- X는 100개의 염기쌍으로 구성되어 있으므로, I은 100개의 염기로 구성된다. I에서 A=20개, C=40개이므로, T+G=100-(20+40)=40이다. 또한 I에서 T=G이므로 T와 G의 개수는 각각 20개이다.

ㄱ. ㉔은 고리 2개로 이루어진 퓨린 계열 염기이며, 다른 쪽 가닥의 염기와 3개의 수소결합으로 연결되므로 구아닌(G)이다.

ㄴ. I에서 타이민(T), 구아닌(G), 아데닌(A)의 개수는 20개이고, 사이토신(C)의 개수는 40개이다.

ㄷ. X에서 염기 간 수소결합의 총개수는 $(40 \times 2) + (60 \times 3) = 260$ 개이다.

09 효모와 초파리는 진핵생물에 속하고, 대장균은 원핵생물에 속한다. 따라서 B는 세포벽과 선형 DNA를 갖는 효모이고, C는 세포벽이 없으며 선형 DNA를 갖는 초파리이며, A는 세포벽을 갖는 대장균이다.

ㄴ. 일반적으로 원핵생물은 비유전자 부위가 적고 단백질을 암호화하지 않는 부위가 없어 유전체의 대부분이 단백질을 암호화한다. 반면 진핵생물은 비유전자 부위와 인트론이 많아 유전체의 일부만 단백질을 암호화한다. 따라서 유전체에서 단백질을 암호화하는 부위의 비율은 대장균(A)에서가 효모(B)에서보다 높다.

바로알기 ㄱ. DNA가 히스톤 단백질과 결합한 뉴클레오솜은 진핵생물에서 나타나는 특징이다. 원핵생물인 대장균(A)의 DNA는 히스톤 단백질과 결합하지 않아 뉴클레오솜을 갖지 않는다.

ㄷ. 진핵생물인 초파리(C)는 유전자 사이에 비유전자 부위가 많아 유전자 부위의 비율이 비유전자 부위의 비율보다 낮다.

10 ㄱ. 주형 가닥과 새로 합성되는 가닥의 방향은 서로 반대이며, DNA 중합효소는 주형 가닥을 따라 3' → 5' 방향으로 이동한다. 따라서 (가)는 3' 말단이며, 반대쪽 말단이 5' 말단이다.

ㄴ. ㉔은 DNA 합성이 시작될 수 있도록 주형 가닥에 먼저 결합하여 3' 말단을 제공해 주는 프라이머이다.

바로알기 ㄷ. ㉓은 DNA 중합효소에 의해 연결된 뉴클레오타이드이다. DNA를 구성하는 뉴클레오타이드의 당은 디옥시리보스이다.

11 B. DNA 중합효소는 가닥의 3' 말단에만 뉴클레오타이드를 연결할 수 있으므로, 새로 합성되는 가닥은 5' → 3' 방향으로 합성된다. 따라서 DNA 중합효소는 주형 가닥을 따라 3' → 5' 방향으로 이동한다.

C. 지연 가닥은 복제분기점의 진행 방향(복제가 진행되는 방향)과 반대 방향으로 DNA가 합성되므로, 짧은 조각의 DNA가 불연속적으로 합성된다. 이후 DNA 연결효소에 의해 연결되어 하나의 새로운 폴리뉴클레오타이드를 형성한다.

바로알기 A. DNA 복제 과정에서는 DNA 이중나선을 이루는 두 가닥이 각각 주형으로 작용하여 새로운 가닥이 합성된다.

12 - 꼼꼼 문제 분석

- I 을 주형으로 하여 자연 가닥이 합성되는 과정에서 가닥 (가)와 (나)가 합성된다. (가)와 (나)의 염기 개수의 합은 30이다.

⇒ I 의 5' 말단부터 3' 말단까지 복제되었다.

- (가)는 프라이머 X를, (나)는 프라이머 Y를 가지고, X와 Y는 각각 4개의 염기로 구성되며, X에서 $\frac{C}{A}=1$ 이다.

⇒ X에서 A와 C의 개수는 같다.

- (가)에서 X를 제외한 나머지 부분에서 $\frac{T}{G}=\frac{3}{4}$ 이다.

- I 의 3' 말단에 있는 4개의 염기에 상보적인 5'-GAAC-3'은 프라이머 X와 Y 중 하나이다. 이때 X에서 $\frac{C}{A}=1$ 이라고 하였는데, I 의 3' 말단에 결합한 프라이머는 이 조건을 만족하지 못하므로 Y이다. ⇒ I 의 5' 말단 쪽에 있는 가닥이 (가)이고, 3' 말단 쪽에 있는 가닥이 (나)이다.

- (가)에서 X를 제외한 나머지 부분에서의 T와 G의 개수 조건을 충족하는 프라이머 X의 위치를 찾으면 다음과 같다.



ㄱ. (가)는 주형인 I 의 5' 말단 쪽에 있고, (나)는 I 의 3' 말단 쪽에 있다. 이때 자연 가닥에서는 주형 가닥의 5' 말단 쪽에 있는 가닥이 3' 말단 쪽에 있는 가닥보다 먼저 합성되므로, (가)가 (나)보다 먼저 합성되었다.

ㄷ. Y의 염기서열은 5'-GAAC-3'이므로, Y에서 퓨린 계열 염기(A, G)의 개수는 3개이다.

바로알기 ㄴ. X의 염기서열은 5'-GCAG-3'이다.

13 - 꼼꼼 문제 분석

- G_2 의 DNA를 원심분리한 결과 중중($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)과 하중($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)에서 DNA가 1 : 1의 비율로 나타났고 상중($^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$)에서는 나타나지 않았다. 이는 기존 가닥과 새로 합성된 가닥 모두에 ^{15}N 가 포함되어 있음을 의미하므로, G_2 는 ^{15}N 가 들어 있는 배양액에서 배양한 것이다. 따라서 ㉠은 ^{14}N 가 들어 있는 배양액이고, ㉡은 ^{15}N 가 들어 있는 배양액이다.

- $G_0 \sim G_4$ 의 DNA를 추출하여 원심분리하였을 때, 이중나선 DNA의 상대량을 확인한 결과는 표와 같다.

구분	G_0	G_1	G_2	G_3	G_4
상중($^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$)	1	0	0	2	0
중중($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)	0	2	2	6	10
하중($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)	0	0	2	0	6

ㄴ. G_2 를 ^{14}N 가 들어 있는 배양액(㉠)으로 옮겨 배양한 G_3 의 DNA를 원심분리하면, DNA는 상중과 중중에만 존재하고 하중에는 존재하지 않는다.

바로알기 ㄱ. G_2 의 DNA가 중중과 하중에만 존재하므로 ㉠은 ^{14}N 가 들어 있는 배양액이고, ㉡이 ^{15}N 가 들어 있는 배양액이다. ㄷ. G_3 을 ^{15}N 가 들어 있는 배양액(㉡)으로 옮겨 배양한 G_4 의 DNA를 원심분리하면, DNA는 중중과 하중에 5 : 3의 비율로 나타난다. 따라서 G_4 에서 전체 DNA 중 중중에 존재하는 DNA의 비율은 $\frac{5}{8}$ 이다.

14 모범 답안 이중나선 DNA에서 A와 T, G와 C이 상보적으로 결합한다. 따라서 닭과 문어에서 각 염기의 비율은 서로 다르더라도 퓨린 계열 염기(A, G)와 피리미딘 계열 염기(C, T)의 비율은 거의 같다.

채점 기준	배점
DNA에서 염기의 상보적 결합과 관련지어 윗게 서술한 경우	100 %
DNA에서 염기가 상보적으로 결합한다고만 서술한 경우	50 %

15 모범 답안 (1) 가설 2에서는 기존 DNA가 보존된 상태에서 새로운 DNA가 합성되므로, G_1 의 DNA는 상중($^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$)과 하중($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)에서 나타나야 한다. 그러나 실험 결과 중중($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)에서만 나타났으므로 가설 2는 기각된다. 또한 가설 3에서는 기존 DNA가 여러 조각으로 잘리고 복제된 뒤 다시 연결되므로, G_2 의 DNA는 상중과 중중 사이에서 나타나야 한다. 그러나 실험 결과 상중과 중중에서 나타났으므로 가설 3도 기각된다. 따라서 (나)의 실험 결과를 통해 복제된 DNA는 기존 가닥 한 개와 새로 합성된 가닥 한 개로 이루어진다는 가설 1이 채택된다.

(2) G_2 의 DNA는 상중과 중중에 1 : 1의 비율로 나타나므로, G_2 의 DNA를 구성하는 단일 가닥 중 ^{14}N 를 포함하는 가닥과 ^{15}N 를 포함하는 가닥의 비는 3 : 1이다. 이후 ^{14}N 가 들어 있는 배양액에서 복제가 일어나면 새로 합성되는 가닥은 모두 ^{14}N 를 포함하므로, G_3 에서 상중, 중중, 하중에 나타나는 DNA 상대량의 비는 3 : 1 : 0이다.

채점 기준	배점
(1) 기각되는 가설과 채택되는 가설을 실험 결과를 포함하여 모두 윗게 서술한 경우	50 %
(1) 기각되는 가설과 채택되는 가설을 윗게 썼으나, 실험 결과에 따른 까닭을 미흡하게 서술한 경우	20 %
(2) G_2 의 결과를 까닭과 함께 윗게 서술한 경우	50 %
(2) G_3 의 결과만 윗게 쓴 경우	10 %

중단원 고난도 문제

86쪽~87쪽

01 ① 02 ③ 03 ⑤ 04 ④ 05 ②

01 — 꼼꼼 문제 분석

- (나)에서 살아 있는 ㉠을 첨가하였으나 I 과 III을 주사한 생쥐는 죽지 않았다. → ㉠은 병원성이 없는 R형균이고, ㉡은 병원성이 있는 S형균이다.
- ㉢를 첨가한 I 과 III을 주사한 생쥐는 죽지 않았다. → R형균이 S형균으로 형질전환되지 않았다.
- ㉢를 첨가하지 않은 II를 주사한 생쥐는 죽었다. → 살아 있는 R형균이 S형균으로 형질전환되었다. 따라서 ㉢는 DNA를 분해하는 DNA 분해효소이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠과 ㉡은 공통적으로 원형 DNA를 갖는다.
- ✗ (나)에서 첨가한 ㉠은 피막을 갖는다. **갖지 않는다**
- ✗ ㉢의 기질은 단백질이다. **DNA**

전략적 풀이 ① ㉠과 ㉡이 무엇인지 판별한다.

- ㉠과 ㉡은 모두 폐렴균으로, 세균과 같은 원핵세포의 유전체는 원형 DNA로 이루어져 있다.
- ㉠은 피막이 없어 병원성이 없는 R형균이고, ㉡은 피막이 있어 병원성이 있는 S형균이다.
- DNA 분해효소의 기질을 생각해 본다.
- DNA 분해효소(㉢)의 기질은 DNA이다.

02 — 꼼꼼 문제 분석

- ㉠은 퓨린 계열 염기(A 또는 G)이고, ㉡은 피리미딘 계열 염기(T 또는 C)인데, 이중나선 DNA X에서 $\frac{㉠+㉡}{㉢+㉣}$ 은 1이 아니다. → ㉠+㉡은 A+T이거나 G+C이다.
- ㉠과 ㉡이 각각 A과 T이라면, $\frac{㉠+㉡}{㉢+㉣} = \frac{3}{4}$ 이므로 X에서 염기 간 수소결합의 총개수는 $3\Box \times 2 + 4\Box \times 3 = 170$ 이다. 그러나 이때 $\Box$ 의 값은 정수가 아니므로 주어진 조건을 만족하지 않는다. → ㉠은 G이고, ㉡은 C이다.
- ㉢이 T이라면, X₁에서 각 염기의 비율은 ㉠ : ㉡ : ㉢ : ㉣ = G : C : T : A = 4 : 6 : 3 : 5이다. 이때 X에서 $\frac{㉠+㉡}{㉢+㉣} = \frac{5}{4}$ 가 되어 주어진 조건을 만족하지 않는다.
- ㉢이 A이라면, X₁에서 각 염기의 비율은 ㉠ : ㉡ : ㉢ : ㉣ = G : C : A : T = 12 : 18 : 15 : 25이다. → 이 경우 X에서 $\frac{㉠+㉡}{㉢+㉣} = \frac{3}{4}$ 이 되어 주어진 조건을 만족하므로, ㉢이 A이고 ㉣이 T이다.

선택지 분석

- ㉠ X₁에서 뉴클레오타이드의 총개수는 70개이다.
- ㉡ ㉢은 타이민(T)이다.
- ✗ X₂에서 퓨린 계열 염기의 개수는 27개이다. **43개**

전략적 풀이 ① 주어진 조건을 이용하여 X를 구성하는 뉴클레오타이드의 총개수를 구한다.

ㄱ. X를 구성하는 염기의 총개수(G+C+A+T)를 x 라고 하면 $\frac{G+C}{A+T} = \frac{3}{4}$ 이므로, 염기 간 수소결합의 총개수는 $3 \times \left(\frac{3}{7}x \times \frac{1}{2}\right) + 2 \times \left(\frac{4}{7}x \times \frac{1}{2}\right) = 170$ 이므로, x 는 140이다. X는 상보적인 단일 가닥 X₁과 X₂로 이루어져 있으므로, X₁에서 뉴클레오타이드의 총개수는 70개이다.

② 제시된 자료를 이용하여 ㉠~㉣이 무엇인지 판별한다.

- ㉠~㉣은 각각 G, C, A, T이므로, ㉢은 타이민(T)이다.
- X₁과 상보적인 가닥인 X₂에서의 염기 구성을 구한다.
- X₁에서 염기의 개수 비는 G : C : A : T = 12 : 18 : 15 : 25이므로, X₂에서 A의 개수는 25개이고, G의 개수는 18개이다. 따라서 X₂에서 퓨린 계열 염기(A, G)의 개수는 43개이다.

03 — 꼼꼼 문제 분석

- G₀~G₄의 DNA를 원심분리하여 이중나선 DNA의 상대량을 확인한 결과는 표와 같다.

구분	G ₀	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
상층(¹⁴ N- ¹⁴ N)	0	0	2	0	0
중층(¹⁴ N- ¹⁵ N)	0	2	2	6	6
하층(¹⁵ N- ¹⁵ N)	1	0	0	2	10

- (다)에서 ㉠에는 DNA가 없고 ㉡과 ㉢에서의 DNA 상대량의 비가 5 : 3으로 나타나는 세대는 G₄이다. → ㉠은 상층(¹⁴N-¹⁴N), ㉡은 하층(¹⁵N-¹⁵N), ㉢은 중층(¹⁴N-¹⁵N)이다.

선택지 분석

- ✗ G₀에서 ¹⁵N는 DNA의 구성 성분 중 디옥시라이보스를 표지한다. **염기**
- ㉡ (다)에서 DNA 상대량의 비가 ㉠ : ㉡ : ㉢ = 1 : 0 : 1로 나타나는 세대가 있다.
- ㉢ G₄의 전체 DNA에서 $\frac{^{14}\text{N가 존재하는 단일 가닥의 수}}{^{15}\text{N가 존재하는 단일 가닥의 수}} = \frac{3}{13}$ 이다.

전략적 풀이 ① DNA를 구성하는 성분 중 질소(N)를 포함하는 것을 생각해 본다.

ㄱ. ^{15}N 는 DNA의 구성 성분 중 염기를 표지한다. 디옥시라이보스는 5탄당으로, 질소(N)를 포함하지 않는다.

② (다)의 실험 결과를 분석하여 ㉠, ㉡, ㉢이 무엇인지 판별한다.

ㄴ. G_2 의 DNA는 상층과 중층에서 같은 비율로 나타나고 하층에서는 나타나지 않으므로 ㉠(상층):㉡(하층):㉢(중층)=1:0:1로 나타난다.

③ G_4 의 전체 DNA에서 ^{14}N 가 존재하는 단일 가닥과 ^{15}N 가 존재하는 단일 가닥의 수를 구한다.

ㄷ. G_4 의 DNA는 중층($^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$)과 하층($^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$)에서 3:5의 비율로 나타난다. DNA 한 분자는 두 개의 단일 가닥으로 이루어져 있으므로 $\frac{^{14}\text{N가 존재하는 단일 가닥의 수}}{^{15}\text{N가 존재하는 단일 가닥의 수}} = \frac{3}{5}$ 이다.

04 품점 문제 분석

- ㉠에서 $A+T+G+C=60$ 이고, $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{2}$ 이므로 $A+T = 60 \times \frac{3}{5} = 36$ 이다. 또한 ㉡에서 $\frac{T}{A} = 1$ 이므로 ㉡과 상보적인 염기서열을 갖는 ㉠에서도 A와 T의 개수는 같다. 따라서 ㉠과 ㉡에서 A와 T는 각각 18개이다.
- ㉢에서 $\frac{C}{G} = \frac{7}{5}$ 이므로 ㉠에서 $\frac{C}{G} = \frac{5}{7}$ 이며, ㉠에서 $G+C = 60 - 36 = 24$ 이므로 C는 $24 \times \frac{5}{12} = 10$ 개이고, G는 14개이다.
- ㉠과 상보적인 가닥 사이의 염기 간 수소결합의 총개수는 $36 \times 2 + 24 \times 3 = 144$ 개이다. 이때 ㉠과 ㉢의 염기의 개수는 각각 30개로 같고 ㉠과 형성하는 수소결합의 총개수도 같으므로, ㉠-㉢ 사이와 ㉠-㉡ 사이의 염기 간 수소결합의 총개수는 각각 72개이다.
- 프라이머는 RNA로 이루어져 있으므로, ㉡을 구성할 수 있는 염기는 A, G, C, T, U이다. ㉠-㉡ 사이의 염기 간 수소결합의 총개수가 72개이므로 $2(A+T+U) + 3(G+C) = 72$ 이고, ㉡에서 전체 염기의 개수는 30개이므로 $A+T+U+G+C=30$ 이다. 이를 통해 $A+T+U=18$ 이고 $G+C=12$ 임을 알 수 있다. 또한 ㉡에서 $\frac{A+T}{G+C} = 1$ 이므로 $A+T=G+C=12$ 이다. 따라서 남은 6개는 프라이머 X를 구성하는 U이다.

선택지 분석

- ㉠ X와 ㉠ 사이의 염기 간 수소결합의 총개수는 12개이다.
- ~~X~~ $\frac{A+T}{G+C}$ 은 ㉢에서가 ㉡에서보다 크다. 작다
- ㉢ ㉢에서 구아닌(G)의 개수는 14개이다.

전략적 풀이 ① 프라이머의 염기서열을 파악한다.

ㄱ. X의 염기서열은 UUUUUU이므로, X와 ㉠ 사이의 염기 간 수소결합의 총개수는 $2 \times 6 = 12$ 개이다.

② 각 DNA 가닥을 구성하는 염기의 개수를 파악한다.

ㄴ. ㉢에서 $\frac{A+T}{G+C}$ 은 ㉡과 같은 1이고, ㉢에서 $\frac{A+T}{G+C}$ 은 ㉠과 같은 $\frac{3}{2}$ 이다.

ㄷ. ㉢은 ㉠과 같은 염기서열을 가지므로, ㉢에서 구아닌(G)의 개수는 ㉠과 같은 14개이다.

05 품점 문제 분석

(가)와 X 사이의 염기 간 수소결합의 총개수는 13개이고, (가)와 Y 사이의 염기 간 수소결합의 총개수는 14개이므로, X와 Y를 구성하는 염기의 개수는 5개 또는 6개이다.

- ① 염기의 개수가 5개인 경우: $3 \times 3 + 2 \times 2 = 13$ 이므로 X에서 $G+C$ 가 3개, $A+T$ 가 2개이며, $3 \times 4 + 2 \times 1 = 14$ 이므로 Y에서 $G+C$ 가 4개, $A+T$ 가 1개이다. 그러나 ㉠과 ㉡의 말단에서 연속된 5개의 염기 중 이러한 염기 조성을 갖는 부위는 없으므로, X와 Y를 구성하는 염기의 개수는 5개가 될 수 없다.
- ② 염기의 개수가 6개인 경우: ㉠과 ㉡의 말단에서 연속된 6개의 염기를 조사하면, ㉡의 ㉡ 쪽 말단에 $G+C$ 1개, $A+T$ 5개로 염기 간 수소결합의 총개수가 13개이고, ㉠의 ㉡ 쪽 말단에 $G+C$ 2개, $A+T$ 4개로 염기 간 수소결합의 총개수가 14개이다. 따라서 ㉠은 Y를 가지고 있는 II이고, ㉡은 X를 가지고 있는 I이며, ㉡와 ㉢은 3' 말단, ㉡와 ㉢은 5' 말단이다.

가닥	염기서열	프라이머 Y
II ㉠	3' ㉡-GAACCTTAGCCGAGAAGAAG-㉢ 5'	
I ㉡	3' ㉢-GACAGATCTAGTCCAAACAA-㉣ 5'	
		프라이머 X

선택지 분석

- ~~X~~ X에서 퓨린 계열 염기의 개수는 6개이다. 5개
- ㉡ ㉡와 ㉢은 모두 3' 말단이다.
- ~~X~~ II에서 Y를 제외한 나머지 부분에서 사이토신(C)의 개수는 2개이다. 4개

전략적 풀이 ① 프라이머 X와 Y의 염기서열을 파악한다.

ㄱ. X의 염기서열은 $5'-AACAAA-3'$ 이므로, 이 중 퓨린 계열 염기(A, G)의 개수는 5개이다.

② 프라이머의 위치를 이용하여 말단의 방향을 판단한다.

ㄴ. 프라이머는 새로 합성되는 가닥의 5' 말단에 위치하므로 ㉡와 ㉢은 3' 말단이고, ㉡와 ㉢은 5' 말단이다.

③ II에서 Y를 제외한 부분의 염기 조성을 확인한다.

ㄷ. II에서 Y를 제외한 나머지 부분의 염기서열은 $3'-GAACCTTAGCCGAG-5'$ 이므로, 사이토신(C)의 개수는 4개이다.

유전자의 발현

1 유전자발현 과정

01 / 유전정보의 흐름

개념확인문제

92쪽

- ① 유전자발현 ② 효소 ③ 효소 ④ 단백질 ⑤ 단백질
⑥ 폴리펩타이드
- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 2 (1) 효소 (2) A (3) b 3 유전자 b
4 (1) 아르지닌 (2) I (3) 아르지닌

- 1** (1) 유전자에 저장된 정보로부터 단백질이 합성되는 과정을 유전자발현이라고 한다.
(2) 유전자발현이 일어나 합성된 단백질 중에는 인슐린, 케라틴 등 효소가 아닌 단백질도 있다.
(3) 비들과 테이텀은 붉은뽕곰팡이를 이용한 실험 결과를 바탕으로 1유전자 1효소설을 주장하였다.
(4) 헤모글로빈을 구성하는 두 종류의 폴리펩타이드는 서로 다른 유전자로부터 합성된다.
- 2** (1) 비들과 테이텀은 붉은뽕곰팡이를 이용한 실험 결과를 바탕으로 유전자 하나가 효소 하나의 합성 정보를 저장하고 있다는 1유전자 1효소설을 주장하였다.
(2) 유전자 a에는 효소 A의 합성 정보가, 유전자 b에는 효소 B의 합성 정보가, 유전자 c에는 효소 C의 합성 정보가 저장되어 있다.
(3) 유전자 b에 돌연변이가 일어나 효소 B에 결함이 생기면 오르니틴을 시트룰린으로 전환시키지 못한다.
- 3** 최소배지에 오르니틴을 넣었을 때는 성장하지 못하고, 시트룰린이나 아르지닌을 넣었을 때는 성장하는 영양요구주 II 형은 오르니틴을 시트룰린으로 전환하는 효소에 결함이 있다. 영양요구주 II 형은 유전자 b에 돌연변이가 일어났으므로, 오르니틴을 시트룰린으로 전환하는 효소에 대한 정보가 저장되어 있는 유전자는 유전자 b이다.
- 4** (1) 최소배지에 아르지닌을 첨가한 경우에 세 종류의 영양요구주가 모두 성장하였으므로 붉은뽕곰팡이의 성장에 꼭 필요한 물질은 아르지닌이다.

- (2) 선구물질을 오르니틴으로 전환시키지 못하는 영양요구주는 최소배지에 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 한 가지를 첨가해 주면 잘 자라는 영양요구주 I 형이다.
(3) 유전자 c에 돌연변이가 일어난 영양요구주 III 형은 최소배지에 아르지닌을 첨가했을 때만 성장한다.

개념확인문제

95쪽

- ① 중심원리 ② 전사 ③ 번역 ④ 코돈 ⑤ 64 ⑥ 개시
⑦ 종결
- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 (1) ○ (2) × (3) ○ 3 (1) ㉠ 전사,
㉡ 번역 (2) 세린 (3) AAA 4 ㄷ, ㄹ

- 1** (가)는 전사, (나)는 번역이고, 물질 X는 DNA이다.
(1) 진핵생물의 핵 안에서 전사(가)가 일어난다.
(2), (3) (가)에서 DNA(X)의 유전정보가 RNA로 전달되는 전사가 일어나고, (나)에서 RNA의 유전정보를 이용해 단백질이 합성되는 번역이 일어난다.
- 2** (1) 코돈은 연속된 3개의 염기로 이루어진다.
(2) 아미노산을 지정하는 코돈은 61종류, 아미노산은 20종류이므로 페닐알라닌과 같이 하나의 아미노산을 지정하는 코돈은 대부분 여러 개이다.
(3) UAA는 아미노산을 지정하지 않는 종결코돈이다.
- 3** (1) (가)에서 전사(㉠)가 일어나고, (나)에서 번역(㉡)이 일어난다.
(2), (3) GGC는 글라이신, UCA는 세린, UGG는 트립토판, AAA는 라이신을 지정하는 코돈이다.
- 4** ㄷ, ㄹ. 이 mRNA의 번역은 개시코돈(AUG)에서 시작하여 종결코돈(UAG)에서 끝나므로 이 mRNA는 총 4개의 아미노산으로 구성된 폴리펩타이드로 번역된다.
(바로알기) ㄱ. 총 21개의 염기가 있으며, 코돈은 연속된 3개의 염기로 구성된다.
ㄴ. 가장 처음 번역되는 코돈은 개시코돈인 AUG이다.

대표자료분석 1

96쪽

- 1 ㉠ 아르지닌, ㉡ 오르니틴, ㉢ 시트룰린 2 I 형: 유전자 c, II 형: 유전자 b 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) × (6) ○

꼼꼼 문제 분석

구분	시트룰린		아르지닌		오르니틴	
	최소배지	최소배지+㉠	최소배지+㉡	최소배지+㉢	최소배지+㉣	최소배지+㉤
	성장	㉠ 합성	성장	㉡ 합성	성장	㉢ 합성
야생형 균주	○	○	○	○	○	○
영양요구주	I 형	×	○	○	×	○
	II 형	×	○	×	×	×

(○: 성장함 또는 합성됨, ×: 성장 못함 또는 합성 안 됨)
 ㉠을 첨가한 배지에서 ㉠을 합성하지만 성장하지 못한다.
 ⇒ ㉠과 ㉡은 아르지닌이 아니다.

1 영양요구주 I 형은 최소배지에 ㉠을 첨가한 배지에서 ㉠을 합성하지만 성장하지 못한다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 붉은빵곰팡이가 성장하는 데 필요한 최종 물질인 아르지닌이 아니다. ㉠을 시트룰린이라고 가정하면, ㉡은 오르니틴이다. 이 경우 영양요구주 II 형은 오르니틴(㉡)을 합성하지 못하므로 유전자 a에 돌연변이가 일어났고, 최소배지에 시트룰린(㉠)이 첨가된 배지에서는 성장해야 하지만 그렇지 못하다. 따라서 ㉢은 아르지닌, ㉣은 오르니틴, ㉤은 시트룰린이다.

2 영양요구주 I 형은 최소배지에 오르니틴(㉣)을 첨가했을 때 시트룰린(㉠)을 합성하지만 아르지닌(㉡)을 합성하지 못해 성장하지 못하므로 유전자 c에 돌연변이가 일어났다. 영양요구주 II 형은 최소배지에 오르니틴(㉣)을 첨가했을 때 시트룰린(㉠)을 합성하지 못하므로 유전자 b에 돌연변이가 일어났다.

- 3 (1) 유전자 a에 돌연변이가 일어나면 효소 A에 결함이 있으므로 최소배지에서 오르니틴을 합성하지 못한다.
 (2) 유전자 b에 돌연변이가 일어난 영양요구주는 최소배지에 시트룰린(㉠)이 첨가된 배지에서 시트룰린(㉠)을 아르지닌(㉡)으로 전환해 성장한다.
 (3) 야생형 붉은빵곰팡이에서 오르니틴(㉣)은 효소 B에 의해 시트룰린(㉠)으로 전환된다.
 (4) 영양요구주 I 형은 유전자 c에만 돌연변이가 일어났으므로 유전자 a와 b에 의해 각각 효소 A와 B가 합성되고, 최소배지에서 시트룰린(㉠)을 합성한다.
 (5) 영양요구주 I 형은 유전자 c에 돌연변이가 일어나 효소 C에 결함이 있으므로 최소배지에 아르지닌(㉡)이 첨가될 때만 성장한다.

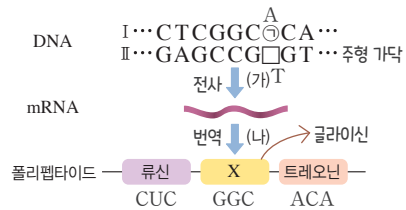
(6) 영양요구주 II 형은 효소 C의 작용이 정상이므로 최소배지에 시트룰린(㉠)이 첨가된 배지에서 시트룰린(㉠)을 아르지닌(㉡)으로 전환시키며 성장한다.

대표자료분석 2

97쪽

- 1 (가) 전사 (나) 번역 2 ㉠ A(아데닌), X: 글라이신 3 AUG
 4 (1) (가) (2) 3 (3) II (4) ㉠ 염기서열, ㉡ 아미노산서열 5 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

꼼꼼 문제 분석



1 (가)에서 DNA의 유전정보가 mRNA로 전달되는 전사가, (나)에서 mRNA의 유전정보에 따라 단백질이 합성되는 번역이 일어난다.

2 트레오닌을 지정하는 코돈은 ACA이므로 전사에 사용되지 않은 가닥 I에 있는 ㉠은 A이고, X는 코돈 GGC에 의해 지정되는 글라이신이다.

3 AUG은 메싸이오닌을 지정하는 개시코돈이고, UGA는 아미노산을 지정하지 않는 종결코돈이다.

- 4 (1) 진핵세포의 핵 안에서 전사(가) 과정이 일어난다.
 (2) DNA의 유전암호는 연속된 3개의 염기로 이루어진 3염기조립이다.
 (3) mRNA의 염기서열과 상보적인 염기서열을 가진 DNA 가닥 II가 전사에 사용된 주형 가닥이다.
 (4) (나) 과정에서 mRNA의 염기서열이 폴리펩타이드의 아미노산서열로 바뀌는 번역이 일어난다.

- 5 (1) mRNA의 유전부호는 연속된 3개의 염기로 이루어진 코돈이다.
 (2) 전사가 일어날 때 DNA 주형 가닥의 염기 A에 상보적으로 결합하는 RNA의 염기는 T이 아닌 U이다.

- (3) 라이보솜에서 일어나는 것은 번역(나)이다.
 (4) 이중나선 DNA에서 A(㉠)은 T와 상보적으로 결합한다.
 (5) 글라이신(X)을 지정하는 mRNA의 코돈은 GGC이다.

내신 만점문제

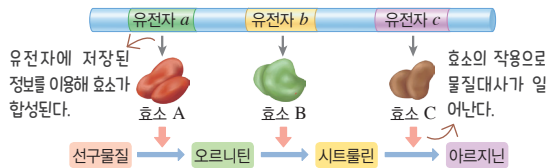
98쪽~100쪽

- 01 ㉠ 02 ㉢ 03 해설 참조 04 ㉠ 05 ㉠
 06 ㉠, ㉢ 07 ㉠ 08 해설 참조 09 ㉡ 10 ㉠
 11 ㉠ 12 ㉢

01 ㉠, ㉢. 유전자발현은 유전자에 저장된 정보로부터 단백질(X)이 합성되는 과정이며, 단백질(X)의 작용으로 생물의 형질이 나타난다.

㉢. 폴리펩타이드의 아미노산서열을 결정하는 DNA의 유전정보는 유전자에 염기서열 형태로 저장되어 있다.

02 품평 문제 분석



- 유전자 a에 의해 효소 A가 합성된다. → 유전자 a에 이상이 생기면 효소 A에 결함이 생겨 선구물질을 오르니틴으로 전환하지 못한다.
- 유전자 b에 이상이 생기면 효소 B에 결함이 생겨 오르니틴을 시트룰린으로 전환하지 못한다.
- 유전자 c에 이상이 생기면 효소 C에 결함이 생겨 시트룰린을 아르지닌으로 전환하지 못한다.

㉠. 야생형 붉은빵곰팡이에서 유전자와 효소의 관계는 하나의 유전자가 하나의 효소에 대한 정보를 저장한다는 1유전자 1효소설을 뒷받침한다.

㉢. 유전자 b에 염기서열 형태로 효소 B의 합성에 필요한 아미노산서열 정보가 저장되어 있다.

[바로알기] ㉢. 유전자 c에 돌연변이가 일어난 영양요구주는 효소 C에 결함이 생겼으므로 시트룰린을 아르지닌으로 전환하지 못한다.

03 **모범 답안** 성장하지 못한다. 유전자 b에 돌연변이가 일어난 영양요구주는 효소 B에 결함이 생겼으므로 오르니틴을 첨가해도 시트룰린으로 전환시키지 못하고, 따라서 성장에 필요한 아르지닌을 합성하지 못하기 때문이다.

채점 기준

성장하지 못한다고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우
 성장하지 못한다고만 쓴 경우

배점

100 %
 30 %

04 품평 문제 분석

구분	최소배지에 첨가한 물질			
	없음	㉠	㉢	㉢
야생형 균주	○	○	○	○
영양 요구주	㉠	×	○	○
	㉢	×	○	×
	㉢	×	○	×

(○: 성장함, ×: 성장하지 못함)

- 야생형 균주에서 선구물질 → 오르니틴 → 시트룰린 → 아르지닌 순서로 물질 전환이 일어나므로 ㉠은 아르지닌, ㉢은 시트룰린, ㉢은 오르니틴이다.
- 유전자 a에 돌연변이가 일어난 ㉠은 최소배지에 오르니틴(㉢), 시트룰린(㉢), 아르지닌(㉠) 중 한 가지만 첨가되면 성장한다. → 야생형 균주에서 유전자 a에 의해 합성된 효소 A의 작용으로 선구물질이 오르니틴(㉢)으로 전환된다.
- 유전자 b에 돌연변이가 일어난 ㉢은 최소배지에 시트룰린(㉢), 아르지닌(㉠) 중 한 가지만 첨가되면 성장한다. → 야생형 균주에서 유전자 b에 의해 합성된 효소 B의 작용으로 오르니틴(㉢)이 시트룰린(㉢)으로 전환된다.

㉠. ㉠은 아르지닌, ㉢은 시트룰린, ㉢은 오르니틴이다.

[바로알기] ㉢. 야생형 균주에서 유전자 a에 의해 합성된 효소 A의 작용으로 선구물질이 오르니틴(㉢)으로 전환된다.

㉢. ㉢은 유전자 c에 돌연변이가 일어나 시트룰린(㉢)을 아르지닌(㉠)으로 전환하는 효소 C에 결함이 생겼으므로 최소배지에 오르니틴(㉢)과 시트룰린(㉢)을 모두 첨가한 배지에서 성장하지 못한다.

05 ㉠. ㉠은 b에 돌연변이가 일어났으므로 B에 결함이 있어 오르니틴이 시트룰린으로 전환되지 못한다. 따라서 최소배지에 시트룰린을 첨가한 배지에서는 성장하지만, 오르니틴을 첨가한 배지에서는 성장하지 못하므로 ㉠은 오르니틴이다.

㉢. ㉢은 최소배지에 오르니틴(㉠)이 첨가된 배지에서 성장하지 못하므로 c에 돌연변이가 일어난 영양요구주이다.

㉢. 최소배지에 성장에 필수적인 아르지닌을 첨가하면 ㉠과 ㉢이 모두 성장한다.

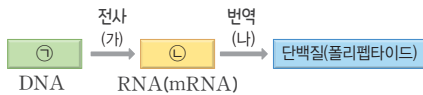
06 유전자와 단백질의 관계에 대한 가설은 1유전자 1효소(㉠)설 → 1유전자 1단백질(㉢)설 → 1유전자 1폴리펩타이드(㉢)설의 순서로 변했다.

ㄱ. 효소(㉑)는 물질대사를 촉매한다.

ㄷ. 헤모글로빈을 구성하는 α 사슬과 β 사슬은 서로 다른 유전자에 의해 합성되는 폴리펩타이드(㉒)이다.

[바로알기] ㄴ. 인슐린은 효소가 아닌 호르몬 단백질이므로 (가)를 설명하기에 1유전자 1효소(㉑)설은 적합하지 않다.

07 품점 문제 분석



유전정보는 DNA → RNA(mRNA) → 단백질(폴리펩타이드)의 순서로 전달된다.

ㄱ. 유전물질인 DNA(㉑)에서 유전정보(단백질합성 정보)를 저장하고 있는 특정 부위가 유전자이다.

[바로알기] ㄴ, ㄷ. (가)에서 DNA(㉑)의 유전정보가 RNA(㉒)로 전달되는 전사가 일어난다. (나)에서 RNA(㉒)의 유전정보에 따라 라이보솜에서 폴리펩타이드가 합성되는 번역이 일어난다.

08 모범 답안 (1) (가) 전사 (나) 번역

(2) 사람의 간세포이다. DNA가 핵막으로 싸인 핵 안에 들어 있어 전사(가)가 핵 안에서 일어나고 번역(나)이 핵 밖(세포질)에서 일어나기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) (가)와 (나)를 모두 옳게 쓴 경우	30 %
(2) 사람의 간세포라고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	70 %
사람의 간세포라고만 쓴 경우	30 %

09 ㉑은 뉴클레오타이드의 구성 성분인 염기이고, ㉒은 단백질을 구성하는 단위체인 아미노산이다. DNA와 mRNA의 유전부호는 연속된 3(x)개의 염기로 이루어지며, 하나의 아미노산(㉒)을 암호화한다.

ㄴ. mRNA의 유전부호는 연속된 3(x)개의 염기로 이루어진 코돈이다.

[바로알기] ㄱ. DNA의 염기는 A, G, C, T이고, RNA의 염기는 A, G, C, U이다.

ㄷ. ㉒은 단백질을 구성하는 단위체인 아미노산이다.

10 ㄱ. 메싸이오닌은 개시코돈(AUG)에 의해서만 지정되는 아미노산이다. 따라서 ㉓는 메싸이오닌이고, ㉑은 AUG이다.

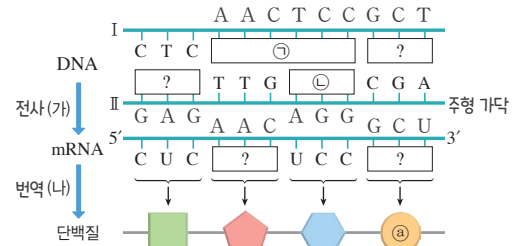
[바로알기] ㄴ. UAA와 UGA는 모두 종결코돈이므로 아미노산을 지정하지 않는다.

ㄷ. 코돈의 종류가 아미노산의 종류보다 많으므로 특정 아미노산을 지정하는 코돈의 종류는 하나 또는 그 이상이다.

11 ㄱ, ㄴ. (가)는 DNA의 유전정보가 mRNA로 전달되는 전사이고, (나)는 mRNA의 유전정보에 따라 라이보솜에서 폴리펩타이드(단백질)가 합성되는 번역이다.

ㄷ. (나)에서 사용한 라이신을 지정하는 코돈은 1종류의 염기로 구성되므로 이 코돈은 AAA이다. 따라서 아미노산서열은 글라이신(GGC)–세린(UCA)–트립토판(UGG)–라이신(AAA)이다.

12 품점 문제 분석



• mRNA와 상보적인 염기서열을 가진 가닥 II가 전사에 사용된 주형 가닥이다. → ㉒의 염기서열은 AGG이고, ㉓를 지정하는 코돈은 GCU이다.

• 가닥 I의 염기서열은 II의 염기서열과 상보적이다. → ㉑의 염기서열은 AACTCC이다.

ㄱ. 전사에 사용된 주형 가닥은 II이다.

ㄴ. 염기서열은 ㉑이 AACTCC, ㉒이 AGG이다.

[바로알기] ㄷ. 코돈은 mRNA의 유전부호로, ㉓를 지정하는 코돈은 GCU이다.

실력 UP 문제

101쪽

01 ④ 02 ㄱ, ㄴ 03 ⑤ 04 ④

01 품점 문제 분석

구분	영양요구주		유전자 α 돌연변이
	㉑	㉒	
최소배지 + 아르지닌	+	㉓ +	배지
최소배지 + 오르니틴	㉓ +	㉓ -	
최소배지	㉓ -	-	

(+: 성장함, -: 성장 못함)

최소배지에서는 ㉑과 ㉒이 모두 성장하지 못하고, 최소배지+아르지닌에서는 ㉑과 ㉒이 모두 성장하므로 ㉓는 '+', ㉓는 '-'이고, I은 최소배지+아르지닌, II는 최소배지+오르니틴, III은 최소배지이다.

ㄱ. ㉠은 ‘+’, ㉡은 ‘-’이다.

ㄴ. 배지 II에서 성장하는 ㉢은 유전자 a에 돌연변이가 일어났고, 배지 II에서 성장하지 못하는 ㉣은 유전자 b와 c 중 하나에 돌연변이가 일어났다. ㉤은 유전자 b와 c가 모두 정상이므로 최소배지+시트룰린에서 아르지닌을 합성해 성장한다.

[바로알기] ㄷ. ㉣은 II와 III에서 모두 성장하지 못하므로 II와 III이 혼합된 배지에서도 성장하지 못한다.

02 품목 문제 분석

구분	㉠ 인슐린	㉡	㉢
(가)	없음	있음	있음
(나)	있음	없음	㉠ 없음

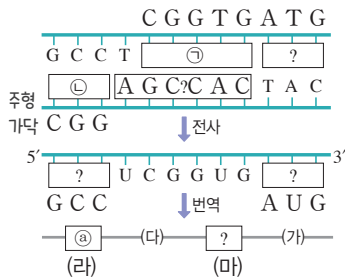
인슐린(단백질), 인슐린의 유전자(DNA), 인슐린의 mRNA 중 라이보솜에 의해 합성되는 것은 인슐린이므로 ‘라이보솜에 의해 합성된다.’는 (나)이고, ㉠은 라이보솜에 의해 번역이 일어나 합성된 인슐린이다.

ㄱ. 단백질인 인슐린(㉠)은 번역이 일어나 합성된다.

ㄴ. 인슐린의 유전자와 mRNA는 라이보솜에 의해 합성되지 않으므로 ㉠은 ‘없음’이다.

[바로알기] ㄷ. DNA와 mRNA에는 각각 연속된 3개의 염기로 이루어진 유전부호인 3염기조합과 코돈이 있으므로 ‘3개의 연속된 염기로 이루어진 유전부호가 있다.’는 (가)에 해당한다.

03 품목 문제 분석



- mRNA에서 코돈이 GCC → UCG → GUG → AUG 순서로 번역되었으므로 아미노산서열은 (라) - (다) - (마) - (가)이다.
- 전사에 주형으로 사용된 가닥은 mRNA와 상보적인 염기서열을 가진 DNA의 아래쪽 가닥이다.

ㄱ. 염기서열이 ㉠은 CGGTG, ㉡은 CGG이므로, ㉠과 ㉡에는 모두 A가 없다.

ㄴ. ㄷ. mRNA에서 GCC → UCG → GUG → AUG의 순서로 코돈이 번역되었으므로 단백질의 아미노산서열은 (라) - (다) - (마) - (가)이다. 따라서 ㉠은 (라)이며, (마)와 (가) 사이에 펩타이드결합이 형성된다.

04 품목 문제 분석

구분	염기서열
mRNA I	㉠㉡G㉢GC㉣㉤CG㉥C → AUGUGCAACGAC
DNA II	㉦㉧C㉨CG㉩㉪GC㉫㉬ → TACACGTTGCTG

I과 II에 모두 있는 ㉠은 A이고, 개시코돈은 AUG이므로 ㉡은 U, ㉥은 T이다.

ㄱ. 개시코돈이 있는 I이 mRNA이다.

ㄴ. I과 II에 모두 있는 ㉠은 A이다.

[바로알기] ㄷ. mRNA(I)에서 AUG → UGC → AAC → GAC의 순서로 코돈이 번역되므로, 단백질의 아미노산서열은 메싸이오닌 - ㉢ - ㉠ - ?이다. 따라서 x에 의해 합성되는 폴리펩타이드에서 메싸이오닌과 ㉢가 펩타이드결합을 형성한다.

02 전사와 번역

완자샘 비법 특강

105쪽

Q1 3' - ATGAGCTCGAGT - 5'

Q2 P 자리

Q3 A 자리

Q4 메싸이오닌: 3' - UAC - 5', 세린: 3' - UCG - 5', 알라닌: 3' - CGA - 5'

Q1 전사 과정에서 DNA 주형 가닥의 염기 A, G, C, T에 각각 RNA의 염기 U, C, G, A가 상보적으로 결합한다. 따라서 mRNA의 염기서열이 5' - UACUCGAGCUCA - 3'일 때, 전사에 사용된 DNA 주형 가닥의 염기서열은 3' - ATGAGCTCGAGT - 5'이다.

Q2 개시 tRNA는 라이보솜의 P 자리에 위치한다.

Q3 A 자리는 새롭게 추가되는 아미노산이 붙은 tRNA가 들어오는 자리이다.

Q4 DNA 주형 가닥의 염기서열이 5' - AGCGCT CAT - 3'인 부위로부터 전사된 mRNA의 염기서열은 5' - AUGAGCGCU - 3'이므로 메싸이오닌, 세린, 알라닌을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 각각 코돈 AUG, AGC, GCU에 상보적인 3' - UAC - 5', 3' - UCG - 5', 3' - CGA - 5'이다.

개념확인문제

106쪽

- ① 프로모터 ② RNA 중합 ③ 5' ④ 3' ⑤ P ⑥ E
⑦ A ⑧ 종결

- 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 (1) ㉠ 3', ㉡ 5', ㉢ 5' (2) CAUCCA
3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 4 (1) A (2) 5' (3) 3'

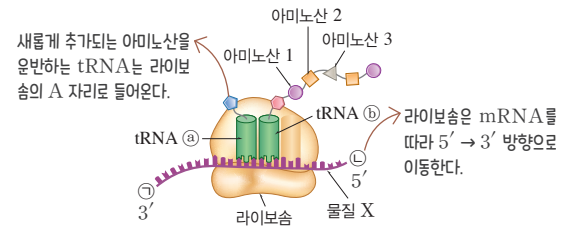
- 1** (1) DNA 이중나선의 한쪽 가닥을 주형으로 하여 주형 가닥에 상보적인 염기를 갖는 RNA가 합성된다.
(2) 전사는 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하여 시작된다.
(3) DNA 주형 가닥의 염기 A에 상보적으로 결합하는 RNA의 염기는 U이다.
- 2** (1) RNA는 5' → 3' 방향으로 합성되므로 ㉠은 주형 가닥의 3' 말단, ㉡는 비주형 가닥의 5' 말단, ㉢는 합성된 RNA의 5' 말단이다.
(2) DNA 주형 가닥의 염기서열이 3' - GTAGGT - 5'인 부위에서 전사된 mRNA의 염기서열은 이와 상보적인 5' - CAUCCA - 3'이다.
- 3** (1), (2), (4) mRNA는 DNA의 염기서열에 저장된 단백질 합성 정보를 전달하고, tRNA는 라이보솜에 아미노산을 운반하며, rRNA는 라이보솜을 구성한다.
(3) 코돈 5' - GCA - 3'에 상보적으로 결합하는 안티코돈은 3' - CGU - 5'이다.
- 4** (1) ㉠은 새롭게 첨가되는 아미노산을 운반하는 tRNA가 들어오는 라이보솜의 A 자리이다.
(2) 라이보솜은 mRNA를 따라 5' → 3' 방향으로 이동하므로 ㉠은 mRNA의 5' 말단이다.
(3) tRNA의 3' 말단에 아미노산(X) 결합 부위가 있다.

대표자료분석 1

107쪽

- 1 tRNA ㉠: A 자리, tRNA ㉡: P 자리 2 ㉠ 3' 말단, ㉡ 5' 말단 3 (1) mRNA (2) rRNA (3) 아미노산 (4) 나중 (5) A
4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

꼼꼼 문제 분석



- 1** tRNA ㉠은 새롭게 첨가되는 아미노산을 운반하므로 라이보솜의 A 자리에 위치하고, tRNA ㉡는 합성 중인 폴리펩타이드가 결합해 있으므로 라이보솜의 P 자리에 위치한다.
- 2** 라이보솜은 mRNA(X)를 따라 5' → 3' 방향으로 이동한다. 라이보솜의 A 자리가 ㉠ 쪽에 있으므로 ㉠은 3' 말단, ㉡은 5' 말단이다.
- 3** (1) 물질 X는 DNA의 염기서열에 저장된 단백질 합성 정보를 전달하는 mRNA이다.
(2) 라이보솜은 rRNA와 단백질로 구성된다.
(3) 번역 과정에서 tRNA는 라이보솜에 아미노산을 운반한다.
(4) A 자리에 있는 tRNA ㉠은 P 자리에 있는 tRNA ㉡보다 라이보솜에 나중 결합했다.
(5) 라이보솜의 A 자리에 mRNA(X)의 종결코돈이 오면 번역이 끝난다.
- 4** (1) 새롭게 첨가되는 아미노산이 결합한 tRNA ㉠은 라이보솜의 A 자리, 합성 중인 폴리펩타이드가 결합한 tRNA ㉡는 P 자리에 있으므로 라이보솜은 mRNA(X)를 따라 ㉡(5' 말단) → ㉠(3' 말단) 방향으로 이동한다.
(2) 라이보솜에서 P 자리에 있는 tRNA ㉡가 A 자리에 있는 tRNA ㉠보다 먼저 방출된다.
(3) tRNA ㉠의 안티코돈이 3' - ACC - 5'이므로, tRNA ㉠이 운반하는 아미노산을 지정하는 mRNA(X)의 코돈은 5' - UGG - 3'이다.
(4) 합성 중인 폴리펩타이드가 결합한 tRNA에서 tRNA와 먼 쪽에 있는 아미노산일수록 번역에 먼저 사용된 것이다. 따라서 아미노산 2와 아미노산 3의 결합이 아미노산 1과 아미노산 2의 결합보다 먼저 형성되었다.

(5) 폴리펩타이드가 길어질 때 P 자리에 있는 tRNA ⑥에서 폴리펩타이드가 떨어져 A 자리에 있는 tRNA ⑤의 아미노산에 연결된다.

대표 자료 분석 2

108쪽

- 1 ⑤ 5' 말단, ⑥ 3' 말단 2 UAG 3 5'-GCCG-3'
4 X: 6개, Y: 3개 5 (1) × (2) ○ (3) × (4) ×

1 x 의 mRNA에 개시코돈(AUG)과 종결코돈(UAA, UAG, UGA)이 모두 있어야 하므로 염기서열이 제시된 가닥 (가)는 전사에 주형으로 사용되지 않은 가닥이며, 주형 가닥에서 전사된 mRNA의 개시코돈과 종결코돈의 방향을 통해 ⑤는 5' 말단, ⑥는 3' 말단임을 알 수 있다.

2 x 에서 전사된 mRNA는 염기서열이 5'-AUA AUG GCA CUU UGC GGC ACC UAG-3'이다.

3 x 의 전사 주형 가닥에서 연속된 4개의 염기(㉠)가 1회 결실된 y 로부터 X보다 구성하는 아미노산의 수가 적은 Y가 합성되므로 y 에서 전사된 mRNA는 염기서열이 5'-AUA AUG GCA CUU UGA CCUAG-3'이다. 따라서 x 에서 결실된 ㉠은 5'-GCCG-3'이다.

4 X는 6개, Y는 3개의 아미노산으로 구성된다.

- 5 (1) (가)는 전사에 주형으로 사용되지 않은 가닥이다.
(2) X는 6개의 아미노산으로 구성되므로 X에는 5개의 펩타이드 결합이 있고, Y는 3개의 아미노산으로 구성되므로 Y에는 2개의 펩타이드결합이 있다.
(3) X의 합성에 이용된 종결코돈은 UAG이고, Y의 합성에 이용된 종결코돈은 UGA이다.
(4) A와 G는 2개의 고리 구조로 이루어진 퓨린 계열 염기이다.

내신 만점 문제

109쪽~112쪽

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

01 ㄴ. 전사는 DNA(㉠)의 유전정보가 RNA(㉡)로 전달되는 과정이다. 라이보스와 U는 모두 RNA(㉡)의 단위체인 뉴클레오타이드의 구성 성분이다.

ㄷ. 전사는 RNA 중합효소가 프로모터라는 DNA(㉠)의 특정 염기서열(㉢)에 결합하면서 시작된다.

(바로알기) ㄱ. 전사는 DNA(㉠)의 특정한 부위(유전자)에 있는 두 가닥 중 한 가닥을 주형으로 하여 일어나며, 주형 가닥에 상보적인 염기를 갖는 RNA가 합성된다.

02 ㉠은 주형 가닥, ㉡은 비주형 가닥, ㉢은 합성 중인 RNA이다. 이중나선구조를 이루는 ㉠과 ㉡은 염기서열이 상보적이고 방향이 서로 반대이며, ㉠과 ㉢도 염기서열이 상보적이고 방향이 서로 반대이다.

(모범 답안) (1) RNA 중합효소

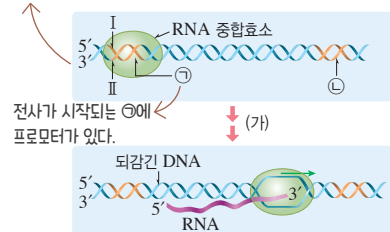
(2) ㉡ 3'-ACGCTTGA-5', ㉢ 3'-ACGCUUGA-5'

(3) 5' 말단, 전사 과정에서 RNA(㉢)는 5' → 3' 방향으로 합성되고 RNA(㉢)와 DNA 주형 가닥(㉠)의 방향은 서로 반대이기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) RNA 중합효소라고 옳게 쓴 경우	10 %
(2) ㉡과 ㉢의 염기서열과 방향을 모두 옳게 쓴 경우	40 %
㉡과 ㉢의 염기서열만 옳게 쓴 경우	20 %
(3) 5' 말단이라고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
5' 말단이라고만 쓴 경우	20 %

03 품점 문제 분석

RNA 중합효소가 주형 가닥의 3' → 5' 방향으로 이동하고, RNA는 5' → 3' 방향으로 합성되므로 I 이 주형 가닥이다.



ㄱ. 프로모터는 RNA 중합효소가 결합해 전사가 시작되는 DNA의 특정 염기서열이므로 전사가 시작되는 부위인 ㉠에 프로모터가 있다.

ㄴ. 전사 과정에서 RNA 중합효소는 주형 가닥의 3' → 5' 방향으로 이동하면서 RNA를 5' → 3' 방향으로 합성한다. 따라서 왼쪽 끝이 3' 말단인 I 이 주형 가닥이다.

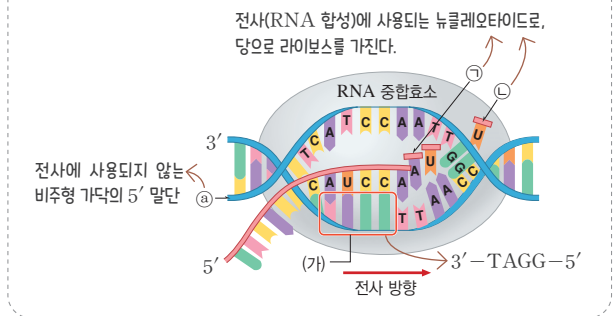
ㄷ. 전사 과정에서 RNA 중합효소는 DNA 중합효소와 달리 프라이머 없이도 RNA를 합성할 수 있다. 따라서 전사(가) 과정에서 프라이머는 이용되지 않는다.

04 ㄱ. 전사 과정에서 RNA가 합성될 때 주형 가닥의 A에 대한 상보적인 염기로 U(㉔)이 이용된다.

ㄴ. RNA 중합효소는 DNA 이중나선을 풀고, 그중 한 가닥을 주형으로 DNA 염기와 상보적인 염기로 구성된 뉴클레오타이드를 5' → 3' 방향으로 연결해 RNA를 합성한다.

[바로알기] ㄷ. RNA 중합효소(X)는 헬리케이스 없이도 스스로 DNA 이중나선을 단일 가닥으로 풀어 새로운 RNA의 합성을 시작할 수 있다.

05 — 품평 문제 분석



ㄱ. 합성 중인 RNA 가닥과 DNA 주형 가닥은 방향이 서로 반대이다. ㉔는 전사에 사용되지 않는 비주형 가닥의 왼쪽 끝이므로 5' 말단이다.

[바로알기] ㄴ. RNA는 5' → 3' 방향으로 합성되므로 주형 가닥에 있는 (가) 부위의 염기서열은 3' - TAGG - 5'이다.

ㄷ. ㉔와 ㉕은 모두 전사 과정에서 RNA 합성에 사용되므로 당으로 라이보스를 가진다. 따라서 ㉔와 ㉕은 모두 DNA를 구성하지 않는다. DNA를 구성하는 뉴클레오타이드는 당으로 디옥시라이보스를 가진다.

06 (가)는 라이보솜(㉔)을 구성하는 rRNA, (나)는 아미노산을 라이보솜(㉕)으로 운반하는 tRNA, (다)는 단백질합성 정보를 전달하는 mRNA이다.

ㄷ. 전사에 의해 mRNA가 합성된 다음, 라이보솜과 tRNA를 이용해 번역이 일어나야 하므로 세포의 단백질합성에 (가)~(다)가 모두 관여한다.

[바로알기] ㄱ. ㉔는 라이보솜이다.

ㄴ. 코돈은 연속된 3개의 염기로 이루어지며, 하나의 아미노산을 지정하는 mRNA(다)의 유전부호이다.

07 ㄷ. RNA 합성이 완료된 부분의 DNA는 다시 감겨 원래대로 이중나선을 형성한다.

[바로알기] ㄱ. 전사에는 프라이머가 이용되지 않으며, ㉔은 합성 중인 단일 가닥 RNA이다.

ㄴ. RNA 중합효소는 DNA의 전사 주형 가닥을 따라 3' → 5' 방향으로 이동하며 RNA를 5' → 3' 방향으로 합성한다. 따라서 ㉔는 전사에 이용되지 않는 DNA 가닥의 5' 말단이다.

08 (가)에서 A는 전사, B는 번역이고, (나)에서 ㉔은 RNA, 이중나선구조인 ㉕은 DNA이다.

① (나)는 DNA로부터 RNA가 전사(A)되는 과정을 나타낸 것이다.

② 번역(B) 과정에서 tRNA는 단백질합성에 필요한 아미노산을 라이보솜으로 운반한다.

③ RNA(㉔)에는 염기 유라실(U)이 포함될 수 있다.

⑤ DNA(㉕)는 당으로 디옥시라이보스를 가진다.

[바로알기] ④ mRNA(㉔)의 유전부호는 코돈, DNA(㉕)의 유전부호는 3염기조합이다. 안티코돈은 tRNA에 있다.

09 ③ 폴리펩타이드에 새로 추가될 아미노산과 결합한 tRNA는 라이보솜의 A 자리로 들어온다.

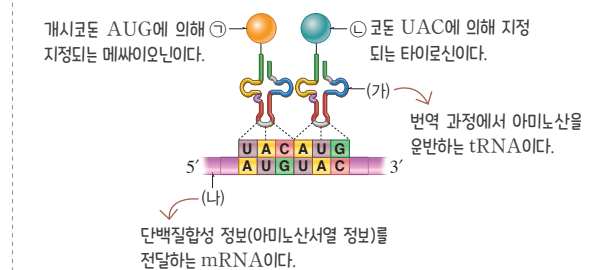
[바로알기] ① 라이보솜은 mRNA를 따라 5' → 3' 방향으로 코돈 하나(염기 3개)만큼씩 이동한다.

② 개시코돈은 지정하는 아미노산(메싸이오닌)이 있고, 종결코돈은 지정하는 아미노산이 없다.

④ 종결코돈은 지정하는 아미노산이 없어 결합할 수 있는 tRNA가 없다.

⑤ 합성된 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산의 수는 mRNA의 개시코돈에서부터 종결코돈 이전까지의 코돈의 수와 같다.

10 — 품평 문제 분석



㉔와 ㉕이 아미노산이므로 (가)는 아미노산을 운반하는 tRNA이고, (나)는 mRNA이다. 번역 과정에서 tRNA의 안티코돈(㉔)과 mRNA의 코돈(㉕)이 상보적으로 결합하며, 개시코돈으로 이용되는 AUG는 메싸이오닌(㉔)을 지정하므로 코돈 UAC에 의해 지정되는 ㉕은 타이로신이다.

[모범 답안] (1) ㉔ 메싸이오닌, ㉕ 타이로신

(2) ㉔ 안티코돈, ㉕ 코돈

(3) tRNA, 단백질합성에 필요한 아미노산을 라이보솜으로 운반한다.

채점 기준	배점
(1) ㉠과 ㉡을 모두 옳게 쓴 경우	20 %
(2) ㉢와 ㉣를 모두 옳게 쓴 경우	30 %
㉢와 ㉣ 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	15 %
tRNA라고 쓰고, 그 기능을 옳게 서술한 경우	50 %
tRNA라고만 쓴 경우	20 %

11 다. 라이보솜에서 펩타이드결합이 형성되어 단백질이 합성된다.

바로알기 ㄱ. 번역 과정에서 mRNA의 각 코돈이 지정하는 아미노산(㉠)은 tRNA가 라이보솜으로 운반한다.

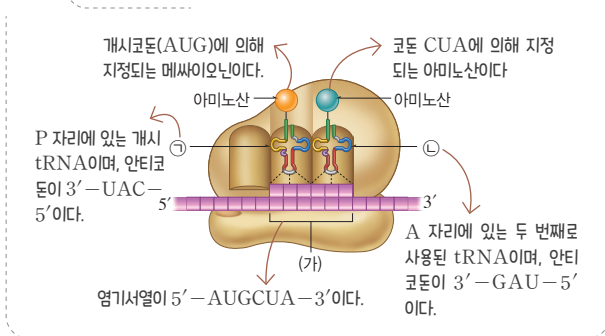
나. 라이보솜의 소단위체(㉡)에 mRNA 결합 자리가 있다.

12 ㄱ. 합성 중인 폴리펩타이드(㉢)가 붙어 있는 tRNA가 위치하는 ㉠은 P 자리, 새롭게 추가되는 아미노산(㉣)을 운반하는 tRNA가 들어오는 ㉡은 A 자리이므로 ㉢은 tRNA가 라이보솜에서 방출되기 전에 잠시 머무는 E 자리이다.

다. 번역의 신장 단계에서 tRNA는 A 자리(㉡)로 들어온 후, 라이보솜이 mRNA를 따라 하나의 코돈만큼 이동하면 P 자리(㉠)로 옮겨졌다가 다시 라이보솜이 mRNA를 따라 하나의 코돈만큼 이동하면 E 자리(㉢)로 옮겨져 라이보솜 밖으로 방출된다.

바로알기 나. 폴리펩타이드가 길어질 때 P 자리(㉠)에 있는 합성 중인 폴리펩타이드(㉢)가 tRNA에서 떨어져 A 자리(㉡)에 있는 새롭게 추가되는 아미노산(㉣)과 펩타이드결합으로 연결된다.

13 품목 문제 분석



번역은 mRNA의 5' → 3' 방향으로 일어나므로 ㉠은 P 자리에 있고, ㉡은 A 자리에 있다. ㉠과 ㉡에 각각 아미노산이 1개씩 결합해 있으므로 ㉠은 개시코돈(AUG)과 결합하며 메싸이오닌을 운반하는 개시 tRNA이다. 따라서 mRNA에서 (가)의 염기서열은 5'-AUGCUA-3'이고, ㉢, ㉣, ㉤, ㉥은 각각 A, U, G, C이다.

ㄱ. ㉡의 안티코돈은 코돈 5'-CUA(㉢㉣㉤)-3'에 상보적인 3'-GAU(㉤㉢㉣)-5'이다.

바로알기 나. ㉠은 P 자리에 있는 개시 tRNA이고, ㉡은 A 자리에 있는 두 번째 tRNA이므로 ㉠이 ㉡보다 먼저 E 자리를 거쳐 방출된다.

다. 라이보솜은 mRNA를 따라 5' → 3' 방향으로 이동한다.

14 ㄱ. 정상 mRNA에서 코돈 GAA와 GAG가 모두 글루탐산을 지정하고 있다.

나. 돌연변이 I에서 만들어진 폴리펩타이드는 두 번째 아미노산이 글루탐산에서 발린으로 바뀐 것 외에는 모두 정상 폴리펩타이드와 같으므로 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산 개수가 정상 폴리펩타이드와 같다.

다. ㉠은 코돈 GAG가 지정하는 글루탐산이다.

15 품목 문제 분석

DNA

3' GTA AGT CTA TAA 5' 전사 주형 가닥

5' CAT TCA GAT ATT 3' ㉡

폴리펩타이드 ... ㉢ - ㉣ - ㉤ - ㉥ ... → 번역 방향

이 부위는 12개의 염기로 구성되며, 4개의 아미노산으로 번역되므로 이 부위가 전사된 mRNA에 종결코돈(UAA, UAG, UGA)이 없다. → DNA의 위쪽 가닥이 전사 주형 가닥이며, 이 부위가 전사된 mRNA의 염기서열은 5'-CAU UCA GAU AUU-3'이다.

ㄱ. mRNA에서 CAU(㉢) → UCA(㉣) → GAU(㉤) → AUU(㉥)의 순서로 코돈이 번역되었다. 안티코돈이 3'-CUA-5'인 tRNA는 코돈 5'-GAU-3'에 상보적으로 결합하므로 ㉤을 운반한다.

나. ㉠ 부위가 결실되면 이 부위가 전사된 mRNA의 염기서열이 5'-CAU UAG AUAUU-3'가 되므로 종결코돈(UAG)이 생겨 정상보다 길이가 짧아진 폴리펩타이드가 합성된다.

다. 전사는 오른쪽 방향(→)으로 일어나고, DNA의 위쪽 가닥이 전사 주형 가닥이므로 ㉡은 전사에 사용되지 않은 가닥의 3' 말단이다.

16 x의 주형 가닥이 전사된 mRNA에 개시코돈(AUG)과 종결코돈(UAA, UAG, UGA)이 있고, X는 5개의 아미노산으로 구성되므로 I은 전사 주형 가닥이다.

• DNA I: 3'-GGCTTA㉢CGGAAATG㉣ATAAT㉤TT-5'

• mRNA: 5'-CCGAU㉣GCCUUUAC㉤UAUUA㉢AA-3'

ㄱ. mRNA에 개시코돈 AUG와 종결코돈 UAG가 있으므로, DNA에서 ㉢는 C이고, mRNA의 염기서열은 5'-CCGAUG GCC UUU ACG UAU UAG AA-3'이다.

바로알기 ㄴ. X가 합성될 때 사용된 종결코돈은 UAG이다.
 ㄷ. 안티코돈이 3'-UGC-5'인 tRNA는 코돈 ACG에 의해 지정되는 트레오닌을 운반한다.

실력UP문제

113쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ②, ⑤

01 — 꼼꼼 문제 분석

세포	처리한 물질	x 의 번역		x 의 전사
		㉠	㉡	㉢
(가)	전사 ㉠ 억제	×	○	×
(나)	복제 ㉡ 억제	○	×	○
(다)	번역 ㉢ 억제	×	○	○

(○: 일어남, ×: 일어나지 않음)

DNA 복제가 억제되어도 x 의 전사와 번역은 일어날 수 있고, x 의 전사가 억제되면 번역도 억제되지만, x 의 번역이 억제되어도 전사는 일어날 수 있다. 따라서 ㉠은 x 의 번역, ㉡는 DNA 복제, ㉢은 x 의 전사이다.

ㄴ. ㉠을 처리한 (가)에서 DNA 복제(㉡)만 일어나므로 ㉠은 x 의 전사(㉢)를 억제하며, 그 결과 (가)에서 x 의 번역(㉠)도 억제된다.

바로알기 ㄱ. DNA 복제(㉡)에서와 달리 x 의 전사(㉢)에서는 프라이머가 사용되지 않는다.

ㄷ. ㉡은 DNA 복제(㉡)를 억제하고, ㉢은 x 의 번역(㉠)을 억제하므로 (다)에 ㉡이 추가로 처리되어도 x 의 전사(㉢)는 일어난다.

02 — 꼼꼼 문제 분석

가닥	염기의 비율(%)					
	A	G	㉠ U	㉡ T	㉢ C	합계
DNA I	30	25	㉠ 0	25	?20	100
mRNA II	30	25	25	㉡ 0	?20	100
주형 DNA III	25	?20	㉠ 0	30	㉢ 25	100

• T는 DNA에, U는 RNA에 있는 염기이다. 따라서 ㉠가 0이 아니면 I ~ III에 ㉠과 ㉡이 모두 있으므로 ㉠과 ㉡은 T와 U이 모두 될 수 없는 모순이 생긴다. → ㉠는 0이고, ㉠은 U이며, U이 있는 II가 mRNA이다.

• ㉡은 I과 III에 있으므로 T이고, ㉢은 C이다. → I과 III에서 A-T, G-C의 상보적 염기쌍이 형성되므로 ㉡는 25이다.

• mRNA(II)에서 A의 비율이 30 %이므로 전사 주형 가닥에서 T(㉡)의 비율은 30 %이다. → 전사 주형 가닥은 III이다.

ㄴ. RNA 중합효소에 의해 mRNA(II)가 합성된다.

ㄷ. ㉠+㉡=0+25=25이다.

바로알기 ㄱ. mRNA(II)에서 A의 비율이 30 %이므로 전사 주형 가닥에서 T(㉡)의 비율은 30 %이다. 따라서 전사 주형 가닥은 III이다.

03 • x 의 mRNA에 개시코돈과 종결코돈이 모두 있어야 하므로 염기서열이 주어진 가닥은 전사 주형 가닥이며, ㉠는 3' 말단, ㉡는 5' 말단이다.

• x 에서 전사된 mRNA의 염기서열은 5'-AUA AUG GCA CUU UGC GGC ACC UAG-3'이다. → X의 아미노산서열은 메싸이오닌-알라닌-류신-시스테인-글라이신-트레오닌이다.

• 아미노산의 수는 Y가 X보다 적으므로 Y에서 전사된 mRNA에는 x 에서 전사된 mRNA에 있는 종결코돈보다 앞에 새로운 종결코돈이 생겨야 한다. → Y의 mRNA의 염기서열은 5'-AUA AUG GCA CUU UAA GCGGCACCUAG-3' 또는 5'-AUA AUG GCA CUU UGA ACGGCACCUAG-3'로 2개의 A이 삽입된 상태이다.

① ㉠는 3' 말단, ㉡는 5' 말단이다.

③ X의 아미노산서열은 메싸이오닌-알라닌-류신-시스테인-글라이신-트레오닌이다.

④ mRNA에 2개의 A이 삽입된 상태이므로 전사 주형 가닥에 2개의 T(㉡)이 삽입되었다.

바로알기 ② X는 6개의 아미노산으로 구성되므로 X에 5개의 펩타이드결합이 있다.

⑤ X가 합성될 때 사용된 종결코돈은 UAG이고, Y가 합성될 때 사용된 종결코돈은 UAA 또는 UGA이다.

중단원 핵심정리

114쪽

- ① 유전자발현 ② 폴리펩타이드 ③ 전사 ④ 번역 ⑤ 3
 ⑥ 프로모터 ⑦ 5' ⑧ 3' ⑨ rRNA ⑩ tRNA ⑪
 안티코돈 ⑫ A ⑬ P ⑭ P ⑮ A ⑯ E

중단원 마무리 문제

115쪽~118쪽

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

01 (가)는 1유전자 1단백질설, (나)는 1유전자 1효소설, (다)는 1유전자 1폴리펩타이드설이다.

ㄴ. 가설의 변화 과정은 1유전자 1효소설(나) → 1유전자 1단백질설(가) → 1유전자 1폴리펩타이드설(다)이다.

ㄷ. 헤모글로빈을 구성하는 α 사슬과 β 사슬은 서로 다른 폴리펩타이드이다. 따라서 ‘헤모글로빈을 구성하는 α 사슬과 β 사슬은 서로 다른 유전자에 의해 합성된다.’는 1유전자 1폴리펩타이드설을 뒷받침하는 현상(㉠)이다.

[바로알기] ㄱ. 인슐린은 효소가 아닌 호르몬 단백질이므로 (가)는 1유전자 1단백질설이다.

02 ㄱ. 최소배지에 오르니틴을 첨가하면 성장하는 영양요구주는 최소배지에 시트룰린을 첨가해도 성장한다. 따라서 ㉠은 시트룰린, ㉡은 오르니틴이고, X는 오르니틴을 시트룰린으로 전환시키지 못한다.

ㄴ. X는 오르니틴을 시트룰린으로 전환시키는 효소에 결함이 있으므로 X에서 돌연변이가 일어난 유전자(㉢)는 기질이 오르니틴인 효소의 합성에 관여한다.

ㄷ. 아르지닌은 붉은뽕곰팡이의 성장에 필수적인 물질이므로 X는 최소배지에 아르지닌을 첨가하면 성장한다.

03 ㄷ. 유전자 a에는 염기서열의 형태로 효소 A의 아미노산서열에 대한 정보가 저장되어 있다.

[바로알기] ㄱ, ㄴ. ㉠은 유전자 c에 돌연변이가 일어나 효소 C에 결함이 있어 시트룰린을 아르지닌으로 전환하지 못한다. 따라서 ㉠은 최소배지에 오르니틴을 첨가해도 성장하지 못한다.

04 ㄱ, ㄴ. 중심원리에 따라 유전정보가 흐를 때 DNA(가)의 유전정보가 RNA(나)로 전달되는 전사(㉠)가 일어난 후, RNA(나)의 정보를 이용해 단백질(다)을 합성하는 번역(㉡)이 일어난다.

[바로알기] ㄷ. ㉠은 전사, ㉡은 번역이다.

05 ㄴ. ㉠은 DNA의 유전정보가 RNA로 전달되는 전사이고, ㉡은 RNA의 정보를 이용해 폴리펩타이드를 합성하는 번역이다. 전사(㉠)에서 RNA를 합성하므로 RNA 중합효소가 이용된다.

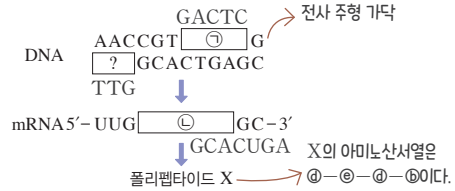
[바로알기] ㄱ. 단백질합성 정보를 전달하는 (가)는 mRNA이다.
ㄷ. 사람의 간세포와 같은 진핵세포에서는 핵 안에서 전사(㉠)가 일어나고, 세포질의 라이보솜에서 번역(㉡)이 일어난다.

06 ㄷ. 안티코돈이 3'-AAC-5'인 tRNA는 코돈 UUG에 의해 지정되는 류신을 운반한다.

[바로알기] ㄱ. mRNA의 코돈은 연속된 3개의 염기로 구성되므로 총 $4^3=64$ 가지가 있다.

ㄴ. 종결코돈은 지정하는 아미노산이 없다.

07 — 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. mRNA와 상보적인 염기서열을 가진 DNA의 위쪽 가닥이 전사 주형 가닥이다. mRNA의 염기서열에 따른 X의 아미노산서열은 ㉠-㉡-㉢-㉣이다.

[바로알기] ㄱ. DNA의 전사 주형 가닥에 4개의 유전부호(3염기조합)가 있다.

ㄴ. 염기서열은 ㉠이 3'-GACTC-5', ㉡이 5'-GCACUGA-3'이다.

08 — 꼼꼼 문제 분석

구분	염기의 비율(%)					
	A	㉠	㉡U	㉢T	㉣	계
주형(가)	25	㉠20	㉡0	30	?25	100
RNA(나)	30	25	25	㉢0	?20	100
(다)	30	25	㉡0	25	㉣20	100

- T는 DNA에만 있는 염기이고, U는 RNA에만 있는 염기이다. 만약 ㉢가 0이 아니면 A와 ㉠~㉢이 있는 (나)와 (다)가 x를 구성하는 두 가닥이고, ㉢는 20이다. 그런데 이 경우 (나)에서 A의 비율이 30 %인데, (다)에서 ㉠~㉢ 중 하나인 T의 비율이 30 %가 아니므로 모순이 생긴다. → ㉢는 0이고, (나)에만 있는 ㉡은 U이며, (나)는 RNA이다.
- (나)에 없는 ㉢는 T이고, ㉣는 20이다. → ㉠과 ㉡은 각각 G과 C 중 하나이다.

ㄴ. RNA(나)에서 A의 비율이 30 %이므로 T(㉢)의 비율이 30 %인 (가)가 전사 주형 가닥이다.

[바로알기] ㄱ. ㉠은 20, ㉢는 0이다.

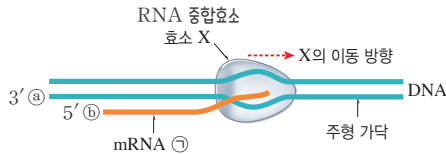
ㄷ. (가)~(다)의 염기 개수를 각각 100으로 가정하면, 이중나선 구조의 x는 염기 개수가 총 200이고 이 중 퓨린 계열 염기(A, G)의 개수는 100이다. RNA에서 C의 개수는 25와 20 중 하나이다.

09 ㄷ. 효소 X는 전사 과정에서 RNA를 합성하는 RNA 중합효소이다. RNA 중합효소(X)가 DNA의 프로모터에 결합하면서 전사가 시작된다.

바로알기 ㄱ. 전사 과정에서 RNA는 5' → 3' 방향으로 합성되며, 합성되는 RNA와 주형 가닥의 방향이 서로 반대이다. 그림에서 전사의 진행 방향은 왼쪽(←)이므로 ㉓는 전사에 주형으로 사용되지 않는 비주형 가닥의 3' 말단이다.

ㄴ. ㉑은 RNA 합성에 이용되는 뉴클레오타이드이므로 구성 성분에 라이보스가 있다.

10 품평 문제 분석



전사 과정에서 RNA는 5' → 3' 방향으로 합성되고, 주형 가닥과 합성되는 RNA의 방향은 서로 반대이다. ⇒ ㉓는 주형 가닥의 3' 말단, ㉑는 mRNA(㉑)의 5' 말단이다.

ㄴ. RNA 중합효소(X)는 DNA 중합효소와 달리 프라이머 없이 새로운 RNA의 합성을 시작할 수 있으므로 mRNA(㉑)가 합성될 때 프라이머가 사용되지 않는다.

바로알기 ㄱ. X는 전사 과정에서 RNA를 합성하는 RNA 중합효소이다.

ㄴ. ㉓는 주형 가닥의 3' 말단, ㉑는 mRNA(㉑)의 5' 말단이다.

11 ㄱ, ㄴ. (가)는 라이보솜을 구성하는 rRNA이고, (나)는 아미노산을 라이보솜으로 운반하는 tRNA이다.

ㄴ. mRNA, rRNA, tRNA 모두 RNA 중합효소에 의해 DNA에서 전사가 일어나 합성된다.

12 •x의 mRNA에 개시코돈과 종결코돈이 모두 있어야 하므로 염기서열이 제시된 가닥은 전사에 이용되지 않는 비주형 가닥이고, ㉓는 5' 말단, ㉑는 3' 말단이다.

•x에서 전사된 mRNA는 염기서열이 5'—AUA AUG ACA UUU UGC UGC ACC UAG—3'이다.

ㄱ. ㉓는 5' 말단이다.

바로알기 ㄴ. X의 아미노산서열은 메싸이오닌—트레오닌—페닐알라닌—시스테인—시스테인—트레오닌이므로 X는 4종류의 아미노산으로 구성된다.

ㄴ. X가 합성될 때 마지막에 이용되는 tRNA의 안티코돈은 코돈 5'—ACC—3'에 상보적인 3'—UGG—5'이다.

13 ㄱ. ㉑과 ㉒은 폴리펩타이드가 합성될 때 두 아미노산 사이에서 형성되는 펩타이드결합이고, 합성 중인 폴리펩타이드에서 라이보솜과 먼 쪽에 있는 아미노산일수록 먼저 사용된 것이므로 ㉑이 ㉒보다 먼저 형성되었다.

ㄴ. 라이보솜의 가운데 P 자리에 있는 tRNA에 결합해 있던 폴리펩타이드가 떨어져 왼쪽 A 자리에 있는 tRNA의 아미노산에 결합한 상태이며, (가)는 E 자리이다.

바로알기 ㄴ. 번역은 mRNA를 따라 왼쪽(←) 방향으로 일어나고 있으며, 이 방향이 5' → 3' 방향이다. 따라서 ㉓는 3' 말단이고, ㉑는 5' 말단이다.

14 품평 문제 분석

3'—TACGAAAAATATCTGAATGGTA—5'

•안티코돈인 3'—GAU—5'와 상보적인 코돈은 5'—CUA—3'이고, DNA의 전사 주형 가닥에는 코돈과 상보적인 염기서열인 3'—GAT—5'가 있다. ⇒ 제시된 가닥은 전사에 사용되지 않는 비주형 가닥이다.

•x에서 전사된 mRNA의 염기서열: 5'—AUG GUA AGU CUA UAA AAGCAU—3' ⇒ X는 아미노산이 4개, 펩타이드결합이 3개이므로 Y는 아미노산이 2개, 펩타이드결합이 1개이다.

•y에서 전사된 mRNA의 염기서열: 5'—AUG GUA UAG UCUAUAAAAGCAU—3' ⇒ y는 x의 이중나선에 A—T 염기쌍 1개가 삽입되었다.

ㄴ. x의 mRNA에서 3번째 코돈 바로 앞에 U이 삽입되면 UAG의 종결코돈이 형성되어 2개의 아미노산으로 구성된 Y가 만들어진다. 따라서 y는 x에 1개의 A—T 염기쌍이 삽입된 돌연변이이므로 이중나선에서 수소결합의 수는 y가 x보다 2개 많다.

ㄴ. 안티코돈이 3'—GAU—5'인 tRNA는 x의 mRNA에서 4번째 코돈인 5'—CUA—3'와 결합한다. 따라서 ㉑일 때 라이보솜의 P 자리에 아미노산 3개로 구성된 폴리펩타이드가 부착된 tRNA가 위치하고 있다.

바로알기 ㄱ. X가 합성될 때 사용된 종결코돈은 UAA이고, Y가 합성될 때 사용된 종결코돈은 UAG이다.

15 프로모터는 RNA 중합효소가 결합해 전사가 시작되는 부위이므로 전사 진행 방향의 앞쪽(㉑)에 있고, (가)에서 전사가, (나)에서 번역이 각각 일어난다.

모범 답안 (1) ㉑

(2) 3' 말단

(3) (가)는 전사로 핵 안에서 일어나며, (나)는 번역으로 세포질의 라이보솜에서 일어난다.

채점 기준	배점
(1) ㉑이라고 옳게 쓴 경우	20 %
(2) 3' 말단이라고 옳게 쓴 경우	30 %
(3) (가)와 (나)의 이름과 각 과정이 일어나는 장소를 모두 옳게 서술한 경우	50 %
(가)와 (나)의 이름만 옳게 쓴 경우	20 %

16 • x 의 mRNA에 개시코돈과 종결코돈이 모두 있어야 하므로 I은 전사 주형 가닥이고, ㉠은 3' 말단, ㉡은 5' 말단이다.
• x 에서 전사된 mRNA는 염기서열이 5'-AC□ □UGGCA CUU ■GC GGC ACC ■AG-3'이므로, x 의 I에서 ㉠은 T, ㉡은 A이다.

모범 답안 (1) ㉠ 3' 말단, ㉡ 5' 말단

(2) 5'-ACAAUGGCACUUUGCGGCACCUAG-3'
(3) 3'-CGU-5', 번역이 시작될 때 개시 tRNA가 라이보솜의 P 자리에 위치하고 A 자리에 mRNA의 다음 코돈에 대응하는 아미노산을 운반하는 tRNA가 들어오므로, X가 합성될 때 A 자리에 가장 먼저 위치하는 tRNA의 안티코돈은 두 번째 코돈인 GCA에 상보적이기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) ㉠와 ㉡를 모두 옳게 쓴 경우	20 %
(2) mRNA의 염기서열을 옳게 쓴 경우	30 %
(3) tRNA의 안티코돈을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
tRNA의 안티코돈만 옳게 쓴 경우	20 %

중단원 고난도 문제

119쪽~121쪽

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

01 - 꼼꼼 문제 분석

구분	최소배지	최소배지에 첨가한 물질			
		㉠ 3	㉡ 2	㉢ 1	㉣ 4
야생형	+	+	+	+	+
I	-	-	-	-	+
II	-	+	+	-	+
III	-	+	-	-	+

(+: 성장함, -: 성장 안 함)

II는 ㉢을 ㉡으로 전환시키지 못하고, III은 ㉡을 ㉠으로 전환시키지 못하며, I은 ㉠을 ㉢으로 전환시키지 못한다. → ㉢의 합성 과정은 ㉢ → ㉡ → ㉠ → ㉣이다.

선택지 분석

- ㉠ 실험 결과는 1유전자 1효소설을 뒷받침한다.
- ㉡ II에서는 ㉢이 기질인 효소에 결합이 있다.
- ✗ 야생형에서 ㉢ → ㉠ → ㉡ → ㉣의 순서로 물질의 전환이 일어난다. ㉢ → ㉡ → ㉠ → ㉣

전략적 풀이 ① 실험 결과와 관련지어 1유전자 1효소설의 개념을 이해한다.

야생형과 달리 영양요구주 I ~ III은 모두 최소배지에서 성장하지 않고, 최소배지에 ㉢을 첨가하면 성장하므로 ㉢의 합성 과정에 관여하는 특정 효소에 결함이 있다.

㉠. I ~ III은 각각 하나의 유전자에만 돌연변이가 일어났고, 최소배지에 특정 물질을 첨가해야만 성장하므로 이 결과는 하나의 유전자가 하나의 효소 합성에 필요한 정보를 저장하고 있다는 1유전자 1효소설을 뒷받침한다.

② 실험 결과를 분석해 물질의 전환 순서와 각 영양요구주에서 돌연변이가 일어난 유전자를 파악한다.

㉡. II는 최소배지에 ㉠~㉣ 중 ㉢을 첨가했을 때만 성장하지 않으므로 ㉢을 다른 물질로 전환시키지 못한다. 따라서 II에서는 ㉢이 기질인 효소에 결합이 있다.

㉢. ㉢의 합성 과정은 ㉢ → ㉡ → ㉠ → ㉣이다.

02 - 꼼꼼 문제 분석

	인공 mRNA	아미노산
㉠	5'-AU-3'가 반복되는 mRNA	UAU ㉢, ㉣ AUA
㉡	5'-AUA-3'가 반복되는 mRNA	㉢, ㉣ AAU
㉢	5'-AUCGACUGCA-3'가 반복되는 mRNA	?
㉣	5'-AACGUCUGGU-3'가 반복되는 mRNA	?

- ㉠의 염기서열은 5'-AUAUAUAUAUAU ...-3'이다.
→ AUA와 UAU가 반복되므로, ㉢와 ㉣는 각각 AUA와 UAU에 의해 지정되는 아미노산 중 하나이다.
- ㉡의 염기서열은 5'-AUAUAUAUAUAUAU ...-3'이다.
→ AUA 또는 AAU가 반복되므로 AUA가 ㉢를, AAU가 ㉣를, UAU가 ㉢를 지정한다.
- ㉢의 염기서열은 5'-AUCGACUGCAAUCGACUGCA ...-3'이다.
- ㉣의 염기서열은 5'-AACGUCUGGUAACGUCUGGU ...-3'이다.

선택지 분석

- ✗ 코돈 UAU는 ㉢를 지정한다. ㉢
- ✗ ㉢과 ㉣에 모두 ㉢를 지정하는 코돈이 없다.
- ㉣ ㉢로부터 최대 8개의 펩타이드결합이 있는 폴리펩타이드가 합성된다.

전략적 풀이 ① 인공 mRNA의 염기서열을 분석해 아미노산을 지정하는 코돈을 파악한다.

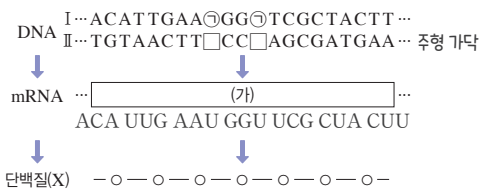
㉠. ㉠의 번역은 AUA(㉢) UAU(㉢) AUA UAU ...로 일어나고, ㉡의 번역은 AUA(㉢) AUA AUA AUA ... 또는 AUAAU(㉢) AAU AAU AAU A...로 일어나므로 UAU는 ㉢를, AUA는 ㉢를, AAU는 ㉢를 각각 지정하는 코돈이다.

ㄴ. ㉔의 번역은 AUC GAC UGC AAU CGA CUG CAA UCG ACU GCA AUC GAC UGC ... 또는 A UCG ACU GCA AUC GAC UGC AAU CGA CUG CAA UCG ACU GCA ... 또는 AU CGA CUG CAA UCG ACU GCA AUC GAC UGC AAU CGA CUG CAA ...로 일어날 수 있으므로 ㉔에 ㉔를 지정하는 코돈 AAU가 있다.

㉔ 인공 mRNA의 염기서열과 종결코돈을 바탕으로 폴리펩타이드의 아미노산 개수를 파악한다.

ㄷ. UAA는 종결코돈이므로 ㉔의 번역은 AAC GUC UGG UAA ... 또는 A ACG UCU GGU AAC GUC UGG UAA ... 또는 AA CGU CUG GUA ACG UCU GGU AAC GUC UGG UAA ...로 일어난다. 따라서 ㉔로부터 최대 9개의 아미노산으로 구성되어 8개의 펩타이드결합이 있는 폴리펩타이드가 합성된다.

03 품공 문제 분석



- (가)에서 A의 개수가 5이다. → DNA의 전사 주형 가닥에서 T의 개수는 5이다. → II가 전사 주형 가닥이다.
- (가)에서 U(㉔)의 개수는 C의 개수의 2배이다. → (가)의 염기서열은 ACAUUGAAUGGUUCGCUACUU이고, 비주형 가닥인 I에서 ㉔은 T이다.

선택지 분석

㉔ II는 전사 주형 가닥이다.

✗ (가)에 염기 ㉔이 있다. 없다

✗ X가 합성될 때 코돈 CAU가 아미노산으로 번역되었다.
번역에 이용되지 않았다

전략적 풀이 ① DNA와 RNA의 상보적 염기 관계를 바탕으로 전사 주형 가닥을 파악한다.

ㄱ. (가)에서 A의 개수가 5이므로 DNA의 전사 주형 가닥에서 T의 개수는 5이다. 그런데 I에서 ㉔을 제외하고 T의 개수가 6이므로 I은 전사에 이용되지 않는 비주형 가닥이고, II가 전사 주형 가닥이다.

② DNA와 RNA의 염기 차이를 이해한다.

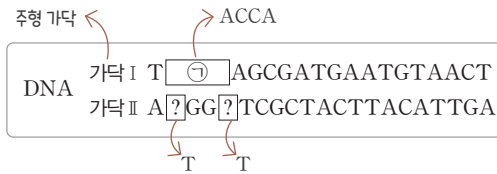
ㄴ. T는 DNA에는 있지만, RNA에는 없는 염기이므로 ㉔은 U이다. (가)에서 U(㉔)의 개수는 C의 개수의 2배이므로 I에서 T

의 개수는 C의 개수의 2배이다. 따라서 ㉔은 T이고, (가)에 없는 염기이다.

③ 유전정보의 흐름과 유전부호를 바탕으로 번역에 사용된 코돈을 파악한다.

ㄷ. 21개의 염기가 번역된 단백질의 일정 부위 X는 7개의 아미노산으로 구성되고, (가)의 염기서열은 ACA UUG AAU GGU UCG CUA CUU이므로 X가 합성될 때 코돈 CAU는 번역에 이용되지 않았다.

04 품공 문제 분석



구분	염기 개수(개)				
	A	G	C	(가) T	(나) U
RNA	5	4	㉔4	㉔0	2㉔8

- RNA를 구성하는 A의 개수가 5이므로, 전사 주형 가닥에서 T의 개수는 5이다. → I이 전사 주형 가닥이다.
- 전사 주형 가닥(I)에 4종류의 염기(A, G, C, T)가 모두 있으므로 RNA에서 4종류의 염기(A, G, C, U)가 모두 있다. → (가)는 T, (나)는 U이다.

선택지 분석

㉔ ㉔+㉔=4이다.

㉔ ㉔의 염기서열은 ACCA이다.

㉔ x의 전사 주형 가닥은 I이다.

전략적 풀이 ① 상보적 염기 관계를 바탕으로 DNA와 RNA의 염기서열을 파악한다.

ㄱ. 전사 주형 가닥(I)에 4종류의 염기(A, G, C, T)가 모두 있으므로 RNA에 4종류의 염기(A, G, C, U)가 모두 있다. 따라서 (가)는 T, (나)는 U이고, ㉔=0이다. I, II, RNA를 구성하는 염기 개수는 각각 21로, RNA에서 C와 U의 개수를 더한 값은 12이다. 따라서 C의 개수는 4(㉔), U의 개수는 8(2㉔)이고, ㉔+㉔=4+0=4이다.

ㄴ. RNA에서 U의 개수가 8이므로 전사 주형 가닥인 I에서 A의 개수도 8이다. 따라서 ㉔의 염기서열은 II에서 염기서열이 TGGT인 부위에 상보적인 ACCA이다.

② RNA의 염기 구성을 바탕으로 전사 주형 가닥을 파악한다.

ㄷ. RNA를 구성하는 A의 개수가 5이므로 전사 주형 가닥에서 T의 개수는 5이다. 따라서 I이 전사 주형 가닥이다.

05 품목 문제 분석

5' CAGTGCCGATCGCAT 3'

- X의 아미노산서열은 ㉠-㉡-㉢-㉣-㉤이다. → x에서 전사된 mRNA는 염기서열이 5'-AUG CGA UCG GCA CUG-3'이다. → I에서 왼쪽 끝이 5' 말단, 오른쪽 끝이 3' 말단이다.
- Y의 아미노산서열은 ㉠-㉡-㉢-㉣-㉤이다. → y에서 전사된 mRNA의 염기서열은 5'-AUG CGA AUC GCA CUG-3'이다. → II의 염기서열은 3'-TACGCTTAGCG TGAC-5'이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠은 T, ㉡은 C이다.
- ㉢ I과 II에서 피리미딘 계열 염기의 개수는 같다.
- ㉤ y에서 전사에 사용되지 않는 가닥에 염기서열이 5'-GAATCG-3'인 부위가 있다.

전략적 풀이 ① 폴리펩타이드의 아미노산서열을 이용해 mRNA의 염기서열과 돌연변이를 파악한다.

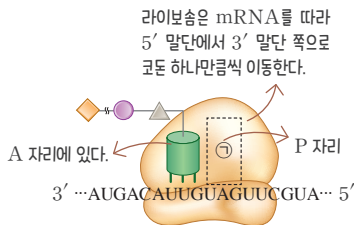
㉠. I의 염기서열은 3'-TACGCTAGCCGTGAC-5'이고, II의 염기서열은 3'-TACGCTTAGCGTGAC-5'이다. 따라서 II는 I에서 T(㉠)이 삽입되고, C(㉡)이 결실된 것이다.

㉢. I과 II에서 피리미딘 계열 염기(C, T)의 개수는 각각 8로 같다.

㉤ 상보적 염기쌍 형성을 바탕으로 전사에 사용되지 않는 가닥의 염기서열을 파악한다.

㉤. y에서 전사에 사용되지 않는 가닥의 염기서열은 II의 염기서열에 상보적이므로 5'-ATGCGAATCGCACTG-3'이다. 따라서 여기에 염기서열이 5'-GAATCG-3'인 부위가 있다.

06 품목 문제 분석



㉠에 tRNA가 있으므로 ㉠에 위치한 mRNA의 코돈은 종결코돈인 UAG가 아니라 GAU이다. → ㉠은 P 자리이고, mRNA의 왼쪽 끝이 3' 말단, 오른쪽 끝이 5' 말단이다.

선택지 분석

- ㉠ t_1 이후에 발린과 트레오닌 사이에서 펩타이드결합이 형성된다.
- ㉡ t_1 일 때 ㉠에 있는 tRNA에 아스파르트산이 결합해 있다.
- ㉢ t_1 일 때 A 자리에 안티코돈이 3'-AUC-5'인 tRNA가 있다.

전략적 풀이 ① 번역의 진행과 종결에 대한 이해를 바탕으로 폴리펩타이드의 아미노산서열을 파악한다.

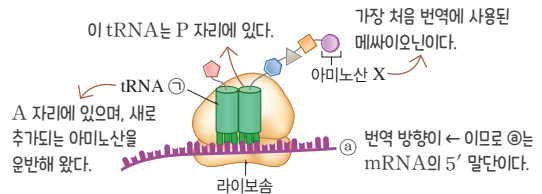
㉠. t_1 일 때 A 자리에 발린을 지정하는 코돈 5'-GUU-3'가 위치하고, 다음으로 번역될 코돈이 트레오닌을 지정하는 5'-ACA-3'이므로 t_1 이후에 발린과 트레오닌 사이에서 펩타이드결합이 형성된다.

㉡ 번역 과정을 바탕으로 특정 시점에 라이보솜에 있는 tRNA의 상태를 파악한다.

㉢. t_1 일 때 A 자리에 있는 tRNA에 합성 중인 폴리펩타이드가 결합해 있으므로 t_1 이전에 P 자리에 있는 tRNA로부터 폴리펩타이드가 떨어져 A 자리에 있는 tRNA의 아미노산에 결합했다. 따라서 t_1 일 때 P 자리(㉠)에 있는 tRNA에는 아미노산이 결합해 있지 않다.

㉤. t_1 일 때 A 자리에 있는 tRNA는 코돈 GUU에 상보적인 안티코돈(3'-CAA-5')을 갖는다.

07 품목 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ ㉠은 mRNA의 5' 말단이다.
- ㉡ ㉠은 라이보솜의 P 자리에 있다. A 자리
- ㉢ 안티코돈이 3'-UAC-5'인 tRNA는 X를 운반한다.

전략적 풀이 ① 번역 중인 라이보솜에 있는 tRNA의 상태를 바탕으로 번역 방향과 tRNA의 위치를 파악한다.

㉠. 새롭게 추가되는 아미노산을 운반하는 ㉠은 라이보솜의 A 자리에 있고, 합성 중인 폴리펩타이드가 결합한 tRNA는 P 자리에 있으므로 번역은 mRNA를 따라 왼쪽(←) 방향으로 일어난다. 따라서 ㉠은 mRNA의 5' 말단이다.

㉢. ㉠은 새롭게 추가되는 아미노산을 운반하는 tRNA이므로 라이보솜의 A 자리에 있다.

② 번역에서 폴리펩타이드의 합성 과정을 이해하여 개시 tRNA의 안티코돈을 파악한다.

ㄷ. 번역은 mRNA의 개시코돈 AUG에서 시작하고, 합성 중인 폴리펩타이드가 결합된 tRNA에서 tRNA와 먼 쪽에 있는 아미노산일수록 번역에 먼저 사용된 것이므로 X는 개시코돈에 의해 지정되는 메싸이오닌이다. 안티코돈이 3'—UAC—5'인 tRNA는 이에 상보적인 코돈 AUG가 지정하는 X(메싸이오닌)를 운반한다.

08 — 꼼꼼 문제 분석

3' TACACATACAGTATAGTAGTCCT 5'

개시코돈 AUG는 메싸이오닌을 지정하므로 ㉠이 제거된 성숙한 mRNA에는 코돈 AUG가 최소 2개 있어야 한다. ⇒ 제시된 가닥이 전사 주형 가닥이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠에서 염기 A를 가진 뉴클레오타이드는 2개이다.
- ✕ X가 합성될 때 사용된 종결코돈은 UGA이다. UAG
- ✕ X가 합성될 때 두 번째 아미노산을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 3'—UAC—5'이다. ACA

전략적 풀이 ① 개시코돈이 지정하는 아미노산을 바탕으로 전사 주형 가닥의 염기서열을 파악한다.

X의 합성은 개시코돈(AUG)에서 시작하므로 X에는 메싸이오닌이 2개 이상 있으며, ㉠이 제거된 성숙한 mRNA에는 메싸이오닌을 지정하는 코돈 AUG가 최소 2개 있어야 한다. 따라서 염기서열이 제시된 가닥이 x의 전사 주형 가닥이며, 처음 합성된 RNA의 염기서열은 5'—AUGUGUAUGUCAUAUCAUCAGGA—3'이다. 처음 합성된 RNA에서 5'—AUCAUC—3' 또는 5'—UCAUCA—3'의 염기서열 부위(㉠)가 제거되면 종결코돈 UAG가 형성된다. ㉠이 제거된 성숙한 mRNA의 염기서열은 5'—AUG UGU AUG UCA UAG GA—3'이다.

ㄱ. 제거된 6개의 뉴클레오타이드(㉠)의 염기서열은 AUCAUC 또는 UCAUCA이므로 A를 가진 뉴클레오타이드는 2개이다.

② 전사와 번역 과정을 바탕으로 번역에 이용되는 종결코돈과 tRNA의 안티코돈을 파악한다.

ㄴ. 성숙한 mRNA의 염기서열은 5'—AUG UGU AUG UCA UAG GA—3'이다. 따라서 X가 합성될 때 사용된 종결코돈은 UAG이다.

ㄷ. X가 합성될 때 두 번째 아미노산을 지정하는 코돈은 UGU이므로 이 아미노산을 운반하는 tRNA의 안티코돈은 3'—ACA—5'이다.

09 — 꼼꼼 문제 분석

3' TATTGTACTG 5'

- 아미노산서열에 따른 x의 mRNA의 염기서열은 5'—AUG CAU(C) CAA(G) UGU(C) U(C)UA UAA CAUGAC—3'이다. ⇒ 제시된 가닥의 왼쪽 끝이 3' 말단, 오른쪽 끝이 5' 말단이다.
- Y는 글루타민을 하나 가지며 3개의 아미노산으로 구성된다. ⇒ y의 mRNA는 염기서열이 5'—AUG CAU(C) CAA(G) UAG U(C)U(C)UAUAACAUGAC—3' 또는 5'—AUG CAU(C) CAA(G) UGA U(C)U(C)UAUAACAUGAC—3'이다. ⇒ ㉡는 T이다.
- Z는 글루타민을 2개 가지므로 류신(CUA)이 글루타민(CAA)으로 바뀌었다. ⇒ z의 mRNA는 염기서열이 5'—AUG CAU(C) CAA(G) UGU(C) CAA UAA CAUGAC—3'이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉡는 T이다.
- ㉢ X가 합성될 때 류신을 지정하는 코돈은 5'—CUA—3'이다.
- ✕ Y와 Z가 각각 합성될 때 사용되는 종결코돈의 염기서열은 같다. 다르다

전략적 풀이 ① 유전부호와 폴리펩타이드의 아미노산서열을 이용해 mRNA의 염기서열을 찾고, 돌연변이 부위를 파악한다.

ㄱ. x의 mRNA는 24개의 염기로 구성되고, 이 중 개시코돈에서부터 종결코돈까지의 염기 수는 18개이다. 따라서 주어진 조건을 만족하는 x의 mRNA는 염기서열이 5'—AUG CA○ CA○ UG○ ○UA UAA CAUGAC—3'이고, X를 합성할 때의 종결코돈은 UAA이다. Y가 글루타민을 포함한 3개의 아미노산으로 구성되려면 x의 mRNA에서 시스테인을 지정하는 코돈 중간에 A가 삽입되어야 한다. 따라서 y는 x의 전사 주형 가닥에서 T(㉡) 1개가 삽입되었고, Y의 아미노산서열은 메싸이오닌—히스티딘—글루타민이다.

② 유전부호에 대한 이해를 바탕으로 특정 아미노산을 지정하는 코돈과 종결코돈을 찾는다.

ㄴ. z는 x의 전사 주형 가닥에서 염기 1개가 T(㉡)으로 치환되었고, 그 결과 Z에 글루타민이 2개 있으므로 류신(CUA)이 글루타민(CAA)으로 바뀌었다. 따라서 x의 mRNA는 염기서열이 5'—AUG CA○ CA○ UG○ CUA UAA CAUGAC—3'이고, X가 합성될 때 류신을 지정하는 코돈은 5'—CUA—3'이다.

ㄷ. Y가 합성될 때 사용되는 종결코돈은 UAG 또는 UGA이고, Z가 합성될 때 사용되는 종결코돈은 UAA이다.

2 유전자발현 조절

01 전사에서의 유전자발현 조절

개념 확인 문제

126쪽

- ① 오페론 ② 프로모터 ③ 작동부위 ④ 조절유전자 ⑤ 없
⑥ 있 ⑦ 젓당 유도체

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (가) 프로모터 (나) 작동부위 (다) 구조 유전자 3 (1) 포함되지 않는다 (2) (나) (3) (다) (4) 결합하면
4 (1) 있 (2) 젓당 유도체 (3) 억제단백질 (4) 구조유전자

1 생물의 유전자는 항상 발현되는 것이 아니라 상황과 필요에 따라 다르게 발현되어 필요한 단백질을 필요한 양만큼 합성한다. 그 결과 생물은 다양한 종류의 세포로 구성될 수 있으며, 환경 변화에 대하여 적절한 반응을 나타낼 수 있다.

2 (가)는 RNA 중합효소가 결합하는 프로모터, (나)는 억제단백질이 결합하는 작동부위, (다)는 젓당 이용에 필요한 효소들을 암호화하는 구조유전자이다.

3 (1) 억제단백질을 암호화하는 조절유전자는 오페론에 포함되지 않는다.
(2), (4) 억제단백질이 작동부위(나)에 결합하면 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못해 구조유전자의 전사가 억제된다.
(3) 젓당 이용에 필요한 효소의 정보가 있는 부위는 구조유전자(다)이다.

4 RNA 중합효소에 의해 젓당오페론의 구조유전자가 전사되므로 젓당이 있을 때 일어나는 조절 과정이고, ㉔는 젓당 유도체이다. 젓당이 있을 때는 젓당 유도체(㉔)와 결합해 구조가 변한 억제단백질이 작동부위에 결합하지 못하므로 RNA 중합효소가 프로모터에 결합해 구조유전자가 전사되어 젓당 이용에 필요한 효소가 합성된다.

개념 확인 문제

130쪽

- ① 응축 ② 전사인자 ③ 조절부위 ④ 전사개시 ⑤ 전사인자

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ 2 (1) 원거리 조절부위 (2) 전사인자 (3) RNA 중합효소 3 (1) 있다 (2) 조절부위 (3) 일어나지 않는다
4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ×

1 (1) 일반적으로 한 생물에서 모든 체세포의 핵에는 동일한 유전체가 들어 있다.

(2) 염색질이 응축되어 있으면 RNA 중합효소 및 전사에 관여하는 인자가 DNA에 결합하지 못해 전사가 일어나기 어렵다.

(3) 처음 만들어진 RNA에서 단백질을 암호화하지 않는 부위인 인트론을 제거하는 RNA 가공이 일어난다.

(4) 번역 후 조절에서 합성된 폴리펩타이드가 입체 구조를 형성하는 과정을 조절한다.

2 (가)는 프로모터에서 멀리 떨어져 있는 DNA의 특정 염기서열 부위인 원거리 조절부위이고, (나)는 전사를 조절하는 단백질인 전사인자이다. (다)는 프로모터에 결합하는 RNA 중합효소이고, 진핵생물에서 RNA 중합효소(다)는 전사인자(나)와 함께 전사개시복합체를 형성한다.

3 (1) 한 생물에서 모든 체세포에는 동일한 유전체가 들어 있으므로 간세포가 아닌 다른 세포에도 알부민 유전자가 있다.

(2), (3) A~C는 서로 다른 조절부위에 결합하는 전사인자이며, A~C가 모두 조절부위에 결합해야 전사가 촉진되므로 A와 C가 없는 세포에서는 알부민 유전자의 전사가 일어나지 않는다.

4 (1) 진핵생물의 유전자발현은 발현 과정의 여러 단계에 걸쳐 조절된다.

(2) 진핵생물에서는 각각의 유전자가 모두 자신의 프로모터를 가지고 있어 개별적으로 전사가 조절된다.

(3) 원핵생물에서도 억제단백질과 같이 작동부위에 결합하는 조절단백질이 있다.

(4) 진핵생물에서는 전사인자가 프로모터 가까이 있는 근거리 조절부위와 프로모터에서 멀리 떨어져 있는 원거리 조절부위에 결합하고, 전사개시복합체를 형성한다.

대표 자료 분석 1

131쪽

- 1 ㉔, 젓당오페론을 조절하는 조절유전자 2 ㉔, 젓당오페론의 프로모터 3 포도당과 젓당이 없는 배지 4 (1) 억제단백질 (2) 억제단백질 (3) A 5 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

1 젓당오페론은 프로모터(㉔), 작동부위(㉔), 구조유전자로 구성되며, 오페론의 앞부분에는 억제단백질의 정보가 있는 조절유전자(㉔)가 있다.

- 2 ㉠은 RNA 중합효소가 결합하는 프로모터이다.
- 3 A에서 젓당분해효소가 생성되지 않으므로 A는 포도당과 젓당이 없는 배지이다.
- 4 (1) 조절유전자(㉡)에는 억제단백질 합성에 필요한 유전정보가 저장되어 있다.
 (2) 야생형 대장균은 포도당이 있고 젓당이 없을 때 작동부위(㉢)에 억제단백질이 결합해 구조유전자가 전사되지 않는다.
 (3) 야생형 대장균은 포도당과 젓당이 없는 배지(A)에서 젓당오페론의 프로모터에 RNA 중합효소가 결합하지 않아 젓당분해효소가 생성되지 않는다.
- 5 (1) 야생형 대장균은 젓당이 없을 때 작동부위(㉢)에 억제단백질이 결합한다.
 (2) 야생형 대장균은 젓당의 유무에 관계없이 항상 조절유전자(㉡)가 발현된다.
 (3) 야생형 대장균은 포도당은 없고 젓당이 있는 배지(B)에서 젓당오페론의 구조유전자가 전사되어 젓당분해효소가 생성된다.
 (4) 야생형 대장균은 포도당은 없고 젓당이 있는 배지(B)에서 억제단백질이 젓당 유도체와 결합해 구조가 변형되어 작동부위(㉢)에 결합하지 않는다.

대표자료분석 2

132쪽

1 C, D 2 ㉡ B, ㉢ C, ㉣ A, ㉤ D 3 (1) 단백질 (2) 되지 않는다 (3) 되지 않는다 (4) B와 C 4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

꼼꼼 문제 분석

세포	제거된 부위	발현된 전사인자		
		㉡, ㉢, ㉣	㉡, ㉢, ㉤	㉡, ㉣, ㉤
		전사 안 됨	전사됨	전사 안 됨
I	A, B	전사 안 됨	전사됨	전사 안 됨
II	A, D	㉡ 전사됨	전사됨	? 전사 안 됨
III	B, D	? 전사됨	? 전사 안 됨	전사 안 됨
IV	C, D	? 전사됨	? 전사 안 됨	? 전사됨

1 세포 I에서 A, B가 제거되었으므로 x 가 전사될 때 전사인자가 C와 D에 결합한다.

2 세포 I에는 C와 D만 있고, ㉡, ㉢, ㉤이 발현되었을 때 x 가 전사되었으므로 C와 D에 ㉡과 ㉢ 또는 ㉡과 ㉤ 또는 ㉢과 ㉤이 결합한다. ㉡, ㉢, ㉤이 발현되었을 때나 ㉡, ㉣, ㉤이 발현되었을 때 x 가 전사되지 않았으므로 C와 D에 각각 결합하는 전사인자는 ㉢과 ㉤ 중 하나이고, A와 B에 각각 결합하는 전사인자는 ㉡과 ㉣ 중 하나이다. 세포 II에는 B와 C만 있고, ㉡, ㉢, ㉤이 발현되었을 때 x 가 전사되었으므로 ㉡은 B에 결합하고, ㉣은 A에 결합한다. 세포 III에는 A와 C만 있고, ㉡, ㉣, ㉤이 발현되었을 때 x 가 전사되지 않았으므로 ㉢은 C에 결합하고, ㉤은 D에 결합한다.

3 (1) ㉡~㉤은 전사인자이므로 전사를 조절하는 단백질이다.
 (2) ㉡~㉤이 모두 발현되지 않는 세포에서는 A~D 중 적어도 세 부위에 전사인자가 결합하지 못하므로 x 가 전사되지 않는다.
 (3) B~D가 모두 제거된 세포에서는 A에만 전사인자가 결합할 수 있으므로 x 가 전사되지 않는다.
 (4) 세포 II는 A와 D가 결실되었으므로 II에서 x 가 전사될 때 전사인자는 B와 C에 결합한다.

4 (1) 세포 II는 A와 D가 제거되어 B와 C가 남아 있고, ㉡은 B에, ㉢은 C에 각각 결합하므로 ㉤은 '전사됨'이다.
 (2) 세포 II에서 ㉡~㉤ 중 ㉡, ㉢, ㉤만 발현되면 x 가 전사되므로 전사개시복합체가 형성된다.
 (3) 세포 III에서 ㉡~㉤ 중 ㉢, ㉣, ㉤만 발현되면 ㉢이 C에, ㉣이 A에 결합하므로 x 가 전사된다.
 (4) 세포 IV에서 ㉡~㉤ 중 ㉡과 ㉢만 발현되면 A에 결합하는 ㉣이 없어 x 가 전사되지 않는다.

내신만점문제

133쪽~136쪽

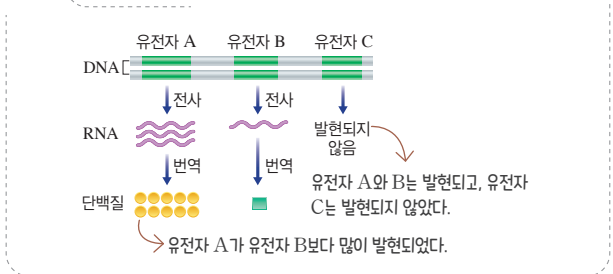
- 01 ① 02 ① 03 ③ 04 해설 참조 05 ④
 06 ④ 07 ② 08 ② 09 해설 참조 10 ⑤
 11 ② 12 ④ 13 ⑤ 14 해설 참조 15 ③
 16 ①

01 ㄱ. 생물에서는 특정한 시기나 조건에 따라 발현되는 유전자의 종류, 유전자가 발현되는 정도 등이 달라지는 유전자발현 조절(㉡)이 일어난다.

바로알기 ㄴ. 특정한 시기나 조건에 따라 발현되는 유전자의 종류, 유전자가 발현되는 정도 등이 달라지는(㉠) 것을 통해 한 생물이 가진 모든 유전자는 항상 발현되는 것이 아니며, 유전자발현이 조절됨을 알 수 있다.

ㄷ. 전사가 일어나면 mRNA가 합성되므로 mRNA와 리보솜의 결합을 조절하는 것은 전사 단계에서의 조절(㉡)에 해당하지 않는다.

02 품종 문제 분석



ㄱ. 진핵생물인 사람의 세포에서 유전자 C는 발현되지 않고, 발현되는 유전자 A와 B로부터 합성되는 RNA와 단백질의 양이 서로 다른 것과 같은 유전자발현 조절이 일어난다.

바로알기 ㄴ. 이 세포에서 발현되는 유전자 A와 B 중 A는 B보다 전사되는 효율이 높아 A로부터 더 많은 양의 RNA가 합성된다.

ㄷ. 유전자발현은 세포에 따라 조절되므로 이 세포에서는 유전자의 발현 정도가 $A > B > C$ 이지만, 다른 세포에서는 유전자의 발현 정도가 이와 다를 수 있다.

03 ㄱ. 원핵생물에서 하나의 프로모터에 의해 전사가 함께 조절되는 여러 유전자의 집단(㉠)은 오페론이다.

ㄴ. 오페론(㉠)의 프로모터에 RNA 중합효소가 결합한다.

바로알기 ㄷ. 일반적으로 오페론(㉠)은 프로모터, 작동부위, 구조유전자(㉡)로 구성되며, 구조유전자(㉡)에 연관된 기능을 하는 여러 단백질의 유전자가 모여 있다.

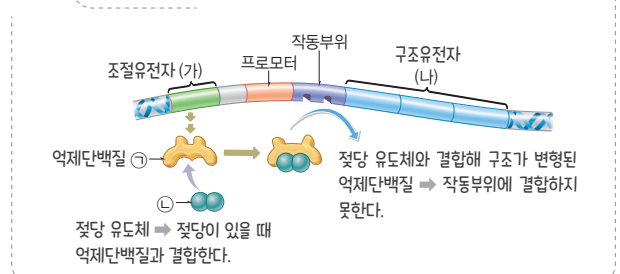
04 ㉠은 억제단백질을 암호화하는 조절유전자, ㉡은 RNA 중합효소가 결합하는 부위인 프로모터, ㉢은 억제단백질이 결합하는 부위인 작동부위, ㉣은 젖당 이용에 필요한 효소들을 암호화하는 구조유전자이다.

모범 답안 (1) ㉠ 조절유전자, ㉡ 프로모터, ㉢ 작동부위, ㉣ 구조유전자 (2) ㉠

(3) 젖당이 없을 때에는 작동부위(㉢)에 억제단백질이 결합하여 RNA 중합효소가 프로모터(㉡)에 결합하지 못하므로 전사가 일어나지 않아 젖당 이용에 필요한 효소가 합성되지 않는다.

채점 기준	배점
(1) ㉠~㉣의 이름을 모두 옳게 쓴 경우	20 %
㉠~㉣ 중 두 가지의 이름을 옳게 쓴 경우	10 %
(2) ㉠이라고 옳게 쓴 경우	20 %
(3) 제시된 단어를 모두 이용하여 젖당이 없을 때 젖당오페론의 조절을 옳게 서술한 경우	60 %
제시된 단어 중 일부만 이용하여 젖당이 없을 때 젖당오페론의 조절을 옳게 서술한 경우	40 %

05 품종 문제 분석



ㄱ. 구조유전자(나)에 젖당분해효소를 포함해 젖당 이용에 필요한 효소들을 암호화하는 유전자가 있다.

ㄷ. 젖당이 있을 때 억제단백질(㉠)이 젖당 유도체(㉡)와 결합하여 작동부위에 결합하지 못하는 과정을 나타낸 것이다.

바로알기 ㄴ. 억제단백질(㉠)이 젖당 유도체(㉡)와 결합하면 억제단백질의 구조가 변형되어 작동부위에 결합하지 못하므로 RNA 중합효소가 젖당오페론의 프로모터에 결합하고, 구조유전자의 전사가 일어난다.

06 ㄱ. 대장균을 배지 X에서 배양할 때 RNA 중합효소가 젖당오페론의 프로모터에 결합하지 못해 전사가 일어나지 않으므로 X는 포도당이 있고 젖당은 없는 배지이다.

ㄷ. 젖당이 없을 때 조절유전자(㉠)에 의해 합성된 억제단백질이 젖당오페론의 작동부위에 결합해(가) RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못한다.

바로알기 ㄴ. ㉠은 억제단백질을 암호화하는 조절유전자이다. 조절유전자(㉠)는 젖당오페론에 포함되지 않는다.

07 ㄱ. 젖당분해효소는 젖당이 있는 조건에서만 합성되므로 젖당을 첨가한 t_1 이후 급격히 증가한 ㉡이 젖당분해효소의 농도이고, ㉠이 대장균의 수이다.

ㄴ. 대장균은 구간 I에서 포도당을 에너지원으로 이용하여 증식하고, 구간 II에서 젖당을 에너지원으로 이용하여 증식한다.

바로알기 ㄷ. 억제단백질은 젖당의 유무와 관계없이 조절유전자에서 항상 합성된다.

08 나. (나)에서는 억제단백질이 젓당오페론의 작동부위에 결합하므로 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못해 젓당분해 효소가 합성되지 않는다. 따라서 (가)에서 젓당분해효소가 합성되며, 이를 위해서는 대장균 주위에 포도당(㉠)이 없고, 젓당(㉡)이 있어서 젓당 유도체(㉢)가 억제단백질에 결합해 억제단백질이 작동부위에 결합하지 못해야 한다.

바로알기 ㉠. ㉠은 포도당, ㉡은 젓당이다.

㉢. 젓당이 없을 때(나) 조절유전자는 전사되어 억제단백질이 합성되지만, 젓당오페론의 구조유전자는 전사되지 않아 젓당 이용에 필요한 효소가 합성되지 않는다.

09 야생형 대장균의 DNA에서 조절유전자와 젓당오페론은 조절유전자 - 프로모터 - 작동부위 - 구조유전자의 순서로 배열되어 있다. 따라서 ㉠은 조절유전자, ㉡은 프로모터, ㉢은 작동부위이다. 조절유전자(㉠)나 작동부위(㉢)가 결실된 경우에는 젓당이 있는 배지에서 젓당분해효소가 생성되므로, I 은 프로모터(㉡)가 결실된 돌연변이 대장균이다.

모범 답안 (1) ㉡, 프로모터

(2) II 에서 억제단백질이 작동부위에 결합하지 않는다. II는 조절유전자(㉠)와 작동부위(㉢) 중 하나가 결실된 돌연변이로, 조절유전자(㉠)가 결실된 경우 억제단백질이 합성되지 않고, 작동부위(㉢)가 결실된 경우 합성된 억제단백질이 결합할 부위가 없기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 기호와 이름을 모두 옳게 쓴 경우	30 %
기호와 이름 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	15 %
(2) 억제단백질의 결합 여부를 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	70 %
억제단백질의 결합 여부만 옳게 쓴 경우	30 %

10 핵 안에 유전체가 들어 있는 (가)는 진핵생물이고, (나)는 원핵생물이다.

㉠. 진핵생물(가)을 구성하는 세포의 종류에 따라 유전자발현 조절이 일어나 특정 유전자가 선택적으로 발현된다.

㉡. 원핵생물(나)에서 대장균의 젓당오페론과 같이 오페론을 이용한 유전자발현 조절을 볼 수 있다.

㉢. mRNA는 번역에 이용되므로 mRNA의 분해 속도를 조절(㉠)하는 것은 번역 조절이고, 번역이 일어나 단백질이 합성되므로 활성화된 단백질을 분해(㉡)하는 것은 번역 후 조절이다.

11 ㉠은 응축된 염색질이 풀어지는 과정, ㉡은 전사 과정, ㉢은 번역 과정이다.

㉣. 번역 과정(㉢)은 세포질에서 일어나며, 라이보솜과 tRNA가 관여한다.

바로알기 ㉠. 여러 전사인자와 RNA 중합효소로 구성되는 전사

개시복합체가 형성되면 전사가 시작된다. 따라서 전사개시복합체는 전사 과정(㉡)에서 형성된다.

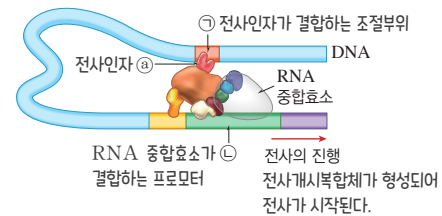
㉢. 응축된 염색질이 풀어지는 과정(㉠)과 전사 과정(㉡)은 모두 핵에서 일어난다.

12 ㉠. 처음 만들어진 RNA에서 ㉡가 제거되고, ㉢끼리 연결되어 성숙한 mRNA가 되므로 ㉢은 단백질의 아미노산서열을 암호화하고 있는 부위인 엑손이다.

㉣. ㉠에서 인트론(㉡)이 제거되고 엑손(㉢)끼리 연결되는 RNA 가공이 일어난다.

바로알기 ㉣. 핵 안에서 전사가 일어나 처음 만들어진 RNA는 핵 안에서 RNA 가공(㉣)을 통해 성숙한 mRNA로 바뀐다.

13 **꼼꼼 문제 분석**



㉠. ㉠은 프로모터에서 멀리 떨어져 있으며, 전사인자가 결합하는 부위인 조절부위(원거리 조절부위)이다.

㉡. ㉡은 조절부위(㉠)에 결합해 RNA 중합효소와 함께 전사개시복합체를 형성하며 전사를 촉진하는 단백질이므로 전사인자에 해당한다.

㉢. 전사는 조절부위(㉠)에 전사인자(㉡)가 특이적으로 결합하고, 여러 전사인자와 RNA 중합효소가 전사개시복합체를 형성하면 시작된다.

14 **모범 답안** 세포에 따라 가지고 있는 전사인자의 종류가 다르고, 유전자마다 조절부위에 결합하는 전사인자의 조합이 달라 유전자발현이 조절되기 때문이다.

채점 기준	배점
세포에 따라 전사인자가 다른 것과 유전자마다 조절부위에 결합하는 전사인자가 다른 것을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
세포에 따라 전사인자가 다른 것과 유전자마다 조절부위에 결합하는 전사인자가 다른 것 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

15 ㉠. (가)에 ㉠, ㉡, ㉢이 있고, ㉠은 I에, ㉡은 II에, ㉢은 III에 결합한다. 따라서 (가)에서 유전자 a가 전사된다.

㉣. (가)와 (나)의 유전체는 동일하므로 (가)와 (나)에 유전자 a와 b가 모두 있다.

바로알기 ㄷ. (나)에 ㉠, ㉡, ㉢이 있고, ㉣은 Ⅲ에, ㉤은 Ⅳ에 결합한다. 따라서 유전자 *b*가 전사되어 B가 합성되지만, ㉠이 없어 Ⅰ에 ㉠이 결합하지 못하므로 유전자 *a*는 전사되지 않아 A는 합성되지 않는다.

16 ② 원핵생물은 진핵생물과 비교하여 전사 조절에 관여하는 조절단백질의 종류가 적다.

③ 진핵생물은 각각의 유전자마다 별도의 프로모터가 존재하여 개별적으로 전사가 조절된다.

④ 진핵생물에서는 전사 후 조절 과정에서 처음 만들어진 RNA의 인트론을 제거하거나 양쪽 끝부분을 변형하는 등 RNA를 가공하여 유전자발현을 조절한다.

⑤ 진핵생물의 조절부위에는 프로모터 가까이 있는 근거리 조절부위와 프로모터에서 멀리 떨어져 있는 원거리 조절부위가 있다.

바로알기 ① 원핵생물에서는 억제단백질과 같은 조절단백질이 프로모터에 인접한 작동부위에 결합한다.

실력 UP 문제

137쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ④

01 품목 문제 분석

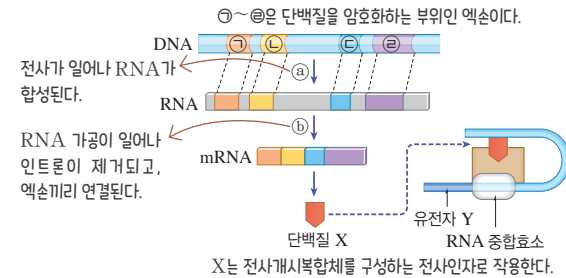
- Ⅰ에서 ㉠이, Ⅱ에서 ㉠과 ㉡이, Ⅲ에서 ㉠과 ㉢이 각각 결실되었다.
- ④ 포도당은 없고 젓당이 있는 배지에서 배양할 때 Ⅰ은 젓당분해효소를 생성한다.
⇒ ㉢이 결실된 Ⅰ에서 젓당분해효소가 생성되므로 ㉢은 조절유전자이다.
- ④에서 배양할 때 Ⅲ에서 억제단백질과 젓당 유도체의 결합, 젓당 오페론의 프로모터와 RNA 중합효소의 결합이 모두 일어나지 않는다.
⇒ Ⅲ에서는 조절유전자(㉢)가 결실되어 억제단백질이 합성되지 않으며, 프로모터가 결실되어 프로모터와 RNA 중합효소의 결합이 일어나지 않는다. 즉, ㉣은 프로모터이다.

ㄱ. Ⅰ은 젓당분해효소를 생성하므로 젓당오페론의 프로모터와 구조유전자는 결실되지 않았다. 따라서 ㉠은 억제단백질을 암호화하며 젓당오페론을 조절하는 조절유전자이다.

ㄴ. Ⅲ에서 프로모터와 RNA 중합효소의 결합이 일어나지 않으므로 ㉣은 프로모터이고, ㉡은 구조유전자이다. 따라서 Ⅱ는 구조유전자(㉢)가 결실되었고, Ⅲ은 프로모터(㉣)가 결실되었으므로 포도당은 없고 젓당이 있는 배지(④)에서 배양할 때 Ⅱ와 Ⅲ은 모두 젓당분해효소를 생성하지 않는다.

ㄷ. Ⅱ에서 프로모터(㉣)는 결실되지 않았으므로 포도당은 없고 젓당이 있는 배지(④)에서 배양할 때 Ⅱ에서 프로모터와 RNA 중합효소의 결합이 일어난다.

02 품목 문제 분석



ㄷ. ④에서 DNA로부터 RNA가 합성되는 전사가 일어나고, ⑤에서 처음 만들어진 RNA에서 번역되지 않는 부위인 인트론이 제거되는 RNA 가공이 일어난다.

바로알기 ㄱ. X는 Y의 전사인자로, Y의 원거리 조절부위에 결합해 있다.

ㄴ. 오페론은 원핵생물의 전사 조절 단위이다. 이 세포는 진핵생물의 세포이며, ㉠~㉤은 아미노산서열로 번역되는 엑손 부위이다.

03 품목 문제 분석

구분	㉠과 ㉡ 결실	㉢과 ㉣ 결실	㉤과 ㉥ 결실
a	×	×	○
Ⅰ b	○	○	○
c	○	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

→ b의 조절부위는 ㉢이다.

- a가 발현되지 않을 때 b와 c가 발현되고, c가 발현되지 않을 때 b가 발현되므로 A와 C는 Ⅱ와 Ⅲ의 조절부위에 결합하는 전사인자가 아니다. ⇒ b가 Ⅰ이다.
- b는 ㉠과 ㉡, ㉢과 ㉣, ㉤과 ㉥이 결실되었을 때 모두 발현되었으므로 b의 조절부위는 ㉢이다.

ㄴ. c는 ㉠, ㉡, ㉢, ㉤이 결실되어도 발현되므로 c의 조절부위는 ㉢과 ㉥ 중에 있는데, ㉥에는 b의 발현에 필요한 전사인자가 결합하므로 B는 ㉥에 결합한다.

ㄷ. b의 조절부위인 ㉢이 결실되면 a와 c의 조절부위에 결합하는 전사인자인 B가 합성되지 않으므로 a~c가 모두 전사되지 않는다.

바로알기 ㄱ. Ⅰ은 b이다. Ⅱ와 Ⅲ의 발현에 필요한 전사인자를 암호화하는 Ⅰ이 발현되지 않으면 Ⅱ와 Ⅲ도 발현되지 않는다.

02 / 발생에서의 유전자발현 조절

개념 확인문제

140쪽

① 세포분화 ② 핵심조절유전자 ③ 호미오유전자 ④ 공통조상

1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 ㉠ 변하지 않는, ㉡ 발현되는 유전자
3 ㄱ, ㄴ, ㄷ 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×

- 1 (1) 일반적으로 세포가 분화하더라도 분화된 세포의 유전체 구성은 수정란의 유전체 구성과 동일하다.
(2) 세포에 따라 발현되는 유전자가 다르고 합성되는 단백질도 차이가 생기면서 세포의 형태와 기능이 서로 달라진다.
(3) 전사인자의 조합에 따라 서로 다른 유전자가 발현되면서 미분화 세포는 여러 종류의 세포로 분화된다.

2 분화된 작은창자 세포의 핵으로부터 온전한 개체가 발생하였으므로, 세포분화 과정에서 유전체의 구성은 변하지 않음을 알 수 있다. 세포의 형태와 기능에 차이가 생기는 것은 유전체 구성의 차이가 아니라 발현되는 유전자의 차이 때문이다.

3 ㄱ. 마이오디 유전자는 근육세포의 분화를 결정하는 핵심조절유전자이므로, 마이오디 유전자가 발현되는 세포는 근육세포로 분화한다.

ㄴ. 마이오디 유전자의 발현 산물인 마이오디 단백질은 다른 유전자의 전사를 조절하는 전사인자이다.

ㄷ. 마이오디 단백질은 다른 조절유전자의 전사인자로 작용하여 마이오신, 액틴 등 근육세포 형성에 필요한 다양한 유전자의 발현을 촉진한다.

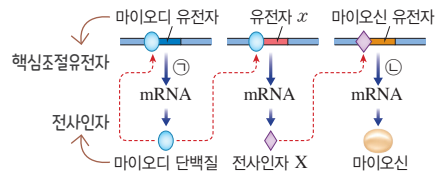
- 4 (1) 호미오유전자(㉠)는 초파리의 발생 초기 배아 단계에서 작용하는 핵심조절유전자이다.
(2) 호미오유전자(㉠)는 기관 형성에 필요한 여러 하위 유전자의 발현을 조절하는 전사인자를 암호화한다.
(3) 호미오유전자(㉠)가 염색체에 배열된 순서는 각 유전자가 기능을 결정할 체질의 순서와 일치한다.

대표 자료 분석 1

141쪽

1 마이오디 유전자 2 전사인자 3 (1) 조절유전자 (2) 있다
(3) 일부 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ×

꼼꼼 문제 분석



- ① 마이오디 유전자(*myoD*)가 발현되어 마이오디 단백질(MyoD)이 생성된다.
② 마이오디 단백질이 전사인자로 작용하여 연쇄적으로 다른 조절유전자의 발현을 촉진한다.
③ 마이오신, 액틴 등 근육세포에 특이적으로 존재하는 단백질이 합성되면서 근육아세포가 근육세포로 분화한다.

1 마이오디 유전자는 마이오신과 같은 근육세포 형성에 필요한 단백질의 합성을 총괄적으로 조절하여 근육아세포가 근육세포로 분화하는 데 관여하는 핵심조절유전자이다.

2 마이오디 단백질은 유전자 *x*의 조절부위에 결합하여 *x*의 전사를 촉진하는 전사인자로 작용한다.

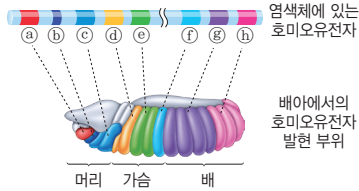
- 3 (1) 마이오디 유전자와 유전자 *x*는 모두 전사인자를 암호화하므로 조절유전자에 속한다.
(2) 근육세포가 아닌 다른 세포에도 근육세포와 동일한 유전체가 있으므로 마이오디 유전자가 있다.
(3) 생쥐의 근육세포로 분화하는 일부 체세포에서 마이오디 단백질이 합성되며, 이에 따라 전사인자 X가 합성된다.

- 4 (1) 생쥐의 근육아세포와 같이 근육세포로 분화하는 일부 체세포에서 마이오디 유전자의 전사(㉠)가 일어난다.
(2) 마이오디 단백질이 합성되는 세포에서는 전사인자 X가 합성되며, X의 작용으로 마이오신 유전자의 전사(㉡)가 일어난다.
(3) 마이오디 단백질과 전사인자 X는 모두 DNA의 조절부위에 결합하여 전사를 촉진하는 전사인자이다.
(4) 생쥐의 근육아세포와 근육세포는 동일한 유전체를 가지므로 마이오신 유전자가 있다.
(5) 마이오신 유전자의 발현을 촉진하는 전사인자 X의 세포 내 농도가 증가하면 일반적으로 마이오신의 농도도 증가한다.
(6) 마이오신 유전자의 전사(㉡)가 일어나는 과정에서 전사인자 X가 조절부위에 결합하고, RNA 중합효소가 프로모터에 결합한다.

(7) 근육아세포가 근육세포로 분화되는 과정에서 일부 유전자의 발현이 억제될 수 있지만, 해당 유전자들이 제거되는 것은 아니다. 세포마다 특정 유전자만 선택적으로 발현되고 나머지의 발현은 억제된다.

- 1 핵심조절유전자 2 전사인자 3 (1) 기관 (2) 같다 (3) DNA
4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○

짚쑈 문제 분석



- 초파리의 3번 염색체에는 8개의 호미오유전자가 배열되어 있으며, 이들의 배열 순서는 각각의 유전자가 기능을 결정할 체질의 순서와 같다.
- 배아 발생 과정에서 각 호미오유전자는 특정 체질에서 발현된다. 호미오유전자로부터 합성된 전사인자는 특정 유전자의 발현을 조절하여 체질마다 서로 다른 유전자발현 양상이 나타나도록 한다.
- 배아 시기에 나타난 호미오유전자의 발현 차이로 체질마다 서로 다른 구조가 형성된다. 그 결과 성체에서는 더듬이, 입, 다리, 날개 등 각 체질에 적절한 기관이 형성되며, 몸의 위치에 따라 서로 다른 형태와 기능을 가진 구조가 나타난다.

- 초파리의 호미오유전자 ①~⑧와 같이 발생 과정에서 하위 유전자의 발현을 총괄적으로 조절하는 가장 상위의 조절유전자를 핵심조절유전자라고 한다.
- 호미오유전자 ①~⑧의 발현 산물은 기관 형성에 관여하는 하위 유전자의 발현을 조절하는 전사인자로 작용한다.
- (1) 호미오유전자 ①~⑧는 초파리의 발생 초기 단계에서 몸의 축을 따라 각 기관이 정확한 위치에 형성되게 한다.
(2) ①~⑧가 염색체에 배열된 순서는 각각의 유전자가 기능을 결정할 체질의 배열 순서와 같으며, 이는 몸의 기관 배열 순서와도 일치한다.
(3) Antp 단백질은 전사인자로 작용하며, DNA의 특정 부위에 결합하여 하위 유전자의 발현을 조절한다.
- (1) 초파리 배아의 부위(체질)에 따라 ①~⑧ 중 서로 다른 유전자가 발현된다.
(2) 초파리 배아의 모든 세포는 동일한 유전체를 가지므로 머리 체질 부위의 세포에도 Antp 유전자(㉔)가 있다.
(3) Antp 유전자(㉔)는 다리 형성에 관여하므로, 이 유전자가 발현되면 다리 형성에 필요한 유전자가 발현된다.

(4) 다리 형성에 관여하는 Antp 유전자(㉔)가 머리 체질에서 발현되면 머리 부위에 더듬이 대신 다리가 형성될 수 있다. 즉, 특정 호미오유전자에 돌연변이가 일어나면 기관의 형성 위치나 형태에 이상이 나타난다.

(5) 사람에서도 초파리와 유사한 호미오유전자가 4개의 염색체에 배열되어 있으며, 염색체에서의 배열 순서가 매우 유사하고 기관 형성에 작용하는 방식도 같다.

내신 만점 문제

143쪽~144쪽

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

1 ㄱ. 다세포생물에서는 하나의 수정란이 세포분열을 통해 생성한 세포들이 발생 과정에서 서로 다른 형태와 기능을 갖게 되는 세포분화(가)가 일어난다.

ㄴ. 세포의 형태와 기능에 차이가 생기는 것(㉔)은 유전자발현 조절에 의해 세포마다 발현되는 유전자가 서로 다르기 때문이다.

바로알기 ㄴ. 세포분화 과정에서 유전체의 구성은 변하지 않으므로, 하나의 수정란으로부터 만들어진 세포들(㉔)은 기본적으로 동일한 유전체를 갖는다.

2 ㄱ. 당근의 뿌리세포(㉔)를 배양액에서 배양한 결과 온전한 당근 개체가 발생하였는데, 이는 뿌리세포에는 다양한 형태와 기능을 가진 세포로 분화하는 데 필요한 모든 유전정보가 있음을 의미한다.

바로알기 ㄴ. 올챙이의 작은창자 세포(㉔)는 특정한 형태와 기능을 갖도록 분화된 세포이다.

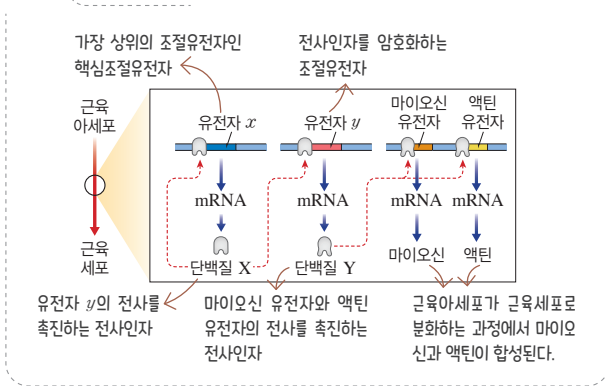
ㄴ. (가)와 (나)의 결과는 세포분화가 일어나더라도 세포의 유전체 구성은 변하지 않는다는 것을 나타낸다.

3 ㄴ. 이자 형성 과정에서는 A를 암호화하는 유전자가 발현되어 A가 합성되지만, 간 형성 과정에서는 이 유전자가 발현되지 않아 A가 합성되지 않는다. 이와 같이 이자와 간이 형성되는 과정에서 유전자발현이 다르게 조절된 결과 서로 다른 기관이 형성된다.

바로알기 ㄱ. 이자세포와 간세포에 모두 A를 암호화하는 유전자가 있으며, 간세포에서는 이 유전자가 발현되지 않는다.

ㄴ. 이자를 구성하는 세포 I 과 II는 전사인자의 조합에 따라 서로 다른 유전자가 발현되어 합성되는 단백질의 종류가 다르다. 즉, 하나의 기관을 구성하는 세포에서도 서로 다른 유전자가 발현될 수 있다.

04 품목 문제 분석



ㄱ. 유전자 x 는 근육세포의 분화를 최초로 결정하는 가장 상위의 조절유전자인 핵심조절유전자에 해당한다.

ㄷ. 단백질 X는 유전자 y 의 조절부위에 결합하여 y 의 전사를 촉진하고, 단백질 Y는 마이오신 유전자와 액틴 유전자의 조절부위에 결합하여 해당 유전자의 전사를 촉진한다. 따라서 단백질 X와 Y는 모두 전사인자로 작용한다.

[바로알기] ㄴ. 사람에서 유전자 x 와 y 는 근육세포뿐만 아니라 다른 체세포에도 존재하지만, 근육세포로 분화하는 세포에서만 발현된다.

05 발생 과정에서는 연속적인 유전자발현 조절이 일어나며, 가장 상위에 있는 핵심조절유전자가 발현되어 합성된 전사인자는 하위 유전자의 발현을 조절한다.

모범 답안 (1) 발생

(2) 각 기관 형성에 필요한 여러 하위 유전자의 발현을 총괄적으로 조절한다.

채점 기준	배점
(1) 발생이라고 옳게 쓴 경우	20 %
기관 형성에 필요한 하위 유전자의 발현을 조절한다고 옳게 서술한 경우	80 %
(2) 하위 유전자의 발현을 조절한다고만 서술한 경우	50 %
기관 형성에 필요하다고만 서술한 경우	30 %

06 ㄱ, ㄴ. 호미오유전자 ㉠과 ㉡은 동물의 발생 초기 단계에서 몸의 축을 따라 각 기관이 정확한 위치에 형성되도록 조절하는 핵심조절유전자로, 전사인자를 암호화한다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 호미오유전자가 염색체에 배열된 순서는 각 유전자가 발현되는 부위의 배열 순서와 같으며, 이는 몸에 각 기관이 배열된 순서와도 같다.

07 **모범 답안** 다양한 동물이 공통조상에서 진화하였으며, 호미오유전자가 진화 초기부터 발생 과정의 핵심조절유전자로서 중요한 역할을 해 왔음을 추론할 수 있다.

채점 기준	배점
공통조상에서 진화하였으며, 진화 초기부터 발생 과정의 핵심조절유전자로 작용했다고 옳게 서술한 경우	100 %
공통조상에서 진화하였다고만 서술한 경우	70 %

08 ㄱ, ㄴ. ㉠에서 발현되는 호미오유전자 a 를 Ⅲ의 체절에서 발현시키면 더듬이 대신 다리가 형성되므로, a 는 다리 형성에 관여하는 핵심조절유전자임을 알 수 있다. 따라서 I은 배, II는 가슴, III은 머리로 각각 발생할 부위이다.

[바로알기] ㄷ. I과 II에서는 서로 다른 호미오유전자가 발현되어 서로 다른 전사인자가 합성된다. 이에 따라 발현되는 하위 유전자와 최종적으로 합성되는 단백질의 종류가 달라져 서로 다른 기관이 형성된다.

09 ㄱ. 야생형의 수술에도 완전한 유전체가 존재하므로 $a \sim c$ 가 모두 있다.

ㄴ. 핵심조절유전자 b 가 발현되면 다른 유전자의 전사를 조절하는 전사인자가 합성되어, 하위 유전자의 발현을 조절한다.

ㄷ. c 에 돌연변이가 일어나 c 의 기능이 상실된 식물체에서는 암술과 수술이 형성되지 못하며, a 와 b 에 의해 꽃잎과 꽃받침만 형성될 수 있다.

실력UP문제

145쪽

01 ① 02 ② 03 ①

01 품목 문제 분석

	A, B	A, C	B, C
구분	이자세포	망막세포	뇌세포
야생형	○	○	○
I C 없음	? ○	×	×
II A 없음	? ×	㉠ ×	○
III B 없음	×	㉡ ○	? ×

(○: 형성됨, ×: 형성 안 됨)

- I에서 망막세포와 뇌세포가 모두 형성되지 않았다. $\Rightarrow$ I은 망막세포와 뇌세포로 분화하는 데 필요한 공통 전사인자인 C를 암호화하는 c 가 결실된 돌연변이이다.
- II에서 뇌세포가 형성되었으므로 전사인자 B와 C가 작용한 것이다. $\Rightarrow$ II는 a 가 결실된 돌연변이이며, 그 결과 이자세포와 망막세포는 형성되지 않는다.
- III에서 이자세포가 형성되지 않았으므로 III은 b 가 결실된 돌연변이로, 망막세포는 형성되지만 뇌세포는 형성되지 않는다.

ㄱ. 유전자 $a \sim c$ 는 모두 전사인자를 암호화하므로 조절유전자이다.

바로알기 ㄴ. a 가 결실된 돌연변이인 Ⅱ에서 망막세포는 형성되지 않으므로 ㉠은 '×'이다. 반면 b 가 결실된 돌연변이인 Ⅲ에서는 망막세포가 형성되므로 ㉡은 '○'이다.

ㄷ. Ⅰ은 c 가, Ⅱ는 a 가, Ⅲ은 b 가 결실된 돌연변이이다.

02 품평 문제 분석

- 유전자 a , b 로부터 각각 DNA에 결합하는 전사인자 A, B가 합성된다.
- 근육아세포가 근육세포로 분화하는 과정에서 a 가 발현된다.
- A는 b 의 전사를 촉진하고, ㉠ B의 작용으로 ㉡ 근육세포의 주요 구성 단백질의 합성이 촉진된다.
⇒ b 가 발현되기 위해서는 먼저 a 가 발현되어야 한다.
- Ⅰ과 Ⅱ는 돌연변이 근육아세포이다. Ⅰ은 ㉢가 결실되었고, Ⅱ는 ㉣가 결실되었다. ㉢와 ㉣는 a 와 b 를 순서 없이 나타낸 것이다.
- Ⅱ에서 ㉢가 발현된다.
⇒ 만약 ㉢가 b , ㉣가 a 이면 Ⅱ에서 a 가 결실되었으므로 전사인자 A가 생성되지 않는다. 따라서 b 는 발현될 수 없다. 이는 주어진 조건과 맞지 않으므로, ㉢가 a 이고, ㉣가 b 이다.

ㄴ. A는 b (㉣)의 전사를 촉진하므로 b (㉣)의 전사인자 결합 부위에 결합한다.

바로알기 ㄱ. 동물을 비롯한 진핵생물에서 전사는 핵 안에서 일어나므로, 전사인자인 B의 작용(㉠)은 핵 안에서 일어난다. 반면 단백질의 합성(㉡)은 라이보솜이 있는 세포질에서 일어난다.

ㄷ. Ⅰ에서는 a (㉢)가 결실되어 A가 합성되지 않으므로 b (㉣)도 발현되지 않는다.

03 ㄱ. 핵심조절유전자인 호미오유전자 ㉤의 발현 산물인 전사인자는 ㉤가 발현되는 머리 체절에서 합성되어 해당 체절에서 기관 형성에 관여하는 특정한 유전자의 전사를 조절한다.

바로알기 ㄴ. 초파리의 호미오유전자가 염색체에 배열된 순서는 배아에서 각 유전자가 발현되는 부위의 순서와 같으므로, 배 체절에서는 ㉥와 ㉦ 중 ㉥가 발현된다.

ㄷ. 초파리의 배아를 구성하는 세포는 모두 동일한 유전체를 가지므로 ㉧는 가슴 체절의 세포뿐만 아니라 다른 체절의 세포에도 있다.

중단원 핵심정리

146쪽

- 1 오페론
- 2 조절
- 3 억제단백질
- 4 젖당
- 5 프로모터
- 6 응축
- 7 전사개시
- 8 인트론
- 9 핵심
- 10 마이오디
- 11 호미오

중단원 마무리 문제

147쪽~151쪽

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

01 ㄱ. (가)는 억제단백질(㉠)이 결합하는 작동부위이다.

바로알기 ㄴ. 억제단백질(㉠)이 작동부위(가)에 결합하면 구조유전자(나)의 전사가 일어나지 않는다.

ㄷ. 억제단백질(㉠)은 조절유전자의 발현 산물이며, 조절유전자는 오페론에 포함되지 않는다. 따라서 억제단백질(㉠)의 생성은 오페론의 프로모터가 아니라 조절유전자의 프로모터에 RNA 중합효소가 결합하여 조절유전자가 발현될 때 일어난다.

02 품평 문제 분석

대장균	젖당분해효소 생성	억제단백질과 젖당 유도체의 결합
Ⅰ	생성됨	결합함
Ⅱ	생성됨	결합 못함
Ⅲ	? 생성 안 됨	㉠ 결합함

• 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 야생형 대장균은 억제단백질과 젖당 유도체가 결합하므로 젖당분해효소가 생성된다.

• 동일한 배지에서 젖당오페론의 프로모터가 결실된 대장균에서는 억제단백질과 젖당 유도체가 결합하지만 젖당분해효소가 생성되지 않는다. 또한 젖당오페론을 조절하는 조절유전자가 결실된 대장균에서는 억제단백질이 생성되지 않아 젖당 유도체와 결합하지 못하지만 젖당분해효소는 생성된다.

⇒ Ⅰ은 야생형 대장균이고, Ⅱ는 젖당오페론을 조절하는 조절유전자가 결실된 돌연변이 대장균이다. 따라서 Ⅲ은 젖당오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이 대장균이다.

ㄴ. 젖당분해효소는 생성되지만 억제단백질과 젖당 유도체가 결합하지 못하는 Ⅱ는 젖당오페론을 조절하는 조절유전자가 결실된 돌연변이 대장균이다.

바로알기 ㄱ. 젖당오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이 대장균(Ⅲ)에서도 조절유전자는 정상적으로 존재하므로, 젖당만 있는 배지에서 억제단백질과 젖당 유도체의 결합이 일어난다.

ㄷ. 젖당오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이 대장균(Ⅲ)에서는 구조유전자의 전사가 일어나지 않으므로, 젖당의 유무와 관계없이 젖당분해효소를 생성하지 못한다.

03 젖당오페론의 앞부분에 조절유전자가 있고 젖당오페론은 프로모터, 작동부위, 구조유전자 순으로 배열되어 있으므로, ㉠은 조절유전자, ㉡은 작동부위이다.

ㄱ. 조절유전자(㉑)는 젓당의 유무와 관계없이 항상 발현되어 억제단백질을 생성한다.

ㄴ. 대장균을 포도당은 없고 젓당이 있는 배지에서 배양하면 억제단백질이 젓당 유도체와 결합하여 구조가 변하므로 구조유전자가 발현된다.

ㄷ. 대장균을 포도당과 젓당이 없는 배지에서 배양하면 억제단백질이 작동부위(㉒)에 결합하여 구조유전자가 발현되지 않는다.

04 — 찜찜 문제 분석

대장균	특징
I	억제단백질이 생성되지 않는다.
II	㉑이 결실되었다.
III	젓당이 없을 때 억제단백질이 ㉒에 결합할 수 있다.

- III에서 젓당이 없을 때 억제단백질이 ㉒에 결합하므로 ㉒은 작동부위이다. 따라서 ㉑은 조절유전자, ㉓은 프로모터, ㉒은 구조유전자이다.
- I은 억제단백질이 생성되지 않으므로, 조절유전자(㉑)가 결실된 돌연변이 대장균이다.
- II는 프로모터(㉓)가 결실된 돌연변이 대장균으로, RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못한다.
- III은 억제단백질이 작동부위(㉒)에 결합할 수 있으므로, 조절유전자(㉑)와 작동부위(㉒)는 정상이다. 따라서 III은 구조유전자(㉒)가 결실된 돌연변이 대장균이다.

ㄷ. II에서는 프로모터(㉓)가, III에서는 구조유전자(㉒)가 결실되었으므로, 젓당의 유무에 관계없이 II와 III에서는 구조유전자(㉒)의 전사가 일어나지 않는다.

[바로알기] ㄱ. I은 젓당오페론을 조절하는 조절유전자(㉑)가 결실된 돌연변이이다.

ㄴ. II는 프로모터(㉓)가 결실된 돌연변이로, 조절유전자(㉑)는 정상이다. 따라서 II에서 조절유전자(㉑)는 젓당의 유무에 관계없이 항상 발현된다.

05 ㉑은 조절유전자, ㉓은 프로모터, ㉒은 구조유전자이며, 조절유전자(㉑)로부터 생성되어 작동부위에 결합하는 ㉒은 억제단백질이다.

ㄴ. 작동부위에 결합한 억제단백질(㉒)에 의해 RNA 중합효소가 젓당오페론의 프로모터(㉓)에 결합하지 못하므로 구조유전자(㉒)의 전사가 일어나지 않는다.

ㄷ. 젓당오페론의 작동이 활성화되면 젓당분해효소(㉔)가 생성되며, 이는 젓당을 포도당과 갈락토스로 분해하는 반응을 촉매한다. 따라서 젓당분해효소(㉔)의 기질은 젓당이다.

[바로알기] ㄱ. 억제단백질(㉒)이 작동부위에 결합했으므로 배지에 젓당이 없는 상태이다. 따라서 (가)는 포도당과 젓당이 없는 배지이다.

06 ㄱ. ㉑은 전사를 조절하는 단백질인 전사인자이고, ㉓은 전사인자(㉑)가 결합하는 DNA의 특정 부위인 조절부위이다.

ㄷ. 진핵생물에서는 조절부위에 전사인자가 특이적으로 결합하고 여러 전사인자와 RNA 중합효소가 전사개시복합체를 형성하면서 전사가 시작된다.

[바로알기] ㄴ. ㉓은 전사개시복합체가 결합하는 DNA의 특정 부위인 프로모터이다.

07 ㄴ. 전사인자 ㉒~㉔는 각각 DNA의 특정 부위인 조절부위에 결합한다.

ㄷ. ㉒~㉔는 각각 연골세포, 근육아세포, 지방세포의 분화에 관여하는 유전자의 전사를 조절한다.

[바로알기] ㄱ. 세포가 분화하는 과정에서 유전체의 구성은 변하지 않으므로, X가 근육아세포로 분화되는 과정에서 ㉒와 ㉔를 암호화하는 DNA 부위는 제거되지 않는다.

08 ㄱ. (가) 과정에서는 염색질의 응축 정도를 변화시켜 유전자발현을 조절한다. 염색질이 많이 응축되어 있을수록 RNA 중합효소 및 전사에 관여하는 인자가 DNA에 결합하지 못해 전사가 일어나기 어렵다.

[바로알기] ㄴ. ㉑은 DNA와 처음 만들어진 RNA에는 존재하지만 단백질을 암호화하고 있지 않아 RNA 가공 과정에서 제거되는 인트론이다.

ㄷ. (나)는 처음 만들어진 RNA로부터 인트론(㉑)이 제거되고 양쪽 끝부분이 변형되는 RNA 가공 과정으로, 핵 안에서 일어난다.

09 ㄴ. ㉑은 II에 결합하여 전사개시복합체를 구성하고 전사를 조절(촉진)하는 전사인자이다.

[바로알기] ㄱ. 진핵생물인 동물에서는 오페론이 존재하지 않으므로, 조절부위인 I, II와 프로모터인 III은 하나의 오페론을 구성하지 않는다.

ㄷ. x는 일부 세포에서만 발현되므로, 이 동물에서 I과 II는 모든 세포에 있지만 세포의 종류에 따라 ㉑과 ㉓이 모두 없거나 일부만 있어 x가 발현되지 않는 세포도 있다.

10 ㄱ. (가)에서 알부민 유전자가 발현되므로, 이 세포에는 알부민 유전자의 전사에 필요한 전사인자 ㉑~㉔이 모두 있다.

[바로알기] ㄴ. 인슐린과 알부민 단백질의 아미노산서열은 서로 다르므로, 이를 암호화하는 유전자의 DNA 염기서열도 서로 다르다.

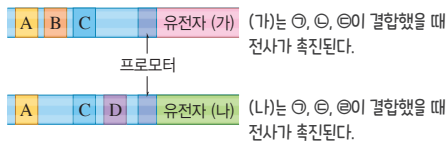
ㄷ. 한 사람의 세포인 (가)와 (나)는 유전체가 동일하므로 (가)와 (나)에는 I ~ III이 모두 있다.

11 ㄱ. (가)에서 y 는 전사되지 않으므로 ㉠과 ㉡는 (㉠, ㉡), (㉡, ㉠), (㉠, ㉡), (㉡, ㉠) 중 하나이다. 따라서 ㉠과 ㉡ 중 하나는 ㉠이므로, (가)에서는 ㉠과 ㉡이 각각 A와 B에 결합하여 x 가 전사된다.

ㄴ. (가)와 (나)의 유전체는 동일하므로, (나)의 DNA에도 x 와 y 가 모두 있다.

ㄷ. (나)에서 ㉠, ㉡, ㉢이 각각 A, C, D에 결합하므로 y 의 프로모터에 RNA 중합효소가 결합하여 y 가 전사된다.

12 — 품목 문제 분석



구분	(가)	(나)
I	발현 안 됨	발현됨
II	발현됨	발현됨
III	?	?

- I에서 (가)는 발현되지 않고, (나)는 발현된다. → I에는 ㉠, ㉡, ㉢이 있다.
- II에서 (가)와 (나)가 모두 발현된다. → II에는 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣이 모두 있다.

ㄱ. I ~ III의 유전체는 모두 동일하므로 I ~ III에는 공통으로 (가)와 (나)가 있다.

ㄷ. ㉠과 ㉡을 공통으로 갖는 미분화 세포라도 ㉢이 있어 (나)만 발현되면 I로 분화하고, ㉠과 ㉢이 모두 있어 (가)와 (나)가 모두 발현되면 II로 분화하므로 서로 다른 종류의 세포로 분화할 수 있다.

바로알기 ㄴ. III에 ㉡을 주입했을 때 (가)와 (나)가 모두 발현되려면 III에는 (㉠, ㉡, ㉢) 또는 (㉠, ㉡, ㉣, ㉢)이 있어야 한다. 그러나 이 경우 III의 전사인자 조합이 I 또는 II와 같아져, ㉠~㉣의 조합이 서로 다르다는 조건과 맞지 않는다. 따라서 III에 ㉡을 주입해도 (가)와 (나)가 모두 발현되지는 않는다.

13 ㄱ. x 가 발현되어 합성된 X에 의해 y 의 발현이 촉진되어 Y가 합성되고, Y에 의해 마이오신 유전자의 발현이 촉진되면서 근육아세포가 근육세포로 분화한다. 따라서 x 는 근육세포 분화에 관여하는 핵심조절유전자에 해당한다.

ㄴ. 생쥐를 구성하는 체세포는 모두 동일한 유전체를 가지므로 근육아세포(㉠), 근육세포(㉡), 간세포(㉢)에 모두 마이오신 유전

자가 있다.

바로알기 ㄷ. Y는 마이오신 유전자의 조절부위에 결합하여 발현을 촉진한다. 조절단백질이 오펜의 작동부위에 결합하는 것은 원핵생물에서의 유전자발현 조절 방식이다.

14 ㄴ. 수정란이 모근세포로 분화하는 (나) 과정에서 케라틴 유전자가 발현되므로 케라틴 유전자의 전사를 조절(촉진)하는 전사인자가 작용한다.

바로알기 ㄱ. 세포분화 과정에서 유전체의 구성은 변하지 않으므로, 수정란이 근육세포로 분화하는 (가) 과정에서 케라틴 유전자는 제거되지 않는다.

ㄷ. 수정란에서 유래한 세포는 모두 수정란과 동일한 유전체를 가지므로 마이오신 유전자를 갖는다. 다만 근육세포로 분화하는 일부 세포에서 마이오신 유전자가 발현된다.

15 ㄴ. y 로부터 합성된 Y는 생쥐 배아의 눈 형성 부위(㉠)에서 전사인자로 작용하여 눈 형성에 관여하는 유전자의 발현을 조절한다.

ㄷ. 초파리 배아의 다리 형성 부위에 생쥐의 y 를 발현시키면 성체 초파리의 다리에 겹눈 구조가 형성되므로, Y는 초파리에서도 겹눈 구조 형성에 필요한 유전자의 발현을 조절할 수 있다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. x 는 초파리 배아에서 눈 형성에 관여하므로 눈이 형성되는 머리 체절에서 발현된다.

16 — 품목 문제 분석

구분	(가)	(나)	(다)	(라)
야생형	○	○	○	○
I W(㉠) 없음	○	×	㉠○	㉠×
II X(㉡) 없음	×	㉡×	○	×
III	㉠○	○	?×	?×

(○: 형성됨, ×: 형성 안 됨)

- (나)의 분화에는 ㉠과 ㉡이 필요하고, (라)의 분화에는 ㉠, ㉡, ㉢이 필요하므로, (나)가 형성되지 않는 돌연변이에서는 (라)도 형성되지 않는다. → I에서 (나)가 형성되지 않으므로 ㉠은 '×'이다. 따라서 ㉡은 '○'이다.
- w 가 결실된 I에서 (가)와 (다)는 형성되지만 (나)와 (라)는 형성되지 않으므로, (가)와 (다)의 분화에는 필요하지 않지만 (나)와 (라)의 분화에 공통으로 필요한 ㉢이 w 로부터 합성된 W이다.
- x 가 결실된 II에서 (가), (나), (라)는 형성되지 않고 (다)만 형성되므로, (다)의 분화에는 필요하지 않지만 (가), (나), (라)의 분화에 공통으로 필요한 ㉠이 x 로부터 합성된 X이다.
- III에서는 (가)와 (나)가 모두 형성되었으므로 III은 ㉠~㉣ 중 ㉢만 없는 돌연변이이고, ㉢은 y 로부터 합성된 Y이다.

ㄱ. ㉠은 X, ㉡은 W, ㉢은 Y이므로 ㉣은 Z이다.

ㄴ. Ⅲ은 w, x, y 중 y 만 결실되었다.

바로알기 ㄷ. I은 w 가 결실되어 W(㉡)가 합성되지 않으므로, I의 미분화 세포에 ㉡(Y)을 주입하더라도 (라)는 형성되지 않는다.

17 포도당과 젓당이 없는 배지에서 ㉣이 결실된 X는 젓당분해효소를 생성하는데, 만약 ㉣이 프로모터라면 RNA 중합효소가 결합할 수 없어 젓당분해효소를 생성하지 못한다. 따라서 ㉣은 작동부위이고, ㉠은 구조유전자, ㉡은 프로모터, ㉢은 조절유전자이다.

모범 답안 X, X는 작동부위(㉣)가 결실되어 젓당의 유무와 관계없이 젓당분해효소를 생성하지만, Y는 구조유전자(㉠) 또는 프로모터(㉡)가 결실되어 젓당분해효소를 생성하지 못한다.

채점 기준	배점
X를 쓰고, X와 Y에서의 결실 부위를 언급하여 젓당분해효소의 생성 여부를 옳게 서술한 경우	100 %
X를 쓰고, X와 Y 중 하나만 결실 부위를 언급하여 젓당분해효소의 생성 여부를 옳게 서술한 경우	70 %
X만 쓴 경우	30 %

18 **모범 답안** (가)의 I과 II에서는 유전자 a 대신 c 가 발현되므로 I과 IV는 암술로, II와 III은 수술로 분화한다. 따라서 (가)에서 꽃받침과 꽃잎은 형성되지 않고 암술과 수술로만 이루어진 꽃이 형성된다.

채점 기준	배점
I ~ IV에서 발현되는 유전자와 관련지어 암술과 수술로만 이루어진 꽃이 형성된다고 옳게 서술한 경우	100 %
I과 IV는 암술로, II와 III은 수술로 분화한다고만 서술한 경우	70 %

01 품평 문제 분석

젓당오페론의 작동부위가 결실된 돌연변이

구분	포도당은 없고 젓당이 있는 배지		포도당과 젓당이 없는 배지	
	㉠	젓당분해 효소 생성	㉠	젓당분해 효소 생성
야생형	? ○	+	? ×	-
I	㉡ ○	? +	? ×	+
II	×	? +	? ×	? +
III	? ○	-	? ×	? -

(○: 결합함, ×: 결합 못함, +: 생성됨, -: 생성 안 됨)

젓당오페론을 조절하는 조절유전자가 결실된 돌연변이

젓당오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이

- I은 젓당이 없는 배지에서도 젓당분해효소가 생성되므로, 작동부위 또는 조절유전자 중 하나가 결실된 돌연변이이다.
- 작동부위가 결실된 돌연변이와 조절유전자가 결실된 돌연변이는 젓당의 유무와 관계없이 프로모터와 RNA 중합효소가 결합하여 젓당분해효소를 생성한다. 반면 프로모터가 결실된 돌연변이는 젓당의 유무와 관계없이 프로모터와 RNA 중합효소가 결합하지 못하여 젓당분해효소를 생성하지 못한다.
⇒ 포도당은 없고 젓당이 있는 배지에서 젓당분해효소가 생성되지 않는 III은 프로모터가 결실된 돌연변이이고, II에서 ㉠이 '×'이므로 ㉠은 '억제단백질과 젓당 유도체의 결합'이다.
- 작동부위가 결실된 돌연변이는 포도당은 없고 젓당이 있는 배지에서 억제단백질과 젓당 유도체가 결합한다. 반면 조절유전자가 결실된 돌연변이는 억제단백질을 생성하지 못해 억제단백질과 젓당 유도체가 결합하지 못한다.
⇒ II는 조절유전자가 결실된 돌연변이이고, I은 작동부위가 결실된 돌연변이이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠은 '억제단백질과 젓당 유도체의 결합'이다.
㉡ I은 젓당오페론의 작동부위가 결실된 돌연변이이다.
㉢ ㉢은 '○'이다.

전략적 풀이 ① 젓당오페론의 조절 기작을 바탕으로 ㉠과 각 돌연변이에서 결실된 부위를 파악한다.

ㄱ. 젓당의 유무와 관계없이 젓당분해효소를 생성하는 조절유전자 결실 돌연변이(II)에서 ㉠이 '×'이므로, ㉠은 '억제단백질과 젓당 유도체의 결합'이다.

ㄴ. I은 젓당오페론의 작동부위가 결실된 돌연변이, II는 젓당오페론을 조절하는 조절유전자가 결실된 돌연변이, III은 젓당오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이이다.

② 결실 부위에 따른 억제단백질과 젓당 유도체의 결합 여부를 판단한다.

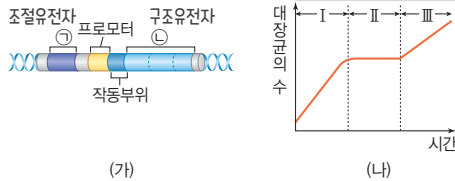
중단원 고난도 문제

152쪽~153쪽

- 01 ㄱ, ㄴ, ㄷ 02 ③ 03 ④ 04 ③ 05 ①
06 ②

ㄷ. 작동부위가 결실된 돌연변이(Ⅰ)는 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 조절유전자로부터 생성된 억제단백질이 젖당 유도체와 결합하므로 ㉔는 '○'이다.

02 품평 문제 분석



- 구간 I: 배지 내 포도당을 에너지원으로 우선적으로 이용하여 대장균이 급격히 증식한다. → 젖당오페론이 활성화되지 않아 젖당분해효소가 생성되지 않는다.
- 구간 II: 배지 내 포도당이 고갈되어 대장균의 증식이 일시적으로 정체된다. → 젖당오페론이 활발히 작동하기 시작하고, 젖당분해효소가 생성되기 시작한다.
- 구간 III: 젖당분해효소에 의한 젖당의 분해 및 대사로 대장균이 다시 증식한다. → 젖당오페론이 활발하게 작동하여 젖당분해효소가 지속적으로 생성된다.

선택지 분석

- ☒ ㉔은 젖당오페론에 포함된다. 포함되지 않는다
- ☒ 배지 내 포도당의 농도는 구간 I에서 구간 II에서보다 낮다. 높다
- ☒ ㉔이 결실된 돌연변이 대장균은 구간 III과 같은 배지 조건에서 증식하지 못한다.

전략적 풀이 ① 젖당오페론을 조절하는 조절유전자의 특징을 이해한다.
ㄱ. 조절유전자(㉔)는 젖당오페론의 작동에 관여하는 억제단백질의 암호화 부위로, 젖당오페론에 포함되지 않는다.

② 시간에 따른 대장균의 수를 나타낸 그래프를 통해 배지 내 포도당의 농도 변화를 파악한다.

ㄴ. 구간 I에서는 포도당이 있는 상태에서 에너지원으로 포도당을 우선적으로 이용하고, II에서는 포도당이 고갈되어 젖당오페론이 작동하기 시작한다. 따라서 배지 내 포도당의 농도는 구간 I에서 구간 II에서보다 높다.

③ 젖당오페론의 조절 원리를 바탕으로 구조유전자 결실의 영향을 파악한다.

ㄷ. 구조유전자(㉔)가 결실된 돌연변이 대장균은 젖당분해효소를 생성하지 못하므로 젖당을 이용할 수 없다. 따라서 젖당만 존재하는 구간 III과 같은 배지 조건에서 증식하지 못한다.

03 품평 문제 분석

A	B	C	프로모터	유전자 x
제거 부위	x의 전사			
	I	II	III	
A	×	?○	○	
B	?×	○	×	
C	×	○	×	

(○: 전사됨, ×: 전사 안 됨)

- II와 III에서 각각 x가 전사된 경우가 있으며, x의 전사는 전사인자가 A~C 중 적어도 두 부위에 결합했을 때 촉진된다. → II와 III에는 ㉔~㉔ 중 적어도 두 가지 전사인자가 있다.
- II에서 B와 C가 각각 제거된 경우에도 x가 전사된다. 즉, B가 제거된 경우에는 A, C에 전사인자가 결합하여 x가 전사되고, C가 제거된 경우에는 A, B에 전사인자가 결합하여 x가 전사된 것이다. → II에는 ㉔~㉔이 모두 있다. 따라서 II에 있는 ㉔~㉔의 가짓수는 3가지이며, 이 중 ㉔은 II에만 있다.
- III에서 A가 제거된 경우에만 x가 전사된다. 즉, B와 C에 전사인자가 결합하여 x가 전사된 것이다. → III에는 ㉔과 ㉔이 있다. III에 있는 ㉔~㉔의 가짓수는 2가지이며, x가 전사될 때 ㉔과 ㉔은 각각 B와 C 중 서로 다른 부위에 결합한다.
- I~III에 있는 ㉔~㉔의 가짓수는 모두 서로 다르므로, I에 있는 ㉔~㉔의 가짓수는 0 또는 1가지이다.
- C가 제거된 I에 ㉔을 주입하면 x가 전사된다. 이는 전사인자가 A와 B에 결합했기 때문이다. → I에는 ㉔ 또는 ㉔ 중 B에 결합하는 전사인자가 있다.

선택지 분석

- ☒ ㉔은 A에 결합한다.
- ☒ C가 제거된 III에 ㉔을 주입하면 x가 전사된다. 전사되지 않는다
- ☒ I~III에는 모두 ㉔~㉔ 중 B에 결합하는 전사인자가 있다.

전략적 풀이 ① x의 전사 여부를 근거로 전사인자가 결합하는 부위를 추론한다.

ㄱ. A가 제거된 III에서 x가 전사되므로 ㉔과 ㉔은 B와 C 중 서로 다른 부위에 결합한다는 것을 알 수 있다. 따라서 ㉔은 A에 결합한다.

② 전사인자의 조합에 따른 x의 전사 여부를 판단한다.

ㄴ. III에는 B와 C 중 서로 다른 부위에 결합하는 ㉔과 ㉔이 있으므로, C가 제거된 III에 ㉔을 주입해도 B에만 전사인자가 결합하므로 x는 전사되지 않는다.

③ 제시된 자료를 분석하여 I~III에서 공통으로 사용되는 전사인자 결합 부위를 도출한다.

ㄷ. II에는 ㉠~㉢이 모두 있고, III에는 B와 C 중 서로 다른 부위에 결합하는 ㉡과 ㉢이 있다. 또한 C가 제거된 I에 ㉠을 주입하면 x 가 전사되는데, 이는 주입한 ㉠이 A에 결합하고 기존에 존재하던 또 다른 전사인자가 B에 결합했기 때문이다. 즉, I에는 ㉠과 ㉢ 중 B에 결합하는 전사인자가 있다. 따라서 I~III에는 모두 B에 결합하는 전사인자가 있다.

04 — 꼼꼼 문제 분석

- 유전자 x 와 y 는 각각 전사인자 결합 부위에 결합하는 전사인자 X와 Y를 암호화한다.
- 근육아세포가 근육세포로 분화하는 과정에서 X는 y 의 발현을 촉진하며, Y는 ㉠ 근육세포의 주요 구성 물질을 암호화하는 유전자의 발현을 촉진한다.
- 이 과정에서 유전자의 전사는 각 유전자의 전사인자 결합 부위에 전사인자가 결합했을 때 촉진된다.
⇒ x 는 핵심조절유전자, y 는 조절유전자이고, X와 Y는 전사인자이다.
- (가)에서는 ㉠과 ㉢ 중 ㉠만 발현되고, (나)에서는 ㉠과 ㉢가 모두 발현되지 않는다. (가)와 (나)는 각각 특정한 전사인자 결합 부위가 결실된 돌연변이 근육아세포이고, ㉠과 ㉢는 x 와 y 를 순서 없이 나타낸 것이다.
⇒ (가)에서는 ㉠만 발현되고 (나)에서는 ㉠과 ㉢가 모두 발현되지 않으므로, ㉠과 ㉢의 전사를 촉진하는 전사인자를 암호화하는 유전자이다. 따라서 ㉠은 x , ㉢는 y 이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠의 전사인자 결합 부위에 X가 결합한다.
~~㉡~~ Y는 라이보솜에 작용하여 ㉠의 합성을 촉진한다.
 ㉠의 전사인자 결합 부위
 ㉢ (가)와 (나) 중 x 의 전사인자 결합 부위가 결실된 근육아세포는 (나)에 해당한다.

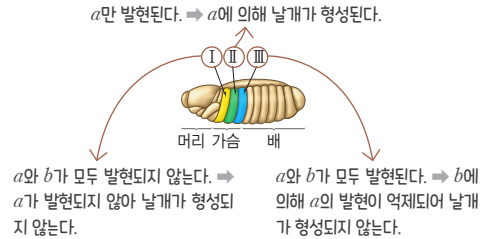
전략적 풀이 ① 전사인자에 의한 유전자발현 자료를 분석하여 각 전사인자의 작용을 판단한다.

- ㄱ. X가 y 의 발현을 촉진하므로 y (㉢)의 전사인자 결합 부위에 X가 결합한다.
 ㄴ. 전사인자 Y는 ㉠을 암호화하는 유전자의 전사인자 결합 부위에 결합하여 ㉠의 합성을 촉진한다.

- ② 전사인자 결합 부위의 결실에 따른 유전자발현 변화를 파악한다.
 ㄷ. x 의 전사인자 결합 부위가 결실된 근육아세포는 X가 합성되지 않아 y 도 발현되지 않으므로 (나)에 해당한다.

05 — 꼼꼼 문제 분석

b 가 결실된 돌연변이 초파리는 III에서도 날개가 형성된다. ⇒ b 는 날개 형성을 억제하는 유전자이다.



선택지 분석

- ㉠ a 와 b 는 모두 전사인자를 암호화한다.
~~㉡~~ 초파리 배아에서 배 체절 부위의 세포에는 a 가 없다. 있다
~~㉢~~ a 와 b 중 날개 형성을 억제하는 유전자는 a 이다. b

전략적 풀이 ① 호미오유전자의 개념을 이해한다.

ㄱ. a 와 b 는 모두 초파리의 발생 초기 배아 단계에서 각 기관 형성에 필요한 여러 하위 유전자의 발현을 총괄적으로 조절하는 핵심조절유전자인 호미오유전자이다. 따라서 a 와 b 는 모두 전사인자를 암호화한다.

② 한 개체를 구성하는 모든 체세포는 동일한 유전체를 가진다는 것을 이해한다.

ㄴ. 초파리 배아를 구성하는 모든 세포의 유전체는 동일하므로 배 체절 부위의 세포에도 a 가 있다.

③ 특정 호미오유전자의 결실에 따른 표현형 변화를 바탕으로 호미오유전자의 기능을 추론한다.

ㄷ. 야생형 초파리에서는 II에서만 날개가 형성되는데, b 가 결실된 돌연변이 초파리에서는 III에서도 날개가 형성된다. 따라서 야생형 초파리의 III에서 b 가 날개 형성을 억제한다는 것을 알 수 있다.

06 — 꼼꼼 문제 분석

구분	결실된 유전자의 수	꽃에서 형성된 구조			
		꽃잎	㉠수술	㉡꽃받침	㉢암술
야생형	0	○	○	○	○
c 결실 I	x_1	○	?×	㉠○	㉢×
a, b 결실 II	y_2	?×	㉢×	?×	㉠○
a 결실 III	x_1	?×	?○	×	㉠○

(○: 있음, ×: 없음)

- I에서 꽃잎이 형성되었으므로 I에서는 a 와 b 가 발현되었고, c 만 결실되었다. 따라서 x 는 1이다.
- 만약 ㉠가 'x', ㉡는 '○'라면, c 가 결실된 I에서 형성되지 않은 ㉢은 암술 또는 수술이고, 형성된 ㉣은 꽃받침이다. 또한 III에서는 1개 유전자가 결실되어 꽃받침(㉣)이 형성되지 않아야 하므로, III에서는 a 만 결실되었고 암술과 수술은 형성되어야 한다. 그러나 암술과 수술 중 하나인 ㉢이 형성되지 않으므로 조건에 모순된다. 따라서 ㉠는 '○', ㉡는 'x'이다.
- c 가 결실된 I에서 형성된 ㉢은 꽃받침이다.
- II에서 ㉣은 형성되었으므로 y 는 2이다. 따라서 II에서는 c 만 발현되었고 a 와 b 는 결실되었으며, 이에 따라 형성되지 않은 ㉠이 수술, 형성된 ㉣이 암술이다.
- III에서 꽃받침(㉣)이 형성되지 않았고, III은 1개 유전자만 결실되었으므로 결실된 유전자는 a 이다.

선택지 분석

- ✕. ㉠은 암술이다. 수술
- ✕. II는 b 와 c 가 모두 결실되었다. a 와 b
- ㉢. III에서 수술과 암술이 모두 형성되었다.

전략적 풀이 ① 제시된 자료를 분석하여 각 돌연변이 식물체에서 형성된 꽃의 구조와 결실된 조절유전자를 파악한다.

- ㄱ. ㉠은 수술, ㉢은 꽃받침, ㉣은 암술이다.
- ㄴ. II에서는 a 와 b 가 모두 결실되었고, c 만 발현되었다.

② 조절유전자의 기능을 바탕으로 특정 조절유전자의 결실에 따른 꽃 기관 형성 여부를 파악한다.

- ㄷ. III에서는 a 만 결실되었고, b 와 c 가 모두 발현되었으므로 수술과 암술이 모두 형성되었다.



01 / 생명공학기술의 발달

159쪽

160쪽

- 161쪽

1 DNA 재조합기술은 DNA를 인위적으로 자르고 연결하여 새로운 유전자 조합을 가진 DNA를 만드는 기술로, 과정 ㉠에서 유전자 x 가 삽입된 재조합 DNA를 만들 때 DNA 재조합기술이 주로 이용된다.

2 **모범 답안** 군체를 형성하지 않는다. I은 플라스미드와 재조합 DNA가 모두 도입되지 않은 대장균으로, 항생제 A 저항성 유전자가 없어 항생제 A가 포함된 배지에서 증식할 수 없기 때문이다.

채점 기준	배점
군체를 형성하지 않는다고 쓰고, 그 까닭을 플라스미드와 재조합 DNA 도입 여부 및 항생제 A 저항성 유전자 유무와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
군체를 형성하지 않는다고 쓰고, 항생제 A 저항성 유전자가 없기 때문이라고만 서술한 경우	60 %
군체를 형성하지 않는다고만 쓴 경우	30 %

3 플라스미드가 도입된 대장균 II는 항생제 A 저항성 유전자와 항생제 B 저항성 유전자가 모두 있으므로, II는 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 있다. 반면 유전자 x 는 항생제 B 저항성 유전자 부위에 삽입되므로, 재조합 DNA가 도입된 대장균 III는 항생제 A에 대한 저항성은 있지만 항생제 B에 대한 저항성은 없다.

- 4 (1) 플라스미드는 유전자 x 를 대장균 안으로 운반하는 역할을 한다.
- (2) 과정 ㉠에서 플라스미드를 자를 때 제한효소가 사용되고, 유전자 x 와 플라스미드를 연결할 때 DNA 연결효소가 사용된다.
- (3) 유전자 x 는 항생제 B 저항성 유전자 부위에 삽입되어, 유전자 x 의 유무에 따라 항생제 B에 대한 저항성 여부가 결정된다. 따라서 항생제 B 저항성 유전자는 유전자 x 가 삽입된 플라스미드(재조합 DNA)가 도입된 형질전환 대장균을 선별하는 데 사용된다.
- (4) (가)는 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 없으므로 (가)는 플라스미드와 재조합 DNA가 모두 도입되지 않은 I이다.
- (5) (나)(II)에는 유전자 x 가 삽입되지 않은 플라스미드가 도입되어, 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 있다. 따라서 (나)(II)는 항생제 B를 첨가한 배지에서 생존하여 군체를 형성하며, ㉠은 '형성함'이다.
- (6) (다)는 항생제 A에 대한 저항성은 있지만 B에 대한 저항성은 없으므로, 재조합 DNA가 도입된 III이다. 재조합 DNA에는 유전자 x 가 삽입되었으므로, (다)(III)에는 유전자 x 가 있다.
- (7) (다)(III)는 항생제 A에 대한 저항성은 있고 항생제 B에 대한 저항성은 없으므로, A와 B가 모두 첨가된 배지에서 군체를 형성하지 않는다.

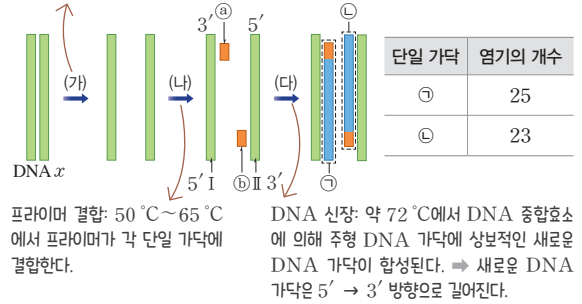
대표자료분석 2

162쪽

- 1 (가) 2 ㉠ 5'-CTATT-3', ㉡ 5'-CAAGG-3'
3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ○

꼼꼼 문제 분석

DNA 변성: 90 °C ~ 95 °C로 DNA를 가열하여 이중나선을 두 단일 가닥으로 분리한다.



- I: 5'-CAGTCAAGGCACTAGCCTGAAATAGCT-3'
㉠ 3'-GTCAGTTCCGTGATCGGACTTTATC-5'
→ 5개의 염기로 구성된 ㉡를 포함하여 염기의 개수가 25개이다. → I의 3' 말단으로부터 3번째 염기부터 7번째 염기까지에 결합한다.
- II: 3'-GTCAGTTCCGTGATCGGACTTTATCGA-5'
㉡ 5'-CAAGGCACTAGCCTGAAATAGCT-3'
→ 5개의 염기로 구성된 ㉡를 포함하여 염기의 개수가 23개이다. → II의 3' 말단으로부터 5번째 염기부터 9번째 염기까지에 결합한다.

1 중합효소연쇄반응(PCR)은 DNA 변성(가), 프라이머 결합(나), DNA 신장(다)의 3단계로 이루어진다. (가)~(다) 중 DNA를 변성시키는 (가) 과정에서의 온도(90 °C ~ 95 °C)가 가장 높다.

2 ㉠과 ㉡는 DNA 중합효소에 의해 새로운 DNA 가닥이 합성될 때 시작 부위를 제공하는 DNA 프라이머이다. ㉠이 결합하는 I의 염기의 개수는 27개이고, ㉠이 사용되어 합성된 ㉠의 염기의 개수는 25개이므로 ㉠은 주형 가닥 I의 3'-GATAA-5' 부위에 상보적으로 결합한다. 따라서 ㉠의 염기서열은 5'-CTATT-3'이다. ㉡가 결합하는 II의 염기의 개수는 27개이고, ㉡가 사용되어 합성된 ㉡의 염기의 개수는 23개이므로 ㉡는 주형 가닥 II의 3'-GTTCC-5' 부위에 상보적으로 결합한다. 따라서 ㉡의 염기서열은 5'-CAAGG-3'이다.

3 (1) (가)에서는 열을 가해 이중나선 DNA x 를 이루는 염기 사이의 수소 결합을 끊어 이중나선을 두 가닥으로 분리하는 DNA 변성이 일어난다.

- (2) (다)에서 DNA 중합효소에 의해 프라이머(㉓, ㉔)의 3' 말단에서부터 주형 가닥에 상보적인 새로운 DNA 가닥이 합성된다.
- (3) 프라이머 결합(나)이 일어날 때의 온도(50 °C~65 °C)는 DNA 합성(다)이 일어날 때의 온도(약 72 °C)보다 낮다.
- (4) ㉑의 3' 말단에 있는 마지막 염기는 주형 가닥 I의 5' 말단에 있는 사이토신(C)에 상보적인 구아닌(G)이다.
- (5) 구아닌(G)과 사이토신(C) 사이에는 수소결합이 3개 형성되고, 아데닌(A)과 타이민(T) 사이에는 수소결합이 2개 형성되므로, I (3'-GATAA-5')과 ㉓(5'-CTATT-3') 사이에 형성된 염기 사이의 수소 결합은 (3×1)+(2×4)=11개이다.
- (6) 퓨린 계열의 염기는 아데닌(A)과 구아닌(G)이므로, ㉑(5'-CAAGG-3')를 구성하는 퓨린 계열의 염기의 개수는 4개이다.
- (7) DNA x 1분자를 PCR로 n 회 반복하면 DNA 분자 수는 2^n 배로 증폭된다. 따라서 x 1분자를 PCR 과정으로 2회 반복하였을 때 시험관 내 이중나선 DNA 분자 수는 $2^2=4$ 이다.

내신 만점 문제

163쪽~164쪽

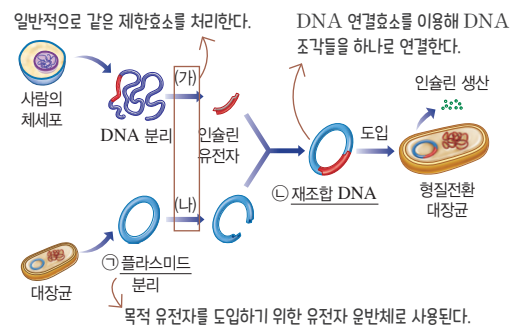
- 01 ② 02 ④ 03 ⑤ 04 ③ 05 ④
06 해설 참조 07 ⑤ 08 ③ 09 ①

- 01** ① 생명공학기술은 생명과학 지식을 바탕으로 사람에게 필요한 물질을 생산하거나 질병을 치료하는 데 활용되는 기술로, 조직배양 기술, 세포융합 기술, DNA 재조합기술 등이 있다.
- ③ 페니실린의 발견은 현대 항생제 개발의 시초가 되었다.
- ④ DNA 이중나선구조 규명으로 생명과학의 대상이 분자 수준으로 확대되었다.
- ⑤ 오늘날 생명공학기술은 의학, 약학, 식품, 환경, 에너지 등 다양한 분야에서 활용되며, 우리 생활과 밀접하게 관련되어 있다.
- [바로알기]** ② 인류는 오래전부터 발효식품 생산과 선택적 육종을 통한 품종 개량 등 생명공학기술을 활용해 왔다.

- 02** ㄴ. 크리스퍼 유전자편집기술의 개발(나)로 유전자가위가 DNA의 특정한 부위를 자를 수 있게 되어 유전자편집에 걸리는 시간과 비용이 크게 감소되었다.
- ㄷ. 1990년대에 핵치환 기술을 이용해 최초의 복제 포유류인 복제 양 돌리(Dolly)가 태어났다.
- [바로알기]** ㄱ. (가)는 2000년대, (나)는 2010년대, (다)는 1990년대에 이루어진 성과이므로, (가)~(다)를 시대 순으로 배열하면 (다) → (가) → (나)이다.

- 03** ㄱ. DNA 지문 검사(㉑)는 특정 염기서열 반복 부위를 적절한 제한효소로 자른 후, 사람마다 다른 DNA 조각을 크기에 따라 분리한 DNA 지문을 검사하는 것이다. DNA 지문 검사(㉑)를 이용하면 개인을 식별할 수 있으므로, 친자 관계를 분석하거나 범죄 현장의 혈흔으로 범인을 식별하는 데 사용할 수 있다.
- ㄴ. 차세대염기서열분석(NGS, ㉒)기의 개발로 유전정보를 빠르고 정확하게 확인하게 되면서 개인 맞춤형 질병 진단과 치료 등에 활용되었다.
- ㄷ. RNA 백신(㉓)은 병원체의 항원으로 번역되는 mRNA를 이용한 백신으로, 병원체 자체를 이용하지 않아 안전하다.

04 품점 문제 분석



DNA 재조합기술을 활용하여 유용한 단백질을 생산하는 형질전환 대장균을 만드는 과정이다.

- ㄱ. (가)는 어떤 생물의 DNA로부터 목적 유전자를 잘라내는 과정이고, (나)는 세균의 플라스미드를 자르는 과정이다. 다른 DNA라도 같은 제한효소를 사용하여 자르면 말단 염기서열이 서로 상보적이므로 더 쉽게 연결될 수 있어, 일반적으로 (가)와 (나) 과정에는 같은 제한효소가 사용된다.
- ㄷ. 형질전환 대장균은 목적 유전자인 사람의 인슐린 유전자가 삽입된 재조합 DNA(㉒)를 가지고 있어 사람에게 유용한 단백질인 인슐린을 생산한다.
- [바로알기]** ㄴ. 플라스미드(㉑)는 대장균의 주 DNA와는 별도로 존재하는 작은 원형의 DNA이며, DNA 재조합기술에서 인슐린 유전자와 같은 목적 유전자의 운반체로 이용된다.

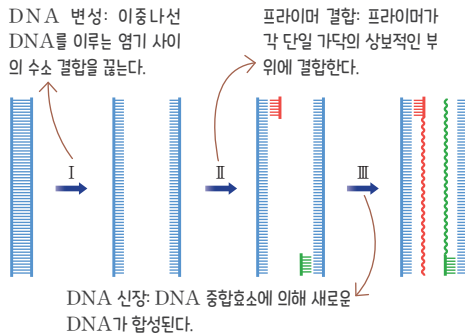
- 05** ㄴ. ㉒과 ㉓은 같은 제한효소에 의해 절단되어 서로 상보적으로 결합하는 염기쌍을 형성하는 부위이다.
- ㄷ. (나)는 재조합 DNA를 만들 때 두 DNA를 하나의 DNA 분자로 연결하는 DNA 연결효소이다.
- [바로알기]** ㄱ. (가)는 특정한 염기서열인 ㉑을 인식하여 자르는 제한효소이다. 제한효소의 종류에 따라 인식하여 자르는 DNA의 염기서열이 서로 다르다.

06 중합효소연쇄반응(PCR) 기술을 이용하여 DNA의 특정 서열을 증폭할 때 DNA 변성, 프라이머 결합, DNA 신장의 3 단계를 반복하여 진행하며, 각 단계가 진행되는 온도는 서로 다르다.

모범 답안 94 °C에서는 이중나선 DNA를 두 가닥으로 분리하고, 55 °C에서는 프라이머가 주형 가닥에 결합하며, 72 °C에서는 DNA 중합효소에 의해 새로운 가닥이 합성되도록 하기 위해서이다.

채점 기준	배점
94 °C, 55 °C, 72 °C에서 일어나는 각각의 과정과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
94 °C, 55 °C, 72 °C에서 일어나는 각각의 과정 중 두 가지만 옳게 서술한 경우	60 %
94 °C, 55 °C, 72 °C에서 일어나는 각각의 과정 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

07 품종 문제 분석



ㄱ. I은 DNA 변성이다.

ㄴ. 프라이머 결합(II)에서는 두 프라이머가 각 단일 가닥의 표적 염기서열 말단에 결합하므로 일반적으로 두 종류의 프라이머가 사용된다.

ㄷ. DNA 1분자에 대해 PCR를 n 회 반복하면 DNA 분자 수는 2^n 배로 증폭된다. 따라서 PCR(I ~ III)를 10회 반복하면 DNA 분자 수는 처음보다 $2^{10}=1024$ 배가 된다.

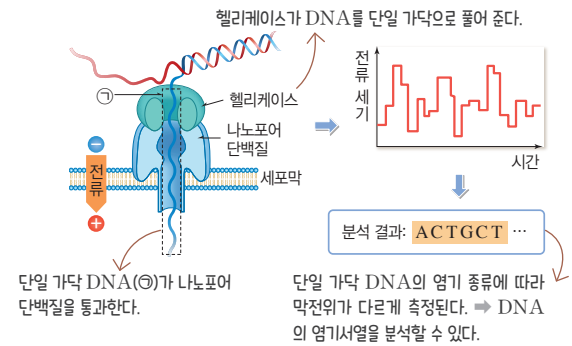
08 (가)는 핵치환 기술, (나)는 차세대염기서열분석(NGS), (다)는 조직배양 기술이다.

ㄱ. 핵치환 기술(가)을 활용하여 핵을 제공한 동물과 유전적으로 동일한 동물을 복제할 수 있다.

ㄷ. 조직배양 기술(다)은 생물의 세포나 조직 일부를 인공적으로 배양하고 증식시키는 기술로, 이를 이용하면 특정 형질을 유지한 세포나 조직을 다량으로 얻을 수 있다.

바로알기 ㄴ. 차세대염기서열분석(나)에서는 각 DNA 조각(㉠)의 염기서열을 읽고 이를 조합하여 유전체 전체의 염기서열을 해독할 수 있다.

09 품종 문제 분석



ㄴ. 세포막에 있는 물질 수송 단백질인 나노포어 단백질을 이용하여 염기서열을 읽어 내는 나노포어 DNA 염기순서분석법이 이용되었다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 헬리케이스에 의해 풀어진 단일 가닥 DNA이다.

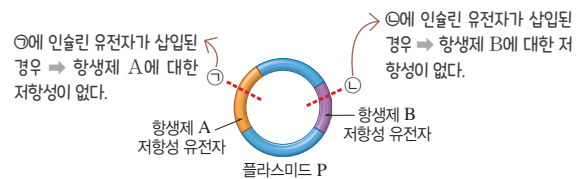
ㄷ. 나노포어 DNA 염기순서분석법은 단일 가닥 DNA(㉠)가 나노포어 단백질을 통과할 때 염기의 종류에 따라 달라지는 막전위를 측정하여 염기서열을 분석한다.

실력 UP 문제

165쪽

01 ③ 02 ④

01 품종 문제 분석



구분	(가)	(나)	(다)
배지+항생제 A	생존	죽음	생존
배지+항생제 B	생존	죽음	죽음
인슐린 생산 여부	×	×	○

• (가) 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 있고, 인슐린을 생산하지 않는다. ⇒ 인슐린 유전자가 삽입되지 않은 플라스미드(P)가 도입된 대장균이다.

• (나) 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 없다. ⇒ P와 P₁이 모두 도입되지 않은 숙주 대장균이다.

• (다) 항생제 A에 대한 저항성이 있고 항생제 B에 대한 저항성이 없으며, 인슐린을 생산한다. ⇒ 인슐린 유전자가 삽입된 플라스미드(P₁, 재조합 DNA)가 도입된 대장균이며, 인슐린 유전자는 ㉡에 삽입되었다.

ㄱ. 숙주 대장균은 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 없으나 (가)는 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 있다. 하지만 (가)는 인슐린을 생산하지 않으므로, 인슐린 유전자가 삽입되지 않은 플라스미드 P를 가진다.

ㄴ. (다)만 인슐린을 생산하므로, 인슐린 유전자가 삽입된 플라스미드 P₁을 가지는 대장균은 (다)이다. (다)는 항생제 A를 포함한 배지에서는 생존하고 B를 포함한 배지에서는 생존하지 않으므로 항생제 B에 대한 저항성이 없다. 따라서 인슐린 유전자는 항생제 B 저항성 유전자의 내부인 ㉠에 삽입되었다.

[바로알기] ㄷ. (나)는 항생제 A와 B에 대한 저항성이 모두 없고, (다)는 항생제 B에 대한 저항성이 없다. 항생제 A와 B가 모두 첨가된 배지에서는 항생제 A와 B에 모두 저항성이 있는 (가)만 생존한다.

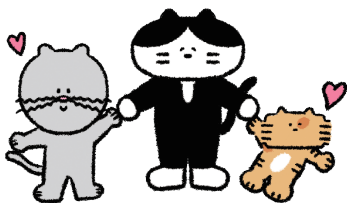
02 - 꼼꼼 문제 분석

- I: 5'-GCGACAGACGATGTGATCGT-3'
- ① 3'-CGCTGTCTGCTACACTA-5'
프라이머 ㉠
→ ㉠을 포함하여 염기의 개수가 17개이다.
⇒ I의 3' 말단으로부터 4번째 염기부터 8번째 염기까지에 결합한다.
- II: 3'-CGCTGTCTGCTACACTAGCA-5'
- ㉡ 5'-AGACGATGTGATCGT-3'
프라이머 ㉢
→ ㉢을 포함하여 염기의 개수가 15개이다. ⇒ II의 3' 말단으로부터 6번째 염기부터 10번째 염기까지에 결합한다.

ㄱ. I에 ㉠이 결합하여 합성된 ①은 염기의 개수가 17개이므로 ㉠은 I의 3' 말단으로부터 4번째 염기부터 8번째 염기까지에 결합한다. 따라서 ㉠의 염기서열은 5'-ATCAC-3'이다.

ㄷ. DNA x 1분자에 대해 ㉡은 PCR의 각 주기당 1개씩 합성된다. 따라서 x 1분자를 PCR로 2회 반복하면 ㉡은 2분자가 형성된다.

[바로알기] ㄴ. II에 ㉢이 결합하여 합성된 ㉡은 염기의 개수가 15개이므로 ㉢은 II의 3' 말단으로부터 6번째 염기부터 10번째 염기까지에 결합한다. 따라서 ㉢의 염기서열은 5'-AGACG-3'이고, ㉢의 3' 말단에 있는 염기는 구아닌(G)이다.



02 / 생명공학기술의 활용

개념 확인문제

168쪽

- ① 단클론항체 ② B림프구 ③ 암세포 ④ 항체
- ⑤ 배아줄기세포 ⑥ 성체줄기세포 ⑦ 유전자편집기술

1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 (1) × (2) ○ (3) ○

1 (1), (2) 단클론항체는 한 세포에서 유래되어 유전정보가 같은 세포 집단인 클론에서 만들어지는 한 종류의 항체이다. 단클론항체를 생산하는 잡종 세포 ①은 항체를 생산하지만 생명체 밖에서는 분열하지 않고 수명이 비교적 짧은 B림프구(X)와 체외에서 빠르게 반응구적으로 분열하는 암세포를 세포융합기술로 융합시켜 만든다.

(3) 잡종 세포 ⑦은 인공배지에서 분열이 가능하다.

2 (1), (2) 크리스퍼-카스9(Cas9)은 유전자편집기술에 사용하는 유전자가위이다. (가)는 DNA를 분해하는 효소 활성을 갖는 카스9 단백질을, (나)는 표적 DNA와 상보적으로 결합하는 가이드 RNA이다.

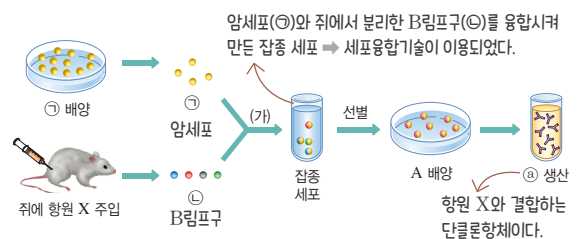
(3) 크리스퍼-카스9을 이용하여 절단된 DNA에 새로운 유전자를 삽입하거나 기존 유전자를 제거 또는 변형할 수 있다. 이를 통해 유전자의 기능이 사라지거나 변형되면서 원하는 형질을 나타내게 하여 난치병을 치료하거나 감염성질환을 진단할 수 있다.

대표 자료 분석 1

169쪽

- 1 세포융합기술 2 ① 암세포, ② B림프구 3 (1) 없다 (2) 불가능 (3) 짧다 (4) 한다 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

꼼꼼 문제 분석



1 과정 (가)에서 암세포(㉠)와 B림프구(㉡)를 융합시키는 세포 융합기술을 이용했다.

2 ㉠은 인공배지에서 배양이 가능한 암세포이고, ㉡은 X와 결합하는 항체를 생산하는 B림프구이다.

3 (1) 암세포(㉠)는 항체를 생산하지 않는다.
 (2), (3) B림프구(㉡)는 체외에서 분열하지 않으며, 수명이 암세포(㉠)에 비해 비교적 짧다.
 (4) ㉢은 X에 결합하는 항체를 생산하는 B림프구(㉡)와 암세포(㉠)가 융합된 잡종 세포로부터 생산되는 단클론항체로, X에 특이적으로 결합한다.

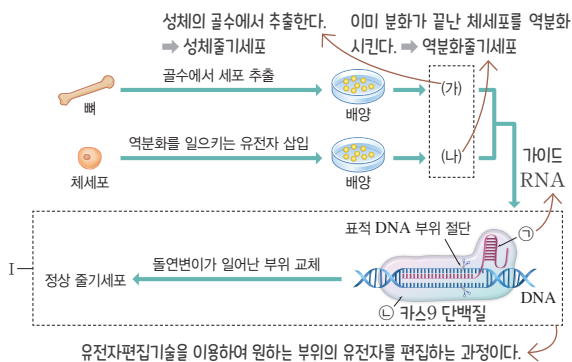
4 (1) 암세포(㉠)는 체외에서 배양이 가능하며, 반영구적으로 분열한다.
 (2) 하나의 X에는 여러 종류의 항원 결정 부위가 있을 수 있으므로, B림프구(㉡)가 모두 같은 종류의 항체를 생산한다고 볼 수 없다. 따라서 원하는 항체를 생산하는 잡종 세포를 얻기 위해서는 선별 과정이 필요하다.
 (3) B림프구(㉡)는 인공배지에서 분열하지 않는다.
 (4), (5) 잡종 세포(A)는 암세포(㉠)와 B림프구(㉡)를 융합시킨 세포이고, 각각의 특징을 모두 가져 체외에서 증식하며 항체를 생산한다.
 (6) X에 특이적으로 결합하는 단클론항체(㉢)에 약물을 붙여 체내에 주입하면 X를 가진 세포에만 약물이 작용하게 할 수 있다.

대표 자료 분석 2

170쪽

1 (가) 성체줄기세포 (나) 역분화줄기세포 2 크리스퍼-카스9
 3 (1) 미분화된 (2) 가이드 RNA (3) 분해 (4) 유전자편집 4 (1) ×
 (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ×

꼼꼼 문제 분석



1 (가)는 성체의 골수에서 얻는 성체줄기세포이고, (나)는 이미 분화가 끝난 체세포를 역분화시켜 얻는 역분화줄기세포이다.

2 크리스퍼-카스9(Cas9)은 카스9 단백질(㉠)과 가이드 RNA(㉡)로 이루어진 유전자가위로, 유전자를 제거·변형하거나 새로운 유전자를 삽입하는 데 사용된다.

3 (1) 성체줄기세포(가)와 역분화줄기세포(나)는 모두 미분화된 세포이다.
 (2) ㉠은 표적 DNA의 특정한 부위에 상보적으로 결합하는 가이드 RNA이다.
 (3) ㉡은 DNA를 분해하는 효소 활성을 갖는 카스9 단백질이다.
 (4) I에서는 크리스퍼-카스9 유전자가위를 사용하여 원하는 부위의 유전자를 편집하는 유전자편집기술이 이용되었다.

4 (1) 성체줄기세포(가)는 인체를 구성하는 일부 세포로만 분화할 수 있다.
 (2) 성체줄기세포(가)는 환자 자신의 신체 조직에서 추출한 것이므로, 태아로 발생할 수 있는 배아에서 얻는 배아줄기세포보다 생명윤리에 대한 논란이 적게 발생한다.
 (3) 역분화줄기세포(나)가 만들어지는 과정에서 이미 분화가 끝난 체세포의 역분화가 일어났다.
 (4) 성체줄기세포(가)와 역분화줄기세포(나)는 모두 인체를 구성하는 특정한 세포로 분화시켜 난치병 치료에 활용될 수 있다.
 (5), (6) 가이드 RNA(㉡)는 이중나선이 풀린 DNA의 두 단일 가닥 중 한 가닥에만 상보적으로 결합하고, 카스9 단백질(㉠)은 표적 DNA의 양쪽 가닥을 절단한다.
 (7) 크리스퍼-카스9을 이용하여 DNA에서 돌연변이가 일어난 유전자 부위를 정상 유전자로 교체하여 돌연변이 유전자를 정상 유전자로 교정하고, 정상 줄기세포를 얻을 수 있다.
 (8) I에서 얻은 정상 줄기세포는 돌연변이 유전자가 편집된 세포이므로, (가), (나)와 유전적으로 서로 다르다.

내신 만점 문제

171쪽-173쪽

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

01 ㄷ. ㉢은 X에 대한 단클론항체이므로 X에 특이적으로 결합한다.

[바로알기] ㄱ. (가)에서 추출하는 ㉠은 B림프구이다. B림프구(㉠)는 항체를 생산하지만, 체외에서 분열하지 않는다.

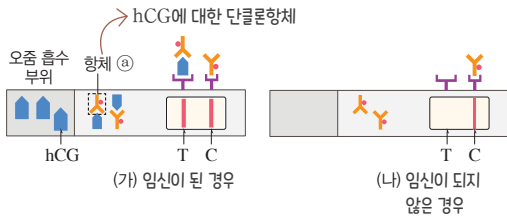
ㄴ. (나)에서 B림프구(㉠)와 융합시키는 ㉡은 암세포이다. 암세포(㉡)는 체외에서 증식할 수 있지만, 항체를 생산하지 않는다.

02 ㄱ. X와 약물이 결합한 항체-약물 복합체 Y가 ㉠에는 결합하지 않고, ㉡에 결합하므로 ㉠은 정상 간세포이고, ㉡은 간암 세포이다.

바로알기 ㄴ. X를 생산하는 잠종 세포를 만들 때 X를 생산하는 B림프구와 골수암 세포와 같은 암세포를 융합시킨다.

ㄷ. Y는 간암 세포(㉡)에 있는 항원 결정 부위에만 결합하므로 간암 세포(㉡)에만 특이적으로 작용한다.

03 — 품평 문제 분석



- T선에 있는 항체: (가)에서 hCG 항체(㉠)와 hCG가 결합한 복합체와 결합하여 T선에 띠가 나타난다. → T선은 검사선이다.
- C선에 있는 항체: (가)와 (나)에서 모두 hCG 항체(㉠)와 결합하여 C선에 띠가 나타난다. → C선은 대조선이다.

ㄱ. 임신이 된 경우 오줌에 hCG가 포함되어 있어 키트의 T선과 C선에 모두 띠가 나타난다. 임신이 되지 않은 경우 hCG가 없어 키트의 C선에만 띠가 나타난다. 따라서 (가)는 임신이 된 경우이고, (나)는 임신이 되지 않은 경우이다.

ㄴ, ㄷ. ㉠은 hCG와 결합하는 단클론항체이다. 임신 진단키트는 hCG에 대한 단클론항체(㉠)가 hCG에 결합하여 복합체를 생성하는지에 따라 임신 여부를 진단한다.

04 **모범 답안** (나)에서는 오줌 속에 hCG가 없어 hCG에 대한 단클론 항체(㉠)와 hCG가 결합한 복합체가 형성되지 않는다. 따라서 T선에 있는 항체와 결합하는 물질이 없어 T선에 띠가 나타나지 않는다.

채점 기준	배점
(나)에서 T선에 띠가 나타나지 않은 까닭을 hCG의 유무 및 hCG에 대한 단클론항체(㉠)와 hCG의 결합 여부와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
오줌 속에 hCG가 없기 때문이라고만 서술한 경우	40 %

05 — 품평 문제 분석



ㄴ. 역분화줄기세포(가)는 이미 분화가 끝난 환자의 체세포에 조절유전자를 도입하여 역분화시켜 얻는다.

ㄷ. 역분화줄기세포(가)는 성체줄기세포(나)보다 인체를 구성하는 더 많은 종류의 세포로 분화할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 역분화줄기세포(가)와 성체줄기세포(나) 모두 줄기 세포로, 미분화된 세포이다.

06 줄기세포는 얻는 방식에 따라 배아줄기세포, 성체줄기세포, 역분화줄기세포로 구분한다. (가)는 태아의 혈액에서 얻으므로 성체줄기세포이다. 성체의 난자를 이용하는 경우 핵치환 기술을 이용하여 배아줄기세포를 얻을 수 있고, 성체의 체세포를 이용하는 경우 역분화시켜 역분화줄기세포를 얻을 수 있으므로 (나)는 배아줄기세포 또는 역분화줄기세포이다. 역분화줄기세포는 성체 자신의 신체 조직에서 추출한 것이므로, 생명윤리 논란이 적다. 반면 배아줄기세포는 얻는 과정에서 난자가 많이 필요하고 태아로 자랄 수 있는 배아를 사용하여 생명윤리 논란을 일으킬 수 있으므로, ㉠은 난자이고 (다)는 배아줄기세포이다. 따라서 ㉡은 체세포이고, (나)는 역분화줄기세포이다.

ㄴ. 역분화줄기세포(나)는 이미 분화가 끝난 성체의 체세포(㉡)에 조절유전자를 도입하여 역분화를 일으켜 얻는다.

ㄷ. 배아줄기세포(다)는 증식력이 높고 인체를 구성하는 모든 세포와 조직으로 분화할 수 있다.

바로알기 ㄱ. (가)는 성체줄기세포이다.

07 ㄱ. 줄기세포 A는 이미 분화가 끝난 체세포인 피부세포를 채취해 생산한 것이므로 역분화줄기세포이며, (가)에서 역분화가 일어났다.

ㄴ. 역분화줄기세포(A)는 (나)에서 분화가 일어나 도파민 분비 신경세포가 되었다.

바로알기 ㄷ. (나)는 역분화줄기세포(A)가 신경세포로 분화하는 과정이며, 이 과정에서 DNA의 염기서열 변화는 일어나지 않으므로 DNA에 저장된 유전정보의 변화도 일어나지 않는다. 따라서 환자의 피부세포와 도파민 분비 신경세포는 DNA에 저장된 유전정보가 서로 같다.

08 ㄱ. 크리스퍼-카스9(㉡)은 DNA의 특정한 부위를 자를 수 있는 유전자가위이다.

ㄴ. 카스9 단백질(㉠)은 DNA를 분해하는 효소 활성을 갖는 단백질로, 표적 DNA의 양쪽 가닥을 절단한다.

ㄷ. 유전자편집기술을 이용하면 낫모양적혈구빈혈증 환자의 돌연변이 유전자로부터 편집된 정상 헤모글로빈 유전자가 발현되어 정상 헤모글로빈이 생성되고, 정상 적혈구가 만들어 질 수 있다.

09 유전자편집기술에 이용되는 유전자가위인 크리스퍼-카스9은 DNA의 특정 염기서열과 상보적으로 결합하는 가이드 RNA(나)와 DNA 분해효소의 활성을 가진 카스9 단백질(가)로 이루어져 있다.

모범 답안 (1) (가) 카스9 단백질 (나) 가이드 RNA

(2) 가이드 RNA(나)가 표적 DNA 부위와 상보적으로 결합하면 카스9 단백질(가)이 DNA 분해효소 활성을 이용해 표적 DNA 부위의 양쪽 가닥을 절단한다.

채점 기준	배점
(1) (가)와 (나)를 모두 옳게 쓴 경우	30 %
(2) (가)와 (나)의 역할을 모두 옳게 서술한 경우	70 %
(가)와 (나)의 역할 중 하나만 옳게 서술한 경우	40 %

10 나. 유전자에 결합이 있는 유전병 환자의 세포에 정상 유전자를 넣거나 유전자를 교정하여 치료하는 유전자치료제는 난치병 치료를 위한 약물(㉠)에 해당한다.

다. DNA 재조합기술을 활용하여 플라스틱을 분해하는 세균을 생산하면 환경오염을 줄일 수 있으므로, 이는 환경(다) 분야에서 생명공학기술이 활용된 사례이며 ㉡에 해당한다.

바로알기 가. (가)는 의학 및 약학, (나)는 생명 정보, (다)는 환경이다.

11 가. 혈전 용해제는 DNA 재조합기술(㉢)을 활용하여 대량 생산할 수 있다.

나. DNA 지문 검사는 개인마다 차이가 있는 DNA의 특정 부위를 비교하여 신원을 확인하는 방법이다. 이때 소량의 DNA 시료를 분석할 수 있도록 중합효소연쇄반응(㉣)을 활용하여 특정 DNA 부위를 빠르게 증폭시킨다.

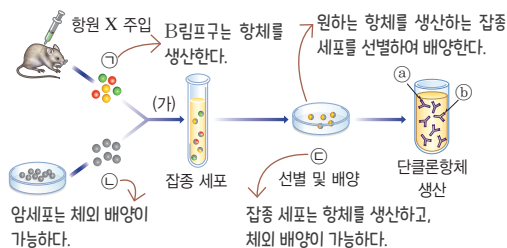
다. 환경오염을 감지하는 바이오센서(㉤)는 생명공학기술을 환경 분야에서 활용한 사례에 해당한다.

실력 UP 문제

173쪽

01 ② 02 ①

01 품평 문제 분석



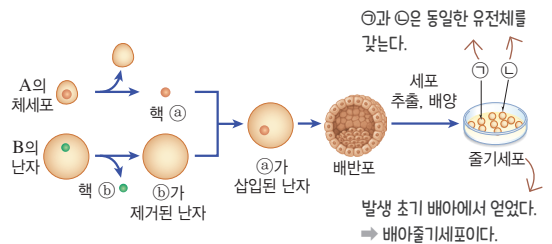
뒤에 X를 주입해 얻은 ㉠은 B림프구, 잡종 세포를 만드는 데 사용된 ㉡은 암세포, ㉢은 B림프구(㉠)와 암세포(㉡)를 융합시켜 만든 잡종 세포에서 선별된 X에 대한 단클론항체를 생산하는 잡종 세포이다.

나. ㉣과 ㉤는 선별된 단일 잡종 세포(㉢)로부터 생산된 단클론 항체이므로 구조와 항원 특이성이 동일하다. 따라서 ㉣과 ㉤는 모두 X와 결합한다.

바로알기 가. B림프구(㉠)와 잡종 세포(㉢)는 항체를 생산하지만, 암세포(㉡)는 항체를 생산하지 못한다.

다. (가)는 B림프구와 암세포를 융합시켜 잡종 세포를 만드는 과정으로, 이 과정에 세포융합기술이 이용되었다.

02 품평 문제 분석



가. ㉠은 초기 발생 과정에서 형성된 배반포로부터 세포를 채취해 얻은 것이므로 배아줄기세포이다.

바로알기 나. ㉢이 삽입된 난자의 핵 DNA는 A의 핵 DNA와 동일하다. 따라서 ㉢이 삽입된 난자로부터 얻은 세포 ㉣에 있는 모든 유전자는 A의 체세포 핵에 있는 모든 유전자와 염기서열이 동일하다.

다. 세포분화 과정에서 유전체의 변화는 일어나지 않으므로 ㉠과 ㉣은 배양 조건에 따라 유전체는 같지만 서로 다른 세포로 분화될 수 있다.

중단원 핵심정리

174쪽

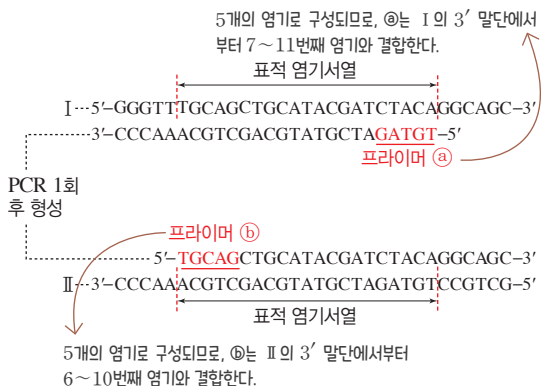
- 1 이종나선
- 2 편집
- 3 재조합
- 4 제한효소
- 5 DNA 연결효소
- 6 중합효소연쇄반응
- 7 변성
- 8 차세대염기서열
- 9 핵치환
- 10 단클론항체
- 11 암세포
- 12 성체
- 13 역분화
- 14 크리스퍼
- 15 RNA

- 01 ⑤ 02 ⑤ 03 ① 04 ④ 05 ④ 06 ②
 07 ② 08 ④ 09 ② 10 ① 11 ④
 12 ㄱ, ㄴ, ㄷ 13 ⑤ 14 해설 참조
 15 해설 참조

01 ㄱ. ①은 유전자가위를 이용하여 유전자를 제거 또는 변형하거나 새로운 유전자를 삽입하는 유전자편집기술이다.
 ㄴ. 중합효소연쇄반응(PCR) 기술의 개발은 1980년대, 최초의 복제 포유류인 돌리의 탄생은 1990년대에 일어났다.
 ㄷ. 최초의 복제 포유류 탄생(가)은 1990년대, 크리스퍼 유전자 편집기술의 개발(나)은 2010년대, 단클론항체 생산 기술 개발(다)은 1970년대에 일어났다.

02 중합효소연쇄반응(PCR)은 DNA 변성 → 프라이머 결합 → DNA 신장(가)의 순서로 일어난다.
 ㄴ. (가)에서 DNA 중합효소에 의해 주형 DNA 가닥에 상보적인 새로운 가닥이 합성된다.
 ㄷ. 중합효소연쇄반응(PCR)은 DNA의 특정 부분을 반복적으로 복제하여 적은 양의 DNA로부터 짧은 시간 안에 다량의 DNA를 얻는 기술이다.
 [바로알기] ㄱ. 프라이머는 50℃~65℃에서 풀어진 2개의 주형 가닥에 각각 결합한다.

03 품종 문제 분석

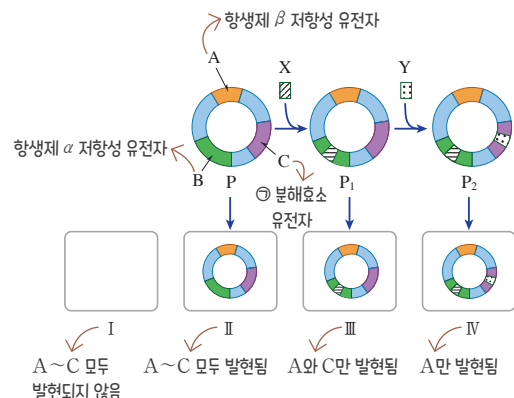


ㄱ. 프라이머는 뉴클레오타이드가 처음으로 결합할 3' 말단을 제공해 주므로, I에 결합하는 프라이머 ①은 5'-TGTAG-3'이고, II에 결합하는 프라이머 ②는 5'-TGCAG-3'이다.
 [바로알기] ㄴ. ②와 결합하는 가닥 II의 부위는 5'-CTGCA-3'이다. 5'-TGCAG-3'과 5'-CTGCA-3' 사이에는 G-C

염기쌍이 3개, A-T 염기쌍이 2개 있으므로 ㄱ과 ② 사이의 염기 간 수소결합의 총개수는 13개이다.
 ㄷ. PCR 산물에서 분자량이 가장 작은 이중나선 DNA는 표적 염기서열로만 이루어진 DNA이며, 이 DNA는 21개의 염기쌍으로 이루어져 있다.

04 A. 대장균은 배양이 쉽고 빠르게 증식할 뿐만 아니라 플라스미드를 이용한 유전자 조작이 용이하여 DNA 재조합기술에 많이 이용된다.
 C. DNA 재조합기술을 이용하면 생물의 형질을 전환시킬 수 있다.
 [바로알기] B. 사람의 인슐린을 생산하는 대장균과 같이 사람의 유전자가 재조합된 DNA는 사람이 아닌 다른 생물의 세포에서도 발현될 수 있다.

05 품종 문제 분석

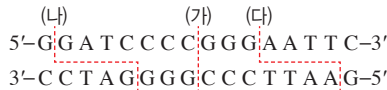


- II~IV에 모두 A가 있다. ⇒ A는 항생제 β 저항성 유전자이다.
- B가 있는 대장균(II)은 1가지이다. ⇒ B가 항생제 α 저항성 유전자이다.

II~IV에 모두 정상적인 A가 있고, 항생제 β에 대한 저항성이 있는 대장균은 3가지이므로 A는 항생제 β 저항성 유전자이다. 항생제 α에 대한 저항성이 있는 대장균은 1가지인데, 정상적인 B가 있는 대장균이 II 뿐이므로 B가 항생제 α 저항성 유전자이고, C는 ㉠ 분해효소 유전자이다.
 ㄴ. 항생제 α에 대한 저항성이 있는 대장균은 B가 있는 II이며, II에는 A도 있으므로 항생제 β에 대한 저항성도 있다.
 ㄷ. ㉠과 항생제 β가 모두 첨가된 배지에서 흰색 군체를 형성하려면 정상적인 A 유전자는 있고 C 유전자는 없어야 한다. 따라서 I~IV 중 IV만 ㉠과 항생제 β는 함께 첨가된 배지에서 흰색 군체를 형성한다.
 [바로알기] ㄱ. C는 ㉠ 분해효소 유전자이다.

06 품종 문제 분석

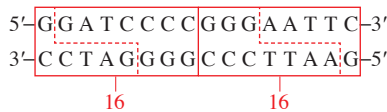
- x 의 염기서열과 x 에서 (가)~(다)의 절단 부위



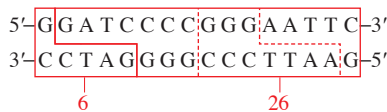
Ⅱ와 Ⅲ에서 생성된 두 DNA 조각의 염기 수가 각각 ⑤와 ⑥로 같으므로 X에서 (가)~(다)의 인식 부위는 (나)~(가)~(다)의 순서로 위치한다.

시험관	I	Ⅱ	Ⅲ
첨가한 제한효소	(가)	(나)	(다)
생성된 각 DNA 조각의 염기의 개수	16, 16	⑤, ⑥ 26, 6	⑤, ⑥ 26, 6

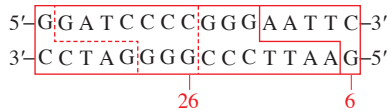
- I에서 (가)에 의한 절단 부위와 DNA 조각별 염기의 개수



- II에서 (나)에 의한 절단 부위와 DNA 조각별 염기의 개수



- III에서 (다)에 의한 절단 부위와 DNA 조각별 염기의 개수



⑤+⑥=32이므로 x 는 (가)~(다)에 의해 각각 2개의 조각으로 절단된다. x 는 16개의 염기쌍으로 이루어져 있고, (가)~(다)가 인식하는 염기서열은 각각 6개의 염기쌍으로 이루어져 있으므로 x 에서 (가)~(다)가 인식하는 염기서열 중 일부가 서로 겹치는 경우가 있다.

ㄷ. x 를 구성하는 두 단일 가닥의 3' 말단에 있는 염기는 모두 사이토신(C)이다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 사이토신(C), ㉡은 구아닌(G)이다.

ㄴ. II와 III에서 염기의 개수가 각각 26(⑤)과 6(⑥)인 DNA 조각이 생성되므로, ⑤는 26이다.

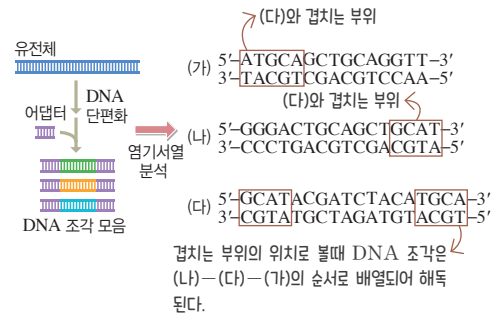
07 ㄷ. 당근 A의 뿌리에서 채취한 세포를 영양 배지에서 증식시켜 얻은 조직 B를 어린 식물 C로 배양할 때 조직배양 기술이 이용되었다.

바로알기 ㄱ. 당근 A의 뿌리에서 분리한 세포를 배양하여 어린 식물 C로 발생시킬 때 당근 세포의 유전체에 변화가 생기지 않으므로 A와 C는 유전적으로 서로 동일하다.

ㄴ. 영양 배지에서 당근 세포가 분열하여 B를 이룰 때 체세포분

열이 일어나므로 B를 구성하는 세포는 모두 유전체가 같다.

08 품종 문제 분석

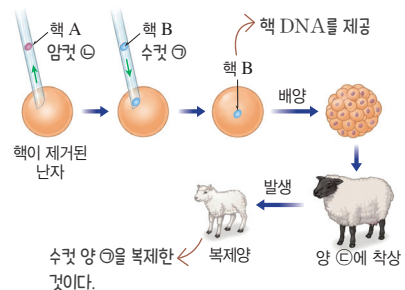


ㄱ. (가)~(다)는 말단에 서로 겹치는 부분이 있으므로 말단의 염기서열이 같은 부분이 있다. 따라서 이 유전체를 해독할 때 DNA 조각은 (나)~(다)~(가)의 순서로 배열되며, 이 유전체는 40개의 염기쌍으로 구성된다.

ㄷ. 차세대염기서열분석(NGS)은 유전체를 매우 많은 조각으로 나누어 각 DNA 조각의 염기서열을 컴퓨터를 이용하여 각각 읽은 후, 각 조각에서 얻어진 염기서열들을 조합하여 유전체 전체의 염기서열 정보를 해독하는 기술이므로 기존의 염기서열분석 방법보다 유전체 분석에 소요되는 시간과 비용이 크게 줄어든다.

바로알기 ㄴ. 이 유전체를 해독할 때 DNA 조각은 (나)~(다)~(가)의 순서로 배열된다.

09 품종 문제 분석

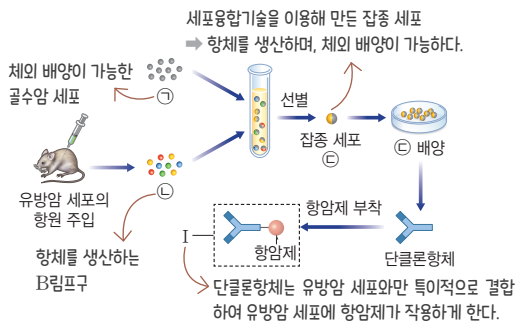


ㄷ. 복제양을 만들기 위해 핵이 제거된 난자에 체세포 핵을 이식하는 핵치환 기술이 이용되었다.

바로알기 ㄱ. 복제양을 만드는 과정에서 핵 A는 난자를 제공하는 암컷 양 ㉠에서 추출한 세포의 것이고, 핵 B는 수컷 양 ㉡에서 추출한 세포의 것이다. 따라서 복제양은 핵 B를 제공한 수컷 양 ㉡을 복제한 것이다.

ㄴ. 복제양은 ㉡을 복제한 것이므로 수컷이다. ㉠은 복제양을 출산한 양이므로 암컷이다. 따라서 복제양과 ㉠의 성별은 서로 다르다.

10 — 품목 문제 분석



ㄱ. ㉠은 골수암 세포, ㉡은 B 림프구이다.

[바로알기] 나. 유방암 세포의 항원을 인식한 B 림프구는 여러 가지이지만, 하나의 B 림프구(㉡)에서는 한 종류의 항체가 생성된다.
다. 잡종 세포(㉢)의 항체 생산 능력은 B 림프구(㉡)에서 유래된 특성이다. 반면 잡종 세포(㉢)가 체외에서 빠르게 반영구적으로 분열할 수 있는 것은 골수암 세포(㉠)에서 유래된 특성이다.

11 나. B는 성체인 환자의 체세포(A)를 역분화시켜 얻은 줄기 세포이므로 역분화줄기세포이다.

다. (가)에서 유전자가위를 이용하여 유전자를 교정하는 유전자 편집기술이 이용되었다.

[바로알기] ㄱ. C는 환자의 DNA에서 질병 유전자가 제거된 유전자를 가지므로, A와 유전정보가 서로 다르다.

12 ㄱ. 실험 I에서 핵이 제거된 난자에 체세포 핵을 넣을 때는 핵치환 기술이, 복제된 수정란을 일정 단계까지 발생시킬 때는 조직배양 기술이 각각 이용되었다.

나. (가)의 배아줄기세포(㉠)는 체세포 핵을 제공한 개체의 핵 DNA와 유전적으로 같으므로 ㉠의 체세포는 B의 체세포와 핵 DNA가 같다.

다. ㉡은 성체의 골수에서 얻으므로 성체줄기세포이다. 성체줄기세포는 뱀줄 혈액에서도 얻을 수 있다.

13 (가) 범죄 현장에서 채취한 혈액에 존재하는 소량의 DNA를 중합효소연쇄반응(PCR) 기술을 이용해 대량으로 증폭시킨 후 범인을 식별하는 데 이용한다.

(나) 유전자편집기술을 활용하여 정상 적혈구를 생성하도록 환자의 미성숙 혈액세포의 유전자를 편집한 후 다시 주입하여 낫모양 적혈구빈혈증을 치료한다.

14 X는 사람의 초기 발생 과정에서 형성되는 배아인 배반포로부터 얻었으므로 배아줄기세포이다. X의 유전체는 체세포 핵 ④를 제공한 A의 유전체와 같으므로 X는 A(㉠)에게 면역 거부 반응이 없다.

모범 답안 (1) 배아줄기세포

(2) A, X는 핵치환 기술을 이용하여 B의 난자에서 핵을 제거한 후, A의 체세포에서 추출한 핵을 삽입하여 만든 배아로부터 얻은 배아줄기세포이다. 따라서 X의 핵 DNA에 저장된 유전정보는 핵을 제공한 A와 같으므로, X를 이식할 때 면역 거부 반응이 나타나지 않는 ㉠은 A이다.

채점 기준	배점
(1) 배아줄기세포라고 쓴 경우	30 %
A라고 쓰고, 그 까닭을 4가지 요소를 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	70 %
(2) A라고 쓰고, 그 까닭을 3가지 요소를 포함하여 옳게 서술한 경우	30 %

15 ㉢는 세포융합기술을 이용해 만든 특정 잡종 세포(㉢)가 생산하는 한 종류의 항체이므로 단클론항체이다.

모범 답안 (1) 단클론항체

(2) ㉠은 B 림프구, ㉡은 암세포, ㉢는 잡종 세포이다. 잡종 세포(㉢)는 항체를 생산하며 체외에서 빠르게 증식하고 수명이 반영구적이다.

채점 기준	배점
(1) 단클론항체라고 쓴 경우	30 %
㉠~㉢를 옳게 쓰고, ㉢의 특징을 3가지 요소를 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	70 %
(2) ㉠~㉢를 옳게 쓰고, ㉢의 특징을 2가지 요소를 포함하여 옳게 서술한 경우	30 %

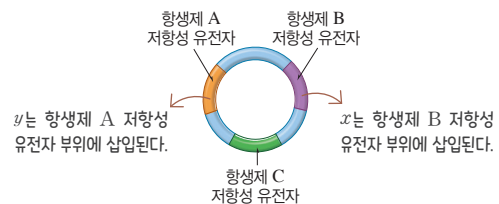
중단원 고난도 문제

179쪽

01 ① 02 나, 다 03 ⑤

01 — 품목 문제 분석

- ㉠은 항생제 A를 첨가한 배지에서 균체를 형성하고, ㉡를 첨가한 배지에서는 균체를 형성하지 않는다. ㉢는 항생제 B와 C 중 하나이다. → ㉠은 항생제 B와 C 중 하나가 첨가된 배지에서 생존하지 못하므로, Q에 삽입된 x는 항생제 B 또는 C 저항성 유전자 부위에 삽입되었다.
- ㉣는 항생제 C를 첨가한 배지에서 균체를 형성하고, 항생제 A와 B를 함께 첨가한 배지에서는 균체를 형성하지 않는다. → ㉣는 항생제 C를 첨가한 배지에서 생존하고 항생제 A와 B를 함께 첨가한 배지에서는 생존하지 못하므로, R에 삽입된 x와 y는 각각 항생제 A와 B 저항성 유전자 부위 중 하나에 삽입되었다.



선택지 분석

- ㉠ (가)에서 y 는 항생제 A 저항성 유전자 부위에 삽입된다.
~~㉡~~ ㉠과 ㉢이 가진 플라스미드에는 모두 y 가 있다. x
~~㉢~~ ㉠은 항생제 C가 첨가된 배지에서 군체를 형성하지 못한다. 형성한다

전략적 풀이 ① 항생제 첨가 배지에서의 증식 여부를 통해 재조합 플라스미드에서 유전자가 삽입된 부위를 파악한다.

ㄱ. 플라스미드 P에 유전자 x 가 항생제 B 저항성 유전자 부위에 삽입되어 플라스미드 Q가 만들어지고, Q에 유전자 y 가 항생제 A 저항성 유전자 부위에 삽입되어 플라스미드 R가 만들어졌다.

② 항생제 저항성 유무를 통해 형질전환 대장균이 갖는 유전자와 항생제 저항성을 파악한다.

ㄴ. ㉠이 가진 플라스미드 Q에는 x 가 있고, ㉢이 가진 플라스미드 R에는 x 와 y 가 모두 있다.

ㄷ. 항생제 B 저항성 유전자 부위에 x 가 삽입된 플라스미드 Q를 가진 ㉠은 항생제 C에 대한 저항성을 가지므로, 항생제 C가 첨가된 배지에서 군체를 형성한다.

02 품목 문제 분석

DNA X $\leftarrow$ 5'-CGATCTGACCGACCGAACGGTCAT-3'
 PCR 1회 $\leftarrow$ 3'-GCTAGACTGGCTGGCTTGCCA-5'
 후 형성

프라이머 ㉠
 ㉠와 상보적인 염기서열은 DNA X의 위쪽 가닥의 3' 말단으로부터 4~8번째에 위치한다.

PCR 2회
 후 형성된 ㉡
 5'-CGATCTGACCGACCGAACGGTCAT-3'
 3'-GCTAGACTGGCTGGCTTGCCA-5'

PCR을 2회 반복했을 때 증폭된 DNA 조각 중 42개의 염기로 구성된 DNA 조각이 발견되었으므로 ㉡는 주형 가닥의 3' 말단에 결합한다는 것을 알 수 있다.

PCR 1회
 후 형성
 프라이머 ㉢
 DNA X $\leftarrow$ 5'-CGATCTGACCGACCGAACGGTCAT-3'
 DNA X $\leftarrow$ 3'-GCTAGACTGGCTGGCTTGCCAGTA-5'

선택지 분석

- ~~㉠~~ ㉠에는 DNA 연결효소가 포함된다. 포함되지 않는다
 ㉢ ㉢의 염기서열은 5'-CGATC-3'이다.
 ㉤ X 1분자를 PCR로 2회 반복하면 ㉢ 1분자가 생성된다.

전략적 풀이 ① 중합효소연쇄반응에 필요한 물질을 이해한다.

ㄱ. DNA 연결효소는 두 DNA를 하나로 연결하는 효소로 DNA 재조합기술에 이용된다. PCR의 DNA 합성 과정에서 DNA 중합효소에 의해 주형 DNA가 복제되므로 ㉠에는 DNA 중합효소가 포함된다.

② 중합효소연쇄반응에서 DNA 복제 원리를 바탕으로 프라이머의 염기서열을 파악한다.

ㄴ. ㉠은 주형 가닥의 3' 말단에서 4번째부터 8번째 염기에 결합하고, PCR 과정을 2회 반복했을 때 42개의 염기로 이루어진 DNA 조각(㉡)이 생성되므로 ㉡는 주형 가닥의 3' 말단에 결합한다. 따라서 ㉢의 염기서열은 주형 가닥의 3' 말단 염기서열인 3'-GCTAG-5'에 상보적인 5'-CGATC-3'이다.

③ 중합효소연쇄반응의 DNA 증폭 과정을 이해하여 각 주기에 따른 반응 산물을 파악한다.

ㄷ. 42개의 염기로 구성된 DNA 조각(㉡)은 X 1분자를 PCR로 2회 반복했을 때 1분자가 생성된다.

03 품목 문제 분석

(가) 위에 X를 주입한 후 여러 종류의 ㉠을 채취한다.

㉡은 항체를 생산하는 B림프구이다.

(나) 채취한 ㉠을 ㉢과 각각 융합시켜 여러 종류의 잡종 세포를 만든다.

㉡은 체외 배양이 가능한 암세포이며, 잡종 세포를 만들 때 세포융합기술이 이용되었다.

(다) 특정 잡종 세포만 선별한 후 증식시켜 세포 집단을 만든다.

세포 집단은 유전체가 동일한 클론이다. $\Rightarrow$ 한 종류의 항체를 생산한다.

(라) 이 세포 집단에서 항체 ㉡를 생산한다.

항체 ㉡는 모두 구조가 동일하다. $\Rightarrow$ 같은 항원에 결합하는 단클론항체이다.

선택지 분석

- ~~㉠~~ ㉠은 ㉢보다 수명이 길다. 짧다
 ㉢ (다)에서 원하는 항체를 생산하는 잡종 세포만 선별한다.
 ㉤ ㉡에는 X에 결합할 수 있는 부위가 있다.

전략적 풀이 ① 단클론항체 생산에 이용되는 B림프구와 암세포의 특징을 이해한다.

ㄱ. (가)~(라)는 세포융합기술을 이용하여 단클론항체를 생산하는 과정을 나타낸 것이다. 항원을 주입한 후 채취하는 ㉠은 항체를 생산하는 B림프구이고, ㉠과 융합시키는 ㉢은 체외에서 증식이 가능한 암세포이다. B림프구(㉠)는 분열 횟수가 제한적이며 암세포(㉢)보다 비교적 수명이 짧다.

② 단클론항체 생산 과정에서 형성되는 잡종 세포의 특징을 이해한다.

ㄴ. (다)의 세포 집단은 한 종류의 잡종 세포를 선별하여 증식시켜 얻은 것이다.

③ 단클론항체의 개념을 이해한다.

ㄷ. X를 주입하여 얻은 B림프구는 X에 대한 항체를 생성하므로, B림프구와 암세포와 융합시켜 얻은 잡종 세포에서 생산된 ㉡에는 X에 결합할 수 있는 부위가 있다.

2 생명공학기술의 영향과 생명윤리

01 / 생명공학기술의 영향과 생명윤리

개념 확인 문제

185쪽

① 유전자변형생물체 ② 생물다양성 ③ 생명윤리법

1 (1) × (2) × (3) ○ 2 (1) ⊖ (2) ⊕ (3) ⊖ (4) ⊕ 3 (1) ○ (2) × (3) ○ 4 생명윤리법(생명윤리 및 안전에 관한 법률)

1 (1) 유전자변형생물체(LMO)는 DNA 재조합기술뿐 아니라 세포융합 기술, 유전자편집기술 등 다양한 생명공학기술을 활용하여 새롭게 조합된 유전물질을 갖도록 만들어진 생물체이다.

(2) LMO는 생명공학기술을 활용하여 원하는 유전자를 도입하거나 기존 유전자를 변형시켜 만들어지므로, 전통적인 육종 방식으로 교배하여 새로운 형질을 가지게 된 생물과는 구분된다.

(3) 중금속을 흡수하는 식물, 독성 유기 폐기물을 분해하는 세균 등과 같은 LMO로 오염 물질을 분해하여 환경을 정화하거나, 효율적으로 바이오연료를 생산하는 생물을 활용하여 화석연료에 대한 의존도를 낮추는 등 환경 문제와 에너지 문제를 해결하는 데 LMO를 활용할 수 있다.

2 (1) 프로바이타민 A가 함유된 황금쌀은 일반 쌀보다 품질이 향상된 식량 자원으로, 바이타민 A 결핍 완화에도 도움을 준다.

(2) 사람의 인슐린을 생산하는 세균을 대량으로 배양하면 당뇨병 치료에 필요한 인슐린을 효율적으로 생산할 수 있다.

(3) 중금속을 흡수하는 식물은 토양의 중금속을 흡수하여 식물체 안에 축적한다. 이후 중금속을 축적한 식물체를 수확하면 토양의 중금속이 제거되므로 중금속을 흡수하는 식물은 토양에서 환경오염 물질을 제거하여 환경 정화에 활용될 수 있다.

(4) 바이오에탄올 생산용 옥수수는 바이오연료 생산 효율을 높여 화석연료 의존성을 낮추고 에너지 문제 해결에 기여할 수 있다.

3 (1) 유전자편집기술을 활용한 맞춤형 아기의 탄생 가능성이 커지면서 이 기술이 질병 치료를 넘어 외모, 신체 능력 등 특정 형질을 선택하거나 강화하는 데 이용될 가능성이 제기되면서 안전성, 사회적 불평등, 인간의 존엄성 등에 관한 생명윤리 논쟁이 심화될 수 있다.

(2) 제초제 저항성 작물에 도입된 재조합 유전자가 주변 야생 잡초로 전달되어 등장한 슈퍼 잡초는 제초제에 잘 죽지 않아, 작물의 생산성을 감소시키고 생태계평형을 파괴하였다. 이처럼 LMO에 도입된 특정 유전자가 주변의 생물에게 전달되면 의도

하지 않은 변형 생물체가 나타나 기존 먹이사슬을 파괴하여 생태계를 교란시킬 수 있다.

(3) 특정 유전자나 LMO가 특허 대상이 되어 이를 소수 기업이 독점하게 되면 유전자 사용에 대한 법적 분쟁이나 유전자 사유화 문제와 같은 제도적 문제가 생길 수 있다.

4 우리나라에서는 생명공학기술이 인간의 질병 예방 및 치료에 한해 이용되도록 규제하고자 ‘생명윤리법(생명윤리 및 안전에 관한 법률)’을 제정하여 인간과 인체유래물 등을 연구하거나 배아와 유전자 등을 취급하는 과정에서 생명윤리 및 안전을 확보하고 있다. 이 법은 인간대상연구, 배아의 생성과 연구 이용, 유전자치료 및 연구 등에 관한 사항을 규정하고 있다.

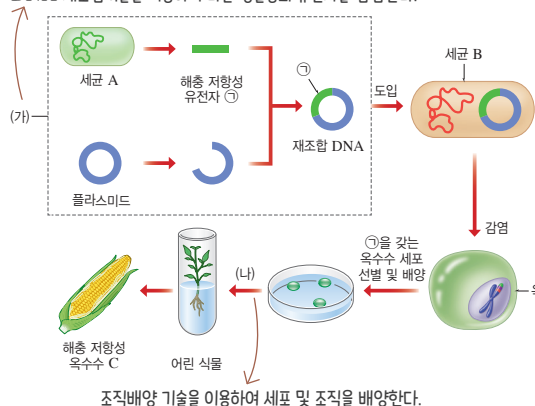
대표 자료 분석

186쪽

1 유전자변형생물체(LMO) 2 (가) DNA 재조합기술 (나) 조직 배양 기술 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ×

품질 문제 분석

DNA 재조합기술을 이용하여 다른 생물종의 유전자를 삽입한다.



1 생명공학기술을 이용하여 새로운 조합의 유전자를 가지도록 만들어진 생명체를 유전자변형생물체(LMO)라고 한다.

2 (가)에서 DNA를 자르고 플라스미드에 연결하여 새로운 조합을 갖는 재조합 DNA를 만들 때 DNA 재조합기술이 주로 이용되었고, (나)에서는 생물의 세포나 조직을 인공 배지에서 배양할 때 조직배양 기술이 주로 이용되었다.

3 (1) ㉠은 A에서 분리한 유전자이므로 A는 ㉠을 갖는다. B는 ㉠을 포함하는 재조합 DNA가 도입되었으므로 ㉠을 갖는다. C는 B에 감염되어 ㉠을 갖는 옥수수 세포를 배양하여 얻은 개체이므로 C를 이루는 세포도 ㉠을 갖는다.

(2) 플라스미드는 ㉠을 B에 운반하기 위한 운반체로 사용된다.

(3) 재조합 DNA를 만들 때(가)는 일반적으로 플라스미드와 세균의 유전자를 같은 종류의 제한효소를 사용하여 자른다. 그리고 제한효소에 의해 잘린 두 DNA 조각을 DNA 연결효소를 사용하여 연결한다.

(4), (5) (나)에서는 ㉠을 가진, 형질이 전환된 세포만 선별하여 배양하며, 이 과정에서는 체세포분열이 일어나 세포 수가 증가하고 세포가 분화하여 조직과 기관이 형성된다.

(6) C에서는 ㉠이 발현되어 해충 저항성을 갖는다.

(7) C는 모든 곤충에 대해 저항성을 나타내는 것은 아니다.

내신 만점문제

187쪽~188쪽

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

01 A. 유전자변형생물체(LMO)는 생명공학기술을 이용하여 만들어진, 기존의 번식 방법으로는 나타나기 어려운 새로운 유전자 조합을 가진 생물이다.

B. 사람의 성장호르몬을 생산하는 세균은 세균에 사람의 성장호르몬 유전자를 재조합한 DNA를 도입하여 만든 LMO이다.

[바로알기] C. LMO는 전통적인 교배 방식이 아닌 생명공학기술을 이용하여 만드며, 다른 생물종의 특정 유전자를 삽입하거나 원하는 유전자만 선택적으로 변형시킬 수 있다는 점에서 전통적인 육종 방식으로 교배하여 새로운 형질을 가지게 된 생물과 구분된다.

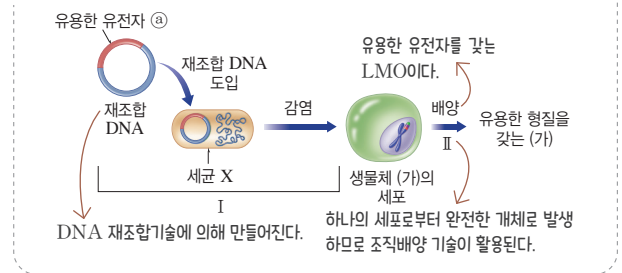
02 나. ㉠은 토양 속 중금속을 제거하여 환경을 정화시켜 환경에 긍정적인 영향을 미친다.

[바로알기] 가. DNA 재조합기술을 이용하여 X를 토마토의 유전자체에 삽입하면 X의 발현에 의해 A의 합성이 억제되어 토마토가 잘 무르지 않게 된다. 따라서 ㉠에서는 일반 토마토에서보다 A가 적게 합성된다.

다. (가)와 (나)에서는 공통적으로 재조합된 플라스미드를 이용해 특정 유전자를 세균에 도입하는 DNA 재조합기술이 이용되

었다. 유전자편집기술은 유전자가위를 이용하여 유전자를 제거 또는 변형하거나 새로운 유전자를 삽입하는 기술이다.

03 — 꼼꼼 문제 분석



가. I에서 유용한 유전자 ㉠을 삽입한 재조합 DNA를 세균 X로 도입한 후 X가 (가)의 세포를 감염하도록 하여 유용한 유전자를 (가)의 세포에 운반한다. 따라서 X는 ㉠을 (가)의 세포로 전달하는 데 사용되었다.

나. I에서는 DNA 재조합기술이, II에서는 조직배양 기술이 이용되었다.

다. II를 거친 (가)는 DNA 재조합기술과 조직배양 기술과 같은 생명공학기술을 이용하여 유용한 형질을 갖도록 만들어진 LMO에 해당한다.

04 나. ㉠은 X가 발현되어 병충해에 강한 특성을 가지므로, ㉠을 재배하면 병충해 피해를 줄일 수 있다.

다. ㉠과 같은 LMO로 만든 식품이나 의약품은 인체에 무해한지 안전성이 충분히 검증되지 않아 충분한 연구와 검사를 거쳐야 한다. 충분한 안전성 검증 없이 사용하는 경우 독성이나 알레르기 유발할 수 있다.

[바로알기] 가. X의 발현으로 생산된 물질이 모든 곤충에 독성으로 작용하는 것은 아니므로 ㉠이 모든 병충해에 저항성을 갖는 것은 아니다.

05 **[모범 답안]** • 긍정적인 영향: 생산성이 높은 식량 자원으로 활용하여 식량 문제 해결에 도움이 될 수 있다. 살충제의 사용을 줄여 토양오염이 감소할 수 있다. 등

• 부정적인 영향: 단일 품종의 대규모 재배로 생물다양성이 감소할 수 있다. ㉠에 도입된 X가 주변의 생물에 전달되면 의도하지 않았던 새로운 생물이 나타나 생태계가 교란될 수 있다. 등

채점 기준	배점
긍정적인 영향과 부정적인 영향을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
긍정적인 영향과 부정적인 영향 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

06 가. 생명공학기술이 빠르게 발전하면서 새로운 기술과 활용 사례가 계속 등장하므로, 이에 맞는 제도를 적절한 시기에 마련하는 데 한계가 생긴다.

나, 다. 생명공학기술의 활용 과정에서 맞춤형 아기의 탄생이나 특정 유전자의 독점 사용과 소수 기업의 기술 독점 가능성이 높아지는 것은 주의해야 할 문제점이다.

07 다. 생명윤리 및 안전에 관한 정책을 심의하는 국가생명윤리심의위원회를 설치해야 한다.

[바로알기] 가. 불임 치료를 위해 생성되고 남은 잔여 배아에 한해 일정한 요건과 승인 절차를 거쳐 정해진 연구 목적으로 한시적으로 이용될 수 있다.

나. 인간을 대상으로 연구할 때는 원칙적으로 사전 심의를 받아야 하며, 연구자의 판단에 따라 이를 생략할 수 없다.

08 가. LMO 작물을 재배할 경우 도입된 유전자가 주변 생태계의 다른 생물로 전달되면 예상치 못한 변형 생물체가 등장하여 주변 생태계를 파괴할 수 있으므로, LMO 작물을 재배할 경우 도입된 유전자가 생태계에 유입되지 않도록 유의해야 한다.

나. 우리나라는 생명윤리법을 제정하여 생명공학기술이 인간의 질병 예방 및 치료에 한해 이용되도록 규정한다.

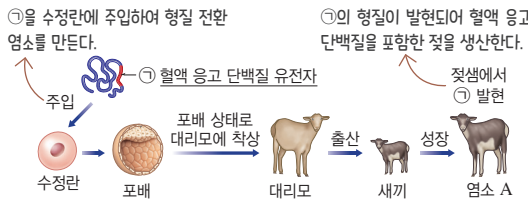
다. 생명공학기술의 활용에 따른 문제점을 해결하기 위해서 사회구성원들은 모든 생명은 존귀하며 수단이 아닌 그 자체로서의 목적성을 가진다는 것을 인식하고 올바른 생명윤리를 확립해야 한다.

실력 UP 문제

188쪽

01 ③ 02 ④

01 품목 문제 분석

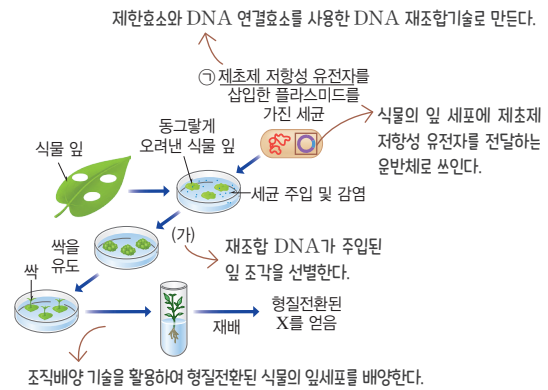


가. ①은 사람의 혈액 응고 단백질 유전자이므로 사람에게서 유래한 유전자이다.

다. A의 젖에서 분비된 사람의 혈액 응고 단백질은 혈우병을 치료하는 데 활용될 수 있다. A와 같이 사람에게 의학적으로 유용한 물질을 대량으로 생산하는 LMO는 의료 및 건강 분야에서 LMO를 활용한 사례이다.

[바로알기] 나. 염소 A는 수정란 상태에서 ①을 주입하였으므로, A의 모든 체세포에 이 유전자가 존재하지만, 주로 젖샘세포에서 발현되어 혈액 응고 단백질을 포함한 젖을 생산한다.

02 품목 문제 분석



나. (가)에서 ①이 삽입된 재조합 DNA가 도입된 식물 잎 세포를 선별하여 배양한다.

다. X에 도입된 ①이 야생 잡초와 같은 야생 식물로 전달되면 예상치 못한 제초제 저항성 생물체가 등장하여 제초제 효과가 감소할 수 있다. 또한, 제초제 저항성을 갖게 된 LMO가 주변 먹이 사슬에 영향을 주어 생태계에도 영향을 미칠 수 있다.

[바로알기] 가. 생명공학기술을 사용하면 다른 종의 생물이 가진 유전자를 삽입할 수 있으므로, X와 다른 종의 생물로부터 얻은 ①도 사용할 수 있다.

중단원 핵심 정리

189쪽

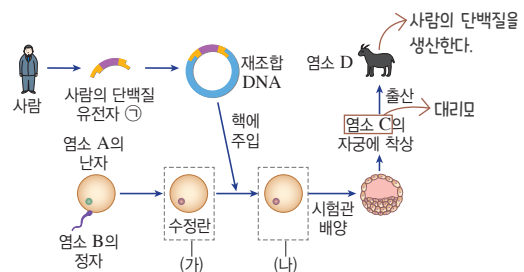
- ① LMO ② 높고 ③ 생물다양성 ④ 생명윤리법 ⑤ 생명윤리

중단원 마무리 문제

190쪽~191쪽

- 01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ④ 05 해설 참조 06 해설 참조

01 품목 문제 분석



ㄱ. ㉠은 사람의 단백질 유전자이므로 ㉠이 발현되면 사람의 단백질을 생산할 수 있다. D는 사람의 단백질을 생산하므로, 수정란일 때 도입한 ㉠이 발현되었다.

ㄴ. 유전자변형생물체(LMO)는 생명공학기술을 이용하여 자연적으로는 갖기 어려운 유전자를 가지도록 개발된 생물이다. 따라서 DNA 재조합기술을 이용하여 사람의 단백질을 생산하게 된 염소 D는 LMO에 해당한다.

[바로알기] ㄷ. (가)는 염소 A와 B의 생식세포가 수정한 것이고, (나)는 (가)에 ㉠을 주입한 것이므로 (가)와 (나)는 유전적으로 동일하지 않다.

02 ㄱ. 사람의 성장호르몬을 생산하는 세균은 사람에게 의학적으로 유용한 물질을 대량으로 생산하여 원활한 의약품 공급을 돕는다.

ㄴ. 독성 유기 화합물을 분해하는 세균은 환경오염 물질을 제거하여 환경을 정화함으로써 환경 문제 해결에 기여한다.

[바로알기] ㄷ. 제초제 저항성 옥수수는 제초제를 살포했을 때 잡초만 제거할 수 있어 옥수수의 생산성이 높으며, 생산성이 높은 옥수수를 공급하면 식량 문제를 해결할 수 있다. 하지만 단일 품종을 대규모로 재배할 경우 해당 지역의 생물다양성이 감소하여 생태계의 안정성이 낮아진다.

03 ㄱ. X는 일반 돼지와 달리 유전자편집을 통해 일부 유전자가 제거되고 사람의 면역 조절 관련 유전자가 삽입된 LMO이다.

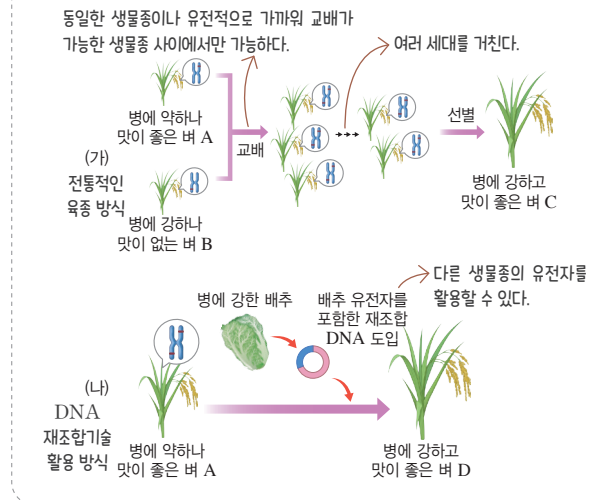
ㄴ. (가)에서 유전자가위를 사용하여 DNA의 특정 부위를 직접 편집하는 유전자편집기술이 이용되었다.

ㄷ. 장기 이식용 복제 돼지를 생산하기 위해 배아, 난자, 대리모 동물 등을 무분별하게 이용하면, 생명의 존엄성을 훼손하고 생명을 목적이 아닌 수단으로 여기는 생명 경시 풍조가 만연해질 수 있다.

04 생명윤리법은 인간, 배아, 유전자 등을 연구할 때 인간의 존엄과 가치를 침해하거나 인체에 해를 끼치지 못하게 하고, 생명공학기술이 인간의 질병 예방 및 치료에 한해 이용되도록 규정하는 법률이다. 내용으로는 국가생명윤리심의위원회 설치, 인간의 배아 생성과 연구 제한, 인간 대상 연구 관리, 유전자치료 제한 등에 대한 규정을 담고 있다.

[바로알기] ㉡ 정자와 난자를 수정시켜 새로운 배아를 생산하는 것은 불임 치료 목적 이외에는 허용하지 않는다. 다만 불임 치료에 사용되고 남은 잔여 배아는 허가를 받은 연구에 한해 한시적으로 사용이 허용된다.

05 품종 문제 분석



(가)는 우수한 형질을 가진 두 개체를 교배하여 두 개체의 장점을 모두 가진 잡종을 얻는 전통적인 육종 방식이다. 교배가 가능한 생물종 사이에서만 가능하며, 여러 세대를 거치며 원하는 개체를 찾아내야 하므로 시간이 많이 걸린다. (나)는 생명공학기술을 활용한 LMO 생산 방식으로, 원하는 특정 유전자를 골라 도입하므로 서로 다른 생물종 사이에서도 가능하고 빠르게 형질을 변화시킬 수 있다.

[모범 답안] (가)는 교배 가능한 두 생물종으로부터 여러 세대를 거쳐 원하는 형질을 가진 개체를 선별해야 하므로 시간이 오래 걸린다. 반면 (나)는 자연적으로 교배되지 않는 다른 생물종의 특정 유전자만을 선택적으로 삽입한 재조합 DNA를 도입하여 비교적 빠르고 정확하게 원하는 형질을 가진 개체를 얻을 수 있다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)의 차이점을 유전자 재조합 대상과 원하는 형질을 가진 개체를 얻는 생산 과정의 차이와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
원하는 형질을 가진 개체를 얻기까지 (가)는 시간이 오래 걸리고, (나)는 시간이 짧게 걸린다고만 서술한 경우	40 %

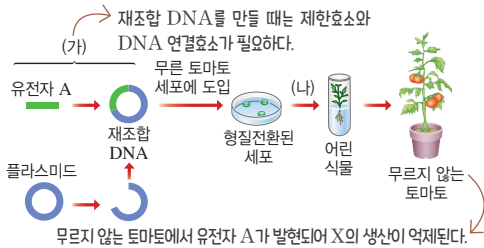
06 LMO에 도입된 유전자가 생태계 내의 다른 생물에게 전달되면 먹이사슬이나 생태계를 교란하여 생태계의 안정성을 해칠 수도 있으므로 실제 재배 전 안정성 확보에 유의해야 한다.

[모범 답안] LMO에 도입된 유전자가 다른 생물에 전달되어 의도하지 않은 변형 생물체가 출현하고, 이로 인해 생태계가 교란될 수 있으므로 C가 생태계에 미칠 수 있는 영향을 확인한다. 등

채점 기준	배점
C의 재배 시 주의해야 할 점을 LMO가 생태계에 미치는 영향과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
C의 재배 시 주의해야 할 점만 서술한 경우	50 %

01 ㄱ, ㄴ 02 ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 — 품목 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ. (가) 과정에는 DNA 재조합기술이 이용되었다.
- ㄴ. (나) 과정에서 세포가 분열할 때 유전자 A도 복제된다.
- ✗ 단위 무게당 효소 X의 양은 무르지 않는 토마토가 무른 토마토보다 많다. 적다

전략적 풀이 ① 재조합 DNA를 만드는 데 필요한 생명공학기술이 무엇인지 안다.

ㄱ. 유전자 A와 플라스미드를 사용하여 재조합 DNA를 만들 때는 제한효소를 사용하여 DNA를 자르고 DNA 연결효소로 붙이는 DNA 재조합기술이 이용되었다.

② (나) 과정을 거쳐 만들어진 개체가 형질이 발현되는 원리를 이해한다.

ㄴ. (나) 과정에서 재조합 DNA를 도입한 형질전환된 세포가 분화하여 어린 식물이 될 때 세포분열 과정에서 DNA가 복제되면서 유전자 A도 복제된다.

ㄷ. 세포에 있는 유전자 A가 발현되어 토마토의 껍질을 연하게 만드는 효소 X의 유전자발현이 억제되고 X의 생성량이 감소하면 무르지 않는 토마토가 열린다. 따라서 단위 무게당 효소 X의 양은 무르지 않는 토마토가 무른 토마토보다 적다.

02 — 품목 문제 분석

㉠은 일반 옥수수보다 병충해에 강하여 생산성이 증가하였다.

(가) 세균 X의 해충 저항성 유전자를 주입한 ㉠ 유전자변형 옥수수를 재배하여 옥수수의 생산량이 크게 증가하였다. 그러나 ㉠이 해충이 아닌 다른 곤충에도 독성 효과를 준다는 것이 밝혀졌다.

발생 초기 배아에서 얻는 줄기세포로 인체를 구성하는 모든 세포와 조직으로 분화할 수 있지만, 태아로 자랄 수 있는 배아를 사용하므로 생명윤리 논란을 일으킬 수 있다.

(나) 배아줄기세포에 대한 연구는 새로운 난치병 치료에 기여할 수 있다. 배아줄기세포를 얻기 위해 인공수정 후 남은 배아를 주로 사용하지만, 핵을 제거한 난자에 체세포의 핵을 치환하여 ㉡ 배아를 만들기도 한다. 핵을 제공한 체세포와 유전정보가 같다.

선택지 분석

- ㉠ (가)에서 ㉠의 유전체에는 X의 유전자가 일부 포함되어 있다.
- ㉡ ㉠의 재배는 해충이 아닌 곤충에게도 영향을 주어 생태계평형을 파괴할 수 있다.
- ㉢ (나)의 ㉡를 사용하여 복제인간이 탄생할 수 있으므로 배아 생성 및 연구에 대한 규제가 필요하다.

전략적 풀이 ① LMO의 정의와 LMO를 생산하는 과정을 이해한다.

ㄱ. ㉠과 같이 생명공학기술을 활용하여 만들어진 생물을 LMO라고 한다. ㉠은 세균 X의 유전자를 주입하여 해충 저항성이 발현되었으므로 ㉠에는 X의 유전자가 일부 포함되어 있다.

② 생명공학기술의 활용으로 발생하는 문제점을 이해하고 이를 해결하기 위한 방안을 안다.

ㄴ. ㉠에 삽입된 해충 저항성 유전자에 의해 발현된 살충 물질이 해충이 아닌 다른 곤충에게도 피해를 입히면, 먹이사슬이 파괴되고 생물다양성이 감소하여 생태계평형이 파괴될 수 있다.

ㄷ. 체세포 핵을 치환하여 만들어진 배아(㉡)를 발생시키면 핵을 제공한 사람과 유전적으로 동일한 복제인간이 탄생할 가능성이 있다. 이는 생명의 존엄성을 훼손하는 일이기에, 우리나라에서는 생명윤리법을 제정하여 불임 치료 목적 이외의 인간 배아 생산을 금지하고 잔여 배아는 연구 목적으로만 사용하도록 한다.





Memo

A series of horizontal dashed lines for writing, spanning the width of the page.



Memo

A series of horizontal dashed lines for writing.