

. 생명의 연속성과 다양성

1. 유전정보와 생명의 연속성

01

유전자와 염색체

개념 기본 문제

01 다음은 염색체에 대한 설명이다.

진핵세포의 염색체는 (㉠)이라는 단백질과 DNA로 구성된 수많은 (㉡)으로 이루어져 있다.

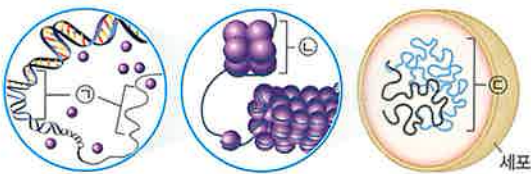
㉠과 ㉡에 알맞은 말을 각각 쓰시오.

02 염색체에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

보기

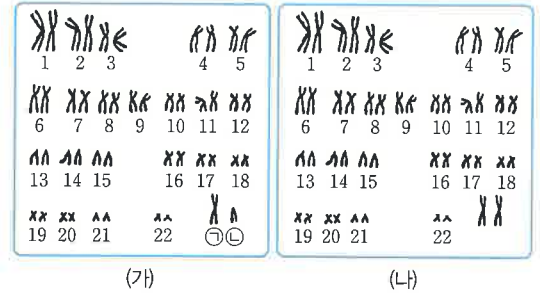
- ㄱ. 염색체는 DNA와 단백질로 구성된다.
- ㄴ. 염색체는 세포가 분열할 때보다 분열하지 않을 때 더 응축되어 있다.
- ㄷ. 유전정보가 저장되어 있는 DNA의 특정 부위를 유전자라고 한다.
- ㄹ. 하나의 염색체에는 하나의 유전자가 있다.

03 그림은 DNA에서 유전정보를 저장한 부분, 염색체를 구성하는 물질, 세포 안에 있는 전체 유전물질을 나타낸 것이다.



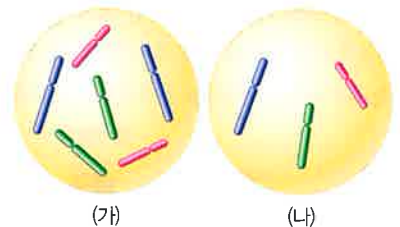
- (1) 염색체를 구성하는 물질인 ㉡은 무엇인지 쓰시오.
- (2) 한 생명체의 유전정보가 저장되어 있는 DNA 전체를 나타낸 ㉠은 무엇인지 쓰시오.
- (3) ㉠~㉢을 각각 하나씩 비교했을 때 유전물질의 양이 많은 것부터 순서대로 나열하시오.

04 그림은 어떤 사람 (가)와 (나)의 핵형을 나타낸 것이다.



- (1) (가)와 (나)의 성별을 각각 쓰시오.
- (2) ㉠과 ㉡이 각각 어떤 염색체인지 쓰시오.
- (3) (가)에서 상염색체의 수를 쓰시오.
- (4) (나)에서 성염색체의 수를 쓰시오.
- (5) (가)와 (나)에서 상동염색체는 각각 몇 쌍인지 쓰시오.

05 그림은 어떤 생물의 세포 (가)와 (나)에 들어 있는 염색체를 모두 나타낸 것이다. (단, 이 생물의 성결정 방식은 사람과 동일하고, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

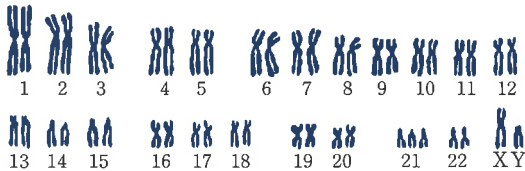


- (1) (가)와 (나)의 핵상을 각각 쓰시오.
- (2) (가)의 성별을 쓰시오.
- (3) (가)에서 상염색체의 수를 쓰시오.

06 다음에서 설명하는 것은 무엇인지 쓰시오.

- (1) 생물의 한 세포에 들어 있는 염색체의 수, 크기, 모양 등의 외형적인 특징
- (2) 한 세포에 들어 있는 염색체의 구성을 상대적인 수로 나타낸 것
- (3) 성을 결정하는 데 관여하는 유전자가 있는 염색체

07 그림은 어떤 사람의 핵형을 분석한 결과를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오. (단, 제시된 염색체이상 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

보기

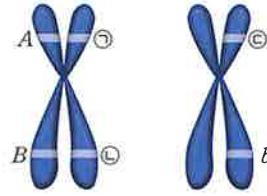
- ㄱ. 염색체 수는 47개이다.
- ㄴ. 이 사람은 여자이다.
- ㄷ. 이 사람에게는 염색체수이상으로 인한 다운증후군이 나타난다.

08 다음은 사람의 염색체와 유전자 구성에 대한 설명이다.

(㉠)의 같은 위치에 있으면서 한 가지 형질에 대해 같거나 다른 표현형이 나타나게 하는 유전자를 (㉡)라고 한다. (㉠) 중 하나는 아버지로부터, 다른 하나는 어머니로부터 물려받은 것이다.

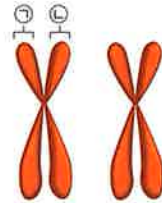
㉠과 ㉡에 알맞은 말을 각각 쓰시오.

09 그림은 어떤 동물의 세포에서 크기와 모양이 같은 염색체 중 1쌍을 나타낸 것이다.



이 동물의 유전자형이 $AaBb$ 일 때, ㉠~㉢에 알맞은 유전자를 각각 쓰시오.

10 그림은 어떤 사람의 체세포에서 쌍을 이루고 있는 염색체를 나타낸 것이다.



- (1) ㉠과 ㉡의 유전정보가 같은지 또는 다른지 쓰시오.
- (2) ㉠, ㉡과 같은 각각의 가닥을 무엇이라고 하는지 쓰시오.

11 다음은 염색체에 대한 설명이다.

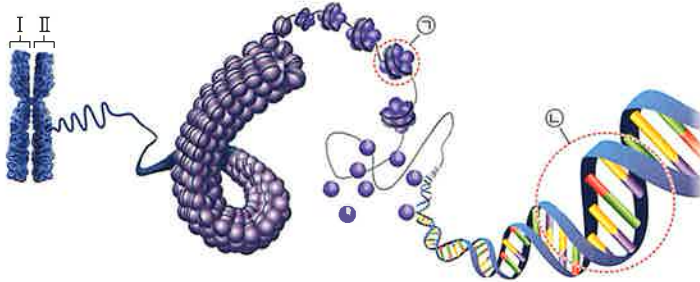
세포분열이 시작될 때 각 염색체는 2개의 가닥으로 되어 있는데, 각각의 가닥을 (㉠)라고 한다. 하나의 염색체를 구성하는 두 (㉠)는 DNA가 (㉡)되어 만들어진 것이므로 유전정보가 같다.

㉠과 ㉡에 알맞은 말을 각각 쓰시오.

개념 적용 문제

▶ 염색체의 구조

01 그림은 염색체의 구조를 나타낸 것이다.



▶ 염색체는 DNA와 히스톤으로 구성되며, 세포분열 초기에는 2개의 가닥으로 되어 있다. 각각의 가닥을 염색분체라고 하며, 한 염색체를 구성하는 두 염색분체는 세포주기 중 간기에 DNA가 복제되어 만들어진 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

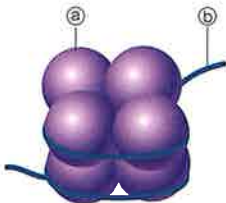
보기

- ㄱ. I 과 II의 유전정보는 같다.
- ㄴ. ㉠은 뉴클레오솜이다.
- ㄷ. ㉡은 뉴클레오타이드로 구성된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 염색체, DNA, 유전자의 관계

02 그림은 뉴클레오솜의 구조를, 표는 염색체와 유전체의 특징을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 DNA와 히스톤 중 하나이고, ㉢과 ㉣은 각각 염색체와 유전체 중 하나이다.



구분	특징
㉢	한 생명체의 모든 유전정보를 포함한다.
㉣	?

▶ 염색체의 단위체는 뉴클레오솜이다. 뉴클레오솜은 DNA가 히스톤을 휘감아 형성된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

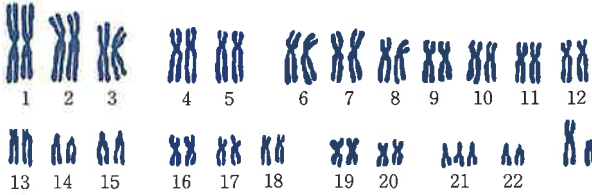
보기

- ㄱ. ㉠의 단위체는 아미노산이다.
- ㄴ. ㉢은 염색체이다.
- ㄷ. ㉣에는 ㉠과 ㉡가 모두 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ **핵형분석**

03 그림은 어떤 사람의 핵형을 분석한 결과를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

보기

- ㄱ. 이 사람의 상염색체는 22개이다.
- ㄴ. 상염색체의 염색분체는 90개이다.
- ㄷ. 핵형분석을 통해 이 사람의 유전자에서 일어난 돌연변이를 확인할 수 있다.

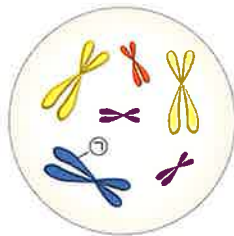
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 핵형은 염색체의 수, 크기, 모양 등 외형적인 특징을 말하며, 분열 중인 세포의 염색체를 관찰하여 확인할 수 있다. 정상인 사람의 염색체는 23쌍이다.

➤ **상동염색체와 핵상**

04 표는 서로 다른 동물 A와 B의 체세포 1개에 들어 있는 염색체 수를, 그림은 A와 B 중 한 동물의 세포에 들어 있는 모든 염색체를 나타낸 것이다. ㉠은 성염색체와 상염색체 중 하나이고, A와 B의 성염색체 구성은 암컷이 XX, 수컷이 XY이며, A와 B의 성별은 서로 다르다.

동물	염색체 수
A	12
B	6



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

보기

- ㄱ. 그림은 B의 세포이다.
- ㄴ. B의 핵상은 n 이다.
- ㄷ. ㉠은 성염색체이다.
- ㄹ. A는 수컷이다.

- ① ㄱ, ㄷ ② ㄴ, ㄷ ③ ㄴ, ㄹ ④ ㄱ, ㄴ, ㄹ ⑤ ㄱ, ㄷ, ㄹ

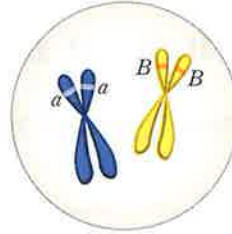
➤ X염색체와 Y염색체는 크기와 모양 등의 특징이 서로 다르지만, 세포분열 시 접합하여 쌍을 이루므로 상동염색체로 간주한다.

➤ 사람의 염색체와 대립유전자

- 05** 사람의 유전형질 (가)는 대립유전자 A 와 a 에 의해 결정되고, (나)는 대립유전자 B 와 b 에 의해 결정된다. 표는 어떤 가족 구성원의 체세포 1개당 A, a, B, b 의 DNA 상대량을, 그림은 이 가족의 구성원 중 한 명의 세포 I에 들어 있는 염색체 중 일부를 나타낸 것이다.

➤ 아들은 아버지로부터 Y 염색체를 받고, 딸은 아버지로부터 X염색체를 받는다.

구성원	DNA 상대량			
	A	a	B	b
어머니	?	1	?	2
아버지	2	?	1	0
딸	1	?	?	㉠
아들	?	1	?	1



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, A, a, B, b 각각의 1개당 DNA 상대량은 10이다.)

보기

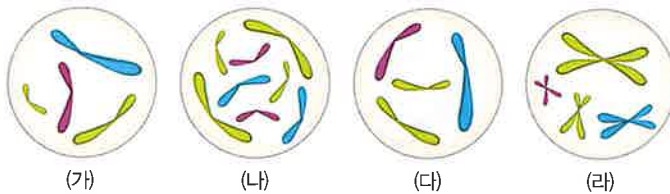
- ㄱ. (가)의 유전자는 성염색체에 있다.
 ㄴ. I은 아들의 세포이다.
 ㄷ. ㉠은 1이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 핵형과 성염색체구성

- 06** 그림은 세포 (가)~(라) 각각에 들어 있는 모든 염색체를 나타낸 것이다. (가)~(라) 각각은 핵상이 $2n$ 인 생물 A~C의 세포 중 하나이며, B와 C는 같은 종이다. A~C의 성염색체 구성은 암컷이 XX, 수컷이 XY이고, C는 수컷이다.

➤ 핵형은 생물종의 고유한 특성이다. 핵형이 같으면 같은 종이고, 핵형이 다르면 다른 종이다. 또한 세포에서 쌍을 이루는 염색체 중 모양과 크기가 다른 염색체가 없으면 그 생물은 암컷이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

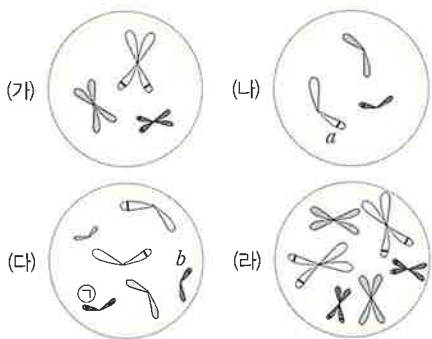
보기

- ㄱ. A는 수컷이다.
 ㄴ. (나)는 B의 세포이다.
 ㄷ. (라)의 $\frac{\text{성염색체 수}}{\text{염색체 수}} = \frac{1}{4}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

▶ 상동염색체와 대립유전자

07 그림은 같은 종의 동물($2n=6$)인 개체 I과 II의 세포 (가)~(라) 각각에 들어 있는 모든 염색체를, 표는 (가)~(라)에서 유전자 A, a, B, b 의 유무를 나타낸 것이다. 이 동물의 어떤 유전형질은 2쌍의 대립유전자 A 와 a, B 와 b 에 의해 결정된다. (가)~(라) 중 2개는 I의 세포이고, 나머지 2개는 II의 세포이다. I은 수컷, II는 암컷이고, 이 동물의 성염색체는 암컷이 XX, 수컷이 XY이다. ㉠은 B 와 b 중 하나이다.



세포	대립유전자			
	A	a	B	b
(가)	○	?	○	㉠
(나)	?	○	?	?
(다)	?	?	?	○
(라)	○	㉡	×	?

(○: 있음, ×: 없음)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오. (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

보기

- ㄱ. (가)는 I의 세포이다.
- ㄴ. ㉠은 B 이다.
- ㄷ. ㉡와 ㉢은 모두 '○'이다.

▶ 핵상과 대립유전자

08 표는 어떤 남자 P의 생식세포 I~IV에서 대립유전자 ㉠~㉣의 유무를 나타낸 것이다. 유전형질 (가)는 2쌍의 대립유전자 H 와 h, R 과 r 에 의해, (나)는 대립유전자 T 와 t 에 의해 결정되고, ㉠~㉣은 각각 H, h, r, T 중 하나이다. (가)의 유전자는 11번 염색체에, (나)의 유전자는 X염색체에 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오. (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

세포	대립유전자			
	㉠	㉡	㉢	㉣
I	×	○	×	○
II	×	?	○	?
III	?	×	○	○
IV	×	?	?	×

(○: 있음, ×: 없음)

▶ 핵상이 $2n$ 인 세포에는 대립유전자 쌍이 모두 있고, 핵상이 n 인 세포에는 쌍을 이루는 두 대립유전자 중 하나만 있다. 또한, 같은 염색체에 있는 유전자는 함께 유전되는 경향이 있다.

보기

- ㄱ. ㉠은 r 이다.
- ㄴ. I과 III에 모두 X염색체가 있다.
- ㄷ. P의 (가)의 유전자형은 $HhRR$ 이다.



HIGH TOP

3권

생명
과학

정답과 해설

III 생명의 연속성과 다양성

1 유전정보와 생명의 연속성

01 유전자와 염색체

중요 개념 체크

- 11쪽 1 염색체, 뉴클레오솜 2 (1) ○ (2) ○ (3) ×
14쪽 1 핵형 2 (1) ○ (2) ○ (3) ×

탐구 확인 문제

15쪽

- ③, ⑤
- 성염색체가 X염색체 하나뿐이다.(터너증후군)
- 핵형은 염색체의 수, 모양, 크기 등의 특징을 말하는 것으로, 생물의 고유한 특성이다.
[바로알기] ③ 염색체 수가 같더라도 모양이나 크기가 다르면 핵형이 다르다.
⑤ 핵형분석으로 염색체 수나 구조의 이상을 확인할 수 있지만, 유전자 이상은 확인할 수 없다.
- 성염색체로 X염색체 1개만을 가지므로 터너증후군을 나타낸다. 정상인 경우 체세포에서 성염색체 수는 1쌍(2개)이다.

16번 실전 문제 풀이보기

17쪽

당나귀의 털색 유전자는 멜라닌 합성효소를 암호화한다. 갈색 털 유전자를 가진 당나귀는 많은 수의 멜라닌 합성효소를 만들어 많은 양의 멜라닌을 합성하고, 그 결과 털색이 갈색을 띠게 된다. 흰색 털 유전자를 가진 당나귀는 이와 반대로 적은 수의 멜라닌 합성효소를 만들어 적은 양의 멜라닌을 합성함으로써 털색이 흰색을 띠게 된다. 당나귀의 털색을 결정하는 유전자의 염기서열이 서로 달라도 같은 아미노산을 지정하는 염기서열이라면 합성되는 단백질이 같을 수도 있지만, 그렇지 않은 경우에는 다를 수도 있다. 그 결과 발현되는 형질 또한 달라진다.

[바로알기] ㄱ. 유전자는 세포분열 전 간기의 S기에 복제된다.

[정답] ⑤

개념 기본 문제

20~21쪽

- 01 ㉠ 히스톤, ㉡ 뉴클레오솜 02 ㄱ, ㄷ 03 (1) 뉴클레오솜 (2) 유전체 (3) ㉠, ㉡, ㉢ 04 (1) (가) 남자, (나) 여자 (2) ㉠ X염색체, ㉡ Y염색체 (3) 44개 (4) 2개 (5) (가) 23쌍, (나) 23쌍 05 (1) (가) $2n$, (나) n (2) 암컷 (3) 4개 06 (1) 핵형 (2) 핵상 (3) 성염색체 07 ㄱ, ㄷ
08 ㉠ 상동염색체, ㉡ 대립유전자 09 ㉠ A, ㉡ B, ㉢ a
10 (1) 같다. (2) 염색분체 11 ㉠ 염색분체, ㉡ 복제

- 01 염색체는 유전정보를 담고 있는 세포 내 구조로, DNA가 히스톤을 휘감아 형성된 뉴클레오솜이라는 단위체로 이루어져 있다. 수많은 뉴클레오솜이 연결되어 꼬이고 응축되어 염색체 구조를 이룬다.
- 02 ㄱ. 염색체는 DNA와 히스톤으로 구성된다.
[바로알기] ㄴ. 세포가 분열할 때는 염색체가 더 응축된 형태가 되므로 딸세포에게 유전정보를 정확하게 분배하여 전달할 수 있다.
ㄷ. 하나의 염색체에는 수많은 유전자가 있다.
- 03 (1), (2) 염색체를 구성하는 물질인 ㉡은 뉴클레오솜으로 DNA와 히스톤으로 구성되어 있다. 한 생명체의 유전정보가 저장되어 있는 DNA 전체를 나타낸 ㉠은 유전체이다. ㉠은 DNA에서 유전정보를 저장한 부분인 유전자이다. (3) 유전체(㉠)에는 한 생명체의 유전정보가 모두 포함되어 있다. 하나의 염색체에는 수많은 뉴클레오솜(㉡)이 있고, 하나의 뉴클레오솜에는 수많은 유전자(㉠)가 있다. 따라서 각각 하나씩 비교했을 때 유전물질의 양은 유전체(㉠) > 뉴클레오솜(㉡) > 유전자(㉠)이다.
- 04 (1) (가)는 모양과 크기가 다른 성염색체를 가지므로 성염색체 구성이 XY인 남자이고, (나)는 모양과 크기가 같은 성염색체를 가지므로 성염색체 구성이 XX인 여자이다.
(2) X염색체가 Y염색체보다 크므로 ㉠은 X염색체, ㉡은 Y염색체이다.
(3), (4) (가)와 (나)는 모두 총 46개의 염색체를 가지며, 그 중 44개는 상염색체이고 나머지 2개는 성염색체이다.
(5) (가)와 (나) 모두 상동염색체를 23쌍씩 갖는다. X염색체와 Y염색체는 모양과 크기가 다르지만, 세포분열 시 쌍을 이루어 접합하므로 상동염색체로 간주한다.

05 (1) (가)는 모든 염색체가 쌍을 이루고 있으므로 $2n$, (나)는 염색체들이 쌍을 이루고 있지 않으므로 n 이다.

(2) (가)는 사람과 성결정 방식이 동일하고, 모든 상동염색체의 크기와 모양이 서로 같으므로 성염색체 구성이 XX인 암컷이다.

(3) (가)에서 성염색체는 2개이므로 나머지 4개의 염색체가 상염색체이다.

06 (1) 한 생물종의 세포에 있는 전체 염색체의 수, 크기, 모양 등의 특징을 핵형이라고 한다. 세포분열 중기의 염색체를 이용하여 크기에 따라 정렬하면 핵형을 알 수 있다.

(2) 한 세포에 들어 있는 염색체의 구성을 상대적인 수로 나타낸 것을 핵상이라고 한다. 염색체가 쌍을 이루고 있으면 $2n$, 쌍을 이루고 있지 않으면 n 으로 표시한다.

(3) 성결정에 관여하는 유전자를 포함하고 있어서 성별에 따라 구성이 다른 염색체를 성염색체라고 한다. 사람의 성염색체에는 X염색체와 Y염색체가 있으며, Y염색체가 있으면 남자, X염색체만 있으면 여자이다.

07 가. 이 사람의 한 세포가 갖고 있는 총 염색체 수는 47개이고, 이중 상염색체는 45개, 성염색체는 2개이다.
 나. 이 사람의 핵형분석 결과에서 21번 염색체가 3개인 염색체수 이상을 확인할 수 있으며, 따라서 이 사람은 다운증후군이 나타난다.

[바로알기] 나. 성염색체 구성이 XY이므로 이 사람은 남성이다.

08 상동염색체 쌍을 이루는 두 염색체는 부모로부터 하나씩 물려받은 것이다. 상동염색체의 같은 위치에는 특정 형질을 결정하는 데 관여하는 유전자가 있는데, 이를 대립유전자라고 한다. 상동염색체에서 대립유전자는 같을 수도 있고 다를 수도 있다.

09 ㉠과 ㉡은 하나의 염색체가 복제되어 형성된 염색분체에 위치한 유전자이므로 ㉠은 A, ㉡은 B이다. 이 동물의 유전자형이 AaBb이고 왼쪽 염색체에는 대립유전자 a와 b가 없으므로, 상동염색체의 A와 같은 위치에 있는 ㉢은 a이다.

10 ㉠과 ㉡은 하나의 염색체가 복제되어 형성된 두 염색분체이므로 ㉠과 ㉡의 유전정보는 같다.

11 세포분열 전 간기의 S기에 DNA가 복제되므로 세포분열이 시작될 때의 염색체는 유전정보가 같은 두 가닥의 염색분체로 구성된다.

개념 적용 문제

22~25쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ② 04 ① 05 ③ 06 ③

07 가, 나 08 가, 나, 다

01 가. I과 II는 한 염색체를 이루는 두 염색분체로, DNA 복제를 통해 형성되었으므로 동일한 유전정보를 가진다.

나. ㉠은 DNA와 히스톤으로 구성된 뉴클레오솜이다.

다. ㉡은 DNA의 일부를 나타내며, DNA는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 결합한 뉴클레오타이드로 구성된다.

02 가. ㉢은 히스톤이며, 단백질의 단위체는 아미노산이다.

다. 염색체는 DNA(㉠)와 히스톤(㉢)으로 구성된다.

[바로알기] 나. ㉠은 한 생명체의 모든 유전정보인 유전체이므로, ㉡은 염색체이다.

03 나. 핵형분석 결과에 따라 상염색체는 45개이고, 염색체가 모두 복제된 상태이므로 상염색체의 염색분체는 90개이다.

[바로알기] 가. 이 사람은 21번 염색체를 3개 가지므로 상염색체는 45개이다.

다. 핵형분석을 통해 염색체의 수나 구조의 이상은 알 수 있지만 유전자돌연변이는 확인할 수 없다.

04 가. 그림에서 염색체가 6개이므로 그림은 B의 세포이다.

다. ㉠과 크기와 모양이 같은 염색체가 없으므로 ㉠은 성염색체이다.

[바로알기] 나. 염색체 중 4개는 크기와 모양이 같은 것끼리 쌍을 이루고, 2개는 크기와 모양이 다르다. 따라서 B는 핵상이 $2n$ 이며, 성염색체 구성이 XY인 수컷이다.

ㄷ. B가 수컷이므로 A는 암컷이다.

05 어머니의 체세포에서 b의 상대량이 2이므로 어머니는 B를 갖지 않고, 아버지의 체세포에서 A의 상대량이 2이므로 아버지는 a를 갖지 않는다. (나)의 유전자형이 어머니는 bb, 아버지는 B이므로 B와 b는 X염색체에 있다. a와 B가 있는 I을 가질 수 있는 사람은 딸뿐이므로, I은 딸의 세포이다.
 다. 딸은 아버지로부터 B가 있는 X염색체를, 어머니로부터 b가 있는 X염색체를 물려받았으므로 ㉠은 I이다.

[바로알기] 가. 아버지의 (가)의 유전자형은 AA이므로 (가)의 유전자는 상염색체에 있다.

나. (나)의 유전자는 X염색체에 있으므로, 아들은 어머니로부터 b가 있는 X염색체를 받는다. 즉, 아들은 B를 갖지 않으므로 I은 아들의 세포가 아니다.

- 06 핵형은 생물종의 고유한 특성이므로 같은 종인 B와 C는 핵형이 같다. (나)와 (라)는 보라색 염색체를 제외하고 염색체 모양과 크기가 같으므로 각각 B와 C의 세포 중 하나이고, 보라색 염색체는 성염색체이다. 따라서 (가)와 (다)는 A의 세포이다.

ㄱ. (가)와 (다)는 핵상이 n 이고 (가)와 (다)에서 모양과 크기가 서로 다른 염색체는 성염색체이므로, A는 수컷이다.

ㄴ. (나)는 모든 염색체가 쌍을 이루므로 암컷이다. (나)는 B 또는 C의 세포인데 C는 수컷이므로 (나)는 B의 세포이다.

[바로알기] ㄷ. (라)의 염색분체 수는 8이고, 성염색체 수는 1이므로 $\frac{\text{성염색체 수}}{\text{염색분체 수}} = \frac{1}{8}$ 이다.

- 07 ㄱ. 핵상이 $2n$ 인 (다)에서 쌍을 이루지 않는 염색체가 있으므로 (다)는 수컷이고 I의 세포이다. 또 (라)에서 모든 염색체가 쌍을 이루므로 (라)는 암컷이고 II의 세포이다. (라)에는 B가 없는데, (가)는 B를 가지므로 I의 세포이다.

ㄴ. (가)와 (다)는 모두 I의 세포인데 (가)가 B를 가지므로 (다)도 B를 가져야 한다. 따라서 ㉠은 B이다.

[바로알기] ㄷ. 핵상이 n 인 (가)는 B와 b 를 동시에 가질 수 없으므로 ㉡는 $\times$ 이다. 그리고 (나)와 (라)는 II의 세포이고 (나)는 a 를 가지므로 (라)도 a 를 가진다. 따라서 ㉢은 O이다.

- 08 생식세포 I~IV는 모두 핵상이 n 이고, H와 h는 상염색체에 있으므로 모든 세포는 H와 h 중 하나를 가진다. 따라서 I이 동시에 가지는 ㉠과 ㉡, I이 동시에 가지지 않는 ㉠과 ㉢, III이 동시에 가지는 ㉠과 ㉢은 H와 h의 조합이 될 수 없으며, H와 h가 될 수 있는 조합은 ㉠과 ㉡, ㉠과 ㉢이다. 이때 모든 경우에 포함되는 ㉠은 H 또는 h이며, 반대로 모든 경우에 포함되지 않는 ㉢은 r 또는 T라는 것을 알 수 있다. ㉡을 r이라고 가정해 보자. I과 III은 모두 r을 가지고 있는데, H 또는 h인 ㉠이 I에는 있지만 III에는 없다. 그러나 2쌍의 대립유전자 H와 h, R과 r은 같은 염색체(11번)에 있어 함께 유전되기 때문에, r을 가지는 생식세포는 H와 h 중 하나를 똑같이 가져야 한다. 따라서 ㉡은 r일 수 없으므로 T이다. 또한 ㉢을 r이라고 가정하면 ㉠과 ㉢은 각각 H와 h 중 하나가 된다. II와 III은 모두 r을 가지고 있는데 II는 ㉠을 가지지 않고 III은 ㉠을 가지지 않으므로 (II와 III이 H와 h 중 서로 다른 하나를 가지므로) 모순이다. 따라서 ㉢은 r일 수 없고, ㉠이 r이라는 것을 알 수 있다.
- ㄴ. ㉢은 T이고, T는 X염색체에 있으므로 I과 III에 모두 X염색체가 있다.

ㄷ. ㉠이 r, ㉢이 T이므로 ㉠과 ㉢은 각각 H와 h 중 하나이다. I~III이 ㉠을 가지거나 ㉢을 가지므로 H와 h에 대한 P의 유전자형은 Hh이다. ㉡을 갖는 I과 ㉢을 갖는 II 모두 r이 없으므로 P의 (가)의 유전자형은 HhRR이다.

02 유전정보의 전달

중요 개념 체크

27쪽 1 생식 2 무성생식, 유성생식 3 (1) $\times$ (2) $\circ$ (3) $\times$

33쪽 1 상동염색체, 염색분체

2 모세포와 동일한, 모세포의 절반인 3 연속성, 다양성

집중 분석 유제

35쪽

1 ㄱ, ㄴ

- 1 (가)에서 세포분열 결과 핵 1개당 DNA 상대량이 모세포의 절반으로 감소하였으므로 (가)는 감수분열의 DNA 상대량 변화를 나타낸 것이다. (나)에서 방추사가 동원체에 결합하고 염색분체가 세포의 양극으로 이동하고 있으므로 (나)는 감수 2분열 후기를 나타낸 것이다.

ㄱ. 구간 I에는 DNA 상대량이 2배로 증가하는 시기가 포함되므로 S기가 있다.

ㄴ. 구간 II는 DNA가 복제된 뒤부터 DNA 상대량이 처음으로 반감되기 전까지에 해당한다. 2가 염색체는 감수 1분열 전기에 형성되어 감수 1분열 후기에 분리되므로 II에서 2가 염색체를 관찰할 수 있다.

[바로알기] ㄷ. ㉡와 ㉢은 DNA가 복제되어 형성된 염색분체로, 부모 중 한 사람에게서 물려받은 것이다.

기본 문제

38~39쪽

- 01 ㄴ, ㄷ 02 (1) 유성생식 (2) 수정 03 (1) ㉠ G_2 기, ㉡ 분열기(M기), ㉢ G_1 기 (2) S기 (3) ㉠ 04 (1) G_1 기 세포: I, G_2 기 세포: III (2) II (3) G_1 기 05 (1) (가) 전기, (나) 후기, (다) 중기 (2) (가), (다), (나) (3) (가), (나), (다) 06 (다), (가), (라), (나), (마) 07 (1) 염색분체 (2) 같다.
- 08 ㉠ 전기, ㉡ 상동염색체, ㉢ 2가 염색체 09 (1) II (2) I: $2n$, II: $2n$, III: n , IV: n 10 (1) 감수 2분열 중기 (2) 핵상: n , 염색체 수: 4 (3) 8 11 ㉠ 23, ㉡ 46

01 무성생식은 암수 생식세포의 결합 없이 새로운 개체를 만드는 생식 방법이다.

나. 무성생식은 유성생식에 비해 과정이 단순하고 번식 속도가 빨라 안정적인 환경에서 유리한 번식 방법이다. 하지만 집단 내 유전적 다양성이 낮기 때문에 환경의 변화나 질병의 유행이 발생했을 때 멸종할 가능성이 높다.

다. 무성생식에서는 일반적으로 자신이 가진 모든 유전자를 자손에게 그대로 전달한다.

[바로알기] ㄱ. 세포분열을 하거나 몸의 일부를 분리하는 등의 방법으로 자손을 형성한다.

02 (1) 암수 생식세포가 결합하여 새로운 개체를 만드는 생식 방법을 유성생식이라고 한다.

(2) 암수 생식세포가 결합하는 과정을 수정이라고 한다.

03 (1) 체세포의 세포주기는 G_1 기, S기, G_2 기, 분열기(M기)의 순서로 진행된다. 따라서 S기 다음 단계인 ㉠은 G_2 기, 그 다음 단계인 ㉡은 분열기(M기)이고, ㉢은 다시 새로운 세포주기가 시작되는 G_1 기이다.

(2) DNA 복제는 간기의 S기에 일어난다.

(3) 염색체는 세포가 분열하는 시기에 응축된다.

04 G_1 기 세포는 DNA 복제가 일어나기 전이므로 DNA 상대량이 1인 I에 있고, G_2 기 세포는 DNA 복제 이후이므로 DNA 상대량이 2인 III에 있다. DNA 상대량이 1~2 사이인 II에 DNA 복제가 일어나는 세포가 있다.

05 (1), (2) 체세포분열의 분열기(M기)는 전기, 중기, 후기, 말기로 구분된다. (가)는 핵막이 사라지고 염색체가 응축되어 관찰되므로 전기의 세포이고, (나)는 염색체가 세포 양극으로 이동하고 있으므로 후기의 세포이다. (다)는 염색체가 세포 중앙에 배열되어 있으므로 중기의 세포이다. 따라서 세포분열이 일어나는 순서에 따라 나열하면 (가), (다), (나)이다.

(3) 체세포분열 과정에서 핵상은 그대로 유지된다.

06 체세포분열 과정은 간기와 분열기(M기)로 구분되고, 분열기는 다시 전기, 중기, 후기, 말기의 핵분열과 세포질분열로 구분된다. (가)는 전기, (나)는 후기, (다)는 간기, (라)는 중기, (마)는 말기이므로, 체세포분열 순서에 따라 나열하면 (다), (가), (라), (나), (마)이다.

07 (1) ㉠과 ㉢은 체세포분열 전기에 관찰되는 한 염색체를 이루는 두 염색본체이다.

(2) 염색본체는 DNA 복제를 통해 형성된 것이므로 ㉠과 ㉢의 유전정보는 동일하다.

08 2가 염색체는 감수 1분열 전기에 상동염색체가 접합하여 형성된다.

09 세포분열 결과 DNA 상대량이 모세포의 절반으로 줄어든 것으로 제시된 그림은 감수분열 과정에서의 DNA 상대량 변화를 나타낸 것이다. I은 DNA가 복제되어 DNA 양이 2배로 증가하기 전이므로 간기의 G_1 기가 포함되어 있고, II는 DNA가 복제된 뒤 감수 1분열로 DNA양이 반감되기 전의 구간이므로 간기의 G_2 기부터 감수 1분열 말기의 핵분열 전까지가 포함되어 있다. III은 복제된 DNA가 절반으로 줄어든 뒤 한 번 더 DNA양이 반감되기 전까지의 구간이므로 감수 2분열 전기에서 감수 2분열 말기 핵분열 전까지가, IV는 DNA양이 모세포의 절반으로 감소한 상태이므로 감수 2분열이 끝난 이후가 포함되어 있다.

(1) 2가 염색체는 감수 1분열 전기와 중기에 관찰된다.

(2) 감수분열 과정에서 핵상의 변화는 감수 1분열 시 일어난다. 따라서 감수 1분열 이전인 I과 II에서 핵상은 $2n$ 이고, 감수 1분열 이후인 III과 IV에서 핵상은 n 이다.

10 (1) 이 세포는 생식세포(정자) 형성 과정에 있으며, 상동염색체가 접합한 2가 염색체가 나타나지 않고 분리된 상태이므로 감수 2분열 중이다. 이때 염색체가 세포 중앙에 배열되어 있으므로 이 세포는 감수 2분열 중기가 진행 중이다.

(2) 상동염색체가 쌍을 이루지 않으므로 핵상은 n 이고 염색체 수는 4이다.

(3) 이 동물의 핵상은 $2n$ 이므로 체세포의 염색체 수는 그림의 2배인 8개이다.

11 사람의 체세포에는 46개의 염색체가 있으며, 감수분열 결과 형성된 생식세포에는 그 절반인 23개의 염색체만 존재한다. 두 생식세포가 결합하여 23쌍, 즉 46개의 염색체를 갖는 수정란이 형성된다. 따라서 감수분열은 각 세대에서 염색체 수를 일정하게 유지하는 데 필수적인 과정이다.

개념 적용 문제

40~45쪽

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

01 ㄱ. ㉠과 ㉢ 사이에서 DNA 상대량이 두 배로 증가하였으므로 ㉢이 S기이다. 세포주기는 G_1 기, S기, G_2 기, 분열기(M기)의 순서로 진행되므로, ㉠은 분열기(M기), ㉡은 G_1 기, ㉢은 G_2 기이다.

ㄴ. DNA 복제가 일어나는 시기는 S기(㉔)이다.

ㄷ. 사람의 체세포에 있는 염색체는 총 46개이고 DNA가 복제되어도 염색체 수는 변하지 않으므로, G₂기(㉕) 세포의 염색체 수는 46개이다.

02 ㄱ. II에서 DNA가 복제되므로 II는 S기이다.

ㄴ. 유전물질은 모든 세포주기의 세포에 있으므로 ㉔은 'O'이다.

[바로알기] ㄷ. I과 III은 각각 G₁기와 분열기(M기) 중 하나인데, I에서 핵막이 소실되지 않으므로 I은 G₁기이고 III은 분열기(M기)이다. 체세포분열에서는 염색분체가 분리된다.

03 ㄱ. 사람의 체세포분열 과정에서 세포의 핵상은 항상 2n이므로 I과 II에서 세포의 핵상은 같다.

ㄴ. (나)는 염색분체가 분리되어 양극으로 이동하므로 분열기 중 후기에 해당하며, II에서 관찰된다.

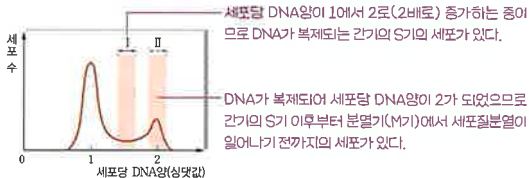
ㄷ. (나)에서 분리되는 것은 한 염색체를 이루는 두 염색분체이다. 따라서 ㉔에는 A가 있다.

04 그림에서 세포당 DNA양이 2배로 증가하고 있는 I에서는 간기의 S기 세포가 있고, 표에서 체세포에서 방추사가 나타나는 시기 A는 분열기(M기)이다. 따라서 A는 II, B는 I이다.

ㄷ. 간기의 S기(B)에서 DNA가 복제된다.

[바로알기] ㄱ. II는 A이다.

ㄴ. 핵막이 소실된 세포는 분열기(M기)에 관찰된다. I에는 분열기의 세포가 없으므로 핵막이 소실된 세포가 관찰되지 않는다.



05 ㄱ. A는 체세포분열 후기의 세포이다. 체세포분열 후기에는 염색체가 방추사에 연결되어 세포 양극으로 이동하고 있으므로, A에서 방추사가 관찰된다.

[바로알기] ㄴ. B는 체세포분열 중기 세포이다. ㉔은 S기, ㉕은 G₂기, ㉖은 분열기(M기)에 해당하므로 B는 ㉖에서 관찰된다.

ㄷ. 체세포분열 과정에서 염색체 수는 변하지 않으므로

$$\frac{\text{① 세포의 염색체 수}}{\text{② 세포의 염색체 수}} = 1 \text{이다.}$$

06 세포주기에서 핵막이 소실되는 시기와 염색체의 분리가 일어나는 시기는 분열기(M기)이다. 사람의 염색체는 히스톤과 DNA로 구성되어 있으므로, 모든 세포주기의 세포가 히스톤을 갖고 있다. 세포주기 중 가장 긴 시기는 G₁기이다. ㉔에서 DNA가 복제되므로 ㉔은 S기이고, (가)의 특징 중 ㉔에서 나타나는 특징의 개수는 1이다. (가)의 4가지 특징 중 한 가지만 나타나는 ㉕은 G₂기이다.

ㄷ. 사람 체세포의 핵상은 항상 2n이다.

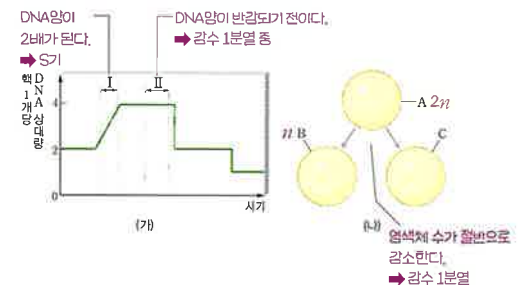
[바로알기] ㄱ. 분열기(M기)의 세포는 (가)에서 '핵막이 소실된다.', '히스톤을 갖는다.', '염색분체의 분리가 일어난다.' 총 3개의 특징을 가지므로 ㉔이다.

ㄴ. 체세포분열에서는 2가 염색체가 관찰되지 않는다.

07 ㄱ. I은 DNA 상대량이 2배로 증가하고 있으므로 DNA가 복제되는 간기의 S기에 해당한다. 이때 염색체 수는 변하지 않으므로 핵상이 2n인 동물에서 S기 세포의 핵상은 2n이다.

ㄴ. A와 B의 핵상이 다르므로 A의 핵상은 2n, B의 핵상은 n이고, (나)는 감수 1분열을 나타낸 것이다. 따라서 A는 감수 1분열이 완료되기 전 세포이므로 II에서 관찰된다.

[바로알기] ㄷ. 감수 1분열 결과 상동염색체가 분리되므로 B와 C에는 부모로부터 물려받은 상동염색체 쌍이 무작위로 나뉘어져 들어간다. 따라서 B와 C의 유전자 구성은 서로 다르다.



08 ㄱ. ㉔의 염색체 수는 23이고 A의 DNA 상대량은 2이므로 ㉔은 감수 2분열 중기 세포이다. 이때 염색체는 두 염색분체로 이루어져 있으므로 염색분체 수는 46이며, 상동염색체 쌍은 이미 분리되었으므로 성염색체 수는 1이다. 따라서 ㉔에서 $\frac{\text{성염색체 수}}{\text{염색분체 수}} = \frac{1}{46}$ 이다.

ㄴ. 이 사람의 유전자형이 Aa이므로 A와 a 중 하나를 갖지 않는 세포는 감수 2분열이 끝난 후에 나타난다. ㉔에서 A의 DNA 상대량이 0이므로 ㉔은 감수 2분열이 끝난 세포이고, 염색체 수는 모세포의 절반인 23이다.

[바로알기] ㉔. ⑤의 염색체 수는 46이므로 ⑤은 감수 1분열 중기의 세포이다. 이때 염색체는 복제된 상태이므로 a 의 DNA 상대량은 2이고, 유전자형은 $AAaa$ 이다.

- 09 ㄱ. (나)에서 2가 염색체가 세포 중앙에 배열되어 있으므로 (나)는 감수 1분열 중기 세포이다. 따라서 (나)는 Ⅱ에서 관찰된다.

㉔. 감수분열 과정에서 염색체 수가 절반으로 줄어든다. Ⅳ는 감수 2분열이 끝난 세포이므로 Ⅳ의 상염색체 수는 22, 성염색체 수는 1이다.

[바로알기] ㄴ. 감수 1분열에서는 상동염색체가 분리되고 감수 2분열에서는 염색분체가 분리된다. Ⅲ은 감수 1분열이 끝난 세포이므로 이미 상동염색체의 분리가 완료된 상태의 세포이다. Ⅲ에서 Ⅳ가 될 때에는 하나의 염색체를 구성하는 염색분체가 분리된다.



- 10 그림에서 Ⅰ은 G_1 기, Ⅱ는 감수 2분열 중기, Ⅲ은 감수 2분열이 완료된 세포이다. Ⅱ는 염색분체가 분리되기 전이므로 어떤 대립유전자가 있다면 2개씩 갖고 있어야(DNA 상대량이 2여야) 한다. ①에서 B 의 DNA 상대량과 ②에서 b 의 DNA 상대량이 모두 1이므로, ①과 ②은 Ⅱ가 될 수 없고 ③이 Ⅱ이다. ③에 A 가 있으므로 이 사람은 A 를 갖는다. 따라서 G_1 기 세포인 Ⅰ에도 A 가 있어야 하므로 Ⅰ은 ④, Ⅲ은 ⑤이다.

ㄴ. Ⅲ(⑤)에 B 가 있고 Ⅰ(④)에 b 가 있으므로 이 사람은 B 와 b 를 모두 갖는다. 그런데 Ⅲ에 B 가 있으므로 Ⅱ는 b 를 2개 가져야 하고, 따라서 ⑥는 2이다. 또한 A 와 a 는 상염색체에 있으므로 이 사람의 모든 세포는 A 와 a 중 적어도 1개는 갖고 있다. A 가 없는 ①은 a 를 1개 가져야 하고, 따라서 Ⅰ(④)은 a 를 1개 가지며 Ⅰ(④)에서 유전자형은 $AaBb$ 이다. 따라서 ③+⑥=3이다.

[바로알기] ㄱ. ①은 Ⅲ이다.

㉔. ①은 감수 2분열 중기 세포이므로 ①의 염색체 수는 23이고 염색분체 수는 46이다. ⑤은 G_1 기 세포이므로 ⑤의 성염색체 수는 2이다. 따라서 $\frac{\text{①의 염색분체 수}}{\text{⑤의 성염색체 수}} = \frac{46}{2} = 23$ 이다.

- 11 P 의 세포인 Ⅰ~Ⅲ에 대립유전자 ①~⑥이 모두 있으므로 P 는 A, a, B, b 를 모두 갖고 있다.

ㄱ. P 는 B 를 가지는데, Ⅲ에서 B 의 DNA 상대량이 0이고 A 의 DNA 상대량은 1이므로 Ⅲ은 감수 2분열이 완료된 세포이다. 따라서 Ⅲ에서 (가)의 유전자형은 Ab 이며, ①과 ②은 각각 A 와 b 중 하나이고 ③과 ④은 a 와 B 중 하나이다. ⑤이 A 라고 가정하면 ⑤이 b 가 되는데, Ⅰ에서 B 의 DNA 상대량이 2이므로 Ⅰ이 B 와 b 를 모두 갖는 셈이 된다. 하지만 Ⅰ은 ⑥을 가지지 않으므로 핵상이 n 이며, B 와 b 중 하나만 가져야 하므로 ⑤이 A 라는 가정은 모순이다. 따라서 ⑤이 A , ⑥이 b 이다.

[바로알기] ㄴ. Ⅰ에 대립유전자 중 하나(⑥)가 없으므로 Ⅰ은 핵상이 n 이고 감수 2분열 중기 세포이다. ③은 A 이므로 Ⅰ에는 A 가 있고, 감수 2분열 중기 세포는 염색분체가 분리되기 전이므로 ③은 2이다.

㉔. ③과 ④은 각각 a 와 B 중 하나인데, 핵상이 n 인 Ⅰ은 a 를 갖지 않아야 하므로 ③은 B 이고 ④은 a 이다. Ⅱ에서 A 의 DNA 상대량이 2이므로 Ⅱ는 A 를 갖고, a (④) 또한 갖고 있다. 따라서 P 에서 (가)의 유전자형은 $AaBb$ 이다.

- 12 Ⅰ에서 A 의 DNA 상대량이 4이므로 (가)의 유전자형은 AA 이다. Ⅳ는 a 의 DNA 상대량이 1이므로 a 를 가지며, Ⅰ과 Ⅳ는 서로 다른 개체의 세포이다. A 와 a 는 상염색체 위에 있는 대립유전자이므로 모든 세포는 A 와 a 중 하나를 가지며, Ⅱ에서 A 와 a 의 DNA 상대량인 ①은 0이 아니다. 따라서 ①은 1 또는 2이고, Ⅱ는 a 를 가지므로 Ⅰ과 Ⅱ도 서로 다른 개체의 세포이다. 따라서 Ⅰ과 Ⅲ, Ⅱ와 Ⅳ가 각각 같은 개체의 세포이다. 이때 Ⅰ과 Ⅲ이 같은 개체의 세포이므로 Ⅲ에서 ⑦은 0이 될 수 없다. 결국 ⑦과 ④은 0이 아니므로 ⑤이 0임을 알 수 있다. 이때 Ⅰ은 염색체가 복제된 상태의 세포이므로 B 의 DNA 상대량이 1일 수 없다. 따라서 ⑦은 2이고, ④은 1이다.

㉔. Ⅰ은 B 를 갖고, Ⅲ은 b 를 가지므로 Ⅰ과 Ⅲ은 2개의 X 염색체를 갖는 여자 Q 의 세포이다. Ⅰ에서 A 의 DNA 상대량이 4이므로 Q 에서 (가)의 유전자형은 AA 이고, Ⅰ과 Ⅲ에서 B 와 b 의 DNA 상대량이 각각 2이므로 Q 에서 (나)의 유전자형은 Bb 이다.

[바로알기] ㄱ. Ⅰ과 Ⅲ은 여자 Q 의 세포이고, Ⅱ와 Ⅳ는 남자 P 의 세포이다.

㉔. ⑤이 0, ⑥이 2이므로 ④은 1이다.

중단원 핵심/정리

46~47쪽

- | | | |
|----------|---------|---------|
| 1 히스톤 | 2 히스톤 | 3 뉴클레오솜 |
| 4 단백질 | 5 중기 | 6 상동염색체 |
| 7 상염색체 | 8 상동염색체 | 9 복제 |
| 10 간기 | 11 동일한 | 12 S기 |
| 13 상동염색체 | 14 염색분체 | |

통합 실전 문제

48~51쪽

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

- 01 크기와 모양이 같은 염색체끼리 짝을 지었을 때 (나)에 있는 모든 염색체가 쌍을 이루므로, (나)는 암컷의 세포이다. (다)에는 (나)에 없는 염색체가 있으므로 (다)는 수컷의 세포이다. (다)의 염색체에 A가 있으므로 (다)는 I의 세포이고, 따라서 (나)는 II의 세포이다.

ㄴ, (나)는 암컷의 세포이므로 II는 암컷이다.

[바로알기] ㄱ. (가)~(다) 중 수컷의 세포가 1개인데 (다)가 수컷의 세포이므로 (가)는 암컷의 세포이다. 따라서 (가)에는 Y염색체가 없다.

ㄴ, (나)는 ①의 유전자형이 aa이므로 II의 세포이다.

- 02 ㄱ. ①은 세포주기에서 S기를, ⑥는 염색체의 구조에서 DNA의 일부를 나타낸다. 간기의 S기(③)에 DNA(⑥)가 복제된다.

[바로알기] ㄴ. ①은 세포주기에서 G₂기를, ③은 염색체를 나타낸다. 염색체(③)는 분열기(M기)에 응축되어 현미경으로 관찰되므로 ①이 아닌 ③에서 관찰된다.

ㄴ. 체세포분열에서는 상동염색체가 접합하지 않으므로 상동염색체가 분리되는 단계가 없다.

- 03 ㄱ. G₁기의 세포 하나당 DNA 상대량은 1이므로 I에는 G₁기 세포가 있다.

ㄴ. G₂기는 DNA 복제가 일어나는 S기 이후의 단계로, 이때 세포 하나당 DNA 상대량은 2이다. DNA 상대량이 2인 세포는 (가)에서 (나)에서보다 많다.

[바로알기] ㄴ. (가)에 비해 (나)에서 DNA 상대량이 2인 세포의 수가 감소하였으므로, X는 G₁기에서 S기로 진행되는 것을 막는 물질이다.

- 04 ㄴ. (나)는 핵상이 n 이고 염색체가 3개이다. 따라서 핵상이 $2n$ 인 P의 체세포에 있는 총 염색체는 6개이다.

[바로알기] ㄱ. (나)는 두 가닥의 염색분체로 이루어진 염색체가 세포 중앙에 배열되어 있으므로 감수 2분열 중기에 관찰되는 세포이다. I은 DNA 상대량이 2인 구간이므로 DNA 복제 후 감수 1분열이 완료되기 전까지에 해당한다. 따라서 (나)는 I에서 관찰되지 않는다.

ㄴ. II는 감수 1분열이 끝난 이후이므로 II에서 핵상이 $2n$ 인 세포가 관찰되지 않는다.

- 05 P의 세포인 (가)~(라)에 ①~④가 모두 있으므로 P는 ①~④(A, a, B, d)을 모두 갖는다. 또한 (가)~(라)에서 각각 ①~④ 중 갖지 않는 대립유전자가 있으므로 (가)~(라)의 핵상은 n 이다. 따라서 (가)~(라)는 A와 a를 동시에 가질 수 없으므로, (다)에서 동시에 갖고 있는 ①과 ③이 A와 a가 될 수는 없다. 또한 한 세포에 A와 a가 모두 없을 수도 없으므로 ①과 ①, ①과 ③, ①과 ④, ③과 ③이 A와 a일 수도 없다. 그러므로 ①~④ 중 A와 a로 가능한 쌍은 ①과 ③이다. 그리고 남은 ②과 ④는 각각 B와 d 중 하나이다. (다)는 핵상이 n 이므로 (다)에 있는 대립유전자의 상대량은 모두 1이거나 DNA가 복제되어 모두 2이어야 한다. 그런데 (다)에서 $A+b+d$ 의 값이 3이므로 이때 A, b, d의 DNA 상대량은 각각 1이고, (다)의 유전자형은 Abd 이다. ③이 B라고 가정하면 표에 따라 (다)는 B를 가지는 것이 되어 b를 가질 수 없으므로 (다)의 유전자형이 Abd 라는 점에 모순된다. 따라서 ②은 d이고 ④은 B이다. 또한 ③이 a라고 가정하면 (다)는 a를 가지는 것이 되어 A를 가질 수 없으므로 (다)의 유전자형이 Abd 라는 점에 모순이다. 따라서 ③은 A이고 ④은 a이다.

- 06 (가)~(라)의 유전자형을 정리하면 (가)는 ABD , (나)는 $AAbbDD$, (다)는 Abd , (라)는 $aabbdd$ 이다. 이 중 하나의 G₁기 세포로부터 생성될 수 있는 두 세포는 (가)와 (라)이므로 I로부터 생성된 두 세포는 (가)와 (라)이다.

ㄱ. 그림은 III로부터 형성된 세포인데 A와 D를 함께 가지고 있다. 따라서 A와 d를 함께 갖는 (다)는 III로부터 정자가 형성되는 과정에서 관찰되지 않는다.

ㄷ. (다)는 I, III으로부터 형성된 세포가 아니므로 II로부터 형성된 세포이고, (나)는 III으로부터 형성된 세포이다. (다)의 유전자형이 Abd 이므로 II로부터 형성된 정자에는 유전자형이 aBD 인 것이 있다.

바로알기 ㄴ. (나)는 III으로부터 형성되었다.

07 ㄱ. DNA 복제는 간기의 S기에 일어나므로, DNA 복제 시작을 억제하는 물질 X를 처리하면 G_1 기 세포 수는 증가하고 S기 세포 수는 감소한다. 따라서 A는 S기이고 D는 G_1 기이다.

ㄷ. 세포주기는 G_1 기, S기, G_2 기, 분열기(M기) 순으로 진행되며 A가 S기, D가 G_1 기이므로, B는 G_2 기, C는 분열기(M기)이다. 분열기(M기)에는 염색체가 응축되어 나타나므로 C에 염색체가 관찰되는 시기가 있다.

바로알기 ㄴ. 세포주기는 ㉠ 방향으로 진행된다.

08 암컷의 생식세포에는 항상 X염색체가 있기 때문에 생식세포 1개당 염색체 수 - X염색체 수는 일정하고, 수컷의 생식세포에는 X염색체 또는 Y염색체가 있기 때문에 생식세포 1개당 염색체 수 - X염색체 수는 일정하지 않다. 따라서 (나)는 수컷이고 (다)는 암컷이다.

ㄴ. ㉠은 (나)와 (다) 모두에게 나타나는 값이므로 ㉠은 수컷 (나)에서 형성되는 생식세포에 X염색체가 있는 경우에 해당하는 값이다. '생식세포 1개당 염색체 수 - X염색체 수'는 생식세포에 X염색체가 있는 경우보다 X염색체가 없는 경우가 더 크기 때문에 ㉠ < ㉡이다.

바로알기 ㄱ. (나)는 생식세포 1개당 염색체 수 - X염색체 수의 값이 두 가지이므로 수컷, (다)는 한 가지이므로 암컷이다.

ㄷ. (가)의 핵상과 염색체 수는 $2n=㉠$ 이므로, (가)에서 감수분열로 형성되는 생식세포의 핵상과 염색체 수는 $n=\frac{㉠}{2}$ 이다. 따라서 (가)의 생식세포에서 나타날 수 있는 염색체 조합은 최대 $2^{\frac{㉠}{2}}$ 가지이다.

09 P는 유전자형이 $AABbDd$ 이므로 A를 갖지 않는 세포가 없다. 따라서 A의 DNA 상대량이 0인 (나)는 Q의 세포이다. (다)는 핵상이 $2n$ 이고 B의 DNA 상대량이 2이므로 P에서 DNA 복제가 일어난 S기 이후 G_2 기의 세포~감수 1분열이 완료되기 전 또는 Q에서 DNA 복제가 일어나기 전 G_1 기 세포이다.

만약 (다)가 P의 세포일 경우 D의 DNA 상대량이 2가 되어야 하는데, ㉠이 2일 경우 핵상이 n 인 (라)에서 A의 DNA 상대량이 2가 되어 모순이다. 따라서 (다)는 Q의 G_1 기 세포이고, 나머지 (가)와 (라)는 P의 세포이다.

ㄴ. (라)는 P의 세포이다.

ㄷ. P의 세포인 (라)는 핵상이 n 이고 D의 DNA 상대량이 1이므로 감수 2분열이 끝난 세포이다. 따라서 ㉡은 1이다.

바로알기 ㄱ. (가)는 P의 세포이고 D의 DNA 상대량이 2이므로 (가)는 DNA 복제 이후의 핵상이 $2n$ 인 세포이거나 핵상이 n 인 세포이다. (가)가 핵상이 $2n$ 인 세포라면 (가)의 유전자형이 $AABb_$ 이므로 A와 B의 DNA 상대량이 모두 ㉠으로 같을 수 없다. 따라서 (가)는 핵상이 n 인 세포이다.

10 ㉠은 유전자, ㉡은 DNA, ㉢은 염색체, ㉣은 유전체이다.

ㄱ. ㉠은 유전자이다.

ㄴ. DNA(㉡)를 구성하는 단위체는 뉴클레오타이드이다.

ㄷ. 염색체(㉢)는 세포주기 중 분열기(M기)에 관찰된다.

11 ㄴ. (가)~(라)에서 7번 염색체와 X염색체는 1개 또는 2개이고 Y염색체는 없거나(0개) 1개이다. (나)에서 ㉠+㉡이 4이므로 ㉠과 ㉡은 각각 7번 염색체와 X염색체 중 하나이고, (나)는 여자의 체세포이다. 또한 (라)에서 ㉠+㉡은 3이므로 ㉠과 ㉡ 중 7번 염색체가 있으며, (라)는 남자의 체세포이다. 따라서 ㉢은 7번 염색체, ㉣은 X염색체, ㉤은 Y염색체이다.

ㄷ. (나)는 여자의 체세포이고, ㉠은 X염색체, ㉡은 Y염색체이므로 ㉢은 2이다.

바로알기 ㄱ. (가)는 Y염색체(㉣)와 7번 염색체(㉢) 개수의 합이 2인데, Y염색체가 없고 7번 염색체가 2개인 여자의 체세포는 (나)이므로 (가)는 Y염색체 1개와 7번 염색체 1개를 가진 정자이다.

12 (나)는 염색체가 세포 양극으로 이동하고 있으므로 체세포 분열 후기, (다)는 염색체가 세포 중앙에 배열되어 있으므로 체세포분열 중기의 세포이다.

ㄴ. 체세포분열 순서에 따라 (다)(체세포분열 중기의 세포)가 (나)(체세포분열 후기의 세포)보다 먼저 나타난다.

바로알기 ㄱ. t_1 은 DNA 상대량이 2배가 되기 전으로, 간기(G_1 기)에 해당한다. (나)와 (다)는 모두 분열기(M기)의 세포이므로 (나)는 t_1 에서 관찰되지 않는다.

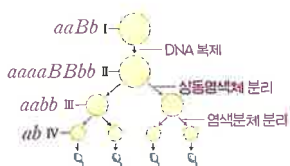
ㄷ. 체세포분열 과정에서 2가 염색체는 형성되지 않는다.

- 13 II와 III의 염색체는 복제된(염색분체가 분리되지 않은) 상태이므로 유전자의 DNA 상대량이 1일 수 없다. 따라서 II와 III은 각각 ㉠과 ㉡ 중 하나이다. 또한 P의 세포로부터 정자가 형성되는 과정에 나타나는 I~IV 중에 B를 가지는 것이 있으므로 P는 B를 가진다. 그러므로 P의 G₁기 세포에서 DNA가 복제되어 형성된 II는 B를 가진다. 따라서 B의 DNA 상대량이 0인 ㉠은 III이고, ㉡은 II이다.

ㄱ. I과 IV는 각각 ㉠과 ㉡ 중 하나인데, 감수 2분열이 완료된 IV에서 유전자의 DNA 상대량이 2일 수 없으므로 a의 DNA 상대량이 2인 ㉡은 I, ㉠은 IV이다.

ㄴ. I(㉡)에서 a의 DNA 상대량은 2, B의 DNA 상대량은 1이므로 P의 (가)의 유전자형은 aaBb이다.

바로알기 ㄷ. ㉡은 II이고 P의 (가)의 유전자형은 aaBb이므로 II에서 a의 DNA 상대량은 4이다.



- 14 ㄱ. 이 사람의 유전자형은 Aa이므로 A의 DNA 상대량이 0인 세포는 핵상이 n이다. (가)~(라) 중 핵상이 n인 경우는 감수 2분열 중기의 세포뿐이므로 (가)는 감수 2분열 중기 세포이다.

ㄴ. (나)에서 A의 DNA 상대량이 1이므로 (나)는 DNA 복제가 일어나기 전인 G₁기 세포이다. 따라서 (나)에서는 핵막이 관찰된다.

바로알기 ㄷ. (다)와 (라)에서 A의 DNA 상대량이 2이므로 (다)와 (라)는 각각 G₂기 세포와 감수 1분열 중기 세포 중 하나이다. 이때 (다)에서 핵막이 관찰되므로 (다)는 G₂기 세포, (라)는 감수 1분열 중기 세포이다. 따라서 (라)의 핵상은 2n이다.

- 15 t₂는 감수 2분열 중기 세포로, 대립유전자의 DNA 상대량이 0 또는 2이므로, A, B, d의 DNA 상대량을 더한 값이 짝수이다. 따라서 t₂는 II이고, A, B, d 중 적어도 하나의 DNA 상대량은 2이다. 또한 t₂에서 b를 가지고 있고, t₃에서 D를 가지지 않으므로, t₁에서 G₁기 세포는 b와 d를 가지고 있다. 만약 t₁이 I이라면 이 사람에서 (가)의 유전자형은 aabbDd가 되어야 하는데, 이 경우 II에서 A, B, d의 DNA 상대량을 더한 값이 4가 나올 수 없어 모순이다. 따라서 t₁은 III이고, t₃은 I이다.

- 16 ㄱ. t₂는 감수 2분열 중기이므로 II는 감수 1분열 이후의 세포이다.

ㄴ. II는 t₂의 세포이고 b를 가지므로 B를 가지지 않는다. 또한 A, B, d의 DNA 상대량을 더한 값이 4이므로 A와 d의 DNA 상대량이 각각 2이다. 그러므로

A의 DNA 상대량
d의 DNA 상대량은 1이다.

ㄷ. t₁의 세포에서 A, B, d의 DNA 상대량의 합이 1일 수 없으므로 I은 t₃의 세포이다. 또한 정자(㉠)는 t₃의 세포이며 D를 갖지 않으므로 d를 갖는다. 이때 I의 A, B, d의 DNA 상대량을 더한 값이 1이므로 정자(㉠)는 d를 갖고, A와 B를 모두 갖지 않는다. 그런데 수정란에서 A, B, d의 DNA 상대량의 합이 3이라는 것은 난자(㉡)에 A와 B가 있음을 뜻한다.

HIGHT TOP 최고의 문제

52~53쪽

1 ㄴ, ㄷ 2 ㄱ, ㄷ 3 ㉢ 4 ㉡

1

자료분석

세포	대립유전자	①	②	③	④
I	×	○	○	○	2n
II	○	×	×	×	n
III	○	×	○	○	n

(○: 있음, ×: 없음)



- 표에서 I과 III은 ㉠~㉣ 중 3개의 유전자를 가지고 있으므로 핵상이 2n인 세포이고, II는 I 또는 III에 있는 대립유전자 중 갖지 않는 것이 있으므로 핵상이 n인 세포이다. 이때 III에는 ㉢이 없지만 I과 II에는 ㉢이 있으므로 I과 II는 같은 사람의 세포이고 III은 다른 사람의 세포이다.
- 그림에서 ㉠과 ㉡은 모양과 크기가 서로 다른 염색체에 있으므로 대립유전자일 수 없다. 한편 ㉠과 ㉡은 핵상이 n인 II에 모두 없으므로 두 유전자가 대립유전자가 되기 위해서는 II가 Y염색체만 가진 남자의 생식세포이고 ㉢과 ㉣은 X염색체에 있어야 한다. 이때 남자는 ㉢과 ㉣ 중 하나만 가져야 하는데, I과 III에 모두 ㉢과 ㉣이 있으므로 ㉢과 ㉣은 서로 대립유전자가 아니다. 따라서 ㉣은 ㉠과 대립유전자 쌍을 이룬다.

㉠과 ㉡이 대립유전자이고 I에는 두 대립유전자 중 ㉣만 있으므로, ㉢이 상염색체에 있다면 I은 동형접합성으로 유전자형이 ㉣㉣이고 II에도 ㉢이 있어야 한다. 하지만 II에는 ㉢이 없으므로 ㉣은 X염색체에 있는 유전자이고, II

는 X염색체를 갖지 않는 세포이다. 여자의 세포는 모두 적어도 하나의 X염색체를 가지고 있기 때문에 X염색체가 없는 II는 남자의 세포이고, 따라서 I도 남자의 세포이다. P는 여자이므로 남자의 세포인 I과 II는 Q의 세포이다.

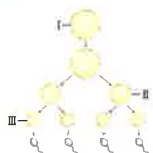
ㄴ. I과 II는 남자(Q)의 세포이고 ㉠과 ㉡은 X염색체에 있는 유전자이므로, ㉡을 갖고 있는 I에는 X염색체가 1개 있다. X염색체가 없는 II는 감수 1분열이 끝난 이후의 세포이고, I에 ㉠이 없으므로, II는 ㉠과 ㉡을 모두 가지지 않는다. 따라서 ㉡는 '×'이다.

ㄷ. ㉠과 ㉡이 서로 대립유전자이므로, ㉢은 ㉡의 대립유전자이다.

바로 알기 ㄱ. I은 남자인 Q의 세포이다.

2

자료 분석



세포	DNA 상대량을 더한 값	
	A+a	B+b
II ㉠	㉡2	㉡2
I ㉡	㉡2	㉡1
III ㉢	㉡1	㉡0

- II는 DNA가 복제된 뒤 한 번의 분열을 마친 감수 2분열 중기의 세포이고, III은 감수 2분열을 마친 세포이다.
- G₁기의 상염색체와 같이 두 대립유전자가 쌍을 이루는 경우에는 두 대립유전자의 DNA 상대량을 더한 값이 2, 상염색체에서와 같이 대립유전자가 쌍을 이루지 않고 하나만 있는 경우에는 1, 해당 대립유전자가 Y염색체에 있고 Y염색체를 가진 생식세포인 경우에는 0이다.
- 이 사람은 감수분열 결과 정자를 형성하므로 남자이다. 따라서 I, II, III에서 각각 대립유전자 쌍의 DNA 상대량을 더한 값은 다음과 같다.

구분	대립유전자 쌍이 상염색체에 있는 경우	대립유전자 쌍이 Y염색체에 있는 경우
I	2	1
II	2	2 또는 0
III	1	1 또는 0

III은 II가 아닌 다른 감수 2분열 중기 세포로부터 만들어지므로, II와 III 중 하나에만 X염색체가 있다. 만약 III에 X염색체가 있다면 ㉢가 I이고, 따라서 ㉠이 III이다. 이때 II에 X염색체가 없어야 하므로 ㉡이 II, ㉢이 I이고, 따라서 ㉢가 2, ㉡는 0이다. 하지만 이 경우 I에서는 A와 a가 X염색체에 있고, II에서는 B와 b가 X염색체에 있게 되어 모순이다. 따라서 II에 X염색체가 있고, ㉢는 2이며 ㉠이 II이다. 이때 III에 X염색체가 없으므로 ㉡이 III, ㉢이 I이고, ㉢는 1, ㉡는 0이며 B와 b가 X염색체에 있다.

ㄱ. II는 ㉠이다.

ㄷ. II(㉢)가 B 또는 b를 가지므로 II에 X염색체가 있다.

III은 I에서 감수 1분열이 일어나 생성된 두 딸세포 중 II가 아닌 세포에서 감수 2분열이 일어나 형성된 딸세포이므로 III에는 X염색체가 아닌 Y염색체가 있다.

바로 알기 ㄴ. ㉡는 1이다.

3

자료 분석

- A와 a, B와 b가 서로 다른 염색체에 있는 경우 유전자형이 AaBb인 식물을 자가교배하면 자손의 표현형은 A₋B₋ : A₋bb : aaB₋ : aabb = 9 : 3 : 3 : 1이다. 그러나 F에서 A₋B₋ : A₋bb : aaB₋ : aabb = 9 : 3 : 3 : 1이 아니므로 A와 a, B와 b는 같은 염색체에 연관되어 있다.
- A와 B, a와 b가 각각 같은 염색체에 있는 경우 자손의 표현형은 A₋B₋ 또는 aabb만 나올 수 있고, A와 b, a와 B가 각각 같은 염색체에 연관되어 있는 경우 자손의 표현형은 A₋B₋, aaB₋, A₋bb만 나올 수 있다. 그런데 F에서 표현형은 A₋B₋, A₋bb, aaB₋, aabb가 모두 있으므로 교차가 일어났음을 알 수 있다. 따라서 A와 b를 갖는 생식세포 또는 a와 B를 갖는 생식세포는 교차가 일어나 형성된 것이고, P에서 A와 B, a와 b는 같은 염색체에 연관되어 있다.
- 생식세포 형성 과정에서 교차가 한 번만 일어난다면 재조합되지 않은 유전자형(AB, ab)과 재조합된 유전자형(Ab, aB)은 각각 서로 같은 수가 생긴다. 따라서 생식세포에서 나타나는 유전자형의 비율 AB : Ab : aB : ab = n : 1 : 1 : n이라고 나타낼 수 있다. 이 생식세포를 자가교배하여 얻은 F에서 나타나는 유전자형의 비율 A₋B₋ : A₋bb : aaB₋ : aabb = ㉠ : ㉡ : ㉢ : ㉣이라고 하면, ㉣은 n²이다. 표에 따라 F에서 A₋B₋ : A₋bb : aaB₋ : aabb = 192 : 17 : 17 : 640이므로 n은 8이다.

ㄱ. P에서 A와 B는 같은 염색체에 연관되어 있다.

ㄴ. P에서 형성된 생식세포가 Ab 또는 aB를 가질 확률은

$$\frac{1+1}{n+1+1+n} = \frac{2}{2n+2} = \frac{1}{n+1}$$
 이다. n은 8이므로 $\frac{1}{n+1} = \frac{1}{9}$ 이다.

바로 알기 ㄷ. F에서 Aabb가 나타나려면 생식세포의 유전자형이 Ab와 ab여야 하고, 각각의 유전자형이 자가교배한 P의 두 개체 모두에게서 올 수 있다(Ab × ab 또는 ab × Ab). 따라서 F에서 나타나는 유전자형의 비례식에서 Aabb의 상대비는 1 × n × 2 = 2n이다. 또한 F에서 aaBB가 나타나려면 자가교배한 P의 두 개체 모두 유전자형이 aB이어야 하므로, F가 aaBB일 때의 상대비는 1 × 1 = 1이다. 따라서 F에서 Aabb : aaBB = 2n : 1 = 16 : 1이다.

표현형	개체 수	표현형	개체 수
$A_B_D_$	153	$aaB_D_$	72
A_B_dd	72	aaB_dd	3
$A_bbD_$	51	$aabbD_$	24
A_bbdd	24	$aabbbdd$	1

- $A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 153 + 72 : 51 + 24 : 72 + 3 : 24 + 1 = 9 : 3 : 3 : 1$ 이므로 A와 a, B와 b는 서로 다른 염색체에 있다. 또한 $B_D_ : B_dd : bbD_ : bbdd = 153 + 72 : 72 + 3 : 51 + 24 : 24 + 1 = 9 : 3 : 3 : 1$ 이므로 B와 b, D와 d도 서로 다른 염색체에 있다. 따라서 A와 a, D와 d는 같은 염색체에 연관되어 있다.
- $A_D_ : A_dd : aaD_ : aadd = 153 + 51 : 72 + 24 : 72 + 24 : 3 + 1 = 51 : 24 : 24 : 1$ 이다. 교차로 인해 생성되는 생식세포의 비율은 교차가 일어나지 않은 생식세포의 비율보다 낮으므로, AD 또는 ad를 갖는 생식세포는 교차로 형성된 것이다. 따라서 P에서 A와 d, a와 D가 연관되어 있다.
- 생식세포에서 나타나는 유전자형의 비는 $Ad : AD : ad : aD = n : 1 : 1 : n$ 으로 나타낼 수 있다. F의 표현형이 A_dd 인 경우는 P의 생식세포 Ad 와 ad 또는 Ad 와 $ad(Ad \times Ad, Ad \times ad)$ 가 수정되었을 때 가능하며, 이때 상대비는 $n \times n + n \times 1 \times 2 = n^2 + 2n$ 이다. 따라서 표현형이 A_dd 인 자손과 $aadd$ 인 자손의 비는 $(n^2 + 2n) : 1 = 24 : 1$ 이므로 n 은 4이다.

ㄴ. P에서 형성된 생식세포가 ABd 를 가질 확률은 Ad 를 가질 확률과 B 를 가질 확률의 곱이다. Ad 를 가질 확률은 $\frac{n}{n+1+1+n} = \frac{4}{10} = \frac{2}{5}$ 이고, B 를 가질 확률은 $\frac{1}{2}$ 이므로 구하고자 하는 확률은 $\frac{2}{5} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{5}$ 이다.

[바로 알기] ㄷ. P에서 A와 d, a와 D가 각각 같은 염색체에 있다.

ㄷ. F가 $AaBbDd$ 일 확률은 $AaDd$ 일 확률과 Bb 일 확률의 곱이다. $AaDd$ 는 생식세포가 $AD \times ad$ 또는 $ad \times AD$, $Ad \times aD$ 또는 $aD \times Ad$ 일 때 만들어진다. 따라서 $AaDd$ 일 확률은

$$\left(\frac{1}{2n+2} \times \frac{1}{2n+2} + \frac{n}{2n+2} \times \frac{n}{2n+2} \right) \times 2 = \frac{n^2+1}{2(n+1)^2} = \frac{17}{50}$$

이고 Bb 일 확률은 $\frac{1}{2}$ 이므로, $AaBbDd$ 일 확률은 $\frac{17}{50} \times \frac{1}{2} = \frac{17}{100}$ 이다. 또한 F에서 $aabbDD$ 일 확률은

$aaDD$ 일 확률과 bb 일 확률의 곱이다. $aaDD$ 는 $aD \times aD$ 에서만 나타나므로 F가 $aaDD$ 일 확률은

$$\frac{n}{2n+2} \times \frac{n}{2n+2} = \frac{4}{10} \times \frac{4}{10} = \frac{4}{25}$$

이고 bb 일 확률은 $\frac{1}{4}$ 이

므로 $aabbDD$ 일 확률은 $\frac{4}{25} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{25}$ 이다. 따라서 $AaBbDd : aabbDD = 17 : 4$ 이다.

110 확장 문제

54~57쪽

- (1) G_1 기에 세포는 세포를 구성하는 물질과 세포소기관을 합성하며 다음 단계로 진입할 준비를 한다.
- (2) DNA를 구성하는 단위체인 뉴클레오타이드를 합성하고 이를 연결하여 주형 DNA 가닥에 상보적인 염기서열을 가진 폴리뉴클레오타이드 가닥을 만드는 과정은 DNA를 복제하는 시기인 S기에 가장 활발하게 일어난다.
- (3) G_1 기 세포에서는 세포의 성장에 필요한 물질대사가 활발하게 일어난다. G_1 기에는 세포가 분열할지를 결정하는 확인점이 있는데, 이 확인점을 통과하지 못하면 세포는 S기로 가지 못하므로 DNA 복제를 시작할 수 없다.

[모범 답안] (1) 세포가 가장 오래 머무르는 단계는 G_1 기이다. 이때 세포를 구성하고 성장하는 데 필요한 물질이 합성되며, 세포 성장과 물질대사가 일어나기 때문에 오랜 시간이 필요하다.

(2) 세포주기에서 DNA 합성이 가장 활발하게 일어나는 시기는 S기로, 그림에서 S기에 있는 세포의 비율이 35 %이므로 전체 세포가 1000개일 때 S기의 세포는 약 350개이다. S기에는 DNA가 복제되고, 물질대사가 일어나 세포가 성장하며 히스톤이 합성되어 안정적인 염색체 구조가 유지될 수 있도록 한다.

(3) 세포가 G_1 기에 지나치게 오래 머물러 있으면 S기의 DNA 복제와 G_2 기의 세포분열 준비 과정이 제때 일어나지 못한다. 이로 인해 세포분열 속도가 느려지고 세포 수 증가가 억제되어 해당 세포가 구성하고 있는 조직의 기능 유지에 장애가 생길 뿐만 아니라 성장이나 재생이 지연될 수 있다. 이는 상처 회복이나 성장기 조직의 발달과 같은 세포분열이 중요한 때에 문제를 일으킬 수 있다. 세포주기에는 세포분열의 진행 여부를 판단하는 확인점이 있는데, 이러한 현상은 G_1 기의 확인점을 통과하지 못했을 때 발생할 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	G ₁ 이라고 쓰고, 그 까닭을 G ₁ 기에 일어나는 생 명활동과 관련지어 설명한 경우	30
	G ₁ 이라고 썼지만, 그 까닭을 과학적으로 설명하 지 못한 경우	15
(2)	S기임을 언급하며 세포 수를 정확히 계산하고, S기에 일어나는 생명활동을 두 가지 이상 옳게 설명한 경우	40
	세포 수만 옳게 쓴 경우	20
(3)	G ₁ 기에 머무는 시간이 길 때 발생할 수 있는 문 제를 세포주기와 관련지어 추측하고, 이러한 현 상이 나타나는 까닭을 확인점의 역할을 언급하 여 설명한 경우	30
	G ₁ 기에 머무는 시간이 길 때 발생할 수 있는 문 제를 썼지만, 그 까닭을 과학적 근거 없이 추상 적으로 설명한 경우	15

- 2 염색체의 구조는 진핵세포에서 유전정보의 효율적인 저장과 전달을 이해하는 핵심이다. 진핵세포에서 이와 같은 염색체의 구조는 DNA의 염기서열에 담긴 유전정보를 안전하게 보관하고 유전자발현을 효율적으로 조절하게 할 뿐 아니라, 세포분열 시 염색체 분배의 정확성을 높여 생명활동을 원활히 유지할 수 있도록 한다.

모범답안 진핵세포에서 DNA는 히스톤을 휘감아 뉴클레오솜을 형성한다. 여러 개의 뉴클레오솜이 연결되고 고도로 응축되어 세포분열이 일어날 때에는 막대 모양의 염색체가 관찰된다. 이러한 구조는 긴 DNA가 작은 핵 안에 담길 수 있게 하여 유전정보의 효율적인 저장에 기여한다. 또한 특정 유전자의 발현을 조절하거나 세포분열 시 염색체의 정확한 분배가 가능하게 한다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	염색체의 구조를 정확한 용어를 사용하여 쓰고, 생물학적 이점에 대해 옳게 설명한 경우	100
	염색체의 구조만 옳게 설명한 경우	50
(2)	염색체 구조의 일부만 옳게 설명한 경우	20

- 3 (1) 21번 염색체가 3개인 염색체수이상을 다운증후군이라고 한다. 다운증후군은 감수분열 과정에서의 염색체비분리 현상으로 인해 발생할 수 있다.
(2) 염색체 수가 많아지면 염색체에 있는 유전자가 발현되어 합성되는 단백질의 양 또한 증가한다.

모범답안 (1) 이 사람은 21번 염색체를 3개 갖고 있으므로 다운증후군(염색체수이상)이 나타난다. 이러한 현상은 감수 1분열에서 상동염색체가 또는 감수 2분열에서 염색분체가 제대로 분리되지 않아 발생할 수 있다. 염색체비분리현상으로 형성된 정자나 난자에는 정상 생식세포보다 많은 수의 염색체가 포함되어 있고, 암수 생식세포가 수정되어 만들어진 자손은 체세포에 47개의 염색체를 가지게 된다.
(2) 21번 염색체가 3개로 늘어나면 이 염색체에 있는 유전자들의 발현량이 증가하여 특정 단백질의 양이 과도하게 많아진다. 이는 뇌 발달이나 심장 형성 등에 영향을 미쳐 지적장애, 심장 기형, 특징적인 얼굴 형태 등이 나타난다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	다운증후군(21번 염색체의 염색체수이상)이라고 쓰고, 감수분열 중 상동염색체나 염색분체의 분리의 이상(염색체비분리현상)과 관련지어 원인을 옳게 설명한 경우	50
	다운증후군(21번 염색체의 염색체수이상)이라고만 쓴 경우	20
(2)	다운증후군의 증상을 쓰고, 염색체 수가 증가함에 따라 유전자발현과 단백질합성이 증가함을 옳게 설명한 경우	50
	염색체수이상에 의한 문제나 그 까닭 중 하나만 옳게 설명한 경우	20

- 4 **모범답안** (1) 염색체가 세포 중앙에 배열되어 있으므로 이 세포는 체세포분열 중기의 세포이다. 이때 염색체는 아직 분리되지 않아 복제된 두 염색분체가 중심질 부위에서 붙어 있는 형태이다. 이 시기에는 방추사가 동원체에 부착하여 세포 중앙에 배열되면서 염색체가 분리될 준비를 마친다.
(2) 체세포분열 중기 이후 세포는 후기로 진입하는데, 이때 동원체에 부착한 방추사의 길이가 짧아지면서 염색분체를 세포의 양극으로 끌어당긴다. 동원체는 방추사가 부착하는 지점이므로 염색체가 정확하게 분리되도록 하는 핵심 구조이다.
(3) 방추사 부착 오류나 동원체 기능 이상이 발생하면, 염색분체의 분리가 정상적으로 이루어지지 않아 일부 딸세포의 염색체 수가 과도하게 많아지거나 적어질 수 있다. 이는 생명 유지에 필요한 유전자의 불균형을 초래하므로 유전자가 상이나 세포 사멸로 이어질 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	중기라고 쓰고, 염색체의 위치와 행동을 옳게 설명한 경우	30
	중기라고만 쓴 경우	15
(2)	염색체가 분리되는 과정을 방추사와 동원체의 상호작용과 관련지어 옳게 설명한 경우	30
	염색분체가 분리되어 이동하는 것만 설명한 경우	15
(3)	염색분체의 분리 오류와 그로 인해 발생할 수 있는 문제를 옳게 설명한 경우	40
	염색분체의 분리 오류만 설명한 경우	20

- 5 진핵생물은 염색체의 구조 덕분에 전사 과정에서 DNA의 특정 부위만 노출되도록 하여 유전자발현 조절 기구의 접근을 정교하게 조절할 수 있다. 또한 진핵생물의 유전체는 원핵생물보다 훨씬 방대한 양의 비암호화 DNA와 조절 영역을 포함하고 있어 동일한 유전체를 지닌 세포라도 서로 다른 유전자를 발현하며 다양한 세포로 분화할 수 있다.

모범답안 진핵생물에서는 DNA가 히스톤에 감겨 뉴클레오솜을 형성하고, 여러 개의 뉴클레오솜이 연결되어 꼬이고 응축되어 염색체를 형성한다. 이러한 구조는 유전정보를 안정적으로 보관하는 데 유리하며, 특정 유전자를 전사 기구에 노출시켜 유전자발현을 조절할 수 있게 한다. 이를 통해 진핵생물은 복잡한 기관과 조직을 형성하고, 환경에 적응하여 생존 능력을 향상시킬 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
	염색체의 구조와 이점을 바탕으로 옳게 설명한 경우	100
	염색체의 구조만 옳게 설명한 경우	50

- 6 (1) 감수 1분열 결과 염색체 수가 모세포의 절반으로 줄어들고, 핵상은 $2n$ 에서 n 으로 변한다. 연속해서 일어나는 감수 2분열 결과 염색체 수와 핵상은 그대로 유지된다.

모범답안 (1) ㉠ 12, ㉡ 6, ㉢ $2n$, ㉣ n , ㉤ n

- (2) 감수 1분열 후기에는 염색체가 방추사에 이끌려 세포의 양극으로 이동 중이므로 명확한 염색체 수, 염색분체 수, 핵상을 판단하기 어렵다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	㉠~㉤을 모두 옳게 쓴 경우	50
	㉠~㉤ 중 일부만 옳게 쓴 경우	25
(2)	염색체의 행동과 관련지어 옳게 설명한 경우	50
	염색체의 행동에 대한 언급 없이 설명한 경우	25

- 7 (1) 교차는 감수분열 과정에서 상동염색체 사이에 유전자가 교환되는 현상으로, 하나의 염색체에 위치한 유전자 간의 거리가 멀수록 교차가 더 자주 일어난다.

- (2) 유전자 간의 교차율을 알면 유전자 사이의 거리를 추정하고 이를 선 형태의 염색체 위에 표시하여 유전자 지도를 그릴 수 있다. 유전자 지도는 DNA를 구성하는 유전자의 위치와 상대적인 거리를 나타낸 지도로, 유전 질환의 진단 및 치료, 신약 개발 등에 중요하게 활용된다.

모범답안 (1) 교차율은 유전자 사이의 거리에 비례하므로, 교차율이 높을수록 거리가 멀다고 추정할 수 있다. 따라서 교차율이 가장 높은 A와 C 사이가 가장 멀고(22%), A-B(17%), B-C(5%) 순으로 멀다. 따라서 유전자는 A-B-C(또는 C-B-A)의 순서로 배열되어 있을 것이다.

- (2) 유전자 간 교차율을 바탕으로 유전자 사이의 거리를 추정하면 유전자 지도를 작성할 수 있다. 이는 질병을 일으키는 유전자의 위치를 추적하거나, 원하는 형질을 발현시킬 수 있는 유전자 조합을 찾는 품종 개량 연구에 활용할 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	유전자 사이의 거리와 교차율 사이의 관계를 바탕으로 교차율을 비교하여 유전자의 배열 순서를 옳게 설명한 경우	50
	유전자의 배열 순서만 옳게 설명한 경우	25
(2)	유전자 사이의 거리를 조사하여 활용할 수 있는 연구 분야를 옳게 설명한 경우	50
	생명과학 연구 분야만 나열한 경우	20

- 8 세포주기의 특정 단계에서 사이클린의 농도가 변하며, 이 변화에 따라 Cdk(사이클린 의존성 인산화효소)의 활성을 조절하여 세포주기가 다음 단계로 진입할지 또는 세포주기를 멈출지가 결정된다.

모범답안 사이클린은 일정 수준 이상의 농도가 되면 Cdk와 결합하여 MPF를 형성한다. MPF는 세포가 분열기(M기)로 진입하도록 유도하고, 방추사 형성, 핵막 붕괴 등 세포분열을 위한 준비를 하도록 한다. 분열기(M기) 후반에는 사이클린이 분해되어 MPF의 활성이 감소하고, 이로 인해 세포는 분열을 마무리하고 G₁기로 진입할 수 있게 된다. MPF의 활성이 계속 유지되면 세포는 분열을 완료하지 못하고, 세포주기 이상이 발생할 수 있다.

채점 기준	배점(%)
사이클린의 농도 변화에 따른 Cdk와의 결합과 MPF 형성으로 세포주기 조절 과정을 옳게 설명한 경우	100
사이클린과 MPF의 농도 변화와 세포주기를 함께 설명하였으나 조절 과정을 연관 짓지 못한 경우	50

2 생물의 진화와 다양성

01 진화의 원리

중요 개념 체크

- 61쪽 1 진화 2 (1) × (2) ○
 62쪽 1 유전자풀 2 대립유전자빈도
 67쪽 1 돌연변이 2 (1) ○ (2) × (3) ○
 71쪽 1 상동기관 2 (1) ○ (2) ○ (3) ○

73쪽

능반 실전 문제 풀어보기

㉠만 있던 세균 집단에서 돌연변이가 일어나 ㉡이 나타났다. 항생제를 투여한 후에는 항생제에 내성이 있는 ㉡이 살아남을 확률이 높아 그렇지 않은 ㉠보다 더 많은 자손을 남겨 ㉡의 비율이 높아졌다.

ㄱ, ㄴ. ㉠과 ㉡은 항생제가 있는 환경에서 적응하는 능력이 다르고, 항생제에 내성이 있는 세균은 ㉡이다.

ㄷ. 생물집단에 다양한 변이가 있고, 그 중 생존에 유리한 형질을 지닌 개체가 그렇지 않은 개체보다 많이 살아남아 자손을 남기는 현상이 나타났으므로, 자연선택이 일어났음을 알 수 있다.

정답 ㉡

개념 기본 문제

76~77쪽

- 01 ㉠ 적응, ㉡ 진화 02 변이 03 (라), (나), (다), (가)
 04 (1) (다), (가), (라), (나) (2) 자연선택 05 ㄴ, ㄷ 06
 (1) (개체군) 진화 (2) 유전자풀 07 (1) $\frac{3}{5}$ (2) $\frac{2}{5}$ 08 (가)
 자연선택, (나) 돌연변이, (다) 유전자흐름 09 (1) 유전적 부동 (2) 창시자효과, 병목효과 10 (가) 상동기관, (나) 상사기관 11 (가) 진화발생학적 연구, (나) 분자진화학적 연구

01 진화란 생물이 오랜 시간에 걸쳐 환경에 적응하면서 유전적 특성이 변하고 새로운 종이 출현하는 현상을 말한다. 이러한 변화는 개체 수준이 아닌 개체군의 유전적 구성의 변화로 나타난다.

02 같은 종의 생물 개체 사이에서 나타나는 형질 차이를 변이라고 하며, 이는 돌연변이, 유성생식, 유전자재조합 등에 의해 발생한다. 변이는 개체의 생존 및 번식에 영향을 미치며 자손에게 전달될 수 있다.

03 다윈은 갈라파고스 제도의 각 섬에 사는 핀치들이 먹이의 종류에 따라 서로 다른 부리 모양을 가지고 있다는 점을 관찰하여, 변이와 자연선택에 의한 진화를 주장하였다. 다윈이 주장한 진화의 원리에 따르면 진화의 과정은 변이와 과잉 생산, 생존경쟁, 자연선택의 순으로 이루어진다.

04 (1) 갈라파고스 제도에서 핀치의 진화는 자연선택에 의해 일어났으며, 자연선택에 의한 진화는 변이와 과잉 생산, 생존경쟁, 자연선택의 순서로 일어난다.

(2) 다양한 변이가 있는 생물집단에서는 생존에 유리한 형질을 가지는 개체가 그렇지 않은 개체보다 더 많이 살아남아 형질을 자손에게 전달하는데, 이를 자연선택이라고 한다.

05 ㄴ. 변이는 돌연변이, 유전자재조합 등에 의해 발생한다.

ㄷ. 같은 형질을 가진 개체라도 서식하는 환경이 다르면 각 환경에 적응하여 살아남을 확률이 차이가 생긴다. 따라서 환경에 따라 자연선택의 결과 또한 달라질 수 있다.

[바로알기] ㄱ. 자연선택된 개체의 형질을 나타내는 변이는 유전정보에 의해 나타나는 것이므로 자손에게 전달된다.

06 (1) 유전학의 발달에 따라 변이가 발생하고 그 변이가 자손에게 유전되는 원리를 과학적으로 설명할 수 있게 되면서, 오늘날에는 진화를 한 개체군의 유전적 구성이 변하는 현상으로 정의한다.

(2) 한 개체군을 이루는 모든 개체들의 대립유전자 전체를 유전자풀이라고 한다. 개체군의 유전적 구성은 유전자풀에 의해 결정된다.

07 (1) 대립유전자의 빈도는 $\frac{\text{해당 대립유전자의 수}}{\text{전체 대립유전자의 수}}$ 로 구할 수 있다. 이 집단에서 A와 a에 대한 전체 대립유전자 수는 20이고 A의 수는 12이므로, A의 대립유전자빈도는 $\frac{12}{20} = \frac{3}{5}$ 이다.