

20. 다음은 동물 종 P의 두 집단 I과 II에 대한 자료이다.

- I과 II를 구성하는 개체 수는 같고, I과 II 중 한 집단만 하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단이다.
- P의 몸 색과 날개 길이를 결정하는 유전자는 서로 다른 상염색체에 있다.
- 몸 색은 검은색 몸 대립유전자 A와 회색 몸 대립유전자 A\*에 의해 결정되고, 날개 길이는 긴 날개 대립유전자 B와 짧은 날개 대립유전자 B\*에 의해 결정된다. A는 A\*에 대해 완전 우성이고, B와 B\* 사이의 우열 관계는 분명하다.
- I과 II에서 A의 빈도는 서로 같고, I과 II에서 B의 빈도는 서로 같다.
- $\frac{A^* \text{를 가진 개체들을 합쳐서 구한 } A^* \text{의 빈도}}{A \text{를 가진 개체들을 합쳐서 구한 } A \text{의 빈도}}$ 는 I에서  $\frac{3}{4}$ 이고, II에서  $\frac{2}{3}$ 이다.
- $\frac{\text{짧은 날개 개체 수}}{\text{검은색 몸 개체 수}}$ 는 I에서  $\frac{8}{9}$ 이고, II에서  $\frac{3}{8}$ 이다.
- I과 II 각각에서 B의 빈도는 B\*의 빈도보다 크다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>—
- ㄱ. 유전자형이 BB\*인 개체는 짧은 날개를 갖는다.
  - ㄴ. 회색 몸 개체 수는 I에서가 II에서보다 많다.
  - ㄷ. I과 II 중 하디·바인베르크 평형이 유지되는 집단에서  $\frac{\text{긴 날개 개체 수}}{\text{검은색 몸 대립유전자 수}} = \frac{2}{5}$ 이다.

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

## @ 생명과학2 lomos3

교육과정의 성취기준인 '진화의 증거 사례를 조사하여 변이와 자연선택에 의한 진화의 원리를 설명할 수 있다.'를 근거로 출제된 문항을 해결하기 위해, 집단 I 과 II 중 어느 집단이 하디-바인베르크 평형이 유지되는 집단인지 찾아야 합니다.

먼저 집단 I 이 하디-바인베르크 평형이 유지되는 집단이라 해 보겠습니다. 집단 I 에서 우성인 검은색 몸 대립유전자 A와 열성인 회색 몸 대립유전자 A\*의 상대 빈도를 차례대로  $p$ ,  $q$ 라 하겠습니다.

대립유전자 빈도	A(우성)		A*(열성)		합
	$p$		$q$		1
유전자형 빈도	AA	AA*	A*A*	합	
	$p^2$	$2pq$	$q^2$	1	

A\*를 가진 개체들을 합쳐서 구한 A\*의 빈도는 하디-바인베르크 법칙이 성립할 경우 집단 I 에서 아래와 같이 정리할 수 있습니다.

$$\frac{2pq + 2 \times q^2}{2 \times (2pq + q^2)} = \frac{p + q}{2p + q} = \frac{1}{1 + p}$$

A를 가진 개체들을 합쳐서 구한 A의 빈도 역시 하디-바인베르크 법칙이 성립할 경우 집단 I 에서 아래와 같이 정리할 수 있습니다.

$$\frac{(2 \times p^2) + 2pq}{2 \times (p^2 + 2pq)} = \frac{p + q}{p + 2q} = \frac{1}{1 + q}$$

이제 문제의 조건 중 5번째 동그라미의 조건을 이용하여 집단 I 에서 몸 색의 대립유전자 빈도와 유전자형 간 양적 관계를 결정할 수 있습니다.

$$\frac{1 + q}{1 + p} = \frac{2 - p}{1 + p} = \frac{3}{4}, p = \frac{5}{7}, q = \frac{2}{7}$$

대립유전자 빈도	A(우성)		A*(열성)		합
	$\frac{5}{7}$		$\frac{2}{7}$		1
유전자형 빈도	AA	AA*	A*A*	합	
	$\frac{25}{49}$	$\frac{20}{49}$	$\frac{4}{49}$	1	

문제의 조건 중 6번째 동그라미의 조건을 이용하여 집단 I 에서 날개 길이의 표현형 빈도를 구할 수 있습니다.

표현형 빈도	짧은 날개		긴 날개		합
	$\frac{40}{49}$		$\frac{9}{49}$		1

## @ 생명과학2 lomos3

짧은 날개 표현형이 우성이면 집단 I에서 짧은 날개 대립유전자 B\*의 빈도는  $\frac{4}{7}$ , 긴 날개 대립유전자 B의 빈도는  $\frac{3}{7}$ 로, 'B의 빈도가 B\*의 빈도보다 크다'라는 문제의 조건 중 7번째 동그라미의 조건을 만족하지 않습니다. 긴 날개 표현형이 우성이면 집단 I에서 긴 날개 대립유전자 B의 빈도는  $\frac{2\sqrt{10}}{7}$ , 짧은 날개 대립유전자 B\*의 빈도는  $(1 - \frac{2\sqrt{10}}{7})$ 이나, 하디-바인베르크 법칙에서 유전자형의 빈도는 무리수가 될 수 없습니다. 따라서 집단 I이 하디-바인베르크 평형이 유지되는 집단이라는 처음의 가정은 틀리며, 집단 II가 하디-바인베르크 평형이 유지되는 집단임을 찾게 됩니다.

집단 II에서 우성인 검은색 몸 대립유전자 A와 열성인 회색 몸 대립유전자 A\*의 상대 빈도를 차례대로  $p, q$ 라 하겠습니다.

대립유전자 빈도	A(우성)		A*(열성)	합
	$p$		$q$	1
유전자형 빈도	AA	AA*	A*A*	합
	$p^2$	$2pq$	$q^2$	1

위에서와 같은 방식으로 문제의 조건 중 5번째 동그라미의 조건을 이용하여 집단 II에서 몸 색의 대립유전자 빈도와 유전자형 간 양적 관계를 결정할 수 있습니다.

$$\frac{1+q}{1+p} = \frac{2-p}{1+p} = \frac{2}{3}, p = \frac{4}{5}, q = \frac{1}{5}$$

대립유전자 빈도	A(우성)		A*(열성)	합
	$\frac{4}{5}$		$\frac{1}{5}$	1
유전자형 빈도	AA	AA*	A*A*	합
	$\frac{16}{25}$	$\frac{8}{25}$	$\frac{1}{25}$	1

문제의 조건 중 6번째 동그라미의 조건을 이용하여 집단 II에서 날개 길이의 표현형 빈도를 구할 수 있습니다.

표현형 빈도	짧은 날개	긴 날개	합
	$\frac{9}{25}$	$\frac{16}{25}$	1

## @ 생명과학2 lomos3

짧은 날개 표현형이 우성이면 집단 II에서 짧은 날개 대립유전자 B\*의 빈도는  $\frac{1}{5}$ , 긴 날개 대립유전자 B의 빈도는  $\frac{4}{5}$ 입니다. 긴 날개 표현형이 우성이면 집단 II에서 긴 날개 대립유전자 B의 빈도는  $\frac{2}{5}$ , 짧은 날개 대립유전자 B\*의 빈도는  $\frac{3}{5}$ 로, 'B의 빈도가 B\*의 빈도보다 크다'라는 문제의 조건 중 7번째 동그라미의 조건을 만족하지 않습니다. 따라서 짧은 날개 대립유전자 B\*가 긴 날개 대립유전자 B에 대해 완전 우성임을 찾게 됩니다. 이를 통해  $\neg$  선지를 해결할 수 있습니다.

위 과정을 통해 알게 된 하디-바인베르크 평형이 성립하는 집단 II에 대해 정리하면 아래와 같습니다. 이를 통해  $\square$  선지를 해결할 수 있습니다.

집단 II					
몸 색 대립유전자	A(우성) 검은색 몸 대립유전자		A*(열성) 회색 몸 대립유전자		합
	40		10		50
몸 색 유전자형	AA 검은색 몸 개체	AA* 검은색 몸 개체	A*A* 회색 몸 개체		합
	16	8	1		25
날개 길이 대립유전자	B*(우성) 짧은 날개 대립유전자		B(열성) 긴 날개 대립유전자		합
	10		40		50
날개 길이 유전자형	B*B* 짧은 날개 개체	B*B 짧은 날개 개체	BB 긴 날개 개체		합
	1	8	16		25

## @ 생명과학2 lumos3

하디-바인베르크 평형을 만족하지 않는 집단 I에 대해, 몸 색의 유전자형별로 미지수를 설정하면 아래와 같습니다.

집단 I					
몸 색 대립유전자	A(우성) 검은색 몸 대립유전자		A*(열성) 회색 몸 대립유전자		합
	40		10		50
몸 색 유전자형	AA 검은색 몸 개체	AA* 검은색 몸 개체	A*A* 회색 몸 개체	합	
	$a$	$b$	$c$	25	

여기서  $2a + b = 40$ ,  $b + 2c = 10$ 이 성립합니다.

이제 문제의 조건 중 5번째 동그라미의 조건을 이용합니다.

$$\begin{aligned}
 (\text{분자}) &= \frac{b + (2 \times c)}{2 \times (b + c)} = \frac{b + 2c}{2b + 2c} = \frac{10}{2(b + c)}, \quad (\text{분모}) = \frac{(2 \times a) + b}{2 \times (a + b)} = \frac{2a + b}{2a + 2b} = \frac{40}{2(a + b)} \\
 \frac{10}{2(b + c)} \times \frac{2(a + b)}{40} &= \frac{3}{4}, \quad \frac{2a + 2b}{2b + 2c} = 3
 \end{aligned}$$

$2a + b = 40$ ,  $b + 2c = 10$ 과 연립하면  $b = 5$ ,  $a = 17.5$ ,  $c = 2.5$ 로, 집단 I에서 몸 색의 유전자형에 따른 개체 수 비율은 다음과 같습니다. 이를 통해 ㄴ 선지까지 해결할 수 있습니다. 회색 몸 개체는 집단 I에서 전체의  $\frac{1}{10}$ 이고, II에서는 전체의  $\frac{1}{25}$ 입니다.

집단 I					
몸 색 대립유전자	A(우성) 검은색 몸 대립유전자		A*(열성) 회색 몸 대립유전자		합
	40		10		50
몸 색 유전자형	AA 검은색 몸 개체	AA* 검은색 몸 개체	A*A* 회색 몸 개체	합	
	17.5	5	2.5	25	

## @ 생명과학2 lumos3

- I과 II를 구성하는 개체 수는 같고, I과 II 중 한 집단만 하디-바인베르크 평형이 유지되는 집단이다.
- P의 몸 색과 날개 길이를 결정하는 유전자는 서로 다른 상염색체에 있다.
- 몸 색은 검은색 몸 대립유전자 A와 회색 몸 대립유전자 A\*에 의해 결정되고, 날개 길이는 긴 날개 대립유전자 B와 짧은 날개 대립유전자 B\*에 의해 결정된다. A는 A\*에 대해 완전 우성이고, B와 B\* 사이의 우열 관계는 분명하다.
- I과 II에서 A의 빈도는 서로 같고, I과 II에서 B의 빈도는 서로 같다.
- $\frac{A^* \text{를 가진 개체들을 합쳐서 구한 } A^* \text{의 빈도}}{A \text{를 가진 개체들을 합쳐서 구한 } A \text{의 빈도}}$ 는 I에서  $\frac{3}{4}$ 이고, II에서  $\frac{2}{3}$ 이다.
- $\frac{\text{짧은 날개 개체 수}}{\text{검은색 몸 개체 수}}$ 는 I에서  $\frac{8}{9}$ 이고, II에서  $\frac{3}{8}$ 이다.
- I과 II 각각에서 B의 빈도는 B\*의 빈도보다 크다.

남은 조건(6번째 동그라미)을 모두 사용하여 적합한 비례상수를 통해 표를 완성하면 다음과 같고, 문제 설정상 오류가 되는 상황은 하디-바인베르크 평형을 만족하지 않는 집단인 집단 I에서 날개 길이 유전자형별 개체 수에서 음수가 발생해야만 조건을 만족한다는 것입니다. 참고로 0이나 양의 유리수 범위로 개체 간 비율(개체 수)이 나오는 경우는 상관없습니다(17.5나 2.5는 보기에만 그렇지 실수배하면 되므로 문제가 되는 것은 아님).

집단 I (非멘델 집단)					집단 II (멘델 집단)							
몸 색 대립유전자	A(우성) 검은색 몸 대립유전자		A*(열성) 회색 몸 대립유전자		합	몸 색 대립유전자	A(우성) 검은색 몸 대립유전자		A*(열성) 회색 몸 대립유전자		합	
	40		10		50		40		10		50	
몸 색 유전자형	AA 검은색 몸 개체	AA* 검은색 몸 개체	A*A* 회색 몸 개체		합	몸 색 유전자형	AA 검은색 몸 개체	AA* 검은색 몸 개체	A*A* 회색 몸 개체		합	
	17.5	5	2.5		25		16	8	1		25	
날개 길이 대립유전자	B*(우성) 짧은 날개 대립유전자		B(열성) 긴 날개 대립유전자		합	날개 길이 대립유전자	B*(우성) 짧은 날개 대립유전자		B(열성) 긴 날개 대립유전자		합	
	10		40		50		10		40		50	
날개 길이 유전자형	B*B* 짧은 날개 개체		B*B 짧은 날개 개체	BB 긴 날개 개체		합	B*B* 짧은 날개 개체		B*B 짧은 날개 개체	BB 긴 날개 개체		합
	- 10		30	5		25	1		8	16		25