



# 생물의 진화

## ★ 핵심 포인트

- ▶ 자연선택에 의한 진화 과정 ★★
- ▶ 유전자풀과 대립유전자빈도 ★★
- ▶ 유전자풀의 변화 요인 ★★★

## A 생물 진화의 원리

**1. 다윈의 진화론** 변이와 자연선택이 생물의 진화를 일으키는 요인이라고 하였다.

(1) 변이: 같은 종의 개체 사이에서 나타나는 형질(형태, 습성, 기능 등)의 차이이다.

① 유전자의 차이로 나타나는 변이는 자손에게 전달될 수 있다.

② 개체가 환경에 적응하는 능력에 영향을 미쳐 개체의 생존율이 달라지게 할 수 있다.

### ★ (2) 자연선택에 의한 진화 과정

|              |                                                                                        |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 과잉 생산과<br>변이 | 생물은 주어진 환경에서 살아남을 수 있는 것보다 더 많은 수의 자손을 생산한다. 과잉 생산된 개체들 사이에는 유전되는 변이가 있다.              |
| 생존경쟁         | 개체들 사이에 먹이나 서식지 등의 한정된 자원을 차지하기 위한 경쟁이 일어난다.                                           |
| 자연선택         | 주어진 환경에서 생존에 유리한 형질을 가진 개체가 그렇지 않은 개체보다 많이 살아남아 더 많은 자손을 남긴다. ⇒ 생존에 유리한 형질이 자손에게 전달된다. |
| 진화           | 오랜 시간에 걸쳐 자연선택이 일어나면 생존에 유리한 형질이 자손에게 축적되면서 진화가 일어난다. ⇒ 새로운 종이 출현하는 계기가 된다.            |

결과적으로 개체군 내에서 환경 적응에 유리한 형질이 나타날 빈도가 상대적으로 높아진다.

### ◆ 진화

생물집단이 오랜 시간에 걸쳐 환경에 적응한 결과 집단의 유전적 특성이 변하고, 나아가 새로운 종이 출현하는 현상이다.

비상 교과서에서는 갈라파고스군도라고 한다.

### ◆ 갈라파고스 제도

19개의 화산섬과 주변 암초로 이루어진 태평양의 제도로, 섬 사이의 거리가 멀고 해류가 빨라 생물이 오가기 어려우며, 섬마다 환경이 다르다.

이런 교과서에만 나와요.

### ★ 자연선택에 의한 기린의 진화

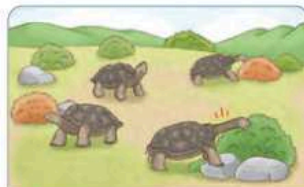
- ① 유전적인 차이에 의해 목 길이가 다양한 개체들이 있었다.
- ② 높은 곳의 잎을 먹을 수 있는 목이 긴 개체가 생존경쟁에 유리하여 더 많이 살아남아 자손을 남겼다.
- ③ 목이 긴 형질이 자손에게 전달되는 자연선택이 오랫동안 일어나 목이 긴 형질만 남았다.

### ★ 자연선택설의 한계점

개체 간 변이의 발생과 그 변이가 자손에게 전달되는 원리를 구체적으로 설명하지 못하고, 이후 유전학이 발전하면서 그 원리가 밝혀졌다.

## 2. 자연선택에 의한 생물의 진화

### (1) 땅거북의 진화



갈라파고스 제도에 많은 수의 땅거북이 살고 있었고, 땅거북은 목이 짧았으나 목이 조금 더 긴 변이를 지닌 것도 있었다.



땅거북은 환경이 다른 섬으로 흩어져 살게 되었고, 키가 큰 선인장이 자라는 환경에서는 목이 긴 땅거북이 생존에 유리하였다.



목이 긴 땅거북은 목이 짧은 땅거북보다 더 많이 살아남아 자손을 남겼고, 이 과정이 반복되어 목이 긴 종이 번성하였다.

(2) 핀치의 진화: 갈라파고스 제도의 각 섬에는 먹이 환경에 따라 부리 모양이 다른 다양한 종의 핀치가 살고 있다.



크고 단단한 씨를 만드는 식물이 잘 자라는 섬



부리 모양에 변이가 있는 핀치 집단



크고 단단한 씨 먹이에 대한 생존경쟁



오랜 시간에 걸친 자연선택



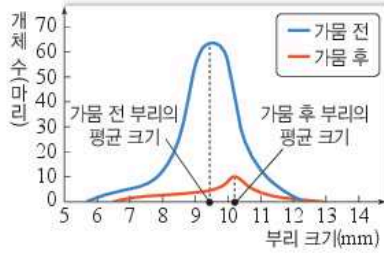
부리가 크고 두꺼운 큰땅핀치 출현

부리가 크고 두꺼운 핀치가 크고 단단한 씨를 먹기에 유리하여 더 많이 살아남아 자손을 남겼다.

## | 핀치 부리의 진화 |

비상 교과서에만 나와요.

그림은 갈라파고스군도의 대프니 메이저섬에서 극심한 가뭄 전과 후에 나타난 핀치 개체군의 개체 수와 부리의 크기 변화를 관찰한 결과이다. 가뭄이 심할 때는 작고 연한 씨앗이 급격히 줄어들고, 크고 딱딱한 씨앗이 많아진다.



1. 핀치의 개체 수와 부리의 평균 크기 변화: 개체 수는 가뭄 전보다 가뭄 후에 줄어들었고, 부리의 평균 크기는 가뭄 전보다 가뭄 후에 커졌다.
2. 가뭄 후 부리의 평균 크기가 변한 까닭: 가뭄이 심할 때 크고 딱딱한 씨앗이 많아져 이 씨앗을 먹을 수 있는 부리가 큰 핀치는 살아남았지만, 부리가 작은 핀치는 살아남기 어려웠다. ⇒ 부리가 큰 핀치가 개체군 내에서 다수를 차지하게 되어 부리의 평균 크기가 커졌다.

## \* 개체군과 자연선택

환경 변화에 따라 특정 형질을 가진 개체가 자연선택되고, 그 결과 개체군 수준에서 변화가 나타난다. 자연선택은 유전자나 개체에 작용하지만, 생물의 진화는 개체군 전체의 변화로 나타난다.

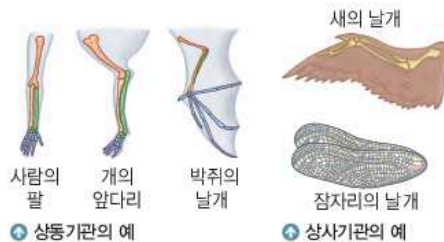
부리가 작은 핀치는 먹이를 먹지 못해 죽었고, 이로 인해 개체 수가 줄어들었다.

## 진화의 연구 방법

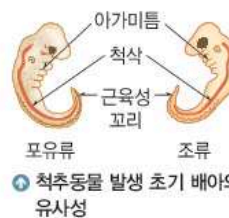
천재 교과서에만 나와요.

1. 화석 연구: 화석을 연대순으로 배열하면 생물의 변화 과정을 알 수 있다.  
예 크라토나비스 화석 연구: 공룡과 조류를 잇는 깃털 달린 육식 공룡 화석처럼 진화 과정에서 중간 단계에 해당하는 화석은 진화의 중요한 증거로 활용된다.
2. 생물지리학적 연구: 생물의 분포는 지역마다 독특하게 나타나는데, 이는 생물이 지리적으로 격리된 후 오랜 세월 동안 독자적인 진화 과정을 거쳐 분화했기 때문이다.  
예 호주에서만 발견되는 ① 유대류의 분포, 갈라파고스 제도에 서식하는 핀치의 분포
3. 비교해부학적 연구: 현존하는 여러 생물의 해부학적 특징을 비교하면 이들이 공통조상을 갖는지, 서로 다른 조상으로부터 진화했는지 알 수 있다.

|       |                                                             |
|-------|-------------------------------------------------------------|
| 상동 기관 | 기능은 다르지만 해부학적 기본 구조가 같은 기관 ⇒ 공통조상으로부터 다양하게 진화한 증거이다.        |
| 상사 기관 | 기능은 같지만 기본 구조가 다른 기관 ⇒ 비슷한 환경에 적응하면서 비슷한 형질을 가지도록 진화한 증거이다. |
| 흔적 기관 | 과거에는 기능을 하였으나 현재는 퇴화한 기관이다.                                 |



4. 진화발생학적 연구: 동물의 발생 단계에서 성체에서는 보이지 않는 해부학적 유사성이 나타난다. 이를 통해 이 생물들이 공통조상에서 진화하였음을 알 수 있다.  
예 • 척추동물의 발생 초기에는 근육성 꼬리, 아가미통, 척삭 등이 공통적으로 나타난다.  
• 무척추동물인 조개(연체동물)와 갯지렁이(환형동물)는 모두 ② 담륜자 유생 시기를 거친다.



5. 분자진화학적 연구: DNA 염기서열이나 단백질의 아미노산서열을 비교해 보면 생물 사이의 ③ 유연관계와 진화 과정을 알 수 있다.  
예 사람의 사이토크롬 c의 아미노산서열은 침팬지와는 같고, 효모와는 차이 나는 아미노산의 수가 56개이다. ⇒ 차이 나는 아미노산의 수가 적을수록 유연관계가 가까운 생물이다.



## ◆ 사이토크롬 c

미토콘드리아에 있는 단백질로, 모든 진핵생물에 존재한다.

## 용어

- ① 유대류(有 狸): 캥거루, 코알라와 같이 발육이 불완전한 상태로 태어나 모체의 바깥쪽에 있는 주머니에서 발생을 완료하는 동물 무리이다.
- ② 담륜자(擔 輪): 메다, 바퀴, 자식) 유생 연체동물이나 환형동물 등에서 나타나는 유생 형태이다.
- ③ 유연(類 類): 관계 생물종 사이의 관계가 가까워나 먼 정도이다.



## 개념 확인 문제



## 핵심 체크

▶ (1) : 같은 종의 개체 사이에서 나타나는 형질(형태, 습성, 기능 등)의 차이이다.

▶ 자연선택에 의한 진화 과정

| 과잉 생산과 변이 | 생물은 주어진 환경에서 살아남을 수 있는 것보다 더 많은 수의 자손을 생산한다. 과잉 생산된 개체들 사이에는 유전되는 (2)가 있다.             |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| (3)       | 개체들 사이에 먹이나 서식지 등의 한정된 자원을 차지하기 위한 경쟁이 일어난다.                                           |
| (4)       | 주어진 환경에서 생존에 유리한 형질을 가진 개체가 그렇지 않은 개체보다 많이 살아남아 더 많은 자손을 남긴다. ⇒ 생존에 유리한 형질이 자손에게 전달된다. |
| (5)       | 오랜 시간에 걸쳐 자연선택이 일어나면 생존에 유리한 형질이 자손에게 축적되면서 진화가 일어난다. ⇒ 새로운 종이 출현하는 계기가 된다.            |

▶ 진화의 연구 방법: 화석 연구, 생물지리학적 연구, 비교해부학적 연구, 진화발생학적 연구, 분자진화학적 연구 등이 있다.

**1** 변이에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하십시오.

- (1) 같은 종의 고양이에서 개체마다 털색이 다르게 나타나는 것은 변이의 예이다. ( )
- (2) 유전자의 차이로 나타날 수 있다. ( )
- (3) 개체가 환경에 적응하는 능력에 영향을 미치지 않는다. ( )

**2** 진화에 대한 설명 중 ( ) 안에 알맞은 말을 쓰시오.

㉠( )가 있는 집단에서 생존에 유리한 형질을 가진 개체가 살아남아 더 많은 자손을 남기는 ㉡( )이 오랜 세월 동안 일어나면 생물의 진화가 일어난다.

**3** 다음은 자연선택에 의한 진화 과정을 순서 없이 나타낸 것이다.

- (가) 진화 (나) 자연선택  
(다) 생존경쟁 (라) 과잉 생산과 변이

진화 과정을 순서대로 나열하십시오.

**4** 다음은 자연선택에 의한 땅거북의 진화 과정을 설명한 것이다. ( ) 안에 알맞은 말을 고르시오.

갈라파고스 제도에 목 길이에 변이가 있는 땅거북이 많이 살고 있었다. 땅거북은 환경이 다른 섬으로 흩어져 살게 되었고, 키가 큰 선인장이 자라는 환경에서는 목이 ㉠( 긴, 짧은 ) 땅거북이 생존에 유리하였다. 목이 ㉡( 긴, 짧은 ) 땅거북은 목이 ㉢( 긴, 짧은 ) 땅거북보다 더 많이 살아남아 자손을 남겼고, 이 과정이 오랜 세월 동안 반복 되어 목이 ㉣( 긴, 짧은 ) 종이 번성하였다.

**5** 그림은 사람을 기준으로 여러 생물의 사이토크롬 c의 아미노산서열을 비교하여 나타낸 것이다.



그림의 생물 중 사람과 유연관계가 가장 가까운 생물과 가장 먼 생물을 순서대로 쓰시오.

## B 개체군 진화의 원리

## ★ 1. 유전자풀과 대립유전자빈도

- (1) **유전자풀**: 한 개체군에 속한 모든 개체가 가지고 있는 대립유전자 전체이다.  $\Rightarrow$  개체군의 유전적 특성을 결정한다.
- (2) **대립유전자빈도**: 개체군에서 특정 대립유전자가 차지하는 비율이다.

## | 유전자형과 유전자풀 |

동형접합( $AA$ ,  $aa$ )인 개체는 한 종류의 대립유전자를 갖고, 이형접합( $Aa$ )인 개체는 두 종류의 대립유전자를 갖는다.

개체군 내 개체의 유전자형      개체군의 유전자풀

유전자풀에서 전체 대립유전자의 수는 24이고, 대립유전자  $A$ 의 수는 10, 대립유전자  $a$ 의 수는 14이다.  $\Rightarrow$  대립유전자  $A : a = 10 : 14 = 5 : 7$ 이다.

어떤 형질이 대립유전자  $A$ 와  $a$ 에 의해 결정된다고 할 때, 이 개체군에서 대립유전자  $A$ 의 빈도는  $\frac{10}{24} = \frac{5}{12}$ 이고, 대립유전자  $a$ 의 빈도는  $\frac{14}{24} = \frac{7}{12}$ 이다.

2. **개체군의 진화** 진화는 개체군에서 일어나는 유전자풀의 변화, 즉 대립유전자빈도의 변화이다.  $\Rightarrow$  개체군의 진화 과정에서는 개체군의 유전자풀을 구성하는 대립유전자의 빈도 변화가 일어난다.

## 탐구 자료상

## \* 대립유전자빈도의 변화에 의한 개체군의 진화 추론하기

대표 자료 1 / 263쪽



## ① 대립유전자 수 구하기

| 구분      | 개체 수(마리) |      |      | 대립유전자 수(개)                   |                              |            |
|---------|----------|------|------|------------------------------|------------------------------|------------|
|         | $AA$     | $Aa$ | $aa$ | $A$                          | $a$                          | $A+a$      |
| 첫 번째 세대 | 2        | 6    | 2    | $10=2 \times 2 + 6 \times 1$ | $10=6 \times 1 + 2 \times 2$ | $20=10+10$ |
| 두 번째 세대 | 5        | 4    | 1    | $14=5 \times 2 + 4 \times 1$ | $6=4 \times 1 + 1 \times 2$  | $20=14+6$  |
| 세 번째 세대 | 10       | 0    | 0    | $20=10 \times 2$             | 0                            | $20=20+0$  |

② 대립유전자빈도 구하기  $\rightarrow$  어떤 형질에 대한 대립유전자빈도의 합=1

| 구분      | 대립유전자 $A$ 의 빈도                                                                | 대립유전자 $a$ 의 빈도                                                                |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 첫 번째 세대 | $\frac{10}{20} = 0.5 = \frac{\text{대립유전자 } A \text{의 수}}{\text{전체 대립유전자의 수}}$ | $\frac{10}{20} = 0.5 = \frac{\text{대립유전자 } a \text{의 수}}{\text{전체 대립유전자의 수}}$ |
| 두 번째 세대 | $\frac{14}{20} = 0.7$                                                         | $\frac{6}{20} = 0.3$                                                          |
| 세 번째 세대 | $\frac{20}{20} = 1$                                                           | $\frac{0}{20} = 0$                                                            |

- ③ 개체군의 진화 추론하기: 세대를 거듭할수록  $A$ 의 빈도는  $0.5 \rightarrow 0.7 \rightarrow 1$ 로,  $a$ 의 빈도는  $0.5 \rightarrow 0.3 \rightarrow 0$ 로 변한다.  $\Rightarrow$  대립유전자빈도가 변했으므로 토끼 개체군의 진화가 일어났다고 볼 수 있다.

## ◆ 유전자풀

같은 개체군에 속한 개체들은 서로 잠재적인 교배 상대이므로 유전자풀을 공유한다.

## ◆ 진화와 대립유전자빈도 변화

진화가 일어나는 개체군은 부모 세대와 자손 세대에서 대립유전자 빈도가 서로 다르다.

## ◆ 유전자풀과 대립유전자빈도

유전자풀에서 환경 적응에 유리한 형질을 나타내는 대립유전자는 자연선택되어 세대를 거듭할수록 빈도가 높아지고, 환경 적응에 불리한 형질을 나타내는 대립유전자는 빈도가 낮아지거나 없어진다.



## C 유전자풀의 변화 요인

대표 자료 2 / 264쪽

### 알기해

#### 유전자풀의 변화 요인

- 돌연변이
- 자연선택
- 유전적 부동(병목효과, 창시자효과)
- 유전자흐름

**1. 돌연변이** DNA의 염기서열에 변화가 생기는 것으로, 돌연변이가 일어나면 개체군에 새로운 대립유전자가 나타난다. → 돌연변이는 방사선, 화학 물질, 바이러스 등의 요인으로 생긴다.

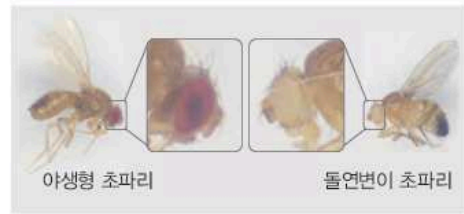
|    |                                                                                                            |                                                                                                   |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 특징 | 생식세포에서 일어난 돌연변이는 자손에게 유전되어 개체군의 유전자풀에서 대립유전자의 종류와 빈도에 변화를 일으킨다. → 대부분의 돌연변이는 체세포에서 발생하여 자손에게 전달되지 않고 사라진다. | <p>돌연변이 유발 요인</p> <p>부모 세대      자손 세대</p> <p>돌연변이에 의한 유전자풀의 변화 - 돌연변이로 대립유전자 <i>a</i>가 나타난 경우</p> |
| 예  | 헤모글로빈유전자의 돌연변이, 초파리 눈 색의 돌연변이                                                                              |                                                                                                   |

↳ 낫모양적혈구빈혈증이 나타난다.

#### 헤모글로빈유전자의 돌연변이



#### 초파리 눈 색의 돌연변이



적혈구를 구성하는 헤모글로빈의 유전자에 돌연변이가 일어나면 낫모양적혈구가 만들어진다.

눈 색을 결정하는 유전자에 돌연변이가 일어난 초파리의 눈 색은 야생형 초파리의 눈 색과 다르다.

#### 낫모양적혈구빈혈증

낫모양적혈구는 심한 빈혈을 유발해 일반적으로 생존에 불리하다. 그러나 말라리아원충이 낫모양적혈구에서 증식하기 어려우므로, 말라리아가 자주 발생하는 지역에서는 낫모양적혈구를 만드는 대립유전자를 가진 사람이 생존에 유리한 이점이 있다.

#### \* 돌연변이와 자연선택

돌연변이로 나타난 새로운 대립유전자가 생존에 유리하게 작용해 자연선택되면 개체군에서 빈도가 증가하지만, 생존에 불리하게 작용하면 사라질 수 있다.

**2. 자연선택** 변이가 있는 개체군에서 자연선택이 일어나면 생존에 유리한 형질을 나타내게 하는 대립유전자의 빈도가 증가해 개체군의 유전자풀이 변한다.

|    |                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 특징 | 자연선택은 특정 형질을 지닌 개체의 생존율을 높여 주어 그 형질을 나타내는 대립유전자의 빈도에 변화를 일으킨다. 생존율이나 번식율을 높이는 데 유리한 형질을 나타내는 대립유전자를 가진 개체는 더 많은 자손을 남기게 되므로 세대를 거듭할수록 그 대립유전자의 빈도가 높아진다. | <p>생존에 유리한 형질 나타냄</p> <p>부모 세대      자손 세대</p> <p>자연선택에 의한 유전자풀의 변화 - 대립유전자 <i>a</i>가 자연선택된 경우</p> |
| 예  | 딱정벌레 개체군에서의 자연선택, 무환자나무벌레 개체군에서의 자연선택                                                                                                                    |                                                                                                   |

#### 딱정벌레 개체군에서의 자연선택



딱정벌레 개체군에서 노란색 딱정벌레 개체 수와 갈색 딱정벌레 개체 수가 비슷했다.

⇒ 갈색을 나타내는 대립유전자의 빈도가 높아진다.

#### 무환자나무벌레 개체군에서의 자연선택

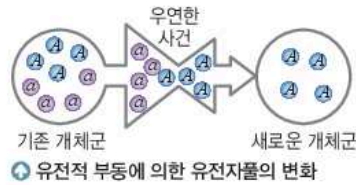


풍선덩굴의 종자는 모감주나무의 종자보다 더 깊은 곳에 위치한다. 이에 따라 무환자나무벌레 입의 평균 길이는 풍선덩굴의 종자를 먹고 사는 개체군에서가 모감주나무의 종자를 먹고 사는 개체군에서보다 더 길다.

⇒ 자연선택이 일어나는 개체군에서는 세대를 거듭할수록 환경에 적합한 형질을 결정하는 대립유전자의 빈도가 높아진다.

### 3. 유전적 부동 우연한 사건으로 개체군에서 특정 대립유전자의 빈도가 급격히 증가하거나 감소하는 현상으로, 병목효과와 창시자효과가 있다.

개체군의 대립유전자빈도가 무작위로 변하는 현상



#### (1) 병목효과(병목 현상)

|    |                                                                                                                                                  |  |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 특징 | 가뭄, 홍수, 산불, 질병, 지진, 남획 등으로 개체군의 크기가 급격히 줄어들었을 때, 살아남은 개체군의 대립유전자빈도가 이전 개체군과 크게 달라지는 현상이다. 생존하거나 사라지는 개체는 무작위로 정해지므로 새로운 개체군의 유전자 풀은 기존 개체군과 다르다. |  |
| 예  | 인간의 남획으로 북방코끼리바다표범 개체군의 개체 수가 급격히 감소하면, 이후 개체군의 개체 수가 이전 수준으로 늘어나더라도 대립유전자빈도는 이전 개체군과 달라진다.                                                      |  |

#### (2) 창시자효과

|    |                                                                                                                                                                                                                |  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 특징 | <ul style="list-style-type: none"> <li>개체군에서 일부 개체가 우연히 새로운 지역으로 떨어져 나와 정착하면서 나타나는 현상이다. 분리되는 개체는 무작위로 정해지므로 새로운 개체군의 유전자 풀은 기존 개체군과 다르다.</li> <li>새로운 지역으로 떨어져 나온 개체의 수가 적을수록 유전적 부동의 효과가 크게 나타난다.</li> </ul> |  |
| 예  | 나비 개체군에서 일부 개체가 우연히 새로운 지역으로 떨어져 나와 새로운 개체군을 형성할 경우, 이 개체군의 대립유전자 빈도는 기존 개체군과 다르다.                                                                                                                             |  |

### 4. 유전자흐름 개체군 사이에 개체의 이주가 일어날 때 대립유전자가 개체군 안으로 유입되거나 밖으로 유출되는 현상이다. 유전자흐름은 개체군의 유전자풀을 변하게 하여 개체군 진화의 원인이 된다.

|    |                                                                                                                                                                                                           |  |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 특징 | <ul style="list-style-type: none"> <li>유전자흐름이 일어나면 개체군 사이의 유전적 차이가 줄어든다.</li> <li>동물 개체군에서는 특정 대립유전자를 가진 개체가 다른 개체군으로 직접 이주하여 유전자흐름이 일어나기도 하고, 식물 개체군에서는 꽃가루 등을 통해 생식세포가 이동하여 유전자흐름이 일어나기도 한다.</li> </ul> |  |
| 예  | 지리적으로 분리된 두 사슴 개체군이 있을 때, 서쪽의 사슴 개체군에서 일부 개체가 동쪽의 사슴 개체군으로 이주하면서 두 개체군의 대립유전자빈도가 달라진다.                                                                                                                    |  |

◆ 개체군의 크기와 유전적 부동  
개체군의 크기가 작을수록 같은 사건이 일어났을 때 원래 개체군의 유전자풀과 달라질 확률이 높아 유전적 부동의 효과가 크다.

#### ◆ 병목효과의 원리



- ① 빨간색, 파란색, 노란색, 초록색 개체가 비슷한 비율로 있었다.
- ② 급격한 환경 변화에 의해 적은 수의 개체만 살아남았다.
- ③ 빨간색 개체의 비율이 매우 높아지고, 파란색과 초록색 개체는 집단에서 사라졌다.

※ 자연선택과 유전적 부동의 차이  
자연선택이 일어나는 개체군에서는 세대를 거듭할수록 생존에 유리한 형질을 나타내는 대립유전자의 빈도가 증가하지만, 유전적 부동이 일어나는 개체군에서는 대립유전자가 무작위로 자손에게 전달되므로 대립유전자의 빈도가 예측할 수 없는 방향으로 변화한다.

#### 용어

- ① 부동(浮 떠다니다, 動 움직이다) 고정되어 있지 않고 움직이는 것



## 개념 확인 문제



## 핵심 체크

- ▶ (1) : 한 개체군에 속한 모든 개체가 가지고 있는 대립유전자 전체이다.
- ▶ (2) : 개체군에서 특정 대립유전자가 차지하는 비율이다.
- ▶ 개체군의 진화: 진화는 개체군에서 일어나는 유전자풀의 변화, 즉 대립유전자빈도의 변화이다.
- ▶ 유전자풀의 변화 요인

|        |                                                                                                                                                                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (3)    | DNA의 염기서열에 변화가 생겨 개체군에 새로운 대립유전자가 나타난다.                                                                                                                                                                          |
| 자연선택   | 변이가 있는 개체군에서 자연선택이 일어나면 생존에 유리한 형질을 나타내게 하는 대립유전자의 빈도가 증가해 개체군의 유전자풀이 변한다.                                                                                                                                       |
| 유전적 부동 | 우연한 사건으로 개체군에서 특정 대립유전자의 빈도가 급격히 증가하거나 감소하는 현상이다.<br>• (4) 효과: 자연재해나 인간에 의한 남획 등으로 개체군의 크기가 급격히 줄어들었을 때, 살아남은 개체군의 대립유전자빈도가 이전 개체군과 크게 달라지는 현상이다.<br>• (5) 효과: 개체군에서 일부 개체가 우연히 새로운 지역으로 떨어져 나와 정착하면서 나타나는 현상이다. |
| (6)    | 개체군 사이에 개체의 이주가 일어날 때 대립유전자가 개체군 안으로 유입되거나 밖으로 유출되는 현상이다.                                                                                                                                                        |

### 1 진화와 유전자풀에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.

- (1) 생물의 진화는 한 개체의 변화이다. ( )
- (2) 같은 개체군에 속한 개체들은 유전자풀을 공유한다. ( )
- (3) 진화가 일어나도 개체군의 유전자풀은 변하지 않는다. ( )
- (4) 유전자풀은 개체군의 유전적 특성을 결정한다. ( )

### 2 표는 어떤 개체군에서 특정 형질에 대한 유전자형과 개체 수를 나타낸 것이다.

| 유전자형 | AA | Aa | aa |
|------|----|----|----|
| 개체 수 | 96 | 48 | 6  |

대립유전자 A와 a의 빈도를 각각 구하시오.

### 3 유전자풀의 변화 요인에 대한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×로 표시하시오.

- (1) 체세포에서 일어난 돌연변이는 자손에게 유전된다. ( )
- (2) 자연선택이 일어나면 세대를 거듭할수록 생존에 유리한 형질을 나타내는 대립유전자의 빈도가 증가한다. ( )
- (3) 유전적 부동은 개체군의 크기가 작을 때 효과가 크게 나타난다. ( )
- (4) 유전자흐름이 일어나면 개체군 사이의 유전적 차이가 증가한다. ( )

### 4 그림은 어떤 집단에서 유전자풀이 변화되는 과정을 나타낸 것이다.



이와 가장 관련 깊은 유전자풀의 변화 요인을 쓰시오.



# 대표 자료 분석 1

## 개체군 진화의 원리

표 (가)는 동물 P의 개체군에서 몸 색의 유전자형에 따른 개체 수를, (나)는 이 개체군에 Q가 나타난 이후 P의 개체군에서 몸 색의 유전자형에 따른 개체 수를 나타낸 것이다. Q는 P의 포식자이며, P의 몸 색은 대립유전자 A와 a에 의해 결정된다.

|     |      |     |     |     |
|-----|------|-----|-----|-----|
| (가) | 유전자형 | AA  | Aa  | aa  |
|     | 표현형  | 회색  | 회색  | 흰색  |
|     | 개체 수 | 360 | 480 | 160 |
| (나) | 유전자형 | AA  | Aa  | aa  |
|     | 표현형  | 회색  | 회색  | 흰색  |
|     | 개체 수 | 245 | 210 | 45  |

1 (가)에서 대립유전자 A와 a의 빈도를 각각 구하시오.

2 (나)에서 대립유전자 A와 a의 빈도를 각각 구하시오.

3 (가)와 (나)의 대립유전자빈도를 바탕으로 P의 개체군에서의 진화 여부를 근거를 들어 서술하시오.

### 4 빈도 선택지로 완벽 정리

- (가)에서 개체 사이에 몸 색의 변이가 있었다. (○ / ×)
- Q로 인해 P의 개체군에서 새로운 대립유전자가 만들어졌다. (○ / ×)
- 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 (가)에서가 (나)에서보다 높다. (○ / ×)
- 몸 색이 흰색인 개체의 비율은 (가)에서가 (나)에서보다 높다. (○ / ×)
- P의 유전자풀은 (가)에서와 (나)에서가 같다. (○ / ×)
- 포식자가 흰색 개체보다 회색 개체를 더 선호할 경우, 개체군 내 대립유전자 A의 빈도는 증가할 것이다. (○ / ×)

### 기출 Point

- 개체군 진화의 원리 알기
- 대립유전자빈도 구하기

### 출제 의도

진화는 개체군에서 일어나는 유전자 풀의 변화임을 알고, 개체군에서 유전자형과 개체 수를 통해 특정 대립유전자의 빈도를 계산할 수 있는지 묻는 문제이다.

### 유사 문항

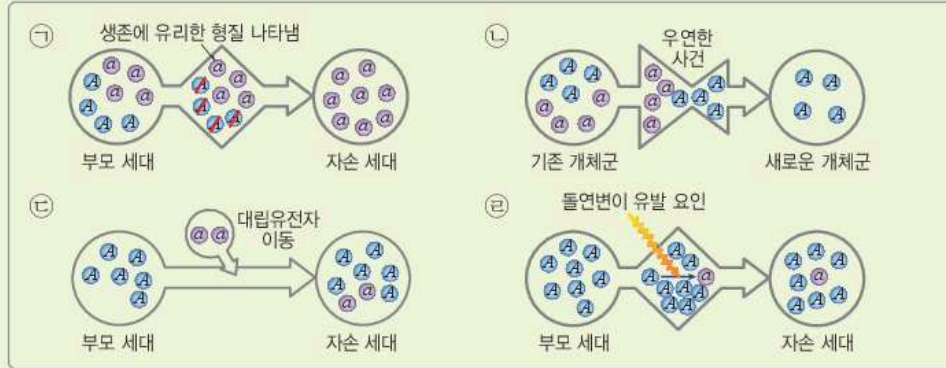
- 내신 만점 문제 08번, 10번, 11번
- 실력 UP 문제 02번



# 대표 자료 분석 2

## 유전자풀의 변화 요인

그림은 개체군의 유전자풀이 변하는 과정을 나타낸 것이다. ㉠~㉢은 돌연변이, 유전적 부동, 유전자흐름, 자연선택을 순서 없이 나타낸 것이고, A와 a는 대립유전자이다.



### 기출 Point

- 유전자풀 변화 요인의 특징 알기
- 유전자풀 변화 요인의 사례 알기

### 출제 의도

각 유전자풀 변화 요인의 특징과 사례를 구분할 수 있는지 묻는 문제이다.

### 유사 문항

- 내신 만점 문제 16번
- 실력 UP 문제 03번

### 1 다음은 유전자풀이 변화된 사례 (가)~(라)를 나타낸 것이다.

- (가) 개체군 I에서 대립유전자 A의 DNA 염기서열에 변화가 생겨 새로운 대립유전자 a가 나타났다.
- (나) 개체군 II에서 대립유전자 a가 나타내는 형질이 생존과 번식에 유리하여 대립유전자 a의 형질이 나타난 개체가 더 많은 자손을 남겼다.
- (다) 개체군 III에는 대립유전자 A를 가진 개체만 있었으나 생태통로가 건설되고 난 뒤, 같은 종이면서 대립유전자 a를 가진 개체가 유입되었다.
- (라) 가뭄으로 인해 개체군 IV의 개체 수가 급격히 감소하였고, 그 결과 IV에서 대립유전자 A의 빈도가 증가하고, 대립유전자 a의 빈도는 감소하였다.

(가)~(라)는 ㉠~㉣ 중 각각 어느 것에 해당하는지 쓰시오.

### 2 빈칸 선택지로 완벽 정리

- (1) ㉠~㉣은 모두 개체군의 진화를 일으키는 요인에 해당한다. (○ / ×)
- (2) ㉠은 환경 변화에 대한 개체의 적응 능력과 무관하게 일어난다. (○ / ×)
- (3) ㉡은 우연한 사건으로 대립유전자의 빈도가 예측할 수 없는 방향으로 변화하는 현상이다. (○ / ×)
- (4) ㉢은 개체군의 크기가 클수록 효과가 크게 나타난다. (○ / ×)
- (5) ㉣이 일어나면 개체군 사이의 유전적 차이가 줄어든다. (○ / ×)
- (6) ㉣이 일어나면 변이가 증가할 수 있다. (○ / ×)



# 내신 만점 문제

## A 생물 진화의 원리

### 01 변이와 자연선택에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 변이는 개체가 환경에 적응하는 능력에 영향을 미친다.
- ② 생존에 유리한 형질을 가진 개체가 자연선택된다.
- ③ 자연선택된 형질은 자손에게 전달된다.
- ④ 환경 변화는 자연선택의 방향에 영향을 미치지 않는다.
- ⑤ 자연선택 과정이 오랫동안 반복되면 진화가 일어난다.

### 02 다음은 갈라파고스 제도의 땅거북에 대한 자료이다.

- 그림 (가)와 (나)는 갈라파고스 제도에 서식하는 두 종의 땅거북을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

- (가)는 등딱지가 둥글고 높아서 풀밭의 포식자로부터 몸을 보호하는 데 유리하며, (나)는 등딱지가 뒤쪽은 낮고 앞쪽은 높아서 목을 길게 늘이는 데 유리하다.
- 갈라파고스 제도의 섬 X는 습하고 키가 작은 풀이 많고, 섬 Y는 건조하고 키가 큰 선인장밖에 없다. (가)와 (나)는 각각 X와 Y 중 서로 다른 한 곳에 서식한다.

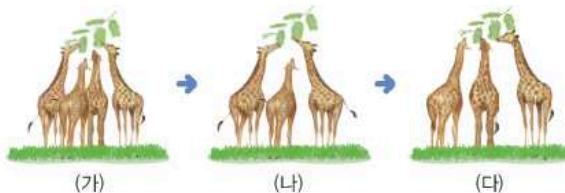
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. (가)와 (나)의 생김새가 다른 것은 서식하는 섬의 환경과 관련이 있다.
- ㄴ. Y에서는 (가)가 (나)보다 생존에 유리하다.
- ㄷ. 갈라파고스 제도에 서로 다른 종의 땅거북이 서식하는 것은 자연선택이 일어난 결과이다.

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

**중요 03** 그림은 자연선택에 의한 기린의 진화 과정을 나타낸 것이다.



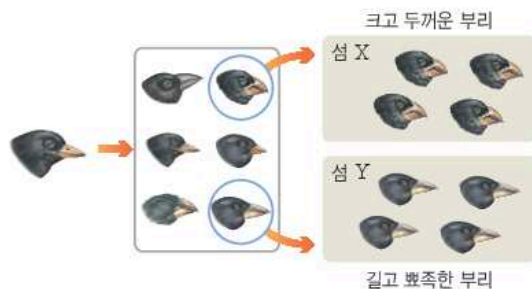
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. (가)에서 목 길이가 다양한 기린이 있었다.
- ㄴ. (나)에서 먹이에 대한 경쟁이 일어났다.
- ㄷ. (나) → (다)에서 목이 긴 형질을 나타내는 대립유전자 빈도가 증가하였다.

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

**중요 04** 그림은 갈라파고스 제도의 섬 X와 Y에서 일어난 핀치의 진화 과정을 나타낸 것이다. 섬 X와 Y 중 한 곳에는 선인장이 많고, 나머지 한 곳에는 크고 단단한 씨를 만드는 식물이 많다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. X에 많은 먹이는 크고 단단한 씨이다.
- ㄴ. 핀치 부리 모양의 변이는 각 섬의 환경에 적응하면서 나타났다.
- ㄷ. 주어진 환경에서 자주 사용하여 발달한 형질은 자손에게 유전된다.

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



**05** 그림 (가)는 사람의 팔, 개의 앞다리, 박쥐의 날개를, (나)는 새의 날개와 잠자리의 날개를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. (가)를 통해 사람, 개, 박쥐는 공통조상으로부터 다양하게 진화하였음을 알 수 있다.
- ㄴ. (나)는 상동기관의 예이다.
- ㄷ. 새의 날개와 잠자리의 날개는 기능은 다르지만 기본 구조가 같다.

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

**06** 그림은 여러 생물의 사이토크롬 c의 아미노산서열을 분석하여 사람의 사이토크롬 c와 차이 나는 아미노산의 수를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 뱀은 거북보다 닭과 유연관계가 더 가깝다.
- ㄴ. 사람은 위 생물 중 효모와 유연관계가 가장 멀다.
- ㄷ. 사람의 사이토크롬 c와 차이 나는 아미노산 수가 적을 수록 사람과 진화적으로 가까운 종이다.

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

## B 개체군 진화의 원리

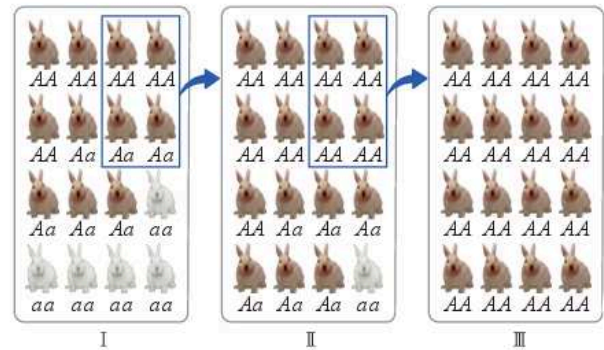
**07** 유전자풀과 개체군의 진화에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 같은 개체군에 속한 개체들은 유전자풀을 공유한다.
- ㄴ. 유전자풀은 한 개체군에 속한 모든 개체가 가지고 있는 대립유전자 전체이다.
- ㄷ. 개체군의 진화 과정에서는 개체군의 유전자풀을 구성하는 대립유전자의 빈도 변화가 일어난다.

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

[08~09] 그림은 토끼 개체군 P에서 각 세대를 구성하는 토끼의 유전자형에 따른 개체 수를 나타낸 것이다. I ~ III은 각각 첫 번째 세대, 두 번째 세대, 세 번째 세대이다.



**중요** 08 표는 P에서 각 세대의 대립유전자빈도를 나타낸 것이다.

| 구분      | I | II | III |
|---------|---|----|-----|
| 대립유전자빈도 | A | ㉠  | ㉡   |
|         | a | ㉢  | ㉣   |

㉠~㉣의 값을 구하시오.

**서술형**

**09** P에서 진화가 일어났다고 할 수 있는지 판단하고, 그렇게 생각한 까닭을 서술하시오.

- 중요 10** 표는 동물 개체군 P에서 어떤 형질의 유전자형에 따른 개체 수를 나타낸 것이다.

| 유전자형 | AA  | Aa  | aa |
|------|-----|-----|----|
| 개체 수 | 490 | 420 | 90 |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. 대립유전자 A의 빈도는 0.7이다.  
 ㄴ. 대립유전자 a의 개수는 180이다.  
 ㄷ. 대립유전자 A의 빈도와 대립유전자 a의 빈도를 합한 값은 1이다.

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

- 중요 11** 표는 각각 1000개체로 구성된 집단 (가)와 (나)에서 어떤 형질의 유전자형에 따른 개체 수를 나타낸 것이다. (가)에서 대립유전자 A의 빈도는 0.6이다.

| (가) | 유전자형 | AA | Aa | aa  |
|-----|------|----|----|-----|
|     | 개체 수 | ㉠  | ㉡  | 160 |

| (나) | 유전자형 | AA | Aa | aa |
|-----|------|----|----|----|
|     | 개체 수 | ?  | ㉢  | ㉣  |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고르시오.

**보기**

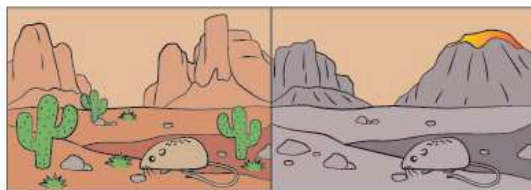
- ㄱ. ㉠은 360이다.  
 ㄴ. (가)에서 대립유전자 a의 빈도는 (나)에서 대립유전자 A의 빈도보다 크다.  
 ㄷ. (가)의 유전자풀은 (나)의 유전자풀과 같다.

## C 유전자풀의 변화 요인

### 12 유전자풀이 변하는 경우가 아닌 것은?

- ① 어떤 형질이 자연선택되었다.  
 ② 개체군 내에서 무작위적인 교배가 일어났다.  
 ③ 어떤 유전자의 DNA에 돌연변이가 일어났다.  
 ④ 홍수가 일어나 집단의 크기가 급격히 줄어들었다.  
 ⑤ 기존 개체군에서 일부 개체가 떨어져 나와 새로운 개체군을 형성하였다.

### 13 다음은 바위주머니쥐에 대한 자료이다.



- 바위주머니쥐의 털색은 서식지에 따라 다르다. 모래와 바위 근처에 서식하는 개체의 털색은 밝고, 용암이 굳어 형성된 지역에 서식하는 개체의 털색은 어둡다.
- 용암이 굳어 형성된 지역에서 ㉠ 털색을 결정하는 DNA의 염기서열에 변화가 일어나 어두운 털색을 가진 개체가 나타났으며, ㉡ 이 지역의 색과 털색이 비슷한 개체는 그렇지 않은 개체보다 포식자에게 잡아먹힐 확률이 낮아 생존에 유리하여 더 많은 자손을 남겼다.

㉠과 ㉡ 각각에 작용한 유전자풀의 변화 요인은 무엇인지 쓰시오.

**서술형**

### 14 다음은 딱정벌레 개체군에서 일어난 변화이다.



어떤 딱정벌레 개체군에서는 원래 노란색 딱정벌레 개체 수와 갈색 딱정벌레 개체 수가 비슷하였는데, 딱정벌레를 잡아먹는 천적이 나타나 노란색 딱정벌레를 주로 잡아 먹었다. 이로 인해 ㉠ \_\_\_\_\_

- (1) ㉠에 들어갈 노란색 딱정벌레와 갈색 딱정벌레 개체 수 비율의 변화를 서술하시오.
- (2) 딱정벌레 개체군에 작용한 유전자풀의 변화 요인을 쓰고, 노란색과 갈색을 나타내는 대립유전자의 빈도 변화를 서술하시오.



**15** 그림은 어떤 지역에서 북방코끼리바다표범 개체군의 변화를 나타낸 것이다.



- ㉔ 기존 개체군에는 다양한 피부색의 개체가 있었다.      ㉕ 인간의 남획으로 개체군의 크기가 급격히 줄어들었다.      ㉖ 새로운 개체군에는 특정 피부색의 개체만 남았다.

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. ㉕은 병목효과를 일으킨다.  
 ㄴ. ㉔의 유전자풀은 ㉖의 유전자풀과 다르다.  
 ㄷ. 피부색에 대한 변이는 ㉖에서가 ㉔에서보다 많다.

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

**17** 표 (가)는 유전자풀의 변화 요인 A~C에서 특징 ㉑~㉓의 유무를 나타낸 것이고, (나)는 ㉑~㉓을 순서 없이 나타낸 것이다. A~C는 돌연변이, 자연선택, 창시자효과를 순서 없이 나타낸 것이다.

| 특징<br>요인 | ㉑ | ㉒ | ㉓ |
|----------|---|---|---|
| A        | ㉔ | ? | ? |
| B        | ? | ○ | ○ |
| C        | × | ? | ? |

(○: 있음, ×: 없음)

(가)

특징(㉑~㉓)

- DNA에 변화가 생겨 나타난다.
- 일부 개체가 우연히 다른 지역으로 분리되어 나타난다.
- 기존에 없던 새로운 대립 유전자가 나타난다.

(나)

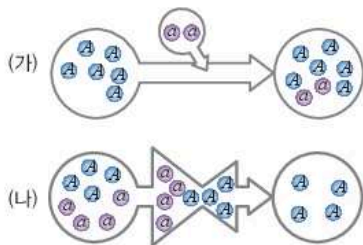
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. A는 창시자효과이다.  
 ㄴ. ㉔는 '○'이다.  
 ㄷ. C는 환경 적응에 유리한 형질을 가진 개체가 많이 살아남아 더 많은 자손을 남기는 것이다.

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

**중요** **16** 그림 (가)와 (나)는 유전자풀이 변하는 과정을 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 유전자흐름과 유전적 부동을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. 식물 개체군에서는 꽃가루가 이동하여 (가)가 일어날 수도 한다.  
 ㄴ. (나)는 유전적 부동에 해당한다.  
 ㄷ. 달맞이꽃 개체군에서 기존에 없던 큰달맞이꽃이 출현한 현상은 (나)에 해당한다.

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

**18** 그림은 산맥에 의해 분리된 사슴 개체군 A와 B 사이에서 일부 사슴 개체가 이동하는 모습을 나타낸 것이다. 이동 결과 B에서 대립유전자빈도가 변하였다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. 유전적 부동의 한 현상이다.  
 ㄴ. A와 B 사이의 유전적 차이가 줄어든다.  
 ㄷ. 이러한 현상은 개체군 진화의 원인이 될 수 있다.

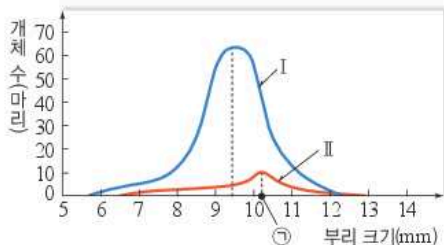
- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ  
 ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



# 실력UP 문제

## 01 다음은 섬 A에 서식하는 핀치 개체군 P에 대한 자료이다.

- 가뭄 전에는 A에 작고 연한 씨앗이 풍부했지만, 가뭄이 심할 때 작고 연한 씨앗이 급격히 줄고, 크고 딱딱한 씨앗이 많아졌다. 부리가 큰 핀치가 부리가 작은 핀치보다 크고 딱딱한 씨앗을 먹기에 유리하다.
- 그림은 A에 가뭄이 일어나기 전과 일어난 후에 P의 부리 크기에 따른 개체 수를 나타낸 것이다. I과 II는 가뭄 전과 후를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. 가뭄이 일어난 후 개체군의 크기는 증가하였다.
- ㄴ. I과 II에서 P의 유전자풀은 서로 다르다.
- ㄷ. II일 때 부리가 큰 핀치가 자연선택되었다.
- ㄹ. 부리 크기가 ㉠인 개체 수는 II에서가 I에서보다 많다.

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

## 02 그림은 나비 개체군에서 각 세대를 구성하는 나비들의 날개 색과 유전자형에 따른 개체 수를 나타낸 것이다. I ~ III은 각각 첫 번째 세대, 두 번째 세대, 세 번째 세대이다.

|     | 검푸른 날개<br>(AA) | 푸른 날개<br>(Aa) | 흰 날개<br>(aa) |
|-----|----------------|---------------|--------------|
| I   | 220마리          | 190마리         | 90마리         |
| II  | 330마리          | 285마리         | 135마리        |
| III | 440마리          | 380마리         | 180마리        |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 이입과 이출은 없으며, 제시된 조건 이외는 고려하지 않는다.)

**보기**

- ㄱ. I에서 대립유전자 A의 빈도는 0.63이다.
- ㄴ. 대립유전자 a의 빈도는 III에서가 II에서보다 높다.
- ㄷ. 나비 개체군은 세대를 거듭할수록 날개 색에 대한 유전적 특성이 변하는 진화가 일어났다.

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

## 03 표는 유전자풀의 변화 요인 (가)~(다)의 사례를 나타낸 것이다. (가)~(다)는 돌연변이, 유전자흐름, 창시자효과를 순서 없이 나타낸 것이다.

| 요인  | 사례                                                                                         |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| (가) | 흰 토끼 개체군에 같은 종의 검은 토끼 개체가 들어와 자손을 남겼다.                                                     |
| (나) | ㉠ 아메리카 인디언은 B형이나 AB형이 거의 없고, O형이 대부분이다. 이는 오래전 아시아에서 이주한 집단에 O형 대립유전자의 빈도가 높았기 때문이라고 추측된다. |
| (다) | 헤모글로빈유전자에 이상이 생겨 심한 빈혈을 일으키는 낫모양적혈구가 만들어졌다. 낫모양적혈구에서는 말라리아를 일으키는 말라리아원충이 증식하기 어렵다.         |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**

- ㄱ. (가)는 창시자효과이다.
- ㄴ. ㉠은 O형을 나타내는 대립유전자가 자연선택된 결과이다.
- ㄷ. 말라리아가 자주 발생하는 지역에서는 낫모양적혈구를 만드는 대립유전자의 빈도가 다른 곳에서도 높게 나타날 것이다.

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