두 형질을 함께 보면 왜 새로운 조합이 나타날까?

두 형질의 유전 — 궁금증에서 문제 풀이까지

질문 지도

묶음	읽다가 생기는 질문	이어지는 확인 문제
1. 생식세포의 종류	Q1 기호 네 개 · Q2 형질마다 하나씩 · Q3 네 종류가 생기는 과정	1–12
2. 독립과 새로운 조합	Q4 독립의 뜻 · Q5 어버이에게 없던 조합	13–20
3. 결과의 예측	Q6 9:3:3:1의 까닭 · Q7 교배 조건이 달라질 때	21–36

먼저 꺼내 올 것

앞에서 배운 개념	두 형질로 넓히면
대립유전자 한 쌍의 분리	씨 모양의 R·r도, 씨 색깔의 Y·y도 각각 나뉜다.
생식세포에는 한 쌍 중 하나	조사하는 형질마다 하나씩 받는다.
수정 뒤에는 다시 한 쌍	자손은 씨 모양도 두 개, 씨 색깔도 두 개를 갖는다.
표현형과 유전자형	겉으로 같은 씨라도 유전자형은 다를 수 있다.

© 대치동 재우쌤 | 010-9524-4849 | https://leessaem.com/ | https://blog.naver.com/leessaem84
본 자료는 직접 제작한 학습 자료입니다. 개인 학습을 위한 열람·인쇄는 자유롭게 할 수 있으며, 무단 복제·재배포·수정 후 재배포 및 상업적 이용을 금합니다.

이 편의 약속

형질	우성 대립유전자	열성 대립유전자	유전자형과 표현형
씨 모양	R: 둥근 모양	r: 주름진 모양	RR·Rr은 둥글고, rr은 주름진 모양이다.
씨 색깔	Y: 노란색	y: 초록색	YY·Yy는 노란색이고, yy는 초록색이다.

둥글고 노란색	둥글고 초록색	주름지고 노란색	주름지고 초록색
			

1. 완두의 씨 모양과 씨 색깔을 함께 본다.
2. 두 형질의 유전자는 서로 다른 상동 염색체 쌍에 있어 독립적으로 유전된다.
3. 둥근 모양은 주름진 모양에 대해, 노란색은 초록색에 대해 우성이다.
4. 생식세포의 만남은 우연히 이루어진다고 본다.

표와 그림에서는 ‘둥근 노랑’처럼 줄여 쓴다.

1 생식세포의 종류

Q1 두 형질의 유전자형을 함께 쓰면 왜 기호가 네 개일까?

한줄답 **체세포에는 씨 모양의 대립유전자 두 개와 씨 색깔의 대립유전자 두 개가 있기 때문이다.**

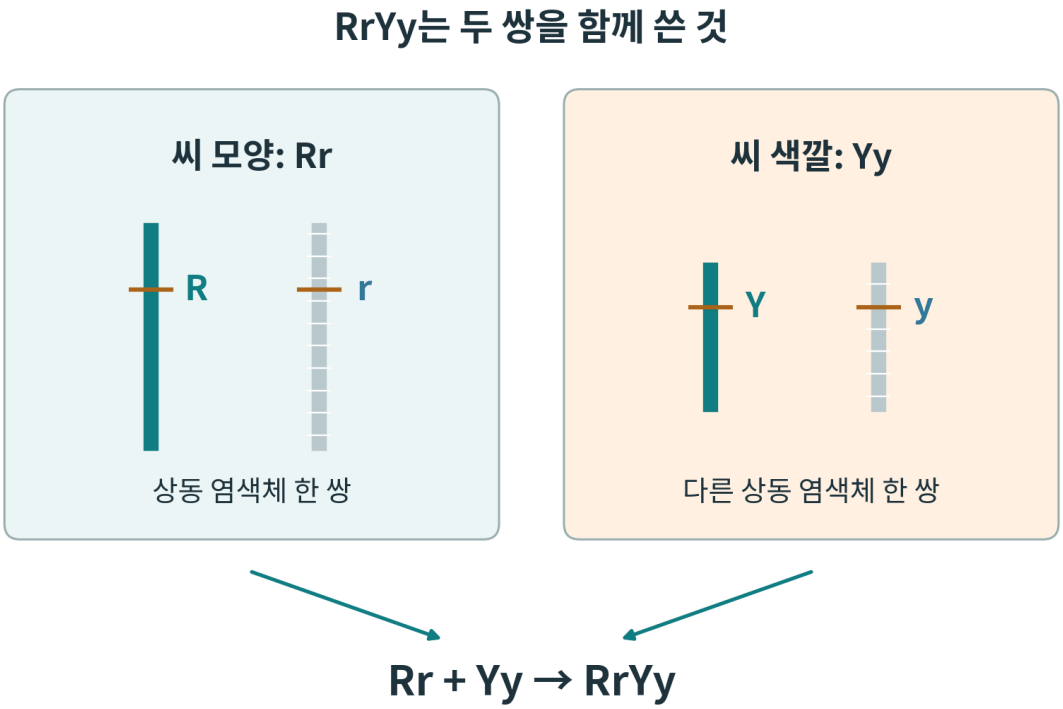


그림 1 두 형질을 나타내는 대립유전자 두 쌍

RrYy를 나누어 읽으면	무엇을 나타내나?
Rr	씨 모양의 대립유전자 한 쌍. 둥근 모양이다.
Yy	씨 색깔의 대립유전자 한 쌍. 노란색이다.
RrYy	두 형질을 함께 쓴 유전자형. 둥글고 노란색이다.

기호는 **같은 형질끼리 묶어서**, 씨 모양을 먼저, 씨 색깔을 나중에 쓴다. Rr·Yy처럼 서로 다른 두 글자를 쓸 때는 대문자를 앞에 둔다.

R과 r은 서로 대립유전자이고, Y와 y도 서로 대립유전자이다. **R과 Y는 서로 다른 형질에 관여하므로 대립유전자 관계가 아니다.** RrYy가 이 생물의 모든 유전자를 나타내는 것도 아니다.

쉽게 생각하면 **‘모양 두 글자 + 색깔 두 글자’이다. 글자 네 개가 염색체 전체 개수라는 뜻은 아니다.** 완두 체세포의 염색체는 14개이다.

Q2 생식세포에는 하나씩 들어간다는데, 왜 RY처럼 두 글자를 쓸까?

한줄답 한 쌍의 대립유전자에서 하나씩 받으므로, 씨 모양에서 하나와 씨 색깔에서 하나를 함께 쓰기 때문이다.

모양에서 하나, 색깔에서 하나

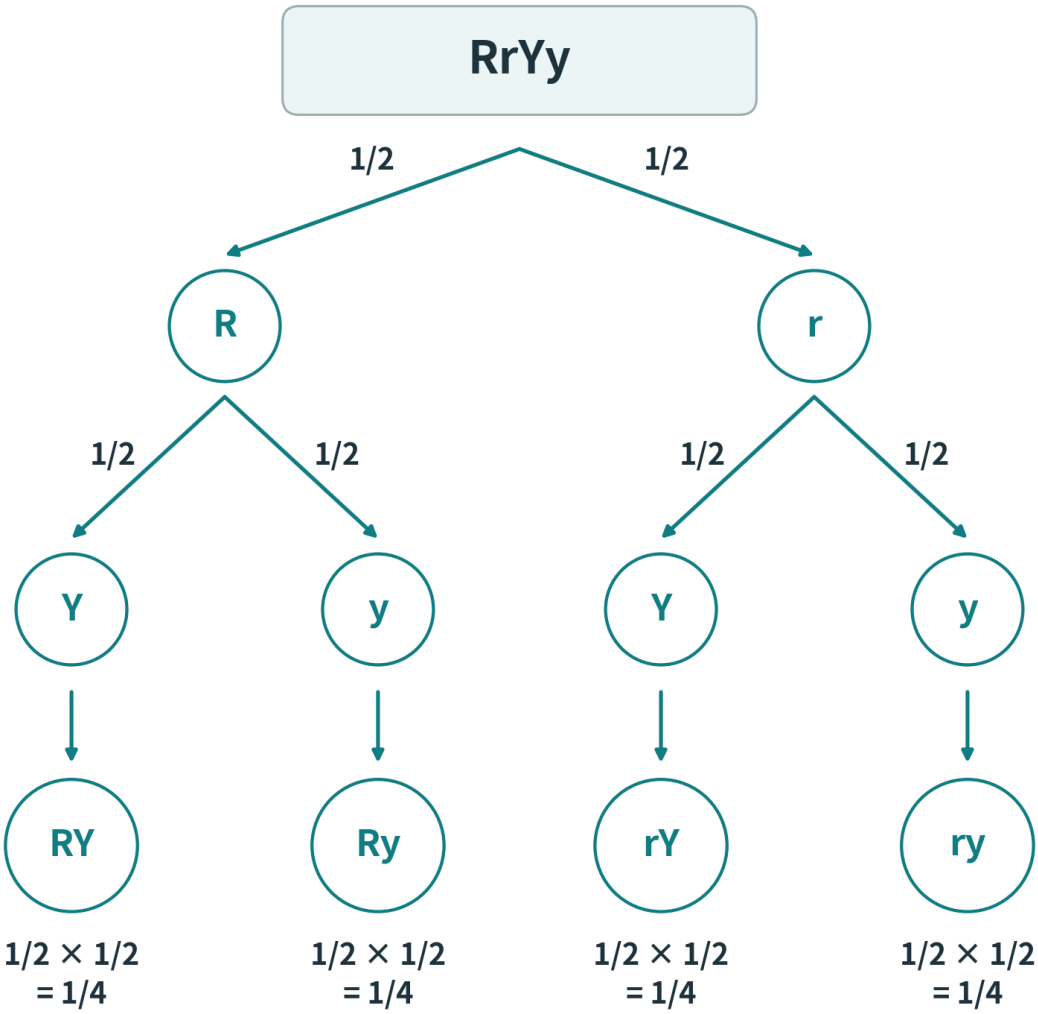


그림 2 형질마다 하나씩 받아 생기는 네 종류의 생식세포

그림의 갈림은 가능한 생식세포의 종류를 나눈 것이다. 씨 모양 유전자가 먼저 나뉘고 씨 색깔 유전자가 나중에 나뉜다는 시간 순서는 아니다.

생식세포 표기	판단	까닭
RY·Ry·rY·ry	가능	씨 모양에서 하나, 씨 색깔에서 하나씩 있다.
Rr	생식세포의 종류로 쓸 수 없다	씨 모양의 한 쌍이 함께 있고, 씨 색깔 기호가 없다.
Yy	생식세포의 종류로 쓸 수 없다	씨 색깔의 한 쌍이 함께 있고, 씨 모양 기호가 없다.
RrYy	개체의 유전자형	두 형질 모두 한 쌍씩 있으므로 생식세포 표기가 아니다.

RrYy인 개체가 만드는 생식세포의 종류는 **RY·Ry·rY·ry**이며, 각각의 비율은 $\frac{1}{4}$, 종류별 비는 **1:1:1:1**이다.

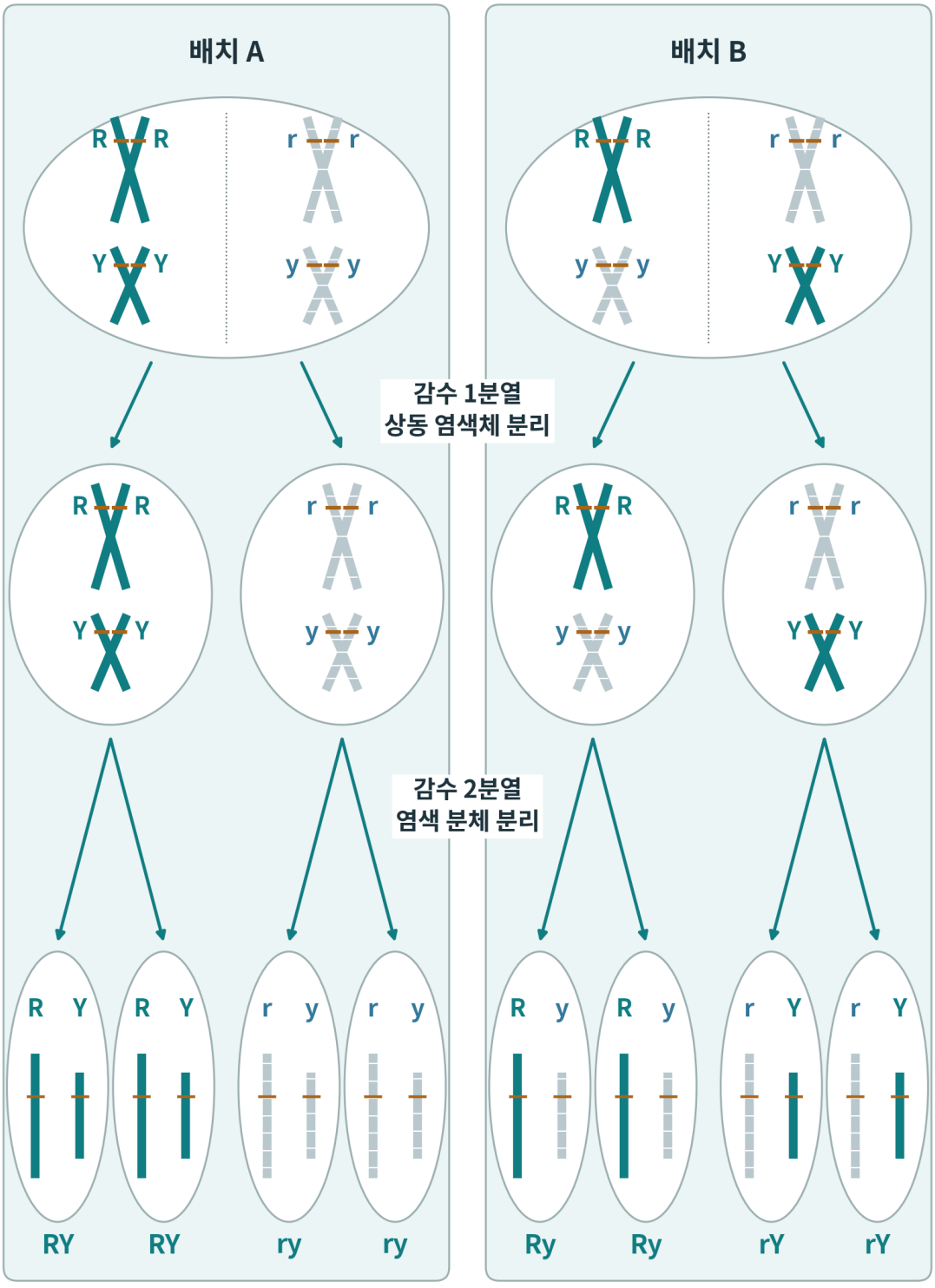
RY는 생식세포 하나가 가진 두 대립유전자를 함께 쓴 표기이며, R과 Y가 붙어서 한 유전자가 되었다는 뜻은 아니다.

쉽게 생각하면 **‘유전자가 모두 합쳐 하나’가 아니라, ‘각 쌍에서 하나씩’이다.**

Q3 RY·Ry·rY·ry는 염색체에서 어떻게 만들어질까?

한줄답 서로 다른 상동 염색체 쌍이 나뉘는 방향에 따라, 만들어지는 생식세포의 종류가 달라지기 때문이다.

긴 염색체: 씨 모양 / 짧은 염색체: 씨 색깔



배치 A와 B는 일어날 가능성이 같다.

여러 세포의 결과 → RY : Ry : rY : ry = 1 : 1 : 1 : 1

그림 3 서로 다른 감수 분열에서 가능한 염색체 배치

감수 1분열에서 함께 이동하는 염색체	감수 2분열까지 마친 뒤의 생식세포
R이 있는 염색체 + Y가 있는 염색체 / r이 있는 염색체 + y가 있는 염색체	RY 두 개, ry 두 개
R이 있는 염색체 + y가 있는 염색체 / r이 있는 염색체 + Y가 있는 염색체	Ry 두 개, rY 두 개

배치 A와 배치 B는 일어날 가능성이 같다. 그래서 여러 세포의 결과를 합치면 **RY : Ry : rY : ry = 1 : 1 : 1 : 1**이 된다.

감수 1분열에서는 상동 염색체가, 감수 2분열에서는 염색 분체가 나뉜다. 그림은 두 쌍의 염색체가 나뉘는 방향과 그 결과를 나타낸 모형이다. X자의 두 염색 분체에는 같은 대립유전자를 각각 표시했다.

헷갈림 바로잡기

✗ 이렇게 생각하기 쉽다	✓ 바르게 고치면
한 번의 감수 분열에서 네 종류가 항상 하나씩 나온다.	그림의 한 배치에서는 두 종류가 두 개씩 나온다. 네 종류의 비율은 여러 감수 분열을 함께 보아야 한다.
R은 언제나 Y와 함께 움직인다.	다른 쌍의 배치에 따라 R은 Y 또는 y와 함께 들어갈 수 있다.

실전 연결 ① **생식세포의 종류가 항상 네 가지일까?**

대표 문제

RrYY인 완두가 만드는 생식세포의 종류와 비율을 쓰시오.

확인할 것	이 개체에 적용하면
씨 모양에서 받을 수 있는 것	R 또는 r
씨 색깔에서 받을 수 있는 것	Y만 가능
생식세포의 종류와 비율	RY : rY = 1 : 1

기억할 기준 **형질이 두 개라고 늘 네 종류는 아니다. 각 쌍에서 어떤 글자를 줄 수 있는지 확인한다.**

확인 문제 1–12

1 RrYy라는 표기를 바르게 설명한 것은?

① 생물의 모든 유전자가 네 개라는 뜻이다.
② 조사하는 두 형질의 대립유전자를 두 개씩 나타낸 것이다.
③ 생식세포 하나에 Rr과 Yy가 함께 들어 있다는 뜻이다.
④ 염색체 전체 개수가 반드시 네 개라는 뜻이다.
⑤ R과 Y가 서로 대립유전자라는 뜻이다.

2 RrYy에서 서로 대립유전자 관계인 것을 두 쌍 쓰시오.

( )와 ( ) / ( )와 ( )

3 RrYy인 개체가 만드는 생식세포의 종류로 옳은 것은?

① Rr ② Yy ③ RrYy ④ rY ⑤ RR

4 다음 개체의 표현형을 각각 쓰시오.

유전자형	씨 모양	씨 색깔
RRyy	( )	( )
rrYy	( )	( )

5 RRYy인 개체가 만드는 생식세포의 종류와 비율은?

① RY : Ry = 1 : 1
② RY : rY = 1 : 1
③ RY : Ry : rY : ry = 1 : 1 : 1 : 1
④ Rr : Yy = 1 : 1
⑤ RY만 만든다.

6 RrYy인 개체가 만드는 생식세포 중 ry의 비율을 분수로 쓰시오.

답: ( )

7 Rryy인 개체가 만드는 생식세포의 종류를 모두 바르게 나열한 것은?

① RY, Ry ② RY, rY ③ Ry, ry ④ Rr, yy ⑤ ry

8 그림 3의 배치 A에서 R을 가진 염색체와 Y를 가진 염색체가 같은 쪽으로 이동했다. 감수 2분열까지 마친 뒤 나타나는 생식세포 두 종류를 쓰시오.

( ), ( )

9 이 편의 모형에서 R·r은 한 쌍의 상동 염색체에 있다. Y·y는 R·r과 (같은 / 서로 다른) 상동 염색체 쌍에 있다. 알맞은 말을 고르시오.

10 그림 3을 바르게 해석한 것은?

① 생식세포 하나가 씨 모양의 R과 r을 함께 갖는다.
② 감수 1분열에서 염색 분체가 먼저 나뉜다.
③ R을 가진 염색체는 Y를 가진 염색체하고만 함께 이동한다.
④ 어느 한 세포가 감수 분열을 하면 네 종류의 생식세포가 반드시 하나씩 생긴다.
⑤ 여러 세포의 감수 분열을 함께 보면 네 종류가 같은 비율로 생긴다.

11 옳으면 O, 틀리면 X를 쓰시오.

(가) RY는 R과 Y가 합쳐져 하나의 새 유전자가 되었다는 뜻이다. (　　)
(나) RY인 생식세포에는 조사하는 형질마다 대립유전자가 하나씩 있다. (　　)
(다) RrYy만 보고 이 생물의 염색체 전체 개수를 알 수 있다. (　　)

12 두 형질의 생식세포를 나타내는 방법에 관한 설명으로 옳은 것을 **두 개** 고르시오.

① Rr은 씨 모양과 씨 색깔에서 하나씩 받은 표기이다.
② rryy인 개체는 ry인 생식세포만 만든다.
③ RRYY인 개체는 R·r·Y·y를 모두 전달할 수 있다.
④ RY와 Ry는 씨 모양의 대립유전자는 같고 씨 색깔의 대립유전자는 다르다.
⑤ 두 형질을 조사하면 생식세포에는 대립유전자가 모두 합쳐 하나만 있어야 한다.

2 | 독립과 새로운 조합

Q4 두 형질이 독립적으로 유전된다는 것은 무엇이 독립이라는 뜻일까?

한줄답 **한 쌍의 대립유전자가 나뉘는 일이 다른 쌍의 대립유전자가 나뉘는 일에 영향을 주지 않는다는 뜻이다.**

Q3에서 R이 있는 염색체는 Y가 있는 염색체와 함께 갈 수도, y가 있는 염색체와 함께 갈 수도 있었다. 이것을 법칙으로 정리한 것이 독립의 법칙이다.

정의 **독립의 법칙** — 두 쌍 이상의 대립 형질이 함께 유전될 때, 각각의 대립유전자 쌍이 다른 쌍에 영향을 주지 않고 분리되어 독립적으로 유전되는 법칙이다.

R을 받아도, r을 받아도 씨 색깔은 반반



R과 r의 분리가 Y와 y의 분리를 정하지 않는다.

그림 4 R을 받는지와 Y를 받는지는 별개인 관계

RrYy에서 R을 가진 생식세포만 모아도 RY:Ry = 1:1이다. r을 가진 생식세포만 모아도 rY:ry = 1:1이다. **R을 받았다는 사실만으로 Y를 받을지 y를 받을지가 정해지지 않는다.**

구별할 원리	무엇을 설명하나?	이 편의 예
분리의 법칙	한 쌍 안에서 두 대립유전자가 나뉨	R과 r 중 하나만 생식세포로 들어감
독립의 법칙	서로 다른 쌍의 분리가 서로 영향을 주지 않음	R은 Y 또는 y와 함께 들어갈 수 있음

독립의 법칙은 모든 유전자 조합에 무조건 적용되는 것은 아니다. 이 편에서는 두 형질의 유전자가 **서로 다른 상동 염색체 쌍에 있는 경우**를 다룬다.

쉽게 생각하면 **씨 모양의 R을 받았다고 씨 색깔의 Y와 y 중 무엇을 받을지까지 정해지는 것은 아니다.**

Q5 어버이에게 없던 씨 모양과 색깔의 조합은 왜 자손에게 나타날까?

한줄답 잡종 1대가 처음 어버이에게 없던 종류의 생식세포(Ry, rY)를 만들고, 이것이 수정에 참여하기 때문이다.

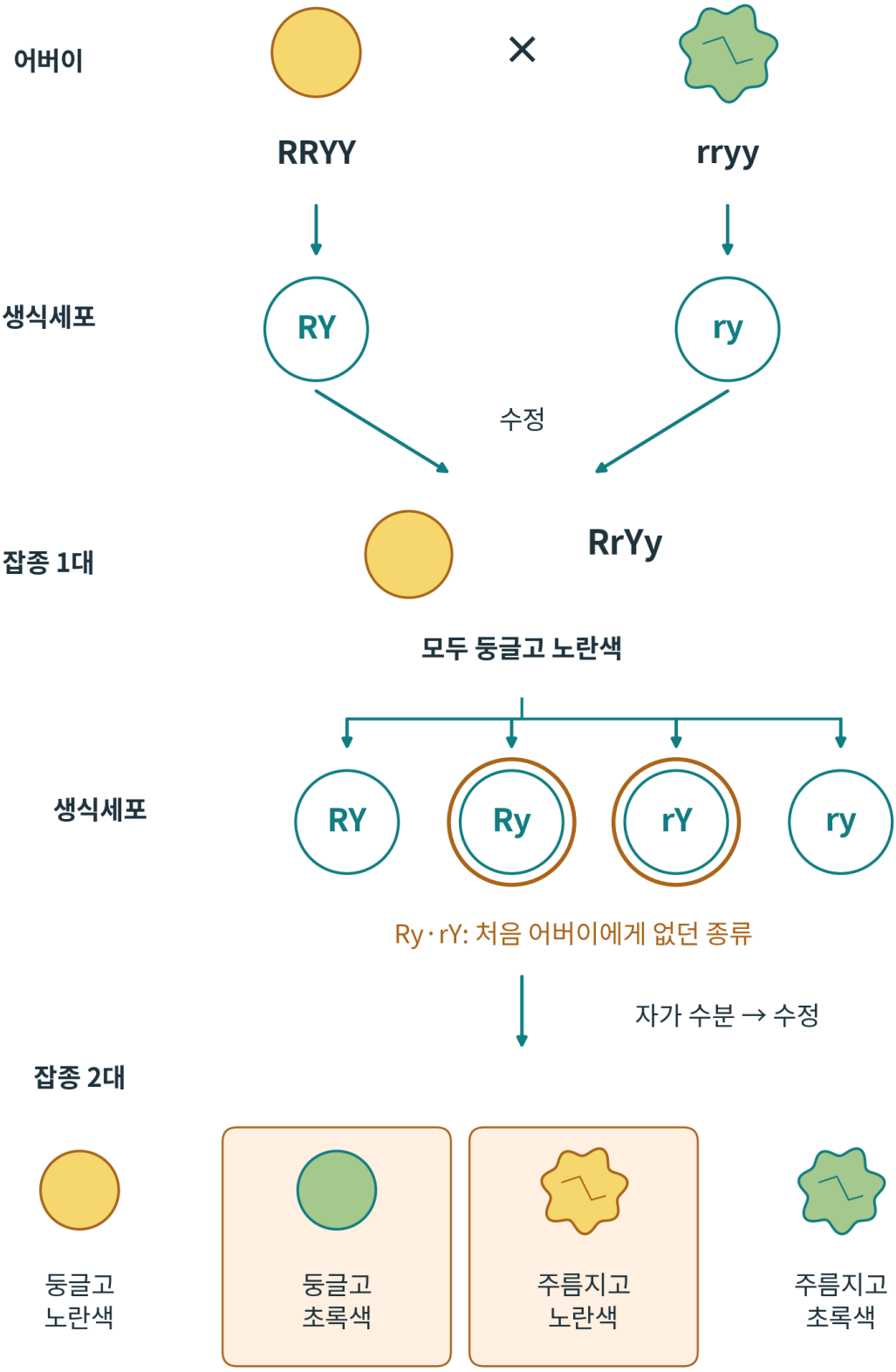


그림 5 어버이의 교배부터 잡종 2대의 네 표현형까지

생식세포가 달라졌다

누가 만든 생식세포인가	생식세포의 종류	눈여겨볼 것
어버이 RRYY, rryy	RY, ry	R은 늘 Y와, r은 늘 y와 함께 있다.
잡종 1대 RrYy	RY, **Ry, rY**, ry	**R이 y와, r이 Y와 함께 든 생식세포가 처음 생긴다.**

처음 어버이는 **둥글고 노란색**과 **주름지고 초록색**이다. 잡종 2대에는 **둥글고 초록색**과 **주름지고 노란색**도 나타난다. 모양과 색깔 각각은 처음부터 있던 형질이고, 달라진 것은 **둘이 함께 나타나는 조합**이다.

생식세포의 만남 예	자손의 유전자형	자손의 표현형
Ry + ry	Rryy	둥글고 초록색
rY + ry	rrYy	주름지고 노란색
Ry + rY	RrYy	둥글고 노란색

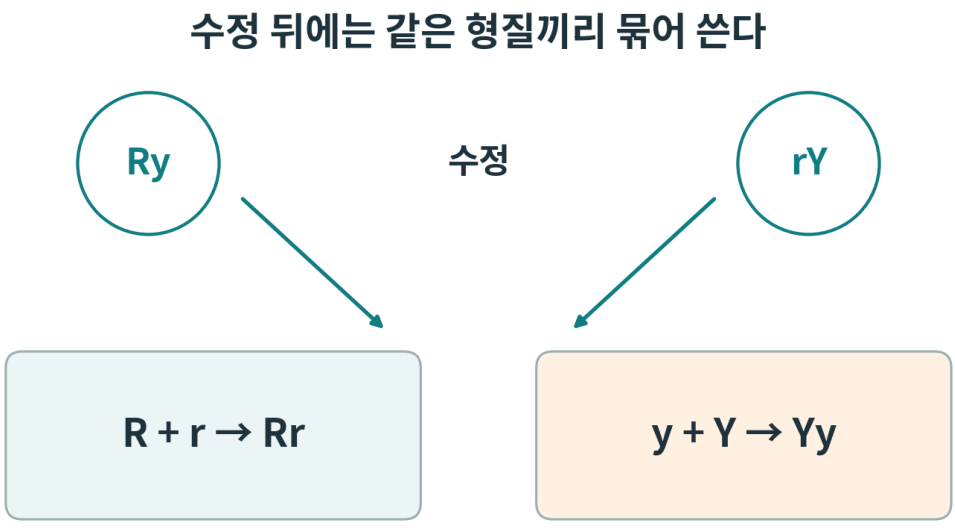


그림 6 두 생식세포를 합친 뒤 형질별로 기호 묶기

수정 뒤에는 두 생식세포의 기호를 **같은 형질끼리 다시 묶는다.** 예를 들어 Ry와 rY가 만나면 씨 모양은 Rr, 씨 색깔은 Yy이므로 자손은 RrYy이다.

자가 수분에서는 RrYy인 한 개체가 암술 쪽과 수술 쪽 생식세포를 모두 만든다. 양쪽에서 만든 생식세포가 만나므로 **RrYy × RrYy**로 나타낸다.

쉽게 생각하면 **새 글자가 생긴 것이 아니라, 원래 있던 글자들의 짝이 달라진 것이다.**

실전 연결 ② **두 형질 모두 우성으로 보이면 순종일까?**

대표 문제

RRYY와 rryy인 완두를 교배하여 얻은 잡종 1대가 두 형질 모두 우성으로 보인다. 잡종 1대의 유전자형을 쓰고, 각 형질에 대해 순종인지 잡종인지 판단하시오.

어버이의 생식세포	자손이 받는 것	결론
RRYY는 RY만, rryy는 ry만 만듦	씨 모양 R+r, 씨 색깔 Y+y	RrYy. 두 형질 모두 잡종

기억할 기준 **겉모습으로 판단하지 않는다. Rr과 Yy를 각각 보아 두 글자가 같은지 비교한다.**

확인 문제 13–20

13 RRyy와 rrYY를 교배할 때, 각각의 생식세포 종류와 자손의 유전자형을 쓰시오.

RRyy의 생식세포: ( ) / rrYY의 생식세포: ( )
자손의 유전자형: ( )

14 독립의 법칙에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 한 쌍의 대립유전자가 나뉘는 일이 다른 쌍의 분리를 정하지 않는다.
② 같은 쌍의 대립유전자 두 개가 한 생식세포로 함께 들어간다.
③ 우성 대립유전자끼리는 항상 함께 전달된다.
④ 유전자들이 어버이에게서 전달되지 않고 자손에서 새로 생긴다.
⑤ 독립적으로 유전되는 두 형질의 자손 비율은 어떤 교배에서도 9:3:3:1이다.

15 Ry인 생식세포와 rY인 생식세포가 수정하였다. 자손의 유전자형을 씨 모양·씨 색깔 순서로 쓰시오.

답: ( )

16 처음 어버이가 순종의 둥글고 노란색인 완두와 순종의 주름지고 초록색인 완두였다. 잡종 2대에 나타나는 표현형 중 **처음 어버이에게 없던 두 표현형**을 바르게 묶은 것은?

① 둥글고 노란색, 주름지고 초록색
② 둥글고 노란색, 둥글고 초록색
③ 주름지고 노란색, 주름지고 초록색
④ 둥글고 초록색, 주름지고 노란색
⑤ 둥글고 노란색, 주름지고 노란색

17 16번의 새로운 조합이 생긴 까닭을 **‘대립유전자’와 ‘조합’**을 넣어 한 문장으로 쓰시오.

답: _____

18 RrYy인 개체의 생식세포 중 **R을 가진 것만** 조사하였다. 이 가운데 Y를 함께 가진 것의 비율은?

① 0 ② $\frac{1}{4}$ ③ $\frac{1}{2}$ ④ $\frac{3}{4}$ ⑤ 1

19 알맞은 법칙 이름을 쓰시오.

(가) R과 r이 서로 다른 생식세포로 나뉘어 들어간다. (　　)
(나) R을 받는지 r을 받는지가 Y를 받는지 y를 받는지를 정하지 않는다. (　　)

20 RrYy인 완두에 관한 설명으로 옳은 것은?

① 씨 모양은 순종이고 씨 색깔만 잡종이다.
② 자가 수분할 때 암술 쪽과 수술 쪽에서 각각 네 종류의 생식세포를 만든다.
③ 자가 수분은 생식세포가 하나만 참여하는 과정이다.
④ RY와 ry만 만들고 Ry와 rY는 만들지 않는다.
⑤ 우성 형질이 둘 보이므로 열성 대립유전자는 없다.

3 결과의 예측

Q6 9:3:3:1은 외워야만 알 수 있는 비율일까?

한줄답 아니다. RrYy × RrYy의 수정 조합을 세거나, 두 형질의 확률을 함께 계산하면 구할 수 있다.

① 교배표에서 세기

RrYy × RrYy의 16가지 수정 조합

암술 쪽 생식세포 / 수술 쪽 생식세포

	RY	Ry	rY	ry
RY	RRYY	RRYy	RrYY	RrYy
Ry	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
rY	RrYY	RrYy	rrYY	rrYy
ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

둥글고 노란색 / 둥글고 초록색 / 주름지고 노란색 / 주름지고 초록색

안쪽 각 칸의 확률은 1/16 · 칸 수는 실제 자손 수가 아님

그림 7 생식세포 네 종류씩이 만나는 16칸 교배표

교배표의 맨 윗줄과 맨 왼쪽 줄은 **생식세포의 종류**, 안쪽은 **자손의 유전자형**이다. 각 생식세포의 비율이 $\frac{1}{4}$ 이므로 안쪽 각 칸의 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \mathbf{\frac{1}{16}}$ 이다. 기호가 같은 칸도 서로 다른 수정 조합에서 나왔다면 각각 센다.

자손의 표현형	유전자형(칸 수)	칸 수 합	확률
둥글고 노란색	RRYY(1) · RRYy(2) · RrYY(2) · RrYy(4)	9	$\frac{9}{16}$
둥글고 초록색	RRyy(1) · Rryy(2)	3	$\frac{3}{16}$
주름지고 노란색	rrYY(1) · rrYy(2)	3	$\frac{3}{16}$
주름지고 초록색	rryy(1)	1	$\frac{1}{16}$

예를 들어 RrYy는 16칸 중 **네 칸**에 있으므로 확률이 $\frac{4}{16} = \frac{1}{4}$이다. 자손의 서로 다른 **유전자형 종류는 아홉 가지**, **표현형 종류는 네 가지**이다. 16은 유전자형 종류 수나 실제 자손 수가 아니다.

①′ 같은 16칸을 한 형질씩 다시 보면

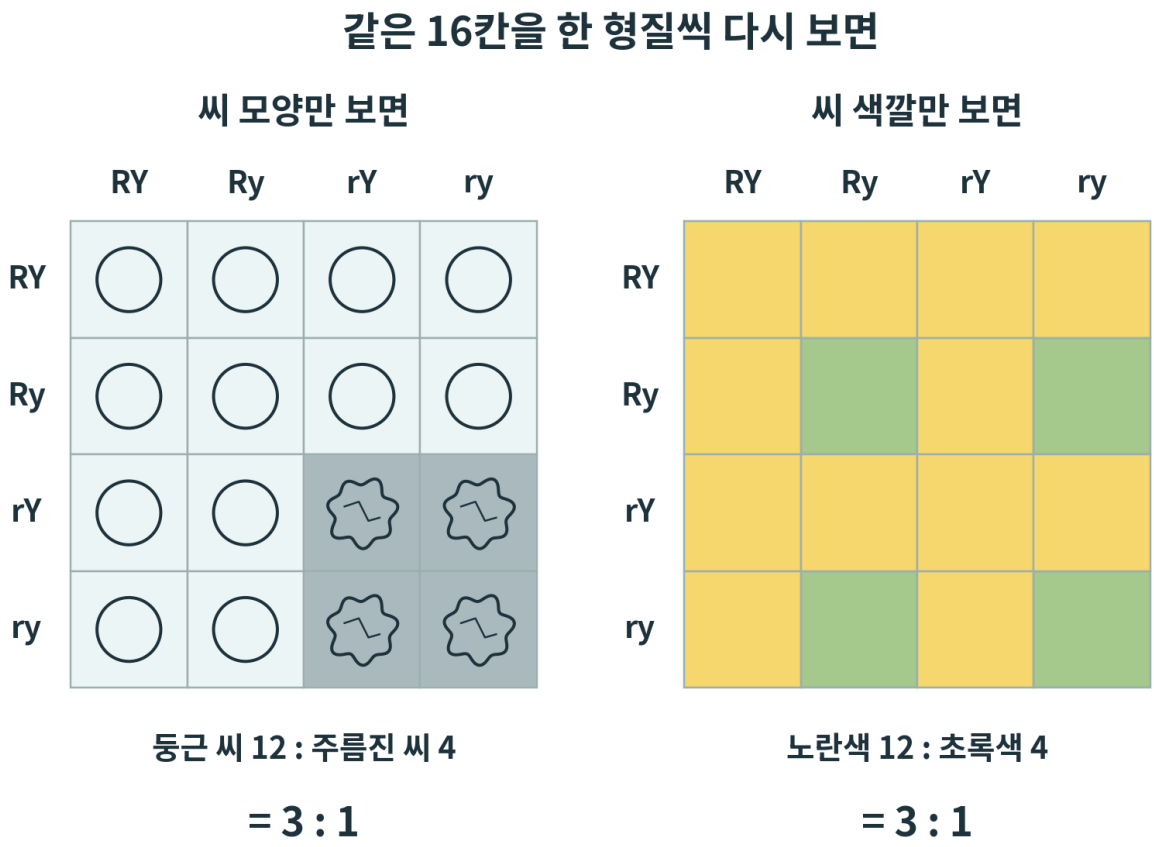


그림 7과 칸 위치가 같음 · 한 형질만 골라 구별함

그림 8 같은 교배표에서 씨 모양과 씨 색깔을 따로 센 결과

둥근 자손만 세면 9+3 = 12칸, 주름진 자손은 3+1 = 4칸이다. 따라서 **씨 모양만 보면 여전히 3:1**이다. 씨 색깔만 보아도 노란색 12칸, 초록색 4칸으로 3:1이다.

각 형질만 보면 앞에서 한 형질을 배울 때의 3:1과 같다. 이 편에서는 Q3·Q4에서 살펴본 것처럼 **두 형질이 독립적으로 유전되므로, 한 형질의 결과가 다른 형질의 확률을 바꾸지 않는다.** 따라서 두 조건의 확률을 곱할 수 있다.

② 한 형질씩 구한 뒤 함께 계산하기

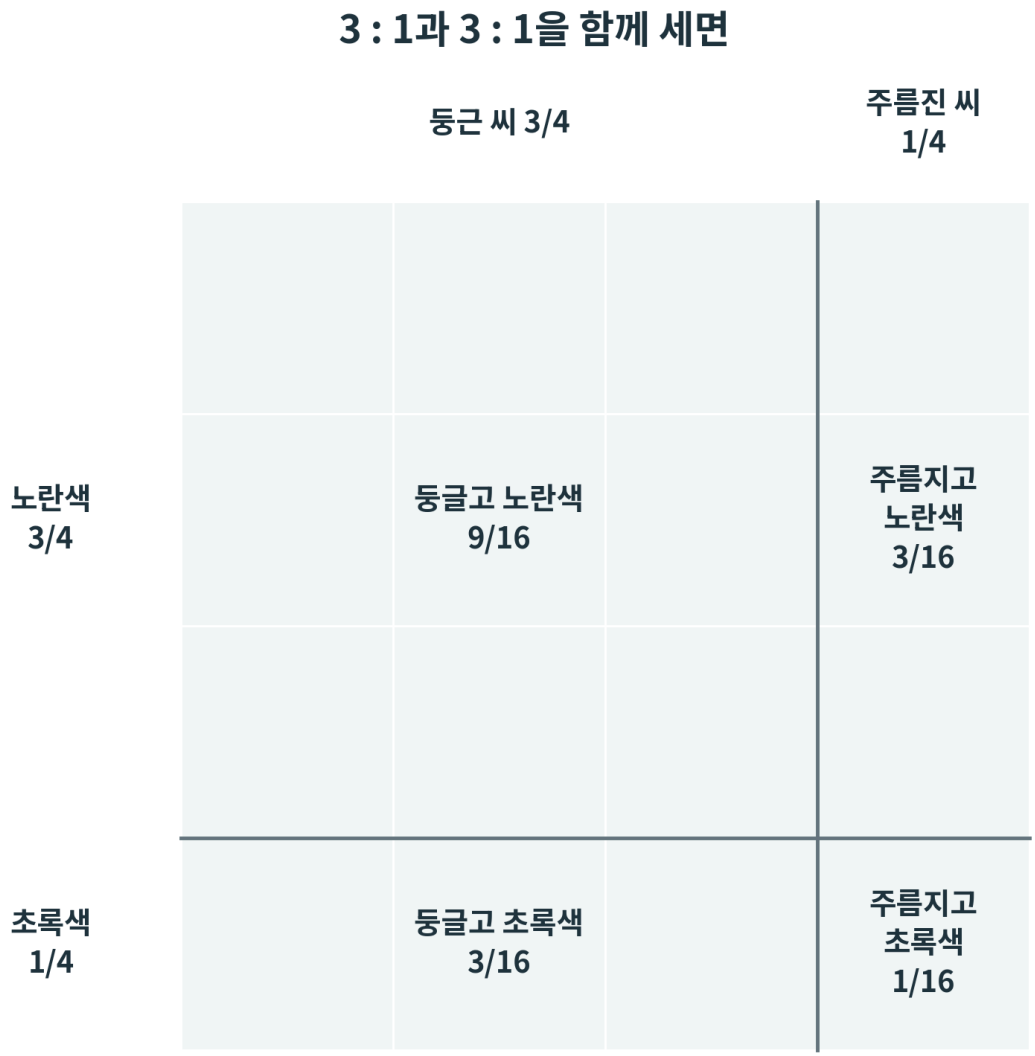


그림 9 두 형질의 확률을 함께 계산한 네 영역

조사하는 형질	한 형질만 본 교배	결과
씨 모양	Rr × Rr	둥근 씨 $\frac{3}{4}$, 주름진 씨 $\frac{1}{4}$
씨 색깔	Yy × Yy	노란색 $\frac{3}{4}$, 초록색 $\frac{1}{4}$

두 형질이 독립적으로 유전되므로, **두 조건을 동시에 만족하는 확률은 각 확률을 곱한다.**

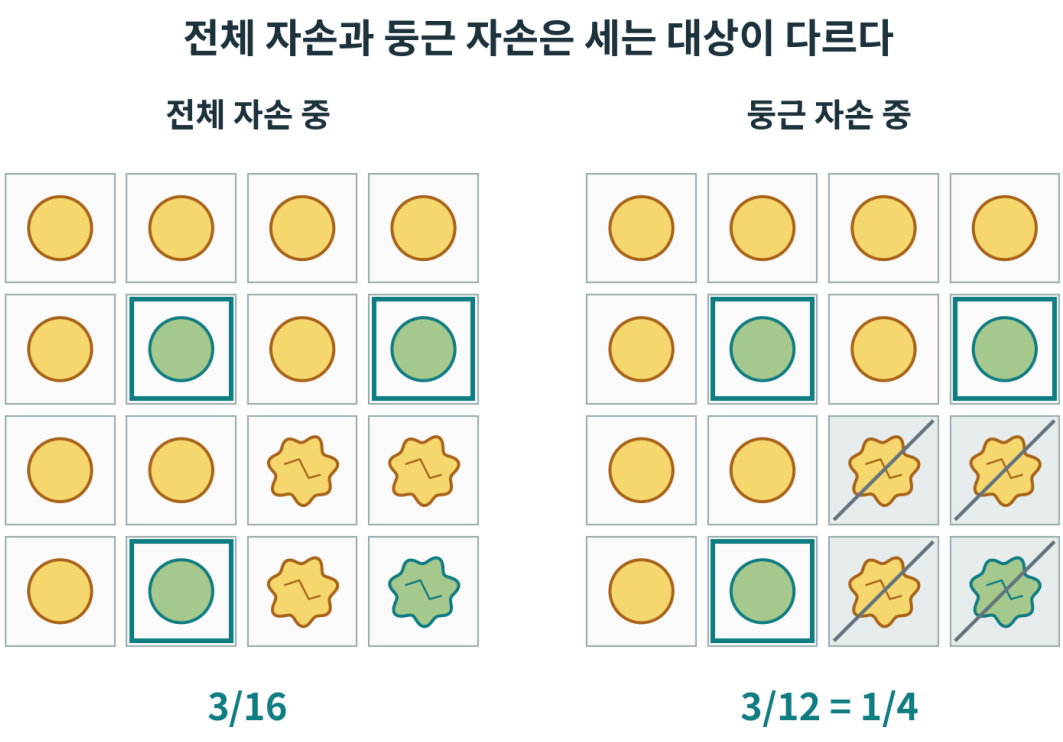
함께 만족해야 하는 조건	계산	확률
둥글면서 노란색	$\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$	$\frac{9}{16}$
둥글면서 초록색	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$
주름지면서 노란색	$\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$	$\frac{3}{16}$
주름지면서 초록색	$\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$

쉽게 생각하면 **‘둥글고 초록색’은 둥글기만 해도 안 되고, 초록색이기만 해도 안 된다. 두 조건을 모두 만족해야 한다.**

실전 연결 ③ ‘전체 중’과 ‘둥근 자손 중’은 어떻게 다를까?

대표 문제

RrYy × RrYy의 자손에서, (가) 전체 자손 중 둥글고 초록색인 비율, (나) 둥근 자손 중 초록색인 비율을 구하시오.



강조 테두리: 둥글고 초록색인 자손
오른쪽 빗금: 둥근 자손만 셀 때 제외하는 칸
그림 10 같은 교배표에서 세는 대상을 좁힌 경우

묻는 것	전체로 삼는 칸	해당하는 칸	답
전체 자손 중 둥글고 초록색	16	3	$\frac{3}{16}$
둥근 자손 중 초록색	12	3	$\frac{3}{12} = \frac{1}{4}$

기억할 기준 **‘무엇 중에서’라고 했는지에 따라 전체로 세는 대상이 달라진다.**

Q7 두 형질을 함께 조사하면 언제나 9:3:3:1이 나올까?

한줄답 **아니다. 어버이의 유전자형과 우열·독립 조건이 맞아야 그 비율을 예상할 수 있다.**

9:3:3:1을 예상하는 조건	이 편에 적용하면
두 어버이가 모두 두 형질에 대해 잡종	RrYy × RrYy
각 형질에서 우성·열성 관계가 분명함	Rr은 둥글고, Yy는 노란색
두 형질이 독립적으로 유전됨	RY·Ry·rY·ry가 같은 비율로 생김
생식세포가 우연히 만남	16가지 수정 조합의 확률이 같음

9:3:3:1은 이론적 비율이다. 자손을 실제로 16개 얻었다고 반드시 9개·3개·3개·1개가 되는 것은 아니다. 각 자손의 확률로 계산한 예상 개수와 실제 관찰한 개수를 구별한다.

멘델이 관찰한 잡종 2대의 씨는 모두 556개였다. 실제 결과도 이론적 비율과 비교해 볼 수 있다.

잡종 2대	둥근 노랑	둥근 초록	주름 노랑	주름 초록	합계
실제 개수	315	108	101	32	556
이론상 예상 개수	312.75	104.25	104.25	34.75	556

이론상 예상 개수 = 전체 자손 수 × 해당 표현형·유전자형의 확률

예를 들어 둥글고 노란색인 씨의 예상 개수는 **$556 \times \frac{9}{16} = 312.75$개**이다. 실제로 관찰한 315개와는 조금 다르다. 예상값은 소수로 나올 수 있지만, 실제로 센 씨의 개수는 정수이다.

같은 자료에서 씨 모양만 세면 423:133, 씨 색깔만 세면 416:140으로, 각각 약 3:1이다. Q6에서 한 형질씩 나누어 세었던 방법과 같다.

열성 순종(rryy)과 교배하면? — 검정 교배

검정 교배는 우성 형질인 개체를 열성 순종과 교배하여 유전자형을 알아보는 방법이다.

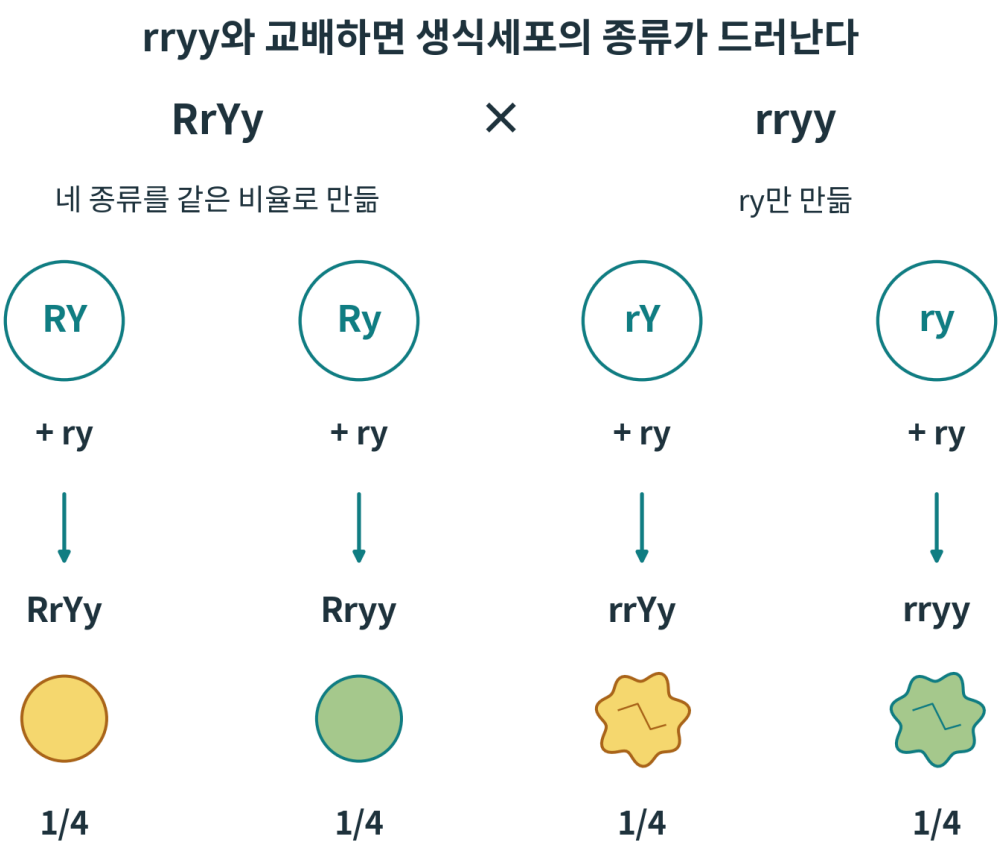


그림 11 RrYy와 rryy의 교배 결과

RrYy × rryy에서는 rryy인 상대가 **ry만** 준다. RrYy가 만드는 네 종류의 생식세포에 따라 자손은 RrYy·Rryy·rrYy·rryy가 같은 확률로 생긴다. 네 표현형의 비는 **1∶1∶1∶1**이다.

rryy는 열성 대립유전자만 주므로, 자손의 표현형은 RrYy가 준 생식세포에 따라 정해진다. 그래서 자손의 표현형 비 **1∶1∶1∶1은 RrYy가 만든 생식세포의 비와 같다.**

실전 연결 ④ 한쪽 어버이의 씨 색깔만 달라졌다면?

대표 문제

RrYy와 Rryy를 교배하였다. 자손 중 둥글고 초록색일 확률과 네 표현형의 비를 구하시오.

RrYy × Rryy는 8가지 수정 조합

RrYy의 생식세포

Rryy의 생식세포

	RY	Ry	rY	ry
Ry	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

둥근 노랑 : 둥근 초록 : 주름 노랑 : 주름 초록

3 : 3 : 1 : 1

안쪽 각 칸의 확률은 1/8

그림 12 두 어버이의 생식세포 종류 수가 다른 교배

형질별로 나누면	교배	원하는 결과의 확률
씨 모양	Rr × Rr	둥근 씨 $\frac{3}{4}$
씨 색깔	Yy × yy	초록색 $\frac{1}{2}$
둘을 함께 만족	둥글고 초록색	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \mathbf{\frac{3}{8}}$

둥근 노랑	둥근 초록	주름 노랑	주름 초록
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$

따라서 네 표현형의 비는 **3:3:1:1**이다. 그림 12의 안쪽 여덟 칸에서 각각 세어도 같은 결과이다.

기억할 기준 **교배가 바뀌면 생식세포부터 다시 쓴다. 9:3:3:1을 먼저 가져오지 않는다.**

확인 문제 21–36

21–28번에서는 RrYy × RrYy의 교배를 다룬다.

21 교배표에 관한 설명으로 옳은 것은?

① 안쪽 16칸은 서로 다른 유전자형 16종을 나타낸다.
② 안쪽 한 칸은 생식세포 하나를 나타낸다.
③ 맨 윗줄의 RY는 자손의 유전자형이다.
④ RrYy는 교배표에 한 번만 나오므로 확률이 $\frac{1}{16}$ 이다.
⑤ 각 생식세포가 같은 비율로 만들어지므로 안쪽 각 칸의 확률은 $\frac{1}{16}$ 이다.

22 다음은 교배표의 일부이다. 빈칸에 **자손의 유전자형**을 쓰시오.

수술 쪽 생식세포 ＼ 암술 쪽 생식세포	RY	ry
Ry	(가) ( )	(나) ( )
rY	(다) ( )	(라) ( )

23 자손 중 **주름지고 노란색**일 확률은?

① $\frac{1}{16}$ ② $\frac{1}{4}$ ③ $\frac{3}{16}$ ④ $\frac{9}{16}$ ⑤ $\frac{3}{4}$

24 자손의 유전자형이 **RrYy**일 확률을 분수로 쓰시오.

답: ( )

25 자손의 씨 색깔을 구별하지 않고 **씨 모양만** 조사하였다. 둥근 씨:주름진 씨의 이론적 비는?

① 1:1 ② 9:1 ③ 9:7 ④ 3:1 ⑤ 1:2:1

26 자손 320개의 이론상 예상 개수를 쓰시오.

표현형	둥근 노랑	둥근 초록	주름 노랑	주름 초록
예상 개수	( )개	( )개	( )개	( )개

27 **주름진 자손만** 대상으로 할 때, 그중 노란색인 비율은?

① $\frac{3}{16}$ ② $\frac{3}{4}$ ③ $\frac{1}{4}$ ④ $\frac{1}{3}$ ⑤ $\frac{1}{16}$

28 자손의 유전자형이 **RRyy**일 확률과, **둥글고 초록색**일 확률을 각각 쓰시오.

RRyy: ( ) / 둥글고 초록색: ( )

29 RrYy × rryy에서 네 표현형의 이론적 비를 **둥근 노랑:둥근 초록:주름 노랑:주름 초록** 순서로 쓴 것은?

① 1:1:1:1 ② 9:3:3:1 ③ 3:3:1:1 ④ 3:1:3:1 ⑤ 1:1

30 RrYy × Rryy에서 다음을 쓰시오.

(가) Rryy인 어버이의 생식세포 두 종류: ( ), ( )
(나) 주름지고 초록색인 자손이 생길 확률: ( )

31 어떤 교배의 자손에서 네 표현형의 이론적 비가 9:3:3:1이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 실제 자손을 16개 얻으면 표현형별 개수는 반드시 9·3·3·1이다.
② 자손 네 개마다 같은 표현형이 하나씩 차례로 나온다.
③ 앞에서 주름지고 초록색인 자손이 없었다면 다음에는 반드시 나온다.
④ 자손 수가 많아질수록 각 수정의 확률도 계속 달라진다.
⑤ 이 비율로 예상 개수를 구할 수 있지만 실제 개수와 반드시 같지는 않다.

32 RrYy인 개체와 RRyy인 개체를 교배하였다. 빈칸을 채우시오.

둥근 자손의 비율: ( ) / 초록색 자손의 비율: ( )
둥글고 초록색인 자손의 비율: ( )

33 **RrYy × rryy의 자손에서 표현형의 비가 9:3:3:1이 되지 않는 까닭**으로 옳은 것은?

① 두 어버이가 모두 네 종류의 생식세포를 만들기 때문이다.
② rryy인 어버이는 생식세포를 만들지 못하기 때문이다.
③ 이 교배에서는 한 쌍의 대립유전자가 분리되지 않기 때문이다.
④ 한쪽 어버이가 ry만 전달하기 때문이다.
⑤ 자손의 유전자형 16종이 같은 비율로 생기기 때문이다.

34–35번 공통 자료

두 형질이 독립적으로 유전되는 가상의 식물에서, 열매의 **둥근 모양 A는 긴 모양 a에 대해 우성**, **보라색 B는 흰색 b에 대해 우성**이다. 두 형질 모두 잡종인 개체가 자가 수분하였다.

34 이 개체의 유전자형과, 이 개체가 만드는 생식세포 네 종류를 쓰시오.

유전자형: ( )
생식세포: ( ), ( ), ( ), ( )

35 자손 중 **길고 보라색인 열매**를 맺는 개체의 유전자형으로 가능한 것을 모두 쓰고, 이 표현형이 나타날 확률을 구하시오.

가능한 유전자형: ( ) / 확률: ( )

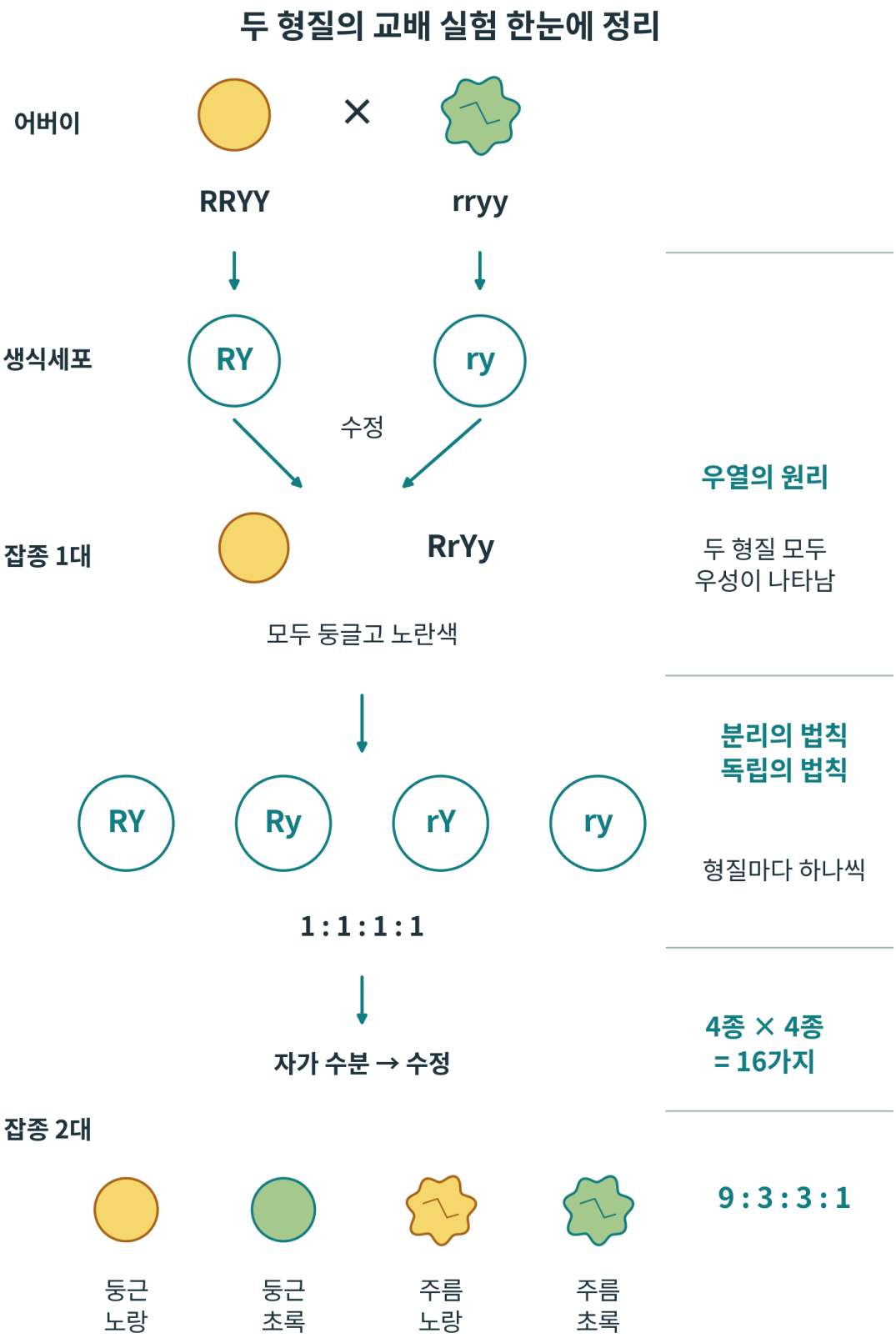
36 〈보기〉에서 옳은 것을 있는 대로 고른 것은?

보기

ㄱ. RrYy인 개체는 형질마다 대립유전자를 하나씩 가진 생식세포를 만든다.
ㄴ. RrYy × RrYy의 자손에서 둥글고 노란색인 개체의 유전자형은 한 가지뿐이다.
ㄷ. RrYy × Rryy의 자손 중 주름지고 노란색일 확률은 $\frac{1}{8}$이다.
ㄹ. RrYy인 개체의 어느 한 세포가 감수 분열을 하면 네 종류의 생식세포가 언제나 하나씩 만들어진다.

① ㄱ ② ㄴ, ㄹ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄷ

한눈에 정리



RrYy의 두 유전자가 독립적으로 유전되는 경우

그림 13 두 형질의 분리·독립·수정 연결

원리	어떤 관계를 설명하나?	두 형질의 예
우열의 원리	잡종에서 나타나는 형질	Rr은 둥글고 Yy는 노란색
분리의 법칙	한 쌍의 대립유전자가 서로 나뉨	R과 r은 서로 다른 생식세포로
독립의 법칙	서로 다른 쌍의 분리가 서로 영향을 주지 않음	R은 Y 또는 y와 함께 들어갈 수 있음

다음 표는 이 편의 우열·독립 조건에서 예상한 비율이다. 표현형 순서는 **둥근 노랑:둥근 초록:주름 노랑:주름 초록**이다.

교배	두 어버이의 생식세포 종류 수	표현형의 이론적 비
RrYy × RrYy	4종 × 4종	9:3:3:1
RrYy × rryy	4종 × 1종	1:1:1:1
RrYy × Rryy	4종 × 2종	3:3:1:1
RrYy × RRyy	4종 × 1종	둥근 노랑 : 둥근 초록 = 1 : 1 (주름진 씨는 없음)

기억할 기준 **기호는 형질별로 묶고, 생식세포는 각 쌍에서 하나씩, 자손의 두 조건은 독립일 때 확률을 곱한다.**

정답과 해설

1–12. 생식세포의 종류

1 ②

씨 모양 Rr과 씨 색깔 Yy를 함께 쓴 것이다. ① 이 생물의 모든 유전자를 나타내지 않는다. ③ RrYy는 개체의 유전자형이며 생식세포는 각 쌍에서 하나씩 갖는다. ④ 기호 수로 염색체 전체 개수를 정할 수 없다. ⑤ R의 대립유전자는 r이며 Y가 아니다.

2 **R과 r / Y와 y**

같은 형질에 관여하는 한 쌍씩 묶는다. R과 Y, r과 y를 묶으면 서로 다른 형질의 유전자를 대립유전자로 잘못 연결한 것이다.

3 ④

rY는 씨 모양에서 r, 씨 색깔에서 Y를 하나씩 가진다. ① Rr은 씨 모양의 한 쌍이 함께 있다. ② Yy는 씨 색깔의 한 쌍이 함께 있다. ③ RrYy는 두 쌍을 가진 개체의 유전자형이다. ⑤ RR은 씨 모양의 대립유전자 두 개를 함께 쓴 것이며 씨 색깔 기호도 없다.

4 **RRyy: 둥근 모양·초록색 / rrYy: 주름진 모양·노란색**

두 형질을 각각 읽는다. RR은 둥글고 yy는 초록색이다. rr은 주름지며 Yy는 노란색이다.

5 ①

RR에서는 R만, Yy에서는 Y 또는 y를 준다. 따라서 RY와 Ry가 같은 비율로 생긴다. ② r은 이 개체에 없다. ③ rY와 ry를 만들 수 없다. ④ Rr과 Yy는 형질별로 하나씩 가진 생식세포 표기가 아니다. ⑤ Ry도 만든다.

6 $\frac{1}{4}$

RrYy의 네 종류의 생식세포 RY·Ry·rY·ry는 같은 비율로 만들어진다. 그중 ry는 한 종류이므로 $\frac{1}{4}$이다.

7 ③

Rr에서는 R 또는 r, yy에서는 y만 준다. ①·② 이 개체는 Y가 없어 Y가 포함된 생식세포를 만들 수 없다. ④ Rr과 yy는 각 형질의 한 쌍을 그대로 쓴 것이다. ⑤ Ry도 가능하므로 ry만 나열하면 빠진 종류가 있다.

8 **RY, ry**

R과 Y가 같은 쪽으로 이동하면 r과 y는 반대쪽으로 이동한다. 그림 3의 모형에서 분열을 마치면 RY 두 개와 ry 두 개가 된다.

9 **서로 다른**

R·r과 Y·y는 서로 다른 상동 염색체 쌍에 있다. 각 쌍은 나뉘지만 두 쌍의 분리 방향은 서로를 정하지 않는다.

10 ⑤

네 종류의 비율은 여러 세포에서 만들어진 생식세포를 함께 보아 설명한다. ① 씨 모양에서는 R 또는 r 하나를 갖는다. ② 감수 1분열에서는 상동 염색체가 나뉜다. ③ R은 Y 또는 y와 함께 들어갈 수 있다. ④ 그림의 한 배치에서는 두 종류가 두 개씩 생기므로 네 종류가 하나씩 나온다고 할 수 없다.

11 **(가) X, (나) O, (다) X**
(가) RY는 서로 다른 두 유전자를 함께 쓴 표기이다. (나) 씨 모양에서 R, 씨 색깔에서 Y를 하나씩 갖는다. (다) 이 기호는 조사하는 두 형질만 나타내므로 염색체 전체 개수를 알 수 없다.

12 **②, ④**
② rr에서는 r만, yy에서는 y만 주므로 ry만 만든다. ④ RY와 Ry의 첫 글자는 R로 같고 둘째 글자는 Y와 y로 다르다. ① Rr은 씨 모양의 한 쌍이다. ③ RRYY에는 r과 y가 없다. ⑤ '각 쌍에서 하나씩'이므로 조사하는 두 형질을 함께 쓰면 생식세포 기호는 두 글자이다.

13–20. 독립과 새로운 조합

13 **Ry / rY / RrYy**
RRyy에서는 R과 y만 전달하고, rrYY에서는 r과 Y만 전달한다. 자손은 Rr과 Yy를 함께 갖는다.

14 **①**
독립은 서로 다른 대립유전자 쌍의 분리가 서로를 정하지 않는다는 뜻이다. ② 한 쌍의 두 대립유전자는 분리된다. ③ R은 Y 또는 y와 함께 전달된다. ④ 기존 대립유전자를 전달받는다. ⑤ 어버이의 유전자형 등이 달라지면 비율도 달라진다.

15 **RrYy**
씨 모양은 R+r = Rr, 씨 색깔은 y+Y = Yy이다. 수정에 참여한 생식세포를 이어 쓴 RyrY에서 멈추지 않고 같은 형질끼리 묶는다.

16 **④**
처음 어버이에게 없던 표현형은 둥글고 초록색과 주름지고 노란색이다. ① 두 표현형 모두 처음 어버이에게 있었다. ② 둥글고 노란색, ③ 주름지고 초록색, ⑤ 둥글고 노란색이 처음 어버이에게 있던 표현형이므로 새 표현형 두 가지를 모두 고른 것이 아니다.

17 **모범 답: 어버이에게서 받은 대립유전자들이 새로운 조합을 이루었기 때문이다.**
'기존 대립유전자의 전달'과 '조합의 변화'가 모두 드러나면 맞다. R·r·Y·y 중 없던 대립유전자가 갑자기 만들어졌다는 설명은 이 교배의 새로운 표현형을 설명하지 못한다.

18 **③**
R을 가진 생식세포는 RY와 Ry이며 같은 비율이다. 이 둘 중 RY의 비율은 $\frac{1}{2}$이다. ② $\frac{1}{4}$은 전체 생식세포 중 RY의 비율이다. ① 0이면 RY가 없다는 뜻이지만 RY도 만든다. ④ $\frac{3}{4}$은 한 형질에서 잡종끼리 교배할 때 우성 표현형인 자손의 비율로, 여기서 묻는 생식세포의 비율과 다르다. ⑤ Ry도 있으므로 모두 Y를 가진 것은 아니다.

19 **(가) 분리의 법칙, (나) 독립의 법칙**
(가)는 한 쌍 안의 관계, (나)는 서로 다른 쌍 사이의 관계이다. 독립적으로 유전되더라도 각 쌍에서는 분리의 법칙이 성립한다.

20 **②**
한 개체가 양쪽 생식세포를 모두 만들며 각각 RY·Ry·rY·ry가 가능하다. ① Rr과 Yy는 둘 다 잡종이다. ③ 자가 수분에서도 수정에는 두 생식세포가 참여한다. ④ Ry·rY도 만든다. ⑤ RrYy에는 r과 y가 있다.

21–36. 결과의 예측

21 ⑤

각 조합의 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$ 이다. ① 서로 다른 자손 유전자형은 아홉 가지이며 같은 유전자형이 여러 칸에 있다. ② 안쪽 한 칸은 두 생식세포가 만나 생기는 자손의 유전자형이다. ③ 맨 윗줄 RY는 생식세포의 종류이다. ④ RrYy는 네 칸에 있어 확률이 $\frac{4}{16} = \frac{1}{4}$이다.

22 **(가) RRYy, (나) Rryy, (다) RrYY, (라) rrYy**

각 칸에서 씨 모양 두 글자와 씨 색깔 두 글자를 각각 묶는다. (가) Ry+RY, (나) Ry+ry, (다) rY+RY, (라) rY+ry의 결과이다.

23 ③

주름진 씨일 확률 $\frac{1}{4}$과 노란색일 확률 $\frac{3}{4}$를 곱하면 $\frac{3}{16}$ 이다. ①은 주름지고 초록색, ④는 둥글고 노란색의 확률이다. ②는 씨 모양만 보았을 때 주름진 비율이고, ⑤는 씨 색깔만 보았을 때 노란색의 비율이다.

24 $\frac{1}{4}$

씨 모양의 유전자형이 Rr일 확률 $\frac{1}{2}$과 씨 색깔의 유전자형이 Yy일 확률 $\frac{1}{2}$를 곱하면 $\frac{1}{4}$이다. 교배표의 네 칸을 세어도 $\frac{4}{16}$ 이다.

25 ④

둥근 씨는 9+3 = 12칸, 주름진 씨는 3+1 = 4칸이므로 3∶1이다. ① 1∶1은 씨 모양에서 순종(RR·rr)과 잡종(Rr)을 비교한 비율이다. ② 9∶1은 둥글고 노란색 9칸과 주름지고 초록색 1칸만 비교한 값이다. ③ 9∶7은 둥글고 노란색 9칸과 나머지 7칸을 비교한 값으로, 씨 모양만 나눈 결과가 아니다. ⑤ 1∶2∶1은 씨 모양 유전자형 RR∶Rr∶rr의 비이다.

26 **180개 / 60개 / 60개 / 20개**

$320 \times \frac{9}{16} = 180$, $320 \times \frac{3}{16} = 60$, $320 \times \frac{3}{16} = 60$, $320 \times \frac{1}{16} = 20$이다. 합계는 320개이며 실제 관찰 개수를 보장하지 않는다.

27 ②

주름진 자손은 주름지고 노란색 3칸과 주름지고 초록색 1칸이다. 이 네 칸 중 노란색은 세 칸이므로 $\frac{3}{4}$ 이다. ① $\frac{3}{16}$ 은 전체 자손 중 주름지고 노란색의 비율이다. ③ $\frac{1}{4}$은 주름진 자손 중 초록색 비율이다. ④ $\frac{1}{3}$은 주름지고 초록색 1칸을 주름지고 노란색 3칸과 비교한 값이다. 문제에서는 주름진 자손 전체 4칸 중 노란색인 3칸을 세어야 한다. ⑤ $\frac{1}{16}$ 은 전체 자손 중 주름지고 초록색의 비율이다.

28 $\frac{1}{16}$ / $\frac{3}{16}$

RRyy는 RR $\frac{1}{4}$ × yy $\frac{1}{4}$ = $\frac{1}{16}$ 이다. 둥글고 초록색에는 RRyy뿐 아니라 Rryy도 포함되므로 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{16}$ 이다. 유전자형을 묻는지 표현형을 묻는지 구별한다.

29 ①

RrYy는 RY·Ry·rY·ry를 같은 비율로, rryy는 ry만 만든다. 자손의 네 유전자형 RrYy·Rryy·rrYy·rryy가 각각 $\frac{1}{4}$이다. ② 9:3:3:1은 RrYy × RrYy, ③ 3:3:1:1은 RrYy × Rryy의 표현형 비이다. ④ 3:1:3:1은 씨 색깔의 비를 3:1로 잘못 적용한 값이다. 실제 씨 색깔 교배는 Yy × yy이므로 노란색:초록색은 1:1이다. ⑤ 1:1은 한 형질만 보았을 때의 비율로, 두 형질을 함께 구별한 네 표현형의 비가 아니다.

30 **(가) Ry, ry / (나) $\frac{1}{8}$**

Rryy에서는 R 또는 r과 y가 함께 들어간다. 자손이 주름질 확률은 Rr × Rr에서 $\frac{1}{4}$, 초록색일 확률은 Yy × yy에서 $\frac{1}{2}$이다. 두 확률을 곱하면 $\frac{1}{8}$이다.

31 ⑤

이론적 비율은 각 수정의 확률로 예상한 비율이다. ① 실제 적은 자손의 개수는 달라질 수 있다. ② 일정한 차례로 표현형이 배정되지 않는다. ③ 앞의 결과가 다음 자손의 형질을 강제로 정하지 않는다. ④ 어버이와 전달 조건이 같다면 각 수정의 확률도 유지된다.

32 **1 / $\frac{1}{2}$ / $\frac{1}{2}$**

씨 모양은 Rr × RR이므로 모두 둥글다. 씨 색깔은 Yy × yy이므로 초록색은 $\frac{1}{2}$이다. 둥글고 초록색일 확률은 1 × $\frac{1}{2}$ = $\frac{1}{2}$이다.

33 ④

rryy인 어버이는 ry만 만들므로 4종 × 4종 교배표를 쓸 수 없다. ① RrYy는 네 종류를 만들지만 rryy는 한 종류만 만든다. ② rryy도 ry인 생식세포를 만든다. ③ 이 교배에서도 각 쌍의 대립유전자는 분리된다. ⑤ 자손의 유전자형은 RrYy·Rryy·rrYy·rryy 네 종류이며 각각 같은 확률로 생긴다.

34 **AaBb / AB, Ab, aB, ab**

두 형질 모두 잡종이므로 각각 Aa와 Bb이다. 생식세포에는 A·a 중 하나와 B·b 중 하나가 들어간다.

35 **aaBB, aaBb / $\frac{3}{16}$**

긴 모양은 aa, 보라색은 BB 또는 Bb이다. 긴 모양의 확률 $\frac{1}{4}$과 보라색의 확률 $\frac{3}{4}$를 곱하면 $\frac{3}{16}$ 이다.

36 ⑤

ㄱ·ㄷ이 옳다. ㄷ은 주름진 씨일 확률 $\frac{1}{4}$ × 노란색일 확률 $\frac{1}{2}$ = $\frac{1}{8}$이다. ㄴ에서 둥글고 노란색인 자손의 유전자형은 RRYY·RRYy·RrYY·RrYy 네 가지이다. ㄹ의 네 종류는 여러 감수 분열을 함께 보았을 때의 결과이며 한 번마다 모두 하나씩 생기는 것은 아니다. ①은 옳은 ㄷ을 빠뜨렸고, ②는 틀린 ㄴ·ㄹ, ③·④는 틀린 ㄴ을 포함한다.

다음에 이어질 질문

사람은 완두처럼 교배 실험을 할 수 없다. 그렇다면 가족의 자료와 가계도에서 유전의 규칙을 어떻게 알아낼까?