
Chapter 3

실전 개념

: 형질 교배

형질 교배

가장 최근 수능에서 유전 현상 문제는 일반 유전에 대한 형질 교배가 출제되었으며 형질 교배는 크게 3가지 유형으로 분류된다.

㉠ 단독 출제 [★★★]

완전 우성 유전과 중간 유전 중 하나만 단독적으로 질문하여 표현형에이나 유전자형에 대한 정보를 질문한다. 유전 현상 중 하나만 단독적으로 질문할 때는 연관 상태 그리고 유전자 구성 추론이 풀이의 핵심으로 작용한다.

9. 다음은 사람의 유전 형질 (가)~(라)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해, (라)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해, D는 d에 대해, E는 e에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)~(라)의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있고, (가)~(다)의 유전자는 (라)의 유전자와 다른 염색체에 있다.
- (가)~(라)의 표현형이 모두 우성인 부모 사이에서 ㉠가 태어날 때, ㉠의 (가)~(라)의 표현형이 모두 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{16}$ 이다.

㉠가 (가)~(라) 중 적어도 2가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

- ① $\frac{7}{8}$ ② $\frac{3}{4}$ ③ $\frac{5}{8}$ ④ $\frac{1}{2}$ ⑤ $\frac{3}{8}$

23학년도 수능

㉡ 복합 출제 [★★★★]

완전 우성 유전과 중간 유전 중 어떤 유전 현상인지 구분하여야 하는 유형으로 연관 상태, 유전자 구성 추론과 더불어 주어진 유전 현상이 완전 우성 유전인지 중간 유전인지도 구분해야 한다. 다른 유전 현상인 다인자 유전이나 복대립 유전과 함께 출제되기도 한다.

16. 다음은 사람의 유전 형질 ㉢~㉤에 대한 자료이다.

- ㉢은 대립유전자 A와 a에 의해, ㉣은 대립유전자 B와 b에 의해 결정된다.
- 표 (가)와 (나)는 ㉢과 ㉣에서 유전자형이 서로 다를 때 표현형의 일치 여부를 각각 나타낸 것이다.

㉢의 유전자형			표현형	㉣의 유전자형			표현형
사람 1	사람 2	일치 여부		사람 1	사람 2	일치 여부	
AA	Aa	?		BB	Bb	?	
AA	aa	×		BB	bb	×	
Aa	aa	×		Bb	bb	×	

(○: 일치함, ×: 일치하지 않음) (가) (나)

- ㉤은 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 D, E, F가 있다.
- ㉤의 표현형은 4가지이며, ㉤의 유전자형이 DE인 사람과 EE인 사람의 표현형은 같고, 유전자형이 DF인 사람과 FF인 사람의 표현형은 같다.
- 여자 P는 남자 Q와 ㉢~㉣의 표현형이 모두 같고, P의 체세포에 들어 있는 일부 상염색체와 유전자는 그림과 같다.
- P와 Q 사이에서 ㉠가 태어날 때, ㉠의 ㉢~㉣의 표현형 중 한 가지만 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{8}$ 이다.



22학년도 수능

© 기타 [★★★★]

표현형에 대한 정보, 유전자형에 대한 정보 등 다양한 정보를 다채롭게 질문하여 새로운 유형이 등장할 수 있다.

다음은 사람의 유전 형질 ㉠과 ㉡에 대한 자료이다.

- ㉠과 ㉡의 유전자는 서로 다른 상염색체에 있다.
- ㉠은 대립유전자 A와 a에 의해 결정되며, A는 a에 대해 완전 우성이다.
- ㉡은 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 E, F, G가 있다. E와 F는 G에 대해 각각 완전 우성이고, ㉡의 표현형은 4가지이다.
- 표 (가)는 ㉡의 유전자형이 모두 다른 사람 I~IV 중 제시된 두 사람 간 ㉠과 ㉡의 표현형이 일치하는 개수와 제시된 두 사람 중 ㉠과 ㉡의 유전자형에서 한 가지만 이형 접합성인 사람 수를 나타낸 것이고, (나)는 I~IV 각각의 체세포 1개당 A와 E의 DNA 상대량을 더한 값(A+E)을 나타낸 것이다. P와 Q는 III과 IV를 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	표현형	한 가지만 이형	구분	A+E	
사람1	사람2	일치 개수	접합성인 사람 수		
I	II	0	1	I	2
I	III	1	1	II	2
II	IV	2	2	III	2
P	Q	0	1	IV	2

- (가) (나)
- I~III의 ㉠의 유전자형은 모두 다르다.
 - P와 Q 사이에서 ㉠이 태어날 때, ㉠과 ㉡의 표현형이 모두 P와 같을 확률은 $\frac{1}{8}$ 이다.

24학년도 수능 대비 디을 N제 43번

다음은 사람의 유전 형질 ㉢~㉤에 대한 자료이다.

- 서로 다른 4개의 상염색체 위에 있는 5쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d, E와 e, F와 f는 각각 형질 ㉢~㉤ 중 하나를 결정하는 데 관여하며, A, a, B, b는 7번 염색체에 있다.
- ㉢과 ㉣은 각각 1쌍의 대립유전자에 의해 결정된다.
- 표 (가)와 (나)는 ㉢과 ㉣에서 유전자형이 서로 다를 때 표현형의 일치 여부를 각각 나타낸 것이다. ㉢은 각각 A, B, D, E, F 중 하나이고, ㉣은 각각 a, b, d, e, f 중 하나이다.

㉢의 유전자형	표현형 일치	
사람 1	사람 2	여부
AA	aa	○
Aa	aa	×
Aa	aA	×

(○: 일치함, ×: 일치 안 함)
(가)

㉣의 유전자형	표현형 일치	
사람 1	사람 2	여부
BB	bb	×
Bb	bb	×
Bb	bB	×

(○: 일치함, ×: 일치 안 함)
(나)

- ㉤은 3쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, ㉤의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되고, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 표는 사람 I~IV의 ㉢~㉣의 유전자형을 나타낸 것이다. I과 II는 ㉢~㉣의 표현형이 모두 같다.

사람	I	II	III	IV
유전자형	aAaBbDdEeFf	AaBbDdEeFf	aAaBbDdEeFF	AaBbDdEeFf

- III과 IV 사이에서 ㉣이 태어날 때, ㉣의 ㉢~㉣에 대한 표현형 중 한 가지만 III과 같을 확률은 $\frac{9}{16}$ 이다.

24학년도 수능 대비 디을 N제 47번

유전 현상 (간접)

유전 현상 단원은 다음과 같이 간접적으로 등장하기도 한다.

㉠ 가계도 [★★★★]

가계도와 유전 현상 단원이 연계되어 출제될 수 있다.

19. 다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

- (가)의 유전자와 (나)의 유전자는 같은 염색체에 있다.
- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해 결정되며, A는 a에 대해 완전 우성이다.
- (나)는 대립유전자 E, F, G에 의해 결정되며, E는 F, G에 대해, F는 G에 대해 각각 완전 우성이다. (나)의 표현형은 3가지이다.
- 가계도는 구성원 ①을 제외한 구성원 1~5에게서 (가)의 발현 여부를 나타낸 것이다.
- 표는 구성원 1~5와 ①에서 체세포 1개당 E와 F의 DNA 상대량을 더한 값(E+F)과 체세포 1개당 F와 G의 DNA 상대량을 더한 값(F+G)을 나타낸 것이다. ①~⑤는 0, 1, 2를 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	1	2	3	①	4	5
DNA 상대량을 더한 값	E+F	?	?	1	②	0
F+G	③	?	1	1	1	④

23학년도 수능 - 복대립 + 반성 + 가계도

17. 다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다. (가)의 3가지 표현형은 각각 ①, ②, ③이다.
- (나)는 3쌍의 대립유전자 H와 h, R와 r, T와 t에 의해 결정된다. (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 가계도는 구성원 1~8에게서 발현된 (가)의 표현형을, 표는 구성원 1, 2, 3, 6, 7에서 체세포 1개당 E, H, R, T의 DNA 상대량을 더한 값(E+H+R+T)을 나타낸 것이다.

구성원	E+H+R+T
1	6
2	①
3	2
6	5
7	3

23학년도 6평 - 다인자 + 중간 + 가계도

㉠ 돌연변이 [★★]

돌연변이와 유전 현상 단원이 연계되어 출제될 수 있다.

17. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (가)는 서로 다른 상염색체에 있는 2쌍의 대립유전자 H와 h, T와 t에 의해 결정된다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 표는 이 가족 구성원의 체세포에서 대립유전자 ①~④의 유무와 (가)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수를 나타낸 것이다. ①~④는 H, h, T, t를 순서 없이 나타낸 것이고, ①~④는 0, 1, 2, 3, 4를 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	대립유전자				대문자로 표시되는 대립유전자의 수
	①	②	③	④	
아버지	○	○	×	○	①
어머니	○	○	○	○	②
자녀 1	?	×	×	○	③
자녀 2	○	○	?	×	④
자녀 3	○	?	○	×	⑤

(○: 있음, ×: 없음)

- 아버지의 정자 형성 과정에서 염색체 비분리가 1회 일어나 염색체 수가 비정상적인 정자 P가 형성되었다. P와 정상 난자가 수정되어 자녀 3이 태어났다.
- 자녀 3을 제외한 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

23학년도 수능 - 다인자 + 세포 대응 + 가계도

19. 다음은 어떤 가족의 ABO식 혈액형과 유전 형질 (가), (나)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 H와 h에 의해, (나)는 대립유전자 T와 t에 의해 결정된다. H는 h에 대해, T는 t에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)의 유전자와 (나)의 유전자 중 하나는 ABO식 혈액형 유전자와 같은 염색체에 있고, 나머지 하나는 X 염색체에 있다.
- 표는 구성원의 성별, ABO식 혈액형과 (가), (나)의 발현 여부를 나타낸 것이다.

구성원	성별	혈액형	(가)	(나)
아버지	남	A형	×	×
어머니	여	B형	×	○
자녀 1	남	AB형	○	×
자녀 2	여	B형	○	×
자녀 3	여	A형	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현 안 됨)

- 아버지와 어머니 중 한 명의 생식세포 형성 과정에서 대립 유전자 ①이 대립유전자 ②으로 바뀌는 돌연변이가 1회 일어나 ③을 갖는 생식세포가 형성되었다. 이 생식세포가 정상 생식세포와 수정되어 자녀 1이 태어났다. ①과 ②은 (가)와 (나) 중 한 가지 형질을 결정하는 서로 다른 대립 유전자이다.

23학년도 6평 - 복대립 + 반성 + 돌연변이

© 세포 대응 [★★★]

세포 대응과 유전 현상이 엮여 출제될 수 있다.

다음은 사람의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

- (가)~(다)는 1쌍의 대립유전자에 의해 결정된다. ㉠은 대립유전자 A, B, C에 의해, ㉡은 대립유전자 D, E, F에 의해, ㉢은 대립유전자 G와 g에 의해 결정된다.
- (가)~(다)의 유전자 중 2개는 X염색체에, 나머지 1개는 상염색체에 있다.
- 그림은 어떤 여자 P와 남자 Q의 생식세포 형성 과정을, 표는 세포 I~IV 중 각각의 대립유전자 A, B, E, F, G, g를 갖는 세포의 수를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 1, 2를 순서 없이 나타낸 것이다.

대립 유전자	I~IV 중 특정 대립 유전자를 갖는 세포의 수
A	㉠
B	㉡
E	㉢
F	㉣
G	3
g	㉤

- III과 IV가 수정되어 태어난 ㉠의 (가)~(다)에 대한 유전자형은 ACDEGg이다

24학년도 수능 대비 디올 N제 37번

17. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (가)는 서로 다른 상염색체에 있는 2쌍의 대립유전자 H와 h, T와 t에 의해 결정된다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 표는 이 가족 구성원의 체세포에서 대립유전자 ㉠~㉤의 유무와 (가)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수를 나타낸 것이다. ㉠~㉤는 H, h, T, t를 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉤은 0, 1, 2, 3, 4를 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	대립유전자				대문자로 표시되는 대립유전자의 수
	㉠	㉡	㉢	㉣	
아버지	○	○	×	○	㉠
어머니	○	○	○	○	㉡
자녀 1	?	×	×	○	㉢
자녀 2	○	○	?	×	㉣
자녀 3	○	?	○	×	㉤

(○: 있음, ×: 없음)

- 아버지의 정자 형성 과정에서 염색체 비분리가 1회 일어나 염색체 수가 비정상적인 정자 P가 형성되었다. P와 정상 난자가 수정되어 자녀 3이 태어났다.
- 자녀 3을 제외한 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

23학년도 수능 - 다인자 + 세포 대응 + 가계표

형질 교배
Algo (rithm)

㉔ 형질 교배

표현형의 가짓수나 확률을 질문하는 문제의 경우 다음 알고리즘을 활용할 수 있다.

17. 다음은 사람의 유전 형질 ㉑~㉓에 대한 자료이다.

- ㉑~㉓의 유전자는 서로 다른 3개의 상염색체에 있다.
- ㉑은 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 A, B, D가 있다. ㉑의 표현형은 4가지이며, ㉑의 유전자형이 AD인 사람과 AA인 사람의 표현형은 같고, 유전자형이 BD인 사람과 BB인 사람의 표현형은 같다.
- ㉒은 대립유전자 E와 E*에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다.
- ㉓은 대립유전자 F와 F*에 의해 결정되며, F는 F*에 대해 완전 우성이다.
- 표는 사람 I~IV의 ㉑~㉓의 유전자형을 나타낸 것이다.

사람	I	II	III	IV
유전자형	ABEEF*	AD E*E*FF	BDEE*FF	BDEE*F*

- 남자 P와 여자 Q 사이에서 ㉑가 태어날 때, ㉑에게서 나타날 수 있는 ㉑~㉓의 표현형은 최대 12가지이다. P와 Q는 각각 I~IV 중 하나이다.

㉑의 ㉑~㉓의 표현형이 모두 I와 같을 확률은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

23학년도 9평

9. 다음은 사람의 유전 형질 (가)~(라)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해, (라)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해, D는 d에 대해, E는 e에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)~(라)의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있고, (가)~(다)의 유전자는 (라)의 유전자와 다른 염색체에 있다.
- (가)~(라)의 표현형이 모두 우성인 부모 사이에서 ㉑가 태어날 때, ㉑의 (가)~(라)의 표현형이 모두 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{16}$ 이다.

㉑가 (가)~(라) 중 적어도 2가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

23학년도 수능

1st 적절한 분할

교배에 관여하는 염색체 쌍 수를 활용하여 ×를 기준으로 적절히 표현형 or 확률을 분할한다.

23학년도 9평 기준 12가지는 $4 \times 3 \times 1$ 또는 $2 \times 2 \times 3$ 으로 분할될 수 있고

23학년도 수능 기준 $\frac{3}{16}$ 은 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$ 로 분할된다.

2nd 특수한 요소 관찰

23학년도 9평 기준 단위 표현형 4가지는 특수 교배에서 등장하는 가짓수이고

23학년도 수능 기준 단위 확률 $\frac{3}{4}$ 은 완전 우성 교배에서 등장하는 확률이다.

그에 따라 적절히 경우의 수를 압축할 수 있다.

형질 교배
Algo (rithm)

3rd 기타 요소 관찰

특수한 요소로부터 도출된 결과를 활용하여 기타 요소들을 관찰한다.

이를 23학년도 수능 문항에 적용하면 다음과 같다.

9. 다음은 사람의 유전 형질 (가)~(라)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해, (라)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해, D는 d에 대해, E는 e에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)~(라)의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있고, (가)~(다)의 유전자는 (라)의 유전자와 다른 염색체에 있다.
- (가)~(라)의 표현형이 모두 우성인 부모 사이에서 ㉠가 태어날 때, ㉠의 (가)~(라)의 표현형이 모두 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{16}$ 이다.

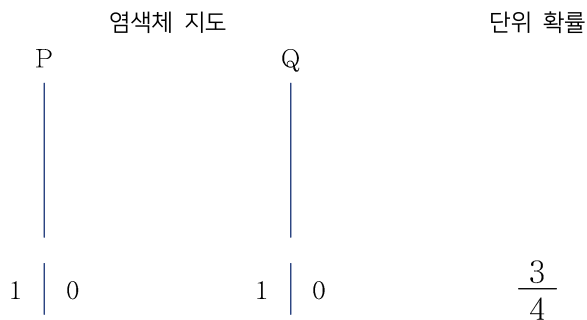
㉠가 (가)~(라) 중 적어도 2가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

23학년도 수능

$\frac{3}{16} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$ 이고 독립 염색체에서 자손에게 우성 표현형이 등장할 확률은 최소

$\frac{1}{2}$ 보다 크다. 따라서 $\frac{3}{4}$ 은 완전 우성 유전 Ee × Ee에서 등장하는 확률로 고정된다.

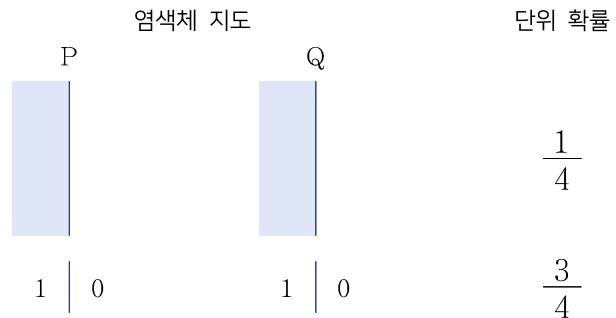
염색체 지도는 다음과 같다.



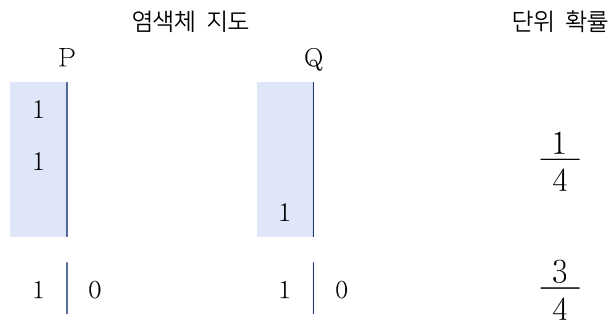
형질 교배
Algo (rithm)

부모 모두 A, B, D를 갖고 ①의 표현형이 [A],[B],[D]로 부모와 같을 확률이 $\frac{1}{4}$ 이므로 부모 모두 한 염색체 내에 3을 가질 수 없다.

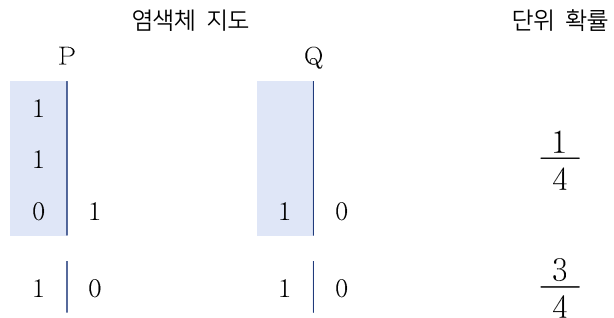
한 염색체의 교배에서 가능한 경우는 항상 좌좌, 좌우, 우좌, 우우의 총 4가지이다. 가능한 조합을 좌좌로 설정하자.



부모의 구분이 없으므로 한 쪽에 2, 다른 한 쪽에 1을 두어도 일반성을 잃지 않는다.



부모 모두 한 염색체 내에 3을 가질 수 없고 부모의 (가)~(라) 표현형은 모두 우성이므로 반드시 좌우 염색체 중 하나에는 1(우성 대립유전자)을 가져야 하므로 다음이 결정된다.



형질 교배
Algo (rithm)

우우 조합은 불가능해야 하고 부모 모두 한 염색체 내에 0을 가질 수 없으므로 다음이 결정된다.

P		염색체 지도		Q		단위 확률
1				1		
1		0		0		$\frac{1}{4}$
0		1		1		0
1		0		1		$\frac{3}{4}$

반드시 좌우 중 하나에는 1(우성 대립유전자)을 가져야 하고 부모 모두 한 염색체 내에 3을 가질 수 없으므로 다음이 결정된다.

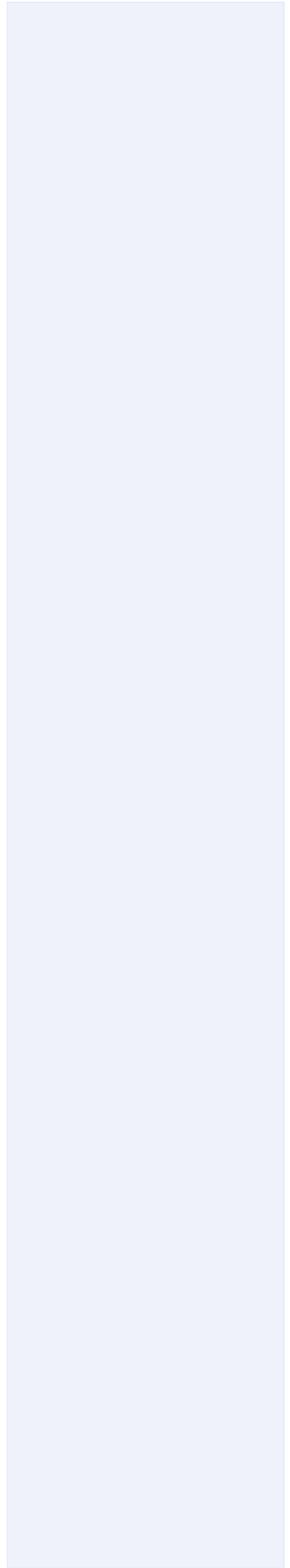
P		염색체 지도		Q		단위 확률
1		0		0		1
1		0		1		0
0		1		1		0
1		0		1		$\frac{3}{4}$

ⓐ가 (가)~(라) 중 적어도 2가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률은 1-(1가지 형질의 유전자형을 이형 접합성으로 가질 확률)이므로 $1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$ 이다.

6권에서 배울 Schema를 정리하면 다음과 같다.

- Schema 1 용어 정리
- Schema 2 우열의 원리
- Schema 3 분리 법칙
- Schema 4 독립 법칙
- Schema 5 완전 우성 유전
- Schema 6 중간 유전
- Schema 7 일반 유전
- Schema 8 상댓값의 합
- Schema 9 단위 확률
- Schema 10 퍼넷 사각형
- Schema 11 연산 법칙
- Schema 12 연관 유전
- Schema 13 3연관 유전
- Schema 14 단위 분해
- Schema 15 비중 표
- Schema 16 비율 관계
- Schema 17 유전자풀
- Schema 18 조건부확률
- Schema 19 반성 유전
- Schema 20 다양한 유전 현상

형질 교배
Algo (rithm)



형질 교배
Schema 1
용어 정리

[중요도 ★★★]

여러 가지 유전 현상에 대해 이해하기 위해 몇 가지 용어를 정의하자.

1) 형질

꽃의 색깔이나 씨의 모양 등과 같이 생물이 가지고 있는 고유한 특징

2) 대립 형질

완두꽃의 색깔은 보라색과 흰색으로 구분되는데, 이처럼 하나의 형질(예 꽃의 색깔)에 대한 각각의 변이(예 보라색, 흰색)를 대립 형질이라고 한다.

형질	색깔	씨 모양	씨 색깔	콩깍지 모양	콩깍지 색깔	꽃 위치	키
대립 형질 우성	 보라색	 둥글다	 황색	 매끈하다	 녹색	 줄기 옆	 크다
대립 형질 열성	 흰색	 주름지다	 녹색	 잘록하다	 황색	 줄기 끝	 작다

1가지 대립 형질이 관여하는 경우 단성

2가지 대립 형질이 관여하는 경우 양성

3가지 대립 형질이 관여하는 경우 삼성

3가지 이상의 대립 형질이 관여하는 경우 다성 이라고 한다.

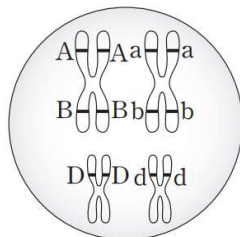
예 양성 잡종 AaBb / 양성 순종 AABB, aabb

3) 유전자

생물의 특정 형질에 대한 유전 정보를 담고 있는 DNA의 특정 부위

4) 대립유전자

한 형질에 대한 서로 다른 대립 형질을 결정하는 유전자로,
상동 염색체의 같은 위치에 있다.



형질 교배
Schema 1
용어 정리

5) 유전자형

대립유전자의 구성을 기호로 나타낸 것이다. 예) TT, Tt, tt, T_

6) 동형 접합성

대립유전자가 서로 같은 유전자형 예) TT, tt
대립유전자가 동형 접합인 개체를 동형 접합자(순종)라 한다.

7) 이형 접합성

대립유전자가 서로 다른 유전자형 예) Tt
대립유전자가 이형 접합인 개체를 이형 접합자(잡종)라 한다.

8) 표현형

유전자형에 의해 겉으로 드러나는 형질 예) [T], [Tt], [t], 큰 키, 작은 키

9) 우성과 열성

대립유전자가 이형 접합성일 때 겉으로 표현되는 대립유전자는 우성이고,
표현되지 않는 대립유전자는 열성이다.

우성과 열성은 대립 형질에도 적용될 수 있어서, 이형 접합성일 때 겉으로 나타나는 대립 형질은 우성, 겉으로 나타나지 않는 대립 형질은 열성이다.

10) AA × Aa

유전자형이 AA인 개체와 유전자형이 Aa인 개체 간 교배

11) 자가 교배

연관 상태와 유전자 구성이 모두 동일한 개체 간 교배
자가 수분은 수술의 꽃가루가 같은 개체의 꽃에 있는 암술에 수분되는 것이다.

12) 타가 교배

10)이 아닌 교배
타가 수분은 수술의 꽃가루가 다른 개체의 꽃에 있는 암술에 수분되는 것이다.

13) 검정 교배

우성 표현형을 나타내지만 유전자형을 모르는 어떤 개체의 유전자형을 결정하기 위해
열성 동형 접합체와 교배하는 것

14) 단성 교배

하나의 대립유전자 쌍이 관여하는 교배

15) 이성 교배

두 개의 대립유전자 쌍이 관여하는 교배

16) 삼성 교배

세 개의 대립유전자 쌍이 관여하는 교배

17) 염색체 지도

연관 상태와 유전자의 위치를 적절히 도식화한 것

예 3연관 1독립

	P		Q
A		a	a A
B		b	B b
d		D	D d
E		e	E e

18) 일반 유전

완전 우성 유전과 중간 유전을 통틀어 말하는 유전 현상

19) 단일 인자 유전

1쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전

예 완전 우성 유전, 중간 유전, 복대립 유전

20) 형질 교배

형질 간 교배

완전 우성 유전, 중간 유전, 복대립 유전과 같은 단일 인자 유전에서의 교배 양상

형질 교배

Schema 1

용어 정리

21) 상인 연관

유전자형이 AaBb일 때, 대문자는 대문자끼리 소문자는 소문자끼리 한 상동 염색체에 있는 연관 상태



22) 상반 연관

유전자형이 AaBb일 때, 대문자와 소문자가 함께 한 상동 염색체에 있는 연관 상태



23) 멘델의 가설

하나의 형질을 결정하는 유전 인자는 한 쌍이다.

이 유전 인자는 변함이 없는 단위로서 자손에게 전달된다.

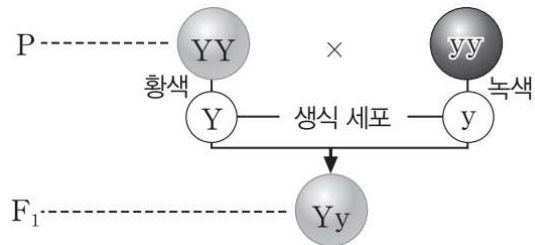
- 쌍을 이루는 두 유전 인자가 서로 다를 경우, 그중 우성인 유전 인자만 표현되며, 열성인 유전 인자는 표현되지 않는다. (우성과 열성)
- 쌍을 이루는 두 유전 인자는 생식 세포를 형성할 때 분리되어 서로 다른 생식 세포로 들어간다 (분리의 법칙).
- 서로 다른 형질을 결정하는 두 쌍의 유전 인자는 서로 독립적으로 분리되어 자손에게 전달된다 (독립의 법칙).

형질 교배
Schema 2
우열의 원리

[중요도 ★★★]

- 우성 대립유전자 유무는 표현형의 발현 여부를 결정한다.
- 쌍을 이루는 두 유전 인자가 서로 다를 경우, 그중 우성인 유전 인자만 표현되며, 열성인 유전 인자는 표현되지 않는다

순종인 황색 완두(YY)와 녹색 완두(yy)를 교배하면 자손 1대(F_1)에서는 모두 황색 완두(Yy)만 나타난다.



자손 1대(F_1)에서 황색 완두만 나타난 것은 대립유전자 Y 는 표현되고 대립유전자 y 는 표현되지 않았기 때문이며, Y 를 y 에 대해 우성이라고 한다.

표현형이 서로 다른 순종끼리 교배시켜 얻은 자손 1대(F_1)는 이형 접합자이며, F_1 에서 겉으로 표현되는 대립유전자를 우성, 겉으로 표현되지 않는 대립유전자를 열성이라고 한다.

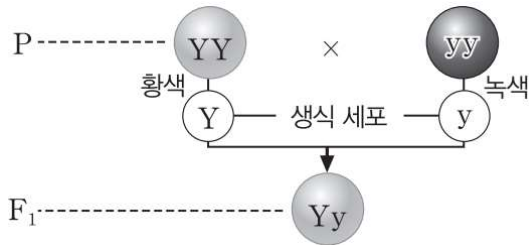
따라서 우성 대립유전자 유무는 표현형의 발현 여부를 결정한다.

형질 교배
 Schema 3
 분리의 법칙

[중요도 ★★★]

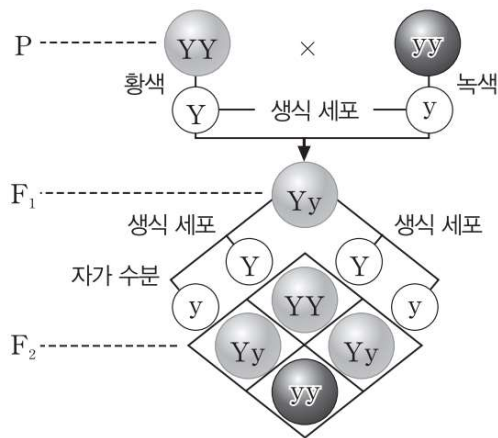
- 단성 잡종의 교배에서 생식 세포가 1 : 1의 비율로 만들어진다.
- 쌍을 이루는 두 유전 인자는 생식 세포를 형성할 때 분리되어 서로 다른 생식 세포로 들어간다.
- 완전 우성 유전에서 이형 접합인 개체 간 교배에서 나타나는 자손 세대의 유전자형 비율은 1:2:1이고 표현형 비는 3:1이다.

자손 1대(F₁) : 순종인 황색 완두(Y_Y)와 녹색 완두(y_y)를 교배하면 자손 1대(F₁)에서는 모두 잡종인 황색 완두(Y_y-단성 잡종)만 나타난다.



자손 1대(F₁)의 생식 세포 : 자손 1대(F₁)의 황색 완두(Y_y)로부터 생식 세포가 형성될 때 대립유전자 Y와 y가 분리되어 각각 서로 다른 생식 세포로 들어가므로 Y를 가진 생식 세포와 y를 가진 생식 세포가 1 : 1의 비율로 만들어진다.

F₁를 자가 수분하여 얻은 자손 2대(F₂) : 자손 1대(F₁)의 황색 완두(Y_y)를 자가 수분시켜 얻은 자손 2대(F₂)에서는 유전자형이 YY, Y_y, y_y인 개체가 1 : 2 : 1의 비율로 나타나며, YY와 Y_y는 모두 황색을 나타내므로 황색과 녹색의 표현형 비는 3 : 1이다.



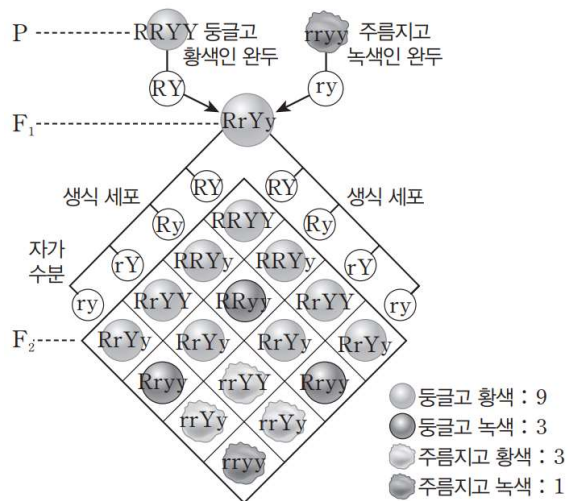
형질 교배
Schema 4
독립의 법칙

[중요도 ★★★]

- 양성 잡종의 교배에서 생식 세포가 1 : 1 : 1 : 1의 비율로 만들어진다.
- 두 쌍 이상의 대립 유전자가 함께 유전될 때, 서로 다른 염색체에 있는 특정 형질의 대립유전자 쌍은 다른 형질의 대립 유전자 쌍에 의해 영향을 받지 않고 독립적으로 분리되어 유전된다.
- 완전 우성 유전의 양성 잡종 교배에서 나타나는 자손 세대의 표현형 비는 9:3:3:1이다.

1) 자손 1대(F₁)의 생식 세포

등글고 황색인 완두(RRYY)와 주름지고 녹색인 완두(rryy)의 교배로 만들어진 자손 1대(F₁)의 등글고 황색인 완두(RrYy-양성 잡종)에서 생식 세포가 만들어질 때 대립유전자인 R와 r의 분리와 Y와 y의 분리는 독립적으로 일어나므로 RY, Ry, rY, ry를 가진 생식 세포가 1 : 1 : 1 : 1의 비율로 만들어진다.



2) F₁을 자가 수분하여 얻은 자손 2대(F₂)

자손 1대(F₁)의 등글고 황색인 완두(RrYy)를 자가 수분시킬 경우 자손 2대(F₂)에서는 등글고 황색인 완두(R_Y_), 등글고 녹색인 완두(R_yy), 주름지고 황색인 완두(rrY_), 주름지고 녹색인 완두(rryy)가 9 : 3 : 3 : 1의 비율로 나타난다.

[Remark 1] 유전자형의 비율은 1:2:1:2:4:2:1:2:1이다.

이는 추후에 다인자 유전 표현형 간 비율에서도 등장한다.

형질 교배
Schema 5
완전 우성 유전

[중요도 ★★★]

- 우열의 원리를 따르는 유전 현상을 완전 우성 유전이라고 한다.
- 유전자형이 Aa인 P를 자가 교배하였을 때 얻은 자손의 표현형 비는 3:1이다.

[완전 우성 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	[A] : [a]	유전자형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	1 : 0	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 1	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	1	1 : 0	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	1 : 1	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	2	3 : 1	3	1 : 2 : 1	4

어떤 형질 (가)에 대해 AA로 동형 접합성인 유전자형을 갖는 부모는 (가)에 대한 생식 세포의 종류가 A로 1종류이며

어떤 형질 (가)에 대해 Aa로 이형 접합성인 유전자형을 갖는 부모는 (가)에 대한 생식 세포의 종류가 A와 a로 2종류이다.

이렇게 형성되는 생식 세포의 종류에 따라 자손의 표현형 가짓 수와 등장하는 유전자형 간 등장 비율이 달라진다,

[생식 세포 종류와 자손의 가짓 수]

	생식 세포 종류		자손의 가짓 수	
	P	Q	유전자형	표현형
	1	1	1	1
	1(우등)	2	2	1
	1(열등)	2	2	2
	2	2	3	2

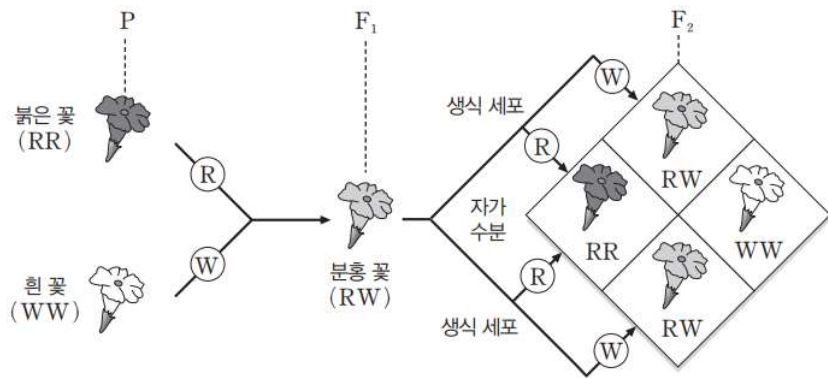
형질 교배
Schema 6
중간 유전

[중요도 ★★★]

- 대립유전자 사이의 우열 관계가 불완전하여, 서로 다른 대립 형질의 두 순종 개체 사이에서 아버지의 중간 형질을 갖는 자손이 나타나는 유전 현상을 의미한다.
- 유전자형이 Aa인 P를 자가 교배하였을 때 얻은 자손의 표현형 비는 1:2:1이다.

1) 분꽃의 교배 실험

순종의 붉은색(RR)과 흰색(WW) 분꽃을 서로 교배시켜 얻은 자손 1대(F₁)의 꽃 색깔은 모두 분홍색(RW)이고, 자손 1대(F₁)를 자가 수분시켜 얻은 자손 2대(F₂)에서는 붉은 꽃, 분홍 꽃, 흰 꽃이 1 : 2 : 1의 비율로 나타난다.



[중간 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4



[생식 세포 종류]

	생식 세포 종류		자손의 가짓 수	
	P	Q	유전자형	표현형
	1	1	1	1
	1	2	2	2
	2	2	3	3

⇒ 중간 유전에서 유전자형의 가짓 수는 표현형의 가짓 수와 동일하다.

형질 교배
Schema 7
일반 유전

[중요도 ★★★★★]

- 완전 우성 유전과 중간 유전을 엮어 일반 유전이라고 정의하자.
- 일반 유전에서 다음과 같은 명제들을 활용할 수 있다.

① 단위 표현형 가짓수가 3이면 부모가 모두 이형 접합이고, 중간 유전이 포함된다.

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

② 자손의 표현형 가짓수가 2이면 부모 중 적어도 한 명의 유전자형은 이형 접합성이다.
이때 등장하는 표현형의 비 값은 3:1 또는 1:1이고
3:1은 Aa×Aa 완전 우성 유전으로 유일하다.

[완전 우성 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	[A] : [a]	유전자형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	1 : 0	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 1	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	1	1 : 0	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	1 : 1	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	2	3 : 1	3	1 : 2 : 1	4

[중간 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

형질 교배

Schema 7

일반 유전

- ③ 표현형 가짓수가 1이면 부모 중 한 명의 유전자형이 우성 동형 접합성이거나 부모가 모두 동형 접합성 (aa×aa)이다.

[완전 우성 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	[A] : [a]	유전자형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	1 : 0	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 1	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	1	1 : 0	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	1 : 1	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	2	3 : 1	3	1 : 2 : 1	4

[중간 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

- ④ 한 형질의 유전에서 일반 유전인 경우 등장할 수 있는 최대 표현형 가짓수는 3가지이다. 만약 단위 표현형 가짓수가 4가지가 등장한다면 복대립 유전이다.

형질 교배
Schema 8
상댓값의 합

[중요도 ★★★★★]

- 이형 접합 개체는 생식 세포를 2종류 만들어낼 수 있다.
- 상댓값의 합으로 이형 접합성의 수를 역추론할 수 있다.

① 상댓값의 합이 2의 2승이면 부모에 있는 이형 접합성의 개수는 2이다.

[완전 우성 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

[중간 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

형질 교배
Schema 8
상댓값의 합

② 상댓값의 합이 2의 1승이면 부모에 있는 이형 접합성의 개수는 1이다.

[완전 우성 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

[중간 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

③ 상댓값의 합이 2의 0승이면 부모에 있는 이형 접합성의 개수는 0이다.

[완전 우성 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

[중간 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

형질 교배
Schema 9
단위 확률

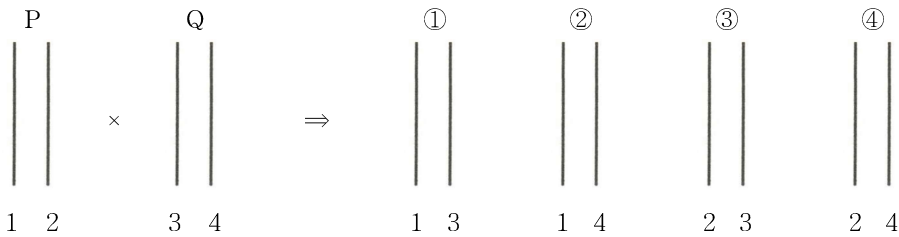
[중요도 ★★★★★]

- 약분을 고려하지 않을 때 단위 확률의 분자에 올 수 있는 값은 0, 1, 2, 3, 4
단위 확률의 분모 값은 항상 4이다.
- 한 쌍의 상동 염색체가 교배할 때 등장하는 모든 경우의 수가 4

한 쌍의 상동 염색체가 교배했을 때 등장할 수 있는 확률을 단위 확률이라 정의하자.
실제 문제에서는 두 가지 이상의 형질에 대해 다루는데
이 과정에서 단위 확률을 곱하는 행위를 시행한다.

약분을 고려하지 않을 때
단위 확률의 분자에 올 수 있는 값은 0, 1, 2, 3, 4
단위 확률의 분모 값은 항상 4이다.

이는 한 쌍의 상동 염색체가 교배할 때 등장하는 모든 경우의 수가 4이기 때문이다.



형질 교배
Schema 9
단위 확률

[완전 우성 유전의 단위 확률]

	표현형 가짓수	[A] : [a]	단위 확률	
			[A]	[a]
AA × AA	1	1 : 0	$\frac{4}{4}$	0
AA × aa	1	1 : 0	$\frac{4}{4}$	0
aa × aa	1	0 : 1	0	$\frac{4}{4}$
AA × Aa	1	1 : 0	$\frac{4}{4}$	0
Aa × aa	2	1 : 1	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{4}$
Aa × Aa	2	3 : 1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$

단위 확률로 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$ 가 모두 가능하고

$\frac{3}{4}$ 은 Aa × Aa, 완전 우성 유전으로 한정되어 등장한다.

[Remark 1] 완전 우성 유전에서 부모의 표현형이 서로 같은 경우 자손의 단위 확률에서 $\frac{2}{4}$ 는 등장하지 않는다.

[Remark 2] 부모 중 한 명과 자손이 동일한 표현형을 가질 단위 확률로 $\frac{1}{4}$ 은 등장하지 않는다. 이는 중간 유전에서도 마찬가지로 $\frac{1}{4}$ 이 등장한다면 독립 염색체 간 교배가 아니다.

형질 교배
Schema 9
단위 확률

[중간 유전의 단위 확률]

	표현형 가지수	AA : Aa : aa			
			[A]	[Aa]	[a]
AA × AA	1	1 : 0 : 0	$\frac{4}{4}$	0	0
AA × aa	1	0 : 1 : 0	0	$\frac{4}{4}$	0
aa × aa	1	0 : 0 : 1	0	0	$\frac{4}{4}$
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{4}$	0
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	0	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{4}$
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{4}$

단위 확률로 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{4}{4}$ 가 모두 가능하다.

두 쌍 이상의 대립유전자가 관여하는 형질 교배에서
모두 다른 염색체에 존재한다면 각각의 염색체의 이동을 독립적으로 생각하여
염색체의 단위 확률끼리 곱하여 생각할 수 있다.

동시에 일어나는 사건은 곱해서
여러 경우의 합사건은 더해서 생각하도록 하자.

[Remark 1] 완전 우성 유전과 중간 유전 모두 부모의 유전자형이 서로 이형 접합으로
같은 경우에만 자손의 단위 확률에서 $\frac{1}{4}$ 이 등장한다.

[Remark 2] 중간 유전에서 $\frac{3}{4}$ 는 등장하지 않는다.

[Remark 3] 상염색체 독립인 경우 완전 우성 유전과 중간 유전 모두
이형 접합성이 나올 확률은 0 or $\frac{1}{2}$ or 1이다.

이때 이형 접합성일 확률 + 동형 접합성일 확률 = 1이므로
동형 접합성이 나올 확률 또한 0 or $\frac{1}{2}$ or 1이다.

형질 교배

Schema 10

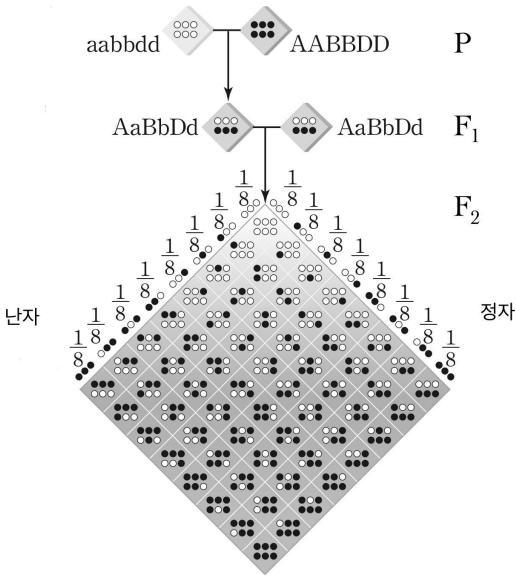
퍼넷 사각형

[중요도 ★★★★★]

- 부모의 생식 세포를 x, y 축으로 나란히 배열하여 생식 세포의 전달 상황, 그리고 자손의 유전자형을 나타내는 표
- 분리 법칙에 의해 생식 세포가 전달될 확률은 모두 동일하므로 한 칸의 비중이 모두 동일하고, “칸의 개수”로 “비중(차지하는 비율)”을 판단할 수 있다.

3독립 & 부모의 모든 유전자형이 이형 접합성인 상황에서 생식 세포의 전달 양상을 퍼넷 사각형으로 나타내면 다음과 같다.

[퍼넷 사각형 : 유전자형 AaBbDd인 부모]



[퍼넷 사각형]

생식 세포의 유전자형(Q)	ABD	aBD	AbD	ABd	Abd	aBd	abD	abd
생식 세포의 유전자형(P)								
ABD								
aBD								
AbD								
ABd								
Abd								
aBd								
abD								
abd								

자손의 표현형 비는 27:9:9:3:9:3:3:1이고
 자손의 유전자형 비는 1:2:1:2:4:2:1:2:1:2:4:2:4:8:4:2:4:2:1:2:1:2:4:2:1:2:1이며
 상댓값의 합은 2의 6승, 64이다.

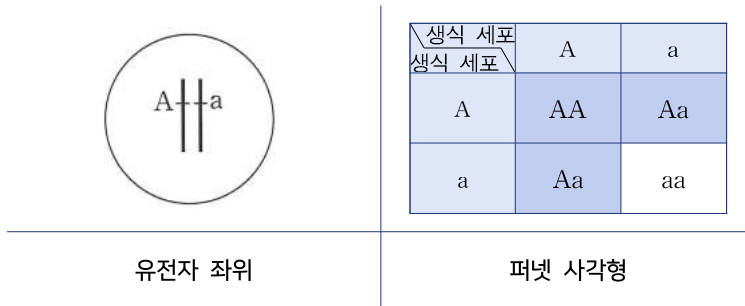
형질 교배
Schema 11
연산 법칙

[중요도 ★★★★★]

- 독립 법칙에 의해 두 염색체의 교배 사건은 서로 영향을 미치지 않는다.
- 그에 따라 교배 양상을 적절히 다항식으로 표현할 수 있다.
- 교배 양상에서 분배법칙과 결합법칙이 성립한다.

유전자형이 Aa인 식물 개체 P의 교배를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$[A] : [a] = 3 : 1$$



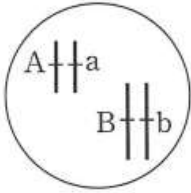
이때 교배 양상을 $(A+a) \times (A+a)$ 와 같이 더하기와 곱하기로 나타낼 수 있다.
이는 분리 법칙과 독립 법칙이 성립하기 때문이다.

또한 연산에서 분배법칙과 결합법칙이 성립하므로 교배의 순서는 자유롭다.

형질 교배
Schema 11
연산 법칙

유전자형이 AaBb인 식물 개체 P의 교배를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 9 : 3 : 3 : 1$$

	생식 세포	AB	Ab	aB	ab	
	생식 세포	AB	A_B_	A_B_	A_B_	A_B_
	Ab	A_B_	A_bb	A_B_	A_bb	
	aB	A_B_	A_B_	aaB_	aaB_	
	ab	A_B_	A_bb	aaB_	aabb	
유전자 좌위	퍼넷 사각형					

이때 교배 양상을 $(A+a) \times (A+a) \times (B+b) \times (B+b)$ 와 같이 더하기와 곱하기로 나타낼 수 있다. 이는 분리 법칙과 독립 법칙이 성립하기 때문이다.

또한 연산에서 분배법칙과 결합법칙이 성립하므로 교배의 순서는 자유롭다.

따라서 다음과 같이 한 형질의 유전자형을 토대로 새로운 교배 표를 작성할 수 있다.

<table border="1"> <tr> <td>생식 세포</td> <td>BB</td> <td>Bb</td> <td>Bb</td> <td>bb</td> </tr> <tr> <td>생식 세포</td> <td>AA</td> <td>A_B_</td> <td>A_B_</td> <td>A_B_</td> <td>A_bb</td> </tr> <tr> <td>Aa</td> <td>A_B_</td> <td>A_B_</td> <td>A_B_</td> <td>A_bb</td> </tr> <tr> <td>Aa</td> <td>A_B_</td> <td>A_B_</td> <td>A_B_</td> <td>A_bb</td> </tr> <tr> <td>aa</td> <td>aaB_</td> <td>aaB_</td> <td>aaB_</td> <td>aabb</td> </tr> </table>	생식 세포	BB	Bb	Bb	bb	생식 세포	AA	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb	Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb	Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb	aa	aaB_	aaB_	aaB_	aabb	비중	1	2	1
	생식 세포	BB	Bb	Bb	bb																									
	생식 세포	AA	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb																								
	Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb																									
	Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb																									
aa	aaB_	aaB_	aaB_	aabb																										
비중	유전자형	BB	Bb	bb																										
1	AA	A_B_	A_B_	A_bb																										
2	Aa	A_B_	A_B_	A_bb																										
1	aa	aaB_	aaB_	aabb																										
변형된 퍼넷	비중 표																													

변형된 퍼넷은 유전자형 분포가 정갈하다는 장점이 있고
비중 표는 변형된 퍼넷의 장점을 유지하면서 칸 수가 더 적다는 장점이 있다.

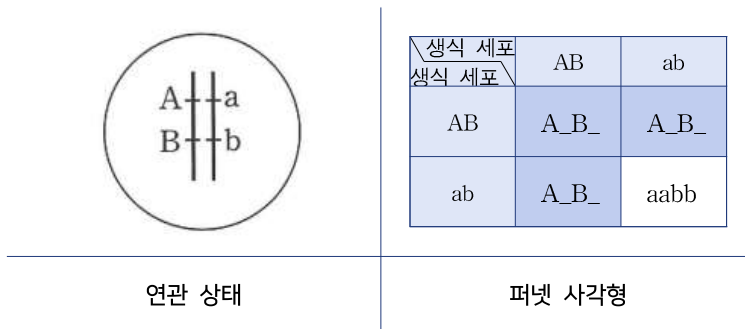
형질 교배
Schema 12
연관 유전

[중요도 ★★★★★]

- 한 쌍의 염색체에 여러 개의 유전자가 올 수 있다.
- 연관된 형태의 기본 꼴은 다음과 같다.

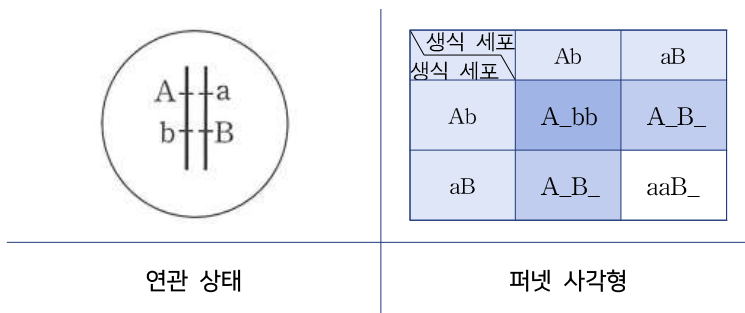
유전자형이 AaBb인 식물 개체 P에서 상인 연관된 개체를 자가 수분 시 등장하는 표현형과 비율 관계는 다음과 같다.

$$A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 3 : 0 : 0 : 1$$



유전자형이 AaBb인 식물 개체 P에서 상반 연관된 개체를 자가 수분 시 등장하는 표현형과 비율 관계는 다음과 같다.

$$A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 2 : 1 : 1 : 0$$



형질 교배
Schema 12
연관 유전

독립, 상인 연관, 상반 연관에서 각각 유전자형이 AaBb인 식물 개체 P에서 자가 수분 결과 등장하는 표현형과 비율 관계는 다음과 같다.

[자가 교배 시 형질 교배]

구분	개체의 유전자형		
	독립 유전	상인 연관	상반 연관
생식 세포의 유전자형 비 (AB : Ab : aB : ab)	1 : 1 : 1 : 1	1 : 0 : 0 : 1	0 : 1 : 1 : 0
자가 교배 시 자손의 표현형 비 (A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb)	9 : 3 : 3 : 1	3 : 0 : 0 : 1	2 : 1 : 1 : 0
등장하는 표현형 가짓 수	4종류	2종류	3종류

유전자형이 AaBb인 식물 개체 P1과 P2의 교배에서 연관 상태에 따라 등장하는 자손의 표현형과 비율 관계는 다음과 같다.

[표현형 유무]

	[AB]	[Ab]	[aB]	[ab]
독립 유전	○	○	○	○
상인 연관	○	×	×	○
상반 연관	○	○	○	×

[Remark 1] [AB]는 세 경우에 모두 존재하므로 차이를 만들지 못한다,
[Ab], [aB], [ab]는 상인과 상반에서 서로 배반성을 띄는 것을 알 수 있다.

[Remark 2] [Ab]나 [aB]가 존재하지 않으면 상인 연관
[ab]가 존재하지 않으면 상반 연관이다.

[Remark 3] 형질 교배에서 표현형의 가짓수는 단위 표현형 종류의 조합으로 생각해야 한다.

예를 들어 6은 2×3이고 12는 2×3×3 or 4×3×1이다.
이때 이형 집합 개체 간 교배(연관 유전)에서 단위 표현형 가짓수 4는 등장하지 않는다.

형질 교배
Schema 12
연관 유전

[P1과 P2의 타가 교배]

	표현형과 비율 관계	자손의 표현형 가짓 수
상인 × 상인	A_B_ : aabb = 3 : 1	2종류
상인 × 상반	A_B_ : A_bb : aaB_ : 2 : 1 : 1	3종류
상반 × 상반	A_B_ : A_bb : aaB_ : 2 : 1 : 1	3종류

∴ 유전자형이 이형 접합인 개체의 교배에서 한 연관군에서 나올 수 있는 자손의 표현형 가짓수는 2가지, 3가지뿐이다.

∴ 유전자형이 이형 접합인 개체의 교배에서 한 연관군에서 특정 표현형의 자손이 나올 확률은 $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ 뿐이다.

연관 유전에서 등장할 수 있는 생식 세포 종류와 교배 예시를 나타내면 다음과 같다.

[생식 세포 종류 표]

	표현형 가짓수	유전자형 가짓수	특징
1 × 1	1	1	서로 같은 생식 세포 1종류의 교배
2 × 1	1	2	생식 세포 2종류 × 1종류
2 × 1	2	2	
2 × 2	2	3	같은 조합의 생식 세포 2종류의 교배
2 × 2	3	3	
	1	4	다른 조합의 생식 세포 2종류의 교배
	2	4	
	3	4	
	4	4	

형질 교배
Schema 12
연관 유전

[교배 예시]

	표현형 가짓수	유전자형 가짓수	예시
1 × 1	1	1	AB/AB × AB/AB
2 × 1	1	2	AB/ab × AB/AB
	2	2	Ab/aB × ab/ab
2 × 2	2	3	AB/ab × AB/ab ⇒ 상인 × 상인
	3	3	Ab/aB × Ab/aB ⇒ 상반 × 상반
	1	4	AB/Ab × AB/aB
	2	4	AB/Ab × AB/ab
	3	4	AB/ab × Ab/aB AB/ab × Ab/ab Ab/aB × Ab/ab ⇒ [Case 1] 상인 × 상반 ⇒ [Case 2] 이형 3개, 열성 동형 1개
	4	4	Ab/ab × aB/ab

- ∴ 한 연관된 형태에서 유전자형 가짓 수 ≤ 4, 표현형 가짓 수 ≤ 4
- ∴ 자손의 유전자형이 항상 같으면 교배를 하는 두 개체의 유전자형이 모두 동형 집합
- ∴ 부모의 유전자형이 모두 이형 집합인 경우 자손의 표현형 가짓 수 2 or 3

형질 교배
Schema 13
3연관 유전

[중요도 ★★★]

- 한 염색체에 3쌍의 대립유전자가 함께 오는 유전 양상이 출제될 수 있다.

자손의 3가지 형질이 모두 우성인 경우를 다음과 같이 일반화할 수 있다.

형질 교배	$\text{①} \times \text{①}$	$\text{①} \times \text{②}$	연관 상태 같은 $\text{②} \times \text{②}$	연관 상태 다른 $\text{②} \times \text{③}$
자손의 모든 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

대문자로 표시되는 대립유전자를 1이라고
소문자로 표시되는 대립유전자를 0이라고 하자.

유전자형이 AaBbDd인 식물 개체 P의 유전자 좌위는 크게 다음으로 나눌 수 있다.

	1	0	1	0	1	0	1	0
염색체 지도	1	0	1	0	0	1	0	1
	1	0	0	1	0	1	1	0
연관의 종류	인인		인반		반인		반반	

형질의 위상을 동일하다고 가정했을 때, 인반 반인 반반은 모두 2/1로 동일한 양상을 나타낸다. 그에 따른 교배 양상은 다음과 같다.

[Case 1 - 인인×인인]

염색체 지도	1	0	1	0
	1	0	×	1
	1	0	1	0
교배 양상	인인×인인			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	0			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	$\frac{1}{4}$			

형질 교배
Schema 13
3연관 유전

[Case 2 - 인인×⊖]

⊖ 인반, 반인, 반반은 모두 2/1의 꼴이므로 3/0과 교배하면 확률 양상이 모두 동일하다.

염색체 지도	1	0	1	0
	1	0	×	1
	1	0	0	1
교배 양상	인인×인반			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

[Case 3 - 인반×인반]

염색체 지도	1	0	1	0
	1	0	×	1
	0	1	0	1
교배 양상	인반×인반			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

형질 교배
 Schema 13
 3연관 유전

[Case 4 - 인반×반인]

염색체 지도	1	0	1	0
	1	0	×	0
	0	1	0	1
교배 양상	인반×반인			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

[Case 5 - 인반×반반]

염색체 지도	1	0	1	0
	1	0	×	0
	0	1	1	0
교배 양상	인반×반반			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

형질 교배
Schema 13
3연관 유전

[Case 6 - 반인×반인]

인반 × 인반과 정확하게 좌우 대칭이므로 동일한 확률값이 나타난다.

염색체 지도	1	0	1	0
	0	1	×	0
	0	1	0	1
교배 양상	반인×반인			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

[Case 7 - 반인×반반]

인반 × 반반과 정확하게 좌우 대칭이므로 동일한 확률값이 나타난다.

염색체 지도	1	0	1	0
	0	1	×	0
	0	1	1	0
교배 양상	인반×반반			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	0			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

형질 교배
Schema 13
3연관 유전

[Case 8 - 반반×반반]

염색체 지도	1	0	1	0
	0	1	×	0
	1	0	1	0
교배 양상	반반×반반			
자손의 3가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{2}$			
자손의 2가지 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 1가지 형질만 우성일 확률	$\frac{1}{4}$			
자손의 3가지 형질이 모두 열성일 확률	0			

이를 통해 다음을 도출할 수 있다.

- 1) 자손의 3가지 형질이 모두 열성이라면 반드시 인인 × 인인이어야 한다.
- 2) 대문자 수에 따라 다음과 같이 염색체 종류를 정의하자.

기호	⊖	×	Ⓛ
염색체 종류	1	0	2
	1	0	0
	1	0	1
특징	완전 상인		적어도 1 상반

자손의 3가지 형질이 모두 우성인 경우를 다음과 같이 일반화할 수 있다.

형질 교배	⊖ × ⊖	⊖ × Ⓛ	연관 상태 같은 Ⓛ × Ⓛ	연관 상태 다른 Ⓛ × ⊖
자손의 모든 형질이 모두 우성일 확률	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$

형질 교배
Schema 14
단위 분해

[중요도 ★★★]

- 표현형 가짓 수가 4 이상의 숫자가 나왔을 경우 두 연관군의 이동 또는 두 형질 이상의 관여로 간주하여 표현형 가짓수를 단위 분해할 수 있다.
- 표현형 확률의 분모가 8 이상의 숫자가 나왔을 경우 두 연관군의 이동 또는 두 형질 이상의 관여로 간주하여 표현형의 확률을 단위 분해할 수 있다.

염색체 쌍의 수 = 단위 표현형 or 단위 확률의 갯수 이다.

예를 들어 표현형 가짓 수가 6가지이고, 서로 다른 2개의 상염색체에 있으면 6가지는 3×2로 쪼개 연관 상태를 판단할 수 있고

(인수의 갯수 2개)

표현형 가짓수가 6가지이고, 서로 다른 3개의 상염색체에 있으면 6가지는 3×2×1로 쪼개 염색체 위 유전자 상태를 결정할 수 있다.

어떤 표현형이 등장할 확률이 $\frac{3}{16}$ 이고 서로 다른 2개의 상염색체에 있으면

$\frac{3}{16}$ 은 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$ 로 쪼개 염색체 위 유전자 상태를 결정할 수 있다.

[단위 분해 예시]

P		염색체 지도	Q		단위 확률
1	0		0	1	$\frac{1}{4}$
1	0		1	0	
0	1		1	0	
1	0		1	0	$\frac{3}{4}$

형질 교배
Schema 15
비중 표

[중요도 ★★★]

- 비중을 표현한 표를 활용해 교배 양상을 적절히 나타낼 수 있다.

이때 비중 표는 표현형에 대한 표와 유전자형에 대한 표로 분류된다.
이를 각각 표현형 표, 유전자형 표라고 명명하자.

[완전 우성 유전]

A, a와 B, b가 모두 완전 우성 유전일 때 AaBb의 자가 교배 결과 유전자형 표와 표현형 표는 다음과 같다.

	비중	1	2	1
비중	유전자형	BB	Bb	bb
1	AA	A_B_	A_B_	A_bb
2	Aa	A_B_	A_B_	A_bb
1	aa	aaB_	aaB_	aabb

유전자형 표

	비중	3	1
비중	유전자형	[B]	[b]
3	[A]	A_B_	A_bb
1	[a]	aaB_	aabb

표현형 표

유전자형은 9종, 표현형은 4종이다.

[중간 유전]

A, a와 B, b가 모두 중간 유전일 때 AaBb의 자가 교배 결과 유전자형 표와 표현형 표는 다음과 같다.

	비중	1	2	1
비중	유전자형	BB	Bb	bb
1	AA	AABB	AABb	AAbb
2	Aa	AaBB	AaBb	Aabb
1	aa	aaBB	aaBb	aabb

유전자형 표

	비중	1	2	1
비중	유전자형	BB	Bb	bb
1	AA	AABB	AABb	AAbb
2	Aa	AaBB	AaBb	Aabb
1	aa	aaBB	aaBb	aabb

표현형 표

형질 교배

Schema 15

비중 표

[완전 우성 유전 & 중간 유전]

A, a는 완전 우성 유전, B, b는 중간 유전일 때 AaBb의 자가 교배 결과 유전자형 표와 표현형 표는 다음과 같다.

	비중	1	2	1
비중	유전자형	BB	Bb	bb
1	AA	A_B_	A_B_	A_bb
2	Aa	A_B_	A_B_	A_bb
1	aa	aaB_	aaB_	aabb

유전자형 표

	비중	3	1
비중	유전자형	[B]	[b]
1	AA	AAB_	A_bb
2	Aa	AaB_	A_bb
1	aa	aaB_	aabb

표현형 표

유전자형은 9종, 표현형은 6종이다.

[완전 우성 유전 & 복대립 유전]

A, a는 완전 우성 유전이고 E, F, G는 복대립 유전 (E=F>G), AaEG와 AaFG의 타가 교배 결과 유전자형 표와 표현형 표는 다음과 같다.

	비중	1	2	1
비중	유전자형	AA	Aa	aa
1	EF	A_EF	A_EF	aaEF
1	EG	A_EG	A_EG	aaEG
1	FG	A_FG	A_FG	aaFG
1	GG	A_GG	A_GG	aaGG

유전자형 표

	비중	3	1
비중	표현형	[A]	aa
1	EF	A_EF	aaEF
1	EG	A_EG	aaEG
1	FG	A_FG	aaFG
1	GG	A_GG	aaGG

표현형 표

유전자형은 12종, 표현형은 8종이다.

형질 교배
Schema 15
비중 표

[완전 우성 유전 & 연관 유전 (상인)]

A, a, B, b는 완전 우성 유전, D, d는 중간 유전이고 B, b, D, d는 한 염색체에 있을 때 A/a, BD/bd의 자가 교배 결과 표현형 표는 다음과 같다.

		확률의 비중	
		3	1
확률의 비중	⊖의 표현형	[A]	[a]
	연관 염색체 표현형		
1	[BDD]		
2	[BDd]		
1	[bdd]		

표현형은 6종이다.

[완전 우성 유전 & 연관 유전 (상반)]

A, a, B, b는 완전 우성 유전, D, d는 중간 유전이고 B, b, D, d는 한 염색체에 있을 때 A/a, Bd/bD의 자가 교배 결과 표현형 표는 다음과 같다.

		확률의 비중	
		3	1
확률의 비중	⊖의 표현형	[A]	[a]
	연관 염색체 표현형		
1	[Bdd]		
2	[BDd]		
1	[bDd]		

표현형은 6종이다.

형질 교배
Schema 15
비중 표

[완전 우성 유전 & 연관 유전 (상인 × 상반)]

A, a, B, b는 완전 우성 유전, D, d는 중간 유전이고 B, b, D, d는 한 염색체에 있을 때 A/a, BD/bd와 A/a, Bd/bD의 타가 교배 결과 표현형 표는 다음과 같다.

		확률의 비중	
		3	1
확률의 비중	연관 염색체	⊖의 표현형	⊕의 표현형
	연관 염색체	[A]	[a]
1	[BDd]		
1	[BDD]		
1	[Bdd]		
1	[bDd]		

표현형은 8종이다.