

유전의 세포들

멘델의 유전 (생명 과학 I)

기출분석과 자작N제



정답과 해설로 풀이 비교하기

기출문제 1. 2014년 3월 교육청 18번 답 : ④

멘델의 유전의 아주 대표적인 유형인 ‘교배시 자손의 표현형에 따른 개체수’ 문제네요. 생명과학1 기출문제를 n회독 하셨거나, 기출문제를 보시지 않았어도 워낙 지금은 대중적인 유형이 되었기 때문에 대부분이 쉽게 풀이하셨을것 같아요. 그럼에도 이 문제는 아주아주 중요하게 다뤄져야하는 문제예요. 14년 이후 19수능까지 이 유형은 계속해서 진화를 거듭하고 있지만 본질적인 3가지 풀이에는 변함이 없어요! 기출문제를 심도있게 분석하지 않으신 분들은 아마 한가지 풀이로만 풀이하고 있을 가능성이 높아요. 극단적으로 3가지 풀이 중 한가지만이 적용되는 문제가 나올 수 있고, 가장 적합한 한가지 풀이외의 다른 풀이가 있는 문제도 있었기 때문에 우선 아래에서 풀이스킬을 정리하고 변형문제를 통해 연습해보도록 할게요.

1) 표현형에서 대립 유전자 2쌍씩 비교해서 연관 상태 알아내기

아주 기본적인 내용부터 확인하고 가볼게요. 유전자형이 AaBb인 식물 개체 P가 있다고 해볼게요. A,B는 각각 a,b에 대해 완전 우성이구요. P의 대립 유전자가 상반 연관인지 상인 연관인지 아니면 독립된 대립 유전자 쌍인지에 따라서 자가 교배시 나오는 자손의 표현형과 그에 따른 비율이 아래와 같이 달라질거예요.

상인 연관 => A_B_ : aabb = 3 : 1 => 표현형 2가지

상반 연관 => A_B_ : A_bb : aaB_ = 2 : 1 : 1 => 표현형 3가지

독립 상태 => A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 9 : 3 : 3 : 1

또한 자가 교배가 아니라 유전자형이 AaBb인 식물 개체 P1과 P2의 교배에서도 두 개체의 연관 상태에 따라서 교배시 나오는 자손의 표현형과 그에 따른 비율이 아래와 같이 달라질거예요.

상인과 상인의 교배 => A_B_ : aabb = 3 : 1 => 표현형 2가지

상인과 상반의 교배 => A_B- : A_bb : aaB_ : 2 : 1 : 1 => 표현형 3가지

상반과 상반의 교배 => A_B- : A_bb : aaB_ : 2 : 1 : 1 => 표현형 3가지

독립상태 => A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 9 : 3 : 3 : 1

이 기본적인 내용이 첫 번째 풀이의 핵심이 됩니다! 풀이를 바로 기출문제에 적용시켜 볼게요. 18번 문제를 보면 문제의 마지막에 친절하게 ‘(가)에서 A,B,D는 연관되어 있다’라고 알려주고 있는데요, 저희는 이 조건이 없다고 생각하고 풀어보도록해요! 18번 문제의 개체수를 무시하고 표현형만 봅시다. (가)와 (나)를 교배해서 나온 자손의 표현형이 A_B_D_, A_bbdd, aaB_D_라고 했는데요. 저희는 A,a,B,b의 연관 상태를 먼저 알아보기 위해서 D,d를 무시하고 다시 표현형을 보도록 하겠습니다. 그러면 (가)와 (나)를 교배해서 나온 자손의 표현형은 A_B_, A_bb, aaB_가 되죠? 상인과 상반의 교배와 상반과 상반의 교배 상황과 일치하므로 A,a,B,b는 서로 연관된 염색체임을 알 수 있겠네요. 저희는 ‘(가)에서 A,B,D는 연관되어 있다’가 없다고 생각하고 풀고 있으므로 상인과 상반의 교배인지 상반과 상반의 교배인지는 알 수 없겠네요. 이제 A,a,D,d의 연관 상태를 알아보기 위해서 B,b를 무시하고 표현형을 봅시다. (가)와 (나)를 교배해서 나온 자손의 표현형이 A_D_, A_dd, aaD_가 되죠? 위의 상황과 마찬가지로 상인과 상반의 교배와 상반과 상반의 교배 상황과 일치합니다. 또 마찬가지로 추가 조건이 없다고 생각하고 있으므로 정확한 연관 상태는 구할 수가 없네요. A,a와 B,b가 연관되어 있고 A,a와 D,d가 연관되어있으므로 B,b와 D,d는 확인해보지 않아도 연관임을 알 수 있네요. 이렇게 자손의 표현형에서 대립 유전자를 두쌍씩 비교해서 연관 상태를 모두 추론하는 것이 첫 번째 풀이입니다!

2) 자손의 표현형 개수로 접근

1번 풀이에서 나온 기본개념을 다시보면 유전자형이 이형 접합인 개체의 교배에서 한 연관군마다 나올 수 있는 자손의 표현형 가짓수는 2가지, 3가지 밖에 없습니다. 독립인 경우는 4가지 아냐? 라고 물어보시면 슬픔니다. 독립인 경우는 2개의 연관군에서 각각 2가지 2가지 표현형이 나와서 곱해서 4가지가 되는겁니다. ‘하나의’ 연관군에서 나올 수 있는 자손의 표현형 가짓수는 ‘이형 접합’일 때 2가지, 3가지 밖에 없습니다. 똑똑하신분이 중간유전이 있을 때는 4가지도 가능한거 아닌가요? 라고 물어보면 그건 맞습니다. 하지만 중간유전은 나중에 다루도록 해요!

이 풀이를 기출문제에 적용시켜보면 (가)와 (나)를 교배해서 나온 자손의 표현형은 3가지입니다. 여기서 바로 세 쌍의 대립 유전자가 모두 연관되어 있음을 알 수 있습니다. 만약 독립된 대립 유전자쌍이 있었다면 자손의 표현형 가짓수가 2가지가 되는 연관군이 생겨 총 표현형 가짓수가 짝수가 됐겠죠?

3) 개체수를 통한 확률로 접근

가장 심화된 풀이입니다. 마찬가지로 1번 풀이에서 나온 기본개념을 응용합니다. 위의 기본개념의 비례식을 이해를 돕기 위해 확률로 바꿔보겠습니다.

$$\text{상인 연관} \Rightarrow A_B_ : aabb = \frac{3}{4} : \frac{1}{4}$$

$$\text{상반 연관} \Rightarrow A_B_ : A_bb : aaB_ = \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4}$$

$$\text{상인과 상인의 교배} \Rightarrow A_B_ : aabb = \frac{3}{4} : \frac{1}{4}$$

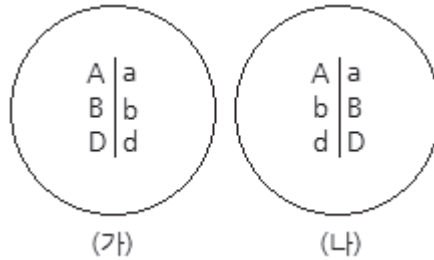
$$\text{상인과 상반의 교배} \Rightarrow A_B_ : A_bb : aaB_ : \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4}$$

$$\text{상반과 상반의 교배} \Rightarrow A_B_ : A_bb : aaB_ : \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4}$$

여기서 알 수 있는점. 유전자형이 이형 접합인 개체의 교배에서 한 연관군에서 특정 표현형의 자손이 나올 확률은 $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$ 3개밖에 없습니다. 이게 무슨 의미가 있는지 또 기출문제를 통해 살펴보도록 할게요. (가)와 (나)를 교배해서 표현형이 A_B_D인 자손은 400개체 중 200개체이므로, $\frac{1}{2}$ 의 확률로 표현형이 A_B_D인 개체가 나올 수 있습니다. $\frac{1}{2}$ 은 확률을 더 이상 쪼갤 수 없으므로 $\frac{1}{2}$ 이라는 확률을 만드는 연관군 단 하나만 존재함을 알 수 있습니다. 따라서 A,a,B,b,D,d는 모두 연관된 대립 유전자입니다. ‘확률은 쪼갬다’라는 말이 아직 잘 이해가 안 되시죠? 표현형이 A_bbdd인 상황을 볼게요. 400개체 중 100개체 이므로 표현형이 A_bbdd인 자손이 나올 확률은 $\frac{1}{4}$ 이예요. $\frac{1}{4}$ 은 그냥 $\frac{1}{4}$ 일수도 있고, $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ 일수도 있죠? 만약에 $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ 이라면 $\frac{1}{2}$ 은 연관된 대립 유전자가 존재하는 연관군에서만 나올 수 있는 확률인데 $\frac{1}{2}$ 이 두 개가 나오기 위해선 최소 4쌍의 대립 유전자가 있어야 되므로 모순임을 알 수 있어요.

따라서 $\frac{1}{4}$ 은 그냥 $\frac{1}{4}$ 이고 A,a,B,b,D,d는 하나의 연관군에 있으므로 모두 연관임을 알 수 있죠. 처음에는 조금 힘들 수 있지만 여러 문제에 이 풀이를 적용하는 연습을 해보면 쉽게 익숙하고 사용할 수 있을거예요!

그럼 이제 제대로 이 기출문제를 풀이해볼까요? 사실 이 문제는 결정적인 조건을 제시문에서 주었기 때문에 위의 스킬을 사용하지 않고도 풀 수 있는 문제예요. 유전자형이 AaBbDd인 개체 (가)와 (나)라고 했는데 (가)에서 A,B,D는 연관되어 있다고 했으므로 (가)의 대립 유전자 연관 상태는 이미 알려준게 되죠? 이제 표를 보면 자손의 표현형이 A_bbdd인 경우는 (가)에게서 a,b,d를 받았을 것이므로 (나)에게서는 A,b,d를 받은것이 됩니다. 여기까지 알아내면 (나)는 A,b,d가 연관된 염색체와 a,B,D가 연관된 염색체를 가짐을 뒤에 나오는 표현형 aaB_D_의 경우와 개체수를 관찰하지 않아도 알 수 있게 되죠. 따라서 (가)와 (나)의 연관 상태는 아래와 같습니다.

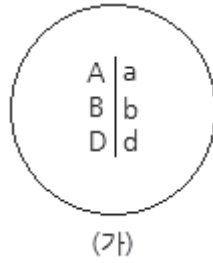


- ㄱ. (가)의 생식 세포 중 유전자형이 abd인 생식 세포의 비율은 50%이다. (○)
- ㄴ. (나)에서는 A와 b가 연관되어있다. (×)
- ㄷ. F1에서 AABbDd : AaBBDD = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} : \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = 1 : 1$ 이다. (○)

자 그럼 이제 다음에 이어질 문제들은 위에 제가 알려드린 풀이 중 하나만을 중점적으로 이용해서 푸는 문항들입니다. 문제를 푸시기 전에 다시 한번 위의 풀이들을 제대로 숙지하시고 넘어가셨으면 좋겠습니다!

자작문제 1. 답 : ⑤

표에 주어진 내용이 아무것도 없어서 당황하셨나요? 확실하게 알 수 있는 자료는 (가)를 자가 교배 해서 나오는 자손의 표현형이 2가지라는거죠! ‘자손의 표현형 개수로 접근’ 풀이를 사용해서 푸는 문제라는것을 눈치채셨어야해요! 유전자형이 AaBbDd인 개체를 자가 교배해서 자손의 표현형이 2가지가 되기 위해서는 주어진 세 쌍의 대립 유전자가 모두 같은 연관군에 있어야겠죠? 또한 A,B,D 연관, a,b,d연관 상태 외에는 항상 자손의 표현형 개수가 3가지가 되므로 (가)에서는 A,B,D가 연관, a,b,d가 연관되어 있음을 알 수 있습니다. 따라서 (가)의 연관 상태는 아래와 같습니다.



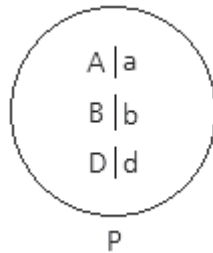
이제 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣를 구해보도록 할게요! 위와 같은 연관 상태를 가지는 개체 (가)를 자가 교배해서 자손을 얻을 때, 자손이 가질 수 있는 표현형은 A_B_D_ 또는 aabbdd죠? 또한 표현형의 비는 3:1이 될겁니다. 문제의 조건에서 ㉢>㉣라고 했으므로

㉠=A_B_D_, ㉡=aabbdd, ㉢=300, ㉣=100임을 쉽게 알 수 있습니다.

- ㄱ. (가)에서 유전자형이 abd인 생식 세포가 만들어진다. (○)
- ㄴ. ㉠은 A_B_D_이다. (○)
- ㄷ. ㉢=300이다. (○)

자작문제 2. 답 : ②

자작문제 1번의 표보다 비주얼이 더 심각하죠...? 그럼에도 침착하게 알 수 있는 정보를 찾아봅시다! 정확하게 알 수 있는 정보는 표현형이 ②인 자손의 개체수가 1600개체 중 25개체라는 것만 알 수 있죠? 확률로 표현하면 $\frac{1}{64}$ 이네요. 알 수 있는 정보가 이것밖에 없기 때문에 ‘개체수를 통한 확률로 접근’ 풀이를 사용해야겠죠? ‘확률 쪼개기’를 사용해봅시다. 주어진 대립 유전자가 3쌍이기 때문에 $\frac{1}{64}$ 은 무조건 $\frac{1}{64} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ 가 되어야 합니다. 따라서 주어진 3쌍의 대립 유전자는 모두 독립된 염색체에 존재하겠네요! 따라서 P의 연관 상태는 아래와 같고, ②는 3쌍의 열성 동형 접합을 가지는 개체의 표현형인 aabbdd가 되겠습니다!



- ㄱ. P에서 형성되는 생식 세포의 유전자형은 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 가지이다. (×)
- ㄴ. ②는 aabbdd이다. (○)
- ㄷ. F1의 표현형은 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 가지이다. (×)

자작문제 3. 답 : ④

앞의 문제들의 난이도가 조금 낮아서 실망하고 계실 분들을 위해 이 문제는 난이도를 조금 높게 잡았습니다... 혹시 못풀고 답지를 여셨다면 '표현형에서 대립 유전자 2쌍씩 비교해서 연관상태 알아내기' 풀이를 조금 더 곱씹어 보시고 다시 풀어보셨으면 좋겠습니다!

조건을 보면 P에서 B와 e가 연관되어있다고 알려줬네요. 그 외의 조건은 없으므로 대립 유전자 B,b,E,e를 중점적으로 표현형을 먼저 살펴보도록 할게요! 아참! 그전에 표에 주어진 표현형이 2가지라고 '자손의 표현형 개수로 접근' 풀이를 사용하신분이 분명히 있으셨을텐데 문제 조건의 '일부' 표현형이라는 워딩을 놓치신겁니다. '일부'라는 단어는 평가원에서도 '일부 염색체', '일부 표현형' 등등 많이 사용하는 표현이고 실제로 이 워딩을 이용한 대놓고 함정을 넣은 문제가 2014년 9월 모의고사 8번에 출제됐습니다. 이렇게 평가원에서 주의해야될 단어나 함정포인트는 나오는 족족 짚어보도록 하겠습니다!

다시 문제로 가서 B,b,E,e만 생각해보면 P는 B와 e, b와 E가 연관된 상반 연관 상태이므로 자손이 가질 수 있는 표현형은 B_E_, B_ee, bbE_로 3가지죠? 표에 제시된 자손의 표현형은 ④(h)와 ⑤(g)인데 ④는 ⑤와 다르고, h는 g와 다르므로 ④(h)와 ⑤(g)는 B_E_는 될 수 없음을 알 수 있죠. 만약에 하나가 B_E_라면 다른 하나는 bbee가 되어야하는데 상반 연관인 개체에서 bbee는 나올 수 없기 때문이죠!

이제 A,a,D,d까지 포함해서 살펴보도록 하죠! 표를 보면 표현형이 ③(c)④(h)인 자손의 개체수와 ①(d)②(f)인 자손의 개체수는 모두 k로 같습니다. 여기서 생명과학1 문제를 많이 접해보신 분들은 퍼즐이 맞춰지는 것처럼 머릿속에서 파바박하고 답이 나오셨을 수도 있을겁니다. 하지만 저희는 아직 연습을 하는 단계이므로 가능한 케이스를 체계적으로 나눠서 풀이해보도록 하겠습니다!

1) A,a와 D,d가 연관된 염색체에 존재하는 경우

A,a,D,d가 만약 상인 연관되어있다면 가능한 자손의 표현형이 A_D_, aadd가 되어 표에 제시된 표현형이 ③(c)와 ①(f)인 개체가 존재한다는 것에 모순이 생깁니다. 따라서 A,a,D,d는 연관이라면 상반 연관이어야합니다. 이제 여기서 4쌍의 대립 유전자가 모두 같은 염색체에 연관되어 있는지 아니면 2쌍, 2쌍씩 연관되어 있는지 판단해야합니다. A,a,B,b,E,e만을 살펴보면 표에 주어진 자손의 표현형 ③(c)④(h), ①(d)②(f)에서 ③(c)④(h)와 ①(d)②(f)에는 각각 한 쌍씩 동형 접합이 있을 것이므로 ③또한 동형 접합이 되어야 합니다. 그런데 만약 4쌍의 대립 유전자가 모두 연관되어 있다면 두 표현형 모두에서 ③가 나오는 것이 불가능합니다. 따라서 4쌍의 대립 유전자가 모두 연관되어 있지 않고, 2쌍, 2쌍씩 연관되어 있습니다. 하지만 이 케이스의 최종적인 모순은 주어진 표의 두 표현형의 개체수가 같지 않다는 것입니다. A,a,D,d가 상반 연관되어 있으므로 ③(c)와 ①(f)의 개체수의 비율은 2:1 또는 1:2가 됩니다. 따라서 이 케이스는 모순입니다.

2) A,a와 D,d가 독립된 염색체에 존재하는 경우

첫 번째 케이스에서 4쌍의 대립 유전자가 모두 연관되어 있지 않다는 것을 알아낼 때의 논리에 의해 A,a는 B,b,E,e와 서로 독립된 염색체에 존재한다는 것을 알 수 있습니다. 따라서 ③(c)④(h)와 ①(d)②(f)의 개체수는 같습니다. 만약 D,d가 B,b,E,e와 서로 독립된 염색체에 존재한다면 표현형이 ③(c)인 경우와 ①(f)인 경우의 개체수 비는 3:1 또는 1:3이 됩니다. 따라서 D,d는 B,b,E,e와 같은 염색체에 연관되어 있음을 알 수 있습니다. 여기서 정확한 연관 상태는 알 수가 없고, B,D,E와 b,d,e가 연관된 상인 연관 상태를 제외한 임의의 상반 연관 상태임을 알 수 있습니다.

다. (평가원에서는 3쌍 이상의 대립 유전자의 연관을 다룰때, 상인 연관, 상반 연관이라는 표현을 사용하지 않지만, 이 교재 내에서는 설명의 편의를 위해 사용하도록 하겠습니다.) 따라서 이 케이스가 맞음을 알 수 있습니다.

최종적으로 k를 구해보도록 할까요? ③④⑧와 ⑤⑥⑦는 상반 연관에서 동형 접합이 나오게 선택하는 표현형이므로 개체수 비율은 $\frac{1}{4}$ 이 되고, 독립된 표현형인 ②는 A_인지 aa인지 모르기 때문에 $\frac{1}{4}$ 인지 $\frac{3}{4}$ 인지 알 수 없지만, 문제의 조건에서 $k > 100$ 이라고 했으므로 ②는 A_임을 알 수 있는데요! ②가 만약 aa가 되면 $k=100$ 이 되거든요. 따라서 최종적인 k의 값은 $k=1600 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = 300$ 임을 알 수 있겠죠!

약간 발상적인 문제기 때문에 시간이 많이 걸렸거나 못푸셨다고 할지라도 이 문제에 포함된 논리는 매우매우 중요하기 때문에 꼭 여러번 답지의 풀이를 곱씹어 보시길 바랄게요! 다음 문제에서는 앞서 설명한 '확률 쪼개기'라는 스킬을 조금 난이도가 있는 문제를 통해서 확실하게 익히고 넘어가도록 하겠습니다.

자작문제 4. 답 : ⑤

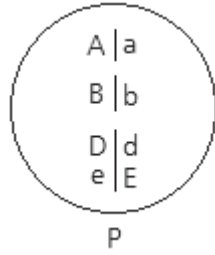
간단하게 복습해볼까요? 한 쌍의 대립 유전자가 독립적으로 존재하는 연관군이나 두 쌍 이상의 대립 유전자가 상인 연관 형태로 연관되어 있는 연관군에서는 특정 표현형의 자손이 나올 확률이 $\frac{1}{4}$ 과 $\frac{3}{4}$ 밖에 없고, 두 쌍 이상의 대립 유전자가 상반 연관 형태로 연관되어 있는 연관군에서는 특정 표현형의 자손이 나올 확률이 $\frac{1}{4}$ 과 $\frac{1}{2}$ 밖에 없다고 했죠? 기억하시고 바로 풀이해보도록 하겠습니다.

P을 자가 교배해서 표현형이 ㉠인 자손이 나올 확률은 $\frac{9}{32}$ 라고 했네요. $\frac{9}{32}$ 를 ‘확률 쪼개기’해보겠습니다. 분자가 9이기 때문에 반드시 $\frac{3}{4}$ 가 2개 있어야겠네요. $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ 은 $\frac{9}{16}$ 이므로 $\frac{9}{32} = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$ 가 되겠네요. 따라서 문제에 제시된 n쌍의 대립 유전자는 3개의 연관군에 나뉘어져 있는게 되겠네요. 이 3개의 연관군에 대립 유전자가 어떤 상태로 연관되어 있는지도 확률을 통해서 추론할 수 있죠? $\frac{1}{2}$ 은 대립 유전자가 상반 연관되어 있는 연관군에서만 나올 수 있는 확률이고, $\frac{3}{4}$ 은 한 쌍의 대립 유전자만 존재하거나 대립 유전자가 상인 연관되어 있는 연관군에서만 나올 수 있는 확률이므로 3개의 연관군 중 하나에는 대립 유전자가 상반 연관되어 있고, 나머지 2개의 연관군은 한 쌍의 대립 유전자만 존재하거나 대립 유전자가 상인 연관되어 있음을 알 수 있어요.

이제 P를 자가 교배해서 표현형이 ㉢인 자손이 나올 확률을 보면 $\frac{3}{64}$ 이네요. 위와 같은 방법으로 분자가 3이기 때문에 $\frac{3}{4}$ 이 1개만 있어야겠죠? $\frac{3}{64} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{16}$ 인데, $\frac{1}{16}$ 은 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ 일수도 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$ 일수도 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ 일수도 있죠? 하지만 표현형이 ㉠인 자손이 나올 확률을 통해 주어진 대립 유전자는 3개의 연관군에 있어야 됨을 이미 알아버렸죠? 따라서 $\frac{3}{64}$ 은 3개의 확률의 곱으로 이루어져야하므로 $\frac{3}{64} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ 이 되겠네요! 여기서도 연관군마다 대립 유전자가 어떤 상태로 연관되어 있는지 알아볼게요. $\frac{3}{4}$ 은 한 쌍의 대립 유전자만 존재하거나 대립 유전자가 상인 연관되어 있는 연관군에서 나온 확률일 것이고, $\frac{1}{4}$ 두 개 중 하나는 ㉠의 경우에서 대립 유전자가 상반 연관되어 있는 연관군이 하나 있음을 이미 구했으므로 그 연관군에서 나온 확률일 것이고, 다른 하나는 한 쌍의 대립 유전자만 존재하거나 대립 유전자가 상인 연관되어 있는 연관군에서 나온 확률임을 알 수 있겠네요!

이제 문제에서 구하고자 하는 것을 살펴보면 하나 알 수 있는 아주 중요한 포인트가 있어요! 바로 이 문제에서는 한 쌍의 대립 유전자만 존재하는 연관군과 대립 유전자가 상인 연관되어 있는 연관군을 그냥 같은 것으로 생각해도 된다는 거예요. 왜일까요? 간단하게 적어보면 두 경우 모두 자손의 표현형이 2가지이고, 이 표현형의 비율이 3:1이기 때문임을 쉽게 알 수 있죠? 이를 문제의 P에 적용해서 대립 유전자가 상반 연관되어 있는 연관군이 아닌 2개의 연관군은 둘다 한 쌍의 대립 유전자

만 존재한다고 생각해보시길요. 또한 문제에서는 n쌍의 대립 유전자라고만하고 정확한 문자를 주지 않았기 때문에 편의상 A,a,B,b,D,d,E,e라고 생각해보시고 P의 연관 상태를 그려보도록 할게요!



㉠,㉡ 또한 알아보도록 하겠습니다. P를 자가 교배해서 ㉠가 나올 확률은 $\frac{9}{32} = \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$ 라고

했으므로 $\frac{3}{4} \Rightarrow A_$, $\frac{3}{4} \Rightarrow B_$, $\frac{1}{2} \Rightarrow D_E_$ (유전자형은 반드시 DdEe)가 되어 ㉠는

A_B_D_E_임을 알 수 있네요. ㉡가 나올 확률은 $\frac{3}{64} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ 라고 했으므로 $\frac{3}{4} \Rightarrow A_$,

$\frac{1}{4} \Rightarrow bb$, $\frac{1}{4} \Rightarrow D_ee$ 또는 ddE_고, 여기서 A_와 bb가 aa와 B_로 바뀌어도 상관없겠죠?

두 가지 케이스가 나뉘지는 확률을 각각 구해 더한 것이나 하나의 경우로 확정시키고 확률을 구하는 것이나 결과 값이 같을 것이므로 저는 임의로 ㉡를 A_bbD_ee로 확정시키도록 하겠습니다!

최종적으로 확률을 구해보도록 하겠습니다. 표현형이 ㉠인 개체의 유전자형이 AA일 확률은

$\frac{1}{3}$, Aa일 확률은 $\frac{2}{3}$, BB일 확률은 $\frac{1}{3}$, Bb일 확률은 $\frac{2}{3}$ 이고 나머지 유전자형은 DdEe의 상반

연관으로 확정되네요. 표현형이 ㉡인 개체의 유전자형이 AA일 확률은 $\frac{1}{3}$, Aa일 확률은 $\frac{2}{3}$,

나머지 유전자형은 bbDDee로 확정되네요. 이 두 개체를 교배해 P와 같은 표현형인 A_B_D_E_인

자손이 나올 확률은 A_가 나올 확률 $\frac{8}{9}$, B_가 나올 확률 $\frac{2}{3}$, D_E_가 나올 확률 $\frac{1}{2}$ 을 모두 곱한

$\frac{8}{27}$ 이 됩니다!

어렵죠? 조건부 확률 계산도 많고 2016년 9월 모의고사에 출제된 것처럼 정확한 대립 유전자의 문자도 주어지지 않았기 때문에 뭔가 아무것도 없이 붕 뜬 느낌이 들 수 있었던 문제였던 거 같아요. 하지만! ‘확률 쪼개기’를 정확하게 파악하는 것이 이 문제의 목표이기 때문에... 문제 해결을 못하셨더라도 다시 한번 풀이를 꼼꼼하게 따라가보시면 좋겠습니다. 첫 번째 기출문제부터 내용이 너무 많았죠? 멘델의 유전에 가장 대표적인 유형이었기 때문에 연습문제나 설명 분량도 길었던 것 같네요. 다음 기출문제는 조금 간단한 문제입니다!

기출문제 2. 2014년 4월 교육청 6번 답 : ④

아주 간단한 복대립 유전 문제이므로 바로 풀이하도록 하겠습니다. 실험 I 을 보면 검은색 개체와 검은색 개체의 교배에서 자손으로 회색 개체가 나왔네요. 이와 같은 경우에는 부모 개체의 표현형이 자손 개체의 표현형보다 우성이에요. 일반 대립 유전자가 2개인 단일 인자유전, 복대립 유전, 심지어 비분리가 일어난 부모의 생식 세포로 형성된 자손의 경우까지 불변의 법칙이죠. 따라서 대립 유전자의 우열은 $B \succ G$ 이고, 실험 I 의 부모 개체는 모두 검은색 표현형을 나타내기 위해 B를 가져야 하고, 회색 표현형 자손을 만들기 위해 G또한 가져야되네요! 그러면 두 개체 모두 유전자형이 BG가 됩니다.

실험 II의 경우에도 검은색 개체와 회색 개체 사이에서 흰색 개체가 나왔으므로 털색 대립 유전자의 우열은 $B \succ G \succ W$ 임을 알 수 있네요. 또한 위와 같은 논리에 의해서 검은색 개체의 유전자형은 BW, 회색 개체의 유전자형은 GW가 됩니다.

- ㄱ. 연관된 대립 유전자를 다루는 경우가 아니기 때문에 분리의 법칙이 성립한다. (○)
- ㄴ. 대립 유전자의 우열은 $B \succ G \succ W$ 이다. B가 G에 대해 우성이다. (×)
- ㄷ. 실험 II에서 회색 털을 가지는 자손은 부모 개체 중 회색 털 개체에게서 G를 받고 검은색 털 개체에게서는 W를 받아야하므로 ㉠과 털색 유전자형이 서로 같다. (○)

쉬운 기출문제이기 때문에 간단한 자작문제 하나를 통해서 연습하고 넘어가도록 합시다!

자작문제 5. 답 : ㉔

실험 I 부터 보도록 할게요. 회색과 검은색의 개체를 교배해서 흰색의 개체가 나왔습니다. 그러면 흰색이 회색, 검은색에 비해 열성인 형질이겠죠? 또한 회색 개체와 검은색 개체는 모두 W를 가지고 있어야겠네요. 따라서 회색 개체의 유전자형은 GW, 검은색 개체의 유전자형은 BW가 되네요.

실험 II를 보면 ㉑과 ㉒의 털색 유전자형이 다르다고 했으므로 ㉒의 유전자형은 GG또는 GB가 될 수 있는데 G와 B의 우열을 모르기 때문에 GB가 될 수 있는지도 알 수가 없는 상황이네요... 하지만 흰색 개체의 유전자형은 반드시 WW여야 하므로 ㉑과 흰색 개체 사이에서는 반드시 유전자형이 GW인 회색 개체는 나오나 ㉒이 W가 없으므로 흰색 개체는 나오지 않음을 알 수 있네요! 주어진 자료가 여기까지 이므로 B와 G의 우열은 판단할 수가 없네요.

- ㉑. 대립 유전자 G는 대립 유전자 W에 대해 완전 우성이다. (○)
- ㉒. ㉑는 ○, ㉒는 ×이다. (○)
- ㉓. 주어진 자료만으로는 G와 B의 우열을 판별할 수 없다. (○)

이번 기출문제는 아주 간단한 문제이기 때문에 복대립 유전의 기본 개념과 우열의 원리는 어느 상황에서든 성립한다! 정도만 챙겨가시면 될 것 같네요.

기출문제 36. 2016년 수능 16번 답 : ㉠

수능에서 출제된 ‘교배시 자손의 표현형에 따른 개체수’ 유형입니다. 이 문제 이후에는 이 유형에서 출제될 수 있는 상황이 고갈되어 버려서인지 평가원에서는 거의 출제를 하지 않았습니니다. 이 문제는 또 특이하게 생식 세포의 DNA 상대량에 관련된 표가 주어지기도 했네요. 저 표는 이곳저곳에서 계속 변형될 여지가 있어보이므로 자작문제에서도 다시 한번 다뤄보도록 하겠습니다. 문제는 쉬우니 바로 풀이할게요!

4쌍의 우열이 분명한 대립 유전자가 제시되었고, P의 유전자형은 AaBbDdEe입니다. 표 (가)는 P를 자가 교배하여 얻은 자손(F1)의 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되는 표현형에 따른 개체수를 나타낸 것이네요. 표현형이 모두 주어졌으므로 ‘표현형에서 대립 유전자 2쌍씩 비교해서 연관상태 알아내기’ 풀이를 사용하면 되겠죠? 표현형 A_B_, A_bb, aaB_, aabb가 모두 나오므로 A,a와 B,b는 서로 독립된 염색체에 존재하겠네요. 표현형 A_D_, aadd만 존재하므로 P는 A,D가 연관된 염색체와 a,d가 연관된 염색체를 가짐을 알 수 있네요!

표 (나)에서도 똑같이 ‘표현형에서 대립 유전자 2쌍씩 비교해서 연관상태 알아내기’ 풀이를 사용합시다! 표현형 B_E_, B_ee, bbE_만 존재하므로 P는 B,e가 연관된 염색체와 b,E가 연관된 염색체를 가짐을 알 수 있겠네요! 따라서 P의 정확한 연관 상태는 아래와 같습니다.

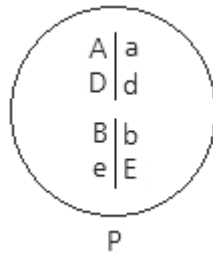


표 (다)를 보면 A의 DNA 상대량이 1이므로 a의 DNA 상대량은 0이 되어야 합니다. 따라서 ㉠=0이고, P는 A와 D가 연관된 염색체를 가지므로 d의 DNA 상대량도 0이 되어야 하네요. 따라서 ㉡=0입니다.

- ㉠. ㉠+㉡=0 (○)
- ㉡. P에서 A,a와 E,e는 서로 독립된 염색체에 존재한다. (×)
- ㉢. 유전자형이 AaDdee인 개체수와 AADDee인 개체수의 비는 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} : \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = 2:1$ 이다. (×)

이제 뒤의 자작문제에서는 생식 세포의 DNA 상대량 표에 대해서 조금 더 알아보도록 하겠습니다!

자작문제 56. 답 : ㉔

3쌍의 우열이 분명한 대립 유전자 제시되었고, P1과 P2의 유전자형은 AaBbDd라고 하네요. P1과 P2를 교배하여 얻은 자손(F1)의 대립 유전자 a와 d의 개수가 없다는 조건의 의미는 우선 A,a와 D,d가 연관되어 있다는 것이고, 상인 연관끼리의 교배와 상반 연관끼리의 교배에서는 a와 d의 개수가 같은 자손이 나올 수 있으므로 P1과 P2는 각각 상인 연관과 상반 연관 중 하나의 연관 상태를 가져야 한다는 것이네요! P1과 P2를 각각 자가 교배하여 얻은 자손(F1)에서 표현형이 A_B_인 자손의 비율이 P1이 P2보다 높으므로 P1은 A,B가 연관된 염색체와 a,b가 연관된 염색체를 가지고, P2는 A,b가 연관된 염색체와 a,B가 연관된 염색체를 가짐을 알 수 있습니다. 따라서 3쌍의 대립 유전자는 모두 같은 염색체에 존재하네요!

이제 표 (가)를 보면 P1의 생식 세포 ㉔가 A와 D의 DNA 상대량이 모두 1이므로 P1은 A,D가 연관된 염색체와 a,d가 연관된 염색체를 가지고, P2는 A,d가 연관된 염색체와 a,B가 연관된 염색체를 가짐을 알 수 있네요. 따라서 P1과 P2의 정확한 연관 상태는 아래와 같습니다.

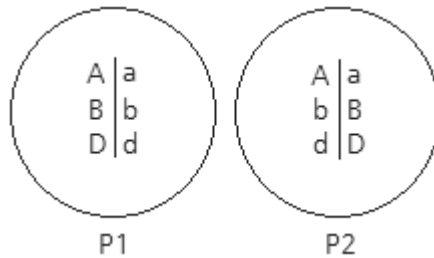


표 (가)의 생식 세포는 A,D를 가지므로 b는 가지지 않습니다. 따라서 ㉔=0이네요. 표 (나)는 a를 가지므로 B와 D를 가집니다. 따라서 ㉕=1, ㉖=1이네요.

- ㉔. P1의 생식 세포 유전자형은 2가지이다. (○)
- ㉕. ㉔+㉕+㉖=2이다. (○)
- ㉖. ㉔와 ㉕가 수정해 형성된 자손의 유전자형은 AaBBDd이므로 표현형이 A_B_D_이다. P2를 자가 교배하여 얻은 자손(F1)의 표현형이 A_B_D_일 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다. (○)

자작문제 57. 답 : ③

주어진 4쌍의 대립 유전자는 모두 우열이 분명하고, P1과 P2의 유전자형은 AaBbDdEe이네요. P1과 P2를 교배하여 얻은 자손(F1)의 표현형은 9가지이므로 주어진 4쌍의 대립 유전자는 2쌍씩 연관되어 있겠네요. 표 (가)부터 보도록 하겠습니다.

표 (가)는 P1의 생식 세포 ㉑와 P2의 생식 세포 ㉒의 DNA 상대량 합을 나타낸 것이네요. A와 B의 DNA 상대량이 모두 2이므로 만약 A,a와 B,b가 서로 연관된 대립 유전자라면 P1과 P2는 모두 A,B가 연관된 염색체와 a,b가 연관된 염색체를 가져야하므로 P1과 P2를 교배하여 얻은 자손(F1)의 표현형이 9가지가 될 수 없습니다. 따라서 A,a와 B,b는 서로 독립된 염색체에 존재합니다. 다른 대립 유전자의 관계를 살펴보면 모순이 나는 상황이 없기 때문에 더 이상 알아낼 수 있는 정보가 없네요. 표 (나)로 넘어가봅시다.

표 (나)는 a와 D의 DNA 상대량이 2입니다. 만약 A,a와 D,d가 서로 연관된 대립 유전자였다면 (가)에서 A의 DNA 상대량 2이고, D,d의 DNA 상대량이 각각 1이므로 표 (나)에서도 D,d의 DNA 상대량이 각각 1이 되어야 합니다. 하지만 그렇지 않으므로 A,a와 D,d는 서로 독립된 염색체에 존재함을 알 수 있습니다. 따라서 A,a와 남은 한 쌍의 대립 유전자 E,e가 서로 연관된 대립 유전자네요! 표 (가)를 통해서 P1과 P2는 모두 A,E가 연관된 염색체와 a,e가 연관된 염색체를 가짐을 알 수 있고, B,b와 D,d는 P1과 P2 중 하나에서는 상인 연관, 다른 하나에서는 상반 연관되어 있음을 알 수 있습니다.

- ㄱ. P1의 생식 세포 유전자형 개수는 $2 \times 2 = 4$ 가지이다. (○)
- ㄴ. A,a와 B,b는 서로 다른 염색체에 있는 대립 유전자이다. (○)
- ㄷ. 표 (나)에서 D의 DNA 상대량이 2이므로 B,b의 DNA 상대량은 각각 1이다. 따라서 ㉑=1이다. a의 DNA 상대량은 2이므로 E의 DNA 상대량은 2고, e의 DNA 상대량은 0이다. 따라서 ㉒=0이고, ㉑+㉒=1이다. (×)