

다인자유전

4단원 유전에 포함되는 유형중 하나인 다인자유전이다.

지난 교육과정에서 평가원이 출제했던 다인자유전에 대한 문제는 다인자유전에 연관추론을 함께 출제하는 유형이었다. 하지만 새로운 교육과정에 들어오게 되며 연관이 사라졌다. 이로 인해 '다인자유전에 대한 중요성이 떨어질 것이다'라 생각할 수 있지만 혈액형과 마찬가지로 이러한 유형을 맞이하였을 때 어떠한 태도를 가질 것인가?에 대해 정리해 두어야 할 필요가 있다.

다인자유전은 단일인자 유전과 다르게 한 가지 형질에 대해 여러 쌍의 대립 유전자가 영향을 미치는 유전이다. 단순히 대문자의 개수에 따라 정해지는 것뿐만 아니라 그냥 한 가지 형질에 대해 여러 쌍의 대립유전자가 영향을 미치고 있으면 그는 다인자유전이라 할 수 있다.

다인자유전에서 나올 수 있는 문제 유형은 크게 두 가지다.

1. 대문자의 개수에 따라 형질이 결정되는 경우
2. 특정 유전자 형에 따라 형질이 결정되는 경우

Part1. 대문자의 개수에 따라 형질이 결정되는 경우

이러한 유형에 대해 가볍게 예시를 들어보자.

형질 (가)는 독립적으로 유전되는 2쌍의 대립 유전자 A, a와 B, b에 의해 결정되며 대문자의 개수에 따라 형질이 달라진다.

이 때 형질 (가)는 다인자유전이고, Part1에 해당하는 유형임을 알 수 있다. 이러한 유형의 경우 부모의 유전자형과 그 유전자형에 따라 생성될 수 있는 생식세포의 유전자형(생식세포가 가질 수 있는 대문자의 개수)에 주목하도록 하자.

형질 (가)에 대해 아빠는 AaBb라는 유전자형을, 엄마는 AABb라는 유전자형을 가지고 있다 가정해보자. 이 경우에 아빠가 생성할 수 있는 생식세포의 유전자형은 AB, Ab, aB, ab 이렇게 4가지이다. 이 유전자형을 대문자의 개수에 따라 다시 생각해보면 AB(2), Ab(1), aB(1), ab(0)으로 아버지는 자식에게 형질 (가)에 대한 대문자 유전자를 2~0개까지 물려줄 수 있다. 엄마는 AB(2), Ab(1)로 형질 (가)에 대한 대문자 유전자를 2~1개까지 물려줄 수 있다.

이를 표로 정리하면 다음과 같다.

+	0	1	2
1	1	2	3
2	2	3	4

이 표는 위의 설명을 간략하게 표현한 것과 같다. 가로줄은 아빠가 줄 수 있는 대문자의 개수를 나타낸 것이고, 세로줄은 엄마가 줄 수 있는 대문자의 개수를 나타낸 것이다. 이를 각각 더하게 되면 엄마와 아빠에게서 나타날 수 있는 자식의 대문자 개수를 표현할 수 있게 된다. 이뿐만 아니라 확률도 계산할 수 있다.

+	$0(\frac{1}{4})$	$1(\frac{1}{2})$	$2(\frac{1}{4})$
$1(\frac{1}{2})$	$1(\frac{1}{8})$	$2(\frac{1}{4})$	$3(\frac{1}{8})$
$2(\frac{1}{2})$	$2(\frac{1}{8})$	$3(\frac{1}{4})$	$4(\frac{1}{8})$

아까 본 표와 같은 표이다. 다만 옆에 적혀 있는 분수는 아빠의 생식세포가 해당 대문자의 개수를 가질 확률과 엄마의 생식세포가 해당 대문자의 개수를 가질 확률을 나타낸 것이고, 이를 곱해 자식에게 나타날 수 있는 대문자의 개수에 대한 확률을 나타낸 것이다.

이 표를 통해 아빠가 AaBb 엄마가 AABb일 때 자식이 대문자를 1~4개까지 가질 수 있다. 또한 대문자를 1개 가질 확률이 $\frac{1}{8}$ 임을 알 수 있고, 2개 가질 확률은 $\frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{3}{8}$, 3개 가질 확률도 $\frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{3}{8}$, 4개 가질 확률은 $\frac{1}{8}$ 임을 알 수 있다.

일반적인 유전과 마찬가지로 어머니-아버지를 통해 자식의 대문자의 개수를 추론할 수 있고, 자식의 대문자의 개수를 보고 어머니-아버지의 대문자의 개수를 추론할 수 있다.

새롭게 예를 들어보자.

형질 (가)는 독립적으로 유전되는 3쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며 대문자의 개수에 따라 형질이 달라진다. **남자 ㉠와 여자 ㉡가 자손을 낳을 때 이 자손이 가질 수 있는 대문자의 개수는 최소 1개 최대 5개이다.**

여기서 굵게 처리된 조건을 보고 이 부모 ㉠와 ㉡중 대문자 동형접합인 유전자 쌍이 하나 있을 것이고, 소문자 동형접합인 유전자 쌍이 하나 있을 것을 추론할 수 있을 것이다. 왜냐하면 '대문자의 개수가 최소 1개라는 것은 누군가의 생식세포에는 꼭 대문자가 하나 이상 들어가야 한다'라 추론할 수 있고 '대문자의 개수가 최대 5개라는 것은 부모 중 누군가의 생식세포에는 어떤 한 형질에 대한 대문자가 들어갈 수 없다'라 추론할 수 있기 때문이다.

보통 이러한 유형은 연관과 관련되어 출제되었을 경우 문제의 난이도가 상승한다.

+	0	2
0	0	2
2	2	4

AaBb가 상인연관일 경우
(0,2,4)의 3가지 표현형을 가진다.

+	1	1
1	2	2
1	2	2

AaBb가 상반연관일 경우
(2)의 1가지 표현형을 가진다.

+	0	2	4
0	0	2	4
1	1	3	5
2	2	4	6

그렇다면, AaBbDd의 유전자형을 가지고, AaBb(상인연관) / Dd(독립) 일 경우는?
AaBb가 0,2,4개의 대문자를 가질 수 있고, Dd가 0,1,2개의 대문자를 가질 수 있다
(0~6) 7가지의 표현형을 가질 수 있다.

+	1
0	1
1	2
2	3

AaBbDd의 유전자형을 가지고 AaBb(상반연관) / Dd(독립)일 경우는?
AaBb가 1개의 대문자를 가질 수 있고, Dd가 0~2개의 대문자를 가질 수 있으므로
(1~3) 3가지의 표현형을 가질 수 있다.

연관은 거의 나오지 않을 것이라 생각하지만 간단히라도 알아 두는 것이 좋을 것 같아 짧게 설명했다.

문제로 확인해보자.

다음은 어떤 식물의 꽃 색 유전에 대한 자료이다.

○ 꽃 색은 3쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며, 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 개수가 다르면 표현형이 다르다.

○ 꽃 색을 결정하는 유전자는 서로 다른 상염색체에 존재한다.

○ 표는 대문자로 표시되는 대립 유전자의 개수에 따라 나타나는 표현형을 (가)~(다)로 구분한 것이다.

구분	대문자로 표시되는 대립 유전자 개수(개)
(가)	5, 6
(나)	3, 4
(다)	0, 1, 2

○ 유전자형이 AaBbDd인 개체와 ⊖ (다)의 한 개체를 교배하여 얻은 ⊕ 자손(F₁) 400개체에서 (나)에 해당하는 개체수와 (다)에 해당하는 개체수의 비는 1 : 1이다.

대문자에 의해 결정되는 다인자유전에 대한 문제이다.

4번째 동그라미를 보면 유전자형이 AaBbDd인 개체와 표현형이 (다)인 개체가 교배하여 얻은 자손에서 (나)에 해당하는 개체와 (다)에 해당하는 개체가 1:1임을 주고 있다.

이를 통해 (다)의 표현형을 띄는 개체의 대립유전자 대문자의 개수가 몇 개인지 추론해야하는 문제이다.

어떻게 추론해야 할까?

유전자형이 AaBbDd인 개체가 생식세포에 가질 수 있는 대문자의 개수는 0~3개이다.

(다)의 표현형은 대문자가 0, 1, 2일 때 나타난다. 만약 대문자가 0개일 경우엔 생식세포가 가질 수 있는 대문자의 개수는 0개일 것이다. 대문자가 1개일 경우엔 생식세포가 가질 수 있는 대문자의 개수가 0~1개 일 것이다. 대문자가 2개일 경우엔 경우가 두개로 나뉜다. 두개가 이형접합이고 하나가 소문자 동형일 경우(AaBbdd) 또는 하나가 대문자 동형이고 두개가 소문자 동형일 경우 (AAbbdd)로 나눌 수 있다.

이렇게 문제에 맞는 케이스 분류를 빠르게 진행한 뒤 조건에 맞는 케이스를 찾아내야 한다

1. 대문자가 0개인 경우

+	0	1	2	3
0	0	1	2	3

2. 대문자가 1개일 경우

+	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	2	3	4

3. 대문자가 2개고 이형접합이 2개인 경우

+	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	2	3	4
2	2	3	4	5

4. 대문자가 2개고 대문자 동형인 경우

+	0	1	2	3
1	1	2	3	4

이 4가지 케이스들 중에서 (나)의 표현형과 (다)의 표현형이 1:1의 비율로 나오는 것이 4번째 케이스임을 알 수 있다.

연관과 관련한 대표적인 문제도 하나 보자.

다음은 사람의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

○ (가)를 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있으며, 3개의 유전자는 각각 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 갖는다.

○ (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수가 다르면 (가)의 표현형이 다르다.

○ 가계도 구성원 1~6의 유전자형은 모두 AaBbDd이고, 가계도에는 (가)의 표현형은 나타내지 않았다.

□ 남자
○ 여자

○ 5의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 최대 7가지이다.

○ 6의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 최대 3가지이다.

문제의 조건에서 2연관/1독립임을 알려주고 있다. 각 동생이 태어날 때 나타날 수 있는 표현형의 개수를 보고 연관 형태를 추론하는 문제이다.

새 교육과정에 들어와서 중요성이 떨어진 문제이지만 어렵지 않으니 잠깐 살펴보고 가자.

2연관 1독립이며 모두 이형접합일 때 표현형이 7가지가 나올 수 있는 경우는 위에서 확인한 표와 같이 상인/독립일 경우뿐이다. 그렇기 때문에 1/2 모두 상인연관임을 알 수 있다. 마찬가지로 2연관 1독립이면서 모두 이형접합일 때 표현형이 3가지가 나올 수 있는 경우는 상반/독립일 경우 뿐이고, 이를 통해 3/4 모두 상반연관임을 알 수 있다.

Part2. 특정 유전자형에 따라 형질이 결정되는 경우

대문자의 개수에 따라 결정되는 유전만이 다인자유전인 것은 아니다. 단순히 한 쌍의 대립유전자가 아닌 여러 쌍의 대립유전자가 형질을 결정한다면 그 유전도 마찬가지로 다인자유전인 것이다.

형질(가)를 결정하는 유전자는 A와 a, B와 b, D와 d가 있다. (가)는 유전자형에 따라 형질이 달라진다. A_B_D_는 노란색, A_B_dd는 파란색, A_bb는 주황색, aa는 빨간색을 나타낸다.

위와 같은 구성의 문제가 대문자의 개수에 의해 결정되는 다인자유전이 아니면서 다인자유전인 문제이다.

이와 같은 구성의 문제를 풀 때 유념해야 하는 부분은 다음과 같다

- 어떤 유전자를 가질 수 있고, 어떤 유전자를 동형접합으로 가질 수 있는가?
- 각 형질이 나타나는 비율이 어느정도인가?

1.이 중요한 이유는 자손이 AA라는 유전자형을 가질 수 있다면 부모는 모두 A라는 대립유전자를 적어도 하나 이상은 가지고 있어야 하기 때문이다. 마찬가지로 aa라는 유전자형을 가질 수 있다면 모두 a라는 대립유전자를 적어도 하나 이상 가지고 있어야 하기 때문이다.

2.가 중요한 이유는 각 형질이 나타나는 비율로 해당 부모의 유전자형을 추론할 수 있기 때문이다.

형질(가)를 결정하는 유전자는 A와 a, B와 b, D와 d가 있다. (가)는 유전자형에 따라 형질이 달라진다.

A_B_D_는 노란색, A_B_dd는 파란색, A_bb는 주황색, aa는 빨간색을 나타낸다.

부모 ㉠와 ㉡사이에서 1600개체가 태어났을 때 (가)에 대한 표현형이 각각 노란색이 400개체, 주황색이 400개체, 빨간색이 800개체만큼 나왔다. ㉠에게 대문자가 4개 있다고 할 때 부모 ㉠와 ㉡의 유전자형을 각각 추론하라.

이러한 문제를 생각해 보자.

빨간색의 개체가 나타났기 때문에 부모 모두 a라는 대립유전자를 하나 이상 가져야 한다. 또한 노란색, 파란색, 주황색을 보면 A라는 대립유전자가 존재하기 때문에 마찬가지로 부모 중 누구 하나는 A라는 대립유전자를 가져야 한다. 다시 생각해 보면 부모 중 하나는 Aa라는 유전자형을 가질 것이고, 나머지는 a를 가지고 나머지 한 대립유전자가 어떤 대립유전자인지는 모르는 상태일 것이다. 하지만 aa라는 유전자형이 1600개체중 800개체이므로 1/2의 확률로 aa가 나온다는 것을 알 수 있고 부모 중 누군가는 Aa, 나머지 한 부모는 aa를 가져야 함을 알 수 있다.

마찬가지로, 파란색의 개체가 나타나지 못하고 노란색의 개체가 나타났으므로 부모 중 누군가는 d라는 유전자를 줄 수 없음을 알 수 있다. 고로 DD와 같이 D를 동형접합으로 가지고 있는 부모가 존재한다. 그렇기 때문에 이 부모에게서 태어나는 자손은 모두 D_와 같은 유전자형을 가질 수밖에 없다.

추론을 계속해보면 주황색의 개체가 나타났기 때문에 b라는 유전자를 두 부모 모두 가지고 있어야만 하고, 노란색의 개체가 나타났기 때문에 B라는 유전자를 부모 중 하나가 꼭 가지고 있어야만 한다. Aa를 추론했을 때와 마찬가지로 부모 중 누군가는 Bb를 가지고 있어야 한다. 이때 나머지 한 부모가 가질 수 있는 유전자형은 Bb또는 bb이다. 하지만 노란색의 개체와 주황색의 개체의 비율이 같기 때문에 두 부모 모두 Bb일 수는 없다. 두 부모 모두 Bb일 경우 B_가 나올 확률이 3/4, bb가 나올 확률이 1/4로 비율 차이가 나타날 수밖에 없기 때문이다. 그렇기 때문에 누군가는 Bb, 누군가는 bb를 가져야 함을 알 수 있다.

마지막으로 ㉠에게 대문자가 4개 있다고 했으므로 AaBbDD라는 유전자형을 가짐을 알 수 있다. 다만 ㉡의 유전자형은 aabbDD, aabbDd, aabbdd모두 가능하다.

간단한 문제로 비율과 유전자형을 활용해 부모의 유전자형을 추론하는 방법에 대해 공부해 보았다. 실전 문제에서 확인해보자.

다음은 식물 종 P의 종자 껍질 색 유전에 대한 자료이다.

- 종자 껍질 색은 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며, A, B, D는 a, b, d에 대해 각각 완전 우성이다. 종자 껍질 색을 결정하는 유전자는 서로 다른 3개의 상염색체에 존재한다.
- 종자 껍질 색의 표현형은 2가지이며, A_B_D_는 자주색, 나머지는 흰색이다.
- 표는 ㉠ 종자 껍질 색이 자주색인 개체를 유전자형이 aabbDD와 aaBBdd인 개체와 각각 교배하여 얻은 자손 (F₁)의 표현형에 따른 개체수를 모두 나타낸 것이다.

㉠과 교배한 개체의 유전자형	F ₁ 표현형	개체수
aabbDD	흰색	400
	자주색	400
aaBBdd	㉡ 흰색	600
	㉢ 자주색	200

19/06 평가원 모의고사 16번 문항이다.

전부 독립인 형태의 문제이므로 출제 방향만 잘 잡으면 현 교육과정에서도 충분히 출제될 수 있는 문제로 보인다.

이 문제의 포인트는 세번째 동그라미에 주어진 '㉠의 유전자형에 대해 추론을 할 수 있는가?'로 볼 수 있다. 어떻게 추론을 해야 할까?

1. 이 자주색인 개체가 가질 수 있는 유전자형에 대해 간단하게 머리에 떠올린다. (케이스 분류)

아주 짧게나마 자주색이 A_B_D_이니, 빈 _에 대문자가 들어갈지 소문자가 들어갈지에 대해 알아내야 하는 문제구나! 라 생각하는 단계이다.

2. 흰색과 자주색의 차이점에 대해 생각해보고, 흰색이 나오려면 어떤 유전자형이 나와야 하는지에 대해 생각해 본다.

흰색이 나오기 위해서는 세 대립유전자 쌍 중 적어도 한 가지 이상 소문자 동형접합이면 흰색이 나올 수 있음을 파악해야 한다.

3. ㉠과 교배한 개체의 유전자형과, 나타난 자손의 표현형의 개체수 비율을 확인하여 ㉠의 유전자형을 추론한다.

aabbDD랑 교배했는데 흰색이 나타났네?? 아.. ㉠에서 A_나 B_ 둘 중 적어도 하나 이상이 이형접합으로 존재해야 겠구나.. 둘다 대문자 동형이면 aabbDD랑 교배해도 흰색이 안나오니까.. 그런데 비율을 보니까 1:1이네?? 만약 둘 다 이형접합으로 존재할 경우 자주색이 나올 확률이 1/4니까 개체수가 200이어야겠네? A_랑 B_ 둘 중 하나는 이형접합일거고 하나는 대문자 동형접합이겠구나!

aaBBdd랑 교배했는데 마찬가지로 흰색이 나타났네?? A_나 D_ 둘 중 적어도 하나 이상이 이형접합으로 존재해야 겠구나..? 어라? 아까 계산했었는데 둘 다 이형접합으로 존재할 경우 자주색이 개체수가 200이었는데 이 표에 자주색이 200이네? 그럼 A_랑 D_모두 이형접합으로 존재하면 표를 만족하겠구나? 아.. 그럼 ㉠ 너는 A_랑 D_는 이형접합이고 A_가 이형접합이니 B_는 대문자 동형접합이어야 하구나.. ㉠의 유전자형은 AaBBDD겠다!

와 같은 순서로 추론을 해야 한다.