

세포주기 - DNA상대량

Theme 4. 세포주기 - 핵형분석의 연장선상에 있는 테마이다. 세포주기의 각 단계에서 나타날 수 있는 특징들을 잡아내 문제를 풀어내야 한다.

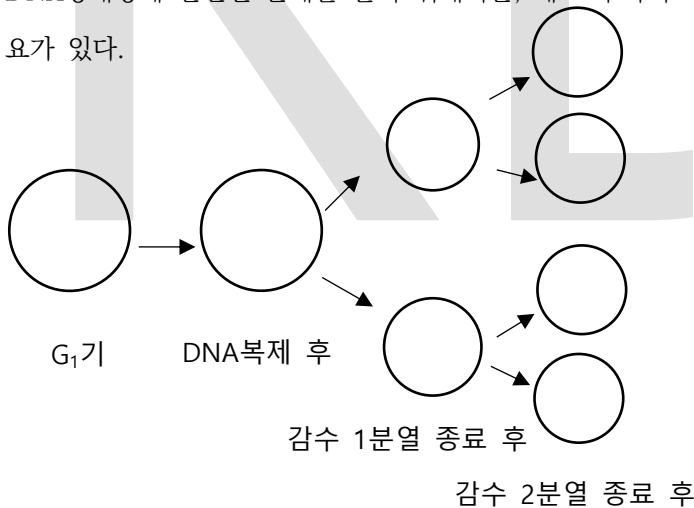
나오는 유형은 크게 다음과 같다

1. 표에 DNA상대량을 직접적으로 주는 유형
2. 막대 그래프로 DNA상대량을 주는 유형
3. 표에 DNA의 존재 유무를 O/X로 주는 유형

지금은 다루지 않겠지만 비분리를 배우고 나서는 비분리가 적용되어 나오는 문제도 풀어낼 수 있어야 하고, 이 DNA상대량이 가계도와 결합되어 문제가 나오는 경우도 빈번하다.

18, 19, 20수능에 모두 출제되었으며 DNA상대량이 사용되는 문제는 각 시험마다 2~3문제씩 있을 정도로 굉장히 중요한 내용이다. 출제에 이 테마가 사용된다면 대부분 고난도 문제일 가능성이 높다. 또한, 18, 19, 20수능의 고난도 문제들은 전부 DNA상대량과 가계도가 연계된 문제가 출제되었다.

DNA상대량에 관련된 문제를 풀기 위해서는, 세포 주기의 각 단계에서 DNA상대량이 일반적으로 몇인지 알아야 할 필요가 있다.



일반적으로, 단순히 염색분체 하나당 DNA상대량을 1로 잡는다. 한 쌍의 상동 염색체가 존재한다 생각하면 G₁기에는 염색분체가 2개, G₂, DNA복제 후에는 4개, 감수 1분열 종료 후에는 2개, 감수 2분열 종료 후에는 1개가 남는다는 것이다. 그렇기 때문에 DNA 상대량은 2→4→2→1이 될 수 있다.

우리는 각 단계를 단순화하기 위해 G₁기는 1단계, DNA복제 후는 2단계, 감수 1분열 종료 후는 3단계, 감수 2분열 종료 후는 4단계로 통일하겠다.

1 → 2 → 3 → 4 단계로 가면서 일반적인 DNA상대량은 2 → 4 → 2 → 1로 변한다는 것을 알 수 있다. 하지만 상대량이라는 것은 기준으로 잡는 것에 따라 달라질 수 있기 때문에, 2 → 4 → 2 → 1이 1 → 2 → 1 → 0.5 가 되어도, 4 → 8 → 4 → 2가 되어도 아무런 상관이 없다. 다만 평가원에서는 이런 식으로 장난친 적이 없기 때문에 큰 걱정하지 않고 문제를 풀어도 괜찮다. 물론 사실문제에서는 저렇게 장난치는 경우도 종종 있다는 것 알아두자.

지금부터 서술하는 것들은 전부 1→2→3→4단계의 DNA상대량을 2→4→2→1로 잡았을 때 성립하는 공식과 같은 것들이다. 꼭 체화하고, 이해하고, 암기했으면 한다. (비분리 고려 x)

1. 1단계에서 2단계로 갈 때, 대립유전자의 DNA상대량은 두배가 된다.
2. 2단계에서 3단계로 갈 때, 대립 유전자의 DNA상대량은 0 or 2이외로 변하지 않는다.
3. 3단계에서 4단계로 갈 때, 대립 유전자의 DNA상대량은 절반으로 줄어든다(0 or 1)
4. 2단계와 3단계는 DNA상대량이 무조건 짝수여야만 하고, DNA상대량이 홀수인 대립유전자가 보인다면 그 세포는 무조건 1단계 또는 4단계 일 것이다.

예를 들면, AaBB라는 대립유전자를 가지고 있는 개체를 생각해 보자.

A	a	B	b
1	1	2	0

1단계

A	a	B	b
2	2	4	0

2단계

A	a	B	b
2	0	2	0

3단계

A	a	B	b
1	0	1	0

4단계

A	a	B	b
0	2	2	0

3단계

A	a	B	b
0	1	1	0

4단계

각 단계에서 나타나는 DNA상대량은 위와 같을 것이다. 위에 적힌 스텝들이 세포주기의 단계를 거치며 어떻게 적용되는지 표를 보며 생각해 보자.

세포주기 - DNA상대량 파트는 대부분의 문제가 DNA상대량을 주고 그 주어진 DNA상대량으로 세포가 어떤 단계에 속한 세포인지 추론해야 하는 문제이다.

Part 1. 표에 DNA상대량을 직접적으로 주는 유형

이 파트만 제대로 할 줄 알면, 그 뒤의 파트들은 크게 어렵지 않을 것이다. 정말 정말 중요한 파트이다.

이 파트의 문제들은 문제에 부분 부분 주어져 있는 힌트를 보고 하나하나 추론해 나가야만 한다.

문제를 풀 때, 중요하게 생각해야 하는 부분이 2가지 있는데 첫째로는 '세포의 핵상이 어떻게 될 수 있는가?'이고, 둘째로는 이 유전 형질이 '상염색체 위에 있는 형질인가?' '성염색체 위에 있는 형질인가?'이다.

(1)

A	a
2	0

이 경우, 이 세포의 핵상이 2n인지, n인지 판단할 수 없다. 1단계의 AA일 수도, 2단계의 A일 수도 있다. 또한 성염색체에 있는지 상염색체에 있는지도 알 수 없을 것이다. 알 수 있는 것은 이 세포가 어떤 단계이든 1단계의 세포는 A를 한 개 이상은 가질 것이라는 것이다.

A	a
1	1

(2) 이 경우, 이 세포의 핵상이 2n인 것이 자명하다. 우린 이렇게 자명한 정보를 주는 세포에 주목해야 한다.

(2)-1

A	a	B	b
2	?	?	1

이 경우는 어떤가? 마찬가지로, 2n인 것이 자명한 DNA상대량이다. b의 DNA상대량이 홀수여서 1단계 또는 4단계임이 확정이고. A의 DNA상대량이 2이기 때문에 4단계는 될 수 없다!

(3)

A	a
0	0

상염색체위에 있는 형질의 경우, 비분리를 고려하지 않는다면 모든 단계의 세포에서 어떤 대립유전자던지 하나는 DNA상대량이 1 이상이어야 한다. 그러므로 이 경우 Aa는 성염색체위에 있는 형질이라는 것을 알 수 있다. 다만 X위에 있는지 Y위에 있는지는 알 수 없다. Aa가 Y염색체 위에 있다면 여자는 모든 세포에서 DNA상대량이 0/0이 나올 것이고, X위에 있다면 남자의 3, 4단계 세포 중 Y를 가져간 세포가 0/0이 나올 수 있다.

(4)

A	a	B	b
1	1	0	1

Aa에서 2n임이 자명한데, Bb의 DNA상대량합이 2가 아님을 보아 성염색체위에 있음을 알 수 있다. 다만 X염색체 위에 있는지 Y염색체 위에 있는지 알 수 없지만, 이 세포의 주인이 남자임은 자명하다.

이와 같은 힌트들을 문제에서 주어진 DNA상대량 표에서 찾아내야 한다. 찾아내서 핵상을 찾고, 성/상 구분을 한 후 문제를 풀어주면 된다.

어떤 동물의 유전 형질 @는 3쌍의 대립 유전자 D와 d, E와 e, F와 f에 의해 결정된다. 표는 이 동물에서 개체 I과 II의 세포 (가)~(라)가 갖는 유전자 D, d, E, e, F, f의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. (가)~(라) 중 2개는 I의 세포이고, 나머지 2개는 II의 세포이다. I은 암컷이며 성염색체가 XX, II는 수컷이며 성염색체가 XY이다.

18/06 평가원 모의고사 기출문제이다.

대표적인 세포주기-DNA상대량 (표) 유형이라고 볼 수 있다. 이 유형에 대해 훈련되어 있지 않다면 굉장히 어렵게 느낄 수 있는 문제이다.

위에서 공부한 힌트들을 이용해 문제를 해석해 보자.

세포	DNA 상대량					
	D	d	E	e	F	f
(가)	2	?	ⓐ	0	?	?
(나)	1	0	1	1	0	?
(다)	ⓑ	?	0	1	0	0
(라)	ⓒ	0	1	?	1	1

*어떤 대립 유전자가 성 염색체에 있다는 사실을 알았을 때, 그 대립유전자가 여자에게 발견된다면 그 대립유전자가 존재하는 성염색체는 X이다.

가장 먼저 해야 할 것은 (나)의 Ee가 DNA상대량이 1/1임을 2n임을 파악하는 일이다. 이를 통해, (나)의 세포가 핵상이 2n임을 파악할 수 있다(1단계의 세포).

그 후, (나)의 핵상이 2n임에도 불구하고 Dd가 1/0임을 보면 Dd가 성염색체 위에 있음을 알 수 있다. X/Y 판단은 불가능하지만 (나) 세포의 주인은 남자임을 알 수 있다.

(다)의 Ff가 0/0임을 보고 Ff또한 성염색체 위에 있음을 알 수 있다. 다만 마찬가지로 X/Y판단은 불가능하다.

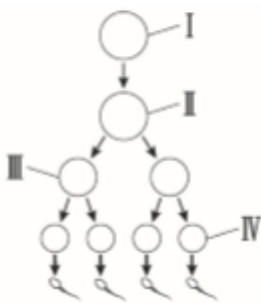
(라)의 Ff가 1/1임을 보고 (라)의 핵상이 2n임을 알 수 있고, Ff가 X염색체 위에 있음을 알 수 있다. Y염색체를 두개 가지는 사람은 일반적으로 없기 때문이다. 고로 위의 (다)는 남자의 세포임을 알 수 있다.

(나)와 (다)가 남자의 세포이므로, 문제의 조건에 의해 (가)와 (다)가 여자의 세포이다.

여기서 Dd가 성염색체위에 있고 X/Y판단이 불가능하다 했지만, (가)-여자의 세포에 D가 존재함을 보고 Dd가 X염색체 위에 있음을 알 수 있다.

이렇게 주어진 힌트를 보고 차근차근 따라가야만 하는 유형이라 할 수 있다. 물론 위의 문제는 나름 어려운 난도의 문제이다. 조금 쉬운 문제를 보자.

그림은 유전자형이 EeFFHh인 어떤 동물에서 G₁기의 세포 I로부터 정자가 형성되는 과정을, 표는 세포 ㉠~㉡의 세포 1개당 유전자 e, F, h의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. ㉠~㉡은 I~IV를 순서 없이 나타낸 것이고, E는 e와 대립 유전자이며, H는 h와 대립 유전자이다.



세포	DNA 상대량		
	e	F	h
㉠	㉠	1	1
㉡	1	2	㉡
㉢	2	㉢	0
㉣	㉣	?	2

18수능 기출문제이다.

eF가 1/2임을 보고 ㉠이 1단계임을 바로 알아 챌 수있다.

㉠의 h가 1임을 보고, 1단계의 h DNA상대량이 1이상임을 알 수 있다.

eFh가 2단계에선 2/4/2임을 알 수 있다. 고로 ㉡이 2단계.

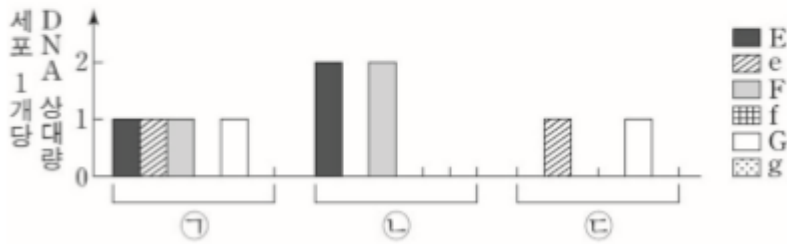
홀수가 보이는 ㉠이 4단계, 짝수가 보이

위에 사용된 개념과 힌트들을 암기해서 문제에 적용하는 것이 아닌, 완벽한 세포주기에 대한 이해와 각 단계의 특징등을 통해 자연스럽게 문제의 힌트가 보이게 된다면 이 유형을 무서워하지 않게 될 것이다.

Part 2. 막대 그래프로 DNA상대량을 주는 유형

Part 1을 완벽하게 이해했다면 이 유형도 결코 어렵지 않다. 결국 DNA상대량을 주는 방법만 변화한 것이라 생각하면 된다.

사람의 유전 형질 (가)는 대립 유전자 E와 e에 의해, (나)는 대립 유전자 F와 f에 의해, (다)는 대립 유전자 G와 g에 의해 결정된다. (가)~(다) 중 한 가지 형질을 결정하는 유전자는 상염색체에, 나머지 2가지 형질을 결정하는 유전자는 성염색체에 존재한다. 그림은 어떤 사람의 세포 ㉠~㉢이 갖는 유전자 E, e, F, f, G, g의 DNA 상대량을 나타낸 것이다.



19/09 평가원 모의고사 기출문제이다.

Part 1과 똑같은 경로를 통해 문제를 풀어 주면 된다.

㉠에서 Ee가 각각 1/1이므로 핵상이 2n일 것이다. 또한 FfGg가 전부 성염색체에 있음을 알 수 있다.

㉡에서 e가 0이므로 핵상이 n인 3단계임을 알 수 있고

㉢에서 E가 0이므로 핵상이 n인 4단계임을 알 수 있다.

Part 3. DNA의 존재 여부를 O/X로 주는 유형

위의 두 유형과는 조금 차이점이 있다. DNA상대량에 초점이 맞춰진 유형이 아닌, DNA의 유/무에 초점이 맞춰진 유형이기 때문이다.

이 유형도 알아두어야 할 기본적인 것들이 몇 개 있다.

1. 상염색체 위에 존재하는 대립 유전자는 핵상과 관계없이 두 대립유전자중 하나 이상은 무조건 존재해야만 한다.

일반적인 유전에서, 상염색체 위에 존재하는 대립유전자는 AA/Aa/aa 중 하나일 것이다. 세포가 세포 주기의 어떤 단계에 있던지 항상 둘 중 한 유전자는 꼭 존재해야만 한다.

2. 성염색체 위에 존재하는 대립 유전자만이 전부 없을 수 있다. Part 1에서 공부하고 왔던 내용과 같은 내용이다. DNA 상대량이 0/0일 수 있는 경우는 그 DNA가 성염색체 위에 존재할 경우밖에 없다.(비분리가 없을 때)

3. 주어진 대립유전자중 50%가 넘는 대립유전자가 존재하는 세포는 무조건 핵상이 2n일 수밖에 없다.

예를 들면, AaBbEe라는 대립 유전자를 가질 수 있는 세포를 보자.

	A	a	B	b	E	e
유무	O	O	X	O	O	X

주어진 6개의 대립유전자중 50%를 초과하는 4개의 유전자가 존재하기 때문에 이 세포는 2n일 수밖에 없다.

좀더 어렵게 해보자. 1, 2, 3, 4, 5, 6은 각각 순서와 상관없이 AaBbEe중 하나라고 생각해보자.

	1	2	3	4	5	6
유무	○	X	○	X	○	○

마찬가지로, 123456이 각각 무엇인지 몰라도 주어진 대립유전자의 과반수가 존재하기 때문에, 이형접합인 형질이 분명히 존재할 것이고, 그에 따라 이 세포는 2n이라고 할 수 있다. 다만, 정확히 50%일 경우에는 AABBEe처럼 전부 동형접합일 경우에 2n이면서 0가 정확히 3개 있을 수 있으므로 조심하여야 한다.

4. 주어진 대립유전자중 50% 미만의 대립유전자가 존재하는 세포가 있다면 주어진 대립유전자중 상염색체 위에 존재하는 대립유전자가 있다.

대립유전자가 전부 상염색체 위에 존재한다면 1.에서 설명한 것과 같이 어떤 세포에서든 두 대립유전자중 하나 이상은 무조건 존재해야만 하므로 핵상이 n일 경우에도 주어진 대립유전자의 절반만큼은 존재해야한다. 하지만 대립유전자가 절반도 없다면 분명히 주어진 대립유전자중 상염색체위에 있는 대립유전자가 존재한다는 의미이다.

5. 주인이 같은 A와 B세포가 있을 때, A라는 세포에 존재하는 유전자가 B라는 세포에는 존재하지 않는다면, B라는 세포는 무조건 핵상이 n이다.

2n인 핵상을 가진 세포는 그 세포가 낳은 어떤 딸세포가 가지고 있는 대립유전자든 전부 가지고 있어야만 한다.

6. 핵상이 n인 세포가 동시에 가지고 있는 유전자는 결코 서로 대립유전자일 수 없다. 핵상이 n이면 이미 상동염색체가 분리되었다 라는 의미이기 때문에 당연히 서로 대립유전자일 수 없다.

대표적인 문제를 확인해보자.

19/06 평가원 모의고사 기출 문제이다.

사람의 유전 형질 ㉠은 2쌍의 대립 유전자 E와 e, F와 f에 의해 결정되며, E와 e는 9번 염색체에, F와 f는 X 염색체에 존재한다. 표는 사람 I의 세포 (가)~(다)와 사람 II의 세포 (라)~(바)에서 유전자 ㉠~㉡의 유무를 나타낸 것이다. ㉠~㉡은 E, e, F, f를 순서 없이 나타낸 것이다.

유전자	I의 세포			II의 세포		
	(가)	(나)	(다)	(라)	(마)	(바)
㉠	○	○	○	○	○	×
㉡	○	○	×	○	×	○
㉢	○	×	○	×	×	×
㉣	×	×	×	○	×	○

(○: 있음, ×: 없음)

㉠, ㉡, ㉢, ㉣이 각각 어떤 대립유전자인지는 몰라도, I의 (가)를 보면 주어진 유전자 4가지중 3가지의 유전자가 존재하고 있기 때문에 (가)의 핵상은 $2n$ 이라고 할 수 있다. 다만 아직 유전자형은 특정하지 못한다. 9번 염색체에 있는 유전자가 이형접합일 수도, X염색체에 있는 유전자가 이형접합일 수도, 없는 ㉣의 대립유전자가 동형접합일 수도, ㉣이 없는 이유가 I이 남자이기 때문일 수도 있기 때문이다.

I의 (가)때문에 (나)와 (다)의 핵상이 n 임을 알 수 있지만, (가)를 보지 않는다 하더라도 위에 설명한 5.를 사용한다면 (나)에 있는 ㉡이 (다)에 없기 때문에 (다)는 핵상이 n 이고 (다)에 있는 ㉢이 (나)에 없기 때문에 (나)는 핵상이 n 임을 알 수 있다.

또한 6.을 사용하면 핵상이 n 인 (나)에서 ㉠과 ㉡이 동시에 존재하므로 둘은 대립유전자가 아니다. 또한 핵상이 n 인 (다)에서 ㉠과 ㉢이 동시에 존재하므로 둘은 대립유전자가 아니다. 그렇기 때문에 [㉠-㉢] [㉡-㉣]가 서로 대립유전자일 수밖에 없다.

마찬가지로, II의 (라)를 확인해 보면 $2n$ 임을 알 수 있고, (마), (바)는 n 임을 알 수 있다. (마)를 보고 4.를 적용하면, 50% 미만의 대립유전자가 존재하므로 어떤 대립유전자가 성염색체에 존재한다고 생각할 수 있는데, 이 문제에서는 이미 X염색체에 존재한다고 알려주고 있으므로 이 'II의 (마)에 X염색체가 존재하지 않는다' 라 판단할 수 있다. 고로 II는 남자 결국 (마)가 X염색체가 없으므로, (마)에 존재하는 대립유전자는 상염색체위에 있는 유전자라 판단할 수 있다. 고로 ㉠이 E/e중 하나임을 알 수 있다. [㉠-㉢]-성 [㉡-㉣]-상

. 표는 같은 종인 동물($2n = 6$) I의 세포 (가)와 (나), II의 세포 (다)와 (라)에서 유전자 ㉠~㉣의 유무를, 그림은 세포 A와 B 각각에 들어 있는 모든 염색체를 나타낸 것이다. 이 동물 종의 특정 형질은 2쌍의 대립 유전자 H와 h, T와 t에 의해 결정되며, ㉠~㉣은 H, h, T, t를 순서 없이 나타낸 것이다. A와 B는 각각 I과 II의 세포 중 하나이고, I과 II의 성염색체는 암컷이 XX, 수컷이 XY이다.

20/06 평가원 모의고사
기출문제이다.

유전자	I의 세포		II의 세포	
	(가)	(나)	(다)	(라)
㉠	X	O	X	X
㉡	X	X	X	O
㉢	O	O	X	O
㉣	O	O	O	X

(O: 있음, X: 없음)



각 세포에서 유전자의 유무를 보고 파악할 수 있는 것들이 무엇이 있을까? - 핵상 / 성/상

그리고 각 유전자가 어떤 유전자와 대립유전자의 관계일까? 위의 논리로 차근차근 접근해보자.