

2023학년도 시대인재 엑셀러레이터 N전용 16회
과학탐구 영역 (생명과학 I)

정답

| 번호 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|---|----|----|----|-----|----|---|---|
| 정답 | ㄱ | ㄴㄷ | ㄴㄷ | ㄱㄷ | ㄱㄴㄷ | ㄴㄷ | ㄱ | ㄴ |

본 회차를 포함하여, N전용 엑셀러레이터가 벌써 두 회차밖에 남지 않았습니다. 배부되는 시기상으로 이번 주는 6월 평가원 모의평가가 있는 주입니다. 사람마다 이걸 언제 풀고 있을 지는 모르겠지만, 아직 6평 보기 전이라면 좋은 점수 받아 오시고, 보고 난 뒤라면 오답이나 분석 꼼꼼히 잘 해 주세요! 간단히 이번 회차 얘기를 해 보자면,

1번과 2번은 늘 그랬듯이 N엑셀만의 특이한 비킬러 문항들로 구성되어 있습니다. 둘 모두 난이도가 높다고 할 수는 없겠지만, 그래도 꽤나 새로운 형식으로 자료들을 보여주고 있기에 시험지에서 만났다면 꽤나 당황했을 법한 문제들입니다. 여기서 계속 새로운 자료들을 보여주는 건 시험장에서 여러분들이 당황할 만한 요소를 최대한 줄여 주기 위한 노력이니, 매번 ‘이런 것도 있구나’ 하는 정도로 알아 두기만 해도 좋습니다.

3번은, 정말 엄청난 실험 문제입니다. 이번 회차는 아마 다들 이 문제 때문이라도 해설지를 찾아오게 되었을 텐데, 상세한 해설들과 이것저것 덧붙인 이야기들이 많으니 시간 내서 해설지 꼼꼼하게 읽어 주시고, 그래서 내가 이 문제를 풀고 나서 뭘 배워 가야 할지 한 번 고민해 보셨으면 좋겠습니다. **4번**은 자주 보던 염색체 핵상 문제니 넘어가고,

5번은 구간 사이의 길이 비를 통해 각 구간의 길이를 알아내야 하는 근수축 문제입니다. 꽤나 수학적 성격이 강하기도 하고, 계산도 어느 정도 해야 하다 보니 시간을 잡아먹는 문제였죠. 모의고사에서 이런 문제들을 만나다면, 너무 마음 급하게 먹지는 말고 한 번에 실수 없이 푸는 것을 목표로 해야 합니다. **6번**은 특이한 듯 평범한 신경 전도 문항입니다. 쓰이는 논리들은 기출에서 모두 봤던 내용들이라 다들 어렵지 않게 풀어나갔을 듯 하고,

7번은 꽤나 새로운 스타일의 유전 문제입니다. 완전 우성과 중간 유전을 추론하는 과정을 가족 구성원들의 DNA 상대량과 표현형 조건을 통해 풀어나가야 하는데, 생각보다 간단하고 깔끔히 풀리는 문제였습니다. 마지막 **8번**은 호흡이 길고 복잡한 복대립 가계도 문항입니다. 두 기출문제가 떠오르는 지점이 여럿 있어 기출 공부 열심히 해 뒀다면 풀이 과정에서 건드릴 수밖에 없는 특이점들이 잘 보였을 듯 합니다.

이번 주도 다들 건강한 하루하루 보내시고, 6평 잘 치르고 와서 다음 주에 다시 만나요!

해설

1

정답 ㄱ

comment

그동안 우리가 자주 봐 오던 문제들과는 사뭇 다른 느낌의 혈당량 문제이다. 그래프 제시 방식 자체가 새롭기는 하지만, 우리가 추론해야 할 정보는 많지 않다. 운동 시작하면 인슐린 농도는 감소하겠지, 정도의 생각만으로도 충분.

운동 후 심박출량이 늘어나는 건 당연한 현상이기도 하고, 이 자료를 해석하는 것과는 직접적인 연관성을 얻기 어렵다. 아, 그냥 운동을 제대로 했구나, 그래서 심박출량이 늘어났겠구나, 정도로 의 연결만 가능하니 크게 신경쓰지는 말자.

해설

A와 B 모두 운동을 시작한 후 혈중 ㉠의 농도가 감소한다. ∴ ㉠은 인슐린이다. 운동 시작 전 정상 상태를 비교하면, 혈중 인슐린 농도는 A에서가 B에서보다 낮다. ∴ A는 인슐린 분비에 이상이 있는 당뇨병 환자이고, B는 정상인이다.

정오 판단

- ㄱ. A는 당뇨병 환자이다. (○)
ㄴ. 인슐린은 이자의 β 세포에서 분비된다. (×)
ㄷ. 단위 시간당 심장에 연결된 교감 신경에서의 활동 전위 발생 빈도는 심박출량이 많을수록 높다. 따라서 t_1 일 때가 운동 시작 시점보다 많다. (×)

2

정답 ㄴㄷ

comment

종 사이의 상호 작용과 관련된 간단한 실험 문항이다. 실험 문제의 기본 중 기본인 대조군과의 비교를 스스로 직접 진행했어야 하는데, I 과 비교했을 때 II와 III 각각에서 A~C의 개체 수가 어떻게 변했는지를 통해 무엇을 투여했는지를 생각해내야 한다.

ㄷ 선지에서 나름 힌트를 주고 있으니, 실험 문제에서 해석 방향이 잘 보이지 않을 때는 선지를 한 번 쳐다보고 오는 것도 나쁘지 않은 선택이다.

해설

주어진 종 사이의 관계를 먼저 파악해 보자.

A-B 관계에서 A는 이익, B는 손해를 받는다. A-C 관계에서 A는 이익, C는 손해를 받는다. 둘 다 A가 이익을 받는 관계로, B/C의 개체 수가 증가한다면 A의 개체 수도 함께 증가하겠네.

대조군인 I 을 기준으로 생각해보자. II에서는 B의 개체 수가 증가하였고, 자연스레 A도 함께 늘었다. B가 증가해서 A도 증가하고, 이에 따라 C가 줄어들었다고 보는 것이 가장 타당하다. ∴ ㉠은 B이다.

III에서는 B와 C의 개체 수가 모두 줄어들었다. A를 투여해 B와 C 모두 손해를 입었다. ∴ ㉡은 A이다.

정오 판단

- ㄱ. ㉠은 B이다. (×)
ㄴ. 서로 상호 작용하는 관계이니 A~C는 군집을 이룬다. (○)
ㄷ. III에서 B와 C는 모두 A로부터 손해를 입어 개체 수가 감소하였다. (○)

3

정답 ㄴㄷ

comment

엄청 복잡하고 어려운 실험 문항이다. 작년 N전용 서바이벌에 수록되었던 문항으로, 당시 정답률도 매우 낮은 편이었다. 수능에서 이 정도까지 요구할 여지가 있는지는 모르겠지만, 호르몬의 기능을 알아내기 위한 2021학년도 수능 19번 문제에 내분비계 질환을 섞어 출제된 고난도 추론 문항이다. 조금 오버한 듯한 느낌을 받았다면, 아무쪼록 미안... 한 번 쯤은 내 봐야겠다고 생각했다.

처음 보는 셋팅을 다룬 실험 문항은, 솔직히 말해서 학생이 스스로 뇌피셜로 상황을 미리 해석하기에는 한계가 있다고 생각한다. 주어진 결과값을 보고, 이 결과값이 왜 그렇게 나왔는지를 추론하는 것조차도 현장에서 100% 매끄럽게 되기 어렵다. 차라리 그러지 마시고, 문제가 풀릴 수밖에 없게 셋팅된 근거가 되는 특이점에 집중하는 편이 낫다.

실험 문항에서 아직 출제되지 않은 문항들이 여럿 있다. 여러 개의 가설을 설정하고 실험을 시작하는 문항, 가설에서 검증해야 할 데이터의 축(axis)이 2개 이상이라 실험 과정 내에서도 조작 변인 묶음들이 2개 이상인 문항 등 다양하게 남아 있다. 개정 전에는 탐구 문항이 출제된 바가 전무후무했고, 개정 후에는 아직 탐구 문항에서 제대로 시도를 건 적이 없기는 하나, 더 이상 킬러만으로는 최상위 등급의 변별이 어렵다는 걸 평가원 내부적으로도 체감하고 있을 것이기 때문에 이런 문항에 대한 연습도 의미 있게 해두도록 하자.

이 문항에서의 특이점은, “A라는 정상 생쥐를 주었으니, A와 동일한 양상을 나타내는 생쥐가 B~D 중 C로 유알하다는 것을 인지하고” 푸는 것이다. 한 문항 내에서 정말 과도하게 많은 정보를 주었기 때문에, 내게 필요한 정보를 취사선택하는 것도 중요하다.

다음 페이지에 계속 →

해설

일단, 문제를 푸는 수험생 입장에서 해석해보자.

문제는 잘 읽었겠지. C의 결과가 A와 같아. TSH 수용체의 작용을 저해했어, 그러면 갑상샘에서 티록신이 평소보다 덜 나온다는 뜻이지? 그랬더니 티록신 농도가 A와 같아졌어. 그 뜻은, Y를 처리하는 것만이 이 질병을 복원(recovery)시킨다는 뜻.

TSH가 평소보다 많이 나왔으니, 티록신이 과다 분비된 것이겠지.

∴ 이 과정은 ㉠이다. ㉠ 과정에 이상이 생긴 게 맞으니, ㉡는 Ⅱ이다. 그러니, 문제 설명에 따르면 갑상샘의 TSH 수용체에 항체가 결합하여 티록신의 농도가 높게 나타나고 있던 질병이었다.

첨언 ①) 질병 P와 가설에 대하여

P는 “수용체에 항체가 결합하는 이상”이 생겨 티록신이 과다 분비되는 병이라 했다. 이에 따라 각 가설이 무엇을 의미하는지 조금 더 정확히 해석해 보자.

I은 과정 ㉡에 이상이 생겼다고 한다. 항체가 TRH인 척 TRH의 수용체에 잔뜩 결합해 버려서 TSH도 많이, 티록신도 많이 분비되는 것이다.

Ⅱ는 I과 비슷한 느낌으로, 항체가 TSH인 척 TSH의 수용체에 잔뜩 결합해 티록신이 많이 분비되는 상황이다. 그렇기 때문에 TSH 수용체의 작용을 억제했더니 정상 생쥐인 A와 비슷하게 티록신 분비량이 적어지는 것이었다.

마지막 Ⅲ은 작용 양상이 살짝 다르다.

원래 시상 하부와 뇌하수체 전엽에는 티록신의 수용체가 모두 존재한다. 그도 그럴 것이 애초에 음성 피드백이 가능하려면, 티록신이 많이 분비되고 있는 상황을 감지할 무언가가 필요하기 때문. 기출에서 나왔던 그림을 봐도 티록신에서 시상 하부와 뇌하수체 전엽으로 들어가는 과정 ㉢이 표시되어 있다.

어쨌든 이 사실을 알고 있다는 전제 하에 설명이 가능하기에 잠깐 얘기해 본 것이고, 이번에는 항체가 티록신인 척 시상 하부와 뇌하수체 전엽에 있는 티록신 수용체에 결합해 버려서, 이번에는 티록신이 많이 분비됐네~ 하고 알아차리는 것이 아니고, 이미 많이 분비된 티록신이 결합할 수용체가 없어 티록신이 많이 분비되고 있다는 것 자체를 인지하지 못하는 상황인 것이다.

I과 Ⅱ에서는 항체가 호르몬인 척 대신 역할을 했다면, Ⅲ에서는 제 역할을 하지 못하고 그냥 티록신이 수용체에 결합하지 못하게 하는 방해꾼 지만 한 셈이다.

첨언 ②) B와 D에 대하여

B랑 D의 결과를 잘 이해하지 못하는 학생들이 제법 많을 것이다.

일단, B는 ㉠ 과정을 저해하는 X를 처리했어도 티록신 농도가 높은 상태가 유지되는 이유는 이 질병은 뇌하수체 전엽에서 TRH의 농도와 대체로 무방하게 ㉠이 촉진되고 있기 때문이다. D는, 조금 어려운데, TRH와 TSH의 분비 자체를 억제했더라도 이미 갑상샘의 TSH 표적 세포의 수용체가 항체에 의해 촉진된 상태에 있기 때문에 분비 억제가 제 기능을 발휘하지 못하고 있음을 의미한다.

호르몬의 작용 이상은 반드시 ① 호르몬의 분비에 이상이 있는지 ② 표적 세포의 수용체에 이상이 있는지 둘 중 어디에 해당되는지를 제대로 판단해야 한다. 이 문항은 학생들이 ② 방향으로 문항을 풀 수 있도록 발문에서 최대한 풀어서 설명해주긴 했으나, 만약 본 소재가 평가원에서 다뤄진다면 최근 과학탐구 전 영역에 걸친 출제 경향 상 별다른 설명 없이 ①과 ② 중 어디에 해당되는지 추론시킬 수도 있으니 대비 해두도록 하자.

정오 판단

ㄱ. ㉡는 Ⅱ이다. (×)

ㄴ. X가 정상 생쥐에 작용하면 TSH의 분비량이 적어져 티록신의 분비량이 적어지고, 결과 음성 피드백 작용에 의하여 시상 하부에서 TRH의 분비량이 증가한다. ∴ A에 X를 투여하면 혈중 TRH의 농도가 증가한다. (○)

ㄷ. 앞에서 구했다시피, 갑상샘을 이루는 TSH 수용체에 항체가 결합했다. (○)

※ 조금이라도 선지 보고 힌트를 얻으라고, 이렇게 선지를 짜 보았다.

4

정답 ㄱ ㄷ

comment

X 염색체 제외한 상황은 이제 다들 익숙하겠지. 평범한 핵상 그림 문제로, 유전자가 살짝 섞여 있기는 하지만 전혀 어려울 건 없다. 3번에서 받은 충격을 조금이나마 진정시켜주고 싶어서 바로 옆에는 무난한 문제를 둘 수밖에 없었다나 뭐라나 ...

해설

(나)는 2n인데 염색체가 4개뿐이므로 X 염색체를 2개 갖는다. ∴ Ⅱ는 암컷이다. (다)는 2n인데 염색체가 5개이므로 Y 염색체를 갖는다. ∴ (다)는 I의 세포이고, I은 수컷이다. 자동으로 (라)는 Ⅱ의 세포이다.

(가), (다)가 I의 세포, (나), (라)가 Ⅱ의 세포이다. I은 AaB_, Ⅱ는 _aBb인 것까지 그림에서 확정되고, 둘의 ㉡와 ㉢의 유전자형이 모두 다르니 I은 AaBB, Ⅱ는 aaBb이다.

정오 판단

ㄱ. (라)는 Ⅱ의 세포이다. (○)

ㄴ. I은 수컷, Ⅱ는 암컷이다. (×)

ㄷ. 세포 1개당 a와 b의 DNA 상대량을 더한 값은 (나)에서 3, (다)에서 1이다. (○)

5

정답 ㄱ ㄴ ㄷ

comment

계산이 제법 많은 편에 속하는 근수축 문항이다. 수학적인 성격이 강하기도 하고, 이 문제처럼 구간의 길이 비를 제시한 경우, ㉡+㉢와 X의 변화량을 생각하면서 두 비율을 한 숫자로 맞추고, 그 후 남은 계산을 마무리해주면 된다.

해설

㉠+㉡과 ㉠+㉢은 모두 t₁과 t₂일 때 일정하다. ㉡+㉢의 길이가 변했으니, ㉡와 ㉢는 각각 ㉠과 ㉢ 중 하나이고, ㉢는 ㉡이다.

t₁일 때 ㉢의 길이와 ㉡의 길이가 같다. X의 길이는 t₁일 때가 t₂일 때보다 길어 t₁일 때 H대의 길이는 0보다 크고, 그림을 보아 ㉢은 ㉡을 포함하므로 길이는 ㉢>㉡이다. ∴ ㉢가 ㉠이고, ㉡가 ㉢이다.

t₁에서 t₂가 될 때 ㉡+㉢의 변화량과 X의 길이의 변화량은 같다. 변화 비율이 동일하니, 둘 사이의 감소 간격도 동일해야 한다. 둘의 비율을 맞추면 5:3과 8:6 인 것. 즉, t₁일 때 X의 길이 : ㉠+㉢=8:5임을 감안, ㉠+㉡이 8:5 비율 내 3을 차지하니 1.2μm가 3을 차지, ∴ ㉠+㉢은 2.0μm이고, t₁일 때 ㉢은 1.4μm이다.

t₁일 때와 t₂일 때 남은 구간의 길이를 모두 구하면 다음과 같다.

| 시점 | ㉠(㉢)의 길이 | ㉡(㉢)의 길이 | ㉢(㉡)의 길이 | X의 길이 |
|----------------|----------|----------|----------|-------|
| t ₁ | 0.6μm | 0.6μm | 1.4μm | 3.2μm |
| t ₂ | 0.2μm | 1.0μm | 1.0μm | 2.4μm |

정오 판단

ㄱ. ㉡는 ㉢이다. (○)

ㄴ. ㉡의 길이는 t₂일 때가 t₁일 때보다 0.4μm 길다. (○)

ㄷ. t₂일 때 $\frac{\text{㉢의 길이}-\text{㉠의 길이}}{\text{A대의 길이}} = \frac{0.8}{2.0} = \frac{2}{5}$ 이다. (○)

6

정답 ㄴ ㄷ

comment

생김새는 매우 평범해 보이지만 막상 풀고 나서는 뭔가 평범하지만은 않았던 것 같다는 느낌이 든 문제였을 것 같다. 자극 지점과 속도를 동시에 결정한 후, 그래프에 뭔가 특이한 숫자들을 찍어가면서 시간을 추론하는 과정이 나름 새로운 느낌을 줬을 듯 싶다. 절대적인 난이도 자체가 높은 문제는 아니라 다들 접근은 잘 했을 테고, 크게 두 가지 풀이가 있으니 궁금한 사람은 아래 해설을 참고해 주자.

해설

일단, 주어진 시간 값들의 특징을 보자.

주어진 시간 후보군들은 모두 자연수. A에서 Ⅲ에 -72 가 나타났다는 것은, $1/2/3/4$ 와 같은 자연수 값에 걸리지 않았음을 의미한다. 자극 지점으로부터 d_2 까지 흥분이 도달할 때 자연수 값이 아닌 경우가 존재해야 함을 의미한다. 2cm/ms 로만 들어야 설명 가능하며, 소숫점을 만들기 위해서는 d_3 에 자극을 준 후 d_2 를 측정, $\therefore 0.5\text{ms}$ 소요되게 만들어야 한다.

\therefore A에서 자극 지점은 d_3 이니 X는 d_3 , B에서는 자극 지점 d_1 이니 Y는 d_1 이다. 속도는 A가 2cm/ms 이고, B가 1cm/ms 이다.

※ 여기까지 결정하는 것에 있어서는 살짝 다른 접근도 가능하다. 속도가 2인 뉴런의 자극 지점이 d_1 이라면, 두 뉴런 모두 d_2 까지 가는 데 1ms 가 소요되므로, 모든 시간일 때 막전위가 동일해야겠지. Ⅲ을 보아 둘이 같지는 않으니, 속도가 2인 뉴런의 자극 지점은 d_3 이다. 다시 Ⅲ을 보면 A가 B보다 많이 진행한 것이니, A의 속도가 2다. 이런 식으로 풀었어도 좋다.

이제 하나씩 짜맞추면 되지, 뭐. B는 앞시간이 자연수니 뒷시간도 자연수다. -60 은 $+1\text{ms}$ 일 때의 값이니, I은 $2+1=3$ 이고, Ⅲ은 $2+2=4$ 이다.

A는 $0.5+@$ 이니까, IV에서 $+20$ 으로 나타나려면 남은 2ms 와 5ms 가운데 2ms 여야 한다. 남은 Ⅱ는 5ms 이다. I~IV 순서대로 3ms , 5ms , 4ms , 2ms .

정오 판단

- ㄱ. A의 흥분 전도 속도는 2cm/ms 이다. (×)
ㄴ. 3ms 일 때 A의 d_2 는 $0.5+2.5$ 로, 재분극이 일어나고 있다. (○)
ㄷ. 4ms 일 때 A의 d_1 은 $1.5+2.5$, B의 d_3 은 $3+1$ 로 모두 -60mV 이다. 분수 값은 1이다. (○)
※ 2.5ms 의 값이든, 1ms 의 값이든, 분수에서 물어보았다면 막전위 표 내에서 어딘가에 해당 수치를 제시하고 있을거라는 믿음을 가지고 수치를 찾아보려는 노력을 해야 한다.

7

정답 ㄱ

comment

꽤나 새로운 형식의 문제다. 그림으로 연관 상태는 제시해 줬고, 일반/중간 유전 찾아야 하는데 가족 구성원의 DNA 상대량 표를 줬다. 형식 자체는 낯설지만, 그래도 풀기 전에 표에서 우선 결정지을 수 있는 것들 최대한 찾고, 마지막 표현형 조건을 같이 보면서 뭔가 착착착 풀려나갈 거라는 느낌이 들어야 한다.

ㄱ1기 체세포에서 특정 대립유전자의 DNA 상대량이 0 또는 2라는 것은, 그 구성원이 동형 접합성이라는 뜻이다. 아무래도 뭔가 특징적인 점들이 먼저 보이기 쉬우니, 이들부터 건드려 보는 것은 어찌 보면 당연한 생각이기도 하다.

해설

1st. 상대량 표 채우기

DNA 상대량 0 또는 2는 동형 접합을 의미하므로, 이들 후보군부터 먼저 찾아 보자. 철수가 AB/ab를 가진다. 아버지와 어머니 중 한 명은 AB를, 다른 한 명은 ab를 가져야 하므로, 아버지의 a,b DNA 상대량에서 ①/①은 $0/2$ 가 될 수 없다. 마찬가지로 어머니에서 ②/②도 $0/2$ 가 될 수 없다. \therefore ①/②이 $0/2$ 조합으로 유일하게 가능하며, ①이 1이다.

2nd. 완전 우성 / 중간 유전 구분

이제 ③은 0 또는 2인데, 누나와 철수의 (나)의 표현형이 같다고 했으므로, 누나가 bb일 수는 없다.

\therefore ③은 0이고, ①이 2다. BB인 누나와 Bb인 철수의 표현형이 같으니 $B>b$ 이고, 남은 (가)와 (다)는 모두 중간 유전.

3rd. 구성원 유전자형 확정

아버지는 aB/ab DD, 어머니는 AB/aB, 누나는 BB인 것까지 확정.

누나는 철수와 (가)의 표현형은 같고 (다)의 표현형은 달라야 하니, Aa, DD가 되고 어머니는 AB/aB Dd, 누나는 AB/aB DD이다.

정오 판단

- ㄱ. ①은 2이다. (○)
ㄴ. 어머니는 Dd, 누나는 DD로 (다)의 표현형이 서로 다르다. (×)
ㄷ. 아이에서 (나)의 표현형은 1가지로 고정되고, (가)에서 2가지, (다)에서 2가지이므로 $2 \times 2 = 4$ 가지이다. (×)

8

정답 L

comment

211217과 210617 두 복대립 그림 가계도 문항의 포인트가 되는 논리들을 모두 끄집어와 하나로 녹여낸 문항이다. 흐름이 길어 꽤나 까다로웠을 듯. 분수 조건에서 시작해도 되고, 아니면 마지막에 분수 조건을 봐도 되고 두 가지 풀이가 모두 가능한데, 해설을 참고해 주자.

이제는 다들 익숙하겠지만, 표현형 조건을 가지고 유전자형을 채워나가야 하는 복대립 가계도에서는 항상 가장 열성인 GG가 들어갈 수 있는 자리부터 체크할 것. 표현형에 대응되는 유전자형이 하나뿐이기 때문에 꽤나 많은 정보를 함축하고 있는 유용한 친구다.

해설

1st. (가) 우열 판단

그림 가계도 보고 (가)의 우열부터. 6-7-9 의해 (가)는 열성이다.

2nd. 복대립 표현형 조건 해석

먼저, 표현형 조건부터 해석해보자.

3/4/7/9 다르고, 4/5/6/8 다르다고 했다. 각 조건들 내에서 가계도 보고 유전적 관계부터 따져보자. 표현형 다른 건 늘 GG 배치부터.

먼저, 3/4/7/9. GG가 어딘가에 배치되어야 하는데, 어디에 배치되든 7은 G를 무조건 1개 이상 가지는 구조이다. 다만, 위치를 잡기는 어렵고, 유전적 관계로만 놓고 해석하기엔 한계가 있어 보이니 **유전자의 유무 & 상대량 조건이 함축된 분수 값**을 건드려보자.

주어진 분수 값에서 $\frac{4}{2}$ 가 들어가자니 3, 4는 DF와 EF만 가능해 7이 G를 못 가져 불가능하다. ∴ 주어진 분수 값은 $\frac{2}{1}$ 이고, 7에 G 1개, 5는 G 0개.

여전히 유전적 관계나 상대량 조건으로 해결이 안 되니, **연관 염색체를 통해 유전자의 이동 추이**를 살펴보자. 연관된 (가)의 상태를 보아 **3-7-9에게 r가 유전**되었다. r와 연관된 유전자가 3, 7, 9에게 모두 있는데 표현형이 모두 다르려면 이들이 공유하고 있는 건 F와 G 중 하나이다.

연관된 유전자가 F일 시 9가 동형 접합성이란 조건을 고려하면, 4가 GG가 되면 7과 9의 표현형이 같아지기 때문에 불가능, ∴ **3-7-9에 r-G가 연관된 염색체가 공유되어 있다**. 9는 GG로 고정되고, 3-7은 rG를 가진다. 여기서 D, E, F를 더 구하기엔 이젠 힘들 듯 하니, 또 다른 표현형 조건을 건드려보자.

4/5/6/8이 다르다고 한다. 지금 오른쪽 3-4-7-8 가족에서 관심 있는 건 4와 8의 표현형이 다르다는 점이다. 3-4-7 다르고, 4-8 다르니 4를 기준으로 4-7 다르고, 4-8 다른데 7과 8의 (가)의 표현형이 다르니 4는 7과 8에게 서로 다른 염색체를 물려주었다. 여기서 우열 관계들은 다음과 같다 :

- ① 7은 G를 가지고 있고, 4와 7의 표현형이 다르니 4가 가진 2개의 대립유전자 중 더 열성인 대립유전자를 7에게 주었다.
- ② 4가 가진 2개의 대립유전자 중 더 우성인 대립유전자를 8에게 주었으나, 4와 8의 표현형이 다르니 3은 8에게 4가 준 것보다 우성인 대립유전자를 주었다.

이를 조합하면, **3이 1등, 4가 2등과 3등인 대립유전자**를 가진다.

∴ 3은 DG, 4는 EF이다. 연관 관계까지 표기하자면 3은 rD/rG, 4는 RF/rE이며, 7은 RF/rG이다. 8은 DE이다.

3rd. 치환 돌연변이 결정

이제 남은 분수 조건과, 왼쪽 가족을 건드려보자. 8이 DE라 F를 안 가지므로, 2는 FF로 고정된다. 4/5/6/8이 다른데 4는 E_, 8은 D_이므로 5와 6에는 각각 F_, GG 중 하나가 들어가야 한다.

한편, 5에는 분수 조건 상 GG가 들어갈 수 없으니 6이 GG이고, 5는 F_로 결정된다. 2가 FF이고 6이 GG이니, 2는 6에게 F가 G로 치환된 유전자를 물려주었다.

∴ ①은 F, ②은 G이다.

1은 G를 가지고, 5는 2에게 F를 받았으며, 5는 G를 갖지 않는다고 했는데 표현형이 F_이니 FF이다. 1은 F도 가진다. 정리하면, 1은 FG, 5는 FF이다.

※ **[별해] 분수 조건을 처음부터 건드리지 않고, 표현형 다르다는 조건만으로 유전자를 결정시킨 풀이**
9가 동형 접합성임을 이용하여 처음부터 풀어낸 경우도 있다. 해설의 편의상 D, E, F, G를 순서 없이 ①, ②, ③, ④라 하자. 9는 r①/r①이고, 7은 r①/R②여야 표현형이 다르겠지. 7은 3에게 r①을 받았으니 3은 r①/r③이고, ②>①, ③>①이다. 3, 4, 7, 9 표현형 다르고 7의 R②는 4에게 받은 것이니 4는 R②/r④이다. 8은 4에게 r④를 받았는데, 4와 8의 표현형도 다르니 ③>④이고 8은 r③/r④이다. 9가 ①x①, 7이 ②①, 3이 ③①, 4가 ④②로 넷의 표현형 다 다르고, ③>④이므로 ③>④>②>①다.

구할 건 다 구했으니, 선지로 내려가보자.

정오 판단

ㄱ. ①은 G이다. (x)

ㄴ. 1은 FG, 7도 FG이다. 표현형, 유전자형 모두 같다. (○)

ㄷ. 6은 RG/rG, 7은 RF/rG이다. 5는 R_에 F_이다. R_ 중 F_가 쓰려면 7이 RF를 물려주는 경우만 고려하면 된다. ∴ $\frac{1}{2}$. (x)

※ 수고하셨습니다 ※