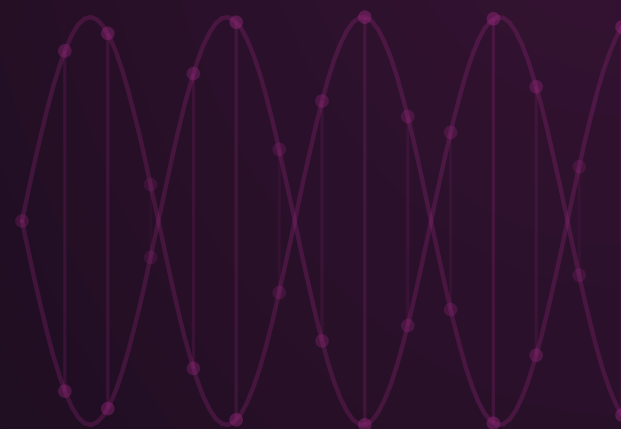


레슨: PTC 미맹 검사, 그리고 교과서가 틀린 이유



생명과학

유전학

확률과 통계

만 13세+

중급

PTC 미각 검사로 바로 수업에 쓸 수 있는 유전학 Lesson입니다. 어느 학교, 전문대학, 대학교에서든 자유롭게 쓰실 수 있습니다. 40분, 검사지 한 장, 그리고 교과서에 실린 설명이 원래 이야기보다 흥미로운 방식으로 틀렸다는 사실.

자유롭게 읽고, 쓰고, 고쳐 쓰실 수 있습니다. 계정도, 구매도, 수집되는 정보도 없습니다.

전체 레슨과 그림, 갱신본: <https://www.mygenelog.com/ko/updates/lesson-the-bitter-paper>

이 자료는. 바로 수업에 쓸 수 있는 유전학 Lesson입니다. 어느 학교, 전문대학, 대학교에서든 자유롭게 쓰고 고치실 수 있습니다. 저희에게서 사실 것도, 계정도, 누구에게서 수집하는 자료도 없습니다.

- 대상: 만 13세 정도부터 학부 1학년까지 그대로 쓰입니다. 활동은 어느 단계에서나 같고, 마지막의 질문이 단계별로 나뉘어 있습니다.
- 시간: 40-50분. 활동 자체는 6분입니다.
- 준비물: 시판 PTC 또는 PROP 미각 검사지(과학 기자재 업체에서 100장에 몇천 원 수준으로 판매합니다)와 숫자를 적을 칠판.
- 다루는 내용: 대립유전자와 유전형, 우성이 왜 단순화인지, 반수체형(haplotype), 하디-바인베르크, 기댓값과 관측값, 표본 크기, 그리고 교과서의 사실이 어떻게 고쳐지는가.

여기서 시작합니다: 그 사고

1931년, Arthur Fox라는 화학자가 DuPont 연구실에서 어떤 가루 화합물을 다루고 있었습니다. 그중 일부가 공기 중으로 흩어졌습니다. 방 건너편의 동료가 쓴맛이 난다고 불평했습니다. 가루에 훨씬 가까이 있던 Fox는 아무 맛도 느끼지 못했습니다.

대부분은 그냥 넘겼을 일입니다. Fox는 그 화합물을 더 가져와서, 만나는 사람마다 맛을 보게 하기 시작했습니다. 어떤 사람은 얼굴을 찡그렸습니다. 어떤 사람은 아무것도 묻지 않은 종이와 구분하지 못했습니다. 그리고 그것은 가족 안에서 이어졌습니다.

그 화합물이 페닐티오카바마이드 — PTC — 였고, 그 연구실에서 시작된 논쟁은 95년이 지난 지금도 계속되고 있습니다. 앞으로 40분 동안 우리 반이 그 논쟁에 참여할 수 있습니다.

이 이야기에 대해 한 가지. 이 설명은 아주 많은 교과서에 반복해 실려 있지만 저희가 원본 기록과 대조해 확인하지는 못했습니다. 이 분야가 스스로에 대해 하는 이야기로 받아들이시면 됩니다 — 그 사실을 알아차리는 것 자체가 학생들에게

유용한 일이기도 합니다.

이렇게 하십시오

1. 아무도 맛보기 전에, 먼저 예상을 물으십시오. "맛이 느껴질 것 같은 사람 손 드세요." 그 숫자를 칠판에 적습니다. 나중에 다시 씹니다. 예상과 실제의 간격이 이 수업의 절반입니다.
2. 대조용 종이를 먼저 나눠 주십시오. 아무것도 묻지 않은 종이입니다. 모두가 혀에 대 봅니다. 아무 맛도 나지 않아야 합니다. 이것은 들리는 것보다 훨씬 중요합니다. 이 단계가 없으면 암시만으로 맛을 느꼈다고 보고하는 학생이 나오고, 증거에 대해 잘못된 것을 가르치게 됩니다.
3. 검사지를 나눠 주십시오. 혀에 대기만 하고, 씹거나 삼키지 않습니다. 업체가 제공한 지침을 따르십시오 — 포장에 적혀 있고, 그것이 기준입니다.
4. 둘이 아니라 셋으로 세십시오: 아무 맛도 안 남 / 희미하게 남 / 정말 못 견디겠음. 셋 다 칠판에 적습니다.
5. 이제 수업을 여는 질문을 던지십시오: 교과서는 둘이라고 하는데 왜 셋이 나왔을까요?

수업 전에. 과학 기자재 업체의 시판 검사지를 쓰고 그 지침을 따르십시오 — 절대로 직접 용액을 만들지 마십시오. 소속 기관의 지침을 먼저 확인하십시오. 참여를 강요받는 학생이 있어서는 안 되며, 하고 싶지 않은 학생은 숫자를 세면 됩니다 — 사실 그쪽이 더 흥미로운 역할입니다.

그리고 이것은 정말 중요합니다. 누가 무엇을 느꼈는지 이름과 함께 기록하지 마시고, 가족에 대해 묻지 마십시오. 미각 결과는 그 사람의 유전 정보입니다. 교실을 세는 것은 수업이지만, 이름이 붙은 명단은 아무에게도 필요 없고 아무도 보관해서는 안 되는 아이들에 관한 기록입니다.

숫자는 이런 모양입니다



사람에게서 썰 수 있는 것은 대부분 봉우리가 하나입니다 — 키, 혈압, 교실에서 재는 거의 모든 것이 그렇습니다. 이것은 봉우리가 둘이고 사이에 골이 있습니다. 누군가가 유전자를 찾아 나선 이유가 바로 그 모양이었습니니다. 측정값이 아니라 개략도입니다.

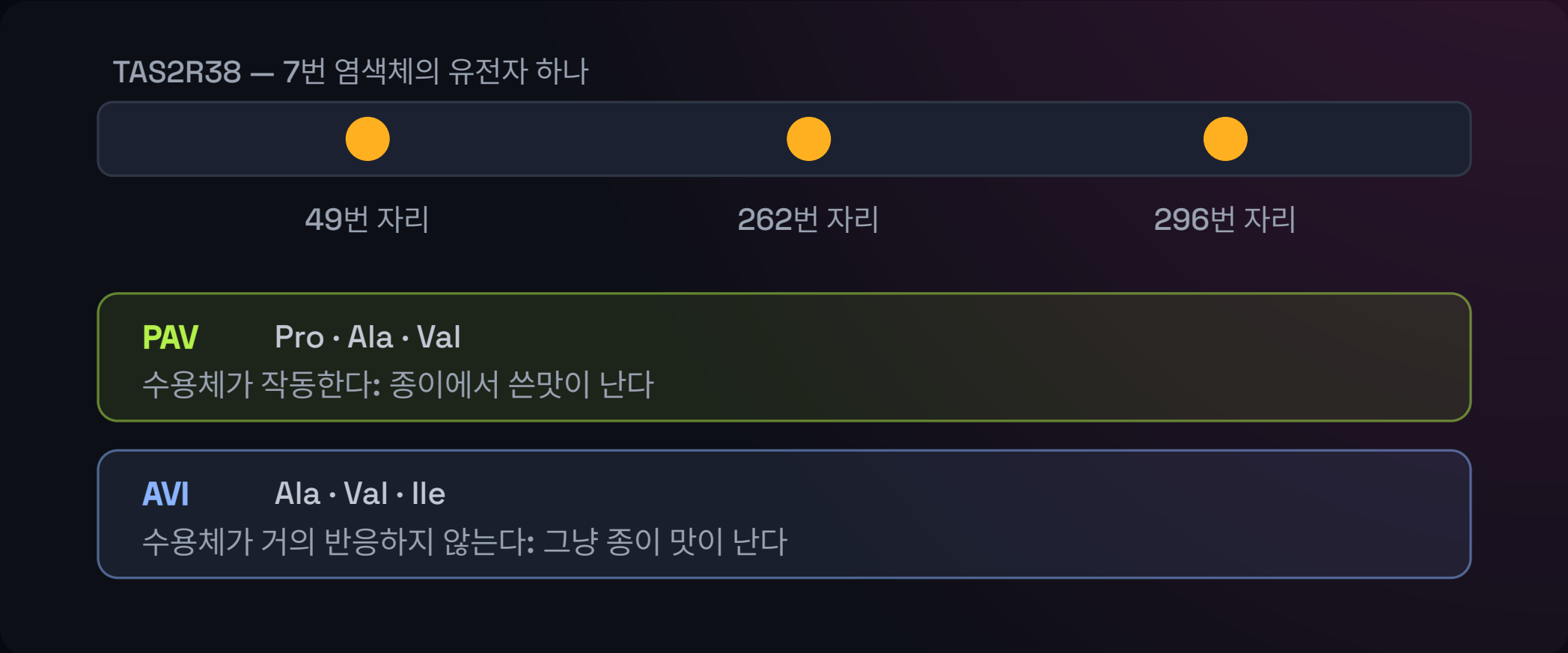
먼저 볼 것은 그 모양입니다. 교실에서 썰 수 있는 거의 모든 것 — 키, 반응 속도, 숨을 얼마나 오래 참는지 — 은 봉우리 하나를 만듭니다. 가운데에 많고 양 끝으로 갈수록 적어집니다. 이것은 그렇지 않습니다. 봉우리

돌과 그 사이의 골을 만듭니다.

그 모양 때문에 사람들이 유전자를 찾아 나섰습니다. 사람을 두 무리로 가르는 형질은 뒤에 스위치 같은 무언가가 있는 것처럼 행동하고, 70년 동안 그 설명은 가장 단순한 것이었습니다. 유전자 하나, 대립유전자 둘, 그리고 맛을 느끼는 쪽이 우성.

교과서가 틀린 부분

대립유전자 둘을 가진 유전자 하나가 아닙니다. 그 안에 변이 자리가 셋 있는 유전자 하나이고, 그 셋은 함께 유전됩니다.



같은 유전자 안에서 세 글자가 바뀌고, 그 셋은 한 덩어리로 함께 유전됩니다. 우리가 두 벌 가지고 있는 것은 바로 그 덩어리입니다 — 부모에게서 하나씩. 나머지 세 조합은 더 드뭅니다.

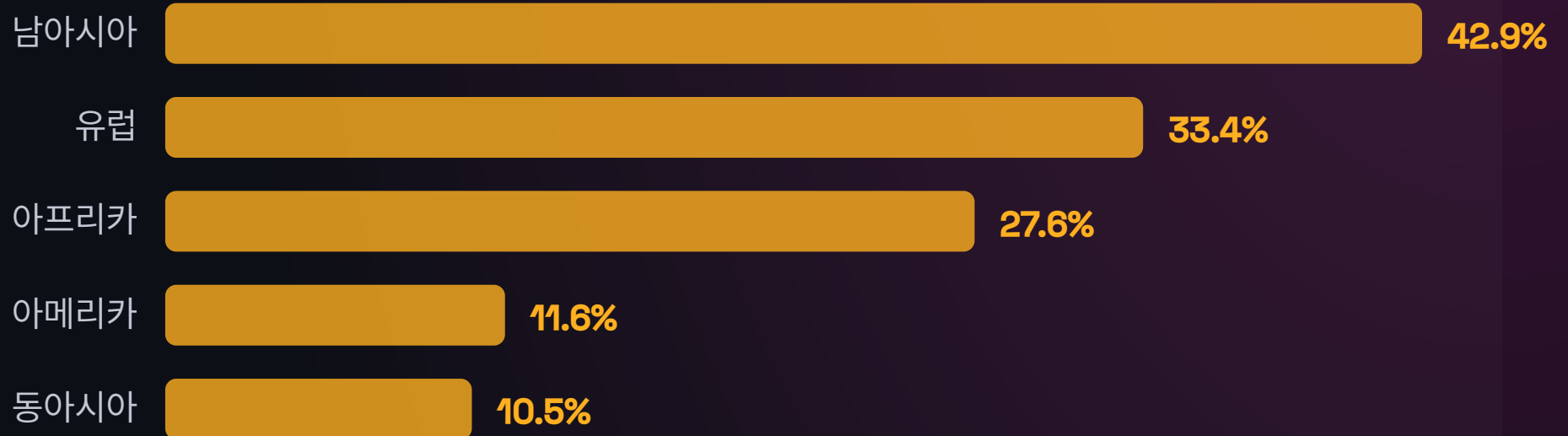
유전자는 2003년에야 찾아졌습니다. 쓴맛 수용체를 만드는 유전자이고, 사람마다 DNA가 다른 자리가 셋 있으며 각각 아미노산 하나를 바꿉니다. 이 세 자리는 서로 가까이 붙어 있어 한 단위로 움직입니다 — 이것을 반수체형(haplotype)이라고 부릅니다 — 전 세계에 다섯 가지가 있고 그중 둘이 흔합니다.

그러니 사람이 실제로 물려받는 것은 반수체형 두 벌, 부모에게서 하나씩입니다. 작동하는 것 둘이면 종이는 견딜 수 없고, 작동하지 않는 것 둘이면 종이 맛이 납니다. 하나씩이면 가운데 무리가 됩니다 — 유전자 하나·대립유전자 둘 설명이 자리를 마련해 주지 못하는 그 무리입니다.

2003년 논문은 이 반수체형들이 PTC를 얼마나 강하게 느끼는지의 변이 가운데 55%에서 85%를 설명한다고 보고했습니다. 이 숫자는 따로 칠판에 적을 만합니다. 인간 유전학에서 매우 높은 값입니다. 동시에 100%는 아니며, 남은 부분은 반올림 오차가 아니라 실제 질문입니다.

우리 반과 세계를 비교해 보십시오

아무 맛도 못 느낄 것으로 예측되는 비율



실제 대립유전자 빈도(1000 Genomes, rs713598)에 하디-바인베르크를 적용해 계산한 값입니다. 누군가의 혀를 센 숫자가 아니라 세 자리 가운데 한 자리로부터의 예측이며 — 바로 그 점이 우리 반과 비교해 볼 가치를 만듭니다.

우리 반은 저 막대 어느 것과도 맞지 않을 것이고, 그 이유가 이 수업에서 가장 좋은 토론거리입니다.

막대는 대립유전자 빈도에 하디-바인베르크를 적용해 계산한 예측값이고, 그것도 세 자리 가운데 공개 빈도 자료가 깨끗한 한 자리만으로 계산한 값입니다. 실제 형질은 셋을 모두 씹니다.

그리고 한 반은 작은 표본입니다. 서른 명은 집단이 아닙니다. 예측이 33%인데 우리 반이 20%로 나왔다면, 그것은 동전을 서른 번 던졌을 때 흔히 나오는 정도입니다. 방금 그 숫자를 스스로 만들어 낸 학생들에게 이것을 보여 주는 일은 표본 오차에 관한 어떤 학습지보다 낫습니다.

아직 끝나지 않은 논쟁

여기 아직 아무도 결론 내지 못한 질문이 있습니다. 마지막에 다루기 좋은 이유는, 학생들이 연구자와 똑같은 정보를 가지고 논쟁할 수 있기 때문입니다.

맛을 못 느끼는 사람은 왜 아직 있을까요? 쓴맛은 경고 장치입니다 — 많은 식물 독이 씹니다. 고장 난 경고 장치는 도태되어야 마땅합니다. 그런데 지금까지 검사한 모든 인류 집단에 PTC를 느끼지 못하는 사람이, 그것도 상당한 비율로 있습니다. 무언가가 작동하지 않는 쪽을 남겨 두었습니다.

오랫동안의 답은 균형 선택이었습니다. 작동하지 않는 쪽에도 쓸모가 있어서 — 어쩌면 미각자가 거부하는 음식을 먹을 수 있게 해 주어서 — 양쪽이 함께 살아남았다는 것입니다.

그런데 2016년, 105개 집단 5,589명을 조사한 연구가 자연선택이 DNA에 남기는 흔적을 찾아보았습니다. 아주 오래된 무언가는 발견했지만 — 현생 인류가 아프리카를 떠나기 이전의 것입니다 — 그 이후로는 아무것도 찾지 못했습니다. 결론은, 오늘날의 양상은 대체로 사람들이 어디로 갔고 누구와 아이를 낳았는가로 설명되며 어느 한쪽을 선호한 선택으로는 설명되지 않는다는 것이었습니다.

이것은 진짜로 열려 있는 논쟁이고, 학생들이 직접 읽을 수 있는 오픈 액세스 저널에 실려 있습니다. 어느 쪽이 더 설득력 있는지, 그리고 무엇이 있어야 결론이 날지 물어보십시오. 이 책 뒤에는 정답이 없습니다.

질문

몸풀기

1. 맛보기 전에 맛이 날 것이라고 예상한 사람은 몇 명이었습니까? 실제와 얼마나 가까웠습니까? 사람들이 자기 혀에 대해 잘못 짐작하는 이유는 무엇일까요?
2. 왜 아무것도 묻지 않은 종이부터 시작했습니까? 그 단계가 없었다면 어떻게 되었을까요?
3. 두 학생이 맛을 느꼈는지를 두고 서로 다르게 말합니다. 둘 다 거짓말을 하는 것이 아닙니다. 이것은 형질을 측정한다는 일에 대해 무엇을 말해 줍니까?

본 질문

1. 교과서는 맛을 느끼는 쪽이 우성이라고 합니다. 우리 반에는 가운데 무리가 있었습니다. 이것이 우성을 반박합니까, 아니면 더 구체적인 무언가를 뜻합니까? 정확히 말해 보십시오.
2. DNA의 세 자리가 한 유전자 안에 가까이 붙어 한 덩어리로 유전됩니다. 그것이 왜, 맛만 측정할 때 이 형질을 실제보다 단순해 보이게 만듭니까?
3. 반수체형이 변이의 55-85%를 설명합니다. 나머지를 설명할 수 있는 서로 다른 것 세 가지를 들고, 그중 하나를 어떻게 검증할지 말해 보십시오.
4. 우리 반 결과는 우리 지역의 예측 막대와 다릅니다. 누군가가 특이해서가 아닌 이유를 두 가지 드십시오.

더 나아가기

1. 하디-바인베르크에 따르면 어떤 대립유전자를 두 벌 가진 사람의 비율은 그 빈도의 제곱입니다. 그래프에서 거꾸로 계산해 보십시오. 비미각자가 33%가 되려면 대립유전자 빈도는 얼마여야 합니까? 그리고 방금 세운 가정 가운데 실제 인류 집단에 맞지 않는 것 세 가지를 말해 보십시오.
2. "자연선택이 작동하지 않는 쪽을 남겼다"와 "사람들이 이동한 결과로 남았다"를 구분할 실험을 설계해 보십시오. 무엇을 측정하겠습니까? 어떤 결과가 나오면 생각을 바꾸겠습니까?
3. 이 형질은 약 70년 동안 대립유전자 둘을 가진 유전자 하나로 가르쳐졌고, 그것은 틀렸습니다. 부주의한 실수가 아니라 당시의 증거에 맞는 설명이었습니다. 이것은 지금 여러분 교과서에 실린 내용에 대해 무엇을 시사합니까?

가르치는 분을 위한 메모 — 이 질문들이 향하는 곳

2. 대조용 종이입니다. 기대만으로 맛을 보고하는 학생이 있고, 아무것도 묻지 않은 종이가 그것을 드러냅니다. 우리 반에 그런 학생이 없었다면 그렇다고 말해 주십시오 — 그것도 결과입니다.
4. 우성이 틀린 것이 아니라 불완전한 것입니다. 작동하는 사본 둘은 하나와 실제로 다르게 행동하므로, 예/아니오가 아니라 세기를 측정하면 불완전우성에 가깝습니다. 우성/열성 설명이 살아남은 것은 초기 연구가 예 또는 아니오를 기록했고, 희미한 맛이 예로 적혔기 때문입니다.
5. 연관(linkage)입니다. 세 자리가 함께 움직이므로 밖에서 보면 한 단위처럼 행동하고, 그래서 셋이 지배하는 형질이 하나가 지배하는 형질처럼 보입니다. 반수체형이라는 개념 자체이고, 이름을 붙여 줄 만합니다.
6. 좋은 답이 여럿 있습니다. 더 드문 두 반수체형, 미뢰 개수의 차이, 나이, 흡연, 직전에 무엇을 먹었는지, 보고 자체의 측정 오차. 검증할 수 있는 답이 좋은 답입니다.

7. 먼저 표본 크기 — 서른 명은 작은 표본이고 흔들림이 큼니다. 그다음, 막대는 세 자리 가운데 하나로 계산한 값이며, 참조 데이터셋의 집단 이름표는 대략적인 묶음이지 어떤 교실을 설명하는 말이 아닙니다.

8. $\sqrt{0.334} \approx 0.58$ 이므로 비미각자 대립유전자 빈도는 58% 부근입니다. 가정에는 무작위 교배, 선택 없음, 이주 없음, 돌연변이 없음, 무한한 집단이 들어가고 — 어느 것도 실제 세계에는 해당하지 않습니다.

10. 정직한 답은 이렇습니다. 일부는 틀렸고, 어느 부분인지는 아직 모르며, 알아내는 길은 암기가 아니라 방법입니다. 이 말을 직접 들어 본 학생은 거의 없고, 대체로 잘 남습니다.

더 나아가려면

- 유전자 하나, 세 가지 답 — 같은 유전자가 부비동염과 어떤 항생제가 잘 듣는지에도 등장합니다. 확장 읽기로 좋습니다.
- rs713598, rs1726866, rs10246939 — 세 자리 각각의 페이지와 출처.
- SNP란 무엇인가 — 용어부터 필요할 때.
- 냄새와 맛 — 이 사이트의 나머지 감각 유전학.

자유롭게 쓰십시오. 인쇄하고, 복사하고, 잘라 쓰고, 직접 만든 학습지에 넣고, 번역하고, 질문을 바꾸셔도 됩니다. 허락을 받으실 필요도, 내실 비용도 없습니다. 출처를 밝히신다면 mygenelog.com 이면 충분합니다.

이 자료로 수업하시다가 잘 안 되는 부분이 있으면 알려 주십시오 — 저희에게는 감사 인사보다 그쪽이 더 값집니다.