

멘델의 법칙과 마우스 착색의 유전

Lucien Cuénot 저

1865년 그레고르 멘델 (Gregor Mendel)은 완두콩으로 잡종 교배 실험을 시도하여 유전의 법칙을 명확하고 완전하게 세웠습니다. 이 법칙은 최근에 드 브리 (Vries), 코렌스 (Correns), 체르마크 (E. Tschermak) 및 웨버 (Webber)에 의해 재발견되고 다시 확인되었습니다.

예를 들어 n 가지의 형질이 서로 다른 두 식물을 교배한다고 했을 때, 이때 가장 두드러지는 상반되는 형질은 꽃의 색이라고 가정해 봅시다. 한 식물의 꽃 색깔을 a 라고 하고 다른 식물의 꽃 색깔은 b 라고 합시다. 만약 이 꽃 색깔의 유전이 멘델의 법칙을 따른다면 두 식물을 교배한 결과물 (혼성체 또는 잡종)은 오직 한가지 색깔의 꽃(형질)만 나옵니다. 모두 a 형질을 보이고 b 형질은 흔적도 보이지 않습니다. 이를 가르켜 우리는 형질 a 가 우성 (dominant) 이고 형질 b 가 열성 (recessive) 이라고 말합니다. (나는 'recessive' 보다는 "dominated" 라는 단어를 선호합니다). 이들을 서로 잡종교배할 경우, 두번째 교배에서는 이전 교배의 결과 (혼성체) 와는 다른 결과를 보게 됩니다. 두번째 교배 결과의 75%가 우성 형질인 a 를 갖고, 25%가 열성 형질인 b 를 갖게 됩니다.

두번째 교배 결과에 어떻게 열성인 b 형질이 다시 나타나는가를 Mendel과 Naudin은 (Mendel이 Naudin보다 훨씬 더 정확하게 밝혀냈습니다) 다음과 같이 설명합니다. 상반되는 형질 a 와 b 는 두 식물이 교배되었을 때 그 교배의 결과인 수정체와 그 수정체로부터 도래된 체세포에서는 나란히, 함께 존재(잡종)하지만, 생식세포에서는 서로 분리되어 더이상 잡종이 아니게 되고', 그에 따라 생식세포의 절반은 형질 a 만을 가지고, 나머지 절반은 형질 b 만을 가지게 된다고 생각했습니다. 그래서 잡종교배를 하면 두번째 교배에서 다음 네 가지 생식세포 조합의 경우가 형성될 수 있습니다.

$$(a + a) (a + b) (b + a) (b + b)$$

처음 세 가지 경우에서 이 식물의 꽃 색깔은 우성 형질인 a 를 가지게 되고 네 번째는 열성 형질인 b 를 가지게 됩니다. $(a + a)$ 와 $(b + b)$ 의 식물은 오직 한가지 형질만을 갖는데 이는 초기 교배 식물들의 형질과 같은 것입니다. $(a + b)$ 와 $(b + a)$ 는 첫 번째 교배에서 나온 것과 같이 잡종이라는 것이 멘델의 설명입니다. 이와 같은 멘델의 형질 분리 가설은 위에 인용된 여러 저자들에 의해 여러차례 입증되었으며, 사실과 일치한다는 것에 의심의 여지가 없습니다.

지금까지 멘델의 법칙에 대한 연구는 모두 식물에 관한 것이었으며 이 유전 방식이 동물에서도 발견되는지 여부는 알려져 있지 않습니다. 2년 동안, 저는 매우 유용한 실험 대상을 이용하여 실험하고 있는데 그것을 바탕으로 긍정적인 결과를 얻었습니다.

회색 집 마우스 (*Mus musculus L.*)와 빨간 눈의 알비노 마우스 사이의 가장 눈에 띄게 다른 형질은 (그리고 아마도 유일하게 다른 것) 색소 유무입니다. 회색 마우스는 검은 색과 노란색 색소가 있고, 알비노는 색소가 전혀 없습니다. 회색 마우스 (수컷 또는 암컷)와 알비노 마우스 (암컷 또는 수컷)를 교배시키면 언제나 예외없이 회색 마우스가 나오게

됩니다. 따라서 회색 착색이라는 형질은 색소가 없는 형질에 비해 우성이라고 볼 것입니다².

g 를 우성 형질이라 하고 b 를 열성 형질이라고 한다면, 회색과 알비노를 교배한 결과는 ($b + g$) 로 표현할 수 있습니다. 내가 이 교배결과로 얻은 회색을 가진 잡종끼리 교배시킨다고 할때 만약 생식세포에서 이 형질들이 분리된다면 확률상 이 두번째 교배의 결과는 다음과 같아야 한다고 예측할 수 있습니다.

$$n(g + g) + 2n(g + b) + n(b + b)$$

즉, 25%의 알비노와 75%의 회색 마우스가 나오게 되는데, 여기서 회색 마우스는 25%의 순수 회색 ($g + g$)과 50%의 혼합 회색($g + b$)으로 구성되어 있어 그냥 보기에는 구분할 수 없을 것입니다.

제 실험결과는 이 예측과 매우 일치합니다. 270 마리의 새끼들 중에 198 마리의 회색 마우스와 72 마리의 알비노 마우스를 얻었는데 이 알비노는 전체의 26.6%에 해당합니다. 알비노 마우스는 회색 형질을 전혀 갖지 않은 순수 혈통입니다. 실제로, 알비노끼리 교배시키면 항상 예외없이 알비노 마우스만 나오게 됩니다. 두번째 교배에서 얻은 회색 마우스들 중에 순종 회색과 잡종 회색이 섞여 있음을 입증하기는 식물에서보다는 조금 더 복잡합니다. 왜냐하면 마우스는 자가 수정을 할 수 없기 때문입니다. 나는 이 두번째 교배에서 얻은 회색 쥐들끼리 임의적으로 교배시켰습니다. 확률적으로 따졌을때처럼 교배의 절반이 회색 마우스 (189마리) 만 낳았는데, 이것은 한쪽 또는 양쪽 부모 모두 우성 형질 g 만 가진 경우를 뜻합니다. 나머지 절반의 교배에서는 각각 회색과 알비노를 모두 낳았는데 (회색 162마리, 알비노 57마리), 이것은 양쪽 부모 모두 우성 형질 g 와 열성 형질 b 를 모두 가지고 있었음을 보여줍니다. 다시 한번, 이것은 확률에 맞아들어가는 수치인데, 회색 마우스의 수는 알비노 마우스의 3배에 해당합니다 (74% 와 26%).

회색 형질과 알비노 형질이 생식세포에서 분리된다는 점은 또 하나의 연속 실험으로 입증할 수 있습니다. 동물 사육자들이 소위 이야기하는 것처럼 회색 마우스와 알비노 마우스 사이에서 태어난 잡종을 반혈 (half-blood, $\frac{1}{2}$ 혈통)이라고 가정해 봅시다. 이 반혈 마우스를 다시 알비노 마우스와 교배시키면 그 결과로 알비노 마우스와 회색 마우스를 얻게 되는데, 이 회색 마우스는 표현형은 회색이지만 $\frac{3}{4}$ 만큼의 알비노 혈통 (따라서 $\frac{1}{4}$ 만큼만 회색 혈통)을 가진 잡종 회색 마우스가 됩니다. 이 $\frac{3}{4}$ 알비노 혈통의 잡종 회색 마우스를 다시 알비노 마우스와 교배시키면, 또 알비노 마우스와 일부 회색 마우스를 얻게 되는데, 이 회색 마우스는 $\frac{1}{8}$ 이 알비노 혈통 ($\frac{1}{8}$ 만큼만 회색 혈통)인 잡종 회색 마우스인 것입니다^A. 여기서 (만약 멘델의 유전 법칙처럼)^B 형질의 분리가 있다고 해봅시다. 지금까지 잡종 회색 마우스와 알비노 마우스를 교배시킬 때마다 알비노 마우스는 형질 b 를 가진 생식세포를, 잡종 회색 마우스는 형질 b 와 g 를 가진 생식세포를 짝짓기 시킨 것이고, 잡종 회색 마우스는 b 형질을 지닌 생식세포와 g 형질을 지닌 생식세포를 동일한 비율로 가지고 있기 때문에 매번 이러한 교배로부터 나오는 새끼들은 회색 마우스 ($b + g$)의 숫자와 알비노 마우스 ($b + b$)의 숫자가 비슷해야 합니다. 실험 결과는 이번에도 이론적 예측과 완벽하게 일치합니다. 연속 5 세대를 교배시키는 과정에서, 소위 동물 사육자들이 말하는 것처럼 알비노 혈통의 반복 유입이 회색 혈통을 감소시키는 것은 아닙니다.

동물 사육자들이 역설적으로 겪게 되는 특이현상은 우성 형질과 열성 형질의 분리를 생각하면 사실 예측하고 이해할 수 있습니다. 예를 들어, 알비노 마우스는 아무리 오랜 세대를 걸쳐 조상 대대로 회색 마우스였다고 하더라도 절대적으로 순수한 알비노 마우스이기 때문에 후세에게 회색 형질을 격세유전시킬 수 없습니다. 두 마리의 회색 쥐를 교배시킨다고 했을 때, 만약 이들이 알비노 혈통을 각각 $n-1/n$ 만큼 가지고 있는 잡종 회색 마우스라고 한다면 n 이 아무리 큰 숫자라 하더라도 교배의 결과에는 순종 회색 마우스 ($g + g$)가 나오게 되고, 이 순종 회색 마우스는 절대 알비노 마우스를 낳을 수 없게 됩니다.

나는 멘델의 유전 법칙이 동물 교배에서 흥미롭게 적용되는 예들을 더 찾을 수 있을 것이라고 생각합니다. 우리가 더 잘 알게 될 수록 멘델 유전 법칙의 이론적 중요성은 더욱 높아질 것이며, 드 브리 (de Vries)의 파티클 가설 (유전 형질을 정하는 것이 물질이라는 가설^c)을 근거로 생각할 때 멘델의 법칙은 유전 법칙을 강하게 뒷받침 한다고 볼 수 있습니다. 마지막으로 정리하자면, 같은 종에서 발견되는, 그리고 멘델의 법칙에 적용될 수 있는 서로 다른 두가지 형질은 아무리 여러번 교배시킨다 하더라도 함께 섞일 수 없고, 우성과 열성의 서열에 따라 자리매김을 하게 됩니다. 이와는 다르게 어떤 형질들은 서로 섞이거나 종간의 형질을 보이기도 하고 (예: 백인과 흑인의 혼혈), 서로 다른 종끼리 교배했을 때처럼 (예: 말과 당나귀의 교배) 서로 섞이기는 하지만 불임종을 얻게 되는 경우도 있습니다.

덧붙여 말하자면, 나의 실험에서 우연히도 흰색과 검은색 잡색 마우스(얼룩이 털색)를 교배하여 노란색, 검은색, 회색을 보이는 잡색 마우스들을 얻었습니다. 이제 나는 멘델의 유전법칙과는 다른 이러한 변형의 유전을 조절하는 법칙을 분석해 나갈 계획입니다.

낸시, 1902년 3월 13일

***Cuénot L. La loi de Mendel et l'hérédité de la pigmentation chez les souris. 1902. Archives de zoologie expérimentale et générale 10, xxvii-xxx.**

저자 각주

1 만약 두 식물이 오로지 형질 a와 b 만 다르다면 이들 생식세포들은 절대적으로 잡종일 수 없습니다. 만약 n 개의 서로 상관없는 형질들을 두 식물이 다르게 가진다면, 생식세포는 a와 b에 대해서만 제한적으로 잡종이 아니라고 다를 수 있습니다.

2 Colladon (1824) 이래로 많은 저자들은 이미 회색 마우스와 알비노 마우스를 교배했지만 그 결과들은 일치하지 않습니다. Haacke (1897)는 내 실험결과처럼 회색 형질이 우성이라는 결과를 발표했습니다. 이런 결과를 얻기 위해서는 회색 마우스가 순종 회색이어야 하는데 실험실에서 얻은 경우에는 이전 세대들 중에 알비노가 있었을 수 있기 때문에 야생에서 얻은 순종 회색 마우스여야만 같은 결과를 얻을 수 있습니다.

영문 번역가 주의 사항

이것은 Mendel의 법칙이 동물 (집쥐)에도 적용됨을 보여준 최초의 보고서입니다.

Cuénot은 회색 마우스와 알비노 마우스를 교배시킨 결과를 보고합니다. 보다 간단하게 말하면 이 교배는 색소의 유전을 관찰한 것입니다. 형질 g 와 b 는 각각 프랑스 단어 *grise* (회색) 와 *blanc* (흰색)의 약어입니다. 이들 형질의 유전자가 알려진 지금 비교하자면 g (색소가 있는 형질) 는 Tyrosinase의 allele (대립 유전자 / 대립 형질) C 또는 $+$ 와 같고, b (색소가 없는 형질) 는 c 와 동일합니다. 따라서, $(g + b) = C/c$, 착색; $(g + g) = C/C$, 착색; $(b + b) = c/c$, 알비노 의 결과를 얻게 되는 것과 같다고 보면 됩니다.

한글 번역가 각주

A 계속된 알비노 마우스와 교배로 회색 혈통이 점점 없어져간다고 하는 동물 사육자들의 주장을 유전법칙과는 상반되는 이론으로 인용한 것입니다.

B, C 괄호안 내용은 번역가 첨언입니다.

불어 원본의 영문 번역 (French to English Translation): Google, Philippe Soriano, and Richard Behringer

영문 번역본의 한글 번역 (English to Korean Translation): 임설희 (Seol Hee Im)