

안녕하세요, 오늘은 생명과학 2에서 새로 등장한 개념인 '혹스 유전자'에 대한 교과서의 서술을 검토한 후, 교집합만 설명하고자 다음과 같이 글을 써 봅니다.

I. 혹스 유전자에 대한 교육과정 해설서의 설명

우선 '혹스 유전자'를 다루는 교육과정의 성취 기준은 다음과 같습니다.

[12생과II 04-06] 진핵생물의 발생과 세포 분화에서 유전자 발현 조절 과정을 설명할 수 있다. (해설: 혹스 유전자 발현 조절 사례를 들어 발생 초기 단계의 조절 과정을 다룬다.)

한 연구용 교과서는 이를 '발생과 유전자 발현 조절', '호미오 유전자와 형태 결정 이해'로 나누어서 한 차시에 각각 20분씩 할애해 수업하는 것을 권장하고 있습니다. 물론 이는 교과서 분량에 따른 권장사항이겠으나, 호미오 유전자의 형태 결정 역시 상당한 분량을 가진 내용임을 짐작해 볼 수 있습니다.

II. 혹스 유전자? 호미오 유전자?

혹스 유전자에 대한 교과서들의 용어 사용은 상이합니다. 지학사 교과서는 **호미오 유전자**에 대한 보조단 해설에서 "(전략) 척추동물에서 **혹스 유전자**라고 한다"라는 문장을 통해 척추동물이 아니면 **혹스 유전자**라는 명칭을 쓰지 않는다는 양 서술하고 있습니다. 그리고 초파리의 구조 형성에 서 **호미오 유전자**라는 용어를 반복적으로 사용합니다.

그러나 이러한 서술은 교학사 교과서의 설명과 부합하지 않는 면이 있습니다. 교학사 교과서는 **호미오 유전자**라는 용어를 사용하지 않으며, 초파리의 형태 형성에 **혹스 유전자**가 기여한다고 설명합니다.

이러한 설명에 대한 의문은 **호미오 유전자**를 먼저 정의한 뒤, **혹스 유전자**라는 용어가 도입된 과학사적인 배경을 알면 비교적 쉽게 해결될 수 있습니다. 이 부분의 설명은 교육과정을 넘으니 결론만 읽어 보셔도 됩니다.

- **호미오 유전자(homeotic gene)**는 발생 과정에서 배아의 한 부위에서의 기관 형성을 결정하는 유전자들을 일컫습니다.
- 초파리 연구에서 **호미오 유전자**들에서 **호미오 도메인(영역)**이라는 단백질 부위를 암호화하는 **호미오 박스(Homeo box)**라는 180개의 염기쌍이 공통적으로 포함되어 있음을 발견했습니다. 그리고 이 염기쌍은 다른 무척추동물과 척추동물의 호미오 유전자에서도 발견되었습니다. 따라서, 과학자들은 호미오 유전자들을 호미오 박스를 포함하고 있는 유전자라는 뜻에서 **혹스 유전자(Homeobox-containing gene)**을 짧게 이르는 말)라고 부르기 시작했습니다. 그러나 이후의 연구 결과에 따르면, 호미오 박스를 가지고 있는 모든 유전자가 곧 호미오 유전자의 역할을 수행하지는 않았습니다.

따라서 둘의 구분은 크게 유의미하진 않습니다. 특히, 교과서에서 공통적으로 설명하는 초파리에 서의 호미오 유전자의 경우 과학사적인 맥락에서 **혹스 유전자**라고 칭해도 아무런 문제가 없습니 다. 교육과정 해설서의 용어를 따라가자면 **혹스 유전자**라는 용어를 사용하는 것이 맞으나, 이는 지학사 교과서의 설명과 배치되는 듯 보일 수 있기에 실제로 출제되었을 때의 발문을 예측하기는 어렵습니다.

III. 혹스 유전자에 대한 상세한 설명-초파리에서의 형태 형성을 중심으로

이제 혹스 유전자에 대해서 더 자세히 살펴봅시다. 성취기준 해설을 보시면 혹스 유전자를 통해 발생 초기 단계의 조절 과정을 다룬다고 되어 있는데요, 이 초기 단계란 정확히 무엇일까요? 교 과서들은 공통적으로 혹스 유전자가 **형태 형성**에 관여한다고 설명하고 있습니다. (사실은 초기 단계라고 보기에 어폐가 있긴 합니다.)

※일반적으로 생물의 발생을 세포 분열, 세포 분화, 형태 형성, 생장의 단계로 나누곤 합니다. 그 러나 이러한 구분은 크게 유의미한 것은 아닙니다.

초파리(*Drosophila*)의 형태 형성에는 여러 유전자가 기여합니다. (모계 영향 유전자(maternal effect gene), 체절 형성에 관여하는 유전자(segment polarity gene) 등이 일부 교과서에 소개 되어 있습니다.) 특히 초파리에서 혹스 유전자는 (다른 유전자들의 영향에 의해) **초파리의 체절이 형성된 후에** 각 체절에서 만들어질 기관을 결정하는 역할을 합니다. 그 메커니즘에 대해서는 교 과서마다 서술의 깊이에 차이가 있지만, **혹스 유전자의 산물이 전사를 조절**한다는 정도만 알아두 시면 될 것 같습니다.

초파리의 경우, (다른 동물과 다르게) 호미오 유전자 8개가 염색체의 한 부분에 나란히 존재합니 다. 이 유전자들은 염색체에 배열된 순서대로 배아에서 나란히 영향을 끼칩니다. (그림 1 참조) 과학자들은 이 유전자들의 역할을 초파리의 돌연변이 연구를 통해 알아냈습니다. 8개의 호미오 유전자 중 *Antp*와 *Ubx*의 돌연변이가 교과서에 공통적으로 소개되어 있습니다. (유전자의 이름 과 원래 역할은 상세하게 실려 있지 않은 교과서가 있으므로, 돌연변이가 일어난 결과 위주로 봐 두시면 됩니다.)

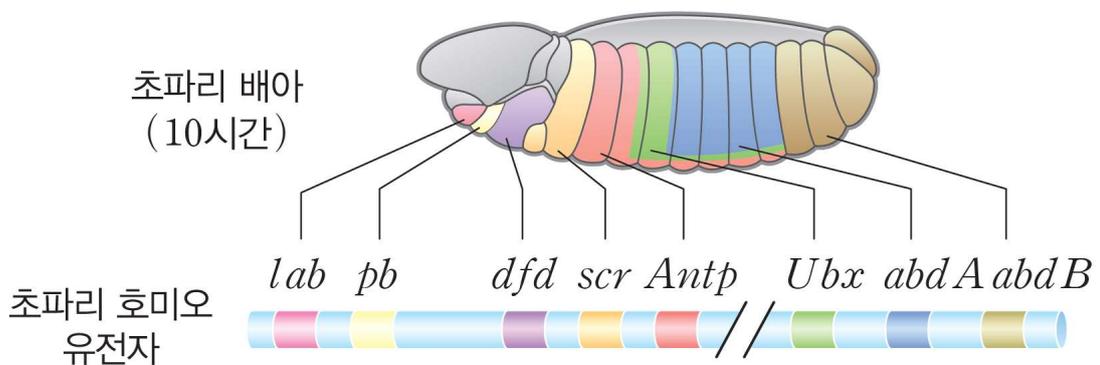


그림 1 초파리 호미오 유전자

초파리는 곤충강에 속하는 생물이므로 머리, 가슴, 배(복부)로 이루어져 있습니다. 그리고 초파리의 가슴은 3개의 체절로 이루어져 있습니다.

- *Antp*는 원래 가슴의 두 번째 체절에서 다리를 형성합니다. 그러나 *Antp*가 안테나에서 발현되면 더듬이가 두 번째 가슴 체절의 다리로 변합니다. (그림 2-1 참고)
- *Ubx*는 원래 가슴의 세 번째 체절에서 날개가 퇴화된 구조인 평균곤을 만듭니다. 그러나 *Ubx*의 발현에 이상이 생기면 초파리는 (앞 부분의 흑스 유전자의 영향을 받아) 한 쌍의 날개를 더 갖게 됩니다. (그림 2-2 참고)

※ 흑스 유전자 돌연변이 연구에 따르면, 앞-뒤 축에 따른 몸의 각 부위는 해당 부위에서 발현되는 가장 뒷쪽의 흑스 유전자에 의해 결정됩니다.



그림 2-1 *Antp* 돌연변이

그림 2-2 *Ubx* 돌연변이

이런 흑스 유전자는 다양한 동물군에서 존재합니다. 따라서 이것으로부터 동물들이 공통 조상으로부터 유래하였다고 추정하는 과학자들이 있습니다.

<그림 1 출처>

전상학 외 7인. (2019) *고등학교 생명과학 II*. (134-136) 대한민국: 지학사.

<그림 2 출처>

오현선 외 5인. (2018) *고등학교 생명과학 II*. (139) 대한민국: 미래엔.

<참고문헌>

전상학 외 7인. (2019) *고등학교 생명과학 II*. (134-136) 대한민국: 지학사.

권혁빈 외. (2019) *고등학교 생명과학 II*. (130-131) 대한민국: 교학사

이준규 외 5인. (2018) *고등학교 생명과학 II*. (135-137) 대한민국: 천재교육

대한민국. 교육부. *교육부 고시 제 2015-74호 [별책 9] 과학과 교육과정*. (191)

Reece, J. B. (2018). *Campbell biology* / Jane B. Reece, Lisa A. Urry, Michael L. Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky, Robert B. Jackson, Fiona Rawle, Dion Durnford, Chris Moyes, Sandra Walde, Kevin Scott. Toronto: Pearson Canada.