

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? 교과서들은 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. 그러나 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 교과서마다 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.)

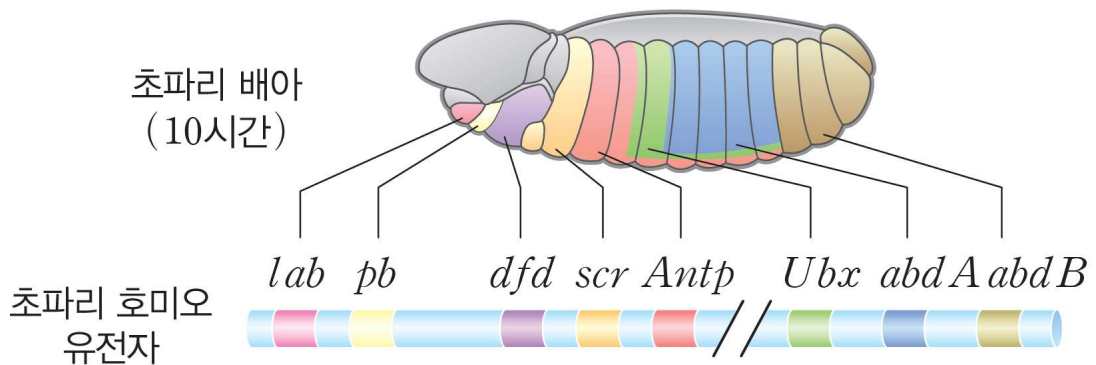


그림 1 초파리 호미오 유전자

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.