

# 고교 교과 과정을 참조한, 교양으로서 일반생물학 수업을 위한 내용 분석과 제언\*

: 생명의 연속성-번식을 중심으로

윤혜섭<sup>†</sup>, 장수철<sup>\*\*</sup>

## 【목차】

1. 서론
2. 고등학교 생명과학과 대학교 일반생물학의 비교
3. 개념과 원리 이해하기-과학적 소양의 함양을 위하여
4. 대학 교양으로서 생명의 연속성(번식) 영역의 생물학 교육에서 유의할 점: 내용을 중심으로
5. 결론에 대신하여: 교양으로서 일반생물학 수업 준비

## 1. 서론

### 1.1. 생물학 교육의 재고

20세기 말이 끝나고 21세기 시작하면서 사회 속에서 생물학의 발전과 비중은 점점 더 증가하고 있다. 이와 함께 생물학 교육에 대한 관심도 증가할 수밖에 없는 것이 현실이다. 초등과 중등 등 여러 수준의 교육 모두에서 새로운 시도가 수행되고 있고 대학도

\* 이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입(NRF-2019S1A5C2A04083293).

† 제1저자, 건국대학교 상허생명과학대학 생명과학특성학과 교수, hsyun@konkuk.ac.kr

\*\* 교신저자, 연세대학교 학부대학 교수, schang@yonsei.ac.kr

예외는 아니다.<sup>1)</sup> 여타 많은 분야와 마찬가지로, 대학에서의 생물학 교육에도 선도적인 역할은 미국에서 수행하여 왔다. 이와 관련하여 미국에서 2007년 7월에 바로 이 주제에 대한 회의가 있었다. 이 회의에서는 2006년부터 있었던 논의 내용을 토대로 하여, 연구자, 교육자, 행정가 등 200여 명의 관련자들이 다가오는 미래를 대비하여 필요한 대학에서의 생물교육에 대하여 광범위한 토론을 진행하였다.<sup>2)</sup> 이 토론 내용을 정리하여 미국과학진흥회(American Association for the Advancement of Science, AAAS)는 미국국립과학재단과 하워드휴즈의학연구소, 그리고 미국국립보건원 등과 함께 책을 출판하였다. 2011년에 출판된 이 책의 제목은 『Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action』, 줄여서 『Vision and Change』라 한다. 이후 이 책은 생물학 교육 분야에서 일종의 교과서처럼 인용되었고 이 책을 이용한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 이 책은 미국의 거의 모든 대학생들이 졸업 때까지 일반생물학 성격의 수업은 한 과목 이상 수강하는 것을 전제로 하여 생물학 교육과 관련된 내용들을 제시하고 있다.<sup>3)</sup> 이는 전공자와 비전공자를 구분 없이 일반생물학 수준의 수업을 가르칠 것으로 요구하고 있음을 의미한다고 볼 수 있다. 따라서 교양으로서 일반생물학 수업에 대한 연구에도 이 책은 필수적이라 할 수 있다. 이와 관련하여, 이 책이 담고 있는 많은 중요한 내용 중에서도 꼭 주목해야 할 내용은 생물학 지식

- 
- 1) 각급 교육과정에서 생물학 내용의 변화가 비교적 큰 것을 의미함. 대학의 경우, 교재로 사용되는 일반생물학 성격의 책의 개편 폭이 다른 과학 분야에 비해 비교적 큰 것이 해당 예임.
  - 2) American Association for the Advancement of Science(2011), *Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action*, Brew CA and Smith D eds, pp.viii~x.
  - 3) 같은 책 3쪽 가장 아래 문단에서 서술되어 있다.

이 아니라 생물학을 통해 배양되어야 할 6가지 핵심역량에 대한 것이다. 생물학 전공자들은 전공지식 전달 위주의 수업을 진행하여도 지속적인 교육과정에서 이 핵심역량을 배양할 수 있는 기회를 많이 가지게 되지만 비전공자들에게는 교양교육 이외에는 상응하는 기회에 접하기가 쉽지 않다. 따라서 이로부터 얻을 수 있는 교훈은 교양으로서의 일반생물학은 핵심역량을 배양하는 것을 주요 목표로 교육되어야 한다는 점이다.

## 1.2. 생물학 교육의 핵심역량

6가지 핵심역량이란, 첫 번째, 모든 영역의 과학과 마찬가지로, 관찰, 실험, 가설검증 등 과학의 과정을 적용할 수 있는 능력이다. 두 번째는 과학을 포함한 거의 모든 영역의 학문에 필요한 역량으로 양적 추론 능력이다. 세 번째는 요즘 지구과학에서도 중요하게 요구하는 능력으로 생물이 복잡한 시스템이라는 점과 관련하여 모형을 제시하고 이를 시뮬레이션 하는 능력이다. 네 번째, 다른 영역의 과학보다 생물학에서 더 강조되는 것으로 다학제적 특성을 이용하는 능력이다. 자연과학은 물론 인문학, 사회과학 영역의 여러 학문들과 생물학은 접점이 많아 이 능력이 꼭 필요하다. 다섯 번째는 네 번째와 일부 관계되어 있을 수도 있는데, 다른 분야와 소통하고 협력하는 능력이다. 마지막으로 우리나라의 경우 특히 심하지만 비교적 경시되어왔던 능력으로 생물학과 사회의 관련성을 이해하는 능력이다.<sup>4)</sup> 『Vision and Change』의 이러한 지침에 따라, 미국의 대학의 경우, 전공과 관

---

4) 같은 책, 14~5쪽에 묘사된 Core competencies and Disciplinary Practice의 내용을 요약하였다.

게없이 어떤 학생이든 생물학을 수강하면 학생들은 이러한 과학적 소양을 배양할 것을 요구하고 있다. 이는 교양으로서 생물학 교과도 예외가 아님을 의미한다.

2015 개정 교육과정에서 교육부가 제시한 과학과의 가장 큰 목표는 “학생들이 자연 현상과 사물에 대해 호기심과 흥미를 갖게 됨”은 물론 “핵심적인 과학적 개념에 대한 이해 및 탐구 능력을 함양해서 이를 바탕으로 개인과 사회의 문제를 창의적이고 과학적으로 해결하기 위한 과학적인 소양을 기르는 것”이다. 교육부는 이 목표를 위한 다섯 가지의 세부 목표를 제시하였다.<sup>5)</sup> 이 목표는 바로 모든 과학 교과의 핵심역량과 연결되는데 고등학교 교과목인 생명과학 I 과 생명과학 II 도 마찬가지로 이 핵심역량에 근거하여 교육을 수행하도록 요구되고 있다. 교육부가 제시한 과학 교과를 통해 길러져야 하는 ‘핵심역량’이란 ‘과학적 탐구 능력’, ‘과학적 참여와 평생 학습 능력’, ‘과학적 사고력’, ‘과학적 의사소통 능력’, ‘과학적 문제해결력’ 등 5가지를 제시하였다. 이 5가지를 『Vision and Change』이 제시한 핵심역량들에 상응하는 정도가 비교적 큰 것들을 배치하면 다음 <표 1>과 같다. 표에서와 같이 위 5가지는 다학제적 특성 이용 능력을 제외하고, 정확하지는 않지만 일정 정도의 범위 내에서<sup>6)</sup> 미국과학진흥회

5) 자연 현상에 대한 호기심 및 흥미를 갖고 과학적으로 문제를 해결하려는 태도의 배양, 일상생활 및 자연 현상의 문제를 과학적으로 이해하는 능력 배양, 자연 현상의 탐구로 핵심적인 과학 개념을 이해, 과학, 기술 및 사회의 유기적인 관계를 인지하고, 이를 바탕으로 민주시민으로서의 소양 배양, 과학의 유용성과 과학 학습의 즐거움을 인식하여 평생 학습 능력 배양 등이다.

6) 미국 대학의 생물학 교육에서 길러야 할 핵심역량 중 3가지인 ‘과학 과정 적용 능력’, ‘양적 추론 능력’, ‘모형제시 및 시뮬레이션 능력’은 표에서 제시한 대부분의 경우와 같이 교육부가 제시한 핵심역량과 1:1로 상응한다고 볼 수 없다. 예를 들어, 과학 과정 적용 능력과 모형 제시 및 시뮬레이션 능력 등은 과학적 문제해결 능력, 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력 모두 해당한다고 할 수 있다. 양적 추론 능력도 과학적 사고력의 일부라고 할 수 있으나 이 두 역량을 다른 카테고리 분류할 수 있다.

가 제시한 핵심역량 중 5가지에 대응한다고 할 수 있다. 이러한 역량을 감안하여 교과과정이 준비되었다면 우리나라의 고등학교 생명과학 I 과 생명과학 II의 내용은 대학에서의 생물학 교육과 연결성이 크다고 할 수 있다. 따라서 고등학교의 생명과학 교과과정을 살펴보는 것은 대학에서의 교양으로서의 일반생물학 교육을 논의하는 데에 참고할 수 있는 근거가 될 것이라 판단된다.

〈표 1〉 대학 생물학 교육과 과학과(또는 생명과학과) 교육과정과 관련하여 미국과학진흥회와 국내 교육부가 제시한 핵심역량 비교

	미국 대학 생물학 교육	국내 고등학교 생명과학 교육
항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학 과정 적용 능력</li> <li>• 양적 추론 능력</li> <li>• 모형 제시 및 시뮬레이션 능력</li> <li>• 다학제적 특성 이용 능력</li> <li>• 다른 분야와 소통 협력 능력</li> <li>• 생물학과 사회 관련성 이해 능력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학적 탐구 능력</li> <li>• 과학적 사고력</li> <li>• 과학적 탐구 능력, 문제해결 능력</li> <li>• 과학적 의사소통 능력</li> <li>• 과학적 참여와 평생 학습 능력</li> </ul>

### 1.3. 본 연구의 목적

대학에서 일반생물학 교육은 지속적으로 수행되어왔다. 이는 많은 경우, 전공 학생을 대상으로 하는 전공기초 교육으로 수행되어왔다. 그러나 교양으로서 일반생물학 교육 역시 증가하고 있다. 교양으로서의 일반생물학 교육은 대개 쉬운 내용, 친근한 주제, 전공기초 교과목보다 적은 수의 개념 소개 등의 특징을 나타내는데 더 나아가서 인문사회학과의 연계성 포함을 요구받기도 한다. 또한, 교양으로서의 일반생물학 교육은 생물학 관련 교양 서적을 읽고 토론하거나 특정 주제, 즉, 질병, 성, 진화 등의 주제에 초점을 맞추어 이루어지기도 한다.<sup>7)</sup> 우리나라처럼 문과와 이

과 교육이 나뉘어서 수행된 현실을 감안할 때 이러한 특징은 일정 정도 어쩔 수 없고 필요한 것이라 할 수 있다.

그런데 과학의 비중이 급격히 증가하는 현대 사회의 현실을 감안할 때 과학적 소양을 배양하는 교육의 중요성을 강조하는 일은 너무도 의미 있는 일이다. 생물학의 경우, 과학적 소양은 앞에서 언급한 핵심역량이 해당한다고 할 수 있다. 따라서 인문사회계 전공학생들을 포함한 생물학 비전공 학생들을 대상으로 하는 교양으로서의 일반생물학 교과목도 예외일 수 없다. 이러한 판단하에 본 연구는 교양 교과목이지만 아니 교양 교과목이기 때문에, 고등학교까지의 생물 교육에 대한 파악을 토대로 대학에서 학생들의 핵심역량 배양에 실질적인 도움을 제공하기 위하여 다음과 같이 일반생물학 수업 내용을 분석·정리해 보고자 하였다.<sup>8)</sup>

앞에 기술하였듯이, 고등학교 생명과학 I 과 생명과학 II 의 성격과 목표는 다른 과학 교과와 비슷하게 위 역량과 관련지어 기술되어 있다.<sup>9)</sup> 핵심역량을 중심으로 성격과 목표에 따른 생명과학 I 의 핵심 개념은 생명과학의 특성과 발달과정, 동물의 구조와 기능, 자극과 반응, 방어 작용, 생식, 유전, 진화와 다양성, 생태계와 상호 작용이고 생명과학 II 의 핵심 개념은 생명과학의 특성과 발달과정, 생명공학 기술, 생명의 화학적 기초, 생명의 구성단위, 광합성과 호흡, 생식, 유전, 진화와 다양성 등이다. 이 중에서 생명과학 I 과 생명과학 II 모두에서 발견되는 생식, 유전, 진화와

---

7) 이와 관련하여 연세대학교의 경우, <생명과학의 세계>, <문명과 질병>, <삶과 성>, <진화와 인문학> 등의 교과목이 개설되어 있다.

8) 본 논문의 이러한 의도는 생물학 전문지식의 습득을 목표로 하지 않음을 나타내는 것이다.

9) 교육부(2015), 『과학과 교육과정』, 교육부 고시 제2015-74호(별책 9), 164~5쪽과 177~8쪽 참조.

다양성은 생명의 연속성이라는 더 큰 주제로 묶여있다. 본 연구는 이 ‘생명의 연속성’을 선택하여 대학의 상응하는 주제인 유전과 유전자 발현 영역과 비교하여 살펴보고자 한다.<sup>10)</sup>

생물의 특징을 생존과 번식으로 볼 수 있다면 생명의 연속성은 번식과 관련한 것이다.<sup>11)</sup> 따라서 이 주제와 관련하여 유전을 중심으로 고등학교에서의 교과 내용을 살펴보고 이를 바탕으로 대학에서 생물 교양 교과를 준비하는 것은 학생들이 생명의 본질을 이해하는 데에 필수적이고도 중요한 시도라 할 수 있다. 참고로 ‘생명의 연속성 또는 번식’과 관련하여 2015 개정 교육과정의 생명과학 영역에서 초등학교, 중학교, 고등학교 등 각급별 학교에서 핵심적인 개념들의 체계적으로 배치되어 있다. 즉, 초등학교에서 동식물의 한살이, 씨가 싹트고 퍼지는 방법 등을, 중학교에서 생식, 염색체, 체세포 분열, 생식 세포 형성과정 등을 다루고 유전의 경우, 중학교에서만 멘델 유전 실험의 의의와 멘델 유전 원리, 사람의 유전 형질, 가계도 조사 방법 등을 포함한다.<sup>12)</sup> 이러한 체계를 감안하는 것도 대학의 생물 교양교과 과정을 점검하고 새로 세우는 데에 도움을 줄 것이라 판단된다. 따라서 본 연구는 이러한 체계도 일부 참고하여 대학에서의 교양으로서 생물 교육이 지향할 바를 일부 구체적인 교과 내용과 함께 제시하고자 한다.

---

10) 생명의 연속성에 진화와 다양성도 핵심 개념으로 포함되어 있으나 ‘진화’라는 주제는 매우 큰 주제이므로 이 연구에서는 다루지 않기로 한다.

11) American Association for the Advancement of Science(2011), *Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action*, Brew CA and Smith D eds, pp.12~4에 제시된 생물학의 5가지 핵심개념도 생존 또는 번식과의 관련성으로 설명이 가능하다. 또한 많은 생물학 textbook의 목차도 크게 이 두 가지의 특징과 관련지어 나뉘볼 수 있다.

12) 교육부(2015), 『과학과 교육과정』, 교육부 고시 제2015-74호(별책 9), 9쪽.

## 2. 고등학교 생명과학과 대학교 일반생물학의 비교

### 2.1 개괄적인 핵심 개념 비교

포괄적으로 생명의 연속성(또는 번식)과 관련된 단원을 비교하면 고교 교과과정의 경우, ‘생명의 영속성’과 ‘유전자의 발현 조절’ 등 각각 생명과학1과 생명과학2에 속한 두 단원으로 구성되어 있다. 대학의 일반생물학 수준에서는 ‘세포분열’, ‘생식주기와 감수분열’, ‘멘델 유전학’, ‘연관과 염색체’, ‘핵산과 유전’, ‘유전자의 발현’, ‘유전자의 발현조절’ 등 7개의 단원에서 해당 내용을 포함하고 있다(〈표 2〉 참조).<sup>13)</sup> 이러한 단원 수의 비교를 전체 단원 수에 대한 비중으로 비교해 보면, 고교 교육과정에서 10단원 중 2개 단원인 것(20%)에 반해 대학의 일반생물학에서는 예를 들어, 캠벨 생물학의 경우, 56개 단원 중 7개 단원(12.5%)으로 오히려 비중이 작다. 그러나 이러한 사실이 의미하는 바가 교육과정 전체에서 해당 단원들이 차지하는 비중이 큰 것이 더 많은 내용을 포괄한다는 의미는 아니다. 모든 영역에서도 마찬가지로지만 당연히 이 영역에 관해서도 대학 교과과정에서 다루는 개념 또는 내용의 양이 더 많다고 할 수 있다.

13) 본 연구에서는 대학의 일반생물학 교재로 사용되는 Brooker, R., Widmaier, E., Graham, L., & Stiling, P.(2014), 최준호 외(역), *Biology* 3rd ed, 『브루커의 생명과학』, 홍릉과학출판사; Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B.(2017), 전상학 외(역), *Biology* 11th ed, 『캠벨 생명과학』, 바이오사이언스; Freeman, S., Quillin, K., Allison, L., Black, M., Podgowski, G., Taylor, E., & Carmichael, J.(2017), *Biological Science* 6th ed, Pearson; Phelan, J.(2013), 한규웅 외(역), *What Is Life?-A Guide to Biology* 2nd ed, 『생명과학-활용할 수 있는 지식』, 범문에듀케이션; Sadava, d., Hillis, D., Heller, C., & Berenbaum, M.(2012), 강해묵 외(역), *Life, The Science of Biology* 9th ed, 『생명, 생물의 과학』, ㈜라이프사이언스 등 총 5권의 책을 분석, 비교하였다.

세포분열의 경우, 중학교 과정에서 이미 등장한 체세포분열 (mitosis)의 단계에 대한 설명을 다루었기 때문에 생명과학 I에서는 세포주기와 체세포분열의 의미를 주로 다루고 있다. 대학에서도 비슷한 내용과 개념을 포함하는데 체세포분열의 단계와 세포주기, 체세포분열의 의미 등 외에도 세균의 이분법과의 비교와 체세포분열의 진화, 체세포분열의 조절 시스템 등을 더 포함한다.

감수분열의 경우, 생명과학 I에서는 생식세포의 생성과 유전적 다양성 등을 포함하는 데 비해 대학에서는 유전적 다양성에 교차를 포함하여 설명한 점이 부가되었다고 할 수 있다.

유전학 단원의 경우, 생명과학 I에서는 가계도, 상염색체 유전, 성염색체 유전, 다인자 유전, 염색체 이상과 유전자 돌연변이 등을 포함하지만 대학에서는 멘델의 과학적 방법, 우성의 종류, 복대립 유전자, 상위, 다면발현, 본성과 양육, 연관과 교차, 유전체 각인과 세포소기관 유전 등이 더 포함되어 있다.

DNA의 경우, 생명과학 II에서는 유전물질 확인, DNA 구조, DNA 복제 실험과 DNA 복제 메카니즘 등을 다룬다. 대학에서도 거의 비슷한 주제를 다루는데 말단소체에 대한 언급을 부가적으로 포함한다.

유전자 발현에 관해서 생명과학 II는 유전자의 기능 실험, 중심 원리, 유전부호, 전사, 번역 등을 포함한다. 대학에서는 이에 더해 전사 후 변형(RNA 가공), 돌연변이 등을 포함한다. 유전자 발현 조절에 대해서 생명과학 II는 원핵생물의 유전자 발현 조절, 진핵생물의 유전자 발현 조절, 세포 분화, 발생 등을 포함한다. 대학에서도 거의 비슷한 내용을 포함한다.

전반적으로 고등학교의 생명과학 I 과 II의 생명의 연속성과 번식 영역에서 많은 기본 개념들을 제시하고 있다. 이때 체세포 분열이나 감수분열의 과정과 같이 중학교 교과 과정에 이미 다룬

개념들을 전제하는 예들이 꽤 존재한다. 대학에서 약간 더 많은 개념을 다루고 있지만 전반적으로 포함하는 기본 개념들은 대동소이하다고 볼 수 있다.

〈표2〉 고등학교 생명과학과와 대학의 일반생물학의 개념 비교

2015 개정 생명과학 1과 2		일반 생물학	
영역	성취기준	단원	주요 개념
생명의 연속성	염색체, 유전체, DNA, 유전자의 관계를 이해하고, 염색분체의 형성과 분리를 DNA 복제와 세포분열과 관련지어 설명할 수 있다.	염색체와 세포분열 / 유전자와 유전	염색체의 종류, 원핵생물의 이분법, 진핵생물의 세포주기(조절), DNA 복제와 세포분열, DNA와 유전자, 유사분열의 4단계
	생식 세포 형성 과정에서 일어나는 염색체의 조합을 이해하고, 이 과정을 통해 유전적 다양성을 획득할 수 있음을 설명할 수 있다.		유성생식과 감수분열, 감수분열에 의한 생식세포의 생산, 생식주기, 남녀의 배우자 생성 방식의 차이, 교차와 다양성, 유성생식의 대가와 이점, 성별 차이
	사람의 유전 현상을 가계도를 통해 이해하고, 상염색체 유전과 성염색체 유전을 구분지어 설명할 수 있다.		멘델의 과학적 접근, 멘델의 분리의 법칙, 검정교배와 가계도 작성, 우성의 종류와 다양한 유전방식, 반성 유전
	염색체 이상과 유전자 이상에 의해 일어나는 유전병의 종류와 특징을 알고, 사례를 조사하여 발표할 수 있다.		연관, 염색체 수의 이상, 다양한 유전병
유전자의 발현과 조절	원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성과 유전자 구조를 이해하고 차이를 비교할 수 있다.	DNA, 유전자 발현	DNA는 유전물질, DNA의 구조와 유전자, DNA와 염색체
	반보존적 DNA 복제 과정을 이해하고, 모형을 이용하여 DNA 복제 과정을 모의실험할 수 있다.		반보존적 DNA 복제와 세포분열, DNA 복제 과정과 수선
	전사와 번역 과정을 거쳐 유전자가 발현됨을 이해하고, 모형을 이용하여 유전자 발현 과정을 설명할 수 있다.		전사와 번역, RNA 가공, 돌연변이와 유전자 절편
	유전 암호를 이해하고, 유전 암호 표를 사용하여 유전 정보를 해독할 수 있다.		번역과 유전암호

원핵생물과 진핵생물의 전사 조절 과정을 비교하여 설명할 수 있다.	세균과 오픈론 조절, 진핵생물 유전자 발현의 여러 단계
진핵생물의 발생과 세포 분화에서 유전자 발현 조절 과정을 설명할 수 있다.	배아 발생과 차등적 유전자 발현, 암과 세포주기 조절

## 2.2. 핵심 개념들의 배치, 강조점 비교

성취기준에 따르면 고등학교 생명과학 I 에서 체세포분열에 대해 단계별 특징을 간략히 묘사하는 등 세포주기에 대한 설명을 하고 있지만 유전자, 염색체, 유전체 등의 개념 이해를 위해 체세포분열이 활용된 측면이 비교적 크다고 할 수 있다.<sup>14)</sup> 대학에서는 체세포분열, 감수분열, 이분법 등 세포분열의 종류를 소개하고, 각각의 의미를 제시한다. 그리고 체세포분열의 주기와 각 단계별 염색체 움직임의 특징과 의미를 설명한다.<sup>15)</sup> 이후 체세포분열의 조절에 대한 실험과 그 의미, 더 나아가 주기별 조절에 관여하는 분자들을 소개하여 성장 과정과 조절 그리고 수명이 다한 세포가 교체되고 상처가 회복되는 과정을 이해할 수 있게 한다. 이어서 체세포분열 조절의 실패가 암의 발생으로 이어질 수 있고 이를 치료할 수 있는 방법에 대한 이해를 제공한다. 생명과학 I 에 상응하여 대학에서도 체세포분열의 의미 그리고 주기와 각 단계별 특징에 대한 설명에서 유전자, 염색체, 유전체 등의 개념과 움직임에 대해 설명하고 있다. 즉, 대학의 경우, 체세포분열을 중심으로 여러 개념들을 배치하여 체세포분열의 의미를 명확히 이해하는 데에 도움을 제공한 것으로 보인다.

14) 이는 본 연구가 참조한 모든 교과서에서 발견할 수 있었다.

15) 복제되어 동일한 두 염색분체가 결합된 상태로 세포 중앙에 배열되는 것과 이후 두 염색분체가 분리되어 반대 극으로 이동하는 것을 말한다. 그 결과, 새로 탄생한 두 세포는 완벽에 가깝게 동일한 염색체를 보유하게 된다.

고등학교 생명과학 I 에서 감수분열은 생식세포를 형성하는 세포분열임을 제시하고 감수분열의 단계별 특징과 함께 유전적 다양성이 출현하는 과정을 설명하고 있다. 다만 유전적 다양성의 원인 중의 하나인 교차에 대한 설명은 포함하지 않는다. 대학의 경우, 감수분열이 유성생식을 하는 생물들에게만 있는 과정임을 강조하면서 감수분열의 위치를 생물들이 종류에 따라 다양하게 표현되는 생식주기 속에서 설명하고 있다. 일반생물학에서 감수분열은 유성생식을 하는 생물들의 유전적 다양성의 원천임을 강조하는 맥락에서 감수분열의 단계별 특징에 대한 설명을 한다. 이는 어떻게 감수분열 과정에서 일어나는 상동염색체의 배열과 교차가 천문학적 숫자의 유전적 다양성을 가능케 하는지를 보여 주고 있다.

고등학교 생명과학 I 에서는 유전에 대한 개론 대신 ‘사람의 유전’으로 유전을 설명하고 있다.<sup>16)</sup> 따라서 가계도에 대한 설명을 필수로 하고 다음으로 우선 단일 인자 유전현상을 설명한다. 단일 인자 유전은 상염색체와 성염색체 유전으로 나누어 설명하고 이후 다인자 유전을 설명한다. 멘델 유전학을 상세히 다루지 않는 이유는 중학교 과정에 이미 소개되었기 때문인 것으로 보인다

---

16) 이러한 특징은 2015 개정 교육과정 내용을 담은 출판된 다음의 8개 교과서 모두에서 발견할 수 있다. 권혁빈·김승수·김학현·손희도·이일규·정효철(2017), 『고등학교 생명과학 I 』, (주)교학사, 121~151쪽; 김윤택·임혁·오문창·이태원·문경원(2017), 『고등학교 생명과학 I 』, 동아출판, 115~159쪽; 심규철·오상욱·화의욱·김미경·배미정·안성수(2017), 『고등학교 생명과학 I 』, 비상, 115~155쪽; 심재호, 장수철, 김정석, 윤용근, 조현재, 최승규(2017), 『고등학교 생명과학 I 』, 금성출판사, 130~165쪽; 오현선·구항모·유해미·강희정·정종우·김대준(2017), 『고등학교 생명과학 I 』, 미래엔, 124~161쪽; 이용철, 윤소영, 박미아, 문대주(2017), 『고등학교 생명과학 I 』, 와이비엠, 124~167쪽; 이준규·김재근·윤신선·최종훈·김선혜·정태실(2017), 『고등학교 생명과학 I 』, 천재교육, 118~153쪽; 전상학·권오민·김유섭·박기석·윤현조·이미화·이창호·임수진(2017), 『생명과학 I 』, 지학사, 112~149쪽.

다. 그러나 대학에서는 분리의 법칙을 발견하기까지 멘델이 사용했던 과학적인 실험방법과 논리적인 추론을 소개함은 물론 분리의 법칙이 가지는 확률적 의미를 강조한다. 또한 독립의 법칙을 소개하는데 이는 두 가지 유전자가 다른 염색체상에 있는, 즉 연관되어 있지 않은 상태에 대한 설명으로 고등학교 과정에는 빠져 있는 개념이다.<sup>17)</sup> 단일 인자 유전에 대한 설명과 함께 다인자 유전은 물론 상위, 다면발현 등 더 많은 복잡한 유전 방식에 대한 설명도 포함되어 있다. 그리고 이러한 여러 유전 양상의 기본에는 멘델의 법칙이 위치하고 있음을 강조하고 있다.

대학에서는 모건의 유전학 실험을 통해 유전자가 염색체 상에 있음을 제시하고 이 염색체가 성염색체여서 반성유전의 특징을 설명한다. 유전자들이 염색체 상에 존재한다는 사실을 바탕으로, 특정한 두 유전자가 같은 염색체 상에 위치하는지의 여부를 판단할 수 있음을 설명하고 있다. 이는 동일한 염색체 상에 있는 유전자들의 순서 결정 방법까지 이어진다. 그리고 염색체의 수 또는 구조 이상, 유전자 이상 등에 대한 설명까지 더해지는데 이는 고등학교 생명과학 I 과 비슷한 내용이다. 대학에서는 이 단원을 통해 학생들이 유전자, 염색체, DNA에 대한 개념을 확실히 얻을 것을 기대하고 있다.

유전물질이 DNA임을 밝혀내는 과정, DNA를 이루는 재료인 뉴클레오티드의 구조와 이중나선 DNA의 발견과 구조, 유전자의 구조, DNA 복제 모델과 복제 과정 등의 순서로 배치된 개념과 내용 등은 모두 DNA와 유전자 개념을 이해하는 데에 도움이 된다.<sup>18)</sup> 이러한 배치는 고등학교나 대학에서 비슷하게 발견된다.

---

17) 이로 인해 특정 두 유전자의 관계에 대한 추론이 불가능하다. 즉, 염색체는 23가지인데 유전자는 약 21,000개여서 같은 염색체 상에 두 유전자가 위치할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있는 것에 대한 판단 근거가 제공되지 않는다는 뜻이다.

대학의 경우, DNA 복제가 정확해야 하며 그 정확성이 지켜지는 메카니즘이 부가되어 있다. 대학에서는 또한 유전자에 대한 이해를 돕고 유전체와의 연관성을 제시하기 위한 전제로 염색체의 구조를 DNA에 대한 설명에 이어 제시하였다.

유전자의 기능, 중심원리, 유전암호, 전사, 번역 등에 대한 설명도 고등학교와 대학 모두에서 비슷한 순서로 배열되어 있어 유전자형과 표현형이 연결되어 있음을 나타낸다. 다만 대학에서는 이 일련의 과정이 표현형이 형성되는 과정임에 초점을 맞춰 생명현상을 나타내는 기능 있는 단백질의 출현 과정에 대한 설명을 이어서 수행한다.<sup>19)</sup> 표현형의 중요함은 DNA의 유전정보가 잘못됨으로 인해 이후의 과정인 전사, 전사 후 변형, 번역 과정을 거쳐 돌연변이 단백질이 생길 수 있음을 첨가하는 것으로 다시 한번 강조되어 있다.

오페론을 중심으로 한 원핵생물의 유전자 발현, 여러 단계에서 일어나는 진핵생물의 복잡한 유전자 발현, 분화 과정과 혹스 등 발생 관련 유전자 등에 대한 소개가 포함된 것으로 유전자 발현의 실제적이 예인 세포분화 발생 등은 고등학교와 대학 모두에서 순서대로 설명되고 있다. 다만 대학에서는 암의 발생을 유전자 발현 조절의 관점에서 설명하고 있다.

---

18) 정도의 차이는 있지만 이러한 배치는 다음의 고등학교 생명과학II 교과서 모두에서 볼 수 있다. 권혁빈·김승수·김학현·손희도·이일규·정효철(2017), 『고등학교 생명과학II』, (주)교육사, 99~135쪽; 심규철·오상욱·화의욱·김미경·배미정·안성수(2017), 『고등학교 생명과학II』, 비상, 113~147쪽; 오현선·구항모·유해미·강희정·정종우·김대준(2017), 『고등학교 생명과학II』, 미래엔, 112~141쪽; 이준규·김재근·윤신선·최종훈·김선혜·정태실(2017), 『고등학교 생명과학II』, 천재교육, 102~141쪽; 전상학·권오민·김유섭·박기석·윤현조·이미화·이창호·임수진(2017), 『생명과학II』, 지학사, 104~140쪽.

19) 구체적으로 번역이 끝난 후 합성된 폴리펩티드가 기능이 있는 단백질로 전환되기까지의 과정과 단백질의 이동을 의미한다.

고등학교 생명과학 I 과 생명과학 II 는 필요한 개념을 일정한 체계 속에서 설명하여 학생들이 핵심 개념을 습득하는 데에 도움을 제공한다는 점은 틀림이 없는 것으로 보인다. 그런데 상대적으로 대학에서의 일반생물학은 많은 교재에서 볼 수 있듯이 개념의 흐름, 중심적인 개념의 강조, 관련된 구체적인 예의 제시 등의 체계적인 배열로 학생들이 개념을 이해하는 것은 물론 해당 개념의 의미를 이해하는 데에서 더 설득력을 나타내는 것으로 보인다.

### 2.3. 범위와 상세함의 차이

대학의 일반생물학은 유사분열에 대한 수업에서 방추사가 염색체 운반 이외에도 세포를 양 극쪽으로 밀어 세포분열이 더 잘 일어나게 하는 기능까지 설명한다(이하 <표 3> 참조). 또한 방추사는 방추사부착점에 부착한다는 점과 부착해서 세포의 양극으로 이동할 때의 매카니즘에 대한 실험을 소개하고 있다. 더불어 진핵세포의 종류에 따라 유사분열보다 단순한 양상의 분열 양상을 제시하였는데 이는 원핵세포의 이분법으로부터 현재의 유사분열에 이르기까지 있을 수 있는 중간 형태의 세포분열을 소개한 것으로 진화적 의미를 제시한다. 체세포분열의 조절에 대한 설명에서 대학에서는 실험과 함께 밀도 의존성 억제와 부착 의존성에 대한 실험을 상세히 소개하고 조절에 관여하는 분자들에 대한 설명을 하고 있다. 요컨대 유사분열 조절을 분자 수준에서 볼 것과 진화적 관점의 중요성을 제안한다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 내용들은 고등학교 생명과학 I 에서 발견할 수 없었다. 그 이유는 교과서들이 특정 개념 위주로 일정 정도 배타성을 띤(교육과정의) 성취기준을 중심으로 제작된 것이라는 점에서 유추해 볼 수 있다.

감수분열에 대한 대학에서의 수업은 유성생식을 하는 생물들의

특징인 다양한 생식주기 속에서 단세포와 다세포 개체의 출현, 체세포분열과 감수분열 등이 관여하는 단계와 그 의미를 제시한다. 감수분열과 체세포분열의 구체적인 단계별 차이점을 비교하면서 유전적 다양성의 근거를 제시한다. 이 중 가장 중요한 것은 제1 감수분열의 전기에 대한 것으로 왜 이 단계가 전체 감수분열 시간의 90%를 차지하는지 설명한다. 그리고 바로 이 시기에 상동염색체끼리 결합되어 있는 4분 염색체가 출현하고 교차가 일어남을 제시하여 감수분열의 의미를 다시 새기는 계기를 제공한다. 이는 고등학교 교과과정에서 교차를 다루지 않는 점과 크게 대비된다. 생물 교과에 교차 포함 여부를 판단할 때, 고등학교 과정에서 난이도 위주로 교과과정을 결정했다면<sup>20)</sup> 대학에서는 교차가 생물의 유전적 다양성이라는 중요한 개념의 이해에 필요한 내용인지의 여부로 포함 여부를 판단한 것이라 할 수 있다.

유전법칙에 대해서 일반생물학에서 매우 중요하게 설명하는 주제 중의 하나는 멘델이 유전법칙을 발견하기까지 구사하였던 과학적인 실험 방법이다. 정량적 데이터를 근거로 한 통계학적 접근, 원하는 형질을 가진 개체끼리의 교배 방법, 순종과 잡종의 구분을 위한 검정교배, 잡종 2대 또는 그 이후 여러 세대에 걸친 유전 형질의 추적, 한 가지보다 많은 형질의 잡종, 즉 양성 또는 삼성 잡종의 형성과 관찰 등이 해당한다. 일반생물학은 학생들에게 이와 같은 접근방법의 중요성과 함께 멘델이 우성과 열성을 결정하고 분리의 법칙을 만들어내기까지 수행한 논리적 추론 등을 강조하기도 한다. 대학에서는 또한 분리의 법칙은 유전을 확률의 관점을 볼 것은 주문한다. 이와 함께 우성의 종류와 우성

20) 이 이유가 아니라면 왜 감수분열에서 유전적 다양성이 생기는지를 이해하는데에 너무나 중요한 교차가 포함되지 않는지 설명할 수 없다.

형질이 나타나는 이유를 설명하고 유전 양상이 다양한 여러 유전 양상을 제시하지만 이들이 기본적으로 멘델의 유전법칙을 기초로 하고 있음을 설명한다. 그리고 본성과 양육에 대한 설명으로 유전자 결정주의적 사고가 비과학적임도 설명한다.

유전과 염색체에 대한 수업 내용을 보면 대학의 경우, 토마스 모건이 초파리를 사용한 유전학 실험 결과를 통해 유전자가 염색체 상에 있다는 사실을 밝혀내는 과정을 상세히 설명하여 과학적인 접근 방법을 소개하고 있다. 이러한 실험을 바탕으로 동일한 염색체 상에 존재하는 여러 유전자를 ‘연관’되었다고 하여 연관의 개념을 설명하였다. 더 나아가 동일한 염색체 상에 있는 유전자들의 순서를 정해 만든 연관지도의 개념도 소개하고 있다. 또한 유전체 각인과 미토콘드리아와 엽록체 등 세포소기관을 통해 유전되는 현상 등 멘델의 유전법칙으로 설명할 수 없는 예와 유전 양상을 제시하고 있다.

〈표 3〉 일반생물학에서만 발견되거나 상세하게 묘사된 내용 (1)

	주요 내용
유사분열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방추사의 기능</li> <li>• 방추사에 의한 염색체 이동 실험</li> <li>• 유사분열의 진화</li> <li>• 유사분열 조절 실험</li> </ul>
감수분열	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생식주기</li> <li>• 감수분열의 단계별 의미</li> <li>• 교차</li> </ul>
멘델의 유전법칙	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학적인 접근방법</li> <li>• 논리적 추론</li> <li>• 다양한 유전현상</li> <li>• 본성과 양육</li> </ul>
유전과 염색체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초파리 실험</li> <li>• 연관과 연관지도</li> <li>• 멘델 유전의 예외</li> </ul>

일반생물학에서 DNA에 대한 설명의 범위는 고등학교 생명과학Ⅱ와 대동소이하다(이하 <표 4> 참조). 다만 DNA가 유전물질임을 증명하는 실험 결과가 더 추가된 정도의 차이가 있다.<sup>21)</sup> 더 나아가 DNA 복제가 반보존적임을 증명하는 실험이 포함되어 있는데 많은 생명과학Ⅱ에서도 소개되어 있다. DNA 복제과정과 관련해서 작용 효소와 모델은 생명과학Ⅱ에 비해 비교적 상세히 설명되어 있고 DNA 손상과 교정 과정, DNA 말단이 짧아지는 과정 등도 포함되어 있다. 더불어 DNA가 여러 차례 응축되어 염색체가 형성되는 양상을 포함하기도 한다.<sup>22)</sup>

일반생물학에서 유전자 발현에 대한 설명은 전사와 번역에 대한 설명이 생명과학Ⅱ에 비해 전반적으로 상세하다. 예컨대 유전 암호에 따라 아미노산이 정확하게 순서대로 결합하여 단백질을 합성하게 되는 이유로 코돈과 안티코돈의 정확한 결합, 아미노아실 tRNA 합성효소의 역할 등이 소개되어 있다. 그리고 일반생물학에서는 원핵생물과 진핵생물의 유전자 발현 과정의 차이에 주목하여 진핵생물에서만 발견되는 전사 후 RNA 변형에 대한 설명을 포함한다.<sup>23)</sup>

유전자 발현 조절과 관련해서 일반생물학의 경우, 젓당 오페론에 관련하여 양성 유전자 조절에 대한 설명과 최종 산물에 의해 합성이 억제되는 트립토판 오페론에 대한 소개가 추가되어 이

21) 예컨대 어윈 사카프가 여러 생물들의 DNA 염기 비중을 알기 위한 실험 결과, 여러 생물에서 공통적으로 아데닌은 티민과 구아닌은 사이토신과 동일한 비율을 나타내 아데닌은 티민과 구아닌은 사이토신과 결합함을 나타냈다.

22) Campbell 외(2017)의 경우가 해당함. Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B.(2017), 전상학 외(역), *Biology* 11th ed, 『캠벨 생명과학』, 바이오사이언스, 332~4쪽.

23) 이 단계에 대한 이해가 전제되어야 생명공학에서 세균을 이용한 유용한 사람의 단백질 생산을 이해할 수 있다.

두 가지 오페론을 비교하였다.<sup>24)</sup> 원핵생물의 경우, 주로 전사 단계에서 유전자 발현 조절이 이루어지는 것과 마찬가지로 진핵생물의 경우도 주요하게는 전사 단계에서 조절되는 사실과 함께 복잡성으로 인해 진핵생물은 전사 외에도 여러 단계, 즉 RNA 가공, 번역, 단백질 가공과 분해 등의 여러 단계에서 조절이 일어나게 됨을 설명하고 있다. 이 설명은 유전자 발현 조절의 예로 발생과 암을 모두 소개하는 것까지 연결되어 있다. 게다가 일반생물학에서는 최신 연구결과를 수용하여 비번역 RNA에 대한 소개도 포함하였다.

〈표 4〉 일반생물학에서만 발견되거나 상세하게 묘사된 내용 (2)

	주요 내용
DNA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유전물질 증명 실험 추가</li> <li>• 복제 효소와 과정</li> <li>• DNA 말단 복제</li> <li>• 염색체 형성</li> </ul>
유전자의 발현	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전사와 번역의 설명</li> <li>• 아미노산 서열의 정확성</li> <li>• 전사 후 RNA 변형</li> </ul>
유전자 발현 조절	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 트립토판 오페론</li> <li>• 진핵생물의 다양한 조절 단계</li> <li>• 비번역 RNA</li> <li>• 유전 발현 조절의 예</li> </ul>

24) 이들에 대한 내용은 다음과 같은 저서에서 발견된다. Brooker, R., Widmaier, E., Graham, L., & Stiling, P.(2014), 최준호 외(역), *Biology* 3rd ed, 『브루커의 생명과학』, 홍릉과학출판사, 226~232쪽; Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B.(2017), 전상학 외(역), *Biology* 11th ed, 『캠벨 생명과학』, 바이오사이언스, 366~370쪽; Sadava, d., Hillis, D., Heller, C., & Berenbaum, M.(2012), 강해목 외(역), *Life, The Science of Biology* 9th ed, 『생명, 생물의 과학』, (주)라이프사이언스, 349~351쪽; Freeman, S., Quillin, K., Allison, L., Black, M., Podgowski, G., Taylor, E., & Carmichael, J.(2017), *Biological Science* 6th ed, Pearson, pp.413~420에는 트립토판 대신 아라 오페론이 소개되어 있다.

이상의 내용을 볼 때, 대학의 일반생물이 지닌 상대적인 장점 또는 특징은, 첫째, 동일한 개념을 설명하더라도 생명과학 I 또는 생명과학 II와 비교하여 넓고 깊은 범위를 포괄한다는 점이다. 두 번째로 비교되는 점은 일반생물학의 경우, 전반적으로 중요한 실험을 소개하고 관련된 개념을 소개하는 방식을 포함하는 과학적인 사고 배양을 위한 수업을 더 많이 요구한다. 세 번째로 난이도와 관계없이 전체적인 틀에서 필요한 개념을 해당 단원에 포함한다는 점이 다르다. 교차와 연관, 전사 후 RNA 변형 등이 그 예이다. 네 번째로 각 단원에서 포함된 개념과 관련하여 진화적 의미에 대한 설명을 포함하고 있다. 즉, 위에서 언급한 유사분열의 진화, 유전적 변이의 진화적 중요성은 물론 치명적인 유전병이 주로 열성인 이유, 대립유전자의 출현과 자연선택, 변형된 DNA의 진화적 의미, 유전암호의 통일성 진화, 비번역 RNA의 진화적 중요성 각각이 모든 단원에서 소개되고 있다. 다섯 번째로 비번역 RNA처럼 최신의 연구 성과를 포함하여 소개한다는 점이다. 마지막으로 본성과 양육처럼 생물학에 근거하여 논의될 수 있는 인문사회과학과 접점이 있는 이슈도 포함하고 있다.

고등학교 생명과학 I 과 생명과학 II도 몇 가지 장점을 지닌다. 우선, 대학입시와 관련성이 있긴 하지만 난이도를 조정함으로써 학생들의 생물학에 대한 접근을 용이하게 하였다. 다음으로 고등학교 수준에 맞는 과학적 사고능력 배양을 위해 많은 활동 내용을 포함하도록 한 점을 눈여겨 볼 필요가 있다. 또한 사람을 위주로 내용을 제시한 점도 장점으로 볼 수 있다. 이러한 장점들 덕분에 꽤 많은 학생들은 생물학에 대한 거부감이 감소했을 가능성이 있을 것으로 보인다.

### 3. 개념과 원리 이해하기-과학적 소양의 함양을 위하여

위에 서술한 차이에 근거하여 대학에서 활용할 수 있는 몇 가지 예를 다음과 같이 제시하고자 한다. 이 예들은 ‘생명의 연속성 또는 번식’이라는 생명의 매우 큰 특징을 이해하는 데에 유용한 것으로 과학적인 사고를 배양하는 데에 도움이 될 것이라 판단된다.<sup>25)</sup> 이 예를 서론에서 제시한 핵심역량과 관련지어 보면 다음과 같다.

#### 3.1. 모형제시 및 시뮬레이션 능력

체세포분열은 비교적 복잡한 과정을 거쳐 이루어지는 진핵생물의 세포의 수 증가를 의미한다. 다른 모든 생명 현상과 마찬가지로 체세포분열도 DNA에서 개체 수준에 이르는 여러 수준에서의 이해가 필요하다. 많은 예들, 즉, 모낭 세포의 증식에 의한 모발 생성, 비교적 작은 상처의 완벽한 치유, 암 증상 등이 개체 수준에서, 대장벽의 배변 후 복원, 자궁벽의 생리 후 복원 등은 기관 수준에서, 적혈구의 빠른 교체, 종양세포의 증식 등은 세포 수준에서 각각 체세포분열에 의해 생기는 현상이다.<sup>26)</sup> 체세포분열의 중요성이 단지 하나의 세포가 둘로 갈라지면서 유전 정보가 복제되어 전달되는 것이고 체세포분열의 조절까지 더해진다면 체세포분열에 대한 학습은 열거된 여러 내용들을 기억하는 것에

---

25) 이 예들이 전부가 아님은 당연하고 따라서 부가적으로 언급할 수 있는 내용은 얼마든지 있을 수 있다.

26) Phelan, J.(2013), 한규웅 외(역), *What Is Life?-A Guide to Biology* 2nd ed, 『생명과학-활용할 수 있는 지식』, 범문에듀케이션, 222~236쪽에서 관련된 구체적인 예를 다수 발견할 수 있다.

서 그칠 수도 있다. 그렇지만, 이처럼 생명현상이 여러 수준에서 관찰될 수 있음<sup>27)</sup>을 이 체세포분열을 통해 볼 수 있다면 생물학의 매우 중요한 대주제인 ‘번식’에 대한 이해에 한 발 더 다가가는 것이라 할 수 있다.

고등학교 과정에서는 체세포분열과 생식세포분열의 의미를 설명하고 있지만 유성생식을 하는 생물들의 전체 삶의 단계 속에서 어떤 위치를 차지하는지에 대한 설명은 없거나 명확하게 제시되지 않았다. 생물들은 단세포 수정란에서 다세포로의 발생과 성장 과정에서 체세포분열, 성장 이후 생식 능력을 얻게 된 후 생식세포를 만들기 위한 감수분열<sup>28)</sup> 등으로 이어지고 이 생식세포의 수정까지의 순환되는 구조를 나타낸다. 즉, 구체적으로는 우리 몸의 만들어지는 과정과 생식 능력이 생겨 정자와 난자를 만들고 자손을 얻는 단계를 포함하는 구조이다. 이를 생활사라 하는데 이 ‘생활사’는 생물의 번식과 생존을 같이 나타내기 때문에 우리 인간이 태어나서 성장하고 자손을 얻는 등 실제의 삶 전체를 생물학적으로 모형화하는 데에 도움을 제공한다. 이 생활사에서 학생들은 체세포분열과 생식세포분열이 차지하는 위치와 중요성, 반수체와 이배체의 출현과의 관련성, 단세포와 다세포 출현과의 관련성 등을 살펴볼 수 있어 여러 생물학 개념을 이해하는 데에도 도움이 된다.

---

27) 세포분열의 이상으로 인한 암의 증상과 치료를 여러 수준에서 설명한 예는 Mukherjee, S.(2010), 이환음(역), *The Emperor of All Maladies: A Biography of Cancer*, 『암: 만병의 황제의 역사』, 까치, 22~33쪽에서 발견할 수 있다.

28) 예를 들어, Stranger-Hall, K. F., Shockley, F. W., & Wilson, R. E.(2011), “Teaching Students How to Study: A Workshop on Information Processing and Self-Testing Helps Students Learn”, *CBE-Life Science Education* 10, pp.187~198에 따르면 대학의 일반생물학 수업에서 수행한 활동 비교연구에 이 주제가 활용되었는데 이는 ‘교차’ 개념이 주요한 관심 대상임을 반영한 것이라 할 수 있다.

### 3.2 과학적 추론과 양적 추론 능력

연관(linkage)이라는 개념은 유전자 사이의 관계는 물론 유전자와 염색체와의 관계를 이해하는 데에 핵심적이다.<sup>29)</sup> 사람의 경우, 2만여 개의 유전자가 23가지의 염색체에 위치해 있는데 같은 염색에 있는 유전자와 그렇지 않은 유전자들을 구분할 때 연관이 기준으로 작용한다. 멘델의 독립의 법칙을 이해하는 전제 조건의 성립과 관련하여 연관은 언급될 필요가 있다. 즉, 연관에 대한 이해는 세포분열에 따르는 유전자의 움직임을 염색체와 관련하여 이해하는 데에 필수적이다. 예컨대, 붉은 머리인 사람은 왜 주근깨를 갖고 있는지를 이해할 수 있다. 또한 왜 색맹과 혈우병은 아들들에게서 더 잘 발견되는지를 이해할 수 있게 되는 것이다. 그래서 고등학교의 반성 유전이라는 모호한 개념과 다르게 성연관 유전(sex-linked inheritance)이 성 결정에 관련된 염색체에 위치한 유전자들의 유전현상임을 명확하게 알 수 있게 된다.

고등학교와 대학 모두 많은 생물학 교재에서는 DNA가 유전물질임을 증명하는 두 가지 실험을 소개한다. 첫째는 세균의 형질 전환에 대한 실험이고 둘째는 바이러스의 증식에 필요한 물질이 무엇인지를 밝히는 실험이다. 이 실험에 따르면 세균은 다른 죽은 세균으로부터 얻은 DNA를 받아들여 자신의 유전적 특징이 변화하는 형질전환을 보여준다. 이 결론의 중요성에 비추어 보아 우리는 DNA에 의한 형질전환이 왜 DNA가 유전물질임을 증명하는 것인지 설명할 수 있어야 한다. 유전물질은 유전정보를 가

---

29) 감수분열과 유전을 이해하는 데에 이 개념은 매우 중요하다. Gil, S. G. R., Fradkin, M., & Castaneda-Sortibrán, A. N.(2019), "Conceptions of Meiosis: Misunderstanding among University Students and Errors", *Journal of Biological Education* 53, pp.191~204 참조.

지고 있어 생물의 생물학적 특징, 즉 표현형을 나타낸다. 유전자의 발현이 일어나는 것이다. 이 면에서 DNA가 유전물질임을 증명한 것이다. 그러나 이 점은 DNA가 자손에게 전달되어 번식을 이루는 점은 설명하지 못한다. 그래서 이러한 유전물질의 또 다른 번식이라는 의미에서 더 중요할 수 있는 특징에 대한 설명이 필요하다. 이 특징이 바로 바이러스의 증식이 일어나는 세균 내에서 DNA가 주입되었음을 보여주는 실험을 통해 드러났다. 이 특징이 DNA가 유전물질을 증명하는 데에 더 본질적이라 판단해서인지 일부 교재에서는 형질전환 실험은 소개하지 않으면서 바이러스 증식 실험만 소개하기도 한다. 요컨대 모두 중요하다고 간주하는 실험이 갖는 의미를 유전물질의 두 가지 측면을 이해하는 데에 이르지 못하면 표면적인 이해에 그칠 가능성이 있다. 유전물질이란 본래의 뜻인 자손에게로의 유전자 전달과 생명체에서 발현되는 생명현상을 위한 레시피<sup>30)</sup>를 의미한다. 즉, 유전자는 우리가 왜 부모를 닮고 부분적이지만 왜 각자 고유의 특징을 나타내는지에 대한 답을 제공할 수 있는 것이다.

전사와 번역에 대한 설명에서 고등학교 과정에서 RNA 가공을 간단히 언급하고 넘어간다. 그러나 RNA 가공은 진핵생물과 원핵생물의 유전자 구조를 아주 극적으로 나타내는 특징이다. 우선 DNA가 따로 핵이라는 막 구조 속에 있기 때문에 이로부터 합성되는 RNA는 번역을 위해서는 핵 밖으로 이동해야 한다. 그러려면 이 합성된 RNA에 변형이 가해져야 한다. 또한 이 합성된 RNA의 안정성을 일정 시간 유지하기 위해서도 화학적 변형이 일어나야 한다. 이외에도 유전자의 구조가 원핵생물과는 다른 근

---

30) DNA가 포함한 유전정보를 청사진으로 비유하기도 한다. 그러나 건축물의 청사진과는 특징이 다른 것 같다. 즉, DNA에는 단백질 또는 RNA 합성을 위한 암호는 물론 이 암호들을 조절하는 유전자 발현 정보도 포함하기 때문이다.

본적 차이가 있다는 점도 살펴보아야 한다. 즉 인트론이라는 단백질 합성의 암호로 사용되지 않은 염기서열 부위가 있는 점이다. 진핵세포의 경우, 이 인트론이 전사되어 RNA에 포함되면 필요한 단백질의 합성이 일어나지 않게 된다. 그러므로 합성된 RNA로부터 인트론 전사 부위를 제거하는 과정이 필요하다. 즉, RNA 가공이 일어나야 하는 것이다. 이 인트론 부위의 제거는 하나의 유전자를 이용하여 다양하게 일어날 수 있으므로 단백질 합성 과정, 즉 번역을 위해 최종적으로 준비된 mRNA를 여러 종류 만들 수 있다. 이로 인해 하나의 유전자로부터 여러 종류의 단백질이 만들어지게 되는 것이다. 사람의 유전자가 약 21,000개 인데 반해 단백질의 종류는 10만 정도인 이유는 바로 이 단계에서 설명된다. 이러한 사실들은 모두 RNA 가공이 왜 전사와 번역과 함께 비교적 비중 있게 설명되어야 하는지를 증명한다고 볼 수 있다. 대학의 생물학 수업에서 단순히 전사와 번역으로 유전자로부터 생물학적 기능을 나타내는 단백질이 합성된다는 중심 주제 이외에도 진핵생물의 유전자 발현을 제대로 이해하기 위해서는 RNA 가공에 대한 수업은 필수적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.<sup>31)</sup>

### 3.3 과학적 과정의 적용 능력

본 연구에서 다루는 단원과 관련해서 고등학교 교과서에서 발견할 수 없는 용어가 있는데 이는 교육부의 지침이기도 하다. 바로 ‘교차’이다.<sup>32)</sup> 왜 이 용어가 포함되지 않았는지는 잘 모르지만

---

31) McClean, P., Johnson, C., Rogers, R., Daniels, L., Reber, J., Slator, B. M., Terpstra, J., & White, A.(2005), “Molecular and Cellular Biology Animations: Development and Impact on Student Learning”, *Cell Biology Education* 4, pp.105~179.

적어도 이 개념을 알지 못하고 유전적 다양성을 이해하는 것을 비유하자면 우리 몸을 지탱하는 두 다리 중 하나를 못 쓰는 것이라 할 수 있다. 교차는 부와 모에서 유래한 상동염색체끼리 염색체를 일부를 교환하는 현상이다. 이를 통해 유성생식을 하는 생물들은 염색체의 재배열이라는 수단만큼이나 효과적인 수단을 보유하게 된 것이다. 유전적 다양성은 생물의 진화에서 자연선택의 재료를 제공하는 역할을 한다. 이 과정의 끊임없는 반복 결과, 현재의 생명체들이 출현하였고 앞으로도 그럴 것이다. 유전적 다양성은 중요해서 무성생식을 하는 생물들도 돌연변이 이외에 이 ‘교차’를 이용해서 유전적 다양성을 도모한다. 세균은 다른 세균 개체와 다른 종이라 하더라도 유전자를 교환할 수 있다. 흔히 접합, 즉 성선모를 통한 유전자의 교환이 일어난다. 그 결과, 예컨대 항생제 내성이 없던 세균이 항생제 내성 유전자를 얻게 되는 것이다. 따라서 고등학교 과정을 마친 사람들은 따로 공부할 기회가 없는 한 왜 병원성 세균에 의한 질병에 항생제가 효과적이지 않을 수 있는지를 이해할 수 없게 된다. 대학에서의 교육은 이러한 문제점을 극복해야 한다. 난이도의 고저와 상관없이 이 경우, 유전적 다양성의 생성이라는 원리 이해에 필요하다면 교차를 포함해서 설명을 전개해야 한다.

- 
- 32) 교차는 감수분열과 감수분열을 통한 유전적 다양성의 생성을 이해하는 데에 중요하지만 어려운 개념이다. 이에 대한 논문은 많은데 Newman, D. L., Catavero, C., & Wright, L. K.(2012), "Students fail to transfer Knowledge of Chromosome Structure to Topics Pertaining to Cell Division", *CBE-Life Science Education* 11, pp.425~436과 Wright, L. K., Catavero, C. M., & Newman, D. L.(2017), "The DNA Triangle and Its Application to Learning Meiosis", *CBE-Life Sciences Education* 16, pp.1~14 등의 논문에서 잘 정리된 내용을 발견할 수 있다.

### 3.4 생물학의 다학제적 성격의 이해: 철학과 화학

‘교차’에 대한 이해는 생물학의 다학제적 성격을 나타내는 데에 꽤 유용하다. 예컨대 융합-창의교육론이란 제목의 글은 지적 융합과 창조적 문화융합의 기초에 대하여 설명하였다.<sup>33)</sup> 이 글에서 서양철학은 과거에 자기 동일성에서 출발한 존재자의 통일적 파악이 주류였으나 현대에 이르러 동일성보다는 ‘차이’를 더 근원적으로 보기 시작했다고 서술되어 있다. 저자는 이 ‘차이’를 설명하는 데에 무기적 사물보다 유기적 생명체가 더 적합하다고 하였고 그중에서 유성생식을 하는 생물의 번식을 제시하였다. 이어서 유전자 다양성, 종 다양성, 생태계 다양성을 예시하였다. 이 중에서 ‘교차’는 ‘유전자 다양성’에 직접적으로 관련되어 있고 더 나아가 ‘종 다양성’에도 일정 정도 관여한다고 볼 수 있다.

DNA 중합효소가 DNA를 복제할 때 이미 존재하는 뉴클레오티드 오탄당의 3' 탄소에 새로운 뉴클레오티드를 결합시키는 메카니즘을 중요하게 설명하는 것은 의미가 크다.<sup>34)</sup> 이 메카니즘은 왜 DNA 복제에 프라이머가 필요한지 그리고 왜 5'→3' 방향으로 DNA가 합성되는지를 설명할 수 있다. 이를 토대로 DNA 복제 과정에서 왜 선도가닥(leading strand)과 지체가닥(lagging strand)이 생기는지, 왜 이중 나선을 이루는 두 가닥의 뉴클레오티드가 반대로 5'→3' 방향을 이루어 결합하였는지, 진핵세포의 염색체는 왜 복제를 거듭할수록 말단소체가 짧아지는지 등은 이 메카니즘으로 설명될 수 있다. 따라서 DNA 중합효소의 작용 메카니즘을

33) 손동현(2019), 『대학교양 교육론』, 철학과 현실사, 115~124쪽 참조.

34) 이에 대한 이해는 바이오테크놀로지와 유전체학 이해의 기본이다. Kirkpatrick, G., Orvis, K., & Pitterndrigh, B.(2010), “A Teaching Model for Biotechnology and Genomics Education”, *Journal of Biological Education* 37, pp.31~5 참조.

이해하지 못하면 외워야 할 것이 많은 것이 'DNA 복제 과정이다. 또한 이러한 과정은 본질적으로 화학적 과정과 관련이 있어 다학제적 접근에 대한 힌트로 얻을 수 있다.

DNA와 RNA의 구조의 차이를 설명할 수 있는 사소한 것일 수 있으나 화학적으로 의미가 클 수 있는 원인은 이들의 뉴클레오타이드를 구성하는 5탄당 구조의 차이이다. 아주 정확하게 지적하자면 5탄당의 2번 탄소에 -OH가 결합 되어 있는지 또는 -H가 붙어있는지의 차이이다. 이 차이는 산소 원자 하나의 차이이다. 즉, 산소가 있으면 RNA, 없으면 DNA를 구성하는 것이다. 또 다른 점은 RNA는 DNA와 달리 티민 대신 유라실이라는 염기를 갖는 점인데 이는 DNA와 RNA의 구조적 차이를 근본적으로 설명하지 못한다. 5탄당에 산소가 없는 DNA는 사람의 1번 염색체처럼 약 2억4천7백만 개의 염기로 구성된 것과 같은 매우 긴 두 가닥이 결합된 이중나선 구조를 만들 수 있다. 이에 반해 RNA는 대개 몇 백 개 정도의 염기로 구성된 정도의 크기로 한 가닥으로 구성되어 있고 분자 내에서 부분적으로 이중나선이 형성된다. 결국, DNA는 유전정보를 저장하는 거대한 저장고가 될 수 있었고 RNA는 작은 분자로서 DNA의 유전정보를 리보솜에 전달하거나 아미노산을 운반하는 기능은 물론 분자내의 결합으로 인해 다양한 3차원 구조를 만들 수 있어 단백질 합성(rRNA), mRNA의 인트론 부위 제거 등의 효소와 같은 기능을 수행한다. 이러한 많은 차이는 산소 유무의 차이가 의미하는 것으로 볼 수 있다.<sup>35)</sup> 이와 관련해서 산소는 전자를 끌어당기는 힘이 강한 원소로 반응성이

---

35) DNA의 이중나선 구조를 밝힌 제임스 왓슨은 이 산소의 중요성에 대해서 언급하였다. Watson, J. D., Berry, A., & Davies, K.(2017), 이한음(역), *DNA: The Story of the Genetic Revolution, Newly Revised and Updated*, 『DNA 유전자 혁명 이야기』, 까치, 118~121쪽 참조.

크다는 점에 주목해 볼 필요가 있다. 즉, 생물학의 여러 특징을  
파헤치다 보면 궁극적으로 화학적 성질에 다다른 다학제적 성  
격을 마주하게 된다.

#### 4. 대학 교양으로서 생명의 연속성(번식) 영역의 생물 학 교육에서 유의할 점: 내용을 중심으로

본 논문의 내용은 거의 대부분 보편적인 생물을 대상으로 하는  
생물학에 대한 것들이다. 그러나 인문사회계 학생들을 포함한 많  
은 학생들은 우리 인간(과 사회)에 대한 관심이 클 수밖에 없다.  
그래서 특히 교양으로서의 일반생물학 교육은 이 점을 염두에  
두어야 한다. 또한 인간을 대상으로 하는 학문인 많은 인문학과  
사회과학의 발전으로 생겨 난 인간에 대한 이해가 과학, 특히 생  
물학과는 동떨어진 것으로 보는 경향에도 주의를 기울여야 한다.  
그래서, 예컨대 부모와 자식의 관계, 역사 속의 유전병<sup>36)</sup>, 남녀의  
사랑, 근친상간의 금지 등과 같은 인간의 특징을 제시하고 이를  
이해하는 데에 생물학의 (이 경우, 번식의 이해에 대한) 역할이 분명  
히 존재하고 그 비중도 그리 작지 않음을 제시하는 것이 필요하  
다. 즉, 인문사회계 학생들을 대상으로 일반생물학 수업을 진행  
할 때 인간에 대한 이해에 생물학이 필요한 이유를 구체적인 예  
와 함께 이해시키는 단계가 필요하다. 그리고 이어서 다양한 생  
물과의 관련성, 즉, 이 연구의 주제인 번식의 경우도 다른 생물과  
의 유사성을 제시하여 생물에 대한 이해가 필요함을 인식시키려

---

36) 영국의 빅토리아 왕조에서 러시아 로마노프 황제까지 이어지는 혈우병을 예로  
들 수 있다.

는 시도를 해야 한다. 그러면 인간도 생물의 보편적 특징을 갖고 있음을 이해하는 데까지 학생들을 인도할 수 있다. 이를 전제로 한다면 생물학을 제대로 교육하기 위해 필요한 개념의 이해, 실험을 통한 접근, 핵심역량 배양, 진화 원리 등에 대해 다음의 제안이 효과를 발휘할 것으로 판단된다.

과학을 암기한다는 것은 너무도 상식에서 벗어나는 일이지 만<sup>37)</sup> 우리나라 대학생들에게서는 쉽게 발견되는 현상이기도 하다. 생물학의 경우는 더 심각할 것으로 판단되는데 고등학교 생명과학 I 과 생명과학 II의 구성이 대학의 경우와 근본적으로 다르지 않을뿐더러 과학적 사고 함양을 위한 많은 장치를 포함하고 있음에도 불구하고 많은 대학생들은 생물학을 외우는 학문쯤으로 간주한다.<sup>38)</sup> 분명히도 물리, 화학 등의 학문과 마찬가지로 생물학도 분명히 외우는 과목이 아니다. 그래서 이 점을 학생들로 하여금 알게 하는 것이 대학에서의 생물학 교육에서 우선적인 수업 목표로 정해야 할 것으로 판단된다. 물론 중요한 내용은 기억해야 하겠지만 학생들은 물론 교강사들도 생물학은 수많은 개념의 이해를 요구하는 학문이라는 점을 잊지 않아야 한다. 대학에서 교양으로서 생물학 교육의 목적이 과학적 사고를 배양이라면 암기 과목이라는 인식을 불식시키는 것이 의미 있는 출발점으로 삼아야 할 것으로 보인다. 따라서 ‘생명의 연속성’ 또는 ‘번식’ 영역의 경우도, 세포분열의 과정, 멘델의 유전법칙, 유전자 발현 등과 관련된 많은 개념들의 이해를 위해 각 개념이 갖는 내용과

---

37) 이는 대학입시에 의한 것이라고 볼 수 있다. 최종근·유영제(2003), 「대학입시와 과학교육」, 『News & Information for Chemical Engineers』 21, 220~7쪽을 포함한 여러 연구 결과를 참고할 수 있다.

38) 장수철·신주옥(2016), 「일반생물학 수업에서 첫 번째 단원(Introductory chapter)이 제시하는 주제의 중요성」, 『교양교육연구』 10, 463~83쪽.

의미는 물론 다른 개념과의 정합성을 고려한 수업이 준비되어야 한다.

생물학을 수강함으로써 학생들은 과학적 사고력을 배양할 수 있어야 한다. 과학적 사고력을 배양하는 데에 가장 중요하고도 필수적인 것이 실험이다. 모든 과학과 마찬가지로 생물학도 수업이 많은 실험의 결과가 축적되어서 구축된 학문이고 앞으로 더 발전하게 되는 것이다. 고등학교 교과 과정에서 많은 활동과 실험을 포함하는 이유도 바로 여기에 있다. 미국의 경우, 대부분의 대학에서 실험을 포함하는 과학 교과목 하나 이상을 수강할 것을 학생들에게 요구하는 사실<sup>39)</sup>도 이와 관련된 것이다. 우리나라 대학의 여건을 감안해 볼 때, 전공기초 성격의 교과목이 아닌 과학 교과목 수업에 실험이 포함되는 예는 거의 없다. 이에 대해서는 중장기적으로 실험 포함 교과목을 개설하는 방향으로 수업을 설계해야 할 것이다. 그러나 그 전에 생물학 수업에서 할 수 있는 일이 있을 것으로 보인다. 수업 내용에 예를 들어, 세포분열의 조절 실험, 멘델이 실험을 통해 유전법칙을 밝혀내는 과정, 유전 물질이 DNA임을 증명하는 실험, 세균의 유전자 발현 조절 실험 등을 포함시킨다면 학생들이 직접 실험을 하지 못하더라도 생물학 개념에 대한 이해에 과학적인 사고를 동원하게 될 것이라 판단된다. 입시 준비로 인해 많은 고등학교에서 제대로 실험을 하지 못하는 상황을 감안한다면 이러한 수업 내용의 중요성은 더 큰 것으로 보인다.<sup>40)</sup>

---

39) 김지현·신의향(2017), 『대학의 학부교육-세계 대학의 우수 사례』, 교육과학사, 19~93쪽에서 발견할 수 있다.

40) 2020년 현재 코로나 팬데믹 상황에서 많은 대학들은 실험에 대한 온라인 콘텐츠를 제작하여 활용하고 있다. 이렇게 준비된 콘텐츠는 생물학 비전공 학생들을 대상으로 한 교양 생물 교과목에도 사용될 수 있을지에 대한 논의가 필요하다.

앞에서 기술한 4가지의 핵심역량과 관련하여 제시된 내용들은 교강사들의 노력에 의해 얼마든지 정리, 생산할 수 있는 예들 중의 일부이다. 이러한 예들을 잘 활용하는 것이 대학에서의 교양으로서 생물학 수업을 수행하는 데에 큰 도움이 될 것이라 판단된다. 이러한 내용들은 교강사들의 노력으로 얼마든지 더 개발되어 사용될 수 있을 것이다. 그런데 본 연구에서 제시한 것처럼 학생들이 배양해야 할 핵심역량과의 관련성을 숙고하여 교과목을 준비하는 것이 중요하다고 판단된다. 이들은 활용 정도에 따라 생물의 연속성 또는 번식에 대한 학생들의 이해에 깊이와 폭을 더할 수 있을 것으로 예상된다. 더불어 대학의 교재들이 제시하는 개념들의 배열, 중요도와 상세함의 차이 등에 주목해서 수업 내용을 준비한다면 학생들은 숲과 나무를 모두 볼 수 있을 것으로 보인다.

또 유의할 점은 생명의 연속성과 번식과 관련된 주제 또는 개념들이 『Vision and Change』에서 제시한 생물학의 5가지 핵심 개념<sup>41)</sup> 중 대부분과 관련이 크다는 점이다. 우선, 다음 단락에서 설명되겠지만, 각 단원마다 관련되어 설명되는 ‘진화’이다. 두 번째는 ‘구조와 기능’에 관련된 것이다. 세포분열의 종류에 따른 염색체의 움직임과 세포들의 변화, 염색체, 유전자, 유전체, DNA 등의 정의와 관계에 대한 이해, 유전자 발현의 조절 등이 관련되어 설명될 수 있다. 세 번째는 ‘정보의 흐름, 교환, 저장’이다. 생명의 연속성과 번식은 물론 생물학 전체에서 유전정보의 흐름의 매우 중요한 의미를 갖는다. 특히 이 주제와 관련하여 생물학 수업에서는 유전정보의 기능에 따른 유전정보의 흐름과 저장 과정은 부모

---

41) American Association for the Advancement of Science(2011), *Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action*, Brew CA and Smith D eds, pp.12~3에서 상세한 설명을 볼 수 있다.

에서 자손으로 전달되는 경로와 유전정보가 각 개체에서 생물학적 특징을 나타내는 것까지 연결되는 경로 등 두 가지의 시각을 제시하여야 한다. 네 번째는 생물계의 ‘시스템’을 이해하는 것이다. 학생들은 세포분열 자체와 관련된 생물학적 현상, 유전자와 유전현상 등과 같이 유전자, 세포, 개체 등 여러 수준에서 생명현상을 이해할 수 있게 될 것이다. 여러 수준에서의 생명의 연속성과 번식을 이해함으로써 학생들은 생명의 본질은 물론 생명현상을 체계적으로 이해하는 데에 도움을 얻을 수 있을 것이다.

대학의 교양으로서 생물학 수업에 역시 필수적인 것은 대주제인 진화론적 시각 제공하는 것이다. 당연하게도, 대학에서 사용하는 교재에는 각 단원별로 해당 내용의 진화적 의의를 제시하고 있어 이를 충분히 활용할 수 있다.<sup>42)</sup> 예를 들어, 이분법과 체세포분열의 중간 형태를 소개하여 체세포분열의 복잡한 과정의 출현에 대한 추론 가능성, 감수분열에 의한 자손의 유전적 다양성 확보, 겸형 혈구증 등 유전병 유전자가 현재까지 전달될 수 있었던 진화적 이점, 뉴클레오티드의 변형(=돌연변이)의 의미, 모든 생물이 나타내는 유전자를 암호화하는 동일한 방식에 근거한 단일 공통조상의 존재 가능성, 비번역 RNA에 의한 유전자 발현 조절의 의미 등이 해당한다.

## 5. 결론에 대신하여: 교양으로서 일반생물학 수업 준비

지금까지의 논의가 중요한 의미를 갖는다 하더라도 현실적으

---

42) 이는 이 논문에서 인용한 Brooker 외(2014); Campbell 외(2017); Freeman 외(2017); Phelan(2012); Savada 외(2013)의 모든 저서의 대부분의 단원에서 발견할 수 있다.

로 교육현장에서 교강사들이 의미 있는 시도를 하는 것이 필요하다. 그러한 시도로 다음을 제시할 수 있다. 첫째, 다른 과학 교과목도 마찬가지이지만, 아무리 어려운 개념이라도 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 교강사들이 노력하는 것이 중요하다. 특히 대부분의 교양교과목처럼 생물학 비전공자들을 대상으로 하는 교과목의 경우에는 더욱 그러하다. 그러나 이는 쉽지 않은 개념은 빼도 된다는 의미는 아니다. 앞에서 언급했던 연관, 교차, RNA 가공 등 고등학교 교과과정에서 다루지 않았던 개념들은 학생들에게 이해하기 어려울 수 있지만 이들은 주요 개념의 의미와 특정 개념이 지니는 전체적인 구도 속에서의 비중을 이해하는 데에 매우 중요하다. 따라서 대학의 교양 교과목이라면 이 개념들을 학생들이 어떻게 이해할 수 있게 해야 하는지를 고민하고 이에 대한 준비를 해야 한다.

둘째, 이와 연결된 것으로 교양으로서 생물학 수업은 역량 배양을 위한 실질적이면서 진지한 고민과 준비를 해야 한다. 역량 배양을 위한 교과 내용과 수업 방식을 준비할 때 교양 교과목이라 해서 이러한 측면을 경시해도 된다는 언급은 어디에도 없다. 따라서 앞에서 구체적인 예와 함께 제시한 내용을 비롯한 다양한 준비를 통해 ‘번식’과 관련하여 4가지 역량을 배양할 수 있고 그 결과 학생들의 과학적인 사고를 배양하는 데에 도움을 줄 수 있는 수업을 수행할 수 있어야 한다. 이러한 준비 과정에서 필수적으로 고려해야 할 점은 가능하다면 생물학 비전공 학생들을 고려한 난이도 조절이다. 이는 고등학교 생명과학 I 과 생명과학 II 에서 시도한 예를 참고할 필요가 있다.<sup>43)</sup> 이러한 수업이 진행된다

---

43) 그러나 다시 강조할 점은 학생들이 이해하기 쉽지 않은 개념을 생략하는 것이 허용되지 않아야 한다는 점이다.

면 학생들은 과학적인 접근방법에 친근해지고 생물학의 주요 주제에 대한 이해가 높아질 것이라 기대할 수 있다.

셋째, 인문학적 감수성, 더 나아가 사회적 맥락에서 생물학 개념을 바라볼 수 있도록 학생들에게 도움을 제공하는 시도가 필요하다. 이는 이러한 전공을 공부하는, 즉, 생물학 비전공자들을 위한 전략적 교육 방법의 고안을 요구하는 것이다. 그래서 생물학 수업에 인간을 중심으로 하여<sup>44)</sup> 생물학 개념을 이해하도록 내용을 배치한 고등학교 교과과정의 시도는<sup>45)</sup> 대학에서도 비전공학생들을 대상으로 한 교과목에서 유용할 수 있다. 그리고 일상 속에서 접할 수 있는 여러 예들로 학생들이 수업의 유용성을 느끼는 데에 도움을 주는 시도도 필요할 것이다. 더 나아가 성과 관련하여 문학·예술과 접점을 찾거나 역사적 사건 속에서 생물학의 관련성을 찾아 ‘생물학 이야기’를 구성하는 것도 의미가 큰 성과를 낼 것으로 판단된다.<sup>46)</sup>

---

44) 허말기, 콧볼, 보조개, 주근깨 등 사람의 유전현상, 인간의 유전병, 세균성 질병과 구체적인 항생제 사용과 남용, 사람의 유전체 사업 등을 예시할 수 있다.

45) 그러나 인간을 중심으로 논의하는 것은 오히려 과학적 상상력을 위축시키며, 생태계에서 인간의 위치를 잘 이해할 수 없게 만들 위험성이 있다. 따라서 교강사들은 우선 학생들이 인간이 수많은 생물 중 중의 일반적인 하나의 종임을 잊지 않도록 주의해야 한다. 그러면서 다른 한편 인간은 생물학의 규명을 넘어서는 특별한 존재임을 강조해야 한다. 여기에서 생물학과 인문학, 사회과학의 관련성을 제시할 수 있다.

46) 요즈음의 경우, 번식과 직접적인 관계는 없지만 다른 주제의 경우, 코로나와 관련하여 수업 내용을 재정리해 보면 핵심개념의 전달에 많은 효과가 있을 것이다.

## 참고문헌

- 교육부(2015), 『과학과 교육과정』, 교육부 고시 제2015-74호(별책 9).
- 권혁빈·김승수·김학현·손희도·이일규·정효철(2017), 『고등학교 생명과학 I』, (주)교학사.
- 권혁빈·김승수·김학현·손희도·이일규·정효철(2017), 『고등학교 생명과학 II』, (주)교학사.
- 김윤택·임혁·오문창·이태원·문경원(2017), 『고등학교 생명과학 I』, 동아출판.
- 김지현·신의항(2017), 『대학의 학부교육-세계 대학의 우수 사례』, 교육과학사.
- 손동현(2019), 『대학교양 교육론』, 철학과 현실사.
- 심규철·오상욱·화의욱·김미경·배미정·안성수(2017), 『고등학교 생명과학 I』, 비상.
- 심규철·오상욱·화의욱·김미경·배미정·안성수(2017), 『고등학교 생명과학 II』, 비상.
- 심재호·장수철·김정석·윤용근·조현재·최승규(2017), 『고등학교 생명과학 I』, 금성출판사.
- 오현선·구항모·유해미·강희정·정종우·김대준(2017), 『고등학교 생명과학 I』, 미래엔.
- 오현선·구항모·유해미·강희정·정종우·김대준(2017), 『고등학교 생명과학 II』, 미래엔.
- 이용철·윤소영·박미아·문태주(2017), 『고등학교 생명과학 I』, 와이비엠.
- 이준규·김재근·윤신선·최종훈·김선혜·정태실(2017), 『고등학교 생명과학 I』, 천재교육.

- 이준규·김재근·윤신선·최종훈·김선혜·정태실(2017), 『고등학교 생명 과학II』, 천재교육.
- 장수철·신주옥(2016), 「일반생물학 수업에서 첫 번째 단원(Introductory chapter)이 제시하는 주제의 중요성」, 『교양교육연구』 10
- 전상학·권오민·김유섭·박기석·윤현조·이미화·이창호·임수진(2017), 『생명과학 I』, 지학사.
- 전상학·권오민·김유섭·박기석·윤현조·이미화·이창호·임수진(2017), 『생명과학 II』, 지학사.
- 최종근·유영재(2003), 「대학입시와 과학교육」, 『News & Information for Chemical Engineers』 21.
- American Association for the Advancement of Science(2011), *Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action*, Brew CA and Smith D eds.
- Brooker, R., Widmaier, E., Graham, L., & Stiling, P.(2014), 최준호 외 (역), *Biology* 3rd ed, 『브루커의 생명과학』, 홍릉과학출판사.
- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B.(2017), 전상학 외(역), *Biology* 11th ed, 『캠벨 생명과학』, 바이오사이언스.
- Freeman, S., Quillin, K., Allison, L., Black, M., Podgowski, G., Taylor, E., & Carmichael, J.(2017), *Biological Science* 6th ed, Pearson.
- Gil, S. G. R., Fradkin, M., & Castaneda-Sortibrán, A. N.(2019), “Conceptions of Meiosis: Misunderstanding among University Students and Errors”, *Journal of Biological Education* 53.
- Kirkpatrick, G., Orvis, K., & Pitterndrigh, B.(2010), “A Teaching Model for Biotechnology and Genomics Education”, *Journal of Biological Education* 37.
- McClellan, P., Johnson, C., Rogers, R., Daniels, L., Reber, J., Slator, B.

- M., Terpstra, J., & White, A.(2005), “Molecular and Cellular Biology Animations: Development and Impact on Student Learning”, *Cell Biology Education* 4.
- Mukherjee, S.(2010), 이한음(역), *The Emperor of All Maladies: A Biography of Cancer*, 『암: 만병의 황제의 역사』, 까치.
- Newman, D. L., Catavero, C., & Wright, L. K.(2012), “Students fail to transfer Knowledge of Chromosome Structure to Topics Pertaining to Cell Division”, *CBE-Life Science Education* 11.
- Phelan, J.(2013), 한규웅 외(역), *What Is Life?—A Guide to Biology* 2nd ed, 『생명과학-활용할 수 있는 지식』, 범문에듀케이션.
- Sadava, d., Hillis, D., Heller, C., & Berenbaum, M.(2012), 강해묵 외(역), *Life, The Science of Biology* 9th ed, 『생명, 생물의 과학』, 쥘라이프 사이언스.
- Stranger-Hall, K. F., Shockley, F. W., & Wilson, R. E.(2011), “Teaching Students How to Study: A Workshop on Information Processing and Self-Testing Helps Students Learn”, *CBE-Life Science Education* 10.
- Watson, J. D., Berry, A., & Davies, K.(2017), 이한음(역), *DNA: The Story of the Genetic Revolution, Newly Revised and Updated*, 『DNA 유전자 혁명 이야기』, 까치.
- Wright, L. K., Catavero, C. M., & Newman, D. L.(2017), “The DNA Triangle and Its Application to Learning Meiosis”, *CBE-Life Sciences Education* 16.

## **Abstract**

### Several Suggestions for Teaching of Reproduction in General Biology as A University Liberal Education Curriculum Based on Analyses of Corresponding High School curricula

Yun, Hye Sup·Chang, Soo Chul

Key words: core competency, core concepts, general biology, reproduction, scientific reasoning,

Recently, importance of biology has increased, so does attention on biology education. In the book called 『Vision and Change』 published by AAAS, six core competencies of biology were suggested. The Ministry of Education also has suggested five core competencies of all science curricula including biology at Korean high school. Referring these competencies we compared contents of general biology curricula between university and high school. In this study, we chose a big feature of life, reproduction, as an object of the research. Between the two curricular of high school and university, key concepts and number of concepts included showed no big difference. In contrast, arrangement of key concepts and points emphasized are more coherent in university curriculum. In addition, connectivity of key concepts is high in the

curriculum. As a result, university curriculum seems to be more helpful for students in understanding meaning and significance of concepts. Also (it is understandable that) range and depth of university biology curriculum are more than that of high school. Due to these differences, students at universities are likely to be advantageous in developments of scientific competences such as experimental mind and evolutionary perspective. Taken together, these differences found in chapters on reproduction seem to enable students in universities to develop ability to use modeling and simulation, ability to use scientific reasoning including quantitative reasoning, ability to apply the process of science, and ability to tap into the interdisciplinary nature of science more easily. Using these results, it is also anticipated that university instructors can use these advantages in raising students' understanding of core concepts such as evolution, structure and function, information flow and exchange, and systems in relation to 'reproduction of living things'.

이 논문은 2020년 9월 18일까지 투고 완료되어 2020년 9월 22일부터 2020년 10월 20일까지 심사위원이 심사하고 2020년 10월 23일 심사위원 및 편집위원 회의에서 게재 결정된 논문임.