

초·중등학교의 세포, 유전 영역에서 지도해야 할 개념에 대한 중등 생물 교사의 인식 조사

정재훈* · 윤정주¹ · 손종경 · 이태상² · 김영신

경북대학교 · ¹구미중학교 · ²상지대학교

A Study on the Recognition about Cell and Gene Domain to be Taught in Elementary, Secondary Schools by Secondary Biology Teacher

Jae-Hoon Jeong* · Jung-Ju Yoon¹ · Jong-Kyung Son · Tae-Sang Lee² · Youngshin Kim

Kyungpook National University · ¹Gumi Middle School · ²Sangji University

Abstract: The purpose of this study is to confirm secondary biology teachers' recognition about cell and gene concepts that should be taught in biology according to each school level and to classify the concepts into essential, optional and non-essential ones. We developed a questionnaire in consultation with 5 biology professors after selecting some biological concepts from some data about the recommendations of BSCS, biology, study for the connection with biological contents in each school level. This survey was conducted to biological teachers in secondary schools (146 individuals) from all over Korea for studying the concepts of the cell and gene in elementary and secondary schools. The results of this study revealed the following: The number of essential concepts in the cell and gene domain increases as the school levels go up. Moreover, secondary biology teacher recognized that there must be much more cell and gene concepts that should be taught in elementary and secondary schools compared to those suggested in the science curriculum and BSCS' recommendation.

Key words: biological concept, cell, gene, essential concepts

I. 연구의 필요성 및 목적

과학적 소양은 자연 현상을 다양하게 체험하고 기초적인 과학 사실과 개념 및 과학 과정 능력과 과학의 본성을 이해하여 실생활에 맞게 적용 및 활용하는 것이다(Murcia, 2009; Schroeder *et al.*, 2009). 이러한 과학적 소양 교육을 통하여 올바른 의사결정 과정을 가지는 시민 육성에 큰 도움이 되기 때문에(Murcia, 2009) 우리나라를 포함한 세계 많은 나라의 과학 교육 과정에서 과학적 소양 교육을 강조하고 있다(이명제, 2009; 신동희, 노국향, 2002; AAAS, 2006; Meichtry, 1993; Oliver *et al.*, 2001).

OECD 국가간의 읽기, 수학, 과학적 소양, 문제해결력을 평가하는 PISA에서 우리나라는 해를 거듭할수록 학생들의 과학 흥미도와 태도가 점점 하락하고 있으며 과학적 지식을 실생활에 맞게 활용할 수 있는 과학적 소양이 부족한 것으로 나타났다(김지영,

2008; 이미경 등, 2007). 과학적 소양의 하락에 대한 대책의 하나로 우리나라 과학과 교육과정에 제시된 과학 지식 및 개념들의 수준과 범위가 학교급별로 학생들의 발달 수준에 맞게 구성되어 있는지 과학 교육 구성원들간의 진지한 논의와 검토가 필요한 시점이다(강연경, 송방호, 2008; 이미경, 정은영, 2008). 즉 학생들의 인지 발달 수준에 맞는 교육과정 내용이 학교급별로 바르게 연계되어야 보다 효과적이고 성공적인 학습을 이끌어 낼 수 있다(김현아 등, 2006; 국동식, 김학만, 2004). 따라서 교육과정에 제시된 내용을 풀어서 전달하는 교사의 인식과 역할이 무엇보다도 중요하기에(이학동 등, 1996; Weiss *et al.*, 2003), 학교급별로 가르쳐야 하는 지식 및 개념에 대한 교사들의 인식을 먼저 조사할 필요가 있다.

특히 PISA 2006 에서 우리나라 과학 영역의 성취 하락의 큰 원인중 하나가 생물계 문항의 점수 하락으로 판단되기에(김지영, 2008; 이미경 등, 2007) 생물

*교신저자: 정재훈(clebig@hanmail.net)

**2010.04.15(접수) 2010.05.10(1심통과) 2010.06.01(2심통과) 2010.06.07(최종통과)

개념에 대한 학생들의 올바른 지도가 필요하다. 생물 개념들을 학생의 발달 수준에 맞게 지도하기 위해서는 개념들의 학습 위계를 뚜렷이 하여 개념들 간의 적절한 연계 지도가 있어야 할 것이다(김영신 등, 2009a; 김현아, 2006; 신영준, 2004; 송순희 등, 1991; AAAS, 2001; 2006; BSCS, 1995). 그러므로 생물 개념들 간의 올바른 연계성 지도를 위한 생물 교육 구성원들간의 합의가 이루어지는 것이 무엇보다도 중요하다(김영신, 2009a, 2009b; 여성희, 1999).

BSCS(1995)에서는 생물학적 소양 함양과 생물 개념의 연계성 지도를 위해 중등학교, 대학교에서 지도해야 할 생물 개념을 수업시간에 반드시 지도해야 할 개념은 필수 개념(essential concept)으로, 교사의 필요에 따라 선택적으로 지도해야 할 개념은 선택 개념(optional concept)으로, 수업시간에 지도를 하지 말아야 할 개념은 비필수 개념(nonessential concept)으로 구분하여 각 학교급별 생물 개념의 지도 범위를 설정하였다. 그리고 AAAS(2001, 2006)에서는 교사와 교육과정 전문가의 도움을 받아 과학 교육과정의 주요 개념들에 대한 수업 목표를 중심으로 수업 목표 연계성 지도(strand map)를 개발하였다.

우리 나라의 연계성 관련 연구는 용어와 탐구 활동 및 탐구 주제 관련 연계성(강연경, 송방호, 2008; 신영준, 2004; 정화숙 등, 2001; 정화숙 등, 2005), 교육과정 및 특정 개념의 연계성 방향(김영민, 2007; 심규철, 2003; 이양락, 2004), 연계성 분석 도구 개발(백성혜 등, 2000; 송순희 등, 1991), 초중등 생물 수업 목표의 연계성(김영신 등, 2009c) 등이 이루어졌다. 이들 연계성 관련 선행 연구들은 초·중등에서 지도해야 할 개념의 범위에 대해서는 제시하지 못하고 있다. 다만 김영신 등(2009a, 2009b)이 중등 생물 교사들을 대상으로 초·중등에서 지도해야 할 생물 개념의 범위를 연구하였다. 하지만 이는 동·식물 영역, 진화, 생물의 다양성, 생태 영역에 한한 연구였기에 그 외 생물 영역에서 지도해야 할 개념 범위에 대한 중등 생물 교사들의 인식 연구가 필요하다.

특히 세포와 유전 영역은 생물 교육에 있어서 매우 중요하고도 핵심적인 개념이다(김희백 등, 2002; 민효정, 정영란, 1992; 조희형, 1985; Finley, *et al.*, 1982). 하지만 이러한 세포와 유전 관련 개념은 대단히 추상적이고 생물의 다른 개념들과 밀접하게 연관되는 복잡한 구조를 가지고 있기 때문에 학습자들이

개념간의 관련을 정확하게 이해하지 못하거나 많은 오개념을 가지고 있기도 하다(김희백 등, 2002; Knippels *et al.*, 2005; Lewis & Wood-Robinson, 2000; Tolman, 1982). 이러한 현상에 대해 Duncan 등(2009)은 현재 생물 교과서에서 제시하는 것보다 유전 영역과 관련한 주요 개념에 초점을 맞추어 재구성하여 초등학교 고학년에서 고등학교까지 지도해야 한다고 하였다. 게다가 유전과 세포 영역의 올바른 학습을 위해 교사의 역할이 중요하고(Banet & Ayuso, 2000; Knippels *et al.*, 2005), 학생들의 교과에 대한 흥미 및 성취도 향상에 영향을 미치는 존재 역시 교사이기에(Kassab *et al.*, 2006; Labillois & Lagace-Seguin, 2007) 세포와 유전 영역에서 지도해야 할 개념 범위에 대한 학교 현장 교사들의 인식 연구가 필요하다.

이 연구는 동·식물 영역 그리고 진화, 생물의 다양성, 생태 영역에 대해 지도해야 할 중등 생물 교사들의 인식에 관한 김영신 등(2009a, 2009b)의 연구에 이어서 세포와 유전 영역에서 학교급에 따라 지도해야 할 개념 범위에 대한 중등 생물 교사들의 인식을 알아보고자 하였다. 본 연구의 첫 번째 연구 문제는 초·중·고등학교에서 지도해야 할 세포와 유전 영역의 개념 범위에 대한 생물 중등 교사들의 인식은 어떠한지, 두 번째 연구문제는 우리나라 과학과 교육과정 및 BSCS 권고안 그리고 중등 생물 교사들이 인식하는 개념 범위간에 어떤 차이가 나는지를 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 설문 대상

초·중등학교 세포와 유전 영역에서 지도해야 할 개념에 대한 의견을 알아보기 위해서 중학교 생물 전공 교사 61명, 고등학교 생물 전공 교사 85명으로 총 146명을 대상으로 실시하였다. 설문에 응답한 중등학교 생물 교사의 인적사항을 살펴보면 남교사 33명과 여교사 113명으로 여교사가 남교사에 비하여 상대적으로 많은 수를 보이고 있다. 교사 경력에 따라서 5년 이하 교사가 61명, 6년에서 10년 사이의 교사가 51명, 11년에서 15년의 교사가 20명, 16년에서 20년 사이의 교사 22명이었고 21년 이상의 교사 21명으로 나타났다.

2. 설문지 개발

초·중등학교 세포와 유전 영역에서 지도해야 할 개념을 조사할 설문지를 개발하기 위하여 먼저 세포와 유전 영역의 주요 개념을 추출하였다. 일반 생물학(고인정 등 역, 2006)과 고등학교 생물과정에 필요한 기본개념의 확인 및 결정의 연구(조희형, 1985)와 BSCS의 통합 권고안(1995)을 참고하여 개념을 추출하였다. K대학교 생물학 전공 교수 5명에게 추출한 개념에 대한 자문을 얻은 후, 최종 설문지에 들어갈 세포와 유전 영역의 개념을 결정하였다. 이를 통해, 이 연구에서 최종적으로 세포 영역에 포함된 개념은 광역 개념인 세포구조, 물질수송, 에너지 대사 그리고 세부 개념인 세포골, 원핵세포, 진핵세포, 원형질막 등 총 17개 개념이고, 유전 개념은 광역 개념인 유전자, 유전활동, 세포분열, 유전양상, 유전공학 그리고 세부개념인 DNA 구조, DNA 복제, RNA, 전사 등 총 23개 개념이다. 설문지는 제시된 개념을 필수 개념, 선택 개념, 비필수 개념으로 구분하여 표시하도록 하였다. 수업시간에 반드시 지도해야 할 개념은 필수 개념(essential concept)으로, 교사의 필요에 따라 선택적으로 지도해야 할 개념은 선택 개념(optional concept)으로, 수업시간에 지도를 하지 말아야 할 개념은 비필수 개념(nonessential concept)을 의미한다(BSCS, 1995). 초등학교, 중학교, 고등학교에 따라서 17개의 세포 영역 개념과 23개의 유전 영역 개념을 필수, 선택, 비필수 개념으로 구분하여 표시하도록 하였다.

3. 자료 수집 및 분석

초등학교, 중학교, 고등학교에서 가르쳐야 할 세포, 유전 개념을 알아보기 위하여 중·고등학교의 생물 전공 교사를 대상으로 설문을 실시하였다. 연구의 목적과 설문 작성 방법이 기술된 안내문과 설문지를 우편과 전자우편을 통하여 260부를 배부하여 146부(56.1%)가 회수 되었다. 분석은 중등학교 생물 교사의 응답 자료를 기초로 하였으며, 초등학교 교사는 중등학교에서 제시된 개념을 명확히 구분하는 것이 어렵다는 연구자들의 의견에 따라 설문 대상에서 제외시켰다. 중등학교 교사가 초·중·고등학교별 세포와 유전 영역에서 분류한 개념들을 분석하기 위한 방법은 SPSS 14.0K for windows 프로그램을 이용하여

빈도분석을 하였다. 이때 일부 개념에 대해 응답 하지 않은 교사의 자료는 응답하지 않은 개념만 분석에서 제외하였다. 따라서 각 영역의 개념에 따라 응답율이 100%가 되지 않는 것이 나올 수 있다. 또한 초·중·고의 세포와 유전 영역에서 지도해야 할 개념에 대한 전체적인 의견을 알아보기 위한 연구이기 때문에 중·고등학교 생물 전공 교사로 구분하지 않고 중등 생물 전공 교사 전체의 의견으로 분석하였다. 설문의 분석은 각 학교급별로 개념을 필수, 선택, 비필수 개념으로 표시한 것 중 응답한 수가 가장 많은 개념을 해당 학교급의 개념으로 선정하였다. 교사의 응답이 필수, 선택, 비필수에 비슷하게 분포되어 중등학교 생물 교사의 의견이 불명확한 경우 대학 교수의 자문 결과를 참고하여 개념을 선정하였다. 연구 결과를 바탕으로 7차 과학과 교육과정(교육인적자원부, 2007)을 비교하였고, 개념 선정에 있어서 BSCS 권고안을 비교·분석하였다. BSCS 권고안의 개념 목록에서 제시한 영역 및 개념 체제가 본 연구에서 제시한 영역 및 개념 체제가 달라 공통된 개념을 중심으로 고등학교 지도 개념과 비교하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 세포 영역

초·중·고등학교에서 가르쳐야 할 세포 영역에 대한 필수, 선택, 비필수 개념에 관한 중등 생물 교사들의 응답은 <표 1>에 나타나 있다. 초등학교 세포영역에서 중등 생물 교사의 전체 응답 결과를 보면, 세포구조(39.0%), 핵(39.7%), 에너지 대사(32.9%), 광합성(58.2%), 엽록체(41.8%)의 5개를 필수 개념으로, 선택 개념으로 분류한 것은 없고, 나머지 12개 개념 세포골(60.3%), 원핵세포(90.4%), 진핵세포(78.1%), 세포질(40.4%), 물질 수송(56.2%), 원형질막(70.5%), 수동 수송(85.6%), 능동 수송(89.7%), 효소(41.8%), 명반응(91.8%), 암반응(93.2%), 세포호흡(40.4%)을 비필수 개념으로 인식하였다. 중등 생물 교사들이 응답한 결과와 7차 및 2007년 개정 초등학교 교육과정에서 제시된 생물 영역 개념의 차이점을 비교해 보면, 세포영역의 광역개념인 '세포구조', '물질수송'과 그 세부개념에 대해 7차 및 2007년 개정 초등학교 교육

표 1
학교급별로 세포 영역에서 지도해야 할 개념에 대한 중등 교사들의 응답(%)

	초등학교 지도 개념			중학교 지도 개념			고등학교 지도 개념		
	필수	선택	비필수	필수	선택	비필수	필수	선택	비필수
1. 세포구조	57 (39.0)	32 (21.9)	36 (24.7)	119 (81.5)	7 (4.8)	0 (0.0)	124 (84.9)	2 (1.4)	0 (0.0)
- 세포설	29 (19.9)	26 (17.8)	88 (60.3)	70 (47.9)	49 (33.6)	26 (17.8)	136 (93.2)	6 (4.1)	3 (2.1)
- 원핵세포	2 (1.4)	9 (6.2)	132 (90.4)	26 (17.8)	63 (43.2)	57 (39.0)	131 (89.7)	10 (6.8)	3 (2.1)
- 진핵세포	15 (10.3)	14 (9.6)	114 (78.1)	57 (39.0)	47 (32.2)	42 (28.8)	135 (92.5)	8 (5.5)	2 (1.4)
· 핵	58 (39.7)	32 (21.9)	51 (34.9)	132 (90.4)	13 (8.9)	1 (0.7)	143 (97.9)	2 (1.4)	0 (0.0)
· 세포질	50 (34.2)	32 (21.9)	59 (40.4)	129 (88.4)	15 (10.3)	2 (1.4)	143 (97.9)	2 (1.4)	0 (0.0)
2. 물질수송	21 (14.4)	23 (15.8)	82 (56.2)	57 (39.0)	47 (32.2)	22 (15.1)	122 (83.6)	2 (1.4)	1 (0.7)
- 원형질막	11 (7.5)	27 (18.5)	103 (70.5)	60 (41.1)	58 (39.7)	26 (17.8)	141 (96.6)	3 (2.1)	1 (0.7)
- 수동 수송	5 (3.4)	11 (7.5)	125 (85.6)	24 (16.4)	70 (47.9)	50 (34.2)	139 (95.2)	3 (2.1)	2 (1.4)
- 능동 수송	2 (1.4)	8 (5.5)	131 (89.7)	17 (11.6)	72 (49.3)	56 (38.4)	142 (97.3)	2 (1.4)	1 (0.7)
3. 에너지 대사	48 (32.9)	34 (23.3)	42 (28.8)	99 (67.8)	18 (12.3)	8 (5.5)	124 (84.9)	1 (0.7)	0 (0.0)
- 효소	27 (18.5)	55 (37.7)	61 (41.8)	105 (71.9)	35 (24.0)	6 (4.1)	145 (99.3)	0 (0)	0 (0.0)
- 광합성	85 (58.2)	35 (24.0)	19 (13.0)	132 (90.4)	10 (6.8)	0 (0.0)	140 (95.9)	1 (0.7)	0 (0.0)
· 엽록체	61 (41.8)	43 (29.5)	39 (26.7)	131 (89.7)	12 (8.2)	3 (2.1)	142 (97.3)	3 (2.1)	0 (0.0)
· 명반응	0 (0.0)	9 (6.2)	134 (91.8)	13 (8.9)	46 (31.5)	87 (59.6)	125 (85.6)	19 (13.0)	1 (0.7)
· 암반응	0 (0.0)	7 (4.8)	136 (93.2)	11 (7.5)	43 (29.5)	92 (63.0)	125 (85.6)	19 (13.0)	1 (0.7)
- 세포호흡	37 (25.3)	47 (32.2)	59 (40.4)	108 (74.0)	36 (24.7)	2 (1.4)	142 (97.3)	2 (1.4)	0 (0.0)

과정에서는 전혀 제시하지 않고 있으나, 중등 생물 교사들은 ‘세포구조’, ‘핵’을 필수 개념으로 인식하였다. 그리고 필수개념으로 분류한 광역개념 ‘에너지 대사’의 세부개념인 ‘엽록체’와 ‘광합성’ 중 ‘엽록체’는 초등학교 7차 및 2007년 개정 교육과정에서 제시되어 있지 않다. 다만 ‘광합성’은 초등학교 7차 및 2007년 개정 초등학교 교육과정에 따른 과학 교과서에 광합성 산물에 대한 실험을 언급하면서 ‘식물이 빛을 받아 녹말과 같은 양분을 만든다’와 같은 형식으로만 간단하게 제시되어 있다. 즉 중등 생물 교사들은

초등학교에서부터 7차 및 2007년 개정 교육과정에서 제시하지 않는 세포에 대한 기본적인 개념 학습이 초등학교부터 필요하다고 인식하고 있음을 보여주었다.

중학교의 세포영역에서 중등 생물 교사의 응답 결과를 보면, 세포구조(81.5%), 세포설(47.9%), ‘진핵세포’(39.0%), 핵(90.4%), 세포질(88.4%), 물질수송(39.0%), 원형질막(41.1%), 에너지 대사(67.8%), 효소(71.9%), 광합성(90.4%), 엽록체(89.7%), 세포호흡(74.0%) 12개를 필수 개념으로 인식하였고, 원핵세포(43.2%), 수동 수송(47.9%), 능동 수송(49.3%) 3개

개념을 선택개념으로, 명반응(59.6%), 암반응(63.0%) 2개 개념을 비필수 개념으로 인식하였다. 중등 생물 교사들이 응답한 결과와 7차 및 2007년 개정 중학교 교육과정에서 제시된 생물 영역 개념의 차이점을 비교해 보면, 세포영역의 광역개념 중 '물질수송'에 대해 7차 및 2007년 개정 교육과정에서는 제시되어 있지 않으나, 교사들은 '물질수송'을 필수 개념으로 인식하였다. 7차 교육과정에선 '물질수송'의 세부개념인 '원형질막'에 대해 제시하지 않고 있으나 2007년 개정 교육과정에선 제시가 되어 있으며 중등 생물 교사도 필수 개념으로 인식하였다. 또한 '세포설', '효소' 개념은 7차 및 2007년 개정 교육과정에서는 제시되어 있지 않고 다만 소화와 관련된 '효소' 개념만을 간단히 언급하고 있으나, 중등 생물 교사들은 물질 대사로서의 '효소'를 필수 개념으로 인식하였다. 즉 중등교사들은 7차 및 2007년 개정 교육과정에서 제시하지 않은 '물질수송'과 '세포설', '효소' 개념을 필수 개념으로 인식하고 있었다.

고등학교의 세포영역에서 중등 생물 교사들은 17개 개념 모두 필수 개념으로 응답하였다. 이는 7차 및 2007년 개정 교육과정에서 제시한 모든 개념을 포함하고 있어서 중등 생물 교사들이 고등학교에서 지도해야 할 개념에 대한 인식과 7차 및 2007년 개정 교육과정에서 제시한 개념이 일치함을 보여주었다.

2. 유전 영역

초·중·고등학교에서 가르쳐야 할 생물의 유전 영역에 대한 필수, 선택, 비필수 개념에 관한 중등교사들의 응답은 <표 2>에 나타나 있다. 초등학교 유전영역에서 중등 교사의 응답 결과를 보면, 세포분열(34.2%) 1개를 필수 개념으로, 유전자(DNA)(32.2%) 1개를 선택 개념으로 분류하고, 나머지 21개 개념 DNA 구조(79.5%), DNA 복제(91.1%), 유전활동(55.5%), RNA(90.4%), 전사(97.3%), 번역(97.3%), 조절(97.3%), 유전과 환경 상호작용(65.8%), 염색체(41.1%), 체세포 분열(58.2%), 감수분열(65.8%), 유전양상(41.8%), 멘델 유전(61.6%), 비멘델성 유전(89.7%), 유전적 재조합(91.1%), 돌연변이(62.3%), 인간 유전(44.5%), 유전병(44.5%), 유전공학(47.3%), 유전자 조작기술(84.2%), 유전공학의 적용(73.3%)을 비필수 개념으로 인식하였다. 중등 생물 교사들이 응

답한 결과와 7차 및 2007년 개정 초등학교 교육과정에서 제시된 생물 영역 개념의 차이점을 비교해 보면, 7차 및 2007년 개정 초등학교 교육과정에서는 유전영역을 전혀 제시하지 않고 있으나, 중등 생물 교사들은 '세포분열'을 필수 개념으로 '유전자(DNA)'를 선택 개념으로 인식하였다. 즉 중등 생물 교사들은 7차 및 2007년 개정 초등학교 교육과정에서 제시하지 않는 유전에 대한 기본적인 개념 학습이 초등학교부터 필요하다고 인식하고 있음을 보여주었다.

중학교의 유전영역에서 중등 생물 교사들의 응답 결과를 보면, 유전자(DNA)(63.0%), 유전활동(34.9%), 세포분열(78.8%), 염색체(89.0%), 체세포 분열(89.0%), 감수분열(85.6%), 유전양상(65.8%), 멘델 유전(85.6%), 돌연변이(44.5%), 인간 유전(64.4%), 유전병(51.4%), 유전공학(34.2%) 12개 개념을 필수 개념으로, DNA 구조(47.9%), 비멘델성 유전(46.6%), 유전자 조작기술(49.3%), 유전공학의 적용(46.6%) 4개 개념을 선택개념으로, DNA 복제(47.9%), RNA(61.6%), 전사(74.7%), 번역(74.7%), 조절(77.4%), 유전과 환경 상호작용(40.4%), 유전적 재조합(49.3%) 7개 개념을 비필수 개념으로 분류하였다. 중등 생물 교사들이 응답한 결과와 7차 및 2007년 개정 중학교 교육과정에서 제시된 생물 영역 개념의 차이점을 비교해 보면, 유전영역의 광역개념인 '유전자(DNA)', '유전활동', '유전공학'에 대해 7차 및 2007년 개정 중학교 교육과정에서는 제시하지 않고 있으나, 중등 생물 교사들은 '유전자(DNA)', '유전활동', '유전공학'을 필수 개념으로 분류하였다. 더군다나 2007년 개정 중학교 교육과정에선 유전과 진화 내용을 제시하지 않고 있음에도 중등 생물 교사들은 광역개념인 '유전양상'과 그 세부개념인 '멘델 유전', '돌연변이', '인간 유전', '유전병'을 필수 개념으로 인식하고 있었다. 즉 중등 생물 교사들은 7차 및 2007년 개정 중학교 교육과정에서 제시하지 않는 여러 유전 개념들에 대한 학습이 필요하다고 인식하고 있었다. 이는 다양한 개념보다는 소수의 유전 핵심 개념에 초점을 맞추어 학교급별로 단계적으로 지도해야 한다는 Duncan 등(2009)의 주장과는 상반되는 결과이다. 중등 생물 교사들은 교육과정에서 요구하는 것보다 많은 개념을 가르쳐야 한다고 인식하고 있는 듯 하다.

고등학교의 유전영역에서 중등 생물 교사들은 23개 개념 모두 필수 개념으로 응답하였다. 이는 7차 및

표 2
학교급별로 유전 영역에서 지도해야 할 개념에 대한 중등교사들의 응답(%)

	초등학교 지도 개념			중학교 지도 개념			고등학교 지도 개념		
	필수	선택	비필수	필수	선택	비필수	필수	선택	비필수
1. 유전자(DNA)	38 (26.0)	47 (32.2)	40 (27.4)	92 (63.0)	31 (21.2)	3 (2.1)	124 (84.9)	1 (0.7)	1 (0.7)
- DNA 구조	4 (2.7)	24 (16.4)	116 (79.5)	42 (28.8)	70 (47.9)	34 (23.3)	140 (95.9)	5 (3.4)	0 (0.0)
- DNA 복제	1 (0.7)	10 (6.8)	133 (91.1)	11 (7.5)	65 (44.5)	70 (47.9)	133 (91.1)	10 (6.8)	2 (1.4)
2. 유전활동	22 (15.1)	23 (15.8)	81 (55.5)	51 (34.9)	35 (24.0)	41 (28.1)	119 (81.5)	5 (3.4)	1 (0.7)
- RNA	0 (0.0)	2 (1)	132 (90.4)	8 (5.5)	48 (32.9)	90 (61.6)	131 (89.7)	12 (8.2)	2 (1.4)
- 전사	0 (0.0)	1 (0.7)	142 (97.3)	1 (0.7)	36 (24.7)	109 (74.7)	123 (84.2)	18 (12.3)	4 (2.7)
- 번역	0 (0.0)	1 (0.7)	142 (97.3)	1 (0.7)	36 (24.7)	109 (74.7)	122 (83.6)	19 (13.0)	4 (2.7)
- 조절	0 (0.0)	1 (0.7)	142 (97.3)	2 (1.4)	31 (21.2)	113 (77.4)	110 (75.3)	29 (19.9)	6 (4.1)
- 유전자와 환경 상호 작용	14 (9.6)	33 (22.6)	96 (65.8)	44 (30.1)	43 (29.5)	59 (40.4)	123 (84.2)	21 (14.4)	1 (0.7)
3. 세포분열	50 (34.2)	37 (25.3)	38 (26.0)	115 (78.8)	9 (6.2)	2 (1.4)	124 (84.9)	2 (1.4)	0 (0.0)
- 염색체	35 (24.0)	49 (33.6)	60 (41.1)	130 (89.0)	16 (11.0)	0 (0)	144 (98.6)	1 (0.7)	0 (0.0)
- 체세포 분열	16 (11.0)	43 (29.5)	85 (58.2)	130 (89.0)	14 (9.6)	2 (1.4)	144 (98.6)	1 (0.7)	0 (0.0)
- 감수분열	10 (6.8)	38 (26.0)	96 (65.8)	125 (85.6)	19 (13.0)	2 (1.4)	144 (98.6)	1 (0.7)	0 (0.0)
4. 유전양상	36 (24.7)	26 (17.8)	61 (41.8)	96 (65.8)	23 (15.8)	4 (2.7)	122 (83.6)	2 (1.4)	0 (0.0)
- 멘델 유전	16 (11.0)	38 (26.0)	90 (61.6)	125 (85.6)	15 (10.3)	6 (4.1)	141 (96.6)	2 (1.4)	2 (1.4)
- 비멘델성 유전	1 (0.7)	12 (8.2)	131 (89.7)	54 (37.0)	68 (46.6)	24 (16.4)	134 (91.8)	9 (6.2)	2 (1.4)
- 유전적 재조합	0 (0)	11 (7.5)	133 (91.1)	14 (9.6)	59 (40.4)	72 (49.3)	125 (85.6)	18 (12.3)	2 (1.4)
- 돌연변이	11 (7.5)	42 (28.8)	91 (62.3)	65 (44.5)	61 (41.8)	20 (13.7)	138 (94.5)	5 (3.4)	1 (0.7)
- 인간 유전	21 (14.4)	58 (39.7)	65 (44.5)	94 (64.4)	39 (26.7)	13 (8.9)	138 (94.5)	5 (3.4)	1 (0.7)
- 유전병	23 (15.8)	56 (38.4)	65 (44.5)	75 (51.4)	63 (43.2)	8 (5.5)	137 (93.8)	7 (4.8)	0 (0.0)
5. 유전공학	23 (15.8)	31 (21.2)	69 (47.3)	50 (34.2)	46 (31.5)	28 (19.2)	112 (76.7)	13 (8.9)	1 (0.7)
- 유전자 조작기술	0 (0.0)	21 (14.4)	123 (84.2)	23 (15.8)	72 (49.3)	51 (34.9)	118 (80.8)	24 (16.4)	2 (1.4)
- 유전공학의 적용	6 (4.1)	31 (21.2)	107 (73.3)	39 (26.7)	68 (46.6)	39 (26.7)	123 (84.2)	21 (14.4)	0 (0.0)

2007년 개정 고등학교 교육과정에서 제시한 모든 개념을 포함하고 있다. 중등 생물 교사들이 필수개념으로 선정한 ‘멘델 유전’, ‘비멘델성 유전’ 등은 7차 교육과정에서 중학교에는 제시되어 있으나 고등학교에는 제시되어 있지 않다. 그러나 2007년 개정 교육과정에선 중학교에 제시되어 있지 않고 고등학교에 제시되어 있어서 교육과정 간에 다소 차이가 나타난다.

3. 개념 선정

초·중·고등학교 생물 영역의 개념 선정은 중등 생물 교사의 응답 결과 중에서 그 수가 가장 많은 것을 각 학교급의 필수 개념, 선택 개념, 비필수 개념으로 분류하여 선정하였다. 세포 영역에 대해 학교급별로 지도해야 할 개념 선정 결과는 <표 3>에 나타나 있다.

세포 영역에서 중등 생물 교사들은 초등학교에서 ‘세포구조’, ‘에너지 대사’, ‘핵’, ‘광합성’, ‘엽록체’ 5개 개념을 필수 개념으로 인식하고, 중학교에서 ‘세포구조’, ‘세포설’, ‘진핵세포’, ‘핵’, ‘세포질’, ‘물질수송’, ‘원형질막’, ‘에너지 대사’, ‘효소’, ‘광합

성’, ‘엽록체’, ‘세포호흡’ 12개 개념을 필수 개념으로 인식하고, 고등학교에서는 17개 모두 필수 개념으로 인식하였다. 중등 생물 교사들은 초등학교에서부터 세포 영역과 관련된 개념을 필수 개념으로 보고 있으며 점점 학년이 올라가면서 필수 개념의 수가 증가하면서 고등학교에선 제시된 모든 개념을 필수 개념으로 인식 하고 있다.

BSCS 권고안에서 제시한 개념 목록에서는 세포영역에 해당하는 개념을 16개 정도로 제시하였고, ‘세포/세포설’, ‘물질’, ‘에너지 대사’, ‘효소’, ‘ATP & 에너지 전환’, ‘광합성’, ‘유기호흡’ 7개 개념을 필수 개념으로 분류하였고, ‘세포기관’, ‘동화/섭취/소화’, ‘물질의 수송’, ‘확산/능동수송’, ‘원형질막’, ‘자가영양’, ‘종속영양’, ‘무기호흡’ 등 8개를 선택 개념으로, ‘화합성’ 1개를 비필수 개념으로 분류하였다. 세포영역에 해당하는 전체 개념 수는 BSCS 권고안과 본 연구에서 추출한 개념수가 각각 16개, 17개 정도로 비슷하나 필수 개념으로 분류한 개념의 수는 7개, 17개로 BSCS 권고안에서 제시한 개념 목록과 우리나라 중등 생물 교사들의 인식이 크게 차이가 남을 보여주었다.

표 3
세포 영역에서 지도해야 할 개념 선정 결과

개념	중등 생물 교사들의 인식		
	초등학교	중학교	고등학교
1. 세포구조	○	○	○
- 세포설	×	○	○
- 원핵세포	×	△	○
- 진핵세포	×	○	○
· 핵	○	○	○
· 세포질	×	○	○
2. 물질수송	×	○	○
- 원형질막	×	○	○
- 수동 수송	×	△	○
- 능동 수송	×	△	○
3. 에너지 대사	○	○	○
- 효소	×	○	○
- 광합성	○	○	○
· 엽록체	○	○	○
· 명반응	×	×	○
· 암반응	×	×	○
- 세포 호흡	×	○	○

※ ×는 ‘비필수 개념’, △는 ‘선택 개념’, ○는 ‘필수 개념’

이는 BSCS 권고안에서 교육과정 구성 시 교육과정 개발자의 재량에 따라 삽입할 수 있는 선택 개념으로 분류한 개념인 ‘세포기관’, ‘물질의 수동’, ‘확산/능동수송’, ‘원형질막’ 등을 우리나라 중등 생물 교사들은 모두 수업시간에 반드시 가르쳐야 할 필수 개념으로 분류하였기 때문이다.

유전 영역에 대해 학교급별로 지도해야 할 개념 선정 결과는 <표 4>에 나타나 있다. 유전 영역에서는 중등 생물 교사들이 초등학교에서 ‘세포 분열’ 1개 개념을 필수 개념으로 인식하고, 중학교에서 ‘유전자(DNA)’, ‘유전활동’, ‘세포분열’, ‘염색체’, ‘체세포 분열’, ‘감수분열’, ‘유전 양상’, ‘멘델 유전’, ‘돌연변이’, ‘인간 유전’, ‘유전병’, ‘유전 공학’ 12개 개념을 필수 개념으로 인식하며, 고등학교는 23개 모두

필수 개념으로 인식하였다. 이러한 결과 역시 유전 영역에서 학생들의 이해에 맞게 좀더 간단하고 명확한 개념을 지도해야 한다는 Venville와 Donovan(2005)의 연구와는 상반되고 있다. 중등 생물 교사들은 초등학교에서부터 유전 영역과 관련된 세포분열을 필수 개념으로 보고 있으며 점점 학년이 올라가면서 필수 개념의 수가 증가하면서 세포 영역과 마찬가지로 고등학교에선 제시된 모든 개념을 필수 개념으로 인식하고 있었다.

BSCS 권고안에서 제시한 개념 목록에서는 유전영역에 해당하는 개념을 27개 정도로 제시하였고, ‘유전자’, ‘DNA(유전물질)’, ‘유전과 환경 상호작용’, ‘유전의 양식’, ‘유전과 생명공학’, ‘유전조작기술’ 이렇게 6개 개념을 필수 개념으로, ‘분자적 구조’,

표 4
유전 영역에서 지도해야 할 개념 선정 결과

개념	중등 생물 교사들의 인식		
	초등학교	중학교	고등학교
1. 유전자(DNA)	△	○	○
- DNA 구조	×	△	○
- DNA 복제	×	△	○
2. 유전활동	×	○	○
- RNA	×	×	○
- 전사	×	×	○
- 번역	×	×	○
- 조절	×	×	○
- 유전과 환경 상호 작용	×	×	○
3. 세포분열	○	○	○
- 염색체	×	○	○
- 체세포 분열	×	○	○
- 감수분열	×	○	○
4. 유전양상	×	○	○
- 멘델 유전	×	○	○
- 비멘델성 유전	×	△	○
- 유전적 재조합	×	×	○
- 돌연변이	×	○	○
- 인간 유전	×	○	○
- 유전병	×	○	○
5. 유전공학	×	○	○
- 유전자 조작기술	×	△	○
- 유전공학의 적용	×	△	○

※ ×는 ‘비필수 개념’, △는 ‘선택 개념’, ○는 ‘필수 개념’

‘복제’, ‘돌연변이’, ‘세포 분열’, ‘감수분열/수정’, ‘유전활동’ ‘전사’, ‘RNA’, ‘번역’, ‘조질’, ‘멘델 유전’, ‘우성’, ‘독립적 분리/재결합’, ‘인간 유전학’, ‘인간게놈프로젝트’, ‘유전자 자원 & 유전자 은행’, ‘인간 유전병’, 등을 선택 개념으로 분류하였고, ‘개념의 발전사’, ‘비멘델성 유전’은 비필수 개념으로 분류하였다. 유전영역에 해당하는 전체 개념 수는 BSCS 권고안과 본 연구에서 추출한 개념수가 각각 27개, 23개 정도로 비슷하나 필수 개념으로 분류한 개념의 수는 6개, 23개로 BSCS 권고안에서 제시한 개념 목록과 우리나라 중등 생물 교사들의 인식이 크게 차이가 남을 보여주었다. BSCS 권고안에서 선택 개념으로 분류한 개념을 우리나라 중등 생물 교사들은 모두 필수 개념으로 분류하였고, 또한 ‘비멘델성 유전’은 BSCS 권고안에서 비필수 개념으로 분류하였으나 우리나라 중등 생물 교사들은 필수 개념으로 분류하였다.

7차 및 2007년 개정 교육과정의 초등학교 과학과 교육과정에선 세포 및 유전 개념이 전혀 언급되지 않은 것과는 사뭇 다르게, 중등 생물 교사들은 세포 및 유전 개념이 초등학교에서부터 기본적으로 학습되어야 한다고 인식하고 있다. 이는 김영신 등(2009a, 2009b)의 연구 결과와 유사하게 나타나고 있으며, 중등 생물 교사들은 초등학교부터 시작하여 학년이 올라감에 따라 점차 반복 및 심화학습이 이뤄져야 한다고 인식하고 있었다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 초·중·고등학교에서 지도해야 할 세포, 유전 영역에 대한 중등 생물 교사들의 인식을 조사하여 각 학교급에서 지도해야 할 생물 개념에 대한 범위와 연계성 설정을 위한 기초 자료를 마련하고자 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 초·중·고등학교에서 지도해야 할 세포와 유전 개념에 대한 인식 조사를 한 결과 초등학교에서부터 기본적인 세포와 유전 개념이 필요하며 학교급이 올라갈수록 지도해야 할 필수 개념들이 많아져야 한다고 중등 생물 교사들이 인식하고 있다.

둘째, 7차 및 2007년 개정 교육과정에서 제시하고 있는 생물 개념보다 중등 생물 교사들은 더 많이 가르쳐야 한다고 인식하고 있다. 특히 7차 및 2007년 개

정 초등학교 교육과정에서 제시하고 있지 않는 세포와 유전 영역과 관련된 개념들도 초등학교 및 중학교에서도 가르쳐야 한다고 인식하고 있다. 이는 학교 교사들이 학생들에게 많은 개념을 가르쳐야 한다고 인식하고 있다고 볼 수 있다(김영신 등, 2009a, 2009b). 자칫 학습자의 입장에서 교육과정에서 제시한 학습량보다 더 많은 학습량으로 인해 생물 교과의 흥미도가 감소될 우려가 있다. 이는 교육과정에서 제시하고 있는 학습자의 인지 발달 단계에 맞는 생물 개념의 학습량과 중등 생물 교사들이 인식하고 있는 생물 개념의 학습량이 사뭇 다르게 나타나기 때문이다. 따라서 학습자의 인지 발달 단계에 따른 적절한 생물 개념의 선정에 대한 교육과정 전문가, 과학교육 전문가, 교사 등의 충분한 토의가 필요할 것으로 사료된다.

셋째, 중등 생물 교사들은 고등학교에서 세포와 유전 영역의 모든 개념들을 필수 개념으로 보고 있으며, 이는 BSCS 권고안에서 제시하는 필수 개념 수보다 2배 이상으로 과다하게 많다. 이처럼 중등 생물 교사들은 우리나라 교육과정 및 BSCS에서 제시하는 것 이상의 생물 개념을 지도해야 한다고 인식하고 있다. 따라서 중등 생물 교사들의 이러한 인식의 배경 원인을 밝혀 줄 후속 연구들이 필요함을 알 수 있다. 후속 연구들을 통하여 교육과정과 교사들의 생물 개념에 대한 인식의 차를 줄여 학습자의 인지 발달 수준에 적합한 생물 개념들이 선정되길 기대한다.

국문 요약

이 연구는 초·중·고등학교에서 지도해야 할 세포, 유전 영역에 대한 필수, 선택 및 비필수 개념에 대해 중등 생물 교사들의 인식을 알아보고자 하였다. 본 연구에 선정된 개념은 일반 생물학과 고등학교 생물 과정에 필요한 기본개념 연구와 BSCS의 통합 권고안을 참고하여 선정한 후 생물학 전공 교수 5명의 자문을 구하여 최종 17개의 세포 영역 개념과 23개의 유전 영역의 개념을 선정하여 설문지를 제작하였다. 설문은 전국의 중등 생물 교사 146명의 응답을 바탕으로 초등학교, 중학교, 고등학교에서 지도해야 할 필수, 선택, 비필수 생물 개념을 선정하였다. 연구 결과는 세포, 유전 영역에서 중등 생물 교사들은 학교급이 올라갈수록 지도해야 할 필수 개념들이 많아져야 한다고 인식하고 있었다. 과학과 교육과정 그리고 BSCS 권

고안에서 제시한 개념보다 더 많은 개념을 가르쳐야 한다고 중등 생물 교사들은 인식하고 있었다.

참고 문헌

강연경, 송방호(2008). 중등학교 유전 관련 내용의 학교·학년급간 연계성 분석. 한국생물교육학회지, 36(4), 429-443.

교육인적자원부(2007). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제 2007-79.

김영민(2007). 초·중등학교 과학 교과서에서의 시각(eye vision) 개념의 연계성과 표현 방식 분석 및 연계성을 고려한 시각 개념 구성의 한 가지 제안. 한국과학교육학회지, 27(5), 456-465.

김영신, 윤정주, 손종경(2009a). 초·중등학교의 동·식물에서 지도해야 할 개념에 대한 중등교사의 인식 조사. 한국생물교육학회지, 37(2), 256-268.

김영신, 정재훈, 윤정주, 손종경(2009b). 초·중등학교의 진화, 생물의 다양성, 생태 영역에서 지도해야 할 개념에 대한 중등 교사의 인식 조사. 중등교육연구, 57(3), 29-52.

김영신, 김후자, 손종경, 정재훈(2009c). 제 7차 교육과정의 초·중등 생물 수업 목표의 연계성 지도 분석. 한국과학교육학회지, 29(6), 693-711.

김지영(2008). 국제 학업성취도 평가에 나타난 중·고등학생의 학력변화: TIMSS 및 PISA 주기별 결과에 나타난 과학 성취도 변화 추이. 한국교육과정평가원. 연구자료 ORM 2008-33.

김현아, 이동준, 이준규(2006). 중학교 과학 교과서 생명의 연속성 단원의 개념 수준과 구성 체계 분석. 한국생물교육학회지, 34(3), 345-354.

김희백, 이성조, 김형련, 이선경, 강경미, 김성하(2002). 유전 개념의 이해를 위한 염색체 모형 이용 수업의 효과. 한국생물교육학회지, 30(3), 282-288.

국동식, 김학만(2004). 초·중·고등학교 과학과정 중 기상학 내용의 개념 연계성 분석. 과학교육연구소논총, 20(1), 1-10.

민효정, 정영란(1992). 중학교 과학 3 'Ⅱ. 생명의 연속성' 단원의 개념에 대한 교사와 학생의 인식 조사. 한국과학교육학회지, 17(1), 21-29.

백성혜, 김효남, 조부경(2000). 유아, 초등, 중등 과학교육과정의 연계성 분석을 위한 도구 개발. 한국

과학교육학회지, 20(2), 262-273.

송순희, 이영하, 이종록, 김성원, 강순희, 박종윤, 강순자, 김규한, 유계화(1991). 수학 및 과학 교과내용의 연계성 분석을 위한 준거무형 설정과 예시적 분석. 한국과학교육학회지, 11(2), 119-131.

신동희, 노국향(2002). 우리 나라 학생들의 과학적 소양 성취도. 한국과학교육학회지, 22(1), 76-92.

신영준(2004). 국민공통기본교육과정 과학과 생명영역에서의 탐구 활동 연계성 분석. 한국생물교육학회지, 32(2), 135-141.

심규철, 이부연, 김현섭(2003). 국민공통기본교육과정 과학과의 생명영역 물질대사에 관련한 학습개념 분석. 한국과학교육학회지, 23(6), 627-633.

이명재(2009). 과학적 소양의 정의를 향하여. 초등과학 교육, 28(4), 487-494.

이미경, 손원숙, 노연경(2007). PISA 2006 결과 분석 연구 - 과학적 소양, 읽기 소양, 수학적 소양 수준 및 배경 변인 분석. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRE 2007-1.

이미경, 정은영(2008) 국제 학업성취도 평가에 나타난 중·고등학생의 학력변화: 과학 영역에서의 학력 변화의 원인 분석과 대책. 국교육과정평가원. 연구자료 ORM 2008-33.

이양락(2004). 교육과정 개발 체계 및 총론과 과학과 교육과정의 연계성 분석. 한국과학교육학회지, 24(3), 468-480.

이학동, 손연아, 노경임, 송진웅(1996). 과학교사의 양성·임용·재교육에 대한 개선 방향. 한국과학교육학회지, 16(1), 103-120.

여성희(1999). 초·중·고등학교 생물 영역의 환경 학습 내용의 연계성 분석. 한국생물교육학회지, 27(4), 295-305.

정화숙, 박현숙, 임영진, 김자림(2005). 제7차 교육과정에 의한 중등 과학 교과서의 광합성 영역에 대한 용어와 탐구의 연계성 분석. 한국생물교육학회지, 33(2), 196-208.

정화숙, 여경환, 임영진, 박강은(2001). 중등 교과서 광합성 영역의 실험(관찰)에 대한 연계성 분석. 한국생물교육학회지, 29(3), 230-238.

조희형(1985). 고등학교 생물의 기본개념의 확인 및 결정. 한국과학교육학회지, 5(1), 11-17.

American Association for the Advancement

of Science(AAAS. 2001). Project 2061 : Atlas of Science Literacy. Washington, DC.

American Association for the Advancement of Science(AAAS. 2006). Project 2061 : Atlas of science literacy Vol II. Washington, DC.

Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84(3), 313-351.

BSCS(1995). *Developing biological literacy: A guide to developing secondary and post-secondary biology curricula*(2nd Ed). Kendall/Hunt Publishing Company. Colorado Springs.

Campbell, N. A., Reece, J. B., Taylor, M. R., & Simon, E. J. (2006). *Biology-Concept and Connections*(5th Ed.). Pearson Education. 고인정, 김명원, 김옥용, 김희진, 서영훈, 신주욱, 윤미정, 윤인선, 이영원, 이혜영, 진언선, 하영미(역). (2006). *생명과학*(5판). 서울: 바이오사이언스.

Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655-674.

Finley, F. N., Stewart, J., & Yaroch, W. L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 66(4), 531-538.

Kassab, S., Al-shobul, Q., Abu-hijleh., & Hamdy, H. (2006). Teaching styles of tutors in a problem-based curriculum : Students' and tutors' perception. *Medical Teacher*, 28(5), 460-464.

Knippels, M-C P. J., Waarlo, A. J. & Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112.

Labillois, J. M., & Lagace-Seguin, D. G. (2007). Does a good fit matter? Exploring

teachign styles, emotion regulation, and child anxiety in the classroom. *Early Child Development and Care*. 1-14, iFirst Article.

Lewis, J. & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance - Do students see any relationship?. *International Journal of Science Education*, 22(2),177-195.

Meichtry, Y. J.(1993). The impact of science curricula on student view about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), 429-443.

Murcia, K. (2009). Re-thinking the development of scientific literacy through a rope metaphor. *Research in Science Education*, 39(2), 215-229.

Oliver, J. S., Jackson, D. F., Chun, S., Kemp, A., Tippins, D. J., Leonard, R., Kang, N. H., & Rascoe, B. (2001). The concept of scientific literacy: a view of the current debate as an outgrowth of the past two centuries. *Electronic Journal of Literacy through Science*, 1(1), 1-33.

Schroeder, M., Mckeough, A., Graham, S., Stock, H., & Bisanz, G. (2009). The contribution of trade books to early science literacy: in and out of school. *Research in Science Education*, 39(2), 231-250.

Tolman, R. R. (1982). Difficulties in genetics problem solving. *The American Biology Teacher*, 44(9), 525-527.

Venville, G., & Donovan, J. (2005). Searching for clarity to teach the complexity of the gene concept. *Teaching Science - the Journal of the Australian Science Teachers Association*, 51(3), 20-24.

Weiss, I. R., Pasley, J. D., Banilower, E. R., & Heck, D. J. (2003). *A study of K-12 mathematics and science education in the United States*. Chapel Hill, NC: Horizon Research.