

고등학교 생물과정에 필요한 기본개념의 확인 및 결정*

조 회 형

(강원대학교 사범대학)

(1985년 4월10일받음)

I. 서 언

1. 연구의 필요성

정보시대로 불릴만큼 과학에 대한 정보의 양은 폭증하며 과학적 지식이 급격히 발달함에 따라 그 지식체계의 의미는 날로 변하고 있다. 과학지식의 폭증과 의미는 과학기술, 사회 및 문화의 변화를 초래한다. 그러므로 생물학적 지식의 발달은 고등학교의 생물교육내용의 변화를 요구하게 된다.

한편 고등학교의 생물교육의 목적은 생물학의 본질에 대한 이해, 탐구방법의 증진, 그리고 개념체계 개발이라고 볼 수 있다. 그러나 이러한 목적은 현재의 개인, 생물학계, 더 나아가서는 사회의 필요성에 적절하고 관련된 교육에 의해서만 의미가 있다(Hurd, 1982). 따라서 생물학적 지식의 기능과 의미가 변화됨에 따라 개인은 물론 생물학계와 사회의 생물학에 대한 요구가 변화되기 때문에 고등학교의 생물교육 내용을 지속적으로 확인하고 보완할 필요가 있다.

2. 연구의 목적

고등학교의 생물교육의 내용을 선정하고 조직하는 것이 쉬운 일은 아니다. 오늘날 정당하게 받아들여진 생물학의 어느 이론이건 곧 변화될 것이며, 지식의 양은 매년 증가될 것이다. 한편 고등학교 학생들이 생물학을 배울 시간은 한정되어 있기 때문에 고등학교 생물교육을 위한 내용은 생물학적 지식체계 전체보다는 선정된 것이어야 한다. 선정될 내용은 변화되는 사회에서의 적응력을 키워 줄 뿐 아니라, 학생들로 하여금 생물학적 정보와 지식을 생산함은 물론 생산된 지식을 이용하는데 적용할 수

있는 근본적이고 기초적인 것이어야 한다(Hurd, 1982).

생물학적 지식체계를 이루는 단위인 생물학적 개념이 바로 그 근본적이고 기초적인 내용을 선정하는 기준이 될 수 있다. 그러나 개념에 대한 정의가 다음과 같이 여러가지로 기술되고 있다.

A concept is a class the members of which share some properties in common(Markle and Tiemann, 1970, p. 5).

Concept is a summary of the essential characteristics of a group of ideas and/or facts that epitomize important common features or factors from a large number of ideas (Pella, 1966, p. 31).

Concepts describe some regularity or relationship within a group of facts and are designated by some sign or symbol(Novak, 1977, p. 18).

...ordered information about the properties of one or more things-objects, events, or process-that enables any particular thing or class of things to be differentiated from and also related to other things or classes of thing (Klausmeier, Ghatala & Frayer, 174, p. 4).

위와 같이 개념이 여러가지로 정의되는 것은 개념에 대한 일치된 견해가 없음을 시사한다. 문헌에 나타나는 과학적 개념은 위와 같이 여러 의미로 해석될 뿐 아니라 개념체계, 주제, 조직적 연결체, 주요 일반화, 주요 개념, 기본관념, 그리고 주요 원리등 다양한 용어로 사용되기 개념에 대한 개념을 확립하는 것보다는 개념에 대한 예제를 줌으로써 사

*본 연구는 1985년도 한국과학재단의 연구지원에 의하여 연구되었음.

용하는 개념의 의미를 분명하게 하고자 한다(Novak, 1966).

본 연구에서는 위에서 정의된 Pella(1966)의 개념에 대한 정의를 받아들인다.

그러나 위의 정의들이 암시하듯이 개념은 다음과 같은 일반적인 특성과 기능을 갖고 있다(Pella, 1966):

- (1) 개념은 과학적 과정의 산물이며 과학연구의 기초가 된다.
 - (2) 개념은 장차의 지식개발을 대처하는 수단을 제공한다.
 - (3) 개념은 과거, 현재, 그리고 미래의 과학경험을 단순화 한다.
 - (4) 개념체계는 분류적인 본성에 따라 자연현상을 기술하고, 상관적인 특성에 의해서 현상의 예측을 가능하게 하며, 이론을 형성함으로써 현상을 설명하게 한다.
 - (5) 개념은 지식체제를 최대한으로 커버(cover)하는 수단을 제공한다.
 - (6) 개념은 그 개념의 소지자로 하여금 이미 파지하고 있는 개념에 새로운 개념을 통합하거나 수정을 통해서 새로운 개념을 동화하게 한다.
- 위와 같은 개념의 특징 혹은 기능에 의하면 고등학교 생물교육 내용을 개념의 단위로 선정하는 것이 바람직하다. 생물 개념은 생물학 지식체제의 전반적인 이해를 도울 뿐 아니라 고등학교의 생물교육의 목적에 적절하게 생물학적 지식의 양을 조절할 수 있게 하기 때문이다.

따라서 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- (1) 고등학교의 생물교육에 필요한 생물학적 개념을 확인한다.
- (2) 확인된 생물학적 개념의 중요도를 결정한다.

II. 연구방법 및 절차

고등학교의 생물교과서가 고등학교 생물교육 내용의 대부분을 차지하고 있다. 그 교과서에 반영된 내용은 여러가지 방법에 의해서 결정될 수 있다. 본 연구에서는 여러가지 방법중에서 다음과 같은 방법과 절차에 따라 고등학교의 생물교육에 중요하고 기초적인 생물학 개념을 확인하고 결정하였다.

1. 생물교과서와 교수 선정

강원대학교 자연과학대학 생물과 교수진원(7명)을 고등학교 생물교육에 필요한 개념의 목록(이하 개념목록이라 칭함)의 판정위원(Panel)으로 선정하였다. 그들의 전공은 생태학, 분류학, 군학, 생리학, 유전학 등으로 대체로 다양하였다.

최종 개념목록을 작성하기 위하여 타 대학의 생물과 교수와 고등학교 생물교사를 선정하였다. 서울대학교 사범대학 생물교육과 교수와 박사과정의 대학원생 전원을 선정한 다음, 전국의 생물과 교수중에서 전공별로 안내하여 12명을 더 선정하였다. 고등학교 생물교사는 교사경력 5년 이상인 자들로 34명을 선정하였다.

2. 개념목록 작성

(1) 제 1차 개념목록 작성

제 1차 개념목록은 본 연구자와 연구조원이 미국에서 가장 많이 사용되고 있는 고등학교 생물교과서인 Modern Biology 및 BSCS가 발행한 세 종류의 교과서(녹색판, 황색판, 청색판)와 한국에서 발행되는 다섯 종류의 교과서(I, II)를 바탕으로 작성하였다. 개념을 선정할 때 각 교과서의 단원 목표(objectives)와 단원의 주요 개념(concepts)을 이용했다. 개념들을 선정한 다음 미국의 NAEP(1979)이 고등학교의 과학수준을 평가하기 위하여 분류한 13개의 영역으로 나누었다.

특히 개념들은 생물교육의 평가불 용이하게 하며 생물적 지식과 연구방법을 광범위하게 포괄할 수 있는 것을 선택하였다.

(2) 제 2차 개념목록 작성

제 2차 개념목록은 개념판정위원에 의해서 작성되었다. 판정위원인 강원대학교 자연과학대학의 생물과 교수들로 하여금 제 1차 개념목록을 수정, 보완, 혹은 삭제하도록 함으로써 제 2차 개념목록이 작성되었다.

(3) 최종 개념목록

최종 개념목록은 전국에서 고루 선정된 생물과 교수와 고등학교의 생물교사에 의해서 작성되었다. 선정된 교수와 교사들에게 제 2차 개념목록을 우송하여 그것을 수정, 보완하도록 하였다. 특히 개념의 중요도를 결정하기 위하여 각 개념에 대하여 다음과 같이 판정하도록 하였다: 아주 중요하다고 생각하면 4, 중요하다고 생각하면 3, 중요하지는 않

다고 생각하면 2, 그리고 전연 중요하지 않다고 생각하면 1을 각 개념의 앞에 있는 괄호속에 적도록 하였다.

이러한 등급에 의해서 중요도가 판정된 개념들 중에서 최종 개념목록에 포함시킬 개념을 다음과 같은 기준에 의해서 결정하였다(Janke & Pella, 1972): 첫째, 등급 2와 1의 빈도가 전체의 15% 미만이어야 한다. 둘째, 다음의 공식에 의한 중요도(S)가 최소한 3.0이상이어야 한다.

$$S = \frac{4f_1 + 3f_2 + 2f_3 + 1f_4}{F}$$

단, S=중요도, f_1 =등급 4의 빈도, f_2 =등급 3의 빈도, f_3 =등급 2의 빈도, f_4 =등급 1의 빈도, F=총 빈도.

Ⅲ. 결 과

1. 교사와 교수의 반응

본 연구를 위하여 선정된 교수 및 교사의 수와 개념목록의 작성에 응답한 그들의 수는 표 1과 같다.

표 1 최종 개념목록을 위하여 선정된 교수와 교사의 수

직업	분류	선정된 수	응답한 수	%
	수			
교	수	17	10	58.8
교	사	34	22	64.7
계		51	32	62.7

표 1에서 보는 바와 같이 전체의 회수율은 62.7%였다. 서울대학교 생물교육과의 박사과정 대학원생들 수는 교사의 수에 포함되어 있다.

2. 개념목록

(1) 제 1차 개념목록

제 1차 개념목록을 위하여 221개의 생물학적 개념이 선정되었다. 그 개념들은 과학의 과정, 통합영역, 세포설, 물질대사와 에너지전환, 계, 조절과 조정, 생식과 발생, 유전, 생태, 행동, 분류, 진화, 그리고 과학·환경·사회 등 13개의 영역으로 분류화하고 각 영역에서 개념체계에 따라 분야별로 세분화하였다.

(2) 제 2차 개념목록

개념 판정위원들은 제 1차 개념목록 중 3개의 개념을 다른 개념에 포함시키거나 삭제하여 218개의 개념을 고등학교의 생물과정에 중요하거나 필요하다고 판정하였다. 특히, 대부분의 판정위원(5명)은 신경계, 감각기관, 내분비계, 골격계, 근육계 및 면역계를 포함하는 "조절과 조정"의 영역을 "계"의 영역에 포함시킬 것을 주장했으나 포함시키지 않고 교수와 교사에 제 2차 개념목록을 우송하였다.

(3) 최종 목록

전국의 생물전공 교수와 고등학교 생물교사의 의견에 따라 최종 목록을 작성하였다. 최종 목록에는 등급 2와 1의 빈도가 8미만이며 중요도가 최소한 3.0이상인 개념들만 포함시켰다. 각 영역별 개념과 그 중요도를 표 2에 나타냈다.

표 2 최종 개념목록

개	념	중요도		
		교사	교수	계
1. 과학의 과정				
과학의 본질				
	① 변천하는 과학적 이론	3.05	3.0	3.03
	① 과학적 방법	3.59	3.4	3.53*
생명과학				
	③ 생명의 특성	3.27	3.0	3.19
	④ 생물학의 탐구법	3.68	3.2	3.53*
2. 통합영역				
에너지				
	⑤ 에너지와 생명	3.23	3.1	3.19
	⑥ 화학적 반응과 에너지	3.14	3.0	3.09
3. 세포설				
세포의 구조				
	⑦ 세포막	3.73	3.6	3.69*
	⑧ 핵	3.64	3.4	3.56*
	⑨ 세포질	3.59	3.1	3.44
세포의 환경				
	⑩ 확산	3.05	3.1	3.06
	⑪ 삼투	3.27	3.4	3.31
	⑫ 능동수송	3.68	3.4	3.59*
세포분열				
	⑬ 염색체의 복제	3.73	3.4	3.63*
	⑭ 체세포 분열	3.45	3.4	3.44
	⑮ 감수분열	3.64	3.5	3.59*
4. 물질대사와 에너지전환				
영양물				
	⑯ 탄수화물	3.0	3.1	3.03

개	넘	중 요 도		
		교사	교수	계
①7	지 질	3.0	3.1	3.03
①8	단백질	3.18	3.3	3.22
①9	아미노산	3.18	3.2	3.19
②0	효 소	3.81	3.3	3.65*
②1	무기염류	2.95	3.2	3.03
②2	비 타 민	3.04	3.0	3.03
광 합 성				
②3	암반응과 산물	3.86	3.4	3.59*
②4	명반응과 산물	3.86	3.4	3.59*
②5	엽록체의 구조와 기능	3.59	3.4	3.53*
세포호흡				
②6	산소와 에너지	3.41	3.3	3.38
②7	해당 작용	3.86	3.5	3.63*
②8	구연산 회로	3.59	3.2	3.47
②9	전자전달계	3.73	3.4	3.63*
③0	ATP의 구조와 기능	3.77	3.3	3.63*
5. 계				
수 송 계				
③1	잎의 구조와 기능	3.05	3.1	3.06
③2	뿌리의 구조와 기능	3.05	3.1	3.06
③3	줄기의 구조와 기능	3.05	3.2	3.06
③4	심장의 구조와 기능	3.32	3.3	3.31
③5	혈관의 구조와 기능	3.0	3.2	3.06
③6	혈액의 구조와 기능	3.41	3.1	3.31
③7	임파계의 구조와 기능	3.05	3.1	3.06
③8	항 상 성	3.73	3.6	3.69**
호 흡 계				
③9	식물의 호흡과 가스교환	3.05	3.2	3.09
④0	동물의 호흡과 가스교환	3.32	3.3	3.31
④1	허파의 구조와 기능	3.14	3.0	3.09
소 화 계				
④2	이자의 구조와 기능	3.18	3.2	3.19
④3	간의 구조와 기능	3.55	3.2	3.44
④4	위의 구조와 기능	3.18	3.4	3.25
④5	작은 창자의 구조와 기능	3.23	3.4	3.28
배 설 계				
④6	동물의 배설과 배설물	3.09	3.0	3.06
④7	콩팥의 구조와 기능	3.55	3.5	3.53**
신경계와 감각기관				
④8	신경세포	3.41	3.2	3.34
④9	중추신경계	3.45	3.4	3.75*
⑤0	말초신경계	3.32	3.2	3.28
⑤1	감각기관	3.09	3.1	3.37
내분비계				
⑤2	내분비선	3.45	3.2	3.38

개	넘	중 요 도		
		교사	교수	계
⑤3	호 르 몬	3.59	3.5	3.56**
근 육 계				
⑤4	근육의 구조	3.14	3.3	3.19
⑤5	근 수축	3.54	3.2	3.44
면 역 계				
⑤6	병원체	3.0	3.0	3.00
⑤7	항 원	3.50	3.5	3.50**
⑤8	항 체	3.50	3.5	3.50**
⑤9	알레르기	3.00	3.1	3.03
6. 생식과 발생				
생 식				
⑥0	식물의 생식기관	3.05	3.2	3.09
⑥1	포자의 형성	3.00	3.0	3.00
⑥2	수 분	3.00	3.0	3.00
⑥3	동물의 생식기관	3.00	3.0	3.00
⑥4	사람의 생식기관	3.45	3.4	3.44
⑥5	정자와 난자의 형성	3.50	3.6	3.53**
⑥6	수 정	3.36	3.5	3.41
발 생				
⑥7	배의 발생	3.23	3.5	3.31
7. 유 전				
유전의 양상				
⑥8	멘델의 유전법칙	3.55	3.5	3.53**
⑥9	확률과 유전학	3.14	3.2	3.16
⑦0	인류유전	3.27	3.4	3.31
⑦1	유전질환	3.27	3.2	3.25
염색체설				
⑦2	유전자와 염색체의 관계	3.86	3.7	3.81**
⑦3	반성유전	3.41	3.1	3.31
⑦4	유전적 재조합	3.59	3.6	3.59**
⑦5	돌연변이	3.50	3.4	3.47
⑦6	유전과 생식	3.73	3.2	3.56**
유전물질과 기능				
⑦7	핵산분자의 구성요소	3.50	3.3	3.44
⑦8	DNA의 구조와 기능	3.77	3.6	3.72**
⑦9	mRNA의 구조와 기능	3.64	3.2	3.50**
⑧0	tRNA의 구조와 기능	3.59	3.2	3.47
⑧1	rRNA의 구조와 기능	3.27	3.2	3.25
⑧2	단백질 합성	3.86	3.7	3.81**
8. 생 태				
생 물 권				
⑧3	생물권	3.0	3.0	3.0
⑧4	생태학	3.14	3.3	3.19
⑧5	에너지 흐름	3.32	3.3	3.31

개 념	중요도		
	교사	교수	계
86 물질순환	3.14	3.3	3.19
87 영양관계	3.00	3.0	3.00
개체와 개체군			
88 개체군의 성장과 변화	3.14	3.11	3.13
89 개체군과 환경의 상호작용	3.36	3.22	3.32
군 집			
90 생물군집	3.00	3.0	3.00
91 생태적 관계	3.09	3.3	3.16
생태계			
92 생태계	3.50	3.5	3.50*
93 생태적 지위	3.14	3.5	3.25
94 생산성	3.00	3.3	3.09
9. 행동			
식물의 운동			
95 굴 성	3.00	3.3	3.09
96 광주기성	3.00	3.3	3.09
97 식물호르몬	3.32	3.1	3.25
동물의 행동			
98 본능적 행동	3.00	3.0	3.00
99 학습된 행동	3.00	3.1	3.03
10. 분류			
생물의 분류			
100 생물의 분류체계	3.45	3.5	3.47
101 학 명	3.18	2.8	3.06
102 종	3.23	3.0	3.16
미생물			
103 비루스균	3.05	2.9	3.0
104 세균류	3.05	3.2	3.09
105 원생생물류	3.09	2.9	3.03
다세포 식물			
106 종자식물류	3.23	3.3	3.25
무척추 동물			
107 환형동물류	3.10	3.0	3.00
108 연체동물류	3.05	3.0	3.03
109 극미동물류	3.05	2.9	3.0
110 절지동물류	3.14	3.3	3.19
111 곤충류	3.14	3.1	3.13
척추 동물			
112 어 류	3.05	3.2	3.09
113 양서 류	3.00	3.2	3.06
114 파충 류	3.00	3.2	3.06
115 조 류	3.05	3.2	3.09
116 포유 류	3.05	3.2	3.09

개 념	중요도		
	교사	교수	계
11. 진화			
생명의 기원			
110 원시시대와 유기화합물의 형성	3.32	3.1	3.25
111 생명체의 출현	3.18	3.0	3.13
진화설의 발달			
112 다아인의 설	3.23	3.2	3.22
113 돌연변이설	3.14	3.3	3.19
진화의 증거			
114 화 석	3.00	3.3	3.09
115 발 생 학	3.00	3.0	3.00
116 생 화 학	3.14	3.0	3.09
진화의 기구			
117 돌연변이	3.27	3.3	3.28
118 자연도태	3.23	3.2	3.22
119 격 리	3.00	3.0	3.00
120 종 분 화	3.09	3.2	3.13
121 하이디-와인버그의 법칙	3.14	3.0	3.09
12. 과학·환경·사회			
건강과 안전			
122 약물과 알코올의 중독	3.09	2.8	3.0
123 암	3.09	2.9	3.03
자 원			
124 인구 증가	3.23	3.5	3.31
125 식량 공급	3.09	3.2	3.13
과학과 자아			
126 과학적 지식의 이용	3.32	2.9	3.19
127 과학적 업적에 대한 현실적 태도	3.00	3.1	3.03
환 경			
128 환경의 영향	3.27	3.3	3.28
129 환경오염	3.45	3.6	3.50*
130 환경보호	3.27	3.3	3.35

*중요도가 3.50이상인 개념

**중요도가 가장높은 개념(82 단백질 합성)

표2에서 보는 바와 같이 고등학교의 생물교육에 중요하다고 생각되는 개념들은 12영역에 137개이다. 제2차 개념목록에 추가되는 개념은 없었고 81개의 개념이 제2차 개념목록으로부터 삭제되었다.

표2에서 보는 바와 같이 29개의 개념은 고등학교의 생물교육과정이 "아주 중요하다"고 판정되었다(중요도 3.5이상). 그 중에서도 "단백질 합성"의 개념이 가장 높은 중요도를 보인다(3.81).

영역별 개념의 중요도를 알아보기 위해 영역별 개념의 중요도를 계산하여 표 3에 나타냈다.

표 3. 생물개념의 영역별 중요도

영역	분류	중요도		
		교사	교수	총
과 학 의 과 정		3.33	3.02	3.23
통 합 영 역		2.81	2.90	2.84
세 포 설		3.19	3.16	3.18
물질대사와 에너지 전환		3.28	3.20	3.26
계		2.90	2.95	2.92
조 절 과 조 정		3.24	3.21	3.23
생 식 과 발 생		2.92	2.97	2.94
유 전		3.45*	3.31*	3.40*
생 태		3.05	3.11	3.07
행 동		2.80**	2.85**	2.81**
분 류		3.05	3.02	3.04
진 화		2.94	3.04	2.97
과 학·환 경·사 회		3.13	3.07	3.11

*가장 높은 중요도. **가장 낮은 중요도.

표 3에 의하면 "유전"에 관한 영역의 중요도가 가장 높으며(3.40), "행동"의 영역에 대한 중요도가 가장 낮다(2.81), 가장 높은 중요도를 갖는 영역(유전)과 가장 낮은 중요도를 갖는 영역(행동)의 판정에 있어서 교수와 교사가 일치하고 있음은 특기할 만하다.

IV. 토의 및 제언

본 연구의 개념목록과 생물학적 개념은 다음과 같은 특성을 지니고 있다.

최종 개념목록에 사용된 개념의 위계성(hierarchy) 혹은 포괄성(inclusiveness)은 명확하지 않다. 어떤 개념은 여러 개의 개념이 모아진 개념체제일 수도 있다. 제 I 절에서 언급하였듯이 개념의 위계성 혹은 포괄성을 일정하게 유지한 개념들을 추출하기란 거의 불가능하다. 그러므로 어느 개념은 다른 개념을 포함하거나 밀접한 관계를 맺고 있을 수 있기 때문에 개념이 격리된 상태로는 유의미한 교수/학습이 될 수 없다. 따라서 각 개념에 대한 바람직한 교수/학습에 소요되는 시간은 다를 수 밖에 없다.

각 개념의 중요도를 결정할 때 고등학교의 생물

교육이 지향하는 목적 혹은 과학교육의 이념으로부터 중립성을 유지하도록 하였다. 따라서 최종 개념 목록에 있는 생물학적 개념들의 중요도가 고등학교 생물교육의 목적과 이념을 결정할 수는 없고 단지 고등학교의 한정된 시간에 가장 효율적인 생물교육을 위한 내용을 선정하는 데 요구되는 한 조건일 수 밖에 없다.

개념의 중요도가 고등학생들의 학습능력과는 상관없이 결정되었다. 따라서 그 중요도가 고등학생들이 그 개념을 학습하는 데 난이도의 정도를 나타내지 않는다.

이 밖에 본 연구의 결과로 나타난 최종 개념목록이 절대적일 수 없다. 과학지식은 부단히 발달하며 그 의미는 항상 변화되기 때문에 이러한 개념목록도 변화될 수 밖에 없다. 따라서 고등학교 생물교육의 내용선정의 기준이 될 수 있는 이러한 개념목록은 주기적으로 점검, 보완, 수정되어야 한다.

참 고 문 헌

- Hurd, P. DeH. (1982). Biology for life and living: perspectives for the 1980s. In Hickman, F. M. & Kahle, J. B. (eds.). *New directions in biology teaching*. National Association of Biology Teachers.
- Janke, D. L., & Pella, M. O. (1972). Earth science concept list for grade K-12 curriculum construction and evaluation. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 9(3), 223-230.
- Klausmeier, H. J., Ghatala, E. S., & Frayer, D. A. (1974). *conceptual learning and development: A cognitive view*. New York: Academic Press.
- Markle, S. M. & Tiemann, P. W. (1970). *Really understanding concepts: or in frumious pursuit of the jabberwock*. Champaign, Illinois: Stipes Publishing Company.
- NAEP. (1979). *Science objectives for the third assessment*. Denver, Colorado: Education Commission of the states.
- Novak, J. D. (1966). The role of concepts in science teaching. in Klausmeier & Harris (eds.), *Analysis of conceptual learning*. New York: Academic Press.

7. Novak, J. D. (1977). *A theory of education*. Cornell University Press.

8. Pella, M. O. (1966). Concept learning in science. *The Science Teacher*, vol. 33(9), 31-34.

ABSTRACT

Identification and Determination of Basic Concepts Necessary for High School Biology Curriculum

Hee-Hyung Cho

Kangwon National University

This study had its objectives to identify the basic biological concepts as recommended by scholars in biology and by high school biology teachers for inclusion in the high school biology curriculum and to determine the importance levels of the concepts. The scholars for this study were selected to insure that their majors are evenly distributed across the biological areas.

The final concept list contains 137 biological concepts along with their importance level judged by the scholars and high school biology teachers. The biological concepts are categorized into 12 biological areas.

This study suggests that the concepts in the final list can not reflect the conceptual hierarchy or inclusiveness, goals or objectives of biology education in the high school, and difficulty levels of the concepts. This study also claims that the concept list like the one produced by this study should be successively checked and revised due to the continuous development of biological knowledge system and the constant change in the meanings of the knowledge system.