

WEB1

생명과학

- W1.1 생명과학
- W1.2 과학의 본질
- W1.3 과학탐구의 실례: 다윈과 진화론
- W1.4 생물학의 핵심 개념



©Soames Summerhays/Natural Visions

도입

여러분은 이제 생명의 본질을 찾기 위한 여행을 시작하려고 한다. 180여 년 전 영국의 젊은 박물학자였던 다윈(Charles Darwin)도 비글호에 오르면서 이와 비슷한 여행을 떠났다. 다윈은 5년 동안의 여행을 통해 얻은 자료들을 바탕으로 자연선택에 의한 진화론을 제시하였으며, 이는 지금도 생명과학의 핵심으로 자리 잡고 있다. 다윈이 탐험을 통해 얻은 성과들은 생물의 과학적 연구와 생물이 어떻게 진화해 왔는지를 이해하는 데 매우 중요한 역할을 하고 있다. 시작하기에 앞서 생물학이란 무엇이며 왜 생명과학이 우리 인류에게 중요한 연구 분야인지 생각해 보자.

W1.1 생명과학

학습 목표

1. 다른 자연과학 분야와 생물학을 비교할 수 있다.
2. 생물계의 특징들을 기술할 수 있다.
3. 생물계의 체계적인 구조에 대해 설명할 수 있다.

현재 생물학 연구는 역사상 가장 흥미로운 시점에 와 있다. 최초의 재조합 DNA 분자 조립 이후, 지난 42년 동안 자연계에 대한 이

용 가능한 정보의 양이 폭발적으로 증가해오고 있으며, 그로 인해 이전에는 상상만 했던 의문점들에 대해 지금은 해답을 제시할 수 있는 위치에 와 있다.

21세기는 인간 게놈(human genome)의 염기서열 완성과 함께 시작되었다. 생물학 역사상 가장 큰 단일 프로젝트로 약 20년의 시간이 걸렸지만, 이후 15년도 지나지 않아서 한 게놈 전체의 염기서열을 분석하는 데 며칠이면 가능해졌다. 이러한 염기서열 데이터의 홍수와 유전체 분석은 생물학의 전체적 그림을 바꾸고 있는 중이다. 이와 또 다른 발견들은 진단과 치료의 새로운 기술들을 통해 이전에는 불가능했던 임상으로 진입하고 있다. 로봇 과학과 함께 차세대 DNA 염기서열 분석(next-generation DNA sequencing) 기술, 진

보된 영상(imaging) 기술, 분석 기술 등 예전에는 공상과학소설에서나 보던 방법들을 이용할 수 있다.

이번 장에서 우리는 생명과학의 현대적 그림을 그려보면서 동시에 몇몇 역사와 이러한 흥미로운 시대의 실험적인 전망에 대해 이야기할 것이다. 이번 장은 생물학의 본질과 과학의 일반적인 기초에 대한 소개함으로써 앞으로 나올 내용들을 이해하는 데 도움이 될 수 있도록 구성되었다.

생물학은 자연과학의 많은 부분을 통합한다

생물학은 모든 자연과학 분야의 정보와 기술을 이용하여 연구되고 있다. 생물계는 지구상에서 가장 복잡한 화학 체계이며, 생물체가 나타내는 많은 기능들은 화학과 물리학의 원리에 의하여 결정되고 조절된다. 따라서 생물학 연구는 새로운 자연법칙을 찾기보다는 기존의 자연법칙이 생물체에서 어떻게 작용하는지를 밝히는 방향으로 이루어진다.

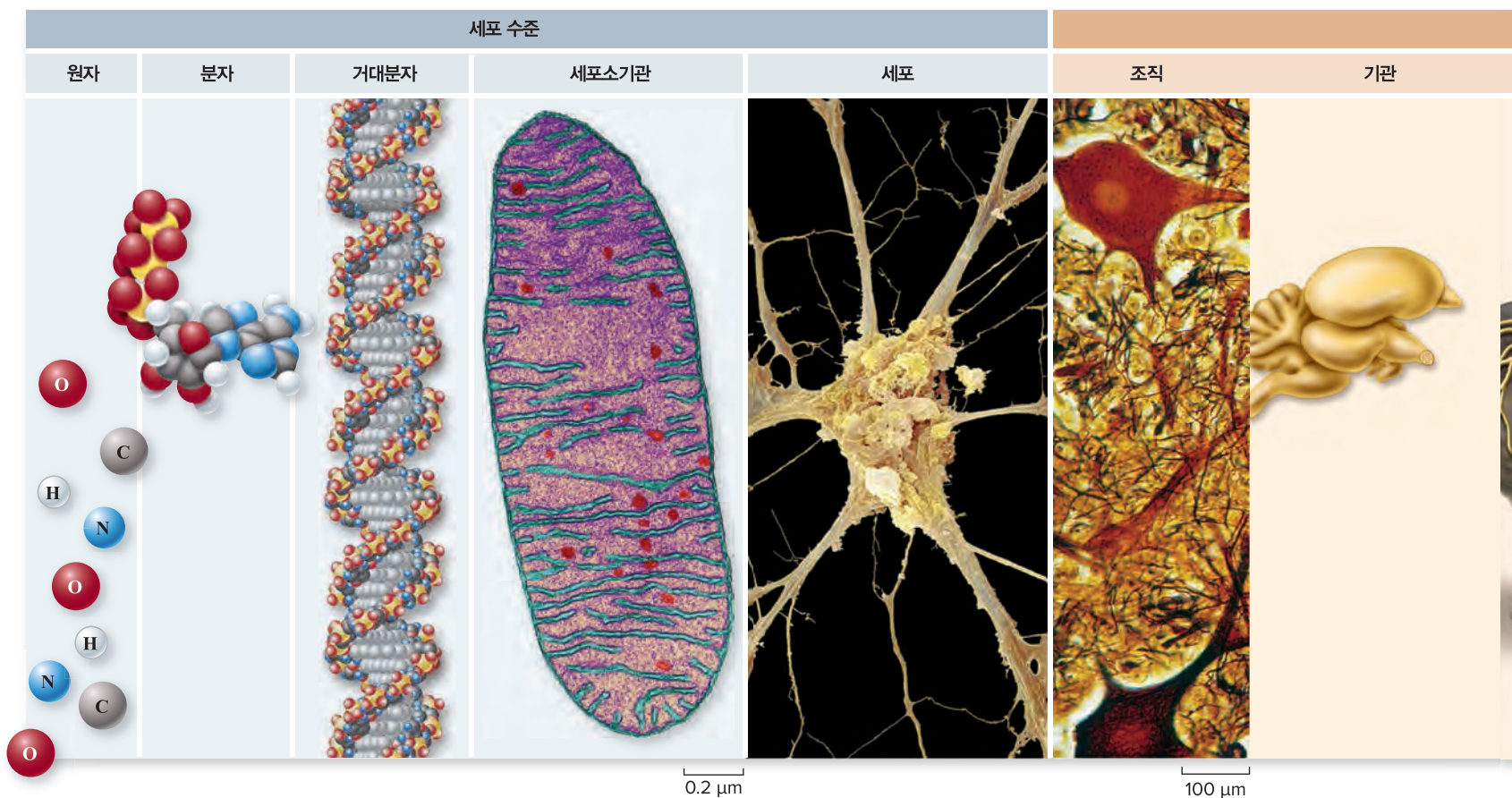
세포에서의 복잡한 화학 작용은 화학의 도구들과 기본 원리들을 사용하여 이해할 수 있고, 열역학(thermodynamics) 연구에서 밝혀진 에너지 전환의 특성은 모든 생물 조직의 각 단계에 그대로 적용될

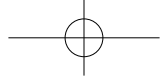
수 있다. 생물계에는 새로운 형태의 물질이 존재하지는 않지만, 생물체는 현재까지 알려진 물질들 중 가장 복잡한 물질들로 구성되어 있다. 생물계의 복잡한 특성은 태양의 지속적인 에너지 공급으로 유지되고 있으며, 태양의 에너지를 광합성을 통하여 유기 분자로 전환시키는 과정은 지금까지 화학과 물리학에서 알려진 가장 정교하고 복잡한 반응들 중 하나이다.

점점 더 어려운 현대 문제들을 극복하기 위해 우리가 과학을 하는 방식은 변화하고 있다. 과학은 나노기술(nanotechnology)과 같이 점차 다양하고 새로운 영역의 전문가들과 함께 연구하는 융합(interdisciplinary) 학문으로 변하고 있다. 생물학 연구에서 나타나는 의문점들을 해결하기 위해서는 여러 가지 접근 방법들이 요구되기 때문에 생물학은 다학제간(multidisciplinary) 연구의 중심에 위치하고 있다.

생명의 정의는 단순하지 않다

넓은 의미에서 생물학은 살아있는 것들에 대해 연구하는 생명과학(science of life)으로 불린다. 생물학자들은 매우 다양한 모양과 형태로 나타나는 생물들을 대상으로 다양한 방법들을 도입하여 생명





현상을 연구한다. 생물학자들은 고릴라와 함께 살거나, 화석을 수집하며, 고래의 소리를 듣기도 한다. 그리고 그들은 유전을 담당하는 긴 분자의 암호화된 메시지들을 해독하고, 벌새의 날개가 1초에 몇 번 퍼덕거리는지를 세기도 한다.

무엇이 어떤 것을 “살아있다” 할 수 있게 하는가? 누구나 달리는 말은 살아있고, 자동차는 달리기는 하지만 살아있지 않다고 구분할 수 있지만, 왜 그런지를 답하기는 쉽지 않다. 이는 차도 움직일 수 있고 젤라틴(gelatin)도 그릇 안에서 출렁거릴 수 있으므로 단순히 움직인다고 해서 살아있는 것은 아니기 때문이다. 생명을 하나의 단순한 문장으로 정의를 내릴 수는 없지만 모든 생물들은 다음과 같은 7가지 특징들을 공통적으로 지니고 있다.

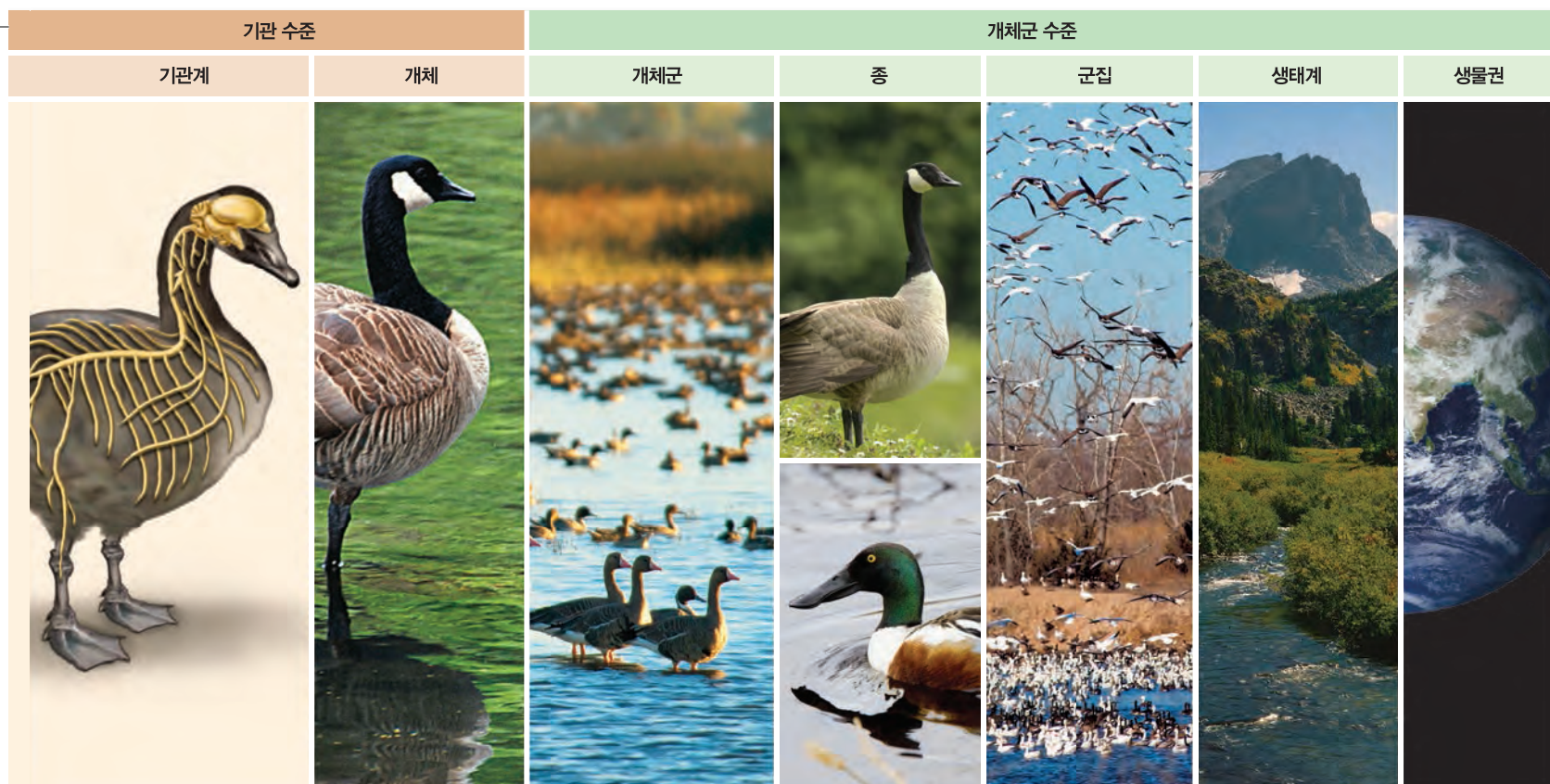
- **세포 구조:** 모든 생물은 하나 혹은 그 이상의 세포로 이루어져 있다. 눈으로 관찰할 수 없을 정도로 작은 세포는 생명의 모든 기본적인 활동을 수행한다. 그리고 각 세포는 주위 환경으로부터 자신을 구분 짓는 경계 막으로 둘러싸여 있다.
- **체계적인 복잡성:** 생물체들의 구조는 복잡하며 고도로 체계화되어 있다. 우리의 몸은 매우 다양한 종류의 세포들로 이루어져 있으며, 각 세포는 수많은 복잡한 분자 구조물들을 지니고

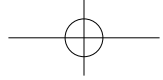
있다. 물론 살아있지 않은 물체들도 구성이 복잡할 수 있지만 생물체만큼 체계적인 복잡성을 나타내지는 않는다.

- **감수성:** 모든 생물은 자극에 대하여 반응을 한다. 식물은 빛이 있는 쪽으로 자라고, 어두운 방으로 들어가면 우리 눈의 동공은 확장이 된다.
- **성장, 발생 및 생식:** 모든 생물은 자라고 생식할 수 있으며, 자손에게 유전물질을 물려주면서 같은 종의 자손이 부모와 닮게 된다.
- **에너지 이용:** 모든 생물은 에너지를 받아들여 생명을 유지하며 살아간다. 우리 몸을 이루고 있는 근육은 우리가 먹는 음식물로부터 에너지를 추출하여 이용한다.
- **항상성:** 모든 생물은 주변 환경과는 다른 내부 조건을 비교적 일정하게 유지하는데, 이를 **항상성(homeostasis)**이라고 한다.

그림 W1.1 생물계의 계층적 구조.

생물은 가장 단순한 원자에서부터 복잡한 다세포 생물에 이르기까지 계층적 구조를 이루고 있다. 원자는 분자를, 분자는 세포소기관과 같은 좀 더 복잡한 구조를 형성한다. 이러한 것들은 차례로 다른 기능을 하는 세부 체계들을 구성한다. 세포는 조직을 이루고, 조직들은 기관과 기관계를 구성한다. 이러한 생물계의 체계화는 개체에서 개체군, 군집, 생태계 그리고 마지막으로 생물권으로 확장된다.





예를 들어, 여러분의 체온은 외부 온도의 변화에도 일정한 온도를 유지할 것이다.

- **진화적 적응:** 모든 생물은 다른 생물들이나 무생물적 환경과 상호작용을 하며, 이들은 생물의 생존에 영향을 준다. 이를 통하여 생물은 환경에 적응하면서 진화한다.

생물계는 계층구조를 보인다

생물계를 이루는 다양한 생물들은 여러 단계에 걸친 계층구조로 이루어져 있다.

1. **세포 수준:** 세포 수준에서(그림 W1.1) 물질의 기본 요소인 **원자**(atom)는 서로 결합하여 **분자**(molecule)를 이룬다. 세포 내에서 복잡한 구조의 분자들은 서로 결합하여 막으로 둘러싸인 단위체인 **세포소기관**(organelle)이라는 작은 구조물을 이룬다. 세포는 생명의 기본 단위가 되며, 박테리아는 단세포이지만 모든 동물과 식물 그리고 대다수의 균류 및 조류들은 하나 이상의 세포로 구성된 다세포 생물이다.
2. **기관 수준:** 복잡한 다세포 생물에서 세포는 3단계의 구조를 이룬다. 가장 기본적인 단계인 **조직**(tissue)은 기능적 단위로 작용하는 유사한 세포들의 집단이다. 구조적 및 기능적 단위로 작용하는 여러 조직들이 모여 **기관**(organ)을 형성하며, 그 실례로 우리의 뇌는 신경세포와 혈액을 공급하는 다양한 조직들로 이루어져 있다. 세 번째 단계로 기관들이 모여 **기관계**(organ system)를 형성한다. 예를 들어, 신경계는 감각기관, 뇌와 척수 그리고 신호를 전달하는 뉴런으로 이루어져 있다.
3. **개체군 수준:** 생물계에서 생물들은 여러 계층적 단계로 구분될 수 있다. 가장 기본적인 단계인 **개체군**(population)은 같은 장소에 사는 같은 종의 생물 집단을 의미한다. 개체군을 이루는 생물 **종**(species)은 생김새가 비슷하며 서로 교배할 수 있다. 개체군이 모여 구성하는 단계를 **생물군집**(biological community)이라고 하며 군집은 한 장소에 서식하는 모든 종의 개체군들로 구성된다.
4. **생태계 수준:** 생물계의 가장 높은 계층은 개체군들이 서로 상호작용하는 물리적인 서식지로 이루어지며, 이를 **생태계**(ecosystem)라고 한다. 예를 들어, 산림 생태계를 이루는 생물군집은 토양, 물 그리고 대기와 다양한 방식으로 상호작용을 한다.
5. **생물권:** 지구 전체를 하나의 생태계로 볼 수 있으며, 이를 **생물권**(biosphere)이라고 한다.

생물계의 계층적 단계에서는 상위로 갈수록 하위 단계에서 발생하는 많은 상호작용에 의해 새로운 특성들을 만들 수 있다. 이러한 소위

창발성(emergent properties, 신생의 특성을 의미함)이라 불리는 것은 예측이 가능하지 않다. 예를 들어, 개개의 세포를 관찰한다고 해서 전체 동물에 대하여 얻을 수 있는 정보는 많지 않다. 허리케인과 많은 기상 현상들은 실제로 많은 기상학적 변수들의 상호작용들에 의해 나타난다. 생물계에는 이러한 특성들이 너무 많기 때문에 “생명”을 간단하게 정의하는 것은 쉽지 않다.

지금까지 생물계의 공통적인 특성들과 체제를 기술하면서 살아있는 것의 성질에 대해 이해하기 시작하였다. 우리는 계속해서 생명과 학 그 자체의 좀더 넓은 질문들에 대해 생각해 보도록 한다.

핵심 요약 W1.1

생물학은 화학 및 물리학과 같은 다른 자연과학 분야와 함께 통합하여 생물계를 연구하는 학문이다. 생명은 단순한 정의를 가지고 있지 않지만, 생물계는 생명을 기술하는 많은 성질들을 함께 공유한다. 생물계는 세포 수준에서부터 전체 생물권까지 계층적으로 구조화되어 있고, 새로 생겨난 특성(창발성)들은 각 부분의 합을 초과할 것이다.

- 다른 과학 분야의 도움 없이 생물학을 연구할 수 있을까?

W1.2 과학의 본질

학습 목표

1. 생물학자들이 사용하는 다양한 유형의 추론을 비교할 수 있다.
2. 가설을 어떻게 설정하고 시험하는지 설명할 수 있다.

생명 자체를 정의하기 어려운 것처럼 자연과학을 간단하게 정의하기란 쉽지 않다. 오랫동안 과학자들은 “과학적 방법”을 한 가지 방식으로만 기술해 왔으나, 이와 같이 과학을 너무 단순화시키면 과학자가 아닌 사람들은 과학의 본질에 대하여 혼란을 겪을 수 있다.

과학은 우리 주변 세계를 관찰하고 사고하여 보다 더 정확하게 이해하고자 하는 학문 분야이고, 현재 지구상에 작용하고 있는 자연적 힘이 우주의 탄생 이후 변함없이 작용하여 왔으며 지금도 변하지 않는다는 것을 가정하고 있다. 많은 상호보완적인 방법들을 이용하여 자연현상을 이해할 수 있게 되었지만, 과학에서 단 한 가지의 옳은 방법만 있을 수는 없다.

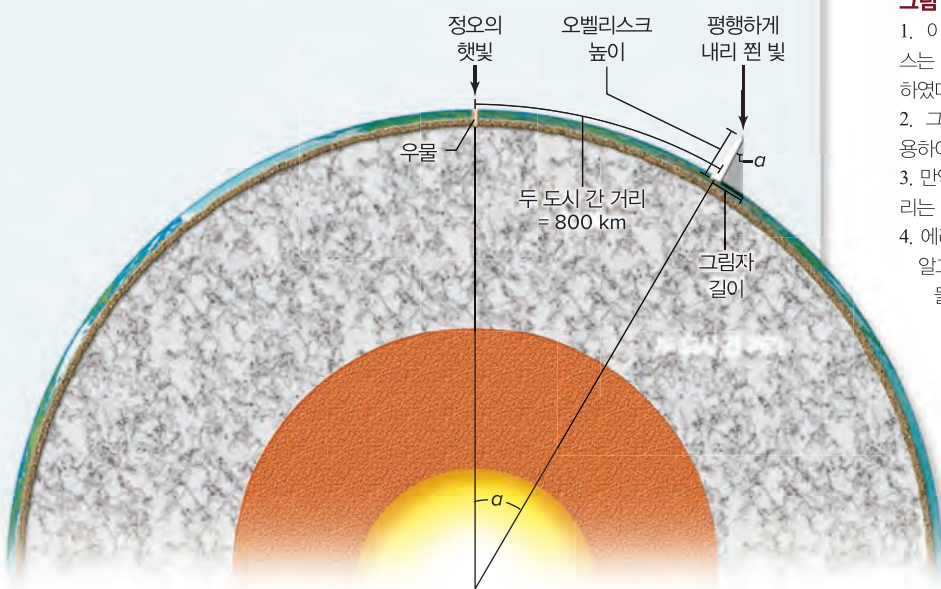
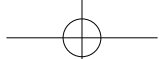


그림 W1.2 연역적 추론: 에라토스테네스의 지구 원둘레 측정법.

1. 이집트 시에네의 한 깊은 우물에 햇빛이 수직으로 내려쬰던 어느 날 에라토스테네스는 그곳에서 약 800 km 떨어진 알렉산드리아의 오벨리스크의 그림자 길이를 측정하였다.
2. 그림자 길이와 오벨리스크 높이는 삼각형의 두 변을 이룬다. 유클리드 기하학을 이용하여 에라토스테네스는 각 a 는 $7^\circ 12'$ 으로 정확히 원(360°)의 $1/50$ 임을 계산하였다.
3. 만약 a 가 원의 $1/50$ 이라면 알렉산드리아의 오벨리스크와 시에네의 우물 사이의 거리는 지구 원둘레의 $1/50$ 이 된다.
4. 에라토스테네스는 알렉산드리아에서 시에네까지 낙타를 타고 50일 걸린다는 것을 알고 있었다. 낙타가 하루에 18.5 km를 여행한다고 가정하여, 그는 오벨리스크와 우물 사이의 거리가 925 km라고 추정하였다.
5. 따라서 에라토스테네스는 지구 원둘레가 $50 \times 925 = 46,250$ km라고 추론하였다. 현대적 측정에 의하면 오벨리스크와 우물 사이의 거리는 800 km이므로 에라토스테네스의 방식으로 계산된 지구 원둘레는 $50 \times 800 = 40,000$ km이고, 실제 지구 원둘레는 40,075 km이다.

과학자들은 수집한 데이터와 관찰 결과를 최대한 객관적으로 해석하려고 노력하지만, 과학자들도 인간이기 때문에 완벽하게 객관성을 유지할 수는 없다. 그래서 과학은 항상 논쟁과 감독의 대상이 되어 자체적으로 수정이 이루어지면서 발전하고 있다. 한 과학자가 얻은 결과는 다른 과학자들에 의하여 검증이 되고, 만약 그 결과가 재현될 수 없는 결과라면 이는 과학적 사실로 받아들여질 수 없게 된다.

많은 과학은 서술적이다

고전적 과학 방법에서는 관찰을 통하여 가설을 세우고 이로부터 실험적으로 증명이 가능한 예측을 한다. 이러한 방식으로 우리는 새로운 아이디어를 냉정하게 평가하여 보다 정확하게 자연을 이해할 수 있게 된다. 이러한 방식의 과학적 방법은 이번 장의 후반부에서 다루며, 여기에서는 대다수의 과학이 서술적이라는 것을 이해하는 것이 중요하다. 어떤 현상을 이해하기 위한 첫 단계는 그에 대하여 완벽하게 기술하는 것이다. 생물학에서는 자연 현상에 대해 보다 상세하게 서술하는 데 관심을 기울인다.

과학적 서술의 한 예로 생물다양성(biodiversity) 연구를 들 수 있다. 현재 지구상의 모든 생물들에 대한 분류 작업이 진행되고 있다. 이러한 대규모의 프로젝트는 순수하게 서술적으로 이루어지고 있으며, 생물의 다양성에 대한 이해뿐만 아니라 인간이 생물다양성에 미치는 영향을 이해하는 데에도 큰 도움을 줄 수 있다.

21세기 초반에 분자생물학이 이룬 가장 중요한 성과는 인간 유전체의 염기서열 분석을 완성한 것이다. 이러한 지식으로부터 인간 생물학에 대한 많은 새로운 가설들이 세워질 수 있으며, 그 가설들을 검증하기 위해서는 많은 실험들이 요구되지만 염기서열 결정 자체는

서술적 과학이라고 할 수 있다.

과학은 연역적 추론과 귀납적 추론을 모두 이용한다

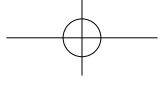
논리적 연구에서 논리적인 결론에 도달하는 방법으로 연역적 추론과 귀납적 추론의 2가지 상반된 방법이 사용된다. 주로 가설에 근거한 과학에서는 귀납적 추론이 이용되지만, 이 두 방법은 모두 과학에 이용된다.

연역적 추론

연역적 추론(deductive reasoning)은 기존의 일반적 원리를 적용하여 특정 결과를 예측하는 방법이다. 2200여 년 전에 그리스 과학자인 에라토스테네스(Eratosthenes)는 유클리드 기하학과 연역적 추론을 이용하여 지구의 둘레를 정확하게 예측하였다(**그림 W1.2**). 연역적 추론은 수학과 철학에 적용되며, 모든 분야의 지식에서 일반적인 사고의 타당성을 검증하는 데 이용된다. 예를 들어, 모든 포유동물이 털을 가진다고 정의하고 털을 가지지 않는 동물을 발견한다면 이 동물은 포유동물이 아니라고 결론을 내리는 것이다. 생물학자들은 생물의 특징을 이용하여 종을 예측하는 데 연역적 추론을 이용하고 있다.

귀납적 추론

귀납적 추론(inductive reasoning)은 특정 사실들로부터 일반적 원리를 찾아내는 방법으로, 논리의 흐름이 연역적 추론과 반대 방향으로 진행된다. 예를 들어, 푸들과 테리어가 털을 가지고 있고 당신이 관찰한 모든 개들이 털을 가진다면 모든 개가 털을 가진다고 결론을 내리게 되는 것이다. 귀납적 추론에서는 검증이 가능한 일반론을



이끌어낸다. 귀납적 추론은 1600년대에 유럽에서 베이컨(Francis Bacon)과 뉴턴(Isaac Newton) 등이 특정 실험 결과로부터 세상이 어떻게 작동되는지에 대한 일반적 원리를 유추하는 데 이용하면서 처음으로 과학의 중요한 연구 접근방법으로 대두되기 시작하였다.

생물학에서 사용된 귀납적 추론의 한 실례로 발생에서 호미오박스(homeobox) 유전자의 역할 연구를 들 수 있다. 초파리(*Drosophila melanogaster*)의 연구에서 더듬이 위치에서 다리가 생겨나도록 하는 것과 같이 발생과정에서 현저한 변화를 초래하는 유전자들이 확인되었다. 이들 유전자를 분리하여 염기서열을 결정해 보니 이들과 유사한 유전자들이 인간을 포함한 많은 동물에서도 발견되었다. 이러한 연구를 통해 호미오박스 유전자들이 발생을 조절하는 스위치로 작용한다는 일반론이 성립된 것이다.

가설에 근거한 과학은 예측을 하고 이를 검증한다

과학자들은 특정 사안을 체계적으로 검증하는 절차를 거쳐 어떤 일반적 원리의 진실 여부를 알아낸다. 만약 이들 사안이 실험적 관찰

과 일치하지 않는 것으로 밝혀지면 진실이 아닌 것으로 부정된다.

그림 W1.3은 이러한 과정을 보여준다.

과학자들은 특정 사안에 대해 세밀히 관찰한 다음 관찰 결과에 대해 설명할 수 있는 **가설(hypothesis)**을 세운다. 가설은 사실일 수 있는 하나의 명제로, 가설이 반증되지 않는 한 유지된다. 이러한 가설들은 알려진 사실의 확인에 적합하기 때문에 유용하게 이용될 수 있지만, 후에 새로운 정보에 의해 부정확한 것으로 판명되어 거부될 수도 있다.

하나의 가설이 새로운 결과에 의해 변경되고 수정될 수도 있다. 예를 들어, 유전학자인 비들(George Beadle)과 테이텀(Edward Tatum)은 유전정보의 본질에 대한 연구를 통하여 1 유전자/1 효소(one-gene/one-enzyme)설을 제안하였다(14장 참조). 이 가설에서 하나의 유전자는 하나의 효소를 만드는 데 필요한 유전정보를 나타낸다. 그 후 하나의 효소가 하나 이상의 폴리펩타이드로 만들어질 수 있다는 것이 밝혀지면서 이 가설은 1 유전자/1 폴리펩타이드(one-gene/one-polypeptide)설로 수정되었다. 그리고 하나의 유전자가 하나 이상의 폴리펩타이드를 만들 수 있다는 것이 다른 연구자들에 의해 밝혀지면서 이 가설은 다시 수정되었다.

가설 검증

가설을 검증하는 과정을 **실험(experiment)**이라고 한다. 어두운 방이 있다면 그 방이 왜 어두운지를 설명하기 위하여 여러 가지 가설들을 제안할 수 있다. 첫 번째로 “스위치가 꺼져 있어 방이 어두울 것이다”는 가설을 세울 수 있다. 다른 가설로 “전구가 손상되어 방이 어둡다”라는 것도 가능하다. 또한 “내가 장님이 되어가고 있는 것 같다”고도 할 수 있다. 이들 가설을 평가하기 위하여 하나 혹은 그 이상의 가설들을 배제하기 위해 고안된 실험을 수행할 수 있다.

예를 들어, 전원 스위치를 여러 번 작동시켜 보아도 여전히 어둡다면 첫 번째 가설에 대한 반증이 확보되어 이 가설은 바로 폐기된다. 여기에서 주목할 점은 이러한 실험이 다른 어떤 가설이 진실인지는 알려주지 않고 검증 중인 것만 반증한다는 것이다. 어떤 실험을 통하여 하나 혹은 그 이상의 대체 가설이 결과와 일치하지 않는다는 사실을 증명할 수 있다면 성공적이다.

이 책에서는 지금까지 수많은 실험 검증에서 지지되어 온 가설들을 접하게 될 것이다. 그 중 일부는 앞으로도 그렇게 유지될 수 있고, 나머지는 생물학자들이 발견한 새로운 관찰에 의해 수정될 수도 있다. 모든 과학과 같이 생물학의 명제들은 항상 변할 수 있으며, 새로운 지식이 나타나면 오래된 사실들은 대체되거나 수정되면서 발전하게 된다.

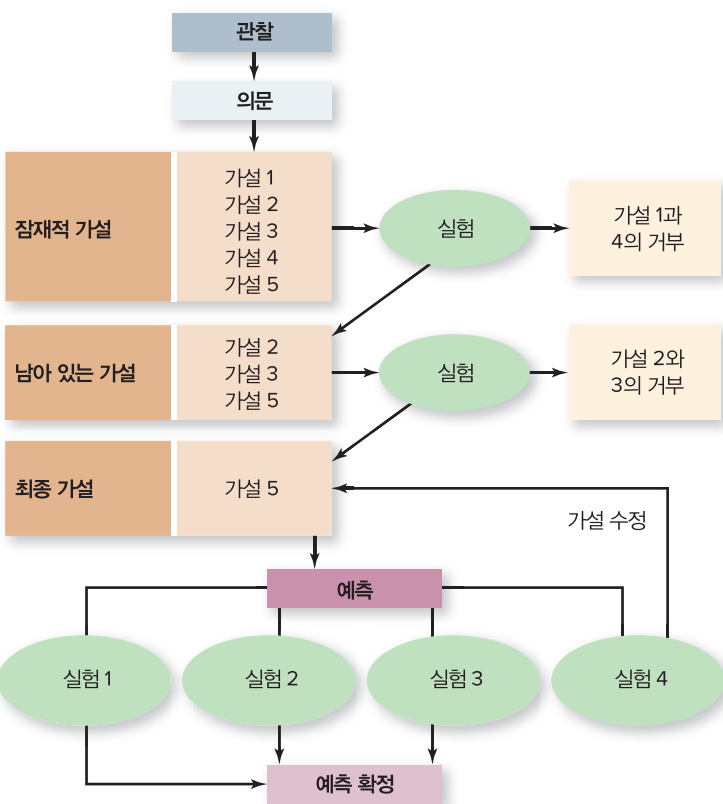
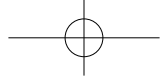


그림 W1.3 과학적 연구 방법.

이 그림은 과학적 연구를 진행하는 방법을 보여준다. 과학자들은 먼저 관찰을 통하여 질문을 만들어내고 그 질문에 대한 답을 얻기 위하여 여러 가지 가능한 가설들을 만든다. 그 다음 이들 가설 가운데 하나 혹은 그 이상을 배제하기 위하여 실험을 수행한다. 그리고 남아 있는 가설에 근거하여 예측을 하고 이 예측을 검증하기 위하여 추가 실험을 진행한다. 이러한 과정은 반복적으로 진행될 수 있다. 실험 결과로부터 얻은 정보를 이용하여 새로운 관찰에 적합하도록 원래의 가설을 변형시킬 수도 있다.



대조군 설정

중증 과학자들은 여러 요인들 또는 **변수(variable)**의 영향을 받는 과정들에 대해 배우는 것을 흥미로워 한다. 만약 하나의 변수에 대한 대체 가설을 검증하고자 한다면 다른 모든 변수들을 일정하게 유지하여야 한다. 이를 위하여 **실험적 처리(experimental treatment)** 또는 **실험군과 대조군 처리(control treatment)** 또는 대조군의 2가지 실험들을 함께 수행한다. 실험적 처리에서는 특정 가설을 검증하기 위하여 하나의 변수를 알려진 방식으로 바꾸어준다. 그에 비해 대조군 처리에서는 변수에 변화를 주지 않는다. 두 실험에서 모든 다른 조건들이 동일하다면 두 실험에서 나온 결과의 차이는 변수의 차이에서 생겨난 것으로 해석할 수 있다.

실험과학에서 대부분의 연구자들이 겪게 되는 어려움은 한 과정에 영향을 미치는 여러 변수들로부터 특정 변수를 분리시키는 대조군 실험들을 고안하는 것이다.

예측의 이용

성공적인 과학적 가설은 타당할 뿐만 아니라 유용해야 한다. 즉, 가설이 우리가 알고자 하는 무언가에 대해 설명해줄 필요가 있다. 가장 유용한 가설은 예측(prediction)을 만들 수 있는 가설로, 이는 그 예측이 가설의 타당성을 검증하는 방법을 제공하기 때문이다. 어떤 실험에서 예측과 다른 결과를 얻었다면 가설은 폐기되거나 수정되어야 한다. 반대로 실험적 검증에 의하여 지지를 받았다면, 그 가설은 지지된다. 가설이 만든 예측이 실험적으로 더 많은 지지를 받을수록 그 가설은 더욱 확고해진다.

그 실례로 미생물학의 초기 연구에서 영양 배지(nutrient broth)를 공기에 노출시킨 채로 방치하면 오염된다는 사실이 알려졌다. 이러한 관찰을 설명하기 위하여 자연발생설(spontaneous generation)과 생물속생설(germ hypothesis)이 제안되었다. 자연발생설의 지지자들은 유기분자들이 지니는 본연의 특성으로 인하여 생명체가 자연적으로 생겨난다고 주장하였다. 이에 반하여 생물속생설의 지지자들은 공기 중에 이미 존재하던 미생물이 영양 배지를 오염시켰을 것이라고 제안하였다.

이 두 가설들은 공기를 여과하고 영양 배지를 끓여 오염된 미생물을 죽인 많은 실험들을 통하여 검증되었다. 결정적인 실험은 파스퇴르(Louis Pasteur)에 의하여 이루어졌다. 파스퇴르는 공기에 노출될 수는 있지만 미생물의 오염을 배제할 수 있는 휘어진 목을 가지는 플라스크를 이용하였다. 이 플라스크 속의 영양 배지를 끓여 멸균시키면 오랫동안 멸균 상태가 유지되었지만, 휘어진 목을 절단한 플라스크에서는 오염이 발생하였다(그림 W1.4).

과학적 사고

질문: 공기에 노출되었던 플라스크의 육즙에서 일어난 오염의 근원은 무엇인가?

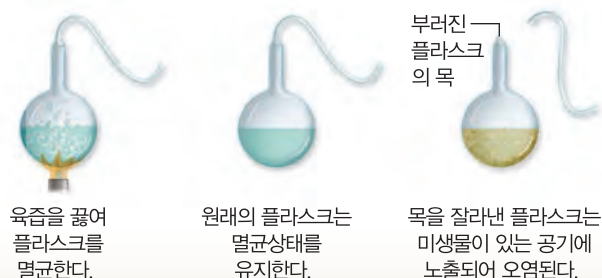
생물속생설: 공기에 존재하는 기존의 미생물이 육즙을 오염시킨다.

예측: 미생물이 플라스크에 들어가는 것을 차단한다면 멸균된 육즙은 멸균상태를 유지할 것이다.

자연발생설: 생물은 육즙의 유기분자들로부터 자발적으로 생겨난다.

예측: 멸균된 육즙에서 생물이 유기분자로부터 저절로 생겨날 것이다.

검증: 미생물의 진입을 차단하는 백조 목 모양의 플라스크를 이용하였다. 육즙에서 미생물이 자랄 수 있다는 것을 보여주기 위해 멸균 이후에 플라스크의 목을 절단하였다.



결과: 멸균된 백조 목 모양의 플라스크에서 미생물 성장이 일어나지 않았다. 목이 절단되어 육즙이 공기에 노출된 플라스크에서는 미생물 성장이 일어났다.

결론: 육즙에서의 미생물의 생장은 기존의 미생물에 의한 것이다.

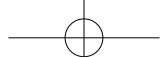
그림 W1.4 자연발생설과 생물속생설의 검증 실험.

멸균된 플라스크가 공기에 노출되면 공기 중에 있는 미생물이 영양 배지에 내려앉아 자란다는 것은 생물속생설이 예측한 결과이다. 반면에 자연발생설에서는 공기에 노출되더라도 결과에 아무런 차이가 없을 것으로 예측하였다. 이 실험 결과를 통해 자연발생설은 부정되었고 공기 중 생물속생설이 지지를 받게 되었다.

환원주의는 생물계를 세분화하여 이해한다

과학자들은 흔히 복잡한 계를 작용 부위별로 세분하여 이해하는 철학적 접근법인 **환원주의(reductionism)**를 이용한다. 환원주의는 생화학에서 일반적으로 이용되는 접근법으로, 개개의 경로와 특정 효소들을 집중적으로 연구하여 복잡한 세포의 물질대사를 규명하는데 많은 성과를 거두었다. 모든 경로와 이들의 구성요소들을 분석함으로써 세포의 전반적인 물질대사를 이해할 수 있게 된 것이다.

그러나 환원주의를 생물계에 전적으로 적용하는 데에는 한계가 있다. 그 실례로 효소는 정제 상태에서 항상 세포 내에서와 같이 작용하지는 않는다. 더 큰 문제는 서로 연결된 여러 가지 기능들이 복잡하게 상호작용하여 각 부분에서의 작용으로는 예측될 수 없었던 새로운 특성이 생겨날 수 있다는 것이다. 예를 들어, 리보솜을 구성하는 모든 단백질과 RNA를 분리하여 조사해도 단백질 합성 과정을 예측하는 것은 어려운 일이다. 더 높은 수준에서 캐나다 거위 한 마리의 생리를 이해한다고 거위 무리의 행동에 대한 예측을 하기는 어



렵다. 시스템생물학(systems biology)이라는 새롭게 각광받는 분야에서는 전체와 각 부분들의 상호작용을 다루기 위해 수학과 전산학적 모델들을 이용한다.

생물학자들은 생물계를 설명하기 위해 모델을 만든다

생물학자들은 다양한 목적을 위해 여러 가지 모델들을 만든다. 유전학자는 유전자 발현을 조절하는 단백질들이 상호작용하는 네트워크 모델을 만들고 우리가 볼 수 없는 것을 설명하기 위해 이를 모식도로 나타내기도 한다. 집단생물학자는 진화적 변화가 어떻게 일어나는지에 대한 모델을 만든다. 세포생물학자는 신호전달 경로에 대한 모델을 만든다. 구조생물학자는 단백질과 거대분자 복합체의 구조에 대한 모델을 만든다.

모델은 우리가 고려하고 있는 문제를 효과적으로 조직하는 방법을 제공한다. 모델을 통해 우리는 더 큰 그림에 다가설 수 있고 극단적인 환원주의적 접근법에서 벗어날 수도 있다. 각 부분의 작용은 환원주의적 분석을 통하여 얻어지지만, 모델은 이들이 얼마나 서로 잘 들어맞는지를 보여준다. 이러한 모델들은 모델을 재정립하거나 검증하는 데 이용될 수 있는 다른 실험을 제안하기 위한 바탕을 제시하기도 한다.

연구자들이 생물계를 이루는 분자들의 실질적인 흐름에 대한 지식을 더 많이 확보할수록 더욱 복잡한 동적 모델을 이용하여 분리된 효소에 대한 정보를 세포 수준에 적용할 수 있다. 시스템생물학에서는 이러한 모델링을 발생과정에서의 조절 네트워크나 박테리아 세포 전체에 적용하고 있다.

과학적 이론의 본질

과학자들은 **이론(theory)**이라는 용어를 2가지 방식으로 사용한다. 첫 번째로 이론의 의미는 어떤 자연현상에 대해 일반적인 원리에 근거를 두고 제안된 설명을 의미한다. 뉴턴에 의하여 처음 제안된 원리를 “중력 이론(theory of gravity)”이라고 한다. 이러한 이론은 이전에는 관련이 없는 것으로 여겨졌던 개념들을 통합시키기도 한다.

두 번째로 이론의 의미는 상호 연관된 개념들이 과학적 추론과 실험적 증거에 의해 지지되어 하나의 실체로 정립되어 특정 연구 분야의 사실을 설명하는 데 이용되기도 한다. 이러한 이론은 지식의 실체를 조직하는 데 필수적인 뼈대를 제공한다. 예를 들어, 물리학에서 양자 이론은 우주의 본질에 대한 모든 생각들을 묶어 실험적 사실들을 설명하고 추후의 의문점과 실험에 대한 지침을 제공해주고 있다.

과학자들에게 이론은 과학의 확고한 기반이며, 우리가 가장 확신하는 생각들을 표현한 것이다. 반대로 일반인들에게 이론이라는 용

어는 지식의 결여나 추측과 같이 정반대의 의미로 받아들여지기도 하여 혼란을 초래하기도 한다. 이 책에서는 항상 이론이라는 용어의 개념을 객관적으로 받아들여지는 일반적 원리 또는 지식의 실체를 말하는 과학적 의미로만 사용하고자 한다.

과학을 전공하지 않는 일부 비평가들은 진화를 “단지 하나의 이론”에 불과하다고 폄하한다. 하지만 진화에 대한 가설은 이미 객관적으로 채택된 하나의 과학적 사실이며 많은 증거들에 의하여 지지되고 있다. 현대적 진화 이론은 복잡한 지식의 실체로서, 그 중요성은 이미 진화를 설명하는 데 국한되지 않고 생물학의 모든 영역에 파급되어 생물학을 하나의 과학으로 통합시키는 개념적 뼈대를 제공하고 있다. 가장 중요한 핵심은 앞서 언급한 바와 같이 가설이 관찰을 얼마나 잘 설명할 수 있느냐에 있으며, 진화 이론은 여러 가지 관찰들을 매우 잘 설명해주고 있다.

연구에는 기초 연구와 응용 연구가 있다

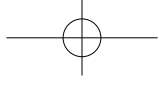
과거에는 “과학적 방법(scientific method)”이 정해진 순서의 논리 혹은 단계로 구성되어 있다고 여겼다. 각 단계에서 2가지 상호 배타적인 안들 가운데 하나가 거부되고 시행착오를 거쳐 궁극적으로 과학적 해답에 도달한다고 생각한 것이다. 이것이 사실이라면 컴퓨터가 가장 훌륭한 과학자가 될 것이지만, 실제로 과학은 그러한 방식으로 발전하고 있지 않다.

영국의 철학자인 포퍼(Karl Popper)는 우수한 과학자들은 좋은 아이디어로 어떠한 결과를 얻을지를 미리 예상하고 실험을 고안한다고 지적하였다. 그는 이를 진리에 대한 “창의적인 예상(imaginative preconception)”이라고 표현하였다. 통찰력과 상상력은 과학의 진보에 커다란 역할을 하기 때문에 일부 과학자들은 다른 사람들보다 우수한 과학자가 될 수 있다.

일부 과학자들은 **기초 연구(basic research)**를 수행하여 우리가 알고 있는 영역을 더 넓히고자 한다. 이들은 보통 대학에서 일하며, 통상 이들의 연구는 정부기관과 재단에서 연구비를 지원 받는다.

기초연구에 의하여 얻어진 정보는 과학적 지식을 늘리는 데 기여하고 **응용연구(applied research)**의 과학적 토대를 제공한다. 응용과학을 연구하는 과학자들은 대부분 회사에 고용되어 있다. 이들은 식품 첨가제를 제조하거나 새로운 약을 개발하고 환경오염을 검사하기도 한다.

연구결과를 논문으로 작성하여 과학저널에 출판하기 위해 논문을 투고하면 다른 과학자들이 이를 심사한다. 이러한 평가과정을 동료 심사(peer review)라고 하며 현대 과학에서 중요한 분야로 자리 잡고 있다. 이 과정에서 부정확한 연구나 잘못된 주장은 도전을 받고 검



토 없이 받아들여지지 않는다. 최근 생물학의 몇몇 분야에서 재현가능성에 대한 문제가 제기되고 있다. 이는 과학의 자기 반성적인 본질을 나타내고 있다.

과학이 무엇인지 그리고 그것이 어떠한 기능을 하는지에 대한 아이디어를 갖고 우리는 하나의 예를 자세하게 생각해 볼 것이다. 다윈의 자연선택에 의한 진화론은 과학의 역사에서 가장 중요한 아이디어 중 하나가 개발된 좋은 예이다.

핵심 요약 W1.2

많은 과학은 정확한 설명을 얻기 위해 관찰들을 모으는 서술적인 학문이다. 연역적 추론과 귀납적 추론은 과학에서 둘 다 사용된다. 과학적 가설은 관찰한 현상에 대한 설명을 제시한다. 가설은 대조군 실험들에 의해 검증할 수 있는 예측들을 만들어야 한다. 이론은 관찰한 자료들의 논리적인 설명이지만, 그것은 새로운 정보에 의해 수정될 수도 있다.

■ 과학적인 이론은 가설과 어떻게 다를까?

W1.3 과학탐구의 실례: 다윈과 진화론

학습 목표

1. 과학적 이론으로 자연선택에 의한 다윈의 진화론을 설명할 수 있다.
2. 진화론을 뒷받침하는 증거들에 대해 설명할 수 있다.

다윈의 진화론은 지구상의 생물들이 어떻게 오랜 시간에 걸쳐 변화해오고 새로운 형태의 다양성을 얻게 되는지를 설명하고 기술하였다. 이 유명한 이론은 과학자들이 어떻게 가설을 발전시키고 과학적인 이론을 성장시켜 받아들여지게 하는지에 대한 좋은 예시를 보여주었다.

다윈(Charles Darwin, 1809~1882; 그림 W1.5)은 영국의 박물학자로 30여 년간의 연구와 관찰 결과를 정리하여 역사상 가장 유명하고 영향력 있는 자연선택에 의한 종의 기원(On the Origin of Species by Means of Natural Selection)이라는 책을 저술하였다. 이 책은 출판되었을 때 사회적으로 큰 반향을 불러일으켰으며, 이 책에 담긴 다윈의 생각은 이후 인간의 사고 발전에 크게 기여하였다.

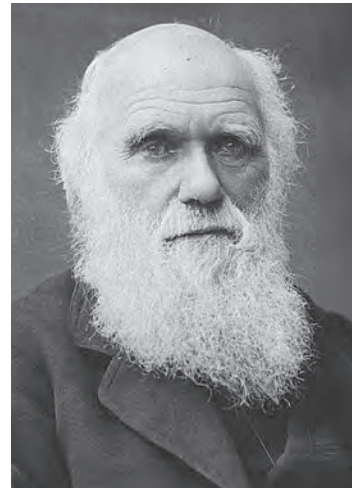


그림 W1.5 다윈.

사망하기 1년 전인 1881년에 촬영된 사진으로 최근에 발견되었다.

진화에 대한 생각은 다윈 이전에도 존재했다

다윈 시대에 대부분의 사람들은 서로 다른 종류의 생물들과 이들의 특징적인 모양은(지금도 여전히 많은 사람들은 믿고 있는 것처럼) 창조자의 의해 생겨났다고 믿고 있었다. 따라서 생물 종은 특이하게 창조되어 시간이 지나더라도 변하지 않는 것으로 여겼다.

이러한 생각과는 달리 여러 초기 박물학자들과 철학자들은 지구의 생명체들은 시간이 지나면서 변화해왔을 것이라고 제안하였다. 즉, 진화(evolution)의 결과로 출현한 현존 생물들은 이들이 처음 생겨났을 때와는 모습이 전혀 다를 수 있다는 것이다. 다윈의 공로는 진화에 자연선택(natural selection)이라는 개념을 도입한 것으로, 자연선택에 의한 진화의 과정을 논리적으로 설명하고자 하였으며, 그의 생각은 대중적 관심을 크게 불러일으키기에 충분하였다.

다윈은 유사한 생물들의 차이점을 관찰했다

다윈은 22살이던 1831년에 그의 이론에 대한 연구를 시작하면서 남아메리카 해안 주변(그림 W1.6)을 5년간 조사하는 탐험대의 일원으로 비글호(H.M.S. Beagle)에 올랐다. 오랜 기간의 탐험에서 다윈은 대륙과 섬, 그리고 멀리 떨어진 바다에 서식하는 다양한 동물과 식물들을 접하게 되면서 후에 그가 최종 결론을 내리는 데 중요한 많은 현상들을 관찰하는 기회를 가지게 되었다.

다윈은 반복적으로 탐험하면서 유사한 종들의 특징이 장소에 따라 어느 정도 차이가 난다는 사실을 관찰하였다. 이러한 지리적 분포 양상에 따라 그는 한 종이 장소를 이동함에 따라 계통이 점차 변화한다고 제안하였다. 남아메리카의 에콰도르 해안에서 960 km 정도 떨어진 갈라파고스 섬에서 다윈은 여러 섬들에 서식하는 다양한 핀치새(finch)들을 관찰하였다. 14종의 핀치새는 서로 비슷하지만 모양은 지역에 따라 다르게 나타나며, 특히 부리의 모양에서 큰 차이를

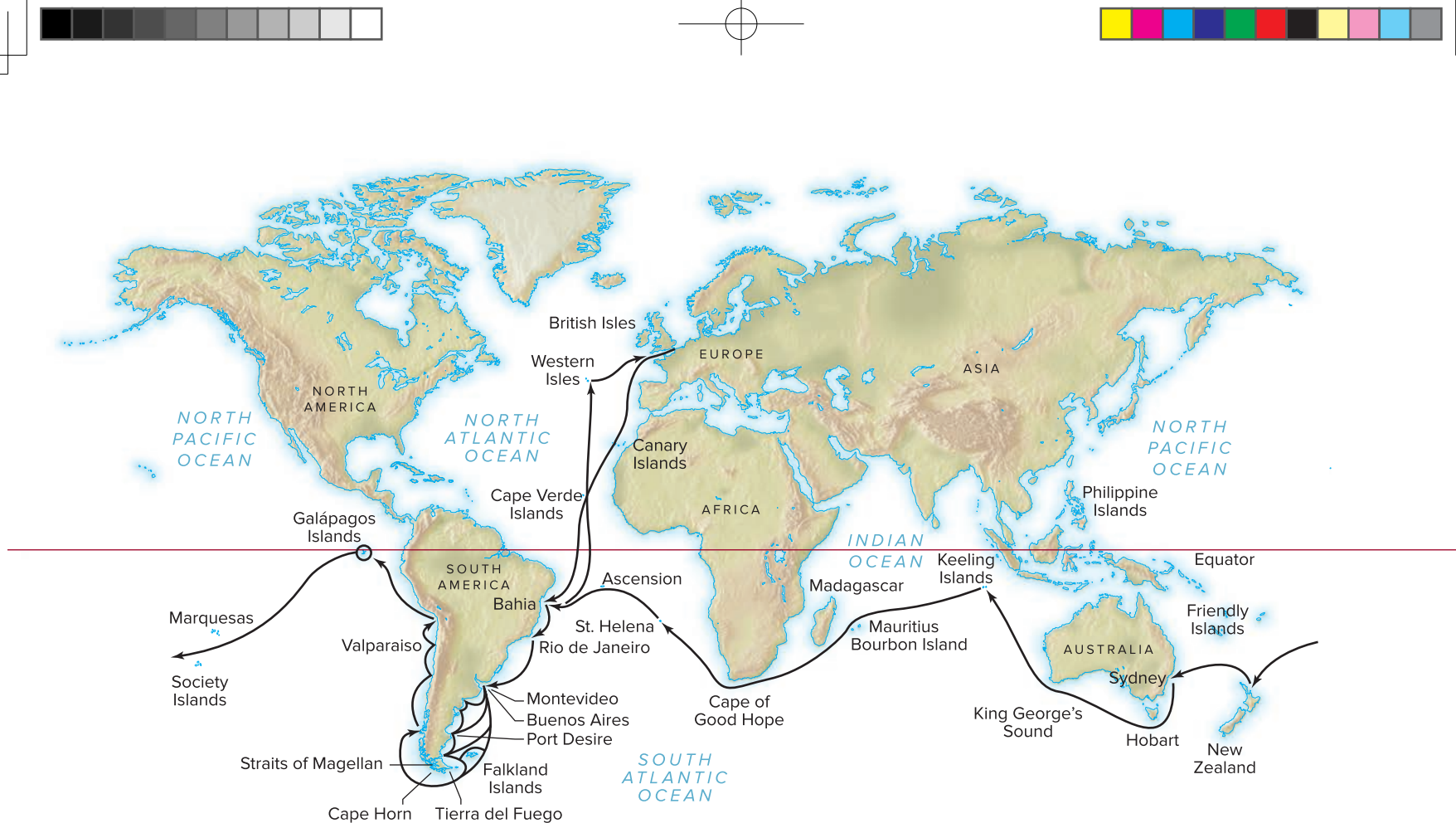


그림 W1.6 비글호의 5년간의 탐험.

다윈은 대부분의 시간을 갈라파고스 군도 등의 남아메리카의 해안과 연안의 섬들을 탐사하는 데 보냈다. 갈라파고스 군도에서의 다윈의 동물 연구는 자연선택을 통한 진화 개념을 탄생시키는 데 핵심적 역할을 하였다.

보였다(그림 W1.7).

다윈은 이러한 새들이 수백만 년 전에 남아메리카 본토에서 이주한 공통 조상의 후손들이라고 생각하면서 서로 다른 섬에서 다른 먹이를 먹으면서 핀치새의 부리가 변화한 것으로 설명하였다(19장과 20장 참조).

다윈은 비교적 늦게 분화하여 생긴 이들 화산섬에 사는 식물과 동물들이 남아메리카 해안 근처에 사는 것들과 비슷하다는 사실에 놀랐다. 다윈은 이들 동식물들이 독자적으로 창조되어 갈라파고스 섬에 살게 되었다면 이들이 예를 들어 아프리카 해안에 있는 유사한 기후를 가지는 섬에 사는 동식물들과 다른 이유는 무엇이며, 왜 이들



딱따구리핀치새(*Cactospiza pallida*)



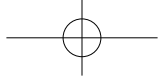
대형땅핀치새(*Geospiza magnirostris*)



선인장핀치새(*Geospiza scandens*)

그림 W1.7 세 종류의 핀치새와 이들의 먹이.

갈라파고스 군도에서 다윈은 부리와 먹이의 섭취 특성이 다른 14종의 핀치새를 관찰하였다. 그림에 나타난 핀치새의 먹이가 매우 다르다는 사실로부터 다윈은 부리 형태의 차이가 특정 서식지에서 확보 가능한 먹이를 섭취하는 능력을 향상시킨 진화적 적응의 결과라고 추정하였다.



이 남아메리카 해안에 사는 종들과 비슷한지 등에 대한 생각을 하게 되었다.

다윈은 자연선택을 진화의 메커니즘으로 제안했다

진화의 결과를 관찰하는 것과 진화가 어떻게 일어나는지를 이해하는 것은 전혀 다른 관점이다. 다윈의 위대한 업적은 개개의 관찰들을 기반으로 진화가 자연선택으로 일어난다는 가설을 만들었다는 것이다.

다윈과 맬서스

다윈의 사고에 결정적인 영향을 준 것은 맬서스(Thomas Malthus)의 저서인 **인구론**(An Essay on the Principle of Population, 1798)이었다. 이 책에서 맬서스는 인간을 포함한 동식물 집단의 개체 수는 기하급수적으로 증가하지만, 인간이 생산하여 공급하는 식량은 산술급수적으로만 증가시킬 수 있다고 하였다. 다시 말해 인구가 2, 6, 18, 54와 같이 3배수로 증가한다면 식량은 2, 4, 6, 8과 같이 2배수

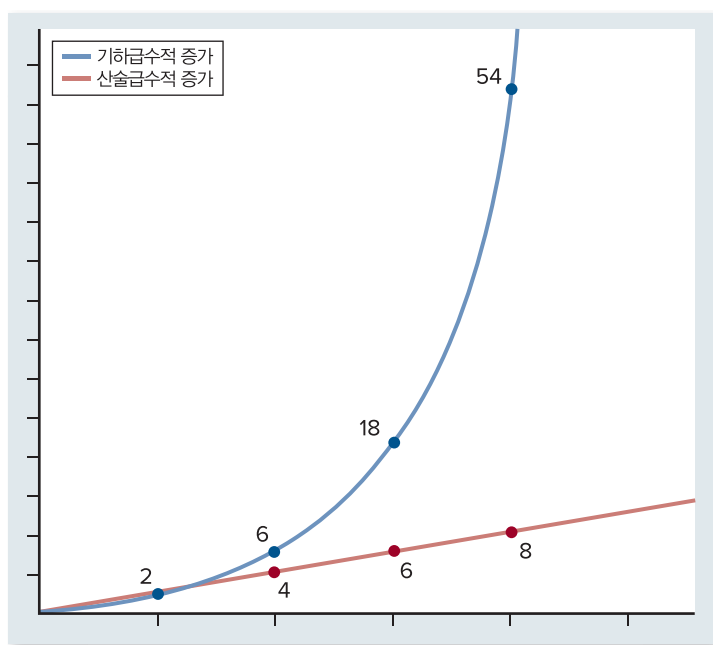


그림 W1.8 기하급수적 증가와 산술급수적 증가.

기하급수는 일정 인자(이 곡선은 각 단계에서 3배씩 증가함)로 증가하지만, 산술급수는 일정한 차이(이 직선은 각 단계에서 2씩 증가함)로 증가한다. 맬서스는 인구의 성장곡선은 기하급수적이지만 식량생산은 산술급수적이라고 주장하였다.

자료 분석 기하급수적 증가에 상수 요소를 줄이는 효과는 무엇인가? 이것이 그림의 곡선을 어떻게 바꿀 것인가?

탐구문제 이 효과가 인간과 함께 이루어질 수 있는가? 어떻게 가능한가?

가 더해지는 방식으로 증가한다는 이론으로, **그림 W1.8**은 시간이 경과함에 따른 이들 사이의 차이를 보여준다.

집단 내의 개체 수가 기하급수적으로 증가한다면 빠른 속도로 지구 전체에 널리 퍼지게 될 것이다. 그러나 실제로 집단의 개체 수는 매년 거의 일정하게 유지되는데, 이는 사망이 집단의 크기를 제한하기 때문이다.

맬서스의 아이디어에서 영감을 얻은 다윈은 모든 개체들이 생존 가능한 수보다도 더 많은 자손을 생산하는 잠재력이 있음에도 불구하고 오직 한정된 수만이 실제로 생존하여 자손을 남긴다는 사실을 관찰하였다. 다윈은 자신이 비글호의 탐험에서 보았던 것들과 자신이 가축 교배 경험에서 얻은 결과를 연관시켜 다음과 같은 중요한 결론을 내리게 되었다. 특정 환경에서 물리적, 행동적 혹은 다른 형질에서 이점을 가지는 개체들은 그들보다 적은 이점을 지닌 개체들보다 생존하여 자손을 남길 확률이 높다. 생존함으로써 이들 개체들은 자신이 지니고 있는 유용한 형질들을 자손에 전달할 기회를 가진다. 집단에서 이러한 형질들의 빈도가 증가하면서 집단 전체의 본질도 점차 변하게 되며 다윈은 이러한 과정을 **선택(selection)**이라고 했다.

자연선택

다윈은 가축화된 동물의 변이에 대하여 잘 알고 있어서 **종의 기원**(On the Origin of Species)에서 비둘기 교배에 대해 자세하게 기술하고 있다. 그는 사육사들이 동물의 육종 과정에서 특정 형질을 가지는 동물을 만들기 위해서는 어떠한 변종을 선택해야 한다는 것을 알고 있었는데, 이를 **인위선택(artificial selection)**이라고 했다.

인위선택에서는 종종 변이가 더 크게 나타나는데, 그 실례로 집비둘기 교배에서 전 세계에서 발견되는 모든 야생 비둘기 종들보다 훨씬 더 다양한 변종들이 만들어진 것을 들 수 있다. 다윈은 이러한 유형의 변화가 자연계에서도 일어날 수 있다고 생각하였다. 만약 비둘기 사육사들이 새끼의 변이를 인위적으로 선택할 수 있다면 자연도 이와 같이 할 수 있을 것이다. 다윈은 이러한 과정을 **자연선택(natural selection)**이라 명명하였다.

다윈의 초안 작성

다윈은 자연선택에 의한 진화와 관련된 모든 주장들을 정리하여 1842년에 예비 논문의 초안을 작성하였다. 그는 이 논문을 그와 가까운 동료 과학자들에게만 보여준 뒤 서랍에 넣어둔 채 16년 동안 다른 연구에 몰두하였다. 당시 어느 누구도 다윈이 그의 생각을 매우 자세하게 기술한 첫 논문을 발표하지 않았던 이유를 알지 못하였다.

다윈은 1858년 한편의 에세이를 받으면서 그의 가설을 출판하기로 결정하였다. 젊은 영국 박물학자였던 월레스(Alfred Russel

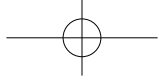
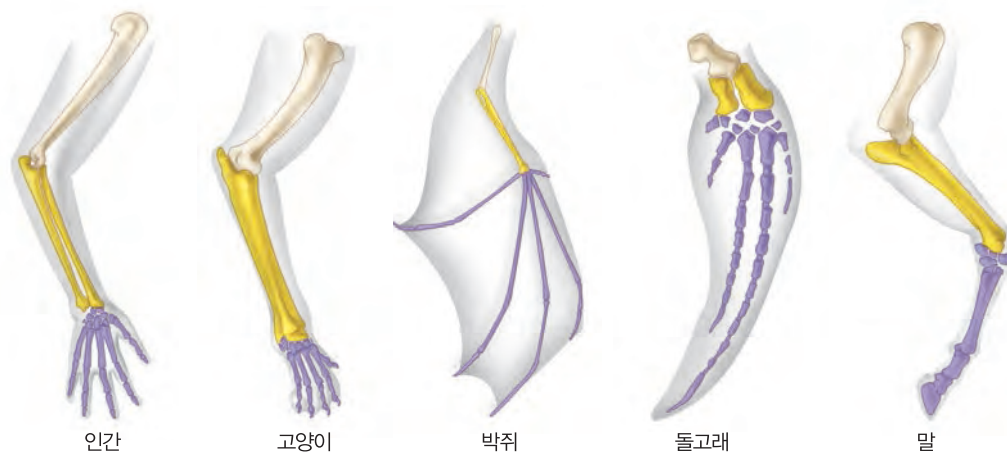


그림 W1.9 척추동물 다리의 상동성.

척추동물의 앞다리에서 뼈들의 상대적 비율이 각 동물의 삶의 방식에 따라 변화하여 왔음을 볼 수 있다.



Wallace, 1823~1913)는 인도네시아에서 다윈에게 한 편의 에세이를 보냈는데, 그 글에는 다윈과는 별개로 월레스가 작성한 자연선택에 의한 진화 가설이 간결하게 설명되어 있었다. 월레스의 에세이를 받은 후에 다윈의 친구가 이들의 생각을 런던에서의 세미나에서 공동으로 발표하도록 주선하였으며, 다윈은 마침내 1842년의 초안을 바탕으로 책을 완성하고 출판을 위해 투고하였다.

자연선택에 대한 예측은 검증되어 왔다

1882년에 다윈이 사망한 지 이미 130년 이상이 지나고 있다. 그 동안 그의 이론을 지지하는 증거들이 점차 늘어갔으며, 여기에서는 이러한 증거들의 일부에 대해 살펴보고 19장에서 자연 선택에 의한 진화론에서 더 자세하게 다루도록 한다.

화석 기록

다윈은 어류와 양서류 그리고 파충류와 조류 등과 같이 몸체가 큰 생물 집단 사이의 변화에 대한 증거가 화석기록을 통해 연결될 수 있을 것으로 예측하였다. 또한 자연선택 이론에 따라 이러한 중간형의 상대적 순서도 예측하였다. 오늘날 화석학자들은 19세기에는 생각할 수 없을 정도의 많은 화석기록들을 확보하여 중간형으로 여겨지는 것들을 여러 가지 발견하였으며, 이들을 예측한 순서대로 배열하고 있다.

최근 현미경으로 관찰할 수 있는 미세 화석이 발견되어 지구상 생명의 역사는 약 35억 년 전으로 연장되었다. 다른 화석들도 다윈의 예측을 지지하고 있으며, 생물이 이처럼 오랜 시간을 거치면서 어떻게 단순한 생물에서 복잡한 생물로 진화해 왔는지에 대한 실마리를 제공해주고 있다. 특히 척추동물에 대한 화석기록이 많아 형태가 점차적으로 변화해 왔다는 진화적 순서를 결정할 수 있게 되었다.

지구의 나이

다윈의 이론에서 지구가 매우 오래 전에 생겨난 것으로 예측되었지만, 당시의 일부 물리학자들은 지구의 나이가 단지 1억 년에 불과하다고 반박하였다. 모든 생물들이 공통 조상으로부터 진화되었다면 이보다 훨씬 더 오랜 시간이 요구되므로 이들의 주장은 다윈을 힘들게 하였다. 하지만 방사능 동위원소의 붕괴 속도에 대한 연구를 통해 다윈 시대의 물리학자들이 지구의 나이를 잘못 측정하였다는 것이 밝혀졌으며, 현재 지구의 기원은 45억 년으로 추정되고 있다.

유전 메커니즘

다윈은 유전학 분야에서 가장 신랄한 비평을 받았다. 그 당시에 누구도 유전자의 개념이나 유전의 원리를 알지 못하였기 때문에 다윈은 진화가 어떻게 일어나는지를 완벽하게 설명하는 데 어려움이 많았다.

멘델(Gregor Mendel)이 다윈과 비슷한 시기에 오스트리아의 브륀(Brünn, 현재 체코공화국의 Brno)에서 완두를 가지고 실험을 수행하고 있었지만, 유전학은 20세기에 접어들어서야 하나의 과학으로 자리 잡았다. 과학자들이 유전 법칙을 이해하기 시작하면서 다윈 이론에 대한 의심도 점차 사라졌다.

비교해부학

동물의 비교해부학적(comparative anatomy) 연구는 다윈의 이론에 강력한 증거를 제공하였다. 예를 들어, 척추동물들은 그들의 공통적인 진화적 증거를 보여주는 동일한 뼈대를 지니고 있다. **그림 W1.9**와 같이 동물의 앞다리는 기본적으로 동일한 배열의 뼈로 이루어져 있으며, 이는 살아오면서 사용 목적에 따라 변형된 것이다.

서로 다른 척추동물에서 그들이 지닌 뼈대가 동일한 진화적 기원을 가졌지만 현재 구조와 기능이 다를 경우 **상동성(homologous)** 기

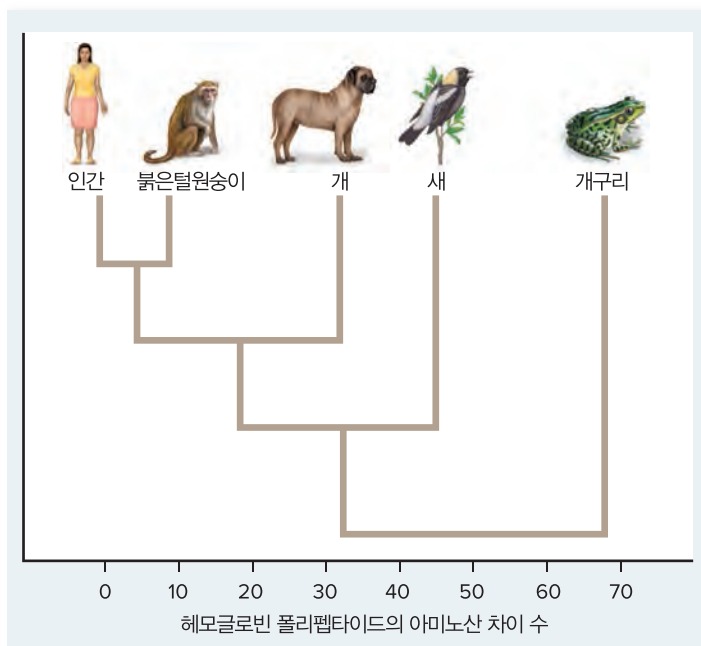
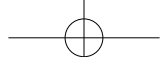


그림 W1.10 분자는 진화 양상을 반영한다.

인간과 유연관계가 멀수록 헤모글로빈 폴리펩타이드에서 아미노산 수의 차이가 크다.

? **탐구문제** 이 그래프에서 뱀을 넣는다면 어디에 위치할까? 왜 그럴까?

관이라고 한다. 그에 비해 새와 나비의 날개에서 보는 것처럼 진화상 기원은 다르지만 유사한 기능을 가지는 기관은 **상사성(analogous)** 구조라고 한다.

분자적 증거

진화의 양상은 분자 단계에서도 관찰할 수 있는데, 서로 다른 동식물의 유전체를 비교해 보면 그룹 간의 연관 정도를 더 자세히 파악할 수 있다. 이는 시간에 따른 일련의 진화적 변화는 DNA 상의 유전적 변화의 축적과 더불어 일어나기 때문이다.

분자 수준에서의 차이는 헤모글로빈에서 분명하게 나타난다(**그림 W1.10**). 영장류에 속하는 사람과 붉은털원숭이(rhesus monkey)는 다른 포유류인 개와 비교해볼 때 146개의 아미노산으로 이루어진 헤모글로빈 β 사슬이 더 유사하고, 새와 개구리와 같은 비포유류 척추동물은 좀 더 다르다는 것을 알 수 있다. 이러한 종류의 분석을 통해 **계통수(phylogenetic tree)**를 만들며, 이는 진화적 관계를 그림으로 표현하도록 해준다.

W1.4절에서는 이러한 생각들에 대해 좀 더 자세히 살펴본다. 지금부터 우리의 생각들을 구성하기 위해 핵심 개념들을 어떻게 사용하며 현대 생물학에서 방대한 양의 정보를 어떻게 다루는지에 대해 배우면서 생물학에 대한 소개를 마치려고 한다.

핵심 요약 1.1

다윈은 연관된 개체들에서 차이점들을 관찰하였고 이러한 차이점들을 설명하기 위해 자연선택에 의한 진화 가설을 제안하였다. 자연선택에 의해 만들어진 예측들은 검증되어 왔고 화석기록, 유전학, 비교해부학 그리고 살아있는 개체의 DNA에 대한 분석을 통해 검증되고 있다.

■ 다윈의 자연선택에 의한 진화론은 생명의 기원을 설명할 수 있을까?

W1.4 생물학의 핵심 개념

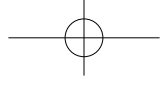
학습 목표

1. 생물학 연구의 기초를 이루는 핵심 개념들을 설명할 수 있다.

신경화학의 기초적인 수준에서 볼 때, 비전문가와 전문가의 두뇌의 크기는 별반 다르지 않다. 다만 전문가는 정보들을 시간을 두고 수집하여 구성하는 방법에서 비전문가와 큰 차이를 보인다. 우리는 생물학에 대한 정보를 모으기 시작하면서 어떻게 하면 전문가처럼 생각하며 정보를 구성할지를 고민해 봐야 한다.

여러분은 아마 주제에 따라 생물학에 대한 정보의 홍수를 정리하려고 할 것이다. 이러한 접근방식의 문제점은 성공하기에는 주제들이 너무 많다는 것이다. 아이디어들을 구성하는 더 좋은 방법은 개념적인 구조를 사용하는 것이다. 생물학을 포함하여 대부분의 학문은 조직화된 개념들의 정보에 기초를 두고 있다. 여러분은 이러한 개념을 많은 주제와 관련된 특정 아이디어를 보유할 수 있는 장소로 생각할 수 있다. 예를 들어, 망치, 해바라기 그리고 DNA를 생각할 때 이들은 상당히 이질적으로 보이지만 실제로 개념적으로 구성할 수 있다. 망치에는 지렛대로 사용할 수 있는 긴 손잡이와 못을 박는 무거운 머리가 있다. 해바라기는 광합성을 위해 빛을 흡수하는 능력을 최대화하는 넓은 잎을 가지고 있으며, DNA는 정보를 저장할 수 있는 구조를 가지고 있다. 이러한 설명은 어떤 것의 기능은 형태에서 발생하므로 “구조가 기능을 결정한다”는 개념으로 구성될 수 있다. 새로운 정보가 나오면 “구조가 기능을 결정한다”는 것과 같은 핵심 개념의 뼈대에 맞출 수 있다.

생물학 교육에서 핵심 개념을 강조해야 한다는 움직임이 최근 일어나고 있다. 저자들은 이러한 운동에 찬사를 보내며 이 책에 이러한



접근방식을 포함하였다. 우리는 5가지 핵심 개념을 강조하였다.

1. 생명은 화학 및 물리 법칙의 적용을 받는다.
2. 구조는 기능을 결정한다.
3. 생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다.
4. 생물계는 정보 교환에 의존적이다.
5. 진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다.

핵심 개념들은 본질적으로 높은 수준이면서 일반적이다. 이들은 보다 특정한 2차 개념들을 구성하는 데 사용되며, 이는 생물학적 현상에 대한 관찰, 실험, 설명을 통해 만들어진다. 예를 들어, “구조가 기능을 결정한다”는 핵심 개념은 “유전정보가 DNA의 구조로 암호화된다”라는 2차 개념으로 이어질 수 있다. 그런 다음 이것은 유전정보의 본질에 대한 일련의 관찰을 구성하는데 다음과 같이 사용될 수 있다. “염기 결합은 특정 패턴의 수소결합을 포함한다”, “유전자 암호는 A, T, G, C로 약칭되는 4개의 뉴클레오타이드로 구성된다”, “DNA는 RNA를 합성하기 위한 주형으로 사용된다”.

5가지 핵심 개념

생명은 화학 및 물리 법칙의 적용을 받는다

편하게 보이지만 생물계가 알려진 화학적 및 물리적 원리에 따라 작동한다는 점을 강조하는 것은 중요하다. 이러한 이유로, 이 책을 포함한 거의 모든 생명과학 입문 서적은 화학에 관한 장으로 시작한다. 이것은 생물학적 시스템이 매우 복잡한 화학의 기본적인 응용이기 때문이다. 그러나 생물학에는 새로운 화학 또는 물리 법칙이 없으며 친숙한 화학 원리와 법칙을 일관되게 적용할 수 있다. 이것은 원자 구조, 화학결합, 열역학, 동역학 및 기본 화학과 물리학의 다른 많은 주제에 대한 지식이 생물학적 시스템을 이해하는 데 중요하다는 것을 의미한다.

일부 물리학과 화학은 이 책의 “세포와 분자” 부분에서만 관련이 있는 것처럼 보이지만, 실제로는 그 원리가 책 전체에 적용된다. 식물에서 물의 이동은 물의 기본 화학 구조에 의존하고, 신장은 삼투압 기계이며, 생태계의 에너지 흐름과 영양 순환은 열역학 법칙에 의해 좌우되고, 많은 중요한 요소의 순환에는 생물지구화학적 순환이 포함된다.

구조는 기능을 결정한다

생물학의 주요 통합 주제는 구조와 기능의 관계이다. 간단히 말해서 분자, 세포, 조직 및 기관의 적절한 기능은 구조에 달려 있다. 이 관찰은 사소하게 보이지만 광범위한 영향을 미친다. 특정 구조의 기능을 알면 다른 생물체에서와 같이 다른 상황에서 발견되는 유사한 구조의 기능을 유추할 수 있다.

예를 들어, 포도당 섭취를 조절하는 호르몬인 인슐린에 대한 인간

세포의 표면 수용체 구조를 알고 있다고 가정해 보자. 그런 다음 곤충과 같은 매우 다른 종의 세포막에서 유사한 분자를 찾는다. 우리는 이 막 분자가 곤충에 의해 생성된 인슐린 유사 분자의 수용체 역할을 한다는 결론을 내릴 수 있다. 이런 식으로 우리는 곤충과 인간의 포도당 섭취 사이의 진화적 관계를 가정할 수 있다. 구조가 변하면(잠재적인 생리학적 결과로) 기능이 파괴된다.

생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다

단일 세포에서 가장 높은 수준의 생물 구성단위인 생물권에 이르기까지 생물계는 끊임없이 에너지를 필요로 한다. 이를 끝까지 역추적하면, 생물권의 원래 에너지원은 태양이다. 이 에너지가 없다면 생물계는 그 특징적인 고도로 조직화된 상태를 나타내지 않을 것이다. 이것은 간단하게 들리지만, 삶의 기본이 에너지와 물질의 끊임없는 변화라는 의미이다. 우리는 에너지를 위해 “음식” 분자를 분해한 다음, 이 에너지를 사용하여 다른 복잡한 분자를 만든다.

태양으로부터의 에너지는 광합성 생물체에 의해 흡수되며, 이 에너지를 사용하여 이산화탄소를 줄이고 유기화합물을 생성한다. 에너지와 탄소의 지속적인 공급원이 필요한 우리는 이러한 유기화합물을 다시 이산화탄소로 산화시켜 에너지를 방출함으로써 생명의 현상을 유지한다. 이러한 모든 에너지 교환은 비효율적이기 때문에 일정량의 에너지는 열로 방출된다.

이 지속적인 에너지 입력은 생물계가 열역학적으로 평형이지 않도록 한다. 평형 상태라면 여러분은 아미노산, 뉴클레오타이드 및 다른 작은 분자들의 집합체에 불과하며, 이 문장을 읽을 수 있는 복잡한 동적인 시스템이 아닐 것이다. 비평형 시스템은 또한 평형 시스템에서 볼 수 없는 자기조직화(self-organization)의 특성을 나타낼 수 있다. 염색체 분리에 필요한 방추사와 같은 거대분자 복합체는 자기조직화할 수 있다(그림 W1.11). 조류 무리, 물고기 떼, 바이오피름 속 박테리아도 모두 자기조직화를 나타내며, 개별적으로는 볼 수 없는 특성을 나타낸다.

생물계는 정보 교환에 의존적이다

살아있는 시스템에서 가장 명백한 형태의 정보는 모든 세포에서 DNA(deoxyribonucleic acid) 형태로 운반되는 유전 정보이다. 각 DNA 분자는 서로 감겨진 2개의 뉴클레오타이드 사슬로 구성되어 있다(그림 W1.12). DNA에는 4개의 서로 다른 뉴클레오타이드가 있으며, 그 서열은 세포를 만들고 유지하기 위한 정보를 암호화한다.

한 세대에서 다음 세대로의 삶의 연속성(유전)은 세포의 DNA를 딸세포에 충실하게 복사하는 것에 달려 있다. 세포를 지정하는 DNA 명령어의 전체 세트를 유전체(genome)라고 한다. 30억 뉴클레오타

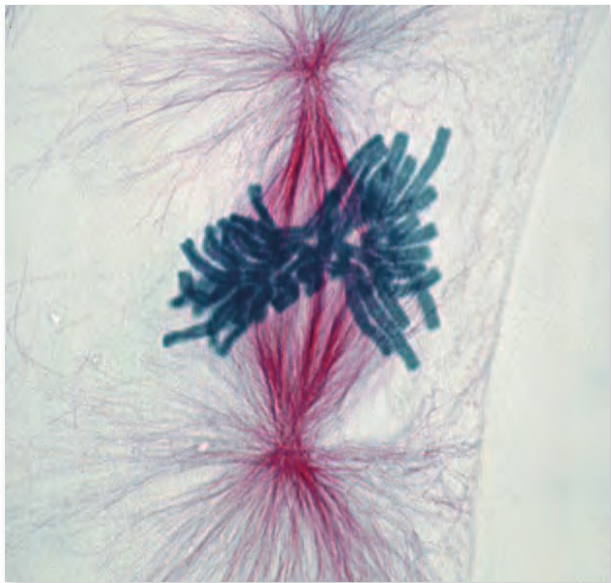
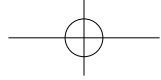


그림 W1.11 방추사.

이 분열하는 세포에서 미세소관은 방추사(빨간색)로 조직화 되면서, 각각의 염색체(파란색)를 분열 세포의 중심 평면으로 잡아당긴다.

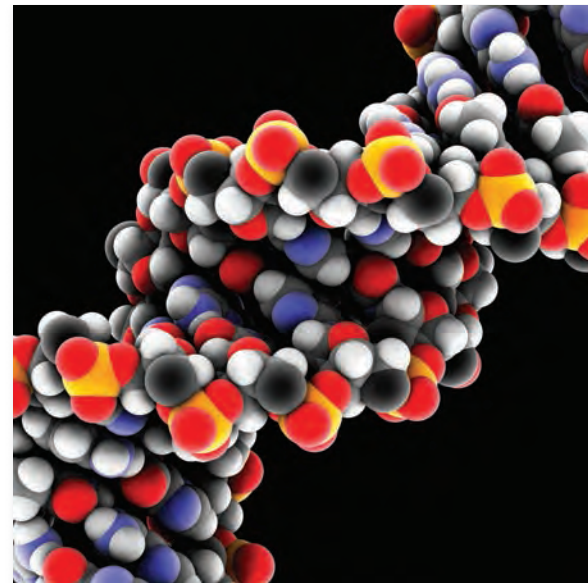


그림 W1.12 유전 물질인 DNA.

모든 생물체는 이 책이 알파벳 문자들로 정보를 저장하는 것처럼 DNA의 기본 단위 형태로 유전 정보를 저장한다.

이드 길이의 인간 게놈 서열은 2001년에 초안 형태로 해독되었다.

하지만 정보의 중요성은 유전체와 그것의 유전을 넘어서다. 세포는 정보를 수신, 처리 및 반응하는 매우 복잡한 작은 기계이다. DNA에 저장된 정보는 세포 성분의 합성을 지시하는 데 사용되며, 특정 성분의 세트는 세포마다 다를 수 있다. 단백질이 공간에서 접히는 방식은 3차원적인 정보의 형태이며, 거대분자 복합체에서의 이러한 형태의 상호작용으로부터 흥미로운 특성이 나타난다. 유전자 발현의 조절은 시간 및 공간에서 세포 유형의 분화를 이끌며, 생물체의 모든 세포가 동일한 유전 정보를 갖더라도 발달 시기에 따라 상이한 조직 유형으로 변화하게 한다.

생물체는 내부 및 외부 환경에 대한 정보를 수집한 다음 이 정보에 반응할 수 있다. 여러분이 이 부분을 읽는 것처럼 이 과정에 익숙하겠지만 단일 세포 생물체와 다세포 생물체의 세포 수준에서도 일어난다. 세포는 자신의 환경에 대한 정보를 획득하고, 신호를 송수신하며, 세포 형태, 행동 또는 생리학을 변화시킬 수 있는 신호전달 시스템으로 이 모든 정보에 반응한다(8장 참조).

진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다

생물학자들은 오늘날 지구상에 존재하는 모든 유기체가 약 35억 년 전의 간단한 세포 생물체에서 유래한다는 것에 동의한다. 그 생물체의 특성 중 일부는 진화 역사를 통해 현재까지 보존되어있다. 예를 들어, 유전 정보를 DNA에 저장하는 것은 모든 생물에게서 공통적이다.

오래된 계통에서 이러한 보존된 특성을 유지한다는 것은 이들이 생물체의 성공에 근본적인 역할을 한다는 것을 의미한다. 발달 과정의 중요한 조절 인자인 호미오도메인(homeodomain) 단백질이 좋은 예이다. 보존된 특성은 약 1850개의 호메오도메인 단백질에서 볼 수 있으며, 3개의 생물체 계(kingdom)에 분포되어 있다(그림 W1.13).

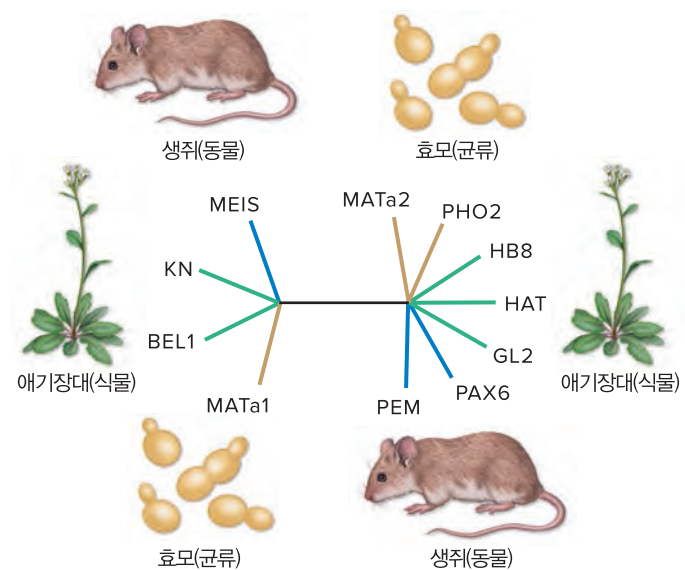
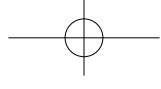


그림 W1.13 호미오도메인 단백질의 계통수.

호메오도메인 단백질은 균류(갈색), 식물(초록색), 동물(파란색)에서 발견된다. 서열의 유사성에 따라 이들 11가지 호미오도메인 단백질들은 2가지 그룹으로 구분할 수 있다. 그림은 생쥐의 호미오도메인 단백질인 PAX6가 생쥐 단백질인 MEIS보다 균류와 현화식물의 단백질인 PHO2와 GL2에 더 가깝다는 것을 보여준다.



호미오도메인 단백질은 초기에 진화한 강력한 발생 도구이다. 그것들은 새로운 형태를 제공하기 위해 사용되고 변형되었다.

많은 관련 생명체들이 몇몇 주요 특징들을 공유하는 단일성은 지구의 다양한 환경에서의 생물의 다양성과는 대조적이다. 생화학과 유전학의 기본적인 단일성은 모든 생명체가 동일한 기원에서 진화했다고 주장하는 것이다. 오늘날 우리가 보는 놀라운 생명의 다양성은 화석 기록에서 볼 수 있는 진화적 변화에 의해 일어났다.

핵심 요약 W1.4

생물학을 이해하려면 더 높은 수준의 개념이 필요하다. 우리는 이 책 전체에서 다음의 5가지 핵심 개념을 사용하고 있다. 1. 생명은 화학 및 물리 법칙의 적용 받는다. 2. 구조는 기능을 결정한다. 3. 생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다. 4. 생물계는 정보 교환에 의존적이다. 5. 진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다.

■ 바이러스가 생물계의 정의에 어떻게 맞다고 할 수 있을까?



핵심 개념 요약

W1.1 생명과학

■ 생물학은 자연과학의 많은 부분을 통합한다

생물학적 시스템에 대한 연구는 문제를 해결하기 위해 다양한 접근법이 필요하기 때문에 학제 간 연구의 특징을 갖는다.

■ 생명의 정의는 단순하지 않다

생명을 정의하기는 어렵지만 살아있는 시스템에는 다음과 같은 7가지 특징이 있다. 이들은 하나 이상의 세포로 구성된다; 복잡하고 질서 정연하다; 자극에 반응할 수 있다; 자라서 번식하고 유전 정보를 자손에게 전달할 수 있다; 일을 하기 위해 에너지가 필요하다; 비교적 일정한 내부 조건(항상성)을 유지할 수 있다; 환경에 진화적으로 적응할 수 있다.

■ 생물계는 계층구조를 보인다

생물계의 계층적 조직은 원자에서 생물권까지 진행된다. 각각의 더 높은 수준에서 부분의 합보다 더 큰 새로운 속성이 발생한다.

W1.2 과학의 본질

기본적으로 과학은 관찰과 추론을 사용하여 세상의 본질을 이해하는 것이다.

■ 많은 과학은 서술적이다

과학은 관찰과 실험을 통해 점점 더 정확하게 자연을 서술하는 것이다.

■ 과학은 연역적 추론과 귀납적 추론을 모두 이용한다

연역적 추론은 구체적인 결과를 예측하기 위해 일반적인 원칙을 적용한다. 귀납적 추론은 일반적인 과학적 원리를 구성하기 위해 특정한 관찰들을 사용한다.

■ 가설에 근거한 과학은 예측을 하고 이를 검증한다

가설은 관찰을 기반으로 하며 검증 가능한 예측을 생성한다. 검증에는 변수를 조작하는 실험군과 변수를 조작하지 않는 대조군이 포함된다. 예측을 검증할 수 없으면 가설은 기각된다.

■ 환원주의는 생물계를 세분화하여 이해한다

환원주의는 복잡한 시스템을 구성 요소 부분으로 나누어서 이해하려고 한다.

더 큰 시스템에서 분리할 때는 각 부분이 다르게 작용할 수 있기 때문에 제한적이다.

■ 생물학자들은 생물계를 설명하기 위해 모델을 만든다

모델은 문제에 대한 우리의 생각을 조직하는 방법을 제공한다. 모델은 실험적 접근방식을 제안할 수도 있다.

■ 과학적 이론의 본질

과학자들은 이론이라는 단어를 어떤 자연 현상에 대한 제안된 설명 및 연구 분야의 사실을 설명하는 개념이라는 2가지 주요 방식으로 사용한다.

■ 연구에는 기초 연구와 응용 연구가 있다

기초 연구는 우리가 아는 것의 경계를 넓힌다. 응용 연구는 농업, 의학 및 산업과 같은 실제 영역에서 과학적 연구 결과를 사용하는 것을 추구한다.

W1.3 과학탐구의 실례: 다윈과 진화론

다윈의 진화론은 과학자가 가설을 개발하고 증거를 제시하는 방법과 과학적 이론이 어떻게 성장하고 수용되는지를 보여준다.

■ 진화에 대한 생각은 다윈 이전에도 존재했다

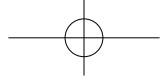
많은 박물학자와 철학자들은 지구의 역사에서 생물이 변화해왔다고 제안했다. 다윈의 공헌은 진화적 변화의 메커니즘으로서 자연선택이라는 개념을 밝힌 것이다.

■ 다윈은 유사한 생물들의 차이점을 관찰했다

다윈은 비글호의 항해 동안 전 세계적으로 다양성의 패턴을 관찰하는 기회를 갖게 되었다.

■ 다윈은 자연선택을 진화의 메커니즘으로 제안했다

다윈은 종들이 생존하고 번식하는 것보다 더 많은 자손을 생산한다고 지적했다. 그는 인위적 선택에 의해 형질이 변할 수 있다는 것을 관찰했다. 다윈은 시간이 지남에 따라 생존율과 생식 성공률을 높이는 형질을 가진 개체가 더 많아진다고 제안했다. 다윈은 이를 변형을 가진 혈통(자연선택)으로 불렀다. 월레스는 독립적으로 동일한 결론을 내렸다.



■ 자연선택에 대한 예측은 검증되어 왔다

자연선택은 여러 분야의 데이터를 사용하여 검증되었다. 이 중에는 화석기록, 방사능 붕괴율에 의해 결정된 지구의 나이는 45억 년, 형질이 분리된 단위로 유전될 수 있음을 보여주는 유전자 실험, 비교해부학 및 상동성 구조 연구, 그리고 시간에 따른 DNA 및 단백질의 변화에 대한 증거를 제공하는 분자 데이터가 있다.

종합하면, 이러한 발견은 자연선택에 의한 진화를 강력하게 지지한다. 결론적으로 진화론을 반증하는 자료는 발견되지 않았다.

W1.4 생물학의 핵심 개념

우리는 핵심 개념을 사용하여 주변 세계에 대한 정보를 구성한다. 생각을 체계화하기 위해 이 책 전체에서 사용되는 5가지 핵심 개념을 소개한다.

■ 생명은 화학 및 물리 법칙의 적용을 받는다

모든 생물계는 화학 및 물리 법칙에 따라 작동한다.

■ 구조는 기능을 결정한다

거대분자의 기능은 그 구조에 의해 지시되고 그 구조에 의존한다. 구조와 기능의 유사성은 진화 관계를 나타낼 수 있다.

■ 생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다

생물계는 끊임없이 에너지를 필요로 하며, 에너지는 궁극적으로 태양에 의해 제공된다. 생명의 본질은 끊임없이 에너지를 변화시키는 것이다. 우리는 음식 분자를 분해하여 에너지를 공급함으로써 복잡한 구조를 만든다.

■ 생물계는 정보 교환에 의존적이다

DNA 분자에서 발견된 유전 정보는 한 세대에서 다음 세대로 전달된다. 이 정보는 단백질을 생산하기 위해 읽히며 단백질 자체는 구조에 정보가 있다. 생물계는 또한 환경에 대한 정보를 얻을 수 있다.

■ 진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다

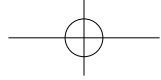
생화학과 유전학에서 보는 생명의 근본적인 유사점은 모든 생명체가 단일 기원에서 진화했다는 주장을 지지한다는 것이다. 생물계에서 발견되는 다양성은 진화적 변화에 의해 발생한다.



연습문제

■ 1단계: 이해력 확인하기

- 다음 중 생명의 특성이 아닌 것은 무엇인가?
 - 에너지 이용
 - 운동
 - 복잡성
 - 항상성
- 다음 중 귀납적 추론은 무엇인가?
 - 일반적 원리를 이용하여 특정한 결과를 예측한다.
 - 하나의 신뢰하는 시스템에 근거하여 특정한 예측을 만든다.
 - 특정한 관찰을 이용하여 일반적인 원리를 개발한다.
 - 일반적인 원리를 이용하여 하나의 가설을 지지한다.
- 생물학에서 가설을 가장 잘 설명한 것은 무엇인가?
 - 관찰에 대한 가능한 설명
 - 이론을 지지하는 관찰
 - 생명의 어떤 측면을 설명하는 일반적인 원리
 - 생명의 어떤 측면을 정확히 예측한 불변의 진리
- 과학적 이론이란 무엇인가?
 - 세계가 어떻게 작동할 것이라는 것에 대한 추측
 - 실험적으로 지지된 세계의 작동 방식에 대한 설명
 - 많은 과학자들의 믿음
 - a와 c 모두 맞다.
- 세포설이란 무엇인가?
 - 세포는 작다.
 - 세포는 고도로 조직화되어 있다.
 - 단 하나의 기본적인 세포 유형이 있다.
 - 모든 생물은 세포로 이루어져 있다.
- DNA 분자가 생물계에서 중요한 이유는 무엇인가?
 - DNA는 복제될 수 있다.
 - DNA는 새로운 개체를 만드는데 필요한 유전정보를 저장한다.
 - DNA는 복잡한 2중나선 구조이다.
 - 뉴클레오타이드가 유전자를 형성한다.
- 생명계의 조직 구조는 무엇인가?
 - 한쪽 끝에 세포가 있고 다른 끝에 생물권이 있는 선형구조이다.
 - 세포가 중앙에 있는 환형구조이다.
 - 세포가 바닥에 있고 생물권이 최상에 있는 계층적 구조이다.
 - 혼돈 상태이므로 설명할 수 없다.
- 진화에 대한 아이디어는 무엇인가?
 - 다윈(Darwin)이 처음 만든 것이다.
 - 월레스(Wallace)가 처음 만든 것이다.
 - 다윈과 월레스 이전에도 있었다.
 - a와 b 모두 맞다.



■ 2단계: 적응력 평가하기

1. 생물속생설을 검증하기 위한 파스퇴르 실험의 중요성은 무엇인가?
 - a. 열이 영양 배지를 멸균할 수 있음을 증명하였다.
 - b. 세포가 자발적으로 생성될 수 있음을 밝혔다.
 - c. 일부 세포들은 미생물이라는 것을 밝혔다.
 - d. 세포는 오직 다른 세포로부터 생겨날 수 있음을 밝혔다.
2. 다음 중 환원주의의 예가 아닌 것은 무엇인가?
 - a. 정제된 효소의 기능 실험적 분석
 - b. 배양접시에서 성장하는 세포에서 호르몬의 영향 연구
 - c. 특정 자극에 반응하는 유전자의 발현 변화 관찰
 - d. 세포의 전체적 행동 평가
3. 자연선택과 인위선택에 대한 올바른 설명은 무엇인가?
 - a. 자연선택은 더 많은 변이를 만든다.
 - b. 자연선택은 개체가 더 잘 적응하도록 만든다.
 - c. 인위선택은 인간 개입의 결과이다.
 - d. 인위선택으로 적응력이 높아진다.
4. 공룡의 화석 옆에서 현대적 개체의 화석을 발견했다면, 이것이 의미하는 것은 무엇인가?
 - a. 자연선택에 의한 진화에 반대하는 주장이다.
 - b. 자연선택에 의한 진화와는 관계가 없다.
 - c. 공룡이 여전히 존재한다는 것을 나타낸다.
 - d. b와 c 모두 맞다.
5. 자연선택에 의한 진화 이론이 과학 발전의 좋은 예가 되는 이유는 무엇인가?
 - a. 많은 관찰들은 합리화하였다.
 - b. 다양한 접근법으로 검증된 예측들을 만들었다.
 - c. 시간에 따른 생명의 변화 과정에 대한 다윈의 신념을 나타내었다.
 - d. b와 c 모두 맞다.

6. 단세포 생물만이 포함되는 생명의 역(domain)은 무엇인가?

- a. 진핵생물(eukarya)
- b. 고세균(archaea)
- c. 세균(bacteria)
- d. b와 c 모두 맞다.

7. 진화적 보존이 가능한 형질은 무엇인가?

- a. 생물의 생명에 중요하다.
- b. 진화에 의하여 영향을 받지 않는다.
- c. 더 이상 기능적으로 중요하지 않다.
- d. 보다 원시적인 생물에서 발견된다.

■ 3단계: 사고력 함양하기

1. 우주생물학은 다른 행성의 생명을 연구하는 학문 분야이다. 최근 과학자들은 우주에서 생명체를 찾기 위하여 다른 은하계로 다양한 우주선을 보냈다. 만약 모든 생명이 일반적인 특징을 공유한다고 가정할 경우 우주과학자들이 다른 세계를 탐험하면서 무엇을 찾고 있겠는가?
2. 파스퇴르의 기본 실험(그림 W1.4 참조)은 세포가 다른 세포들로부터 생겨난다는 가설을 검증한 것이다. 이 실험에서 백조 목 모양의 플라스크와 부러진 목의 플라스크에 들어 있는 배지를 멸균시킨 뒤 세포의 성장을 측정하였다.
 - a. 두 실험에서 일정하게 유지한 변수는 무엇인가?
 - b. 플라스크의 모양이 실험에 어떻게 영향을 주었는가?
 - c. 2가지 가설에 근거하여 얻을 수 있는 각 실험의 결과는 무엇인가?
 - d. 일부 박테리아는 열저항성 포자를 만들어 세포를 보호하고 환경이 서늘해진 후에 계속 자라게 한다. 만약 배지에 포자형성균이 존재하였다면 이 실험의 결과는 어떻게 달라졌을 것인가?

정답은 교문사 홈페이지(<http://www.gyomoon.com/>) 자료실에서 다운로드할 수 있습니다.

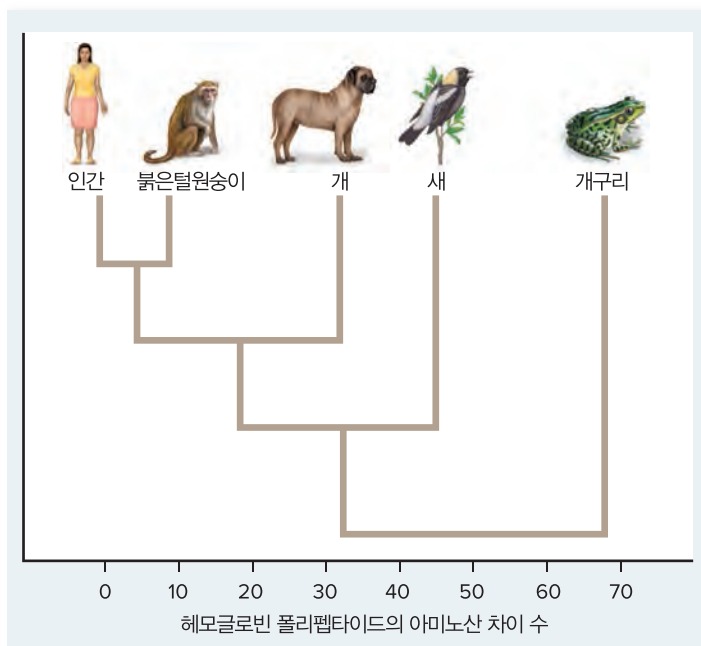
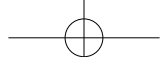


그림 W1.10 분자는 진화 양상을 반영한다.

인간과 유연관계가 멀수록 헤모글로빈 폴리펩타이드에서 아미노산 수의 차이가 크다.

? 탐구문제 이 그래프에서 뱀을 넣는다면 어디에 위치할까? 왜 그럴까?

관이라고 한다. 그에 비해 새와 나비의 날개에서 보는 것처럼 진화상 기원은 다르지만 유사한 기능을 가지는 기관은 **상사성(analogous)** 구조라고 한다.

분자적 증거

진화의 양상은 분자 단계에서도 관찰할 수 있는데, 서로 다른 동식물의 유전체를 비교해 보면 그룹 간의 연관 정도를 더 자세히 파악할 수 있다. 이는 시간에 따른 일련의 진화적 변화는 DNA 상의 유전적 변화의 축적과 더불어 일어나기 때문이다.

분자 수준에서의 차이는 헤모글로빈에서 분명하게 나타난다(그림 W1.10). 영장류에 속하는 사람과 붉은털원숭이(rhesus monkey)는 다른 포유류인 개와 비교해볼 때 146개의 아미노산으로 이루어진 헤모글로빈 β 사슬이 더 유사하고, 새와 개구리와 같은 비포유류 척추동물은 좀 더 다르다는 것을 알 수 있다. 이러한 종류의 분석을 통해 **계통수(phylogenetic tree)**를 만들며, 이는 진화적 관계를 그림으로 표현하도록 해준다.

W1.4에서는 이러한 생각들에 대해 좀 더 자세히 살펴본다. 지금부터 우리의 생각들을 구성하기 위해 핵심 개념들을 어떻게 사용하며 현대 생물학에서 방대한 양의 정보를 어떻게 다루는지에 대해 배우면서 생물학에 대한 소개를 마치려고 한다.

핵심 요약 1.3

다윈은 연관된 개체들에서 차이점들을 관찰하였고 이러한 차이점들을 설명하기 위해 자연선택에 의한 진화 가설을 제안하였다. 자연선택에 의해 만들어진 예측들은 검증되어 왔고 화석기록, 유전학, 비교해부학 그리고 살아있는 개체의 DNA에 대한 분석을 통해 검증되고 있다.

■ 다윈의 자연선택에 의한 진화론은 생명의 기원을 설명할 수 있을까?

W1.4 생물학의 핵심 개념

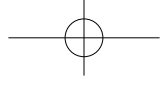
학습 목표

1. 생물학 연구의 기초를 이루는 핵심 개념들을 설명할 수 있다.

신경화학의 기초적인 수준에서 볼 때, 비전문가와 전문가의 두뇌의 크기는 별반 다르지 않다. 다만 전문가는 정보들을 시간을 두고 수집하여 구성하는 방법에서 비전문가와 큰 차이를 보인다. 우리는 생물학에 대한 정보를 모으기 시작하면서 어떻게 하면 전문가처럼 생각하며 정보를 구성할지를 고민해 봐야 한다.

여러분은 아마 주제에 따라 생물학에 대한 정보의 홍수를 정리하려고 할 것이다. 이러한 접근방식의 문제점은 성공하기에는 주제들이 너무 많다는 것이다. 아이디어들을 구성하는 더 좋은 방법은 개념적인 구조를 사용하는 것이다. 생물학을 포함하여 대부분의 학문은 조직화된 개념들의 정보에 기초를 두고 있다. 여러분은 이러한 개념을 많은 주제와 관련된 특정 아이디어를 보유할 수 있는 장소로 생각할 수 있다. 예를 들어, 망치, 해바라기 그리고 DNA를 생각할 때 이들은 상당히 이질적으로 보이지만 실제로 개념적으로 구성할 수 있다. 망치에는 지렛대로 사용할 수 있는 긴 손잡이와 못을 박는 무거운 머리가 있다. 해바라기는 광합성을 위해 빛을 흡수하는 능력을 최대화하는 넓은 잎을 가지고 있으며, DNA는 정보를 저장할 수 있는 구조를 가지고 있다. 이러한 설명은 어떤 것의 기능은 형태에서 발생하므로 “구조가 기능을 결정한다”는 개념으로 구성될 수 있다. 새로운 정보가 나오면 “구조가 기능을 결정한다”는 것과 같은 핵심 개념의 뼈대에 맞출 수 있다.

생물학 교육에서 핵심 개념을 강조해야 한다는 움직임이 최근 일어나고 있다. 저자들은 이러한 운동에 찬사를 보내며 이 책에 이러한



접근방식을 포함하였다. 우리는 5가지 핵심 개념을 강조하였다.
1. 생명은 화학 및 물리 법칙의 적용을 받는다. 2. 구조는 기능을 결정한다. 3. 생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다. 4. 생물계는 정보 교환에 의존적이다. 5. 진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다.

핵심 개념들은 본질적으로 높은 수준이면서 일반적이다. 이들은 보다 특정한 2차 개념들을 구성하는 데 사용되며, 이는 생물학적 현상에 대한 관찰, 실험, 설명을 통해 만들어진다. 예를 들어, “구조가 기능을 결정한다”는 핵심 개념은 “유전정보가 DNA의 구조로 암호화된다”라는 2차 개념으로 이어질 수 있다. 그런 다음 이것은 유전정보의 본질에 대한 일련의 관찰을 구성하는데 다음과 같이 사용될 수 있다. “염기 결합은 특정 패턴의 수소결합을 포함한다”, “유전자 암호는 A, T, G, C로 약칭되는 4개의 뉴클레오타이드로 구성된다”, “DNA는 RNA를 합성하기 위한 주형으로 사용된다”.

5가지 핵심 개념

생명은 화학 및 물리 법칙의 적용을 받는다

편하게 보이지만 생물계가 알려진 화학적 및 물리적 원리에 따라 작동한다는 점을 강조하는 것은 중요하다. 이러한 이유로, 이 책을 포함한 거의 모든 생명과학 입문 서적은 화학에 관한 장으로 시작한다. 이것은 생물학적 시스템이 매우 복잡한 화학의 기본적인 응용이기 때문이다. 그러나 생물학에는 새로운 화학 또는 물리 법칙이 없으며 친숙한 화학 원리와 법칙을 일관되게 적용할 수 있다. 이것은 원자 구조, 화학결합, 열역학, 동역학 및 기본 화학과 물리학의 다른 많은 주제에 대한 지식이 생물학적 시스템을 이해하는 데 중요하다는 것을 의미한다.

일부 물리학과 화학은 이 책의 “세포와 분자” 부분에서만 관련이 있는 것처럼 보이지만, 실제로는 그 원리가 책 전체에 적용된다. 식물에서 물의 이동은 물의 기본 화학 구조에 의존하고, 신장은 삼투압 기계이며, 생태계의 에너지 흐름과 영양 순환은 열역학 법칙에 의해 좌우되고, 많은 중요한 요소의 순환에는 생물지구화학적 순환이 포함된다.

구조는 기능을 결정한다

생물학의 주요 통합 주제는 구조와 기능의 관계이다. 간단히 말해서 분자, 세포, 조직 및 기관의 적절한 기능은 구조에 달려 있다. 이 관찰은 사소하게 보이지만 광범위한 영향을 미친다. 특정 구조의 기능을 알면 다른 생물체에서와 같이 다른 상황에서 발견되는 유사한 구조의 기능을 유추할 수 있다.

예를 들어, 포도당 섭취를 조절하는 호르몬인 인슐린에 대한 인간

세포의 표면 수용체 구조를 알고 있다고 가정해 보자. 그런 다음 곤충과 같은 매우 다른 종의 세포막에서 유사한 분자를 찾는다. 우리는 이 막 분자가 곤충에 의해 생성된 인슐린 유사 분자의 수용체 역할을 한다는 결론을 내릴 수 있다. 이런 식으로 우리는 곤충과 인간의 포도당 섭취 사이의 진화적 관계를 가정할 수 있다. 구조가 변하면(잠재적인 생리학적 결과로) 기능이 파괴된다.

생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다

단일 세포에서 가장 높은 수준의 생물 구성단위인 생물권에 이르기까지 생물계는 끊임없이 에너지를 필요로 한다. 이를 끝까지 역추적하면, 생물권의 원래 에너지원은 태양이다. 이 에너지가 없다면 생물계는 그 특징적인 고도로 조직화된 상태를 나타내지 않을 것이다. 이것은 간단하게 들리지만, 삶의 기본이 에너지와 물질의 끊임없는 변화라는 의미이다. 우리는 에너지를 위해 “음식” 분자를 분해한 다음, 이 에너지를 사용하여 다른 복잡한 분자를 만든다.

태양으로부터의 에너지는 광합성 생물체에 의해 흡수되며, 이 에너지를 사용하여 이산화탄소를 줄이고 유기화합물을 생성한다. 에너지와 탄소의 지속적인 공급원이 필요한 우리는 이러한 유기화합물을 다시 이산화탄소로 산화시켜 에너지를 방출함으로써 생명의 현상을 유지한다. 이러한 모든 에너지 교환은 비효율적이기 때문에 일정량의 에너지는 열로 방출된다.

이 지속적인 에너지 입력은 생물계가 열역학적으로 평형이지 않도록 한다. 평형 상태라면 여러분은 아미노산, 뉴클레오타이드 및 다른 작은 분자들의 집합체에 불과하며, 이 문장을 읽을 수 있는 복잡한 동적인 시스템이 아닐 것이다. 비평형 시스템은 또한 평형 시스템에서 볼 수 없는 자기조직화(self-organization)의 특성을 나타낼 수 있다. 염색체 분리에 필요한 방추사와 같은 거대분자 복합체는 자기조직화할 수 있다(그림 W1.11). 조류 무리, 물고기 떼, 바이오피름 속 박테리아도 모두 자기조직화를 나타내며, 개별적으로는 볼 수 없는 특성을 나타낸다.

생물계는 정보 교환에 의존적이다

살아있는 시스템에서 가장 명백한 형태의 정보는 모든 세포에서 DNA(deoxyribonucleic acid) 형태로 운반되는 유전 정보이다. 각 DNA 분자는 서로 감겨진 2개의 뉴클레오타이드 사슬로 구성되어 있다(그림 W1.12). DNA에는 4개의 서로 다른 뉴클레오타이드가 있으며, 그 서열은 세포를 만들고 유지하기 위한 정보를 암호화한다.

한 세대에서 다음 세대로의 삶의 연속성(유전)은 세포의 DNA를 딸세포에 충실하게 복사하는 것에 달려 있다. 세포를 지정하는 DNA 명령어의 전체 세트를 유전체(genome)라고 한다. 30억 뉴클레오타

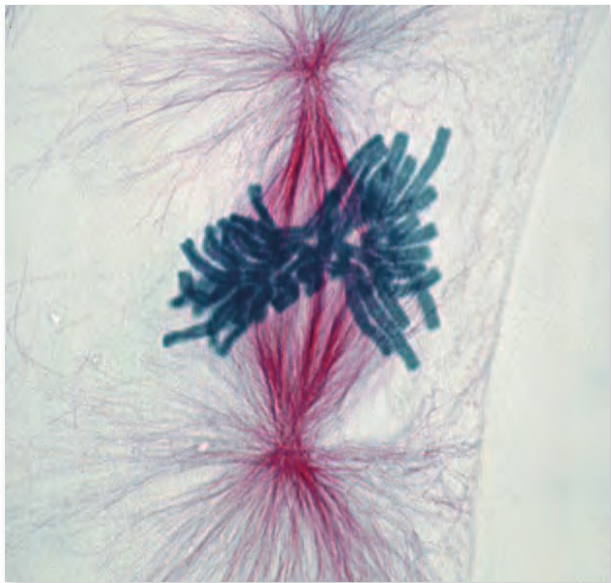
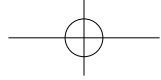


그림 W1.11 방추사.

이 분열하는 세포에서 미세소관은 방추사(빨간색)로 조직화 되면서, 각각의 염색체(파란색)를 분열 세포의 중심 평면으로 잡아당긴다.

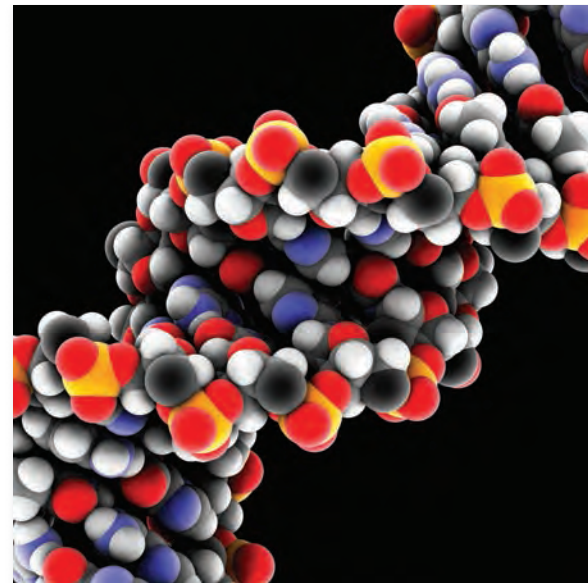


그림 W1.12 유전 물질인 DNA.

모든 생물체는 이 책이 알파벳 문자들로 정보를 저장하는 것처럼 DNA의 기본 단위 형태로 유전 정보를 저장한다.

이드 길이의 인간 게놈 서열은 2001년에 초안 형태로 해독되었다.

하지만 정보의 중요성은 유전체와 그것의 유전을 넘어서다. 세포는 정보를 수신, 처리 및 반응하는 매우 복잡한 작은 기계이다. DNA에 저장된 정보는 세포 성분의 합성을 지시하는 데 사용되며, 특정 성분의 세트는 세포마다 다를 수 있다. 단백질이 공간에서 접히는 방식은 3차원적인 정보의 형태이며, 거대분자 복합체에서의 이러한 형태의 상호작용으로부터 흥미로운 특성이 나타난다. 유전자 발현의 조절은 시간 및 공간에서 세포 유형의 분화를 이끌며, 생물체의 모든 세포가 동일한 유전 정보를 갖더라도 발달 시기에 따라 상이한 조직 유형으로 변화하게 한다.

생물체는 내부 및 외부 환경에 대한 정보를 수집한 다음 이 정보에 반응할 수 있다. 여러분이 이 부분을 읽는 것처럼 이 과정에 익숙하겠지만 단일 세포 생물체와 다세포 생물체의 세포 수준에서도 일어난다. 세포는 자신의 환경에 대한 정보를 획득하고, 신호를 송수신하며, 세포 형태, 행동 또는 생리학을 변화시킬 수 있는 신호전달 시스템으로 이 모든 정보에 반응한다(8장 참조).

진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다

생물학자들은 오늘날 지구상에 존재하는 모든 유기체가 약 35억 년 전의 간단한 세포 생물체에서 유래한다는 것에 동의한다. 그 생물체의 특성 중 일부는 진화 역사를 통해 현재까지 보존되어있다. 예를 들어, 유전 정보를 DNA에 저장하는 것은 모든 생물에게서 공통적이다.

오래된 계통에서 이러한 보존된 특성을 유지한다는 것은 이들이 생물체의 성공에 근본적인 역할을 한다는 것을 의미한다. 발달 과정의 중요한 조절 인자인 호미오도메인(homeodomain) 단백질이 좋은 예이다. 보존된 특성은 약 1850개의 호메오도메인 단백질에서 볼 수 있으며, 3개의 생물체 계(kingdom)에 분포되어 있다(그림 W1.13).

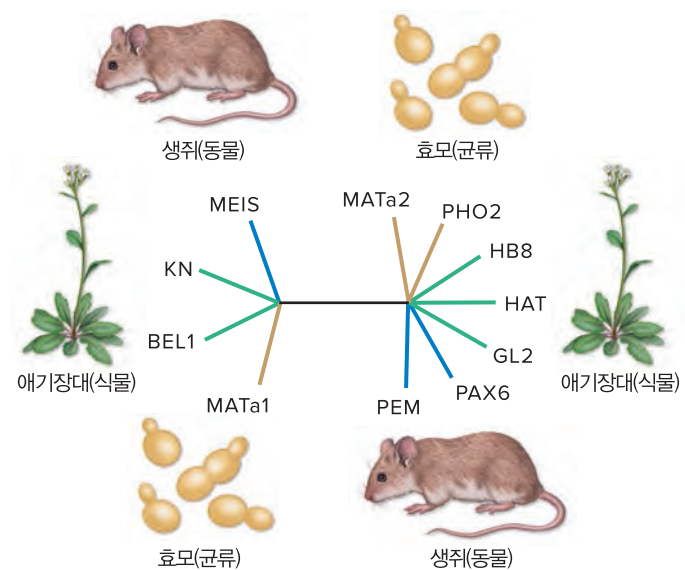
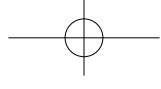


그림 W1.13 호미오도메인 단백질의 계통수.

호메오도메인 단백질은 균류(갈색), 식물(초록색), 동물(파란색)에서 발견된다. 서열의 유사성에 따라 이들 11가지 호미오도메인 단백질들은 2가지 그룹으로 구분할 수 있다. 그림은 생쥐의 호미오도메인 단백질인 PAX6가 생쥐 단백질인 MEIS보다 균류와 현화식물의 단백질인 PHO2와 GL2에 더 가깝다는 것을 보여준다.



호미오도메인 단백질은 초기에 진화한 강력한 발생 도구이다. 그것들은 새로운 형태를 제공하기 위해 사용되고 변형되었다.

많은 관련 생명체들이 몇몇 주요 특징들을 공유하는 단일성은 지구의 다양한 환경에서의 생물의 다양성과는 대조적이다. 생화학과 유전학의 기본적인 단일성은 모든 생명체가 동일한 기원에서 진화했다고 주장하는 것이다. 오늘날 우리가 보는 놀라운 생명의 다양성은 화석 기록에서 볼 수 있는 진화적 변화에 의해 일어났다.

핵심 요약 W1.4

생물학을 이해하려면 더 높은 수준의 개념이 필요하다. 우리는 이 책 전체에서 다음의 5가지 핵심개념을 사용하고 있다. 1. 생명은 화학 및 물리 법칙의 적용 받는다. 2. 구조는 기능을 결정한다. 3. 생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다. 4. 생물계는 정보 교환에 의존적이다. 5. 진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다.

■ 바이러스가 생물계의 정의에 어떻게 맞다고 할 수 있을까?



핵심 개념 요약

W1.1 생명과학

■ 생물학은 자연과학의 많은 부분을 통합한다

생물학적 시스템에 대한 연구는 문제를 해결하기 위해 다양한 접근법이 필요하기 때문에 학제 간 연구의 특징을 갖는다.

■ 생명의 정의는 단순하지 않다

생명을 정의하기는 어렵지만 살아있는 시스템에는 다음과 같은 7가지 특징이 있다. 이들은 하나 이상의 세포로 구성된다; 복잡하고 질서 정연하다; 자극에 반응할 수 있다; 자라서 번식하고 유전 정보를 자손에게 전달할 수 있다; 일을 하기 위해 에너지가 필요하다; 비교적 일정한 내부 조건(항상성)을 유지할 수 있다; 환경에 진화적으로 적응할 수 있다.

■ 생물계는 계층구조를 보인다

생물계의 계층적 조직은 원자에서 생물권까지 진행된다. 각각의 더 높은 수준에서 부분의 합보다 더 큰 새로운 속성이 발생한다.

W1.2 과학의 본질

기본적으로 과학은 관찰과 추론을 사용하여 세상의 본질을 이해하는 것이다.

■ 많은 과학은 서술적이다

과학은 관찰과 실험을 통해 점점 더 정확하게 자연을 서술하는 것이다.

■ 과학은 연역적 추론과 귀납적 추론을 모두 이용한다

연역적 추론은 구체적인 결과를 예측하기 위해 일반적인 원칙을 적용한다. 귀납적 추론은 일반적인 과학적 원리를 구성하기 위해 특정한 관찰들을 사용한다.

■ 가설에 근거한 과학은 예측을 하고 이를 검증한다

가설은 관찰을 기반으로 하며 검증 가능한 예측을 생성한다. 검증에는 변수를 조작하는 실험군과 변수를 조작하지 않는 대조군이 포함된다. 예측을 검증할 수 없으면 가설은 기각된다.

■ 환원주의는 생물계를 세분화하여 이해한다

환원주의는 복잡한 시스템을 구성 요소 부분으로 나누어서 이해하려고 한다.

더 큰 시스템에서 분리할 때는 각 부분이 다르게 작용할 수 있기 때문에 제한적이다.

■ 생물학자들은 생물계를 설명하기 위해 모델을 만든다

모델은 문제에 대한 우리의 생각을 조직하는 방법을 제공한다. 모델은 실험적 접근방식을 제안할 수도 있다.

■ 과학적 이론의 본질

과학자들은 이론이라는 단어를 어떤 자연 현상에 대한 제안된 설명 및 연구 분야의 사실을 설명하는 개념이라는 2가지 주요 방식으로 사용한다.

■ 연구에는 기초 연구와 응용 연구가 있다

기초 연구는 우리가 아는 것의 경계를 넓힌다. 응용 연구는 농업, 의학 및 산업과 같은 실제 영역에서 과학적 연구 결과를 사용하는 것을 추구한다.

W1.3 과학탐구의 실례: 다윈과 진화론

다윈의 진화론은 과학자가 가설을 개발하고 증거를 제시하는 방법과 과학적 이론이 어떻게 성장하고 수용되는지를 보여준다.

■ 진화에 대한 생각은 다윈 이전에도 존재했다

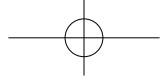
많은 박물학자와 철학자들은 지구의 역사에서 생물이 변화해왔다고 제안했다. 다윈의 공헌은 진화적 변화의 메커니즘으로서 자연선택이라는 개념을 밝힌 것이다.

■ 다윈은 유사한 생물들의 차이점을 관찰했다

다윈은 비글호의 항해 동안 전 세계적으로 다양성의 패턴을 관찰하는 기회를 갖게 되었다.

■ 다윈은 자연선택을 진화의 메커니즘으로 제안했다

다윈은 종들이 생존하고 번식하는 것보다 더 많은 자손을 생산한다고 지적했다. 그는 인위적 선택에 의해 형질이 변할 수 있다는 것을 관찰했다. 다윈은 시간이 지남에 따라 생존율과 생식 성공률을 높이는 형질을 가진 개체가 더 많아진다고 제안했다. 다윈은 이를 변형을 가진 혈통(자연선택)으로 불렀다. 월레스는 독립적으로 동일한 결론을 내렸다.



■ 자연선택에 대한 예측은 검증되어 왔다

자연선택은 여러 분야의 데이터를 사용하여 검증되었다. 이 중에는 화석기록, 방사능 붕괴율에 의해 결정된 지구의 나이는 45억 년, 형질이 분리된 단위로 유전될 수 있음을 보여주는 유전자 실험, 비교해부학 및 상동성 구조 연구, 그리고 시간에 따른 DNA 및 단백질의 변화에 대한 증거를 제공하는 분자 데이터가 있다.

종합하면, 이러한 발견은 자연선택에 의한 진화를 강력하게 지지한다. 결론적으로 진화론을 반증하는 자료는 발견되지 않았다.

W1.4 생물학의 핵심 개념

우리는 핵심 개념을 사용하여 주변 세계에 대한 정보를 구성한다. 생각을 체계화하기 위해 이 책 전체에서 사용되는 5가지 핵심 개념을 소개한다.

■ 생명은 화학 및 물리 법칙의 적용을 받는다

모든 생물계는 화학 및 물리 법칙에 따라 작동한다.

■ 구조는 기능을 결정한다

거대분자의 기능은 그 구조에 의해 지시되고 그 구조에 의존한다. 구조와 기능의 유사성은 진화 관계를 나타낼 수 있다.

■ 생물계는 에너지와 물질을 변화시킨다

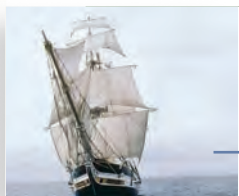
생물계는 끊임없이 에너지를 필요로 하며, 에너지는 궁극적으로 태양에 의해 제공된다. 생명의 본질은 끊임없이 에너지를 변화시키는 것이다. 우리는 음식 분자를 분해하여 에너지를 공급함으로써 복잡한 구조를 만든다.

■ 생물계는 정보 교환에 의존적이다

DNA 분자에서 발견된 유전 정보는 한 세대에서 다음 세대로 전달된다. 이 정보는 단백질을 생산하기 위해 읽히며 단백질 자체는 구조에 정보가 있다. 생물계는 또한 환경에 대한 정보를 얻을 수 있다.

■ 진화는 생명의 단일성과 다양성을 설명한다

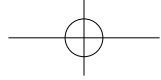
생화학과 유전학에서 보는 생명의 근본적인 유사점은 모든 생명체가 단일 기원에서 진화했다는 주장을 지지한다는 것이다. 생물계에서 발견되는 다양성은 진화적 변화에 의해 발생한다.



연습문제

■ 1단계: 이해력 확인하기

- 다음 중 생명의 특성이 아닌 것은 무엇인가?
 - 에너지 이용
 - 운동
 - 복잡성
 - 항상성
- 다음 중 귀납적 추론은 무엇인가?
 - 일반적 원리를 이용하여 특정한 결과를 예측한다.
 - 하나의 신뢰하는 시스템에 근거하여 특정한 예측을 만든다.
 - 특정한 관찰을 이용하여 일반적인 원리를 개발한다.
 - 일반적인 원리를 이용하여 하나의 가설을 지지한다.
- 생물학에서 가설을 가장 잘 설명한 것은 무엇인가?
 - 관찰에 대한 가능한 설명
 - 이론을 지지하는 관찰
 - 생명의 어떤 측면을 설명하는 일반적인 원리
 - 생명의 어떤 측면을 정확히 예측한 불변의 진리
- 과학적 이론이란 무엇인가?
 - 세계가 어떻게 작동할 것이라는 것에 대한 추측
 - 실험적으로 지지된 세계의 작동 방식에 대한 설명
 - 많은 과학자들의 믿음
 - a와 c 모두 맞다.
- 세포설이란 무엇인가?
 - 세포는 작다.
 - 세포는 고도로 조직화되어 있다.
 - 단 하나의 기본적인 세포 유형이 있다.
 - 모든 생물은 세포로 이루어져 있다.
- DNA 분자가 생물계에서 중요한 이유는 무엇인가?
 - DNA는 복제될 수 있다.
 - DNA는 새로운 개체를 만드는데 필요한 유전정보를 저장한다.
 - DNA는 복잡한 2중나선 구조이다.
 - 뉴클레오타이드가 유전자를 형성한다.
- 생명계의 조직 구조는 무엇인가?
 - 한쪽 끝에 세포가 있고 다른 끝에 생물권이 있는 선형구조이다.
 - 세포가 중앙에 있는 환형구조이다.
 - 세포가 바닥에 있고 생물권이 최상에 있는 계층적 구조이다.
 - 혼돈 상태이므로 설명할 수 없다.
- 진화에 대한 아이디어는 무엇인가?
 - 다윈(Darwin)이 처음 만든 것이다.
 - 월레스(Wallace)가 처음 만든 것이다.
 - 다윈과 월레스 이전에도 있었다.
 - a와 b 모두 맞다.



■ 2단계: 적응력 평가하기

1. 생물속생설을 검증하기 위한 파스퇴르 실험의 중요성은 무엇인가?
 - a. 열이 영양 배지를 멸균할 수 있음을 증명하였다.
 - b. 세포가 자발적으로 생성될 수 있음을 밝혔다.
 - c. 일부 세포들은 미생물이라는 것을 밝혔다.
 - d. 세포는 오직 다른 세포로부터 생겨날 수 있음을 밝혔다.
2. 다음 중 환원주의의 예가 아닌 것은 무엇인가?
 - a. 정제된 효소의 기능 실험적 분석
 - b. 배양접시에서 성장하는 세포에서 호르몬의 영향 연구
 - c. 특정 자극에 반응하는 유전자의 발현 변화 관찰
 - d. 세포의 전체적 행동 평가
3. 자연선택과 인위선택에 대한 올바른 설명은 무엇인가?
 - a. 자연선택은 더 많은 변이를 만든다.
 - b. 자연선택은 개체가 더 잘 적응하도록 만든다.
 - c. 인위선택은 인간 개입의 결과이다.
 - d. 인위선택으로 적응력이 높아진다.
4. 공룡의 화석 옆에서 현대적 개체의 화석을 발견했다면, 이것이 의미하는 것은 무엇인가?
 - a. 자연선택에 의한 진화에 반대하는 주장이다.
 - b. 자연선택에 의한 진화와는 관계가 없다.
 - c. 공룡이 여전히 존재한다는 것을 나타낸다.
 - d. b와 c 모두 맞다.
5. 자연선택에 의한 진화 이론이 과학 발전의 좋은 예가 되는 이유는 무엇인가?
 - a. 많은 관찰들은 합리화하였다.
 - b. 다양한 접근법으로 검증된 예측들을 만들었다.
 - c. 시간에 따른 생명의 변화 과정에 대한 다윈의 신념을 나타내었다.
 - d. b와 c 모두 맞다.

6. 단세포 생물만이 포함되는 생명의 역(domain)은 무엇인가?

- a. 진핵생물(eukarya)
- b. 고세균(archaea)
- c. 세균(bacteria)
- d. b와 c 모두 맞다.

7. 진화적 보존이 가능한 형질은 무엇인가?

- a. 생물의 생명에 중요하다.
- b. 진화에 의하여 영향을 받지 않는다.
- c. 더 이상 기능적으로 중요하지 않다.
- d. 보다 원시적인 생물에서 발견된다.

■ 3단계: 사고력 함양하기

1. 우주생물학은 다른 행성의 생명을 연구하는 학문 분야이다. 최근 과학자들은 우주에서 생명체를 찾기 위하여 다른 은하계로 다양한 우주선을 보냈다. 만약 모든 생명이 일반적인 특징을 공유한다고 가정할 경우 우주과학자들이 다른 세계를 탐험하면서 무엇을 찾고 있겠는가?
2. 파스퇴르의 기본 실험(그림 W1.4 참조)은 세포가 다른 세포들로부터 생겨난다는 가설을 검증한 것이다. 이 실험에서 백조 목 모양의 플라스크와 부러진 목의 플라스크에 들어 있는 배지를 멸균시킨 뒤 세포의 성장을 측정하였다.
 - a. 두 실험에서 일정하게 유지한 변수는 무엇인가?
 - b. 플라스크의 모양이 실험에 어떻게 영향을 주었는가?
 - c. 2가지 가설에 근거하여 얻을 수 있는 각 실험의 결과는 무엇인가?
 - d. 일부 박테리아는 열저항성 포자를 만들어 세포를 보호하고 환경이 서늘해진 후에 계속 자라게 한다. 만약 배지에 포자형성균이 존재하였다면 이 실험의 결과는 어떻게 달라졌을 것인가?

정답은 교문사 홈페이지(<http://www.gyomoon.com/>) 자료실에서 다운로드할 수 있습니다.