

생명 생물의 과학 12 판 해답 상권(1~31장)

1부 1장

요약 및 평가 1.1

- 광합성의 기원은 지구 대기에 산소의 점차적인 축적을 초래하였다. 지구의 대기에 산소가 풍부해지기 이전, 지구 표면에 도달하는 UV 복사는 너무 강해서 육상에 있는 모든 생물을 죽였다. 생명은 물에 의해 UV 복사로부터 보호될 때에만 생존할 수 있었다. 하지만 O_2 가 대기에 축적됨에 따라, O_2 분자는 서로 반응해 오존(O_3)을 형성하기 시작하였다. 오존층은 점차 대기 상부에 발달하였고, 약 5억 년 전부터 육상에 생명이 정착할 수 있을 만큼 충분한 UV 복사를 차단할 수 있었다.
UV 복사로부터의 보호뿐만 아니라 대기 중에 축적된 O_2 덕분에 많은 생물 그룹에서 혐기성 대사에서 호기성 대사로의 전환이 일어날 수 있었는데 호기성 대사는 훨씬 더 효율적이다. 대기 중 증가한 O_2 는 많은 단세포성 혐기성 생물에게 독성을 나타냈지만, 호기성 대사 버전에 다세포성 진핵생물의 진화가 일어날 수 있었다.
- 지구의 생명이 가지는 공통의 특징 중에는 어떤 기원에서 유래한 것이라도 가질 것으로 예상하는 일반적 특징(예: 환경에서 에너지를 추출할 필요성)이라든가 그 에너지를 이용하여 일하는 것이 있다. 그러나 생명의 기원별로 고유한 특성들도 있다. 예를 들어, 다른 생명의 기원을 갖는 생명체가 같은 종류의 유전 정보 시스템을 이용한다고 해서, 그 시스템의 기능 방식에 대한 자세한 사항이 같을 것이라고 예상할 아무런 이유가 없다. 다른 기원을 갖는 생명체는 DNA 이외의 것을 사용할 수도 있고, DNA를 만드는 데 다른 핵산을 사용할 수도 있다. 더욱이 또 다른 기원에서 유래한 생명체가 DNA를 만드는 데 같은 기본 조립단위를 사용한다고 할지라도, 단백질의 아미노산을 암호화하는 뉴클레오타이드의 조합인 유전암호는 다를 수도 있다. 게다가 단백질을 만드는 데 같은 아미노산 집합을 사용할 것 같지도 않다. 지구의 모든 생명이 이와 같은 세부적인 공통성을 지니고 있어서, 우리는 이들이 하나의 공통된 기원을 가진다고 결론을 내리는 것이다.
- 모든 세포는 외부 환경에서 유래한 영양소와 노폐물을 환경으로 내보내는 능력이 필요하다. 단세포성 생물과 작은 다세포성 생물에서 이러한 교환은 개별 세포와 외부 환경 사이에서 직접 나타날 수 있다. 더 큰 다세포성 생물에서 개별 세포들은 외부 환경과 직접 접촉하지 않으므로 이들은 주변 세포외액으로부터 영양소를 얻고 세포외액으로 노폐물을 배출해야만 한다. 만약 이들 세포외액의 조성이 조절되지 않는다면, 세포들의 생존은 위협받을 것이다.
- 항상성은 같은 조건을 유지한다는 의미이며, '조절'은 특정 변수의 어떤 최적값을 갖도록 이들 조건을 제어한다는 의미이다. 조절은 현재 값과 최적값 모두에 관한 정보가 필요하며, 이들 두 값 사이의 모든 차이를 효과기 기작에 보내는 명령으로 번역할 수 있는 능력을 요구한다. 효과기 기작은 현재 값과 최적값 사이의 차이를 줄일 수 있다. 따라서 현재 값이 최적값에서 벗어나면 이러한 차이를 최소화하는 반응을 초래할 것이다.

요약 및 평가 1.2

- 일반적으로 이중나선 DNA가 먼저 단일가닥 RNA로 전사된다. RNA에서 코돈으로 알려진 인접한 3개의 뉴클레오타이드 각각은 특정 아미노산을 규정하며, 단백질은 일련의 코돈에 의해 규정된 다수의 아미노산을 결합함으로써 RNA 서열로부터 번역된다. 따라서 단백질의 구조는 결국 생물 유전체의 DNA 서열에 암호화되어 있다.
- 농업 종의 선택교배에서, 육종가는 원하는 특정형질(예: 더 큰 신체)을 선택해 그 특정형질을 생산하는 개체들을 육종한다. 그 결과, 선택된 개체들의 유전자들은 이후 세대에서 증가할 것이다. 자연선택에서는 어떤 개체들을 생식할 것인지를 선택하는 육종가가 없다. 대신, 가장 잘 생존하고 가장 잘 생식하는 자손들을 생산하는 개체들이 이후 세대에서 유전자를 남길 가능성이 더욱 큰 개체들이다.
- 어류는 일반적으로 보는 데 이용하는 눈을 가지며, 눈은 작동하는 데 빛이 필요하다. 정상적인 지표 집단에서, 시각을 붕괴시키는 모든 돌연변이는 자연선택으로 제거될 것인데 그 이유는 기능이 없는 눈을 가진 어류는 기능하는 눈을 가진 물고기보다 불리할 것이기 때문이다. 이러한 돌연변이가 생기지만, 자연선택을 통해 지표 집단에서 신속히 제거된다. 하지만 동굴 집단에서는 시각에 대한 선택이 없으므로 이러한 돌연변이는 제거되지 않고 축적될 것이다. 눈 기능에 관한 선택이 없으면, 눈과 같은 복잡한 구조는 점차 상실할 것으로 예상된다. 실제 많은 종의 동굴 생물은 시간이 흐름에 따라 점차 눈이 없어지도록 진화한다. 하지만 이들은 시각 상실을 어떻게 보상할까? 대개 작은 진동이나 냄새를 감지하는 세포들과 같이 빛이 필요 없는 다른 감각계에 관한 강력한 선택이 존재한다. 중요한 점은 새로운 환경에서 자연선택에 의해 다른 특징들이 선호되기 때문에 암흑 환경에서 선택 조건은 변하며 일부 특징은 상실되고 다른 특징이 생길 것으로 예상된다. 점이다.
- 생물학자들은 (유전체에서 형태적 구조를 거쳐 행동으로) 유전적으로 전달되는 특정형질을 비교하여 다양한 종의 진화적 유연관계를 밝히고 계통수를 작성한다. 모든 생명이 진화역사를 통해 연관되어 있으므로 계통발생학적 유연관계에 관한 지식은 생물학에서 비교하는 데 중요하다.

요약 및 평가 1.3

- 가설은 관찰이나 현상에 대한 제안된 설명이다. 실험은 제안된 설명에 대한 엄격한 검증이다.
- 통제실험에서는 모든 변수는 일정하게 유지되는 반면, 한 변수는 연구되는 시스템에 미치는 영향을 알아보기 위해 조작된다.

- 연구 질문이 통제할 수 없는 변수를 포함하는 시스템에 관한 것(자연계에 대한 많은 질문이 이에 해당한다)일 때, 관심을 가진 변수들 사이의 상관관계를 구하거나 가능한 효과를 알아보기 위해서 비교 접근법을 사용할 수 있다.
- 모든 생명체는 진화를 통해 관련되어 있으므로 다른 종이라 하더라도 분자적 성분, 생화학적 성분, 세포 요소, 생리적 특성, 행동 요소, 시스템, 그리고 가치 등에 있어서 유사한 특성을 보인다. 그래서 한 종으로부터 배운 것을 다른 종에게 적용할 수 있다.

요약 및 평가 1.4

- 현대 생물학은 농업종들을 개선하는 데 사용하며, 이것은 동물과 식물 모두에 해당한다. 식품용 곡물 생산을 위해 식물의 유전적 특성을 개선한 것을 그 예로 들 수 있다. 생물학은 또한 농업 생물종의 질병 치료(예: 식용 동물에게 항생제 투여)를 하는 데 사용되고, 제조제에 내성을 가진 식품용 식물을 생산하는 데 사용된다.
- 이 장에서 제시한 '생명에 대한 연구'를 보면, 해양 생태계의 생명 다양성을 유지하는 산호초가 지구 온난화에 의해 막대한 위협을 받는다는 사실을 분명히 알 수 있다. 또 다른 주목할 만한 위협 사례로는 북극곰(Ursus maritimus)을 들 수 있다. 이들은 바다표범을 먹이로 잡기 위해서는 바다 위의 얼음에 의존하는데, 얼음의 감소와 함께 사냥할 지역이 줄어들고, 이에 따라 사냥할 수 있는 능력이 점점 더 제한되고 있다.
- 항생제의 광범위한 사용은 자연선택과 유사한 인위선택 상황을 만든다. 유전적 구성으로 인하여 항생제에서 살아남는 병원체 생물은 그 특정형질을 자손에게 전할 것이다. 항생제가 계속 쓰이면서, 내성을 가진 병원체 생물들은 급증할 것이고, 그에 따라 약물의 효과는 감소된다.

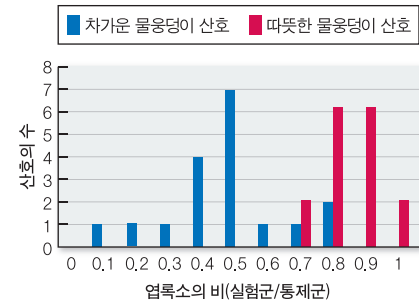
그림 질문

그림 1.12 이 계통수에 의하면, 균류와 동물은 곰팡이와 식물과 비교하면 좀 더 최근에 마지막 공통조상을 공유하고 있다. 따라서 균류는 식물보다 동물과 더 밀접한 관계가 있다.

그림 1.16 자료에 의하면, 동쪽과 서쪽에서 번식하는 참다람쥐 개체군은 대서양 중부에 같은 먹이 섭취 구역을 공유하고 있다. 서쪽에서 번식하는 개체군이 중앙 경계선의 동쪽에서 보편적으로 발견된다는 점을 고려한다면, 경계선의 서쪽에 제한을 가하는 것이 서쪽 번식 개체군을 보호하는 데 효과적이지 않을 것이다.

그림 질문, 뜨거운 물속의 산호

1.



- 차가운 곳에 사는 산호의 경우 $H_0 = (0.5)^{17} = 0.000007629399$ 의 확률이 된다. 따라서 우리는 귀무가설 H_0 를 안전하게 기각할 수 있으며, 산호의 탈색에 대한 열 스트레스의 효과가 실제로 유의하다($P < 0.00001$)고 결론 내릴 수 있다. 다시 말해서, 귀무가설이 사실이고 산호 탈색에 대한 열 스트레스의 실제 효과가 없다고 가정할 때, 우리는 1.0 미만의 염록소 비를 10만 건 중 1건 미만으로 보게 될 것으로 예상할 수 있다. 따뜻한 곳에 사는 산호의 경우에 1보다 작은 관측값이 7개이고, 1보다 큰 값은 없다. 이 경우 $H_0 = (0.5)^7 = 0.0078125$ 의 확률이 된다. 따라서 우리는 귀무가설 H_0 를 기각할 수 있으며, 따뜻한 곳에 사는 산호에서도 열 스트레스가 산호 탈색에 유의한 효과를 보인다고 결론을 내릴 수 있다(이 경우 $P < 0.010$ 이다).
- 무작위적인 시도의 결과는 카드가 얼마나 잘 섞이고 얼마나 많이 반복해서 비교하는지에 따라 다르지만, 두 그룹에서 무작위로 추출한 시료에서 0.35 (관찰된 차이) 정도의 차이를 보일 확률은 매우 낮다($P < 0.001$). 따라서 귀무가설을 다시 기각할 수 있으며, 산호 탈색에 대한 열 스트레스의 효과가 따뜻한 물웅덩이 산호에 비해 차가운 물웅덩이 산호에서 더 크다는 결론을 내릴 수 있다.
- 따뜻한 물웅덩이와 차가운 물웅덩이에 사는 산호의 염록소 비 분포에서 차이가 나는 것으로 볼 때, 두 산호 개체군은 모두 열 스트레스에 의해 탈색되는 문제를 겪고 있기는 하지만, 차가운 물웅덩이의 개체군이 좀 더 민감하다. 이것은 지구 온난화가 장기화하는 조건에서 차가운 환경의 산호는 따뜻한 환경의 산호로 대체될 수 있음을 제시한다.

2 생명생물의 과학 12 판

눈에 보이는 요약

핵심개념 1.1

1. 지구의 모든 생명에 공통의 기원을 가진다는 증거는 지구의 모든 생명이 공통의 유전암호, 화학조성, 세포구조와 기능을 공유한다는 것이다.
2. 광합성은 호기성 대사에 필요한 산소를 생성하는 것뿐만 아니라 유해한 UV 복사로부터 육상 생물을 보호하는 오존층을 형성함으로써 육상에서 생명이 가능하게 하였다.
3. 개체군은 단일 종의 개체들로 구성되어 있지만, 생태계는 많은 종의 개체군을 포함한다.

핵심개념 1.2

1. 돌연변이는 유전자 산물을 없애거나 변화시키는 유전자 구조의 변화이다. 이러한 변화가 생식 성공 향상에 기여하는 유전자 산물의 기능에 유익한 변화를 초래하면, 변화된 유전자는 보존되고 집단에 퍼질 수 있다. 많은 중립돌연변이가 시간이 지남에 따라 집단과 종에 축적된다. 유해 돌연변이는 시간이 지남에 따라 상실될 가능성이 더 크며, 이를 운반하는 개체들은 생식 성공률이 낮을 가능성이 크다.
2. 유사한 유전자가 세균과 식물에서 발견될 수 있다. 그 이유는 유전자를 가진 공통조상을 공유하기 때문이거나 공통 선택압으로 인해 두 계통에서 개별적으로 진화했기 때문이다.
3. 전사는 DNA 조각의 뉴클레오타이드 서열과 일치하는 RNA 분자가 생성되는 과정이다. 번역은 RNA 분자의 뉴클레오타이드 서열을 이용하여 펩타이드나 단백질 분자를 구성하는 아미노산 서열을 생성하는 과정이다.

핵심개념 1.3

1. 귀납적 논리는 관찰한 다음 그러한 관찰과 양립할 수 있는 명제를 포함한다. 이 제언은 직접적인 증거는 없지만, 사실일 수 있다. 그 명제는 가설이다.
2. 통제 실험에서 실험자는 체계나 과정에서 역할을 하지 조사 중인 모수를 제외한 모든 모수를 일정하게 유지한다. 예를 들어, 신약의 효과를 시험하기 위해, 실험자는 동일한 세포 배양액을 유지하고 치료되지 않은 배양액과 치료되지 않은 배양액에 변화가 있는지 확인하기 위해 일부 배양액에만 약물을 적용할 수 있다. 비교 실험에서, 실험자는 이러한 조건이 모집단에 미치는 영향이 무엇인지 알아보기 위해 다른 조건에서 서로 다른 모집단으로부터 자료를 수집한다. 한 예로 두 하천의 어류 개체군을 연구하는 것이 있는데, 그중 하나는 잠재적 오염물질을 포함하고 있다.
3. 통계적 검정은 측정값들의 차이가 무작위적 변이에서 예상되는 것보다 높을 확률을 보여준다.

핵심개념 1.4

1. 전 세계 많은 곳에서, 지구 기후변화는 지역 날씨 조건을 변화시키고 있으며, 강우량과 기온의 변화가 농업에 해로운 결과를 초래하고 있다.
2. 독감바이러스의 집단은 매년 진화하며 변하고 있으므로 어떤 한 해의 면역은 다음 해에 효과가 없을 수 있다.
3. 대기 질의 조절은 인류의 활동으로 위협받는 생태계 서비스다. 광합성은 대기에서 CO₂를 흡수하고 대기 중에 O₂를 방출한다. 산림의 광범위한 개간과 인간에 의한 화석연료의 과도한 연소는 이러한 균형을 바꾸고 온실가스인 CO₂의 대기 중 농도를 증가시켜 우리의 대기 질을 위협하고 또한 기후변화에 기여한다.

2장

요약 및 평가 2.1

1. 같은 원자가 전자의 수를 가진 원소는 주기율표에서 같은 수직 기둥에 족(group)으로 배치된다. 예를 들어, 소듐의 전자는 다음과 같은 전자껍질을 가진다(핵에서 바깥쪽으로 순서대로 제시): 1s², 2s², 2p⁶, 3s¹. 원자가 껍질에 하나의 전자를 가지므로 소듐은 1족에 배치된다. 마찬가지로 원자가 껍질에 하나의 전자를 갖는 리튬과 포타슘도 1족에 있다.
2. 원자는 가장 바깥쪽의 전자껍질에 8개의 전자를 가질 때 안정하다(수소는 예외적으로 2개의 전자를 가짐으로써 안정하다). 원자는 화학결합에서 다른 원자와 전자를 공유하거나 다른 원자와 전자를 주고받음으로써 안정성을 얻는다.
3. 인체는 지구의 지각과 같은 원소 조성을 갖지만, 그 비율은 매우 다르다.
4. ¹⁶O는 8개의 양성자(그렇지 않다면 다른 원소가 될 것이다)와 8개의 중성자를 가지지만, 2개의 중성자를 추가로 가지고 있다.

요약 및 평가 2.2

1. 두 원자가 공유결합을 하고 있을 때, 두 원자 사이의 공유 전자는 실제로 두 원자의 일부이다. 이 원자들은 매우 가깝게 붙어 있어서, 이 결합을 깨뜨리는 데 많은 에너지가 필요하다. 이에 비해 이온결합이 일어날 때는 한 원자의 전자를 다른 원자로 전달하며, 두 원자는 상대적으로 멀리 떨어져 있다. 그래서 이온결합에서 비롯된 인력을 깨는 데 에너지가 적게 든다.
2. a. 비극성: 극성: 극성: 비극성;
b. 소수성: 친수성; 친수성: 소수성
c. C=O: O에서 δ⁻; O-P: O에서 δ⁻
3. 이것은 반데르발스 힘의 예이며, 짧은 거리에서 작용하고 극성이 관여하지 않는다.

요약 및 평가 2.3

1. C₆H₁₂O₆ + 6O₂ → 6CO₂ + 6H₂O
2. 프로페인 연소 시에 화학적 변형이 일어난다. 일부 화학 에너지는 열과 빛으로 방출된다.

요약 및 평가 2.4

1. 물은 극성 공유결합을 가지고 있다. 수소결합은 물에서 한 분자의 δ⁺H와 다른 분자의 δ⁻O 사이에서 형성된다. 이 수소결합은 물이 온도를 증가시키고 끓기 위해서는 깨져야 한다. 메테인은 비극성 C-H 결합을 가지고 있다. 메테인에 열을 가하면 즉시 분자의 움직임이 증가하고 메테인은 가해지는 열에너지를 흡수할 수소결합이 없으므로 뜨거워진다.
2. 용액은 용매(예: 물)와 용매에 용해된 물질(예: 식용 소금, NaCl)을 포함한다. 살아 있는 생명체에 들어 있는 분자 대부분은 물에 용해되거나 물과 상호작용하기 때문에 물을 '생명의 매질'이라고 할 수 있다.
3. 1몰농도(1 M) 용액은 1 mole/L의 농도이며, 이는 리터당 6.02 × 10²³ 분자를 갖는 것을 뜻한다. 10⁻⁸ M 용액은 리터당 6.02 × 10¹⁵개의 분자를 가지며, 10⁻⁶ L의 10⁻⁸ M 용액에는 6.02 × 10⁹개의 분자가 포함되어 있다.
4. 이 반응은 혈액 속의 H⁺ 농도를 증가시킴으로써 pH를 감소시킨다. pH를 다시 높이려면 H⁺를 감소시켜야 하는데, 이때 역반응을 일으켜서 완충효과를 나타낼 수 있다.

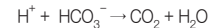


그림 질문

그림 2.2 원자 질량이 증가함에 따라 원소의 화학적 성질은 갑자기 변화하고, 이러한 패턴이 반복된다.

그림 2.4 이 기술은 치료 효과를 모니터링하는 데 사용할 수 있다. 치료가 진행됨에 따라 환자가 호전되면, 관련 뇌 영역이 더 많은 활성을 나타낼 것으로 기대할 수 있다.

그림 2.5 헬륨, 네온, 아르곤은 최외각 전자껍질이 완전히 차 있고 쌍을 이루지 않은 전자가 없으므로 반응성이 없다.

그림 2.7

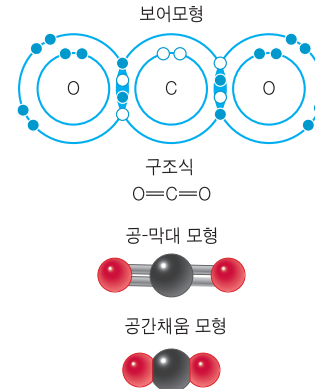


그림 2.10 Ca(원자번호 20)에는 2개의 원자가 전자가 있다. Cl(원자번호 17)은 7개의 원자가 전자를 가지고 있다. 이들이 결합할 때 2개의 전자가 1개의 Ca 원자에서 2개의 Cl 원자로 전달되어 CaCl₂가 형성된다. 형성되는 이온들은 Ca²⁺와 Cl⁻이다.

그림 2.11 화학적 수준에서는 증발로 물이 제거되면서 이온을 수화시키는 작용이 일어나므로, 이온은 더는 분리되지 않는다. 물리적인 수준에서는 소금이 더 용해되지 않아 결정을 형성한다.

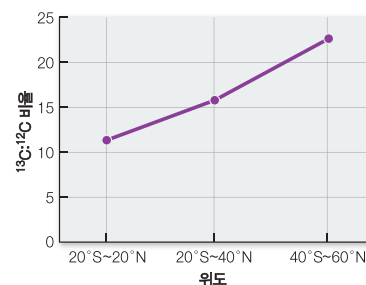
그림 2.12 열은 수소결합을 파괴할 것이다. 이러한 결합은 한 그룹과 분자 내의 다른 위치에 있는 다른 그룹 사이의 상호작용에 영향을 미치기 때문에 분자의 3차원 구조가 변경될 것이다.

그림 2.13 -CH₂-의 긴 사슬은 C-O와 C-H의 결합이 비극성이기 때문에 소수성이지만, C=O와 O-H의 결합을 가진 말단은 이들 결합이 극성이기 때문에 친수성이다.

그림 2.14 완충액의 존재를 보여주는 그래프는 처음에는 위로 작게 기울어진 다음 안정적인 상태를 유지한다. 완충액이 없는 것을 보여주는 그래프는 빠르게 상승할 것이다.

그림 질문, 동위원소 분석으로 빅맥의 쇠고기 출처 알아내기

1. 지역 비율의 평균은 모든 국가 평균 비율과 다르다. 비율이 유의미하게 다르다는 가설을 검증하기 위해 카이제곱 검정법을 사용할 수 있다.
2. 데이터의 그래프는 적도에서 멀어질수록 위도가 증가함에 따라 ¹³C:¹²C 비율도 증가함을 보여준다. 이것은 지역이 달라지면 그곳에서 생산하는 식물이 달라짐을 의미한다. 지역별로 사용되는 동물의 사료는 그 지역에서 재배되는 식물로 구성되는 경향이 있다.



눈에 보이는 요약

핵심개념 2.1

1. Si은 23-13 = 14개의 중성자와 13개의 양성자를 가진다.
2. 첫 번째 껍질은 2개, 두 번째 껍질은 8개, 세 번째 껍질은 3개를 가진다.
3. 동위원소는 핵의 중성자 수, 따라서 질량수에서 다르다. 원자번호는 핵에 있는 양성자의 수를 세며, 같은 원소의 원자들에서는 달라지지 않는다.

핵심개념 2.2

1. 같은 원소의 두 원자는 같은 전기음성도를 가지고 있다. 공유결합이 극성이 되려면, 두 원자는 전자를 서로 다른 강도로 끌어당겨야 한다. 극성 결합은 관련된 원자의 전기음성도가 유의하게 다를 때 나타난다.
2. 소듐이 전자를 잃으면, 그것은 가장 바깥쪽 껍질의 s와 p 궤도(그다음 가장 안쪽 껍질)가 가득 찬 상태에 도달한다. 이러한 이유로 소듐의 전기음성도는 상당히 낮아서 전자를 쉽게 잃고 Na⁺ 양이온을 형성한다. 대조적으로, 공유결합에서 가장 바깥쪽 전자를 다른 원자들과 공유하면 소듐은 가장 바깥쪽 껍질에서 2개의 전자를 내놓는데, 이때 소듐은 s 궤도는 채웠지만, p 궤도는 여전히 비어 있었다. 주기율표의 1족 원소 중에서 이것에 대한 예외는 수소이다. 수소는 공유결합으로 가장 바깥쪽 껍질을 채움으로써 첫 번째 껍질에 있는 유일한 궤도인 s 궤도를 채운다.
3. CO₂는 C와 O 사이에 극성 결합을 가지고 있으며 물과 수소결합을 형성한다. C₆H₁₄는 C와 C 사이에 또는 C와 H 사이에 극성 결합을 가지고 있지 않으며, 물과 수소결합을 형성하지 않는다.

핵심개념 2.3

1. 만약 물고기가 더 따뜻한 물로 이동한다면, 그것의 체온과 화학반응 속도는 증가할 것이다. 또한, 반응물의 농도가 증가하거나 생성물의 농도가 감소하면 반응속도가 증가할 것이다.
2. 이 반응식의 양쪽 모두의 전체 에너지는 같아야 하므로, 에너지 함은 이 반응식의 오른쪽에 있을 것이다.

핵심개념 2.4

1. 물이 가열될 때, 에너지 대부분은 물 분자의 이동속도를 증가시키기보다는 수소결합을 끊는 데 사용된다. 따라서 물은 온도를 올리지 않고 상당한 양의 열을 흡수한다.
2. 표면장력은 분자 간의 응집력에 의해 발생하며 액체의 표면을 침투하기 어렵게 만든다. 물에서는 수소결합이 분자들을 매우 단단하게 붙들고 있다.
3. 물은 극성 분자이며, 극성은 전하를 띤 화합물 주변으로 수화 껍질을 형성시켜 이 화합물을 효과적으로 용해한다.

3장

요약 및 평가 3.1

1. 구조 이성질체들은 같은 수의 원자를 가지지만, 원자들은 서로 다르게 배열된다. 시스-트랜스 이성질체는 일반적으로 이중결합을 이루는 2개의 탄소 원자를 가지고, 두 탄소 각각이 서로 다른 두 작용기가 결합한다(예: -H, -OH₃ 또는 다른 작용기). 2개의 치환기가 이중결합을 기준으로 같은 면을 향할 때 이성질체는 시스 상태이다. 두 치환기가 반대 방향에 있을 때는 트랜스 상태이다. 광학 이성질체는 4개의 서로 다른 원자나 원자단이 결합한 탄소를 가지며, 이로 인해 2개의 거울상 이성질체가 가능하다.
2. 만노스와 갈락토스는 C₆H₁₂O₆의 같은 원자 조성을 나타내지만, 원자의 배열이 다르다. 2번과 4번 탄소를 비교하시오. 이들 당은 수산기(-OH)를 가지며, 이것은 극성을 나타내기 때문에 당은 물에 녹는다. 또한 -OH기는 축합반응을 통해 이 당이 다른 분자와 결합할 수 있게 한다.
3. $H-A-OH + H-B-OH \rightarrow H-A-B-OH + H_2O$
 $H-A-B-OH + H-C-OH \rightarrow H-A-B-C-OH + H_2O$

요약 및 평가 3.2

1. 어떤 아미노산(예: 라이신)이 다른 아미노산으로 교체되었을 때 단백질의 1차 구조는 변한다. 이런 변화는 단백질의 3차 구조를 변하게 할 수 있는데 이것은 전하를 띤 아미노산 사이의 전기적 인력(+가 -에 끌림)의 결과로 단백질이 다르게 접힐 때 발생한다. 이 예에서 음전하를 띤 아미노산(아스파르트산)이 양전하를 띤 아미노산(라이신)을 대체하였고, 단백질이 정상적으로 접히는 것을 막는다. 이와 같은 현상은 이 폴리펩타이드 사슬의 어딘가에 있는 음전하를 띤 아미노산(+ 전하를 띤 아미노산에 끌림)이 접힘에 관련되어 있을 때 특히 잘 나타난다. 독립된 사슬들이 상호작용하여 4차 구조를 형성할 때에도 같은 힘이 작용할 수 있다.
2. 이러한 관찰은 "a"의 설명을 뒷받침한다. 글리신은 작고 비극성인 아미노산이다. 글루탐산과 아르자닌은 더 크고 극성(전하)을 띤다. 세린과 알라닌은 작아서 이 단백질이 모양을 유지한다. 하지만 세린이 극성(기타 -OH를 가짐)을 나타내고, 이것은 구조에 영향을 주지 않는다. 발린은 크고 비극성을 나타내며, 이것은 모양에 영향을 준다. 따라서 문제는 크기이다.
3. 그림 3.11을 참고하라. 열은 단백질의 모양을 유지하는 수소결합과 다른 약한 상호작용을 끊는다. 2황화결합 또한 정상적인 단백질의 모양을 형성하는 데 필요하다. 스타일링과 펴는 부분적으로 케라틴을 변형시킨 후 새로운 모양의 단백질로 바꾼다. 수소결합과 2황화결합을 끊어내기 전과 후 머리카락의 케라틴 단백질 구조를 조사하는 것이 연구에 포함되어야 한다.

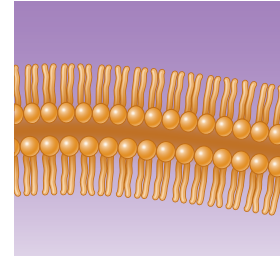
요약 및 평가 3.3

1. 녹말과 글리코젠은 서로 공유결합으로 연결된 많은 탄소 원자를 가진다. 이러한 공유결합을 형성할 때 에너지가 필요하며, 결합이 깨질 때 에너지를 방출한다.

2. 섬유의 다당류 사슬 사이에 나타나는 수많은 수소결합으로 인해 이 사슬들이 서로를 끌어당길 수 있으며, 사슬 내 공유결합으로 인해 각 사슬의 구조는 매우 강하다.

요약 및 평가 3.4

1. 막에서 나타나는 것과 정반대로 인지질은 극성의 머리가 안쪽을 향하고 꼬리가 바깥을 향하며 뭉칠 것이다. 이것은 2층층을 형성하기보다는 응집될 것이다.



2. 지방은 상온에서 고체이며 지방산 탄소 원자 사이에 단일결합만 존재한다(포화지방산). 기름은 상온에서 액체이며 지방산의 일부 탄소 원자 사이에 이중결합이 있다(불포화지방산).
3. 스테로이드는 수소 원자를 치환기로 가진 탄소 원자들이 서로 연결되었기 때문에 지질로 분류되며 물에는 녹지 않고 비극성 용매에 녹는다.

그림 질문

그림 3.1 메틸기는 비극성 결합을 포함하며 소수성이다.

그림 3.2

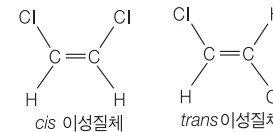


그림 3.5 아미노기는 이온화되지만(-NH₃⁺), 카복실기는 양성자를 얻을 것이다(-COOH).

그림 3.6 시스테인들이 서로 가깝게 있을 때 2황화물 다리가 형성된다.

그림 3.8 1차 구조는 강력한 공유결합으로 묶여있기 때문에 영향을 받지 않는다.

그림 3.12 소수성 상호작용과 수소결합과 같은 비공유성 상호작용.

그림 3.15 열충격 단백질은 세포의 단백질이 변성되고 분해되는 것을 막는다. 단백질이 열에 노출되었을 때 뿐만 아니라 단백질의 구조가 변하는 화학적 조건(예: pH의 변화)에서도 이런 현상이 나타난다.

그림 3.19 가수분해

그림 3.22 비포화결합들이 H를 추가하여 포화될 것이다. 지방산은 꺾인 구조가 아니라 선형의 사슬을 나타낼 것이다.

그림 3.24 스테로이드는 비극성이며 비극성 지방에 용해되므로 배출되기 보다는 지방에 축적된다.

그림 질문, 거미줄 만들기

1. 유전공학적으로 생산된 섬유가 천연의 거미줄보다 낫다. 이것은 천연의 거미줄보다 더 두껍고, 끊기 위해 많은 힘이 필요하며, 더 길게 늘어난다.
2. 강도를 나타내는 섬유의 두께가 기록된다.
3. t-검정법으로 결정할 수 있다.
4. 거미줄은 케블라나 강철보다 강하다.

그림 질문, 그림 3.11B

1. 2황화결합은 재산화가 시작된 후 거의 즉시 형성되기 시작한다. 효소 활성은 재산화기 시작된 후 100 분경에 나타나기 시작한다. 2황화결합 형성과 효소 활성이 다시 나타나는 것 사이에 시간 차이가 존재하는 것에는 두 가지 이유가 존재한다. 첫 번째, 이 단백질에는 4개의 2황화결합이 있으며 이들 모두는 효소 활성이 회복되기 전에 다시 형성되어야 한다. 다시 말해 첫 번째 2황화결합의 형성은 효소 활성을 회복하는 데 충분하지 않으므로 시간 차이가 나타난다. 두 번째, 수소결합과 소수성 상호작용과 같은 다른 화학적 상호작용이 존재한다. 이러한 상호작용은 이 단백질이 2황화결합의 형성 때문에 먼저 접힌 후 나타나며, 이들 역시 효소 활성에 필요하다.
2. 천연 단백질의 최대 흡광도는 약 278 nm에서 나타났다. 환원된(변성된) 단백질의 최대 흡광도는 약 275 nm에서 나타났다. 재산화로 인해 원래의 흡광도 스펙트럼을 회복하였다. 이 실험의 변성 조건에서 RNase A의 1차 구조는 유지되는 동안 적절한 환경조건이 되면 원래의 구조와 완전한 기능을 나타내는 분자로 회복될 것이다.

4 생명생물의 과학 12 판

눈에 보이는 요약

핵심개념 3.1

1. 인산기는 전하를 띠며 극성이므로 이 분자는 더욱 극성이 될 것이다.
2. 아니다. 축합반응은 물이 필요한데 물은 비극성 환경에 존재하지 않는다.

핵심개념 3.2

1. 둘 모두. 시스테인 잔기 사이의 2황화결합은 공유결합이다. 발린과 알라닌 같은 비극성 아미노산 사이의 수소성 상호작용은 비공유결합성이다.
2. 새로운 아미노산들이 기존 사슬의 카복실 말단에 결합해 사슬을 신장시킨다.

핵심개념 3.3

1. 두 이당류 모두 2개의 포도당 분자가 결합한 것이지만, 말토스는 α-1,4 결합을 셀로비오스는 β-1,4 결합을 가진다.
2. 열을 가하면, 녹말의 수소결합이 끊어지게 되어 이 녹말은 덜 고형이 된다. 섬유소의 결합들은 가열 시 덜 끊어지므로 섬유소는 섬유로 남아있다.

핵심개념 3.4

1. 둘 다 글리세롤과 이 글리세롤의 세 탄소 원자에 공유결합한 3개의 분자를 포함한다. 트리글리세리드에서는 이 3개의 분자가 모두 지방산이다. 인지질에서는 2개의 인지질과 1개의 인산기 함유 분자가 있다.
2. 올리브 기름은 지질이며 비극성이다. 이것은 수소결합을 형성하지 않으며 극성인 아세트산과 상호작용하지 않는다.

4장

요약 및 평가 4.1

1. 퓨린은 2개의 질소-탄소 고리를 포함하는 반면에 피리미딘은 1개의 고리를 가진다. 이중나선 DNA는 한 가닥의 퓨린이 다른 가닥의 피리미딘과 언제나 반대편에 있으므로 같은 길이(폭)를 갖는다.
2. DNA 분자들은 지름과 구조는 유사하지만, 이들의 염기서열은 다르다. 염기서열에서의 차이는 DNA의 정보 내용을 제공해 준다.
3. 4중류 염기로 구성된 25 bp인 뉴클레오타이드의 염기서열의 수는 4²⁵이다. 단일가닥에 있는 내부 염기 쌍 때문에 (RNA와 같이) 많은 접힌 구조가 가능하다. 이것은 표적 분자와 특이한 결합을 하도록 한다.

요약 및 평가 4.2

1. 대기 중에 있는 산소(O₂)는 밀러와 유리의 실험에서 관찰된 환원반응을 방해하는 산화 환경을 만들어 낸다.
2. 만약 미생물이 열에 살아있었다면, 파스퇴르 실험은 처음부터 이미 존재하고 있는 미생물과 함께 시작한 것이 된다. 이 미생물은 열린 플라스크 그리고 닫힌 플라스크 모두에서 자랐을 것이다. 파스퇴르가 내린 결론을 얻기 위해서는 파스퇴르의 플라스크는 이런 미생물을 포함하고 있지 않았어야 한다. 열에 안정한 미생물에 대하여 제안된 실험의 해답은 단백질을 파괴하는 메르캅토에탄올(mercaptoethanol)과 같은 시약을 사용하여 미생물을 불활성화시키는 것이다.
3. 제시된 실험은 밀러와 유리의 실험 후(축합반응 중합반응이 일어나게 하는) 샘플을 말리고 그 후에 열 형태로 에너지를 적용한다. 이 같은 환경이 초기 지구의 화산암에 존재했을지도 모른다.

요약 및 평가 4.3

1. 살아 있는 생명체의 특성은 생성할 수 있는 능력으로서 이것은 이미 존재하고 있는 생물에서 일어난다. 같은 생물을 생산하는 것에 대한 지시사항은 자손에게 전해져야 하는데, 이것은 지시사항이 정보 분자라는 것을 암시한다. 살아 있는 생명체에서 화학적 변화는 끊임없이 일어나지만, 일반적인 화학적 변화는 너무 느려 생물에게 이익을 줄 수가 없다. 그래서 촉매가 반응을 속도를 높이는 데 필요하다.
2. 생명의 기원에 대한 이론을 개발하는 데 있어서의 도전은 정보를 운반할 수 있고 촉매로서도 작용하는 분자에 대한 요구였다. 어느 하나가 없이는 우리가 아는 생명은 존재할 수가 없었다. 정보 분자인 RNA가 촉매로도 작용할 수 있다는 것이 이 도전을 해결해 주었다: 촉매 RNA 또는 RNA자임(RNAzyme)으로 알려진 리보자임은 특정한 생화학반응을 촉매하는 능력을 갖춘 RNA 분자이다.
3. 살아 있는 생명체에서 촉매 대부분은 단백질이다. 그러나 아미노산에서 촉매인 단백질로 되는 중합과정은 단백질 촉매가 처음에 형성되기 전에 일어났을 것임이 틀림없다. 아마도 원래 정보를 가지고 있었고 단백질 형성에 촉매로서 기능하는 RNA를 가지는 것은 이 '닭-달걀' 문제를 풀 수 있다.

요약 및 평가 4.4

1. 세포막은 구획을 형성하고 이 구획에서 생명체에서 일어나는 반응에 필요한 화학물이 농축될 수 있다. 막은 생물을 위하여 외부 환경과는 다른 특이한 내부의 적절한 화학 환경을 생성한다.
2. 먼저, 30억 년보다 더 오래된 암석을 조사한다. 그 후 암석의 얇은 절편에서 세포 또는 세포 사슬처럼 보이는 물체를 현미경에서 관찰한다. 최종적으로, 광합성 결과로부터 오는 탄소 동위원소의 비율과 같은 생명체의 화학적 신호를 위해서 암석을 화학적으로 분석한다.

그림 질문

그림 4.1 공유결합.

그림 4.4 만약 접힌 RNA 분자에 열을 가하면, RNA 염기 사이의 수소결합이 끊어지고 RNA 분자는 특정한 형태를 잃고 임의의 형태를 가질 것이다.

그림 4.5 수소결합.

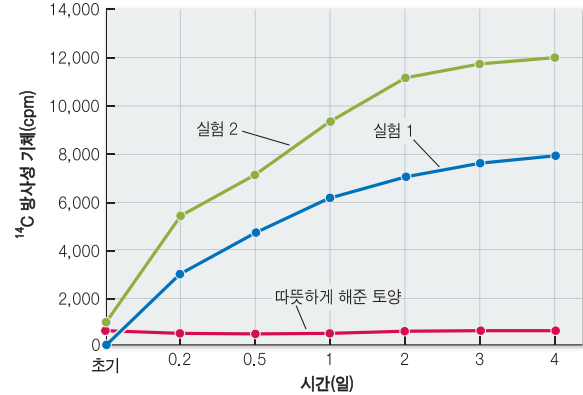
그림 4.7 전사하도록 신호를 보내는 DNA 서열에 특정한 정보가 있어야 한다. 이러한 특정한 서열은 전사

에 관여하는 단백질과 결합하여야 한다.

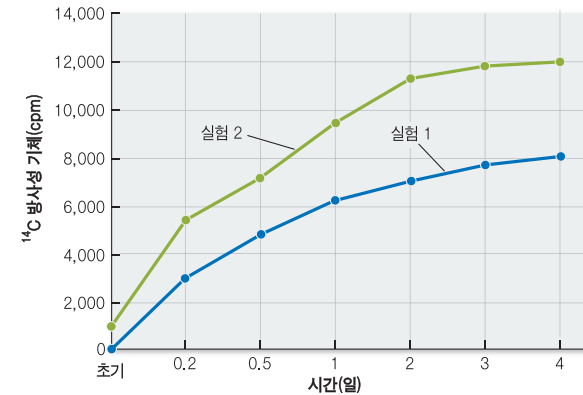
그림 4.12 리보스는 RNA 분자에 있는 당이다.

그림 질문, 화성에서 생명의 증거를 찾을 수 있을까?

1. 열을 가하지 않은 토양으로 수행한 한 두 실험에서 ¹⁴C-표지된 기체는 적절한 시간 의존성 증가세를 보였다. 이런 자료는 제공된 분자를 기체로 전환하는 살아 있는 생명체와 일관성이 있다. 생성된 기체의 양은 연구실에서 한 실험과 비교했을 때에는 적었다: 평균 방사능은 10,000 cpm인 반면에 잠재적 가능성은 270,000 cpm이었다. 기체 생성 효율은 10,000/270,000 = 0.038 = 4%였다.



2. 자료로 얻은 그래프에서는 ¹⁴C 기체의 증가는 보이지 않는다. 열은 단백질과 핵산에 있는 수소결합을 파괴한다. 다시, 이러한 자료는 생성된 ¹⁴C 기체를 가지고 있는 살아 있는 생명체와 일관성이 있다.



3. 적절광에 대한 자료는 화성 토양에 대한 자료와 유사하다. 그래서 화성 토양 자료가 생명체와 일관성이 있는 반면에 이들은 또한 생명이 아닌 토양 구성물과도 일치한다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 4.1

1. DNA 서열은 5'-TCCAG-3'; RNA는 5'-UCCAG-3'이다.
2. A-G쌍이 교정된 C-G쌍보다 더 크다(넓다). 그래서 이중나선 DNA는 A-G쌍이 위치한 장소에서 부풀 것이다.

핵심개념 4.2

1. 아니다. 수증기와 다른 기체들은 다른 행성들(예: 화성)에서도 발생하고 자외선과 다른 에너지 원천들도 생명체 유기분자들의 형성을 가져올 수 있었을 것이다.
2. 우유 그릇은 공기 중에 있는 생명체(예: 세균)가 우유에 들어가서 자라는 것을 방지하기 위하여 밀봉된다. 대부분 생물은 낮은 온도라면 느리게 자라기 때문에, 열린 우유 그릇은 냉장 보관해야 한다.

핵심개념 4.3

1. 단백질은 스스로 복제하기 위하여 촉매로서 역할을 할 수 없지만, RNA는 할 수 있다.

핵심개념 4.4

1. 막은 생명체에 필요한 물질들을 둘러싸고 있으며 이 물질들이 근접해 있기 때문에 서로 반응하도록 허용한다.
2. 다른 세포화석의 샘플들을 조사하였을 때, 그들의 화학 서명은 달랐다. 이것은 세포 화학에 이미 다양성이 있었다는 것을 의미한다.

2부

5장

요약 및 평가 5.1

1. 생명은 계속 이어진다. 세포설은 생명이 세포의 연속성으로부터 온다는 것을 설명한다. 생명은 화학적으로 매우 복잡하다. 세포설은 이러한 화학이 세포 내에서 일어나는 것을 설명한다. 생명은 진화하고 시간이 지남에 따라 변한다. 세포설은 세포가 유전적으로 변하고 새로운 특성이 다음 세대의 세포로 전달됨에 따라 세포에서 진화가 일어난다고 있는 것을 설명한다.
2. 세포와 세포소기관을 둘러싸고 있는 막은 구획을 만든다. 세포막은 생명체의 화학반응이 주위 환경으로부터 분리되어 일어나게 한다. 특히 세포막은 세포 내의 환경이 고유한 구성과 농도를 가지도록 한다. 세포소기관 막은 전문화된 기능을 하고 해로운 물질을 세포의 나머지 부분(세포질)으로부터 분리한다.

요약 및 평가 5.2

1. 세포벽은 탄수화물과 펩타이드의 거대한 복합체로 이루어져 있으며, 세포를 지지하고 세포의 모양을 나타낸다. 외피는 어떤 원핵생물들의 세포벽을 둘러싸면서 넓게 퍼져 있는 탄수화물로서 세포가 마르는 것을 방지하며, 원핵생물이 다른 세포와 부착하는 것에 이용될 수도 있다. 편모는 플라젤라이라 부르는 큰 단백질 가닥으로 구성되어 있으며, 운동 복합체에 의해서 세포벽과 세포막에 부착되어 있고 세포가 이동하는 데 사용된다.
2. 핵양체는 DNA와 단백질로 구성되어 있다. 세포질은 물에 용해되거나 떠다니는 생명체를 위한 모든 작고 큰 분자들을 포함하고 있다.

요약 및 평가 5.3

1. 핵은 세포의 나머지로부터 유전물질을 분리한다. 리소좀은 세포의 나머지 부분에 해를 줄 수 있는 가수분해 활성을 가지고 있다.
2. a. 4개의 막: 엽록체에 있는 2개의 막과 미토콘드리아에 있는 2개의 막.
b. 2개의 막: 리소좀막과 세포막(소낭을 경유하여; 분자는 어떤 막도 스스로 통과하지 않는다).
c. 막 없음: 리보솜에는 막이 없다. 그러나 만약에 리보솜이 소포체와 연관되어 있으면, 답은 2개의 막이 될 것이다: 하나는 소포체 속으로 들어가고 하나는 소포체로부터 나올 때이다.
3. 미세소관은 신경세포의 긴 축삭을 따라 배열하여 물질을 운반하는 소낭을 위한 관으로서 작용한다. 미세소관 없이는 이러한 소낭의 내용물이 목적지로 배달될 수가 없어 신경에 문제를 초래할 수 있다. 미세소관의 분해는 미세소관이 세포분열 동안 염색체를 이동시키는 방추사의 핵심 부분이기 때문에 세포분열을 방해할 수 있다.
4. a. 리소좀 효소를 위한 경로는 리보솜 → 소포체 내부 → 골지체 → 골지소낭 → 리소좀이 될 것이다.
b. 세포의 단백질질을 위한 경로(동물세포에서는) 리보솜 → 소포체 내부 → 골지체 → 골지소낭 → 세포막 → 세포외 지역이 될 것이다.

요약 및 평가 5.4

1. 초기에는 세포막을 세포의 기질에 부착시키는 분자들이 분해된다. 그다음에 세포로부터 세포의 기질에 있는 가대분자들을 분해하는 효소가 생산되어 분비된다. 세포는 미세섬유에 의해 이동한다.
2. 세포벽은 강하게 지지해 주는 셀룰로스 섬유를 포함하고 있기는 하지만 식물이 구부러져 휘는 어느 정도의 유연성을 가지도록 한다. 세포벽 구조는 세포가 감염으로부터 보호되는 추가적인 방어벽을 제공한다. 한편, 어떤 세포에 있는 세포벽은 물질들이 세포 안팎으로 출입할 수 있는 구멍을 가지고 있다.
3. 식물세포와 동물세포는 각각 세포의 기질에 있는 셀룰로스와 콜라겐의 화학적 분석으로 이를 규명할 수 있다. 이들 두 화합물은 2개의 서로 다른 종류의 세포에서 구분된다.

요약 및 평가 5.5

1. 세포막은 안으로 접혀진 후 떨어져 나와 골지체를 위한 소낭이나 소포체를 위한 납작하고 얇은 판을 형성할 수 있었다.
2. 세포내공생론은 한 세포가 다른 세포를 삼켜 먹는데 관해 설명한다. 시간이 지남에 따라 삼켜진 세포는 숙주세포로부터 독립적으로 살아갈 능력과 약간의 DNA를 잃었다. 그 결과 삼켜진 세포는 숙주세포에게 생존을 의존하게 되었다.

그림 질문

그림 5.2 0.3:1.

그림 5.5 2중류의 세포 모두 리보솜과 세포막을 가진다.

그림 5.8 4단계 후에 훨씬 더 높은 속도로 남아있는 물질들을 원심분리한다.

그림 5.11 핵막으로부터 소포체의 조립: 골지체 시스템 사이의 수송; 소포체에서 골지체로의 수송; 세포 내삽취작용; 세포외배출작용; 골지체로부터 세포막으로의 수송

그림 5.13 근육세포처럼 많은 에너지를 요구하는 세포에는 수많은 미토콘드리아가 있다.

그림 5.14 엽록체에 저장된 에너지는 탄수화물을 만드는 데 사용된다. 식물세포에서 많은 다른 기능을 수행하는데 화학적 에너지가 필요하므로 미토콘드리아가 존재한다.

그림 5.20 미세소관의 이중세관이 서로에 대해서 미끄러져 지나쳐려고 할 때 넥신은 섬모와 편모가 굽게 만든다. 넥신이 없다면 편모와 섬모의 기능 감소가 초래되는 데 이를 불모증섬모증후군이라 부른다.

그림 5.24 프로테오글리칸은 젤과 같은 일관성에 책임있는 세포외 기질의 중요한 구성물이다. 이 보충물은 관절 윤활에 도움이 되는지 모른다.

그림 질문, 새로운 세포소기관 탄닌소체의 발견

1. 탄닌은 엽록체 틸라코이드 안에 나타나고 그다음에 탄닌을 담고 있는 소낭에 의해 액포로 수송된다.
2. 엽록소와 탄닌을 위한 염색은 같은 장소에서 나타난다. 엽록소는 엽록체 안에 있기 때문에 이것은 질문 1에 대한 해답에서 기술한 것처럼 탄닌이 엽록체에서 기원한다는 것과 일치한다.
3. 엽록소뿐만 아니라 탄닌이 염색과 화학적 분석에서 세포소기관의 하층 분획에서 나타났으므로 이것은 아마도 탄닌을 포함하고 있는 것은 엽록체 분획일 것이다.

그림 질문, 세포 운동에서 미세섬유의 역할-새물학에서 인과관계 보여주기

1. 이 실험들에 대한 추론은 다음과 같았다: 만약 미세섬유가 세포이동에 필수적이라면, 사이토킨 B가 있는 조건에서는 세포이동은 일어나지 않아야 한다. 만약 미세소관이 세포이동에 필수적이라면, 콜히친이 있는 조건에서 세포이동은 일어나지 않아야 한다. 만약 세포이동에 새로운 단백질 합성이 요구된다면, 시클로헥사미드가 있는 조건에서 세포이동은 일어나지 않아야 한다. 그리고 세포이동에 에너지가 필요하다면, 디니트로페놀이 있는 조건에서 세포이동은 일어나지 않아야 한다. 후자 3개의 실험은 세포이동에 세 과정의 관여를 배제하는 중요한 대조 실험이었다. 시클로헥사미드 + 사이토킨 B와 디니트로페놀 + 사이토킨 B로 수행한 대조 실험은 약물이 세포에 독립적인 효과를 가지고 있다는 것을 보여 주었다.
2. 사이토킨 B로 수행한 실험은 세포이동에 미세섬유가 관여하고 있다는 것을 보여 주었다. 콜히친으로 한 실험은 미세소관을 배제하였다. 시클로헥사미드로 수행한 실험은 세포이동에 새로운 단백질 합성은 필요하지 않다는 것을 보여주었다. 디니트로페놀로 수행한 실험은 세포이동에는 새로운 에너지의 투입이 요구되지 않는다는 것을 보여주었다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 5.1

1. 첫 번째 세포 종류는 안으로 많이 접힌 세포막을 가지고 있으며 이것이 표면적을 증가시킨다.
2. 답이 없다. 진핵세포의 구별되는 특징은 핵의 존재이다. 어떤 진핵세포는 정말로 원핵세포보다 작다.

핵심개념 5.2

1. 세균이 분열할 때, 새로운 세포벽이 형성되어야만 한다. 만약 세포벽이 만들어지지 않는다면, 세포는 환경으로부터 보호되지 못할 것이다.
2. 원핵생물은 인체에서 생존하여 특별한 기능을 수행한다. 원핵세포는 일반적으로 진핵세포보다 훨씬 작아서 인체 안에는 많은 원핵세포를 위한 자리가 있다.

핵심개념 5.3

1. 글리옥시좀, 중심 액포, 그리고 셀룰로스 세포벽.
2. 과산화물이 매우 반응성이 있는 것처럼, 과산화수소의 해독 부족은 세포에 과산화수소의 축적을 초래하고 많은 분자에게 손상을 준다.
3. 리소좀은 가대분자를 분해하는 기능을 하지 못할 것이다. 가대분자는 리소좀 내에 축적될 것이다.

핵심개념 5.4

1. 식물 세포벽: 다당류 기질에 있는 셀룰로스. 동물 세포외 기질: 프로테오글리칸에 있는 콜라겐.
2. 단백질은 리보솜에서 만들어진 후 RER로 들어간다; 그 후 골지체; 그 후 세포외배출로 세포외 지역. 다당류는 골지체에서 만들어져서 세포외배출로 세포외 지역으로 들어간다.

핵심개념 5.5

1. 리소좀은 DNA를 가지고 있지 않으며 자가 복제를 할 수 없다. 그래서 리소좀은 아마도 원핵생물로부터 진화하지 않았을 것이다.
2. 그렇다. 세포막의 안으로의 접힘은 세포호흡에 관여하는 원핵생물의 단백질을 둘러쌀 것이다. 후에 이러한 단백질을 암호화하는 DNA가 핵으로부터 세포소기관으로 이동하였을 것이다.

6장

요약 및 평가 6.1

1. 지방산의 친수성 '머리'는 극성 말단이며, 소수성 '꼬리'는 비극성 말단이다. 그래서 머리는 물 분자와 연결되고 꼬리는 물 분자를 멀리하려는 경향이 있다. 지방산은 수용성 환경에 놓이게 되면 스스로 배열하여 지방산 꼬리는 상호작용하는 반면에 머리는 외부 환경과 세포질의 물과 접촉하여 2중층을 형성한다.
2. 내재성 단백질은 내부의 지질과 소수성 상호작용으로 인지질 2중층에 박혀있다. 이 단백질은 막 2중층의 비극성 지방산 꼬리 지역 속으로 삽입하기 위하여 소수성 측쇄그룹이 있는 아미노산을 가지고 있어야 한다. 외재성 단백질은 소수성 지역이 부족하고 인지질 2중층의 소수성 핵심과 상호작용하지 않는다. 대신에 이 단백질은 일반적으로 내재성 단백질과의 상호작용으로 간접으로 또는 지질 극성 머리 그룹과의 상호작용으로 직접으로 막에 연결되어 있다.
3. 용기된 것은 지질 2중층에 묻혀 있는 내재성 막단백질이다.
4. 막의 유동성을 측정하기 위하여, 적은 양의 지질 또는 단백질들을 염색약으로 표지하고 이것이 암세포와 정상 세포의 막에 통합되도록 한다. 이것은 세포에 지역적으로 표지된 얼룩점을 만들 것이다. 지역적으로 염색된 장소는 시간이 지남에 따라 세포 전체로 확산하는 것이 관찰될 것이다. 암세포에서 이 확산의 속도는 더 빠를 것이다.

요약 및 평가 6.2

1. 글루코사이드가수분해효소라 부르는 효소는 탄수화물과 다른 분자 사이의 결합을 자른다. 서로 결합한 세포에 해편을 얻은 후 이들을 분리한다. 그런 후 탄수화물을 제거하기 위하여 세포를 글루코사이드 가수분해효소로 처리한다. 이렇게 되면 세포인식과 부착이 방해된다.
2. 원형질연락사와 간극연접은 둘 다 막에 니컬린 통로를 가지고 있어서 가장 유사하다.

요약 및 평가 6.3

1. 막을 가로지르는 확산에 영향을 미치는 성질에는 크기, 분자량(작을수록 더 빠르다), 전하(극성을 띠지 않는 것이 더 빠르다), 그리고 농도기울기(기울기가 더 높으면 확산 속도가 더 빠르다) 등이 있다.
2. 만약 혈액이 저장상태이면, 물은 적혈구 내로 들어가서 세포를 부풀게 하여 결국 세포를 터지게 만들 것이다. (이것을 용혈성 빈혈이라 부른다.)
3. 소수성인 세포막 지질은 K⁺와 같이 전하를 띤 이온에는 상대적으로 불투과적이다. 통로는 K⁺가 세포 안 밖으로 같은 농도로 있는 평형에 도달할 때까지 세포 밖으로 K⁺가 확산하는 것을 허용할 것이다.

요약 및 평가 6.4

1. 물질은 확산하여 환경에 골고루 분포하는 평형에 도달하려는 경향이 있다. 에너지는 이러한 자연적인 경향을 극복하고 비평형으로 분포하는 것을 유지하는 데 필요하다.
2. 역수송체는 두 물질을 서로 반대 방향으로 수송한다. Na⁺-K⁺ 펌프의 경우에, Na⁺는 세포막을 가로질러 세포 밖으로 수송되고, K⁺는 세포막을 가로질러 세포 안으로 수송된다.
3. 1차 능동수송에서, ATP 가수분해는 농도기울기를 거스르는 수송에 필요한 에너지를 제공한다. 2차 능동수송에서, 에너지는 다른 능동수송(2차)으로 형성된 기울기로부터 온다.
4. 능동수송과 촉진확산은 수송할 물질에 결합하는 단백질을 사용함으로써 막을 통과하는 수송 속도를 빠르게 한다. 그러나 능동수송은 농도기울기와 확산 경향성을 거스르는 물질을 수송하는 에너지가 있어야 하는 과정이다. 이와는 대조적으로, 촉진확산은 에너지가 필요하지 않고 농도기울기와 확산하려는 경향성에 따라 물질을 수송한다.

요약 및 평가 6.5

1. 식세포작용은 개대 분자 주위에 형성되는 세포막에서 유래한 큰 소낭을 포함한다. 음세포작용은 물과 용해된 용질을 주위에 형성된 더 작은 소낭을 포함한다.
2. 수용체매개 세포내섭취에서, 분자(리간드)가 세포막 단백질 수용체와 결합하면 막은 분자와 수용체를 둘러싸는 소낭을 형성한다. 내용물을 지닌 소낭은 세포로 들어가서 일반적으로 리소좀과 융합한다. 혈액에서 간세포로 지질단백질 입자의 세포내섭취가 좋은 예이다.
3. 구조류의 세포벽 구성물은 세포외배출에 의해서 골지체로부터 세포벽으로 이동한다.

그림 질문

그림 6.1 소수성 상호작용은 어떤 단백질을 막에 깊이 박혀있도록 하지만, 이온결합은 단백질을 막의 표면에 있게 만든다.

그림 6.7 이것은 다른 조직에는 다른 세포외기질이 있으며 각각에 대한 특정한 인테그린이 있다는 것을 나타낸다.

그림 6.8 확산은 여전히 일어나지만, 더 오래 걸릴 것이다.

그림 6.10 과다한 비료는 토양액을 식물 뿌리세포의 내부보다 고장성으로 만든다. 물은 심투로 식물 뿌리에서 나와 고장성 용액으로 이동한다. 또한, 식물 기관에 있는 물은 심투 때문에 물이 나간 뿌리로 이동한다. 세포액은 팽압을 유지하는 데 있어서 중요하기 때문에 과다한 비료로부터 초래되는 물의 손실은 식물을 시들게 만든다.

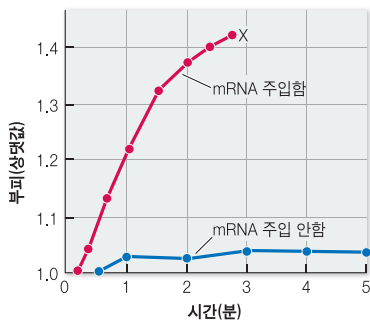
그림 6.11 아니요. 개폐형 이온 통로는 방향성이 없다. 통로는 확산을 허용한다.

그림 6.14 와베인은 정상적으로는 Na⁺를 세포 밖에 유지하는 Na⁺-K⁺ 펌프를 방해한다.

그림 6.15 Na⁺-K⁺ 펌프를 방해하는 것은 세포 안팎의 Na⁺ 농도를 같게 하는 결과를 초래할 것이다. 일반적으로, 이것은 세포 안의 Na⁺ 농도를 증가시킬 것이다. Na⁺ 농도기울기가 없다는 것은 세포 안으로 포도당 흡수를 추진하는 잠재적 에너지가 없다는 것을 의미하므로, 포도당 농도는 감소할 것이다.

그림 질문, 아쿠아포린은 물에 대한 막의 투과성을 증가시킨다

1. mRNA가 주입된 난자는 심투에 의한 물의 흡수 때문에 부풀었다. 4분이 지난 후에 mRNA가 주입된 세포는 물을 너무 많이 흡수하여 터졌다. 대조군의 세포는 물을 흡수하지 않았고 그 결과 원래대로 모양을 유지하였다.



2. 더 많은 mRNA를 가진 막에는 잠재적으로 더 많은 아쿠아포린이 있으므로, 주입한 mRNA가 더 많을수록 물 투과성은 증가하였다. 관계성은 선형회귀를 이용해 통계적으로 평가할 수 있다.
3. 염화수은만 있는 조건에서 mRNA를 주입한 난자에서 얻은 자료는 물 투과성이 감소한 것을 보였다. 이 결과는 물투과에 단백질이 관여하고 있다는 것을 가리킨다. 메르캅토테탄올을 첨가하면 난자는 물 투과성을 회복하였다. 첨가된 mRNA가 없는 대조군 난자에서는 물 투과성의 증가가 없었고, 염화수은과 메르캅토테탄올은 대조군의 물 투과성에 어떤 효과도 없었다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 6.1

1. 비극성 아미노산을 찾을 수 있는 것을 기대한다. 비극성 아미노산의 예로는 발린, 알라닌, 루신과 아이소루신 등이 있다.
2. 계면활성제는 세포막 지질을 용해하므로 막은 고유성을 잃을 것이다. 세포질은 외부 용액으로 방출될 것이다.

핵심개념 6.2

1. 해면은 다시 뭉치는 것에 실패할 것이다. 노출된 세포막 단백질은 잘릴 것이다. 단백질은 재결합을 위한 세포-세포의 인식에 필수적이다.
2. 인테그린은 세포를 세포외기질에 부착하는 시키는 세포막 단백질이다. 만약 부착할 세포기질이 없다면, 세포는 다른 장소로 이동하는 것이 자유롭다.

핵심개념 6.3

1. 단백질에 대한 매개변수는 크기이다; 이온에 대한 매개변수는 전하량이다(극성).
2. 혈장은 세포에 등장성이고 용질 농도는 0.3 M이다. 만약 이 농도가 0.2 M로 감소한다면, 혈장은 세포에 저장성이 될 것이다. 물이 세포 속으로 이동하는 삼투현상이 일어날 것이고 세포는 부풀어 터질 것이다.

핵심개념 6.4

1. ER 내의 Ca²⁺ 농도는 능동수송을 이용한다. 세포기질로의 빠른 Ca²⁺ 방출은 막 통로를 통한 확산을 이용한다.
2. ATP 가수분해는 세포막을 통과하는 이온의 능동수송을 위한 에너지를 제공한다.

핵심개념 6.5

1. 세포내도입을 위한 소낭은 세포막으로부터 유래하는 반면에 세포외배출을 위한 소낭은 골지체로부터 유래한다.
2. 아니요. 수용체는 세포내도입 전에 피복구에 집중적으로 분포해 있다.

7장

요약 및 평가 7.1

1. 자기분비 신호전달은 세포가 전문화된 기능을 유지하는 데 중요할 것이다. 예를 들어, 한 세포가 특수화 신호를 받고 여러 세포의 조직을 형성할 수 있다. 처음 세포는 생장을 스스로 촉진하여 분열하고 자가신 호에 반응하여 조직을 형성할 수 있다.
2. 호르몬은 순환계를 통해 표적세포 수용체에 전달된다. 동물에서는 이것이 혈관계이며, 식물에서는 관다발계이다.
3. 신호 응답의 특이성이 나타나는 이유는 특정 세포만이 주어진 신호에 대한 수용체를 가지기 때문이다.
4. pH의 변화는 아미노산의 R기의 이온화를 변화시킨다. 예를 들어, 산성 pH에서는 H⁺의 농도가 높고 아미노산의 R기에 -COO⁻ (글루탐산 등)를 가지는 아미노산은 양성화되어 -COOH가 된다. 이것은 전하를 띠지 않으며, 극성이 작아진다. 반면에 아민기(-NH₂, 라이신 등)를 가지는 아미노산은 양성화되어 -NH₃⁺가 된다. 이것은 전하를 띠며 극성이 강해진다. 이러한 변화는 수용체의 입체구조와 기능을 변화시킬 수 있다.

요약 및 평가 7.2

1. 해리상수는 리간드와 수용체의 결합속도 상수에 대한 해리속도 상수의 비이다. KD가 높을수록 신호는 수용체에 덜 결합하게 될 것이며, 세포는 특정한 농도의 리간드와 수용체가 있는 조건에서 덜 반응하게 될 것이다.
2. 수용체-리간드 결합의 화학적 본질은 모양과 소수성 상호작용과 이온성 상호작용과 같은 비공유결합의 존재이다. 이것이 특이성을 제공하는 것이다. 특이성은 각 신호에 대해 적절한 생물학적 반응을 나타내는 데 중요하다.
3. 세포질 수용체는 세포막에 끼어들어 가는 데 필요한 비극성 부위가 없다. 이들의 외부는 극성이며, 따라서 세포질에서 물과 상호작용할 수 있다. 막 수용체가 막에 머물러 있는 반면에 세포질 수용체는 리간드가 결합한 후 핵으로 이동할 수 있다.
4. 예. 일부의 경우에는 신호가 세포막을 통해 확산되어 세포질의 수용체에 결합할 수 있다.

요약 및 평가 7.3

1. 활성화된 각각의 Ras 분자가 인산화를 촉매하여 이로 인해 다수의 MAP3K를 활성화하고, 각 MAP3K는 다시 다수의 MAP2K를 활성화하기 때문에 증폭이 일어난다. 일반적인 원리는 하나의 효소가 다수의 기질 분자를 촉매한다는 것이다.

- 다른 세포는 cAMP가 결합하는 다른 표적 분자를 가질 수 있으며, 이 표적들이 다른 활성과 기능을 가질 수 있다. cAMP의 결합은 표적의 구조(예: 단백질의 3차구조)를 변화시킨다.
- 연속적인 조절은 2차전달자의 농도 변화(예: NO는 빠르게 분해되는 기체)에 의해, 경로 구성 요소 중 하나의 농도 변화에 의해, 표적 분자를 변화시키는 효소(예: 단백질의 인산기를 제거하는 인산가수분해 효소)에 의해 일어날 수 있다.

요약 및 평가 7.4

- 옥시토신은 G 단백질 연계 반응과 이온통로 반응 모두에 관여한다. 이것은 G 단백질 연계 수용체에 결합 하여(그림 7.7 참조) IP₃-DAG 경로를 통한 신호전환을 일으켜 세포질로 이온통로를 통해 Ca²⁺를 방출 시킨다. 뇌에서 Ca²⁺의 효과는 Na⁺ 통로를 열어 간접적으로 신경세포의 활성을 자극하는 것이다.
- 이온통로의 열림은 신호에 대한 빠른 반응이다. 효소의 변형 또한 비교적 빠른 반응 기작에 속한다. 유전자 발현의 변화는 여러 단계가 필요하므로 전사인자를 통한 세포 신호전달은 느리게 일어난다.

요약 및 평가 7.5

- 세포연접에 의한 직접적인 통신의 특성: 신호 분자의 크기가 세포 사이의 통로 크기에 의해 제한된다. 특이적이지 않다. 빠르다. 세포 사이에는 세포질이 연결될 수 있다. 수용체 매개 통신의 특성: 신호분자가 더 클 수 있다. 특이적이다. 느리다. 직접적인 세포질의 연결은 없다. 직접적인 통신이 화학신호보다 나은 점은 빠르고 여러 세포의 협력적인 반응이 가능하다는 것이다.
- 단세포생 *Chlamydomonas*는 점점 더 크고 통신할 수 있는 결합을 가지고 있는 세포의 큰 그룹으로 진화되었다(*Gonium*, *Pandorina*, *Eudorina*). 더 큰 그룹에서는 분화가 일부 일어난다(*Pleodorina*와 *Volvox*).
- 실함에서 아마도 히드라 몸체의 위쪽 부분에 항체가 있는 용액을 처리하는 과정이 포함되어 있을 것이다. 항체는 몸체의 꼭대기에서 위쪽 부분으로 신호분자가 확산하는 것을 막을 것이며, 가설이 정확하다면 몸체의 위쪽 부분에서 출아가 일어날 것이다. 항체가 없는 용액을 처리하는 위장실형이 대조군이 될 것이다. 이 경우 위쪽 부분에서는 출아가 일어나지 않을 것이다.

그림 질문

- 그림 7.1** 옥시토신은 원거리 신호이다.
- 그림 7.3** 효소에 기질이 결합하는 것처럼 카페인과 아데노신의 결합은 비공유적이다. 두 물질은 수용체의 특정 부위에 모양과 소수성 상호작용을 포함한 상호작용으로 결합한다.
- 그림 7.4** 예. 스테로이드의 수용체 결합은 호르몬이 확산되어 지질 이중층을 통과하기 전에 일어날 수 있다. 이것은 식물에서 발견되는데, 이 경우에는 브라시노스테로이드(brassinosteroid) 호르몬이 막에 있는 수용체에 결합한다(핵심개념 35.3 참조).
- 그림 7.7** 리간드의 결합은 α 소단위체의 입체구조를 변화시킨다. 이 소단위체는 G 단백질에서 떨어져 나와 세포막의 면을 따라 확산되어 역시 막에 위치한 호기가 단백질에 도달한다.
- 그림 7.9** Ras는 활성화할 수 없으며, 세포분열 신호도 전달되지 않는다.
- 그림 7.10** MAP3K 활성화는 신장암의 세포분열을 촉진하는 단백질 인산화 효소 연속반응의 초기 단계에 작용한다. MAP3K를 억제하면 MAP2K의 인산화가 억제되고 단백질 인산화 효소 연속반응의 이후 단계가 모두 억제된다. 세포분열은 감소하고 증양은 위축된다.
- 그림 7.13** NO는 cGMP의 합성을 촉진해 작용하고, cGMP는 혈관 주변의 평활근에 확장 신호를 보내어 혈관이 넓어진다.
- 그림 7.15** 테오도롬빈의 투여는 cAMP와 cGMP를 증가시킨다. 이 분자들이 관여하는 신호전달 경로는 지나치게 활성화되어, 리간드가 없어도 촉진된다. 그 결과 심장박동이 빨라지고 혈류량이 증가하는 등의 부작용이 나타난다.
- 그림 7.17** 세포 사이의 직접적인 통신은 그룹 내에서 한 세포에서 다른 세포로 전달되는 신호를 빠르게 공유할 수 있게 해 준다. 이 결과 일군의 세포들이 공동적인 활성을 가질 수 있으며, 이것은 조직에는 중요한 일이다.

그림 질문: 옥시토신이 사람에서 '신뢰'의 신호일까?

- 옥시토신을 투여한 공여자가 그렇지 않은 공여자에 비해 신뢰의 수준이 더 높았다. 그 차이는 약 15%이다. 차이가 통계적으로 의미가 있는지는 t-검정을 사용해 평가할 수 있다.
- 정확히 얼마를 투자할지를 들었을 때는 옥시토신을 처치한 사람과 그렇지 않은 사람 사이에 투자의 차이는 없었다. 이것은 옥시토신이 사람들에게 단순히 더 큰 위험을 감수하도록 만들지는 않았다는 것을 나타낸다. 그러나 첫 번째 실험의 결과를 고려해 보면 옥시토신은 사람들 사이에 신뢰를 포함하는 사회적 상호작용이 있을 때 위험을 증가시킨다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 7.1

- 세포가 신호에 반응하기 위해서는 반드시 그 신호에 대한 수용체가 있어야 한다.
- 아니다. 기계적, 빛, 전기 신호 등을 포함해 여러 종류의 신호가 있다.

핵심개념 7.2

- 세포의 영역은 신호에 결합한다. 세포질 영역은 효소 활성을 가진다. 막관통 영역은 이 두 부분을 연결한다.
- 활성화하면 수용체 단백질은 입체구조가 변하여, 활성화 부위가 노출되고, 통로가 열리거나 소단위체가 떨어져 나간다.
- 신호는 세포 안으로 들어와 수용체에 결합해야만 하며, 비극성 신호만이 비극성이 세포막을 통과해 확산할 수 있다.

핵심개념 7.3

- cAMP나 cGMP를 2차전달자로 이용해서 신호전환 연속반응을 활성화한다.
- 이것은 경로들 사이의 크로스토크를 보여주는 예이다.

핵심개념 7.4

- 단백질 인산화효소의 활성화는 공유적 변형인 인산화에 의해 일어나는 반면, cAMP는 비공유적인 결합으로 표적 분자를 활성화한다.
- 경로의 각 단계는 하나의 인산화효소가 여러 표적에 작용할 수 있으므로 신호를 증폭한다. 만약 세포막에서 한 단계로 일어난다면 활성화되는 최종 효소의 수가 충분치 않을 것이다.

핵심개념 7.5

- 동물 세포는 간극연접을, 식물세포는 원형질연락사를 가지고 있으며, 이 둘 모두 세포 사이에 위치한 막으로 둘러싸인 통로로서, 이들 통해 물질이 통과할 수 있다.
- Chlamydomonas*에서는 신호전달이 거의 없으며, 원형질연락사도 없다. *Gonium*에서는 신호와 원형질연락사가 조금 있는 것으로 보이며, *Volvox*에서는 신호전달과 원형질연락사가 상당히 관찰된다.

3부

8장

요약 및 평가 8.1

- 자유에너지 감소반응은 반응물의 에너지가 생성물의 에너지보다 크기 때문에 자유에너지를 방출한다. 그 반대의 자유에너지 증가반응도 마찬가지로 에너지의 투입이 필요하다. ΔG는 반응의 자유에너지 변화로써, 생성물의 자유에너지에서 반응물의 자유에너지를 뺀 값이다. 양의 ΔG는 반응이 자유에너지 증가반응으로 에너지가 필요하며, 음의 ΔG는 반응이 자유에너지 감소반응으로 에너지가 방출됨을 의미한다.
- 자유에너지 증가반응은 더 질서정연한 분자를 만들기 위해 에너지의 투입이 필요하다. 열역학 제2법칙에 따르면 자연에서 무질서는 증가하는 경향이 있다. 자유에너지 증가반응은 시간적, 공간적으로 자유에너지 감소반응과 연계되는데, 이 반응은 무질서가 증가하고 자유에너지 증가반응에 필요한 에너지를 방출한다. 전체적으로 생물은 이들 반응을 유지하기 위해서는 환경으로부터 계속 에너지를 섭취해야 한다.

요약 및 평가 8.2

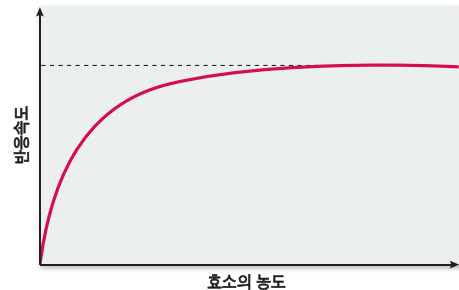
- ATP는 서로 반발하는 밀단 인산기를 가지고 있어서, 그들 사이의 결합 형성에 에너지가 필요하다. 이 에너지의 일부가 위치에너지로 저장된다. 또한, 인산의 가수분해는 에너지를 방출한다. 그 이유는 P-O 결합의 자유에너지가 가수분해로 형성되는 OH 결합의 자유에너지보다 더 크기 때문이다.
- a. 이 반응은 자유에너지 감소반응이다(ΔG가 음).
b. ATP가 형성된다.

요약 및 평가 8.3

- 효소는 기질이 잘 들어맞는 3차구조의 활성부위를 가진다. 활성부위에서의 화학작용기 또한 기질에 비공유적으로 결합한다.
- 효소-촉매 반응이 비촉매 반응보다 더 빨리 평형에 도달하지만, 실제 평형점은 변하지 않는다.
- a. 물의 존재는 O₂가 효소에 도달하지 못하도록 방해할 것이다.
b. 끓이면 단백질이 변성되므로, 폴리페롤 산화효소는 비가역적으로 변하며 활성부위는 파괴된다.

요약 및 평가 8.4

- 촉매작용의 일부로서 효소는 기질에 H⁺를 첨가하거나 제거할 수 있으며, 이것이 기질과의 반응을 도와 줄 수 있다. 이 H⁺ 반응 과정에 활성부위 아미노산의 산성 또는 염기성 결사슬이 관여한다. 효소의 금속 이온도 반응 동안에 일시적으로 기질에 전자를 제공하여 전자를 잃거나 얻을 수 있다.
- 조효소는 작고 단백질이 아니다. 효소는 큰 단백질이거나 RNA이다. 조효소는 반응의 촉매작용을 하지 않으며, 효소가 촉매이다. 조효소는 화학기(예: H⁺)를 첨가하거나 제거하고, 반응 결과 영구적으로 변화한다. 효소는 반응에 참여하지만, 영구적으로 변하지 않는다.
- 초기에 반응속도는 효소가 기질로 포화되어 있을 것이므로 첨가한 효소에 비례해 증가한다. 따라서 반응속도는 효소가 기질로 더 포화되지 않을 때까지는 첨가한 효소의 양에 비례해 증가할 것이다. 이 시점에서 효소는 기질과 비교하면 과다하게 존재할 것이며, 효소가 첨가되어도 더 효과를 나타낼 수 없다. 곡선은 이 지점에 도달할 때 일정한 최대속도에 도달하게 될 것이다.



요약 및 평가 8.5

1. 되먹임 억제는 경로의 최종 산물이 그 경로의 첫 번째 단계의 촉매로 작용하는 효소의 억제제로 작용할 수 있는 생화학 경로에서 나타난다. 시스템 그림에서 각각의 교점은 효소에 의한 변환을 나타낸다. 되먹임 억제는 여러 경로를 가로질러 수 있으며, 따라서 한 분자의 농도 변화가 그 분자의 합성을 일으키는 여러 경로에 영향을 미칠 수 있다.
2. 그림 8.18을 참고하라. 경쟁적 억제제는 효소의 활성부위에 결합하여 효소 분자의 평형을 활성형 쪽으로 변화게 한다.
3. 카탈레아스가 다른자리입체성 조절을 받지 않지 조사하기 위해서 기질의 양을 변화시키며 실험하여 기질 농도에 대한 카탈레아스 반응속도 그래프를 그린다. S-형의 곡선은 다른자리입체성 조절을 나타낸다. 쌍곡선은 다른자리입체성 조절 효소가 아니다. 오염원이 경쟁적 억제제인지 또는 비경쟁적 억제제인지를 조사하기 위해서는 오염원을 첨가하여 반응속도를 낮춘 다음 기질의 양을 증가시킨다. 경쟁적 억제제는 활성부위에서 제거될 것이고 반응속도는 증가할 것이다. 비경쟁적 억제제의 경우에는 기질을 더 첨가하여도 반응속도가 증가하지 않을 것이다.

그림 질문

그림 8.1 수영장 위의 땅 위에서는 중력에 의한 위치에너지가 있다. 이것은 여성이 물도 뛰어 들 때 기계적인 운동에너지로 전환된다. 이 여성이 수영을 시작할 때는 근육에 화학결합 위치에너지가 저장되어 있다. 이것은 여성이 수영하며 근육을 움직이면서 기계적인 운동에너지로 전환된다.

그림 8.4 포도당 6-인산의 농도는 형성 후에는 감소할 것이다. 포도당 6-인산 95%, 포도당 1-인산 5%의 비율을 유지하기 위해서는 더 많은 포도당 1-인산이 포도당 6-인산으로 전환되어야 한다. 즉 평형점은 오른쪽으로 이동할 것이다.

그림 8.7 ATP의 합성의 ΔG는 +7.3 kcal/mol이다. 따라서 이 합성을 일으킬 수 있는 반응은 ΔG가 적어도 -7.3 kcal/mol은 되어야 한다. 열역학 제2법칙에 따르면 에너지의 전달은 효율적이지 않고(엔트로피 증가), 따라서 유도 반응의 ΔG는 +7.3 kcal/mol 이상일 것이다.

그림 8.9 아니다. 일단 기질이 활성부위에 들어맞게 되면 기질과 효소 사이에 기질을 생성물로 전환하는 화학적 상호작용이 있게 된다.

그림 8.11 페닐알라닌, 타이로신, 트립토판은 부피가 큰 R기를 가지고 있으며, 이것이 아마도 기질을 카이모트립신의 활성부위에 있는 주머니에 잘 들어맞게 해 줄 것이다.

그림 8.15 —C=O기는 극성이 커서 단백질의 바깥쪽에 위치하고 물과 상호작용할 것이다. 이것이 단백질과 활성부위의 형태를 변화시킬 것이다. 또한, 바깥의 —CH₃기는 부피가 커서 기질이 활성부위에 결합하는 것을 방해할 것이다.

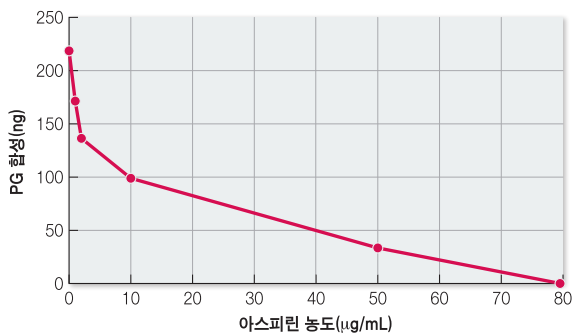
그림 8.18 공통적인 조절 소단위체는 하나의 조절 분자가 여러 효소의 활성을 조절하는 것을 가능하게 해 줄 것이다.

그림 8.20 스타틴은 HMG-CoA 환원효소의 억제제이다.

그림 8.21 리소좀의 효소는 이미노산 서열을 가지며, 따라서 pH 4.8에서 활성부위가 노출된 3차구조를 가진다. pH 7.2에서는 3차구조가 활성부위가 노출되지 않아서 효소는 활성을 나타내지 못한다.

그림 질문, 소염제가 어떻게 효소 억제제로 작용할까?

1. 효소의 활성(PG 합성)과 아스피린 농도 사이에는 반비례 관계가 있으며, 따라서 아스피린은 페조직균질액에서 반응의 억제제이다.



2. 아스피린은 또한 사람의 혈소판에서 PG 합성을 억제하기 때문에, 억제제가 다른 생물의 다른 조직에서도 일어날 것이라고 결론을 내릴 수 있다.
3. 세 개체에서 모두 개체에 주어진 아스피린이 혈소판에 의한 PG 합성을 억제했다. 이것은 시험관 실험에서 얻은 결과를 살아 있는 생물에 적용할 수 있게 일반화시켜준다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 8.1

1. 제1법칙: (슈크로스 + 물)의 총 에너지 = (포도당 + 과당)의 총 에너지. 제2법칙: (슈크로스 + 물)의 총 사용 가능한 에너지는 (포도당 + 과당)의 총 사용 가능한 에너지보다 크다.
2. 반응은 에너지 감소반응이다: 더 복잡한 분자가 2개의 단순한 분자로 변환된다.

핵심개념 8.2

1. 아니다. 자유에너지 감소반응은 ATP의 합성을 일으키는 데 충분한 에너지(ΔG = +7.3 kcal/mol)를 방출해야만 한다.
2. 아니다. AMP는 ADP나 ATP와 같은 에너지가 풍부한 인산무수결합을 가지지 않는다.

핵심개념 8.3

1. 1차와 2차구조는 효소 촉매반응 동안이나 반응 후 변하지 않는다. 3차구조는 반응 동안에는 변하지만, 반응 후에는 원래의 구조로 돌아간다.
2. 효소는 에너지 감소반응과 에너지 증가반응을 모두 촉진한다. 효소는 활성화에너지를 제공하는 것 이외에는 반응의 에너지론에 어떤 영향도 미치지 않는다.

핵심개념 8.4

1. 아니다. 기질은 효소가 기질에 잘 맞도록 유도할 수 있다.
2. 그래프는 반응 전 끓인 반응이 효소를 넣지 않은 반응과 같아서 그림 8.13과 같이 나타날 것이다. (열은 비가역적으로 효소 단백질질을 변성시킨다.)

핵심개념 8.5

1. 경쟁적 억제제는 활성부위에 결합하여 기질의 결합을 방해한다. 비경쟁적 억제제는 효소의 활성부위 이외의 다른 부위에 결합하여 효소의 구조 변화를 일으켜 활성부위가 노출되지 못하게 한다.
2. 세포 안의 글루타민은 이 경로의 첫 번째 단계를 촉진하는 효소를 되먹임 억제한다.

9장

요약 및 평가 9.1

1. 복잡한 화학 변환은 물질대사 경로를 구성하는 일련의 독립된 반응으로 일어난다. 각 반응은 특이적인 효소에 의해 촉진된다. 많은 대사경로가 세균에서 사람에게 이르기까지 모든 생물에서 유사하다. 진핵생물에서는 여러 대사경로가 구획화되어 있어서 특정한 반응들은 특정 세포소기관 안에서 일어난다. 각 대사경로의 일부 핵심 효소들은 억제되거나 활성화되어 경로 전체의 속도를 변화시킬 수 있다.
2. NAD⁺는 산화제(전자를 받음)이며, O₂는 환원제(전자를 제공)이다.
3. a. 이것은 산화이다(석산산의 C2와 C3에서 H가 제거됨).
b. 이것은 산화이므로 자유에너지 감소반응이다.
c. 이것은 산화환원 조효소인 NAD⁺와 FAD가 필요하다.

요약 및 평가 9.2

1. 해당에서 순생산은 포도당 한 분자당 2 ATP와 1 NADH이다.
2. 피루브산 산화는 2탄소 분자인 아세틸 CoA를 만들고, 이것은 활성화되어 시트르산회로에 첫 번째 기질로 참여한다.
3. 시트르산회로는 피루브산으로부터 오는 다음 아세틸 CoA에 대한 4탄소 수용체 분자를 재생산한다. 해당은 시작물질들을 재생산하지 못한다.

요약 및 평가 9.3

1. 미토콘드리아 내막에 있는 일련의 전자운반체는 산화-환원으로 전자를 수송한다. 전자가 각각의 운반체에 첨가됨에 따라 양성자가 운반체를 통해 막간공간으로 수송된다.
2. 그림 9.14의 실험은 전자 수송 없이도 막을 경계로 한 양성자 기울기만 있으면 막에 위치하는 ATP 합성 효소에서 ATP를 생산할 수 있다는 것을 보여준다.
3. 만일 시토크롬 c가 환원된 상태로 남아있어서 전자를 받을 수 없다면 전자전달계(호흡사슬)와 NADH, FADH₂는 환원된 상태로 유지될 것이다. 이것은 시트르산회로의 산화반응과 피루브산 산화를 억제하며, 그 결과 피루브산은 아세틸 CoA로 변환될 수 없다. 대신에 피루브산은 젖산으로 전환되어 NAD⁺를 재생산함으로써 해당 과정이 계속되게 할 수 있다. 전자전달계가 작동하지 않기 때문에 미토콘드리아에서 양성자 기울기가 형성되지 않으며, 산화적 인산화에 의한 ATP 생성은 일어나지 않는다.
4. 만일 인터미시신 A가 있다 하더라도 결과는 달라지지 않을 것이다. 그 이유는 인공적인 양성자 기울기가 이미 형성되어 있기 때문이다.

요약 및 평가 9.4

1. NAD⁺는 해당과 피루브산 산화에서의 반응에 필요한 전자수용체이다. 만일 이것의 산화형이 없으면 두 반응에서 기질의 산화가 일어나지 못하고 대사경로가 멈추게 된다.
2. 발효는 피루브산에서 젖산이나 에탄올이 형성되는 화학적 산화 동안에 NADH를 산화시켜 NAD⁺를 보충해준다.

요약 및 평가 9.5

1. 지질의 이화작용 상호전환: 지방산은 분해되어 아세틸 CoA가 되고, 시트르산회로로 들어가 CO₂로 산화되며 NADH와 FADH₂를 만드는 환원 에너지를 제공한다. 단백질의 동화작용 상호전환: 이미노산은 해당과정과 시트르산회로의 중간체로 전환된다. 이 중간체는 포도당, 지방, 혹은 다른 단백질을 만드는 이미노산을 형성하는 동화작용에 이용될 수 있다.
2. 인산과당 인산화효소는 해당 초기에 작용하며, 그 이후의 에너지 경로를 끄거나 켜는 데 중요한 초점이다. 이것은 이후의 생성물(ATP, 시트르산)에 의해 꺼지고, 에너지가 필요할 때 켜진다.

3. 일부의 아미노산은 해당 과정의 중간물질로 전환된다. 이들이 해당에 들어오면 글리세롤로 전환될 수 있는 해당의 중간물질로 더 대사된다. 해당과 피루브산 산화는 아세틸 CoA를 생산하고, 이것은 지방산으로 전환되고 지질에 끼어 들어갈 수 있다. 포도당은 해당에서 아세틸 CoA로 전환되고, 다음에는 위와 같이 지방산으로 전환된다.

그림 질문

- 그림 9.1** 아니다. 녹색 식물, 조류, 광합성 박테리아만이 광합성을 할 수 있다.
- 그림 9.2** 탄소는 환원되기 시작하고 산소는 산화되기 시작한다.
- 그림 9.7** 조효소나 운반체가 관여하는 에너지 전달이 포함된 단계는 1, 3, 6, 7, 10이다.
- 그림 9.8** 첫 번째 탄소원자(아래)는 산화되고 NAD⁺는 환원된다.
- 그림 9.11** NADH는 NAD⁺로 재산화될 수 없으며, 해당에서 포도당의 산화도 일어나지 못할 것이다.
- 그림 9.16** 이것은 알코올 발효로 생긴 CO₂이다.
- 그림 9.18** DNA는 에너지원이 될 수 있다. DNA가 가수분해되면 뉴클레오타이드는 시트르산회로의 중간체가 될 수 있다. 이 중간체가 산화되어 환원된 조효소로 에너지를 방출하고, ATP를 형성하기 위해 미토콘드리아에서 산화되어 에너지를 방출한다. 그러나 이것은 유전물질이며, 반드시 보존되어야 하므로 합성되어 핵 안에 격리되므로 가수분해로부터 보호된다.

그림 질문: 미토콘드리아, 유전학, 비판

1. 두 그룹의 생쥐 모두 나이가 들며 체중이 늘어났지만, 돌연변이 생쥐는 정상 생쥐보다 체중이 덜 늘었다.
2. 먹은 음식의 양과 운동의 수준은 두 그룹 간에 거의 같다. 따라서 돌연변이 생쥐에서 체중 증가가 적은 이유가 음식 섭취나 운동에 의한 것은 아니다.
3. UCP1의 수준은 정상보다 돌연변이 생쥐에서 훨씬 높다. UCP1의 높은 수준과 낮은 체중 증가 사이의 상관관계는 체중 증가의 감소가 갈색 지방의 미토콘드리아에서 전자전달과 ATP 합성의 연계 차단에 의한 것일 가능성을 보여준다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 9.1

1. 태양 에너지는 광합성에서 CO₂가 포도당으로 전환되며 포획된다.
2. NADH는 더 환원되기 때문에 자유에너지가 더 크다.

핵심개념 9.2

1. 만일 해당이 단일 반응이면 방출되는 에너지의 양은 매우 클 것이며, NADH나 ATP의 생성과 같은 에너지 증가반응으로 효율적으로 포획될 수 없다. 따라서 포도당이 피루브산으로 산화되면서 방출되는 다량의 에너지가 열로 방출될 것이다.

핵심개념 9.3

1. 처리된 세포는 NADH로부터 O₂로 전자를 운반할 수 없으며, 따라서 내막을 경계로 한 H⁺ 기울기도 생기지 않고 ATP의 화학삼투 합성도 일어나지 않는다.
2. 전자는 NADH로부터 온 것이며, NADH는 포도당의 산화로부터 온 것이다.

핵심개념 9.4

1. 알코올을 만드는 발효는 산소 분자가 없을 때 일어난다.
2. pH는 근육에 도달하는 O₂가 부족하므로 감소하고, 그 결과 젖산발효가 일어나고 근육의 기능에 필요한 ATP가 부족해진다. 휴식 동안에 O₂의 수준이 증가하고 젖산이 피루브산으로 전환되어 유산소 조건에서 CO₂로 산화되어 근육의 기능에 필요한 연료인 ATP를 생산한다.

핵심개념 9.5

1. 단백질은 아미노산으로 가수분해되고, 아미노산은 대사를 통해 해당과 시트르산회로의 중간산물로 전환될 수 있다.
2. 조절은 경로에 참여하는 효소의 억제를 활성화하여 일어난다. 예를 들어, 시트르산회로의 중간물질인 시트르산의 농도가 증가하면, 해당의 핵심 효소를 억제하여 이 회로의 유입을 차단한다.

10장

요약 및 평가 10.1

1. 명반응은 빛에너지를 ATP와 NADPH 형태의 화학에너지로 전환한다. 탄소고정반응에서 ATP와 NADPH는 CO₂를 탄수화물로 고정하는 동력이 된다. ADP와 NADP가 재생성된다.
2. 연구자들은 광합성 동안에 만들어지는 O₂가 ¹⁸O로 표지한 이산화탄소가 아니라 ¹⁶O로 표지한 물에서 나온다는 것을 보여주기 위해서 동위원소 ¹⁸O를 이용한다.

요약 및 평가 10.2

1. 색소분자는 바닥상태로 돌아가면서 빛과 열의 형태로 에너지를 방출함으로써 광자의 흡수된 에너지를 잃어버리는 경향이 있다. 에너지를 잃어버리지 않으면, 에너지는 들뜬 전자 형태로 색소에서 또 다른 분자를 환원시키면서 전달될 수 있다.
2. 흡수스펙트럼은 색소에 의한 흡수 정도(y축) 대 색소가 노출된 빛의 파장(x축)의 그래프이다. 작용스펙트럼 역시 빛의 파장에 대한 그래프이다, 그러나 이 경우 y축은 생물학적 활동이 된다(예: 광합성).

3. 그림 10.9를 참고하라. 순환적 전자전달에서 ATP는 틸라코이드 막에서 전자전달에 의한 화학삼투를 통해 만들어진다.

요약 및 평가 10.3

1. 연구자들은 조류를 다양한 시간 동안 ¹⁴C로 표지된 CO₂에 노출해서 ¹⁴C 표지가 마지막으로 어디에서 나타나는지 알아보려고 하였다. 3초라는 매우 짧은 노출 후, 표지는 모두 3PG에서 발견되었다. 30초의 약간 긴 시간 노출 후에는 이 표지가 많은 화합물에서 발견되었으므로 3PG는 초기 산물이고 이후 추가적인 분자들의 합성에 사용된다는 것을 제한할 수 있다. 그림 10.11을 참고하라.
 - a. 명반응은 CO₂ 고정반응(캘빈회로)에 사용되는 ATP와 NADPH를 생성한다.
 - b. 스트로마 안에서 빛에 의해 유도되는 pH 변화는 몇몇 캘빈회로 효소를 활성화한다.
 - c. 광유도 전자전달은 캘빈회로 효소 내의 4개의 2황화결합을 환원함으로써 그들을 활성화한다.
2. 암조건에서 광합성 전자전달은 광계 II에서 정지한다 → PQ(플라스토퀴논)을 환원한다. 초기에 집광 복합체의 엽록소는 환원된 채로 있고 그래서 반응중심 엽록소도 환원된 채로 있으므로, 따라서 광계 II도 환원된 상태로 남아있다. 암조건에서, 캘빈회로는 NADH를 요구하는 환원 단계에서 멈춘다. RuBP가 재생성되지 않아서 루비스코의 활성도 없다. 초기의 반응은 광계 I의 산화반응도 아니고 NADP에서 NADPH의 환원반응도 아니다.

요약 및 평가 10.4

1. C₄ 식물에서 CO₂는 초기에 잎의 엽록체에서 고정된다. 그런 다음 CO₂는 (4-탄소 분자 형태로) 유관속초세포로 이동한다. 이곳의 탈카르복실화 반응은 캘빈회로에서 사용할 CO₂를 방출한다. 유관속초세포들은 대기 중의 O₂가 잎 표면 근처의 세포들에 도달하는 것에 비해, 도달하기 어려운 곳인 잎의 안쪽에 위치한다.
2. CAM 식물에서는 서늘하고 물의 소실이 최소화되는 밤에 기공이 열리고, CO₂는 처음으로 4-탄소 화합물(말산)로 고정된다. 낮 동안 물의 소실을 줄이기 위해 기공이 닫혔을 때 축적된 말산은 액포에서 엽록체로 이동하고, 이곳에서 탈카르복실화 반응으로 캘빈회로에 CO₂를 제공하고 명반응은 필수적인 ATP와 NADPH를 공급한다.

요약 및 평가 10.5

1. 그림 10.18을 참고하라. 3PG와 G3P는 캘빈회로와 해당을 연결한다. 아세틸 CoA는 해당과 시트르산 회로를 연결한다.
2. 대부분의 태양광은 식물에 의해 흡수되지 않는다. 이는 태양광이 식물색소의 흡수스펙트럼 부분에서 벗어난 파장들을 가지기 때문이다. 즉, 태양광은 대기로 반사되기 때문이다. 즉, 식물 기원이 취하지 못하기 때문이다.

그림 질문

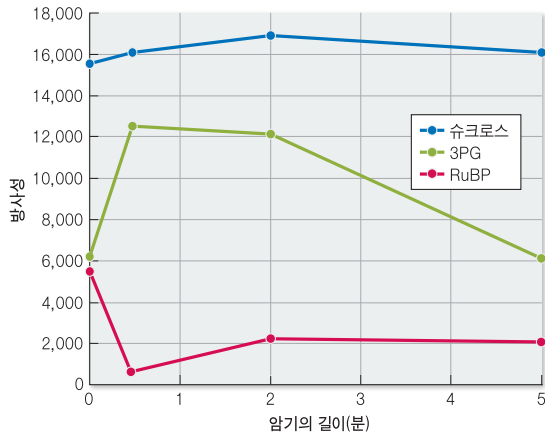
- 그림 10.2** 환원은 엽록체의 스트로마에서 일어나고 환원제는 NADPH이다.
- 그림 10.4** 전기적 에너지는 수소에서 전자를 흥분상태로 되게 한다. 바닥상태로 돌아왔을 때, 형광 코팅 때문에 흡수한 에너지를 방출한다. 형광 코팅이 에너지를 흡수할 때, 전자는 흥분상태로 되고 바닥상태로 돌아올 때 빛에너지를 방출한다.
- 그림 10.5** 피코빌린에서는 엽록소를 흡수하는 긴 파장(660 nm)보다 더 많은 에너지를 가진 짧은 파장(540 nm)인 황색광을 흡수한다. 이것은 피코빌린에서 엽록소로의 에너지 이동(높은 에너지에서 낮은 에너지로)이 열역학적으로 선호된다는 것을 의미한다.
- 그림 10.8** 제초제는 NADP 환원효소보다 더 쉽게 비순환적 광계 I로부터 전자들을 수용할 것이다. NADPH는 형성되지 않는다. 이는 광요구반응 체계 내에서 빛에너지에서 화학에너지로의 이동을 심각하게 줄일 것이다.
- 그림 10.10** 광계 II로부터 광계 I로 전자전달이 되지 않으면, ATP와 NADPH는 생성되지 않고, 탄수화물을 만드는 CO₂의 환원도 일어날 수 없다.
- 그림 10.15** 식물의 생장은 탄소골격이 필요하므로 결과적으로 고정된(환원된) 탄소가 필요하다. 광호흡은 탄소를 산화시키고 고정된 탄소를 방출하므로 전체적인 식물의 생산성을 감소시킨다.
- 그림 10.17** CAM 식물에서는 시간적인 분리가 있는 반면에, C₄ 식물에서는 두 과정이 공간적으로 분리되어 있다.
- 그림 10.18** 녹색식물의 루비스코에 의해 고정된 대기 중의 CO₂ → 3PG → 캘빈회로 → G3P → 아세틸 CoA → 시트르산회로 → α-케토글루타르산 → 아미노산 → 단백질 → 빵

그림 질문, 광합성의 화학적 성질은 무엇이며, 상승하는 대기 중 CO₂에 의해 어떤 영향을 받을 것인가?

1. 실험 1에서 산소의 ¹⁸O/¹⁶O 비율(0.84~0.86)은 H₂O(0.85)의 비율과 유사했지만, CO₂ 공급원(0.2~0.61)의 비율과는 유사하지 않았다. 실험 2에서, O₂(0.2)에서의 비율은, 또 CO₂ 공급원(0.40~0.50)의 비율보다 H₂O(0.20)의 비율과 더 비슷했다.
2. O₂에서 산소 원자의 공급원은 물(H₂O)이다.

그림 질문, 그림 10.11B

1. 루비스코가 초기에 여전히 활동적이고 3PG를 생성하기 위해 RuBP와 CO₂ 반응을 촉매하기 때문에 자르는 3PG의 (처음 30초 동안) 초기 증가세를 보여준다. 30초와 2분 사이에, 3PG의 양은 루비스코가 암조건에서 비활성화됨에 따라 변동 없이 유지된다. 2분 후, 다른 경로로 들어감에 따라 3PG의 수준은 떨어진다(그림 10.18 참고).



2. 루비스코가 촉매하는 반응에서 RuBP가 소비되기 때문에 RuBP 수준은 암조건에서 내려간다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 10.1

1. ATP에서 화학결합에너지는 마지막 인산기와 두 번째 인산기 사이의 무수인산결합에 있다. NADPH에서 화학결합에너지는 환원제에 있다.
2. 아나요, 중간산물 분자나 세포에서 일어나는 장소가 다르고, 에너지 측면에서도 다르다. 즉, 혐열반응인 광합성은 빛에너지를 사용하는 반면에 발열반응인 세포호흡은 에너지를 방출한다.

핵심개념 10.2

1. 흥분상태의 전자는 바닥상태로 돌아오고 빛 과/또는 열을 방출한다.
2. 순환적 전자전달에서 엽록소 P₇₀₀에서 흥분된 전자는 동일한 반응중심에서 바닥상태로 돌아오게 된다. 비순환적 전자전달에서 엽록소 P₆₈₀에서 흥분된 전자는 그 반응중심에서 바닥상태로 돌아오지 않는다; 그들은 결국 P₇₀₀으로 전달되고 NADP가 환원된다.

핵심개념 10.3

1. G3P가 캘빈회로의 산물인 반면에 3PG는 CO₂ 고정 의 즉각적인 산물이다.
2. 그렇지 않다. 명반응은 탄소고정반응에 필요한 ATP와 NADPH를 생산하고, 광화학반응은 캘빈회로를 촉진시킨다.

핵심개념 10.4

1. C₄ 식물은 물을 보존하기 위해 기공을 닫았기 때문에 농도가 낮아졌을 때 CO₂를 고정할 수 있다. 특히 따뜻하고 건조한 환경에서, 일반적으로 C₄ 식물은 순탄소고정을 줄이는 광호흡을 하지 않는다.
2. CO₂를 3-탄소로 된 수용체에 결합시키는 PEP 탈탄산효소는 CO₂에 대한 친화도가 높고, 산소화효소의 기능이 없다. 5-탄소로 된 수용체인 루비스코는 CO₂에 대한 친화도가 낮고, 산소화효소의 기능을 가진다.

핵심개념 10.5

1. CO₂는 루비스코에 의해서 고정되고 캘빈회로(엽록체 스트로마)로 들어간다 → G3P는 슈크로스를 만든다(세포질) → 포도당은 해당과정으로 들어간다(세포질) → 피루브산은 아세틸CoA로 전환되어 시트르산회로로 들어간다(미토콘드리아 기질) → CO₂가 방출된다.
2. 수련은 잎들이 광합성을 위해 최대의 빛의 흡수할 수 있도록 노출시킨다.

4부

11장

요약 및 평가 11.1

1. 2분열 시작을 위한 일반적인 신호는 적절한 영양소이다.
2. DNA가 완전히 복제되기 전에 세포가 분열한다면, 각각의 새로운 세포는 유전물질인 DNA의 완전한 양을 받지 못할 것이다.
3. 진핵생물에는 더 많은 DNA가 있고, DNA는 수많은 분자에 있으며 DNA 분자는 거대하며, 그리고 DNA는 분리된 세포 구획인 핵 안에 들어있다.

요약 및 평가 11.2

1. 그림 11.3을 참고하라.
2. CDK는 세포주기 전 과정을 통하여 만들어진다. 그러나 만약에 특별한 사이클린 분자가 CDK에 결합하지 않으면, 세포주기 활성을 위한 표적 기질이 단백질인산화효소의 활성부위를 사용할 수가 없다. 세포주기의 특정한 시간에 특정한 사이클린이 합성되어 CDK를 활성화하기 위하여 CDK에 결합하고 그런 후에 분해된다. 사이클린의 일시적 성질은 세포주기 조절 지점에서 순서대로 각각의 CDK 활성을 제어한다.
3. 생장인자들은 세포에 의해서 합성된 단백질로서 일반적으로 세포분열을 촉진하기 위하여 다른 세포로 이동할 수 있거나 또는 인자를 만든 세포에 작용한다. 생장인자는 표적세포에 있는 특정한 수용체에 결합하여 세포 안으로 신호전달 기작을 시작한다. 예를 들어, 이것은 사이클린을 위한 유전자 발현을 유도하고 세포주기를 촉진한다.
4. p16은 G1가S기 경계에 작용하는 사이클린과 CDK의 상호작용을 방해한다. 만약에 노인들에게 p16 단백질이 더 많이 있다면, 이것은 세포주기가 방해되어 세포 대체에 의해서 손상된 조직을 회복할 수 없다는 것을 의미한다.

요약 및 평가 11.3

1. 복제되지 않은 염색체는 세포에 있는 1개 DNA 분자이다. 복제된 염색체는 공유된 동원체에 의해 다른 염색체와 부착해 있는 한 쌍의 동일한 DNA 분자이다. 복제되지 않은 염색체는 늦은 M기(후기 후에), G1기, 그리고 이른 S기에 나타난다. 복제된 염색체는 S기의 복제 후, G2기를 통해, 그리고 M기의 후기 때까지 나타난다.
2. 간기 동안, DNA는 히스톤 단백질에 의해서 뉴클레오솜으로 어느 정도 응축되고 이들은 염색질 섬유를 형성하기 위하여 서로 접한다. 전기 동안, 섬유는 고리처럼 단백질과 결합하고 이들은 염색체를 형성하기 위하여 차례로 광범위하게 고리를 만든다.
3. 염색체는 방추사 미세소관에 붙어 있고 미세소관 위의 운동단백질은 염색체를 따라 이동한다. 덧붙여, 방추사 미세소관은 극으로부터 짧아져 부착한 염색체가 극으로 이동하게 만든다. 파클리탁셀은 이러한 과정을 방해함으로써 세포분열을 억제한다. 또한 이 약물은 분열기로 들어가는 정상 세포의 분열도 억제한다.
4. 식물세포에서, 세포판은 골지소낭으로부터 형성되어 2개의 딸세포를 분리하는 새로운 세포벽을 만든다. 세포막은 세포벽 아래에서 성장한다. 동물세포에서는 미세섬유의 '지갑 끈'이 세포막을 옥외적 위해 수축하여 세포가 분리된다.
5. 세포분열 동안 기능이 없는 응집은 염색분체가 가까이 부착하는 것을 허용하지 않을 것이다. S기의 복제로부터 M기의 중기까지 같이 붙어 있는 것 대신에, 두 염색분체는 분리되고 정확한 방추사부착점을 위한 구조가 없을 것이다. 그 결과, 각각의 딸세포로 한 쌍에서 하나의 염색분체가 비효율적으로 분리될 것이다.

요약 및 평가 11.4

1. 모든 유성생식 주기는 반수체 시기와 2배체 시기, 수정, 그리고 감수분열을 가진다.
2. 분열하는 세포를 선택하여 염색체를 조사하라. 만약에 각 염색체가 다른 염색체와 크기와 동원체 위치가 다르다면, 이 식물표본은 반수체이다. 만약에 각 염색체가 2세트 있다면, 식물은 2배체이다.
3. 그림 11.4를 참고하라.

요약 및 평가 11.5

1. 교차에서는 상동염색체 쌍의 비자매염색체들 사이에서 유전물질의 교환이 있다. 그 결과 염색체는 핵에 새로운 조합의 유전자를 가지게 된다. 독립유전은 각 염색체의 모계 또는 부계 상동염색체 쌍 중 하나가 특정한 배우자의 핵으로 들어갈 수 있는 것을 의미한다. 그래서 서로 다른 배우자는 일반적으로 다른 염색체 세트—부계로부터 온 1번 염색체, 모계로부터 온 2번 염색체, 그리고 등등—를 가지게 될 것이다.
2. 감수1분열 전가: 복제된 염색체의 상동체는 유전자끼리 서로 나란히 배열해 있다. 감수1분열 전가: 복제된 염색체의 상동체는 나란히 배열하지 않는다. 감수1분열 후기: 복제된 염색체의 상동체는 분리되어 극으로 이동한다. 감수1분열 후기: 염색분체는 분리되어 복제되지 않은 염색체로서 극으로 이동한다.
3. 이것이 일어날 수 있는 세 가지 방법이 있다. (i) 수컷 배우자 형성에서, X와 Y 염색체가 감수1분열 후기에서 분리되지 못한다. 감수2분열 말기에 2종류의 배우자가 있을 것이다: X 혹은 Y가 없는 빈과 X와 Y를 가진 빈. 만약에 후자가 1개의 X 염색체를 가진 정상 난자와 수정한다면, 자손은 XXY가 될 것이다. (ii) 만약에 암컷 배우자 형성에서 유사한 비분리가 있다면, 2개의 X 염색체를 가진 난자가 생성될 것이다. 만약에 XX 난자가 정상인 Y 염색체를 가진 정자와 수정한다면, 자손은 XXY가 될 것이다. (iii) 정상 XY 수컷 접합자(X를 지닌 난자와 Y를 지닌 정자의 융합으로 생성된)의 첫 번째 유사분열 후기 동안 X 염색체의 비분리가 나타나서 X 염색체가 부족한 세포(그래서 단지 Y만 지닌)와 XXY 세포를 생산할 수 있다. X가 부족한 세포는 살 수 없으므로 자손의 모든 세포는 생존하는 세포로부터 왔고 이는 XXY일 것이다.
4. 배우성은 여분의 세트 또는 염색체를 가지고 있는 것을 말한다(예: 2n 대신에 3n). 이는 배우자를 형성하는 감수분열에서 모든 염색체가 분리되는 것이 실패하여 그 결과 2배체인 배우자를 만들기 때문에 일어난다. 배우성은 또한 다수정에 의해 일어날 수 있다.

요약 및 평가 11.6

1. 세포피사를 개시하는 사건에는 세포에 생긴 큰 손상 또는 영양부족 등이 있다. 대조적으로, 세포자살은 프로그램된 세포사멸로서 호르몬, 생장인자, 세균감염, 독소들, 또는 DNA 손상을 포함하는 내·외부 신호로 개시된다.

- 세포자살은 세포가 손상되고 돌연변이가 일어났거나 기관 구조를 위한 세포가 너무 많이 있을 때 필요하다.
- 세포자살은 호르몬과 같은 외부 신호와 DNA 손상과 같은 내부 신호로 개시된다. 이러한 신호들은 그리고 세포자살 과정을 초래하는 신호전달 경로를 활성화한다.

요약 및 평가 11.7

- 정상 세포: 세포분열과 세포자살에 대한 통제를 가진다; 조직에 머무르고 이동하지 않는다. 양성종양세포: 세포분열에 대한 통제를 잃고 느리게 분열한다; 몸의 다른 장소로 이동하지 않는다. 악성종양세포: 세포분열에 대한 통제를 잃고 종종 빠르게 분열한다; 신체의 다른 장소로 이동한다.
- 정상 세포에서 발암유전자 단백질은 활성이 없거나 적은 양이 만들어진다. 반면에 암세포에서 발암유전자 단백질은 많은 양이 만들어지거나 돌연변이 형태로 만들어져서 세포주기를 촉진하도록 행동한다. 정상 세포에서 종양억제자 단백질은 활성화되어 세포주기를 방해한다. 암세포에서 종양억제자 단백질은 돌연변이 결과로 기능이 없거나 또는 만들어지지 않는다. 각 경우 단백질은 세포분열을 방해하는데 활동적이지 않아서 세포는 분열하고 증양을 형성한다.
- 암세포는 세포주기에서 동시성을 보이지 않는다. 주어진 지점에서 어떤 세포는 G1기에, 어떤 세포는 S기에, 등등이 있다. 그래서 모든 단계를 표적으로 하는 것이 오직 한 단계를 표적으로 하는 것보다 더 나을 것이다.

그림 질문

그림 11.3 DNA량은 6pg이다.

그림 11.19 감수2분열에서의 비분리로부터 생성되는 2개의 배우자 중 하나는 여분의 염색체 하나를 가진 이수성 배우자이고 다른 하나는 염색체 하나가 부족한 이수성 배우자이다.

그림 11.21 세포자살은 암세포로 변하는 정상세포처럼 개체에 해를 일으키는 돌연변이를 발전시킬지 세포를 제거하는 한 방법이다. 덧붙여, 개체가 발생함에 따라 기관의 크기와 모양이 정의되어야 한다. 세포자살은 기관을 너무 크게 만들거나 잘못된 모양을 만드는 여분의 세포들을 제거한다.

그림 11.25 세포주기를 이용한 치료는 단지 종양세포의 세포주기가 아니라 인체에 있는 모든 분열하는 세포의 세포주기에 영향을 준다. 대조적으로, 표적된 약물은 오직 종양세포에 존재하는 변형된 단백질에만 영향을 준다. 일반적으로 세포주기 약물의 부작용은 분열하는 세포에 의존하는 기관과 체계일 것이다. 예를 들어, 혈액세포들은 혈류에서 일정 시간이 지난 후에 세포자살을 경험하게 되고 분열하는 세포에 의해서 교체되어야 한다. 만약에 항암제로 인하여 이러한 세포들의 분열이 방해된다면, 환자는 약한 면역(너무 적은 백혈구)과 빈혈(너무 적은 적혈구)과 같은 부작용을 가지게 된다.

그림 질문, 무엇이 암세포의 증식을 조절하는가?

- G1/S기 세포에 있는 G1 핵의 표지는 16시간이 지난 후에 대부분 완결되었다.
- G1기 대조군은 DNA 복제가 G1기 핵에서 정상적으로 일어나는 것을 보여주었다. G1/G1기 대조군은 융합과정 자체는 DNA 복제를 촉진하지 않았다는 것을 보여주었다; G1기 세포는 DNA 복제가 촉진되기 위해서 S기 세포와 융합하여야만 했다. G1기와 G1/G1기 세포의 핵은 융합 후 약 8시간이 될 때까지 표지되는 것을 시작하지 않았다. 왜냐하면, 이들 세포는 S기에 들어가 DNA를 복제하기 전에 G1기를 끝까지 모두 지나야 했기 때문이다. 대조적으로, G1/S기 세포에 있는 G1기 핵의 표지는 융합 후 곧 시작하였다.
- G2기 세포는 S기 세포보다 세포주기가 더 진행되어 있다. S기의 세포가 S기와 G2기를 지나 M기를 시작하는 데에는 2-3시간이 걸렸다.
- 잡종 S/G2기 세포의 M기 시간은 융합하지 않은 S기의 세포와 잡종 S/S기 세포의 M기 시간과 비슷하다. 이 결과는 G2기 세포는 여전히 S기에 있는 핵의 M기를 촉진할 수 없다는 것을 가리킨다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 11.1

- 세포분열 신호: 내·외부신호가 세포분열을 개시한다. DNA 복제: 각 DNA 분자가 복제된다. DNA 분리: 새롭게 복제된 DNA 분자가 분배되어 딸세포는 염색체 사본 한 세트를 받는다. 세포질분열: 세포가 분열하여 2개의 딸세포를 생성한다.
- 복제기점(ori)은 원형 염색체에 있는 DNA 복제를 시작하는 장소이고, 복제종점(ter)은 복제가 끝나는 장소이다.

핵심개념 11.2

- G1기: 세포는 세포분열을 준비한다. S기: DNA가 복제된다. G2기: 세포는 유사분열과 세포질분열을 준비한다. M기: 유사분열 동안 자매염색분체가 분리된 후 세포가 분열한다(세포질분열).
- 사이클린은 세포주기 동안 특정한 시간에 생산된 후 특정한 세포주기 사건을 촉진하기 위하여 특정한 CDK와 결합한다. 사이클린의 수명이 짧은 것은 이들의 신호 기능이 상대적으로 일시적인 것을 의미하며 이는 다른 사이클린이 다른 사건을 촉진하도록 허용한다.

핵심개념 11.3

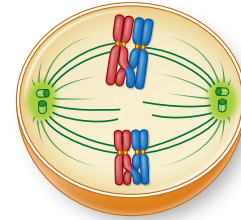
- 염색체는 중기 때 세포의 중앙에 니열한다. 자매염색분체는 후기 때 양극으로 이동한다. 염색체는 전기 때 눈에 보이게 된다.
- 뉴클레오솜은 DNA 주위를 감싸고 있는 히스톤 단백질로 구성된 구슬 같은 구조이다.
- 미세소관은 중심체에 또는 한 쪽 끝은 방추사 극과 다른 쪽 끝(염색체)은 방추사부착점(동원체)에 부착해 있다.

핵심개념 11.4

- 감수분열과 수정
- 단상체 생활사에서 성숙한 개체는 반수체이고 2배체 시기는 짧아 수정 후 즉시 감수분열이 뒤따른다. 복상체 생활사에서 성숙한 개체는 2배체이고 반수체 시기는 짧아 감수분열 후 즉시 수정이 뒤따른다. 단상-복상체 생활사에서 개체는 생활사의 많은 부분을 반수체와 2배체로서 보낸다.

핵심개념 11.5

- 1.



- 유사분열에서, 상동체는 서로를 무시한다; 각 염색체는 다른 모든 염색체와는 독립적으로 행동하므로 세포는 가지고 있는 각 염색체의 사본 수와 관계없이 유사분열을 수행할 수 있다. 이와는 대조적으로 감수1분열에서, 상동염색체는 쌍을 형성하므로 각각의 염색체는 파트너가 필요하다. 반수체 세포는 쌍을 이루는 파트너를 갖지 않기 때문에 감수1분열은 정상적으로 진행될 수 없다.

핵심개념 11.6

- 세포들은 바이러스가 사본을 만들고 개체에 있는 다른 세포를 감염하는 것을 방해하기 위하여 세포자살을 유도할지 모른다.
- 세포들이 더 필요하지 않기 때문에(태아의 손가락 사이에 있는 피부세포와 같은) 세포자살이 일어날 수도 있다.

핵심개념 11.7

- 암세포의 두 가지 특성은 통제되지 않는 세포분열과 신체의 다른 부분으로 이동하는(그리고 자라는) 능력을 가지고 있다.
- 발암유전자는 일반적으로 조직 대부분에서 발현되지 않는다. 잘못 조절된 발암유전자는 발현되지 않아야 할 때 발현되어(그래서 효과 면에서 우세하게 될 것이다) 세포분열을 증가시키고 발생을 방해하여 아마도 결국에는 개체를 죽이게 될 것이다. 이와는 대조적으로, 종양억제자는 일반적으로 세포에서 발현된다. 그래서 잘못 조절된 종양억제자는 발현이 억제되지만, 다른 사본(다른 배우자로부터)은 발현되어 유전자의 정상적인 기능을 수행할 것이다.

12장

요약 및 평가 12.1

- F₁ 세대는 단 하나의 표현형을 나타내었고 그것은 부모의 표현형이었다. 혼합설은 F₁이 양친형과 다른 중간 표현형을 보여줄 것이라고 예상했으나 사실은 그렇지 않았다. F₂ 세대는 또한 F₁에서 없던 부모의 표현형을 보여주었다. 혼합설에 따르면 이런 표현형은 사라져야 했지만, 결과는 달랐다.
- 그림 12.6을 참고하라. 분리는 감수1분열 후기 동안 분리되는 상동염색체 때문이다. 독립적인 분리는 감수1분열 중기에서 서로 다른 상동염색체 쌍의 독립적인 정렬 때문에 나타난다.
- BB × bb: bb × bb; Bb × bb: Bb × Bb.
- a. 선천성 백내장은 우성형질로 유전된다. 이 유전은 세대를 건너뛰지 않고 부모 중 한 사람이 백내장이면 자손 중 약 절반에서 백내장이 나타난다. 이 가계도에서 부모 모두 백내장인 경우가 있다(II1 × II2). 만일, 이 질병이 열성 유전하면 이 부모의 모든 자손은 백내장이 되어야 하는데, 아들(III1)은 정상이다. 이는 이 이들의 부모 모두 이 우성형질 질환에 대해 이형접합자라는 것을 의미한다.
- b. 다음 아이가 백내장에 걸린 여아가 될 확률은 ¼이다. 여자아이가 될 확률은 ½이고 백내장에 걸릴 확률은 ½이므로 둘 다의 확률 ½ × ½을 곱하여 ¼이다.

요약 및 평가 12.2

- 공동우성의 경우, 이형접합자는 두 대립유전자 형질에 모두 표현된다. 불완전 우성의 경우는 이형접합자에서 양친형의 중간이 나타난다.
- 여성은 혈액형 O(i)이므로 두 부모로부터 i 대립유전자를 받았음이 틀림없다. 어머니는 혈액형 B이므로 I^Bi이며 아버지는 혈액형 O(i), A(I^Ai) 또는 B(I^Bi)일 수 있지만, AB(I^AI^B)일 수는 없다.
- 표현형은 황색(YY), 녹색(YB) 및 청색(BB)이 1:2:1 비율이다

요약 및 평가 12.3

- 침투도는 유전자와 관련된 표현형으로 실제 나타나는 개체의 비율이다. 여분의 21번 염색체를 가진 모든 개인은 다운증후군을 가지고 있으므로 100% 침투도를 갖는다. 표현도는 유전자형이 실제로 관련 표현형을 나타내는 정도이다. 다운 증후군이 있는 개인은 영향을 받는 정도가 모두 달라서 증후군의 발현도는 다양하다.
- 양적형질은 본질적으로 연속적으로 변하는 표현형이다. 사람의 키는 작은 키부터 큰 키까지 여러 값을 취할 수 있으므로 일반적으로 양적형질로 간주한다. 질적형질은 보라색 꽃대 흰색 꽃 또는 주름진 씨앗 대 둥근 씨앗과 같이 몇 가지 특정형질 값만 취하는 형질이다. 멘델의 완두는 우성대립유전자가 식물의 키를 크게 하고 열성대립유전자가 동형접합자의 키를 작게 하는 질적형질이다. 이 경우 식물의 키 높이는 연속적이지 않다.

12 생명생물의 과학 12 판

3. 두 유전자가 다른 염색체에 있으므로 자손은 $AaBb$, $Aabb$, $aABb$, $aabb$ 의 네 유전자형을 같은 빈도로 갖게 된다. (파넬사각형을 이용하여 이러한 자손 유전자형의 빈도를 결정할 수 있다). $Aabb$ 자손만이 청각장애가 없고 다른 세 가지 유전자형은 청각장애를 가진다. 따라서 자손의 75%는 청각장애이다.

요약 및 평가 12.4

1. 유전자 연관에서, 같은 염색체에 있는 대립유전자는 배우자가 형성될 때 같이 운반된다. 즉, 이형접합자 $AaBb$ 에서 A와 B가 같은 염색체 (다른 염색체는 a와 b가 있음)에 있으면 배우자는 AB 또는 ab 가 된다.
2. X-연관 열성형질의 경우, 남성에서 열성형질이 나타나는 데는 희귀한 대립유전자가 하나만 있어도 된다. 반면 여성은 2개의 대립유전자가 필요하며, 이처럼 2개를 갖게 될 가능성은 훨씬 적으므로 여성은 이 유전자의 영향을 덜 받는다. 색맹인 여성은 동형접합자이고, 그 여성의 아들은 그녀로부터 유일한 X 염색체를 받기 때문에 모두 색맹이다.
3. 교배 $RrYY \times ryy$ 는 RyY (등근 노란색) F₁ 자손을 생산하며, R 및 Y 대립유전자는 한 상동염색체에, r 및 y 대립유전자는 다른 상동염색체에 있다. 종자 모양과 종자색 유전자가 10 지도단위로 떨어져 있으면 교배에서 배우자의 10%가 재조합되고(rY 및 Ry), 나머지 90%는 부모형이 된다(RY 및 ry). 따라서 myy 와 교배하는 검정교제에서의 자손은 5% 주름진 노란색(rYy), 5% 등근 녹색(Ryy), 45% 주름진 녹색(myy) 및 45% 등근 노란색(RYy)이다.
4. 교배 1에서는 네 자손 표현형이 거의 같은 빈도로 나타나, 눈 색깔과 날개 길이 사이의 독립적 분리를 보여준다. 교배 2에서는 두 가지 드문 표현형(재조합형)과 두 가지 공통 표현형(부모형)을 생성하는데, 체색과 날개 길이에 대한 유전자가 연결되어 있음을 보여준다. 이 두 유전자 사이의 지도거리는 $100 \times [(50 + 61)/(50 + 61 + 236 + 253)] = 100 \times (111/600) = 18.5$ 지도단위이다.

요약 및 평가 12.5

1. 이 유전자는 미토콘드리아 DNA에 있으므로 모계를 통해서만 유전된다. 따라서 여성이 질병에 걸리지는 않고 남편과 질병이 있다면 그들의 자녀는 영향을 받지 않는다. 그러나 남편에게 없지만, 여성에게 질병이 있다면 자녀는 질병에 걸릴 것이다.

요약 및 평가 12.6

1. 접합 및 재조합은 세균 사이에서 유전자가 교환될 수 있게 하여 결과적으로 유전적으로 다양한 개체군을 생성시킨다. 세균은 반수체이기 때문에, 어떤 새로운 유전자 조합도 자손에서 재조합형으로 발현된다.
2. 숙주 염색체에 통합된 플라스미드는 세포가 분열될 때도 안정적이어서 플라스미드에 있는 어떤 유전자도 발현될 것이다. 또한, 세균이 접합할 때 플라스미드의 유전자가 다른 세포로 옮겨질 수 있다.
3. 플라스미드는 항생제 내성을 부여하는 유전자를 보유할 수 있다. 플라스미드를 가진 세균이 플라스미드가 없는 균과 접합하게 되면 플라스미드는 복제되고 하나의 사본이 수용자 균에 옮겨진다. 그렇게 되면 항생제 내성을 가진 2개의 세균이 나타나게 된다.

그림 질문

그림 12.3 7개.

그림 12.6 $16(2^4)$.

그림 12.9 빨간 머리카락 색은 열성형질의 특성이다. 부모는 빨간 머리카락이 아닌데 빨간 머리를 가진 사람들이 있다. 이렇게 세대를 건너뛰는 것은 열성형질의 특징이다.

그림 12.13 노란색 감자지의 부모는 $BBee$ 또는 $Bbee$ 일 수 있고 갈색 감자지의 부모는 $bbEE$ 또는 $bbEe$ 일 수 있다. (각 부모는 유전자 중 하나가 열성동형접합자이므로 검은색 감자지는 $BbEe$ 이다.)

그림 12.21 붉은 눈 암컷은 이형접합자인 $X^R X^r$ 이다. 이 암컷 어머니는 X^r 염색체를 흰 눈을 가진 암컷 자손에게 전달했으며, 이 암컷 자손은 수컷 아버로부터 X^r 염색체를 받았다.

그림 질문, 멘델의 단성잡종 실험

1.

원두	카이제곱값	P값
1	0.33	0.57
2	0.69	0.40
3	0.02	0.8
4	0.24	0.59
5	1.52	0.21
6	0.05	1
7	0.19	0.66
8	1.41	0.23
9	0.19	0.66
10	0.35	0.55

모든 개별 교배의 P값은 0.05보다 크므로 어떤 원두 개체에서도 결과는 3:1 비율과 큰 차이가 없다.

2. 더 나은 자료의 카이제곱값은 0.11, $P = 0.740$ 이다. 이 경우 개별 교배(작은 표본 크기)나 결합된 자료(큰 표본 크기)나 모두 유사한 P값을 얻었다. 그러나 10개 원두 개체에서 얻은 표현형 비율은 1.8:1(원두 5)에서 4.9:1(원두 8)까지 넓은 범위를 보여 실제 비율을 결정하기 어렵다. 10개 원두 모두의 데이터를 합하면 2.9:1의 비율을 얻게 되는데, 이는 더 큰 표본 크기로 예상되는 3:1 기대치에 훨씬 더 가깝다.

그림 질문, 어떤 대립유전자는 독립유전되지 않는다.

1. 자유도 3의 카이제곱 검정을 사용하면 카이제곱값은 429.960이고 P값은 0.0001 미만이다. 이는 예상되는 9:3:3:1 비율과의 유의한 차이를 나타낸다.
2. 유전자는 연관되어 있다. 왜냐하면, 시험 교배에서 얻어진 자손에서는 비연관 유전자의 교배 결과보다 양친형 표현형이 더 많고 재조합 (비양친형) 표현형이 더 적기 때문이다. 재조합빈도는 $[(578 + 307)/(578 + 307 + 1,413 + 1,117)] = 0.26$ 이다. 재조합빈도 $\times 100 = 26$ 지도단위. 이러한 자료는 그림 12.17A의 자료와 다른데 양친형 자손이 다르기 때문이다. 검은색, 정상날개(bVg 배우자)와 회색, 흔적날개(Bvg 배우자)이다. 그림 12.17A에서는 회색, 정상날개와 검은색, 흔적날개의 교배이다.
3. 양친의 유전형과 표현형은 $BBVgVg$ (회색, 정상날개)와 $bbvvgv$ (검은색, 흔적날개)였다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 12.1

1. 부모 모두 이형접합자 Pp 여야 한다.
2. 예상되는 배우자 빈도는 TP , Tp , tP , tp 모두 $\frac{1}{4}$ 이다.
3. 흰색과 말단의 꽃이 있는 동형접합자($ppaa$)로 검정교배한다. 원두가 $PPAa$ 이면 모든 후손은 보라색과 축 방향의 꽃, $PpAa$ 이면 후손의 $\frac{1}{2}$ 은 보라색과 축 방향의 꽃, $\frac{1}{2}$ 은 흰색과 축 방향의 꽃, $PPaa$ 이면 후손의 $\frac{1}{2}$ 은 보라색과 축 방향의 꽃, $\frac{1}{2}$ 은 보라색과 말단의 꽃, $PpAa$ 이면 후손의 $\frac{1}{4}$ 은 자주색과 축 방향의 꽃, $\frac{1}{4}$ 은 자주색과 말단의 꽃, $\frac{1}{4}$ 은 흰색과 축 방향의 꽃, $\frac{1}{4}$ 은 흰색과 말단의 꽃이다.

핵심개념 12.2

1. 아이들은 혈액형 A 또는 B가 될 수 있다.
2. F₁ 식물을 자가교배하여 생성되는 F₂ 후손은 $\frac{1}{4}$ 붉은색, $\frac{1}{2}$ 분홍색, $\frac{1}{4}$ 흰색이다.

핵심개념 12.3

1. 초콜릿색 래브라도는 $bbEE$ 이고 노란색 래브라도는 $BBee$ 또는 $bbee$ 이다. 노란색 래브라도가 $BBee$ 이면 모든 강아지는 $BbEe$ 검은색이 된다. 노란색 래브라도가 $bbee$ 이면 모든 강아지는 $bbEe$ 초콜릿색 래브라도가 된다.
2. 독일과 호주 원두가 같은 유전자에 대해 흰 꽃에 대한 열성대립유전자를 가지고 있다면, 교배는 $pp \times pp$ 가 되고 모든 후손은 흰색 꽃(pp)을 갖는다. 그러나 2개의 유전자가 연관된다면 독일 원두는 $ppWw$ 이고 호주 원두는 $PPww$ 가 되고 모든 자손은 $PpWw$ 로 보라색 꽃을 갖게 된다.

핵심개념 12.4

1. 그렇다. 두 유전자는 독립적으로 분리되지 않기 때문에 동일한 염색체에 있다(독립적 분리라면 각 표현형의 자손이 같은 수여야 한다). 유전자 사이의 거리는 $100 \times [(55 + 65)/(55 + 65 + 438 + 442)] = 100 \times (120/1,000) = 12$ 지도단위이다.
2. 상호교배에서 차이점이 나타난다면 가리비형 날개의 유전자가 X-연관임을 나타낸다. 첫 번째 교배는 $X^{\bar{Y}} \times X^{\bar{Y}}$ 으로, 모든 자손은 정상적인 날개를 갖는다(모든 자손은 어머니로부터 정상적인 $X^{\bar{Y}}$ 을 받는다). 두 번째 교배는 $X^{\bar{Y}} \times X^{\bar{Y}}$ 로, 정상 날개의 암컷(아버지의 $X^{\bar{Y}}$)과 가리비형 날개 수컷(어머니의 $X^{\bar{Y}}$)을 생산한다.

핵심개념 12.5

1. 느리게 성장하는 표현형은 모계에서 유전되므로 미토콘드리아 유전자의 특정 대립유전자일 가능성이 크다.
2. 2배체 세포는 수컷의 X와 Y 염색체에 있는 유전자를 제외하고 모든 유전자의 사본이 2개이므로 핵 유전자에서는 최대 2개의 서로 다른 대립유전자를 가지고 있다. 2배체 세포에는 많은 미토콘드리아가 있으므로, 세포는 많은 유전체와 유전자의 사본을 가질 수 있다. 따라서 미토콘드리아 유전자는 2개 이상의 대립유전자를 가질 수 있다.

핵심개념 12.6

1. 일부 세균 세포는 성선모를 생성하고 일부는 생성하지 않는다. 성선모가 없으면 유전자 전이가 불가능하다.
2. 두 경우 모두 유전자는 접합관을 통해 이동하는 DNA 분자에 있어야 한다. 유전자가 염색체에 있을 경우 유전자가 계속 존속하려면 수용체 세포의 염색체와 교차가 일어나야 한다. 그러나 유전자가 플라스미드에 있는 경우는 교차가 일어나지 않아도 된다. 플라스미드가 접합관을 통과한 해도 수용체 세포에서 계속 유전자는 존속할 수 있다.

13장

요약 및 평가 13.1

- DNA는 진핵세포 핵에 있고 핵에는 유전자를 가진 염색체가 있다. DNA의 양은 생물의 체세포에서 모두 같았고, 유전 현상에서 예상되는 대로 감수분열의 결과 절반으로 감소한다. 서로 다른 수의 유전자를 가질 것으로 예상하는 것처럼 생명체 종마다 DNA의 양이 다르다.
- 에이버리와 동료들은 수용자 균주(R)를 바꿀 수 있는 세균 균주(S)의 세포 추출물을 사용하여 유전 실험을 수행했다. 이때 R과 S는 유전적으로 다르다. 그들이 세포추출물을 단백질가수분해효소로 전처리했을 때 여전히 형질전환이 일어났다. 즉, 단백질은 형질전환에 관여하지 않는다는 것이다.
- 박테리오파지 T2는 DNA와 단백질의 2종류의 분자만을 가지고 있다. 그래서 방사성 인(DNA 표지) 또는 황(단백질 표지)을 이용하여 둘 중 하나를 표지하면 무엇이 숙주세포에 들어가 유전적 변화를 일으키는지 알 수 있다.

요약 및 평가 13.2

- 로절린드 프랭클린의 X선 회절 사진은 DNA가 이중가닥이고 일정한 직경을 갖는 나선형으로 꼬여 있으며, 당과 인산이 "골격"이 되어 외부에 있다는 단서를 제공하였다. 사가프가 얻은 많은 생명체의 염기 조성 데이터는 퓨린 A의 비율이 피리미딘 T의 비율과 같고 퓨린 A의 비율은 퓨린 G의 비율과 같았다. 이 결과는 나선 안에서 A는 T와 G는 C와 결합하는 짝임을 암시했다. 왓슨과 크릭이 원자와 결합으로 풀리 뉴클레오타이드 가닥의 분자 모형을 만들었을 때, 염기쌍 A-T와 G-C 쌍이 잘 맞는 것으로 확인되었다.
- 이중가닥 구조는 DNA의 복제에 필수적이며, 반대 가닥이 각각 새로운 가닥의 주형으로 작용할 수 있으므로 2개의 새로운 가닥이 만들어진다. 이런 원리는 세포가 분열할 때 유전물질 복제에서 핵심이다. 두 가닥은 유전자 발현을 위해 내부의 염기를 노출하며 풀릴 수 있다. 이것은 유전자가 표현형으로 발현되어야 하므로 중요하다.
- DNA의 염기는 단백질 그룹과 상호작용할 수 있는 화학 작용기를 노출한다. 이것은 염기쌍의 극성작용기(예: C=O)를 포함하는데 이들은 단백질에 있는 정반대의 전하를 띤 작용기(예: NH₂)를 끌어당겨 수소결합을 형성할 수 있다.

요약 및 평가 13.3

- 세균에서 무거운 ¹⁵N으로 DNA 가닥이 마리 표지되었고 가벼운 ¹⁴N에서 1회 복제하였다. DNA 복제에 관한 세 가지 모형은 서로 다른 예측을 하였다.
보존적 모형: 원본 DNA(모두 무거움)와 새로운 DNA(모두 가벼움)가 동등한 양으로 존재한다. 이것은 일어나지 않았다.
분산 모형: 한 세대가 지나면 새로운 (가벼운) DNA와 오래된 (무거운) DNA가 혼합된 2개의 중간 DNA 분자가 관찰된다. 그러나 2세대 후에는 유사한 밀도의 4개의 DNA 분자가 존재하게 된다(중간 밴드와 가벼운 밴드 사이). 이것은 일어나지 않았다.
반보존적 모형: 한 세대 후에는 하나의 가벼운 가닥과 하나의 무거운 가닥을 가진 중간 DNA만이 관찰될 것이다. 2세대 후에는 2개의 밴드가 생기는데 한 밴드는 하나의 가벼운 가닥과 하나의 무거운 가닥으로, 다른 밴드는 2개의 가벼운 가닥으로 이루어져 있다. 이것은 일어났다.
- DNA 복제에 관여하는 5개의 단백질은 DNA 헬리케이스(이중나선을 푸는 것), 단일가닥 결합 단백질(풀린 지역에서 두 DNA 가닥을 안정화하고 분리를 유지함), 프라이메이스(짧은 프라이머를 만들기 위해 DNA에 결합), DNA 중합효소(성장하는 사슬에 뉴클레오타이드를 추가), DNA 연결효소(지연가닥 복제는 짧게 일어나기 때문에 이 짧은 DNA 조각의 틈새를 연결)이다.
- 염색체의 끝부분에 있는 특수한 서열을 말단소체라 하는데 이것은 두 가지 기능을 가진다. 단백질이 결합하여 염색체 끝이 이중가닥 절단으로 인식되는 것을 방지하는 기능과 "말단 복제" 문제를 해결하는 기능을 가진다. DNA 복제 후 선두 가닥의 말단소체 영역은 완전히 복제지만 지연가닥에서는 염색체의 선형 DNA 끝에 있는 프라이머가 결합했던 영역이 제거된다. 대부분의 세포에서 말단복제문제는 각 분열에서 DNA의 길이를 단축시키고 결국 세포자살로 이어지지만 일부 세포 (예: 성체조직 줄기세포, 배우자 생성 줄기세포 그리고 일부 암세포)에서 말단소체서열은 말단소체복원효소에 의해 인식된다. 이 효소는 손실된 말단서열의 복제를 촉매하고 DNA를 원래 길이로 유지한다.
- DNA 복제는 DNA의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드를 추가하는데, 여기서 당의 3' 위치에 -OH 작용기가 있다. 이 -OH 작용기가 없으면 축합반응이 일어나지 못하며 다음 뉴클레오타이드와의 결합이 형성되지 않아 복제가 중단된다.

요약 및 평가 13.4

- T-A 염기쌍을 가져야 하는 DNA 분자에 C-A와 같은 불일치가 있다고 가정하자. 이 불일치가 G1 세포에 존재한다면, S 단계에서 복제한 후, 불일치는 딸 분자 중 하나에서 C-G 돌연변이가 될 것이다 (다른 딸 분자는 올바른 T-A일 것). C-G 돌연변이는 결국 감수분열로 생성된 4개의 배우자 중 하나로 전달될 것이다.
- 불일치 복구 유전자의 돌연변이는 불일치 복구 결함으로 인해 세포의 모든 DNA 분자의 돌연변이 속도를 증가시킨다. 이 돌연변이 자체로는 암을 유발하지 않는다. 하지만 세포 주기를 제어하는 유전자를 포함하여 다른 유전자에서 더 많은 돌연변이를 발생시킬 수 있다. 불일치 복구 손실로 인해 중앙 억제 유전자에서 돌연변이가 생기고, 그 돌연변이는 세포의 기능을 변경하여 세포분열이 조절되지 않음으로 결합 암 세포가 나타난다.

요약 및 평가 13.5

- PCR의 프라이머는 짧은 DNA 영역에 결합하여 DNA 중합효소가 뉴클레오타이드와 함께 첨가될 때 DNA 가닥의 신장을 허용한다. 프라이머는 각각 증폭될 영역의 양쪽에 하나씩 단일 DNA 서열에 특이적으로 결합하므로 특정 DNA 영역의 증폭이 가능하다.
- 프라이머가 중 특이적 서열, 즉 특정 생물 특유의 서열에 상보적인 뉴클레오타이드 서열을 갖는다면, 현장 시료에서 추출하였고 독특한 서열이 있는 표적 DNA를 PCR로 증폭할 수 있다. 이런 증폭이 일어난다는 것은 그 서열을 가진 생물이 존재한다는 것을 보여준다. 생물체에 이런 특이적 서열이 없으면 프라이머가 결합하지 않고 증폭이 발생하지 않는다.

그림 질문

그림 13.6 수소결합은 염기쌍 사이에서 일어난다. 공유결합은 뉴클레오타이드를 구성하는 원자와 DNA 가닥의 뉴클레오타이드 사이에서 발생한다. 반데르발스 힘은 이중나선 내 서로 겹쳐서 쌓인 평평한 염기 사이에서 발생하고, 이렇게 쌓인 구조를 안정화시킨다.

그림 13.14 복제기점의 반대편에서 선도가닥은 지연가닥이 될 것이고 반대의 경우도 마찬가지이다.

그림 13.18 말단소체복원효소가 없으면 말단소체는 짧아지고 세포 계통은 결국 죽는다. 배우자는 다음 세대를 발생시키는 것이라 배우자 형성 세포는 지속적으로 분열하는 세포 계통이므로 말단소체복원효소를 발현해야 한다.

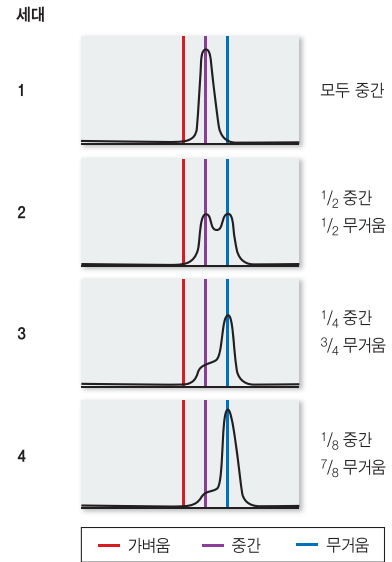
그림 13.20 시퀀스의 PCR 프라이머와 세포의 DNA 복제 프라이머는 모두 DNA 복제를 시작한다. PCR 프라이머는 과학자가 추가 한 단일 가닥 DNA이지만 복제 프라이머는 프라이메이스에 의해 합성되며 RNA로 만들어진다.

그림 질문, 메셀슨과 스탈의 실험

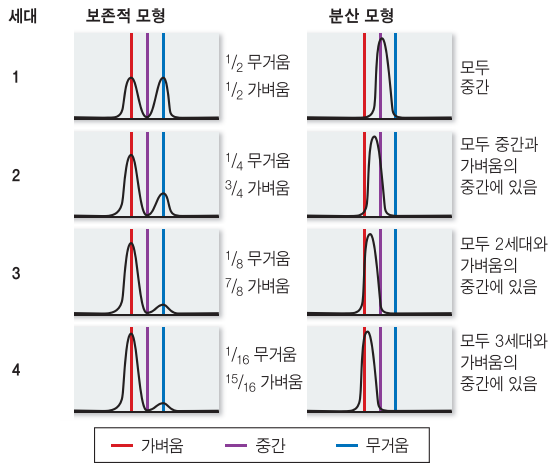
- 이 자료는 무거운 사슬이 새로운 사슬의 주형으로 사용되었기 때문에 DNA 복제의 반보존적 모형에 적합하다. 1회 복제 후, 모든 DNA는 하나의 무거운(원래) 가닥과 하나의 가벼운(새로 생성된) 가닥을 가지고 있었고, 그래서 중간 정도의 무게를 가지고 있다.

세대	무거운 DNA의 %	중간 DNA의 %	가벼운 DNA의 %
1	0	100	0
2	0	50	50
3	0	25	74
4	0	12.5	87.5

- 2세대 후 약 1.5%의 중간 DNA와 98.5%의 가벼운 DNA가 존재할 것이다.
- 1세대에서 밴드는 그림 B와 같이 중간일 것이다. 2세대에서는 1/2이 중간이고 1/2은 무겁다. 3세대에서는 1/4이 중간이고 3/4가 무겁다. 4세대에서는 1/8 중간과 7/8 무거운 것이다.



4. 보존적인 모형에서 1세대는 1/2 무거움, 1/2 가벼움; 2세대 1/4 무거움, 3/4 가벼움; 3세대 1/8 무거움, 7/8 가벼움; 그리고 4세대 1/16 무거움, 15/16 가벼움. 분산 모형에서는 1세대는 모두 중간이다. 두 번째 세대에서는 가벼운 피크와 중간 피크의 가운데 중간이 된다. 3세대는 2세대의 피크와 가벼운 피크의 중간에 해당한다. 4세대는 3세대 피크와 가벼운 피크 사이의 중간에 있다.



눈에 보이는 요약

핵심개념 13.1

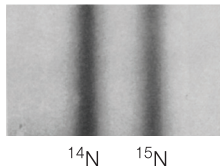
- 살아 있는 R 균주는 죽은 S 균주에서 DNA를 받아들임으로 유전 정보를 변형하여 S 균주가 되어 쥐에서 폐렴을 유발하여 사망에 이르게 할 수 있다.
- 황은 단백질에서 발견되지만, DNA에서는 발견되지 않으며 인은 단백질에서 발견되지 않고 DNA에서 발견된다. 이런 특성을 이용해 각 유형의 가대 분자를 독립적으로 추적할 수 있다.

핵심개념 13.2

- A = T이므로 T는 24%이고 A + T = 48%이다. 이것은 G + C = 52%를 의미하므로 G 그리고 C는 모두 26%이다.
- 3' TGCCAATGG 5'.
- 각 위치는 4개의 기본염기 쌍 (A-T, T-A, G-C 또는 C-G) 중 하나를 가질 수 있다. 따라서 4¹⁰ = 1,048,576개의 가능성이 있다.

핵심개념 13.3

- 그들은 2개의 밴드를 얻었을 것이다. 하나는 2개의 무거운 가닥을 가진 원래 DNA 분자, 다른 하나는 2개의 가벼운 가닥을 가진 딸 분자이다.



- 지연가닥은 복제분기점의 이동방향과 반대 방향으로 합성이 일어나는 것이다. DNA 중합 효소는 5'에서 3' 방향으로 합성되고 주형가닥을 3'에서 5'을 읽는다. 상단 가닥이 오른쪽에서 왼쪽으로 합성된다면 이것이 지연가닥이 된다.
- 대부분의 세포에서 말단소체복원효소가 발현되지 않아서 복제될 때마다 말단소체가 짧아진다. 말단소체가 충분히 짧아지면 세포자살(예정세포사)이 이어진다. 암세포는 말단소체복원효소를 발현하므로 말단소체의 단축없이 계속 분열할 수 있습니다.

핵심개념 13.4

- A-A, C-A, G-A는 이 위치에 도입될 수 있는 3개의 가능한 불일치이다.
- DNA 복제 오류는 DNA 중합효소의 삽입 오류율보다 낮을 수 있는데 그 이유는 교정과 불일치 수선이 불일치 염기를 감지해, 새로운 가닥에서 잘못 들어간 염기를 제거한 후 정확한 뉴클레오타이드로 교체하기 때문이다.

핵심개념 13.5

- 먼저 반응 혼합물을 가열하여 주형 분자를 변성시킨다. 둘째, 반응 혼합물을 냉각시켜 프라이머가 주형의 상보적 영역에 결합할 수 있도록 한다. 셋째, 중합효소가 새로운 DNA를 합성할 수 있도록 반응 혼합물의 온도를 올린다.
- 열은 주형 DNA와 새로 합성된 가닥을 변성시키는 데 사용된다. 내열성 중합효소가 있으면 주기가 새로운 효소를 첨가할 필요가 없다.

14장

요약 및 평가 14.1

- 모델생물은 실험실 또는 온실에서 쉽게 기를 수 있고 세대가 짧으며 종종 많은 수의 자손을 생산하고, 유전적으로 조작하기 쉬워야 한다. 또한, 모델생물에서 발견된 원리는 다른 생물에도 적용 가능해야 한다. *Neurospora*는 이러한 모든 특징을 가지고 있으며 다른 진핵생물을 대표한다. 또한, 반수체로 유전 자형과 표현형 간의 관계가 단순하다는 특성이 있다.
- 스립, 호르비츠, 비틀, 테이텀은 아생형 붉은색곰팡이에 X선을 조사하여 돌연변이를 일으켰다. 배지에 아미노산(아르자닌)의 첨가 없이는 생존하지 못하는 균주가 분리되었다. 이 균주는 아르자닌 대신 아르자닌을 만드는 생화학 경로의 중간물질로 배양되었다. 중간물질 중 하나에서의 성장은 그 균주에 대한 돌연변이가 아르자닌 생합성 경로에서 그 물질 전에 작용하는 효소를 암호화하는 유전자에서 일어나야 한다는 것을 의미했다. 이런 방법으로 돌연변이 균주를 모으면 경로의 중간물질을 확인할 수 있고 그 생성 순서가 밝혀질 수 있으며 결국에는 각 중간체를 다음 중간체로 변환시키는 효소를 알 수 있게 되었다.
- 효소: 4 → 2 → 3 → 1 → 5.
화합물: C → F → E → D → G → T.

요약 및 평가 14.2

- 중심원리는 DNA가 RNA로 전사되고 이후 단백질로 변환되는, 단일 방향으로 진행되는 과정을 말한다.
- 레트로바이러스에서 유전체는 RNA이다. 복제하려면 RNA가 DNA 사본으로 변환된 다음 다시 RNA로 전사된다. 이것은 DNA에서 RNA 전환이 단일방향으로 진행된다는 원래의 중심원리에서 벗어난다.

요약 및 평가 14.3

- RNA 중합효소는 프로모터에서 DNA와 결합한다. DNA가 풀어져 염기가 노출된다. 이 효소는 기질에 대한 결합부위를 가지며 그 기질은 리보뉴클레오타이드 3인산이다. 그런 다음 효소는 주형 DNA와 상보적인 염기쌍을 형성하여 성장하는 사슬에 뉴클레오타이드를 추가한다.
- 전사종료가 변경되기 때문이며 녹아웃된 단백질은 전사종료에 관여할 것이다. 세균은 단백질 의존성 및 단백질 비의존성 종결을 모두 가지고 있는데, 이 녹아웃(비활성화)은 단백질 의존성 종결이 있는 유전자에만 영향을 미친다.
- DNA가 정확히 복제되는 것은 매우 중요하다. 단백질을 암호화하는 유전자의 DNA에 오류가 있으면 해당 DNA 영역에서 전사된 RNA에 오류가 발생한다. 이것은 다른 코돈을 초래할 수 있으며, 따라서 단백질 내의 그 위치에서 다른 아미노산으로 대체될 수 있다. 그 결과 단백질의 기능이 변할 수 있다. RNA는 많은 사본으로 만들어진다. 따라서 RNA에서의 오류는 그로부터 번역된 단백질의 오류를 초래할 수 있다. 그러나 그 RNA에서는 그보다 더 많은 정상적인 사본이 있기에 정상적인 단백질이 많이 만들어지고 결국 정상적인 기능을 할 수 있을 것이다.

요약 및 평가 14.4

- 5' 말단에서, 변형된 GTP의 '캡'이 추가되고 3' 말단에서 100~300개의 뉴클레오타이드를 갖는 폴리 A 꼬리가 추가된다. 이런 변형은 핵에서 mRNA를 내보낼 수 있게 하고 (세포질에서) 리보솜과 mRNA의 결합을 쉽게 하며, RNA 가수분해효소에 의한 분해로부터 mRNA를 보호한다.
- snRNP 입자는 핵의 mRNA 전구체의 5' 및 3' 짜깁기 영역의 공동서열에 결합한다. 두 말단은 snRNP에 의해 중재되어 서로 접근한다. mRNA는 먼저 5' 말단에서 절단된 다음 3' 말단에서 절단되어 인트론을 방출한다. 그런 다음 2개의 엑손이 결합한다. 짜깁기되지 않았거나 잘못 짜깁기된 인트론은 mRNA 서열의 변화와 폴리펩타이드의 변화를 일으켜 결과적으로 단백질의 비활성화를 일으킬 가능성이 크다.
- 유전자가 폴리펩타이드 암호화 영역보다 큰 이유에는 여러 가지가 있다. 진핵생물 유전자에는 전사 프로모터 및 종결자와 같은 비전사 영역이 있다. 전사된 영역 내에서도 번역 전에 제거되는 인트론이 있으며 폴리펩타이드 암호화 영역의 상류 및 하류에 5' 및 3' 비번역 영역이 있다.

요약 및 평가 14.5

- 암호가 단일 문자(A 또는 T 또는 G 또는 C)인 경우 각 '문자'는 하나의 아미노산(41)으로 변환될 것이다. 그러나 20개의 아미노산이 있으므로 한 글자 암호로 모든 아미노산을 모호하지 않게 식별할 수는 없다. 이 염기암호는 모든 20개의 아미노산을 고유하게 식별하기에 충분하지 않은 단지 16개의 가능한 코돈(4²)을 만든다. 3개의 문자를 사용하는 3염기 암호는 64개의 가능성을 가지며(4³), 20개 아미노산 및 종결코돈을 만들기에 충분하다.
- 중복코돈은 여러 코돈이 같은 아미노산을 암호화하는 것을 말한다. 중복되지만 코돈은 모호하지 않다. 즉, 각 코돈은 단일 아미노산만 암호화한다.
- 아미노산 메싸이오닌과 트립토판은 각각 AUG와 UGG에 의해 고유하게 암호화된다. 글라이신은 4개의 코돈 (GGU, GGC, GGA 또는 GGG) 중 하나에 의해 암호화될 수 있으며 세 가지 가능한 종결코돈 (UAA, UAG 또는 UGA)이 있다. 따라서 이 단백질을 암호화할 수 있는 서열은 12개가 가능하다.
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA AUG-UAG-UAG-UAG-UAG
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA AUG-UAG-UAG-UAG-UAG
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA AUG-UAG-UAG-UAG-UAG
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA AUG-UAG-UAG-UAG-UAG
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA AUG-UAG-UAG-UAG-UAG
AUG-UAG-UAG-UAG-UAA AUG-UAG-UAG-UAG-UAG

요약 및 평가 14.6

- rRNA는 단백질이 tRNA에 결합하는 부위와 함께 단백질이 리보솜 구조를 만들기 위한 거푸집 역할을 한다. 원핵생물에서 rRNA는 mRNA의 5' 말단의 영역(사인-달가노 서열)에 상보적인 뉴클레오타이드 서열을 갖기 때문에 mRNA와 결합하여 번역개시를 촉진한다. rRNA는 펩타이드 결합 형성을 위한 촉매 역할을 한다.
- a. 5' 캡과 폴리 A 꼬리를 가지고 있으므로 이 mRNA는 진핵세포에서 유래한다고 할 수 있다.
b. 5' 캡과 폴리 A 꼬리(AAUAAA 폴리아데닐화 서열 이후에 나타나는데 DNA에서 암호화되지 않는다. 따라서 3'-AGCTAGTACGGGCCCAATTCTATAAAATTTATCTTATTT-5'.
c. 번역은 첫 AUG에 시작하여 종결코돈에 도달하면 끝난다. 따라서 mRNA 서열은 처음부터 끝까지 AUG-CCC-GGG-UUA-AGA-UAU-UUU-AAA-UAG이다. 폴리펩타이드는 Met-Pro-Gly-Leu-Arg-Tyr-Phe-Lys이다.
- 이 잘못 장전된 tRNA는 단일 폴리펩타이드에서 세틴 아미노산이 아르자닌으로 바뀌게 한다. 아르자닌은 분자 크기가 더 크고 전하를 띠므로 변이가 발생하는 위치에 따라 단일 폴리펩타이드의 기능을 변경할 수 있다. 다른 폴리펩타이드는 영향을 받지 않는다.

요약 및 평가 14.7

- 신호서열은 인식 분자 및/또는 세포 내 특정 목적지와 관련된 수용체에 결합하는 단백질 내의 한 구획으로 번역된다.
- 단백질의 특정 위치에 있는 특정 아미노산에 대해 번역 후 변형이 일어난다. 위치는 단백질의 3차원 모양에 의해 결정되며, 변형을 위한 효소가 그 위치의 아미노산에 결합하게 된다. 그래서 전반적으로 단백질의 아미노산 서열은 어느 아미노산이 번역 후 변형될지를 결정하고, 아미노산 서열은 유전암호와 유전자에 대한 DNA 서열에 의해 결정된다.

그림 질문

그림 14.3 그렇다. 말단소체복원효소는 RNA 주형을 사용하여 DNA를 합성하는 효소로 역전사의 예이다 (그림 13.18 참고).

그림 14.4 원핵세포는 핵이 없으므로 전사와 번역은 공간적으로 분리되지 않는다.

그림 14.6 RNA 합성과 DNA 복제는 DNA에 결합하는 중합효소가 필요하다. DNA의 염기가 드러나기 위해서는 DNA의 이중나선이 풀려야 한다. 새로이 합성되는 중합체는 주형가닥에 상보적이다. 길이가 뉴클레오사이드 3인산이다.

그림 14.14 리보솜의 분자를 함께 묶는 화학적 힘은 수소결합, 이온결합 및 소수성 상호작용을 포함한다. 이들은 열이나 세제로 인해 파괴될 수 있다.

그림 14.17 종결코돈이 없다면, mRNA의 말단에 종결코돈 위치를 지나서 더 많은 클레오타이드가 있어서 번역은 계속된다. 단백질은 리보솜에서 적절하게 방출되지 않는다.

그림 14.19 보내질 '주소'가 없는 단백질은 세포질에 머물러 있다.

그림 질문, 1 유전자, 1 효소

- 34105: 유전자 a 33442: 유전자 b 36703: 유전자 c.
- 돌연변이 균주는 약간의 잔류 효소 활성을 가지며, 어느 정도 생장할 수 있다.
- 아르자닌은 단백질에 존재하는 20개의 아미노산 중 하나이다(표 3.2 참고). 이 세 가지 균주는 아르자닌을 만들 수 없지만 다른 아미노산은 만들 수 있다. 아르자닌이 아닌 아미노산을 보충하면 단백질을 합성할 수 없다.

그림 질문, 유전암호의 해독

- 폴리 U mRNA가 없음: 리보솜이 합성에 사용할 mRNA 주형이 없으므로 어떠한 폴리펩타이드도 만들 수 없다.
리보솜이 있음: 폴리펩타이드 합성은 리보솜에서 발생하므로 리보솜이 없으면 합성도 없다.
ATP가 없음: 폴리펩타이드 합성은 에너지가 필요하다(자유에너지 증가). 세포에서 자유에너지 증가 반응을 수행하려면 자유에너지 감소반응과 연계되어야 하며, 이 자유에너지 감소반응은 대부분 ATP의 가수분해이다. ATP가 없으면 폴리펩타이드 합성에 필요한 에너지를 공급할 수 없으므로 폴리펩타이드는 만들어지지 않는다.
RNase 추가됨: mRNA가 파괴된다. 위에서 언급한 폴리 U mRNA가 없음 참고.
DNase 추가됨: DNA는 폴리펩타이드 합성에 관여하지 않으므로 폴리펩타이드 합성을 위한 모든 성분은 존재한다.
방사성 페닐알라닌 빼고 아미노산이 없는 완전한 합성 시스템: 폴리 U에 암호화된 폴리펩타이드에 포함될 아미노산은 페닐알라닌이다.
- 이 결과는 RNA(poly U)가 단백질 합성에 필수적이었음을 보여준다. 왜냐하면, 이것이 없으면 단백질 합성이 일어나지 않는다. 즉, RNA 합성에 필수적이었다.
- 유전암호(그림 14.11 참고)에 따르면, UUU는 페닐알라닌의 코돈이다. 다른 아미노산은 폴리 U 실험에서 단백질에 첨가되지 않았다. UUU 코돈만이 존재했기 때문이다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 14.1

- 모델생물은 기르기 쉽고, 세대 기간이 짧고, 유전적으로 조작하기 쉬우며, 많은 수의 자손을 갖는다.
- PKU 개인은 페닐알라닌 수치가 비교적 높고 (효소 결함으로 인해서 페닐알라닌이 축적되므로) 타이로신 수치가 낮다(타이로신이 효소 결함으로 인해 생기지 않으므로). 타이로신을 생성하지 못한다고 하더라도 식사를 통해 아미노산을 얻을 수 있으므로 사람에게 치명적이지 않다.

핵심개념 14.2

- mRNA는 단백질 서열 정보를 전달하고, rRNA는 단백질을 합성하는 리보솜의 구성 요소이며, tRNA는 mRNA와 단백질 사이의 매개체이다.
- 말단소체복원효소는 역전사효소로, 중심원리(DNA에서 RNA로)에 비해 정보가 역방향(RNA에서 DNA로)으로 전달되도록 한다.

핵심개념 14.3

- RNA 중합효소는 단일가닥 DNA 주형을 사용하여 상보적 RNA를 합성한다. 사용되는 라이보뉴클레오사이드는 염기 A, U, G 또는 C를 갖는 삼인산이다.
- RNA 중합효소는 합성을 시작하기 위한 프라임어가 필요하지 않다. RNA 중합효소는 DNA가 아닌 RNA를 합성하며 교정기능을 가지지 않는다.

핵심개념 14.4

- 그 인트론은 성숙한 mRNA에 남아 번역될 것이고, 번역 결과로 매우 다른 아미노산 서열을 가진 단백질이 될 것이며, 이 단백질은 대부분 기능이 없을 것이다.
- 캡이 없는 mRNA는 아마도 핵 밖으로 수송되지 않을 것이다. 수송되었다 하더라도 리보솜에서 인식하지 못한다. 두 경우 모두 번역이 되지 않으며 이 mRNA는 이후 분해된다.
- 진핵생물의 유전자는 인트론을 가지고 있는데, 이는 전사된 후 짜깁기 과정에서 제거되는 부위이다. 따라서 이러한 인트론 서열은 DNA에는 존재하지만, 세포질 mRNA에는 존재하지 않으므로 혼성화가 불가능하다. 대조적으로 엑손은 성숙 mRNA에 존재하므로 mRNA를 전사하는 유전자 DNA의 주형가닥과 혼성화된다.

핵심개념 14.5

- 번역은 AUG에서 시작하여 UGA 종결코돈에서 끝난다. 단백질은 메싸이오닌-페닐알라닌-글루타민-아르자닌-글리신일 것이다.
- 센스코돈은 아미노산 정보를 암호화한다. 종결코돈은 아미노산 정보를 암호화하지 않고 번역을 끝내는 코돈이다.

핵심개념 14.6

- 세포에는 수많은 tRNA가 있는데 이 tRNA는 각각 특정 아미노산을 운반하며 특정 안티코돈 서열을 갖는다. 이러한 tRNA 분자는 하나 이상의 코돈과 특이적으로 쌍을 이루어 적절한 아미노산을 가져온다.
- 2개의 소단위체는 번역 시작 후 결합한다. 리보솜이 번역에 참여하지 않으면 큰 그리고 작은 소단위체로 따로 존재한다.
- 아니다. 리보솜은 mRNA의 5' 말단 근처에 있는 AUG 코돈에서 번역을 시작한다.

핵심개념 14.7

- 신호서열을 제거하면 폴리펩타이드가 보내지는 세포내 위치가 변경되며, 번역 후 처리되는 방식도 변경될 수 있다.
- 번역은 항상 AUG 시작 코돈에서 시작하므로 모든 폴리펩타이드의 아미노 말단은 아미노산 메싸이오닌으로 시작한다. 번역 후 단백질 분해 작용이 일어나 아미노 말단에서 하나 이상의 아미노산을 제거하여 메싸이오닌을 제거할 수 있다.

15장

요약 및 평가 15.1

- 침묵돌연변이는 암호화된 아미노산을 변경하지 않고 코돈을 변경한다(예: CAA → CAG, 둘 다 글루타민을 암호화 함). 과오돌연변이는 아미노산을 바꾼다(예: CAA → CAU, 글루타민 → 히스티딘). 정지돌연변이는 더는 아미노산을 암호화하지 않도록 코돈을 변경한다(예: CAA → UAA, 글루타민 → 중지). 틀이돌연변이는 mRNA 뉴클레오타이드의 추가 또는 제거를 유발함으로 변이가 일어난 지점의 코돈과 이후의 코돈을 바꾸어 아미노산 서열과 생성되는 단백질의 길이를 변경한다.
- 그림 15.5를 참고하라. 결실로 인해 염색체의 일부가 상실된다. 중복이란 염색체 한 부분의 사본 또는 여러 사본이 추가로 생기는 것이다. 역위에서는 염색체 영역은 순차적이지 않고 뒤집힌다. 전좌에서는 1개의 염색체 조각이 끊어져 다른 염색체에 붙는다.
- 자연발생적인 돌연변이는 그것을 일으키는 외부 요인 없이 발생한다. 예: A의 호변이성질체 이동(tautomeric shift)으로 DNA 복제 시 A 염기가 T가 아니라 C와 결합하여 A-C 불일치가 발생한다. 이후 이어지는 복제 단계에서 A-T가 G-C로 바뀌는 돌연변이가 나타날 수 있다.
유도된 돌연변이에서는 환경인자가 DNA를 변화시킨다. 예: 아질산은 C에서 U로 탈아민화시키므로 U-G 불일치를 생성하여 수리되지 않으면 원래 C-G 염기 쌍 대신 DNA 복제(T-A로 수선될 가능성이 큼) 후 U-A 염기쌍을 생성합니다.
- C-G 염기쌍의 C는 인간을 포함한 많은 생물에서 5-메틸사이토신으로 메틸화될 수 있다. 자발적으로 또는 돌연변이 유발원에 의해 탈아미노화되면 5-메틸사이토신은 T가 된다. 이로 인해 T-G 불일치가 발생하지만, 이들은 정상적인 염기이며 DNA 수선으로 제거되지 않는다. 메틸화되지 않은 C가 탈아미노화되면 U-G 불일치를 형성하는데, U는 DNA에 없는 염기이므로 U가 부적절하다는 것을 인식하는 DNA 수선으로 복구된다. 따라서 메틸화된 C-G 염기쌍은 메틸화되지 않은 C-G 염기쌍보다 더 높은 돌연변이율을 갖는다.

요약 및 평가 15.2

1. a. 돌연변이 대립유전자에 의해 생성된 아미노산 서열은 Leu-Ile-Ser-Ile-Ala이다. 이것은 과오돌연변이다.
b. 돌연변이가 프롤린을 세린으로 대체한다. 프롤린(Proline)은 비극성 아미노산으로서 대개 단백질의 굴곡이나 루프의 일부를 이룬다. 세린은 극성 아미노산이며 적은 잔기를 가진다. 이 돌연변이는 단백질 구조에 영향을 줄 수 있어서 효소 활동에 영향을 줄 수 있다.
2. 단순히 특정 유전자 돌연변이를 갖는 것만으로는 암으로 이어지지 않는다. 한 세포에 한 대립유전자가 돌연변이 되는 것만으로는 문제를 일으키기에 불충분하고 다른(좋은) 대립유전자에도 돌연변이가 일어나서 결함이 생겨야 한다. 돌연변이는 일부 개인의 특정 세포에서 발생할 수 있지만 다른 개인에서는 생기지 않는 아주 드문 확률적 사건이다. 이외에도 유방암 발병에 관여할 수 있는 다른 유전적 및 환경적 요인이 있다. 예를 들어, DNA 수선에 관여하는 유전자는 BRCA 돌연변이에 의해 상실된 기능을 대신할 수 있는데 어떤 사람은 이런 유전자에 돌연변이가 생길 수 있다.
3. 이 증상은 FMR1 유전자의 프로모터 부위에 CGC 서열의 반복이 많은 경우, 그리고 이것이 이 유전자 발현을 저해할 때만 일어난다. 가족 구성원은 돌연변이를 가지고 있지만, 증상이 보이지 않을 수 있다. 그 이유는 돌연변이에는 서열 반복 수가 적기 때문이다.

요약 및 평가 15.3

1. 특정 6 염기쌍의 DNA 염기서열은 (1/4)⁶ = 1/4,096 확률로 발생할 것이다. 그러므로 이 염기서열은 약 4,096 염기쌍마다 한 번씩 나타날 것이며, 이는 100,000 염기쌍 길이의 분자에서 24~25개의 제한 부위를 의미한다.
2. 낭성섬유증 유전자의 직접적 DNA 염기서열 분석은 먼저 PCR을 사용하여 돌연변이가 발생하는 영역을 증폭한 후 가능하다. 보인자인 사람은 정상 대립유전자와 돌연변이 대립유전자 모두를 가지고 있다.
3. 질병유발 돌연변이 지도작성은 연관분석을 통해 이루어질 수 있다. STR과 같은 유전적 다형성 DNA 표지는 많은 환자에서 질병의 발생과 연관될 수 있다. 이것은 유전적 다형성 표지가 돌연변이 유발 유전자 근처에 위치해야 한다는 것을 의미한다. DNA 염기서열 분석은 관련된 유전자를 분리하게 할 수도 있다. DNA 재조합 기술로 인해 유전자에 의해 암호화된 단백질을 분리할 수 있고 그 단백질 기능을 알아낼 수 있다. 그러므로 이른바 유전자형이 표현형을 앞서간다고 할 수 있는 것이다.

요약 및 평가 15.4

1. DNA 분석은 개인의 생애주기 중 어떤 시간대에서도 그리고 어떤 조직에서도 수행할 수 있다. 또한, 이형 접합자가 언제든 검출될 수 있다. 하지만 효소 활성에 의한 표현형 분석은 생애주기의 특정 시간과 채취 가능한 조직에서의 유전자 발현이 있어야 한다. 그러므로 많은 경우 이형접합자는 검출되지 못한다.
2. 환자의 DNA는 돌연변이 β-글로빈 유전자의 서열과 혼성화되는지를 검사할 수 있다. 만약 혼성화된다면, 이것은 환자가 돌연변이를 가지고 있음을 의미하고, 이것을 확인하기 위해서 추가로 환자의 DNA 염기서열 분석을 수행해야 할 필요는 없다.

요약 및 평가 15.5

1. 대사 억제제는 암세포에서 중요한 화학적 변형을 차단한다. 억제제는 유해물질의 세포내 축적을 저해하거나 유해물질의 암특이적 변이를 차단할 수 있다.
2. 생체 내(in vivo) 유전자 요법은 유전병이나 다른 질병을 앓는 사람의 조직에 돌연변이 되었거나 비정상적으로 발현되는 유전자 대신 정상 유전자를 삽입한다. 일반적으로 유전자를 전달하기 위해 바이러스가 사용되며 DNA는 숙주 염색체에 삽입되거나 세포핵 밖에 머물러 있다. 예를 들어, 파킨슨병에서 신경전달물질 결핍이 있는 환자의 뇌에 글루탐산탈카복실화효소의 유전자를 추가하는 것이다(그림 15.21 참고).
3. a. PKU를 일으키는 돌연변이는 사람 집단에서는 드물다. 대부분 사람은 유해 대립유전자를 가지고 있지 않으며, 이 경우 가장 큰 확률은 아빠가 정상 유전자의 동형접합자이다. 엄마는 PKU 돌연변이 동형접합자이므로, 발생 중인 태아는 이형접합자이다.
b. 높은 수준의 페닐알라닌은 뇌 손상을 일으킨다. 엄마의 혈중 페닐알라닌 수치가 너무 높으면 아가는 뇌 손상을 입은 채로 태어날 것이다.
c. 아저는 페닐알라닌을 섭취를 제한하는 식이요법을 해야 한다.

그림 질문

그림 15.1 표현형으로 나타나지 않는 돌연변이가 가장 흔하다. 이는 유전암호가 중복되어 있고(즉, 많은 돌연변이가 번역된 아미노산을 변화시키지 않고) 많은 아미노산이 단백질 활성에 필수적이지는(예를 들어, 활성 부위에 영향을 주지 않음) 않기 때문이다. 또한, 진핵생물에서 많은 염기쌍이 인트론을 암호화하고 mRNA 처리 중에 짜깁기되는데 인트론의 돌연변이는 (정확한 짜깁기에 필요한 공통서열이 변이되지 않은 경우) 단백질에 영향을 주지 않는다.

그림 15.5 염색체돌연변이는 각 염색체에 특이적인 염료를 가지고 분열하는 세포를 염색해서 검출할 수 있다. 염색된 염색체를 동정할 수 있으며, 없어진 조각이나 다른 자리로 옮겨진 조각을 검출할 수 있다. 역위는 밴드검사라 불리는 특별한 방법으로 검출할 수 있는데, 이것은 염색체상에서 염료 색상 대신 밴드 패턴을 생성한다. 이 경우 밴드에서 역위가 보인다.

그림 15.11 각각 20개의 반복이 있는 상동염색체가 잘못 정렬되어 8번 반복과 12번 반복 사이에서 교차가 일어나면 한 염색체는 16개의 반복을 가지게 되고 (4개의 반복이 감소), 다른 하나는 24개의 반복(4개의 반복이 증가)을 가지게 된다.

그림 15.16 유전자 ID의 장점은 개인의 질병에 대한 성향을 예측해서 질병을 예방할 수 있으며 사고나 전쟁 또는 범죄 현상(이것은 군대와 교도소에서 이미 행해짐)에서 신원을 확인하는 것이다. 단점은 잘못 사용하면 개인의 사생활이 침해받을 수 있다는 것이다. 유전자 표지는 반드시 예측성이 있는 것이 아니므로 신

중하게 사용해야 한다. 환경적 요소가 종종 질병 발생에서도 중요한 역할을 한다. 미국 연방법은 보험 및 고용을 신청하는 사람들을 차별하기 위해 유전자 자료를 사용하는 것을 금지하고 있지만, 유전자 자료가 이러한 분야 및 다른 분야의 의사 결정권자들이 결정할 때에 영향을 미칠 수 있다는 우려가 있다.

그림 15.17 아니다. 질병 유전자가 항상 SNP에 연관되는 경우이다. 그러나 질병 대립유전자와 관련된 대립유전자는 과거에 발생한 교차가 일어나 있는가에 따라 달라질 수 있다. 따라서 다른 가족은 질병을 일으키는 대립유전자와 관련된 A 대립유전자를 가질 수 있다.

그림 질문, BRCA1 유전자는 어떻게 확인되었나?

1. 세 가계에서 환자 연령의 2/3가 되는 지점에서 유방암이 발생했으므로 유방암은 유전적인 것으로 보인다.
2. 세 가지 돌연변이 모두 유방암 환자에게서만 나타났다. 가계 A와 B에서 두 점 돌연변이가 일어나서 BRCA1 단백질의 각 경우에 정상과 다른 아미노산이 나타나 단백질의 기능이 소실되었다. 가계 C에서는, 11 염기쌍의 결실이 있었고, 이로 인해 틀리돌연변이가 발생하여 그 돌연변이 이후의 코돈은 잘못 읽혔다. 이것은 아미노산 서열이 심각하게 변하게 하고 기능이 없는 BRCA1 단백질이 생기게 하였다.
3. BRCA1은 유방, 난소 및 흉선 조직 그리고 정소에서 활성이 있고 다른 조직에서는 없다. 따라서 돌연변이는 BRCA1이 정상적으로 발현되는 조직에 영향을 미칠 것으로 예상된다. BRCA1은 DNA 수선에 관여하기 때문에 이 네 조직 모두 수선이 잘 이루어지지 않아 암을 유발할 수 있는 추가적인 돌연변이가 발생한다. (최근 연구에 따르면, 정소에서 BRCA1의 발현은 감수분열 중에 나타나므로 고환암을 증가시킬 것으로 예상하지 않고 단지 정자만 영향을 받을 것으로 보인다.)

눈에 보이는 요약

핵심개념 15.1

1. 돌연변이 1: RNA에서 U → A는 DNA에서 T-A → A-T 변이를 나타낸다. UCU는 세린을 암호화하고 ACA는 트레오닌을 암호화하여 이 변이는 과오돌연변이다
돌연변이 2: RNA의 C → U는 DNA의 C-G → T-A 전환을 나타낸다. UCC와 UCU는 모두 세린을 암호화하여 이 변이는 침묵돌연변이를 나타낸다.
돌연변이 3: RNA의 A → G는 DNA의 A-T → G-C 전환을 나타낸다. UGA는 종결코돈이고 UGG는 트립토판을 암호화하여 이 변이는 정지손실돌연변이다.
돌연변이 4: RNA의 G → A는 DNA의 G-C → A-T 전환을 나타낸다. UGG는 트립토판을 암호화하고 UGA는 종결코돈으로 이 변이는 정지돌연변이를 나타낸다.
돌연변이 5: RNA의 C → G는 DNA의 C-G → G-C 전환을 나타낸다. GGC와 GGG는 모두 글라이신을 암호화하여 이 변이는 침묵돌연변이를 나타낸다.
2. 세포 1: 염색체 1에서 영역 D-E-F의 역위
세포 2: 영역 A-B-C 및 X가 교환 된 두 염색체 사이의 상호전좌
세포 3: 염색체 1에서 D-E 영역의 결실.

핵심개념 15.2

1. 모든 과오돌연변이는 폴리펩타이드의 1차 구조에서 단일 아미노산 변화를 일으킨다. 한 아미노산이 유사한 화학적 특성을 가진 다른 아미노산으로 치환되면 질병 표현형을 유발할 가능성은 적다. 유사하게, 기능에 영향을 미치지 않는 폴리펩타이드 영역에 변이가 생기면 질병 표현형이 나타날 가능성이 적다.
2. 유방세포에 BRCA1의 돌연변이 된 사본이 2개 있으면 돌연변이 속도가 증가하여 세포가 암이 될 가능성이 커진다. 어떤 가족에는 한 세대에서 다음 세대로 전달되는 BRCA1 돌연변이가 있다. 이 가족에서 돌연변이 대립유전자를 가진 개체는 이형접합자이며 신체의 모든 세포에는 하나의 돌연변이 BRCA1 대립유전자가 있다. 이러한 개인의 유방세포에서는 정상적인 BRCA1 대립유전자에서 단 하나의 돌연변이만 생길 수도 기능이 없는 BRCA1 단백질이 만들어진다. 다른 가족에서는 두 BRCA1 대립유전자가 모두 정상이며 모두 활성이 있는 단백질을 생산하므로 2개의 돌연변이가 두 대립유전자에 모두 생겨야 암이 발생한다.
3. 반복되는 서열은 한 세대에서 다음 세대로 전달됨에 따라 반복 수가 증가할 수 있다. 반복되는 수가 증가함에 따라 특정 대립유전자는 질병 표현형으로 나타날 가능성이 더 커진다.

핵심개념 15.3

1. a. 원래 증폭된 DNA 분자에는 제한효소자리가 하나있다.
b. 이 DNA 분자에는 EcoRI 제한효소자리가 없으므로 PCR 산물은 절단되지 않은 상태로 남아있다.
c. 이 사람은 이형접합자이다. 하나의 상동체(homolog)에는 EcoRI 제한효소자리가 하나 있고 다른 하나는 없다. 따라서 제한효소 절단으로 DNA는 세 조각이 생긴다. 효소자리가 없는 10,000 염기쌍 조각과 효소자리가 하나인 DNA에서 유래한 3,000 염기쌍 조각과 7,000 염기쌍 조각이다.
2. 아니다. 처음 두 유전자자리는 이 남자가 아버지라는 가정과 일치하지만, 세 번째 유전자자리(VWA)는 일치하지 않는다. 아기가 아버지로부터 16회 반복되는 대립유전자를 얻어야 하는데 이 남자는 이 대립유전자가 없다.

핵심개념 15.4

1. 표현형 분석은 대부분 수행하기에 매우 간단하며 비용도 저렴하다. 그러나 열성 질환의 경우 이형접합자와 동형접합자 사이에 표현형 차이가 없는 경우가 많다. 이럴 때 유전자형 검사가 필요하다.
2. 돌연변이 DNA 서열에 대한 혼성화가 없다면 돌연변이 대립유전자가 없는 개체로 해석된다. 그러나 어떤 기술적인 문제로 실험이 잘 안 되면 혼성화가 감지되지 않는다. 따라서 정상과 돌연변이 두 대립유전자를 모두 포함함으로써 혼성화 실험의 긍정적 증거를 이용하여 유전자형을 결정할 수 있다.

핵심개념 15.5

1. 인슐린(세균과 효모에서 합성됨)을 주사하여 제1형 당뇨병을 치료할 수 있다. 이 방법은 인슐린을 만들지만, 인슐린에 잘 반응하지 않는 제2형 당뇨병 환자에는 효과가 없다.
2. 유전자 치료의 주요 장애물은 표적 조직으로의 전달이다. 골수는 개인에게서 뺄고 체외에서 배양할 수 있다. 배양하는 동안 유전자 치료법을 사용하여 유전자를 교정한 다음, 이 골수 세포를 다시 몸에 넣을 수 있다. 이러한 방법은 대부분 조직에서 가능하지 않다.

16장

요약 및 평가 16.1

1. 세포는 X 분해효소 유전자의 전사를 감소시키고, X 분해효소 mRNA를 가수분해하고, X 분해효소 RNA 번역을 방지하고, X 분해효소 단백질을 가수분해하거나, X 분해효소 단백질을 억제할 수 있다.
2. 포도당이 없으면 cAMP-CRP 복합체는 항상 프로모터에 결합한다. 젓당이 존재하면 억제자는 작동자에 결합할 수 없으므로 프로모터가 노출되고 RNA 중합효소가 결합하여 전사를 시작한다. 젓당이 없는 경우, 프로모터는 억제자에 의해 점유되고 전사가 일어나지 않는다.
3. 특정 시그마인자는 RNA 중합효소가 특정 프로모터의 인식서열에 결합하도록 유도한다. 관련 기능을 갖는 유전자의 여러 프로모터(예: 열충격반응)가 같은 인식서열을 갖는다면, 이들 유전자의 전사는 (특히 시그마인자가 존재할 때) 같은 시간과 속도로 일어날 것이다.
4. 조절 유전자(억제자)가 더 결합할 수 없는 경우, 포도당이 없어도 젓당(알로락토스) 수준과 관계없이 lac 오페론이 전사된다.

요약 및 평가 16.2

1. 일반전사인자는 프로모터와 RNA 중합효소에 결합하여서 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하여 전사를 개시할 수 있게 한다. 그리고 DNA를 국부적으로 변형시켜 주형기둥이 RNA 합성 중에 염기쌍을 형성할 수 있도록 한다. 특수전사인자는 인식서열을 갖는 특정 프로모터 또는 프로모터에 결합한다. 다른 전사인자는 실제 프로모터에게서 멀리 떨어져 DNA를 유도하는 증폭자 서열에 결합한다. 그리고 DNA를 구부려서 유전자 전사를 개시를 위한 나머지 분자를 끌어당긴다.
2. 전사인자와 같은 단백질은 DNA 이중나선 구조모티프에 적절하게 잘 끼어들어 가며, 아미노산은 내부의 염기와 수소결합을 형성할 수 있다. 아미노산(단백질)과 염기(DNA)의 염기서열은 특이적이므로 특정 단백질만 특정 DNA 서열에 결합한다.
3. 환경 또는 세포 내 신호에 반응하여 특수전사인자가 핵에서 만들어지거나 핵 안으로 이동하여 표적 유전자의 프로모터에서 DNA의 인식서열에 결합한다. 이 결합은 전사를 위한 개시 복합체를 끌어당기므로 여러 유전자가 활성화된다. 이것은 원핵생물에서 같은 시그마인자에 의해 조절되는 유전자 군과 유사하다. 원핵생물은 이외에도 또한 오페론을 가지고 있어 유전자를 공동으로 조절한다.

요약 및 평가 16.3

1. 감염 시 초기 유전자는 숙주 RNA 중합효소에 의해 전사되어야 한다. 숙주와 유사한 프로모터를 가짐으로써 초기 유전자 오페론은 숙주 RNA 중합효소에 결합하여 전사된다.
2. 바이러스 시그마인자는 숙주 RNA 중합효소와 후기 유전자 오페론의 프로모터에 결합할 가능성이 높다. 따라서 숙주 RNA 중합효소를 바이러스 전사에 특이적으로 만든다.
3. HIV 감염, cDNA 형성 및 유전체 삽입은 정상적으로 일어난다. 바이러스 유전자가 발현되고 카디란 전구체 단백질이 만들어진다. 그러나 단백질분해효소에 의한 번역 후 가공과정이 없어 HIV 입자는 세포에서 포장되거나 방출되지 않는다.

요약 및 평가 16.4

1. 히스톤 단백질은 양전하를 띠며 DNA에 결합하여 일반적으로 전사를 차단한다. 히스톤의 아세틸화는 양전하를 중화시켜 히스톤이 DNA에 단단히 결합하지 않게 함으로써 전사를 위한 염색질 구조가 열린다. 대조적으로, 히스톤 탈아세틸화는 아세틸기를 제거하고 히스톤에 양전하가 드러나게 함으로써 전사가 억제된다.
2. 도입 부분 이야기와 생명탐구: 유전자 발현과 행동(350쪽)을 참고하라. 행동에 대한 환경요인은 뇌 조직의 유전자 프로모터에서 DNA 메틸화를 증가시킴으로써 후성유전적으로 DNA를 변화시켜서 유전자 전사 속도를 바꾼다. 이것은 애벌레가 알바이 될지 또는 여왕벌이 될지를 결정하여 행동의 변화를 가져온다.
3. X 염색체 불활성화가 그림 16.20에 제시되어 있다. X 염색체상의 *Xist* 유전자는 전사되어 나머지 X 염색체에 결합하는 짧은 RNA를 만들고 다른 염색체의 전사를 억제한다. 염색체 단백질은 불활성 X 염색체에 결합하여 이질염색질을 형성하고 유전자 발현을 억제한다. X 염색체 불활성화는 남성(XY)과 여성(XX) 사이의 X 염색체와 연관된 유전자량의 보정을 위해 발생한다. 왜냐하면, Y 염색체는 보통 X-연관 유전자를 포함하지 않기 때문이다.
4. 여러분은 직장암 세포의 관련 유전자 서열을 결정하고 비정상적인 기능을 하는 돌연변이를 찾을 수 있다. 그런 다음 관련 단백질을 분리하고 그 기능이 실제로 비정상임을 결정할 수 있다. 후성유전적 침묵이 있음을 알기 위해서는 유전자의 프로모터 서열을 결정하고 이 후성유전적 변화(예: 전사 침묵이 있을 때 사이토신 메틸화가 증가하였는지)를 찾는다. 그리고서 중앙세포를 검사하여 활성 단백질이 존재하지만, 소량인지 여부를 확인할 수 있다.

요약 및 평가 16.5

1. miRNA와 siRNA는 표적 mRNA와 염기쌍을 이루어 결합하여 번역을 억제하거나 mRNA 분해를 일으켜 mRNA에 의해 번역되는 단백질 수준을 낮춘다.

2. mRNA는 상보적인 염기의 수소결합 때문에 스스로 접해서 고리 구조를 형성할 수 있다. 이러한 구조는 리보솜에서 번역을 억제하는 단백질에 결합할 수 있다.
3. 프로테아솜은 유비퀴틴이 결합된 단백질과 결합하여 단백질 분해를 일으킨다. 프로테아솜 내에는 표적단백질을 가수분해하는 단백질분해효소가 있다.
4. 평균적으로, 사람 유전자는 선택적 짜깁기로 적어도 4개의 서로 다른 mRNA를 형성할 수 있다. 이들 각각의 mRNA는 독특한 단백질로 번역되고 서로 다른 단백질의 수는 단백질 암호화 유전자의 수보다 훨씬 많다.
5. 활성화된 발암유전자를 표적으로 하는 miRNA는 표적 mRNA의 번역을 차단하여 세포분열을 자극하는 단백질로 번역되지 않도록 한다.

그림 질문

- 그림 16.1** 그렇다. 프로모터 영역에는 다수의 조절단백질 결합부위가 존재할 수 있다.
- 그림 16.2** β-갈락토스 가수분해효소의 수준은 유도자를 제거하여도 즉시 떨어지지 않는 데 이는 단백질이 mRNA보다 세포에서 훨씬 더 안정하여 잘 분해되지 않고 오래가기 때문이다.
- 그림 16.5** 작동자가 억제자에 결합하여 있지 않다는 사실은 젓당(알로락토스)이 존재한다는 것을 의미한다.
- 그림 16.8** 핵이 있음으로써 얻는 이점은 전사와 번역을 구분할 수 있다는 것이다. 이런 구분은 유전자 발현을 여러 지점에서 조절할 수 있게 한다. 또한, 핵은 세포질의 핵산가수분해효소로부터 보호되는데, 이 효소는 mRNA를 가수분해하여 세포 내 수명을 단축시킬 수 있다.
- 그림 16.14** 모든 초기 유전자는 단일 오페론에 있으므로 공동으로 발현된다. 후기 유전자도 마찬가지로이다.
- 그림 16.16** 용원(lysogeny)이란 일정 기간 바이러스 유전체가 숙주세포의 유전체에 통합되는 것을 지칭하는 용어로, 파지 유전체는 자손 파지의 생성 없이 숙주의 염색체와 함께 복제된다. 이 용어는 HIV와 같은 진핵생물 바이러스에 사용되지 않지만, HIV는 유전체를 cDNA로 만든 후 숙주 유전체에 통합하므로 용원성(lysogenic)이라고 부를 수 있다.
- 그림 16.17** 그림 15.7에서 볼 수 있듯이 5-메틸사이토신은 돌연변이 다발지점이다. DNA 메틸화효소는 CpG 부위에서 사이토신을 메틸화하므로 CpG 부위의 사이토신은 다른 염기에 인접한 사이토신보다 돌연변이율이 더 높을 것으로 예상된다.
- 그림 16.21** 4개의 인트론이 존재한다는 것은 5개의 엑손이 있음을 의미한다. 첫 번째와 마지막 엑손(엑손 1과 5)이 성숙한 mRNA에 남아 있어야 하는 경우, 8개의 다른 단백질을 얻을 수 있다(엑손 12345, 1235, 1245, 1345, 125, 145, 135 또는 15를 포함).

그림 질문, 유전자 발현과 행동

1. a. 벌의 머리에서 mRNA가 측정된 이유는 적어도 두 가지이다. 벌이 알바이 될지 아니면 여왕벌이 될지를 결정하는 것은 뇌에서의 유전자 발현이 중요할 것으로 추정되므로 벌의 머리에서 mRNA를 측정하였다. 또 한 가지는 측정하는 데 편차가 적다는 기술적인 이유가 있다.
 - b. DNMT mRNA의 억제 수준은 48시간 후 약 60%였다. 이 수준은 억제가 이루어지기는 하지만 완전히 이루어지는 것은 아니다. 따라서 일부 DNMT mRNA가 남아있을 가능성이 있다.
2. DNMT mRNA의 억제로 인한 DNA 메틸화의 감소는 약 20%였다. 따라서 일부 5-메틸사이토신이 남아 있다.
3. 대조군에서 유충의 약 23%가 여왕벌과 비슷한 벌로 발생했지만, 여왕벌은 생기지 않았다. 그러나 DNA 메틸화를 감소시킨 유충에서는 약 72%가 여왕으로 발생했다. 이는 DNMT mRNA가 60%만 감소하고 DNA 메틸화가 20%만 감소한 점을 감안할 때 놀라운 변화이다. 메틸화에 대한 임계치가 있으며, 그 임계치 이상에서 유전자 발현이 충분히 감소하면서 여왕벌 발생이 시작되는 것으로 보인다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 16.1

1. 억제자는 늘 작동자에 결합하여 있으므로 젓당이 존재하더라도 lac 오페론은 항상 꺼져 있다.
2. 공동억제자가 없으면 억제자는 작동자에 결합할 수 없으므로 트립토판 수준이 높은 경우에도 오페론은 계속 켜져 있다.
3. 시그마-70이 더는 RNA 중합효소와 결합할 수 없으므로 많은 수의 항존유전자가 더는 발현되지 않으므로 세포는 결국 죽을 것이다.

핵심개념 16.2

1. 일반전사인자를 녹아웃(적중)하면 모든 단백질 암호화 유전자에서 전사가 시작되지 않아 세포는 죽고 만다. 특수전사인자를 녹아웃하면 하나 또는 몇 개의 단백질 암호화 유전자에서 전사 조절 작용이 달라진다. 세포에 미치는 영향은 제거된 유전자가 무엇인지에 달려 있다.
2. 어떤 유전자의 조절부위에서 일반전사인자에 대한 결합 부위를 녹아웃(적중)하면 그 유전자의 전사가 일어나지 않는다. 특수전사인자에 대한 결합 부위를 제거하면 그 부위가 증폭자인지 또는 침묵자인지 따라 유전자의 전사가 감소하거나 증가한다. 특수전사인자는 멀리서도 작용할 수 있으므로 동일 DNA 분자에 있는 다른 유전자의 전사에도 영향을 미칠 수 있다.
3. 기초전사기구가 여전히 프로모터에서 만들어질 것이기 때문에 유전자는 기본 수준에서 발현될 수 있을 것이다. 그러나 특수전사인자가 더는 단백질을 암호화하는 유전자에서 전사 조절 작용을 할 수 없으므로 결국 세포가 죽을 가능성이 있다.

18 생명생물의 과학 12 판

4. *MyoD*의 발현을 막거나 *MyoD* 단백질이 활성화되지 않도록 유전자 변이를 시킨다. 그렇게 되면 *MyoD*는 *CDK*에 결합하지 못하므로 *G1* 단계에서 세포주기가 중단되지 않고 세포분열은 계속되며 세포분화는 일어나지 않을 것이다.

핵심개념 16.3

1. 이 세균 균주는 세포분열 시 숙주 유전체와 함께 조종히 복제되는 옹원성 박테리오파지를 보유하고 있을 가능성이 크다. 그러나 생활 조건이 바뀌어 스트레스가 심해지면, 옹원성 박테리오파지가 옹균성 주기로 진입하여 배양된 모든 박테리아 세포를 빠르게 감염시키고 죽일 수 있다.
2. 초기 유전자 산물은 숙주 시그마인자에 결합하는 단백질을 생성하므로 세균 숙주 유전자의 전사를 차단하여 이 시그마인자가 숙주 RNA 중합효소에 결합하는 것을 방지할 수 있다. 또한, 숙주 DNA가 분해되어 전사를 방지할 수 있다.
3. 숙주 단백질은 RNA의 신장을 방지하므로 바이러스 RNA의 전사가 초기에 종료되고 바이러스 유전자 전사 (또는 번역)되지 않는다.

핵심개념 16.4

1. CpG가 많이 있는 지역(CpG 섬)에서 발생하는 사이토신ان 메틸화 될 가능성이 있다. 다른 사이토신은 메틸화되지 않는다.
2. DNA 분자에서 한 가닥에 CpG 부위가 있으면 항상 반대쪽 가닥에도 다른 CpG 부위가 있다. 따라서 각 가닥에 있는 사이토신은 메틸화의 표적이다. 복제 후, 한 가닥(주형 가닥)은 메틸화 상태를 유지하고 다른(새로운) 가닥은 메틸화효소에 의한 메틸화 기질이 된다. 인식 부위가 처음에 한 가닥만 메틸화되는 경우, 메틸화의 유전적 기억이 더 복잡하다.
3. *Xist* 유전자 제거는 수컷 포유류에게 영향을 미치지 않는다. 암컷 포유류에서는 이 유전자 결실이 일어난 X 염색체의 불활성화가 일어나지 않는다. 만일 두 X 염색체에서 이 유전자 결실이 모두 일어난다면 X-연관 유전자가 모든 세포에서 완전히 발현 될 것이며, 이는 심각한 유전자 산물의 양적 문제를 일으킬 것이다. 하나의 X 염색체가 *Xist* 유전자 결실을 갖고 다른 하나가 야생형이라면, 야생형 X 염색체는 모든 세포에서 불활성화 될 것이다.

핵심개념 16.5

1. 4개 엑손을 가진 전구체 mRNA가 대체짜깁기되면 엑손 1234, 124, 134 또는 14가 만들어져서 4개의 서로 다른 mRNA 전사물이 생길 수 있다.
2. miRNA 또는 번역 조절 단백질 때문에 mRNA의 번역이 느릴 수 있다. 또는 생산된 단백질이 특히 불안정하여 빠르게 분해될 수 있다.
3. 단백질의 라이신 잔기는 유비퀴틴이 붙는 자리가 될 수 있다. 이 라이신이 그러한 부위라면 유비퀴틴화가 감소해 단백질의 수명이 연장된다.

17장

요약 및 평가 17.1

1. 부분적으로 겹쳐지는 서열 덕분에 리드들을 긴 연속적인 서열로 정렬할 수 있다. 겹쳐지는 서열을 이용하여 컴퓨터로 절편의 서열들을 배열한다.
2. 열린번역들은 프로모터 서열, 개시코돈과 종결코돈, 전사종결 서열, 인트론의 시작과 끝에 있는 인식서열 등의 존재로 확인할 수 있다. RNA 서열 자료는 단백질 암호화 유전자에 해당하는 가공된 mRNA의 서열을 줄 수 있다. 열린번역들은 단백질의 아미노산 서열(기능)을 제공한다.
3. 비교유전체학은 종내와 종간 DNA 서열을 연구하는 것이다. 서로 다른 DNA 시료에서 발견된 유사한 염기서열은 단백질의 기능(다른 생물의 기능이 알려진 단백질과 서열이 일치할 때), 유전자가 얼마나 자주 생겨나고 없어지는지, 유전자 순서가 어떻게 진화하는지, 그리고 진화적 유연관계를 밝혀내는 데 도움을 준다. 예를 들어, 개의 크기에 영향을 미치는 유전자는 개의 품종 간 비교유전체학을 통해 확인되었다.

요약 및 평가 17.2

1. 원핵생물은 작은 유전체를 가지는데, 보통 인트론이 없고 유전자 사이의 영역(높은 유전자 밀도)이 있다. 이것은 기능적으로 중요하지 않은 DNA를 복제하는 시간과 자원을 낭비하지 않는다는 것을 의미한다.
2. 전이인자는 숙주 염색체 밖으로 직접 짜깁기되어 나간 후 다른 장소로 이동하거나(잘라낸 후 붙이기), DNA 사본을 만들어 다른 장소에 끼워 넣어 원래의 전이인자를 남겨놓는다(복사 후 붙이기).
3. 면봉을 이용해서 배꼽의 미생물군계의 시료를 얻어 DNA를 추출한 다음 원핵생물의 서열을 PCR 증폭하여(따라서 이 시료 속에 풍부히 들어있는 피부세포 DNA를 증폭시키지 않음) 그 안에 존재하는 종을 동정할 수 있다. 많은 사람을 대상으로 같은 실험을 했을 때, 일부 사람이나 모든 사람이 공유하는 종들이 있고, 개인에 고유하거나 소수의 사람들이 공유하는 종들도 있다.

요약 및 평가 17.3

1. 조직을 형성하기 위한 유전자(세포-세포 신호전달, 분화, 발생)는 *C. elegans*에는 들어있지만, 효모에는 들어있지 않다.
2. 유전자군은 서투른 유전자 수선이 가능하게 한다. 유전체 내에 어떤 유전자의 사본이 둘 이상 존재한다면, 하나의 사본은 원래의 기능을 계속해서 수행할 수 있지만, 다른 사본이나 사본들은 기능을 변화시킬 수 있는 돌연변이가 일어날 수 있다. 만약 돌연변이가 유익하다면 이것은 선택될 것이다.
3. 난자세포와 같은 어떤 조직에서 대량의 단백질 합성(수정 후)이 필요하며 이를 위해서는 많은 리보솜이 필요하게 된다. rRNA 유전자의 전사율은 세포가 요구하는 총본관 리보솜을 따라가지 못하므로 rRNA 유전자의 사본이 많이 존재한다.

4. 서로 다른 환경에 4종류의 식물이 있다. 예를 들어, 옥수수에는 비보다 건조하고 추운 지역에서 자란다. 기본적인 식물 유전체에 발생한 돌연변이로 인해 이 돌연변이를 가진 식물은 생존과 생식을 위해 다른 환경에 적응할 수 있게 되었다.

요약 및 평가 17.4

1. 각 사람의 유전자는 다수의 인트론을 가진다. 어떤 한 유전자로부터 전사된 mRNA 전구체의 선택적 짜깁기에 의한 결과로 여러 가지 mRNA가 생겨나며 그로 인해 서로 다른 단백질이 생성된다.
2. 아니다. 유전자에서 유전자와 관련된 서열이 차지하는 비율은 약 40%이다. 여기에는 비단백질 암호화 유전자, 단백질 암호화 유전자의 인트론, 조절 부위를 포함한다.
3. SNP1과 SNP2의 대립유전자들은 이 질병과 연관되지 않았다. SNP 3에서 T 대립유전자는 이 질병과 연관되어 있다.

요약 및 평가 17.5

1. 많은 경우 단백질체가 더 큰데 그 이유는 각 전구체 mRNA는 대체짜깁기 되어 유전자당 2개 이상의 많은 단백질을 생산할 수 있기 때문이다. 이 밖에도 단백질은 번역 후 화학적으로 변형되어 mRNA당 2개 이상의 단백질을 만들 수 있다. 또 다른 가능성은 일부 단백질은 상당히 안정적이어서 유전자 발현이 꺼진 후에도 오랫동안 세포에 남아있다. 마지막으로 일부 단백질은 다른 세포나 조직에서 만들어져 세포로 수송될 수도 있다.
2. 대사물질의 패턴은 서로 다른 생리적 상태와 관련되어 있다. 사람의 대사와 관련된 1차와 2차 대사물질의 데이터베이스를 가지는 것이 왜 중요한지를 설명하는 가장 간단한 예는 당뇨병에 의한 혈당의 높은 수준이다. 질병 대부분은 이보다는 복잡하다. 대사체에서 나타나는 대사물질의 패턴을 이해하는 것은 진단에 도움이 된다.

그림 질문

그림 17.2 아니다. 가능하지 않을 것 같다. 그 이유는 리드 4와 리드 5 모두와 중복되는 다른 리드가 없기 때문이다.

그림 17.5 이 그림은 복합전이인자가 잘라낸 후 붙이기로 이동하는 것을 보여준다. 복합전이인자는 또한 복사 후 붙이기로도 이동할 수 있다.

그림 17.7 아니다. 단백질 암호화 유전자는 진핵생물 유전체의 일부에 불과하다. 증가하고 있는 유전체 크기에 반복서열뿐만 아니라 단백질을 암호화하지 않은 유전자도 포함된다.

그림 17.11 두 과정에서 모두 다수의 분자가 단일 유전자에서 동시에 합성되고 있다. 합성은 단백질 구조를 포함한다. 폴리솜에서 리보솜은 mRNA를 따라 이동하며, rRNA 합성에서 RNA 중합효소는 DNA를 따라 이동한다. 두 과정에서 모두 중합체 산물이 만들어진다. 폴리솜에서의 산물은 폴리펩타이드이고, rRNA에서 산물은 rRNA이다.

그림 질문, 호랑이 유전체의 비교 분석

1. 두 고양이과 종 유전체 사이에서 DNA 서열은 108만 년 동안 4.4% 변화가 있었다. 이것은 100만 년당 0.4%의 변화가 있었음을 의미한다. 사람과 고릴라 유전체 사이의 변화율은 100만 년당 0.6%로 두 고양이과 종보다 약 50% 빠르다.
2. a. 조사된 모든 포유류 유전체는 14,425개의 유전자군을 공유한다.
b. 103개는 호랑이와 고양이 유전체에만 있었으며, 231개는 사람과 생쥐 유전체에만 존재하였다.
c. 포유류 유전체의 90% 이상이 모든 포유류에 공통적으로 존재하였다. 비교적 적은 유전자군이 조사된 포유류 각 종류에만 존재하였다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 17.1

1. 리드의 순서는 3, 5, 6, 1, 2, 4, 7이다. 연속된 서열은 ACGGCTTTATATCGTCCATGGTCAAATGCCGATTGCGCGG.
2. 세포의 DNA의 상당량은 rRNA와 tRNA이므로 전체 RNA의 서열결정은 대부분 이들 분자에 관한 것이다. 세포, 조직, 개체 사이의 표현형 차이는 적어도 부분적으로는 단백질 발현과 그에 따른 mRNA 양의 차이에서 비롯할 가능성이 있다. 따라서 세포 사이에서 같을 것으로 보이는 rRNA와 tRNA보다 mRNA에 집중하는 것이 이치에 맞다.
3. 단백질의 길이는 진핵생물과 원핵생물의 유전자에서 유사하지만, 진핵생물의 유전자는 많은 경우 중간에 (비암호화) 인트론들이 끼어 있는 작은 엑손들로 쪼개져 있다(그래서 열린번역들은 짧다). 고균의 일부 유전자를 제외하면, 원핵생물의 유전자들은 인트론이 없어서 열린번역들은 더 길고 그래서 쉽게 확인할 수 있다.

핵심개념 17.2

1. 원핵생물 유전체는 a. 인트론이 없거나(세균) 거의 없고(고균), b. 기능적으로 관련된 다수의 단백질 암호화 유전자들이 단일 프로모터를 공유하는 있는 유전체 부위(오페론)를 가지며, c. 대개 1개의 복제기점이 있는 하나의 원형 유전체와 매우 작은 몇 개의 플라스미드를 가지며, d. 열린번역을 사에서 매우 짧은 부위가 있으며, (e) 동원체와 말단소체 서열이 없다.
2. 메타유전체학은 환경에서 더 많은 세균을 확인할 수 있는데 그 이유는 많은 세균이 실험실에서 배양되지 않아서 실험실 배양에서 절대 나타나지 않은 세균이 있기 때문이다. 하지만, 세균이 존재하는 환경에서 이들의 DNA는 나타날 것이다.
3. RNA 사본을 만드는 것은 전사가 필요하다. 그래서 전이인자는 유전체에 남아있을 수 있다. 일단 RNA가 역전사되면, 그렇게 만들어진 DNA 사본들은 새로운 장소로 전이될 수 있다. 따라서 이들 전이인자들은 복사 후 붙이기 전이를 한다.

핵심개념 17.3

1. 효모는 다세포생 진핵생물보다 더 작고 더 적은 수의 인트론, 더 적은 반복서열 DNA, 더 적은 유전자를 가질 것으로 생각된다.
2. 이것은 진핵생물 유전체의 상당 부분이 RNA를 암호화하지 않거나 전사의 발현을 제어하지 않고, 따라서 분명한 기능을 갖지 않기 때문이다.
3. 한 가지 가능성은 중복된 유전자가 기능을 잃게 하는 돌연변이를 가진다는 것이다. 또 다른 가능성은 어떤 돌연변이가 그 중복서열에 새로운 기능을 부여하는데, 이것은 적응적이어서 이후 자연선택에 의해 선택될 수도 있다.

핵심개념 17.4

1. 전이인자가 반복서열 DNA의 상당 부분을 차지한다. 이외에도, 고도로 반복되는 짧은 서열이 많이 있다.
2. 사람의 유전체 서열은 어떤 약물에 대한 치등적인 민감도와 관련된 특정 SNP 대립유전자를 가진다. 만약 이 환자의 DNA를 분리한다면, SNP 유전자형과 관련된 분류를 할 수 있으며 이 환자가 특정 약물에 대해 반응할 가능성이 있는지를 결정할 수 있다.

핵심개념 17.5

1. 인트론이 거의 없다면, 대체짜깁기로 유전자당 추가적인 단백질들을 많이 생성하지 못할 것이다. 하지만 번역 후 변형을 통해 유전자당 다수의 단백질을 생산할 수 있다.
2. 서로 다른 단백질 암호화 유전자들이 발현되고 있기 때문에, 동일 유전자의 대체짜깁기는 다양한 조직에서 서로 다르며, 번역후 변형은 조직 사이에서 다르다.
3. 만약 대사물질 검색을 이용해 대사경로들이 정상적으로 작용하고 있는지를 확인할 수 있다면, 세포에 발생하는 문제점들을 조기에 탐지할 수 있을 것이다.

18장

요약 및 평가 18.1

1. 다른 쪽 가닥의 서열 역시 5' ...AAGCTT...3'이므로, 이중가닥의 서열은 다음과 같다.
 5'...AAGCTT...3'
 3'...TTCGAA...5'
 만약 이 효소가 4개 뉴클레오타이드의 5' 돌출부를 남긴다면, 각 가닥의 두 A 사이를 자를 것이다.
 5'...A AGCTT...3'
 3'...TTCGA A...5'
 절린 부위가 서로 어긋나있어서 5' AGCT 점착성 말단을 남긴다는 점에 주목하라.
2. 각각 다른 항생제 내성 유전자를 가진 두 세균 플라스미드에서 유래한 DNA를 *EcoRI* 제한효소로 자른 다음 DNA 연결효소를 이용해 함께 짜깁기하였다. 그 결과 형성된 재조합 분자들을 항생제 민감성 *E. coli* 세포에 형질전환하였다. 어떤 세포들은 하나의 재조합 플라스미드에 항생제 내성 유전자를 모두 가졌기 때문에 두 항생제 모두에 대한 내성을 갖게 되었다.

요약 및 평가 18.2

1. 순서는 d, e, a, b, c이다.
2. 두 경우 모두 항생제 내성(예: 테트라사이클린)을 위해 두 번째 유전자가 플라스미드를 선택하는 데 사용된다. 암호화 부위가 GFP 유전자에 있는 플라스미드의 경우, 재조합 플라스미드로 변형된 세포는 스트렙토마이신에 내성을 갖고 형광을 나타내지 않는다. 암호화 부위가 테트라사이클린 내성 유전자에 있는 플라스미드의 경우 재조합 플라스미드로 변형된 세포는 스트렙토마이신에 내성이 있지만, 테트라사이클린에 민감하다. 이것을 검사하기 위해, 콜로니는 스트렙토마이신이 있는 상태에서 생장한 후에 테트라사이클린에 대한 내성을 검사해야 한다.
3. 유전자변형 생쥐는 갈색과 흰색의 털을 가진 성체로 성장할 것이다. 이들 생쥐는 흰 생쥐와 짝짓기를 할 수 있었고, 모든 갈색 새끼들은 갈색 생쥐로부터 주입된 세포에서 유래한 배우자로부터 생겨나야 했을 것이다. 만약 세포가 원래 형질전환 유전자에 대해 동형접합성이었다면, 모든 갈색 자손은 형질전환 유전자에 대해 이형접합자가 될 것이다. 만약 원래 이형접합성이었다면, 갈색 자손의 절반은 이형접합성이고 절반은 형질전환 유전자가 없을 것이다.

요약 및 평가 18.3

1. a. 이 분석은 조직 특이적인 유전자발현이 필요하므로 아일레이스 유전자를 PCR할 것이다. 이것은 조직 내 아일레이스 mRNA의 양을 추정할 수 있게 해준다.
 b. 이것은 유전체 분석이 필요하다. 그래서 PCR을 이용하여 유전체 DNA로부터 아일레이스 유전자를 증폭할 수 있거나, 각 균주에서 얻은 DNA 라이브러리에서 아일레이스 유전자를 포함하는 콜로니를 확인할 수 있다.
2. 세포에 있는 모든 RNA를 분리하고, 역전사효소를 이용해 이 RNA의 cDNA 사본을 만든다. 발현이 연구된 특정 유전자의 DNA 양과 서열을 이용하여 DNA 복제를 위한 프라이머를 제작한다. 그런 후 이 프라이머를 이용하여 PCR을 한다. 이 프라이머를 이용해 증폭된 정도는 특정 표적 cDNA의 양에 비례한다. cDNA의 양은 원래의 세포 추출물에 들어있는 해당 RNA의 양에 비례한다.
3. 합성 DNA는 PCR을 위한 프라이머로 이용할 수 있고, 사람 질병의 유전자 검색에서와 마찬가지로 유전자형 식별을 위한 혼성화 탐침을 만드는 데 이용할 수 있으며, 특정 서열을 포함하는 맞춤형 유전자를 합성하는 데 이용할 수 있다.

요약 및 평가 18.4

1. miRNA와 siRNA는 세포질에서 염기쌍을 이루어 mRNA와 결합함으로써 번역을 막는 역할을 한다. 암을 치료하기 위해, RAS 단백질의 합성을 막는 RAS 유전자 mRNA에 특이적인 miRNA나 siRNA를 설계할 수 있다. 모든 세포가 miRNA나 siRNA를 받아들여 RAS 유전자의 번역을 줄일 수 있으므로 이 치료법은 암 특이적이지 않다.
2. 콩을 발아시키고 서로 다른 여러 시기의 배에서 RNA를 추출한다. 이 RNA를 이 식물의 전체 유전체로부터 얻은 유전자 라이브러리와 혼성화한다. 추출된 mRNA가 이들 유전자에 대한 혼성화 정도는 유전자 발현의 차이를 의미한다.
3. CRISPR는 DNA 수준에서 유전자를 특이적으로 변화시킬 수 있다는 추가적인 이점을 가지고 있어서 유전자를 녹아웃하거나, 녹다운하거나 변형시키는 데 사용될 수 있다.

요약 및 평가 18.5

1. 모든 벡터는 외래 DNA의 삽입을 위한 제한효소 자리, DNA 복제기점, 선택표지를 가진다. 발현벡터는 도입된 숙주세포에서 활성을 나타내는 조직 특이적인 프로모터, 전사종결서열(원핵세포 숙주), 폴리 A 신호서열(진핵세포 숙주)과 종종 실험실에서 분리를 위해 세포 밖 배지로 단백질을 분출하도록 하는 신호서열도 가진다.
2. 생명공학은 더 빠르고(육종처럼 여러 세대 대신 한 세대) 특이적(복합형질을 선택하는 동안 발생하는 많은 수의 유전자 대신 오직 하나의 유전자만 도입됨)이다.
3. 세균인 *E. coli*가 사람의 장에 살기 때문에 다수의 항생제에 내성을 가지는 실험실 균주가 사람들을 감염시킬 위험성이 있었다. 게다가 항생제 내성 균주의 유전자가 정상적인 균주의 유전자와 재조합되어 다수의 항생제에 내성을 나타내는 균주를 만들 수 있다는 점에 대한 우려가 있다. 또 다른 우려는 세균이 독소를 암호화한 유전자를 갖도록 해 생물무기로 이용될 수 있다는 점이다. 이러한 우려를 불식시키기 위해 여러 개의 돌연변이를 유발시켜 실험실의 특수한 환경에서만 살 수 있는 숙주 *E. coli* 균주를 개발한다. 예를 들어, 필수적인 대사산물을 합성하는 데 필요한 유전자에 돌연변이를 일으켜 세균이 사람의 장에서 얻을 수 없는 대사산물을 공급받아만 살아가도록 한다.

그림 질문

그림 18.2 아니다. 이 두 효소는 서로 다른 점착성 말단을 형성하는데 이 두 점착성 말단은 서로 염기쌍을 형성할 수 없다. 대신, 결합은 각각 원래 DNA 분자 조각들이 그 자체와 결합하는 것을 포함한다.

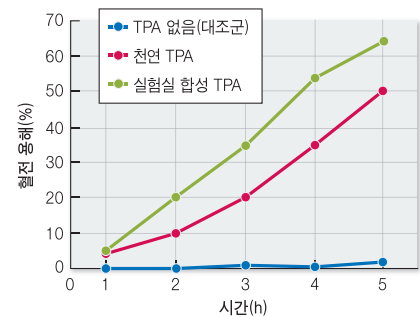
그림 18.9 GFP 리포터 플라스미드를 가진 세포는 죽지 않는다. 이것은 다른 세포를 죽이지 않고도 이 플라스미드를 가진 세포나 생물을 직접 눈으로 볼 수 있음을 의미한다. 이러한 '실시간 이미징' 덕분에 재조합 DNA를 가진 세포의 운명을 실시간으로 추적할 수 있게 되었다.

그림 18.11 진핵세포의 mRNA는 다른 RNA에서는 발견되지 않은 폴리 A 꼬리를 가지므로 이를 이용해 세포의 다른 RNA로부터 분리할 수 있다.

그림 18.15 진핵세포 유전자는 인트론을 포함하는데 인트론은 세균 숙주(인트론 가공을 할 수 없음)에서 제거되지 않으므로 그 결과 기능이 없는 단백질이 생성된다. 대신, 인트론이 결합된 mRNA로부터 유래된 cDNA를 이용할 필요가 있다.

그림 18.19 인공세포는 구조와 표적이 변형된 항생제, 또는 생분해되는 플라스틱, 또는 연료와 같이 새로운 특성을 가진 분자를 합성하도록 프로그래밍될 수 있다.

그림 질문, TPA 생산



1. TPA가 없을 때 혈전이 응고되지 않았지만, TPA가 있을 때는 혈전이 응고되었다. 실험실 합성 TPA는 5시간 후 혈전 용해 속도와 응해 파센트 측면에서 천연 TPA보다 우수하였다.
2. 다시 한번, 실험실 합성 TPA가 토끼의 혈전을 응고하는 데 천연 TPA보다 어느 정도 우수하였다. 표본 평균과 표본 분산은 두 처리 모두에서 알려져 있으므로 천연 TPA와 실험실 합성 TPA 대 대조군에 대한 혈전 응해 파센트를 t-검정을 사용하여 서로 비교할 수 있다(부록 B 참고).

눈에 보이는 요약

핵심개념 18.1

1. 제한효소 자리를 찾을 확률은 $(1/4)^4 = 1/2560$ 이다. 따라서 우리는 256 bp마다 제한효소 자리를 예상할 수 있으며, 5,000 bp 플라스미드에서 평균 20개의 제한효소 자리를 의미한다.
2. 어긋난 절단 부위는 서로 상보쌍을 형성할 수 있는 점착성 말단을 생성하여 연결을 더 쉽게 만든다.

핵심개념 18.2

1. 이 콜로닝 자라는 외래 DNA를 삽입하는 데 이용한다. 복제기점 덕분에 이 벡터가 자신의 사본을 만들 수 있다. 선택표지를 이용해 숙주에 벡터가 들어있는지를 선택할 수 있다.
2. 난자, 정자 또는 접합자를 형질전환할 수 있으며, 형질전환 유전자는 개체의 모든 세포에 존재하게 될 것이다. 아니면, 실험실에서 세포 하나를 형질전환한 후 형질전환세포의 클론으로 배양할 수 있다. 그런 다음, 배아에 주입하면, 이들은 배아에서 일부 형질전환세포를 형성할 것이다. 만약 이들 형질전환세포가 생식계열세포가 된다면, 그 결과 생성된 형질전환 배우자를 이용하여 형질전환개체를 만들 수 있다.
3. 형질전환 호모 균주의 모든 세포(모든 개체)는 유사분열로 생성되었으므로 유전적으로 같다. 즉, 이들은 클론이다. 반면, 생쥐 품종의 개체들은 유상생식에서 유래하였으므로 비록 근친교배로 인해 대부분 유전적으로 균일하지만, 어느 정도 유전적으로 차이를 나타낸다.

핵심개념 18.3

1. $1.2 \times 10^6 / 5000 = 2,400$ 개의 세균 클론이 필요하다.
2. cDNA 라이브러리는 일부 서열은 공유하지만 다른 서열은 공유하지 않는다. 두 조직 모두 에너지 대사(예: 시트르산회로의 효소를 암호화하는 유전자)와 정보 기능(예: rRNA 유전자)과 같은 세포 활동에 관여하는 같은 유전자를 발현한다. 이들 조직은 조직 특이적 mRNA에서 다르다. 예를 들어, 뇌는 전기적 활동과 세포 사이의 의사소통에 필요한 단백질들을 만드는 반면, 이지는 인슐린 호르몬을 만든다.
3. 조직 사이에서 유전체가 같기 때문에 두 유전자 라이브러리는 같아야만 한다.

핵심개념 18.4

1. 초기 눈 조직과 신체의 나머지 부분으로부터 RNA를 수집하여 미세배열을 수행한다. RNA를 서로 다른 색으로 표지하고 모든 오징어 단백질 암호화 유전자를 포함하는 미세배열과 혼성화한다. 눈에 높은 수준으로 발현되지만, 신체의 다른 부분에서는 발현되지 않는 RNA는 눈 발생에 중요한 유전자의 후보가 될 것이다.
2. (알려진 눈 유전자 프로모터의 제어를 받는) 후보 유전자를 대상으로 하는 miRNA(또는 siRNA)를 발현할 형질전환 유전자를 만든다. 오징어를 형질전환하고, 눈 속의 miRNA 수준을 측정하여 유전자가 발현되고 있는지 확인한 다음, 눈 발생에 대한 변화를 찾는다.
3. CAS9 유전자와 후보 유전자에 특이적인 가이드 RNA를 암호화한 유전자를 오징어 접합자에 주입한다. 유전자변형 오징어는 후보 유전자를 찾아 절단하는 CAS9와 가이드 RNA를 생산한다. 수선은 비상동 말단 접합을 이용할 가능성이 크며, 이로 인해 유전자가 녹아웃될 가능성이 크다.

핵심개념 18.5

1. 한 가지 가능성은 유전자 DNA 서열이 사용되었고, 이 DNA 서열은 짜깁기로 제거될 수 없는 인트론을 포함하고 있다. 또 다른 가능성은 유전자가 잘못된 가닥에서 mRNA를 읽을 수 있도록 클로닝 위치에 거꾸로 들어갔다는 것이다.
2. 사람의 단백질은 양에서 정확히 짜깁기될 가능성이 크며, 이것은 포유류를 이용하는 장점이다. 젓단백질 프로모터의 하류에 있으므로써, 유전자는 젓샘에서만 (높은 수준으로) 발현될 가능성이 있다. 그 단백질은 결국 유전자변형 양양의 젓이 되고, 그 젓에서 쉽게 정제될 수 있다.
3. *B. thuringiensis* 독소는 많은 종의 곤충을 빠르게 죽게 한다. 이는 독소를 생산하는 식물이 곤충의 공격을 덜 받으므로 수확량이 증가한다는 것을 의미한다.

5부

19장

요약 및 평가 19.1

1. 과학에서 '이론'이란 추측도 아니고 검증되지 않은 생각도 아니다. 이론은 우리가 자연계에서 관찰할 수 있는 사실을 설명하는 잘 정리된 지식 체계를 의미한다. 매년 생물학자들이 관찰하고 있는 수백만 건의 살아 있는 생물과 화석생물의 결과는 진화가 실증적 근거에 기초한다는 것을 입증한다. 우리가 살아 있는 자연 개체군에서 그리고 통제된 실험을 통한 연구실에서 진화과정을 관찰할 수 있듯이, 지구의 광범위한 화석 기록으로부터 시간 경과에 따른 변화를 관찰할 수 있다. 그러나 진화가 일어난다는 것을 관찰하는 그 자체만으로 진화가 어떻게 일어나는지 설명할 수 없다. '진화 이론'은 진화과정과 그 과정이 어떻게 작동하는지에 대한 지식 체계를 말한다. 예를 들어, 수학적 모델링을 사용하면 생물학자는 유한한 크기의 모든 생물학적 개체군이 유전적 부동으로 진화할 것으로 예상하는 결과를 제시할 수 있다. 그러나 그것은 진화적 변화를 일으키는 또 다른 과정이 없다는 것은 아니다. 찰스 다윈의 주요한 공헌은 살아 있는 생물의 집단은 시간이 지남에 따라 진화하는 데 자연선택의 과정이 주요 요인이었다고 말한 것이다. 그 생각은 다윈의 시대부터 수천 명의 생물학자가 수천 번에 걸쳐 시험해 왔다. 지구상의 생명체 전반에 걸친 생물학자들의 지속적인 관찰을 통해 자연선택이 진화적 변화에 중요한 요인이라는 것이 반복적으로 드러났다.
2. 세균 개체 대부분이 항생제에 노출되면 죽겠지만, 짧은 시간 노출 시 살아남을 수 있고 항생제 치료가 끝난 후에는 세균이 빠르게 증식할 것이다. 생존하게 했던 특정 돌연변이의 빈도는 증가할 것이기 때문에 시간이 지남에 따라, 그 세균 집단은 항생제에 대한 내성을 갖는 쪽으로 진화할 것이다. 완전한 치료는 그 집단의 거의 모든 세균을 박멸하는 효과를 가졌을 때로 여겨진다. 항생제를 이용한 전체 치료과정에서 세균이 살아남지 못하면 후에 그 집단은 내성을 진화시킬 수 없다. 치료가 잠시 중단되면, 살아남은 세균 일부(가장 큰 항생제 내성을 가진 것들)가 증가할 것이며 그 세균 집단은 항생제 내성이 갖도록 진화할 가능성이 크다.

3. 인류는 동식물을 사육하거나 재배하면서 형질을 선택하는데, 생명체의 생존이나 자연적 번식 성공률에 미치는 영향보다는 우리가 관심을 가지는 형질에만 관심을 두고 있다. 인류가 선택한 많은 형질이 야생 집단에서는 유리하지 않다. 예를 들어, 인류는 체지방과 체중이 많이 나가는 가족을 선택해왔다. 이러한 형질은 송아지를 크게 만들고 젖소의 분만은 어려워진다. 송아지(아마도 그 어미 소도 함께)는 그러한 도움이 없으면 죽을 수 있어서 목장주는 종종 그 어미 소의 출산을 돕지 않으면 안 된다. 자연 집단의 경우, 더 작은 송아지 크기와 출생 체중에 대한 선택이 있어 생식과 생존의 성공률을 증가시킬 것이다.
4. 행동은 미래 조건의 전조가 되는 환경 신호에 반응할 수 있으며, 이러한 행동은 유전적 통제하에 있는 경우 선택할 수 있다. 예를 들어, 낮의 길이가 점점 짧아져서 우리가 겨울이 다가오고 있다는 사실을 인지하는 것처럼, 짧아지고 있는 낮의 길이에 반응하여 동면에 들어가는 포유류의 개체들은 생존에 이점을 갖는다. 이 경우 환경적 신호(낮의 길이)는 미래의 환경 조건(겨울의 추운 날씨)의 전조가 된다. 이 경우 환경 신호(낮의 길이)는 미래의 환경 조건(겨울의 추운 날씨)을 예측한다. 이러한 연관성(낮의 길이와 겨울의 접근 같은)은 오랫동안 존재했기 때문에 현재에 형질들이 존재한다.
5. 생물의 특성들에 효과적으로 영향을 미치지 않으면서 자연선택은 작용할 수 없다. 알츠하이머병과 같은 질병은 일반적으로 생식 연령이 지나고 나서도 오랜 기간이 흐른 뒤에야 발병한다. 그러한 질병을 가진 사람이 자신의 생식 가능성에 영향을 미치지 않는 한(예를 들어, 부모의 보살핌 감소의 결과와 같은), 자연선택이 인류 집단의 알츠하이머병 감소로 이어질 것이라고는 기대하기 어렵다.

요약 및 평가 19.2

1. 일상 언어에서 '진화'는 예를 들어, 사람 의견의 변화처럼 어떤 종류의 '변화'를 의미하기 위해 비공식적으로 사용되는 경우가 많다. 그러나 과학자들이 생물학적 진화에 대해 말할 때, 그들은 한 세대에서 다음 세대로 집단적 유전적 변화를 언급하고 있다. 이런 의미에서 개체들은 평생 같은 유전자 구성을 유지하고 있으므로 진화할 수 없다.
2. 돌연변이는 다른 모든 진화적 과정에 작용하는 유전적 변이를 제공한다.
3. 중립적 형질(이익이나 불이익을 부여하지 못하는 형질)은 오직 유전적 부동으로 집단 내에서 증가하거나 감소할 수 있다. 소규모 집단에서는 우연한 효과가 큰 역할을 한다. 개체 간 적응도의 차이가 상대적으로 작고 집단 내에 소수의 개체만 있으면, 생존하고 생식하는 개체는 개체의 적응도와 직접적인 관련이 없는 요소의 결과일 수 있다. 이러한 조건에서 약간의 대수롭지 않게 해로운 형질조차도 단기간에 집단에 고정될 것으로 여겨진다.
4. 자기수정은 한 집단 내에 이형접합자 빈도를 감소시키지만, 대립유전자의 빈도를 변화시키지는 않는다. 대조적으로 성선택(특정 표현형을 선호하는 무작위적이지 않은 교배)은 집단에서 방향성 변화를 일으킨다. 따라서 집단은 진화한다.
5. 적은 수의 집단만이 국지적으로 선호되는 특정 형질에 대해 강한 선택을 받을 수 있다. 그러나 특정 형질이 선호되지 않는 이웃 집단으로부터 광범위한 유전자 흐름이 있다면, 그 형질에 대한 선택은 주변 집단으로부터의 유전자 흐름에 의해 압도될 것이다.

요약 및 평가 19.3

1. a. 대립유전자 *a*의 빈도: 0.60; 대립유전자 *A*의 빈도: 0.40;
 b. 유전자형 *aa*의 빈도: 0.40; 유전자형 *Aa*의 빈도: 0.40; 유전자형 *AA*의 빈도: 0.20;
 c. 유전자형 *aa*의 예상 빈도: 0.36; 유전자형 *Aa*의 예상 빈도: 0.48; 유전자형 *AA*의 예상 빈도: 0.16
2. 집단에서 유전자형 *Aa*의 예상 빈도는 $2pq = 2(0.2)(0.8) = 0.32$
3. 이형접합자의 관측 빈도가 하디바인베르크 평형에서 예측된 빈도보다 낮아서 다음 중 어느 것이라도 이 패턴에 대한 합리적인 설명이 될 수 있다.
 - 돌 또는 그 이상의 인접한 아집단에 사는 두개비는 같은 연못에서 번식할 수 있다. 각 아집단마다 서로 다른 대립유전자의 빈도가 높게 나타날 것이다. 다시 말해, 유전자 흐름이 없다는 가정은 위배되었다.
 - 두개비는 집단 내에서 무작위로 번식하지 않을 수 있다. 예를 들어, 근연관계에 있는 두개비들이 그렇지 않은 두개비들보다 서로 교배할 가능성이 더 크다면, 그 집단 내에는 소수의 이형접합자만이 존재할 것이라 예상할 수 있다(근친교배 형태).
 - 이형접합성 개체는 그 집단 내에서 불리한 위치에 있을 수 있다. (예를 들어, 더 적은 수의 이형접합자만이 생존해 성체가 될 수 있다.) 이것은 자연선택이 없다는 하디바인베르크의 가정을 위반한 것이다. 관찰 집단은 이형접합자의 낮은 빈도가 유의미하다는 것을 계산할 수 있을 정도로 충분히 크다고 가정할 수 있다. 그러나 현재 세대의 두개비가 이전 세대의 적은 수의 부모에 의해 생성되었다면 적은 집단 크기의 무작위적 효과가 관찰된 패턴을 설명할 수 있다.

요약 및 평가 19.4

1. 인위적 선택은 집단 내의 변이 감소와 단봉(modal) 표현형의 빈도 증가를 가져온다. 방향성 선택은 한 방향으로 단봉 표현형의 변화를 가져온다. 분단적 선택은 표현형의 양봉(bimodal) 분포를 나타내는 집단을 형성한다.
2. 그림 19.13에서 볼 수 있듯이, 약 7.5파운드의 최적 출생체중과 비교했을 때 출생체중이 작거나 더 클수록 사망률은 증가한다. 아기가 현저히 작으면 미숙이나 영양부족이 될 가능성이 커 생존 가능성이 작다. 상당히 큰 아기는 출산 시 어려움을 겪을 수 있으며 아기와 엄마 모두 출산 중 큰 위험과 스트레스를 받는다. 따라서 단봉 출생체중에 가까운 아기들은 생존하여 성인으로 성장할 가능성이 크며 이로 인해 집단 내 중간형 출생 크기에 대한 대립유전자의 상대적 빈도는 증가한다.
3. 근연종과 현저하게 다른 생명체의 거의 모든 표현형은 방향성 선택의 결과일 가능성이 크다. 수천 가지 가능한 예 중에서 기린의 긴 목, 코끼리의 긴 꼬, 고래의 거대한 몸집, 인간의 두뇌, 자이언트 세쿼이아의 거대한 높이, 수련의 물에 뜨는 큰 잎 등을 생각해 보라. 방향성 선택은 분명히 크기의 감소를 가져올 수 있으므로 다른 세대에 비해 작은 벌새의 몸체 크기나 다른 꽃식물에 비해 작은 좀개구리밥의 잎 크기를 고려해야 한다. 의심할 여지 없이 많은 다른 예를 생각할 수 있다.

요약 및 평가 19.5

1. 낮도양적형과 정상 대립유전자 사이의 이형접합자는 말라리아 방어에 유리할 수 있다. 정상적인 대립 유전자는 일상적인 기능을 하지만, 낮도양적형 대립유전자는 말라리아 기생충에 대한 보호를 제공할 수 있다.
2. 많은 사람이 말라리아 감염에 대한 검사를 받을 수 있으며 감염 빈도와 결과는 이형접합자로서 낮도양적형 유전자를 지니고 있거나, 그렇지 않은 사람들과 비교될 수 있다. 이형접합성 개인이 말라리아 저항성에 유리하다면 감염률이 더 낮거나 감염의 효과가 미미하게 나타날 것이라 예상할 수 있다.
3. 높은 유전적 변이는 유익한 대립유전자나 형질이 출현할 수 있는 더 많은 기회를 끌어낸다. 환경이 갑자기 변화하고 유익한 형질이 이미 집단에 존재한다면, 선택은 그러한 형질의 빈도를 증가시킬 수 있고 집단은 빠르게 진화할 수 있다. 그러나 유전적 변이가 높다고 해서 적절한 유익한 대립유전자가 이미 집단에 존재할 것이라는 보장은 없다.

요약 및 평가 19.6

1. 곤충은 호흡계에 의해 생리적으로 제약을 받을 수 있으며, 조류의 몸체만큼 큰 몸을 지탱할 수 없을 수도 있다. 이것이 곤충의 몸 크기를 제한하는 역사적 제약의 예이다.
2. 갑작스럽고 광범위하게 일어난 환경 변화는 여러 종에 동시에 영향을 미칠 수 있다. 운석이나 혜성 충돌, 광범위한 화산 활동, 또는 갑작스러운 기후변화가 이러한 예에 해당한다.

그림 질문

그림 19.6 시간이 흐르면서 유성생식은 기존 유전자의 새로운 결합으로 이어졌다. 많은 다른 유전자들은 강모의 수에 영향을 미친다. 그래서 높은 (그리고 낮은) 강모 수를 선택하는 것은 높은 (또는 낮은) 강모 수를 생산하는 새로운 유전적 결합을 선택하게 했다. 게다가, 높은 (또는 낮은) 강모의 수로 이어지는 어떤 유전자의 새로운 돌연변이를 위한 선택도 있었다.

그림 19.12 집단 내 형질의 평균값이 해당 형질의 최적값보다 낮을 경우, 평균은 방향 선택을 통해 최적값에 더 가깝게 진화할 것이다. 그러나 집단 평균이 최적으로 도달함에 따라 집단은 선택 항목을 안정화시키는 것을 경험하게 될 것이다. (집단 평균보다 아래 또는 위인 개체에 대한 선택.)

그림 19.20 TTX 내성이 독성 영원에 대한 이익을 제공한다. TTX 내성을 부여한 대립유전자는 뱀에 의해서 움직임이 느려지기도(단점) 한다. 따라서 TTX 내성의 장점과 대가는 균형을 이룬다. 영원이 서식하는 범위에서는, 이점이 대가보다 크다; 영원의 서식 범위 이외는, 대가가 이점보다 더 크다. 따라서 뱀과 영원이 있는 곳은 TTX 내성을 선택하지만, 다른 곳에서 TTX 내성 선택에 대해 반대한다.

그림 질문, 나방의 긴 날개꼬리는 박쥐의 포식을 피하는 데 도움이 되는가?

1. 네 그룹의 나방은 명백한 긴 날개꼬리를 가지고 있고, 이들 그룹 각각은 날개꼬리가 없는 나방과 근연관계가 있다. 그러므로 형질은 최소한 4번 이상 진화되어 왔음이 틀림없다. 그 계통수를 보면 11종이 긴 날개꼬리를 가진 것으로 나타나지만, 이러한 종의 일부는 또 다른 종과 근연관계에 있고 그 형질은 각 근연종으로 이루어진 분기군의 공통조상으로부터 진화했을 것이다. 그러므로 이 형질은 약 4번에 걸쳐 독립적으로 생겨난 것으로 보인다.
2. 긴 날개꼬리가 독립적으로 4번 진화한 것처럼 보이지만 형질이 진화함에 따라 많은 종에서 방향성 선택이 계속되었다는 증거가 있다. 예를 들어, 많은 종에서 녹색에서 노란색과 빨간색으로 같은 방향으로(날개 꼬리의 길이가 증가함을 나타내는) 변화하는 것에 주목하라.

그림 질문, 이형접합자 교재의 이점

1. *C. philodice*의 경우, 교배를 시도하는 모든 수컷의 43.2%가 이형접합자이므로 56.8%는 동형접합자 이어야 한다. 교배에 성공한 이형접합성 및 동형접합성 수컷의 수를 파악하기 위해, 예상되는 비율(교배를 시도하는 모든 수컷으로부터)을 샘플링된 교배에 성공한 수컷의 총수로 곱한다. 그러므로 교배에 성공한 이형접합 수컷은 $(0.432)(50) = 21.6$ 으로, 교배에 성공한 동형접합 수컷은 $(0.568)(50) = 28.4$ 로 예상해볼 수 있다. 만약 *C. eurytheme*에도 같은 계산식을 적용하게 되면, 교배에 성공한 이형접합 수컷은 $(0.478)(59) = 28.2$ 로, 교배에 성공한 동형접합 수컷은 $(0.522)(59) = 30.8$ 로 예상해볼 수 있다.

2. *C. philodice*에 대한 카이제곱 계산:

유전자형	기대치(E)	관측치(O)	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
이형접합자	21.6	31	9.4	88.36	4.091
동형접합자	28.4	19	-9.4	88.36	3.111

마지막 열의 합계는 카이제곱검정 통계량을 제공한다: 7.202. 이 값은 임계값($P = 0.05$)의 값인 3.841보다 크기 때문에 관측 결과는 $P < 0.05$ 에서 기대치와 유의미한 차이가 있다. 다시 말하면 귀무가설을 거부하고 교배에 성공한 수컷의 각 유전자형(이형접합자 및 동형접합자)의 비율이 *C. philodice*의 모든 교배를 시도하는 수컷들 사이에서 관찰된 이들 유전자형의 비율과 유의하게 다르다는 결론을 내릴 수 있다.

*C. eurytheme*에 대한 카이제곱 계산:

유전자형	기대치(E)	관측치(O)	O - E	(O - E) ²	(O - E) ² /E
이형접합자	28.2	45	16.8	282.17	10.005
동형접합자	30.8	14	-16.8	282.17	9.162

마지막 열의 합계는 카이제곱검정 통계량을 제공한다: 19.167. 이 값은 임계값($P = 0.05$)의 값인 3.841보다 크기 때문에 관측 결과는 $P < 0.05$ 에서의 기대치와 유의한 차이가 있다. 즉, 귀무가설을 거부하고 교배에 성공한 수컷의 각 유전자형(이형접합자 및 동형접합자)의 비율이 *C. eurytheme*의 모든 교배를 시도하는 수컷들 사이에서 관찰된 이들 유전자형의 비율과 유의미하게 다르다는 결론을 내릴 수 있다.

3. $(0.75)^{16}$ 은 약 0.010020이다. 따라서 연구자들은 99%의 확실성을 가진 수컷 부모의 유전자형을 판단하기 위해 각 그룹에서 적어도 16마리의 유충을 분석해야 할 것이다. 이 답을 찾는 가장 쉬운 방법은 0.75에 0.75를 곱하고 나서 그 값에 다시 0.75를 곱한 다음 결과가 약 0.01이 될 때까지 계속 반복하는 것이다. 적절한 샘플 크기를 찾기 위해 0.75를 곱한 횟수를 추적하라.

눈에 보이는 요약

핵심개념 19.1

1. '진화의 사실'은 화석 기록뿐만 아니라 생물체의 집단에서 실시간으로 관찰되는 유전적 변화를 직접 관찰하는 것을 말한다. '진화론'은 모든 생물체의 활동에서 관찰된 진화적 변화가 발생하는 과정에서 인간의 축적된 정보로 언급된다.
2. 다윈은 모든 생물이 공통의 조상을 공유하고 있으며, 그 종은 시간이 흐르면서 점차 서로 떨어져 나간다는 것을 의미했다.
3. 다윈은 진화가 자연선택의 과정을 통해 일어날 수 있다고 제안했고, 그 과정에서 더 오래 살거나 더 높은 번식률을 가진 개체는 그들의 형질을 후대에게 물려줄 것이다.

핵심개념 19.2

1. 인위선택에서 생식을 위해 가치 있는 형질을 가진 식물이나 동물을 의도적으로 선별한 다음, 이러한 부모를 번식시켜 자손을 생산한다. 자연선택에서는 생식 성공률이 가장 높은 생물(장수 또는 더 높은 생식률, 또는 둘 다 때문에)이 가장 많은 후손을 남기고, 높은 생식 성공을 이끈 형질들을 물려줄 가능성이 크다.
2. 유전적 부동(소규모 집단에서 가장 큰 영향을 미치는)의 우연한 영향은 우수한 돌연변이를 상실하거나 유해 돌연변이를 증가시킬 수 있다.
3. 다윈은 자연선택이 보통 한 종의 어느 환경에서 잘 사는 능력을 향상하는 데 관련 있다고 언급했다. 그러나 다윈은 이것이 항상 그런 것은 아니라고 말했고 그는 성선택이라고 알려진 자연선택의 특별한 경우를 주목했다. 성선택에서, 형질은 생존의 기회를 감소시킬 수 있음에도 불구하고 개체의 생식 잠재력을 증가시키기 때문에 선호된다. 예를 들어, 큰 꼬리가 수컷이 날 수 있고, 포식자에게 도망칠 수 있지만, 수컷 공격의 화려한 꼬리는 암컷에 대한 수컷의 매력을 증가시켜 수컷의 생식 성공이 더 커지게 하는 결과를 낳는다.

핵심개념 19.3

1. 하나.
2. 하다-바인베르크의 평형이라는 5가지 가정 각각은 진화과정 중 하나에 일치한다.

하다-바인베르크의 추정	진화의 과정
돌연변이 없음	돌연변이 있음
선택 없음	선택 있음
유전자 흐름 없음	유전자흐름 있음
무한 개체군	유전적 부동(유한 개체군)
무작위 교배	선택교배

위 표의 왼쪽 기둥(하다-바인베르크의 가정)의 조건을 모두 집단에 적용한다면 진화는 일어나지 않을 것이고, 그렇지 않으면 진화는 일어날 것이다.

핵심개념 19.4

1. a. 방향성 선택.
- b. 안정화 선택.
- c. 분단성 선택.

핵심개념 19.5

1. a. 이형접합자 우세.
- b. 빈도의존적 선택.
- c. 연속변이.

핵심개념 19.6

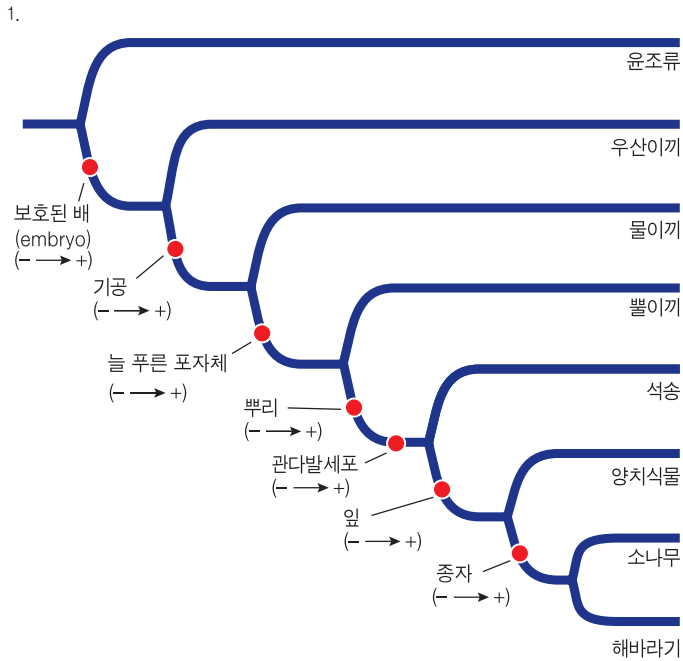
1. 비행은 날기 위해 선택할 수 있는 가벼운 신체와 긴 팔다리와 같이 특정한 기존의 형질을 가진 집단에서만 진화할 가능성이 있다. 거북이들은 무장된 등 껍데기와 등걸질 속으로 (보호를 위해) 빠낼 수 있는 짧은 팔다리를 가지도록 선택되었다. 이러한 조상 조건으로는 비행을 위한 약간의 선택이 있을 것 같지 않다. 그래서 거북이는 진화적으로 비행에 대한 약간의 진화에도 제약을 받는다.
2. 독소 내성과 관련된 이점이 있지만, 이러한 이점은 성능의 대가와 관련되어 있다. 예를 들어, 영민 독소에 내성이 있는 뱀은 내성이 없는 뱀만큼 빨리 움직일 수 없다. 그 이점은 뱀들에게 최종적으로 선택적 우위를 제공하기 위한 대가보다 더 커야 한다.

20장

요약 및 평가 20.1

- 계통수는 종분화(중간의 진화적 유연관계를 묘사), 바이러스의 복제(서로 다른 바이러스 계통들의 진화적 유연관계를 묘사), 또는 유전자 중복(유전자들 사이의 진화 경향을 묘사)과 같은 계통이 분화하는 과정을 잘 나타낼 수 있다. 이 책의 대부분에서, 계통수는 종간의 진화적 유연관계를 묘사하는 데 사용되었다.
- 상동형질은 공통조상으로부터 물려받아서 유사한 것이기 때문에, 새와 곤충의 날개와 같은 수렴진화의 결과를 상동형질로 잘못 판단할 수 있다.
- 유사한 환경조건에 대한 선택은 종종 특정형질의 수렴을 야기한다. 예를 들어, 물고기와 돌고래는 해양 환경에 대한 적응으로 인해 모두 유사한 형태의 지느러미를 갖고 있다. 하지만 이러한 형질은 각각의 그룹에서 독립적으로 발생하였다. 생물학자들은 대개 이러한 호모플라시를 발견할 수 있는데 이는 최근에 공유된 그들의 조상의 결과와 비슷한 그룹에서 상동형질의 많은 특성이 충돌되기 때문이다. 생물학자들은 최대절약의 원리를 사용하여 호모플라시를 최소화한다.

요약 및 평가 20.2



- 소나무류와 해바라기.
- 양치식물.
- 뿌리와 관다발세포.
- 각각의 특정형질은 계통수 내에서 각각의 분기점에 놓여 있으므로 호모플라시는 없다.

요약 및 평가 20.3

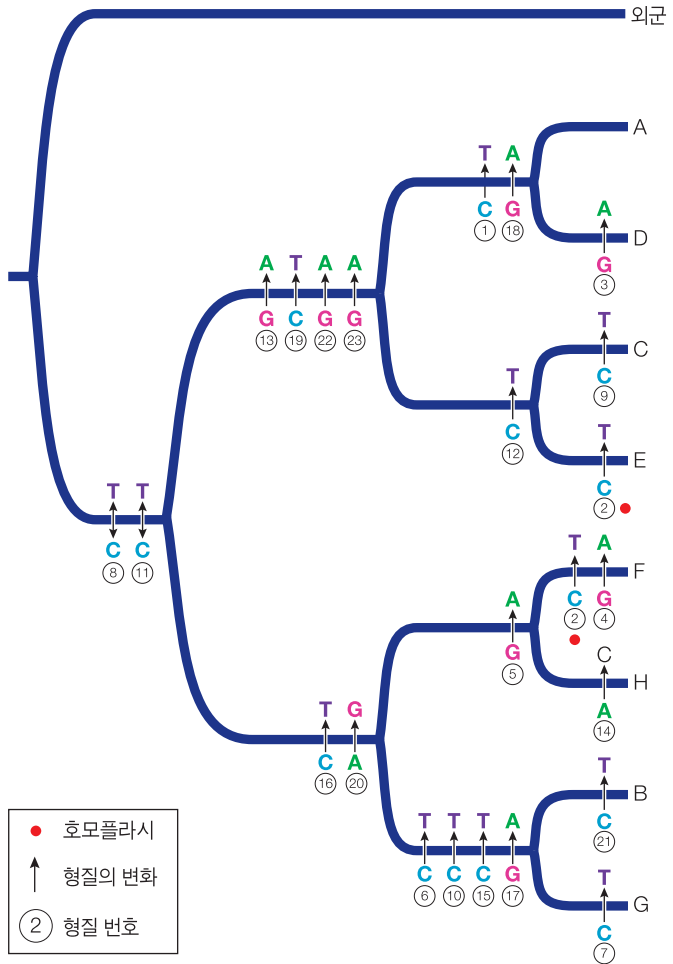
- 미국에서 발견된 웨스트나일바이러스는 이스라엘에서 추출된 바이러스와 가장 가까운 유연관계를 나타낸다. 가장 적당한 가설은 1930년대 아프리카에서 처음 바이러스가 발병된 이후, 아시아와 유럽 등지로 수차례 전파되었다는 것이다. 그리고 바이러스의 한 계통이 이스라엘에서부터 비행기나 선박의 모기를 통해 뉴욕으로 전파되었을 것이다. 그리고 바이러스는 미국 내 자생하는 새들에 의해 북미지역에 넓게 퍼졌을 것으로 판단된다.
- 분기율은 회귀선의 기울기로 표현된다. 회귀선이 거의 원점(0, 0)을 통과하므로, cyt b는 400만 년 동안 7.5% 변화 또는 100만 년 동안 1.875%의 변화를 겪은 것으로 확인된다.

요약 및 평가 20.4

- 1번과 3번 분류체계(조류를 제외하면, 파충류는 측계통이다).
- 3번 분류체계(항온동물 그룹은 다계통이다).
- 2번 분류체계.

그림 질문, 계통발생분석의 정확성 검증

1.

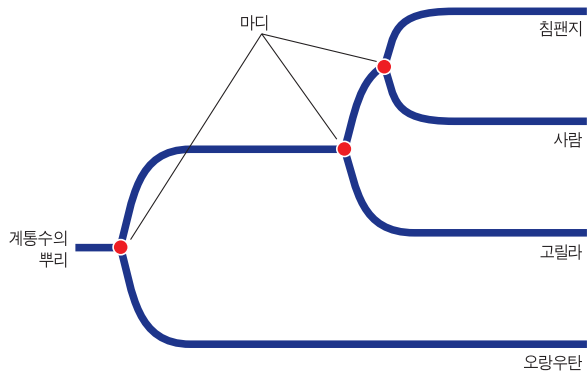


2. 조상 A와 D의 염기서열: TCGGGCCCCCAACCGATACAA
 조상 C와 E의 염기서열: CCGGGCCCCCTAACCGGTACAA
 조상 F와 H의 염기서열: CCGGACCCCCCGACTGGCGCGG
 조상 B와 G의 염기서열: CCGGGTCCCTCCGATTAGCGCGG
 조상 A, C, D와 E의 염기서열: CCGGGCCCCCAACCGGTACAA
 조상 B, F, G와 H의 염기서열: CCGGGCCCCCGACTGGCGCGG
 조상 A, B, C, D, E, F, G와 H의 염기서열: CCGGGCCCCCGGACCGGCACGG
3. 작성된 계통수는 23개의 염기전이와 1개의 교차형염기전이가 포함된다. 바이러스들은 돌연변이 유발원이 존재하는 환경에서 자랐으며, 이 실험에서 사용된 돌연변이 유발원은 주로 염기전이를 일으켰다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 20.1

1.



2. 뿌리는 사람, 침팬지, 고릴라, 오랑우탄의 공통조상을 나타낸다.
3. 마디는 하나의 조상의 계통이 2개의 후손 계통으로 갈라지는 충분화 사건을 나타낸다.

핵심개념 20.2

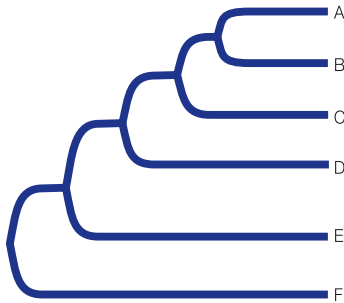
1. 절약법은 계통수에서 형질의 변화 수를 최소화하며, 선호되는 계통발생은 변화가 가장 적은 것이다.
2. 많은 답이 가능하다. 예를 들어, 척추동물의 척추는 척추동물문의 공유파생형질이다.
3. 계통발생 분석은 유전적으로 결정되는 형질에 의해 반영되는 계통적 유연관계를 재구성하려고 시도한다. 생물의 환경을 반영하는 유사점들은 생물들을 계통발생이 아닌 환경별로 모이게 할 것이다.

핵심개념 20.3

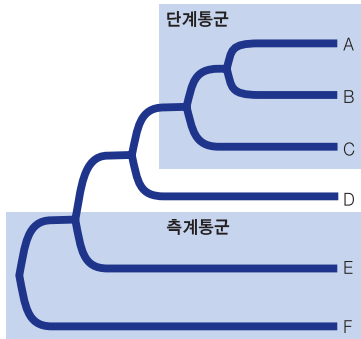
1. 그림 20.7을 참고하라.
2. HIV-1은 침팬지의 SIV와 가장 밀접하게 관련되어 있으므로 사람의 HIV-1은 침팬지로부터 온 것으로 보인다. 이와는 대조적으로 HIV-2는 긴꼬리원숭이에서 온 것으로 보인다.
3. 그림 20.12와 같이, HIV-1의 주요 그룹 시료의 알려진 날짜는 (분자시계를 사용하여) 사람으로부터 HIV-1 시료 계통수의 갈라진 부분을 보장하는 데 사용될 수 있다. 이러한 분석은 약 1930년에 HIV-1의 주요 그룹이 침팬지에서 사람으로 옮겨졌음을 보여준다.

핵심개념 20.4

1. 여러 가지 계통수가 가능하다. 한 예를 들면 아래와 같다.



2. 아래는 단계통군과 측계통군의 예이다. 하나의 조상을 가지고 모든 자손은 단계통이다. 구성원이 공통 조상을 포함하고 있지만, 그 분류가 그 공통조상의 모든 자손을 포함하지 않는 집단을 측계통이라고 한다.



3. 학명은 모든 언어에서 같으며(식물과 동물 사이에 일부 중복된 이름은 제외) 각 이름은 하나의 분류군에 고유하게 지정되어 있다. 대조적으로 일반명은 언어마다 다르며 여러 이름이 사용된다.

21장

요약 및 평가 21.1

1. 염기서열 a AATGCAGGGTATA-CG
 염기서열 b ATT-CAGGGTATA-CC
 염기서열 c ATTGCAGCGTATAACC
 염기서열 d ATTGCAGGGTATA-CG

		염기서열			
		a	b	c	d
염기서열	a		3	4	1
	b	12		3	2
	c	12	12		3
	d	14	13	13	

2. 뉴클레오타이드 차이를 단순 집계하면 동시치환, 평행치환, 역치환과 같은 다중치환을 놓치게 된다(그림 21.2 참고). 진화 모형은 관찰된 실제 뉴클레오타이드 차이의 수를 기반으로 일어난 다중치환의 수를 추정하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 1번 문항의 염기서열 a와 b의 두 번째 뉴클레오타이드는 A와 T 사이의 단 하나의 뉴클레오타이드 차이를 나타낸다. 염기서열 a의 T가 A로 뉴클레오타이드 하나가 치환된 것이 이러한 차이를 설명할 수도 있지만, 2개가 치환되는 것(예: 처음 T가 C로 치환된 후, C가 A로 치환된 것)이 가능하기도 하다. 뉴클레오타이드 차이를 단순 집계하면 이러한 다중치환을 놓칠 수 있다.

요약 및 평가 21.2

1. 이 문제는 표면 서식(눈이 있는) 가재와 동굴 서식(눈이 없는) 가재의 육신 유전자의 염기를 서열화하고 비교하여 해결할 수 있다. 만약에 눈이 없는 종의 유전자가 더 이상 어떤 선택도 하지 않는다면, 육신 유전자에서 동의치환과 비동의치환의 비율이 거의 유사하게 관찰할 것으로 기대할 수 있다. 만약에 새로운 기능(시각과는 다른 기능)에 대한 강력한 선택이 일어났다면, (양성선택을 나타내는) 동의치환과 비교해서 비동의치환이 높은 비율로 나타날 것을 기대할 수 있다. 정화선택의 표면 서식 종에서는 비동의치환의 비율보다 더 높은 비율의 동의치환을 기대할 수 있다.
2. 특정 중립 돌연변이는 소규모 집단보다 대규모 집단에서 더 자주 발생할 것이다. 하지만, 발생하는 모든 돌연변이는 대규모 집단보다 소규모 집단에서 고정될 가능성이 더 크다. 이러한 집단의 크기에 의한 두 가지 영향은 정확하게 서로 상쇄시켜, 결국 중립 돌연변이의 고정 비율이 단지 돌연변이율에만 의존적일 뿐 집단의 크기에 비의존적이 된다. 하나의 유전자자리의 세대당 배우자당 중립 돌연변이율 μ 의 크기 N의 배수체 집단에서 2N 유전자 복사본들에서 돌연변이가 일어날 수 있기 때문에 새로운 돌연변이의 수는 평균 $2N\mu$ 가 될 것이다. 주어진 돌연변이가 유전자 부동만으로 고정될 확률은 새롭게 발생하는 돌연변이에 해당하는 $1/(2N)$ 와 같은 빈도이다. N 배수체의 개체를 갖는 주어진 집단의 중립 돌연변이 고정률 (m)은 이 두 항을 곱하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$m = 2N\mu \frac{1}{2N}$$

그러나 이 식의 오른쪽 항에서 2N을 약분하면 다음과 같이 단순화할 수 있다.

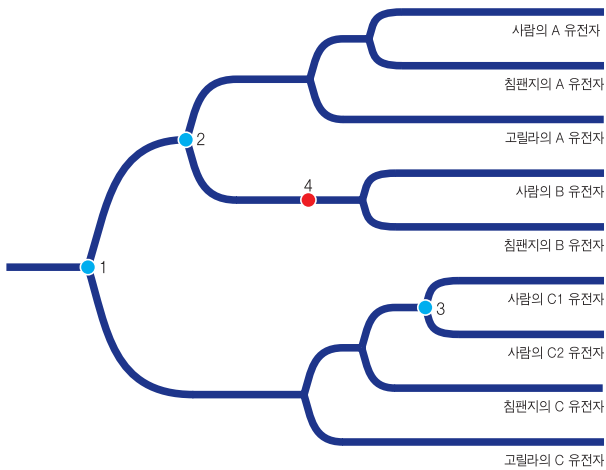
$$m = \frac{1}{2N} \mu$$

따라서 $m = \mu$ 로 나타낼 수 있는데, 중립 대립유전자의 고정률은 중립 대립유전자의 돌연변이율과 같으며 개체군 크기에는 비의존적이 된다.

3. a. 코돈 번호 12, 15, 61은 양성선택 하에서 진화할 가능성이 있다. 왜냐하면 이 코돈들 각각에서 동의치환보다 (아미노산을 치환하는) 비동의치환의 비율이 더 높았기 때문이다.
 b. 코돈 번호 80, 137, 156, 226은 정화선택하에서 진화할 가능성이 있다. 이 코돈들에서의 대다수의 변화는 아미노산 치환을 일으키지 않는 동의치환이기 때문이다. 이는 아미노산 변화를 초래하는 치환(비동의치환)은 의심할 여지없이 발생하지만 대개 집단 내에서 선택된다. 코돈 번호 165는 유사한 수의 동의치환과 비동의치환이 일어났다. 동의치환이 일어난 것처럼 비동의치환도 대략 3번 정도 일어났다. 따라서 각 치환 유형의 치환율이 같다면, 동의치환의 수는 기대했던 것보다 약간 많다. 코돈 165는 약한 정화선택 하에서 진화되었다고 볼 수 있는데, 이는 표에 제시된 코돈 중에서 중립에 가장 가까운 코돈이기 때문이다.

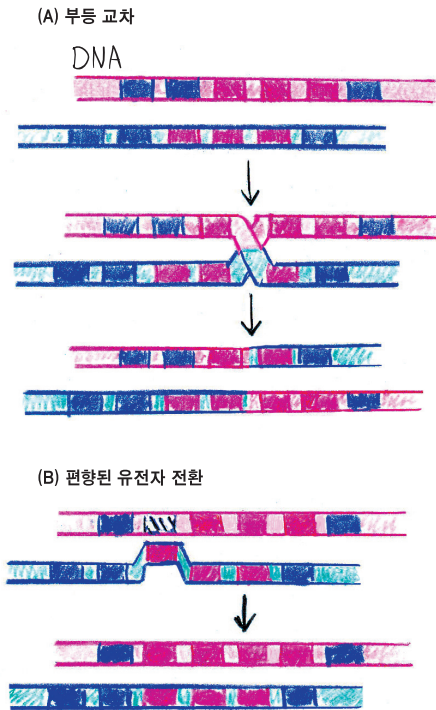
요약 및 평가 21.3

- 예시 가설 1: 비암호화 DNA가 유전자 발현의 변화에 영향을 미칠 수 있으므로 유전체 크기는 다양하며, 많은 종들은 유전자 발현 변화를 통해 크게 진화했다.
 예시 가설 2: 유전체 크기는 집단 크기의 함수에 따라 변화한다. 소규모 집단에서는 약간 유해한 전크 DNA(junk DNA) 축적에 대항하는 약한 선택 때문에 집단의 크기가 작은 종은 대량의 비암호화 DNA를 축적하게 된다. 두 가설의 대조: 만약 가설 1이 생물 간 유전체 크기의 변이 대부분을 설명할 수 있다면, 유전체 크기는 집단의 크기에 매우 독립적이라(무관하다)고 할 수 있다. 이 경우는 해당하지 않는다. 예를 들어, 그림 21.8은 페어와 같이 가장 유전체 크기가 큰 종은 일반적으로 대장균 또는 효모와 같이 가장 유전체 크기가 작은 종보다 집단의 크기가 훨씬 작다는 것을 보여준다. 하지만 두 가설 모두 유전체 크기 변이의 일부를 설명할 수는 있으며, 유전체 크기 변이가 집단 크기의 영향에 의해 얼마나 일어나는가(가설 2)에 대비해서 자연선택의 영향에 의해 얼마나 일어나는가(가설 1)를 설명하기 위한 세밀하게 통제된 실험이 필요하다.
- 유성생식의 세 가지 취약점: (1) 유성 재조합은 적응적인 유전자 조합을 약하게 한다. (2) 성은 모체로부터 자손에게 전달되는 유전자의 비율을 감소시킨다. (3) 자손의 성을 별도로 구분하는 것은 전체 생식물을 감소시킨다.
 유성생식의 세 가지 유익: (1) 유성 재조합이 손상된 DNA 복구를 촉진한다. (2) 유성 재조합은 시간이 지남에 따라 축적되는 유해한 돌연변이의 제거를 촉진한다. (3) 유성 재조합은 자연선택이 작용할 수 있는 대립유전자에 새로운 조합을 생성한다.
 대부분의 생물 종은 유전적 재조합을 성공적으로 수행할 수 있는 몇몇 수단을 가지고 있다. 그렇지 않다면 궁극적으로 비기능적 생물을 초래하는 DNA 오류와 유해한 돌연변이가 개체의 유전체에 점점 축적되기 때문이다. 극히 일부의 제한적으로 복제하는(비재조합) 생물 종은 진화적으로 수명이 짧다.
- 새로운 유전자는 새로운 기능을 갖게 할 수 있다. 예를 들어, 항생제 내성 유전자의 수평적 전달은 세균에게 항생제에 견딜 수 있는 굉장한 유익을 줄 수 있다.
- 계통수는 3번의 유전자 중복과 한 번의 유전자 손실이 일어난 것을 나타낸다. 아래의 계통수에서 3번의 유전자 중복은 파란색으로 유전자 손실은 붉은색으로 표시하였다. 첫 번째 유전자 중복(사건 1)은 유전자 C와 유전자 A, B의 조상 사이에서 일어났으며, 두 번째 유전자 중복(사건 2)은 유전자 A와 B를 초래했다. 세 번째 유전자 중복(사건 3)은 사람의 조상에서 일어나고 그 결과 사람 유전자 C1과 C2를 초래했다. 마지막으로 고릴라 유전자 B가 손실되었다(계통수에서 사건 4).



- 유전자 중복은 많은 진화를 위한 원료를 제공한다. 복제된 유전자는 조상의 기능을 자유롭게 후손에게 전달할 수 있는데, 유전자 사본(원본 복사본)이 원래의 기능을 계속해서 제공할 수 있기 때문이다.

- 협조진화는 모든 유전자 복사본이 높은 유사성을 유지할 수 있도록 함께 진화하는 고도로 반복된 유전자군을 말한다. 부동교차와 편향된 유전자 전환 두 가지 과정을 통해 협조진화가 나타날 수 있다. 이 두 과정은 다음과 같다.



요약 및 평가 21.4

- 생쥐의 눈 형성 유전자 스위치를 초파리의 것으로 대체하면 생쥐에서 눈이 형성되며, 거꾸로 해도 똑같은 결과를 얻는다. 이것은 발생 유전자 스위치가 진화 동안 보존되었다는 것을 의미한다.
- BMP4는 연골 발생과 관련되어 있다.
- 발생유전자 *Distal-less(Dll)*은 절지동물에서 다리의 형성을 조절한다. 곤충은 가슴 체절에 3쌍의 다리가 있지만, 지네류는 가슴과 배 체절 모두에서 많은 수의 다리가 있다. 곤충에서 *Dll* 유전자의 발현은 *Ultrabithorax(Ubx)* 유전자 산물에 의해 억제된다. *Ubx*는 모든 절지동물의 배 체절에서 발현되지만, 이것은 다른 종에서는 다른 효과를 나타낸다. 지네류에서 *Ubx*는 *Dll*과 같이 발현되어 다리의 형성을 촉진한다. 곤충의 진화과정 동안 *Ubx* 유전자 서열에 발생한 돌연변이로 초래된 변형 *Ubx* 단백질은 배 체절에서 *Dll* 발현을 억제한다.

요약 및 평가 21.5

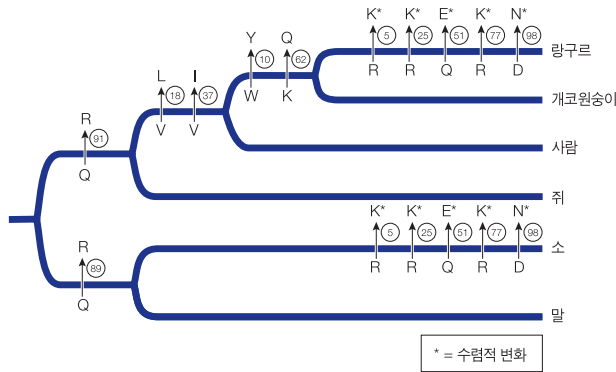
- 단백질에서 나타나는 기능을 달리하는 종들의 진화적 변화 비교를 통해 단백질 기능과 관계된 단백질 서열이 어떻게 변화하는지에 대해 통찰할 수 있다. 예를 들어, 많은 다양한 복어 종의 유전자에서 나타나는 변화는 나트륨 통로 유전자의 테트로도톡신 저항성 진화와 관련된 변화를 나타낸다. 이러한 연구는 나트륨 통로의 기능을 이해하는 데 도움이 되며, 이는 다양한 신경 병리학의 유전적 기초를 이해하는 데 도움이 된다.
- 많은 무작위 염기서열을 가지고 시작한 실험실 진화는 특정한 기능을 가진 새로운 물질을 생산하는 선택과 돌연변이와 관련된다. 실험실 진화는 자연 집단에서 돌연변이 과정과 자연선택을 필적한다. 유일한 차이점은 선택과 돌연변이 과정을 실험실에서 원하는 기능을 가진 분자를 생산하기 위해 사람이 통제한다는 것이다.
- 대부분의 신종 질병은 살아 있고 진화하는 생물에 의해 발생한다. 이들 병원체의 DNA 서열을 진화적으로 비교하면 질병을 신속하게 동정하거나 종종 질병의 원인(유래된 특정 숙주 종 또는 특정 지역)을 알아낼 수 있다. 이전에는 동정하지 못했던 병원체를 가장 가까운 종과 비교할 수 있다. DNA 비교 분석을 통해 생물학자들은 종종 질병의 확산을 통제하기 위한 가장 좋은 전략을 예측할 수 있다.

그림 질문

- 그림 21.10** 대략 1억년 전.
그림 21.16 *Ubx*가 모든 체절에서 발현되었다면 날개 형성 유전자의 발현이 억제되어 파리의 평형곤과 유사한 모양의 축소된 날개 구조가 형성될 것이다.
그림 21.19 오리 배아의 발생 중인 다리에서 Gremlin이 차단되었다면 발가락 사이에서 세포자살이 일어나지 않아 닭과 같은 발이 형성될 것이다.
그림 21.21 두 번의 유전자 중복 사건이 제브라피시 계통에 제한되어 있다. 제브라피시 *En1a*와 *En1b* 유전자에 나타난 중복 사건, 제브라피시 *En2a*와 *En2b* 유전자에 나타난 중복 사건 두 번이다.

그림 질문, 수렴적 분자진화

1.



2. 아미노산 위치 14, 21, 50, 75, 97은 소와 랑구르 간 아미노산의 수렴을 나타낸다.
3. 아미노산 위치 17은 소와 랑구르, 개코원숭이의 조상 사이에서 수렴을 나타낸다.
4. 다른 어떤 위치에서도 수렴은 나타나지 않는다. 거의 모든 수렴적 사건이 소와 랑구르 사이에서 나타난다는 사실은 이러한 수렴적 변화들이 전장 발효로 전환된 기능의 수렴성과 관련된다는 가설을 지지한다.

그림 질문, 1918~1919년 독감의 세계적 유행이 왜 그토록 심각했는가?

1. 조류는 다양한 포유류 종(말, 돼지, 사람)의 독감을 일으키는 독감 바이러스의 근원인 것처럼 보인다. 조류의 계통은 계통수의 가지까지 이어져 있어 포유류에서 나타나는 독감 바이러스의 각 계통과 밀접한 관련이 있는 것처럼 보인다.
2. 계통수는 5개의 중간 전파를 보여준다. 조류에서 말까지 2개, 조류에서 돼지까지 2개, 조류에서 사람까지 1개 등이다. 사람 독감 바이러스는 돼지의 바이러스(돼지독감 바이러스)와 가장 밀접하게 관련되어 있으며, 바이러스가 조류에서 돼지로, 그리고 돼지에서 인간으로 1900년대의 두 번째 10년 후반기의 짧은 시간 안에 옮겨졌을 가능성이 있다.
3. 1918년에 새로운 독감 바이러스의 균주가 (돼지 집단뿐 아니라) 사람 집단에 유입되었다. 사람의 면역체계는 이 새로운 독감 바이러스 균주에 대한 어떤 사전 경험이 없었기 때문에 효과적으로 방어하기 위한 준비를 하지 못했을 것이다.
4. 초기 독감 사례는 사람 집단에서 다른 독감 바이러스 균주가 전염되는 중간 전파에 의해 발생했을 가능성이 있다. 이 독감 바이러스 균주들은 사람 집단에서는 사라진 것으로 보이므로 이 연구에서 표본 추출에 사용할 수 없다. (따라서 계통수에 나타나 있지 않다.)

눈에 보이는 요약

핵심개념 21.1

1. 정렬된 유전자 서열의 간극은 다음 두 가지 가능한 변화 중 하나가 일어난다는 것을 나타낸다. 하나는 간극이 있는 유전자의 뉴클레오타이드 결실(deletion)이고, 다른 하나는 간극이 없는 유전자의 뉴클레오타이드 삽입(insertion)이다.
2. (조상 서열과 적어도 하나의 관찰된 서열 사이의 특정 위치에서 2회 이상 변화가 일어나는) 다중치환, (조상 서열과 각각의 관찰대상 서열들 사이에서 서로 다른 치환들이 일어나는) 동시치환, (조상 서열과 각각의 관찰대상 서열 사이에서 동일한 치환이 독립적으로 일어난다. (조상 서열과 각각의 관찰대상 서열 사이에서 동일한 치환이 독립적으로 일어나는) 평행치환, (특정 위치에서 변화가 발생한 후, 후속 치환이 일어나 조상의 서열 상태로 되돌리는) 역치환 때문에 유사도 행렬에 나타난 치환을 적게 계산하게 된다.

핵심개념 21.2

1. 안정화 선택하에서는 유전자의 기능이 유지된다. 동의치환은 암호화 단백질의 아미노산 치환을 초래하지 않아 아미노산 치환을 초래하는 비동의치환보다 유전자 기능의 변화가 나타날 가능성이 거의 없다.
2. 일반적으로 양성선택하에서는 단백질 암호화 유전자는 비동의치환 대 동의치환 비율이 높다. (1보다 높으면, 비동의치환에 대한 선택이 잘 일어나기 때문이다.) 안정화 선택하에서는 유전자의 동의치환율이 비동의치환율보다 상당히 높다.
3. 코돈의 세 번째 위치가 변화하더라도 종종 암호화하는 아미노산이 변화하지는 않는다. 코돈 세 번째 위치의 변화는 첫 번째 또는 두 번째 위치의 변화보다 동의치환을 나타낼 가능성이 크다. 따라서 코돈의 세 번째 위치 변화는 첫 번째 또는 두 번째 위치 변화보다 더 빠르게 진화할 것이며, 이는 비동의 변화가 단백질 기능을 파괴하지는 않기 때문이다.

핵심개념 21.3

1. 유전체 크기는 식물과 동물에 따라 크게 다르다. 심지어 기능 유전자 수가 유사하더라도 유전체 크기는 다르다. 예를 들어, 폐어와 백합의 유전체 크기는 유사한 구조적 복잡성을 가지고 있음에도 다른 척추동물과 편다발식물의 유전체보다 수십에서 수백 배 크다. 유전체 크기의 차이는 비암호화 DNA의 양에 따라 크게 달라진다.

2. 유성 재조합은 더 많은 유해한 돌연변이를 가진 재조합 유전체를 생산하기도 하고 매우 적은 유해 돌연변이를 가진 재조합 유전체를 생산하기도 한다. 선택은 매우 적은 돌연변이를 가진 개체에 유리하며 결과적으로 집단에서 개별 유해 돌연변이를 제거할 수 있게 된다. 재조합이 없다면, 유해 돌연변이는 시간이 지남에 따라 단순히 유전자형으로 축적되는데 이는 물리의 미늘톱나비쿠로 알려진 효과이다.
3. 측면 유전자 전달은 특히 일부 세균 집단에서 공통적이다.
4. 다양한 답이 가능하지만 한 가지 예는 그림 21.10에 제시하고 있는 글로벌 유전자 진화이다. (글로벌 유전자는 미오글로빈과 헤모글로빈의 다양한 조직 특이적인 하위 유형을 암호화하는 유전자이다.) 글로벌 단백질마다 산소 친화도가 다르다. 이러한 단백질 기능의 변화는 혈액 내 헤모글로빈이 (산소 농도가 상대적으로 높은) 아가미나 폐에서 산소를 흡수하고, 산소 농도가 훨씬 낮은 근육조직 내 (산소 친화도가 상대적으로 높은) 미오글로빈으로 산소를 방출하도록 한다.

핵심개념 21.4

1. 그림 21.14는 초파리 호미모 돌연변이의 예를 보여주는데, 더듬이 대신에 머리에서 다리가 치환되어 자라고 있다.
2. 이양성의 예로 다윈 핀치 부리(길이, 폭, 깊이)의 차이를 나타내는 유전자 발현 차이를 들 수 있다. 이양성의 예로는 기린의 긴 목을 들 수 있는데 발생 시기에 다른 포유류보다 더 기다란 경추가 생긴다. 이양성의 예로는 오리 발과 닭 발의 다른 위치에서의 유전자 발현을 들 수 있는데, 유전자 발현 위치의 차이로 물갈퀴가 있는 오리 발과 물갈퀴가 없는 닭발이 생긴다.
3. 곤충 배 체절에서의 발생 유전자의 변화는 배 체절의 다리가 형성하지 않도록 유도한다. 곤충의 (기슴 체절에만 다리를 가진) 6개 다리 패턴은 가장 크고 가장 다양한 동물 집단을 형성하도록 유도하였다.

핵심개념 21.5

1. 기능 변화는 기능을 가진 유전자의 변화되어야 나타난다. 이러한 변화는 종종 선택적 유익이 있다. 양성 선택은 자연선택에 반응하는 유전자 변화에 대한 방향성 선택이다.
2. 유사성은 변이 생성 돌연변이 및 유익을 가진 돌연변이에 대한 선택을 포함하고 있다. 자연적 돌연변이 대 비(실험실에서) 인위적으로 유도된 돌연변이, 돌연변이 선택 대 비 더 높은 생존율 또는 더 높은 생식률을 초래하는 돌연변이와 같이 관심있는 특정 기능을 인위적으로 통제된 선택을 포함하고 있다.

22장

요약 및 평가 22.1

1. 생물학자들은 생물의 다양한 측면들에 관심이 있고 그들이 강조하는 것은 종에 대해 하는 질문에 따라 다르다. 계통이 분기되는 현상에 관해 관심 있는 생물학자들은 계통이 서로 다른 계통으로 분리된 이후, 서로 독립된 채로 유지되는 현상(즉, 어떻게 종이 존재하게 되어 하나의 종과 구별되는가)을 강조한다. 종들을 구분하고 시간과 공간에 따른 분포를 이해하는 대다수 생물학자는 역사적인 측면과 종을 어떻게 구분할 수 있는지를 강조할 가능성이 더 크다(즉, 자연에서 우리는 종을 어떻게 인식하는가). 또 다른 생물학자들은 종들이 공동체 내에서 공존하는 방식에 관심이 있으며, 이러한 생물학자들은 생물 종의 생태학적 역할을 강조할 것이다 (종들은 그들의 적응과 위치에 있어서 어떻게 다른가?). 각각의 강조점들은 다른 생물학자들이 종의 다양한 특성을 강조하도록 만든다.
2. 성적인 계통(sexual lineage)은 상당한 정도의 생식적 격리를 나타내야 하며 그렇지 않으면 서로 구별될 수 없다. 생물학자들이 주로 형태학적 종의 개념을 사용한다고 하더라도, 형태학적 차이는 2종이 생식적으로 서로 완전히 분리되어 있지 않은 한, 시간과 공간에 따라 형태적 차이를 유지할 수 없다. 생식적 격리는 생물학적 종의 개념의 핵심이다. 계통학적 종의 개념은 종을 계통수에서 별개의 독립된 계통으로 개념화한다. 이러한 각각의 계통들이 시간이 지나더라도 유지가 되려면, 이 계통들은 생식적으로 서로 격리되어야 한다. 따라서 생식적 격리는 다양한 종의 개념에서 (직, 간접적으로) 가장 중요한 요인이다.
3. 생물학적 종의 개념은 '실제로 또는 잠재적으로 교배 가능한 자연 집단'으로 그 한계를 명확히 하고 있다. 분명히, 무성생식 개체들은 이러한 집단을 형성하고 있지 않다. 그런데도, 이러한 개체들은 시간과 공간에 따른 계통을 형성하고 있으며, 이러한 계통들은 이용 가능한 공간적 지위(available niche space)와 같은 다른 요소들에 의해 유지되었을 것이다. 생물학적 종의 개념을 강조하는 대다수 생물학자는 주로 생식적 격리와 이러한 격리 기작이 유지되는 방법에 관심이 있다. 계통학적 종의 개념은 생물학적 종의 개념과 상충되지는 않지만, 이 개념은 종의 성별과 관계없이 모든 종에 적용되는 더 포괄적인 방법을 제시한다. 또한, 계통학적 종의 개념은 생물학자들의 지질학적 시간(생식적 상호작용이 불가능한 곳)에 따른 종에 관한 연구를 가능하게 한다.

요약 및 평가 22.2

1. 만일 2개의 분기된 계통 간의 차이가 오직 하나의 유전자자리에서만 발생한다면, 이 유전자자리와 결합하는 대립유전자는 반드시 기능적이어야 한다. 이 새로운 대립유전자들에 의해 만들어진 유전적 불화합성은 부모 세대에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 서로 다른 유전자자리 간의 유전적 불화합성은 많이 있다. 도브잔스카-발러 모형은 같은 유전자자리(각 계통의 유전자자리)에서의 두 가지 해로운 변화가 아니라, 모든 유전자자리에서의 중립적 변화를 허용한다. 이것은 유전적 불화합성을 초래하는 두 계통 사이에 발생한 집종 내 유전자자리 간의 부정적인 상호작용이다.

2. 분리가 정상적으로 일어나지 않으면 염색체 중심 결합은 감수분열에 문제를 일으킬 것이다. 염색체 팔들은 다른 종들 사이에 서로 다르게 연결되어 있어서 감수분열에 의한 중복과 결실을 초래한다. 만일 2개의 염색체 융합이 서로 다른 계통에서 발생한다면, 일반적으로 이들의 생식세포는 감수분열 시 짝을 이루지 못한다. 여기서 보이듯이, 일부 다른 종으로부터 온 2개의 다른 염색체 일부분을 한 종의 염색체가 가질 것이기 때문이다. 다양한 염색체 팔에 균등하게 분포하는 정상적인 세포의 생산이 어려워서, 집단 개체들은 정상적인 생식세포의 생산이 어려울 것이다.

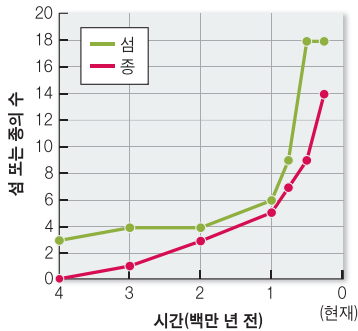


3. 가장 그럴듯한 가능성은 서로 호환되지 않는 대립유전자가 아직 다양한 계통에서 고정되어 있지 않았기 때문에 오직 일부 교차결합만이 유전적 불화합성을 초래하려는 것이다.

요약 및 평가 22.3

- 4배체와 같은 배수체는 첫 번째 세대에서 발생할 수 있다. 2배체와 4배체 사이의 집종은 두 번째 세대에서 3배체로 발생할 수 있으나, 감수분열 시 3배체는 불안정한 염색체 수의 생식세포를 만들어 불임이 된다. F₁의 4배체 자손은 자가수정이나 또는 4배체 개체와 교배를 통해 자손을 생성할 수 있다. 따라서 배수체 개체는 2배체 종과 생식적으로 격리됨으로써 독립 종이 될 수 있다.
- 아스 지역에서 발생하는 종들은 처음에는 분리된 지역에서 발생하지만, 대개 인접한 범위에서 발생한다 (그림 22.6 참고). 따라서 많은 근연종이 이러한 패턴을 나타낼 수 있다고 기대할 수 있다. 이동성이 높은 종들의 범위는 시간이 지남에 따라 변화할 가능성이 더 크므로, 비교적 한곳에 머무르는 종들 사이에서 이러한 패턴이 더욱 강하게 나타날 것이다. 매우 다양한 개체들의 개체군을 이용하여 생물학자들은 이러한 추측을 확인했다.

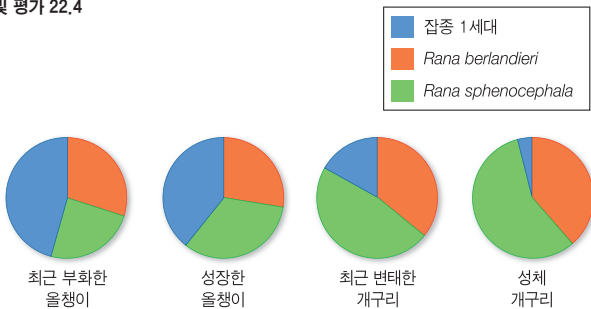
3. a.



- 종의 수에 대한 곡선은 속의 수에 대한 곡선에 비해 뒤떨어져 있기 때문에 정답은 '예'이다. 하지만 두 곡선은 시간에 따른 기울기에서 매우 유사한 변화를 나타낸다. 새로운 속이 생겨남에 따라, 종분화를 위한 새로운 기회가 생겨난다. 종의 수는 항상 각각의 속의 수보다 작다.
- 현재 군도에는 18개의 섬과 단 14종(일부 생물학자들에 의해 인정됨)으로 이루어져 있다. 이러한 점은 지리적 격리에 의해 추가적인 종분화 기회가 여전히 존재함을 암시한다. 질문 3a의 그래프에 근거하여, 우리는 2 또는 그 이상의 섬에 분포하는 종 집단은 시간이 지남에 따라 분화할 수 있다. 이 가설을 테스트해 보기 위해, 각 집단의 개체들을 수집하고 이들의 유전적 분기를 측정해 볼 수 있다. 서로 다른 섬의 유의미한 유전적 분기값은 섬 간의 지리적 거리는 유전적 교류를 방해하는 장벽으로 작용 가능하며, 시간이 지남에 따라 서로 다른 2종으로 분기할 가능성이 있음을 나타낸다(핵심개념 22.2 참고). 실제로 다윈의 핀치에 대해 논의한 것처럼, 몇몇 생물학자들은 서로 다른 섬에 분포하는 유전적으로 분기된(그러나 형태적으로 비슷) 종들을 각각의 서로 다른 18개의 종으로 인식하기도 했다.

요약 및 평가 22.4

1. a.



b. 집단개체들은 각 성장단계에서 적은 비율을 차지하며, 이는 각 부모 세대의 순종 개체들에 비해 낮은 생존력을 나타낸다. 생식 후 격리 기작은 집단 접합자와 집단 성숙개체의 낮은 생존력(성체 개구리의 경우)을 이러한 패턴과 일치한다. c. 집단형성을 저해하는 선택은 2종 사이의 교배시기가 겹치지 않는 것을 선호할 것이다. 시간이 지남에 따라, 교배시기의 상쇄로 인해 보다 많은 개체들이 생존할 것으로 기대된다(이러한 경우에는 집단이 생산되지 않기 때문). 개구리가 번식할 때 영향을 미치는 유전자 구성 요소가 있다고 가정하면, 이 집단들은 서로 겹치지 않는 번식시기에 두 종의 이소적 혹은 동소적 개체군으로 볼 수 있음. 그림 22.11 참고를 만들어 낼 것으로 예상된다. 번식시기의 중첩이 감소할수록, 각 단계별 집단 개체의 수는 줄어들 것으로 기대된다.

2. 유용한 정보를 제공할 수 있는 많은 가능한 실험들이 있다. 다음은 꽃의 위치에 따른 수분매개자의 유도 효과에 대한 예다. 한 종의 꽃들을 취한 후, 두 가지 부류로 나눈다. 꽃의 방향을 위로 향하거나 아래로 향하도록 매달아 놓고, 각각의 꽃에 접근하는 수분매개자의 수와 종류를 기록한다. 두 그룹 간의 차이가 통계적으로 유의하지 확인한다.

3. 집단대로의 지속적인 유전적 교류가 있지만, 집단대는 '유전자 수용지역'으로 작용한다. 형성된 집종들은 부모세대에 비해 생존력이 떨어지기 때문에 집단대에서 밖으로의 유전적 흐름은 거의 없게 된다. 집단대의 확장은 집단세대가 집단대로부터 벗어나 부모세대 개체들과 경쟁에서 살아남을 경우 가능할 것이다.

요약 및 평가 22.5

- 민약 수분매개자가 특정한 꽃의 형태에 대해 전문화된다면, 그것은 다른 꽃의 형태 간 교배의 기회를 감소시킬 것이다. 따라서 꽃의 다양한 형태는 각각의 서로 다른 꽃의 형태를 갖는 개체들 사이의 급격한 유전적 분열을 초래할 수 있다. 이와 유사한 과정은 동물들의 성선택에 따라 발생한다. 어떤 암컷들은 특정 형질을 가진 수컷과 짝짓기를 선호하고 다른 암컷들은 다른 형태의 수컷을 선호한다면, 그 집단은 유전적으로 분기된 2개의 그룹으로 나누어질 수 있다.
- 격리된 지역에서 새롭게 이주한 종은 특정한 먹이 전략이나 생활 방식에 대한 경쟁이 없을 수도 있다. 이러한 조건에서, 새롭게 이주한 종들에 의해 차지될 수 있는 많은 '개방적 지위'가 존재하고, 이는 종분화의 급격한 증가를 이끈다.

그림 질문

그림 22.5 유전적으로 차이를 나타내는 종들은 거의 항상 도브잔스카-월러 모형의 불화합성에 따라 작용한다. 왜냐하면, 서로 잘 기능하지 못할 가능성이 있는 여러 다른 유전자가 더 많기 때문이다. 하지만 도브잔스카-월러의 불화합성은 단지 2개의 유전자에 대해서만 적용 가능하며, 다른 유전자와 유사한 쌍들은 생식적으로 매우 빨리 분리될 수 있다.

그림 22.6 방하의 형성은 이전에 연결 가능했던 고산지대의 두 지역을 없애지게 했고, 그래서 오늘날에는 차이가 있는 종들이 상호작용을 할 수 있는 적절한 서식지가 거의 없다. 하지만 분화된 2종의 상호작용이 가능하다면 (도브잔스카-월러 모형에서 설명한 바와 같이) 새롭게 형성된 집종들의 적응능력은 감소할 것이다.

그림 22.11 동소 지역에서 생식시기의 중첩은 집단형성의 증가를 야기한다. 하지만 이러한 집종은 생활력이 감소하고, 번식기에 개구리들의 선호도에 따른 선택 때문에 집단형성은 저해된다.

그림 질문, 꽃의 색깔은 Phlox의 생식적 격리를 강화한다

- 붉은색 꽃의 경우, 집종의 종자 비율은 0.1298(27/208)이다. 이 수치의 95% 신뢰도 한계는 약 0.09~0.18이다. 분홍색 꽃의 경우, 집단 종자의 비율은 0.3813(53/139)이며, 이 수치의 95% 신뢰도 한계는 약 0.30~0.47이다.
- 그 귀뚜가실에서는 붉은색 꽃과 분홍색 꽃의 집단종자 형성 비율에 큰 차이가 없음을 나타내고 있다. 따라서 이 가설은 기각된다. (귀뚜가실이 침입 확률은 $P < 0.0002$ 이다.)
- 과학적 연구는 종종 후속 실험으로 해결될 수 있는 새로운 질문들을 제기한다. *P. cuspidata*의 존재와 무관한 (붉은 꽃을 선호하는 수분매개자의 지역적 풍부함 등) 현지 여건 때문에 연구 지역에서는 적색 꽃이 선호되었을 수 있다는 가능성을 확인하기 위해 또 다른 동소적 및 이소적 지역에 관한 반복적인 연구가 필요하다. 한 가지 가능한 실험은 동소지역에서 모든 *P. cuspidata* 종을 제거한 후, *P. cuspidata*의 부재가 붉은 꽃의 *P. drummondii*의 선택적 이점을 없애는지를 확인하는 것이다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 22.1

- 화석은 보존된 형태학에 기초하여 대체로 또는 완벽히 식별되기 때문에 대부분의 화석은 형태학적 종 개념을 이용하여 종에 배정된다. 그러나 드물지만, 어떤 종의 화석은 지질학적 기록을 통해 충분히 화석 종을 추적할 수 있으며, 이 경우 형태학적 기준과 결합하여 계통학적 종 개념을 사용할 수도 있다. 멸종된 개체에게 생식적 격리를 직접 실험할 수 없기 때문에 생물종 개념은 화석에 거의 적용할 수 없다.
- 한 종에 속하는 개체는 동일한 유전자 풀을 공유하기 때문에 일반적으로 많은 형태학적 유사점을 공유하고 있으며, 형태는 대부분 유전자에 의해 결정된다. 종은 전형적으로 서로 생식적으로 격리되기 때문에 형태학에서 서로 분리된다. 마찬가지로 생식 연관(조상-후손 관계)은 시간을 통한 종을 정의하는 것이고, 생식격리는 대부분의 종 계통들이 분리되고 서로 독립적으로 진화하도록 하는 것이다.

핵심개념 22.2

- 서로 다른 계통은 서로 다른 위치에서 변화를 일으킬 가능성이 있으며, 도브잔스카-월러 모형은 이러한 서로 다른 위치에서 상물들의 상호작용에서 불화합성을 기반으로 한다.

2. 개별적인 중심 결합 다형성은 모집단에 거의 영향을 미치지 않기 때문에 이러한 염색체 재배열이 고정되기 비교적 쉽다. 그러나 2개의 서로 다른 중심 결합이 서로 다른 모집단에 고정되어 있으면, 두 모집단 사이의 집단들은 정상적인 감수분열을 완료하는 데 어려움을 겪을 것이기 때문에 생식적 격리를 초래할 수 있다.

핵심개념 22.3

1. 많은 종을 동시에 분리하는 어떠한 지리적 사건은 이소적 종분화를 통해 여러 종 쌍을 발생시킬 것으로 예상된다. 예를 들면 새로운 산맥에 의해 두 개의 길로 갈라지는 강이나 새로운 육교를 통해 많은 종으로 갈라지는 해양생물들의 집단이 있다.
2. 4배체 부모는 이배체 배우체를, 이배체 부모는 반수체 배우체를 생산한다. 4배체는 다른 4배체와 교미할 수 있고, 2배체는 다른 2배체와 교미할 수 있으며, 여전히 균형이 잡힌 수의 염색체를 가진 자손을 생산하기 때문에 정상적으로 번식할 수 있다. 그러나 4배체가 2배체와 교미할 때, 3배체 자식은 대부분 염색체 불균형 생식체를 생성하며, 이는 자식의 생존 가능성을 크게 감소시킨다.

핵심개념 22.4

1. 물리적, 시간적, 행동적, 서식지 그리고 배우자 격리.
2. 낮은 집단 접합자 생존력, 낮은 집단 성체 생존력, 그리고 집단 불임.

핵심개념 22.5

1. 육식성 곤충은 보통 다양한 종을 잡아먹는 일반종이다. 이와는 대조적으로 초식성 곤충은 특정 식물의 화학 방어에 적응해야 하므로 종종 특정 종의 식물을 먹고 산다. 그래서 초식성 곤충들은 서로 다른 숙주 식물에서 서로 고립되기 쉽다.
2. 분산의 정도가 크고 동일한 지리적 장벽을 더 쉽게 넘을 수 있는 개체에 비해, 분산의 정도가 적은 개체는 작은 지리적 장벽에 의해 다른 개체군으로부터 고립될 가능성이 커서 종분화율이 높다.
3. 새로운 지역의 군체 형성은 다양한 개방된 생태적 지위에서 적응하기 때문에 종종 진화적 방산으로 이어진다.

23장

요약 및 평가 23.1

1.



2. 조사지 z는 질문 1 해답의 두 번째 지도에서 오르도비스기와 실루리아기 사이의 예측된 경계 근처에 위치한다. 따라서 조사지 z는 오르도비스기와 실루리아기 사이의 경계를 정밀하게 나타내는 가장 좋은 위치가 될 것이다.
3. 식물과 동물은 실루리아기에 육상에 진출했다. 따라서 육상 식물 또는 동물의 화석을 발견하기 위해서는 실루리아기 퇴적층에서, 지도의 북동쪽 지역을 조사해야 한다.

요약 및 평가 23.2

1. 기후는 특정 지역의 날씨에 대한 장기적인 평균적인 기대치를 말한다. 날씨는 매일 발생하는 사건이라 할 수 있다. 기후의 장기적인 기대치가 점점 온난화되더라도, 우리는 여전히 열대 지방으로부터 떨어져 있는 특정 지역에서 나타나는 간헐적 겨울철 눈보라를 예측한다. 장기간에 걸친 평균 기온 1°C의 증가가 주요한 기후변화를 나타내기도 하지만 특정 지역의 1년 내내 넓은 범위의 기온 조건을 예측하게 하기도 한다.
2. 선캄브리아기가 끝날 무렵에는 몇 가지 주요 환경 변화가 발생했다. 이 시기는 '눈덩이 지구(Snowball Earth)' 기간의 끝이었으며, 생명체는 온천과 열수구와 같은 상대적으로 온난한 몇몇 지역에 국한되어 생존했을 것이다. 지구의 온난화는 생명체가 급속하게 다양화하도록 하였으며, 대기 중에 산소가 급속하게 축적되었다. 다세포 생물은 단세포 생물보다 대사 요구량이 높다. 산소는 초기의 광합성 생물에 의해 지구 대기에 축적되면서, 처음에는 초기 지구에 존재했던 단세포 혐기성 생물에게는 독성을 나타내었다. 일부 종은 산소를 견디면서 호기성 호흡을 위해 산소를 사용하도록 진화하였다. 이는 생물들이 커다란 군체를 형성하도록 진화하게 하였다. 결국, 다세포성 군체 내의 서로 다른 개체들이 협력함으로써 통합된 다세포 생물로 진화하였다.

요약 및 평가 23.3

1. 녹색 혁명이 시작된 주요인은 콩과 식물의 두 유전자의 진화이다. 콩과 식물은 몇몇 종의 질소고정 박테리아와 공생체를 형성하여 대기 질소를 직접 사용할 수 있게 되었다. 이 변화는 육상 식물이 생장에 이용할 수 있는 질소의 양을 급격하게 증가시켰다.

2. 현생누대가 약 5억 4,200만 년간 지속된 것에 비해 사생누대와 원생누대는 각각 약 13억 년과 20억 년 동안 지속되었다. 그러나 생명의 계통수 대부분은 훨씬 짧은 시간 동안 유지된 현생누대를 묘사하고 있다. 생물의 주요 집단의 대부분이 이 시기에 분기하였기 때문이다.

그림 질문

그림 23.3 태평양의 한기운데에는 새로운 암석 지각이 형성되는 확산 지대가 있다. 이것은 해양판을 동쪽과 서쪽으로 밀어내고, 해양판이 태평양의 양측에 있는 대륙판을 만나는 섭입대를 형성한다.

그림 23.4 지구가 냉각되면 더 많은 물이 빙하의 형태로 육지에서 얼음으로 묶이게 된다. 따라서 바다에는 물이 적어지기 때문에 해수면이 더 낮아진다.

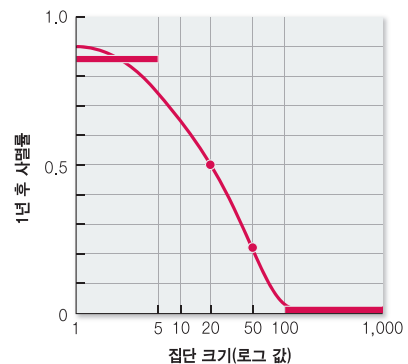
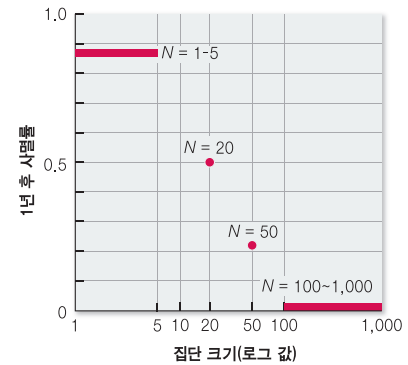
그림 23.8 페름기 말기의 거대한 화산분출에 의해 생성된 화산재와 가스는 햇빛을 차단했고 지구를 급속하게 냉각시켰다. 무성한 페름기 숲이 대규모로 사라졌으며, 이러한 숲이 부식되기 위해 대기 중 대량의 산소가 소모되었다. 또한, 광합성 생물의 소실은 대기에 들어가는 산소의 생산이 적어졌다는 것을 의미한다.

그림 질문, 대기 중 산소 농도와 곤충의 몸 크기 사이의 관계

1. $W = S(1 + R)^N$ 이기에 때문에, $W = (1 \text{ g})(1,0001)^{50,000} = 148,38 \text{ g}$ 이다.
2. 페름기는 4,800만 년(2억 9,900만~2억 5,100만 전까지)간 지속되었다. 따라서 50,000년은 이 시기의 약 1/1,000 또는 0.1%이다.
3. 세대당 몸 크기의 0.01%의 아주 작은 증가만으로도 50,000년 만에 몸무게가 1g에서 148g 이상으로 증가할 만큼 충분하다고 생각하면, 50,000년은 페름기의 약 1,000분의 1이고, 대기 산소의 증가가 위에서 계산된 것보다 곤충 몸 크기의 훨씬 더 빠른 진화를 가져올 수 있음을 보여준다. 또 페름기 동안 증가한 산소 농도가 거대 잠자리 진화를 충분히 설명한다는 결론을 내리는 것이 합리적이라 할 수 있다.

그림 질문, 작은 집단의 멸종에 영향을 미치는 요인은 무엇인가?

1.



2. 2년 후의 생존율은 1년 후보다 분명히 더 낮을 것이다. 1년 후, 집단 크기가 20인 집단의 약 절반이 사멸할 것이다. 2년 후 사멸할 될 숫자를 계산하려면 첫째에 사멸하지 않은 집단의 절반의 집단 크기의 분포를 알아야만 한다. 만약 생존 집단의 평균 크기가 1년 후에도 여전히 200이라 가정하면, 남아있는 집단의 또 다른 절반이 2년 이내에 사멸(원래 집단의 75%의 2년 동안 사멸률)될 것으로 예상할 수 있다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 23.1

1. 38억 년에서 약 4억 2,000만 년 전까지 또는 생명의 역사의 약 89% 동안 생명은 대부분 또는 완전히 수생 환경에 제한적으로 존재했다. 식물과 동물은 실루리아기의 4억 2,000만 전에 육상으로 진출했다.
2. 60,000년은 ¹⁴C의 10번째에서 11번째 반감기에 있다. 10번째 반감기 후, 표본에 남아있는 ¹⁴C 최초의 0.1%보다 다소 적을 것이다. 이 시점 이후에는 ¹⁴C 검출이 제한적이다.
3. 우라늄-235와 칼륨-40은 지구 나이까지(약 45억 년)의 암석을 연대측정하기 위해 사용할 수 있다.
4. 현생누대는 지구의 45억 년 역사 중 최근 5억 년 또는 전체 지구 역사의 약 11%를 나타낸다.

핵심개념 23.2

1. 커다란 호기성 진핵세포는 작은 원핵세포보다 높은 대기 중 산소 농도가 필요하다. 이는 더 커다란 세포는 훨씬 낮은 겹넓이 대 부피 비율을 가지기 때문이다. 더구나 다세포성 생물은 단세포성 생물보다 훨씬 높은 대기 중 산소 농도가 필요하다. 25억 년 전 광합성 진화는 대기 중 산소 농도의 점진적 증가를 초래했으며, 이로 인해 결과적으로 (약 15억 년 전에) 커다란 진핵세포의 진화, 후에는 진핵생물의 다양한 다세포성 기원이 나타나게 되었다.
2. 광범위한 확산 때문에 부분적으로 유도된 지구의 건조와 냉각은 페름기 말의 광범위한 저지대 습지의 소실을 초래하였다. 광범위한 습지의 소실은 많은 페름기 식물의 상실을 초래하였으며 식물 잔해의 매장량이 줄어들게 하였다. 광합성을 통한 산소 생산의 소실과 함께 식물의 분해는 대기 중 산소 농도가 급격하게 줄어들도록 하였다.
3. 평균 지구 기온이 높아지면, 육지의 빙하가 녹아 해수면이 높아진다. 이와 유사하게 지구 평균 기온이 내려가면, 더 많은 물이 대륙에 빙하로 묶여 해수면이 내려간다.
4. 확산분출은 화산재와 이산화황(SO₂) 가스 모두를 방출한다. SO₂는 대기 중 황산(H₂SO₄) 농도가 높아진다. 화산재와 황산은 태양광이 지구 표면에 도달하지 못하도록 하여 지구 표면의 기온이 내려간다.

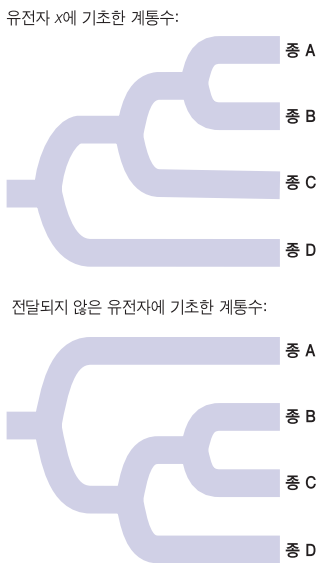
핵심개념 23.3

1. 캄브리아기 초기의 동물상의 진화적 변화는 지질학적으로 급격한 다양화를 초래하여 '대폭발'이라고 일컫는다. 연속적인 방산이 캄브리아기 전부터 시작하여 캄브리아기 초기까지 약 6,000만 년 동안 계속되었다. 하지만 6,000만 년은 지질학적 시간으로 보면 상대적으로 여전히 짧다.
2. 대멸종의 두 가지 주요인은 지구와 커다란 운석의 충돌과 광범위한 확산분출이었다. 그 두 사건은 급격한 지구 냉각과 해수면 하강을 초래하였다.
3. 눈덩이 지구는 바다가 대부분 얼음으로 덮이고 대륙이 빙하로 덮인 원생누대 말에 있었다. 이러한 조건에서 생명은 열수, 온천, 적도 해양에 제한하여 존재했었을 것이다. 커다란 다세포 생물에게 유리한 조건은 제한적이었다. 원생누대 말에 지구가 온난화됨에 따라 다세포성 생물에게 유리한 조건이 늘어나면서 캄브리아기 대폭발로 알려진 다세포 진핵생물의 급격한 다양화가 일어났다.
4. 페름기에는 판게아로 알려진 현재의 모든 대륙이 연결된 형태의 초대륙을 형성하였다. 쥐라기에는 판게아는 2개의 대륙, 북쪽의 로라시아와 남쪽의 곤드와나로 분리되었다. 백악기에는 곤드와나는 오늘날 우리가 알고 있는 남쪽 대륙(남아메리카, 아프리카, 남극, 유라시아로부터 마지막으로 분리된 인도 아대륙)으로 나뉘었다. 고제3기에는 로라시아가북아메리카, 유라시아, 북쪽으로 움직여 유라시아와 충돌한 인도대륙으로 나뉘었다.

6부 24장

요약 및 평가 24.1

1. DNA 염기서열 결정법이 개발되기 전 생물학자들은 보통 진핵생물과 원핵생물의 차이를 강조하며 모든 원핵생물을 하나의 그룹으로 묶었다. 하지만 이러한 두 '그룹'을 구분하는 특징들(핵이나 다양한 세포소기관의 존재와 같은)은 모두 진핵생물에서 파생되었다. 유전자 염기서열(특히 리보솜 RNA 유전자)을 모든 생물에서 비교했을 때, 진핵생물보다 '원핵생물'의 유전적 다양도가 훨씬 컸다. 실제 고균의 리보솜 RNA 유전자는 세균보다 진핵생물의 리보솜 유전자와 훨씬 유사하였기 때문에 고균은 세균과 독립된 역임이 제안되었다. 생물학자들이 고균에 대해 더욱 자세히 연구하면서 세균과 구분되는 많은 다른 특징들을 발견하였다. 더욱 최근에, 유전체 서열결정을 통해 일부 고균이 다른 모든 원핵생물보다 진핵생물과 더욱 근연관계에 있음이 밝혀졌다.
- 2.



3. 진핵생물의 유전체는 세균보다 고균과 더욱 밀접하게 연관된 유전자들을 대부분 포함한다. 이를 통해 생물학자들은 고균의 조상 계통이 진핵생물의 특징(핵 등)을 최초로 획득하였다는 결론을 내렸다. 그 후 초기 진핵생물은 최종적으로 미토콘드리아가 되는 내부공생성 기생세균을 획득하였다. 그 뒤 진핵생물의 한 그룹은 또 다른 내부공생체, 이번에는 초기 남세균을 획득하였고 이것은 광합성 진핵생물에 있는 엽록체가 되었다. 이들 두 내부공생성 세포소기관에 있는 유전자들은 고균의 유전자보다 세균의 유전자와 더욱 근연관계에 있다.

요약 및 평가 24.2

1. 표에 나타난 모든 두 그룹 사이의 유사성의 원인으로 세 가지를 들 수 있다. (1) 두 그룹 사이의 유사한 특징은 모든 생명의 원시적인 특징이며, 세 번째 그룹은 파생형질을 가진다. (2) 유사한 특징은 파생형질이며 이것은 (고균과 이들의 진핵생물 친척 사이와 같이) 조상을 공유하기 때문이다. 세 번째 그룹(세균)은 조상형 상태를 가진다. 또는 (3) 진핵생물 안으로 세균이 2번 내부공생한 것으로 인해 세균과 진핵생물 사이의 유사성이 생겨났을 것이다. 첫 번째 범주의 예로는 두 원핵생물 그룹이 핵을 가지지 않지만, 진핵생물은 핵(파생형질)을 가진다. 원핵생 고균과 진핵생물 사이에서 나타나는 곰 중합효소의 유사성은 두 번째 범주(이 두 그룹 사이의 진화적 유연관계를 의미하는 파생형질)에 해당한다. 세 번째 범주의 가능한 예로 세균과 진핵생물에서 에스테르결합을 통해 연결된 막지질을 들 수 있다. 왜냐하면, 고균은 에스테르결합으로 연결된 막지질을 가진다.
2. 오늘날 생존한 모든 생물은 모든 생명의 공통조상의 자손이다. 진핵생물뿐만 아니라 원핵생물을 포함하는 이 모든 종에서 많은 변화가 나타났다. 많은 원핵생물은 극한 환경이나 색다른 방식으로 살아갈 수 있게 하는 급격한 변화를 겪었다. 다음과 같이 수많은 예를 들 수 있다. 유리고균의 한 그룹인 극호염균은 염도가 매우 높은 환경에서만 살아가며 일부는 pH 11.5의 호수에서 살 수 있다. 이들은 이런 환경에서 살아갈 수 있게 한 많은 적응적 특징을 가지므로 이들은 이런 관점에서 다른 모든 진핵생물보다 더욱 '파생'되었다. 또 다른 예로 클라미디아와 같은 세균의 여러 그룹은 고도로 파생된 세포 간 기생체이다. 이들은 다른 종의 세포 내에서 살아갈 수 있도록 매우 작은 세포를 갖도록 파생된 변화를 겪었다. 따라서 '원시적'과 '파생적'이라는 용어는 생물의 특정 형질 관점에서만 의미를 가지며 어떠한 생명체도 모든 측면에서 원시적이라고 생각할 수 없다(즉, 생명의 공통조상은 오늘날 생존하는 모든 생명체와 매우 달랐다).
3. 가장 큰 환경 변화는 대기의 산소가 증가한 것으로, 남세균에서 광합성이 진화하면서 시작되었다. 이후 남세균은 진핵생물의 내부공생체가 되었고, 다른 진핵생물 계통에서 다양한 2차, 3차 내부공생체가 뒤따랐다. 엄청나게 많은 광합성 생물은 현재 대부분의 살아 있는 생물이 유산소 호흡에 사용하는 대기 중 산소를 생산했다.
4. 유전체 서열의 계통발생 분석에 바탕을 둔 하나의 증거는 아스카르드고균을 진핵생물과 연결한다. 또 다른 증거는 세포 모양과 세포골격 형성을 조절하는 많은 유전자를 비롯해 한때 진핵생물에만 있다고 여겨졌던 많은 유전자가 아스카르드고균에 존재한다는 것이다.

요약 및 평가 24.3

1. 생물막은 겉과 같은 다당류 기질에 함께 살아가는 미생물의 복잡한 군집을 나타낸다. 단단한 표면에 정착한 자유생활하는 많은 원핵생물은 표면에 결합해 끈적끈적한 다당류를 분비하여 세포를 보호한다. 그런 다음 이들 세포는 다른 미생물을 기질로 유인하는 신호 분자를 분비하며, 시간이 흘러감에 따라 복잡한 군집으로 발달한다. 이 군집은 공격에 강한 내성을 가지게 되어 제거하기 매우 어렵게 된다. 생물막은 사람의 건강과 산업에서 상당한 관심을 받고 있는데 그 이유는 이들이 모든 종류의 단단한 표면(예: 치아, 콘택트렌즈, 인공 관절, 파이프 내부)에 형성되어 붕괴를 일으키기 때문이다. 생물막은 스토라마트라이트와 같은 많은 다세포성 균체의 진화에도 중요하다.
2. 세균은 간단한 소화에 중요하며 매우 적은 종류의 세균만이 병원체이다. 사람은 비타민 B₁₂와 K와 같이 사람의 대장에 사는 세균이 만들어낸 대사산물을 이용한다. 또한, 거대한 세균 군집이 사람의 장벽에 두꺼운 생물막을 쌓아 소화관에서 사람의 몸으로 영양소가 전달되는 과정을 돕는다. 따라서 사람의 장내 미생물군계는 사람의 건강에 필수적이다.
3. 질소고정 원핵생물은 대기의 질소를 생물이 이용할 수 있는 형태로 변환한다. 게다가 탈질소세균은 유기 질소를 질소기체로 바꾸어 대기로 돌려보내 질소가 용해되어 바다로 누출되는 것을 막는다. 따라서 이 2종류의 세균(질소고정세균, 탈질소세균)으로 인해 질소의 순환이 가능하며 육상에 생물이 존재할 수 있게 되었다.

요약 및 평가 24.4

1. 대부분의 바이러스가 가진 매우 축소된 유전체는 다른 생물과 비교할 수 있는 서열이 거의 없다. 또한, 많은 바이러스의 유전체는 매우 빨리 진화하므로 비교를 더욱 어렵게 만든다. 바이러스의 축소된 숙성은 이들의 유연관계를 밝혀주는 형태적 단서를 거의 제공하지 않으며, 이들의 매우 작은 크기로 인해 확석이 없다. 바이러스는 생명의 역사 동안 수없이 많이 진화하였으므로 생명의 계통수에서 많은 생물과 관련이 있다. 이와 같은 이유로 많은 경우 바이러스를 생명의 계통수에 정확하게 위치시키는 것은 어렵다.
2. 많은 바이러스는 아마도 현재는 숙주세포와는 독립적으로 진화한 세포성 생물의 구성 요소가 탈출한 것으로 생각된다. 다른 바이러스는 고도로 축소된 기생성 생물로 생각되며 세포성 조상으로부터 진화하였지만 다른 숙주세포에 의존하면서 세포구조를 상실하였다.
3. 박테리오파지, 또는 '파지'라고 불리는 바이러스는 세균 세포를 감염시켜 죽인다. 제1차 세계대전 동안 최초로 개발된 파지요법은 이러한 파지를 이용하여 병원성 세균을 죽인다. 파지요법은 1930년대와 1940년대에 항생제 사용으로 대체되었다. 하지만 세균의 항생제 내성이 진화하면서 파지요법이 다시 활발히 연구되고 있다.

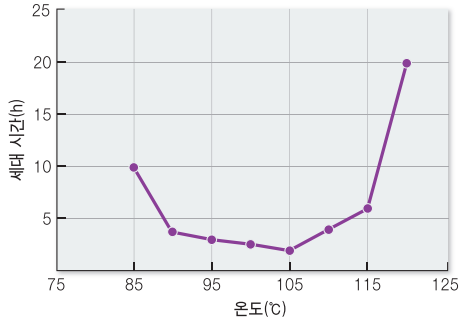
그림 질문

그림 24.4 축면 유전자 전달은 이 전달을 통해 선택적 이점이 있을 때 일어났을 것이다. 한 종이 다른 많은 종으로부터 유전자를 받을 수 있지만, 한 종의 유전체 상당 부분이 다른 종으로 전달될 가능성은 작다. 반면 유전자의 안정적인 핵심부위가 세포의 중요한 대사 기능을 조절하므로 이러한 유전자 모두는 조상에서 자신으로 함께 전달될 것으로 생각된다.

그림 24.24 기생성 세균은 숙주가 생산하는 유전자 산물에 의존할 수 있으므로 이들 유전자 중 일부는 기능 상실 없이 잃어버렸다. 작은 유전체는 세포 크기를 작게 할 수 있게 해주고, 작은 크기는 다른 세포 안에서 살아가는 기생체에 이롭다.

그림 질문, 생명체가 견딜 수 있는 가장 높은 온도는 얼마인가?

1.



- 2. 105°C에서 생장이 가장 빠르다. (세대 시간이 가장 짧다.)
- 3. 단지 이 세포배양액의 온도를 120°C 이하로 낮추고 세포의 생장을 조사한다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 24.1

- 1. 유전체의 계통발생 분석은 진핵생물의 가장 가까운 친척이 고균의 일부 계통이라는 것을 보여준다.
- 2. 페니실린과 암피실린과 같은 일부 항생제 화합물은 펩티도글리칸을 포함하는 세포벽의 합성을 특이적으로 방해한다. 이것은 진핵세포 숙주에 해로운 영향 없이 세균을 죽인다.
- 3. 축면으로 전달되는 유전자들은 대개 생물의 계통발생보다는 유전자 전달 사건을 반영하는 계통발생 역사를 가진다.

핵심개념 24.2

- 1. 가장 오래전에 분기한 원핵생물 계통들 중 상당수는 뜨거운 환경에 산다. 이외에도, 모든 생명이 공유하는 유전자들의 서열을 재구성한 결과는 모든 생명의 가장 최근 공통조상이 뜨거운 환경에서 가장 잘 기능했던 유전자들을 가지고 있었음을 보여준다.
- 2. 광합성이 남세균에서 최초로 생겨났으며, 광합성은 지구 대기의 산소 함량을 크게 증가시킨 원인이다.
- 3. 세포의 모양과 세포골격의 형성을 제어하는 여러 유전자는 진핵생물에만 있었을 것으로 생각했다. 하지만, 현재에는 아스카르드고균의 여러 그룹에서도 발견된다.

핵심개념 24.3

- 1. 생물막은 차아, 콘택트렌즈, 인공관절을 비롯해 단단한 표면이라는 어느 곳에도 형성된다. 이들 생물막은 많은 경우 그 하부 구조를 붕괴시키고, 면역 공격에 내성을 가질 수 있다.
- 2. 대다수 신생아는 자신의 미생물군계의 상당 부분을 출산 동안 모체의 질로부터 얻는다. 다른 구성 요소는 음식을 통해 얻는다.
- 3. 지금까지 알려진 바에 의하면, 어떠한 고균도 광독립영양생물이거나 광중속영양생물이 아니다.

핵심개념 24.4

- 1. RNA 또는 DNA.
- 2. 레트로바이러스는 척추동물에 감염시키고 숙주의 유전체에 삽입된다. 내생적인 레트로바이러스는 오래 전 이들 바이러스에 감염되었던 잔재를 나타낸다.
- 3. 항생제는 1940년대에 더욱 효과적인 전략이 되었다. 하지만, 많은 세균이 일반적으로 이용되는 다수의 항생제에 대해 내성을 진화시켰고, 이것은 파지요법에 대한 관심을 다시 불러일으키고 있다.

25장

요약 및 평가 25.1

- 1. 뾰뚱한 원핵생물의 세포벽을 잃어버리면 세포막이 내부로 접힐 수 있어서 부피가 증가하지 않고도 세포의 표면적을 매우 증가시킬 수 있다. 또한, 이러한 접힘으로 인해 세포 내 거대한 구조가 가능했고 결국 소포체의 진화로 이어졌다.
- 2. 지구의 역사 초기에 대기 중 산소 농도가 낮았을 때 생명체는 무산소 호흡만 이용했을 것이다. 대기 중 이용 가능한 산소의 양이 증가하면서 유산소 호흡의 진화가 가능했고 이것은 무산소 호흡보다 더 빨리 진행되며 에너지를 더 많이 효과적으로 얻을 수 있게 하였다. 하지만 세포막이 접히지 않는다면 세포의 크기가 증가해 표면적 대 부피 비가 감소할 것이다. 또한, 대기 중 산소 수준이 증가하면서 호기성 세균(진핵생물 미토콘드리아의 조상)의 내부공생이 일어났고, 이는 호기성 진핵생물의 진화를 촉진하였다.

- 3. 옥수수의 세 rRNA 유전자는 서로 가장 가까운 친척이 아니며 그 이유는 핵, 미토콘드리아, 엽록체의 유전체는 서로 다른 기원을 가지기 때문이다. 그리고 이 계통수에서 나타난 유연관계는 미토콘드리아와 엽록체를 형성하는 내부공생 사건을 재구성한다.
- 4. 옥수수의 미토콘드리아 유전체는 옥수수의 핵 유전체보다 *E. coli*의 유전체에 더욱 가깝다. 그 이유는 미토콘드리아는 가변세균의 내부공생으로 유래했기 때문이다. 마찬가지로 옥수수의 엽록체 유전체는 옥수수의 핵 유전체보다 *Chlorobium*의 유전체와 더욱 가깝다. 그 이유는 엽록체가 남세균의 내부공생으로 유래했기 때문이다.
- 5. '원생생물'이라는 용어는 서로 유연관계가 먼 다계통 미생물성 진핵생물을 편의상 지칭한다. 일부 원생생물은 자신들 사이보다 다세포성 진핵생물의 주요 그룹(식물, 균류, 동물)과 더욱 근연관계에 있다.

요약 및 평가 25.2

- 1. a. 유공충류는 탄산칼슘의 외부 껍질을 가지지만 방산충은 길고 뾰뚱한 위축을 가지며 방사대칭을 나타낸다. 유공충류의 외부 껍질과 방산충의 내부 골격은 모두 해양 퇴적층과 퇴적암의 중요한 구성요소이다.
- b. 섬모충류는 수많은 털처럼 생긴 섬모로 덮여 있지만, 와편모조류는 일반적으로 2개의 편모(하나씩은 적도 홈에 다른 하나는 세로 홈에 있음)를 가진다. 섬모충류와 와편모조류 모두 피하낭이라는 주머니를 세포막 아래에 가지고 있으며, 이로 인해 이들을 피하낭류로 동정한다.
- c. 규조류는 단세포성이며 일반적으로 (페트리접시처럼) 포개어진 2개의 껍질로 구성된다. 반면 갈조류는 큰 다세포성 생물로 분지된 요소로 구성된다. 규조류와 갈조류 모두 광합성을 한다.
- d. 변형체성 점균류의 영양 단위는 변형체이다. 변형체는 많은 2배체 핵을 포함하는 격벽이 없는 세포질 덩어리이다. 반면 세포성 점균류의 영양 단위는 독립적인 하나의 아메바 세포로 구성된다. 이 두 그룹에서 모두 환경조건이 불리하게 되면 영양 단위는 자실체를 형성한다.
- 2. 대부분의 진핵생물은 캄브리아기가 시작되기 전까지 단세포성 생물이었다. 캄브리아기가 시작되면서 다세포성 진핵생물이 급속히 다양화하였고 크기가 증가하였는데 이것은 화석을 남길 가능성을 매우 증가시켰다.
- 3. 답안 예시: 다른 답도 가능하다.
 - 피하낭류: 와편모조류는 독성을 가질 수 있다(예: 적조 동안 연체동물에 독성을 미침). 정단복합체충류인 *Plasmodium*은 말라리아의 유발원인이다.
 - 대롱편모조류: 일부 갈조류는 수확되어 아이스크림의 유화제, 화장품 및 기타 산물로 이용된다.
 - 유공류: 기생성 중편모충류인 *Giardia lamblia*는 잘 알려진 람블편모충증을 일으킨다(휴양 지역의 샘이나 하천수를 마시는 도보 여행자와 캠핑하는 사람에게 흔한 질병). 운동편모충류는 의학적으로 중요한 다수의 병원성 파동편모충을 포함하는데 이들은 수면병, 사기스병 및 리슈마니아증을 일으킨다.
- 4. 답은 다양할 것이다. 하나의 예는 엽상근족충류와 이형엽상근족충류가 근연관계에 있지 않음에도 불구하고 형태적으로 유사한 점이다.

요약 및 평가 25.3

- 1. 두 짝산발에는 접합 도중 유전물질 교환하지만, 개체 수의 증가는 일어나지 않는다. 결과적으로 교배(유전자 재조합)는 하지만 생식은 하지 않는다.
- 2. 접합에 일어나는 교배는 유전자 재조합을 통해 해로운 돌연변이가 제거되도록 해준다. 접합이 없으면 짝산발에는 복제로 번식할 수밖에 없고 이것은 긴 시간 동안 생존할 수 없다.
- 3. 세대교번은 독립적인 다세포성 반수체와 2배체 시기의 교대가 있어야 한다. 정자와 난자는 단세포성이다.

요약 및 평가 25.4

- 1. 모기의 알것은 *Plasmodium* 기생체를 척추동물에 전파한다. 모기는 감염된 숙주를 흡혈하면서 *Plasmodium*을 받아들이고 흡혈을 통해 이 기생체를 기존에 감염되지 않았던 새로운 숙주로 전파한다.
- 2. 와편모조류는 산호의 중요한 공생자로 환경조건이 변하면 와편모조류가 죽거나 숙주인 산호로부터 방출되어 백화현상을 일으킨다. 그러면 산호는 새로운 와편모조류를 받아들이거나 약해져서 죽는다. 적조는 자유생활 원생생물(많은 경우 와편모조류)이 바다(때로는 담수에서도 일어남)에서 대량 증식하는 것이다. 적조와 관련된 많은 와편모조류는 특히 어류와 다른 척추동물에 비롯한 다른 많은 생물을 죽이는 독소를 생산한다.
- 3. 규조류는 많은 생태계에서 1차 생산자로 중요하다. 사람한테 더욱 중요한 것은 규조류가 화석화된 기름으로 석유와 천연가스의 주요 공급원이다. 게다가 규조류 골격의 잔해는 규조토를 생성하는데 이것은 절연, 과, 광택, 살충제로 이용된다.

그림 질문

그림 25.1 모든 유전체에서 발견되는 유전자(리보솜 RNA와 같은)의 DNA 염기서열은 세포소기관과 이들의 내부공생성 선조를 연결하는 데 이용될 수 있다. 세포소기관이 세포내공생을 통해 진화하지 않았다면 계통수에서 같은 종의 세포소기관과 핵의 유전자의 상동 사본이 하나의 무리를 이루는 것을 예상할 수 있다. 하지만 이 경우는 그렇지 않다. 대신 계통분석은 진핵생물 미토콘드리아의 리보솜 RNA 유전자가 진핵생물보다는 가변세균의 상동 유전자와 더욱 근연관계에 있으며 진핵생물 엽록체의 리보솜 RNA 유전자가 진핵생물보다 남세균의 상동 유전자와 더욱 근연관계에 있음을 보여준다. 이들 분석은 내부공생 기원 가설을 뒷받침하는 설득력 있는 증거를 제공하고 있다.

그림 25.19 접합은 생식이 없는 교배로 간주되는데 그 이유는 유전물질은 교환되었지만 새로운 *Paramecium*이 생산되지 않았기 때문이다.

그림 질문, 산호는 백화현상으로 상실한 외편모조류 내부공생체를 다시 얻을 수 있을까?

1. 아니다. 적어도 58%의 실험 군체에서 백화현상 이후에도 원래의 공생체 중 일부를 유지하였지만, 백화현상 이후 산호 군체의 92%가 새로운 세포주(이 실험에서 B211)를 받아들였다. 이것은 백화된 산호 군체가 백화에서 살아남은 원래의 공생체가 일부 있음에도 불구하고 환경에서 이용할 수 있는 *Symbiodinium*의 세포주들을 받아들일 수 있다는 것을 보여준다.
2. 아니다. 백화현상 이후 3주와 6주 사이에서 실험 군체의 17%가 *Symbiodinium*의 새로운 세포주를 획득했으며 죽었다.
3. 이러한 관찰은 *Symbiodinium*에 대한 검출 평가가 매우 작은 수준의 공생체를 검출할 만큼 민감하지 않다는 것을 시사한다. 아마도, B211이 아닌 세포주가 3주에 일부 실험 군체에 존재했지만, 너무 낮은 수준이라서 발견되지는 않았다. 그런 다음 이들 공생체는 군체의 8%에서 회복되었고 6주에 검출 가능한 수준에 도달했다. 또 다른 가능성은 실험 3주에서 6주 사이에 B211이 아닌 공생체로 실험 표본이 오염되었다는 것이다. 두 가지 가능성 모두 산호가 백화현상 이후 환경으로부터 *Symbiodinium*의 새로운 세포주를 얻을 수 있다는 결론에 이의를 제기하지 않는다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 25.1

1. 아니다. 켈프와 같은 갈조류는 매우 크게 성장할 수 있으며, 일부 다세포성 아메보조류는 맨눈으로도 쉽게 보인다.
2. 미토콘드리아와 엽록체의 세포내공생 기원에 대한 계통발생적 증거는 이들 세포소기관이 독립적인 유전체를 숙주의 핵 유전체와 다양한 세균 그룹 유전체와의 비교에서 나온 것이다. 이들 유전체 각각에서 rRNA 유전자를 분석한 결과 미토콘드리아의 유전자는 진핵 숙주의 핵 유전자보다 기생세균의 유전자와 더 밀접하게 연관되어 있으며, 엽록체의 유전자는 숙주인 진핵세포의 핵 유전자보다 남세균의 유전자와 더 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다.

핵심개념 25.2

1. 수많은 다세포성 중이 식물, 균류, 동물, 대롱편모조류, 아메보조류에 존재한다. (피하낭류인 섬모충류에서는 다세포성 시기가 매우 드물게 일러졌다.)
2. 많은 광합성 식물, 피하낭류, 대롱편모조류, 근형류, 유글라가 있다.

핵심개념 25.3

1. *Paramecium*과 같은 일부 원생생물은 접합을 하는데 이때 유전물질을 교환하고 유전자 재조합을 한다. 하지만, 이 과정은 생식이 아니다. *Paramecium*에서 생식은 무성생식 과정이며 부모와 유전적으로 같은 두 개체를 생성한다.
2. 동물의 반수체 시기는 독립적인 다세포성 생물이 아니고, 다세포성 2배체 생물이 만드는 반수체 세포이다.

핵심개념 25.4

1. 많은 원생생물이 사람에게 말라리아를 비롯해 치명적인 질병을 일으킨다. 일부 규조류와 외편모조류는 사람과 해양생물에게 해로울 수 있는 적조를 일으킨다.
2. 많은 원생생물이 1차 생산자이며 사람과 기타 모든 종속영양생물이 궁극적으로 의존하는 광합성의 상당 부분을 수행한다. 이 밖에도 석유와 천연가스 매장량 대부분이 화석화된 원생생물(특히 규조류)의 잔재로부터 유래하였다.

26장

요약 및 평가 26.1

1. 가장 넓은 의미로 사용되는 ‘식물’이라는 용어는 1차 내부공생 엽록체를 지닌 조상으로부터 유래한 진핵생물을 가리킨다. 회조류, 홍조류, 다양한 계통의 녹조류, 육상식물이 이에 해당한다. 또 다른 의미로 사

- 용되는 이 용어는 녹색식물(엽록소 *b*를 갖는 식물, 즉 녹조류와 육상식물)을 가리킨다. 가장 보편적으로 사용되는 ‘식물’은 육상식물만을 의미한다.
2. ‘조류(algae)’는 서로 근연관계에 있지 않은 많은 광합성 수생생물을 편의상 지칭하기 위해 사용하는 용어이다. 여기에는 식물계 외부의 많은 진핵생물 그룹이 포함된다.
 3. 회조류는 단세포성이며 엽록체 내막과 외막 사이에 소량의 펩티도글리칸을 포함하고 있어서 여타 그룹과는 다르다. 대부분의 회조류와 녹조류는 다세포성이다. 회조류에는 광합성 색소인 홍조소가 포함되어 있어 특히 깊은 물 속에서 붉은색을 나타낸다. 녹조류는 홍조소를 갖고 있지 않지만, 회조류와 홍조류에서 발견되는 엽록소 *a* 이외에 두 번째 종류의 엽록소 *b*를 가지고 있다.
 4. 육상식물과 녹조류는 모두 회조류와 홍조류에서 발견되는 엽록소 *a* 이외에 엽록소 *b*를 가지고 있다. 육상식물은 다른 조류보다 일부 녹조류 계통과 더 근연관계에 있다. 육상식물과 가장 근연관계에 있는 조류는 녹조류와 차축조류이다. 이 두 그룹은 모두 모체에서 난자 유지, 원형질연락사, 유사분열 및 세포질분열 등의 공통점 갖고 있다. 이 두 종류의 녹조류 중에서, 차축조류가 육상식물과 가장 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 왜냐하면, 차축조류와 육상식물은 분지성 정단생장을 하기 때문이다.

요약 및 평가 26.2

1. 세대교번은 다세포성 2배체 포자체 세대가 감수분열로 포자를 생산하고, 유사분열로 배우자를 만들어 내는 다세포성 반수체 배우체 세대가 번갈아 나타나는 생활사이다. 사람(및 다른 동물들)에서는 유성 및 무성의 다세포성 단계가 번갈아 나타나지 않는다. 그들은 감수분열을 통해 생식세포를 만들고 생식을 위한 것이 아닌 유사분열을 통해 성장하고 유지한다.
2. 육상식물의 모든 주요 계통(우산이끼류, 이끼류, 뿔이끼류 포함)에서 발견되는 육지 적응은 수분 손실을 막는 왁스 같은 지질의 코팅 물질인, 큐티클; 배우자가 건조해지는 것을 막는, 배우자낭(식물 배우자를 둘러싸는 다세포성 기관); 보호외 배; 자외선에 대한 보호를 제공하는 색소; 두꺼운 포자벽; 토양에 있는 영양소 흡수를 촉진하는 균류와 상리공생을 포함한다. 기공은 기체교환의 조절에 사용하는 잎과 줄기에 있는 조그만 개폐 구멍으로 우산이끼류를 제외한 모든 육상식물에서 발견되는 육상 적응이다.

요약 및 평가 26.3

1. 물관부는 토양에서 물과 무기질을 식물의 지상부로 수송한다. 물관부는 또한 구조적 지지를 제공한다. 체관부는 광합성 산물이 생산된 장소로부터 식물 내 저장소로 이 산물을 운반한다.
2. 가장 초기의 뿌리 같은 구조는 헛뿌리라 부르는 물을 흡수하는 사상체를 지닌 뿌리줄기였다. 뿌리줄기는 우산이끼류와 이끼류 같은 현존 식물에서 유지되며 양치류 및 석송류와 같은 일부 관다발식물에서도 발견된다. 양치류와 석송류는 다른 관다발식물과 함께 토양에서 물과 무기질을 흡수하기 위한 특수기관인 진짜 뿌리를 가지고 있다. 잎은 관다발식물 사이에서 2회에 걸쳐 기원하였을지 모른다. 석송류의 단순한 소엽은 불임 포자낭으로부터 발생했을 수 있다. 반대로, 더 크고 복잡한 대엽 또는 진짜 잎은 주축형성을 하면서 줄기 중 일부가 편평해지면서 생겨난 것일 수 있다.
3. 이형포자는 2종류의 포자가 존재하는 것을 말하며, 하나는 암배우체로, 다른 하나는 수배우체로 발달한다. 이형포자의 잠정 중 하나는 개체 간의 이종교배를 촉진한다는 것이다. 이형포자가 동형포자로부터 여러 번 진화했다는 사실은 이형포자성 조건이 유리하다는 증거이다.

그림 질문

그림 26.1 ‘조류’ 그리고 ‘비관다발 식물’이라는 용어는 모두 편의상 사용하는 용어로, 이들 그룹 중 어느 것도 단계통군을 형성하지 않는다.

그림 26.6 식물에서 생활사의 반수체 시기는 다세포성 생물을 포함하는 반면, 동물에서는 단세포성 배우자만을 포함한다.

그림 26.9 반수체인 이끼의 배우체는 눈에 가장 두드러지며 우리가 가장 쉽게 이끼로 인식하는 단계이다. 대조적으로 양치류의 반수체는 눈에 띄지 않기 때문에 우리가 일반적으로 보는 단계는 2배체인 포자체 상태이다. 꽃식물에서는 꽃가루를 외에 반수체인 배우체는 거의 볼 수 없다.

생명에 대한 연구, 바이오연료 생산을 위해 *Chlorella* 조류를 도시의 오염된 폐수에서 키울 수 있을까? 조류는 50%의 폐수에서 가장 잘 성장한다.

그림 질문, 육상식물의 계통발생

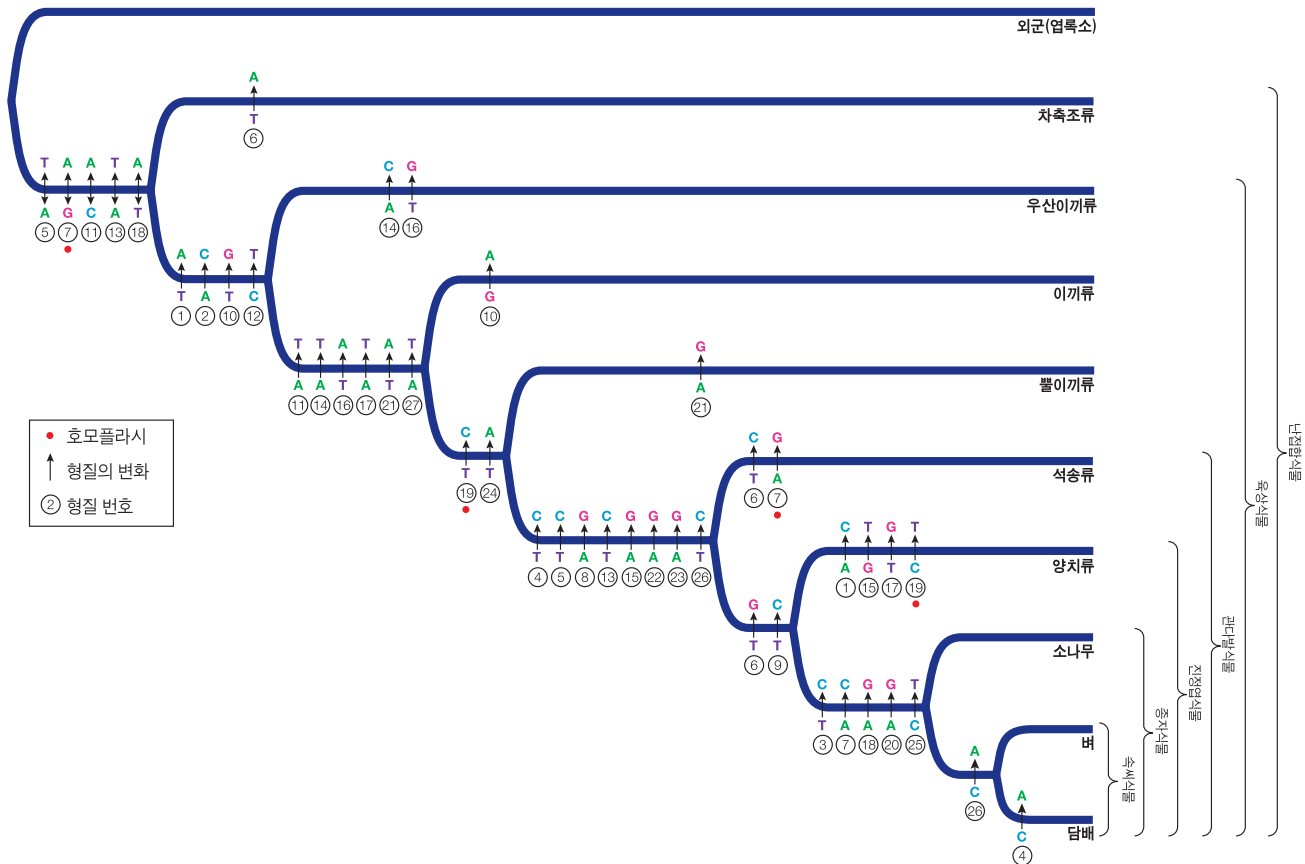
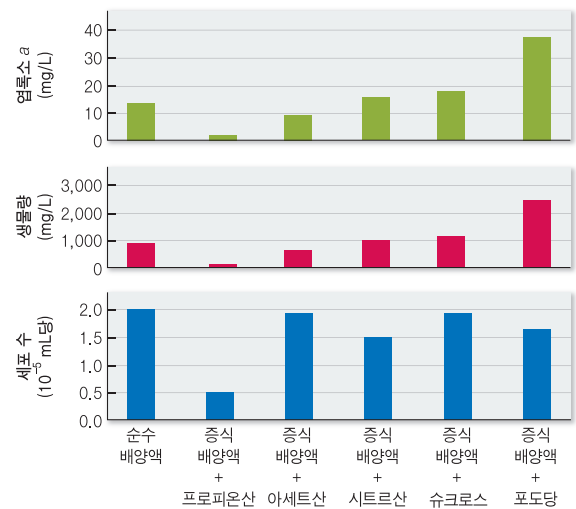


그림 질문, 바이오연료 생산을 위해 *Chlorella* 조류를 도시의 오염된 폐수에서 키울 수 있을까?

1. 평균의 95% 신뢰구간은 평균의 표준편차에 1.96을 곱한 다음 각 평균으로부터 이 곱을 더하거나 빼서 계산할 수 있다. 다양한 증식 배양액에서 엽록소 a의 농도(mg/L)의 각 측정치에 대한 95% 신뢰한계는 다음과 같다.

측정	순수 배양액	증식 배양액 + 프로피온산	증식 배양액 + 아세트산	증식 배양액 + 시트르산	증식 배양액 + 슈크로스	증식 배양액 + 포도당
엽록소 a 농도 (mg/L)	10.98~15.84	1.66~1.78	7.79~11.01	14.10~16.42	15.94~19.32	29.84~44.58

95% 신뢰구간이 겹치지 않기 때문에 증식 배양액 + 프로피온산의 엽록소 a의 농도는 증식 배양액만 있을 때보다 분명히 낮다. 증식 배양액만 있을 때와 증식 배양액 + 아세트산 조건 사이에는 거의 겹치지 않으며 아세트산을 첨가하면 엽록소 a의 농도가 낮아진다. 증식 배양액만 있을 때와 증식 배양액 + 시트르산에 대한 신뢰구간에는 실질적인 중첩이 존재하며, 이들 두 조건에서는 유의한 차이가 없음을 시사한다. 증식 배양액에 슈크로스나 포도당이 첨가된 다른 두 조건은 증식 배양액만 있을 때보다 유의하게 높은 엽록소 a의 농도를 나타낸다.



엽록소 a의 농도와 생물량의 측정치는 강한 연관성이 있지만, 세포 수는 다른 측정치와 강한 연관성이 없다 (프로피온산을 첨가한 배지에서는 예외). 이것은 조류 세포 수의 증가 만이 생물량 또는 엽록소 a의 증가를 설명하지 못한다는 것을 뜻한다. 대신, 배양액에 슈크로스, 특히 포도당을 첨가하면 엽록체가 더 많거나, 엽록체당 엽록소 a를 더 많이 가진 커다란 세포가 생기는 것으로 생각된다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 26.1

1. 남세균.
2. 세포 안에서 탄수화물의 산화로 생명체에 에너지를 제공하는 것은 이화작용이다.

핵심개념 26.2

1. 큐티클은 수분 손실을 지연시킨다. 기공의 개폐는 가스교환 및 수분 손실을 조절하여 건조를 방지한다. 배우자낭은 식물 배우자의 건조를 방지한다. 배는 어린 식물의 손상과 건조를 방지한다. 색소는 육상환경에 스며드는 돌연변이성 자외선으로부터 식물을 보호한다. 중합체 성분을 갖고 있는 두꺼운 포자벽은 포자를 건조로부터 보호하고 포자의 부식을 방지한다. 곰팡이와의 연합체(균근)는 토양에서 영양분 섭취를 촉진한다.
2. 이끼 몸체의 대부분은 반수체인 배우체 세대로 구성된다.
3. 이끼의 2배체인 포자체 세대는 작은 돌기 모양의 생식구조로 광합성을 할 수 없어 영양적으로 배우체 세대에 의존한다.

핵심개념 26.3

1. 현존하는 석송류, 양치류, 쇠뜨기류는 후기 고생대 숲에 있던 조상들보다 훨씬 작다. 그들은 과거 그들의 조상을 대체하고 현재 숲을 우점하고 있는 교목인 겉씨식물 및 속씨식물과 경쟁해야 한다.
2. 이형포자성은 많은 소포자를 생산할 수 있으며, 소포자는 식물에서 식물로 쉽게 운반된다. 대포자낭 식물은 또한 가대 대포자낭에서 몇 개의 큰 대포자를 생산하는데, 이는 발달 중인 배에 영양과 보호를 제공한다. 이형포자성으로 인해 식물은 장거리 타기수정의 기회를 늘리고 동시에 배의 생존 가능성을 높일 수 있다.
3. 양치류의 반수체인 배우체는 포자체와 무관하게 영양적으로 독립적이지만, 종자식물의 배우체는 포자체에 의존한다.

27장

요약 및 평가 27.1

1. 꽃가루는 건조 저항성이 높으며 바람이나 수분 매개자에 의해 운반될 수 있다. 꽃가루가 꽃의 암술머리에 떨어지면 꽃가루관을 만들어 정자를 대배우체로 직접 방출할 수 있다.
2. 종자는 배를 과도한 건조 및 포식자로부터 보호한다. 종자의 성장을 위한 적절한 조건이 발생할 때까지 수년 동안 토양에서 휴면상태를 유지할 수 있다. 또한 많은 종자는 비람, 또는 동물에 의해 분산된다. 성장이 시작될 때, 종자는 발달하는 포자체에 필요한 영양분을 제공한다.
3. 목재는 식물의 줄기에 구조적 안정성을 제공하고 큰 높이에 이를 수 있도록 했다. 이 진화적 혁신으로 인해 세계의 숲이 존재할 수 있다.

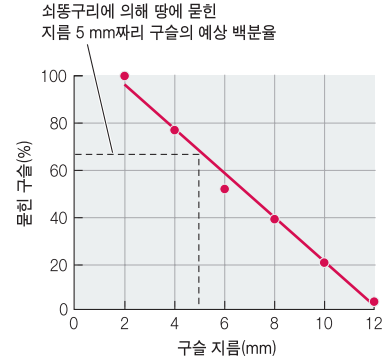
요약 및 평가 27.2

1. 일부 식물은 화재가 발생해야 종자를 방출할 수 있다. 예를 들어, 몇몇 구과식물류는 발아할 수 있는 종자를 방출하기 위해, 즉 단단하게 밀봉된 구과를 열기 위해 화재가 필요하다.
2. 암배우체는 모든 종자식물의 씨방 속에 들어있는 다세포성 반수체 조직이다. 꽃가루는 다세포성 수배우체로, 암배우체를 수정시키는 정자를 만든다.
3. 이러한 다육성 구과는 꽃식물의 열매와 마찬가지로 동물을 끌어들이는 역할을 한다. 동물은 종자가 들어있는 다육성 구과를 먹는데, 종자는 동물의 소화관을 통과하여 배설물에 의해 분산된다.

요약 및 평가 27.3

1. 하나의 정자는 2배체 접합자를 만들고, 또 다른 하나는 보통 배를 발달시키기 위한 영양분을 공급하는 3배체 배젖을 만들어 낸다.
2. 수분은 암술머리에 꽃가루가 닿는 것을 의미한다. 꽃가루가 꽃가루관을 생성한 후에, 암배우체로 정자를 방출하고 수정으로 이어진다.
3. 먹이로 동물을 유혹하기 위한 열매는 종종 다육성이며 식용 가능한 씨방을 지닌다. 동물들은 열매를 모으거나 먹는데 종자는 소화관을 통과해 살아남을 수 있으며 동물의 배설물에 묻혀 발아할 수 있다. 나무에서 나는 견과류와 같은 몇몇 경우에는, 씨앗 자체가 식용이며 열매는 단단한 보호 덮개 역할을 한다. 다람쥐와 같은 동물은 견과류를 모으고, 일부를 먹고 나중을 위해 나머지를 저장한다. 저장된 견과류 중 일부가 새로운 식물로 발아한다. 대조적으로, 표면이 끈적끈적한 씨앗은 열매를 맺고 있는 식물을 스쳐 지나가는 동물에 달라붙는다. 혹시 옷이나 애완동물에 붙은 까칠까칠한 물질을 빼내 본 적이 있다면, 이런 방식으로 분산된 식물의 열매를 뽑아낸 것이다.
4. 꽃은 수분 및 수정의 장소이며, 많은 종에서 수분매개자를 유혹하는 역할을 한다. 열매는 종자에 대한 보호 또는 분산 수단을 제공할 수 있다. 종종 열매는 동물을 끌어들이고 배설물과 함께 종자를 분산시킨다. 씨앗은 발아에 적절한 조건이 될 때까지 발달하는 배를 보호한다.

5. a.



- b. 이 데이터의 회귀 방정식은 $y = 114.6 - 9.44x$ 이다. 이 방정식을 사용하여 지름 5 mm인 구슬의 67.4%가 묻힐 것으로 예상된다(그래프 참고). 회귀선은 구슬의 지름이 12 mm 이상이면 종자가 매장될 확률이 0%를 나타내기에, 지름이 14 mm인 종자가 매장될 확률은 없다.
- c. 쇠뜨기류에 의한 종자의 매장은 종자의 질감(부드러운 것: 거친 것), 색상과 같은 다양한 요인의 영향을 받는다. 크기는 같지만, 질감이나 색상이 다른 종자의 매장률을 조사하여 크기당 관계가 없는 요인의 영향을 알아볼 수 있다.
- d. 개미원숭이는 씨앗을 배설하고, 쇠뜨기류는 종자를 배설물과 함께 땅에 묻고, 설치류는 묻지 않은 종자를 먹는다. 따라서 성공적인 번식을 위해 쇠뜨기류에 의한 종자 매장에 의존하는 식물의 경우, 개미원숭이와 쇠뜨기류의 개체 수는 식물의 생식 성공과 정적인 상관관계를 나타내며 설치류 개체 수는 식물 생식 성공과 부정적인 상관관계가 있을 것으로 예상된다.

요약 및 평가 27.4

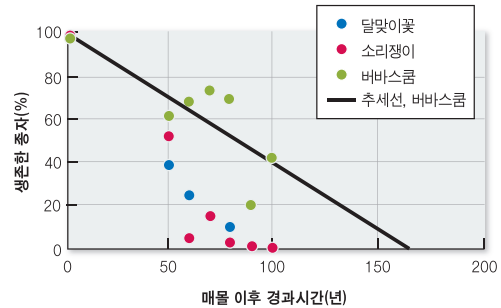
1. 많은 가능한 답변 중 일부가 표 27.1에 있다.
2. 콩은 콩과식물로 토양에 질소를 돌려준다. 작물의 그루터기를 남겨두면 토양에 유기물이 남게 된다. 질소와 유기물의 투입은 나중에 옥수수를 경작할 때 도움이 될 것이다.
3. 버과식물은 우리가 먹는 음식의 상당 부분을 차지하는 곡물(쌀, 밀, 옥수수 포함)을 생산한다. 버과식물은 또한 인류가 고기나 낙농 제품을 얻기 위해 사육하는 소와 같은 방목 동물의 먹이 공급원이다.

그림 질문

그림 27.17 설치류는 견과류 식물의 종자를 먹어서 없애지만, 견과류 식물은 설치류가 즉시 먹을 수 있는 것보다 훨씬 많은 견과를 생산한다. 설치류는 나중에 먹기 위해 여분의 견과를 모아 둥지 또는 그 주변에 숨기고 때로는 토양에 묻어 버린다. 이들 견과의 대부분은 설치류 동물들이 먹기 전에 발아한다.

그림 질문, 빌(William Beal)의 종자 생존능력 연구

1.



2. 이 문제에 대한 한 가지 접근법은 선형 회귀선을 계산한 후(부록 B 참고) 버바스콤(*Verbascum blattaria*)의 종자 생존에 관한 선형 추세선을 계산한다. 그 추세선에서 생존율이 0%인 교차점까지 년수를 계산한다. 그 결과 회귀 방정식은 $y = 102.09 - 0.62x$ 이다. 질문 1에 답한 그래프는 이 접근법으로 완성된다. 마지막 버바스콤 종자가 발아할 수 있는 시기는 실험이 시작된 이래 약 165년 후로 예측된다. (y를 0으로 설정하고 회귀 방정식을 사용하여 x를 구한다. 결과는 $x = 164.7$ 년이다.) 이 접근법은 종자의 생존력이 선형으로 감소한다고 가정한다. 종자 생존력의 지수적 감소를 가정하는 것이 더 합리적일 수 있다(방사성 붕괴와 유사하다: 그림 23.1 참고). 종자가 지수적으로 쇠퇴한다면, 165년이 지난 후에도 아주 낮긴 하지만 버바스콤 종자의 생존을 기대할 수 있다.
3. 적어도 네 가지 요인이 종자의 생존과 관련 있다.
 - a. 종자의 크기: 종자가 클수록 더 많은 양분이 저장된다(배젖).
 - b. 종피(종자껍질)의 두께: 두꺼운 껍질은 종자를 더 잘 보호한다.
 - c. 종피의 밀도: 더 단단한 껍질은 씨앗을 더 잘 보호한다.
 - d. 배의 휴면 수준: 휴면이 깊을수록 생존 기간이 길어진다.

눈으로 보는 요약

핵심개념 27.1

1. 꽃가루는 다세포성 수배우체로서 다른 수컷 개체처럼 단세포성 반수체로 된 정자를 생산한다.
2. (절문 3에 대한 답에서 언급된 것을 제외하고) 일반적으로 눈에 보이는 종자식물의 거의 전체가 2배체 포자체이다.
3. 종자식물의 배우체는 반수체인 수배우체(꽃가루)와 암배우체(밑씨 내)로 구성된다. 배우체는 훨씬 큰 2배체 포자체에 부분적으로 또는 전체적으로 부착하고 영양적으로 의존한다.

핵심개념 27.2

1. 일부 겉씨식물의 구과를 열려면 화제가 필요하다. 화재로 싸앗이 방출되고 번식이 가능해진다. 불이 나지 않으면 이전 세대를 대체할 새로운 나무가 자라지 않을 것이다.
2. 노간주나무의 붉은 '베리'는 성숙한 씨방이 아니라 다육질의 구과이다. 진정한 열매는 속씨식물에서만 발생한다.

핵심개념 27.3

1. 꽃이 수분매개동물을 유인하는 많은 방법 중 3가지가 보상(화밀 및/또는 꽃가루)을 제공하거나, 냄새를 내거나(보상을 암시하거나 썩은 육질을 모방하기 위해), 또는 암컷 곤충인 척하는 것이다.
2. 이들은 모두 진과(true fruit)이다. 진과는 식물의 성숙한 씨방이며 여러 형태를 띤다.

핵심개념 27.4

1. 주목(*Taxus brevifolia*).
2. 벼(*Oryza sativa*).

28장

요약 및 평가 28.1

1. 단세포성 균류는 주변 환경에서 직접 영양소를 흡수하지만, 다세포성 균류는 균사라고 하는 구조를 이용하여 흡수한다. 두 경우 모두 균류는 소화효소를 주변에 분비한 후 분해된 산물을 세포막을 통해 흡수한다. 다세포성 균류의 균사는 길고 가는 네트워크로 분해되고 있거나 살아 있는 유기물질과 토양을 관통할 수 있다.
2. 균사가 먹이 공급원에 신속하게 근접함에 따라 큰 표면적 대 부피 비로 인해 넓은 지역에서 신속하게 흡수할 수 있게 되었다. 하지만 이로 인해 빠르게 수분을 손실하고 마를 수 있는데 이것이 균류가 수분이 많은 환경에 제한되어 분포하는 이유이다.

요약 및 평가 28.2

1. 균류는 유기물질을 특히 식물의 섬유소와 목질소를 분해하므로 죽은 식물의 탄소를 다른 생물이 다시 이용할 수 있는 형태로 되돌린다. 또한, 균류는 세균에 의해 분해가 잘 되지 않는 동물의 케라틴을 분해한다. 균류가 없다면 이 물질들은 환경에 계속 축적되어 지구적인 탄소 저장소가 되었을 것이다.
2. 지의류는 균류와 광합성 하는 협력자(단세포 조류 또는 남세균) 사이의 상리공생 관계를 나타낸다. 균류는 협력자가 고정된 탄소(유기화합물)를 얻고 협력자에게 무기질과 물을 공급한다. 균류와 광합성 협력자 모두 이익을 얻고 이 두 생물이 독자적으로는 생존할 수 없는 착박한 환경(바위 위나 나무껍질 위)에서 생활할 수 있다.
3. 지의류의 상리공생과 마찬가지로 균근균류도 광합성 하는 종과 상리공생 협력하는데 이 경우 협력자는 다세포성 식물이다. 많은 식물은 생존을 위해 이러한 균근균류와의 협력에 의존한다. 식물은 유기화합물(광합성 산물)을 균류에 제공하고, 균류는 무기질과 물을 토양에서 흡수하여 식물에 제공한다. 균사의 높은 표면적 대 부피 비는 식물이 물과 무기질을 흡수하는 능력을 크게 향상한다. 또한, 균사는 스펀지처럼 작용하여 뿌리 주변에 물을 붙잡아둔다.

요약 및 평가 28.3

1. 교배형에서 암수 성 사이에 존재하는 것과 같은 표현형의 차이가 존재하지 않고, 많은 경우 2개보다 많은 교배형이 존재한다. 교배형은 형태적으로 구분되지 않지만, 각각의 종 내에서 각 교배형은 유전적으로 다르다. 어떤 종 내의 개체들은 같은 교배형과는 교배하지 않는다. 반면 암수 성은 배우자의 상대적인 크기에 의해 정의된다. (암컷은 큰 배우자를 가지며 수컷은 작은 배우자를 갖는다. 생식은 하나의 수배우자와 하나의 암배우자의 결합을 요구한다.) 이 밖에도 균류의 교배형은 핵융합없이 먼저 세포질을 융합(원형질융합)한다.
2. 미포자충류는 지금까지 알려진 가장 작은 진핵생물이다. 이들은 동물의 절대기생체이다. 숙주세포에 극관(polar tube)을 찢어 넣고 이를 통해 포자 내용물을 숙주에 주입한다. 주입된 포자원형질은 숙주세포 안에서 복제하며 새로운 감염성 포자를 생산한다. 일부 곤충에서 한 개체가 감염되면 미포자충 기생체는 부모에서 자식으로 전달될 수 있다.
3. 대부분의 병균균류는 편모성 배우자를 가지며 물에서 (또는 축축한 토양처럼 적어도 습기가 많은 환경에서) 생식한다.
4. 접합포자는 접합균류 생활사의 2배체 상태이다. 이것은 두꺼운 다층의 세포벽을 가지며, 생장에 유리한 환경조건이 될 때까지 몇 달 동안 휴면상태를 유지할 수 있다. 이때 2배체 핵은 감수분열을 하고, 접합포자는 자루가 있는 포자낭자루를 생산하며, 포자낭자루에는 1개에서 여러 개의 포자낭이 들어있다. 각각의 포자낭은 감수분열의 산물인 반수체 포자를 포함하고 있다.

5. 자낭균류의 반수체 자낭포자가 자낭이라고 불리는 주머니에 들어있다. 자낭균류의 많은 종은 자낭이라고 하는 컵 모양의 자실체 위에 이러한 자낭을 가진다. 이러한 컵 모양의 자실체와 달리, 담자균류의 자실체는 담자라고 불리는 우리에게 친숙한 버섯, 말뚝버섯, 산뽕버섯을 포함한다. 이러한 담자과는 수정과 감수분열을 통해 반수체 담자포자가 생성되는 장소인 담자기를 가진다.

요약 및 평가 28.4

1. 일부 균류는 직접 사용으로 이용되지만(버섯과 소수의 지의류 포함), 균류는 빵(효모), 치즈(균류가 치즈의 독특한 맛을 내도록 함), 음료(효모의 발효를 통해 만듦)를 생산하는 역할을 한다. 게다가 균류는 많은 작물의 성장을 촉진한다.
2. 박물관의 지의류 수집품은 원래 직접적인 공기 질 조사가 없었던 지역에 관한 과거 공기 질에 대한 간접적인 기록을 나타낸다. 게다가 지의류의 다양성에 관한 조사는 환경의 공기 질을 평가하는 빠르고 값싼 방법이다.
3. 완전히 분해하기보다는 선택적인 나무 수확을 사용함으로써, 숲은 균근균류를 포함한 많은 생물의 대대로 온전한 균집을 유지할 수 있을 것이다. 원래 숲의 나무 중 일부가 보존된다면, 수확된 나무들의 교체는 생존 가능한 균근균류 균집의 지속적 존재로 인해 크게 촉진된다.
4. 5번 지점이 지의류의 가장 높은 다양성과 밀도를 나타내므로 도시의 중심에서 가장 멀리 떨어져 있을 것이다. 4번 지점, 1번 지점, 3번 지점, 마지막으로 2번 지점이 그 뒤를 따른다. 도시의 중심으로부터의 거리와 우세한 풍향뿐만 아니라, 다른 예측 요인으로 오염 원점(공장, 발전소)까지의 거리와 주요 도로까지의 거리(자동차 매연의 공급원)를 포함한다. 다른 답 역시 가능하다. 이러한 연구가 조사된 나무 종과 나뭇가지가 비슷한 빛과 습도 조건에 대한 노출과 같은 요인을 조절하는 것이 중요하다.

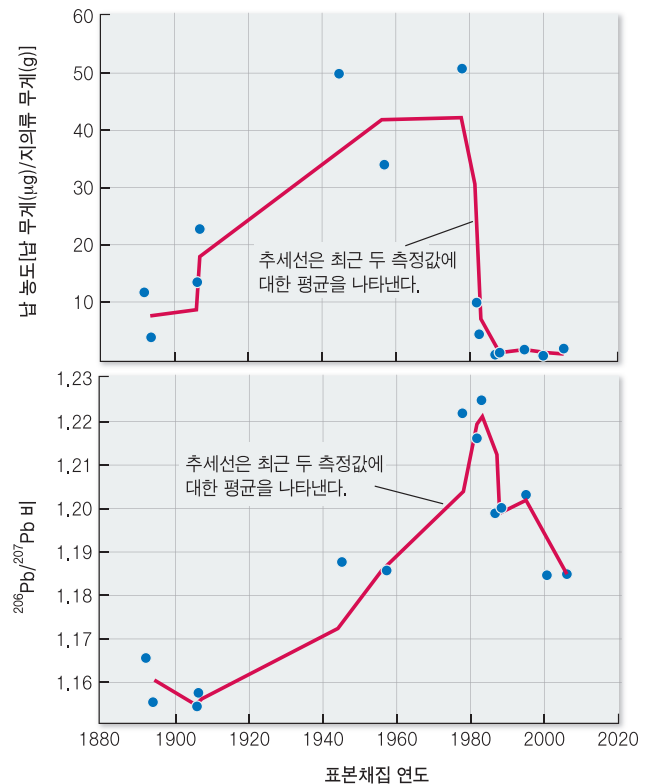
그림 질문

그림 28.14 두 배우자는 크기에서 다르다. 수배우자는 두 배우자 중 작은 것으로 정의되며, 암배우자는 더 큰 것으로 정의된다.

그림 28.16 이핵체 상태에서 각 세포는 부모로부터 각각 받은 분리된 반수체 핵을 포함하고 있다. 2배체 상태에서 이 두 핵이 융합한다.

그림 질문, 균류를 이용하여 환경오염 연구하기

1.



2. 그렇다. 납 오염의 수준과 납 동위원소의 비는 식별된 오염원과 일치한다. 납제련소를 폐지한 것과 유연 휘발유를 사용하는 것이 상쇄된다. 하지만 이 두 오염원을 제거한 후 납 오염의 수준은 현저히 감소하였다. 추세선은 1950년 후반에서 1980년 사이에서 납오염이 정점에 올랐고 그 후 1980년대 초 유연휘발유 사용이 중단된 후 급격히 감소하는 것을 보여준다. 시간에 따라 측정된 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 비는 의심되는 납 오염원과 일치하였다. 이러한 분석을 확장하는 한 가지 방법은 상대적으로 표본채집이 덜 된 1907년과 1978년 사이 동안(2개의 표본밖에 포함되지 않음) 수집된 추가적인 지의류 표본을 분석하는 것이다. 하지만 이러한 분석은 이 시기 동안의 박물관 표본과 같은 적절한 표본의 존재에 크게 의존한다는 점에 주의하라.

눈에 보이는 요약

핵심개념 28.1

1. 균류는 흡수성 증속영양을 통해 영양소를 얻는데 이것은 소화효소를 분비하여 환경에서 커다란 음식 분자를 분해한 다음 분해 산물을 세포막을 통해 흡수함을 의미한다. 반면, 대다수 식물은 광합성에서 태양 에너지를 이용해 대기 중 이산화탄소를 물과 결합시켜 탄수화물을 만든다. 일반적으로 동물은 다른 생물을 섭취하고, 그런 다음 소화관에서 소화효소를 이용하여 음식물을 분해한다.
2. 많은 균류에서, 균사는 세포질분열 없이 반복적인 핵분열을 통해 성장하며, 이것은 다핵성 균사를 형성한다. 다른 균류에서, 균사는 격벽이라는 불완전한 가로벽에 의해 세포처럼 구획으로 나누어진다. (이들 구획화된 균사를 격벽균사라고 한다.) 하지만 격벽은 진정한 세포막이 그런 것처럼 균사의 구획들을 완전히 분하지 않는다. 격벽의 중앙에 있는 구멍은 세포질과 세포소기관(때로는 핵)이 구획 사이에서 이동할 수 있게 한다.

핵심개념 28.2

1. 균류는 특히 탄소순환에서 분해자로서 중요하게 기능한다. 균류가 없다면, (거대한 석탄층이 형성되었던 석탄기와 페름기 동안 일어난 것처럼) 많은 목본식물의 잔해가 축적될 것이다. 이 밖에도 균류는 많은 육상식물의 뿌리와 중요한 협력관계를 형성하여 식물이 토양으로부터 수분과 영양소를 흡수할 수 있도록 크게 촉진한다. 따라서 육상에 존재하는 생명의 상당 부분이 균류에 의존한다. 균류가 없으면 생명은 물속 또는 적어도 매우 축축한 환경에서만 존재했을 것이다.
2. 외생 균근에서 균류는 뿌리끝 주변을 감싸고, 균사를 뿌리로 침투시켜 세포벽을 통과하지 않고 개별 뿌리세포 주변을 둘러싼다. 수지상 균근에서 균류의 균사는 뿌리 안으로 들어가 뿌리세포의 세포벽을 침투해 세포벽 내부와 세포막 외부 사이에서 수지상체를 형성한다.

핵심개념 28.3

1. 핵융합없이 세포가 융합할 때 이핵체 상태가 나타난다. 반수체(n) 세포와 달리 이핵체($n + n$) 세포는 양친 각각으로부터 얻은 핵들을 포함한다. 하지만, 핵들은 분리된 채 남아있고 융합하지 않다가 2배체($2n$) 세포를 형성하면서 재조합한다.
2. 균류의 교배형은 배우자 세포를 생산하지 않고, 대개 교배형 사이에서 시각적이거나 생리적 차이는 없다. 이들은 단지 유전적으로 구별된다. 또한, 대다수 식물과 동물에서와 같이 단지 둘(수컷과 암컷)이 아니라 많은 교배형이 존재할 수 있다.

핵심개념 28.4

1. 제빵용 효모와 양조용 효모는 발효라고 하는 과정에서 당을 분해해 알코올과 이산화탄소를 생성한다. 제빵에서 이산화탄소의 생산은 빵을 부풀게 하는 것을 도와 기포를 주입함으로써 빵을 더 부드럽게 만든다. 생성된 알코올은 제빵 과정을 통해 대부분 날아간다. 양조 시에는 이 알코올이 일반적으로 가장 원하는 산물이다.
2. 지의류는 자신이 흡수한 독성 물질을 배출할 수 없어서 대다수가 대기 오염에 매우 민감하다. 따라서 바위와 나무 위를 덮고 있는 지의류의 다양성과 면적은 종종 지역 대기 질에 관한 유용하고 민감한 지표이다.

29장

요약 및 평가 29.1

1. 대부분의 동물은 내부 소화하는 다세포성 증속영양생물이며 운동을 가능하게 하는 근육계와 신경계를 가진다. 비록 이런 특징 중 어떤 것도 모든 동물에 나타나지는 않지만, 일반적으로 이런 특징들의 조합을 통해 동물을 다른 생물 그룹과 구별한다. 다른 그룹(원생생물, 균류, 식물)은 다세포성 증속을 포함한다. 많은 원생생물과 균류는 증속영양생물이다. 일부 원생생물은 내부 소화를 한다. 모든 동물이 근육계와 신경계를 가지는 것은 아니다. 동물의 단계통성에 대한 증거는 소수의 미세구조 특징뿐만 아니라 유전자 염기서열로부터 얻을 수 있다. 미세구조 특징으로는 플라젠과 프로테오글리칸을 비롯한 세포외 기질 분자와 세포 사이에 있는 독특한 종류의 연접이 있다.
2. a. 방사대칭에서 몸의 부분들은 몸의 중심축을 통과하는 다수의 평면에 대해 대칭이다. 방사대칭동물은 몸의 앞쪽 끝이나 뒤쪽 끝이 없고, 많은 경우 고착성이거나 물의 흐름에 자유롭게 떠다닌다. 만약 자신의 힘으로 이동한다면 일반적으로 느리지만 모든 방향에 동등하게 이동할 수 있다. 반면, 좌우대칭동물은 몸의 앞뒤를 통과하는 정중선을 통과하는 평면으로 나누어지는 거울상의 왼쪽과 오른쪽 절반을 가진다. 이들은 뚜렷이 구분되는 머리에 감각계와 신경계가 밀집된 앞쪽 끝을 가진다. 좌우대칭 동물은 일반적으로 머리 방향의 앞쪽으로 움직이므로 머리가 새로운 환경을 제일 먼저 마주치게 된다.
 - b. 좌우대칭동물에는 두 가지 형태의 낭배가 있다. 낭배는 발생 초기에 속이 세포들이 모여 속이 빈 공처럼 생긴 구조에서 만입이 발생하여 원구를 형성하는 것을 말한다. 선구동물에서 원구는 최종적으로 이 동물의 입이 되지만 후구동물에서 원구는 항문이 된다.
 - c. 2배엽성 동물은 2개의 세포층(외배엽과 내배엽)을 가진다. 3배엽성 동물은 외배엽과 내배엽 사이에 추가적인 세포층인 중배엽을 가진다.
3. 좌우대칭동물은 앞쪽과 뒤쪽 끝을 가진다. 동물이 환경을 통과하여 이동하면서 앞쪽 끝은 잠재적인 먹이나 포식자를 가장 먼저 마주친다. 따라서 감각기관과 증추신경계가 앞쪽 끝에 집중된 것이 유리하다.

4. 많은 동물의 체강은 유체골격으로 작용한다. 이 공간을 둘러싼 근육이 수축하면, 액체는 이 공간의 다른 부분으로 이동해야 한다. 이런 방식으로 동물은 신체 일부분을 뺄 수 있으며 특수한 부위를 이동시킬 수 있다. 체절화를 통해 몸의 부분들이 전문화될 수 있게 되었다. 부드러운 몸을 가진 동물은 각 부분의 모양을 독립적으로 변화시킬 수 있어서 운동의 정확성을 향상시켰다. 단단한 외골격을 가진 동물(절지동물 등)에서 체절화와 그에 수반되는 부속지(외골격에 부착된 근육에 의해 조절됨) 덕분에 운동의 더 큰 전문화가 가능해졌다. 일부 절지동물의 부속지는 걷기, 헤엄치기 또는 비행에 이용된다. 증추신경계는 환경(먹이, 적당한 온도, 잠재적인 포식자 등)을 감지하고 운동을 조정하는 데 이용된다.
5. 여과섭식동물은 물을 여과해 그 안에 들어있는 작은 먹이 입자를 수동적으로 포획한다. 이러한 입자들은 작은 동물이 포함될 수 있지만, 여과섭식동물은 일반적으로 개별 먹이를 적극적으로 추적하여 잡지 않는다. 반면 포식동물은 적극적으로 먹이를 찾고 다른 동물을 섭취하는데 이 과정에서 다른 동물을 죽인다. 기생동물 역시 다른 동물을 먹지만 보통은 이들을 죽이지 않는다. 기생동물은 다른 동물의 내부에 살기도 하며 바깥쪽에 있는 신체 일부를 먹기도 한다(모기, 진드기).
6. 초식동물은 비교적 섬유성이며 질긴 식물 물질을 섭취해야만 한다. 따라서 이들은 일반적으로 식물 물질을 발효할 수 있도록 (육식동물보다) 더욱 긴 소화관이나 소화계가 필요하다. 이들은 대개 입을 씹거나 수액을 빨 수 있게 해주는 구기부를 갖는다. 포식동물은 먹이를 잡을 만큼 매우 빠르게 이동하고 먹이를 제압하는 적응(이빨, 턱, 갈고리발톱, 독, 쪼기 등)이 필요하다.

요약 및 평가 29.2

1. 일반적으로 생활사의 한 시기에서 어떤 동물의 특징은 특정 환경에서 유익하지만, 다른 환경에서는 손해가 된다. 포식으로부터 보호하기 위해 두꺼운 패각을 가지는 것과 같이 한 가지 특징을 개선하면 대개 이득이 떨어지는 것과 같은 일종의 비용이 발생한다. 생활사에서 동물은 더 많은 일을 낚도록 진화할 수 있지만, 이것을 일반적으로 각각의 일에 투자하는 자원의 비용이 발생하여 평균 자손의 생존을 떨어뜨리게 된다. 이와 같은 이유로 생활사의 진화에 발생할 수 있는 변화는 제한된다.
2. 다세포성 생물에서 모든 세포는 같은 유전자형을 가지며, 이 세포들은 모두 생리학적으로 연결되어 상호의존적이므로 하나의 기능적 개체를 형성한다. 군체성 중에서 개체들은 더 느슨하게 통합되어 있으며 군체를 구성하는 개체들은 또한 서로 독립적으로 존재할 수 있다. 어떤 경우 군체의 서로 다른 개체들이 서로 다른 유전자형을 가지기도 하지만, 다른 경우 군체는 전체가 통합적으로 기능을 하는 복제된 개체들로 구성될 수 있다. 다세포성 개체의 단일 세포와 달리 군체를 구성하는 개체들은 일반적으로 각각 다세포성이다.

요약 및 평가 29.3

1. 첫 번째, 계통발생 분석은 유충동물 또는 해면동물이 다른 동물 그룹의 자매군임을 보여주었다. 유충동물은 신경계를 가지지만, 해면동물 및 관형동물과 같이 일찍 분기한 동물들을 신경계를 가지지 않는다. 따라서 신경계가 모든 동물에 한 번 진화하여 해면동물과 관형동물에서 상실되었거나, 신경계가 유충동물과 다른 동물에서 독립적으로 진화하였다. 두 번째, 전장 유전자 분석은 신경계와 관련된 유전자가 유충동물, 자포동물, 좌우대칭동물에서 독립적으로 증폭되어 전문화되었다는 것을 보여준다. 이것은 따라서 유충동물과 자포동물의 신경망과 좌우대칭동물의 중앙화된 신경계가 각각 독립적으로 진화하였음을 시사한다.
2. ‘동물’이라고 불리는 생물 그룹은 생명의 계통수에서 다세포성 생물의 특정 단계통군으로 나타난다. 해면동물은 동물의 친척(기편모충류)의 조상형 특징 중 상당수를 유지하고 있으며, 복잡한 기관계가 진화하기 전 다른 동물로부터 분기되었다. 반면 관형동물은 뚜렷한 기관계를 가지는 조상으로부터 진화하였지만, 이런 기관계를 상실하고 이차적으로 단순화한 몸을 갖게 되었다.
3. 유리로 된 한미경 슬라이드(또는 관형동물이 부착하기 위한 다른 부드러운 기질)를 따듯한 열대의 물에 두면 많은 경우 관형동물이 부착해 지란다. 이 유리 슬라이드를 조사 지역의 물에 담근 후 회수하여 관형동물의 존재를 조사할 수 있다.

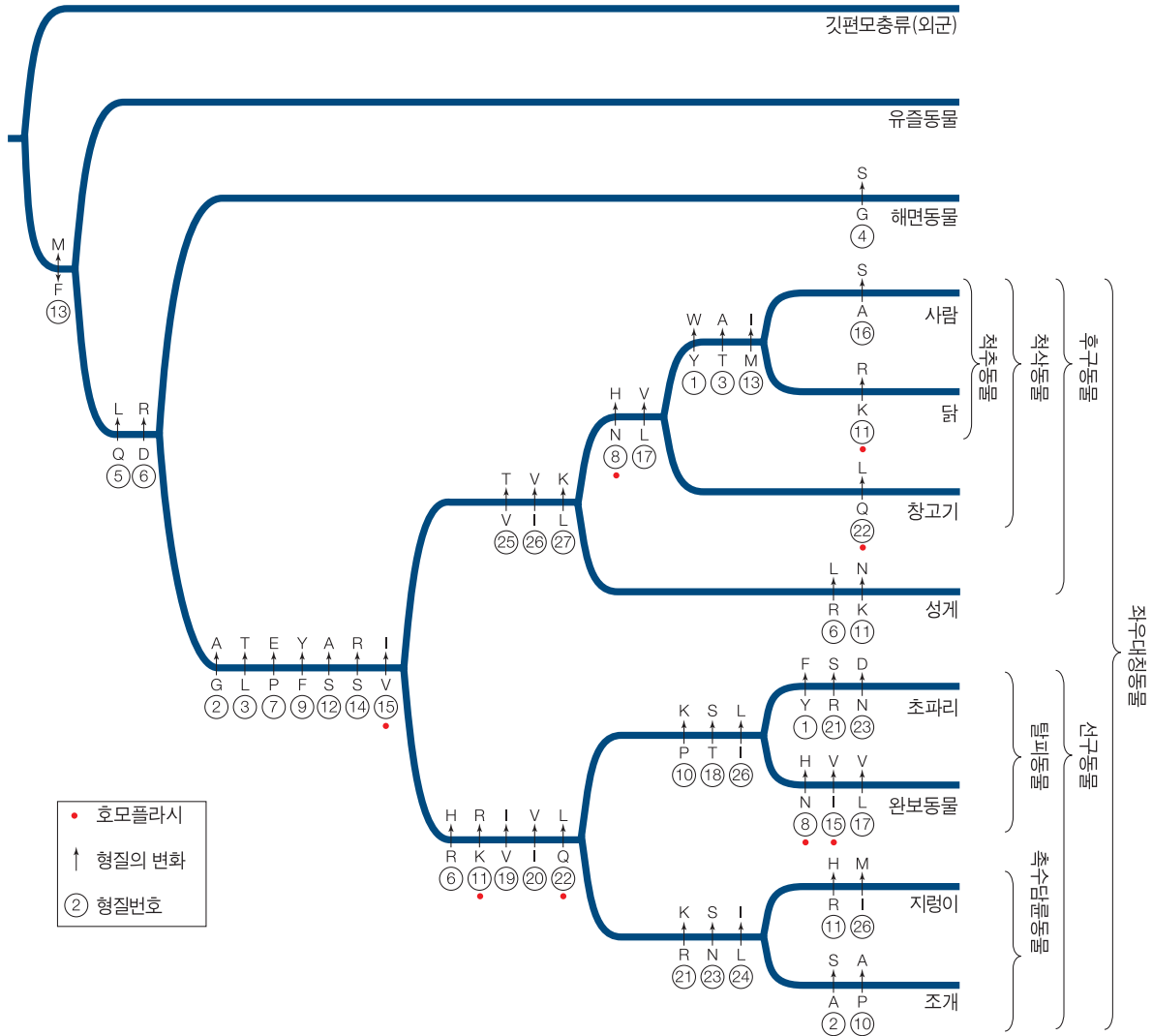
그림 질문

그림 29.1 신경계가 3번 진화한 것으로 나타나 있다. 유충동물, 자포동물의 신경망과 좌우대칭동물의 증추신경계이다.

그림 29.14 작은 알을 많이 낳는 것은 유리한 환경조건에서 종이 신속하게 집단의 크기를 증가시킬 수 있게 한다. 하지만 조건이 좋지 않을 때 각각의 알에 부모의 투자가 적었기 때문에 극소수의 자손만이 생존할 것이다. 반면 매우 많이 투자된 하나의 알은 각 개체의 생존 확률을 비약적으로 증가시키지만, 적은 수의 자손만이 생산되므로 집단은 일시적으로 유리한 조건을 이용해 빠르게 증가하지 못한다.

그림 질문, 단백질암호화 유전자를 이용하여 동물의 계통발생 재구성하기

1.



- 문제 1의 답에 있는 그림을 참고하라. 변화 수는 계통수의 각 가지에 나타나 있다. 각 화살은 한 번의 변화를 나타낸다.
- 유절동물과 외군에서 같은 상태를 나타내지만, 나머지 동물에서는 파생 상태인 아미노산 위치 5와 6은 유절동물이 나머지 동물과 자매군임을 뒷받침한다.
- 이들 그룹 각각은 문제 1의 답인 계통수에 표시되어 있다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 29.1

- 선구동물 배아의 초기 발생에서, 입은 원구로부터 생기고, 항문은 나중에 형성된다. 후구동물에서 원구는 항문이 되고, 입은 나중에 형성된다.
- 일부 해면동물, 유절동물, 자포동물은 방사대칭성을 나타낸다. 이외에도, 많은 극피동물의 성체는 방사대칭이다.
- 무체강동물은 중배엽으로 둘러싸인 체강이 없다. 의체강동물은 중배엽으로 둘러싸인 체강을 가지며, 체강에는 내배엽으로 이루어진 장과 내장이 들어있다. 하지만 내장기관들은 중배엽으로 둘러싸이지 않았다. 진체강동물은 중배엽으로 둘러싸인 체강을 가지며 내장 기관 역시 중배엽으로 둘러싸여 있다.

핵심개념 29.2

- 생활사에서 전문화된 시기를 가진 많은 동물 중에서, 많은 경우 한 시기는 쉽게 분산하기 위해 적응되어 있다. 예를 들어, 많은 해양동물의 유생은 부유성이다. 이것은 이들이 해류를 따라 떠다니는 것을 의미한다. 이들 유생이 적절한 서식지에 정착하면, 성체로 성숙한다. 나비와 같은 다른 그룹에서는 썩기벌레(유충)이 한 개체의 식물에서 살며 먹이를 섭취한다.
- 복잡한 생활사를 가진 일부 중에서, 서로 다른 시기는 완전히 다른 먹이 자원을 먹을 수 있어서 어린 개체와 성체 사이의 경쟁을 줄인다. 예를 들어, 나비의 유충(썩기벌레)은 식물의 잎과 꽃을 먹지만, 대다수 나비 성체는 과일만 먹는다.
- 기생동물은 숙주 사이를 이동할 수 있는 어떤 방식이 필요하다. 그렇지 않으면 숙주가 죽을 때 기생동물은 죽는다. 복잡한 생활사 덕분에 기생동물의 분산 시기에 새로운 숙주로 이동할 수 있다. 기생동물 생활사의 한 시기는 숙주 사이에서 이동에 적응되어 있을 수 있고, 생활사의 다른 시기는 숙주로부터 자원을 최대한 얻을 수 있도록 적응되어 있다. 새로운 숙주로 이동은 그 숙주가 섭취하거나, 중간 곤충 숙주를 거쳐거나, 새로운 숙주에 직접 침투함으로써 일어난다.

핵심개념 29.3

- 해면동물과 유절동물.
- 해면동물과 판형동물.

30장

요약 및 평가 30.1

- 부드러운 표면 덮개는 유연성과 신체 구조를 극대화하며, 제한된 공간에서 움직임을 가능하게 하며, 주변 환경과 기체와 액체를 직접 교환할 수 있게 한다. 부드러운 몸을 가진 생물은 대개 유체골격에 작용하는 근육의 활동을 통해 움직인다. 반면 단단한 표면 덮개는 포식과 수분 손실로부터 더 잘 보호해주고, 부속지와 연결된 근육을 고정하는 장소를 제공하여 운동과 먹이 섭취를 돕는다. 단단한 몸을 가진 동물은 외부로 열린 구멍을 통해 공기를 몸 안으로 이동시키지만 호흡할 수 있다.
- 관절이 있는 부속지와 단단한 외골격은 육상에서 걷는 것을 뒷받침한다. 또한, 외골격은 수분 손실로부터 몸을 보호하는데 이것은 육상환경에서 중요하다.

요약 및 평가 30.2

- 등배로 납작한 편형동물의 신체는 표면 근처에 있는 세포가 표면을 통해 직접 기체교환할 수 있도록 해준다. 여기에 더해 고도로 분화된 소화관은 영양소가 근처의 세포로 전달되는 표면적을 증가시킨다.
- 대다수 편형동물은 얇은 투과성 체벽을 가지는데 이것은 기체교환의 장소로 기능한다. 편형동물은 숨기가 있는 환경에서 벗어난 후 신축하게 체벽을 통해 물을 잃는다.
- 연체동물의 기본적인 몸 구성은 근육성 발, 내장낭과 외투막을 포함하며, 외투막은 일반적으로 칼슘성분의 단단한 패각을 분비한다. 연체동물의 주요 그룹에서 나타나는 주요한 변형은 발과 패각과 관련되어 있다. 진화의 과정 동안 발은 기는 구조(복족류), 땅 파는 구조(이매패류), 부착하는 구조(군부류) 또는 감각과 먹이 섭취 구조(두족류의 팔과 촉수)로 변형됐다. 패각은 일련의 유연한 보호성 패각(군부류), 경첩으로 연결된 1쌍의 패각(이매패류), 내장낭을 보호하기 위한 이동성 나선형의 방(복족류) 또는 내부 지지를 위해 이용되는 크게 퇴화된 구조(많은 두족류)를 형성하도록 변형되었다.

요약 및 평가 30.3

- 길쭉한 형태의 많은 탈피동물에서 큐티클은 상대적으로 있고 유연하다. 이것은 적절한 신체 보호뿐만 아니라, 몸의 표면을 통해 물, 기체, 무기질이 교환될 수 있도록 해준다. 큐티클이 얇은 종은 일반적으로 단순한 환경에 제한된다. 반면 절지동물 대부분은 수분 손실과 포식으로부터 보호하여 근육 지지대를 공급하기 위한 더 두껍고 더 단단한 큐티클을 가지며, 이는 건조한 환경에 정착할 수 있도록 해준다.
- 많은 선형동물이 토양에서 청소동물로 활동하여 분해와 토양 형성에 중요하다(이는 농업에 중요하다). 선형동물인 *C. elegans*는 중요한 모델생물로 유전학자와 발생생물학자들에 의해 널리 이용되고 있다. 선형동물의 다른 종들은 사람에게 기생하여 선모충증이나 상피증과 같은 질병을 일으킨다.

요약 및 평가 30.4

- 단단한 외골격과 관절이 있는 부속지를 가진 절지동물의 체절화된 몸은 걷기, 헤엄치기 및 비행에 위한 지지대를 제공한다. 따라서 절지동물은 다양한 환경에 잘 적응한다. 또한, 이들의 외골격은 수분 손실과 포식으로부터 몸을 보호한다.
- 불완전변태는 영 사에서 일련의 점진적인 변화를 수반한다. 완전변태는 쇄개벌레와 나비의 두 발생 단계 사이에서 극적인 형태적인 변화를 수반한다.
- 곤충의 성공에 이바지한 한 가지 요인은 비행을 통해 곤충이 식물에 더 잘 접근할 수 있게 되었다는 것이다. 많은 곤충 종은 한 종류 또는 소수의 식물에 대한 특수종이며, 육상과 담수 환경에서 식물 다양성은 해양보다 훨씬 크다. 비록 일부 곤충이 생활사 전체나 일부를 담수에서 보내지만, 이 담수 환경은 주변의 육상환경과 밀접하게 연결되어 있다. 갑각류는 곤충보다 해양에서 훨씬 더 성공적이며, 갑각류는 해양환경에서 곤충을 압도한다.

그림 질문

- 그림 30.24** 모두 머리, 가슴, 배로 나누어진 3부분의 체절체이다. 갑각류와 곤충은 모두 머리에 촉각과 먹이 섭취를 위한 부속지를 가진다. 하지만 갑각류는 가슴과 배 모두로부터 추가적인 부속지를 가지지만, 곤충은 추가적인 부속지가 가슴에만 한정되어 있다. 이외에도, 갑각류는 가슴에 3쌍 이상의 부속지를 가지지만, 곤충은 가슴에 3쌍의 부속지를 가지며 대다수 그룹에서 2쌍의 날개가 있다.
- 그림 30.28** 절지동물 조상의 부속지의 맨 위 등쪽 가지가 기체교환 기능을 가진 것으로 생각된다. Hox 유전자의 발현 자료는 이 구조가 곤충의 날개와 상등임을 시사하고 있다.

그림 질문, 알려지지 않은 종이 얼마나 있을까?

- 추정값:
 - 숲의 수관에 있는 숙주 특이적 딱정벌레 종 수 = ($L. seemannii$ 에 특이적인 딱정벌레의 수) × (수관 나무에 서식하는 종 수) = $(163) \times (70) = 11,410$.
 - 숲의 수관에서 숙주 특이적이지 않은 딱정벌레 종 수 = $1,200 - 13 = 1,037$.
 - 숲의 바닥에 서식하는 딱정벌레 종 수 = 수관에 서식하는 종 수의 1/3 (딱정벌레의 75%는 수관에 있고, 25%는 숲의 바닥에 있다). a와 b에 기초하여 수관 1헥타르에는 $11,410 + 1,037 = 12,447$ 종이 있다. 따라서 숲 바닥 1헥타르에 존재하는 딱정벌레 종 수는 $12,447/3 = 4,149$ 종으로 추정된다.
 - 딱정벌레를 제외한 모든 곤충 종 수 = 딱정벌레의 1.5배(곤충의 40%는 딱정벌레이므로 곤충의 60%는 딱정벌레가 아닌 곤충임). a, b, c에 기초하여 파나마의 숲 1헥타르에 서식하는 딱정벌레 종 수는 $11,410 + 1,037 + 4,149 = 16,596$ 종으로 추정된다. 따라서 1헥타르의 숲에 서식하는 딱정벌레가 아닌 곤충 종 수 = $(1.5) \times (16,596) = 24,894$ 종이다. 이것은 파나마 숲 1헥타르에 평균적으로 서식하는 전체 곤충 종 수의 추정치는 $16,596 + 24,894 = 41,490$ 종이다.

- 숙주 특이적 열대 수관 곤충 종 수 = $(50,000) \times (163) = 8,150,000$ 종으로 추정된다.
- 일반종(generalist)과 온대지방 수관에 서식하는 딱정벌레 종 수인 100만을 더하라. 전체 딱정벌레 종 수 = $8,150,000 + 1,000,000 = 9,500,000$.
- 질문 1에서와 같이 숲의 바닥에 있는 딱정벌레 종 수 = 수관에 서식하는 종 수의 1/3. 따라서 땅 위에 서식하는 딱정벌레 종 수 = $9,500,000/3 = 3,166,667$ 종이다.
- 질문 1에서와 같이 딱정벌레 외 모든 곤충 종 수 = 딱정벌레 종 수의 1.5배이다. 지구에 서식하는 딱정벌레 종 수는 $9,500,000 + 3,166,667 = 12,666,667$ 종이다. 따라서 딱정벌레가 아닌 종 수는 $(12,666,667) \times (1.5) = 19,000,000$ 이다.
- 딱정벌레와 딱정벌레가 아닌 종 수를 합하면 지구 전체의 곤충 종 다양도를 다음과 같이 얻을 수 있다. 곤충 종 수는 $12,666,667 + 19,000,000 = 31,666,667$ 종이다.

주: 많은 생물학자가 어원의 가정이 타당한지를 논쟁하고 있다. 명백히 각각의 추정치는 *L. seemannii* 가 열대림 교육으로서 얼마나 대표적인지에 크게 의존하고 있다. 만약 열대림의 평균 나무가 *L. seemannii*보다 적은 수의 숙주 특이적 종이 적다면, 이들 추정치는 과장되었을 것이다. 마찬가지로 열대림 교육의 종 수 또는 땅 위에 서식하는 딱정벌레의 비율 또는 딱정벌레가 아닌 곤충의 비율이 과장되었다면 이들 추정치를 더 부풀렸을 것이다. 게다가 딱정벌레의 종 다양성이 열대 지방의 다른 지역보다 파나마에서 높을 수 있다. 하지만 이러한 모든 추정치는 한번 과소추정될 수도 있다.

지금까지 전 세계에서 약 1백만 종의 곤충만이 생물학자들에 의해 기록되었다(표 30.2 참고). 모든 곤충 학자는 지금까지 기록된 것보다 훨씬 많은 종이 기록되지 않았다는 것에 동의하고 있으며, 매년 많은 신종이 발견되어 기록되고 있다. 현재 대다수 곤충학자는 어원의 추정치가 높다고 생각한다. 현재 어원의 가장 각각에 대해 조사하고 있다. 이 조사는 추가적인 교육 중, 추가적인 곤충의 그룹, 추가적인 지역에 대해서 광범위하게 실시되고 있다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 30.1

- 선구동물에서, 배아의 원구는 동물이 발생함에 따라 입이 된다. 반면, 대다수 다른 동물에서 원구는 소화관의 항문이 된다. 선구동물 중 하나의 예외는 모악동물이다(이 동물에서 원구는 항문으로 발생한다).
- 정답은 개인적인 경험에 따라 다를 수 있다. 하지만 대다수 사람에게 가장 친숙한 척추동물의 그룹은 연체동물(조개, 달팽이, 오징어, 문어와 같은 친숙한 그룹 포함)과 환형동물(자렁이와 가마리 포함)이다. 가장 친숙한 탈피동물의 그룹은 주형류(가마, 전갈, 진드기, 응애 포함), 갑각류(게, 새우, 공벌레), 곤충을 포함하는 절지동물의 다양한 그룹들이다. 이 질문은 학생들이 그들의 삶에서 친숙할 수 있는 척추동물과 탈피동물을 생각하도록 자극할 의도로 제시되었다. 이 답은 문화적 종교적 배경에 따라 다를 것이다(그리고 당연히 어떤 문화권과 민족은 동물을 전혀 먹지 않는다). 하지만 전 세계 사람들이 일반적으로 먹는 가장 흔한 척추동물은 조개, 홍합, 굴, 달팽이, 오징어, 문어를 포함하는 연체동물의 다양한 종들이다. 탈피동물 사이에서, 많은 종류의 곤충들이 일부 문화권에서는 식용되고 있지만, 다른 문화권에서 기피되고 있다. 전 세계적으로 가장 일반적으로 섭취되는 탈피동물은 게, 새우, 가재, 바닷가재를 포함하는 갑각류의 다양한 종들이다.

핵심개념 30.2

- 척수관이 모든 척추동물의 공통조상에 존재했지만 이후 점차적으로 몇몇 그룹에서 상실되었을 것이다.
- 이매패 연체동물과 원족동물.

핵심개념 30.3

- 일부 탈피동물(절지동물 등)에서 큐티클은 골격으로 기능하며, 또한 근육 부착 장소이다. 대다수 탈피동물에서 큐티클은 상하와 탈수로부터 몸을 보호한다.
- Caenorhabditis elegans*는 배양하기 쉽고, 매우 빨리(3일 안에) 성숙하며, 고정된 체세포 수를 가지고 있으며, 유전체의 서열이 완전히 결정되었기 때문에 이러한 연구에 이상적이다.

핵심개념 30.4

- 갑각류(바다가마, 투구게, 게, 가마)와 다지류(지네, 노래기 등).
- 기체교환이 일어나는 장소였을 것이다.

31장

요약 및 평가 31.1

- 후구동물은 방사형 난할, 원구가 항문으로 발생(입은 원구의 정반대에 형성됨), 난배에서 뿜어 나온 중배엽 주머니에서 체강이 발달하는 특징을 나타낸다. 하지만 방사형 난할은 일부 선구동물에서도 나타나는 것으로 보아 모든 좌우대칭동물의 조상 상태이며 후구동물의 고유한 특징은 아닌 것으로 생각된다. 원구가 항문으로 발달하는 것은 후구동물에서만 나타나지만, 이 역시 좌우대칭의 조상 상태를 나타내는 것으로 보인다.
- 다양한 유전자의 DNA 서열이 후구동물의 단계통성을 뒷받침한다.
- 후구동물을 구성하는 세 주요 그룹은 극피동물, 반사동물, 척삭동물이다. 성게는 극피동물, 발벌레아재비는 반사동물, 그리고 사람, 방울뱀, 참다랑어, 미더덕은 척삭동물이다.

요약 및 평가 31.2

1. 극피동물의 유생은 좌우대칭이지만 성체는 5방사대칭이다.
2. 바다나리와 성게는 점액으로 덮인 관족을 이용하여 식물플랑크톤을 포함해 지나가는 먹이 입자를 섭취한다. 해삼은 크고 끈적끈적한 촉수로 변형된 앞쪽 관족을 가지면 이것을 입 밖으로 돌출시켜 먹이를 포획한 후 입안에 넣어 먹이를 획득한다. 많은 불가사리는 관족을 이용하여 아메패류를 붙잡고 패각을 연 다음 그 안에 자신의 위를 집어넣어 소화한다. 일부 극피동물처럼 반사동물은 여과섭식동물이지만, 관족을 가지지는 않는다. 대신 이들은 먹이를 점액으로 덮어 있는 인두 위에 먹이를 포획한 후 점액과 먹이를 섬모로 입까지 이동시킨다.

요약 및 평가 31.3

1. 척삭동물은 등쪽의 속이 빈 신경삭, 항문 뒤 꼬리, 척삭이라는 특징을 가진다. 척추동물은 큰 뇌를 둘러싸는 앞쪽 두개골, 척추에 의해 지지되는 내부 골격, 체강에 매달려 있는 내부기관, 배쪽의 심장에 의해 순환하는 잘 발달한 순환계를 가진다.
2. 먹장어류는 (1개의 큰 심장 대신) 3개의 보조 심장을 가진 약한 순환계를 가진다. 이들은 불완전한 두개골과 다른 척추동물에 비해 단순한 뇌를 가지고, 독립적이며 서로 연결된 척추가 없는 골격계를 가진다. 먹장어는 다른 모든 척추동물에 의해 공유되는 근본적인 특징을 나타내지 않기 때문에 일부 생물학자들은 먹장어를 척추동물의 구성원이 아닌 척추동물의 자매군으로 간주한다. 먹장어가 가진 이런 특징들이 이차적으로 소실되었거나 단순화된 것이라는 또 다른 가능성도 있다.
3. 대부분의 척추동물에서 흔한 4개의 부속지(2개의 가슴 부속지와 2개의 골반 부속지)가 있다. 대부분의 해엄치는 척추동물에서 이러한 부속지는 지느러미로 기능한다. 이들은 보통 추진(특히 골반 부속지)에 이용되지만, 물속에서 방향 조종, 균형 및 자세 조정에도 이용된다. 사지동물에서 이 부속지들은 변형되어 종종 보행, 달리기, 뛰기, 땅파기, 기어오르기, 붙잡기, 물체 조작하기 등에 이용된다. 수생 사지류에서 지느러미처럼 생긴 부속지로 역전되는 현상이 수차례 있었다(예: 양서류, 거북류, 조류와 포유류에서 여러 번 있었음). 사지류의 가슴 부속지는 적어도 3개의 서로 다른 그룹에서 추진 비행을 위한 날개로 변형되었다(조류, 박쥐류, 멸종한 익룡류). 부속지는 활공을 위해 변형되기도 하였다(여류, 양서류, 파충류, 포유류). 1쌍 또는 2쌍의 부속지가 여류, 양서류, 파충류(조류 포함)와 포유류의 많은 그룹에서 소실되거나 극도로 축소되었다. 부속지가 축소되거나 소실된 잘 알려진 예에는 다리가 완전히 소실된 나사류와 뱀류가 있으며, 고래와 매너티는 외부의 뒤쪽 부속지가 소실되었고, 날지 못하는 조류의 앞쪽 부속지는 극도로 축소되었다.

요약 및 평가 31.4

1. 양서류는 투과성 피부를 통해 기체와 액체를 교환하는데 이것은 이들을 많은 환경 독소와 일부 병원체에 매우 취약하게 한다. 양서류의 많은 종은 이중 생활사를 가지므로 서식지의 파괴와 수생 및 육상환경의 상실에 취약하다. 양서류 대부분은 먼 거리를 이동하지 않으므로 그들이 사는 환경이 파괴될 때 새로운 서식지로 쉽게 이동하지 않는다. 이와 같은 이유로 이들은 급격한 기후변화에도 민감하다. 양서류의 많은 종은 고도로 전문화된 서식지가 필요하며 매우 제한된 범위에서 서식하고 있다. 이와 같은 제한된 범위 내의 서식지 파괴와 변화는 많은 경우 양서류의 멸종을 초래한다.
2. 포유류의 주요 계통은 백악기-고제3기 경계에 있었던 대멸종 후 급격히 다양화하였다. 공룡의 많은 큰 계통들의 멸종이 포유류 다양화의 기회를 열었다. 이때 주요 대륙들은 대륙이동으로 분리되어 포유류는 로라시아, 아프리카, 남아메리카, 유럽, 동남아시아에서 독립적으로 방산하였다.
3. 멸종한 수각류 공룡의 화석 유해는 깃털과 같이 조류만이 가지고 있었다고 생각된 많은 특징이 실제로는 수각류 사이에서 훨씬 오래전에 진화하였음을 보여준다. 다른 전형적인 '조류의 특징인 속이 빈 뼈와 창사골(쇄골) 역시 수각류의 큰 그룹에서 일반적으로 나타났다. DNA 염기서열 분석으로 현존하는 파충류 중 조류와 악어류(또 다른 현생 조류류)가 통합되었다. 조류가 수각류 공룡의 생존한 그룹이라는 증거는 현재 압도적이다.
4. 털은 포유류의 조상에서 진화하였다. 깃털은 수각류 공룡에서 진화하였다(현재는 조류에서 진화한 것으로 보임). 현생 사지류 중 조류와 포유류는 내온성이다. 털과 깃털은 각각 포유류와 조류에 체온 유지를 담당하였다. 이러한 단열재가 없었다면 대사를 통해 생성된 체온의 유지가 어려웠을 것이다. 화석 증거는 멸종한 많은 수각류 공룡 역시 깃털을 가지고 있었음을 보여준다. 따라서 많은 고생물학자는 이들 역시 내온성이었을 것이라고 예상한다. 내온성은 크고 활동적인 포식자에서도 예상되는데 이는 많은 수각류 공룡과 일치한다.

요약 및 평가 31.5

1. 신세계원숭이는 모두 나무에서 살며, 대부분은 나무를 기어오를 때 가지를 붙잡는 데 이용하는 길고, 감이칠 수 있는 꼬리를 가진다. 많은 구세계원숭이는 좀 더 육상성이며 감이칠 수 있는 꼬리가 없다.
2. 두개골의 발생에 영향을 미치는 조절 유전자의 변화로 인해 사람에서 신체 발생이 지연되었다(유형성숙). 이로 인해 성인의 두개골은 아이의 것과 좀 더 비슷해진 모양을 가지게 되었다(비교적 큰 뇌와 작은 턱). 따라서 사람의 두개골은 가장 가까운 친척인 침팬지에서 나타나는 것만큼 큰 변화 없이 크기를 증가시켰다.

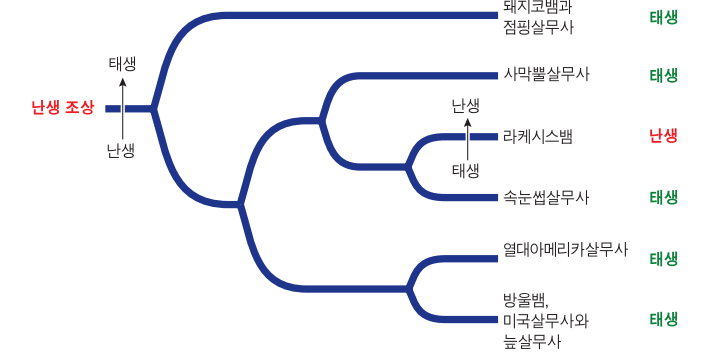
그림 질문

그림 31.17 대부분의 개구리 성체는 식용성이지만, 곤충은 이른 봄이나 우기의 시작 동안 매우 제한적이다. 겨울에 생식함으로써 개구리는 풍부한 계절 자원(일시적 물웅덩이에 있는 조류 번성)을 자신의 먹이공급원으로 이용할 수 있다. 이것은 발생하는 올챙이가 곤충을 먹을 만큼 충분히 크기 전까지 풍부한 자원에 진화할 수 있게 해준다.

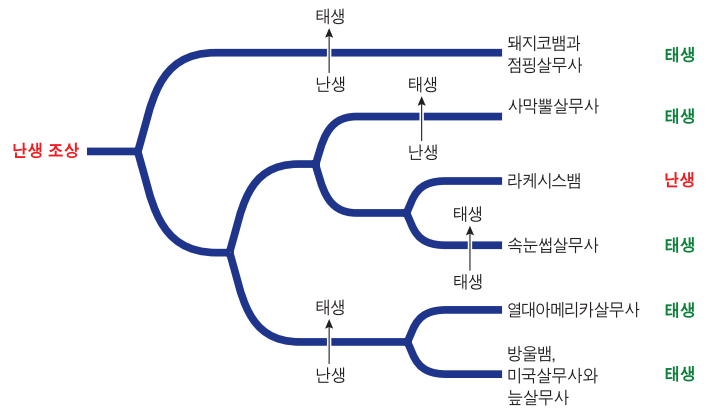
그림 31.19 양막란에서 양분은 난황낭에서 공급되며 요막은 기체교환과 노폐물 저장의 기능을 한다. 정막은 배아와 함께 다양한 먹물을 고정하며, 또한 기체 교환의 기능을 한다. 양막은 발생하는 배아를 구조적으로 지지한다. 태생하는 종에서 태반은 탯줄을 경유하여 모체의 순환계를 통해 기체교환과 노폐물 교환 뿐만 아니라 영양분을 공급한다. 난황낭과 요막은 탯줄의 구성과 관련되어 있으며(영양공급, 기체교환, 노폐물 교환의 기능을 유지), 양막과 정막은 구조의 지지라는 기능을 유지한다는 점을 주목하라.

그림 질문, 꺾임이 있는 알이 태생 파충류 계통에서 다시 진화했을까?

1.



2. 최소 변화 수는 2이고, 이중 한 번은 태생에서 난생으로의 역전이다.

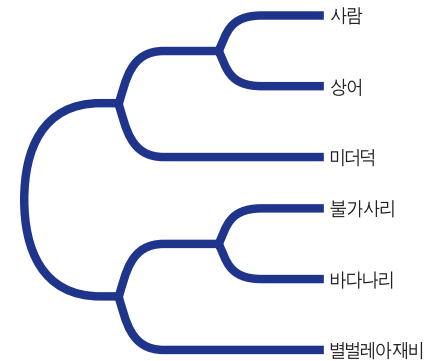


난생에서 태생으로 4번의 변화가 필요하거나, 질문 1의 답에 비교했을 때 두 번의 생식 방법에 두 번의 추가적인 변화가 필요하다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 31.1

1.



2. 중공에서 발견된 캄브리아기 초기의 원노조아 화석은 현생 종들의 계통발생 분석의 결과와 더불어 가장 최초의 후구동물이 좌우대칭이며, 인두열을 가진 체절성 동물이었음을 보여준다.

핵심개념 31.2

1. 극피동물의 유생은 다른 모든 후구동물 전체에서 발견되는 전형적인 좌우대칭을 보여준다. 계통발생 증거뿐만 아니라 화석은 이 좌우대칭성이 후구동물의 조상 상태이며, 극피동물 성체의 5방사대칭성이 파생 상태라는 것을 시사한다.
2. 진와동물과 무장동물.

핵심개념 31.3

1. 그림 31.10 참고.
2. 이 장에서 논의한 뒷받침하는 형질의 예시는 그림 31.10에 제시되어 있다.

핵심개념 31.4

1. 실러캔스와 폐어.
2. 조류와 포유류.

핵심개념 31.5

1. 이들이 지구에서 확산하면서 *Homo sapiens*의 조상 집단은 경쟁자들을 죽이거나 동화시켰을 것 같다.
2. 아프리카가 아닌 기원을 가지는 대다수 사람은 유전체에 네안데르탈인의 유전자를 적은 비율로 가진다. 이는, *Homo sapiens*가 아프리카 밖으로 분산한 후 네안데르탈인과 상호교배한 *H. sapiens*의 조상 집단으로부터 유래한 것으로 보인다.