

# 생명 생물의 과학 12 판 해답 하권(32~57장)

## 7부

### 32장

#### 요약 및 평가 32.1

1. 잎과 뿌리와 같은 식물 기관은 영양소와 기체를 최대한 획득할 수 있는 구조를 가지고 있다. 또한, 식물은 생애 전체에 걸쳐 성장할 수 있어서 환경 신호에 반응할 수 있다. 식물은 주변 환경에서 기회를 찾기 위해 성장 방향을 바꿀 수 있다.
2. 동물은 유한성장 패턴을 가지지만, 식물은 분열조직에 바탕을 둔 무한생장을 할 수 있다.
3. 정단-기부 패턴은 세포들이 지지구조와는 구분되는 배를 만드는 일련의 사건들을 통해 발달하는데 이 시간은 불균등한 세포분열로부터 시작한다. 이어지는 단계들은 이러한 차이를 축적한다.
4. 정단-기부 극성은 배에서 확립되므로, 배에서 극성이 없다면, 더 성숙한 식물체에서도 결여될 것이다. 이런 식물은 마치 모양이 공과 같고, 잎도 만들지 못하고 생식도 할 수 없다.

#### 요약 및 평가 32.2

1.

세포 유형	구조	기능
유세포	얇은 세포벽, 큰 액포	잎에서 광합성, 뿌리에서 저장
후각세포	길쭉한, 모서리에서 두꺼운 세포벽	줄기와 잎자루에서 유연한 지지
후벽세포	두꺼운 세포벽, 일부는 다발을 이룸	줄기를 지지, 견과와 증자 보호

2. 후각세포는 종종 모서리 부분이 두꺼워져 있고 다소 유연한 1차세포벽을 가지고 있다; 후벽세포는 두껍고 유연성이 없는 2차세포벽을 가진다.
3. 헛물관은 일반적으로 물관요소보다 좁고, 헛물관이 죽었을 때, 2차세포벽에 세포 사이에 물이 흘러갈 수 있게 하는 벽공이 남아있다. 물관요소는 끝과 끝이 마주 보고 있으며, 죽어서 하나의 연속적인 관을 이루는 긴 관들이다.

#### 요약 및 평가 32.3

1. 정단분열조직은 지속해서 분열하는 시원세포(줄기세포)를 가진다. 일부 딸세포는 기관(잎과 같은)을 형성하지만, 다른 것들은 새로운 시원세포로 되므로 분열조직이 유지된다.
2. 뿌리와 슈트 정단분열조직은 식물의 1기 성장과 관련이 있다. 이런 분열조직에 있는 세포들은 분열하여 딸세포 일부가 세포들의 줄기나 잎을 만들거나 (뿌리 정단분열조직에서 분열한다면) 뿌리의 길이를 늘여주는 세포의 그룹을 만든다.
3. 뿌리 정단분열조직은 뿌리끝무는 물론 뿌리조직 전체를 만든다. 원뿌리의 세포 유형은 (바깥쪽으로부터 안쪽으로 차례로): 표피세포, 피층세포(내피를 포함하여), 내초, 관다발조직(예: 물관부와 체관부 조직에서 발견되는 세포들)이다. 뿌리는 뿌리 정단분열조직 바로 위에 있는 지역에서 세포들의 신장으로 성장한다.
4. 슈트 정단분열조직은 식물체의 높이를 자라게 한다: 관다발형성층은 식물체의 부피를 자라게 한다. 관다발형성층과 슈트 정단분열조직이 식물체를 구성하게 되는 새로운 세포들을 지속해서 만드는 동안에 그들의 성질을 유지하게 하는 능력을 가지고 있다. 분열조직에 의해서 만들어지는 세포들이 새로운 조직(물관과 잎과 같은)을 만드는 속도는 새로운 세포들이 분열조직에 추가되는 속도와 균형이 맞추어진다. 이런 사건들이 균형이 맞추어져 있으므로 생장은 끝이 정해져 있지 않고 무한히 지속될 것이다.

#### 요약 및 평가 32.4

1. 작물의 야생 근연종의 증자는 식물을 작물화하는 동안 선택적으로 제거된 유전자를 가진다. 이런 유전자는 식물이 야생 환경에 적합한 표현형을 발현시키지만, 재배할 때는 농부들에게 쓸모가 없다. 그러나 환경은 변할 수 있고, 제거된 유전자는 다시 쓸모 있게 될 수 있다. 일례로 깊이 자라는 뿌리는 변화하는 기후에 유리하게 된다. 재배 작물은 이런 표현형에 대한 유전자가 없지만, 뿌리 생장에 관련된 유전자는 야생 근연종에 여전히 존재한다.

#### 그림 질문

**그림 32.5** 기저세포와 정단세포를 만드는 세포분열에서의 비대칭성이 있다. 동물세포에서 이와 같은 비대칭성은 세포 운명 결정의 신호로 작용하는 세포질 인자들의 불균등한 분포 때문에 확립된다.

**그림 32.8** 잎의 세포는 엽록체를 가지고 광합성을 수행한다.

#### 자료 이용하기, 카사바에서 사이안화 글리코사이드 합성과 수송의 이해

1. CG가 만들어지는 상부의 잎과 슈트에서 CG 수준은 높게 나타난다. 하부에 있는 잎과 줄기에서는 낮은 CG 농도를 가지고 있다는 것은 CG가 식물체의 다른 기관으로 수송될 수 있다는 것을 의미한다.
2. 다섯 번째 잎은 CG를 축적했는데 CG는 환상박피 때문에 관다발계를 통해 아래로 수송되지 않았다. 아마도 환상박피하기 전에 도달했을 것으로 여겨지는 여섯 번째 잎에 국부적으로 축적된다. 여섯 번째 잎 아래쪽의 줄기는 아주 낮은 수준의 CG를 가진다는 것은 수송이 차단되었음을 나타낸다.

#### 눈에 보이는 요약

##### 핵심개념 32.1

1. 분열조직이 식물의 생애 내내 지속하므로 식물은 새로운 기관(뿌리와 잎과 같은)을 만들 수 있다. 새로운 뿌리는 영양소-또는 물-이 풍부한 토양 근처에 자리를 잡을 수 있게 된다: 잎의 생산물은 햇빛에 대한 이용성과 관련이 있다.
2. 분꽃은 외떡잎식물이다.
3. 딱잎은 슈트 정단분열조직이 만들어지기 전에 성숙한다. 이것은 증자 발아 후에 슈트 정단분열조직으로부터 생기는 진정한 잎과 딱잎을 구분하는 요인 중의 하나이다.



##### 핵심개념 32.2

1. 후벽세포는 슈트 정단분열조직에 의해서 만들어졌으나, 세포가 최종적인 크기에 도달할 때까지 단단해지지 않는다.
2. 식물에서 좀 더 성숙한 부분은 단단한 2차세포벽을 가지고 있는 후벽세포를 포함한다. 식물에서 이런 부분은 부풀어 오르지 않았을 때(물이 가득 차서) 지탱할 수 있다. 이와 대조적으로 식물체의 성장 말단은 1차세포벽만으로 되어 있는 유세포로 이루어져 있으며, 이런 부분은 세포가 부풀지 않고는 지탱하지 못한다.
3. 큐틴과 모용은 표피세포에서 찾아볼 수 있다.
4. 많은 속씨식물에서 물관부는 헛물관과 물관요소를 모두 가지고 있다. 겉씨식물에서 주요한 물관부 통도세포는 헛물관이다.

##### 핵심개념 32.3

1. 분열조직은 새로운 세포를 생산하는 세포들의 작은 무리이다. 분열조직이 식물체가 일생에 걸쳐 지속해서 새로운 세포와 기관을 추가할 수 있는 기작이다.
2. 시원세포는 분열지연증심부를 둘러싸고 있다: 그들은 분열대의 일부이다.
3. 엽육세포(유세포의 일종)는 기본조직의 한 부분이다.
4. 3개의 분열조직 모두 일부 딸세포는 새로운 세포 유형으로 분화할 수 있지만, 나머지 다른 딸세포는 분열조직으로 남아있다. 분열조직이 아닌 세포들의 유형은 서로 다르게 분화한 3개의 각각의 분열조직이 만들어낸다. 잎과 줄기 조직 또는 뿌리를 (각각) 만들어냄으로써 슈트와 뿌리의 정단분열조직은 식물의 뿌리-슈트 축을 추가하는 반면에 관다발 형성층은 물관부와 체관부에 부가적인 층을 만들어냄으로써 식물의 부피를 추가한다.

##### 핵심개념 32.4

1. 방울양배추 돌기와 마늘쪽은 같은이 커진 것이다.
2. 양파는 짧은 줄기를 감싸고 있는 잎의 기저부가 커진 것이다. 어떤 식물에서는 일반적으로 잎의 정단이 줄기보다 더 높아진다. 때때로 사람들이 식료품 가게에서 양파를 살 때, 줄기의 아랫부분에서 돌출되어 나온 작고 얇은 뿌리를 볼 수 있다.
3. 식물체가 가지고 있는 DNA 염기서열은 식물체의 특정형질에 영향을 미친다. 그래서 바람직한 특정형질을 가지는 개체에서 수확한 하나의 증자를 심을 때, 관심이 있는 특정형질을 발현시키는 DNA 염기서열(유전자)을 선별하는 것이다.

### 33장

#### 요약 및 평가 33.1

1. 세포 A의 수분퍼텐셜은 -0.58 MPa이고 세포 B의 수분퍼텐셜은 -0.55 MPa이다. 물은 더 낮은 수분퍼텐셜을 가진(더 음성인) 세포 A 쪽으로 이동할 것이다.
2. 식물세포는 물을 흡수할 때 부풀어 오른다. 세포 안에서 압력이 커지기 때문에 세포벽은 이런 팽창에 저항한다. 이 결과로 식물 기관이 좀 더 견고한 형태로 되고 식물세포가 좀 더 많은 물을 받아들이는 경향이 감소하게 된다.
3. 아쿠아포린은 심투를 통해 물이 이동하도록 해주는 세포막 통로를 만드는 단백질이다. 이런 수송은 세포막과 액포막에서 일어난다. 아쿠아포린의 존재 여부와 수는 높은 수분퍼텐셜 지역에서 낮은 수분퍼텐셜 지역으로 막을 가로질러 물이 이동하는 속도에 영향을 미친다. 액포막에서 아쿠아포린이 많이 발현한다는 것은 막을 가로질러서 이동하는 이동속도가 증가하리라는 것을 예상해 볼 수 있고 그래서 세포가 팽창하는 동안에 팽창률이 증가할 것이다.

**요약 및 평가 33.2**

1. 나무를 가져부 근처에서 자른 후 절린 줄기의 윗부분을 독성 용액에 담가두었다. 독성이 나무로 올라왔고 차례로 세포들을 죽였다. 이것은 용액이 뿌리가 없어도 상승할 수 있다는 것을 나타낸다.
2. a. 그렇다. 토양과 잎의 수분퍼텐셜 차이(1.7 MPa)는 중력을 이겨내고 물을 나무 꼭대기까지 끌어올리기에 충분하다.  
b. 아니다. 토양의 수분퍼텐셜은 -1.0 MPa까지 감소하면, 뿌리세포 안쪽보다 더 음의 값을 가지게 되고 물은 뿌리를 떠나게 된다(토양으로 들어간다). (어떤 식물은 식물세포 내에 용질의 양을 증가시켜 좀 더 음의 값을 가진 토양에 적응되어 있다. 그러나 이 질문은 우리가 이런 종류의 어떤 적응도 포함하지 않는 즉각적인 반응에 대해 논의하고 있다고 가정하고 있다.)  
c. 만약 모든 기공이 닫혀 있다면, 잎의 수분퍼텐셜은 음의 값이 되지는 않을 것이다. 이것은 차례로 물관부 수분퍼텐셜을 덜 음의 값이 되게 만들고 아래쪽으로 뿌리까지 그렇게 만든다. 이것이 물이 뿌리에서 잎으로 흘러가기에 충분하면, 잎의 수분퍼텐셜과 뿌리의 수분퍼텐셜 간의 차이를 만들 것이다(좀 더 음의 수분퍼텐셜 쪽으로).
3. 증산은 잎에 있는 세포로부터 물을 증발시킨다. 이것은 과정에서 나머지 부분이 일어나도록 하는 원동력을 만든다. 증산으로부터 생기는 음의 압력퍼텐셜 증가는 세포벽 쪽으로 좀 더 많은 물을 끌어당기고 물관부 통도세포 안의 전체 물기둥에 장력을 미치게 시작한다(과정에서 두 번째 부분). 응집력은 물 분자들끼리 서로 끌어당겨 '물기둥'을 만든다. 이것은 물기둥이 끊어지는 것을 방지하고 장력을 소실하고 물이 상승하지 못하는 것을 막는다.
4. 물이 대기로 증발하므로 생기는 토양과 대기 중의 커다란 수분의 압력퍼텐셜 차이는 물관부에서 물을 위로 밀어 올리기에 충분하다. 물관부를 통해 연속적인 물기둥이 위로 올라가는 것은 응집력의 증거이다. 절린 줄기가 높은 음의 압력퍼텐셜을 나타내는 것은 물관부가 상당한 장력 하에 있다는 것을 나타낸다.

**요약 및 평가 33.3**

1. 공변세포에서  $K^+$  이온의 농도는 물이 삼투를 통해 들어오는 데 영향을 미치고 그다음으로 기공이 열리는 것을 조절한다. 빛이 있으면, 공변세포의 세포막에서 양성자( $H^+$ ) 펌프가 양성자를 세포 밖으로 펌프낸다. 공변세포 세포막을 가로지르는 전기화학적 기울기가 만들어지고  $K^+$  이온이 세포로 들어온다. 그리고 차례로 삼투기울기를 만들고 물이 공변세포로 들어오므로 공변세포를 팽창시키고 이웃하는 공변세포 사이에 공간을 만들게 된다. 이 공간이 열린 기공이다. 어둠 속에서는 양성자 펌프의 활성이 줄어들고  $K^+$  이온이 세포 밖으로 수동적으로 확산해 기공은 닫힌다.
2. 덥고 건조한 날에 엷육세포는 물을 잃게 되고 그 결과 기공은 닫히게 된다. 기공은 서늘하고 습한 날에 열린 채 있다.

**요약 및 평가 33.4**

1. 공급부는 필요한 것보다 더 많은 탄수화물을 생산하는 기관이다. 공급부는 광합성을 하거나(예: 잎) 녹말을 저장(예: 종자)할 수 있다. 수용부는 자체적으로 사용할 탄수화물을 충분히 생산하지 못하므로 반드시 공급부로부터 수입해야 하는 기관이다. 예를 들어, 수용부에는 뿌리와 꽃 등이 포함된다.
2. 공급부 세포는 슈크로스를 체관부의 체관에 적재하여 수분퍼텐셜을 감소시킨다. 물이 이웃하는 물관 요소에서 체관으로 들어간다. 이것은 관내의 압력을 만들게 되고 체관액을 유동시킨다. 수용부에서는 슈크로스가 제거되고 관 안에서 수분퍼텐셜이 증가한다. 물은 체관을 떠나 물관으로 들어간다. 이런 두 가지 시간의 조합이 잎류가 일어나게 하는 원인이다.

**그림 질문**

**그림 33.3** 물은 식물체의 수분퍼텐셜이 토양의 수분퍼텐셜보다 낮을 때에만 식물체 내로 이동한다. 녹아 있는 이온들은 음의 용질퍼텐셜을 만들어, 토양의 수분퍼텐셜을 낮춘다.

**그림 33.6** 밀착연접

**그림 33.7** 높은 습도에서는 잎으로부터의 증산이 감소한다. 이는 잎맥으로부터 당기는 물의 양 그리고 차례로 물관에서 당기는 물의 양, 뿌리에서 섭취하는 물의 양을 감소시킨다.

**자료 이용하기, 벼에서 물이용 효율의 향상**

1. 증가한 광합성 탄수고정과 감소한 증산 때문에 식물에서 과발현된 HARDY 유전자를 가진 식물에서 물이용 효율이 증가하였다.
2. 대응표본 t-검증을 사용하라.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 33.1**

1. 물은 높은 압력을 가진 지역에서 빠져나오고 높은 용질 농도를 가진 지역으로 이동하므로 압력퍼텐셜과 용질퍼텐셜은 상반되는 신호이다. 관례에 따라 높은 압력은 큰 양의 값으로 표시하는 방식으로 압력은 양의 숫자로 나타내기로 한다. 이러한 관례에 따라 용질퍼텐셜은 음의 숫자로 나타내기로 한다.
2. 분자의 크기가 너무 크거나 하전이 되어 있으므로 많은 분자가 세포막을 가로지를 수 없다. 이온동력은 막을 가로질러서 이동할 수 있는 통로를 형성하지만, 이런 통로는 종종 선택적이다. 즉, 이들 통로는 하나 또는 선택된 분자 그룹만을 통과시킨다. 식물은 세포 안으로 그런 물질이 들어가게 하는 통로를 만들지 않고 독성요소를 간단하게 제거할 수 있다. 이와 유사하게 식물은 관련된 수송체를 조절함으로써 받아들이는 무기질과 다른 화합물의 농도를 조절할 수 있다.

3. 판지(세포벽)가 젖게 될 것이다; 붙여놓은 비닐의 바깥쪽도 또한 젖게 될 것이지만 안쪽은 건조한 채로 남아있게 될 것이다. 판지는 아포플라스트로 표현된다. 비닐의 안쪽이 심플라스트이다.

**핵심개념 33.2**

1. 음의 값. 압력퍼텐셜은 항상 대기압과 비교하여 결정된다; 활발하게 물을 수송하고 있는 물관부 세포에서 압력은 대기압보다 낮아서 음의 값이다. 달리 말하면, 통도세포에는 장력(당기는 힘)이 있다; 장력은 압력과 반대이므로 마이너스 기호를 나타낸다.
2. 나무의 뿌리가 절린 후에도 독성물질이 들어있는 물은 여전히 아래에서 꼭대기로 올라간다. 이것은 나무에서 뿌리나 살아 있는 세포가 이동하는 데 필요한 것이 아니라는 것을 나타낸다. (이동은 잎이 죽었을 때 멈춘다.)

**핵심개념 33.3**

1. 양성자( $H^+$ )를 공변세포 밖으로 펌프 때, 세포의 안쪽은 바깥쪽보다 상대적으로 음의 값이 증가하게 된다. 이런 좀 더 음의 값을 가지는 안쪽은 양으로 하전된  $K^+$ 가 공변세포 안쪽으로 들어가기에 효과적으로 유리하게 만든다.
2. 물이 들어갈 때 세포의 바깥쪽 모서리 부분이 더 두꺼워진 공변세포는 서로 멀어지게 되고 두 공변세포 사이에 열린 공간을 형성하게 된다. 자전거 바퀴의 안쪽 튜브를 예로 들어 이것을 설명할 수 있다. 팽창시키기 전에 누군가가 두 손으로 안쪽 튜브를 잡고 바깥쪽으로 잡아당기면 2개의 긴 면이 서로 다른 쪽에 부딪혀서 납작한 상태로 멈추게 될 것이다. 누군가가 여전히 두 쪽 끝을 잡고 공기를 주입하면, 안쪽 튜브는 팽창되고 가운데에 구멍이 생긴다.
3. 빛은 기공의 열림을 촉진한다. 기공이 열린 후에 물관부에서의 장력(음의 압력)이 증가하기 때문에 물관부에서 압력은 등이 트기 전에 높아지게 될 것이다.

**핵심개념 33.4**

1. 수용부는 생산하는 것보다 더 많이 소비한다; 공급원은 소비하는 것보다 더 많이 생산한다. 어린잎은 잎이 광합성을 시작할 때까지 체관부로부터 슈크로스의 공급이 필요하다.
2. 체관부에서 슈크로스를 농축시키는 것은 에너지가 필요하다. 능동수송단백질(ATP-요구)이 여기에 사용된다면, 이들 소형 단백질은 시스템이 진행되도록 하는 펌프이다.
3. 체관부 적체(체관부 슈크로스의 능동수송), 부피유동에 필요한 압력을 만드는 체관부로의 물의 삼투, 능동수송이 필요한 경우, 그리고 체관부 하적 등에 세포막이 필요하다.

**34장**

**요약 및 평가 34.1**

1. 그때는 감지되지 않았던 미량의 영양소를 함유하고 있으므로, 수용액은 순수하다고 여겨지지만 그렇지 않았다. 이전에 인식되지 않았던 영양소를 검출할 수 있는 화학적 방법이 최근에 발달하였다.
2. 어린 식물체에 달린 노란 잎은 아마 철이나 황 결핍에 기인한 것이다. 오래된 잎에서 일어나는 황변은 질소가 결핍되었다는 것을 의미한다.

**요약 및 평가 34.2**

1. 식물은 토양에서 영양소가 있는 곳으로 생장할 수 있고 줄기와 잎은 광합성에 필요한 빛과 공기에 최대한 노출되도록 생장 방향을 맞출 수 있다. 식물은 뿌리의 세포막을 가로질러 토양 수용액으로부터 영양소를 운반하기 위한 특별한 수송체 분자를 발현시킨다. 수송체가 많이 만들어질수록 더 많은 영양소가 식물체로 이동할 수 있다.
2. 건조한 시기가 지속된 후 심하게 관개를 하면, 식물체가 이용할 영양소가 적어지는 표토(A 층 위) 유실과 이온(특히 음이온) 침출이 발생할 수 있다.
3. 식물 뿌리로 들어갈 수 있는 곳에서 양이온치환은 토양입자에 붙어 있던 이온을 토양 수용액 속으로 자유롭게 내보낸다.

**요약 및 평가 34.3**

1. 양쪽 경우 모두에 식물은 다른 생명체에 광합성 산물(예: 슈크로스)을 제공한다. 균근은 인을 제공한다; 후에서 세균은 고정된 질소를 제공한다.
2. 많은 종이 질소를 고정한다. 한 종이 없어지면 다른 종 개체군이 팽창하여 부가적으로 질소를 고정한다. 모든 질소고정 종이 없어진다는 것은 비생물적 과정(예: 공업적 고정)으로만 질소를 고정할 수 있다는 것을 의미한다. 질소고정 생물종이 없어지면 토양에서 전체 질소가 감소하게 되고 식물 생장에 사용될 질소의 양이 줄어들게 된다는 의미가 된다.
3. 작물인 옥수수는 토양의 질산염을 감소시킨다. 콩은 질소고정 뿌리혹을 가지고 있으므로 질산염이 필요하지 않다. 옥수수와 콩을 교대로 재배할 때 토양은 독립생활하는 질소고정세균을 통해 질소를 고정하고 보충한다.
4. 레몬의 묘목은 비료를 주지 않은 토양에서 생장할 때보다 좀 더 많은 인을 필요로 하였다. 인산염 비료는 그다지 큰 효과가 없었다; 생장은 인 12 g 수준에서 늘어나지 않았다. 균근과의 함께 넣으면 인산염 비료는 생장에 엄청난 영향을 미쳤다; 생장은 12 g 수준 이상에서도 지속되었다.

**요약 및 평가 34.4**

1. 식충식물은 동물을 포획하여 동물의 단백질질을 소화하고 아미노산을 흡수한다. 그들이 얻게 되는 가장 중요한 영양소는 질소이다.

2. 애기장대 돌연변이를 사용한 실험에서 애기장대는 생장을 조절하기 위해 자신의 스트리코락톤과 외부의 것을 모두 이용하고 적절한 수용체와 반응 기작을 가지고 있다고 제안하였다. 이것은 유익한 미생물을 유인하기 위한 조상 식물의 기작이 현존하는 식물의 생장을 조절하는 데도 사용된다는 생각을 강화했다. 혹은 반대의 경우에도 옳다: 스트리코락톤의 원래 기능은 식물호르몬으로 작용하고 식물-미생물 상호작용에 미치는 중요한 역할은 나중에 진화되었을 것이다.
3. 완전기생식물은 숙주와의 연합을 통해 환원된 탄소를 얻을 수 있다. 기생식물에 대하여 어떤 생존과 생식적 이점을 주지는 않기 때문에 광합성 기능에 관련된 것들을 암호화하는 유전자는 선택압 하에 놓여 있지 않다. 그래서 어떤 돌연변이는 가능하지 못하게 된 광합성 유전자를 잃어버리지 않고 간직한다.

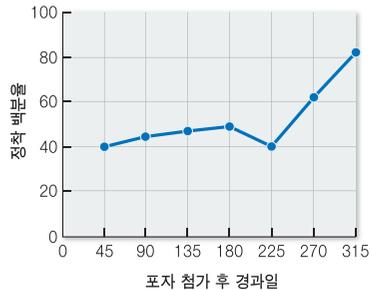
**그림 질문**

**그림 34.7** 음으로 하전된 이온(음이온)은 양으로 하전된 토양입자에 결합할 수 있고 이온 교환을 한다. 그러나 이런 일은 전형적인 pH값을 가진 토양에서는 일어나지 않는다. 음으로 하전된 입자를 가지는 토양 대부분은 음이온이 식물 뿌리에 흡수되지 않으면 급속하게 침출될 수 있다.

**그림 34.10** 산소(O<sub>2</sub>)는 강한 산화제이고 질소 환원효소에 필요한 전자(그리고 수소원소)를 강하게 끌어당긴다.

**자료 사용하기, 균근균류는 카사바 재배에서 비료를 대신할 수 있다**

1. 뿌리의 정착은 포자를 첨가하고 315일에 최대로 나타났다. 자연시간은 아마도 포자가 발아하고 카사바 뿌리에 정착할 수 있는 균사를 성장시켜야 해서 나타나는 것 같다.



2. a. 그렇다, 비료에 포자를 첨가하는 것은 긍정적인 효과가 있다. 카사바 뿌리 작물 생산은 균사 포자만 첨가하였을 때(38 g)와 비료만 첨가하였을 때(35 g)가 비슷하였다.  
b. 포자를 처리하였을 때와 처리하지 않았을 때의 나타나는 차이점을 유의성을 알기 위한 검정으로 짝지어진 표본에 대해 t-검정을 사용하였다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 34.1**

1. 식물 건조량 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 요소는 대기 중의 이산화탄소로부터 온다.
2. 그렇다. 어린 철분이 결핍된 잎은 노란색/흰색으로 변하는 경향이 있다.
3. 식물과 식물의 증상을 관찰함으로써 경험에서 우러나오는 추측을 할 수 있다. 그런 다음에 토양에 그 영양소를 적용해 보고 결핍증상이 줄어드는지 없어지는지를 관찰함으로써 추측을 시험해 볼 수 있다.

**핵심개념 34.2**

1. 식물은 토양의 영양소 수준에 대응하여 식물체로 영양소를 흡수하는 단백질의 양과 활성을 변화시킬 수 있다. 이런 유연성은 비록 식물이 특정 영양소의 수준이 낮거나 높은 토양의 덩어리에서 자란다 해도, 식물체가 식물체 내에서 비교적 안정적인 영양소 수준을 유지하게 해준다.
2. 식물은 양성자를 토양으로 배출하지만 그렇게 하는데 ATP가 소모된다.
3. 원시 낙엽수림에서 경작지로 토지 이용을 바꾸는 것은 작물이 토양에서 영양소를 흡수하고 작물을 수확할 때 시스템으로부터 영양소가 제거되기 때문에 토양화학을 변화시키게 될 것이다. 게다가 토양 속의 생물 조성이 바뀌게 됨으로써, 식물뿌리와 관련되어 사는 많은 생명체가 사라지게 될 것이다. 뿌리가 더 토양을 뚫어지게 하지 못하고 토양의 공기 공극을 만들지 못하므로 토양의 구조와 토성 또한 변하게 될 것이다.

**핵심개념 34.3**

1. 토양으로 뻗어가는 균근의 균사는 영양소를 흡수할 수 있도록 하는 표면적을 엄청나게 증가시켜 준다.
2. 뿌리혹은 질소고정 세균을 포함하는 특화된 구조이다. 세균은 질소가스에서 심중결합을 끊어내어 질소를 고정할 수 있는 효소인 질화세균을 만든다. 산소는 질화세균을 억제하므로 식물 뿌리혹은 산소 수준이 아주 낮은 환경을 제공한다.
3. 세균, 균류, 뿌리털은 뿌리의 표면적을 증가시키므로 흡수를 촉진한다. 이와 비슷하게 사람의 내장은 넓은 표면적을 제공하는 미세용모가 줄지어 있다. 내장이 그러한 것처럼 뿌리는 미생물로 가득한 복잡한 환경에 존재한다. 뿌리는 주변의 환경을 산성화시킨다; 소화 부분을 흡수했다면 내장 내강 또한 산성화되어 있다는 것을 알 것이다.

**핵심개념 34.4**

1. 파리지옥은 에너지를 생산하고 식물 건조량의 대부분을 제공하는 광합성을 한다. 그들은 질소가 부족한 토양에서 자라고 그들이 포획하는 곤충은 질소를 공급한다. 아니요, 그들은 녹색의 잎이 없다면 생존할 수 없다.
2. 수정난분은 완전기생식물이다; 그들은 그들 스스로 광합성을 할 수 없다.

**35장**

**요약 및 평가 35.1**

1. 세포 내부의 팽압은 세포벽에 압력을 가한다. 이러한 물리적 압력으로 인해 세포벽의 구조적 구성 요소가 이동한다. 이러한 이동은 압력을 완화시킨다. (즉, 세포벽의 압력이 감소한다). 세포벽의 스트레스는 세포질의 스트레스와 반대되기 때문에 이것은 세포 팽압의 감소와 같다. 팽압이 떨어지면 물이 세포로 쉽게 들어갈 수 있다. 세포에 물을 첨가하면 세포가 팽창한다. 물의 첨가는 또한 다시 팽압을 증가시키므로 순환이 다시 시작된다.
2. 세포의 유형은 세포에 포함된 단백질에 의해 결정된다. 전사인자는 합성되는 단백질을 결정한다.
3. 화제는 재를 생산하며, 이들은 식물의 영양분으로 토양에서 풍부하게 이용된다. 증자는 화제의 결과로 영양이 풍부해진 토양에서 발아할 수 있는 이점을 얻을 수 있다. 화제는 자연재해에 의해 발생하는 시간이기 때문에 이러한 증자들은 숲과 같은 서식지에서 선택적인 이점을 가질 수 있다.
4. 증자들이 돌연변이 유발원을 처리한 후 심어지면, 돌연변이가 휴면에 영향을 미친 증자들은 신속하게 발아한다. 이러한 돌연변이 식물체들은 야생형 식물체들과 비교하여 차이 나는 기능을 수행하는 유전자들을 분리할 수 있다.

**요약 및 평가 35.2**

1. mRNA의 번역 억제 기작은 지베렐린 유도성 가수분해효소의 생합성 저해를 일으키며, 프로테아솜 저해제는 억제자 단백질의 가수분해를 저해하여 정상 조건에서 지베렐린이 세포에 영향을 줄 수 없도록 방해한다. 그래서 지베렐린 신호전달 기작은 억제되며, 가수분해효소의 합성도 증가하지 않게 된다. 옥신과 자엽초의 경우, 저해제 없이 세포신장과 자엽초의 생장이 일어난다. 이러한 결과들은 mRNA의 전사와 프로테아솜 저해제의 존재가 없어서 나타나는 결과이다.
2. 빛이 없는 쪽으로 위치하는 세포들은 빛을 받는 쪽의 세포보다 더 많은 옥신이 있다. 세포신장은 그림자기 형성되는 부위로 옥신이 이동하여 빛을 향한 굴곡을 유발한다.
3. 옥수수의 발육부진을 유발하는 병원균인 스피로플라스마 감염과 지베렐린 억제제의 상관관계를 확인하기 위해, 병원균 감염과 비감염 조건에서 식물체 내의 지베렐린 양을 정량적으로 분석하는 연구를 수행할 수 있다. 스피로플라스마가 감염된 식물에서 지베렐린의 감소는 병원균 감염이 지베렐린의 생합성을 억제해서 나타나는 결과일 것이라는 추측을 할 수 있다. 또 다른 연구방법으로서, 병원균이 감염된 식물체에 지베렐린을 처리할 수 있다. 만약에 지베렐린 처리로 발육부진을 보이는 표현형이 원래 상태로 복귀된다면, 스피로플라스마 병원균의 감염이 지베렐린의 생합성을 저해했기 때문에 나타난 결과였다는 결론을 내릴 수 있을 것이다.

**요약 및 평가 35.3**

1. 시토키닌은 정단생장에서 측면의 가지생장을 촉진하며, 이것은 식물이 풍성한 수풀을 이룰 수 있도록 만들어 준다. 옥신은 정단의 생장을 유지하는 작용을 하며 측면의 가지생장을 방해한다. 그러므로 이러한 식물들은 시토키닌에 대한 옥신의 비율이 낮을 가능성이 크다.
2. 가방 안의 솜은 에틸렌 기체를 흡수하며, 이것은 숙성 중인 열매에 의해 방출된다. 에틸렌 부족은 과도한 숙성과 부식을 방지한다.
3. 에틸렌과 브라시노스테로이드는 잎의 노화를 촉진하며 식물에서 대부분 황활형이다. 반면에 시토키닌은 잎의 노화를 지연시키며, 식물에서 불활형이다.

**요약 및 평가 35.4**

1. 지엽초가 굴광성을 갖도록 하는 작용스펙트럼은 청색광이 가장 효율적이다. 유전자 탐색을 통해 청색광 불감수성 식물을 확인했으며, 정상 식물들은 청색광 수용체가 있지만, 이들은 정상 식물에서 청색광 수용체가 없어서 청색광에 대해 반응할 수 없다.
2. 적색광은 피토크롬을 P<sub>1</sub>에서 P<sub>fr</sub>로 전환시킨다. P<sub>fr</sub>이 증자발아를 촉진하는 생리활성형이다. 원적색 광은 P<sub>1</sub>로의 전환을 통해 P<sub>fr</sub>를 감소시키며, P<sub>1</sub>은 증자발아 촉진에 대한 불활성형이다.

**그림 질문**

**그림 35.7** 자연조건에서 여러 품종의 콩 식물의 증자를 다수 수집할 수 있다. 돌연변이 유발원을 처리하지 말고, 암조건에서 발아시킨 다음 에틸렌을 처리하라.

**그림 35.11** 녹말의 분해를 촉진하기 위해, 증자들은 물을 흡수하여 부풀어 오른다.

**그림 35.16** 미토콘드리아와 엽록체에 양성자 펌프가 존재하며, 이들은 화학삼투를 통한 ATP 합성을 위해 양성자 농도기울기의 차이를 만든다.

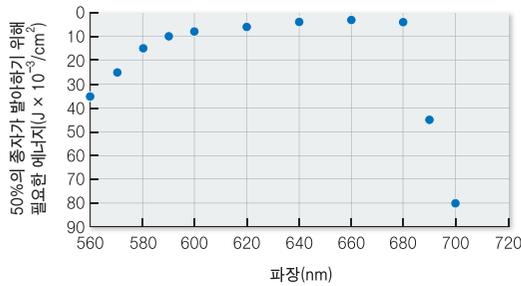
**그림 35.17** 유비퀴틴과 프로테아솜은 같은 기능을 수행한다. 또한, 특이적 기능을 갖는 독특한 호르몬들이 있다. 예를 들어, 옥신의 특이적 수용체와 지베렐린의 다양한 수용체들이 있다.

**자료 이용하기, 다윈 부자의 굴광성 실험**

1. 관찰자의 오른쪽에서 빛이 비치고 있다.
2. 연구 결과들은 정단부가 빛을 향해 휘어지게 자라는 데 필수적이라는 것을 의미한다. 정단의 맨 끝 부분(약 1.27 mm)을 잘라내도 어느 정도 휘는 것으로 보아 심각한 손상이 없으므로 식물이 여전히 굴광성의 기능을 수행할 수 있음을 의미한다.
3. 연구 결과는 정단부가 빛을 향해 휘어지게 자라는 데 필수적인 기능을 한다는 것을 의미한다. 6개의 작업초가 비효율적으로 가려졌기 때문에 빛을 향해 약하게 휘어지는 결과를 보였다. 그러므로 이러한 결과는 실질적으로 빛과 연관성이 있으며, 관의 어느 부분이 균열이 되었는지를 주의 깊게 확인해야 함을 의미한다.

**자료 이용하기, 적색광과 원적색광에서 종자의 광감수성**

1. a. 높은 숫자는 더 많은 빛에너지를 의미하며, 낮은 숫자보다 반응(종자발아)을 위한 파장이 필요함을 의미한다.
- b. 가장 고효율은 600~680 nm이다. 이 영역에는 적색광 영역이 포함된다. 이 질문은 에너지 효율(가장 큰 파장대 영역의 파장) 측면에서 틀리기 때문에 y 축이 반전되었다. 이런 식으로 나타내면 가장 효과적인 파장이 맨 위에 나타난다. 다른 방법으로 그래프를 그리는 것도 또한 가능하다.



2. a. 광수용체는 상호전환 가능한 두 가지 형태를 갖는다. 적색광은 활성화형 수용체 형태를 촉진하며, 원적색광은 불활성형으로의 전환을 촉진한다.
- b. 암조건에서 적은 양의 피토크롬이 P<sub>fr</sub> 상태로 존재한다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 35.1**

1. 식물의 생장은 분열조직을 기반으로 진행된다.
2. 세포의 정체성은 세포에 존재하는 단백질에 의해 확립된다. 몇몇 주요 전사인자의 발현은 세포에 존재하는 단백질에 큰 영향을 미칠 수 있다.
3. 식물은 고착성이다. 그래서 새로운 위치로 이동할 수 없다. 결과적으로 식물은 주변 환경에 대처해야 한다. 식물이 환경을 감지하고 형태를 변화시켜 반응하는 능력은 식물이 생존을 위한 반응을 수행하는데 필요한 유연성을 제공한다.
4. 다수의 종자 확보 → 화학 돌연변이로 노출 → 관찰자가 예상하는 명확하게 반응이 없는 식물의 형태로 성장 → 예상대로 반응하지 않는 식물 선택 → 돌연변이 된 유전자의 식별

**핵심개념 35.2**

1. 실험의 세트는 극성의 옥신 수송시스템을 발견하는 데 중요했다. 옥신이 규칙적으로 배열된 줄기 조직의 상부에 배치되는 경우, 옥신을 세포 밖으로 이동할 수 있게 하는 옥신 수송 단백질이 세포의 하부에 위치하기 때문에 첨가된 옥신은 줄기의 바닥으로 세포의 아래로 이동한다. 줄기의 방향이 뒤집히면 옥신 수송단백질은 식물에서 가지고 있던 방향을 유지한다. 이 경우, 옥신은 아래가 아닌 조직을 통해 위로 이동한다.
2. 베타-지베렐린을 분비한다 → 지베렐린은 호분층으로 확산하여 가수분해효소의 합성을 유도한다 → 가수분해효소는 배젖 내에 저장된 전분을 분해한다 → 배가 생장을 시작할 때, 배가 사용할 수 있는 당과 아미노산이 방출된다.
3. 옥신은 F-박스 단백질에 대한 표적 단백질의 결합을 촉진하여, 프로테아솜에서 파괴될 표적 단백질을 표시한다. 파괴될 것으로 표시된 특정 표적 단백질은 존재하는 특정 F-박스 단백질에 의해 결정된다. 다양한 유형의 세포가 다양한 F-박스 단백질을 발현하는 경우, 옥신에 반응하여 분해되는 표적 단백질 또한 다양해질 것이다.

**핵심개념 35.3**

1. 옥신이 많은 배지에서 식물은 뿌리가 형성된다. 한쪽 끝에 뿌리가 있는 캘러스를 시토키닌이 풍부한 배지로 옮기면 지상부가 형성된다.
2. 상처는 에틸렌의 형성을 유도하여 다른 사과들을 한꺼번에 숙성시킨다.

**핵심개념 35.4**

1. a. 피토크롬의 발색단이 없는 식물은 규칙적인 피토크롬 반응을 일으킬 수 없다. 그들은 어두운 곳에서 성장하는 식물처럼 보일 것이다.
- b. 단 하나의 세포 유형 또는 잎이 하나의 층으로 발색단 분해효소를 발현하면, 이들 세포 유형에서 발생하는 피토크롬 의존적 과정을 확인할 수 있다.

2. 반응에 대한 작용스펙트럼이 잠재적인 광수용체에 대한 흡수스펙트럼과 일치하면, 둘은 서로 관련이 있는 작용을 수행한다. 이것은 잠재적인 광수용체가 관찰된 빛에 대해 반응성이 있음을 암시하지만 스스로 입증되지는 않는다. 유전자 탐색을 통해서 이러한 과정에 필요한 단백질이 확인되면 표시된 단백질이 반응과 관련이 있음을 나타낸다. 그러나 확인된 단백질이 광수용체임을 증명하는 것은 아니다. 단백질은 광수용체에 의해 조절 받는 하류의 신호전달 반응에 필요한 기능을 수행할 수 있다. 이와 같은 각각의 연구 결과는 중요한 정보를 추가해 준다.

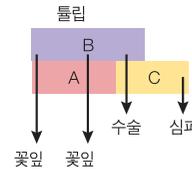
**36장**

**요약 및 평가 36.1**

1. 꽃가루관은 정자세포를 암술머리에서 배아의 밑씨로 전달하며, 이것은 암술 하단의 씨방에 위치하게 된다. 꽃가루관이 밑씨로 전달되지 못하게 되면, 밑씨는 종자와 열매를 형성하지 못해 생식에 실패하게 된다.
2. 난자는 한 정자에 의해 수정되어 포자체의 2배체(2n) 배인 접합자를 형성한다. 2개의 극핵은 다른 정자에 의해 수정되어 발달하는 배아에 영양을 공급하는 3배체(3n)의 배젖을 형성한다.
3. 2개의 극핵은 반수체이므로 단백질이 기능하지 못하도록 돌연변이 된 유전자를 가지고 있는 식물은 여분의 기능을 수행할 수 있는 유전자가 없다. 2개의 극핵은 동일한 반수체 모세포로부터의 유사분열로 발생하므로 상실이 가능 상실이 세포 내에서 보호되지 않는다. 또 다른 반수체 핵(정자에 의해 제공됨)에 의한 수정은 세포 내에서 배젖이 각 유전자의 하나 이상의 기능적 복사본을 포함시킬 가능성을 증가시킨다
4. 밑씨는 종자로 발달한다. 수정란은 배아를 형성한다. 밑씨를 둘러싸는 세포는 종자껍질로 발달한다. 씨방 벽과 이에 둘러싸인 종자는 열매로 발달한다.

**요약 및 평가 36.2**

1. 툴립에서 B군(클래스)의 유전자는 윤생체 1, 윤생체 2, 윤생체 3에서 발현된다.



2. 장일식물은 여름과 같은 낮이 길고 밤이 짧은 조건에서 꽃을 피운다. 하지만 온실조건에서 밤시간과 낮시간의 조절을 통해 식물을 숙여서 개화를 조절할 수 있다. 짧은 낮시간과 중간 밤시간의 식물을 밤의 중간에 빛을 비추어 밤의 길이를 중단시켜서 짧게 만들면 그 식물은 개화를 시작한다.
3. a. 돌연변이는 CO 단백질을 안정화시킨다.
- b. 돌연변이는 FD 단백질의 기능을 없앤다.
- c. 돌연변이는 FLC 단백질의 발현을 증가시킨다.
- d. 돌연변이는 CO 단백질의 항시적 발현을 유도한다.

**요약 및 평가 36.3**

1. 무성생식은 빠르고 식물의 유전적 적응을 유지하고 있지만, 유전적으로 동일한 후손을 만들기 때문에 모든 개체가 환경조건 및 물리적 변화에 동일한 적응성을 갖고 있다. 유성생식은 유전적 다양성을 후손에게 물려주기 때문에 표현형의 다양성을 갖게 되며, 환경 변화에 적응할 수 있는 개체들을 생산하게 된다. 하지만 유성생식은 무성생식보다 전달되는 속도가 느다.
2. 무성생식은 수분(수정) 없이도 진행될 수 있으며, 많은 식물을 빠르게 생산할 수 있다. 기생줄기 또는 지하줄기들은 척박한 토양에서 생존하기 위한 식물의 적응으로 언덕이나 모래사구와 같은 불안정한 토양조건에서도 이용된다. 무성생식은 유식물의 생장이 어려운 사막 조건에서도 이용되고 있다.
3. 감수분열 중인 3배체 세포에서, 감수1분열에 상동염색체의 쌍이 있을 수 없으므로, 감수1분열은 비정상적이며 기능적인 생식세포가 형성되지 않는다. 열매는 꽃의 씨방 벽에서 형성된다. 씨 없는 포도는 삼목(생식생장)에 의해 증식된다.
4. 다양한 오픈지 나무의 DNA 염기서열을 분석하고, 리버사이드에 있는 단일한 나무 종의 DNA 염기서열과 비교한다.

**그림 질문**

**그림 36.3** 단일 반수체 모세포로부터의 유사분열에 의한 암컷 대배우체 형태의 모든 8개의 핵, 유사분열은 세포의 복제본을 생성하므로 두 극핵의 DNA 함량은 같을 것으로 예상된다.

**자료 이용하기, 개화신호**

1. a. 이 식물들은 짧은 밤(단야) 조건에서 생육하였으므로, 긴 밤(장야) 조건에서 키우면 개화가 유도되지 않았다. 긴 밤 동안 짧은 빛을 주게 되면 개화에 영향을 미칠 것이다.
- b. 자료는 720 nm 파장의 빛(원적색광)이 개화 유도에 가장 효과적임을 나타낸다. 긴 밤 동안 적색광이 개화를 억제하였고, 개화의 효과는 원적색광으로 역전되었기 때문에, 피토크롬은 광수용체로서 기능을 나타내었다.

2. 이 식물들이 꽃을 피우려면 긴 밤이 필요하다. '빛 없음' 열에서 자료는 개화를 촉진하기 위해 8.5시간의 어두운 기간이 필요하다는 것을 보여준다. 암주기의 초기에 적색광(660 nm)이 처리된 경우, 더 많은 P<sub>1</sub>이 P<sub>2</sub>로 전환되었고, 필요한 암주기의 길이는 9시간으로 증가하였다. 이는 더 많은 양의 P<sub>1</sub>을 P<sub>2</sub>로 변환(복귀)하는 데 시간이 더 걸리기 때문일 수 있다. 그러나 어두운 기간이 시작될 때 원적색광(720 nm)을 처리한 경우, 낮 동안 축적된 P<sub>1</sub>이 비활성 형태인 P<sub>1</sub>로 전환되어 어두운 조건에서 짧은 시간(7시간) 후에 꽃이 피었다.

**자료 이용하기, 개화신호는 앞에서 눈으로 이동한다**

- 식물의 잎을 제거하면 개화가 되지 않는다. 그러므로 잎은 광주기를 감지하며 개화를 유도하는 장소이다.
- 수용체는 잎이다.
- 광주기와 같은 환경신호는 처리된 잎 하나를 통해서도 전달이 된다. 이 신호는 슈트의 눈에서 종결되는 신호전달 경로를 유도하여, 그 결과 개화가 개시된다. 이 자료는 개화의 유도자가 앞에서 생산되며 슈트 정단으로 이동하여 개화를 유도한다는 것을 입증한다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 36.1**

- 잎의 배우체에서 최초의 핵 중 하나는 난자세포가 된다. 나머지는 보호 및 영양기능을 수행하는 배아 주머니를 형성한다. 수컷 배우체에서 감수분열로 원래 생성된 세포는 4개의 꽃가루가 된다. 성숙할 때, 각 꽃가루는 반수체의 관 세포 및 2개의 반수체 정자세포를 포함하는 꽃가루관을 형성할 수 있다. 암컷 배우체는 더 크고, 또한 발달 중인 배에 대한 영양소를 포함한다. 꽃가루는 작고 많으므로 이동이 쉬우며 수분이 더 많이 발생하게 된다.
- 사람의 생활사에는 배우체 시기가 포함되어 있지 않다. 사람의 생활사에서 감수분열은 난자나 정자의 형성으로 이어진다. 식물에서 감수분열은 포자라고 불리는 반수체 세포로 이어진다. 반수체의 포자는 유사분열로 배우체라는 다세포성의 구조를 형성한다. 일단 다세포성 구조가 형성되면, 그 내부의 세포는 서로 달라질 수 있으며, 일부는 난자 또는 정자가 된다. 속씨식물은 별도의 수컷과 암컷 배우체를 가지며, 단일 배우체는 난자 또는 정자 중 하나를 형성하지만, 이 둘은 모두 형성하지는 않는다.
- 배우체들의 물리적 분리는 근친교배의 가능성을 감소시키고 수컷과 암컷의 꽃이 다른 식물 및 한 식물의 다른 위치에 존재하거나 다른 시간에 성숙할 때 발생한다. 꽃가루관의 성장을 막는 유전적 자가불화합성은 자가수분을 예방할 수 있다.

**핵심개념 36.2**

- 전사인자는 유전자의 발현에 영향을 미치는 단백질이다. 따라서 특정 전사인자가 세포에 존재하는지는 어떤 다른 단백질이 발현될지를 결정한다. 단백질은 세포의 활동을 수행하므로 유형을 정의한다.
- CO 단백질은 빛에서 안정화되므로 CO의 mRNA 생성량이 증가하면 CO 단백질이 축적된다. CO 단백질은 FT mRNA의 생성을 활성화시킬 수 있는 전사인자이다. 그런 다음 FT 단백질(플로리겐, florigen)이 생산되어 앞에서 슈트 정단분열조직까지 이동할 수 있다.
- 증거의 예는 다음과 같다.
  - 시금치는 지상부가 차단되어 만들어진 정밀 조건일 때는 개화하지만, 지상부가 아닌 눈을 차단했을 때는 개화하지 않을 것이다.
  - 식물에서 광주기가 유도된 잎을 바로 제거하면, 개화가 일어나지 않는다. 하지만 잎을 식물에 여러 시간 방치하여, 잎의 물질이 눈으로 이동한 뒤에 잎을 제거한다면 개화가 유도된 것이다.
  - 어떤 식물 중에서는 하나의 잎이 유도성 광주기에 노출될 때, 유도성 광주기에 노출되지 않은 식물에 유도성 광주기에 노출된 식물의 잎을 이식하면, 수여자 식물은 개화가 유도되기에 충분한 조건이 된다.

**핵심개념 36.3**

- 유성생식은 급변하는 환경에 더 적합한 새로운 유전자 조합을 생성할 수 있는 기회를 제공한다.
- 뿌리줄기의 네트워크를 빠르게 형성하는 식물은 모래 언덕에서 잘 서식하는 종으로 작용한다. 모래 언덕은 이러한 식물의 성장에 의해 안정화될 수 있다.
- 일부 식물에서, 2배체(2n)의 대포자모세포는 감수분열을 하지 않지만, 난자의 형성을 유도하는 유사분열을 여전히 발생시킨다. 이는 종자 내에 포함된 2배체(2n) 알세포를 형성한다.

**37장**

**요약 및 평가 37.1**

- 수분경향성은 개별 식물체가 특정 환경조건에 반응하는 방법이므로 순화이다.
- 식물은 시들었다. ABA는 수분 보존에 관여하는 유전자의 전사 활성화 및 기공닫힘을 유도한다. ABA가 합성되지 않은 경우, 증산 속도는 계속 높아지고 식물은 계속 물을 잃어 수분소실이 일어난다.
- a. 밀 식물에 대한 강우 감소의 영향은 탈수 및 삼투 스트레스를 포함할 수 있다. 식물은 기공을 막거나 더 두꺼운 표피로 잎의 해부학적 구조를 변형시켜 증발을 줄일 수 있다. 식물은 물을 얻기 위한 보다 광범위한 뿌리 시스템; 뿌리에 용질을 축적해 뿌리의 수분퍼텐셜의 값을 감소시키며, 건조한 토양에서 더 많은 물을 흡수한다.
  - b. 흡수는 식물이 이용할 수 있는 산소의 양을 줄이고 호흡을 감소시킨다. 이러한 조건에 대한 반응으로는 물속에 잠긴 식물 조직에 공기를 공급하기 위한 줄기 성장물 및 통기조직의 증가가 포함될 수 있다.

4. 수용체는 신호에 결합하거나 상호 작용하여 반응한다. 수용체의 형성을 방해하는 돌연변이는 반응이 억제된다. 반응을 억제하는 모든 돌연변이가 수용체에 있는 것은 아니다. 돌연변이는 또한 신호 전달 경로의 다른 단계에 영향을 줄 수 있다. 이것이 신호와의 상호작용이 답의 중요한 부분인 이유이다. 피토크롬은 온도에 따라 상태를 변화시킨다. P<sub>1</sub> 상태에서의 피토크롬의 총량은 P<sub>1</sub>이 P<sub>2</sub>로 암흑복귀하는 속도에 의존하며, 이 속도는 온도에 민감하다. P<sub>1</sub>은 DNA에 결합하여 온도 의존성 줄기 신장에 영향을 미치는 유전자의 전사에 영향을 미치며, 줄기 신장의 온도 의존성 증가는 피토크롬이 없는 경우에는 발생하지 않는다. 이러한 모든 관찰은 피토크롬이 온도감지 역할을 한다는 견해를 강력하게 뒷받침한다.

**요약 및 평가 37.2**

<i>Avr2Avr3</i>	건강한	건강한	병든
<i>Avr1Avr4</i>	건강한	건강한	건강한

- 일반적 및 특이적 면역반응 모두 유사한 신호전달 경로를 수반한다. 일반적 면역반응을 위해, 연구자들은 병원균에 대한 PAMP와 더 약한 반응을 연구한다. 특이적 면역반응을 위해, 연구자들은 유전자 대 유전자 내성 기작(*Avr* 유전자)과 예정된 세포자살 그리고 병원균이 침입한 피사체 부위를 연구한다.
- 실리실산은 전신획득 저항성을 개시한다. 이 분자를 상처 부위에 처리하면 추가적인 감염에 대항하는 보호성 PR 단백질의 합성을 유발한다. 이것은 장시간 효과를 가질 것이다.

**요약 및 평가 37.3**

- 니코틴이 2차대사물질로서 담뱃잎에 항상 존재하기 때문에, 이것은 많은 초식동물에 대한 구조적 방어 기작이라 할 수 있다. 유도적 방어 기작은 니코틴에 의해 예방받지 않는 초식동물에 의해 유발된다.
  - a. 이 배설물이 유도인자를 포함하므로 이것은 유도성 방어이다.
  - b. 이 배설물과 같은 화학물은 유도인자로서 신호전달 경로를 유발한다. 한 경로는 세포막의 심플라스트 경로를 통한 전위의 변화를 수반한다. 또 다른 경로는 활성산소종의 생성을 유발한다. 이들은 신호전달 분자로서 유전자 발현의 변화를 유도한다. 그 밖의 또 다른 경로는 재스몬산이나 다른 호르몬들의 생성을 유도하는데, 이들 물질은 전신획득 저항성을 유도하며, 이웃 식물에게까지 전달되어 방어반응을 유도시킬 수 있다.
- 재스몬산은 초식동물로부터 유래한 유도인자에 반응해서 생산된다. 재스몬산은 휘발성 분자의 합성을 유도할 수 있으며, 이들 분자는 공기를 통해 다른 식물이나 같은 식물의 다른 기관으로 퍼져 나간다.

**그림 질문**

- 그림 37.9** 피토크롬은 추운 조건에서 줄기 신장을 억제하기 때문에 돌연변이의 키가 더 크다.
- 그림 37.10** 많은 인간의 질병들은 병원균에 의해 유발되었다. 여기서 병원체 각각의 종류에 대한 수많은 정답 중 하나만을 제시한다.
- 바이러스: 독감
  - 세균: 결핵
  - 균류: 칸디다증
  - 선충: 십이지장충 감염증
- 그림 37.11** 식물 기관 모두는 다양한 모든 종류의 병원균에 노출되어 있다. 그러므로 환경조건에 노출된 뿌리와 잎의 세포들은 방어관련 분자들이 발현된다.

**자료 이용하기, 밀 녹병균에 대한 저항성 유전자**

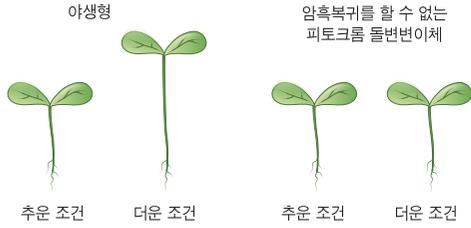
- 야생형 *Sr33*은 녹병균에 대한 저항성을 부여한다. *Sr33*의 결실 돌연변이(E5)나 점 돌연변이(E6-E9)는 녹병균에 대한 감수성을 갖게 한다. 그러므로 *Sr33*은 녹병균에 대한 저항성을 부여할 수 있다.
- 녹병균 저항성을 보이는 *Sr33* 과발현 식물체와 *Sr33*이 없는 녹병균 감수성 식물체를 이용한 실험에서, *Sr33*이 녹병균에 대한 저항성을 부여할 수 있다는 것을 알 수 있다.
- Sr35*는 밀의 근연종에 저항성을 부여한다.
- Sr35*는 또한 밀에 저항성을 부여한다. 그러므로 2개의 유전자가 저항성을 부여할 수 있다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 37.1**

- ABA 수용체는 세포질에서 발견되는 수용성 단백질이다. ABA의 결합은 수용체가 형태를 변화시켜 다른 단백질(단백질 인산화효소)에 대한 결합 부위를 생성시킨다.
- 기공을 열면 기체와 잎 내부의 기체교환이 증가하여 CO<sub>2</sub>가 유입될 수 있지만, 수분 손실도 증가한다.
- 수용체는 신호에 결합하거나 상호작용하여 그 상호작용의 결과로 반응한다. 피토크롬은 온도에 따라 상태를 변화시킨다. P<sub>1</sub> 상태에서의 피토크롬의 총량은 P<sub>1</sub>이 P<sub>2</sub>로 암흑복귀하는 속도에 의존하고, 이 속도는 온도에 의존적이다. P<sub>1</sub>의 양은 P<sub>1</sub>이 DNA에 결합하고 온도 의존성 줄기 신장에 영향을 미치는 유전자의 전사에 영향을 미치기 때문에 세포 반응에 영향을 미치며, 피토크롬이 없는 경우 줄기 신장률의 온도 의존적 증가는 일어나지 않는다. 이러한 모든 관찰은 피토크롬이 온도감지 장치라는 의견을 강력하게 뒷받침한다.

4.



**핵심개념 37.2**

1. 식물이 방어 화합물을 생산하는 데 에너지가 필요하며, 해당 병원체가 식물을 공격하지 않으면 해당 에너지가 낭비된다.
2. 병원체의 도착은 Avr 단백질을 생성하는데, 이 단백질의 존재는 R 단백질의 변화로 이어진다. 식물에서 R 단백질의 변화는 감염 부위 근처의 세포 그룹이 예정세포사를 겪게 하는 신호전달 과정을 일으킨다.
3. 식물이 바이러스 감염에 대한 방어반응으로 생성하는 siRNA는 상보적인 서열을 갖는 바이러스의 암호화된 mRNA에 결합한다. 이것은 바이러스 복제에 필요한 특정 mRNA의 분해로 이어진다.

**핵심개념 37.3**

1. 기계적 방어는 일반적으로 공격을 방지함으로써 작동한다. 초식동물이 잎을 먹은 후에는 식물의 잎에서 가시가 많은 털이 자랄 수 없으므로 털은 항상 식물의 잎에서 위치하여 공격 방지를 위해 기능을 수행한다. 그러나 식물이 방어를 위해 에너지를 소비하면 성장이나 번식에 사용될 수 있는 에너지가 사용되므로 방어적인 화합물이나 구조물을 생산하는 것과 다른 것을 위해 에너지를 사용하는 것 사이의 균형을 찾아야만 한다.
2. 카나비닌을 생산하는 식물은 카나비닌과 다른 아미노산을 구별하는 아미노아실-tRNA 합성효소를 발달시켰다. 결과적으로 식물은 많은 카나비닌이 축적된 tRNA를 함유하지 않으므로 식물 단백질은 영향을 받지 않는다.
3. 유충이 식물 잎에서 물질을 소화하는 과정에는 유충이 식물의 단백질을 만드는 아미노산을 흡수할 수 있도록 잎의 단백질을 분해하는 단백질분해효소의 생산(유충에 의한)이 포함된다. 식물에 의한 단백질분해효소 억제인자의 생산은 유충이 잎을 소화하는 능력을 방해한다. 그러므로 일반적으로 단백질분해효소 억제인자를 생산하는 식물에서 유충의 생장이 둔화되고 잎 재료가 적게 섭취된다.

**8부**

**38장**

**요약 및 평가 38.1**

1. 세포가 구형으로 이루어진 것을 생각해 보라. 일반적으로 산소는 세포의 부피와 기능으로 인해서 크기를 증가시킨다. 산소는 세포막을 통과하여 영양소와 노폐물의 확산과 수송에 필요한 대사 요구를 충족시키기 위해 충분한 표면적을 가졌는데에 의해 크기의 제한을 받는다. 구형의 세포가 일차원적으로 증가함에 따라 그것의 표면적은 체적의 비율로 증가한다. 세포의 크기가 커짐에 따라 대사 요구량도 증가한다. 이러한 세포의 형태변화를 포함하는 문제에 적응함에 따라서 세포의 표면적 평행해지고 많은 표면적 확장을 포함하고 있다.
2. 다세포성이 된다는 것의 주요한 장점은 모든 세포가 자신의 모든 대사에 필요한 물질들을 직접 공급할 필요가 없다는 것이다. 서로 다른 세포들은 특정 기능을 수행하도록 전문화될 수 있는데 이 특정 기능들은 전체 개체의 생존과 건강에 기여한다. 이러한 전문화는 더 큰 효율성을 초래한다. 뿐만 아니라 다세포성은 생물의 크기가 커질 때 나타나는 표면적 대 부피 비가 감소하는 문제점을 피할 수 있게 해준다. 세 번째 장점은 더 큰 생물은 포식을 더 쉽게 피할 수 있으며, 더 작은 생물은 포식할 수 있다.
3. 소화관은 여러 종류의 조직들이 어떤 기관의 구조와 기능에 어떻게 기여하는지 보여주는 좋은 예이다. 상피조직은 소화관과 소화기 일어나는 내강 사이의 경계를 이루며, 또한 영양소를 흡수하기 위한 수송 기작을 제공한다. 근육조직은 소화관의 내용물을 입으로부터 항문에 이르기까지 이동하는데 필요한 운동성을 제공한다. 신경조직은 소화관의 운동성을 제어하고 또한 소화관 기능을 제어하는데 필요한 감각 정보를 제공한다. 결합조직은 소화관의 구조적 통합을 이루고 혈액이라는 한 종류의 결합조직은 소화관에서 흡수된 영양소를 소화관으로부터 신체의 다른 모든 세포로 수송한다.

**요약 및 평가 38.2**

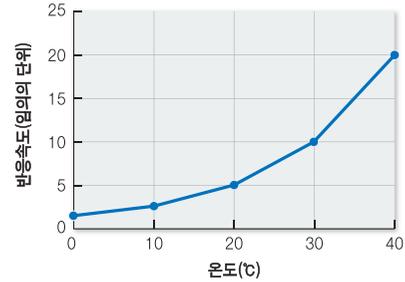
1. 세포외액은 체세포 대부분을 감싸고 있다. 세포는 세포외액으로부터 영양소를 공급받고 세포 내 노폐물을 세포외액으로 방출시킨다. 혈장(세포외액의 20%를 차지)은 영양소와 노폐물을 세포전체에 배분한다. 다양한 기관계는 세포외액의 성분의 다른 부분을 조절하고 세포들은 함께 작용하여 세포외액의 일정 부분을 유지하고 항상성을 유지한다.
2. 당신의 65%의 물로 구성되어 있다. 당신의 체중에 0.65를 곱하면 체내의 총 물의 양을 측정할 수 있다. 당신의 세포내액은 체액의 2/3를 차지하고 있고 1/3은 세포외액이 차지한다. 세포외액의 20%는 혈장 성분에 해당하고 80%는 간질액에 해당한다. 당신의 체중으로부터 이처럼 다양한 체액의 부피를 계산할 수 있다.

3. 음성피막임은 설정점과 비교하여 오류 신호를 생성할 수 있는 조절 변수에 관한 정보이다. 양성피막임은 조절 변수를 설정점에서부터 더 멀어지도록 하는 신호를 내리도록 변환될 수 있는 조절 변수에 관한 정보이다. 약막임 정보는 조건이 변화할 때 조절 변수가 안정 상태를 유지할 수 있도록 불균형을 예상하고 설정점을 변화시키는 것이다.

**요약 및 평가 38.3**

1. 체온의 변동은 복잡한 생리적 과정을 중단시킬 수 있는데 그것은 이들 반응들의 서로 다른 단계나 구성요소가 약간 다른 Q<sub>10</sub>을 가질 수 있기 때문이다. 그 결과 온도 변화는 이들 단계나 구성요소들의 통합을 변화시킬 수 있다.

2.



3. 동질효소는 서로 다른 최적 온도를 가질 수 있으므로, 기후의 계절적 변화에 맞는 최적 온도가 다른 여러 동질효소를 발현하는 것은 계절적 순화를 초래할 수 있다.

**요약 및 평가 38.4**

1. 자연계에서 외온동물은 햇볕쬐기, 그늘찾기와 같은 행동적 적응을 이용하여 체온의 변화를 막는다. 실험실에서 이러한 적응을 나타낼 기회를 가지지 않는다.
2. 동물은 표면 온도보다 주변 환경이 더 따뜻하다면 복사나 대류로부터 열을 얻고, 환경이 동물의 표면 온도보다 차가우면 열을 빼앗긴다. 증발은 동물로부터 열의 손실을 초래하며, 이러한 열손실의 정도는 피부나 호흡통로와 같은 열교환 표면에서 증발되는 수분의 양에 좌우된다.
3. 어류에서, 심장을 나오는 혈액은 아가미로 가서, 이곳에서 주변 환경의 물과 온도 평형을 이룬다. 어류 대부분에서 이러한 혈액은 어류의 중심을 통과하는 큰 혈관을 통해 흐르고, 이 큰 혈관은 이어류의 조직들 속을 흐르는 다수의 작은 혈관들로 이어져, 이들 조직을 냉각시킨다. '뜨거운' 어류에서, 아가미로부터 나오는 혈액 대부분은 측면 혈관들을 통해 근육조직으로 흐른다. 들어오는 혈액을 수송하는 이 혈관들(동맥)은 나오는 혈액을 수송하는 혈관들(정맥)과 나란히 흐른다. 정맥은 근육에서 생성된 열을 수송하지만, 동맥과 정맥의 이러한 혈액의 역류로 인해 정맥혈의 열은 근육으로 들어가는 동맥혈을 데운다. 따라서 근육조직으로부터 열의 손실을 감소시킨다. '뜨거운' 어류에서 역류혈교환은 근육조직 속에 있는 강력한 유영근육에서 생성된 열을 보존한다.

**요약 및 평가 38.5**

1. 온도중립범위 내에서 대사는 기초적인 수준을 유지하는데 그 이유는 체온 조절이 피부로 향하는 혈류나 자세를 바꾸는 것과 같은 수동적인 방법에 따라 이루어질 수 있기 때문이다. 하지만 환경 온도가 떨어지면서 능동적 체온 조절이 필요한 온도에 도달할 수 있다. 이 온도는 하한임계온도이다. 반대로 환경이 따뜻해지면 피부로 향하는 혈류를 증가시키고 자세를 변화시키는 것만으로 중심부 온도의 상승을 막을 수 없어서 땀을 흘리거나 혈떡거리는 것과 같은 능동적 기작이 필요한 온도에 도달할 것이다. 이때 물질대사가 증가한다. 이 온도를 상한임계온도라고 한다.
2. 열은 체표에서 손실된다. 동물이 더 커질수록 더 낮은 피부에 대한 표면적의 비는 낮아지게 된다. 따라서 근연관계에 있는 종에 대해 추운 위도에서 자연선택은 더 크고 더 굵은 몸집을 가진 동물을 선호한다.
3. 약막임 정보는 다가오는 스트레스 요인을 예상하고 설정점을 변화시킨다. 예를 들어, 추운 환경에 노출되면, 추운 환경에 빠앗기는 체열을 중심부의 체온이 떨어뜨리지 않고 보충하기 위해 대사열 생산의 설정점을 상승시킬 수 있다.
4. 포유류의 온도조절장치는 조정 가능한 설정점을 가지는 비례적 온도조절기로 설명되어 있는데 그 이유는 효과기 기관에 대한 이 장치의 구동력이 시상하부의 온도와 해당 반응의 활성화에 필요한 시상하부의 역치 온도의 차이에 비례하기 때문이다. 조정 가능한 설정점은 여러 체온조절 반응에 대해 시상하부의 역치 온도를 변화시키는 약막임 정보의 기능을 의미한다.

**그림 질문**

**그림 38.2** 이 근육들은 뼈와 연결되어 있고, 뼈는 결합조직에 의해 서로 연결되어 있다. 뼈는 결합조직이며, 뼈가 없으면 이들 근육은 주변 환경에 대해 힘을 낼 수 없을 것이다. 혈액 역시 결합조직이며 이 근육에 산소를 공급하고 노폐물과 열을 제거한다. 상피조직은 혈관 안쪽 벽을 덮고 있다. 신경조직은 이 근육들의 수축을 제어하는 운동명령을 전달한다.

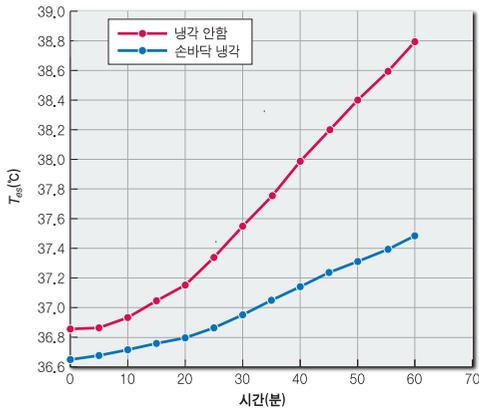
**그림 38.8** 생쥐의 체온이 저온 환경에서 떨어지고 고온 환경에서 상승하는 것은 생쥐가 자신의 체온을 조절하는 능력에 한계가 있음을 의미한다. 고온 환경에서 능동적 열손실(예: 땀흘리기, 혈떡거리기 또는 핏기)은 에너지를 필요로 하기 때문에 이 생쥐의 대사율은 증가한다.

**그림 38.13** 북극과 열대지방의 포유류가 모두 동일한 곡선에 위치한다는 사실은 BMR이 기후에 대한 적응으로 진화하지 않았다는 것을 의미한다. 만약 북극 포유류의 BMR이 상승하여 주변 환경에 대한 열손실의 증가를 보충하였다면, 북극 포유류에 대한 자료의 지점들은 이 곡선의 위쪽에 위치해야 하며 열대지방 포유류의 자료 지점들은 이 곡선의 아래에 위치해야만 한다.

**그림 38.14** 이 공식에서, 상수 K는 열전도율을 나타내며, 단열의 역수에 해당한다. 하한임계온도(온도 종립범위의 아래쪽 끝) 아래로 떨어지는 곡선 부분은 주변 환경에 빼앗긴 열량을 보충하는 데 필요한 열 생산을 나타낸다. 만약에 손실된 열을 보충할 물질대사의 기능이 없다면,  $T_b - T_a$ 가 0이 될 때 열손실과 그에 따른 MRR은 0이 될 것이다. 따라서 BMR 수준 아래의 이 곡선은  $T_b$ 와 같은  $T_a$ 로 뺄어나갈 것이다.

**자료 이용하기, 손바닥으로부터 열 배출을 증가시켜 개인보호장구를 입은 사람의 작업 능력을 연장할 수 있을까?**

1.



- 냉각하지 않으면,  $T_{es}$ 의 증가율은  $38.8 - 37.2^{\circ}\text{C}$ 를 40분으로 나눈 값 또는 분당  $0.04^{\circ}\text{C}$ 이다. 냉각하면,  $T_{es}$ 의 증가율은  $37.5 - 36.8^{\circ}\text{C}$ 를 40분으로 나눈 값 또는 분당  $0.018^{\circ}\text{C}$ 이다.
- 그렇다. 이 가설은 된다. 중심부 체온이 상승하는 속도는 냉각하는 경우가 냉각하지 않는 경우보다 절반 이하이다.
- 냉각하지 않으면,  $39^{\circ}\text{C}$ 와  $38.8^{\circ}\text{C}$  차이는  $0.2^{\circ}\text{C}$ 이며 이것을 분당  $0.04^{\circ}\text{C}$ 의 온도상승 속도로 나누면, 5분 더 지속할 수 있다. 같은 계산을 냉각한 조건에서 하면, 83분 더 지속할 수 있다. 따라서 손바닥 냉각장치를 이용하면, 작업 시간은  $83 - 5 = 78$ 분 더 길어진다.
- 작업량이 증가하면 내부 체열의 생산이 증가하고 중심부 온도가 상승하는 속도가 증가한다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 38.1**

- 단순한 구형 세포에서 부피는 길이의 세제곱만큼 증가하고, 표면적은 길이의 제곱만큼 증가한다.
- 결합조직: 뼈와 연골은 신체에 구조적 강도를 제공한다. 신경조직: 뉴런은 신경계의 일부이며, 신체 여러 부위로부터 그리고 신체 여러 부위로 정보를 생성, 전도, 통합한다. 상피조직: 상피세포는 소화관과 호흡통로를 비롯해 신체의 특정 기관의 경계를 형성하거나 감싸는 넓은 판 모양의 조직을 형성한다. 근육조직: 근세포는 수축하고 그에 따라 힘을 가해 운동을 일으킨다.
- 세포의 전문화로 인해 다양한 세포가 항상성 유지에 필요한 다양한 기능에 이바지할 수 있다. 이러한 전문화를 통해, 세포들은 특정 기능에 더 잘 적응해 더욱 유능할 수 있다.

**핵심개념 38.2**

- 사람의 신체는 약 60%가 수분이다. 이 수분의 2/3가 세포내액이며, 1/3이 세포외액이다. 세포외액의 20%는 혈장, 80%는 간질액이다.
- 음성되막임은 기존 조건과 설정점으로 생각할 수 있는 최적 수준 사이의 차이를 줄이는 역할을 한다. 예를 들어, 혈압의 조절이 있다. 혈압이 오르면 압력감지기의 음성되막임이 심박수 감소를 유발해 혈압을 낮춘다. 양성되막임은 기존 조건을 일반적인 설정점에서 멀리 이동시키는 역할을 한다. 그 예로는 출산 과정이 있다. 자궁의 수축은 아기를 산도로 밀어넣고, 산도가 확장되면 아기가 태어날 때까지 점점 더 강한 수축을 일으키는 신호를 발생시킨다. 앞막임 정보는 기능의 설정점을 변경한다. 예를 들어, 더 추운 환경으로 들어가 피부를 냉각시키면 체온에 대한 시상하부 설정점이 상승하여 열 생산량이 증가하고 열 손실이 감소한다.

**핵심개념 38.3**

- 높은 온도는 단백질들을 변성시키고, 차가운 온도는 세포 안에서 일을 결정들 생성시킬 수 있다. 온도 변화는 생화학반응의 속도에 영향을 미쳐 생화학 경로의 통합을 붕괴시킬 수 있다.
- 2.
- 계절적인 온도 변화에 순화하기 위해서 물고기는 다양한 최적 온도를 가지는 다양한 형태의 효소(동질효소)를 발현할 수 있다.

**핵심개념 38.4**

- 포유류는 대사열 생산을 늘려 환경에 대한 열손실 증가에 대응하고 체온을 일정하게 유지할 수 있지만, 도마뱀은 환경 온도하락에 대한 반응으로 대사열 생성 증가를 이용할 수 없다. 따라서 도마뱀의 대사율은 낮아진 체온이 대사 과정에 미치는 효과로 인해 감소한다.
- 열은 피부 표면에서 신체와 환경 사이에서 교환되며, 이러한 열교환은 피부를 가로지르는 온도기울기에 따라 달라진다. 피부를 향한 혈액 흐름은 피부로 열을 전달해 피부 온도를 결정합니다. 에너지 수치 방정식의 모든 구성 요소의 크기는 피부 온도에 따라 달라진다.
- 이거미에서 나온 혈액은 바닷물 온도이다. 그 혈액은 피부 표면과 가까운 말초 혈관을 통해 몸으로 흐른다. 작은 동맥은 그 차가운 혈액을 유영근으로 운반한다. 이들 혈관은 평행한 정맥으로 근육 밖으로 혈액을 운반한다. 그 혈액은 유영근의 대사활동 때문에 바닷물보다 따뜻하다. 나가는 혈관이 들어오는 혈관에 가깝게 있으므로 열이 역류하는 두 혈류 사이에서 교환된다. 따라서 유영근에 의해 발생하는 열은 근육량 내에서 보존되는 경향이 있으며, 주변 물보다 높게 근육 온도를 상승시킨다.

**핵심개념 38.5**

- 생쥐-코끼리 곡선은 신체 크기에 대한 BMR을 나타낸다. 곡선은 선형은 아니지만 BMR이 3/4 힘에 비례할 정도로 지수적이다. 따라서 조직의 그램당 대사율은 신체 크기가 증가함에 따라 낮아진다.
- 상한임계온도와 하한임계온도는 온도종립범위에 결합한 환경온도이다. 하한임계온도 이하에서는 체온이 떨어지는 것을 막기 위한 열을 발생시키는 데 에너지를 소비해야 한다. 상한임계온도 이상에서는 체내 열을 방출하기 위해 에너지를 소모해야 한다.
- 포유류 체온 조절계는 온도 조절 반응의 대사 비용이 설정점과 실제 온도(오류 신호)의 차이에 비례하기 때문에 비례적 온도조절기라고 불린다. 피부 온도, 수면, 운동 등의 앞막임 정보는 되막임 신호(시상하부 온도)에 대한 조절 반응을 위한 시상하부 설정점의 감도가 변화할 수 있기 때문에 조절 가능한 설정점을 가진다고 한다.

**39장**

**요약 및 평가 39.1**

- 에피네프린은 수용성 호르몬으로, 혈액으로 수송되어 세포 표면 수용체에 작용하여 세포 내의 빠른 반응 연쇄작용을 개시하도록 한다. 에스트로젠은 지용성 호르몬으로서, 혈액에서는 단백질 수송체에 결합한다. 에스트로젠이 세포 표면에서 단백질 수송체와 분리되면, 세포막을 통과해 확산하여 세포 내 수용체에 결합하여 전사인자가 된다. 이것은 핵으로 이동하여 유전자 발현을 개시하도록 하며, 새로운 단백질 합성을 일으킬 수 있는데, 이 모든 것들은 긴 과정이다.
- 두 생물 중에서, 같은 호르몬이 완전히 다른 수용체에 결합하여 완전히 다른 작용을 할 수 있다. 호르몬의 보존적인 구조 때문에, 진화적 연관성에 대한 좋은 지시자가 되지는 못한다.
- 단일 호르몬이 같은 생물에서 다른 효과를 나타낼 수 있는데, 어떤 세포가 그 수용체를 가지며, 또 그 수용체가 그 세포에서 어떤 활성화를 촉발하느냐에 따라 달라지기 때문이다.

**요약 및 평가 39.2**

- 옥시토신이 출산 과정에 관여할 때, 산도에서의 압력에 의해 발생하는 신경 신호로 옥시토신이 방출된다. 방출된 옥시토신은 자궁근육의 수축을 증가시키므로 더 강한 되막임 신호가 만들어진다. 이런 상황은 한 신호가 그 신호를 더 강화하는 되막임으로서, 양성되막임의 한 예이다. 반대로 ADH 방출은 혈압의 감소나 혈액 삼투의 증가에 의한 반응으로 일어난다. ADH는 신장에서의 수분 손실을 감소시키도록 작용하며, 소변으로 더 많은 용질을 내보내도록 한다. 이 두 가지 작용은 모두 ADH 방출을 감소시키는 음성되막임을 만든다.
- 시상하부의 뉴런들은 방출호르몬들과 방출억제호르몬들을 생산하여 분비한다. 이들은 뇌하수체 줄기의 문맥혈관을 통해 뇌하수체 전엽으로 수송된다. 뇌하수체 전엽에서, 이 방출 및 방출억제 호르몬들은 뇌하수체 전엽 호르몬들을 생산하고 방출하는 세포들의 활성을 조절한다.
- 시상하부-뇌하수체-말단 내분비샘 체계에서는, 긴 고리의 음성되막임이란 신체의 분비샘 호르몬들이 시상하부나 뇌하수체 전엽에 작용하는 것을 말한다. 짧은 고리 음성되막임은 뇌하수체 전엽 호르몬이 시상하부에 작용하는 것을 뜻한다.

**요약 및 평가 39.3**

- Rhodnius*의 머리 제거가 먹이 제공 후 한 시간 후에 이루어졌을 때는 탈피를 방해하지만, 먹이 제공 후 일주일 후에 이루어졌을 때는 그렇지 않은 이유는, PTH가 방출되어 엑디손을 방출할 수 있도록 자극할 수 있는 충분한 양으로 안기슴샘까지 확산되는 데 시간이 필요하기 때문이다.
- XY 유전자형을 가진 사람이 기능적인 안드로젠 수용체가 결핍된 경우 여성의 외부 생식기와 2차 성징을 발달시킬 수 있다. 이런 사람은 남성 생식샘을 가지고 있고, 테스토스테론을 생산한다고 해도, 안드로젠의 영향이 없으므로, 기본 발생 경로가 여성이다.
- 사춘기 전에는 소량의 성스테로이드만 생산되는데, 시상하부가 혈중 성스테로이드에 의해 생산되는 음성되막임 신호에 매우 예민하다. 사춘기가 되면, 시상하부의 이들 음성되막임 신호에 대한 민감도가 떨어져, 시상하부에서 생식샘자극호르몬방출호르몬의 생산이 증가하게 된다. 그러므로 생식샘자극호르몬 생산도 증가한다. 성스테로이드의 생산과 방출 조절이 더 높은 수준으로 맞춰진다.

요약 및 평가 39.4

1. 갑상샘기능저진증인 사람의 티로글로불린은 기능저하증인 사람보다 더 많은 양의 요오드를 포함할 것이다.
2. 제2형 당뇨병은 인슐린 불감성이 특징인데, 환자들이 인슐린 수용체를 상실하기 때문이다. 결과적으로, 세포들은 혈중의 포도당을 흡수하지 못하고 소화된, 혹은 주입된 포도당에 대한 내성이 떨어지게 된다.
3. 간과 신장 질환은 당뇨병의 위험성을 증가시키는데, 그 이유는 간과 신장이 칼시트리올을 칼시트리올로 전환하는 촉매 작용을 잘하지 못하기 때문이다. 칼시트리올은 장에서 칼슘 흡수를 촉진하는 데 필수적이다.
4. 스트레스는 부신피질로부터의 코티솔 방출을 촉진한다. 코티솔은 세포의 포도당 흡수를 줄이고, 혈압을 올리며, 장의 활동과 생식 활동을 억제하고 심지어 면역계의 활성을 방해함으로써, 신체가 짧은 기간의 스트레스를 처리할 수 있도록 돕는다. 단기적으로, 이런 반응들은 즉각적인 스트레스 유발원을 처리하는 데 더 많은 에너지를 사용할 수 있도록 해준다. 코티솔로부터 생기는 음성 피먹임은 시상하부와 뇌하수체 분비샘을 통해 작용하며 정상적으로는 단기간의 코티솔 반응을 없앤다. 그러나 직업적인 어려움 등으로, 스트레스가 만성으로 작용하면, 코티솔 수준이 지속해서 높은 상태로 있게 되고, 결과적으로 더 높은 혈압으로 인해 심장병을 일으킬 수 있으며, 손상된 면역계는 감염이나 질병에 걸리게 할 수 있고, 소화불량으로 인한 영양이 생길 수 있으며, 비정상적 포도당 대사가 당뇨병을 일으킬 수 있다.

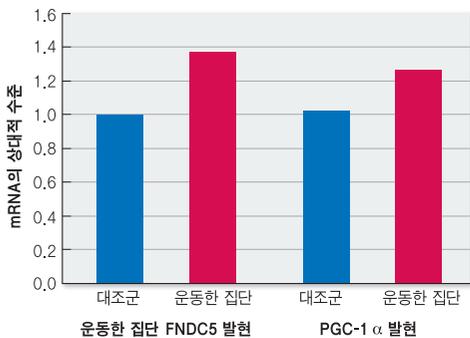
그림 질문

**그림 39.7** 이 결과들은 시상하부의 세포들이 MSH-방출억제호르몬을 생산하고 있음을 시사한다.

**그림 39.10** 비기능성 안드로젠 수용체를 만드는 돌연변이는, 체내에 정소를 가지고 있으나 여성의 외부 생식기와 2차 성징을 포함하여 여성 표현형을 가지는 XY 개인을 만들 것이다.

자료 이용하기, 아이리신은 어떻게 운동의 인지능력 향상 효과를 매개하는가?

1. 그렇다. FNDC5와 PGC-1 $\alpha$ 에 대한 독립표본 *t*-검정(양측 검정)은 *P*값이 0.001 미만으로 계산된다.



2. 운동이 해마의 BDNF 수준을 증가시켰는지 결정하기 위해서는, 운동한 생쥐와 그렇지 않은 생쥐의 해마에서 BDNF 수준을 검사해야 할 것이다. 그리고 평균과 표준편차를 구하고, 두 집단이 동일할 가능성을 결정하기 위한 *t*-검정을 한다. 만약 *P*값이 0.05 미만이라면, 두 그룹에서 얻은 값들은 유의미하게 다른 것이라고 할 수 있다.
3. 해마에서 FNDC5의 발현 증가가 BDNF 발현 증가를 촉진할 만큼 충분했는지를 결정하기 위해서는, 일부 해마세포를 FNDC5를 촉진하는 배지에서 배양하고, 또 다른 일부 해마 세포를 FNDC5 발현을 억제하는 배지에서 배양해야 한다. 그런 후 이 배양물들에서의 BDNF 수준을 측정한다. *t*-검정을 통해 FNDC5가 BDNF 발현에 효과를 미치지 않았을 확률을 알 수 있다. 만약 이들 확률이 0.05 미만이라면, FNDC5 발현에서의 차이는 BDNF 발현에 영향을 미칠 정도로 충분했다는 결론을 내릴 수 있다.

자료 이용하기, 운동이 포도당 대사에 미치는 효과

1. 아이리신이 고지방 식이를 지속한 생쥐에 주사된 실험에서는 베타트로핀 뿐 아니라 UCP1 발현을 촉진하는 것이 중요한데, 아이리신과 UCP1 발현 사이의 관련성이 이미 운동 실험에서 입증되었기 때문이다. 따라서, 이 실험에서 UCP1을 측정하는 것은 주입된 아이리신의 활성을 위한 양성 대조군 (+ control)이 된다.
2. 생쥐들은 비만과 전반 상태의 인슐린 저항성 조건을 모호화하기 위해 고지방 식이로 처리되었다.
3. 자료들은, 증가된 아이리신 수준이 비만을 감소시켜 제2형 당뇨병에 대한 위험을 낮출 수 있다는 가설을 지지한다. 그 이유는 다음과 같다. *t*-검정을 사용하여 아이리신 적용 이전의 두 생쥐 집단에서 체질량 차이는 없는 것으로 확인되었다. 그러나 아이리신이 처리된 생쥐들은 체질량이 확연히 감소했지만(*P* < 0.05), 대조군 생쥐들은 유의미한 체질량 변화를 보이지 않았다. 아이리신 처리된 생쥐들은 공복 인슐린 수준과 혈당 수준이 대조군 생쥐들보다 훨씬 낮았고 이것은 제2형 당뇨병에 대한 위험도가 낮음을 시사한다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 39.1

1. 인슐린은 수용성이므로, 혈장에 녹아 전신을 순환할 수 있지만, 세포에 효과를 나타내기 위해서는 이것이 세포 표면의 수용체에 결합해야 한다. 그러나 그 활성은 매우 빠르며 혈장에서 사라짐에 따라 빠르게 종결될 수 있다. 에스트로젠은 수용성이 아니므로, 주로 혈장단백질에 결합하여 전신을 순환한다. 따라서 그 작용은 즉각적이지 않고 에스트로젠이 점차 결합단백질에서 방출됨에 따라 지속하여 나타낸다. 에스트로젠은 모든 세포 내로 확산할 수 있지만 그 작용은 세포질 수용체 결합에 따라 달라진다. 에스트로젠은 대부분 유전자 전사를 개시하도록 함으로써 작용하며, 이 또한 느리지만 지속하는 작용의 한 요인이 된다.
2. 에피네프린은 간과 소화관에서 서로 다른 반응을 생산하는데, 이 두 기관의 세포들이 서로 다른 수용체를 가지고 있어서 서로 다른 신호 경로 및 서로 다른 반응 기작을 가동하기 때문이다. 간에서 에피네프린 수용체는 글리코겐 분해를 촉진하도록 하는 신호전달 연속반응을 활성화함으로써 반응한다. 소화관의 평활근에서의 반응은 근세포막의 과분극과 수축의 감소로 이루어진다. 이 두 반응은 모두 위험에 대한 싸움-도피 반응을 지지하는 것으로, 싸우거나 도망치기 위한 에너지를 공급하기 위해 혈액에 더 많은 포도당을 제공하고, 소화 활동을 멈춤으로써 더 많은 혈액이 근육으로 우회할 수 있도록 한다.

핵심개념 39.2

1. 뇌하수체 전엽이 없다면, 그 젊은 여성은 TSH를 생산할 수 없게 되고, 그녀의 갑상샘 활성은 감소할 것이며, 대사율도 떨어질 것이다. LH와 FSH 주기가 없으므로, 그녀의 생리주기는 사라진다. 뇌하수체 후엽을 잃었다면, ADH(바소프레신) 결핍으로 묽은 소변의 생산이 증가하게 될 것이다.
2. ADH 분비를 증가시키는 한 가지 요인은 혈압의 감소이다. 신장에 대한 ADH의 효과를 통해 수분 보유도가 증가함으로써 혈관 부피와 혈압을 안정시키는 데 도움을 줄 수 있다. ADH는 또한 말초 혈관의 수축을 유발하여 더 작은 혈관 응적으로 들어가는 혈액 흐름을 제한하므로, 혈압 유지와 상승을 유도한다.

핵심개념 39.3

1. 유충호르몬은 곤충 유충이 번데기가 되는 것(용화)과 성체로 바뀌는 것을 억제함으로써, 집단의 생식 잠재력을 감소시킨다.
2. 어린 포유류에서 정소와 난소는 낮은 수준의 테스토스테론과 에스트로젠을 생산하지만, 시상하부는 이런 낮은 수준의 호르몬들에 의한 음성 피먹임에 매우 예민하며, GnRH의 생산도 낮다. 사춘기에서의 변화는 이 음성 피먹임에 대한 시상하부의 감소한 민감성 때문에, 뇌하수체 전엽에서의 GnRH와 자극 호르몬 생산이 증가하고, 정소와 난소의 활성도 증가하게 된다. 따라서, 만약 어린 포유류에 LH와 FSH를 주사한다면 GnRH의 생산이 올라갔던 것처럼 반응할 수 있다.

핵심개념 39.4

1. 갑상샘 호르몬들은 장기적 규모로 작용한다. 갑상샘에서 방출될 때 이들은 혈장단백질과 결합하는데, 이들은 호르몬을 천천히 방출한다. 세포 내에서, 그들은 유전자 발현을 촉진하는 데 이것도 느린 과정이다. 따라서 갑상샘 호르몬의 효과는 오랫동안 지속하며 계절별 변화를 매개하는 그들의 기능에 적합하다.
2. PTH는 뼈 순환을 촉진하고 골말의 칼슘 재흡수를 증가시켜(인산 분비는 유지) 혈중 칼슘 수준을 높인다. 부갑상샘 세포들은 혈중 칼슘 수준에 반응하여 혈중 칼슘 수준이 올라갔을 때 PTH의 생산과 방출을 감소시킨다. 따라서 PTH는 혈중 칼슘의 증가와 감소 모두에 반응할 수 있다. PTH는 또한, 소화관으로부터 칼슘 흡수를 조절하는 칼시트리올의 생산을 촉진한다. 혈중 칼슘 수준을 낮추도록 작용하는 호르몬인 칼시토닌은, 주로 용골세포들의 활성을 낮춤으로써 작용하며, 따라서 혈액으로부터 칼슘을 제거하여 새로운 뼈가 형성되도록 한다. 그러나 성인에서의 뼈 순환율은 그다지 높지 않으며, 칼시토닌의 작용은 혈중 칼슘 조절에서 PTH의 여러 작용보다 덜 중요하다고 할 수 있다.
3. 아드레날린성 수용체들은 노르에피네프린과 에피네프린 모두에 반응하지만,  $\alpha$ -아드레날린성 수용체들은 에피네프린보다는 노르에피네프린에 더 강하게 반응한다. 노르에피네프린은 생리적인 과정에서 교감신경성 조절에 중요한 작용을 하지만, 에피네프린은 싸움-도피 반응의 주요 인자이다. 따라서  $\beta$ -아드레날린성 차단제를 이용하면, 교감 조절 과정들의 손상을 최소화하면서도 불안감을 감소시킬 수 있다.
4. 뇌의 대사를 위해서는 포도당이 필요한데, 다른 잠재적 연료들, 예를 들어 지방이나 단백질은 사용할 수 없기 때문이다. 그러나 근육과 지방조직들은 자유 지방산과 아미노산들을 대사하여 사용할 수도 있다. 따라서 근육과 지방이 포도당을 혈액으로부터 흡수할 때 인슐린이 있어야 하는 성질은, 근육과 지방이 소화 및 흡수 이후의 시기에 포도당 사용량을 낮추는 방법이 되므로, 가능 포도당이 뇌의 대사를 지원하기 위해 보존된다.

40장

요약 및 평가 40.1

1. 선천면역은 신속히 반응하고 넓은 무리의 분자와 병원체를 인식하며 비특이적이다. 적응면역은 더 느리게 반응하며 더 오래가고 특이적인 분자와 병원체를 인식한다.
2. TLR 신호전달 경로는 세균 감염에 대항하는 선천면역에 포함된다. 세균은 병원체관련 분자유형(PAMP)으로 작용하는 분자들을 가지고 있고 이들은 정상적으로 TLR 신호전달 경로를 활성화한다. 그 결과 백혈구가 사이토카인과 다른 방어 단백질을 생산한다. 만약 이런 일들이 일어나지 않는다면 그 사람은 특별히 세균에 감염되기 쉬울 것이다.
3. 곤충과 사람 둘 다의 유전체는 장벽과 TLR 경로 같은 선천면역을 위한 유전자들을 가질 것이다. 그러나 사람만 항체, T세포수용체, 그리고 적응면역에만 관여하는 세포들(T세포와 B세포, 호산구) 같은 적응면역 단백질을 위한 유전자들을 가질 것이다.

요약 및 평가 40.2

1. 세포의 물리적 장벽과 세포 사이의 밀착연접은 침입을 막을 것이다. 또한, 점막이 세균을 가두고 제거해서 세균의 침입을 막을 것이다. 라이소자임은 세균의 세포벽을 가수분해한다. 디펜신은 세포막에 박혀서 그 세포막이 새도록 할 것이다. 세균이 침입하면 대식세포와 수지상세포, 비만세포와 접해서 식세포작용으로 반응할 것이고 추가적인 세포들과 보체 단백질이 유인되어서 추가적인 식세포 작용이 유발될 것이다.
2. 세균은 PAMP라고 하는 분자들을 가지고 있다. 사람의 세포막의 수용체가 이들을 인식하고 반응을 시작한다. 먼저 알갱이에는 PAMP가 없다.
3. 가시는 비만세포가 염증반응을 시작하게 한다. 그림 40.7 참고.

요약 및 평가 40.3

1. 체액성 면역반응: 감염된 세포에 의해 만들어진 자유로운 바이러스는 이미 바이러스 항원에 반응할 항체를 만드는 B세포에 결합한다(인식). 활성화된 도움T세포의 존재 하에 이들 B세포는 선택되어 분열해서 클론을 형성한다. 이 클론은 그 바이러스에 대항하는 더 많은 항체를 생산한다. 혈액에서 이 항체는 자유로운 바이러스에 결합하고 식세포가 삼켜서 바이러스-항체 복합체를 가수분해시킨다. 세포성 면역반응: 바이러스는 호흡기에 있는 세포를 감염시킨다. 이들 세포의 몇몇은 바이러스 단백질을 파괴해서 그들 표면에 조각들을 제시한다(항원 제시). 또는 바이러스 단백질들은 항원제시세포에 의해 포식 될 수 있다. 그 바이러스 조각에 결합할 수 있는 T세포수용체를 가지고 있는 세포독성T세포는 항원을 제시하고 있는 세포에 결합한다. 이들 T세포는 세포독성T세포의 형성을 자극하고 그런 다음 바이러스에 감염된 세포를 죽일 수 있다.
2. 더 나이 든 사람들은 1918년 독감 변종에 결합하는 항체를 만들 수 있는 기억세포를 가지고 있었다. 1918년 독감 변종은 2009년 바이러스와 유사하므로 사람들은 2009년 바이러스에 대해 더 빠르고 더 강한 면역반응을 시작할 수 있었다.
3. 백신은 질병의 원인이 되지 않지만, 여전히 면역반응을 일으킬 수 있는 형태로 몸 안에 항원을 주입한다. 백신은 주사한 바이러스 항원에 결합할 수 있는 항체(B세포) 또는 T세포수용체(T세포)를 생산하는 클론의 증식을 촉진한다. 약간의 기억세포가 남는다. 이것은 나중에 (항원을 가지고 있는) 그 바이러스에 감염될 때 강한 면역반응을 시작할 수 있게 한다.

요약 및 평가 40.4

1. 그림 40.12 참고. 항체의 항원-결합 부위는 특정한 항원결정부위와 결합할 수 있는 독특한 3차원 구조로 된 중쇄와 경쇄를 가진다. 이것은 기질에 결합하는 효소의 활성부위와 유사하다. 두 경우가 결합은 비공유결합이다. 주요 차이점은 결합한 후 결과가 있다: 항원은 항체에 결합했을 때 그 전 자성을 공유하는 구조를 변화시키지 않는다. 반면에 기질이 효소의 활성 부위에 결합했을 때 기질은 공유결합을 변화시킨다.
2. B세포 반응에서 세포들의 클론을 형성하기 위해 선택하는 것은 굉장히 중요하다(그림 40.10 참고). 대체 RNA 짜기기로는 각 B세포가 다양한 다른 항체 서열을 만들므로 클론선택은 가능하지 않다.
3. 한 개인은 수천 개의 다른 효소를 가지고 있지만, 잠재적으로 수백만 개의 다른 특이성을 가진 항체를 가지고 있다. 동물은 모든 세포에 모든 효소의 유전적 정보를 가지고 있다. 그러나 각 면역글로불린은 하나의 B세포나 클론에서 DNA 재배열로 만들어진 독특한 유전자로부터 만들어진다.

요약 및 평가 40.5

1. 사이클로스포린은 T세포가 사이토카인을 분비하지 못하도록 억제함으로써 항원제시세포에 결합하면 증식하는 T세포의 증식을 방해한다. 이것은 세포성 면역이 일어나는 것을 효과적으로 멈추게 하고 이식세포가 표적이 되는 것을 회피하게 한다.
2. 감염된 세포 안에서 바이러스는 조각으로 부서지고 어떤 펩타이드 조각은 소포체로 운송된 다음 MHC 단백질과 함께 세포 표면에 전시된다. 표적이 되는 세포의 표면에 있는 펩타이드에 특이적인 T세포수용체를 전시하는 세포독성T세포는 표적세포와 결합해서 세포성 면역반응을 시작한다.
3. 증가된 Treg 세포의 활성화는 세포성 면역을 억제해서 중앙은 적응면역을 회피할 것이다.

요약 및 평가 40.6

1. 발침에 있는 항원은 항체 단백질 항체를 전시하는 B세포에 결합한다. 그래서 초기에는 IgG를 생산하다가 나중에 IgE로 바꾸어 생산하는 B세포가 항정세포의 클론을 생산하게 된다. IgE는 비만세포에 결합한다. 충분한 IgE 항체가 지속해서 만들어지고 그런 다음 그 사람이 다시 벌에 쏘이면 많은 양의 히스타민이 분비해서 알레르기 반응이 일어난다.

2. 민감소실은 IgE 생산을 자극할 정도는 아니라 IgG 생산을 촉진하기에 충분한 적은 양의 벌침 독 단백질들을 그 사람에게 주는 것을 포함한다. 그런 다음 그 사람이 다시 벌에 쏘이면 IgG 항체가 항원에 결합한다. 그래서 항원은 비만세포 위에 있는 IgE에 결합하지 않아서 히스타민이 분비되지 않는다.
3. 암 치료를 위한 항-CTLA4 처치는 자기 항원에 대한 T세포의 세포독성 반응의 억제를 제거한다. 이것은 T세포가 암세포에 결합하여 죽이는 것을 초래한다. 부작용은 일반화된 자가면역일 수 있다.

그림 질문

**그림 40.7** 항히스타민제는 비만세포가 히스타민을 생산하는 것을 억제한다. 상처가 난 부위의 혈관은 붓거나 새어 나오거나 하지 않아서 식세포들이 그 부위로 끌려가지 않고 혈장이 손상된 조직으로 들어가지 않는다. 다시 말해서, 염증은 세균 감염이나 상처에 반응하여 일어나지 않는다.

**그림 40.9** T<sub>H</sub>세포의 감소는 적응면역의 세포성 면역와 체액성 면역 모두에 부정적으로 영향을 미친다. T<sub>H</sub>세포가 더 적어지면서 바이러스에 대항하여 만들어지는 항체와 바이러스에 감염된 세포에 대항하여 생기는 면역반응 모두의 면에서 HIV 감염에 대한 면역반응은 약하다.

**그림 40.10** 그렇다. 그 세포를 가지고 있다. 전에 노출된 적이 없는 적은 수의 B세포는 끊임없이 분화하여 에블라와 어떤 다른 가능한 항원에 대항하는 항체를 만들 수 있다. 만약 에블라 감염이 없다면 이 세포는 클론선택에서 클론을 형성하지 못하고 죽는다. 그러나 다른 전에 노출되지 않은 항-에블라 항체를 생산할 수 있는 B세포가 그 자리를 차지할 것이다.

자료 이용하기, 장기지속 면역의 기작과 영향은 무엇인가?

1. 어떤 사람들은 낮은 역가의 항-러시아 독감 항체를 가지지만, 다른 사람들은 높은 역가를 가진다. 시간이 지날수록 일반적인 경향은 역가가 증가했다. 이 사람들은 해마다 전형적인 독감 변형에 노출되었다. 러시아 독감을 포함하여 그들의 항-독감 바이러스 반응은 증가했다. 이것은 모든 독감 변형들에 결합하는 어떤 일반적인 항체들이 있다는 것을 가리킨다.
2. CMV에 대한 항체 역가는 거의 변하지 않았다. 이 자료는 항원적으로 같은 바이러스에 반복된 노출이 휴지기 항체 역가를 증가시키지 않는다는 것을 가리킨다. 게다가 CMV는 독감 바이러스와 관계가 없는 에피토프를 가진다. 그래서 항-CMV 항체는 사람이 독감에 노출되었을 때 만들어지지 않을 것이다. 그래서 독감 바이러스 변종에 대한 면역에서의 증가는 독감 바이러스 특이적이었다.
3. 발달한 넓게 반응하는 항체는 넓게 반응하지 않는 항체보다 고농도로 존재한다. 그래서 그것은 감염에 저항하기 좋다. 넓게 반응하는 항체는 독감 바이러스의 다양한 변종에 강한 저항성이 있는 백신을 개발하기에 사용될 수 있다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 40.1

1. 병원체는 우선 비자기로 인식된다(인식 단계), 그런 다음 세포와 분자를 포함한 반응이 활성화되고(활성화 단계), 마침내 병원체는 파괴된다(효과기 단계).
2. TLR를 암호화하는 유전자들을 기능상실하게 만들면 선천면역계가 반응할 수 있는 병원체의 범위가 줄어들 것이다.

핵심개념 40.2

1. 라이소자임은 세균의 세포벽을 분해하는 효소이다. 눈은 외부 환경에 노출된다. 그래서 라이소자임은 세균의 공격에 대한 선천면역의 방어를 대표한다. 같은 이유로 라이소자임 농도가 모유에서 높다.
2. 백혈구(단핵구-유래 세포, 자연살생세포, 호중구)가 포식하면 침입자를 잡아먹고 파괴한다. 다시 말해서, 백혈구는 사이토카인과 다른 화학 물질을 분비해서 다른 세포, 특히 대식세포를 유인하고 보체계를 활성화한다.
3. 비만세포는 병원체-발현 단백질이나 손상된 세포에 의해 분비되는 단백질에 결합함으로써 상처를 인식한다. 그런 다음 비만세포는 히스타민을 분비해서 혈관이 부어오르고 누출되어 부어오르게 한다. (비만세포는 또한 화학 물질을 분비해서 대식세포를 그 장소로 유인한다.)

핵심개념 40.3

1. 클론결실은 자기항원을 인식하는 수용체를 가진 B와 T세포를 제거한다. 이 결실은 B와 T세포가 그들의 수용체를 발현하기 시작한 후 바로 일어난다. 클론선택은 특정한 B세포나 T세포가 비자기 항원을 인식할 때 일어난다. 이 것은 감염 후 바로 일어나고 세포계보가 형성된 후 몇 년 후에도 가능하다 (중증 림프절 인에서).
2. 도움T세포는 적당한 B세포 클론의 증식을 자극한다. 그래서 도움T세포가 없으면 면역반응이 충분히 강하지 못해서 병원체를 효과적으로 조절할 수 없다.
3. 기억세포의 수가 효과적인 면역반응을 할 수 없거나 기억세포가 시간이 지나면서 없어지면 추가적인 접촉은 클론선택이 일어나서 추가적인 기억세포가 생산되도록 한다.

핵심개념 40.4

1. 50 V × 20 D × 5 J × 2 각 유전자의 복제본 (각 염색체 위에 있는) = 10,000 중쇄, 그리고 50 V × 5 J × 2개의 복제본 = 500 경쇄로 10,000 × 500 = 5,000,000 항체들이 만들어질 수 있다.
2. 과정 동안 재조합은 연결하기 전에 염기의 삽입과 결실로 오류가 발생하기 쉽고 말단전이효소가 다른 유전자에 추가적인 염기쌍을 추가한다. 게다가 이 부위는 체세포 과돌연변이가 일어나서 두 다른 세포의 같은 유전자가 돌연변이에 의해 다를 수 있다.
3. 동형전환 없이 pre-mRNA는 IgM과 IgD 항체 동형 암호화 서열을 가지고 있다. 전사 후 대체짜집기는 IgM-특이 암호화 부위이거나 IgD-특이 암호화 부위를 가진 성숙한 mRNA를 만든다. 이 두 가지 mRNA의 번역은 두 가지의 항체 동형을 생산한다.

**핵심개념 40.5**

1. CD4나 CD8 수용체는 T세포수용체와 제시된 항원의 상호작용을 돕는 I형과 II형 MHC 단백질에 결합한다. 이들 수용체 없이는 항원 제시가 T세포를 활성화할 수 없다.
2. T세포와 B세포수용체 유전자들은 V와 D, J 다유전자군을 포함하는 DNA 재배열을 수행한다. 그것은 오류가 발생하기 쉽고 말단전이효소가 염기를 삽입하는 것을 포함한다. 그러나 T세포수용체 유전자는 B세포수용체 유전자에서 흔히 있는 체세포 과돌연변이를 보이지 않는다.
3. T<sub>H</sub>세포는 II형 MHC 분자를 발현하는 백혈구로부터 항원을 제시받는다. T<sub>C</sub>세포는 I형 MHC 분자를 발현하는 모든 유허세포로부터 항원을 제시받는다. T<sub>H</sub>와 T<sub>C</sub>세포 모두 항원에 결합함으로써 자극을 받아 분열한다. 그런 다음 T<sub>H</sub>세포는 같은 항원을 제시하는 B세포를 활성화한다. T<sub>C</sub>세포는 같은 항원을 발현하는 세포들을 찾아서 결합한 세포가 세포자살하게 한다.

**핵심개념 40.6**

1. IgE의 수준은 매번 노출될 때마다 증가한다. 그 의미는 더 많은 비만세포의 세포막 수용체에 IgE가 결합해서 항원에 대해 더 큰 반응 (히스타민 분비)을 유도한다는 것이다.
2. 항히스타민제는 비만세포로부터 히스타민 분비를 방해한다. 항히스타민제는 히스타민에 결합하거나 분해해서 불활성화시키거나 표적 세포막에 있는 히스타민 수용체에 결합할 수 있다(작용의 가장 흔한 기작).
3. T<sub>H</sub>세포가 바이러스에 감염된다. 그 결과 T<sub>H</sub>세포가 감염 때문에 죽고 그들이 바이러스 단백질들을 발현하기 때문에 면역계에 의해 죽는다.

**41장**

**요약 및 평가 41.1**

1. 출아와 재생에는 우선 탈분화되었다가 유사분열을 통해 새로운 개체를 생산하는 체세포들이 관여한다. 단위생식은 감수분열 산물로 생긴 배우자인 난자가 수컷 배우자와의 수정 없이 발생하는 과정이 관여한다.
2. 지구 기후 변화는 무성생식 생물들에게 더 영향을 많이 끼칠 것이다. 왜냐하면, 그들은 변화하는 기후에 대한 적응을 위해 선택할 수 있는 유전적 다양성을 만들지 않기 때문이다.
3. 이것은 단위생식에 의한 생식의 한 예이다. 개체군의 대다수가 사라졌다거나, 한 마리의 암컷이 같은 종의 구성원이 없는 섬에 도달했다거나 해도, 섬에 사는 암컷이 생식할 수 있어서 수컷 자손을 낳는다면, 그 암컷은 유성생식할 수 있는 개체군을 다시 만들 수 있을 것이다.

**요약 및 평가 41.2**

1. 감수1분열 전기 중에 교차가 발생한다. 사람의 정모세포들과는 달리, 사람의 난모세포들은 이 시기에 오랫동안(십지어 수년 동안) 휴지기를 가진다.
2. 그 포유류의 자손들은 아마도 모두 암컷이 될 것이다. Y 염색체를 가진 정세포들이 발생에 실패할 것이기 때문이다.
3. 정자와 난자의 인식 분자들은 수정이 오직 같은 종의 배우자들 사이에서만 발생하도록 한다. 난자와 정자가 접촉할 때 다수정에 대한 방지 기구가 개시되고 오직 하나의 정자만 난자를 수정시키도록 한다.
4. 동시적 암수한몸(자웅동체)은 같은 종의 두 구성원이 만날 가능성이 별로 없을 때 장점이 있다. 개체 수가 적거나 생식할 수 있는 계절이 짧은 경우에, 암수한몸 생물들은 그 개체군의 모든 구성원이 자손을 낳을 수 있으므로 종의 생식력이 2배가 된다. 순차적 암수한몸 역시 개체군이 자손을 만들 수 있는 능력을 배가시키며 형제자매들 사이의 교배를 방지하는 데 도움이 된다.

**요약 및 평가 41.3**

1. 장낭은 피브리노젠을 포함한 분비액을 생산한다. 전립샘은 피브리노젠이 중합되도록 하는 응집 효소를 생산하며, 이렇게 생긴 덩어리는 요도 밖으로 강하게 배출된다. 전립샘은 피브리노라이신(fibrinolysin)도 정액에 분비하는데, 일단 정액 덩어리가 여성의 생식관으로 들어가면, 피브리노라이신 덩어리를 분해하여 정자들이 자유롭게 움직일 수 있도록 한다.
2. 세르톨리세포들은 발생 중인 정자를 위한 보조 세포로 작용한다. 세르톨리세포들 사이의 밀착연접은 정자에 해를 끼칠 수 있는 순환계의 수용성 분자들이 세정관 내로 확산하지 못하도록 장벽을 만든다.
3. 음경 동맥의 평활근이 이완되는 것은 평활근 세포질의 칼슘 농도를 낮추는 cGMP의 작용에 의존한다. 인산디에스터가수분해효소는 그 cGMP를 분해한다. 따라서 인산디에스터가수분해효소 저해제는 cGMP의 작용을 지속시키며 발기를 유지할 수 있도록 해준다.
4. 사춘기 이전의 정소가 FSH와 LH에 반응한다는 사실은 정소에서 테스토스테론이 생산됨을 의미한다. 테스토스테론은 시상하부와 뇌하수체 전엽에 뇌격임 효과를 발휘하여 FSH와 LH가 낮은 상태로 유지되도록 한다. 그럼으로써 이 뇌격임 신호에 대한 시상하부와 뇌하수체의 민감성이 높은 상태로 있는 한 사춘기가 되는 것을 방해한다.

**요약 및 평가 41.4**

1. 월경의 시작은 배반포가 자궁내막에 착상하지 않는 경우, 황체기 말에 혈중 에스트로젠과 프로게스테론 수준이 갑자기 떨어지기 때문이다. 만약 배반포가 착상되면, hCG가 분비되고 황체를 자극하여 계속해서 에스트로젠과 프로게스테론이 생산되도록 함으로써 월경을 막는다.

2. 난소막 세포들은 LH 수준 상승으로 자극을 받는다. 이들은 과립막세포들로 확산하는 테스토스테론을 생산하는데, 과립막세포들은 테스토스테론을 에스트로젠으로 전환한다. 에스트로젠은 LH와 FSH 분비에 음성뇌격임 효과를 발휘한다. 에스트로젠 역시 과립막세포들에 작용하여 이들이 FSH 수용체를 증가시키도록 만든다. 따라서, 에스트로젠 수준이 상승하고 FSH 분비가 떨어지며, 가장 많은 수용체를 가진 난포가 성숙을 지속하는 동안 다른 것들을 퇴화한다.
3. 임신의 세 번째 3분기 말에, 태아의 머리가 자궁경부에 더 많은 압력을 가하여 경부의 신장수용기를 활성화시킨다. 신장수용기로부터의 신경 신호가 시상하부를 자극하여 뇌하수체 후엽에서 옥시토신이 방출되도록 한다. 옥시토신은 자궁근육의 수축을 증가시켜 태아를 경부로 더욱 밀어낸다. 경부에 주어지는 증가한 압력은 더 많은 옥시토신이 분비되도록 하며 이것은 자궁 수축력을 증가시켜 출산을 유도한다.

**요약 및 평가 41.5**

1. 콘돔은 STD로부터 보호를 받을 수 있도록 하는 유일한 피임법이다. 왜냐하면 이것이 성행위에 관여한 사람들의 체액과 점액막 사이의 접촉을 감소시키기 때문이다.
2. 피임약은 고농도의 에스트로젠과 프로게스테론을 사용하여 임신을 모방하며 시상하부-뇌하수체 축에 음성뇌격임을 제공하여 LH와 FSH 방출을 억제하며, 이로써 배란을 막는다. RU-486은 프로게스테론 수용체 억제자로, 프로게스테론이 자궁에 미치는 효과를 차단한다. 프로게스테론의 작용은 착상과 임신 중에 자궁내막이 유지되도록 하는 데 필수적이다.
3. IVF는 여성으로부터 난자들을 수확하고, 배양 배지에서 유지한 난자에 정자를 제공하여 수정시키는 과정을 포함한다. 일단 세포분열이 시작되면, 배아로부터 세포를 떼어내 관심 질병을 일으키는 유전자를 가졌는지 유전적 분석을 수행할 수 있다. 결손 유전자를 갖지 않은 배이만 선별하여 여성의 자궁에 착상시키게 된다.

**그림 질문**

**그림 41.3** 하나의 성만 있는 생물로 변한 양성의 생물들에 생길 수 있는 선택적 이점은 개체군 내의 각 구성원이 자손을 만들 수 있다는 것이다. 단점은 유전적 다양성의 상실이다.

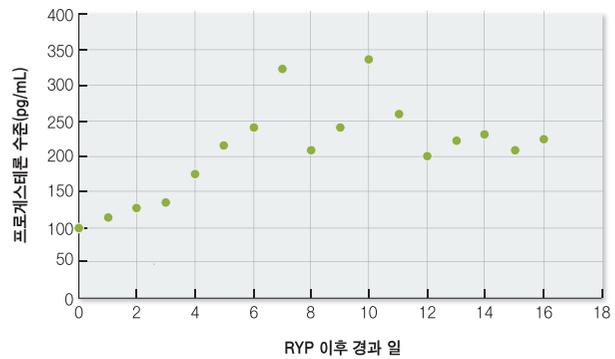
**그림 41.6** 만약 두 마리의 정자들이 난자를 수정시키게 되면, 두 세트의 수컷 염색체들과 2개의 중심립이 난자세포에 자리 잡게 된다. 이것은 차후의 세포분열을 망가뜨리게 될 것이다.

**그림 41.9** 전립샘이 비대해지면 요도를 압박하므로 배뇨를 막거나 방해할 수 있다.

**그림 41.14** 호르몬성 피임약들은 황체기에 에스트로젠과 프로게스테론 수치가 높은 난소 주기의 중반 이후를 모방한다. 이 두 호르몬은 음성뇌격임 효과를 발휘하여 GnRH와 LH, FSH 등 난자의 성숙과 배란에 필수적인 호르몬들의 방출을 억제한다.

**자료 이용하기, 타마울라비의 휴지기 조절**

1. 이 집단에 대한 자료는 7일과 10에서 평균 PRL의 작은 정점들이 있는 혼합된 형태를 보인다. 이것은 일부 월라비들이 이 기간에 휴지기를 끝냈음을 시사한다. 이런 상승은 식염수 처리된 (대조군) 월라비들에서 측정된 것보다 나중에 발생했지만, 매일 프로락틴 처리되었던 월라비들에서 보다는 빨랐다. 따라서, 48시간의 프로락틴 처리는 휴지기를 끝내는 것을 방해하는 데 약간의 효과가 있었다.



**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 41.1**

1. 안정된 환경은 무성생식에 유리한데, 환경 변화가 없는 것은, 변화하는 조건에 적응하기 위한 잠재적 자원으로서의 유전적 변이의 가치를 감소시키기 때문이다.
2. 모두 암컷인 체찍꼬리도마뱀 집단에서 성적 행동의 역할은 배란 유도를 위한 자극을 제공하는 것이다.

**핵심개념 41.2**

1. 하나의 난원세포는 하나의 난자를 생산하는 반면에, 하나의 정원세포는 4개의 정자를 만든다. 정자형성은 생애 동안 지속되는 반면, 난자형성은 태아 시기로 제한된다. 난모세포들은 오랜 시간 동안 발생 억제를 겪을 수 있으나, 정모세포들은 그렇지 않다. 정모세포의 딸세포들은 그들이 성숙한 배우자가 될 때까지 세포질 접촉을 유지하지만, 난모세포의 딸세포들은 그렇지 않다.

- 태생이 생물에서는, 배아가 자궁에서 어머니와 태아의 순환계 사이의 직접적 접촉을 통해 양육되며 이것은 출생 시까지 지속한다. 난태생인 생물에서는, 수정란이 껍질에 둘러싸이므로, 어머니와 배아 사이에 직접적인 물질교환은 차단된다. 대신, 배아를 위한 모든 필수 양분들은 알에 포함되어 있다. 난태생 생물의 알들은 어머니의 신체 내부에 보유되고 거기에 부화하므로, 살아 있는 새끼가 세상으로 나오게 된다.

**핵심개념 41.3**

- 정원세포는 수정관의 바깥 영역에 자리하며, 이곳에서 유사분열을 거쳐 제1정모세포를 생산한다. 제1정모세포는 세르톨리세포 사이를 움직여 세관의 내강 쪽으로 이동하면서 2회로 구성된 감수분열을 겪는다. 감수분열의 두 번째 분열 시기가 완료되면, 제1정모세포는 4개의 정세포를 생산한다. 이들이 세관의 내강 쪽으로 이동하면서 정세포들은 정충(미성숙한 정자)으로 발달하여 내강으로 떨어져 나간다. 수정관으로부터 나온 정자들은 부정소로 이동하고, 거기에 성숙하여 운동성을 갖추며 저장된다. 그런 후에 정관을 거쳐 음경의 밑 부분인 요도로 이동하고 거기서 사정된다.
- 레이디히세포는 테스토스테론을 만든다. 테스토스테론은 세르톨리세포로 확산해 정자형성을 지지하는 그들의 활성을 자극한다. 테스토스테론은 또한, 정소를 떠나 순환계를 통해 시상하부와 뇌하수체 전엽에 음성되먹임을 제공함으로써 레이디히세포의 활성을 촉진하는 LH를 감소시킨다. 혈중 테스토스테론은 남성의 2차 성징도 지원한다. 세르톨리세포는 인하빈을 생산하는데, 이것은 순환계로 들어가 뇌하수체 전엽에서의 FSH 분비에 대한 음성되먹임을 제공한다. FSH는 세르톨리세포 활성을 촉진한다.
- 정낭은 정액의 대부분을 구성하는 정액과 피브리노젠, 그리고 정자를 위한 에너지원인 과당을 생산한다. 전립선은 응고효소를 생산하여 피브리노젠이 덩어리를 형성하도록 하는데, 덩어리 형성은 사정을 가능하게 한다. 피브리노라이신은 체외로 나간 덩어리들을 녹이고, 프로스타글린딘은 여성 생식관의 수축을 촉진한다. 망울요도샘은 요도의 pH를 중화할 수 있는 알칼리성 분비물을 생산한다.

**핵심개념 41.4**

- 난소 호르몬인 에스트로젠과 프로게스테론은 자궁내막의 발달과 혈관형성을 촉진한다. 임신이 발생하지 않은 황체기 말에 이 호르몬들의 수준이 떨어지면, 자궁 내막이 떨어져 나가는데, 이것이 월경이다.
- 인간용모막생식샘자궁호르몬은 황체를 자극하여 태반이 생길 때까지 지속해서 에스트로젠과 프로게스테론이 생산되도록 한다.
- 임신 말기 중에는, 자궁벽이 늘어나 더 강한 브릭스턴 핵스 수축을 유발한다. 이것은 자궁경부에 대한 태아 머리의 압력을 증가시키고 경부에 있는 신장수용기들을 활성화한다. 자궁경부의 신장은 시상하부의 신경 자극을 만들어 뇌하수체 후엽이 옥시토신을 방출하게 한다. 혈중 옥시토신은 자궁의 수축을 증가시켜 자궁경부에 더 강한 압력을 주어 결과적으로 더 많은 옥시토신이 방출되도록 한다. 이런 양성되먹임은 수축의 강도와 빈도를 증가시켜 태아가 출산 통로를 통해 세상으로 나오도록 한다.

**핵심개념 41.5**

- 가장 효과적인 두 가지 피임법은 자궁 내 장치(IUD)와 피임약 같은 호르몬 방법이지만, 특히 이식이 가능한 프로게스틴 튜브는 효율적이다.
- 가장 효과가 낮은 피임법은 중절성교나 주기법 등의 행동적 방법들인데, 난소 주기의 시기적 변화나, 계산 착오, 그리고 의지력 부족 등의 이유로 실패한다. 여러 가지 방식으로 사용되는 살정제는 실패율이 높는데, 아마도 적용 시간이나 적절성 때문일 것이다. 많은 차단 도구들, 예를 들어 격막이나 경부캡, 그리고 경부 스펀지 등을 살정제와 함께 사용할 때라도, 잘 맞지 않았거나 구조적 손상으로 인해 실패할 수 있다.
- 만약 여성의 난관이 막혔다면, IVF가 적절한 기술이 될 것이다. 남성의 정자가 운동성이 없을 경우라면 세포질 내 정자 주입(ICSI)를 이용한 IVF가 적절한 기술일 것이다.

**42장**

**요약 및 평가 42.1**

- 반수체 핵 말고도, 정자는 1개의 중심립을 배아에 제공한다. 이 중심립은 중심체를 생성하는데, 이것이 세포 신호전달작용에 관여할 1차 섬모를 위한 미세소관을 조직한다.
- 화색신원환은 수정된 개구리알에서, 착색된 피질 세포질이 정자 진입부를 향해 돌면서 형성된다.
- 양서류 알의 수정에 이어, 미세소관이 식물반구로부터 동물반구의 화색신원환 영역으로 늘어난다. GSK-3의 억제자가 이 미세소관들을 타고 이동하는데, GSK-3가 β-카테닌을 불활성화하므로, GSK-3의 억제는 화색신원환 영역의 β-카테닌 농도를 더 높게 만든다.

**요약 및 평가 42.2**

- 완전난할인지 또는 불완전난할인지와 관련된 알의 특징은 난자에 포함된 난황의 양이다. 완전난할은 난황이 적은 알에서 발생하며, 불완전난할은 난황을 많이 가진 알에서 발생한다. 예외인 것은 포할을 하는 곤충의 알이다. 알의 핵들이 분열하고, 초기 세포분열은 핵들을 개별 세포로 나누는 막의 형성 없이 지속된다. 이 핵들은 알세포의 주변부로 이동하며, 마침내 세포막이 그들을 각자의 세포로 나누게 되는데, 이런 세포들이 난황을 둘러싸게 된다.

- 포유류에서는 난황 중의 유전자 발현이 발생학적 역할을 담당하지만, 성게나 개구리에서는 그렇지 않은데, 세포분열의 속도 차이 때문이다. 세포분열은 성게와 개구리에서 빠르게 일어난다. 포유류에서는 훨씬 느리므로 유전자 발현이 발생할 시간적 여유가 생긴다.
- 일관성 쌍둥이는 포유류에서 하나의 난자로부터 발생하는데, 그들의 발생이 조절성이며, 무척추동물에서처럼 모자이크란이 아니기 때문이다. 모자이크발생에서는 할구의 운명들이 결정되어 있으므로, 개별 할구는 완전한 생물을 생산할 능력이 없다.
- 예비 생식세포들은 난자세포질에 들어가 있던 신호 때문에 포배 형성 초기에 결정된다. 그들의 세포질에는 전사와 번역을 방해하는 분자들이 포함되어 있으므로, 분화가 오랫동안 지연된다.

**요약 및 평가 42.3**

- 성게의 발생은 방사대칭형의 유생을 만드는데, 이 생물에서의 낭배형성이 식물극에서 방사대칭형의 함입 과정을 포함하기 때문이다. 개구리에서의 낭배형성은 이미 좌우대칭형인 포배에서 시작되는데, 정자 진입부, 화색신원환의 형성, 그리고 신호분자들이 방사대칭형이 아닌 분포를 보이는데 기 초한 것이다.
- 예를 들어, 낭배형성 등의 과정에 필요한 기작이나 신호가 존재하지 않을 때 그 과정이 발생하지 않는다면, 그 신호나 기작은 필수적인 것으로 볼 수 있다. 그러나 그런 신호나 기작들이 그들 스스로를 개시하지 못할 수도 있다. 이것은 그들만으로는 충분치 않다는 뜻이다. 슈페만-맹골드의 1차 배아 형성체에 관한 현대적 연구는 원구배순부의 세포 내 β-카테닌이 낭배형성을 유도하는 신호임을 시사한다. 만약 β-카테닌이 안티센스 RNA 주입으로 인해 앞에서 사라지게 되면, 낭배형성은 발생하지 않는다. 그러나 β-카테닌의 발현이 원구배순부가 아닌 포배의 다른 영역에서 유도되면, 낭배형성이 그 부위에서 시작될 것이다. 따라서 β-카테닌은 낭배형성 유도를 위해 필요하고도 충분한 요소이다.
- 형성체 세포들이 원구배순부를 넘어 이동함에 따라, 그들은 예비 머리 영역을 향해 정중선 앞쪽으로 이동한다. 이 세포들은 주변 세포들을 분화시켜 해당 부위에 적절한 조직을 형성시킨다. 가장 빠른 형성체 세포들은 가장 멀리 앞쪽으로 이동하여 머리 구조를 유도한다. 더 나중에 배순부를 지나간 형성체 세포들은 몸통 구조물들을 유도하고, 가장 마지막에 배순부를 지나간 세포들은 꼬리 구조를 유도한다. 형성체 세포들은, 앞뒤 축 상에서 서로 다른 위치에 맞는 적절한 구조물들을 유도하는, 서로 다른 세트의 성장인자들을 생산한다. 형성체 신호들의 여러 작용은 특정 성장인자들의 발현을 억제하는 것이다.
- 피충류의 알들은 많은 난황을 포함하며, 따라서 불완전난할을 하므로 난황 상단에 할구들로 이루어진 평면(배반)을 형성한다. 양서류의 낭배형성에서 세포 이동이 원구를 통해 발생하는 것과는 달리, 피충류에서는 세포의 이동이 배반의 긴 절개선(원조)을 따라 발생한다. 이 평면의 표면 세포들은 이 틈을 향해 이동하여 그 가장자리를 넘어 두 번째 세포층(하배엽)을 형성한다. 표면층(상배엽)은 배아가 된다. 하배엽은 배아를 감싸고, 양분(난황) 제공 및 기체교환을 위한 외부 환경과의 접촉 면 역할을 하는 배외막 형성에 기여한다. 양서류에는 배외막이 없는데, 난황이 낭배 내에 완전히 포함되어 있으며, 호흡은 배아와 주변 수생 환경 사이에서 직접 교환으로 이루어지기 때문이다.

**요약 및 평가 42.4**

- 척삭 위의 외배엽은 두꺼워져 앞뒤 축 위에 배열된 평행한 용기를 형성한다. 이 용기들이 팽창하면서 정중선에서 만나 융합되어 속이 빈 신경관을 만든다. 이 신경관 양측의 외배엽도 정중선에서 만나 신경관을 덮는 피부가 된다. 이 두 외배엽 영역들 사이의 세포들은 신경관에서 자유롭게 떨어져 나고 신경성 세포를 형성하는데 이들이 원체절들 사이에서 밖으로 이동한다.
- 원체절 형성의 파고는 몸통 근육, 척추뼈, 갈비뼈, 그리고 말초신경들의 발생에 기형을 초래할 수 있다.
- 혹스 유전자 세트들이 여러 염색체에 존재한다. 이 유전자들은 앞뒤 축을 따라 발현되는데, 염색체에 있는 것과 같은 순서로 발현된다. 따라서 앞뒤 축을 따라 신체의 서로 다른 부분들은 서로 다른 세트나 조합의 전사인자들(혹스 유전자들에 의해 발현되는)을 받게 된다.

**요약 및 평가 42.5**

- 닭의 난황낭과 요막은 상배엽과 하배엽이 연결된 가장자리 바깥으로 자리나는 내배엽과 중배엽으로부터 발달한다. 양막과 장막은 외배엽과 중배엽으로부터 발달한다.
- 포유류의 태반은 영양막(배반포의 바깥쪽 세포들)과 자궁의 내막이 상호작용하여 생긴다. 이후 장막(용모막)이 영양막세포와 상호작용하여 태반을 형성한다.
- 첫 번째 삼분기의 배아는 환경에 의해 손상을 입을 위험성이 크다. 빠르게 세포가 분열하고 많은 신호전달 연속반응들이 조직 분화의 과정들을 확립시키는 상황이기 때문이다. 이런 신호전달 사건들이 환경 인자들에 의해 파괴될 수 있다.

**그림 질문**

**그림 42.7** 성게의 낭배형성에는 식물극 세포들이 포배강으로 함입되어 원장이라는 공간을 형성하는 과정이 관여한다. 원장의 세포들은 소화관 내벽을 덮는다.

**그림 42.8** 피포는 동물극 세포들을 펼쳐 전체 배아를 덮고 외배엽 형성을 이끈다. 외배엽의 세포들은 피부 및 그와 관련된 구조물들과 함께 신경계를 형성한다.

자료 분석, 결정 흐름 방향이 생쥐 배아의 좌우 비대칭의 발생에 영향을 주는가?



- 이 실험에는 왼쪽 흐름이 포함되지 않았는데, 우리가 이미 왼쪽 흐름이 정상 자극임을 알고 있으며 그것이 빠른 오른쪽 흐름에 의해 파괴된다는 사실을 알고 있기 때문이다. 이 실험은 파괴적인 자극이 정상 발생 패턴을 바꾸는 능력이 민감한 시기를 결정하는 것이 목적이다.
- 서로 다른 발생 단계의 배아들로부터 얻은 자료는 배아의 좌우대칭이 결정되는 민감기가 존재하며, 그것은 원체질형성 이전과 제 1원체질기 사이임을 지지한다.
- 빠른 오른쪽 흐름에 노출된 1-, 2-, 3-원체질기의 야생형 배아에 관한 결과는, 좌우비대칭이 초기 단계에 결정되며, 배아들이 결정 위를 지나는 흐름의 방향에 더는 민감하지 않음을 보여준다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 42.1

- 미토콘드리아 DNA는 오로지 모계로부터만 유전되고 매 세대에 부계로부터 추가되는 유전자에 의해 복잡해지지 않으므로 계보 연구에 유용하다.
- 개구리 알의 방사대칭은 동물극 피질 세포질의 회전으로 회색신원환이 생기면서 깨지게 된다.
- 수정란에 정자가 기여하는 독특한 요소는 중심립이다. 중심립은 알의 식물극에서 미세소관들을 평행으로 조절하여, 회색신원환을 형성하는 데 관여하는 신호 인자들이 지역적으로 차이가 나도록 하는 세포질 요소들의 이동을 안내한다.

핵심개념 42.2

- 자동적 예정화를 나타내는 생물들에서는, 개체들이 일관성 쌍둥이를 만들 수 없다. 할구들의 발생 운명은 첫 번째 난황의 시작과 함께 결정되며, 따라서 분리된 할구들은 전체 생물을 형성할 잠재력을 갖지 못한다.
- 조류와 어류의 난황은 반황로 불리는데, 불완전 난황로 난황 상단에서 할구들이 접시 모양을 형성하기 때문이다.
- 포유류는 조절발생을 하므로 개별 할구들의 운명은 완전히 결정되어 있지 않다. 만약 유전자 검사를 위해 하나의 할구를 사람 배반포에서 추출한다면, 남은 할구들은 그 손실을 보상하면서 정상 발생을 계속할 수 있다.

핵심개념 42.3

- 슈페만이 개구리 알을 회색신원환을 나누는 면에 따라 묶었을 때는, 각각 절반의 알들이 1차 배아 형성체를 만드는 데 필수적인 회색신원환 영역의 세포질 인자들을 포함했다. 그러나 알의 절반이 회색신원환 세포질을 포함하지 않게 묶었을 때는, 그 반쪽이 1차 배아 형성체를 만드는 데 필수적인 세포질 요소들을 받지 못했기 때문이다.
- 개구리의 낭배형성은 외배엽, 중배엽, 내배엽을 형성한다. 낭배형성이 진행되면서, 배아 바깥에 남은 세포들은 외배엽이 되고, 원구를 통해 이동한 세포들은 내배엽이 되며, 내부로 들어온 세포에서 떨어져 나온 세포들은 외배엽과 내배엽 사이로 이동하여 중배엽이 된다. 외배엽은 피부 및 신경계를 구성한다. 내배엽은 장의 안쪽 면과 기타 내부기관을 만든다. 중배엽은 결합조직뿐 아니라 내부기관의 형성에도 기여한다.
- 양서류의 낭배형성에는 구형 포배 표면의 일부 세포들이 밀려 들어가는 과정이 관여한다. 이로써 원구가 형성된다. 밀려 들어가는 세포들은 안쪽으로 이동하여 앞뒤 측, 내배엽과 중배엽, 그리고 내부기관을 형성한다. 조류의 낭배형성은 세포들로 이루어진 판, 즉 배반에서 발생한다. 길이로 놓인 튼튼한 원조구가 판 위에 형성되어 세포들이 그쪽으로 이동하여 튼을 통해 이동하면서 내배엽과 중배엽이 된다. 낭배형성에서의 차이는 조류가 가진 대량의 난황 때문인데, 이것은 양서류 발생에서처럼 공 형태를 만들게 되는 완전한 난황을 방해한다.

핵심개념 42.4

- 양서류에서는 앞뒤 측 위의 등쪽 외배엽 판이 양쪽 옆의 평행한 용기들을 만들어 신경관을 형성한다. 이 용기들이 중앙을 향해 자라 융합하면 속이 빈 관이 만들어진다. 근처의 표면 조직들은 신경관 위로 자라 신경관이 안으로 들어가도록 한다.
- 신경능 세포들은 발생 중인 신경관에서 떨어져 나와 신경관 옆에서 발생하는 원체절들 사이로 이동한다. 신경능 세포들은 말초신경들과 턱, 두개골, 얼굴, 색소 세포들, 분비샘들, 평활근 등을 포함한 여러 다른 구조들을 만든다.
- 혹스 유전자들은 염색체에 선형으로 배열된다. 배아의 앞뒤 측에 따른 발현 위치와 3'에서 5' 말단으로 놓인 염색체에서의 유전자 위치가 서로 상응한다.

핵심개념 42.5

- 조류의 요막은 발생 중인 배아에 의해 생산된 대사노폐물을 흡수하는 주머니이다. 요막이 대사노폐물을 저장하는 것은 포유류의 배아에서는 덜 중요한데, 노폐물들이 대부분 태반 내 혈관들에 의해 배아와 태아로부터 제거되기 때문이다.
- 조류의 장막은 알 껍질의 내부를 덮으며, 알의 탈수를 막는 증발 장벽과 호흡 기체교환을 위한 투과막으로 작용한다. 포유류에서의 장막은 모체의 자궁조직과 상호작용하여 태반을 형성한다.
- 첫 번째 3분기 중에는 태아의 사지가 막 형성되며 신경계는 아직 발달하지 않아서 태아가 팔다리를 움직임을 조절하기에는 충분치 않다.

43장

요약 및 평가 43.1

- 뉴런의 수상돌기는 다른 많은 뉴런의 시냅스로부터 신호를 받는다. 시냅스가 (대부분의 경우가 그렇듯이) 화학시냅스라면, 시냅스에 도달한 활동전위는 표적뉴런 수상돌기의 막전위를 변화시키는 신경전달물질을 방출한다. 표적뉴런 수상돌기의 변한 막전위는 세포체의 막을 따라서 전파되고 활동전위가 발생하는 축삭돌기의 기저부까지 퍼져간다. 한 뉴런의 수상돌기는 많은 뉴런의 시냅스로부터 입력을 받는데, 시냅스는 흥분성일 수도 억제성일 수도 있다. 그래서 시냅스후 세포의 세포체에서 그러한 입력들 모두를 합하는 것은 축삭단에서 활동전위를 생성할 것인가 아닌가를 통한 유입정보의 통합과정이 된다.
- 전기시냅스를 통한 의사소통은 활동전위가 직접 시냅스전 세포에서 시냅스후 세포로 이동하기 때문에 빠르다. 화학시냅스에서, 시냅스전 활동전위는 시냅스틈을 가로질러 확산한 후 시냅스후 세포의 막 수용체에 결합하는 신경전달물질의 유출을 자극해야 한다.
- 3차간시냅스는 시냅스전 뉴런과 시냅스후 뉴런과 1개 혹은 다수의 별아교세포를 포함한다. 별아교세포는 신경전달물질을 흡수하거나 자신의 신경전달물질을 방출하여 시냅스전 뉴런과 시냅스후 뉴런 사이의 의사소통에 영향을 미칠 수 있다.

요약 및 평가 43.2

- 뉴런의 세포막이  $K^+$ 보다  $Na^+$  투과도가 더 크면 휴지전위는 양의 값이 된다(외부에 대해 내부가 양의 값). 그런 세포에서 활동전위 발생은 휴지전위보다 더 낮은 역치전위에 도달하게 하는 전압개폐성  $K^+$  통로를 의할 것이며, 활동전위는 양의 휴지전위에서  $K^+$ 의 평형전위에 가까운 음의 피크로 나타날 것이다.
- 네른스트 방정식은 막에서 가장 투과도가 큰 이온만을 고려한다. 반면 골드만 방정식은 막에 투과도를 가지는 모든 이온을 고려하며, 더불어 막에 대한 이온들 사이의 상대 투과도 역시 계산에 고려한다.
- 수초가 없는 축삭돌기에서 활동전위는 막의 바로 옆 지역에 있는 전압개폐성  $Na^+$  통로를 역치에 이르게 하는 전류의 지역적 확산을 유발하여, 활동전위가 축삭돌기 말단으로 퍼져나가기 한다. 수초가 있는 뉴런에서는 람비에결절의 활동전위로 발생한 막 극성의 변화가 축삭돌기를 따른 전류의 흐름을 유발하는데, 이는 다음 람비에결절에서 전압개폐성  $Na^+$  통로를 역치에 도달하게 한다.
- 축삭단에서 시작하는 축삭돌기는 활동전위(실무울을 따름)에 반응하는 전압개폐성  $Na^+$  통로를 가지지만, 세포의 수상돌기나 세포체의 막은 신경전달물질(시냅스말단에서 유출됨)에 반응, 막 투과도를 변화시키는  $Na^+$  통로를 가지고 있다. 지역적으로 발생한 차등막전위들은 수상돌기와 세포체 막을 따라 확산하기 때문에 활동전위가 발생하는 축삭단에서는 이들의 효과가 합쳐진다. 이리하여 뉴런은 흥분자극과 억제자극 유입을 합해서 다음 반응을 결정하게 된다.

요약 및 평가 43.3

- 운동중편의 두 주요 양이온통로는 화학개폐성 통로와 전압개폐성 통로이다. 화학개폐성 통로는 운동뉴런의 축삭돌기 말단에서 유출되는 신경전달물질인 아세틸콜린에 반응하여 운동중편을 탈분극시킨다. 전압개폐성 통로는 지역적 막의 탈분극을 인근 근세포막으로 전파할 수 있으며, 활동전위도 생성한다.
- 같은 신경전달물질이 시냅스후 뉴런을 흥분시킬 수도 억제시킬 수도 있는데, 이는 신경전달물질의 작용이 시냅스후 뉴런 막에 있는 수용체 유형에 의존하기 때문이다. 만약 수용체가  $Na^+$  혹은  $Ca^{2+}$  통로를 열면 작용은 흥분성이 되는데, 이는 그러한 양이온이 막의 외부에 높은 농도로 있어, 유입되면 막을 탈분극하기 때문이다. 반대로 수용체가  $K^+$  혹은  $Cl^-$  통로를 열면 작용은 억제성인데 이는 그러한 이온의 이동이 막을 과분극 시키기 때문이다.
- 만약 사린(sarin)가스가 아세틸콜린에스테라수분해효소를 비활성화시키면, 시냅스에서 아세틸콜린이 제거되지 않아 지속해서 근세포막에서 활동전위를 발생하게 된다. 근세포에 발생하는 지속적인 활동전위는 세포가 수축상태로 머물게 한다(경직). 만약 횡격막에 경직성 수축이 발생하면, 호흡관련 근육들이 숨을 쉬는 동안 이완할 수 없어 호흡이 중단, 질식사 이르게 된다.
- 화학시냅스는 억제성도 흥분성도 될 수 있으며, 차등막전위와 실무울을 따르는 활동전위 모두 생성할 수 있어 다중입력의 시간 가중이 가능하다. 전기시냅스는 거의 전적으로 흥분성이며, 실무울을 따르는 반응을 한다.

**요약 및 평가 43.4**

1. 신경절은 신경세포체의 집합이다. 신경절은 일반적으로 좌우대칭인 많은 무척추동물에서 앞부분에 집중되는데 이는 그곳에 많은 수의 감각기관이 위치하기 때문이다. 그래서 감각기관들은 동물들이 앞으로 이동함에 따라 환경과 먼저 접촉하게 된다. 자극 위치에 감각뉴런이 근접하여 위치하면 축삭돌기는 더 짧아지며, 반응은 더 빠를 수 있다.
2. 그림 43.15 참고. 무릎반사의 정보 흐름은 뒷다리의 편근에 있는 뽕뽕 감각수용체로부터 시작한다. 감각수용체의 축삭돌기는 등쪽뿌를 통해 척수로 들어가며, 배쪽뿌에서 뉴런과 시냅스를 형성한다. 그 뉴런이 운동뉴런이면, 활동전위를 생성, 축삭돌기를 따라 전파, 배쪽뿌에서 유출, 다리를 따라 편근에 도달, 근육을 수축, 무릎을 들어 올리게 한다.
3. 무릎반사에서, 편근의 수축을 유발하는 같은 자극이 길항적으로 작용하는 굽힘근의 수축을 억제할 수도 있다. 이는 신장 감각기의 축삭돌기가 배쪽뿌 내에서 굽힘근을 활성화하는 운동뉴런을 억제하는 억제사이뉴런과 시냅스를 형성하기 때문이다.

**그림 질문**

**그림 43.2** 조롱박세포(Purkinje cell)는 가장 많은 수상돌기를 가지고 있으므로, 피라미드세포보다(물론 망막세포보다) 더 많은 입력을 받는다는 것을 의미한다.

**그림 43.12** 아마도 시냅스후 막에  $Cl^-$  통로 혹은  $K^+$  통로가 있을 것을 예상할 수 있다.

**그림 43.16** 돼지는 사람이나 비교하는 다른 포유류보다 뇌 크기 대비 더 큰 후각구를 가지고 있으며, 그래서 후각이 특별히 잘 발달하여 있다.

**자료 사용하기, 평형막전위: 골드만 방정식**

1. 포의 수치를 방정식에 대입하면,  $RT/F \ln = 2.3RT/F \log$ 로 대체하고, 온도를 실온(20°C) T로 가정하면,  $2.3RT/F = 58$ (그림 43.6A 참고)가 된다. 따라서  $V_m = 58 \log$   
 $0.1118V_m = -55.2 \text{ mV}$   
 네른스트 방정식을 이용하면,  
 $K^+ : E_k = 58 \log(5/140) = -84 \text{ mV}$   
 $Na^+ : E_{Na} = 58 \log(145/10) = +67 \text{ mV}$   
 $Cl^- : E_{Cl} = 58 \log(110/20) = +43 \text{ mV}$   
 분명하게 막전위는  $K^+$  흔자에 의한 것이 아니다.  $Na^+$ ,  $Cl^-$ 에 대한 막의 투과성은 포유류 뉴런의 휴지전위를 조금 탈분극시키는 영향을 미친다.

**자료 사용하기, 다온중추군 모델생쥐에서 학습이 회복될까?**

1. 암기 동안 WT 생쥐는 시험 동안 의미 있는 분별점수를 보여주었는데, 이는 그들이 훈련 물체를 학습하였음을 의미한다. DS 생쥐들은 의미 없는 분별점수를 보였는데 이는 이들이 학습하지 못하였다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 명기 동안 얻은 결과와 같다.
2. 밤 동안 실험이 진행될 때, 생리시염수를 처리한 생쥐는 낮 동안과 같은 결과를 보였는데, WT 동물들은 훈련 물체를 인식하는 것을 학습하였지만, DS 생쥐들은 하지 못하였다. 그러나 약을 처리한 생쥐들의 결과는 그들이 낮 동안의 실험에서 보인 것과 다른 결과를 보였다. 암기 동안 PTZ 처리한 훈련 물체의 인식을 학습하는 DS 동물들의 능력을 개선하지 않았다. 이러한 결과는 결국 낮 동안 제공된 약이 효과가 있음을 보여준다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 43.1**

1. 뉴런은 다양한 곳으로부터 온 시냅스 뉴런의 수상돌기와 접촉할 수 있는 장점으로 인하여 다중 근원의 정보를 통합한다. 시냅스들로부터의 신경전달물질은 흥분성이거나 억제성인데 수용뉴런의 치등막전위에 대한 그들의 영향을 합하여 해당 뉴런은 입력들을 합하게 된다.
2. 화학시냅스는 시냅스후 뉴런의 반응 여부를 결정하는 과정 중 합침 혹은 감소할 수 있는 치등막전위를 생성할 수 있다. 전기시냅스에서 활동전위는 다중 유입들의 합침 없이 시냅스후 뉴런으로 전파된다.
3. 글림프계는 동맥으로부터 혈관주위공간으로 세포외액의 환류 흐름을 발생하여 뇌로부터 대사노폐물을 제거한다. 용액은 이후 별아교세포를 통해 뇌의 간질액으로 전달된다. 이러한 과정이 정맥 측에서는 반대로 일어나 간질액으로부터 노폐물을 뇌 밖으로 이송한다.

**핵심개념 43.2**

1. 뉴런의 막을 가로질러 음전위가 형성되는데 이는  $K^+$ 의 농도가 세포외액보다 뉴런 내부에서 더 높으며, 뉴런의 막이  $K^+$ 에 약한 투과성을 가지기 때문이다.  $K^+$ 가 뉴런 밖으로 확산함에 따라 내부에는 균형을 잃은 음전위가 남게 되어, 결과적으로 외부보다 내부는 전기적으로 음의 값을 가지게 된다.
2. 수초는 축삭돌기의 모든 지역에서 전압개폐성 통로가 새롭게 활동전위를 발생시킬 필요성을 없애, 활동전위의 전파 속도를 증가시킨다. 대신, 활동전위의 발생은 랭비에결절에서만 발생하며, 해당 부위로부터 전파된 전류가 다음 랭비에결절에서 막을 역차에 도달하게 하여 활동전위를 발생한다. 랭비에결절을 통한 전류의 전파는 축삭돌기를 따라 점진적으로 이온통로를 여는 과정보다 훨씬 빠르다.

**핵심개념 43.3**

1. 활동전위가 축삭말단에 도착하면, 전압의존성  $Ca^{2+}$  통로 열림을 자극한다. 축삭말단 안으로  $Ca^{2+}$ 의 유입은 신경전달물질 소포체의 세포외배출 과정을 활성화한다.
2. 치등막전위는 뉴런에 대한 억제성과 흥분성 시냅스들의 균형을 반영한다. 시냅스를 통한 영향들의 합이 축삭안덕의 막전위를 역치(전압개폐성  $Na^+$  통로를 여는)에 다다르게 하면, 세포는 활동전위를 발화한다. 따라서 활동전위는 해당 뉴런에 대한 입력의 통합을 반영한다.
3. a. 시냅스전 뉴런에 의한 신경전달물질의 재흡수  
 b. 신경아교세포에 의한 신경전달물질의 흡수  
 c. 신경전달물질의 효소적 파괴  
 d. 시냅스로부터 신경전달물질의 확산을 통한 제거

**핵심개념 43.4**

1. 신경망은 신경들의 조합으로서 망의 활동을 조절하는 중심구조는 없다. 신경절은 몸의 어디에 있던 신경세포체의 모임인데 특정 기능(예: 움직임)을 위한 입력을 받고, 그들을 통합하며, 해당 기능을 조절하기 위한 출력을 생성한다. 뇌는 신체의 앞부분에 있는 큰 뉴런들의 집합체로 몸 전체로부터 정보를 받고 말초기관들에게 명령을 내린다.
2. 어류로부터 파충류, 포유류로 가면서 척추동물 뇌에서 가장 증가한 부분은 뇌의 가장 앞부분인, 대뇌이다.
3. 사이뉴런은 움츠림반사에 관여하는 모든 근육을 조정한다. 예를 들어, 사지의 움츠림은 무게의 변화, 균형의 유지와 같은 몸의 양쪽에 대한 다양한 근육수축의 재균형이 필요하다. 사이뉴런은 필요한 운동뉴런을 활성화하고, 그들의 길항뉴런을 억제하며, 척수에서 몸의 한쪽에서 반대쪽으로 가로지른 후 적절한 명령으로 몸의 다른 쪽과 소통한다.

**44장**

**요약 및 평가 44.1**

1. 신경이 분포하는 근육의 신장에 의한 신장수용기 수상돌기의 기계적 처등화된 신경세포 세포체의 탈분극을 유발한다(수용기전위). 수용기전위는 축삭안덕까지 퍼져나가고, 그리고 축삭안덕의 막을 역치까지 탈분극시키면, 축삭의  $Na^+$  활동전위가 발화한다.
2. 활동전위에 대한 해석은 두뇌 속의 이것의 표적 신경세포에 달려 있다. 활동전위가 시각피질에 뻗어 있는 시각회로 신경에 도착하면 이것은 빛으로 해석되지만, 비슷한 활동전위가 후각 구에서 나온 후 각신경에 도달하면 이것은 냄새로 해석된다.
3. 고추의 특이한 향을 나타내는 분자는 수용기 막에 있는 양이온통로를 열게 하는 G-단백질 신호전달 증폭계를 활성화하는 화학수용기를 통해서 받아들인다. 그러나 캡사이신은 직접 온도수용기로도 작동하는 TRP 단백질들을 활성화하는데, 이 단백질 자체가 특정 자극으로 활성화될 때 열리는 양이온통로이기도 하다.
4. 수용기의 적응은 우리 몸의 여러 부위를 접촉하는 것과 같이 항상 감각할 필요가 없는 정보에서 중요하다. 적응으로 인해 중추신경계는 관계없는 정보로부터 관계있는 정보를 거른다. 하지만 일부 정보는 지속해서 감시되어야 한다. 지속적으로 관계된 정보의 유형에는 통증과 우리의 팔다리의 위치, 팔다리에 놓인 하중, 신체의 방향을 감시하는 데 필요한 기계수용기(신체 균형에 필요한 정보)가 있다.

**요약 및 평가 44.2**

1. 같은 수용체를 공유하는 후각수용기 뉴런은 후각구 안에서 같은 시구체로 뻗어 있다. 그래서 특정 후각자극물질의 판별은 활성화되는 후각수용기 신경세포의 연결 형태에 달려 있다.
2. 후각계는 좋은 향기 대 싫은 냄새 자극의 강도를 활동전위의 빈도로 신호한다. 스컹크와 스컹크배추의 구분은 냄새 분자의 혼합에 달려 있다.
3. 쓴맛은 해롭거나 독성이 있을 수 있는 물질을 감지하기 위해 진화했지만, 짠맛과 단맛 덕분에 음식의 질과 영양가를 평가할 수 있다. 진화적 관점에서, 저질의 음식보다 해로운 물질로부터 보호 받는 것이 훨씬 중요하다.
4. 5종류의 미각수용기를 가지고도 우리가 매우 높은 미각의 다양성을 가지는 이유는 (1) 어떤 경우에 미각에는 많은 수용기 유전자를 가지고; (2) 하나의 음식 분자가 다양한 수용기들을 자극할 수 있고; 그리고 (3) 축삭수용기 그리고 온도수용기(TRP 통로), 후각수용기의 정보들이 미각수용기 정보와 통합되기 때문이다.

**요약 및 평가 44.3**

1. 다양한 종류의 기계수용기로 인해 촉각의 여러 다른 형태, 즉 날카로움, 압력, 진동, 가려움에 반응할 수 있게 되었다. 촉각수용기 적응의 다양한 속도는 자극을 사이에서 그것이 적절한 자극인지 아닌지를 구분할 수 있게 한다. 자세 유지 근육 같은 느리게 적응하는 기계수용기는 지속적인 정보를 제공한다. 빨리 적응하는 기계수용기는 변화하는 조건에 대한 정보를 제공하고, 또한 시간적 및 공간적 감각 능력을 개선한다.
2. 근방추 신경수용기 활성화는 그 근육에 운동뉴런의 활성을 증가시킨다. 근방추 신경수용기의 이런 기능적 유의성은 채워지는 유리잔을 잡고 있을 때처럼 근육에 부담이 수시로 변화되는 것을 지속해서 조절할 수 있게 한다. 골지힘줄기관의 활성화는 그 골지힘줄기관의 신장시키는 근육 내 활동을 억제한다. 여러분이 아주 무거운 물건을 들어 올리려 시도할 때처럼, 이것의 기능적 유의성은 근육이 나 인대의 손상을 막는 데 있다.

3. 소리 입력피의 다른 빈도수가 고막의 굽힘에 다른 빈도수를 초래하고, 그리고 이 움직임이 귀속뼈에 의해 증폭되어 림프액으로 가득 찬 내이 난원창 막의 진동으로 전달된다. 이 진동이 내이 림프액의 입력피를 생성한다. 이들 림프액은 전정계와 고실계 통로 안에 있는 기저막을 둘러싸고 있다. 이 기저막이 통로의 입구 부근에서 두껍고 멀리 안으로 들어갈수록 점차 얇아진다. 고실계 통로 안 림프액 내 다른 주파수를 가진 입력피는 각각 다른 위치에서 기저막을 진동시킨다. 털세포는 기저막 위에 위치하며, 그러므로 서로 다른 털세포 집합이 다른 주파수의 입력피동에 의해 활성화된다.

**요약 및 평가 44.4**

1. 겹눈은 이동을 감지하는 데 뛰어나다. 그 이유는 시야를 가로질러 이동하는 물체가 다양한 날눈을 활성화하기 때문이다. 하지만 날눈의 밀도는 물체의 고해상도 이미지를 얻는데는 충분하지 않다. 오히려 날눈은 시야를 픽셀화해서 나타낸다.
2. 광자가 로돕신 분자의 레티날 부위에 의해 포획되면, 트랜스듀신이라고 불리는 G 단백질을 활성화시키는 신호전달 연속반응을 개시하는 구조 변화를 일으킨다. 트랜스듀신은 막대세포에서 인산디에스테라아수분해효소(PDE)를 활성화한다. 암적응 상태에서, Na<sup>+</sup> 통로는 cGMP 분자에 의해 열린 상태를 유지한다. PDE가 cGMP를 분해해 Na<sup>+</sup> 통로를 닫히게 한다. 이들 통로가 닫히면 Na<sup>+</sup> 유입과 K<sup>+</sup> 유출 사이의 균형 변화로 인해 막대세포 수용기 전위가 과분극된다.
3. 막대세포와 여러 종류의 원뿔세포는 그들이 약간 다른 흡수를 가지고 있어서 서로 다른 분광학적 민감도를 갖는다. 흡신의 구조가 한 세포가 어떤 파장의 빛을 흡수하고 어떻게 이것에 부착된 11-시스-레티날을 활성화할 것인가를 결정한다.
4. 색을 구분하는 원뿔세포가 시각영역의 중심인 중심시목에 집중해서 분포하고 있기 때문에 여러분 사이의 주변부 영역에서는 색깔을 구분할 수 없다. 망막의 주변부에 풍부한 막대세포는 색을 구분하지 못한다.
5. 밝은 실외에서 희미한 불빛의 방으로 오면, 여러분의 광색소는 더 약한 빛의 수준에 반응하는 능력을 감소시키면서 탈색된다. 또한, 희미한 빛은 원뿔세포보다 감광도가 높은 막대세포에 더 의존해야 하지만, 막대세포는 원뿔세포처럼 촘촘하게 채워져 있지 않아 원뿔세포가 할 수 있는 만큼 고해상도 시각을 생성할 수 없다.

**그림 질문**

**그림 44.4** 봄비둘기는 먼 거리의 교배상대를 유인하는 기능을 가지므로 넓게 확산해야 한다. 영역표시 페로몬은 특정 장소를 표시하는 데 기여하므로 넓게 확산되지 않아야 한다. 따라서 영역표시 페로몬은 더 낮은 확산상수를 가졌다.

**그림 44.9** 귀가 양쪽으로 위치하고 있어서 소리의 방향성을 검출한다고 설명하는 몇 개의 기적이 있는데 (1) 소리가 더 크면 더 소리 근원에 근접한 귀이고, 마리가 그쪽에서 오는 소리의 그늘을 만든다. (2) 소리는 먼 쪽 귀보다 가까운 쪽 귀에 일찍 도착할 것이다. (3) 소리가 앞에서 혹은 뒤에서 오지 않는다면, 두 귀에 도달하는 음파 사이 불일치 주기가 있을 것이다.

**그림 44.13** 눈에서 비문증은 유리체 기질 안에 이상이 있다.

**자료 사용하기, 독사는 어둠 속에서 어떻게 ‘볼’ 수 있는가?**

1. 비단뱀 TRPA1 발현은 뱀뿔신경절(DRG)에서보다 3차신경 신경절(TG)에서 훨씬 많다. 반면에 쥐 뱀의 TRPA1 발현은 차이가 없거나 매우 낮다. TRPV1 발현은 비단뱀과 쥐 뱀의 어디에서나 TG와 DRG에서 강조할만한 차이가 없다.
2. TRPA1가 오목기관을 가진 뱀의 TG에서 극적으로 많은 발현을 하고 오목기관이 없는 뱀에서는 발현되지 않기 때문에, 이 데이터는 TRPA1이 오목기관의 기능에 중요한 구실을 한다는 결론을 지지한다.
3. TRPA1 통로단백질의 발현이 오목기관의 특징적 범위에서 유전자 발현 모델체계의 온도 감지능력을 부여한다면 이 결과는 오목기관 안에서 TRPA1 통로가 IR의 감지기관이라는 강력한 증거가 될 수 있다.

**영상 요약**

**핵심개념 44.1**

1. 차등막전위는 (뉴런이 활동전위를 발화한다면) 역치와 휴지전위 사이의 막전위이다. 이 차등막전위는 보통 수상돌기 위의 수용기단백질 위치 주변에 생겨나지만 퍼져나간다. 그래서 여러 수용기 단백질의 활성이 합체되고, 충분히 크다면 세포체로 퍼져 나가 활동전위를 유발한다.
2. 전기수용기는 전기적 전위에 즉각 반응하므로 빠른 반응을 만든다. 화학수용기의 반응들은 G 단백질의 활성화, 2차전달자의 활성화, 최종적으로 이온 2차전달자가 이온통로에 미치는 효과의 여러 화학적 단계를 포함한다.
3. 독사의 오목기관은 적외선에 민감한 높은 밀도의 온도 수용기를 가진다.

**핵심개념 44.2**

1. 비강 위쪽에 있는 후각망울 속의 시구체는 후각수용기 축삭의 말단이 시구체 뉴런의 수상돌기와 시냅스를 형성하는 장소이다.
2. 누에 수컷은 고도로 민감한 화학수용기로 덮여 있는 양방향 촉각을 가진다. 암컷으로부터 멀어지면 암컷의 페로몬 농도가 거리에 비례해 그 농도가 감소한다. 그래서 수컷 촉각이 항상 가장 페로몬 분자 가장 잘 반응할 수 있는 방향으로 틀어 날아가면, 페로몬을 내뿜는 암컷에게 도달할 수 있다.
3. 단맛은 G 단백질 연계 수용체에 의해 감지되어 이온통로를 제어하는 2차전달자 체계를 통해 작용한다. 반면, 짠맛은 단순히 Na<sup>+</sup>를 통과시키는 수용체 단백질에 의해 감지된다. 이 두 경우 모두에서, 생성되는 차등막전위가 신경전달물질을 수용기세포 기부에서 감각뉴런의 수상돌기로 분비하게 한다.

**핵심개념 44.3**

1. 루피니신경종말은 천천히 적용해 자극으로부터 그 활성을 연장할 수 있다. 그래서 이들은 빨리 연속되는 자극 사이를 구분하지 못한다. 파차니소체는 빨리 적용하므로 이들은 빨리 연속되는 자극 사이를 구분할 수 있다. 따라서 파차니 소체가 빠른 주파수의 진동을 감지하는 데 더 좋다.
2. 근방추의 운동뉴런에서 활동전위는 근방추 내 기계수용기를 늘어나게 해 감각신경의 활동전위를 일으킨다. 척수에서, 이 감각뉴런이 전체 근육의 운동뉴런과 시냅스로 연결되어 있어서 팔을 수축하고 펴게 한다.
3. 이석은 탄산칼슘 덩어리로 내이 안의 액체가 가득 찬 등근주머니(sacculle; 구형낭)와 타원주머니(utricle; 난형낭)라고 불리는 곳에 있다. 털세포의 입체섬모는 젤라틴 기질 안에 놓여 있다. 신체의 움직임이 바뀌거나 혹은 머리의 방향이 바뀌면 이석에 작용하는 중력으로 입체섬모를 굽혀지게 하고 그래서 몸의 균형을 유지하기 위한 정보를 제공하게 된다.

**핵심개념 44.4**

1. 막대세포의 휴지전위를 기록하는 전극은 빛에 반응해 과분극 반응을 보여줄 것이다. 막대세포의 바깥분절에서 일어난 과분극은 안쪽분절과 양극세포와 시냅스를 형성하는 축삭말단까지 확산될 것이다. 과분극은 막대세포가 방출하는 신경전달물질을 감소시켜 양극세포의 활성화에 영향을 미칠 것이다.
2. 여러분이 열쇠 구멍을 바로 보면, 그 이미지가 막대세포가 적고 원뿔세포가 많은 중심시목에 맺힌다. 원뿔세포보다 막대세포가 빛에 덜 민감하므로, 이미지의 질은 떨어진다. 여러분이 측면을 바라보면, 이미지는 막대세포가 높은 밀도로 존재해서 빛에 대한 민감도가 높은 중심시목의 바깥에 맺힌다.
3. 트랜스듀신은 척추동물 눈에서 망막이 빛을 흡수할 때 활성화되는 G 단백질이다. 이 활성화된 G 단백질은 cGMP를 GMP로 변환시키는 인산디에스테라아수분해효소를 활성화한다. 막대세포의 Na<sup>+</sup> 통로단백질이 cGMP 존재로 인해 항상 열려있었는데, 이것이 GMP 전환됨으로써 통로단백질은 불활성화되어 닫히며, 막대세포의 막전위는 더욱 음성이 된다.

**45장**

**요약 및 평가 45.1**

1. a. 독사를 본 의식각각(구심성) 자극은 위협으로부터 도망가게 하도록 다리 근육(원심성 출력)에 주어진 중추신경계의 자발적인 명령을 촉진한다.
- b. 막 구운 빵 향기의 의식적 감각자극은 자율적인 침 분비반응과 위 활동 증가를 촉진한다.
- c. 혈압 감소의 무의식적 자극은 심장박동 증가를 위한 무의식적 명령을 초래할 수 있다.
2. 읽기와 언어에 대한 연합피질 영역은 후두엽 피질 내의 시각영역과 측두엽 피질에 청각영역 사이에 위치한다. 읽기는 말한 언어의 청각적 형태로 시각적 영상의 해석을 통합한다.
3. 2점 식별검사로 피부의 기계수용기의 밀도를 확인한다. 밀도가 낮으면 자극의 두 지점이 감지기의 밀도가 더 높았을 때보다 멀리 떨어져 있어야 2개의 개별 자극으로 감지된다. 이 검사는 감지기 밀도가 높은 피부 부위가 체감각피질의 더 큰 부위로 나타나며, 감지기 밀도가 낮은 피부 부위의 경우 그 반대로 나타난다.
4. 사람의 피질 용량을 다른 포유류와 비교하는 것은 단순히 뇌의 크기만 가지고 할 수 없는데 그 이유는 사람의 피질이 고도로 주름져 있어서 더 큰 면적을 가지기 때문이다. 사람의 넓은 피질은 피질 용량을 증가시키는 연합 기능에 기여한다. 전체적인 뇌 크기가 더 큰 것을 제외하고, 전뇌의 상대적 크기는 다른 포유류보다 사람에서 더 크다. 사람의 뇌에서 가장 큰 차이점은 대뇌피질의 전체 면적이 넓다는 것인데, 이는 대뇌피질이 접혀 있기 때문이다. 많은 이량과 고평은 다른 포유류의 덜 복잡한 뇌와 비교하여 피질 영역을 크게 확장시키고 따라서 피질의 용량을 크게 확장한다.

**요약 및 평가 45.2**

1. 목의 왼쪽에 칼로 난 상처는 그쪽 신경절의 교감신경계 연결을 손상할 수 있다. 그리고 이것이 왼쪽 눈의 동공에 분포한 교감신경의 신경절전 뉴런과 신경절후 뉴런 사이의 연결을 파괴해서 동공을 확장할 수 있다.
2. ANS는 심박수와 소화 활동에 반대 효과를 가지고 있다. 부교감신경 입력은 심박수를 늦추고 소화 활동을 빠르게 한다. 교감신경 입력은 심박수를 빠르게 하고 소화 활동을 느리게 한다.
3. 망막에 떨어지는 작은 빛의 반점은 수용장의 중심만을 자극하는 반면, 더 큰 빛의 반점은 수용장의 중심과 주변 또는 수용장의 주변을 모두 자극한다. 서라운드 효과는 중심효과보다 약하고, 이 둘은 결합한 신경절세포에 반대 효과를 주기 때문에 망막의 같은 부위에 떨어지는 큰 점보다 작은 점이 더 큰 효과를 낼 수 있다.

**요약 및 평가 45.3**

1. REM 수면 중 골격근의 마비는 꿈을 실현하는 것을 방해한다. REM 수면 동안 피질이 활성화되어 꿈을 꾸게 되고, 이것은 노골적인 행동을 하게 할 수 있지만, 운동 출력의 마비가 이를 막는다.
2. 뇌량이 절단된 사람은 왼쪽 시야를 포함하여 완전한 시야를 갖게 되지만, 왼쪽 시야에서 나온 정보는 오른쪽 시각 피질로 간다. 절단된 뇌량은 왼쪽 대뇌에서 편중된 언어 기능에 대한 접근을 차단하므로, 이 사람은 자신의 왼쪽 시야에 있는 무언가를 말로 설명할 수 없을 것이다. 그는 물체를 그리거나 그에 맞는 그림을 선택하여 물체를 식별할 수 있다.
3. H.M.의 경우는 해마 또는 더욱 일반적으로 뇌의 중간 측두엽이 서술기억을 획득하는 데 필수적이라는 것을 보여준다

4. 사람의 섭업은 신체의 생리적 상태, 신체의 항상성 상태, 그리고 개인의 사회적 관계에 대한 여러 가지 정보를 받는다. 이 정보는 미래에 투영될 수 있거나 과거의 사건, 즉 의식에 필수적인 기능과 관련된 자기 인식을 가능하게 하는 자아 인식을 만들기 위해 통합될 수 있다.

**그림 질문**

**그림 45.1** 혈액순환을 통해 호르몬은 중추신경계에 도달한다. 신경호르몬은 신경세포에 의해 간질액에 분비되고 그곳에서부터 지역적으로 확산하거나 혈액으로 들어간다.

**그림 45.8** 공공장소에서 말할 때처럼 개인이 스트레스를 받을 때 교감신경계가 활성화되고 (싸움-도피 반응), 그리고 이것이 침삼의 활성을 억제한다.

**그림 45.9** 각 눈의 맹점은 시신경을 형성하기 위해 망막에서 나가는 신경절세포의 축삭이 있는 망막상의 지점에 상응한다.

**자료 이용하기, 위치세포가 잠자는 동안의 기억강화 과정들을 보여준다**

1. 9개 가능성에서 6개 원자로 구성된 세포들 전 조합으로부터 하나의 조합이 나올 가능성이 9개 세포의 무작위적 발사로부터 나올 것에 대한 이것 서열의 가능성이 1차 확률 합수이다. 그것은  $1/(9 \times 8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4) = 1/60,480 = 1.6 \times 10^{-5}$ 이다. 그 후 순서를 위해, 이것이 맞는 순서일 확률은 6개 원소에서 하나의 가능한 맞는 순서는  $6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1$  가능한 조합 중에 혹은  $1/720$ 로 계산되므로 확률은  $1.4 \times 10^{-3}$ 이다. 따라서 9개로부터 특이 6개 요소가 기록될 확률은  $2.24 \times 10^{-7}$ 이다.
2. 적당한 순서에 이 순열로 네 요소가 기록될 가능성은  $1/(9 \times 8 \times 7 \times 6) = 1/4,698 = 2.1 \times 10^{-4}$ 이고 적당한 순서에 이들 네 요소를 가질 확률은  $1/240$ 이다. 그러므로 9개 중 4개 요소가 특별한 순서로 기록될 가능성은  $2.1 \times 10^{-4} \times 0.042 = 0.88 \times 10^{-3}$ 이다.
3. 이들 기록 둘 다 가능성이  $< 0.01$ 이므로, 유의하게 매우 낮은 확률로 생각된다.
4. 수면 동안 순차적 기록의 시간 단위는 쥐가 미로를 달릴 때 깨어 있을 동안 순차적 발생보다 5배 빨리 일어난다.

**영상 요약**

**핵심개념 45.1**

1. 배아 전뇌에서 발생한 성인의 대뇌, 시상, 시상하부, 변연계가 뇌의 주요 구조물이다.
2. 발보다 손의 감각을 더 많이 대응한다. 이것은 체감각수용기 밀도가 발보다 손에 더 높아서 손이 자극을 더 세밀히 구분할 수 있다는 의미이다.
3. 전두엽은 운동의 조절, 개인적 특성, 그리고 미래 계획을 관장한다. 두정엽은 체감각을 받고 처리한다. 측두엽은 소리 정보를 받고 처리한다. 후두엽은 시각정보를 받아 처리한다. 섬엽(피질)은 모든 체감각을 통합해 자신을 인식하는 데 기여한다.

**핵심개념 45.2**

1. 교감신경과 부교감신경 사이에 세 가지 차이점이 있다: 해부학적으로 부교감신경은 뇌와 척추 척수에 신경절전 뉴런 세포체가 있고 경추, 흉추, 요추 척수에서는 교감신경계 경로가 존재한다. 신경절 후 뉴런 세포체의 위치가 부교감신경계 경로에서는 신경이 분포하는 기관들 가까이에 있다. 반면 교감신경은 신경절 자체가 척추 뼈대 가까이에 위치한다. 신경절후 신경전달물질이 부교감 경로에서는 아세틸콜린이고, 교감 경로에서는 노르에피네프린이다.
2. 광수용기는 원뿔세포와 막대세포이며, 이들은 빛을 양극세포의 신경전달물질 분비에 변화를 초래하는 신경 신호로 바꾼다. 양극세포는 광수용기로부터 신호를 받아서 신경절세포에 정보를 교류한다. 양극세포에서 온 신호는 신경절세포를 통해 뇌로 전달한다. 수평세포는 간상세포와 양극세포 짝들 간에 활성을 조절한다. 무축삭세포는 그들의 신경절 세포와 이웃한 양극세포들 사이의 활성을 조절한다. 광수용기는 막대세포와 원뿔세포이며, 이들은 양극세포로 방출되는 신경전달물질의 변화로 구성된 신경신호로 빛을 전환한다. 양극세포는 광수용기로부터 입력을 받고 그 정보를 신경절세포에 전달한다. 신경절세포는 양극세포로부터 받은 정보를 뇌로 전달한다. 수평세포는 인접한 막대세포와 양극세포 쌍 사이의 활성을 조절한다. 무축삭세포는 인접한 양극세포와 이들의 신경절세포 사이의 활성을 조절한다.
3. 양안시각은 좌우 시야가 모두 각 시각피질에서 제시된다는 사실에 기인하는데, 이는 일부 개별 피질세포가 양쪽 눈의 입력을 받기 때문에 발생한다. 그러나 시야에서 물체의 상이 양쪽 망막에 떨어지는 위치는 망막의 거리가 얼마나 되느냐에 달려 있다. 따라서 시각피질의 어떤 세포가 시야의 어떤 점에 온 양안 입력을 수용하는지는 그 거리에 따라 달라진다. 양안피질뉴런이 활성화되는 간격은 거리에 대한 정보를 제공한다.

**핵심개념 45.3**

1. REM 수면 동안 피질 뉴런은 상대적으로 탈분극되고 (그러므로 활성화될 수 있음) 비REM 수면 동안 과분극된다. EEG 기록은 REM 수면 동안 파동이 빠르고 낮은 진폭을 보이고, 비REM 수면에선 느리고 높은 정도의 파동을 나타낸다. 피질이 덜 활성화된 비REM 수면 동안 몸을 움직일 수 있어서 심하면 몽유병 질환을 보이기도 하지만, REM 수면에서는 피질이 활성화되고 골격근이 불활성화되어서 꿈의 행동이 일어나지 않는다.
2. H.M.이 연상으로 절차기억을 획득할 수 있었지만, 실행한 일을 전혀 기억하지 못하는 것은 해마가 아닌 두뇌의 다른 부위가 절차기억을 형성하고 강화한다는 사실을 보여준다.
3. 섬엽은 신체의 전 영역에서 생리적 조건들에 대한 정보를 받는다. 이것은 또한 갈증, 허기, 체온과 같은 항상성 조건에 대한 정보도 받는다. 사람의 경우 이 섬엽은 사회적 행동과 감정에 의해서도 활성화된다. 섬엽에 의해 통합되는 많은 다양한 정보의 형태로부터 유추된 가설은 여기가 자아 인식을 만드는 뇌 부위라는 것이다.

**46장**

**요약 및 평가 46.1**

1. 근절은 Z선에 의해 구분되고, 액틴과 마이오신 필라멘트의 중첩으로 구성된다. 액틴 필라멘트는 Z선에 고정되어 있고, 근절의 중앙까지 확장되지 않는다. 마이오신 필라멘트는 근절의 중앙에 있는 M띠에 고정되어 있지만 Z선까지 확장되지 않는다. 따라서 액틴과 마이오신 필라멘트가 중첩되지 않는 지역이 있다(에: I띠 및 H대). 근육, 즉 근절이 수축하면 마이오신 필라멘트는 액틴 필라멘트를 따라 Z선을 향해 움직인다. 결과적으로 띠는 좁아진다. 동시에 액틴 필라멘트는 M띠로 가깝게 움직이고, 따라서 H대는 좁아진다. A띠는 마이오신 다발의 전체 길이를 확장시키고 그 길이는 변화하지 않는다.
2. 트로포닌의 한 소단위체는 트로포마이오신 필라멘트에 고정된다. 또 다른 트로포닌의 한 소단위체는 액틴 필라멘트에 결합한다. 마지막 한 소단위체는  $Ca^{2+}$ 와 결합한다. 트로포닌 소단위체에  $Ca^{2+}$ 가 결합하면, 트로포닌의 구조적 변화를 일으키고 결과적으로 트로포마이오신 필라멘트를 액틴의 마이오신 결합 부위로부터 떨어뜨린다. 액틴-마이오신 결합은 근절의 수축을 일으킨다.
3. 사후경직은 액틴-마이오신 교차결합을 끊기 위해 요구되는 ATP의 부족 때문이다. 사망 시 호흡과 순환의 중단으로 인해 근육은 혈액으로부터 산소와 포도당을 얻지 못하고, 산화적 대사를 통한 ATP의 생산이 중단된다. 하지만 일부 ATP는 혐기성 대사에 의해 계속 생산될 수 있으며, 대부분의 포도당을 가지는 근육은 혐기성 대사를 오래 유지할 수 있다.
4. 아세틸콜린 에스터기수분해효소를 파괴함으로써, 밀라티온은 운동중편에서 방출되는 아세틸콜린의 분해를 방지하고, 결과적으로 근육세포 운동중편의 지속적이고 과도한 활성화가 일어난다. 활동전위는 근육 세포막에서 계속 형성되어  $Ca^{2+}$ 가 근형질로 방출되고 액틴/마이오신 교차결합 형성의 활성이 지속된다.
5. 간극연접은 심장근 혹은 평활근의 단면이 한 단위로 수축할 수 있도록 한다. 이는 심근세포가 모두 혈액을 펌프질할 수 있게 하거나, 평활근세포가 소화관을 통해 음식을 이동시키는 것과 같은 통일된 기능을 가능하게 한다. 골격근섬유의 개별적 제어는 복잡한 움직임에서 미세한 제어가 가능하게 한다.

**요약 및 평가 46.2**

1. 골격근은 많은 근섬유로 구성된다. 각 근섬유는 운동단위를 구성하는 하나의 운동뉴런에 의해 자극되지만, 하나의 운동뉴런은 다수의 근섬유와 사냅스를 형성할 수 있다. 신경계는 하나의 운동단위에서 활동전위의 빈도를 바꿀 수 있으며, 동일한 근육에서 활성화된 운동단위의 수를 증가시킬 수 있다.
2. 자세 유지근은 오랫동안 지속해서 수축해야 하지만, 일반적으로 빠르고 강력한 운동에는 사용되지 않는다. 단거리 달리기 위한 근육은 최대 장력을 빠르게 생성해야만 하고 그래서 속근섬유의 비율이 높다.
3. 단거리 달리기 위한 에너지 공급원은 주로 이미 형성된 ATP와 크레아틴 인산에서 비롯되며 여기에 일부는 해당에서 비롯한다. 이러한 ATP는 신속하게 동원된다. 더 긴 10 km 달리는 산소의 수송 및 더 많은 효소 활성이 필요한 산화적 대사를 통한 ATP의 합성을 요구한다. 그러므로 ATP의 느린 공급원은 높은 작업량을 유지할 수 없다. 마라톤과 같은 장시간 운동은 이용할 수 있는 글리코젠과 같은 에너지 공급원을 모두 소모하므로 이때 육산산수는 지방 대사에 의존할 수밖에 없다.

**요약 및 평가 46.3**

1. 절지동물은 외골격을 가지며 그들의 외골격의 허물벗기(탈피) 없이는 성장할 수 없다.
2. 우주비행사는 뼈 질량을 잃기 때문에 파골세포의 활성이 증가하거나, 조골세포의 활동이 감소했다고 가정하는 것이 타당하다. 이러한 변화는 뼈의 체중 부하 스트레스의 부족에 대한 반응으로 그들의 뼈세포의 변화된 활동으로 유도될 가능성이 있다.
3. 관절이 짐팔에 비해 큰 힘팔을 가지면 큰 압력을 생성할 수 있다. 힘팔이 짐팔에 비해 짧다면, 짐팔의 끝은 매우 빠르게 먼 거리를 이동시킬 수 있지만, 더 큰 압력을 가할 수는 없다. 따라서 턱관절의 큰 힘팔 대 짐팔의 비는 턱이 짧은 거리에 큰 압력을 가할 수 있지만, 반면에 팔꿈치의 작은 힘팔 대 짐팔의 비는 먼 거리를 빠르게 움직일 수 있지만 큰 압력을 가하는 것은 불가능하다.

**그림 질문**

**그림 46.4** 운동뉴런이 하나 또는 몇 개의 섬유만을 자극한다면, 그 섬유는 미세한 운동에 사용된다. 단일 운동뉴런이 많은 근육의 근섬유를 자극한다면, 강하고 힘 있는 움직임을 명령할 수 있다.

**그림 46.6** ATP의 역할은 (1) 세포막을 가로지르는 이온 기울기 형성, (2) 액틴-마이오신 결합을 끊고 마이오신 머리의 '재장전'하며, (3)  $Ca^{2+}$ 를 근형질에서 근소포체로 이동시키는 것이다.

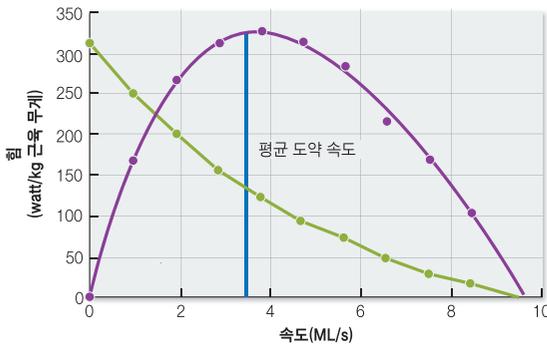
**그림 46.11** 역도 챔피언은 높은 비율의 속근섬유로 된 근육을 가질 것이다.

**그림 46.13** 곡선의 기울기는 활동을 지원하는 ATP를 공급하는 기작 과정의 시간 경과에 영향을 받는다. 높은 수준의 근육 수행의 처음 10~20초는 형성되어 있는 ATP와 CP에 의해 지지되기 때문에 ATP와 CP의 추가적인 생산이 필요하지 않다. 해당에 의한 ATP의 생성은 ATP를 빠르게 생산하지만 많은 양을 생산할 수 없고, 따라서 산화적 대사에 의한 ATP의 생산이 점차 증가하고 있음에도 불구하고, 격렬한 운동을 시작한 지 1분만에 수행 속도가 떨어진다. 산화적 대사는 더 효율적이고 지속 가능한 ATP의 생산자이지만, 해당보다 더 많은 생화학적 반응을 포함하기 때문에 빠르게 진행될 수 없다. 또한, 미토콘드리아로의 산소 전달 때문에 제한되므로 지속적인 수행의 속도가 더 내려간다.

**그림 46.21** 무릎관절은 3중 지렛대이다.

자료 이용하기, 개구리의 도약 근육을 위한 최적의 준비 자세는 무엇인가?

1.



- 2. 도약은 50 ms가 소요되며(그림 B 참고), 근육 길이의 단축은 7.5 mm/33.6 mm = 0.22 ML이다. 따라서 근수축 속도는 ML/sec = 0.22/0.05 sec = 4.40이다.
- 3. 도약근이 내는 힘은 관찰된 평균 도약속도에서 최대이다.

자료 이용하기: 열은 근육의 피로를 유발하는가?

- 1. 운동 능력이 냉각과 함께 증가한다면 열 출력이 더 많은 일을 가능하게 하는 것, 달리 말하면 운동 능력을 제한하는 근육 피로를 감소시키는 것을 의미한다.
- 2. 냉각은 이전 운동과 비교하여 각 운동에 대한 작업량을 증가시켰으며, 시간이 지남에 따라 냉각을 사지 않는 것보다 냉각시키는 쪽이 용량의 변화율이 더 컸다. 이러한 변화율의 차이는 작업량의 증가(그림 A)에 따라 훈련 속도가 증가한다는 것(그림 B)을 나타낸다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 46.1

- 1. T세관의 활동전위는 T세관 세포막에 존재하는 DHP 수용체의 구조를 변화시킨다. DHP 수용체는 생리적으로 근소포체의 리아노딘 수용체에 붙어 있다. DHP 수용체의 구조 변화는 리아노딘 수용체의 Ca<sup>2+</sup> 통로를 개방하고 근형질로 유입되는 Ca<sup>2+</sup>가 트로포닌에 결합하여 근육이 수축하게 된다.
- 2. 골격근은 액틴-마이오신 결합을 파괴하고 마이오신 머리의 '재장전'을 해서 또 다른 액틴과의 상호 작용을 위해 ATP가 필요하다. 사후에 ATP합성은 중단되고 사용 가능한 ATP는 소모된다. 결국 이 미 형성된 액틴-마이오신 교차결합은 끊어질 수 없고 결국에는 근육이 경직된다.
- 3. 구조적 차이점:
  - a. 골격근 세포는 다핵체이고 심장근 및 평활근 세포는 단핵체이다.
  - b. 골격근과 심장근 세포는 줄무늬이고 평활근은 그렇지 않다.
  - c. 심장근 세포는 분지되어 있으나, 골격근과 평활근 세포는 분지되지 않는다.

핵심개념 46.2

- 1. 단거리 선수는 속근섬유의 비율이 높고 크로스컨트리 선수는 저근섬유의 비율이 높다.
- 2. 고지방 식단에서 1마일 경주 선수는 역도선수보다 경기를 임하는 데 있어서 에너지 부족을 유발한다. 역도선수는 경기를 수행하는 데 있어서 미리 형성된 ATP와 CP에 의존하나 1마일 경주선수는 중거리 경기에 있어서 주 에너지원으로 근육에 저장된 글리코겐을 요하는 호기성 대사에 의존한다. 고지방 식단의 경우, 역도선수보다 달리기 선수의 경기력 저하가 더 클 것이다. 역도선수는 성능을 위해 미리 형성된 ATP와 CP에 의존하지만, 달리기 선수는 유산소 대사에 더 의존하기 때문에 중거리 달리기 위한 주요 연료 공급원으로 근육 글리코겐이 필요하다.
- 3. 근육의 최대 신장에서 액틴과 마이오신 섬유의 최소 중첩이 일어나기에 교차결합이 더 적을수록 최대 수축을 형성할 수 있다.

핵심개념 46.3

- 1. 지렁이의 체절화는 어떤 체절이 짧아지고 불룩해지면 다른 체절이 길어지고 얇아지게 만들 수 있다. 그러므로 불룩해진 체절은 지렁이를 고정화시킴과 동시에 길어지고 얇아진 체절은 지렁이를 전진하게 만든다.
- 2. 사람의 두개골은 뼈끝판으로 나누어져 뇌가 발생하는 동안 확장될 수 있다. 이 뼈끝판이 결합하게 되면 더 이상의 뇌 크기의 확장이 불가능하게 된다.
- 3. 위쪽 다리과 아래쪽 다리에서 짐팔 대 힘팔의 비는 공에 얼마나 많은 힘을 전달할 수 있을지를 결정한다. 짐팔 대 힘팔의 비율이 낮을수록 더 큰 힘을 작용할 수 있다. 그러므로 단신의 키커는 장신의 키커보다 더 강한 힘을 전달할 수 있다.

47장

요약 및 평가 47.1

- 1. 해수면에서는, 정상 대기압이 760 mmHg이고, 산소분압은 이것의 20.9%, 159 mmHg이다. 그러므로 2,000 m에서 산소분압은 127 mmHg이다. 그 대기압의 2배에서 호흡할 때, 산소 분압은 318 mmHg이다.
- 2. 편형동물은 편평하고 얇은 몸 모양을 가지고 있어서 모든 체세포가 환경과 체세포 사이에 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>가 직접적인 확산이 가능할 만큼 주변 환경과 충분히 가까이 위치한다. '픽의 법칙'의 두 요소가 해부학적 특징에 반영된 것은 최소한의 행로 길이와 확산을 위한 큰 표면적이다.
- 3. 수온이 높아지면 물의 산소 성분은 감소하지만(온도의 증가에 따라 O<sub>2</sub> 용해도가 감소함), 수온과 물고기 체온 사이의 균형을 유지하므로 물고기의 물질대사는 증가한다(Q<sub>10</sub> 효과). 그러므로 물고기는 필요한 산소를 만족시키기 위해 아가미의 환기를 증가시켜야 하고, 아가미 환기를 위한 일은 O<sub>2</sub> 요구를 더욱 증가시킨다.
- 4. 해수면에서 높은 고도로 올라가면, 들이마신 공기 중 산소 분압이 감소하므로, 몸 안으로 확산해 들어가는 O<sub>2</sub> 분압도 감소한다. 해수면에서 CO<sub>2</sub> 분압이 매우 낮고 높은 고도에서도 CO<sub>2</sub> 분압은 유의하게 감소하지 않는다. 그러므로 CO<sub>2</sub>가 몸 밖으로 빠져나가는 분압기울기는 거의 변하지 않는다.

요약 및 평가 47.2

- 1. 아가미의 환기(물)와 관류(혈액)가 한 방향(동류)이면, 들어오는 혈액의 산소 농도와 들어오는 물의 최대 O<sub>2</sub> 농도 사이에 어떤 지점까지 아가미를 가로지르는 산소 농도기울기가 점차 평형을 이룬다. 혈류 흐름에서, 아가미에서 나오는 혈액의 O<sub>2</sub> 농도가 거의 아가미로 들어오는 물의 O<sub>2</sub> 농도만큼일 수 있다.
- 2. 조류 폐의 중요한 특징은 폐에 공기를 한 방향으로만 흐르게 하는 부기관자이다. 흡기 시 들어 온 공기는 뒤쪽 공기주머니로 간다. 다음 호기 동안 이 신선한 공기가 부기관자를 흐른다. 이어지는 흡기에서 신선한 공기가 뒤쪽 공기주머니로 가는 동안 폐의 공기를 앞쪽 공기주머니로 흘러가게 한다. 이어지는 호기에서 뒤쪽 공기주머니의 공기가 폐로 들어오는 동안 앞쪽 공기주머니를 비운다. 그래서 부기관자를 관통하는 것과 공기주머니의 풀무작용으로 인해 공기는 조류 폐를 계속해서 한 방향으로만 통과한다.
- 3. 이 계에서 혈류의 양은 같지만, 유량계와 폐에 균등하게 분배된다. 그래서 시작 시 혈류 총량은 0.05 × 30 L = 1.5 L이다. 마지막 혈류의 총량도 1.5 L이지만, 30 L + 개인의 FRV에 나누어져 있다. 따라서 1.5 L = 0.046 × (30 L + FRV)  
1.5 L = 1.38 L + 0.046FRV  
0.12 L = 0.046FRV  
2.61 L = FRV

요약 및 평가 47.3

- 1. 리플라스 법칙은 큰 폐포보다 작은 폐포를 부풀리는데 더 많은 입력이 필요하다는 것을 말해주므로, 숨쉬기가 가장 큰 폐포만 선호해서 부풀릴 수 있다. 폐포 내벽을 덮고 있는 액체의 표면장력이 폐가 부풀어 오르는 것을 막는 주요 요인이다. 폐의 계면 활성제 고유한 특성은 큰 폐포보다 작은 폐포의 표면장력을 더 크게 줄여서 다양한 크기의 폐포를 부풀리는 데 필요한 입력을 갈게 만든다는 점이다.
- 2. 폐조직이 안으로 당기는 힘과 흉벽이 밖으로 미는 힘 때문에 흉막 사이에는 항상 장력이 존재한다. 이러한 장력이 폐를 호흡 중간에도 부분적으로 부풀어 있게 유지한다. 흉벽에 구멍이 나면, 공기가 흉막 사이 공간에 들어가게 하므로, 흉막 사이의 압력이 대기압과 같아진다. 그 결과 폐의 부분적인 팽창을 유지하는 힘이 더 이상 존재하지 않는다.
- 3. 흉막 사이의 장력은 흡기 정점에서 가장 큰데 그 이유는 폐조직이 최대한 확장하기 때문이다. 하지만 폐가 채워지면, 공기의 흐름이 중단되고 폐포 압력이 대기압과 같아진다.

요약 및 평가 47.4

- 1. 사강(dead space)에서 혼합되므로, 폐포에서 최대 P<sub>O<sub>2</sub></sub>가 약 100 mmHg이고, 헤모글로빈이 이 P<sub>O<sub>2</sub></sub>에서는 완전하게 포화될 수 있다. 혼합된 정맥혈이 75% 포화되어 심장으로 되돌아온다는 사실은 이 혈액이 대사적으로 매우 활성을 나타내는 조직을 통과하면, 국소적인 높은 산소 요구를 충족할 만큼 방출해주는 산소 저장소를 가졌다는 것을 의미한다.
- 2. 저장된 혈액의 1,3-BPG 농도가 감소할 때 1,3-BPG로부터 변화되어 생성할 수 있는 2,3-BPG 농도도 감소한다. 그 결과 헤모글로빈-산소 결합/해리곡선도 왼쪽으로 이동한다. 따라서 O<sub>2</sub>가 더 강력하게 헤모글로빈과 결합하며, 호흡하는 세포가 이용할 산소가 방출되지 않는다.
- 3. CO<sub>2</sub>가 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 거쳐 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 전환되는 과정은 생성물과 반응물 농도에 의존하는 가역반응이다. 호흡 조직에서 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 높고, 이것이 적혈구에서 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 전환되는 반응을 추진한다. 중탄산 염은 Cl<sup>-</sup>와 역수송을 통해 혈장으로 이동한다. 폐포에서, P<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 낮으므로 전체 반응이 반대로 진행된다. 이것은 적혈구 밖으로 CO<sub>2</sub>가 확산되면 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 적혈구 안으로 돌아온 뒤 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 거쳐 CO<sub>2</sub>로 전환됨을 의미한다.

**요약 및 평가 47.5**

1. 조수호흡을 하는 동안, 연수의 등쪽 호흡 그룹에 있는 호흡운동뉴런의 정상적 주기적 발화 형태가 횡격막의 근수축을 추진한다. 호흡 기체교환의 수요가 증가하면, 먼저 등쪽 호흡 그룹에서 발화의 진동 패턴 속도가 증가하지만, 수요가 증가하면 배쪽 호흡 그룹이 합세하여 이들 뉴런이 각 호흡에서 기체교환의 부피를 증가시키는 늑간근수축을 추진한다.
2. 높은 고도에 올라가면, 대기압이 감소함에 따라 O<sub>2</sub>의 확산기율기 역시 감소한다. 그러나 CO<sub>2</sub> 확산 기율기는 변하지 않는다. 대기 중 CO<sub>2</sub>는 해수면에서 거의 0에 가깝고 높은 고도에서도 마찬가지이다. 그러므로 O<sub>2</sub> 수요를 충족시키는 호흡은 해수면에서보다 더 큰 CO<sub>2</sub> 손실을 초래한다. CO<sub>2</sub>가 주된 호흡 자극제이므로 호흡은 느려지거나, P<sub>CO<sub>2</sub></sub>가 호흡을 자극할 수 있는 수준으로 돌아올 때까지 호흡은 중지된다.
3. 목동맥소체와 대동맥소체는 높은 대사율을 가지므로, 혈류가 감소하거나 혈액의 P<sub>O<sub>2</sub></sub>가 감소하였기 때문에 O<sub>2</sub> 공급의 감소로 이들의 대사율은 약화된다.

**그림 질문**

**그림 47.6** 물의 흐름이 증가하거나 혈액의 흐름이 감소하면, 같은 방향으로 기체교환하는 기관에서 최대한 혈액을 포화시키는 것이 가능했을 것이다. 그러나 이 교환은 역류교환보다 덜 효율적인 것이다.

**그림 47.10** 만약 23개 가지가 기관지에 있다면 각각은 2개의 새로운 기관지를 만들기에 전체 기관지의 숫자는 223, 또는 8,388,608이다.

**그림 47.13** 100 mmHg의 P<sub>O<sub>2</sub></sub>에서는 헤모글로빈이 완전히 포화되지 않는다.

**자료 이용하기, 폐의 환기 측정하기**

1. 헬륨은 호흡계에 의해 흡수되지 않기 때문에 것처럼 공기 저장소로부터 숨쉬기 후에도 헬륨의 양은 일정하지만, 환자의 기능적 잔기량(FRV)과 공기 저장소에 나누어져 분포한다. 헬륨 희석법을 이용해, FRV를 계산할 수 있다.
 
$$0.050 \times 30 \text{ L} = 0.044(30 \text{ L} + \text{FRV}), 5 \text{ L} = 1.32 \text{ L} + 0.044 \times \text{FRV}(1.5 - 1.32)/0.044 = \text{FRV} = 4.1 \text{ L}$$
 호기예비용적 1.5 L를 뺀 2.6 L가 잔기량이다.
2. 조수호흡 동안 증가한 FRV와 매우 큰 잔기량에 정체된 공기로 인한 폐포 내 P<sub>O<sub>2</sub></sub>의 심각한 감소 때문에 환자는 항상 숨이 차다.

**자료 이용하기, 물뿜은 호흡정지 잠수의 험피어이다**

1. 정맥에서 O<sub>2</sub> 가용량: 전체 정맥 혈액 = 355 kg × 0.148 × 0.66 = 34.7 kg  
총 정맥 헤모글로빈 = 34.7 kg × 0.58 × 0.24 = 4.8 kg  
정맥 내 총 O<sub>2</sub> 가용량 = 4.8 kg × 1.34 L/kg × 0.9 = 5.8 L
2. 마이오글로빈에서 O<sub>2</sub> 가용량: 마이오글로빈 총량: 355 kg × 0.33 × 44 g/kg = 5.2 kg O<sub>2</sub>가 결합한 마이오글빈: 5.2 kg × 1.34 L/kg = 7 L
3. 2.5 L + 5.8 L + 7.0 L = 15.3 L
4. 최대 수면 기간 = 총 산소 저장량을 수면 시 대사율로 나눈다. 그러므로 15.3 L를 수면 시 대사율인 0.0035 L/kg/분 × 355 kg로 나누면, 15.3 L/1.24 L/분 = 12.3분이다. 이것은 관찰된 수면 시간인 13.5분과 비슷하다.
5. 전반적인 잠수 대사율을 4.5 mL O<sub>2</sub>/분 kg로 가정하면, 최대 잠수시간은 15.31/(0.0045 mL O<sub>2</sub>/분 × 355 kg) = 10분으로 이는 관찰된 잠수시간보다 작다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 47.1**

1. 고도를 높이면 O<sub>2</sub>가 호흡 교환이 일어나는 막을 가로질러 혈액 속으로 확산하도록 추진하는 분압 기율기가 감소한다. 그러나 고도가 높아진다고 해서 혈액 밖으로 나오는 CO<sub>2</sub>의 분압 기율기는 변하지 않는데 그 이유는 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>가 이미 해수면에서 매우 낮기 때문이다.
2. 물은 리타당 용존산소량이 매우 낮아서 공기보다 나쁜 호흡 기체교환 매질이다. 호흡기체는 공기보다 물에서 확산 속도가 느리며, 물은 공기보다 밀도와 점성이 높아 환기 시 더 많은 에너지가 필요하다.
3. 수온이 상승하면 Q<sub>10</sub>의 효과로 물고기의 대사율이 올라가지만, 물의 산소 용해도는 감소하므로 이용할 수 있는 산소도 감소해 물고기는 아가미를 더 많이 환기해야 한다. 따라서 O<sub>2</sub>에 대한 수요가 늘어난다.

**핵심개념 47.2**

1. 물과 혈액이 각각 아가미의 위와 내부에서 역류할 때, 모든 위치에서 O<sub>2</sub> 확산을 위한 물에서부터 혈액으로의 기율기가 존재한다. 거의 완전히 산화된 혈액이 아가미를 떠나려고 할 때, 그 혈액은 여전히 더 높은 O<sub>2</sub> 함량을 가진 물과 마주친다. 만약 같은 방향으로 흐른다면, 물과 혈액의 흐름은 중간 O<sub>2</sub> 농도에서 평형을 이루게 될 것이다.
2. 부기관지는 서로 다른 위치에서 폐에 들어오고 나가기로, 폐를 통과하는 공기가 한 방향으로 흐르게 한다. 기관지는 폐에 들어오고 나가는 곳이 분리되지 않아서 같은 통로를 통해 공기가 들어오고 나가기 때문에 폐의 일방향 환기는 불가능하다.

3. 폐활량(VC)은 호기예비용적(IRV), 1호호흡량(TV), 호기예비용적(ERV)를 더해서 직접 측정할 수 있다. 폐의 전체 용적은 VC와 잔기량(RV)을 합한 것이다. 헬륨희석법을 사용하여 RV를 계산할 수 있다. 꾸준한 조수환기를 하며 연구 대상을 쉬게 하라. 호기 끝에, 연구 대상을 알려진 부피의 공기와 알려진 농도의 헬륨(He)이 들어있는 용기 속 공기를 호흡하게 한다. 몇 번 숨쉬기를 한 후, 연구 대상을 호기 끝에 실내 공기를 마시게 한다. 용기 속에 있는 He의 부피를 측정하라. 그런 다음, [He]<sub>i</sub> × 초기 부피 = [He]<sub>e</sub> × (초기 부피 + FRV) 공식을 사용한다. FRV(기능적 잔기량)에 대한 이 방정식을 풀 수 있다. FRV에서 ERV를 빼면 RV가 나온다.

**핵심개념 47.3**

1. 흡기 동안 공기는 인두에서 기관, 기관지, 세기관지, 폐포로 이동한 다음, 호기 동안 같은 경로의 역순으로 빠져나온다.
2. 폐계면활성제는 폐포 부피가 작을 때(호기 끝) 최대의 효과를 나타내고, 폐포 부피가 최대일 때(흡기 끝) 최소의 효과를 나타낸다. 그래서 폐계면활성제는 표면장력을 줄여서 흡기에 필요한 힘을 감소시키고, 호기 동안 최대 표면장력이 탄성적 반동에 기여하게 한다.
3. 흉강압은 항상 폐포압에 대해 항상 음성이므로 폐포가 완전히 찌그러지는 것을 막는다. 흡기 동안, 흉강압은 호기 동안의 압력보다 훨씬 음성이다. 흡기 말에 대기압에 대한 폐포압은 0이다. 흉강압이 흡기 동안 더욱 음성이 됨에 따라, 폐는 확장하고 폐포압은 대기압과 비교해 음성이 되어 공기가 폐로 들어와 폐포압을 다시 0으로 만든다. 호기 동안에는 이와 정반대가 일어난다. 흉강압은 덜 음성이 되므로 폐는 수축하여 대기압에 비해 폐포압을 양성으로 만들어 공기가 폐 바깥으로 흐르게 한다.

**핵심개념 47.4**

1. 혼합된 정맥혈에 보통 결합된 O<sub>2</sub>의 약 75%를 유지하므로 동맥혈이 모세혈관망을 통과해 흐를 때 정상적으로 25%의 O<sub>2</sub>를 방출한다. 그러나 어떤 특정 조직이 O<sub>2</sub>를 평균보다 더 많이 요구해서 훨씬 낮은 P<sub>O<sub>2</sub></sub>를 가지고 있다면, Hgb는 해당 조직에서 방출할 수 있는 여분의 O<sub>2</sub>를 가진다.
2. 태아의 헤모글로빈이 모체의 헤모글로빈보다 2,3-BPG에 높은 친화력을 갖는다는 것은 태아의 헤모글로빈 산소결합곡선이 더 왼쪽에 있다는 의미이다. 그래서 태반이 여타한 P<sub>O<sub>2</sub></sub>를 나타내더라도, 태아의 헤모글로빈이 모체의 헤모글로빈으로부터 산소를 획득할 수 있다.
3. CO<sub>2</sub>가 혈장 내에 용액 속으로는 많은 양이 운반되지 않는다. 그러나 모세혈관 내피세포와 적혈구에 있는 CA가 CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>를 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>로 전환되는 것을 촉매하고, 그런 다음 이 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>는 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + H<sup>+</sup>로 해리된다. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (중탄산염 이온)는 혈장에 용해되어 대량으로 수송될 수 있다. 환기로 인해 CO<sub>2</sub> 수준이 낮은 폐포에서 이 반응의 역반응이 일어나고 용액에 있는 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 전환되고, CO<sub>2</sub>는 폐포로 확산해 몸 밖으로 배출된다.

**핵심개념 47.5**

1. 호흡근 뉴런들은 연수에 있다. 등쪽 호흡 그룹은 능동적으로 발화하여 횡격막의 수축과 그에 따른 정상적인 숨쉬기를 추진한다. 배쪽 호흡 그룹은 환기에 대한 수요가 증가할 때 등쪽 호흡 그룹을 돕는다. 배쪽 그룹은 늑간근의 수축을 추진하며, 늑간근의 활성화는 호흡 부피를 증가시킬 수 있다.
2. 혈액 내 이산화탄소분압(P<sub>CO<sub>2</sub></sub>)은 뇌척수액(CSF)의 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>와 균형을 이루고 있다. 혈액 속 CO<sub>2</sub>는 수화되어 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 하며, 이것은 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 H<sup>+</sup>로 해리된다. 하지만 혈액에는 CO<sub>2</sub> 생산이 증가더라도 pH를 안정시키는 완충액이 있다. 반대로 CSF는 완충이 잘되지 않기 때문에 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>가 증가하면, pH가 감소한다. 연수의 배쪽 표면에서 중산화수용기 뉴런이 있는데, 이들은 CSF의 pH에 민감하다. CSC의 pH가 떨어지면, 중산화수용기 뉴런은 활성화되어 더 많은 CO<sub>2</sub>를 배출하도록 환기를 증가시키고 그에 따라 혈액과 CSF의 P<sub>CO<sub>2</sub></sub>를 낮춘다.
3. 목동맥소체와 대동맥소체가 혈액 내 P<sub>O<sub>2</sub></sub>를 감지하는데, 산소분압이 감소하면 이 감지기들은 호흡 중추를 자극해 환기를 증가시킨다. 이 둘은 매우 민감하지는 않지만, 연수 내에 있는 CO<sub>2</sub>와 pH를 감지하는 화학감지기와 함께 협동적으로 작동한다.

**48장**

**요약 및 평가 48.1**

1. 순환계는 운동하는 근육세포에 산소와 영양소를 공급한다. 또한, 순환계는 근육의 이산화탄소 및 열을 가져간다.
2. 해면동물은 그들의 조직을 통과하는 수관계를 가진다. 이 수관계는 영양소, 산소 및 노폐물의 교환이 일어나는 장소로, 외부 물질이 해면동물의 모든 세포와 가깝게 순환할 수 있다는 것을 의미한다.
3. 이동성 대형동물의 세포는 외부 환경과 직접 접촉할 수 없고, 또한 이동성 대형동물의 세포는 음식물을 삼켜서 소화하는 것과 같은 외부 환경과 상호작용하는 것 외의 일에 전문화되어 있어서 모든 세포를 둘러싸는 세포외액이 세포가 수용하는 영양소와 산소를 받아들이고 노폐물을 제거하는 매개체로 작동한다. 또한, 세포외액은 세포 간 화학적 의사소통을 가능하게 한다.
4. 싸움-도피 반응은 골격근과 같은 활동에 필요한 조직으로 혈류를 증가시키고, 내장과 같은 활동에 필수적이지 않은 조직으로 혈류를 감소시키는 것이 필요하다. 폐쇄순환계는 입력의 증가를 통해 혈류를 증가시킬 수 있으며, 또한 내장과 같은 조직으로 향하는 혈관의 저항 변화를 통해 중요한 조직으로 혈류를 바로 할할 수 있도록 한다.

## 요약 및 평가 48.2

1. 동맥구는 심실이 수축할 때 심실로부터 높은 압력의 혈액을 받는다. 혈액의 유입은 동맥구를 신장시킨다. 그러면 심장이 이완시기에 이룬 구조의 탄력 반동은 혈액을 나아가게 한다.
2. 아가미 막을 가로지르는 산소 확산의 방향은 혈액과 아가미를 가로질러 흐르는 물 사이에 산소 분압 기울기에 따른다. 폐로 공기를 흡입함으로써, 폐어는 자신의 혈액을 주위의 물보다 더 높은 산소 분압으로 유지할 수 있다. 결과적으로 산소는 혈액에서 물로 확산하여 알 주변의 물에 산소분압을 증가시킨다.
3. 외온성 파충류는 좌우 대동맥을 가진다. 악어류를 제외하고 심실은 완전히 나누어져 있지 않으며, 따라서 혈액은 우심실로부터 우대동맥이나 폐동맥으로 모두 흐를 수 있다. 동물이 휴식할 때나 수중에서 호흡하지 않을 때, 폐순환에서의 저항은 높으므로 양쪽 심실에서 온 혈액은 대동맥으로 흘러 들어간다. 동물이 호흡할 때, 폐순환에서의 저항은 낮아지며 우심실로부터 온 혈액은 폐순환으로 흘러 들어간다. 반면에 좌심실에서 온 혈액은 대동맥으로 흘러 들어간다. 악어류에서는 심실이 완전히 분리되어 있고 좌심실로 들어가는 좌대동맥이 열려있다. 하지만 대동맥이 심장을 떠나는 바로 그 위치에는 대동맥과 심장 사이의 연결이 있다. 악어류가 호흡할 때, 폐순환의 저항이 낮고 좌대동맥으로부터의 역압은 우심실과 우대동맥 사이의 판막을 닫아 우심실의 모든 혈액이 폐로 흐르게 한다. 폐순환의 저항이 높을 때, 우심실의 압력은 우대동맥판막을 열 만큼 높으며 우심실로부터 온 혈액이 우대동맥으로 흘러 체순환회로로 들어간다.
4. 출생하여 호흡하기 시작하면 폐순환의 저항은 감소한다. 동맥관이 닫히지 않는다면, 좌심실의 높은 압력은 열린 동맥관을 통해 폐순환으로 혈액을 보낼 것이다. 이로 인해 폐순환이 정체되고 체순환에 산소가 풍부한 혈액의 결핍이 일어날 수 있게 된다.

## 요약 및 평가 48.3

1. 대동맥판막 협착증은 대동맥으로 향하는 혈액의 흐름을 감소시킨다. 결과는 대동맥 및 주요 세동맥에서 압력을 감소시키고 조직으로의 혈류를 감소시켜 피로감과 호흡 곤란을 일으킬 수 있다. 좌심실의 압력은 증가할 것이며, 작업량도 같을 것이다. 혈액은 폐순환으로 되돌아와 폐고혈압을 유발할 수 있다. 폐동맥판막 협착은 폐로 향하는 혈류를 감소시켜 왼쪽 심장으로 산소가 풍부한 혈액의 공급을 감소시키고 피로감과 호흡 곤란을 일으킬 수 있다. 우심실의 압력은 정맥 혈관에서의 압력과 마찬가지로 증가할 것이다.
2. 심근의 수축은 근형질에  $Ca^{2+}$ 의 존재 여부에 달려 있다. 근형질에  $Ca^{2+}$ 의 증가는 심장 활동전위로 인한  $Ca^{2+}$  파동이 지속되게 한다. 따라서 심장 박동은 더 강하게, 오랜 시간 지속하며 심박출량이 증가한다.
3. 대동맥판막 협착은 좌심실 압력이 대동맥판막을 통해 혈액을 밀 때와 같이 수축기 동안 심박출을 형성한다. 대동맥판막이 빠져나오면 대동맥에 큰 압력이 가해져 탈출된 대동맥판막을 통해 혈액이 심실로 되돌아와 밀어 넣을 때와 같은 이완기 동안 심박출이 형성된다.

## 요약 및 평가 48.4

1. 산소의 분압은 높은 고도에서 낮다. 그러므로 운동선수들은 더 많은 적혈구를 생산하기 위해 높은 고도의 환경에 적응하고 저산소증을 경험한다. 그 결과, 그들이 낮은 고도에서 경기할 때 더 큰 유산소 능력을 갖게 된다.
2. 혈액응고는 많은 수의 세포와 신호를 포함하는 거대한 사건이지만, 콜라겐 섬유를 드러내는 작은 상처 때문에 시작될 수 있다. 혈소판은 이러한 섬유와 접촉으로 활성화된다. 이들은 끈적거리며 다른 혈소판에 달라붙어 활성화된다. 활성화된 혈소판은 응고반응의 긴 작용을 유발하는 화학신호를 방출하고, 단계마다 반응은 증가한다. 따라서 작은 사건은 응고를 유발하는 점점 더 많은 수의 사건, 즉 연속반응을 일으킨다.
3. 세동맥은 세동맥 벽의 평활근을 수축시켜 저항을 증가시킬 수 있으므로 저항혈관이라 불린다. 다양한 세동맥의 저항 변화는 가장 혈액을 필요로 하는 조직이나 기관으로 혈류를 바로 보낼 수 있도록 한다. 정맥은 많은 탄력성 섬유로 된 얇은 벽이 늘어날 수 있고 많은 양의 혈액을 저장할 수 있어서 수용혈관이라고 한다. 몸이 휴식하고 있을 때, 모든 혈액은 신체의 필요를 충족시키기 위한 순환할 필요가 없으므로 혈액 대부분이 수용혈관으로 되돌아가 모여 있을 수 있다.
4. 혈액 단백질은 간질액을 모세혈관으로 끌어당기는 삼투압과 관련이 있다. 혈액 단백질이 대사되면 혈액 삼투압은 떨어지고 정수압으로 인해 모세혈관을 빠져나온 혈장이 세포간극에 남게 된다. 따라서 간질액은 복강과 팔다리에 축적된다.

## 요약 및 평가 48.5

1. 그림 48.20은 평균 동맥압 감소로 인해 조직으로의 혈류 감소가 자가조절 반응을 일으켜 그 조직에서의 흐름에 대한 저항력을 감소시키는 것을 보여준다. 체순환에서 저항의 감소는 평균 동맥압 감소를 유발할 것이며, 나아가 산소와 영양소의 조직을 유출하고 자가조절 반응을 증가시킨다. 이러한 양성피드백 회로를 사용하면 자가조절 반응이 자가조절 반응을 시작시킨 문제를 악화시킬 수 있다.
2. 자율신경계의 교감신경부는 소화계 및 피부와 같은 싸움-도피 반응에 필수적이지 않은 조직에서 혈관수축을 자극한다. 이러한 자극은 총 말초 저항의 증가로 평균 동맥압의 상승을 일으킨다. 심장의 교감신경 자극 전달은 더 빠르고 강하게 박동하도록 일으킬 수 있으며, 또한 평균 동맥압을 증가시킨다. 자율신경계의 부교감신경부는 반대의 효과를 가지며 심장을 느리게 하고 평균 동맥압의 감소를 가져온다.
3. 압력수용기는 혈압이 정상일 때, 그 범위의 중앙값에서 발화한다. 그러므로 압력수용기는 평균 동맥압의 감소 혹은 증가에 따라 발화 속도를 감소시키고 증가시키는 잠재력을 가진다. 따라서 압력수용기는 평균 동맥압의 증가 혹은 감소에 대한 조절 반응에 기여한다.

4. 자기조절 기작은 화학적 환경의 국부적인 변화에 대한 반응으로 세동맥을 확장하거나 수축시키기 위해 국부적 수준에서 작용한다. 세동맥 지름의 이러한 변화는 국부 조직에 도달하는 혈액의 양에 영향을 미친다. 이러한 변화들의 발생에 따라 신체의 혈압에 영향을 미치며, 이것은 신경 및 호르몬 신호를 끌어내는 압수용기에 의해 감지되고 이러한 신호는 몸 전체의 광범위한 심혈관 변화를 일으킨다.

## 그림 질문

**그림 48.5** 이 곡선이 우심실을 위한 것이라면, 부피 곡선은 같지만 수축기 동안의 압력 곡선은 낮을 것이다.

**그림 48.10** 심실 근육 활동전위의 폭은 수축기의 지속을 결정하고 따라서 심장을 비울 때 사용할 수 있는 시간을 결정하기 때문에 중요하다. 게다가 완벽한 비움은 더 큰 박출량을 의미한다.

**그림 48.11** 방실결절의 단기간 막힘은 심전도의 P파와 R파 사이의 간격(PR 간격)을 길게 만들 수 있으며, 아마도 박자를 놓치게 할 수 있다. 방실결절이 오랫동안 막히면, 심방 리듬과 심실 리듬이 완전히 분리될 수 있다.

## 자료 이용하기: 돌연변이 마이오신 유전자 침묵시키기

1. CsA 처리를 하지 않고 RNAi를 처리를 하거나 하지 않은 돌연변이 쥐를 비교하면, 대조군의 좌심실 벽 두께는  $0.96 \pm 0.12$ 였으며, RNAi를 처리한 쥐는  $0.70 \pm 0.088$ 이었다. 이 두 평균 좌심실 벽 두께가 같아야 한다는 확률에 대한  $t$ -검정은  $P = 0.0025$ 로 유의미한 차이가 있음을 나타낸다: RNAi 처리군은 상당히 낮은 좌심실 벽 두께를 가진다.
2. CsA 처리를 하고 RNAi를 처리를 하거나 하지 않은 돌연변이 쥐를 비교하면, 대조군의 좌심실 벽 두께는  $1.66 \pm 0.22$ 였으며, RNAi를 처리한 쥐는  $0.85 \pm 0.060$ 이었다.  $t$ -검정은  $P < 0.001$ 로 계산되었으며, 두 평균 좌심실 벽 두께가 유의미한 차이가 있음을 나타낸다.

## 눈에 보이는 요약

## 핵심개념 48.1

1. 세포 밖에서 세포를 둘러싼 액체를 세포외액이라고 한다. 개방순환계를 가진 동물에서 세포외액과 순환계 액이 같은 경우 혈림프라 한다. 폐쇄순환계를 가진 동물에서 세포외액은 순환계와 세포 밖의 액으로 구성된다. 즉, 순환계를 흐르는 액체는 혈액이고 세포외액을 간질액이라고 한다. 물과 저분자 물질은 혈액과 간질액 사이를 자유롭게 이동하나 혈액 세포나 거대 분자는 이동하지 못한다.
2. 폐쇄순환계에서 혈액 흐름은 혈관의 저항 변화에 따라 특정 조직의 요구에 따라 이동할 수 있다. 또한, 혈액은 높은 저항성을 가진 세포 조직 사이 공간에 이동할 수 없기 때문에 혈류량은 혈림프 양보다 클 수 있다. 그러므로 폐쇄순환계는 고수준의 대사를 더 잘 뒷받침할 수 있다. 곤충은 조직으로 산소의 배분과 이산화탄소 운반을 혈림프에 의존하지 않기 때문에 예외적이다.
3. 동맥 벽에서 평활근의 조절을 통해서 혈관으로의 혈액 흐름에 대한 저항성을 변동시킬 수 있다. 만약 평활근이 이완된다면, 저항은 줄고 혈류는 증가한다. 만약 평활근이 수축하면, 저항은 증가하고 혈류는 다른 조직으로 흐른다.

## 핵심개념 48.2

1. 폐어는 모세혈관이 존재하는 아가미와 기체호흡을 하는 폐를 동시에 가지고 있다. 폐어가 공기를 마시게 되면 산소는 폐로 들어가고 모세혈관을 통해서 흐르는 혈액에 산소가 흡수된다. 폐어가 수중에서 호흡할 때 폐어는 아가미를 통해서 산소를 얻는다.
2. 외온성 파충류가 호흡하지 않을 때 폐에서는 혈액 흐름에 대한 저항성이 증가하고 우심실을 떠난 혈액은 폐동맥보다 오른쪽 대동맥으로 흐르게 된다. 결국, 양쪽 심실에서 나온 혈액은 2개의 동맥을 통해 체순환을 한다
3. 정맥혈은 우심방으로 들어가고 심장이 이완될 때 수동적으로 우심실로 들어간다. 심실이 수축하기 바로 직전에 심방이 수축해 더 많은 혈액을 심실로 밀어 넣는다. 심실의 수축 동안 우심실의 더 높은 압력이 3첨판을 닫아 우심실에서 나온 혈액이 폐동맥판막을 거쳐 폐동맥으로 흘러 들어간다. 그 다음 이완기 동안, 폐에서 나온 혈액은 폐정맥을 통해 좌심방으로 이동한다. 또한, 혈액은 좌심실로 수동적으로 흐르고 2첨판을 닫아 좌심실의 혈액을 대동맥판막을 거쳐 체순환으로 흘러가게 하는 다음번 심실 수축 직전 심방 수축이 일어나면 순환이 마무리 된다.

## 핵심개념 48.3

1. 첫 번째 심장의 소리인 '두'는 수축기 초기에 3첨판과 2첨판의 닫힘에 의해서 발생한다. 두 번째 심장 소리인 '근'은 폐동맥과 대동맥의 역압이 폐순환판과 대동맥판을 닫는 수축기 말에 일어난다.
2. 박동원 세포의 독특한 기능은 자율박동이다. 활동전위의 자발적인 발화는 전압개폐성  $Ca^{2+}$  통로에 기인한다. 이 통로의 역할은 박동원 세포의 휴지전위가 안정적이지 않기 때문에 주기적으로 도달하게 된다. 활동전위 후 박동원 세포는  $Ca^{2+}$  통로의 폐쇄와  $K^+$  통로의 개방에 의해 재분극된다.  $Na^+$ 와  $Ca^{2+}$  특이적인 통로의 투과성 변화뿐만 아니라  $K^+$  통로의 점진적인 폐쇄 때문에 막전위가 전압개폐성  $Ca^{2+}$  통로가 역치에 도달하고 또 다른 활동전위가 발화할 때까지 점진적으로 올라가게 된다. 반대로 심실세포의 활동전위가 전압개폐성  $Na^+$  통로에 의해서 생성된다. 심실세포가 심실의 전도섬유의 활동전위에 의해 탈분극될 때, 전압개폐성  $Na^+$  통로는 빠르게 개방되고 이는 막전위를 발화하게 된다. 이 통로들이 빠르게 닫히게 되나, 막전위는 천천히 열리는  $Ca^{2+}$  통로 때문에 탈분극된 상태이다.  $Ca^{2+}$  통로가 닫히고  $K^+$  통로가 열릴 때 막은 재분극된다. 이 장기간의 활동 전위는 심실세포의 수축을 유지하는 데 필수적이다.

- 심방과 심실의 수축은 방실결절과 히스다발과 푸르카네섬유로 구성된 심실 전도체계에 의해 유기적이다. 심방과 심실은 전기적으로 직접 접촉되어 있지 않다. 심방의 수축을 일으키는 박동원 전위는 또한 방실결절 세포에서 활동전위를 발화한다. 이 활동전위는 히스다발을 통해 심실에 전달되고 푸르카네섬유에 의해 심실근육 전체로 퍼져나가게 되어 심실의 수축을 일으킨다.

**핵심개념 48.4**

- 혈소판이 손상된 혈관에 도달하면 이들은 형태가 변하고 끈적하게 되어 손상된 부위에 부착된다. 이들은 또한 궁극적으로 순환하는 프로트롬빈을 트롬빈으로 전환하는 신호체계를 야기하는 응고인자를 방출한다. 트롬빈은 순화하는 피브리노젠을 손상된 혈관에 부착된 혈소판과 함께 혈관을 봉합하는 응고를 형성하는 피브린 섬유로 활성화한다.
- 간질액은 림프관으로 들어가서 순환계로 다시 합류하므로 조직에 축적되지 않는다. 또한, 모세혈관에서 간질액은 부분적으로 스타링의 힘의 삼투압에 의해 혈액으로 다시 돌아간다. 혈압이 모세혈관에서 높은 곳에서 물은 모세혈관을 통과하여 혈액 밖으로 나오게 된다. 그러나 모세혈관에서 혈압이 낮은 곳은 모세혈관 밖으로 통과할 수 없는 거대분자에 의한 삼투압에 의해 물은 다시 혈액으로 되돌아오게 된다.
- 심혈관질환은 보통 동맥벽의 내피 손상에 기인한다. 원인은 높은 혈압, 식이, 흡연 혹은 감염일 수 있다. 백혈구가 손상된 부위로 몰려가고 이들은 평활근의 성장, 지질과 칼슘의 축적을 포함하는 일련의 변화를 일으킨다. 플라크가 동맥을 좁히면 혈류 저항은 증가하고 탄력은 잃게 된다. 이 플라크는 내피를 파괴함으로써 혈소판을 모으고 응고를 시작하게 된다. 이 혈액응고는 파괴되어 세동맥의 허류를 막는 색전이 되고 이는 심근경색을 유발하게 된다.

**핵심개념 48.5**

- 평균 동맥압은 혈관수축에 야기된 교감신경의 활성화에 의해 상승한다. 뇌하수체 후엽에서 방출된 항이노호르몬은 또한 말단 혈관수축을 일으키고 게다가 신장의 수분 흡수를 자극한다. 저혈압에 반응하여 신장에서 분비된 레닌은 안지오텐신을 활성화하고 이는 혈관 수축, 갈증 자극, 그리고 알도스테론 분비를 유도한다.
- 모세혈관의 자가조절은 동맥 공급의 저항 감소와 관련되기에 국부 조직으로 혈액 흐름을 증가시킨다. 그러나 국부 모세혈관의 혈류 저항의 감소는 또한 평균 동맥압을 감소시킨다. 평균 동맥압의 감소는 압력수용기에서 감지되고 이는 뇌하수체에서 항이노호르몬 분비시키고 또한 다른 혈관을 수축시키는 교감신경의 활성 증가를 평균 동맥압을 상승시키게 된다.
- 대동맥에서 압력수용기는 혈압이 상승하였을 때 발화하고 이는 뇌하수체 후엽에서 항이노호르몬의 방출을 억제한다. 혈압이 떨어지면 압력수용기의 활성 감소가 항이노호르몬의 생산과 방출에 대한 억제를 경감시킨다. 평균 동맥압의 하강은 또한 조직으로의 산소 운반과 이산화탄소의 제거를 감소시킨다. 혈액의 기체 조성의 변화는 저산소를 감지하는 관상동맥과 대동맥의 화학수용기와 혈액 내 증가된 이산화탄소를 감지하는 연수의 화학수용기를 자극한다. 이들 화학수용기는 삼방동맥과 말초혈관 저항의 변화를 통해 평균 동맥압에 영향을 미치는 교감신경과 부교감신경의 변화를 주는 연수 심혈관중추의 출력 변화에 영향을 미친다.

**49장**

**요약 및 평가 49.1**

- 귀신교래가 이주하고 그들의 월동장소에 있을 때, 그들의 에너지 공급원은 그들이 저장한 지방이다. 지방은 높은 에너지 함량과 낮은 수분 함량을 가지므로 최소의 질량으로 에너지의 장기간 보관에 이상적이다. 그것은 또한 고래 몸의 부력에 이바지한다.
- 비타민 A는 지용성이고 체내에 축적될 수 있다. 비타민 C는 수용성이고 오줌으로 빠르게 배설된다. 그래서 그것의 독성 수치는 축적될 수 없다.
- 무기질 미량영양소인 철은 주로 체내를 순환한다. 하지만 월경혈 손실 때문에 폐경 전의 여성은 매달 철을 잃는다.
- 만약 단백질이 혈액 내로 전달된 양에 더해진다면 그것은 외부 단백질에 대한 환자의 면역반응을 자극할 것이다. 그러므로 그러한 혼합물 내 모든 아미노산의 공급은 필수적이다.

**요약 및 평가 49.2**

- 초식동물은 그들의 음식이 낮은 에너지 함량을 가지고 상당한 기계적(저적) 그리고 화학적(소화) 과정 모두를 요구하기 때문에 섭식에 많은 시간을 소비해야만 한다.
- 모든 소화효소는 그들 기질의 가수분해를 통해 작용한다.
- 항생제 치료는 장내 미생물상을 크게 제거하거나 바꿀 수 있다. 그러므로 달라진 소화를 야기한다.
- 그 증상은 용혈의 손상 때문이다. 손상된 용혈은 소화의 생성물을 흡수하는 것에 덜 효과적이고 그러므로 영양실조와 철과 같은 미량영양소의 결핍에 기여한다. 흡수되지 않은 소화 생성물은 물을 장 내로 당겨서 설사를 일으키고 미생물 대사 또한 지지하여 복부팽창으로 이어진다. 손상된 용혈은 지방 흡수뿐만 아니라 수송이 요구되는 영양소의 흡수에도 영향을 미치는 소화를 가능하게 하는 표면적을 훼손한다. 소화되지 않은 지방은 그 결과로 지방변이 된다.

**요약 및 평가 49.3**

- 허는 저작한 음식을 식도 내로 음식을 미는 많은 근육의 활동을 통해 삼키기 반사를 자극하여 입 뒤쪽으로 민다. 식도 내 평활근의 긴장은 평활근이 음식을 위쪽으로 밀어버리는 수축을 자극한다. 이 움직임의 방향성은 음식을 덩어리 앞쪽에 있는 평활근을 이완시키는 장 신경계에 의해 가능해진다. 음식을 덩어리가 식도 괄약근에 도착하면 선행되는 이완 파동이 음식이 위로 들어가는 것을 허락하는 괄약근을 연다. 평활근 수축과 이완의 조절은 일반적으로 중력이 없는 곳에서조차도 음식을 식도에서 위쪽으로 이동시키는 연동운동의 파동을 형성한다.
- 위산은 위의 위소와 내 주세포에서 생산된다. 이들 세포에서는 탄산무수화효소가 CO<sub>2</sub>의 수화를 촉진시켜 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>과 H<sup>+</sup>로 분해되는 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 생산한다. H<sup>+</sup>는 K<sup>+</sup>와 교환되어 위소와를 가로질러 세포의 내강 쪽으로 수송된다. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 세포의 반대쪽 끝을 가로질러 Cl<sup>-</sup> 이온교환으로 간질액 내로 교환된다. 세포 내 초과한 K<sup>+</sup>는 내강의 끝으로 유출되고 H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 교환기를 통해 분출되어 돌아온다. 위 내강 내 그러한 H<sup>+</sup>의 농도와 간질액 내 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 분리는 위벽의 해부학적으로 완전한 상태에 의존한다. 만약 이러한 완전한 상태가 붕괴되었다면, H<sup>+</sup>는 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>로부터 분리될 수 없고 pH 변화도 없을 것이다.
- 쓸개즙은 수용성 지질가수분해효소가 작용할 수 있도록 음식 내 지방을 유화하여 작은 마이셀을 만들어 표면적을 크게 한다. 쓸개즙은 지방 마이셀들이 묻혀져 표면적이 작은 더 큰 지방 구체를 형성하는 것을 막는다. 림프와 혈액의 지방은 수용성 단백질로 덮인 지질단백질에 포함되기 때문에 림프와 혈액에 동등한 분자가 필요하지 않다.
- 장내 미생물상은 반추동물에게 중요한 영양소 공급원이다. 절반 정도 소화된 음식이 HCl과 위 및 소장 소화효소에 노출되기 전에 그들의 미생물상이 반추위와 별집위 내 삼켜진 음식에서 생장하기 때문이다. 사람에서는 풍부한 미생물상이 소장과 대장에 존재한다. 그러므로 이 미생물상은 위산에 의해 죽지 않고 소장의 위쪽에서 음식을 소화한다. 그렇지 않다면 그들이 영양소의 주요 공급원이 될 수 있을 것이다.
- 반추동물은 그것이 먹는 식물 원료의 소화와 필요한 셀룰로스 가수분해효소를 생산할 수 없다. 반추위와 별집위에는 셀룰로스 가수분해효소를 생산하고 식물 물질을 부수는 미생물들이 서식한다. 그 결과 생성된 식물 물질과 미생물의 발효 혼합물은 물이 재흡수되는 겉주름위로 이동한다. 겉주름위에서 절반 정도 소화된 식물 물질의 덩어리와 여기에 들어있는 미생물은 HCl을 분비하는 주름 위(진위)로 이동한다. HCl은 소화를 돕고 이들 동물 영양소의 중요한 요소인 미생물을 죽인다.
- 소량의 펩시노젠이라도 가수분해작용으로 활성효소 펩신을 생성하면, 펩신은 추가적인 펩시노젠에 작용해 더 많은 펩신 분자를 방출해 자가촉매 연속반응을 일으킨다. 이것은 반응의 생성물(펩신)이 여전히 더 많은 반응(펩시노젠→펩신)을 자극하여 해당 반응 생성물(펩신)의 형성을 증폭시키는 양성피드백의 예이다.

**요약 및 평가 49.4**

- 공장 내로 영양소 용액의 도입은 세크레틴 혹은 CCK의 분비를 자극하지 못한다. 그러므로 큰 지방 복합체를 유화시키는 쓸개즙 분비가 없을 것이고 탄수화물과 단백질 복합체를 소화하는 이자의 효소도 없을 것이다. 그러한 공장 화학식은 중간부터 짧은 지방산 사슬과 부분적으로 가수분해된 탄수화물과 단백질로 구성되어 있다.
- 지질단백질이 세 가지 종류는 그들의 상대적인 단백질, 트리글리세리드, 콜레스테롤의 구성에 따라 다르다. 고밀도 지질단백질은 가장 낮은 트리글리세리드의 비율을 가지고 조직으로부터 간으로 쓸개즙으로서 배출을 위해 콜레스테롤을 운반한다. 저밀도 지질단백질은 적은 단백질과 트리글리세리드를 가지고 더 많은 콜레스테롤을 가진다. 이러한 입자들은 그들 대부분의 트리글리세리드를 지방질과 다른 세포들로 이동시켰으며 동맥벽 내에 축적될 수 있는 많은 양의 콜레스테롤을 남는다. 초저밀도 지질단백질은 대부분 지방세포로 이동하는 트리글리세리드로 구성되어 있고 저밀도 지질단백질의 생산을 야기한다.
- 근육과 간 모두에서 인슐린은 포도당의 흡수를 촉진하고 그것을 글리코젠으로 합성한다. 인슐린 수준이 감소하면, 그 효과는 간에서는 포도당인산가수분해효소를 활성화해 수준을 감소시킨다는 점에서 간과 근육에서 다르다. 이것은 글리코젠의 분해로 생성된 포도당이 간질액으로 방출되는 것을 가능하게 한다. 이 과정은 근육에서 일어나지 않으므로 포도당은 근육에 갇혀 있다.
- 비갈쪽 시상하부 혹은 배쪽 중앙 시상하부가 손상된 후 체중의 변화가 측정된 실험에서 동물들은 많은 양의 질량을 얻거나 잃었지만, 그들은 결국 다른 수준이지만 지속적인 조절 능력을 나타내는 새로운 수준에서 안정 상태를 유지하였다.
- 무산소성 일을 하는 근육에 의해 생성되는 피루브산과 젖산은 순환계로 들어가 간에 흡수되어 포도당신생을 통해 포도당으로 전환된다. 이 포도당은 혈액으로 돌아와 근육에 의한 추가적인 해당을 지지할 수 있다.
- 렙틴의 생산을 제거한 돌연변이를 가지는 쥐는 더 많이 먹고 비만이 된다. 만약 이 쥐들이 렙틴을 생산하는 정상 생쥐와 병체결합으로 연결되면 비만 생쥐들은 적게 먹어 체중이 감소한다.

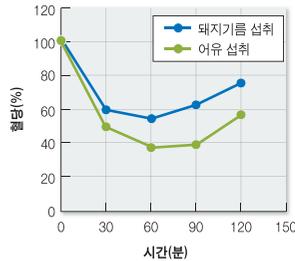
**그림 질문**

- 그림 49.14** 쓸개가 없다면, 소장으로서의 쓸개즙의 방출은 지속적이고 느리므로 많은 양의 지방이 최적으로 유화되고 소화되지 않고 통과하는 것을 의미한다. 결과적으로 흡수없이 소장을 통과해 지방변과 설사를 일으킨다.
- 그림 49.15** 주름 위 전에 반추위와 별집위가 있다는 점 때문에 장내 미생물상의 거대 개체군이 주름위에서 위산에 의해 죽기 전에 생장하며 섭취된 식물 재료를 분해할 수 있다.
- 그림 49.16** CCK와 세크레틴이 위를 늦출 수 있지만, 이자를 자극한다는 사실은 이들 두 호르몬이 완전한 소화를 가능하게 하는 속도로 소화관을 통한 음식의 통과를 조절할 수 있다는 것을 의미한다.

**그림 49.17** 신경계의 세포에 의한 포도당의 흡수는 호르몬의 자극에 의존하지 않는다. 그것은 간질액과 세포 내부 사이의 포도당의 농도 차이에만 의존한다. 이 그림에서 모든 호르몬 작용은 변함없는 혈당 농도를 유지하는 것을 목표로 하는 기작을 나타낸다. 그리고 이것은 신경계에 충분한 포도당 공급을 보장하는 변수이다.

**자료 이용하기: 장내 미생물군계는 어떻게 비만과 대사성 질환의 원인이 되는가?**

1. 돼지기름을 먹인 생쥐들의 평균 공복 혈당 수치는 11.00 mM였고, 어유를 먹인 생쥐들은 10.3 mM였다. 이러한 값들은 양측 독립표본 t-검정에 따라  $P < 0.05$ 에서 유의하게 다르다. (이 계산은 엑셀에서 수행할 수 있다).
2. 돼지기름을 먹인 생쥐들의 평균 공복 혈중 인슐린 수치는 3.96 ng/mL였고 어유를 먹인 생쥐들은 1.09 ng/mL였다. 양측 독립표본 t-검정은  $P < 0.0001$ 로 매우 유의한 결과를 보여주었다.



3. 인슐린 변화에 대한 반응의 시간 경과는 구성될 수 있다. t-검정을 이용해 어떤 점이 상당히 다른지 볼 수 있다. 30분 값은 크게 다르지 않지만, 나머지 시점은 60분,  $P < 0.005$ ; 90분과 120분,  $P < 0.001$ 이다.
4. 돼지기름을 먹인 생쥐들은 인슐린에 대해 덜 즉각 반응했고 약간 높은 공복 혈당 수치를 가졌다. 이것은 그들 탄수화물 대사의 손상을 시사한다. 어유를 먹인 생쥐들은 인슐린 변화에 대해 더 왕성한 반응을 나타냈다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 49.1**

1. 음식의 에너지양은 열량으로 측정하는데 이는 음식의 모든 대사 가능한 요소들이 에너지 전환의 비효율성으로 열로 그리고 작업량의 저하가 열로 전환되기 때문이다. 생장하지 않고 체온의 변화가 없으며 외적인 일을 하지 않는 동물에서는 동물에서 발생하는 열량은 동물에서 대사 에너지의 총량과 동일하다
2. 곡식한 기어는 복부, 손, 그리고 발의 부종으로 나타나고 이는 저장된 탄수화물과 지방이 고갈되어 단백질이 에너지 공급원으로 공급되기 위해 분해되기 때문이다. 첫 번째로 분해되는 단백질은 혈장 단백질이고 이는 혈액의 삼투압 감소를 일으킨다. 그러므로 모세혈관에서 투과된 물은 다시 삼투압에 의해 혈액으로 돌아갈 수 없게 되어 복부와 사지의 세포외액에 축적되어 부종을 최종적으로 유발하게 된다.
3. 다량영양소는 탄수화물, 지방, 단백질이고 이들은 생합성을 위한 탄소골격을 제공한다. 무기질 다량영양소와 미량영양소는 다양한 생리적 기능을 위해 필수적인 요소들이다. 무기질 다량영양소는 많은 양이 필요하지만, 무기질 미량영양소는 소량 필요하다.

**핵심개념 49.2**

1. 이들의 단단한 법랑질 때문에 화석의 아빨은 분해되지 않고 화석에 보존된다. 이들의 다양한 형태는 고생물학자에게 이 중들이 소비한 음식과 식습관에 대한 정보를 제공할 수 있다.
2. 우리 몸을 구성하는 세포들보다 우리 몸에 존재하는 미생물 세포들이 더 많다는 사실에 기인한다.
3. 영양소의 흡수를 위한 표면적을 극대화한 사람 소화관의 네 가지 특성은 길이, 접힘, 용모, 미세융모이다.

**핵심개념 49.3**

1. 위점막층의 벽세포는 이산화탄소를 수화시켜서 탄산으로 촉매하는 탄산무수화효소를 생산하고 이는  $K^+ / H^+$  교환기를 통해 위소와의 내부로 이동할  $H^+$ 를 제공한다. 벽세포는  $K^+$ 를 누출하므로  $H^+$ 와의 교환을 위한  $K^+$ 는 끊임없이 공급된다. 그러므로 벽세포는 위소와의 표면을 따라 거대한  $H^+$  기울기를 만들 수 있다. 탄산의 해리는 또한  $HCO_3^-$ 를 생성하고 이는 벽세포 반대편으로 수송되어 간질액으로 이동된다.  $HCO_3^-$ 는  $Cl^-$ 와 교환되고,  $Cl^-$ 는 이들 세포의 내강 쪽으로 나와 배출된  $H^+$ 에 대해 전하 균형을 맞출 수 있다.
2. 이자관에서 탄산의 해리로 생성된  $HCO_3^-$ 는 관세포의 내부에서 밖으로 이동하고  $H^+$ 는 반대편과 간질액으로 이동하게 된다. 그러므로 위소와에서 이 과정은 내강을 산성화하지만, 이자관에서는 염기성화를 유발한다.
3. 소화관 점막층 세포의  $Na^+$  능동수송은 이 세포들에서 낮은  $Na^+$  농도를 형성하고 이들 세포 사이 간질액에서는 높은 농도를 형성하게 된다. 소화관 점막층 세포의 세포벽을 따라 형성된  $Na^+$  농도 기울기는 영양성분을 세포로 이동시키는 공동수송을 작동하게 만든다. 이들 세포 사이의  $Na^+$  (과  $Cl^-$ )의 높은 이온 농도는 세포 간 연결을 통해 물을 끌어당기는 삼투를 유발한다. 작은 영양소 용질은 소화관을 따라 있는 점막층 세포를 통과해 물과 함께 부피유동으로 수송된다.

**핵심개념 49.4**

1. 가스트린은 위의 운동과 위산과 펩시노젠의 분비를 조절한다. 가스트린은 위의 pH에 의해 조절되고 pH 3 이하에서 억제된다.
2. 세크레틴과 CCK는 이자의 소화효소의 분비를 자극하고 그들의 활성을 최적화시키는 중성 pH를 형성하여 십이지장의 소화를 가속화한다. 세크레틴과 CCK는 유미즙을 십이지장으로 이동시키는 위의 운동을 천천히 하여 소화의 속도를 낮춘다.
3. 간의 지질단백질은 지방과 콜레스테롤을 체내이동을 시킨다. VLDL은 대다수 트리글리세리드를 저장소인 지방과 근육 조직에 운반한다. LDL은 트리글리세리드를 제거하여 VLDL을 형성하여 주성분을 콜레스테롤로 전환한다. LDL은 콜레스테롤을 여러 조직으로 이동하고 이는 플라크가 축적되는 동맥벽도 포함된다. HDL은 콜레스테롤을 간으로 다시 운반한다.
4. 인슐린이 존재하면 간으로 확산된 포도당이 포도당인산화효소에 의해 인산화되어 간에서 이동하지 못하게 만든다. 이 인산화된 포도당은 해당작용 혹은 글리코젠 합성 혹은 트리글리세리드 합성에 참여하게 만든다. 인슐린은 글리코젠기수분해효소를 억제한다. 인슐린은 또한 포도당인산기수분해효소를 억제하여 인산화된 포도당에서 인산기를 제거하고 간에서 이동할 수 있게 만든다. 인슐린 부재는 포도당인산화효소를 억제하고 포도당인산기수분해효소와 글리코젠기수분해효소를 활성화한다.

**50장**

**요약 및 평가 50.1**

1. 담수 척추동물은 염은 보존하고 물은 배설함으로써 삼투조절을 한다. 폐쇄순환계를 가지면 염과 다른 용질들의 손실 없이 물을 배설하기 위해 세포외액을 여과시키는 것에 압력을 사용할 수 있게 한다.
2. 조간대에 서식하는 동물은 비에 의해 매우 희석되거나 증발로 매우 농축될 수 있는 조수 웅덩이에 고립되어 있을지도 모른다. *Artemia*는 광범위한 염분에 대해 삼투순응함으로써 생존할 수 있을지도 모르지만, 삼투조절을 할 수 없다면 극도의 담수 혹은 포화된 염분 용액에서는 살아남을 수 없다. *Artemia*는 아가미를 가로질러 이온을 능동수송해 매우 희석된 환경에서 고장성으로 조절하고 매우 농축된 환경에서 저장성으로 조절한다.
3. 분비세관다발이 염류샘 관으로 물을 빼낸다.  $Na^+ / K^+ / Cl^-$ 는 세관 세포로 능동적으로 공동수송된다.  $Na^+$ 는 세포 밖에서 측면 세포간 공간으로 능동수송되고  $Cl^-$ 는 세관세포의 정단막을 통해 세관 내부로 이동한다. 이로 인한 전기화학적 기울기는 세포간 공간에서 내부로  $Na^+$ 를 끌어당기고 증가한  $NaCl$  농도는 물을 세관으로 끌어당겨 세관의 내용물을 씻어낸다.

**요약 및 평가 50.2**

1. 암모니아는 독성이 있어 빠르게 해독되거나 배설되어야만 한다. 암모니아는 물에 잘 용해되고 빠르게 확산한다. 그래서 어류에서는 암모니아가 혈액 속으로 확산한 후 아가미 막을 가로지르는 연속적인 확산으로 인해 환경으로 배출될 수 있다. 포유류는 호흡으로 숨을 쉬기 때문에, 그들 혈액 속의 암모니아는 폐포막을 가로질러 확산을 통해 배출하기 위해서 더 높은 수증기 도달해야 할 것이다. 그래서 포유류는 암모니아를 요소나 요산으로 전환함으로써 해독한다.
2. 요산은 요소보다 상당히 용해도가 낮다. 그것은 세포외액의 총 삼투물농도가 300 mOsm/L인 사람의 용액 밖으로 침전되므로 그 농도에 대한 요산의 기여는 300 mOsm/L보다 훨씬 적다. 요산은 용액 밖으로 침전될 것이므로 상어와 가오리는 요산을 함유해서 바닷물보다 세포의 삼투물농도를 생성할 수 없다.
3. 대부분 육상동물은 물을 보존해야 한다. 요산 배설의 장점은 배설계에서 용액 밖으로 침전될 수 있으므로 물의 재흡수를 가능하게 해 수분을 보존할 수 있다.

**요약 및 평가 50.3**

1. 담수 편형동물은 삼투에 의해 그들의 세포외액으로 들어오는 지속적인 물의 유입을 처리해야 한다. 불꽃세포는 용질의 손실 없이 원시관 내로 세포외액을 여과할 수 있게 하고 원시관은 분비와 재흡수를 이용해 노폐물의 제거하고 용질의 보존하는 여과액의 추가처리를 한다.
2. 혈장은 체강액을 생산하기 위해 모세혈관에서 여과되고 두 가지는 구성이 비슷하다. 체강액은 몸으로부터 배설되는 오줌이 되기 위해 세관 분비와 재흡수과정을 통해 후신장에서 처리된다. 혈장을 모세혈관으로 걸러내어 체강액을 생산하는데, 세포와 분자량이 큰 용질을 제외하면 혈장과 체강액의 조성이 유사하다. 체강액은 분비와 재흡수의 과정을 통해 후신장에서 처리되어 몸에서 배출되는 소변이 된다.
3. 근층 배설계는 질소노폐물을 요산으로 제거한다. 후장과 직장 내  $Na^+$ 와  $K^+$ 를 능동적으로 재흡수함으로써 근층은 요산이 용액 밖으로 침전되는 정도로 노폐물을 농축한다. 그러므로 후장과 직장 내용물의 삼투물농도를 낮추고  $Na^+$ 와  $K^+$ 의 능동적인 재흡수 때문에 더 많은 물의 재흡수를 가능하게 한다.

**요약 및 평가 50.4**

1. 더 건조한 육상 서식지로 이동하려면 척추동물은 그들의 수분 손실을 최소화해야 하고 체외수정하기 위해 고인 물에 접근할 수 있어야 한다. 양서류와 파충류가 그들의 피부에서 증발하는 물의 손실을 줄이기 위해 다양한 적응을 진화시켰지만, 오직 파충류만이 양막란의 진화로 인해 생식에 고인 물이 필요 없게 되었다. 그렇지만 양막란은 보호껍질이 형성되기 전 수정되어야 하므로 이러한 체내수정의 진화는 양막란의 진화와 동시에 일어났다.

- 수입세동맥은 여과를 지원하기 위해 높은 혈압에서 혈액을 사구체 내로 가져온다. 수출세동맥은 낮은 혈압을 사구체로부터 용질의 분비와 재흡수가 발생하는 세뇨관을 제공하는 모세혈관으로 운반한다.
- 사구체 여과 기작의 해부학적 요소는 사구체 모세혈관 벽 내 천공, 모세혈관 내피세포의 기저판, 그리고 보먼주머니의 다리세포 과정 사이의 구멍이 있다.
- 오줌의 구성은 세뇨관에서 선택적 능동 재흡수와 분비과정과 세포와 분자량이 큰 물질의 혈액에서의 이동을 막는 여과 때문에 혈액의 구성과는 다르다.

**요약 및 평가 50.5**

- 가장 높은 미토콘드리아의 농도는 세뇨관 내 모든 능동수송 기작 때문에 신장 피질에서 나타난다. 가장 낮은 농도는 오직 헨레그리의 얇은 부위만 있는 신장 수질의 바닥에서 나타난다. 중간 농도는 헨레그리의 굵은 상행지 내  $Na^+$ 의 능동수송 때문에 신장 수질의 상부에서 나타난다.
- 헨레그리의 굵은 상행지는  $Na^+$ 를 세뇨관액으로부터 세포외액으로 능동적으로 수송하며, 이때  $Cl^-$ 도 뒤따른다. 수질의 세포외액 내  $NaCl$ 의 증가는 삼투적으로 하행지 밖으로 물을 당겨서 세뇨관액의 농도를 증가시킨다. 상행지가 물을 투과하지 못하므로 더 많이 농축된 세뇨관액은 상행지 내로 물을 당기지 못한다. 세뇨관액이 굵은 상행지에 도달했을 때, 더 많은  $NaCl$ 은 세포밖 공간으로 내보내어진다. 이 기작을 통해 신장 수질 내 세포외액의 농도는 혈액의 삼투물농도보다 높게 유지된다.
- 사막쥐는 더 긴 헨레그리를 가지므로 더 긴 신장 수질을 가진다. 사막쥐는 물을 보존하기 위해 선택 압 하에 진화하였다. 그것을 하는 한 가지 방법은 더 농축된 오줌을 생산하는 것이다. 헨레그리가 더 길수록 신장 수질 내에서 만들어질 수 있는 농도기울기가 더 커지므로 사막쥐는 긴 헨레그리를 가져야 한다.
- 혈중 중탄산염은 세뇨관으로 여과되지만, 세뇨관 세포에 의해 세뇨관액으로 수송되는  $H^+$ 는 중탄산염과 결합하여  $H_2O$ 와  $CO_2$ 로 분해되는  $H_2CO_3$ (탄산)을 생산한다.  $CO_2$ 는 탄산무수화효소에 의해  $H_2CO_3$ 로 수화가 촉매되는 세뇨관 세포로 확산된다. 결과적으로  $HCO_3^-$ 는 세뇨관 세포의 기부를 가로질러 간질액으로 수송된다.

**요약 및 평가 50.6**

- 수입세동맥과 수출세동맥은 흐름에 대해 그들의 저항을 변화시킴으로써 GFR을 조절한다. 혈압이 오르면, 수입세동맥이 그들의 저항을 증가시키고 수축함으로써 반응한다. 혈압이 떨어지면, 수출세동맥이 그들의 저항을 증가시키고 수축함으로써 반응한다. 수입세동맥의 수축은 GFR을 감소시키고 수출세동맥의 수축은 GFR을 증가시킨다. 수입세동맥의 수축은 신장하면 그것이 수축함으로써 반응하는 평활근의 일반적인 특성 때문이다. 혈압이 감소하고 GFR도 감소하면 되먹임 정보는 원위 세뇨관 내 용질 농도의 감소이다. 이에 대응하여, 밀집된 세포는 수입세동맥을 확장시키기 위해 신호를 보내고 수출세동맥의 수축을 차례로 자극하는 안지오펜텐시노젠을 안지오펜신으로의 전환하는 레닌을 방출함으로써 수출세동맥을 수축시킨다.
- 레닌의 분비와 활성 안지오펜신의 결과로 초래된 생성물은 혈압 감소와 GFR 감소로 유발된다. 레닌-안지오펜신-알도스테론 체계의 한 가지 작용은 혈액량을 유지하기 위해 신장으로부터 물 재흡수를 증가시키는 것이다. 물을 재흡수하기 위해, 세뇨관액으로부터 세뇨관 세포로 물을 당길 삼투 기울기를 형성하는  $Na^+$ 의 재흡수 증가가 필요하다. 그렇지만 만약 교환기가  $Na^+$ 와  $K^+$ 를 하나씩 이동시키면 삼투기울기를 만들지 못할 것이다.
- 달고기 근육은 체액과 같은 삼투물농도를 가진다. 그래서 장으로부터 그것의 흡수는 혈액의 삼투물농도를 증가시키지 않을 것이지만, 혈액량과 혈압은 증가시킬 것이다. 혈압의 증가는 목동맥 압력수용기를 자극하여 ADH 방출을 억제한다. ADH가 감소하여 신장은 물을 덜 재흡수하고 더 많은 오줌을 생산할 것이다. 게다가 증가한 혈액량은  $Na^+$ 의 분비와 물의 손실을 증가시켜 액체량, 혈액량, 혈압을 감소시키는 심방나트륨이오펜타이드의 방출을 자극할 것이다.

**그림 질문**

**그림 50.4** 담수 플라나리아에서, 삼투에 의해 신체로 들어온 여분의 물을 배설해야 하므로 배설 산물은 간질액에 대해 저장성일 것이다.

**그림 50.6**  $Na^+$ 와  $K^+$ 는 말피기관으로 수송되고 물이 그 뒤를 따라 들어가 장내 세관의 내용물을 씻어낸다. 이온들은 후장과 직장 밖으로 수송되어 물의 삼투적 재흡수를 위한 농도기울기를 형성하고, 오산이 침전될 수 있게 한다.

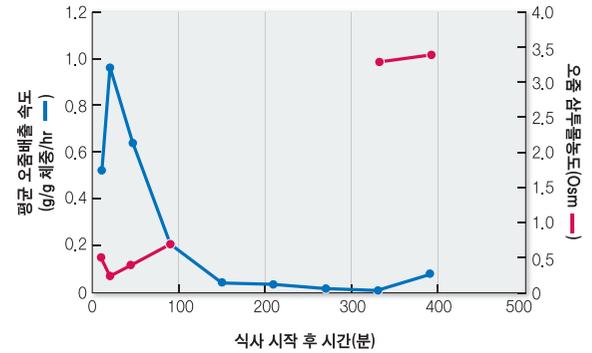
**그림 50.9** 직립혈관을 따라 아래로 흐르는 혈액은 같은 위치에서 간질액보다 항상 약간 낮은 삼투압 물농도를 가지는데 이는 흐름과 평형이 즉각적이지 않기 때문이다. 그 반대가 혈액이 주변 간질액보다 항상 약간 높은 삼투압물농도를 가지는 직립혈관의 상행지에 대해 적용된다. 결과적으로 상행지의 혈액은 삼투적으로 물을 흡수하고 일부 초과된 염과 물을 신장 수질 밖으로 운반한다.

**그림 50.10** 헨레그리의 굵은 상행지 밖으로의  $Na^+$  수송을 막으면 수질 내 농도기울기가 (약물 작용의 범위에 따라) 없어지거나 감소한다. 결과적으로 집합관 내 세뇨관액은 농축될 수 없고, 오줌 배출은 증가하고 물의 손실도 증가할 것이다.

**그림 50.16** 흡혈박쥐는 사막황무지쥐처럼 긴 헨레그리를 가진다.

**자료 이용하기: 흡혈박쥐는 어떻게 혈액을 패스트푸드로 이용하는가?**

1.



- 45분 이후 평균 오줌배출 속도는 0.18 g/g 체중/hr이고 30 g 박쥐는 4.05일 것이다. 혈액 섭취량 =  $0.60 \times 30 \text{ g} = 18 \text{ g}$ . 그러므로 첫 45분에 배설되는 섭취량의 비율은 23%일 것이다.
- 이 실험에서 흡혈박쥐의 최대 농축비는 3,400 mOsm/300 mOsm = 11.30이다.
- 직실으로 두 곡선을 연결하여 빠진 자료를 추론하는 것은 오줌배출 속도가 150분에 가장 낮은 수준에 가깝게 떨어지기 때문에 합리적이지 않을 것이다. 이 시간에 오줌 삼투물농도가 최대치에 가까울 것이라고 예상하는 것이 합리적이다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 50.1**

- 물은 막을 기준으로 정수압의 차이나 용질의 농도 차이에 의해 생체막을 통과할 수 있다.
- 상어는 세포외부의 삼투물농도를 바닷물에 가깝게 유지하지만, 세포외액에서 요소와 트리메틸아민산화물의 높은 농도를 통해 더 낮은  $NaCl$  농도를 유지한다.
- 해양 무척추동물에서 낮은 경우의 삼투수용의 한계는 세포가 이온 혹은 영양분 없이 견뎌야 한다는 점이고 높은 경우에는 단백질이 높은 염 농도에서 변성된다는 점이다.

**핵심개념 50.2**

- 암모니아는 물에 잘 녹고 높은 확산 계수를 보이기 때문에 아가미 막을 통해 쉽게 방출되고 체내에 독성수준으로 축적되지 않는다
- 건조한 곳에 서식하는 육상동물은 요산으로 배설하여 수분을 보존하는데 이것은 배설 전에 용액 밖에서 침전될 수 있다.
- 통풍이 부자의 병으로 불리는 이유는 예전부터 왕과 귀족의 경우 육류와 맥주의 섭취가 많았고 이는 혈액 내 요산 수준을 높이고 결국에는 관절염을 유발했기 때문이다.

**핵심개념 50.3**

- 후신관은 보존해야 할 여과된 이온 혹은 분자를 능동적으로 재흡수하고 배설해야 할 물질을 재흡수하지 않고 배출하여 세포외액의 조성을 변화시킨다.
- 곤충은 폐쇄순환계를 가지고 있지 않아서 여과를 일으킬 압력기울기를 만들지 못한다.

**핵심개념 50.4**

- 사구체의 혈액 여과는 소변 배출에서 등삼투성의 여과물을 생성할 수 있다. 소변은 체내 수분 손실이다. 사구체가 작은 해양 경골어류는 적은 양의 소변을 배출하여 체내 수분을 유지한다.
- 다리세포는 사구체 모세혈관과 접하는 보먼주머니의 일부에서 유래한 세포이다. 여과 장소를 형성하는 모세혈관 주위를 감싸는 작은 가지로 분지된 가지들을 가지고 있다.
- 혈액은 정맥보다 수출세동맥에서 사구체를 벗어나게 되는데 이는 수출세동맥이 세뇨관의 모세혈관에서 끝나기 때문이다. 혈액이 세뇨관의 모세혈관을 떠나게 되면 이들은 정맥으로 모이게 된다.

**핵심개념 50.5**

- 네프론에서 용질과 물의 재흡수 대부분이 근위세뇨관에서 일어나고 여기서는 염, 아미노산, 포도당, 중요한 물질의 능동적인 재흡수로 물의 삼투성 흡수를 유발하고 이는 세뇨관 내부 용액을 신장 피질의 세포외액과 등장성을 유지한다.
- 헨레그리의 얇고 굵은 상행지는 물에 대한 투과성이 없다.
- 세뇨관 세포의 탄산무수화효소는 이산화탄소의 수화를 촉매하고 이는 혈액으로의  $HCO_3^-$ 의 재흡수를 증가시킨다. 관련 화학반응은  $H^+$ 의 분비를 통한 세뇨관 액에서 탄산으로 전환되는 여과된  $HCO_3^-$ 와의 동적 평형 반응이다. 이 탄산은 물과 이산화탄소로 해리된다. 이산화탄소는 세뇨관 세포로 확산된다. 만약 탄산무수화효소가 억제된다면, 세뇨관 세포에서 이산화탄소의 농도가 증가하여 이산화탄소의 세뇨관 세포로의 확산은 서서히 이루어진다. 이것은 여과된 중탄산염의 탄산으로의 전환의 감소이다. 세뇨관액에서 중탄산염의 증가는 삼투퍼텐셜을 증가시키고 물을 세뇨관 액으로 더 많이 끌어와서 오줌의 양을 증가시킨다.

핵심개념 50.6

1. 혈압의 감소는 GFP를 감소시킨다. 낮은 GFP는 네프론의 세뇨관을 통한 여과 흐름을 낮춘다. 낮은 여과 흐름은 헨레그리의 굽은 상행지를 통과할 때 NaCl의 제거를 강화한다. 원위세뇨관의 밀집반 세포들이 삼투물농도의 감소를 감지하고 인접한 방사구체 세포에 신호를 주어 레닌을 방출하게 한다. 레닌은 안지오텐시노제를 안지오텐신으로 전환한다
2. 안지오텐신은 순환하여 네프론으로 돌아오고 수축사구체세동맥의 혈관을 수축시킨다. 그결과 사구체의 압력이 증가하고 그에 따라 GFR도 증가한다.
3. 뇌하수체 후엽에서 항이뇨호르몬이 방출되면, 이 호르몬은 순환기를 거쳐 신장에서 아쿠아포린-2 물 통로의 집합관 세포의 정단 세포막으로의 삽입을 자극한다. 항이뇨호르몬은 또한 새로운 아쿠아포린-2 합성을 자극한다. 항이뇨호르몬의 부재는 아쿠아포린-2 물 통로가 집합관 세포의 세포내 소낭으로 격리된다.

51장

요약 및 평가 51.1

1. 고정행동양식은 유전적으로 결정되는데, 자연상태에서 일반적으로 만나는 특정 자극에 의해서 활성화되는 적응적 행동이다. 파블로프 조건반사는 학습에 따라 비자연적 자극에 의해서 유발되는 생리과정이다. 조작적 조건화에 의한 행동은 생리적이거나 적응적 중요성이 없는 무작위적인 행동이다. 조작적 조건화는 행동을 유발할 때 받는 보상과 함께 동물이 학습한 비자연적인 자극에 의해 활성화된다.
2. 유전적으로 결정된 행동은 동물이 적절한 발달단계나 생리적 조건 그리고 행동유발을 위해 필요한 자극이 결여된 박탈실험에서는 발현되지 않는다.
3. 짝짓기 과시행동의 근접원인으로는 생리적 생식 조건과 성적으로 수용적인 동종으로부터의 자극을 포함한다. 짝짓기 과시행동의 궁극원인은 후대에 기여하는 살아남아 성숙한 자손의 수로 표현되는 생식성공이다.

요약 및 평가 51.2

1. 바스프린과 옥시토신 유전자 발현이 산악물쥐에서 증가한다면, 들쥐는 더 짝 유대를 형성하고 암컷과 수컷 모두 증가된 부모돌봄을 보일 것이다. 만약 그러한 결과가 관찰되지 않으면, 그것은 산악 들쥐의 뇌의 적절한 지역에 수용체가 결여되어 있기 때문일 것이다.
2. 형질은 우성과 열성 대립유전자를 가지는 단일 유전자에 의해서 조절되는 경향이 있다고 결론지을 수 있다.
3. 한 유전자의 연쇄적 발현에 의해서 조절되는 중 특이적 짝짓기행동의 진화적인 이점은 (1) 해당 행동에 필요한 복잡한 조합의 반응을 하나의 유전자가 일으킬 수 있다. (2) 그러한 모든 요소의 시간적인 조절이 가능하다.

요약 및 평가 51.3

1. 매우 어린 유전적인 수컷과 암컷 쥐의 내부 생식기를 제거하면, 그들 모두는 성체가 되었을 때 에스트로젠에 암컷이 가지는 성적반응을 보이지만, 반면, 암수 모두 테스토스테론의 자극에는 반응을 보이지 않는다.
2. 명금류는 자신들이 성적 성숙에 도달하기 전까지는 자신의 노래를 부르지 않는다. 노래를 시작할 때, 명금류는 어릴 때 형성된 노래 주형에 자신의 노래를 맞추기 위해 학습해야만 한다. 학습하기 위해, 그들은 연습하고 자신의 노래를 들어야만 한다. 노래가 한 번 정형화되면, 새는 자신이 듣지 못하게 되어도 노래를 할 수 있다.
3. 새 노래와 같이 종특이적 행동에서 변이는 적응적일 수 있는데, 그러한 변이가 개체가 다른 지역 개체군 사이에서 자신의 정체성을 형성하거나 잠재적인 짝을 더 잘 유혹하게 하는 새로운 노래 유형을 만드는 데 이용될 수 있다. 반면, 종특이적 행동에서 변이가 개체인식을 방해한다면 그 변이는 비적응적일 수 있다. 예를 들어, 한 개체가 이전에 형성한 짝과 짝짓기를 하거나 자손을 먹이기 위하여 동지 영역에 돌아왔을 때, 이전에 확립된 개체의 정체성은 중요할 수 있다.

요약 및 평가 51.4

1. 습지 등지장소의 편익은 포식의 위험을 줄인다는 것이다. 비용은 그러한 등지장소는 경쟁이 높고 먹이의 가용성이 낮다는 것이다. 고지대 지역의 경우 섭식을 위해 잠재적으로 많은 먹이 자원의 이용이 가능하고, 섭식 세력권을 방어할 비용이 필요 없다. 반면, 포식에 노출될 위험과 섭식 동안 동지를 보호할 수 없다는 단점을 가진다.
2. 우세한 수컷 시클리드의 비용은 텃세권 방어와 암컷과 구애에 관련된 에너지 지출이다. 이에 더하여 섭식에 투자할 시간이 줄어드는 기회비용이 있다. 편익은 짝을 유혹하고 암컷의 일을 수정할 가능성이 있다. 비우세 수컷은 텃세권 방어와 과시 비용을 지불하지 않지만, 생식성공을 성취할 가능성의 편익은 적다.
3. 암컷 바다코끼리는 새끼를 낳고 기르기 위해 해안에 접근해야만 한다. 수컷은 다른 수컷들을 물리치고 암컷들이 접근하는 해안의 작은 지역을 방어한다. 이리하여 수컷 바다코끼리 세력권 행동의 주요 단점은 다른 수컷보다 신체적으로 우세하는 것이며, 자연선택은 그러한 수컷의 능력이 가능하도록 최적화하였다. 암컷 바다코끼리는 그들의 해안 주인을 선택할 수는 없다. 반대로 암컷 대초원 닭은 그들의 새끼를 기르는데 수컷의 세력권을 필요로 하지 않는다. 그래서 암컷들은 가장 매력적인 수컷을 단순히 고를 수 있다. 그래서 대초원 닭에서 자연선택은 암컷들을 위한 수컷 과시를 선호하였다.

4. 선택압의 한 요소는 기회비용을 최소화하는 것이다. 그래서 단위 섭식시간당 얻는 칼로리의 양은 중요한 변수이다. 다른 하나의 선택압은 포식위험이다. 개방된 환경과 보호된 환경에서 포식자에게 노출될 다른 위험 수준은 중요한 변수이다.

요약 및 평가 51.5

1. 자유롭게 운용되는 하루주기는 일출이나 일몰과 같은 규칙적으로 일어나는 신호에 동조되지 않은 내적인 주기성을 나타내는 것이다. 규칙적인 밤낮주기와 같은 시간 단서가 자유운용 주기에 부여되면, 환경의 밤낮주기에 상을 맞추기 위하여 단서는 일주 시계를 전진위상 혹은 지체위상하게 된다.
2. 만약 하루 중 시간을 안다면, 태양의 방향은 나침반 방향을 알려주는 것으로 이용할 수 있다. 시간 보상 태양나침반은 하늘의 태양 위치의 움직임을 보상하기 위하여 내적 시간 기작을 사용한다. 만약 끝벌이 정오에 남쪽에서 먹이를 발견하면, 벌통 안의 벌집위에서 추는 흔들기 춤은 위로 수직일 것이다. 그러나 시간이 오후로 되면서 먹이원의 방향이 남쪽이라는 것을 알려주기 위해서 꼬리흔들기 춤의 방향은 점점 더 수직에서 왼쪽으로 변화될 것이다.
3. 개체 간 가장 효율적인 소통유형은 개체에 매우 특이적인 촉각소통과 송신자에게 집중된 개체에게 매우 짧은 시간 안에 상당한 특이 정보를 전달할 수 있는 시각소통이다. 소리는 전체 환경에 퍼져나가기 때문에 넓은 개체군을 위해서는 효율적인 소통유형이다. 후각은 냄새의 휘발성에 의존하며 개체 혹은 개체군 소통을 위해서는 양호하다.

요약 및 평가 51.6

1. 자신의 성공적인 생식 기회가 매우 낮을 때 자신의 자손보다 부모의 자손들을 양육하는 개체를 자연선택은 선호할 것이다. 몇몇 형제나 자매를 키우는 것이 자신의 자손을 기르지 않는 것보다는 해당 개체의 포괄적응에 더 기여할 것이다.
2. 벌목에서 성결체의 2배반수체 기작 때문에, 자매들은 유전자의 75%를 공유하는 반면, 부모와 자손은 단지 50%를 공유한다. 진정사회성 곤충들에서 생식성공의 단위는 여왕 주위에 형성된 군체이다. 자매 중 하나가 여왕이 되면, 알벌은 새로운 여왕과 자신의 유전자를 75% 공유하게 된다. 그러나 자기 자신의 자손 중의 하나가 여왕이 되면, 알벌은 그녀 유전자의 단 50%만을 공유한다.
3. 잠재적인 포식자를 쫓아내는 무리의 주된 위험은 포식자에 의해 공격을 당하거나 상해를 입을 가능성이다. 무리지어 포식자를 쫓아내는 것의 편익은 포식자가 쫓아내는 동물의 일이나 어린 자손과 같은 특정 먹이에 관한 관심을 분산시키는 것이다. 또한, 해당 행동은 개체군 내 다른 개체들에 포식자의 존재를 경고한다. 물론, 주된 편익은 포식자를 쫓아내는 것이다. 쫓는 무리에 참여하는 개체들은 그들이 유연관계가 있을 때, 어린 자손을 가질 때 더 참여할 가능성이 크며, 난혼 수컷보다는 일 부일처 수컷이 더 참여할 가능성이 크다.

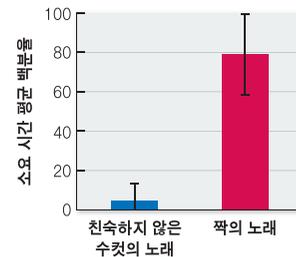
그림 질문

그림 51.2 복잡한 신호의 특이적 인식은 유전적으로 프로그래밍되지 않을 것 같다.

그림 51.11 두 번째 횡에서 생쥐의 확장된 활동 빈도는 일주기시계가 밤으로 예측한 것에 반응하는 동물의 하루주기리듬 부분을 나타낸다. 그래서 실험에서 짧은 빛의 주사는 이른 밤에 빛을 보는 것과 유사하다. 이것은 동시에 서로 여행 후 우리가 경험하는 것과 유사한데, 일몰이 우리의 하루주기 시계가 예측한 것보다 더 늦게 일어난다. 달리 말해, 우리의 하루주기 밤의 이른 부분에 빛 자극을 가지는 것과 같다. 결과적으로 지역의 명암주기에 맞추기 위해 하루주기리듬이 자체된다.

자료 이용하기, 연습은 완벽을 만든다

1. 노래가 짝 인식에 대한 정보를 제공하면, 암컷은 다른 수컷을 향한 노래보다 짝을 향한 노래를 더 강하게 선호할 것이다.
2. 표준편차는 각각 5.9와 19.3이며,  $P < 0.001$ 이다. 구분함. 암컷들은 분명하게 잘 모르는 수컷의 암컷을 향한 노래보다 자신 짝의 암컷을 향한 노래를 인식하고 그것에 끌렸다.



3. 이러한 자료는 암컷을 향한 노래는 개체의 정체에 관한 정보를 제공하며, 암컷과 수컷의 짝 유대에 역할을 한다는 것을 보여준다.
4. 혼자 부르는 노래는 아마도 수컷이 노래 내 작은 변이를 실험하거나 연습하는 기회일 수 있다. 그러나 역시 노래를 위한 낮은 수준의 동기를 표현한 것일 수도 있다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 51.1

1. 공항 탐지건의 훈련은 조작적 조건화의 예이다. 탐지건의 반응은 자연적인 자동적 반응이 아닌 개가 보상과 연합하여 학습한 비자연적 행동 반응이다.
2. 터버겐이 제안한 질문 4개의 예를 들라. 무엇이 행동을 유발하는가? 예: 어미의 부리 위의 붉은 점 이 자극이 됨을 보여주, 어린 갈매기의 부리뜨기 연구. 어떻게 행동이 발달하는가? 예: 쥐에서 수컷 성행동은 발생 중 테스토스테론의 노출에 의존적이며 어떻게 행동이 적응도를 높이는가? 예: 수컷 뇌조직의 집단구혼장 행동은 짝짓기의 가능성을 높이며 어떻게 행동이 진화하는가? 예: 들쥐에서 일부 일처와 일부다처. 환경이 암컷 단독으로도 자손들을 성공적으로 키울 수 있는 환경이 허용하는 곳 에서 수컷들은 추가적인 암컷과 짝을 지어 자신의 적응도를 최대화한다. 암컷이 홀로 자손들을 양육할 수 없는 환경조건이거나 수컷들이 추가적인 짝짓기 기회가 낮은 경우, 수컷들은 자손 양육을 도와 자신의 적응도를 극대화한다.

핵심개념 51.2

1. 생쥐의 VNO는 페로몬 수용체를 가지고 있다. 그러한 수용체는 잠재적인 짝의 성별을 파악하는 데 결정적 역할을 한다.
2. *Drosophila*에서 성결정의 신호전달 연속반응은 *sex-lethal(sxl)*과 *transformer(tra)* 유전자 mRNA 의 서로 다른 짜깁기로부터 시작한다. *sxl*와 *tra* mRNA의 짜깁기 동안 암컷에서는 종결코돈을 제거하지만, 수컷에서는 그렇지 않다. 따라서 수컷에서는 암컷으로 발달하는 경로에 핵심적인 주요 전 사요소(*Sxl*, *Tra*)를 생산하지 않는다.

핵심개념 51.3

1. 새로 태어난 수컷 쥐를 출생 시 거세하면, 성체가 되었을 때 에스트로젠에는 암컷 성행동을 보이지 만, 수용적 암컷에게는 정상적인 수컷 성행동을 보이지 않는다. 만약 출생 시 암컷의 난소를 제거하 면, 성체가 되었을 때 에스트로젠 처리에 대해 암컷 성행동을 보이지만, 테스토스테론에는 반응하 지 않는다. 이것은 유전적 암컷과 수컷 모두를 출생 시 거세하면, 성체가 되었을 때는 암컷 성행동이 발달함을 보여준다.
2. 어린 흰머리참새는 동지를 떠난 후 몇 개월이 지난 후 성적 성숙에 도달하는데, 그전에는 노래하지 않는다. 그러한 기간 동안 수컷과 암컷들은 다른 많은 종의 노래를 듣는다. 그러나 그들이 성숙해 생식을 준비할 때는 수컷들은 흰머리참새의 노래만을 부르며, 암컷은 흰머리참새 노래에만 반응한 다. 태어난 동지에 있는 동안 그들 아버지의 노래소리를 듣고 그들의 뇌 안에 노래의 주형을 형성하 는데, 이것은 이후 그들이 성적으로 성숙하였을 때 수컷들은 자기 종의 노래를 학습할 수 있게, 암컷 에서는 선택적으로 자기 종의 노래에 반응하게 한다.
3. 종특이적 노래로 인해, 수컷 흰머리참새는 짝을 유인할 기회를 최대화하며, 암컷은 종특이적 노래 에 반응할 수 있게 된다. 노래에 작은 변이는 개체군들 사이나 개체들 사이에 있을 수 있다. 노래소 리에 작은 변이를 첨가할 수 있는 능력은 흰머리참새 수컷이 새로운 개체군 내로 적응하게 하며, 또 한 자신의 노래를 약간 일반적이지 않게 만들 수 있게 하는데, 이는 개체인식을 돕고 암컷에게 더 유 혹적인 노래를 가지게 한다.

핵심개념 51.4

1. 수컷들의 생식비용은 최대 에너지, 위험, 기회비용을 가지는 세력권 행동을 포함한다. 수컷들의 테 스토스테론 양은 계절적 주기성을 가지는데, 수컷들은 암컷들이 가장 양호한 생식조건을 가지는 일 년 중 특정 기간으로 세력권 행동을 제한한다. 암컷들의 생식비용도 상당한 데, 암컷이 생식호르몬 의 계절적 주기를 가진다는 것은 최소비용으로 최대적응을 가질 수 있는 최적 환경조건 기간에만 생식함을 의미한다.
2. 안전한 동지 세력권이 부족하므로, 포식자로부터 일어나 자손을 안전하게 방어할 수 있는 이상적인 동지 자리를 방어하는 것은 이러한 종들의 생식적응도에 기여한다.
3. 섬의 해안가는 포식자로부터 보호를 더 제공할 것이다. 더 큰 우세 수컷들이 섬의 해안가를 담당 하는데, 우세한 수컷과 짝짓기한 암컷의 경우 해당 암컷의 수컷 새끼가 우세 수컷의 유전자를 이어 받게 하여 그녀의 유전자를 가진 더 많은 손자를 가질 가능성을 증대시킨다.

핵심개념 51.5

1. 태양너침반 항해는 지평선에 대한 태양의 위치에 의존하는데 태양의 위치는 하루 동안 계속 변한 다. 하루주기리듬은 시간의 흐름을 계산하기 위한 태양 위치 정보의 지속적인 수정이 가능한 시간 정보를 제공한다.
2. SCN 이식실험의 첫 번째 단계는 실험동물들의 SCN을 파괴하는 것이다. 이 절차는 실험동물들의 하루주기리듬을 제거하였는데, 이는 SCN이 하루주기리듬에 필요함을 보여준다. 이식된 SCN 조 직이 공여자의 주기로 실험동물들에서 하루주기리듬을 복원하였다는 사실은 SCN이 하루주기리듬 생성에 충분하다는 것을 보여준다.
3. 꼬리흔들기춤은 넓은 중앙부를 가지는 8자 모양을 취한다. 춤은 벌들의 벌집 표면에서 수행된다. 만약 춤의 중앙부가 수직으로 위를 향하면, 먹이원은 태양의 방향을 지평선에 그대로 내린 방향에 있다는 것이다. 춤의 중앙부가 수직선의 좌측이나 우측으로 방향을 바꾸면, 먹이원은 태양의 왼쪽 이나 오른쪽에 있다는 것이다. 꼬리흔들기춤의 지속시간은 먹이원까지의 거리를 나타낸다.

핵심개념 51.6

1. 성적이형은 일부다처에서 가장 일반적이는데 이는 수컷들 사이의 잠재번식성공이 일부다처에서 가장 큰 편차를 가지고 있기 때문이다. 암컷이 자기 아들에게 짝짓기한 우세한 수컷의 형질을 물려줄 수 있다면 자신의 생식성공은 최대가 된다. 이리하여 선택은 암컷들의 선호에 관여하거나 수컷의 신체 적 우위를 보여주는 수컷의 형질들을 선호하게 된다.
2. 이타주의는 수행자의 비용으로 다른 개체가 이익을 보는 행동이다. 이타주의가 진화한 하나의 사 회체계는 일부일처제인데, 젊고 경험이 없는 개체들의 생식성공 가능성이 매우 낮은 경우이다. 이리 한 개체들은 그들 부모의 자손 양육을 도움으로 그들의 포괄적응도를 증가시킬 수 있는 있다. 이타주 의가 진화한 다른 사회체계는 일처다부제인데, 이 경우 암컷들이 누구가의 도움 없이 그녀의 자손 들을 성공적으로 양육할 가능성이 매우 낮다. 선택은 양육에 공헌하는 아버를 선호한다. 추가적으 로, 암컷이 하나 혹은 더 많은 추가 수컷들을 유혹하는 경우, 그러한 수컷들의 누구도 자손들이 자 신의 것인지 알지 못하게 해서, 수컷들은 실제 아버의 자손들에 양육을 수행한다. 이타주의가 진화 한 세 번째 사회체계는 벌과 같은 벌목의 진사회성이다. 이러한 종들에서 성결정 체제는 반수성이다. 수컷들은  $n$ 이며, 암컷들은  $2n$ 이다. 모든 알벌은 여왕의 딸로 서로 간은 자매이다. 알벌들은 자신의 잠재 자손(대립유전자의 50%를 공유)보다 자매(대립유전자의 75%를 공유)와 더 가깝다. 즉, 알벌 들은 그들 자신의 자손을 가지는 것 보다 자매 양육을 도움으로써 더 큰 포괄적응도를 얻게 된다.
3. 벨딩땅다람쥐 집단에서, 이웃의 성체 암컷들은 근연관계가 없거나 자매일 수 있다. 자매의 자손을 지원하는 것은 포괄적응도를 증가시킨다. 그러나 근연관계가 없는 암컷의 자손을 죽이는 것은 해당 암컷 자신의 새끼들이 맞이할 경쟁을 줄여, 직접적으로 적응도를 높여게 된다.

9부

52장

요약 및 평가 52.1

1. 생태학자들은 물리적 환경과 생물 사이의 상호관련성에 관한 연구를 하지만, 환경결정론자들은 자 연계의 문제점과 관련된 개인적 공공적 정책을 알리기 위하여 생태학적 지식(사회적 윤리적 관심도 포함)을 사용한다.
2. 야외에서 살아 있거나 죽은 불가사리에 질병이 만연한지를 알아보기 위하여 관찰조사를 할 수 있 다. 많은 장소에서 많은 개체를 조사한다면, 개체군이나 메타개체군 규모에서 질병의 만연 여부를 추론할 수 있다. 불가사리들이 질병과 관련하여 죽는지를 결정하기 위하여 의심되는 병원균에 불가 사리를 드러내는 실험을 수행할 수 있다. 마지막으로 어떻게 질병에 의한 죽음이 불가사리 개체군에 영향을 주는지에 대하여 시뮬레이션하고 관찰 자료를 다른 결과들과 비교하기 위하여 개체군 모델 을 만들 수도 있다.

요약 및 평가 52.2

1. 아니다. 한 달간의 매우 더운 날씨가 지구의 기후가 온난화되었다고 말할 수는 없다. 기후는 수년에 서 천 년 사이의 대기조건의 장기간 평균이다.
2. 지구는 구이기에 때문에, 표면에 오는 태양복사의 강도는 위도에 따라 다양하다. 고위도에서는 유입 되는 태양에너지는 각을 가지고 도달하고, 적도보다 대기를 더 길게 통과하기 때문에 빛이 표면을 수직으로 도달하는 적도보다 유입되는 태양에너지가 작다. 에너지 유입에서 이러한 위도 변이의 결 과는 각 30° 위도마다 온도와 강수량의 주요 차이로 나타난다. 적도에서 기후는 덥고 습한 조건을 가진 열대이다. 남북 30°에서 기후는 온난건조하여 사막조건을 생산한다. 남북위 60°에서 기후는 한랭다습 조건을 가진다. 극에서 기후는 한랭건조하다.
3. 뉴욕에서 영국으로 항해를 하면(서에서 동으로), 편서풍과 멕시코만류가 이익이 될 것이다. 그러므 로 대서양을 가로질러 북동쪽으로 항해를 해야 할 것이다.
4. 지축이 기울어져 있어, 특정 지역이 받는 태양광의 양이 지구가 태양을 공전하는 과정에 변동된다. 북반구가 태양 쪽으로 기울어졌을 때, 북반구는 여름이며, 태양으로부터 멀리 기울어진 남반구는 겨울 조건이 된다.

요약 및 평가 52.3

1. 산맥과 계곡은 대기 순환에 영향을 미쳐 온도와 강수에서 지역 및 광역적 차이를 유발한다. 또한, 강과 호수에서 담수의 흐름에도 영향을 미친다. 해저 지형은 투광도, 수온, 수압, 물의 이동(해류, 파도, 조수)에 영향을 미치는 수심 변이를 만든다. 물리적 조건에서 이러한 변화는 육상의 육상생물 군계와 유사한 특징적인 생물상을 포함하는 다른 영역을 만든다.
2. 도시는 콘크리트, 아스팔트, 검은 지붕이 태양복사로부터 열을 흡수하고 자력 시간에 열을 내어놓 기 때문에 더 덥다. 도시는 또한 자동차, 공장, 빌딩으로부터 화석연료를 태워 더 많은 열을 생산한 다. 도시와 도시를 둘러싼 농촌 사이의 온도 차이는 전원풍을 만들어낸다. 전원풍은 도시의 더운 공 기가 상승함에 따라 주위의 농촌지역으로부터의 찬 표면 공기가 이를 대체하는 공기의 흐름이다. 공원은 관목과 다른 식물들의 증발산을 통해서 주위 공기를 냉각시킬 수 있다.

요약 및 평가 52.4

1. 우세한 식생은 교목으로 제곱킬로미터당 500종에 이른다. 온대상록림은 겨울이 온화하고 습하며, 여름이 시원하고 건조한 중위도로부터 고위도에 나타난다. 우점 교목은 북반구에서는 침엽수인 몇몇 소나무류인 반면, 남반구에선 남부너도밤나무류(Nothofagus)이다. 열대우림과 온대상록림 생물 군계는 습한 조건에서 자라며 계절에 따라 잎을 잃지 않는다는 측면에선 유사하다.

2. 윌리스는 인접한 섬의 발리와 롬복에 서식하는 육상 종에서 매우 큰 차이를 보았다. 두 섬은 단지 24 km 떨어져 있으며, 유사한 물리적 환경을 가지고 있다. 이 관찰은 그로 하여금 서로 다른 생물상이 진화시간에 걸쳐서 둘을 분리한 장벽(이 경우, 깊은 수로)에 의해 분리되어 있었다는 것을 가설케 하였다. 윌리스는 생물지리구가 다른 대륙과 섬에 거주하면서 종들이 경험한 격리의 결과라고 추측하였다.
3. 대륙빙하기 열대보다 현재 종다양성이 낮은 온대지역으로 확장되었다는 사실은 종다양화 시간 가설을 더 잘 지지한다. 이 가설은 종분화가 일어난 시간의 양이 열대에서 더 크다는 것을 제안한다. 열대에서는 극한 기후조건이 종분화를 느끼게 하거나 절멸을 증가시키지 않는다. 이리하여 열대에는 단순히 기후에서 큰 변화가 없으므로 시간에 걸쳐서 더 많은 종이 축적되었다는 것이다.

**요약 및 평가 52.5**

1. 섬생물지리학의 전제는 섬 위의 종수는 이주율과 절멸률의 균형을 나타낸다는 것이다. 종의 풀로부터 더 멀리 떨어진 섬은 가까운 섬보다 더 적은 이주자를 가질 것이다. 추가로 더 작은 섬은 더 적은 자원을 가지고 있고, 그래서 더 적은 종을 유지하며, 더 높은 절멸률을 가질 것이다. 더 큰 섬은 더 많은 자원을 제공하여 더 큰 개체군을 유지한다(작은 섬보다 더 낮은 절멸률을 가지는 경향도 포함).
2. 서식지 절편화는 근본적으로 부적합서식지로 둘러싸인 격리된 서식지 섬을 만든다. 더 작고 더 격리된 서식지 절편화는 해당 서식지 내에 더 적은 종을 유지하며, 종이 더 적합한 절편으로 이동할 가능성을 떨어뜨린다. 추가로 절편은 가장자리효과에 노출된다. 절편 서식지의 위험한 외곽은 절편 크기를 더 작게 한다. 종을 유지할 정도로 충분히 큰 서식지 절편을 건드리지 않고 남겨두는 것은 서식지 절편화 효과를 줄일 수 있다. 혹은 종이 한 절편으로부터 다른 절편으로 안전하게 이동하는 데 이용하도록 통로를 만들어주어 절편화 효과를 줄일 수도 있다.

**그림 질문**

**그림 52.2** 온실가스의 증가는 지표면으로 적외선복사 흐름을 증가시켜, 기후를 온난화하는 효과가 있다.

**그림 52.9** 기온역전은 오후에 열을 생산하고 아침에 안개를 생산할 수 있는 큰 온도곡선이 있을 때 일어난다. 계곡은 낮 동안 태양으로부터 열을 축적하며, 열이 높아지면서 따뜻한 공기층을 형성한다(역전층). 역전층은 야간에 계곡으로 내려오는 차고, 밀도가 높고, 습한 공기를 잡아 안개를 생산한다. 용승은 탁월풍이 해안선과 평행하게 불 때 나타나는데, 해안선으로부터 표면수를 멀어지게 하여 깊은 곳에서 찬물이 표면으로 올라오게 된다. 이 찬물은 해안에서 습한 공기를 냉각시켜 아침 안개를 만든다.

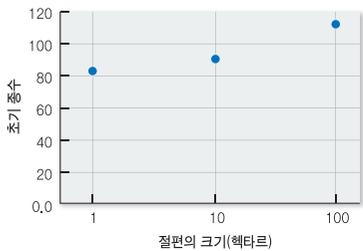
**그림 52.12** 어떤 지역에 제한된 모든 종이 지역적 종 풀의 일부가 된다. 따라서 지역적 종의 풀은 지역에서부터 국부적 규모에 걸쳐 종의 구성과 종다양성에 영향을 미친다.

**그림 52.13** 북반구가 더 많은 생물군계 유형을 가진다. 이것은 북반구가 남반구보다 더 많은 육지 지역을 가진 결과로 보이며, 이것은 온도와 강수 영역이 더 다양화할 기회를 제공한다.

**그림 52.14** 땅덩어리가 분리되면 종분화가 증가할 것을 예측할 수 있는데, 이는 종들이 서로 생식적으로 격리되어 서로 다른 진화적 경로를 따를 기회가 증가하기 때문이다. 이러한 방식의 종분화는 분단 분포로 알려져 있다.

**자료 이용하기, 지구에서 가장 큰 실험**

1. 그렇다. 조류의 최초 종수와 절편 크기 간에는 양의 상관성이 있다.



2. 시간 단위  $t_{50}$ (절편 후 종 수가 50%가 되는 데 걸리는 시간)을 10배 증가시키기 위해서 절편의 크기가 1,000배 증가하여야 한다는 것을 보여준다. 이리하여 1 ha의  $t_{50}$ 이 5년이라면, 종의 반 이상이 50년 후에도 남아 있기 위해서는, 1,000 ha의 절편이 필요하다. 100년 후에도 종이 남아 있기 위해서는 절편의 크기가 10,000 ha가 되어야 한다.
3. 그렇다. 100년 후에도 종이 남아 있기 위해서는 10,000 ha의 지역이 필요하기 때문이다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 52.1**

1. 생태학은 생물과 그들의 환경 사이의 상호작용을 연구하는 반면, 환경결정론은 생태 정보를 이용하여 자연계의 관리를 알린다.
2. 실용적인 생태학 연구들은 생태학적 원리들이 어떻게 우리가 자연 자원과 자연계를 이용하고 관리하는 것을 증진하는 데 사용할 수 있는지에 관한 연구를 포함한다.
3. 같은 종의 상호교배하는 개체들의 모임이 개체군이다. 다른 종의 개체군들이 함께 있을 때, 군집을 이룬다.

**핵심개념 52.2**

1. 아니다. 차가나 따뜻한 일기의 짧은 경향은 기후에 관한 정의를 나타내지 않는다. 기후는 수년에서 천 년 사이의 대기 조건의 장기간 평균이다.
2. 지구는 구형이기 때문에, 적도나 적도 부근에 있는 열대지방은 단위면적당 가장 많은 태양복사를 받는다. 따뜻하고 습한 공기가 상승하며, 확장되어 서늘해지면, 지역 위로 수분을 떨어뜨린다. 대조적으로, 극지방은 태양으로부터 가장 멀고, 태양복사가 기울어져 지구에 도달하기 때문에 단위면적당 가장 적은 태양복사를 받는다. 이외에도, 극지방은 대류권 내의 강한 압력으로 인해 하강하는 차고 건조한 공기를 받는다.
3. 북서 및 남동무역풍 모두는 해류를 적도 방향으로 밀어낸다.

**핵심개념 52.3**

1. 비그늘은 바다로부터 온 습기를 가진 공기가 바람을 마주치는 산맥 쪽을 가슬러 올라감에 따라 서늘해져 습기를 내놓을 때 만들어지는데, 습한 기후를 만든다. 바람이 가려지는 산맥 쪽의 경우 건조한 공기가 계속으로 내려와 비가 적고 건조한 상태를 만든다.
2. 해저 지형은 빛, 온도, 수심에서 차이를 생성해 다양한 수생권역과 환경을 만든다. 바람이 해안과 수평으로 불 때, 해안선으로부터 멀어지는 표면류를 만든다. 표면수는 표면으로 올라오는 깊고, 차고, 영양분이 많은 물로 대체된다.
3. 교목은 증발산을 통해 주위 공기를 차게 만든다.

**핵심개념 52.4**

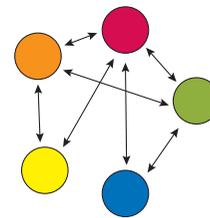
1. 지역은 잠재적으로 군집을 구성하며, 극지적 종다양성과 구성에 영향을 미치는 종을 포함하고 있다.
2. 지구의 육상생물군계는 온도와 강수량이 유사한 환경조건을 공유하며 살아가는 생태적으로 유사한 생물(일반적으로 식생)의 그룹이다.
3. 생물지리 패턴은 진화적 격리와 시간의 결과로 가정된다. 예를 들어, 생물지리구는 서로 다른 대륙과 어림잡아 대응하며, 분산을 방지하여 진화적 시간에 걸쳐서 종을 분리하는 대륙이동의 결과로 생각된다. 추가로, 위도에 따른 다양성 기울기는 열대지방이 온대나 극지방보다 더 깊고 더 안정적인 진화역사를 가진 결과일 수 있다.

**핵심개념 52.5**

1. 종다양도는 섬이나 절편화된 지역의 크기가 증가하면 증가하는데 이는 더 많은 종이 작은 지역보다 더 많고 서로 다른 유형의 자원을 가진 넓은 지역에 공존할 수 있기 때문이다.
2. 섬생물지리학 이론은 섬 내 종의 수는 이주율과 절멸률 사이의 균형을 나타낸다고 언급한다. 종의 풀로부터 더 먼 섬은 더 가까운 섬보다 더 적은 이주자를 가질 것이다. 추가로, 더 작은 섬은 더 적은 자원을 가질 것이며, 이리하여 더 적은 종을 유지할 수 있어, 결국 더 높은 절멸률을 가진다. 큰 섬은 더 많은 자원을 제공하여 더 큰 개체군을 유지할 수 있다. (작은 개체군보다 더 낮은 절멸률을 가지는 경향이 있다.)

**53장**

**요약 및 평가 53.1**



1. 그렇다. 흑등고래의 5개 개체군은 그들의 여름 섭식지에서 하나의 메타개체군을 형성한다. 노랑과 파랑 개체군을 제외한 모든 개체군은 그들의 여름 섭식지에서 서로 겹치며, 잠재적으로 개체들이 상호교환될 수 있다. 노랑과 파랑 개체군들은 다른 3개의 개체군과 중첩되기 때문에 여전히 메타개체군의 일부가 된다.
2. 먹이자원을 위한 종내경쟁이 아마도 시간에 따른 진드기 개체군 크기 변동의 원인이 될 것이다. 진드기 개체군들은 그들의 개체군밀도에 의해 유발되는 급성장과 급감소를 경험하게 된다. 포식은 진드기 개체군들이 급성장과 급감조건에 이르기 전에 진드기 밀도를 조절하여 변동을 지속해서 살피게 된다.
3. 가장 적절한 방법은 아마도 표지재포획법일 것이다. 격자나 선상조사는 식물이나 움직이지 않는 동물 조사에만 적절하다. 큰 지역이나 수중에서 전수조사하는 것은 비실용적이며 거의 불가능하다. 움직이는 동물들을 위한 가장 최적의 접근법은 동물을 표집하고, 표시하고, 그 후 그들을 재포획하여 표시된 개체를 헤이리는 방법이다. 이 방법은 연구자들이 개체군을 의미 있게 측정하도록 한다.

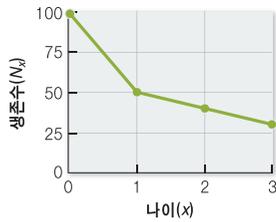
**요약 및 평가 53.2**

1.  $N_t = N_0 + (B - D) + (I - E)$ ,  $N_t$  = 시간  $t$ 에서 개체군의 크기;  $N_0$  = 시간 0에서 개체군의 크기;  $B$  = 시간 0과  $t$  사이에 태어난 개체 수;  $D$  = 시간 0과  $t$  사이에 죽은 개체 수;  $I$  = 시간 0과  $t$  사이에 입된 개체 수;  $E$  = 시간 0과  $t$  사이에 이출한 개체 수.

2.

연도	연령 (x)	암컷 조류의 수(N <sub>x</sub> )	암컷 자손의 수(N <sub>x,자손</sub> )	생존율(l <sub>x</sub> )	생식력(m <sub>x</sub> )	순생식률(l <sub>x</sub> m <sub>x</sub> )	세대 시간(xl <sub>x</sub> m <sub>x</sub> )
2017	0	100	0	0	0	0	0
2018	1	50	75	0.50	1.50	0.75	0.75
2019	2	40	80	0.40	2.00	0.80	1.60
2020	3	30	60	0.30	2.00	0.60	1.80
						R <sub>0</sub> = 2.15	4.15

- a. R<sub>0</sub> = 2.15; G = 4.15/2.15 = 1.93; r = ln(2.15)/1.93 = 0.40.  
 b. N<sub>t</sub> = (120)e<sup>0.40 × 20</sup> = (120)(2,982) = 357,720.  
 c. N<sub>t</sub> = 300/(1 + [(300 - 120)/120]e<sup>-0.40 × 20</sup>) = 300/1.0005 = 300.
- 3.



- 이 동령군은 조류, 어류, 식물에서 일반적으로 나타나는 유형 2 생존곡선을 가지고 있다.
4. 이 동령군을 조절하는 밀도의존적 요인으로는 종내경쟁의 결과로 높은 밀도에서 개체군 성장을 감소시키는 제한요소를 포함한다. 포식자나 병원균은 높은 개체군 밀도에서 개체들의 사망률에 대한 효과가 다를 수 있다. 이 동령군을 조절하는 밀도비의존적 요인으로는 개체군 내에서 많은 수의 개체들을 죽일 수 있는 극한의 추위나 이례적으로 강한 허리케인을 포함한다.

**요약 및 평가 53.3**

- a. 지난 180년에 걸쳐 지속해서 기대수명이 증가한 것은 음식이나 건강 안정성(예: 환경적 요인)에서 진보가 사람이 더 오래 살 수 있게 하였다는 것을 의미한다. 유전적으로 결정된 수명의 변화는 진화시간에 걸쳐서 일어날 수 있다.  
 b. 일본과 앙골라 시민 사이의 다른 수명은 대부분 환경요인의 결과이다. 일본 시민들은 앙골라의 높은 HIV 감염이나 국내불안으로 인해 앙골라의 시민들보다 일반적으로 더 나은 삶의 질을 가지고 있다.
- 최적화에 대한 진화적인 유전적 변이에 의한 제한과 물리적 및 생물적 환경이 관여하는 효과로 인해 생활사 맞교환이 발생한다. 맞교환의 예로는 높은 성장 대 높은 생식, 높은 생식 대 생존에서 자원의 할당이 있다.
- Lobelia telekii*는 단 한 번 번식하며, 많은 종자를 생산하고 짧은 수명을 가지는 r-전략종인 반면, *L. keniensis*는 여러 번 번식하며, 적은 수이지만 큰 종자를 생산하며, 수명이 긴 K-전략 생활사를 가진 종이다. 구피실험 측면에서 높은 포식압을 가진 개울에 사는 개체들은 r-전략 생활사를 가지지만, 낮은 포식압을 가진 개울에 사는 개체들은 K-전략 생활사를 가진다.

**요약 및 평가 53.4**

- K-전략종은 r-전략종에 비하여 수명이 길며, 크고 적은 수의 자손을 긴 시간에 걸쳐서 생산한다. 따라서 이들의 복원은 개체군 내 개체들의 크기 혹은 수의 관리를 필요로 하는데, 이는 이들이 충분히 오랫동안 생존하여 충분한 크기에 도달하고, 그래서 시간에 걸쳐 개체군 크기를 증가시킬 수 있는 비율로 성공적으로 번식할 수 있어야 한다.
- a. 샌프란시스코만 지역에 분포하는 에드스먼비독무늬나비 메타개체군의 크기에 영향을 미치는 요소들로는 나비의 기주식물을 가진 노출된 사문석 암석지대, 개체군에 대한 기후의 영향, 개체군들 사이의 분산율, 수용개체군과 공급개체군의 수 등을 포함한다.  
 b. 모건힐 개체군의 절멸로 메타개체군은 거의 절멸에 직면하였다. 모건힐과 같은 큰 개체군은 일시적인 지역적인 절멸 후 작은 개체군들을 재군집화하는 공급원으로 기능한다. 그러한 공급개체군 없이는 긴 시간에 걸쳐 메타개체군이 유지되기가 쉽지 않다.

**그림 질문**

- 그림 53.6** 청색 곡선(r = 1)이 적색 곡선(r = 0.25)보다 더 빠른 성장률을 가지고 있으며, 더 기울기가 크다.
- 그림 53.9** 사람은 성인이 동안 전반적으로 높은 생존율을 가지며 사람의 후반기에 급격한 감소를 보이는 유형 1 생존곡선을 가진다. 이 유형의 생존곡선을 가지는 종들은 전형적으로 낮은 번식률을 가지며 자손들의 초기 발달단계에서 사망위험을 줄일 수 있는 양육을 제공한다.
- 그림 53.12** 그렇다. 구피 개체군의 생활사 전략은 유전적으로 결정되는 것처럼 보인다. 무제한으로 먹이를 제공하고 포식자에게 드러내지 않는 경우 두 개체군 모두 그들의 전략을 바꾸지 않는다.

**그림 53.14** 그렇다. 변화율이 증가할 것으로 예상된다. 1840년에서 1940년 사이 여성의 기대수명은 25년 증가하였다(1840년 45세에서 1940년 70세로). 그 변화율은 100년에 걸쳐 55%에 달한다(25/45 × 100%). 1940년부터 2040년 사이, 여성의 기대수명은 25년 증가할 것으로 예측되었다(1940년 70세에서 2040년 95세로). 따라서 100년 사이 증가율은 36%(25/70 × 100)이다. 증가율로 보면, 같은 100년 사이, 첫 번째 기간(1840-1940)의 증가율이 두 번째 기간(1940-2040)의 증가율보다 더 크다.

**자료 이용하기, 진드기 개체군의 관찰**

- 그림 53.5A의 공식은  $N = (n_1 \times n_2)/M0$ 라는 것을 보여준다. 즉, 예측된 진드기의 총 수(개체군 크기 N)는 첫 번째 표집에서 포획되어 표시된 후 방사된 수(n<sub>1</sub> = 18)에 두 번째 표집에서 포획된 모든 개체의 수(n<sub>2</sub> = 33)를 곱한 값을 두 번째 표집 개체 중 표식을 가진 수(M = 8)로 나눈 값이 된다. 따라서 표집된 잔디밭의 측정된 개체군의 크기 N = (180 × 33)/8 = 5,940/8 = 742.5 성체 진드기가 된다.
- 질문 1에서 계산된 진드기의 수 742.5를 잔디밭의 넓이인 700(m<sup>2</sup>)으로 나누면, 약 제곱미터당 진드기의 수는 1.06이 된다.
- 이 연구는 도시 근교의 주민들이 자신의 정원에서 라임병의 매개체인 진드기를 미주칠 위험성이 얼마나 되는지를 평가하기 위하여 수행되었다. 미주칠 확률이 높다는 것은 질병에 걸릴 위험 역시 높다는 것을 의미한다. 제곱미터당 약 한 마리의 진드기 밀도는 이 지역의 주민들이 진드기와 실제로 미주칠 수 있으며, 따라서 이들이 자신들의 정원에서 외부활동을 한다면 라임병에 걸릴 확률이 높다는 것을 의미한다.

**자료 이용하기, 전 세계 인구성장률은 감소할 것인가?**

- N<sub>t</sub> = (77억)e<sup>0.011 × 81</sup> = (77억)(2.44) = 188억
- N<sub>t</sub> = (100억)e<sup>0.005 × 20</sup> = (100)(1.10) = 110억
- 2019년 자료: N<sub>t</sub> = 12/[1 + ((120 - 77)/12)e<sup>-0.011 × 81</sup>] = 120/1.41 = 85억.  
 2080년 자료: N<sub>t</sub> = 12/[1 + ((120 - 100)/12)e<sup>-0.005 × 20</sup>] = 120/1.15 = 104억.
- 2019년 2080년의 자료를 사용하여 개체군 수를 비교하면, 환경수용력은 성장률을 줄이는 것보다 개체군의 크기를 줄이는데 더 큰 효과를 가진다. 2019년 자료에 환경수용력을 가미하면, 개체군의 크기는 85억이 되는데 이는 2080년 자료를 사용한 104억 명과 비교할 때, 줄어든 값으로, 이는 성장률이 낮아짐을 말한다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 53.1**

- 개체군은 잠재적으로 상호교배와 상호작용하는 일정 지역에 함께 살아가는 같은 종의 개체들의 모임이다. 메타개체군은 분산을 통해 함께 연결된 지리적으로 분리된 개체군의 모임이다.
- 개체군 내 개체들의 공간적인 배열 혹은 분포유형은 균일, 무작위, 군생일 수 있다. 분포유형에 영향을 미치는 주요 세 요소는 분산, 물리적 환경, 중간 상호작용이다.
- 개체군의 크기를 예측하기 위해 사용하는 접근법은 전수조사, 방형구나 트랜섹트를 이용한 조사, 표지재포획법, DNA 분석이 있다.

**핵심개념 53.2**

- 지수성장은 개체군 크기의 변화율이 배수적이며 시간에 걸쳐 일정할 때 나타난다. 로지스틱 성장은 자원이 제한적이며, 종내경쟁이 개체군 최대 크기(환경수용력)에 다다르며 따라 개체군 성장이 낮아질 때 나타난다.
- 밀도의존적 요소들은 자원을 제한하는 종내와 종간 경쟁과 포식자와 질병처럼 높은 개체군밀도에서 개체들의 사망률에 서로 다르게 영향을 미치는 요소들이다. 밀도비의존적 요소들은 개체군 내에서 개체들을 죽이는 어떠한 물리적 요소도 해당된다.
- 생명표 분석은 개체군 내에서 개체들의 나이, 크기, 성의 결과로 나타나는 생존율과 생식률을 설명해 준다. 이 분석은 개체군 성장 정도를 더 실제로 결정할 수 있게 하여, 종의 관리를 더 잘하기 위해서나 생명보험회사가 그들의 보험통계 분석을 위해서 사용한다. 따개비는 유형 3 생존곡선을 보인다.

**핵심개념 53.3**

- 생활사 특성은 성장, 번식, 생존에서의 차이를 포함한다. 생활사의 특성은 유전과 환경 모두에 의해서 결정되기 때문에, 개체, 개체군, 종 사이에서 다양할 수 있다.
- 생활사 전략에서 맞교환은 성장, 번식, 생존에 부여된 제한으로 인한다. 이러한 제한으로는 진화가 작용할 유전적 변이의 결여, 신체적 조건, 성장, 번식, 생존을 제한하는 중간 상호작용을 포함한다.
- r-전략종은 짧은 수명, 개체군 성장을 최대도 하는 드물지만 높은 생식 사건을 가진다. K-전략종은 긴 수명, 다회번식, 성장에 큰 할당을 하는데, 이러한 특성 모두 환경수용력 근처에 최대한 유지한다.

**핵심개념 53.4**

- 원하는 종의 개체군 동태를 관리하기 위해서는 출생률을 높이고 사망률을 낮게 유지하여 개체군의 크기를 환경수용력 바로 아래에 유지하는 것이 중요하다. 원하지 않는 종의 경우, 절멸 시점까지 종의 밀도를 낮추는 것이 목표이다. 그러한 목표를 달성하는 하나의 방법은 천적 혹은 생물학적 방제를 이용하는 것이다.
- 개체군들의 모임 혹은 메타개체군은 개체들이 공급개체군과 수용개체군들 사이의 분산을 허용하는데, 이는 경관을 가로지르는 절멸위험의 확산을 줄여 전체적으로 종의 절멸될 가능성을 줄인다.

54장

요약 및 평가 54.1

1. (a) 상리공생. (b) 편해공생. (c) 기생. (d) 경쟁.
2. 두 종간의 상호작용을 변화시킬 수 있는 조건에는, 물리적 조건, 분산이나 다른 상호작용하는 생물 같은 생물학적 조건이 있다.
3. 아니다. 대서양에 서식하는 쓸배감펍의 먹이들이 새로운 포식자에 진화적 방법으로 적응하기에 충분한 시간이 있었을 가능성은 거의 없다. 대서양에 있는 일부 산호초에서 작은 산호초 물고기의 65%를 잃었다는 연구 결과는 이러한 결론을 지지한다.

요약 및 평가 54.2

1. 아마 산호초 물고기들이 적응하는, 또는 산호초 물고기 사이에서 진화할 수 있는 가장 단순한 행동은 쓸배감펍에 의해 머리가 잡히는 것을 피하는 일일 것이다. 이는 쓸배감펍이 있음을 감지하고 그들이 물대포를 쏘아 먹이의 머리를 누아채려 하기 전 그 자리를 피해 달아나는 것을 의미한다. 또는 물대포를 맞았을 때 먹이는 예측 불가능한 방향으로 움직임으로써 쓸배감펍이 누아채지 못하도록 할 수도 있을 것이다.
2. 초식과 기생 모두 공생 관계에 해당하는데, 초식자와 기생자가 식물 혹은 숙주보다 더 작거나, 식물 혹은 숙주 몸 위에서 생활하기 때문이다. 이러한 긴밀한 관계는 종들로 하여금 서로의 영향을 줄이는 특화된 기작을 진화시키도록 이끌었다. 특히 초식자의 먹이인 식물은 움직이지 못하기 때문에 집중적으로 초식을 당할 경우에 대한 대비책을 진화시켰다.
3. 버과 종의 수는 토끼 개체군의 크기가 가장 클 때 가장 많고, 토끼 개체군의 크기가 가장 작을 때 가장 적다.

요약 및 평가 54.3

1. 실현 생태적 지위는 다른 종과의 중간 상호작용으로 정의된다. 붉은 다람쥐의 실현 생태적 지위는 회색 다람쥐와의 경쟁의 결과 점점 줄어들었다.
2. 토끼에 의한 초식으로 말미암아 벼과 식물 종이 서로 공존한다. 우점하는 벼과 식물 종을 먹음으로써, 토끼는 경쟁에 열위에 있는 종들이 번성할 수 있도록 한다.
3. 사나리오 1은 착취 경쟁의 예인데, 당신과 당신 친구가 밀크셰이크를 같이 먹는 경우이다. 사나리오 2는 간접 경쟁의 예로, 당신 친구가 당신이 밀크셰이크를 먹지 못하도록 하는 경우이다.

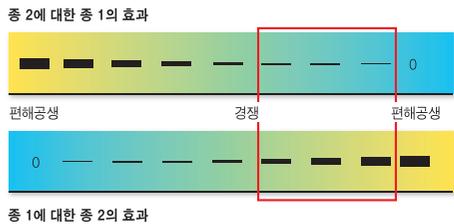
요약 및 평가 54.4

1. 절대적 상리공생은 상호작용에 관여하는 2종이 다른 종들과 상호작용하는 것보다 더 많은 이득을 얻을 때 진화할 것이다. 기회적 상리공생은 상호작용에 관여하는 두 종이 여러 종과의 상호작용을 통해 이익을 얻을 때 진화할 것이다. 예를 들어, 다수 종이 꽃가루나 종자를 원하는 위치에 옮겨준다면 기회적 관계가 진화할 가능성이 더 크다.
2. 따개비 2종은 자주 건조해지는 조건에 뒷부분의 스트레스가 더 심한 환경조건에서 긍정적 상호작용으로 이익을 볼 가능성이 더 크다.
3. 예는 나무, 산호초, 켈프 숲으로, 이들 종이 제공한 서식지가 그 서식지에 의존하는 많은 다른 종들이 정착하는 것을 돕기 때문이다.

그림 질문

**그림 54.1** 그렇다. 버펄로 사진에서, 영양학적 상호작용은 버룩에 의한 기생, 버펄로 몸 위에 있는 버룩이나 풀에 사는 곤충을 새가 포식하는 것, 그리고 버펄로의 초식 등이 포함된다. 공생은 버펄로 몸 위에 사는 기생 버룩이 이에 해당한다. 늑대와 곰 사진에서, 늑대는 영양학적 상호작용에 참여한다.

**그림 54.2**



**그림 54.9** 스라소니의 수가 가장 많을 때는 보통 토끼의 수가 가장 많은 이후이다. 이런 현상이 생기는 한 가지 이유는 토끼의 수가 증가함에 따라 스라소니는 더 많은 먹이를 갖게 되며, 더 많은 새끼를 생산할 수 있기 때문이다. 그러나 이 새끼들은 즉시 태어나는 것이 아니므로, 스라소니 수의 증가 현상은 토끼 수의 증가 현상 이후에 나타난다.

**그림 54.11** *P. caudatum*과 *P. bursaria* 둘 다 효모를 먹는다면, 그들 중 하나는 살지 못하고 사라질 가능성이 있다.

자료 사용하기, 쓸배감펍

1. 연구자들은 두 가지 다른 목적을 위해 두 방법 모두를 이용하여 자료를 수집하였다. 열린 수조 실험에서 그들은 쓸배감펍과 먹이의 행동을 관찰하여 상대적으로 자연적인 조건으로 쓸배감펍이 어떤 전략으로 먹이를 잡아먹는지 알아보기를 원했다. 연구자들은 쓸배감펍이 먹이를 잡는 시기가, 먹이가 쓸배감펍 쪽으로 몸을 돌려 그들의 머리 방향을 쓸배감펍 쪽으로 향할 때임을 알았다. 이렇듯 머리를 마주 보는 것이 쓸배감펍이 먹이를 더 쉽게 잡을 수 있게 하였다.

2. 컨테이너 실험에서 연구자들은 쓸배감펍의 행동, 특히 입에서 물대포를 만들어 쏘는 행동을, 먹이를 볼 수는 있으나 잡거나 먹을 수 없는 조건에서, 관찰하기를 원했다. 이런 방법으로, 연구자들은 만들어낼 수 있는 물대포의 수, 물대포가 이동할 수 있는 최대거리를 측정하여, 쓸배감펍이 먹이를 잡기 어려울 때(경우에는 먹이가 접근 불가능한 용기 안에 있었다) 어떤 행동을 취하는지에 대한 단서를 얻었다.
3. 대서양의 물고기들이 태평양의 물고기들보다 쓸배감펍 포식자의 행동에 대해 경험이 없다는 것을 전제했을 때, 쓸배감펍이 태평양과 비교해서 대서양에서 물대포를 덜 사용하고 짧게 사용한다는 것은 상식적으로 이해가 가능하다. 태평양 물고기들은 잡기가 더 어려우므로 더 많이 물대포를 사용하고 먹이로부터 더 멀리서 물대포를 사용할 것이다.
4. 현장에서의 관찰 결과는 태평양의 쓸배감펍이 대서양의 쓸배감펍보다 먹이를 잡기 위해 물대포를 쏘는 행동에 더 자주 의존한다는 것을 시사한다. 이러한 패턴은 대서양의 물고기들이 쓸배감펍을 만난 경험이 적어서 그만큼 쓸배감펍에게 쉽게 잡힌다는 가설로 설명된다. 대서양 물고기들은 알맞은 피하는 행동을 취할 가능성이 작거나 혹은 그들을 혼란스럽게 하거나 방향을 잃게 하는데 물대포를 쓸 필요가 적다. 게다가 물대포를 쏘는 일은 물결대사 면에서 비용이 들기 때문에 쓸배감펍은 물대포를 만드는 데 드는 비용보다 그것을 사용함으로써 얻는 이익이 클 때만 이러한 행동을 이용할 가능성이 있다. 아마도 이는 대서양에서의 먹이에보다 태평양에서의 먹이에 적용되는 이야기일 것이다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 54.1

1. 육식(carnivory)은 동물(포식자)이 다른 동물(먹이)을 먹는 영양적 상호작용이다. 초식(herbivore)은 동물(초식자)이 식물이나 조류(먹이)를 먹는 영양적 상호작용이다. 기생은 포식자(기생충)가 먹잇감(숙주) 몸 표면 혹은 안에서 살면서 숙주를 죽이지 않고 특정 조직을 소비하는 영양적 상호작용이다. 경쟁은 둘 이상의 종이 한정된 자원을 같이 사용하여 그들의 성장, 재생산 또는 생존에 부정적인 영향을 미치는 비영양적 상호작용이다. 상리공생(mutualism)은 두 종 모두 상호작용으로부터 이익을 얻는 비영양적 상호작용으로, 종종 서로 의존적이고 같이 공생한다. 편리공생은 상호작용하는 한 종은 이익을 얻지만 다른 종은 영향을 받지 않는 비영양적 상호작용이다. 편해공생은 상호작용하는 한 종은 해를 입지만 다른 종은 영향을 받지 않는 비영양적 상호작용이다.

2. 중간 상호작용들은 상호작용의 강도에 따라 긴 연속선 상에 존재하는데, 자원, 물리적 조건, 서로 다른 상호작용의 영향 차이에 영향을 받는다.

3. 공진화는 상호작용하는 종들 사이의 서로 주고받는 진화적 반응이다. 공진화는 상호작용하는 종들의 적응도가 상호작용으로 크게 영향받을 때 주로 일어난다.

핵심개념 54.2

1. 포식자는 재빠른 추격 또는 눈에 띄지 않는 매복 같은 다양한 먹이 포획 방법을 사용한다. 먹이는 숨거나, 화학적 방어수단을 이용하거나, 경고신호, 모방, 또는 다양한 회피 방법들을 이용한다.
2. 초식자-식물 그리고 기생자-숙주 간의 관계는 일반적으로 상호작용하는 종들이 서로 긴밀히 연결되어 있고 상호작용을 하지 않을 수 없는 전문화된 관계이다. 식물은 움직이지 못하므로 초식을 줄이기 위한 특별한 회피 방법을 진화시켜야 한다. 마찬가지로 초식자는 식물의 회피 방법을 극복하기 위한 반응들을 진화시켜야 한다. 기생자는 숙주 몸 표면이나 안에서 살아야 해서, 숙주를 죽이지 않는 방법을 진화시켰다.
3. 포식자-먹이 수의 순환은 둘 간의 관계가 긴밀히 연결되어 있을 때 일어난다. 먹이의 풍부도가 증가하면 포식자 역시 풍부도가 증가하고 그 결과 먹이의 사망률이 증가하여 먹이의 수가 감소하게 된다. 먹이의 수가 감소하면 포식자의 수도 감소하고 그 결과 먹이와 포식자 개체군의 크기가 감소하게 된다. 포식자의 수가 줄어들면 먹이의 수는 다시 증가하게 되고, 순환과정이 다시 시작되게 된다. 포식자의 먹이 포식이 새로운 포식자의 생산으로 이어지는 데에 시간이 걸리기 때문에 포식자 수의 변화는 먹이 수의 변화보다 시간상으로 늦다. 핵심종이라 불리는 몇몇 포식자는 경쟁적 배제를 할 수 있는 경쟁적으로 우위에 있는 종을 먹이로 먹음으로써 군집에 큰 영향을 미치게 된다. 이 방법으로 핵심종은 군집의 종 풍부도를 간접적으로 증가시킬 수 있다.

핵심개념 54.3

1. 생태적 지위란, 한 종이 자라고 번식하고 생존하는 데 필요한 물리적, 생물적 조건들로 정의한다. 기본 생태적 지위는 한 종이 생리적으로 참을 수 있는 모든 요인이지만, 실현 생태적 지위는 기본 생태적 지위에 더하여 중간 상호작용도 포함한다.
2. 간접 경쟁은 한 종이 다른 종이 자원에 접근하는 것을 방해하거나 막을 때 일어난다. 자원이용 경쟁은 제한자원을 모든 경쟁자가 이용할 수 있고 경쟁의 결과가 자원을 이용하는 상대적 효율에 달려 있을 때 일어난다.
3. 경쟁적 공존 여부는 자원분할 혹은 다른 방식으로 자원을 이용하는 방법으로 제한자원을 공유하는 일에 달려 있다. 교란, 스트레스 혹은 포식은 경쟁적으로 우위에 있는 종에게 작용함으로써 경쟁적으로 열위에 있는 종이 자원을 이용할 수 있게 할 수 있고, 결과적으로 경쟁적으로 열위에 있는 종의 분포범위를 확장할 수 있다.

핵심개념 54.4

1. 절대적 상리공생은 상호작용하는 두 종이 다른 종들과 상호작용할 때보다 둘 간의 상호작용에서 서로로부터 더 많은 이익을 얻을 때 발생할 가능성이 크다. 기회주의적 상리공생은 상호작용하는 두 종이 여러 종과의 상호작용으로부터 이익을 얻을 때 발생할 가능성이 크다.

2. 좋지 않은 환경조건에서 긍정적 상호작용이 더 일반적일 수 있는데, 이 경우는 상호작용이 종의 풍부도와 분포를 제한하는 물리적 조건을 완화할 경우이다.
3. 긍정적 상호작용은 개체군 내 개체들의 성장과 생존에 긍정적으로 영향을 주어 개체군의 성장률을 증가시킬 수 있다. 중요한 한 긍정적 상호작용의 유형은 어떤 종이 다른 종에게 서식지를 제공하여 군집 수준의 영향을 미치는 경우이다.

55장

요약 및 평가 55.1

1. 전체 중 일부 종들의 집합을 이용하여 군집을 기술하는데, 이는 군집 내 모든 종을 전부 고려하는 것은 현실적이지 않기 때문이다. 이에 대해 적어도 두 가지 이유가 있다: (1) 군집은 시간, 공간의 규모에서 다양하므로, 군집 주위의 경계를 정하는 것은 어렵다, 그리고 (2) 군집 내 모든 종을 동등(누군지 파악하는 일)하는 것은 불가능한데 이는 많은 종이 기록되어 있지 않기 때문이다. 예를 들어, 많은 새곤, 작은 미생물, 그리고 작은 무척추동물들은 동정은 고사하고 찾기 어렵다.
2. 경쟁이나 촉진과 같은, 영양학과 관련 없는 상호작용은 먹이그물에 나타나 있지 않다.
- 3.

연도	풍부도	비율( $p$ )	$\ln(p)$	$p, \ln(p)$
태평양나무개구리	6	0.3	-1.20	-0.36
서부두꺼비	8	0.4	-0.92	-0.37
북부붉은다리개구리	4	0.2	-1.61	-0.32
폭포개구리	2	0.1	-2.30	-0.23
H				1.28

연못 A에 대한 샤논-위너 지수 값은  $H = 1.280$ 이다. 연못 B는  $H = 1.39$ 로 여전히 연못 A보다 종 다양성이 조금 더 높다.

요약 및 평가 55.2

1. 특정 지역 군집에 어떤 종이 구성원이 되는가 안 되는가를 결정하는 가장 중요한 요소는 분산과 이주이다. 7개의 종은 종 공급 여과기를 통해 지나가지 못하지만, 4개의 종과 3개의 종은 각각 비생물적, 생물적 여과기를 통과하지 못했다.
2. 종 공급 여과기가 특정 지역 군집에서 어떤 종이 있지 못하도록 하는 가장 큰 잠재력을 지녔다고 생각했을 때, 가장 좋은 관리 방안은 비자생종이 가능한 한 그 산으로 들어오지 못하도록 막는 것일 것이다.

요약 및 평가 55.3

1. 엘크는 늑대의 포식에서 벗어날 것이고 풍부도가 증가할 것이다. 엘크 수의 증가는 사시나무에게 더 큰 초식의 압력으로 작용할 것이고, 결과적으로 사시나무의 개체 수가 감소할 것이다. 따라서 늑대 수가 줄어드는 것은 사시나무에게 간접적인 영향을 미친다. 사시나무 수가 감소함에 따라, 늑대의 포식작용이 없어짐으로 인한 또 다른 간접적 영향이 생길 수 있다. 눈신토끼와 비버, 그리고 사시나무를 먹이로 하는 다른 설치류들의 수가 감소할 수 있다. 작은 초식동물의 수가 감소함에 따라 코요테와 까마귀 그리고 짧은 꼬리 족제비와 같은 다른 육식동물들에게도 영향을 미칠 수 있다.
2. 비버는 생태계 기능공의 정의에 가장 잘 맞는데, 그 이유는 비버가 나무를 잘라 쓰러뜨려 그것으로 시내를 막아 댐을 만들어 스스로나 다른 동물들이 살 수 있는 서식지를 제공해 주는 연못이나 습지를 만들으로써, 물리적인 환경을 만들고 변형하고 유지할 수 있기 때문이다. 비버는 또한 핵심종으로도 생각할 수 있는데, 왜냐하면 그들의 크기나 풍부도보다 상대적으로 그들의 영향이 크기 때문이다. 그러나 핵심종은 보통 영양단계 연속효과를 만들므로 해서 먹이사슬을 통해 영향을 미친다고 여겨진다. 비버는 기초종(foundation species)으로 생각되지는 않는데, 그 이유는 기초종은 그들의 크기가 크거나 풍부도가 큰 결과 군집에 큰 영향을 미치는 종이기 때문이다.
3. 제비뽑기 모형은, 종들이 사용하는 제한자원이 유사하고 서로에게 미치는 영향이 비슷한 군집에서 그 제한자원을 획득할 기회가 각 개체들에 같은 정도의 기회로 주어짐으로 인해 공존할 수 있다고 말한다. 제비뽑기 모형은, 자원이 이용할 수 있게 되었을 때 우연히 '그 시간 그 장소에 있는' 개체(어떤 종이든 상관없다)에 의해 무작위적으로 이용된다고 가정한다. 모든 개체가 자원을 획득할 기회(제비뽑기에 당첨된다고 표현함)가 동등하고 어떤 종도 특별히 개체군 성장에서 명확한 이익(advantage)이 없는 한, 군집 내 어떤 종은, 자원을 두고 경쟁하는 개체들에 자원을 자유롭게 사용할 수 있도록 하는 우연한 사건들에 의해 계속 그 군집 내에 존재할 수 있다.

요약 및 평가 55.4

1. 교란은 물리적, 화학적으로 몇몇 개체들을 상처 입히거나 죽일 수 있는, 그리하여 다른 개체들에는 성장하고 번식할 기회를 만들어주는 비생물적 사건이다. 예를 들어, 허리케인, 산불, 그리고 화산 분출이 교란에 해당한다. 스트레스의 경우는, 어떤 비생물적 요소가 몇몇 개체의 성장, 번식, 그리고 결과적으로 생존을 감소시키는 경우 스트레스 상황에 있다고 말한다. 예를 들어, 가뭄 혹은 교란의 추위는 개체들에 스트레스를 유발할 수 있다.
2. 군집이 변화하도록 유도하는 몇몇 생물적 요소에는 포식, 경쟁, 혹은 질병과 같은 중간 상호작용이 있다. 그 밖의 다른 경우는 밟는다거나 땅을 파는 행위 등과 같은 생명체에 의한 물리적 손상을 포함한다.

3. 거짓이다. 1차 천이는 시간을 두고 함께 일어나는 촉진 및 억제 작용으로 조절된다. 천이의 과정은 다른 생명체들의 정착을 촉진하고 억제할 수 있는 초기의 정착자에 달려 있다. 예를 들어, 글레이셔 만에서 드라이아스와 오리나무는 가문비나무가 정착하는 것을 돕지만, 천이의 후기에는 가문비나무와의 경쟁으로 초기의 정착 종의 수가 감소하게 된다.
4. 또 대체상태(alternative state) 혹은 체제전환(regime shift)은, 교란이나 스트레스가 군집이 다른 천이 과정을 따라 천이를 하도록 하여, 결과적으로 다른 군집의 상태에 이르도록 하는 것이다. 엘로 스톤 국립공원의 사시나무 숲에서 늑대를 제거하고 다시 재도입한 경우, 북아메리카 서부 해안의 켈프 숲에 해달이 있고 없는 경우, 미네소타 습지에 대한 비버의 효과 등이 예에 해당한다.

요약 및 평가 55.5

1. 코스타리카 농부는 옥수수나 고구마 같은 여러 작물을 종종 같이 길러 작물을 가해하는 해충의 수를 감소시킨다. 예를 들어, 기생벌이 옥수수 꽃가루에 이끌려와서 고구마 해충을 공격하므로 고구마에는 이익이 된다. 옥수수 역시 기생벌에게서 수분 서비스를 받게 되므로 이익이 된다. 여러 작물을 동시에 기르는 것은, 각 종들이 이용 가능한 물이 적은 상황에서 각각 다르게 생활한다면, 가뭄 조건에서도 좋을 전략이 될 수 있다. 예를 들어, 어떤 한 종이 다른 종보다 더 잘 살아간다면, 단정한 종만 있고 그 종이 가뭄 상황에서 잘살지 못하는 경우보다 전체적인 생산성이 더 높을 것이다.

그림 질문

**그림 55.4** 연못 B( $H = 1.388$ )는 연못 A( $H = 0.589$ )보다 종 다양성이 더 높는데, 이는 두 연못 모두 종 풍부도가 같지만, 연못 A의 종 균등도가 더 높기 때문이다.

**그림 55.6** 아니다. 그들은 그림에 나타난 특정 지역 군집에서 발견되지 않을 것이다. 특정 지역 군집의 종은 모두 육상 생태계 종이고, 그러므로 수생인 물고기와 개구리는 비생물적 여과기에 의해 군집에서 배제될 것이다.

**그림 55.15** 가장 오래된 군집들은 빙하가 후퇴한 이래 가장 오래 노출된 지역(예: 만의 입구, 이곳은 천이가 200년 동안 지속되었음)에 위치한다. 빙하가 녹아 후퇴하는 위쪽으로 갈수록, 군집은 점점 젊어져서, 가장 젊은 개척자 군집이 빙하 선에서 가장 가까이 위치한다.

**그림 55.16** 땅다람쥐는 생태계 기능공 정의에 가장 잘 맞는데, 이는 그들이 땅 파기 행동을 함으로써 그들 자신 그리고 다른 생물들의 물리적 환경을 만들고 변형하고 유지할 수 있기 때문이다. 그들은 또한 핵심종으로 생각될 수도 있는데, 그들의 영향이 그들의 크기나 풍부도에 비해 크기 때문이다. 그러나 핵심종은 대부분 영양단계 연속효과를 만들므로써 먹이그물을 통해 영향을 발휘한다.

자료 이용하기, 잣대미로부터 출현

1. 부석평원의 종 다양성이 가장 낮았고( $H = 0$ ), 숲 봉괴지대의 종 다양성이 가장 높았다( $H = 1.68$ ). 부석평원은 숲 봉괴지대와 비교했을 때 종 풍부도가 가장 낮았다(부석평원 1종, 숲 봉괴지대 7종). 참조지역과 화산쇄설물 낙하지대는 종 풍부도가 같았다(6종).
- 2.



소형포유류의 종 다양성 데이터는 중간교란 가설과 잘 맞는 듯하다. 4개의 군집 유형이 경험하는 교란의 정도가 증가함에 따라, 군집 내 소형포유류의 종 다양성도 어느 수준(숲 봉괴지대)까지는 증가한다. 종 다양성은 부석평원의 극한 환경 아래에서는 감소한다. 화산쇄설물 낙하지대와 숲 봉괴지대에 서식하는 소형포유류에서 볼 수 있는 종 다양성의 패턴은, 화산 분출 후 발달한 2차 천이 군집에서 이용할 수 있게 된 다양한 서식지와 자원에 의해 결정될 수 있다. 참조지역과 비교하여, 이 두 군집은 아마도 이 새로운 자원 때문에 더 많은 종이 상대적으로 높은 풍부도로 번성할 수 있는 것일 수 있다. 그러나 부석평원의 1차 천이 군집에서는, 서식지와 자원이 다양하거나 풍부하지 않고, 그리하여 결과적으로 1개의 소형 종 이상은 부양하지 못한다.

3. 흰발생쥐(*Peromyscus maniculatus*)는 4개의 군집 모두에 존재하는 유일한 종이다. 이는 흰발생쥐가 1차, 2차 천이 군집, 그리고 극상 군집 모두에서 살 수 있는 생활사를 가지고 있음을 시사한다. 널리 퍼질 수 있고, 빨리 자랄 수 있고 자주 번식할 수 있는 것—이 모두가 천이 초기, r-전략종의 형질이다. 흰발생쥐는 또한 기회적 종, 일반종으로 다양한 서식지에서 살고 다양한 먹이를 먹는다.
4. 화산쇄설물 낙하지대와 참조지역 군집이 숲 봉괴지대의 군집과 비교했을 때 공통된 종이 더 많지만, 3개의 군집 모두는 그들 각각의 특징적인 소형포유류 종 구성으로 이루어져 있다. 각각의 군집이 2차 천이 군집 그리고 극상 군집에 해당하는 식생을 가진 다른 천이 단계를 대표한다고 할 때, 각각의 군집에 서식하는 소형포유류의 종 구성이 이러한 차이를 반영한다는 것은 어쩌면 당연하다.

## 눈에 보이는 요약

### 핵심개념 55.1

1. 군집은 분류학적 근연관계, 자원이용(길드), 기능적 유사성 혹은 먹이그물 등을 기준으로 작은 그룹으로 다시 나눌 수 있다.
2. 먹이그물은 일련의 생물들의 영양적, 에너지학적 연결이다. 먹이그물은 영양단계로 나누어지고, 각 영양단계는 비슷한 방식으로 상호작용하거나 에너지를 얻는 종들로 구성된다. 1차생산자는 일반적으로 먹이그물의 가장 아래 단계에 있고 1차 소비자 혹은 초식동물에게 먹힌다. 초식동물을 먹는 생물이 2차 소비자이다. 일부 생물들은 잡식성으로 여러 먹이단계에서 먹이를 먹는다. 분해자로 알려진 다른 생물들은 퇴적물(죽은 생물체)을 먹음으로써 영양소를 1차 소비자가 다시 이용할 수 있게끔 하는 역할을 한다.
3. 종 다양성은 종의 수(종 풍부도)와 다른 종과 비교했을 때의 각 종의 상대적 풍부도(종 균등도)를 모두 아우르는 측정값이다. 종 다양성을 정량적으로 측정하는 일반적인 방법 중 하나로 샤논-위너 지수는 있다. 생물다양성은 유전자로부터 종, 그리고 군집에 이르기까지의 다양한 규모(수준)에서의 다양성을 기술하는 용어이다.

### 핵심개념 55.2

1. (다소 큰 범위의) 지역(regional) 규모의 과정에는 종의 풀(pool), 종들의 분산능력이 있고, (좁은 범위의) 국부적(local) 규모의 과정에는 물리화학적 환경조건(비생물적 조건)과 중간 상호작용(생물적 조건)이 있다. 이 세 요인이 군집 내 종이 있을 수 있도록 할 것인지 말 것인지를 결정하는 '여과기' 역할을 한다.
2. 새로 들어온 비자생종은 군집의 구성을 결정하는 환경 그리고 중간 상호작용이라는 여과기의 상대적 기여도를 조사할 기회를 제공한다. 비자생종이 환경조건들을 생리적으로 견뎌내거나 군집의 생물학적 저항을 극복한다면, 그 종은 군집의 일원이 될 것이다.

### 핵심개념 55.3

1. 영양단계 연쇄반응은 한 영양단계에서의 소비율이 그보다 낮은 영양단계에서의 종 풍부도나 조성을 변화시키는 경우, 발생한다. 영양단계 연속반응은 직간접적인 상호작용을 모두 포함한다. 예를 들어 먹이사슬상의 최상위포식자는 초식동물을 먹거나 (직접적 상호작용) 초식동물의 풍부도를 감소시킨 결과 초식동물에게 먹히는 1차 소비자에 간접적인 긍정적 영향을 미친다.
2. 핵심종은, 비록 상대적 크기 및 풍부도는 크지 않지만, 포식자로서 종 그리고 군집에 큰 영향을 미치고, 생태계 기능공의 역할을 함으로써 큰 영향을 미칠 수 있다. 기초종은 크기가 크거나 풍부도가 높고, 다른 종에게 먹이와 서식 장소를 제공함으로써 군집에 큰 영향을 미친다. 마지막으로 생태계 기능공은 다른 종을 위한 물리적 서식지를 만들고 변형하고 유지하며, 상대적 크기 및 풍부도에 따라서 핵심종이나 기초종으로서도 역할을 할 수 있다.
3. 자원분할과 중간교란 가설 모두 몇몇 우점종들 사이의 강한 경쟁적 상호작용이 어떻게 군집 수준에서 일어나고, 결과적으로 종 다양성을 향상시킬 수 있는지를 고려한다. 자원분할의 경우, 강한 경쟁적 상호작용이 제한자원을 여러 다른 방법으로 이용하도록 분할함으로써 여러 종이 공존할 수 있다. 낮은 수준의 교란이 일어나는 경우, 우점종 간의 경쟁이 경쟁에서 열위에 있는 종을 경쟁적 배제 과정을 통해 사라지게 할 수 있고 이는 군집의 종 다양성을 감소시키는 결과가 된다. 반대로 큰 교란 사건은 많은 종을 사망하게 하고 이는 군집의 종 멸종 및 종 다양성 감소의 원인이 된다. 중간 정도의 교란에서는 종 다양성이 가장 높는데, (1) 우점하는 종의 영향이 교란 때문에 약화되어 경쟁적으로 열세에 있는 종이 계속 공존할 수 있게 되고, (2) 종의 사망률이 종이 멸종할 정도로 높지 않기 때문에 멸종사건이 일어날 가능성이 적다. 제비뽑기 혹은 종립 모형은 모든 종이 경쟁 관계에서 서로에게 비슷한 정도의 영향을 미친다고 가정하고 종 다양성의 유지에서 유연한 사건의 역할을 강조한다. 이 모형들은 자원이 이용 가능하게 되었을 때 여러 종의 개체들에 의해 무작위적으로 이용된다고 가정하며, 분산이나 개체군 성장에 있어서 특정 종에 특별한 이득이 없는 한 종의 다양성은 유지될 것이라 가정한다.

### 핵심개념 55.4

1. 경쟁, 포식, 또는 긍정적 상호작용 같은 생물적 상호작용들은 시간이 지나면서 특정 지역에 있는 종을 다른 종으로 대체할 수 있다. 발로 밟거나 땅을 파는 등의, 다른 생물에 의해 행해지는 물리적 손실도 또 다른 생물적 요소가 될 수 있다. 교란과 스트레스를 포함하는 비생물적 요인이 변화하면 군집도 그에 따라 변화할 수 있다. 교란은 물리적 화학적으로 어떤 개체들을 다치게 하거나 죽게 하는 비생물적 사건으로, 또다른 생물들에게는 자라고 번식하는 기회가 될 수 있다. 스트레스는 몇몇 비생물적 요인들이 개체들의 성장, 번식, 생존에 좋지 않을 영향을 미칠 때 발생한다. 예를 들어 가뭄이나 극한의 추위는 생물들에게 스트레스를 줄 수 있다.
2. 천이에는 두 가지 유형이 있다: 1차 천이는 재앙적 교란이 모든 생물을 죽인 이후 군집이 다시 회복되는 것이다. 2차천이는 대부분이지만 모든 생물이 죽지는 않은 상황에서 군집이 다시 회복하는 것이다.
3. 유사한 환경조건에서 다른 종 구성을 가진 군집이 만들어질 때, 대체상태(alternative state) 군집들이 만들어진다거나 한다. 이력현상(hysteresis)은 한 군집이 원래의 환경조건으로 돌아간 경우에도조차 원래의 상태로 돌아가지 않을 때를 말한다.

### 핵심개념 55.5

1. 연구들에 따르면, 군집 내 종 다양성을 증가하면 군집의 기능, 예를 들어 생산성도 증가할 수 있다. 종 다양성은 또한 교란에 대한 내성을 증가시킴으로써 군집의 안정성을 증가시킨다.
2. 농업환경에서 농작물의 생산성은 다양한 작물을 함께 키우는 경우 증가할 수 있다.

## 56장

### 요약 및 평가 56.1

1. 반드시 그렇지는 않다. 생태계 생태학은 에너지가 어떻게 흐르고 영양소가 생물적 및 비생물적 환경을 통해 어떻게 순환하는지 연구하는 학문이다. 종의 수는 생물적 환경을 드러내는 요소이기는 하지만 생태계 내 에너지의 흐름이나 영양소의 순환에 대한 정보를 제공하지는 않는다.
2. 에너지와 탄소는 광합성, 화학합성을 통해 1차생산자로 전환될 수 있다. 광합성은, 식물과 조류 광합성 세균에 의해 태양에너지를 붙잡아 이산화탄소를 유기화합물로 고정하는 데 이용하는 것이다. 화학합성은, 고균과 세균에 의해 무기화합물 내의 에너지를 붙잡아 이산화탄소를 유기화합물로 고정하는 데 이용하는 것이다. 화학합성은 일반적으로 열수 배출구, 온천, 햇빛이 들지 않고 특정 무기 화합물이 많이 있는 토양과 같은 생태계에서 일어난다.

### 요약 및 평가 56.2

1. 외해는 조류로 이루어진 초지와 산호초와 비교했을 때, 평균 순1차생산이 아주 낮다. 그러나 조류 초지나 산호초보다 외해의 면적이 훨씬 크므로, 외해가 자구의 순1차생산에 차지하는 비율이 더 높다.
2. 아니다. 1차생산자는 지구 규모의 이산화탄소를 눈에 될 만큼 낮출 수 있을 것 같지 않다. 이산화탄소 포화 실험들은 늘어난 이산화탄소 농도 조건에서 1차생산자의 순1차생산이 증가했지만, 한계가 있음을 보여준다. 그 한계는 영양소, 빛, 물과 같은 다른 요소들에 의한 것이다. 그리고 1차생산의 증가 효과는 1차생산자를 섭취하는 소비자들이 이산화탄소를 배출함으로써 일부 상쇄될 수 있다.
3. 부영양화는 항상 그렇지는 않지만, 조류의 폭발적인 성장을 일으키는데, 그들이 분해될 때 심각한 산소가 부족해질 수 있다. 산소 부족의 정도는 분해와 관련된 조류의 양 그리고 생태계 내 이용 가능한 산소의 양에 의해 결정된다.

### 요약 및 평가 56.3

1. 호수 먹이그물의 영양효율이 더 높다. 숲 생태계의 영양효율은 수 생태계의 영양효율에 비해 낮은데, 이는 숲의 순1차생산의 많은 부분이 목재의 형태로 되어 소비자에게 이용할 수 없기 때문이다. 대조적으로 호수 먹이그물은 식물플랑크톤과 조류에 바탕을 두고 있어 2차생산으로 쉽게 전환될 수 있다. 산출한 값은 평균적으로 육상 생태계 생물량의 13%만이 초식자에 의해 소비되는 반면, 수생태계에서는 35%가 소비된다. 외온동물인 가재의 영양효율이 내온동물인 곶의 영양효율보다 더 높다. 내온동물은 외온동물보다 더 높은 물질대사율을 보이므로 생각하고 번식하는 데 투자할 남아 있는 에너지가 더 적다.
2. 3개의 영양단계를 가진 호수의 순1차생산이 더 높다. (초식동물의 풍부도가 육식동물에 의해 영향 받는) 3개의 영양단계가 있는 먹이그물, (초식동물이 포식자의 조절을 덜 받는) 2개의 영양단계가 있는 먹이그물보다 순1차생산이 높다. 잡식은 서로 다른 영양단계들을 '붕괴'시킴으로써 먹이그물 내로 에너지가 전달되는 과정을 변화시킬 수 있다. (최상위 소비자가 초식동물과 1차생산자를 모두 섭취하는) 4개의 영양단계로 구성된 먹이그물은 잡식이 존재하지 않는 4개 영양단계 먹이그물보다 순1차생산이 낮다. 최상위포식자가 초식동물을 섭취함으로써 간접적으로 1차생산자에게 이득을 제공하지만, 이러한 효과는 1차생산자 자체를 섭취하므로 인해 상쇄된다.
3. 생태계로 들어가는 순1차생산의 양에 초점을 맞춘 한 가설은, 상향식(bottom-up) 요소들이 생태계 내 영양단계의 수에 영향을 미칠 수 있다고 제시한다. 열대우림은 사막보다 순1차생산이 높아서 (그림 56.4 참고), 상위 영양단계에 있는 개체군을 유지할 수 있는 에너지양이 더 많다면, 더 많은 영양단계를 유지할 수 있다.

### 요약 및 평가 56.4

1. 물의 체류 시간은 물이 한 저장고에서 다른 저장고로 이동하는 속도에 의존한다. 생명체, 토양, 강 모두 물의 체류 시간이 짧는데, 이는 그들이 호수나 빙하, 그리고 해양과 비교하여 상대적으로 적은 부피를 가지고 있기 때문이고 그래서 한 저장소에서 다음 저장소로 물의 이동속도가 빠르기 때문이다.
2. 화석연료를 태우므로 인해 이산화탄소의 농도가 대기과 해양에서 증가하고 있다. 오늘날 대기의 이산화탄소 농도는 400 ppm보다 약간 높는데 이는 지난 80만 년 동안 기록된 가장 높은 수치이다. 이산화탄소는 온실가스이고, 화석연료의 연소로 배출되는 다른 온실가스와 함께, 지구의 온도를 높이는 역할을 했다. 이산화탄소의 증가는 1981년에서 2010년까지의 값과 비교했을 때 지구의 온도를 1°C(1.8°F) 증가시키는 결과를 가져왔다. 화석연료의 연소로 인해 배출되는 이산화탄소의 약 절반은 해양에 의해 흡수된다. 이산화탄소는 물과 반응하여 탄산을 형성한다. 탄산의 농도가 증가함에 따라, 바닷물의 pH는 낮아진다. 이렇듯 산성화가 증가하면 탄산칼슘 골격을 가진 많은 해양 생물들에게 좋지 않은 영향을 끼치게 된다.
3. 질소는 대기 중 질소기체의 형태로 생물계로 들어가 세균에 의해 암모니아로 고정된다. 암모니아는 빠르게 암모늄 이온으로 전환되는데, 암모늄 이온은 식물과 세균이 이용할 수 있는 형태다. 질화세균은 암모늄을 질산염으로 전환하는데, 질산염 역시 식물과 세균이 이용할 수 있는 형태이다. 탈질소세균은 질산염을 위해 다시 질소와 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 기체로 전환하며, 전환한 기체는 대기로 다시 방출된다. 질소를 미생물이 처리하는 과정은 매우 빠르고, 지구상의 모든 질소 흐름(flux)의 약 95%에 해당하므로, 질소의 순환을 대부분 생물학적으로 처리되는 과정으로 생각될 수 있게 한다. 질소와는 달리, 인과 황은 암석과 심해 침전물에서 발견된다. 그 둘은 암석이 형성되고 융기하고 풍화되어야 하므로 지질계를 통해 천천히 순환된다. 일단 생명체에 도달하면 생태계의 생물적 요소를 통해 빠르게 순환한다.

**요약 및 평가 56.5**

1. 여러분은 연안 보호가 악화되지 않도록, 해안이 경계 부분에 맵그로브 숲을 온전하게 남겨둘 수 있다. 이 맵그로브 숲 뒤 안쪽에 새우 양식장을 설치할 수 있는데, 이곳에서는 극한적인 태풍이나 쓰나미 속에서 숲이 사라져도 보호 기능에 큰 영향이 없다.

**그림 질문**

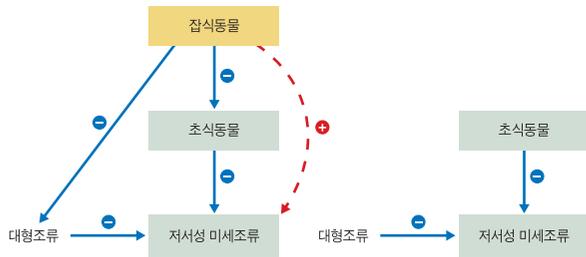
**그림 56.1** 에너지는 원래의 공급원(태양 또는 무기화합물)로부터 1차생산자 그리고 소비자로 이동하고 물질대사 열로 상실되기 때문에, 생태계를 통해 흐른다고 한다. 영양소는 생명체와 생태계의 비생물적 환경 사이를 지속해서 움직이기 때문에, 순환한다고 말한다.

**그림 56.8** 소비효율 그리고 동화효율은 초식동물이 낮는데, 이는 1차생산자가 동물에게 소비되고 소화되기 어렵게 구조적 화학적 방어 기작을 가지고 있기 때문이다.

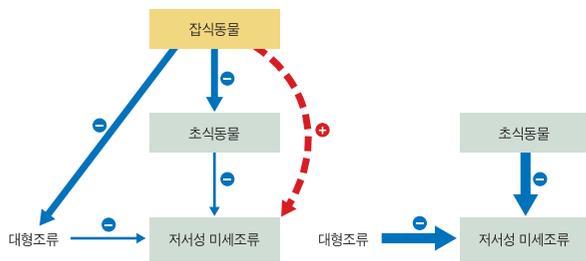
**그림 56.17** 육상에서, 질소의 산업적 고정(전체 고정되는 질소 258 × 1,012 g 중 100 × 1,012 g, 즉 37.5%를 차지한다).

**자료 이용하기, 온난한 산성 해양에서의 먹이그물**

1.



2.



이산화탄소와 온도가 증가한 조건에서, 대형조류와 초식동물의 생물량이 증가한다. 잡식동물이 존재하면, 이 늘어난 생물량이 잡식동물에 의해 이용되어, 결과적으로 잡식동물과 그들의 먹이 사이에 더 강한 부정적 상호작용이 생길 것이다. 더 강한 부정적 상호작용은 저서성 미세조류에게는 더 강한 간접적인 긍정적 효과를 미칠 것인데, 결과적으로 저서성 미세조류의 생물량은 변화하지 않을 것이다. 그러나 잡식동물이 존재하지 않을 경우, 대형조류와 초식동물이 통제하에 있지 않을 것이고, 그들의 저서성 미세조류와의 부정적 상호작용이 더 강해지고, 결과적으로 저서성 미세조류의 수가 감소하게 된다.

3. 그래프의 먹이그물과 자료는, 증가한 이산화탄소와 온도 조건에서 대형조류와 초식동물 모두 생물량이 증가했고, 결과적으로 저서성 미세조류에게 부정적 영향을 주었다(생물량 감소). 그러나 이 부정적 영향은 잡식동물이 있을 때는 나타나지 않았다. 증가한 이산화탄소와 온도 조건에서 대형조류와 초식동물이 조절되지 않는 상태에 있으므로, 잡식동물은 간접적으로 저서성 미세조류에 이익을 제공하여 그들이 현재 대기 조건에서 볼 수 있는 것 같은 정도의 생물량을 유지할 수 있게 한다.
4. 잡식동물이 대형조류를 섭식하는 것을 멈출 경우, 저서성 미세조류의 생물량은 감소할 것인데, 이는 그들의 경쟁자가 증가하기 때문이다. 그러나 생물량의 감소 정도는 잡식동물(최상위포식자)이 함께 제거되면 덜할 것이다. 잡식동물은 여전히 초식동물을 섭식하여, 저서성 미세조류에게 이익이 되는 영양단계 연속효과를 만들어 낼 것이다.

**눈에 보이는 요약**

**핵심개념 56.1**

1. 생태계에는 어떤 공간에 존재하는 모든 생물과(여기까지는 군집과 같다), 물리화학적 환경까지 포함된다. (이 부분이 군집과 다르다.) 군집과 마찬가지로 생태계도 시간과 공간 속에서 정의하기가 쉽지 않다.
2. 에너지는 세 가지 경로로 생태계 내에서 흐른다. 식물, 조류, 광합성 세균과 같은 독립영양생물은 태양광을 포획해 유기물과 저장 에너지로 고정한다(1차생산). 에너지는 또한 화학합성(세균과 고균에 의한 무기영양소의 산화 과정)으로도 얻을 수 있다. 1차생산으로 얻어진 에너지는 먹이그물의 상위 영양단계에 있는 종속영양생물이 이용할 수 있는데 이것이 2차생산이다. 에너지는 대사 열로써 생태계로부터 잃게 된다.

3. 영양소는 분해자를 통해 살아 있는 생물들과 무생물환경 사이를 순환한다. 분해자는 죽은 생물체를 분해하여 영양소를 토양, 물 그리고 대기와 같은 물리 환경으로 돌아가게 한다. 이 영양소들은 생산과정을 통해 생물로 다시 돌아가거나 환경에 쌓일 수 있다.

**핵심개념 56.2**

1. 총1차생산은 1차생산자에 의해 고정되는 이산화탄소의 양이다. 순1차생산은 호흡 이후 남은 이산화탄소의 양이다.
2. 육상 생태계의 순1차생산은 온도가 연중 높고 강우량이 풍부한 열대지역에서 가장 높다. 해양생태계의 순1차생산은 위도와 관계없이 거의 일정하지만, 중위도 지역, 그리고 해안가나 용승이 일어나는 지역에서 가장 높는데, 이 지역에서는 1차생산자인 식물플랑크톤이나 조류가 빛과 영양소에 접근하기 쉽다.
3. 농업지역이나 하수에서 기원한 영양소가 수생태계에 부영양화를 일으킬 수 있는데, 이는 녹조의 원인이 되고 결과적으로 녹조가 분해되면서 산소가 소모됨으로써 극도의 저산소 상태가 된다.

**핵심개념 56.3**

1. 생산효율은 동화된 생물량 중 소비자의 생물량을 증가시키는데 사용된 생물량의 비율이다. 외온동물은 내온동물보다 영양효율이 높다. 외온동물과 다르게, 내온동물은 체온을 유지하기 위해 높은 물질대사율을 유지해야 하고, 그로 인해 생장 및 번식에 사용할 수 있는 에너지가 외온동물보다 상대적으로 적다.
2. 먹이그물을 통한 에너지의 흐름은 세 가지 요소에 의존한다. 첫째는 먹이그물 내의 에너지양으로 이는 그 생태계의 순1차생산에 달려 있다. 생태계 내로 들어오는 순1차생산이 많을수록 먹이그물을 통해 소비자로 올라가는 에너지도 많다(상향식 조절). 반대로 생태계 내의 순1차생산의 양은 먹이그물 꼭대기로부터 조절될 수 있는데, 이는 상위영양 단계에 있는 소비자가 하위영양 단계에 있는 생물을 먹을 때 일어난다(하향식 조절). 먹이그물 내 에너지의 흐름에 영향을 주는 두 번째 요소는 영양단계의 수이다. 최상위영양 단계에 있는 육식동물이 초식동물의 풍부도에 영향을 미치는, 3개의 영양단계로 구성된 먹이그물은 2개나 4개의 영양단계로 구성된 먹이그물보다 순1차생산이 높는데, 이는 2개나 4개의 영양단계로 구성된 먹이그물에서 초식동물이 포식자의 조절을 덜 받아 1차생산자를 더 많이 소비하기 때문이다. 마지막으로 잡식(omnivory)은 먹이그물 내 에너지가 이동하는 방식을 변화시키는데, 이는 근본적으로 잡식이 서로 다른 영양단계들을 하나로 융통성있게 붕괴시키기 때문이다. 최상위포식자가 초식동물과 1차생산자 모두를 먹는 4개의 영양단계로 구성된 먹이그물은 잡식자가 없는 4개의 영양단계로 구성된 먹이그물에 비해 순1차생산이 낮다. 최상위포식자가 초식동물을 먹음으로써 1차생산자를 간접적으로 이렇게 하지만, 최상위포식자가 1차생산자 역시 직접 먹음으로써 인해 그 이유로 효과가 일부 상쇄된다.
3. 세 가지 요소가 영양단계의 길이를 결정하는 데 중요하다고 생각된다: (1) 생태계로 들어가는 순1차생산의 양. 한 영양단계에서 다음번 영양단계로 이동할 때 에너지를 잃어버리게 된다는 것을 생각할 때, 영양단계의 수는 상위영양 단계에서 생물 개체군을 유지하는데 필요한 에너지양에 의해 제한된다(영양효율). (2) 교란의 양. 긴 먹이사슬은 짧은 먹이사슬보다 교란으로부터 회복될 가능성이 더 낮으므로 영양단계의 길이는 제한된다. (3) 최상위포식자와 관련된 진화적 제한. 오늘날 인류를 제외하고 지구상의 어떤 생물도 최상위포식자를 잡을 수 있는 능력을 갖추지 못했고, 이러한 진화적 제약으로 인해 영양단계의 길이가 제한된다.

**핵심개념 56.4**

1. 분해과정을 통해, 퇴적물 혹은 죽은 생명체와 노폐물이 세균과 균류에 의해 에너지와 영양소로 바뀐다. 퇴적물은 자방이나 절지동물과 같은 분해자에 의해 우선 더 작은 조각들로 부서어져야 한다. 그다음 무기화 과정을 거치게 되는데, 이 과정에서 동물, 세균, 균류가 유기물을 수용성 무기물로 바꾼다. 무기화 과정을 통해 만들어진 수용성 무기물이 1차생산자 혹은 세균에 의해 다시 사용되면 영양소 순환이 완성된다.
2. 탄소는 1차생산과 2차생산을 통해 생물체 내에서 이동하고, 호흡과 물질대사에서 생기는 이산화탄소의 형태로 대기로 돌아간다. 대기, 토양, 그리고 살아있거나 죽은 생명체 내에 존재하는 탄소의 양은, 육상의 암석, 화석연료, 해양 침전물, 그리고 바닷물 속에 탄산염, 중탄산염의 형태로 저장된 탄소의 양보다 상대적으로 적다.
3. 화석연료를 태우면 대기 중 이산화탄소의 양이 증가한다. 온실가스로서 이산화탄소는 지구 대기의 열을 흡수하여 표면 온도를 높인다.
4. 대기 속의 무기 질소(N<sub>2</sub>)는 대부분 미생물에 의해 유기분자(NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 그리고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)로 고정되고, 이 유기분자는 식물이 이용할 수 있다. 미생물은 이 유기분자를 대기 중의 질소로 다시 바꿀 수 있다. 질소가 달리고, 인과 황은 암석이나 깊은 바다 침전물 속에서 발견된다. 인과 황은 지질계를 통해 천천히 순환하는데, 침전물이 형성되고 용기하며 풍화되는 과정이 필요하기 때문이다. 일단 생물체에 도달하면 인과 황은 생태계 내 생물들을 통해 빠르게 순환한다.

**핵심개념 56.5**

1. 생태계서비스의 4개의 유형은 다음과 같다. (1) 공급 서비스: 음식, 깨끗한 물, 목재나 섬유소와 같은 생산물을 제공하는 것, (2) 조절 서비스: 허리케인, 홍수, 질병의 확산, 그리고 물과 대기의 질과 같은 것을 조절하는 것, (3)지지 서비스: 토양 형성, 탄소 축적 및 영양소 순환과 같은 과정, (4) 문화 서비스: 여가 활동이나 심미적 정신적 충족과 같은 비물질적 이익을 제공하는 것.

2. 생태계서비스 맞교환(trade-off)은 한 생태계서비스가 다른 생태계서비스를 얻기 위해 파괴되거나 손상되는 경우를 말한다. 생태계서비스의 가치는 가치를 사이에 일 대 일 비교가 가능하다면, 시장 가치로 측정되고 비교될 수 있다. 이러한 비교를 통해 거래를 줄이고 지속가능한 방책을 사용할 수 있다.

57장

요약 및 평가 57.1

1. 인류는 다양한 이유로 생물다양성을 중요하게 생각한다. 예를 들어, 인류는 생태계의 재화와 서비스를 위해 생물들에 의존한다. 또한, 인류는 생물들과 상호작용을 통해 미적 기쁨과 같은 심리적 이익을 얻는다. 그리고 인류는 생물다양성을 보호해야 하는 윤리적 책임을 느끼며, 생물들의 작동 방식을 이해하기 위해서 생물들에 의존한다.
2. 뉴잉글랜드초원 뇌조 개체군 크기는 사상으로 지속해서 감소하여 1830년 매사추세츠주 마서브 빈야드(Martha's Vineyard)섬에 단 하나의 작은 개체군이 남았다. 1908년에는 단지 50마리의 새만 이 남아 있었다. 보호구역이 설정된 이후 개체군의 크기가 수천 마리까지 회복되었지만, 사람의 의한 요인 그리고 자연적 요인들로 인해 개체군 수가 심하게 감소하였다. 개체군 크기의 감소는 근교약세 그리고 인구통계학적 불확실성을 야기하였고, 실질개체군 크기는 더 많이 감소하였다. 1928년 2마리의 암컷과 11마리의 수컷이 남았으나 뉴잉글랜드초원 뇌조를 멸종으로부터 구하기에는 개체 수 및 유전적 다양성이 충분하지 않았다.
3. 포유류, 조류, 양서류가 가장 많이 멸종되었고, 잠자리, 담수어류, 개, 산호, 그리고 날지 않는 파충류는 멸종되지 않았다. 멸종에서 이러한 차이는 아마도 인류가 그래프에 있는 어떤 그룹보다도 주로 포유류, 조류, 양서류를 포획하기 때문일 수 있다. 또한, 포유류, 조류, 양서류는 급격한 사망 사건으로부터 개체군이 회복되기 어려운 생활사적 특징을 가지고 있다. 마지막으로, 지구상에 존재하는 많은 포유류, 조류, 양서류 종들이 잘 알려져 있으므로 그들이 사라지는 것 역시 잘 기록되었다. 반면 덜 연구된 분류군의 종들은 멸종되었어도 인지되지 못했을 수 있다.

요약 및 평가 57.2

1. 침입종은 빨리 생식하고 널리 퍼지며 자생종과 자생종이 서식하는 서식지에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 생태계 기능공 역할을 하는 침입종은 산물의 순환, 물의 이용가능성, 침전물 형성 등의 생태계의 중요한 기능과 서비스를 변화시킴으로써 서식지들을 사라지게 하거나 서식지의 질을 떨어뜨릴 수 있다.
2. 회색늑대는 사시나무 같은 목본에게 이득이 되는 영양단계 연속효과를 만들어야 함을 살펴보았다. 엘로스톤 국립공원에서 리플(William Ripple)과 동료들이 수행한 연구는 회색늑대가 엘크를 먹음으로써 사시나무 유목들을 초식에서 벗어나게 하여 결과적으로 성숙한 사시나무 숲을 만들어야 함을 발견하였다. 1926년 늑대가 사냥 때문에 엘로스톤 국립공원에서 사라진 이후, 사시나무의 수는 엘크의 집중적인 초식으로 인해 급감했다(그림 55.9 참조).
3. 그렇다. 이 자료는 기후 온난화가 나비 종의 분포지역을 더 살기 더 좋은 더 선선한 북쪽 지역으로 이동시키는 원인이 된다는 것을 강하게 시사한다. 마찬가지로 출현시간이 앞당겨지고 있는데, 이른 시기의 온도조건이 그 종 생활사의 특정 단계에 더 적합하기 때문이다.

요약 및 평가 57.3

1. 보호지역을 설계하는 것은 세 가지 주요 원리를 따른다. 첫째, 상대적으로 교란받지 않은, 보호의 핵심으로 역할을 할 수 있는 충분히 큰 지역을 찾는다. 둘째, 핵심지역 둘레에 완충 지역(특정 종에 필요한 어떤 특질을 가지고 있으나 사람의 이용 면에 있어서 덜 제한적인 곳)를 설정한다. 그리고 셋째, 개체군들이 더 큰 메타개체군으로부터 고립되어 절멸에 취약해지지 않도록 서식지를 연결한다. 육상 생태계에서는 지구 온난화를 고려하여, 보호지역에 기후 온난화로부터 피난처로 기능할 수 있는 북쪽(남반구에서는 남쪽)에 있는 또 다른 보호지역을 설정하여 연결로로 연결될 수 있도록 해야 한다. 예가 이 장에서 논의한 엘로스톤 국립공원과 유콘 보전 이니셔티브이다.
2. 캘리포니아콘도르가 원시식지(브리티시컬럼비아에서 멕시코까지의 지역)에서 수가 감소하였는데, 이는 남으로 된 총알을 포함한 사체를 먹음으로 인한 납중독, 전선에의 감전, 알껍데기가 얇아지는 살충제의 효과, 사냥(생태적인 정보) 때문이다. 캘리포니아콘도르를 멸종으로부터 보호하기 위해, 멸종위기종 법(Endangered Species Act; 제도적인 권위)이 제정되었고, 콘도르는 1983년 야생에서 포획되어 사육되었다. 사육 프로그램은 성공적이었지만, 생태적인 정보를 통해, 새들의 수를 감소시킨 위협들을 어느 정도 제거할 때까지 새들을 방생할 수 없다는 것을 알 수 있었다. 2008년 리들라-트리 콘도르 법이 통과되어, 캘리포니아 사냥꾼들은 콘도르 서식지에서 사냥할 때 납이 포함되어 있지 않은 총탄을 사용해야만 하였다. 법의 통과와 함께, 콘도르가 가족을 죽인다고 오해하는 사냥꾼과 목장주들에게 사실을 알리는 캠페인이 벌어졌다(사회경제적 이익).

그림 질문

**그림 57.2** 향아리공평이는 많은 수의 개구리가 사망하는 원인이 되고, 그러므로 개체군 크기를 감소시킬 것이다. 개체군 크기가 감소함에 따라, 근교약세, 유전적 부동, 그리고 통계적 우연성의 확률이 높아지고, 이는 유전적 다양성을 감소시킨다. 유전적 다양성이 감소함에 따라, 개체의 적응도가 감소하고, 이는 개체군의 낮은 번식률 및 낮은 사망률을 야기할 것이다. 이 모든 것이 실질개체군 크기가 지속적으로 작아지도록 할 것이고 궁극적으로 개체군 및 종 수준에서 절멸로 이끌 것이다.

**그림 57.3** IUCN에 의해 구분된 98,302종 중에서, 1%가 멸종했고, 29%가 멸종 위기에 있다. 조류가 가장 많이 사라졌으나(150종), 양서류 대부분이 심각한 위기에 있다(1,900종).

**그림 57.8** 어류를 가장 많이 포획하는 곳은 북동 대서양 북유럽 지역, 그리고 남중국해의 태국과 베트남 근처 바다이다. 북서 대서양 뉴잉글랜드와 캐나다 지역 그리고 호주의 남쪽 끝 지역에서도 앞의 지역 만큼 많은 어류는 아니지만, 어류를 잡고 있다.

**그림 57.11** 빙하기 18,000년 전 처음으로 북아메리카에서 후퇴하기 시작한 이후로, 식물 군집의 분포 범위는 북쪽으로 이동하였고 동시에 많이 확장되었다. 약 12,000년 전 지구에는 완전히 다른 식물 군집이 그 당시의 독특한 기후조건 아래에서 형성되었다. 기후가 변화에 따라, 종들이 새롭게 조합함으로써 새로운 군집을 형성할 수 있다.

자료 이용하기, 중앙아메리카 개구리의 감소 현상 연구

1.

거리 간격(km)	시간 간격(년)	전파 속도(km/yr)
0-140 = 140	1987-1993 = 6	140/6 = 23
140-240 = 100	1993-1996 = 3	100/3 = 33
240-325 = 85	1996-2002 = 6	85/6 = 14
325-410 = 85	2002-2004 = 2	85/2 = 43
410-445 = 35	2004-2006 = 2	35/2 = 18

- 전파 속도는 다르다. 지역에 따라 14에서 43 km/yr로 다양하다.
2. *Ba*의 평균 전파 속도는 26 km/yr이다. 이 속도가 평균이라고 가정할 때, 병원균은 2016년에는 260 km 동쪽 그리고 남쪽으로 퍼질 수 있다.
  3. *Ba*가 발견된 마지막 장소의 동쪽과 남쪽 지역은, 북쪽에 좁고 길게 산지가 뻗어 있는 것을 제외하고는, 대부분 고도가 낮다(0-199 m). 고도가 199 m 이하인 곳에서는 *Ba*로 인해 절멸한 개구리 종이 훨씬 적응을 생각할 때, 병원균이 파나마지역에서 성공할 가능성은 낮다. 고도 자료를 근거로, 종의 멸종은 30%에 이를 것이다.

눈에 보이는 요약

핵심개념 57.1

1. 핵심개념 55.1에서 배운 것처럼, 생물다양성은 유전자, 개체군, 종, 생태계, 그리고 지구적 수준에서 작동한다. 인간에 의한 서식지 파괴, 남획, 비자생종의 침입, 기후 변화는 개체들을 사라지게 하여 작고 유전적으로 덜 다양한 멸종하기 쉬운 개체군이 되도록 한다. 개체군과 종이 사라지면, 그 종이 생태계에서 중요한 역할을 하는 종이었던, 종 다양성은 더 감소하게 된다. 생태계의 종 다양성이 감소하면 지역, 대륙, 지구적 규모에서 종 손실이 일어나게 된다.
2. 개체군 내 개체의 수가 감소하면 실질개체군 크기(자손을 낳아 다음 세대에 기여하는 개체의 숫자)가 감소한다. 개체군 크기가 작아짐에 따라 근교약세, 유전적 부동, 인구통계학적 우연성 등이 일어날 확률이 증가하는데, 이는 유전적 다양성을 감소시킨다. 유전적 다양성이 감소함에 따라 개체의 적응도는 감소하고 그 결과 개체군의 번식이 감소하고 사망률이 증가한다. 이러한 결과 개체군은 계속 실질개체군 크기가 작아지고 궁극적으로 개체군 및 종 수준에서 멸종에 이르게 된다.
3. 얼마나 많은 종이 멸종하였는지를 결정하는 것은 여러 가지 이유로 어렵다. 첫째, 많은 종이 아직 연구되어 기술되지 않았기 때문에, 우리는 현재 지구상에 얼마나 많은 종이 있는지 알지 못한다. 아직 기술되지 않은 종 중 일부가 이미 멸종되었을 수도 있다. 둘째, 많은 연구된 기술된 종들이 작고, 자신을 드러내기 싫어하며, 희귀하므로, 그들을 꼭 계속 관찰하기가 쉽지 않다. 셋째, 종이 진짜로 멸종되었는지 결정하는 것은 특히 종의 수가 많지 않은 경우 어렵다. 예를 들어, 어떤 종이 멸종되었다고 생각되었지만, 나중에 여전히 존재하는 것이 발견된 예가 여럿 있다. 어떤 종이 멸종 위기에 있음을 시사하는 요소는 개체군의 크기, 유전적 변이, 생활사와 관련된 형질, 생태이다. 예를 들어, 한 종이 개체군 크기가 급감한 결과 희귀하게 되었다면, 멸종 가능성이 증가한다. 또한, 어떤 종이 개체 수 감소로부터 회복하는 것을 어렵게 하는 생활사적 형질을 가지고 있다면 그 종은 멸종 위기에 있을 수 있다. 마지막으로, 어떤 종이 특별한 서식지나 특별한 음식 같은 줄이되고 있는 무언가를 생태적으로 필요로 한다면, 그 종의 멸종 가능성은 증가할 것이다.

핵심개념 57.2

1. 서식지를 파괴하거나 약화시키는 일은 개체들을 직접 죽이거나 남아 있는 개체들이 이용 가능한 서식지의 양을 감소시킬 수 있는데, 이 모두는 그 종의 개체군 크기를 감소시킬 것이다. 또한, 서식지가 파괴되거나 약화되면, 결과적으로 파편화될 수 있다. 서식지가 더 많이 조각조각 파편화될수록, 조각들은 점점 더 작아지고, 고립되어 가장자리효과는 점점 커지게 된다. 서식지와 파편화는 종의 개체군 크기를 감소시키고 개체군 들을 고립시키고 더 큰 메타개체군 간 분산하는 능력을 감소시킨다. 개체군의 크기가 작아지고, 고립되면 멸종의 소용돌이 과정에 더 취약해진다(그림 57.2 참조).
2. 침입종의 생물다양성과 생태계에 부정적인 영향을 미치는 이유는 세 가지이다. 첫째, 침입종은 포식, 경쟁, 질병의 전파 등을 통해 자생종이 멸종하도록 위협할 수 있다. 둘째, 침입종은 산물 순환, 물 이용 가능성, 침전물 침전과정 등에 영향을 미침으로써 생태계의 기능과 서비스를 변화시킬 수 있다. 셋째, 침입종은 잡종 현상을 통해 자생종의 유전적 다양성을 변화시킬 수 있다.

3. 큰 육식동물이 남획되면 개체군의 크기가 줄고, 멸종 위기에 놓일 것이다. 육식동물 개체군 크기가 감소하면 먹이그물 내 종들의 종 풍부도가 변화하게 되는데, 3개의 영양단계를 가진 먹이사슬이 있을 때를 예로 생각하면, 육식동물 수의 감소는 먹이(초식동물)의 풍부도를 직접적으로 증가시키고 그 결과 1차생산자의 풍부도와 그 1차생산자를 먹이로 하는 다른 종에 부정적인 영향을 끼치게 된다. 기 후 변화는 큰 육식동물의 일반적인 생리적 범위를 벗어난 환경조건에 육식동물을 놓을 수 있고 이는 이 육식동물 개체군 크기를 감소시키는 원인이 될 수 있고, 먹이사슬에 영향을 미칠 수 있다. 기후 변화는 또한 육식동물의 분포범위를 변화시키거나 생활사가 일어나는 시기가 바뀌도록 할 수 있다. 육식동물 먹이사슬 내의 종의 분포범위나 생활사가 변화된다면 이는 이전과는 다른 새로운 군집이 형성 되도록 하거나 먹이사슬 내에 종들 사이의 생활사 불일치를 야기할 수 있다.

**핵심개념 57.3**

1. 보호구역의 설계할 때 세 가지 중요한 공간적 요소에 의존한다: 첫째, 상대적으로 교란이 되지 않은, 보호구역의 핵심으로 기능할 수 있는 큰 지역을 찾는 것이다; 둘째, 보호구역 설계에서 두 번째 요소는 핵심구역 주변의 완충지대이다(그림 57.13B). 완충지대는 관심 대상 종에 의해 요구되는 일부 특징을 가지지만, 어느 정도는 사람들이 이용할 수 지역이다. 셋째, 개체군이 큰 메타개체군으로부터 고립되어 멸종되기 쉽게 되지 않도록 서식지를 연결해주는 것이다.

2. 복원생태학은 사람의 적극적인 개입에 의존하는데, 오염물질이나 비자생종을 적극적으로 제거하거나, 서식지, 먹이 자원을 다시 조성하고, 자생종을 재도입하고, 중요한 수문학적 혹은 교란 과정을 복원하는 등의 방법으로, 악화된 생태계의 원래 구조 및 기능을 회복하게 함으로써 악화된 생태계를 새롭게 다시 바꾼다.

3. 침입종에 의한 피해를 줄이는 방법의 하나는 침입종이 도입되는 것을 애초에 막는 것이다. 1996년 선박평형수(ballast water)의 예에서처럼, 비자생종의 도입을 규제하는 법을 제정할 수 있다. 침입종에 의해 생기는 문제를 줄이는 또 다른 방법은 정착 초기 개체군의 크기가 작고 분포범위가 넓지 않을 때 제거하는 것이다.