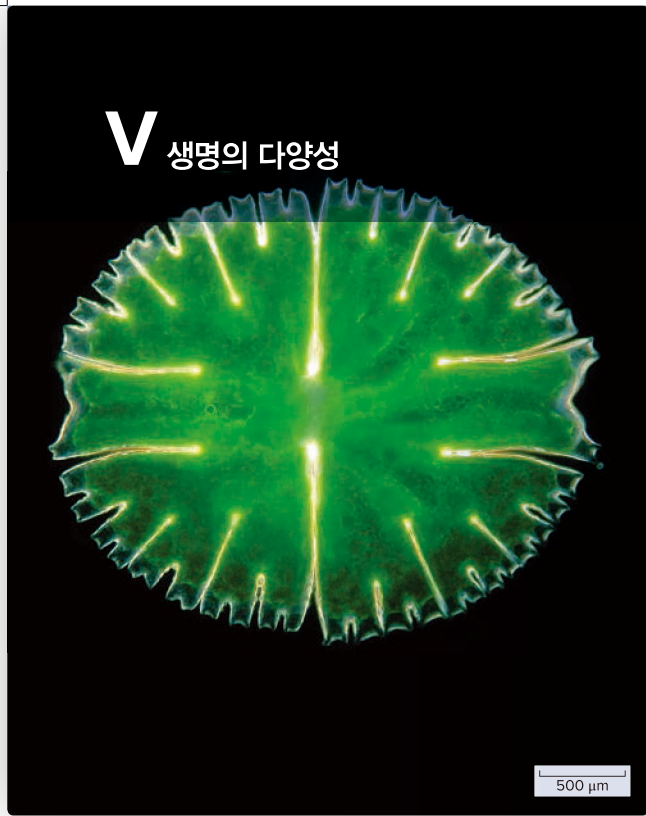


V 생명의 다양성



©Stephen Durr

WEB 5

Protists

- W5.1 진핵생물 기원과 세포내 공생
- W5.2 원생생물
- W5.3 엑스카바타 섭식구굴착류의 특성
- W5.4 크로말베올라타 유색피하낭류의 특성
- W5.5 근족충류의 특성
- W5.6 원시색소체생물의 특성
- W5.7 아메바류의 특성
- W5.8 후편모생물의 특성

도입

지구상의 생명체 역사의 절반 이상 동안 모든 생명체는 미시적이었습니다. 20억 년 동안 가장 큰 유기체는 단세포였습니다. 이 원핵생물은 광합성 박테리아의 표면 막의 주름을 제외하고 내부 막이 없었습니다.

다른 유형의 유기체에 대한 첫 번째 증거는 15억년 된 암석의 작은 화석에서 발견된다. 이 화석 세포는 세균보다 최대 10배 더 크고 세포 내막과 막성 세포내 소기관으로 보이는 것을 포함한다. 이 단일 세포 사이의 복잡성과 형태의 다양성은 놀랍다. 비교적 단순한 세포에서 매우 복잡한 세포로의 단계는 생명의 진화에서 가장 중요한 사건 중 하나인 새로운 종류의 유기체인 진핵생물의 출현을 표시한다. 원생생물은 동물, 식물 또는 균류로 분류되지 않는 진핵생물의 측계통군이다. 언뜻 보기에 이 그룹이 조금 이상해 보일 수 있지만 구성원은 인간의 건강과 복지, 생태학, 환경의 영양 순환에 중요한 역할을 한다.

W5.1 Eukaryotic Origins and Endosymbiosis

학습 목표

1. 진핵 생물의 특징을 나열하시오.
2. 세포내 공생을 정의하고 그것이 미토콘드리아 및 엽록체의 진화와 어떻게 관련되는지 설명하시오.
3. 진균과 일부 원생 생물의 유사 분열이 다른 진핵 생물의 유사 분열과 어떻게 다른지 설명하시오.

원생생물은 최초의 진핵생물이었다. 진핵세포는 더 복잡한 세포 골격의 존재와 구획화로 인해 원핵세포와 구별된다. 크고 복잡한 진핵세포로 이어진 사건의 정확한 순서는 알려지지 않았지만 몇 가지 주요 사건에 대해서는 밝혀졌다. 단단한 세포벽의 손실로 인해 막이 안쪽으로 접혀 표면적이 증가했고, 막유동성에 의해 세포가 다른 세포를 삼킬 수 있게 되었다.

화석 증거는 진핵생물의 기원을 보여준다

약 15억년 된 암석에서 과학자들은 초기의 단순한 세포 형태와는 눈에 띄게 다른 외관이 잘 보존된 미세화석을 발견했다. 화석 조류의 예는 **그림 28.1**에 나와 있다. 이 세포들은 원핵생물보다 훨씬 크고 내막과 두꺼운 벽을 가지고 있다.

초기 화석은 생명의 진화에서 새로운 종류의 생물의 출현이라는 중요한 사건을 나타낸다: 이 새로운 세포는 핵이라는 내부 구조를 가지고 있기 때문에 “진정한 핵”을 의미하는 그리스어 단어로 진핵생물이라 부른다. 모든 유기체는 원핵생물(핵이 없는) 또는 진핵생물(핵을 가지고 있는)이다. 진핵 내부 구조의 기원에 대한 논의에서 진핵

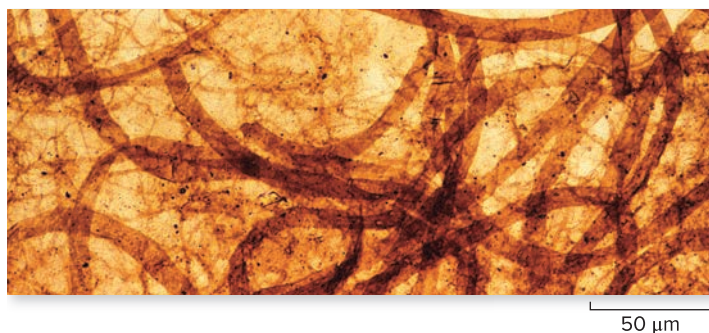


그림 W5.1 초기 진핵 화석.
10억년 전(1 BYA) 시베리아에서 서식했던 화석 조류.

세포가 진화하는 동안 수평 유전자 전달이 자주 일어났다는 것을 명심하시오(24장 참조). 진핵 세포는 수평 유전자 전달뿐만 아니라 막이 합입되거나 다른 세포를 집어삼키는 것을 통해 진화했다. 오늘날의 진핵세포는 DNA를 자르고 붙이는 과정과 다른 종으로부터 세포 소기관을 획득한 결과물이다.

핵과 소포체는 막의 합입으로 생겨났다

많은 원핵생물(prokaryote)들에서 외막이 세포질 안쪽으로 접히면서 표면으로의 통로로 작용하는 구조가 만들어졌다. 진핵생물에서 내막의 망상구조는 소포체(endoplasmic reticulum, ER)라고 부르며, 핵을 보호하는 핵막도 소포체 연장으로 이런 접힘으로부터 진화되어 나온 것으로 여겨지고 있다(**그림 28.2**).

미토콘드리아는 섭식한 호기성 박테리아에서 진화되었다

다른 세포 내에 살고 숙주 세포에 약간의 이로움을 제공하는 박테리아를 세포내 공생 세균이라고 한다(내 공생은 “밀접한 관계를 맺으며 함께 사는 것”을 의미한다). 자연에서 그들의 광범위한 존재는 1970년대 초에 생물학자 린 마굴리스(Lynn Margulis)가 1905년 콘스탄틴 메레츠크프스키(Konstantin Mereschkowsky)가 처음 제안한 세포내 공생설을 지지 받을 수 있게 하였다.

현재 널리 받아들여지고 있는 개념인 세포내 공생설은 진핵생물의 진화에 원핵생물과의 내부공생 관계 형성이 결정적인 역할을 한

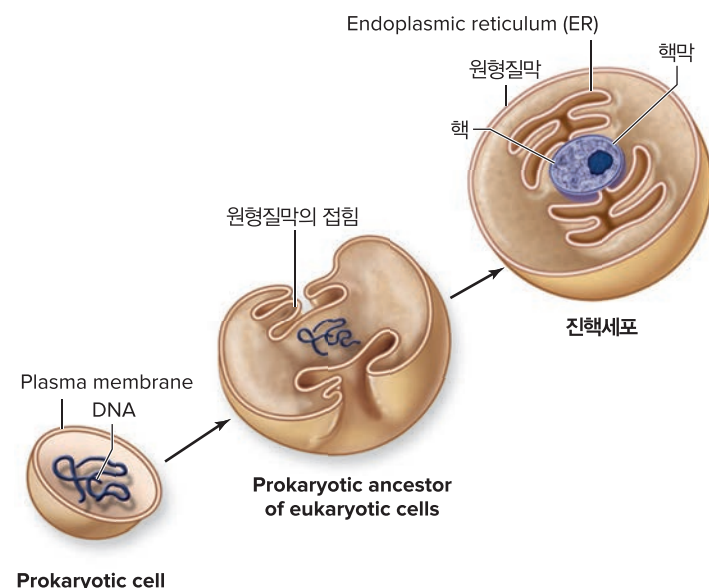
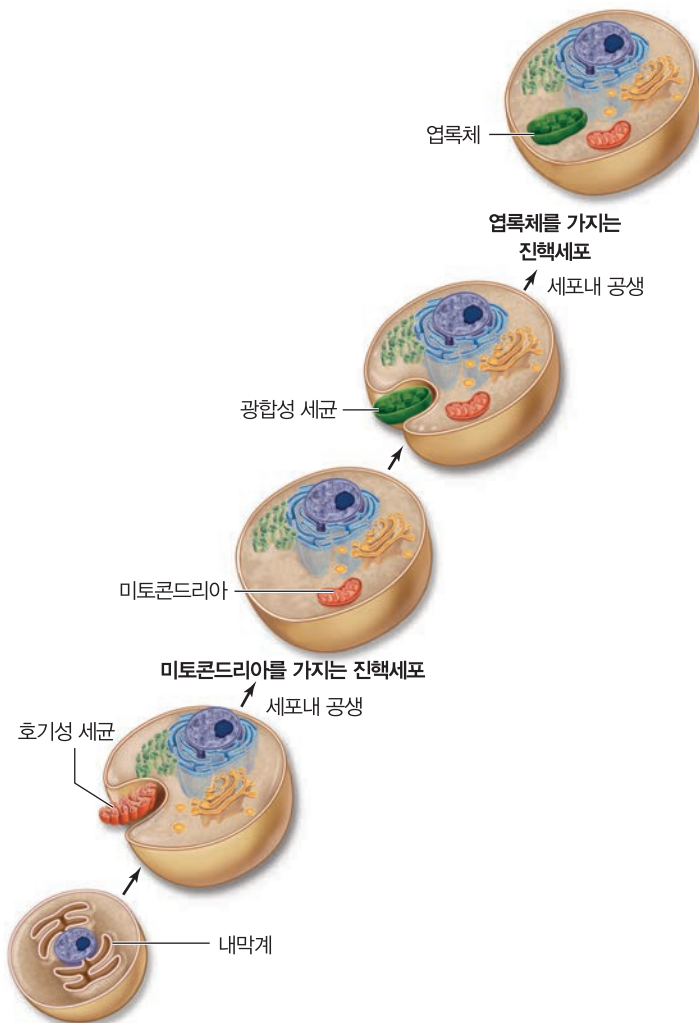


그림 W5.2 핵 및 소포체 망막의 기원.

오늘날 많은 원핵생물에는 원형질막이 안으로 접혀 있는 구조를 가진다(**그림 27.10** 참조). 진핵성 내막계인 소포체(ER), 핵 외막은 원핵생물 조상의 이런 내막구조가 DNA를 감싸도록 진화해 진핵세포로 진화된 것으로 보인다.



진핵세포의 조상

그림 W5.3 세포내 공생설.

과학자들은 이미 세포막의 내부 체계를 갖추고 있던 조상의 진핵 세포가 호기성 세균을 삼켜 진핵 세포 내 미토콘드리아가 되었다고 제안한다. 엽록체 또한 진핵 세포가 광합성 세균을 집어삼키면서 같은 방식으로 기원했다.

요인 중 하나라는 사실을 말해주고 있다. 이 이론에 의하면 에너지를 생산하는 세균이 더 큰 세균 속으로 들어가서 미토콘드리아(mitochondria)라고 불리는 소기관으로 진화되었다는 것이다(그림 28.3). 원래의 숙주세포는 수소에 의존해 혐기성 대사를 하였을 것이고, 공생체는 수소 분자를 생성하는 호흡 유형을 가졌을 것이다. 숙주는 혐기성 조건 하에서 수소 분자를 공생체에 의존하며, 나중에 공생체의 호흡 경로를 이용하여 산소가 풍부한 대기에 적용할 수 있게 된 것으로 여겨지고 있다.

엽록체는 광합성 세균으로부터 진화했다

광합성 세균은 다른 더 큰 세균 세포내에서 살아왔으며, 식물과 조류의 광합성 소기관인 엽록체의 진화로 이어졌다(그림 28.3). 엽록

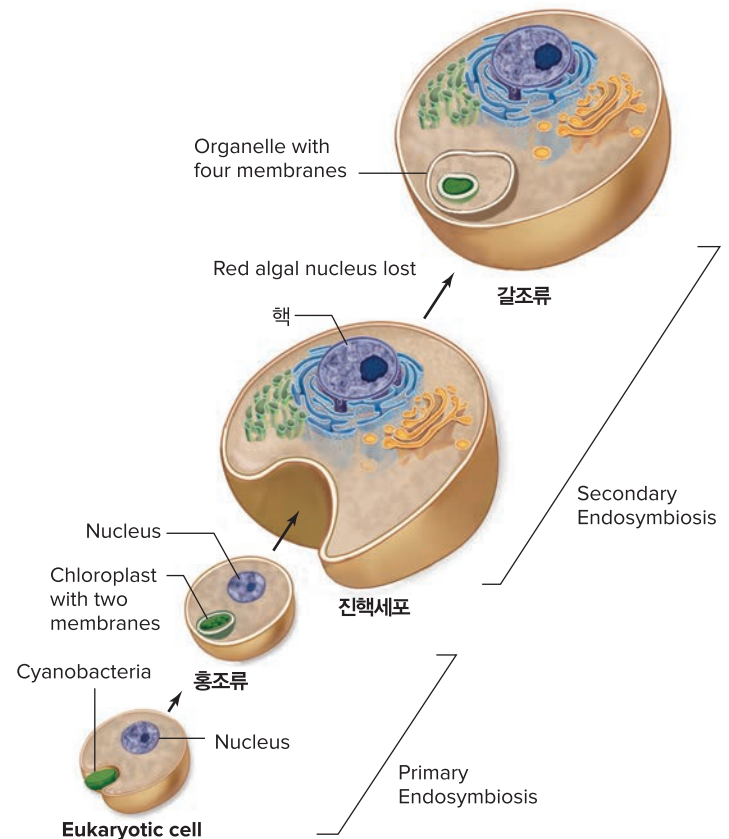


그림 W5.4 홍조류와 갈조류에서 엽록체들의 세포내 공생 기원.

체 진화의 역사는 계통 발생 연구에서 주의를 기울여야 하는 것을 보여준다. 모든 엽록체는 단일한 남세균에서 유래했을 가능성이 높지만 이러한 엽록체를 이끄는 유기체는 단일 계통이 아니다. 이 명백한 역설은 2차적, 심지어 3차적 내부 공생 가능성을 고려해야 해결된다. 그림 25.10은 홍조류와 녹조류가 광합성 남세균을 삼켜서 어떻게 엽록체를 얻었는지 설명한다. 갈조류는 2차 내부공생(secondary endosymbiosis)이라고 불리는 과정을 거쳐 하나 이상의 홍조류를 삼켜서 엽록체로 되었을 가능성이 높다(그림 28.4).

엽록체 유전자 서열만을 기반으로 하는 계통수는 갈조류, 홍조류 및 녹조류 간의 진화적 관계가 매우 가까운 것을 보여주지만, 이는 오해의 소지가 있다. 이 계통수만으로는 동일한 계통의 남세균을 받아들이는 때 조류의 계통이 이미 얼마나 서로 분화된 상태인지 추적하는 것이 불가능하기 때문에 올바른 관계를 알 수 없기 때문이다. 형태학적 및 화학적 특성뿐만 아니라 핵 유전자 서열은 조류 관계를 분류하는데 엽록체 유전자 염기서열보다 더 유용하다.

내부공생설은 많은 증거들에 의해 지지된다

우리가 지금 많은 공생 관계를 목격한다는 사실은 내부공생설에

대한 일반적인 지지를 제공한다. 더욱 강력한 지지는 미토콘드리아와 엽록체와 같은 오늘날의 세포 기관이 크기와 조직면에서 세균의 DNA와 현저하게 유사한 자체 원형 DNA를 포함한다는 관찰에서 비롯된다. 미토콘드리아가 진핵세포 내에서 내부 공생체로 존재했던 수십억 년 동안, 그들의 유전자의 대부분(전부는 아님)이 숙주 세포의 염색체로 옮겨졌다. 또한, 미토콘드리아 게놈의 유전자에서 생성된 mRNA는 진핵세포보다 작고 크기와 구조가 세균 리보솜과 매우 유사한 리보솜을 사용하여 번역된다. 박테리아에서 단백질 합성을 억제하는 많은 항생제도 미토콘드리아와 엽록체에서 단백질 합성을 억제하지만 세포질에서는 억제하지 않는다. 대부분의 박테리아와 마찬가지로 내부공생설을 뒷받침하는 엽록체 및 미토콘드리아는 이분법에 의해 분열하여 증식한다.

유사분열은 진핵생물에서 진화되었다

원핵생물은 단일 원형 DNA 분자에 유전자를 전달한다. 대조적으로, 진핵생물은 일반적으로 쌍으로 존재하는 여러 염색체에 유전자를 전달한다. 진핵생물이 진화하는 동안, 세포 분열 중에 염색체와 다른 세포 내용물을 나누는 체계적인 과정이 필요했다. 염색체의 분리를 유사분열이라고 하는 반면 세포질의 분열을 세포질 분열(cytokinesis)이라고 한다. 유사분열시 핵막이 없어지는 식물, 동물 및 대부분의 다른 원생생물과는 달리, 균류와 일부 원생생물 그룹에서 핵막은 유사분열 중에 소실되지 않는다. 결과적으로 유사분열은 핵에 국한된다. 이러한 생물에서 유사분열이 완료되면 핵은 두 개의 딸 핵으로 분열한 다음 세포질이 분열한다. 다른 모든 진핵생물에서 핵막은 유사분열 전에 분해되므로 염색체 분리는 핵보다는 세포질에서 일어난다. 우리는 핵막 소실없이 일어나는 유사분열이 진화 과정의 중간 단계인지 아니면 단순히 동일한 문제를 해결하는 다른 방법인지 알 수 없다. 유사분열의 역사를 추적할 수 있을 만큼 분열하는 세포의 내부를 보여주는 화석 증거가 충분하지 않다.

핵심 요약 W5.1

진핵생물은 핵과 다른 막으로 둘러싸인 세포 기관을 포함하는 생명체이다. 소포체와 핵막은 외막의 접힘으로부터 진화한 것으로 여겨진다. 내부공생설에 따르면, 미토콘드리아와 엽록체는 세균 내로 들어온 후 그대로 남아서 진화했다. 미토콘드리아와 엽록체에는 원핵생물과 유사한 자체 DNA가 있다. 다른 진핵생물과 달리 핵막은 균류와 일부 원생생물의 세포 분열 중에 소실되지 않는다.

- 내부공생설을 뒷받침하는 증거는 무엇인가?

W5.2 원생생물 개요

학습 목표

1. 생명체가 어떻게 원생생물로 분류되는지 서술하시오.
2. 원생생물이 포함된 6개의 주요 그룹을 알아보시오.
3. 원생동물이 사용하는 두 가지 주요 이동수단을 나열해 보시오.

다른 생명체 그룹과 달리 원생생물은 통일된 특징이 없다. 진핵생물은 균류, 식물 또는 동물로 분류할 수 있는 특징이 없는 경우 원생생물로 간주한다. 많은 원생생물은 단세포이지만 군체성인 것도 많고 다세포 그룹도 존재한다. 대부분은 현미경적 크기이지만 일부는 나무만큼 크다. 모든 종류가 대칭성을 나타내고 모든 유형의 영양을 보여준다. 조상 원생생물로 시작되는 진핵생물의 기원은 생물의 진화에서 가장 중요한 사건 중 하나이다.

진핵생물은 모든 원생생물을 포함한 6개의 주요 그룹으로 구성된다

식물, 균류, 동물과 달리 200,000 개 이상의 원생생물은 단일 계통이 아니다. 진핵생물은 혐기성 상태에서 호기성 상태로 바뀌는 세계에서 빠르게 분화했다. 이 주요 진화 과정에서 서로 다른 계통 간의 관계를 완전히 분류하지 못할 수도 있다. 원생생물 간의 진화적 관계에 대한 이해를 위해 다양한 분자생물학적 방법이 적용된다. 분자계통학은 원생생물을 분류하는데 도움을 주며, 이는 현재 엑스카바타, 유색피하낭류, 근족충류, 원시색소체생물, 아메바류 및 후편모생물의 6개 주요 그룹에 포함되어 있다. 유색피하낭류를 제외하고 주요 그룹은 단일 계통이다.

이 장에서 우리는 계통 발생에 대한 현재의 이해를 바탕으로 다양하고 흥미로운 원생생물의 세계를 알아본다(그림 28.5). 원생생물의 진화를 이해하는 것은 식물, 균류 및 동물의 기원을 이해하는 데 중요하다. 주요 그룹은 모든 진핵생물의 다양성을 포함하며 많은 원생생물은 식물, 동물 또는 균류와 밀접한 관련이 있다. 이 다양성 단원의 나머지 장(29~34장 참조)은 다른 원생생물 혈통과 공유되는 공통 조상으로 거슬러 올라가는 단일계통 균류, 식물 및 동물에 중점을 두어 다룬다.

원생생물의 세포표면은 다양하다

원생생물은 세포 표면이 다양하다. 아메바와 같은 원생생물은 세포막으로만 되어 있으며, 다른 원생생물의 세포막 바깥쪽에는 세포

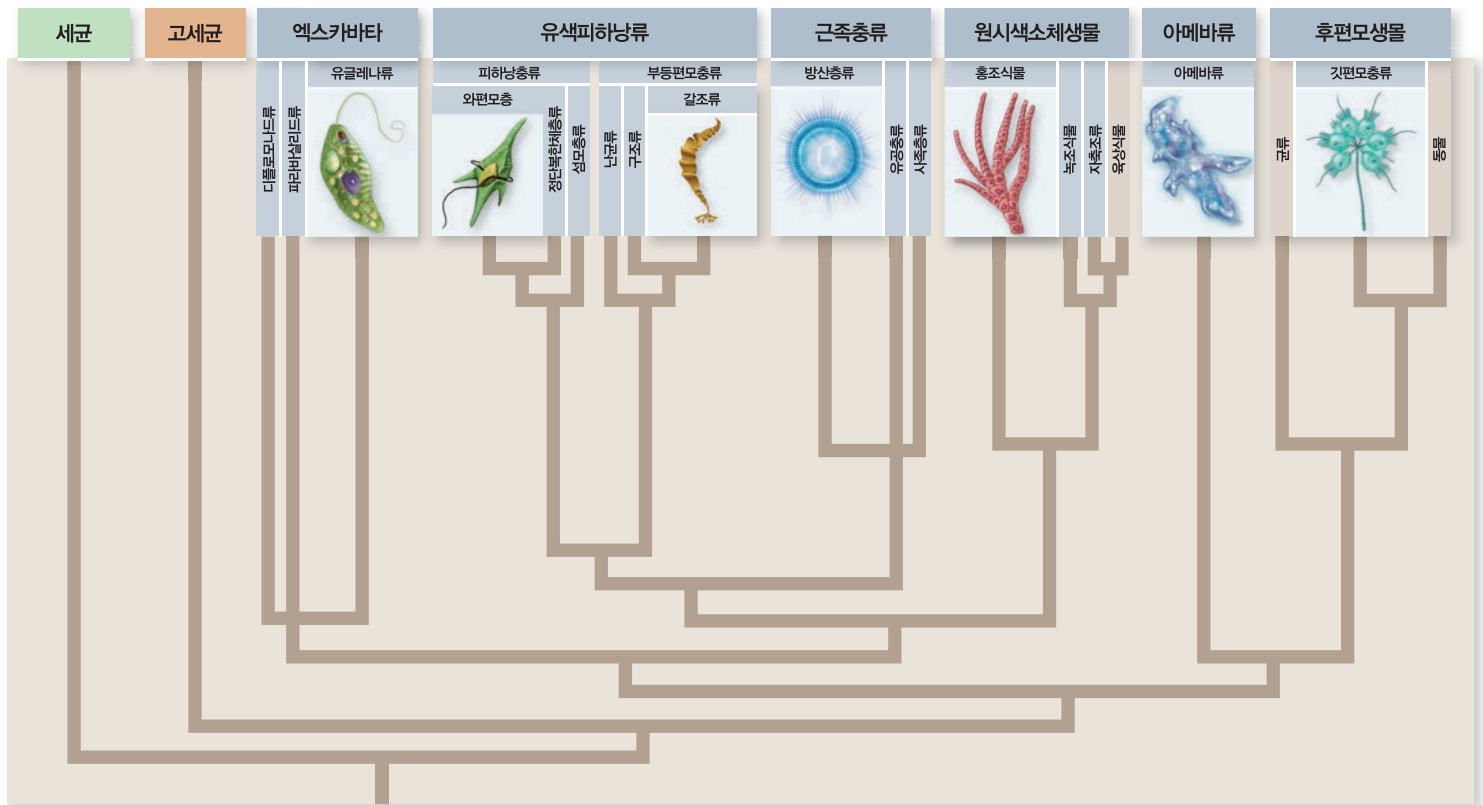


그림 W5.5 진핵생물 진화 관계.

진핵생물은 현재 비교 분자 데이터의 분석에 의해 6개의 슈퍼 그룹으로 분류된다. 진핵생물 내에서 식물, 균류 및 동물은 단일 계통 군이지만 원생 생물은 부계통이다. 원생생물 계통은 파란색으로 표시하였다.

외 물질(extracellular matrix, ECM)이 덮여 있는데, 어떤 ECM은 튼튼한 세포벽을 형성하기도 한다. 규조류(diatoms)와 유공충(foraminifera)은 실리카로 된 외각을 분비한다.

섬세한 표면을 가진 많은 원생생물들은 좋지 않은 환경적 조건에서도 살아남을 수 있는데, 어떻게 그렇게 잘 살아남을 수 있을까? 이는 원생생물은 포낭을 형성하고 그 속에서 대사를 중지한 채 잠복하여 열악한 환경을 견딜 수 있기 때문이다. 척추동물에 기생하는 아메바가 형성하는 포낭은 위산에 대한 내성은 크지만 건조나 고온에는 견디지 못한다.

원생생물은 다양한 운동수단을 갖고 있다

원생생물은 다양한 기작으로 움직이는데, 주로 편모 회전 또는 위축에 의해 이루어진다. 많은 원생생물은 한 개 또는 여러 개의 편모를 수중에서 휘저어 이동하며, 어떤 것은 먹이를 섭취하거나 움직이는 데 섬모를 이용하기도 한다. Pseudopods(그리스어, “가짜발”을 의미)는 아메바의 주요 이동 수단이다. 다른 원생생물은 늘이거나 접을 수 있는 길고 얇은 위축을 가지고 있다. 틱이 인접한 표면에 부착될 수 있기 때문에 세포는 구르기 동작으로 이동할 수 있으며, 앞쪽

에 있는 위축을 줄이고 뒤쪽에 있는 것을 확장할 수 있다. 다른 원생생물은 액체를 통해 이동시키는 작은 노 역할을 하는 수많은 섬모가 있다.

원생생물은 다양한 영양 기전을 갖고 있다

원생생물은 종속영양 또는 독립영양일 수 있다. 종속영양생물은 다른 유기체에 의해 합성된 유기 분자로부터 에너지를 얻는다. 일부 독립영양 원생생물은 광영양 생물이고, 다른 일부는 화학독립영양생물이다.

일부 종속영양 원생생물은 섭식생물이다. 섭식생물은 먹이를 식포(food vacuole)로 싸서 세포내로 섭취한다. 리소좀이 이 식포와 융합한 다음 효소를 넣어 먹이를 소화하고, 소화된 먹이는 식포막을 통해 세포로 흡수된다.

원생생물의 엄청난 영양 유연성의 또 다른 예는 광영양생물과 종속영양성인 혼합영양생물에서 볼 수 있다.

원생생물은 무성생식과 유성생식으로 번식한다

원생생물은 일반적으로 무성생식을 한다. 또한 일부는 정기적으

로 유성생식을 하는 반면 다른 일부는 식량 부족을 포함하여 스트레스를 받을 때 유성 생식을 한다.

무성생식

무성생식(Asexual reproduction)은 유사분열을 포함하지만 그 과정은 다세포 동물의 유사분열과 차이가 있다. 예를 들어, 핵막은 유사분열 내내 유지되며, 유사분열 방추체가 핵 내에서 형성된다.

일부 종에서는 유사분열 후 세포가 거의 동일한 크기로 분할되는데, 때때로 딸 세포는 모세포보다 상당히 작고 분열 후 성체 크기로 자라는 경우를 **출아(budding)**라고 한다. 일부원생 생물 사이에서 흔히 볼 수 있는 분열생식(schizogony)에서 세포분열은 여러 핵분열이 일어난 뒤에 분열이 일어나 동시에 동일한 여러 개체가 생산된다.

유성생식

대부분의 진핵세포는 원핵세포에서는 불가능한 유성생식의 특징을 가진다. 감수분열(제11장 참조)은 원생생물 조상에서 생긴 주요 진화적 혁신으로 이배체 세포로부터 반수체 세포의 형성이 가능하다. 유성생식은 두 반수체 세포가 결합하는 방법에 의해 자손을 형성하는 과정이다. 유성생식의 이점은 빈번한 유전자 재조합으로 진화의 시작이 되는 변이(variation)를 만든다는 점이다. 모든 진핵생물이 유성생식을 하는 것은 아니지만, 대부분이 유성생식 능력을 지니고 있다. 감수분열과 유성생식의 진화가 진핵생물 사이의 다양성을 크게 확장시켰다

원생생물은 다세포성의 교량 역할을 한다

진핵생물의 다양성은 다세포성의 발달로 인해 촉진되었다. 일부 단일 진핵세포는 군집에서 다른 세포와 함께 살기 시작했다. 결국 군집의 개별 구성원은 다른 임무를 맡기 시작했고 군집은 한 개체의 특성을 취하기 시작했다. 진핵생물들 사이에서 다세포성이 여러 번 발생했다. 실제로 모든 동물과 식물을 포함하여 육안으로 볼 수 있을 만큼 큰 모든 생명체는 다세포이다. 다세포 성의 가장 큰 장점은 전문화를 키울 수 있다는 점으로, 어떤 세포는 모든 에너지를 하나의 작업에, 다른 세포는 다른 작업에 쏟는다. 다세포성에 의해 가능해진 전문화만큼 생명의 역사에 큰 영향을 미친 혁신은 거의 없다.

핵심 요약 W5.2

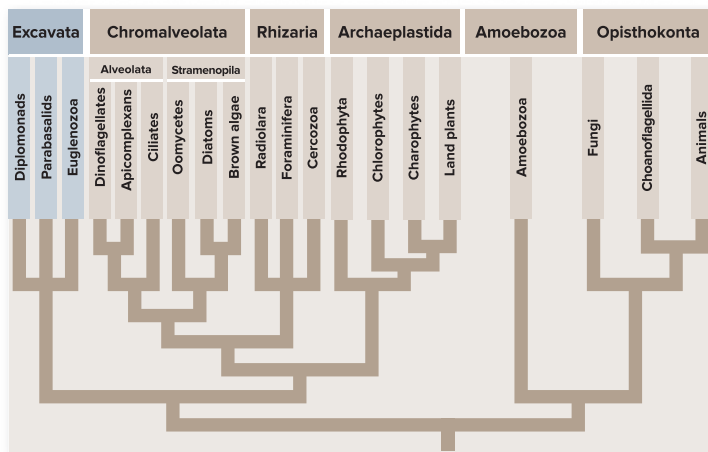
진핵생물은 진화 관계에 따라 Excavata, Chromalveolata, Archaeplastida, Rhizaria, Amoebozoa, Opisthokonta 등 6개의 주요 그룹으로 분류된다. 모든 주요 그룹에는 원생생물이 포함된다. 모든 원생생물은 원형질막을 가지고 있지만 퇴적된 세포외 물질(ECM)과 같은 다른 세포 표면 구성 요소는 매우 가변적이다. 원생생물은 주로 자신을 나아가게 하기 위해 편모 또는 위족을 사용한다. 원생물은 독립영양생물, 종속영양생물 또는 둘 다일 수 있다. 유성생식은 흔하지만 많은 그룹에서 무성생식도 한다. 다세포 생명체는 군체성 원생생물에서 발생했을 가능성이 높다.

- 감수 분열의 진화가 원생생물의 엄청난 다양성과 어떻게 연결될 수 있는지 설명하십시오.

W5.3 엑스카바타의 특성

학습 목표

1. 디플로모나드류와 파라바살리드류의 주요 특징을 나열하십시오.
2. 디플로모나드류와 파라바살리드류의 예를 들어보자.
3. 왜 유글레나류가 식물이나 동물로 분류될 수 없는지 설명하라.
4. 운동핵편모충류의 특징을 설명하세요.



디플로모나드류(diplomonads)와 파라바살리드류(parabasalids) 및 유글레나류(euglenozoans)는 진화 관련성을 보여주는 세포 골격 및 DNA 서열 유사성을 기반으로 엑스카바타로 그룹화된 단세포 원

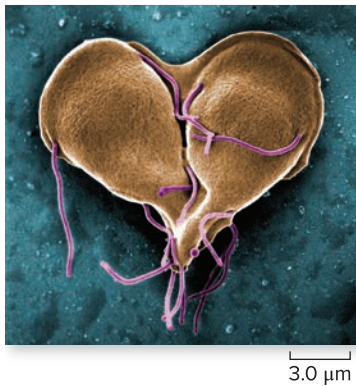


그림 W5.6 *Giardia intestinalis*. 이 기생 디플로모나드는 기능적인 미토콘드리아가 없다.

생동물이다. 세포표면에서 발굴된 것처럼 보이는 먹이를 먹는 홈이 패여있는 형태에서 "굴착"이라는 이름이 유래되었다. 이 그룹은 비슷한 특징을 가지고 있지만 차이점은 파라바살리드류, 디플로모나드류 및 유글레나류의 세 가지 그룹으로 구분된다. 파라바살리드류와 디플로모나드류는 두 개의 핵, 다중 편모 및 변형된 미토콘드리아를 가지고 있다. 유글레나류는 독특한 편모를 가지고 있으며 일부는 내부 공생을 통해 엽록체를 획득했다. 어떤 조류도 유글레나류와 밀접한 관련이 없으며, 이는 내부공생이 널리 퍼져 있음을 알게 해준다.

디플로모나드류는 기능성 미토콘드리아가 결여되어 있다

단세포 생물인 디플로모나드류는 기능성 미토콘드리아가 없는 것이 특징이다. 다른 특징으로는 다중 후방 편모와 세포 당 2개의 반수 체핵이 있다. 기생충 디플로모나드인 *Giardia intestinalis*(**그림 28.6**)는 오염된 물을 통해 사람에서 사람으로 전염될 수 있으며 설사를 유발한다. 미토콘드리아 유전자는 핵에서 발견되기 때문에 *Giardia*가 호기성 세균으로부터 진화했다는 가설을 이끌어낼 수 있다. 미토콘드리아 특이적 항체로 염색된 *Giardia* 세포의 전자 현미경 사진에서 세포 호흡에 참여하지 않는 퇴화된 미토콘드리아가 관찰된다.

파라바살리드류에는 물결모양의 파동막이 있다

파라바살리드류의 구별되는 특징은 이동에 사용되는 물결 모양의 파동막이다(**그림 28.7**). 그들은 또한 자신을 앞으로 나아가게 하기 위해 편모를 사용한다. 디플로모나드류와 달리 파라바살리드류는 반기능적인 미토콘드리아를 가지고 있으며 세포 당 하나의 핵이 있다. 파라바살리드류는 생태학적으로 다양한 종을 포함하는데 일부는 흰개미의 내장에 살며 흰개미의 나무 기반 식단의 주성분인 셀룰로오스를 소화한다. 이런 파라바살리드류는 셀룰로오스의 소화를 돕는 세균과 공생 관계를 가지고 있기 때문에 공생 관계는 한 층 더 복잡하다. 세 개의 다른 계(kingdom)에서 온 이 3가지 공생 생명체의 지속



그림 W5.7 파라베이살리드류의 특징인 파동형막. 질편모충증은 이 기생충 중인 *Trichomonas vaginalis*에 의해 발생한다.

적인 활동은 나무로 지은 집을 무너뜨리거나 숲에서 쓰러진 나무를 재활용할 수 있게 한다. 또 다른 파라바살리드류 인 *Trichomonas vaginalis*는 인간에게 흔한 성병인 트리코모나스증을 유발한다.

유글레나류는 유영하는 동안 모양을 바꾼다

유글레나류의 가장 두드러진 특징은 유영할 때 명확하다. 그들의 몸은 퍼지고 둥글게 되는 사이에서 변갈아 가며 모양이 변한다. Euglenozoans는 세포벽이 없기 때문에 모양을 바꿀 수 있다. 대신 단백질 조각이 세포를 둘러싸고 있고, 이 스트립은 서로 미끄러질 수 있어서 유연성을 제공한다. 유글레나류는 초기에 분지되어 미토콘드리아를 갖는 최초의 자유 생존 진핵생물 중 하나이다. 자유 생활 유글레나와 기생 운동성 형질은 모두 유글레나류로 간주된다.

유글레나

유글레나는 식물성 원생과 동물성 원생생물을 구별할 수 없음을 명확히 보여준다. 약 170종의 유글레나 중 약 1/3은 엽록체를 가지고 있으며 완전 독립영양생물이다. 다른 것들은 엽록체가 부족하고 영양분을 섭취하는 종속영양생물이다.

엽록체가 있는 일부 유글레나는 어둠 속에서 종속영양생물이 될 수 있는데, 엽록체는 작아지고 기능하지 않게 된다. 다시 빛을 비추면 몇 시간 내에 녹색으로 될 수 있다. 광합성 유글레나는 때때로 용해된 혹은 입자성인 양분을 먹을 수 있다.

유글레나의 번식은 무성이며 유사분열로 세포 분열한다. 핵막은 유사 분열 동안 그대로 유지된다. 이 그룹에서는 유성생식이 일어나지 않는 것으로 알려져 있다.

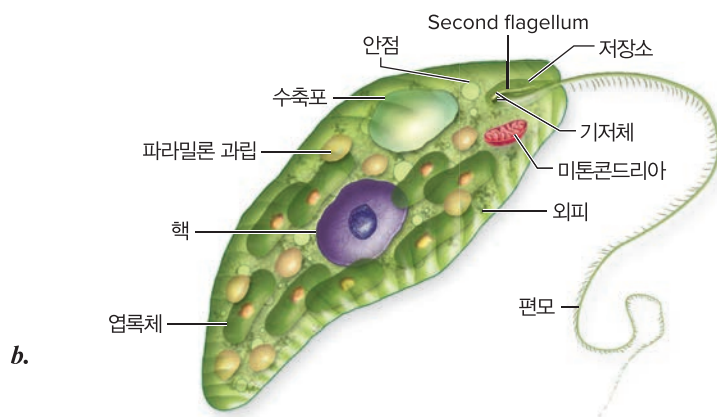
유글레나류에서는 (**그림 28.8**) 두 개의 편모가 세포의 앞쪽 끝에 있는 저장소라고 하는 플라스크 모양의 개구부 바닥에 부착되어 있다. 편모 중 하나는 길고 한쪽을 따라 매우 가늘고 짧은 털같은 돌기가 있다. 두 번째로 짧은 편모는 저장소 내에 위치하지만 그 안에서 나오지는 않는다. 수축성 액포는 생명체의 모든 부분에서 과도한 물을 모아 저장소로 비우고 생명체 내의 삼투압을 조절하는 데 도움을 준

그림 W5.8 유글레나류.
a. *Euglena gracilis*의 현미경 사진
b. 유글레나의 다이어그램. 파라밀론 과립은 먹이 저장체이다.



a.

6 μ m



b.

다. 녹조류(Chlorophyta)에서도 볼 수 있는 빛에 민감한 빛 감각점 (stigma)은 광합성 유글레나가 빛을 향해 이동하는 데 도움이 된다.

유글레나의 세포에는 수많은 작은 엽록체가 들어있다. 이 엽록체는 녹조류 및 식물의 엽록체와 마찬가지로 카로티노이드와 함께 엽록소 a와 b를 포함한다. 유글레나의 엽록체는 녹조류의 엽록체와 구조가 다소 다르지만 아마도 공통된 기원을 가지고 있을 것이다. 유글레나류의 광합성 색소체는 빛에 민감하다(그림 28.9). 유글레나 엽록체는 녹조류 섭취를 통해 공생 관계에서 진화한 것으로 보여진다.

기생 운동핵편모충류

유글레나류에서 두번째로 큰 그룹은 운동핵편모충류(kinetoplastids)이다. 운동핵이란 각 세포에 있는 독특한 단일 미토콘드리아를 지칭하는데, 이 미토콘드리아는 작은 원형(circular)과 큰 원형의 두 가지 DNA를 가진다(원핵생물은 원형 DNA를 가지며, 미토콘드리아는 원핵생물로부터 기원했음을 참고할 것). 운동핵편모충류 계통에서 발견된 일부 유전자는 우리딘이 전사체에 삽입되거나 삭제되어 그렇지 않으면 세포의 RNA발현을 방해할 수 있는 틀이동을 수정하는 특이한 형태의 RNA 처리를 담당한다.

기생성은 운동핵편모충류 내에서 여러 번 진화했다. 트리파노솜은 많은 심각한 인간 질병을 일으키는 운동핵편모충 그룹으로, 가장 잘 알려진 것은 아프리카 수면병인 트리파노소마 증으로 극심한 무기력과 피로를 유발한다(그림 28.10).

원생생물 기생충 리슈만편모충에 감염된 모래 파리에 의해 전염되는 리슈만편모충증은 피부 궤양을 유발하고 경우에 따라 내부 장기에 영향을 주어 사망에 이를 수 있는 트리파노소마 질환이다. 매년

과학적 사고

가설: 유글레나 세포는 어두운 환경에서는 광합성 색소를 보유하지 않는다.

예측: 빛이 있는 곳에서 자란 유글레나 세포가 어두운 장소로 옮겨지면 광합성 색소가 사라지고, 새로운 색소가 만들어지지 않을 것이다.

실험: 유글레나를 정상적인 빛이 있는 조건 하에서 자라게 한 다음 두 개의 플라스크로 옮긴다. 각 플라스크로부터 시료를 취해 각각의 광합성 색소량을 측정한다. 한 플라스크는 밝은 곳에, 다른 플라스크는 어두운 곳에 놓는다. 며칠 후 각 플라스크로부터 광합성 색소를 추출하여 초기의 양과 각각 비교한다.



결과: 어두운 곳에 놓아둔 플라스크에 있는 광합성 색소량이 밝은 곳에 놓아둔 플라스크 및 실험 초기의 플라스크에 있는 양보다 적게 나타났다. 밝은 곳에 놓아둔 것은 색소 변화량이 없다.

그림 W5.9 유글레나 광합성 색소에 미치는 빛의 영향.

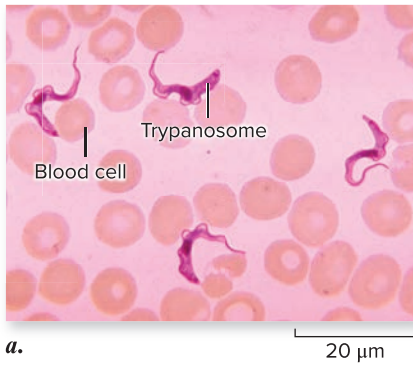


그림 W5.10 운동핵편모충류.

a. 적혈구 사이에 있는 트리파노소마. 이 현미경 사진에서는 핵(어두운 염색체), 전방 편모, 가변적인 모양으로 파동형 이동을 하는 트리파노소마를 볼 수 있다. **b.** 인간의 팔에서 피를 빨아 먹는 체체 파리는 트리파노소마를 운반 할 수 있다.

약 130만 건의 새로운 사례가 보고되고 있다. 남미에서 리슈만편모충증의 증가는 감염된 사람들이 시골에서 도시 환경으로 이동하는 것과 연관이 있는데, 이는 도시에서 이 기생충들이 더 쉽게 확산될 수 있기 때문이다.

샤가스병(Chagas disease)은 *Trypanosoma cruzi*에 의해 발생한다. 미국 남부에서 아르헨티나에 이르기까지 최소 9천만 명이 감염되고 있는데, 이 질병이 감염된 작은 야생동물의 배설물과의 피부접촉에 의해 전염되고, 수혈 또한 감염의 확산을 증가시켰다. 이 질병은 사람과 가축의 심장과 소화관에 심각한 질환을 일으키지만, 야생동물에게는 증세가 약한 것으로 알려져 있다. 이런 기생충의 독특한 속성 때문에 제어가 특히 어렵다. 예를 들어, 체체 파리(tsetse fly)-전달 트리파노소마는 교묘한 유전적 조작에 의해 그들의 당단백질 보호막의 항원 특성을 반복적으로 변화시켜 숙주가 생산하는 항체를 피하는 정교한 유전적 메커니즘을 발전시켰다(50장 참조). 1000 개의 가변적인 표면 당단백질(VSG) 유전자 중 한 번에 하나만 발현된다. VSG 유전자는 일반적으로 복제되어 염색체 끝 근처의 약 20개 발현 부위 중 하나로 이동한다.

트리파노소마를 전파하는 파리의 내장에 있는 트리파노소마는 비감염성이다. 숙주의 혈류나 피부로 운반될 준비가 되면 트리파노소마는 침샘으로 이동하여 숙주의 항체로부터 자신을 보호할 수 있는 두꺼운 당단백 항원의 두꺼운 외투를 가지게 된다. 후에 체체파리 속으로 다시 들어가면 트리파노소마는 그 외투를 벗는다

이러한 시스템에 대한 백신 생산은 복잡하지만 단백질 키나아제 억제제 테스트는 유망하다. 개체군 번식을 방해하기 위해 멸균된 파리를 방출하는 것은 파리 개체수를 제어하기 위해 시도되고 있는 또 다른 기술이다. 소의 냄새 및 독성 살충제를 이용해 어두운 색의 천으로 만든 몇도 효과적임이 입증되었다.

앞서 설명한 3가지 운동핵편모충류의 계능 시퀀싱을 통해 3가지 모두에서 핵심적인 공통 유전자가 밝혀졌다(24장 참조). 이들 핵심 공통 유전자들로부터 생산되는 단백질을 목표로 하는 약물을 개발할

수 있다면 단일 약물로 많은 목숨을 앗아가는 이들 병원성 미생물 모두에 대한 제어가 가능할 수 있을 것이다.

핵심 요약 W5.3

엑스카바타는 세포 골격 구조와 DNA 서열 유사성을 기반으로 분류된다. 발굴 물 내에서 디플로모나드류는 기능성 미토콘드리아가 결여되어 있지만, 미토콘드리아 유전자를 포함할 수 있다. 그들은 단세포이고 두 개의 핵을 가지고 있으며 편모와 함께 움직이는데, *Giardia*가 그 예이다. 파라바살리드류는 반 기능성 미토콘드리아를 생산하고 운동을 위해 편모와 물결모양의 파동막을 사용하는데, 그 예로 트리코모나스가 있다. 유글레나에는 광영양생물과 종속영양생물이 포함된다. 일부 구성원은 빛이 없으면 기능하지 않는 엽록체를 가지고 있으며, 영양분이 있으면 일부 광영양생물이 먹을 수 있다. 운동핵편모충류는 두 가지 유형의 DNA와 RNA를 편집할 수 있는 기능을 가진 단일 미토콘드리아를 포함한다. 트리파노솜은 질병을 일으키는 운동핵편모충류이다.

- 이동을 위해 물결 막을 사용하는 것이 어떤 유형의 서식지에서 유용할까?
- 수축성 액포는 유글레나 세포의 삼투압을 어떻게 조절하는가?

W5.4 유색피하낭류의 특성

학습 목표

1. 피하낭충류(alveolates) 구성원의 구별되는 특징을 식별하시오.
2. 정단복합체충류(apicomplexans)에서 정단 복합체의 기능을 설명하시오.
3. 부등편모충류(Stramenopiles)의 특징에 대해 서술하시오.

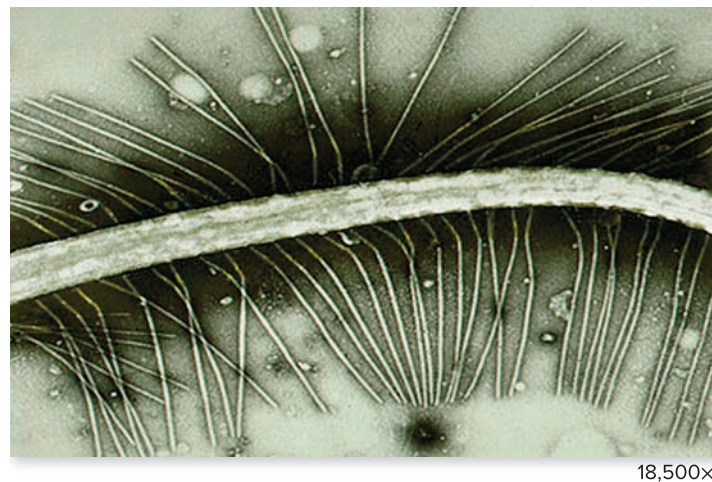
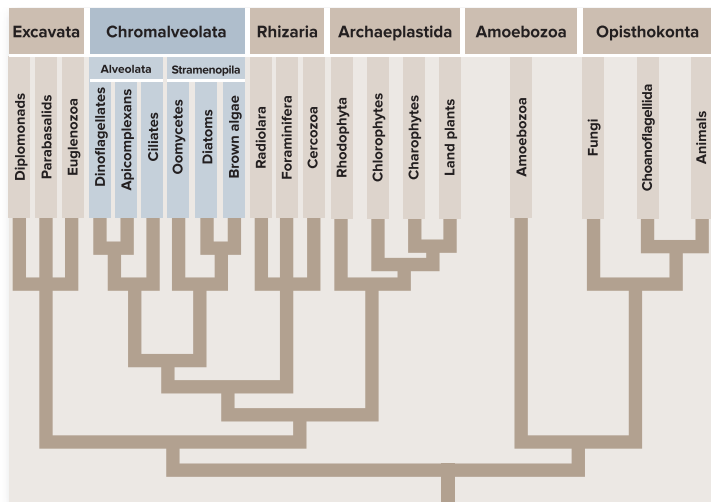


그림 W5.12 부등편모충류는 편모에 매우 가는 털이 있다.

유색피하낭류(Chromalveolate)는 하나 이상의 2차 내부공생에 의해 발생할 수 있는 수퍼 그룹을 구성한다. 염기 서열 데이터에 기반한 계통 연계는 단일 계통 유색피하낭류 수퍼 그룹을 지원하지 않지만 정확한 진화 역사는 아직 해결되지 않았다. 하나의 가지는 외편모충류(dinoflagellate), 정단복합체충류(apicomplexans) 및 섬모충류(ciliates)를 포함한 피하낭충류(alveolate)이며, 모두 동일한 계통이지만 다양한 운동성을 보인다. 일반적인 특징은 원형질막 아래에 연속적으로 쌓인 피하낭(그래서 Alveolata라는 이름이 붙여졌다)이라고 하는 납작한 소포의 존재이다(그림 28.11). 피하낭은 골지체가 기능하는 방식과 유사하게 막 수송에서 기능할 수 있다. 유색피하낭류의 두번째 분지는 갈조류(brown algae), 규조류(diatoms) 및 난균류(물 곰팡이)를 포함하는 부등편모충류(stramenopiles)이다. 진화 과정에서 일부 종은 털이 사라졌지만, 이 이름은 이들 그룹 구성종의 편모에서 발견되는 독특하고 미세한 털을 가리킨다(그림 28.12).

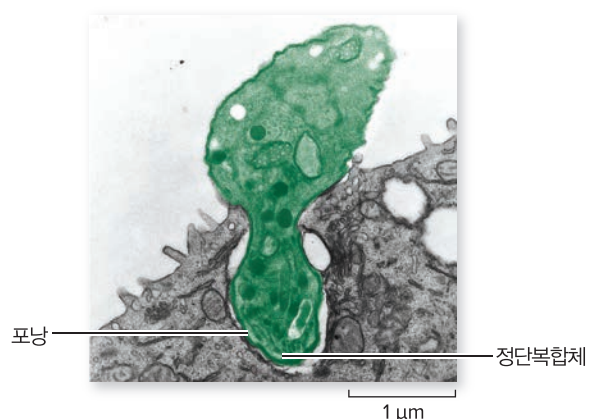


그림 W5.11 폐포는 dinoflagellates, apicomplexans 및 ciliates의 원형질막 바로 아래에있는 소포의 연속체입니다.

폐포의 정단 복합체는 기생충을 숙주 세포로 강제합니다.

외편모충류는 독특한 기능의 광합성 물질이다

외편모충류는 독특한 기능의 광합성 물질이다.

대부분의 외편모충류는 두 개의 편모가 있는 광합성 단세포이다. 외편모충류는 해양 및 담수 환경 모두에 서식한다. 일부 외편모충류는 빛이 나며 밤에 바다, 특히 열대 지방에서 볼 수 있는 반짝임 또는 번쩍이는 효과에 기여하는 반면, 다른 종은 인간 질병을 유발할 수 있는 해양 환경에서 해로운 조류 번식에 기여한다.

외편모충류의 편모, 보호 피막, 생화학적 특성은 독특하며 다른 문과 직접적인 유연관계가 없는 것으로 보인다.

종종 실리카로 둘러싸인 셀룰로오스와 같은 물질로 만들어진 판이 외편모충류 세포를 감싼다(그림 28.13). 이 판의 접합부의 홈에는 일반적으로 편모가 있으며, 하나는 옆으로 벨트처럼 세포를 둘러싸고 다른 하나는 이와 수직을 이룬다. 이 홈에 있는 편모의 운동으로 외편모충류가 회전하게 된다.

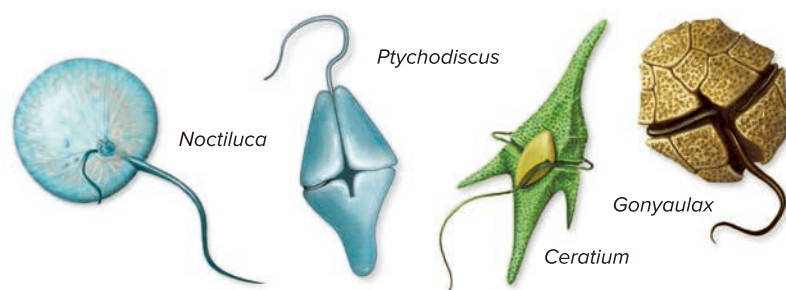


그림 W5.13 외편모충류.

대부분의 외편모충류의 특징인 두꺼운 섬유소 껍질이 없는 Noctiluca는 발광 생물체로 열대바다 발광의 원인이다. 다른 3개의 속에서는 더 짧은 편모가 몸을 감싸고 있고, 더 긴 편모는 몸에서 돌출해 뻗어 있다(촉적을 표시하지 않음).

대부분의 와편모충류는 카로티노이드 외에도 엽록소 a와 c를 가지고 있으므로 엽록체의 생화학적 측면에서 규조류, 갈조류와 유사하다. 갈조류 및 규조류와 같은 대부분의 와편모충류는 카로티노이드 외에도 엽록소 a와 c를 포함하는 엽록소를 가지고 있다. 이 그룹의 개체들과 내부공생 관계를 형성함으로써 엽록체를 얻었을 가능성이 있다.

와편모충류는 먹이가 없는 상태에서 유성생식이 일어나기도 하지만, 주로 무성생식 세포분열에 의해 번식한다. 무성생식 세포분열은 영구적으로 응축된 염색체가 영구적인 핵막 내에서 분열하는 독특한 형태의 유사분열에 의존한다. 염색체가 대량으로 복제된 후 핵은 두 개의 딸 핵으로 분리된다.

또한, 와편모충류 염색체는 다른 진핵생물과 달리 DNA가 일반적으로 히스톤 단백질과 복합체를 형성하지 않는다는 점이 독특하다. 다른 모든 진핵생물에서 염색체 DNA는 히스톤과 복합체를 형성하여 핵 안에 DNA 응축의 첫 번째 구조인 뉴클레오솜을 형성한다(10장 참조). 와편모충류가 어떻게 적은 양의 히스톤으로 뚜렷한 염색체를 유지하는지는 아직 밝혀내지 못하고 있다.

와편모충류의 과성장

해안 지역에서 자주 발생하는 “적조(red tides)”는 대개 와편모충류가 폭발적 증식, “블룸”에 의해 일어나는 현상으로 수산업에 막대한 피해를 준다(그림 28.14). 와편모충류의 폭발적 증식(블룸)은 농업 및 기타 인간 활동의 과도한 영양소로 인해 가장 자주 발생한다. 적조는 전세계 어업에 심하고 해로운 영향을 미친다. 약 20종의 와편모충류는 항력막을 억제하는 강력한 신경독을 생성하여 많은 척추



그림 W5.14 적조.

비록 크기는 작지만 거대한 와편모충류 개체군은 바다를 채색하고 물에 독소를 방출할 수 있다. 이 경우 와편모충류는 녹색이다.

동물에서 호흡 부전을 유발하며, 독성 와편모충류가 풍부하면 많은 물고기, 새, 해양 포유류가 죽을 수 있다.

영향을 받은 어패류를 섭취하는 사람은 이 동물의 조직에 축적되는 신경독을 섭취하게 되는데, 중독의 한 유형인 마비성 갑각류 중독은 미국 동부와 서부 해안의 와편모충류의 폭발적인 증식에 의해 발생할 수 있다.

정단복합체충류에는 말라리아 기생충이 포함된다

정단복합체충류는 동물의 포자 형성 기생충이다. 그것들은 세포의 한쪽 끝에 있는 섬유소, 미세소관, 액포 및 기타 세포 소기관의 독특한 배열 때문에 정단복합체충류라고 불린다(그림 28.11 참조). 정단복합체는 정단복합체충류가 숙주를 침범할 수 있도록 해주는 세포골격과 분비구조의 복합체이다. 가장 잘 알려진 정단복합체충류는 말라리아 기생충인 플라스모뎀이다. (플라스모뎀과 모기의 계통 정보를 이용하는 내용에 대해서는 제24장 참조).

플라스모뎀과 말라리아

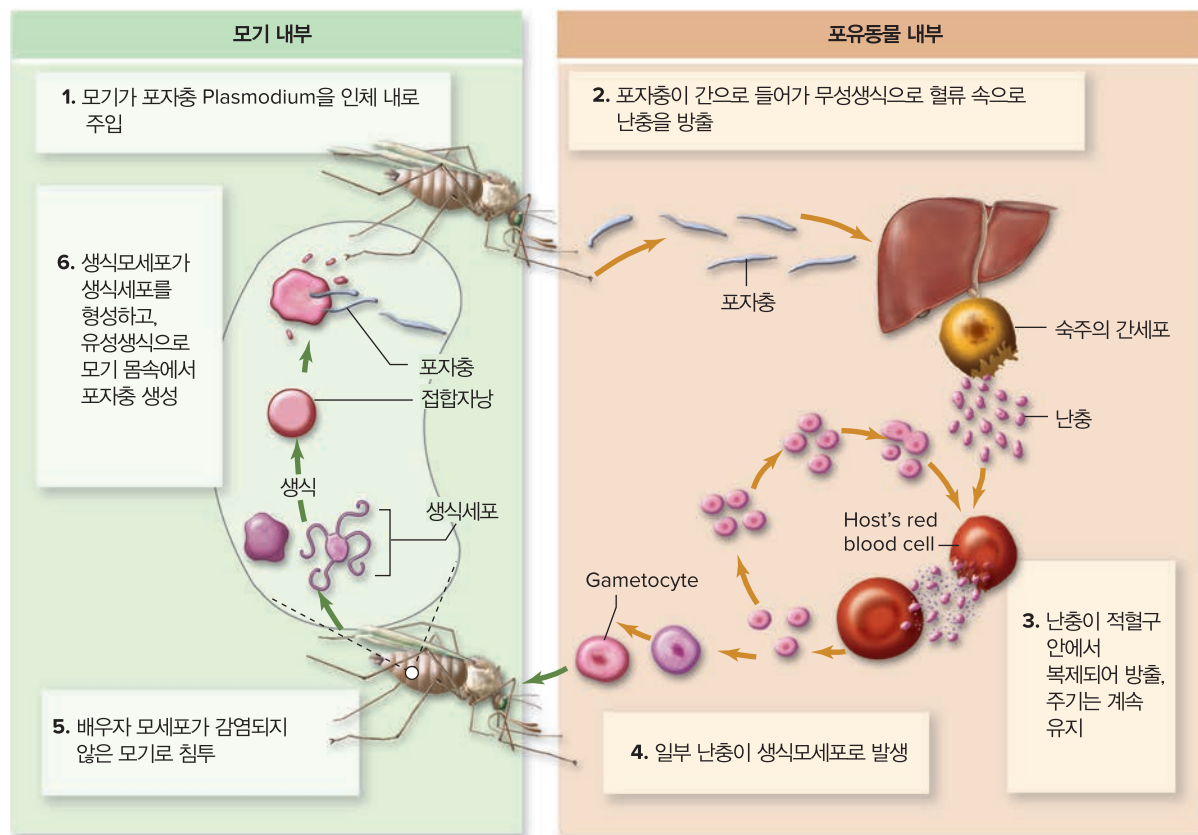
2015년에 2억 1200만 건의 발생으로 429,000명이 사망한 질병인 말라리아는 기생충 플라스모뎀에 감염된 아노펠리스 모기에 물려 전염된다. 다른 정단복합체충류와 마찬가지로 플라스모뎀도 복잡한 생활주기를 가지는데, 숙주인 모기 (*Anopheles gambiae*)와 인간 사이에서 유성생식과 무성생식 시기를 갖는다(그림 28.15).

말라리아를 퇴치하려는 노력은 (1) 운반체인 모기를 제거 (2) 인체에 유입된 기생충에 대한 치료약 개발, 그리고 (3) 백신의 개발에 초점이 맞추어지고 있다. 1940년에서 1960년대 사이에 미국, 이탈리아, 그리스 및 라틴아메리카의 여러 지역에서 디클로로디페닐트리클로로에탄(DDT)를 이용해 성공적으로 모기를 퇴치하면서 한동안 말라리아의 퇴치가 가능한 듯 보였다. 그러나 곧 DDT 내성 모기가 생겨났고, 그에 부가하여 DDT의 사용은 환경에 심각한 영향을 끼쳤다. 또한 내성 모기 군주 문제 외에도 퀴닌을 포함해 전통적으로 이용하던 약에 내성을 가지는 말라리아원충 군주들도 나타났다.

인간의 플라스모뎀 감염을 예방하기 위해 RTS, S라는 실험용 백신이 개발되었다. 이 백신은 CSP라는 단백질을 표적으로하며, 모기에 의해 전염된 직후 포자체가 간세포를 감염시키는 것을 예방하여 효과가 있는 것으로 보여진다. 이 단계의 감염을 차단하면 기생충이 간에서 혈액으로 이동하여 전신 감염을 일으키는 것을 막을 수 있다. RTS, S는 어린이와 영유아에게 25~50%의 효과에 불과하지만 세계 보건기구(WHO)는 말라리아로 인한 사망률이 가장 높은 아프리카에서의 이 백신 사용을 권장했다.

그림 W5.15 플라스모디움의 생활주기.

말라리아를 일으키는 정단복합체충류인 플라스모디움은 모기와 포유류 사이를 번갈아가며 복잡한 생활주기를 갖고 있다.



그레가린류

또 다른 정단복합체충류인 그레가린류(gregarines)는 절지동물, 환형동물, 연체동물의 장 상피에 정단복합체를 이용해 부착한다. 정단복합체를 제외한 그레가린의 몸은 장 공간으로 돌출되어 있으며, 영양분은 정단복합체를 부착한 세포로부터 얻는 것으로 보인다(**그림 28.16**).



그림 W5.16 세포에 들어가는 그레가린.

톡소플라즈마

*Toxoplasma gondii*는 정단복합체를 이용하여 인간의 장 상피세포를 공격한다. 이 기생충에 감염된 대부분의 사람에게서 면역반응이 시작되어 영구손상을 막지만 면역계가 완전히 작용하지 않는 경우 톡소플라즈마(toxoplasma)는 장과 림프조직 외에도 뇌, 심장, 골격조직에 손상을 준다(**그림 28.17**). AIDS 환자는 특히 톡소플라즈마 감염에 취약하다. 임신부가 감염된 고양이 상자를 만지면, 고양이로부터 전달된 톡소플라즈마 기생충이 태반 벽을 투과해 면역계가 완전하지 않은 태아의 발달에 해를 끼칠 수도 있다.

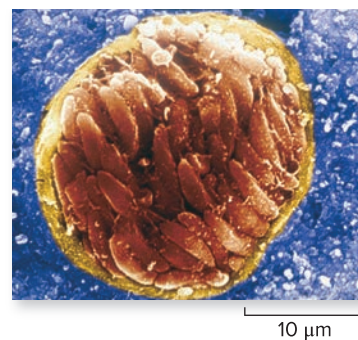


그림 W5.17 톡소 플라스마로 채워진 낭포의 현미경 사진.

톡소 플라스마는 뇌에 들어가 천천히 복제하는 기생충으로 가득 찬 낭포를 형성 할 수 있다.

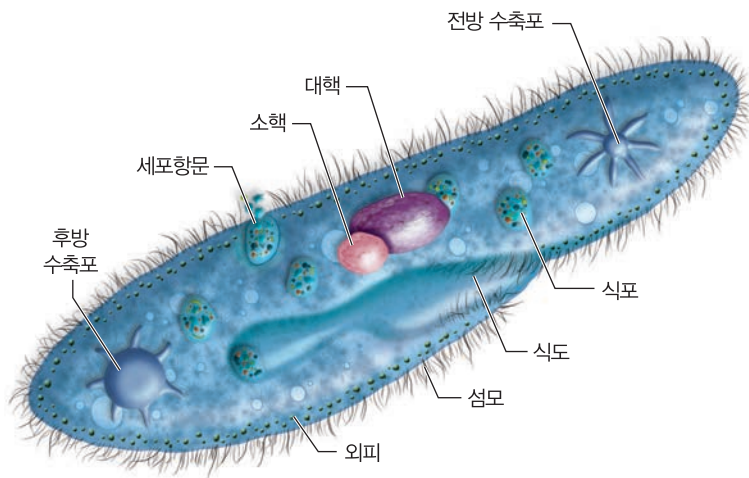


그림 W5.18 짚신벌레.

이 섬모충류의 주요 특징은 섬모, 두 개의 핵 및 수많은 특수한 세포소기관을 포함한다는 것이다.

섬모충류는 이동방식에 의해 특징지어 진다.

이름에서 알 수 있듯이, 대부분의 섬모충류에는 많은 수의 섬모가 있다. 그들의 섬모는 보통 세로줄이나 세포주위의 나선형으로 배열

된다. 섬모는 플라스마 막 아래의 미세관(제5장 참조)에 고정되어 있으며, 조화롭게 박자를 맞춘다. 어떤 그룹에서, 섬모는 시트, 스파이크, 막대기로 융합되어 입, 노들, 이빨 또는 발처럼 기능할 수 있는 특수한 기능을 가지고 있다. 섬모충류는 단단하지만 유연한 외피인 펠리클을 가지고 있어 장애물을 뚫고 지나가거나 움직일 수 있다.

소핵과 대핵

모든 섬모충류는 소핵(micronucleus)과 대핵(macronucleus)의 두 가지 유형의 핵을 갖는다(그림 28.18).

대핵의 DNA는 유기체의 일상 활동을 위해 전사된다. 대핵은 일반적으로 배수체이며 각 염색체의 최대 1000개 사본을 포함 할 수 있다. 소핵은 이배체이며 유성 생식을 위한 생식세포로만 사용된다. 소핵에 있는 DNA는 전사되지 않는다.

액포

섬모충류는 먹이를 섭취하고 수분의 균형을 조절하기 위해 액포를 가지고 있다. 음식은 처음에 짚신벌레의 식도로 들어오는데, 식도는 섬모로 덮여 있고 막과 연결되어 있다(그림 28.18). 음식물은 섬모

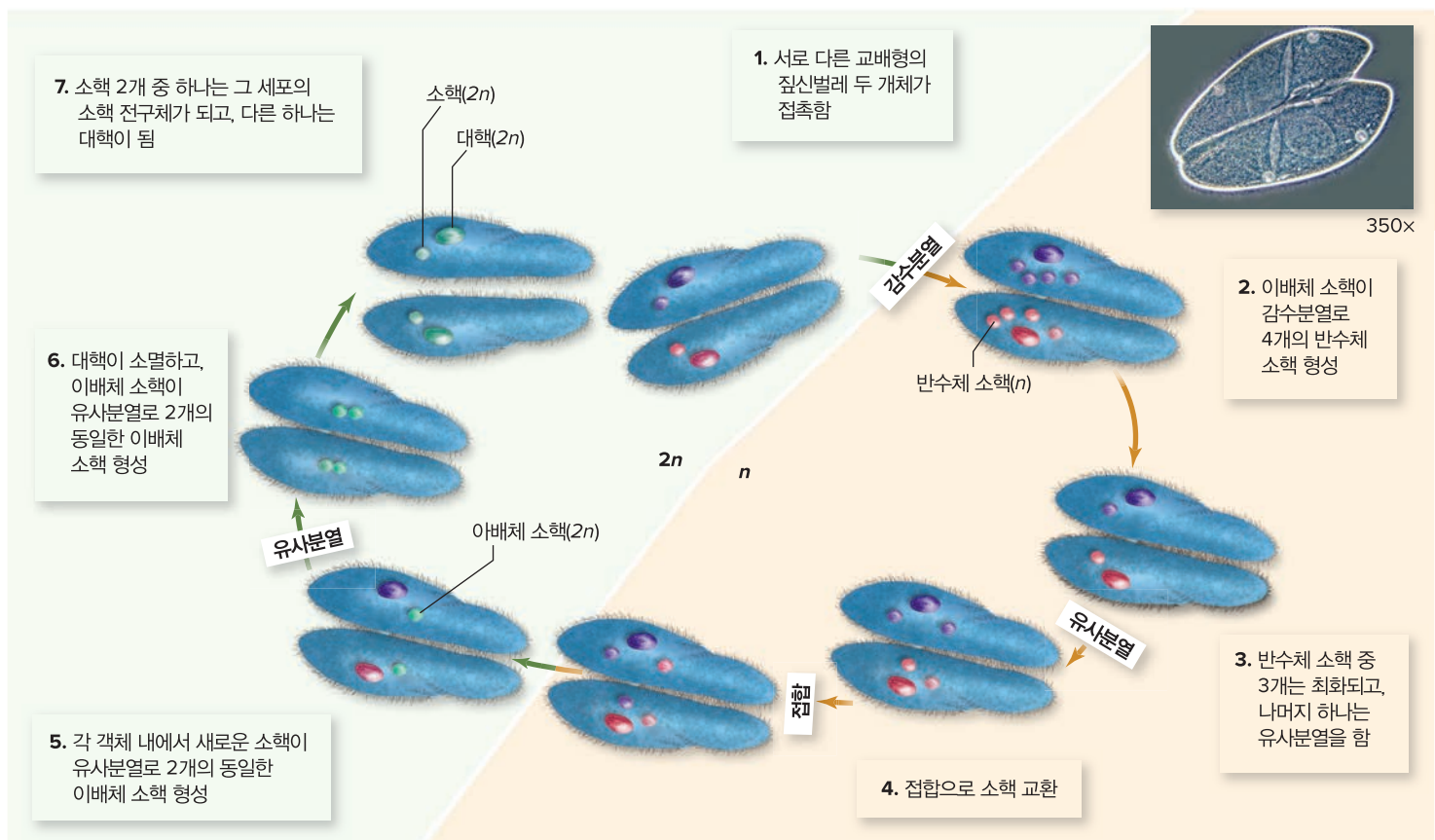


그림 W5.19 짚신벌레의 생활주기.

유성 생식에서는 두 개의 성숙한 세포가 접합이라고하는 과정에서 융합된다.

의 박동 작용에 의해 세포로 들어와 음식 액포로 전달되며, 여기서 효소와 염산은 소화를 돕는다. 소화 후 노폐물은 외피에 있는 특수한 구멍인 세포항원(cytoprocr)을 통해 배출된다. 세포항원은 세포의 배출을 위한 소낭인데, 단단한 과립을 배출하기 위해 주기적으로 나타난다. 수분의 균형을 조절하는 수축성 액포는 주기적으로 팽창과 수축을 반복하여 내용물을 외부로 내보낸다.

접합 : 소핵 교환

대부분의 섬모충류처럼 짚신벌레는 접합이라는 유성생식 과정을 거치며, 이 과정에서 두 개의 세포가 최대 몇 시간 동안 서로 붙어 있다(그림 28.19).

짚신벌레에는 여러 결합 유형이 있다. 유전적으로 결정된 두 가지 교배 유형의 세포 사이에서만 접합이 일어난다. 소핵의 감수 분열은 여러 개의 반수체 소핵을 생성하고 각 개체들은 접합 세포 사이에 형성되는 세포질 다리를 통해 한 쌍의 소핵을 교환한다.

각 개체에서 상대방으로부터 받은 새로운 소핵은 원래 가지고 있던 소핵과 융합하여 새로운 이배체 소핵을 이룬다. 접합 후 대핵은 소멸하고, 이배체 소핵이 유사분열을 하여 두 개의 동일한 이배체 소핵을 만든다.

이 두 개의 소핵 중 하나는 여러 차례 DNA 복제를 반복하여 새로운 대핵이 되고, 다른 하나는 소핵으로 남게 된다. 이와 같은 유전 물질의 완전한 분리는 섬모충류에만 있는 독특한 현상이다.

살생균주

짚신벌레가 다른 민감한 짚신벌레를 죽이는 현상은 오랫동안 연구자들에게 수수께끼였다. 초기에 살생균주(ler strains)는 민 감한 균주들에게 독성을 나타내는 물질을 생성하는 유전자를 보유한 다고 생각했었는데, 후에 독성의 진정한 근원은 “살생” 균주의 내부공생 세균인 것으로 밝혀졌다. 만약 이 세균이 가 “비살생” 균주에 의해 삼켜지면, 독소가 방출되고 민감한 짚신벌레가 죽게된다.

갈조류는 거대 해조류를 포함한다

규조류와 난균류(“물 곰팡이”)와 함께 갈조류는 유색피하남류 내의 부등편모충류를 구성한다. 갈조류(brown algae)는 북구 해역에서 가장 많이 분포하는 해조류이다(그림 28.20). 갈조류의 생활주기는 포자체(이배체)와 배우자(반수체)의 세대교번이 이루어지는 것이 특징이다. (그림 28.21). 일부 포자 체세포는 감수분열로 포자를 만들며, 이 포자들은 발아하여 유사분열을 통해 켈프(kelps) 등 커다란 개체를 만든다. 배우체는 대개 작고 섬유상인 개체로 폭이 수 cm밖에 되지 않는다.



그림 W5.20 갈조류.

거대한 켈프인 *Macrocystis pyrifera*는 전 세계 해안을 따라 비교적 얕은 수심에서 자라며 많은 생물에게 먹이와 서식 환경을 제공한다.

수중 환경에 살지만 갈조류 종에게 수송은 큰 도전이 될 수 있다. 어떤 종은 세포층을 쌓아 운송하는 독특한 방법을 이용한다(그림 23.11). 켈프는 식물처럼 보이지만 식물에서 발견되는 목부(xylem)와 같은 복잡한 조직은 없다는 것을 인식해야 한다.

규조류는 이중껍질을 가진 단세포 생물이다

황갈조문(phylum Chrysophyta)에 속하는 규조류(diatoms)는 광합성 단세포생물로 유백색의 실리카로 이루어진 독특한 이중 껍질(double shells)을 가지고 있다(그림 28.22). 뚜껑이 있는 작은 상자처럼 껍질의 절반이 다른 쪽에 끼워져 있다. 규조류의 엽록체에는 엽록소 a, c 및 카로티노이드가 포함되는데, 이 점은 갈조류나 와편모조류(dinoflagellates)와 같다. 규조류는 크리소라미나린(chrysol-

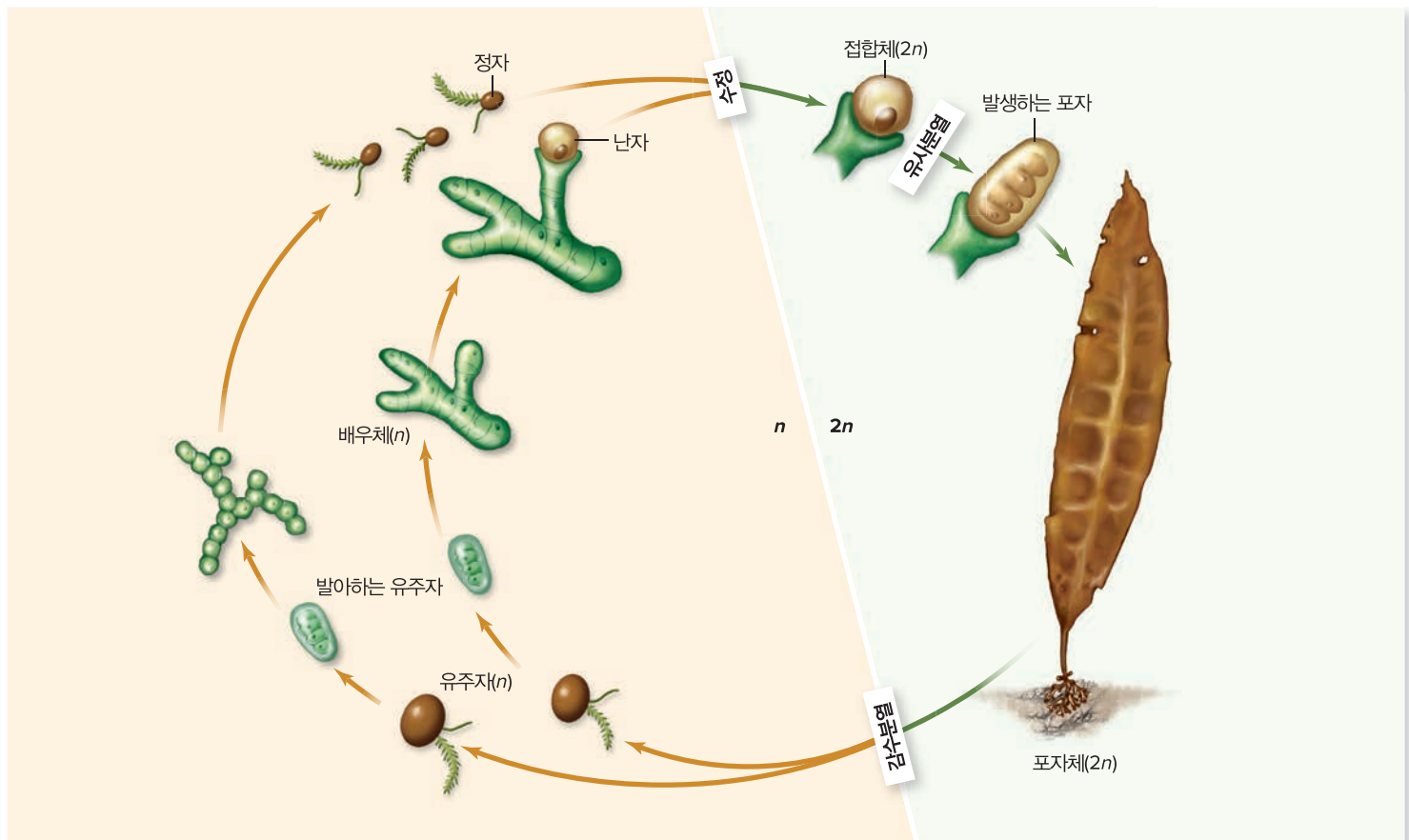


그림 W5.21 갈조류 인 다시마의 반수체 주기.
암수 배우체가 매우 작긴 하지만, 생활주기에서 다세포 반수체 및 이배체 단계가 발견된다.

minarin)이라는 특징적인 탄수화물을 생산한다.

일부 규조류는 등줄(또는 배선, raphes)이라는 두 개의 긴 홈을 이용하여 움직이는데, 등줄에는 진동 원섬유(fibrils)가 줄지어 있다(**그림 28.23**). 정확한 기작은 아직 밝혀지지 않았지만 등줄에서 점액 다

당류를 내뿜는 것이 규조류의 운동에 관여하는 것으로 보인다.

물곰팡이 난균류에는 병원성인 것이 있다

물곰팡이라는 이름에서 볼 수 있듯이 한 때, 균류로 여겨졌고, 이것이 그 이름 뿌리 단어 -mycetes가 포함된 이유이다. 그들은 운동

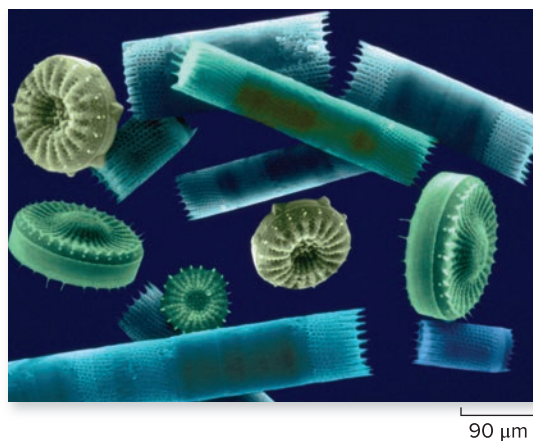


그림 W5.22 규조류.
방사상 대칭 규조류는 실리카로 이루어진 독특한 이중 껍질을 갖는다.

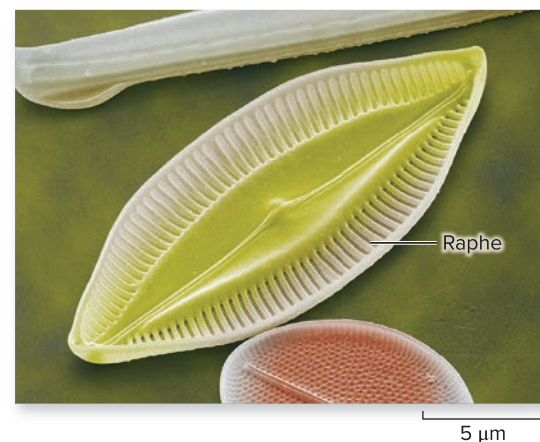


그림 W5.23 규조류 배선에는 이동에 도움이 되는 섬유질이 줄지어 있다.

성 포자인 유주자의 구조로 인해 다른 원생생물과 구별되며, 하나는 앞을 향하고 다른 하나는 뒤로 향하는 두 개의 다른 편모를 가지고 있다. 유주자 포자는 포자낭에서 무성적으로 생산된다. 유성생식은 배우자를 생산하는 암수 생식 기관의 형성을 포함한다. 대부분의 난균류는 물에서 발견되지만 일부는 육상에 살면서 식물의 병원체가 되는 경우도 있다.

1845년과 1847년에 아일랜드에서 감자 마름병을 일으킨 것도 난균류인 *Phytophthora infestans*이다. 이감자 마름병으로 인해 40만 명이 굶어 죽었으며, 2백만 명이 미국이나 다른 나라로 이주해 갔다.

다른 난균류인 *Saprolegnia*는 어류 부화장에서 심각한 손실을 가져오는 어류 병원체이다. 감염된 물고기들이 호수로 방출되면, 병원균이 양서류를 감염시키고, 경우에 따라 한 지역에서 수백만 개의 양서류 알을 한꺼번에 죽일 수도 있다. 이 병원체는 양서류 감소의 한 원인으로 여겨지고 있다.

핵심 요약 W5.4

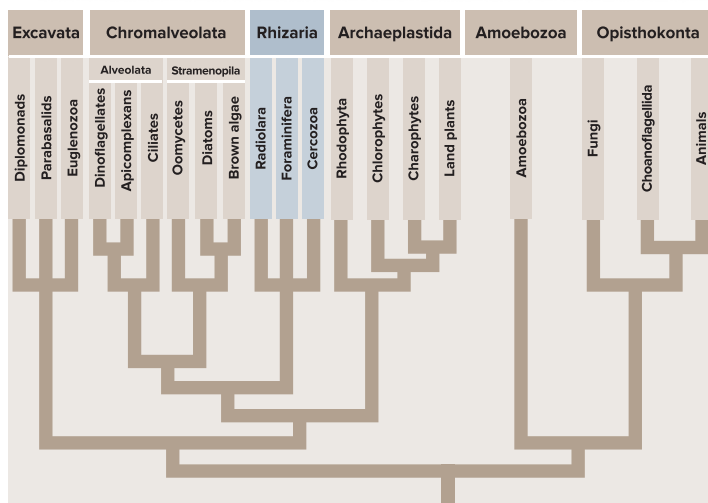
모든 피하낭충류는 피하낭이라고 불리는 납작한 소포를 함유하고 있다. 와편모충류는 서로 수직으로 배열된 편모쌍을 가지고 있어 회전 운동을 하며 헤엄치게 된다. 와편모충류의 폭발적 증식(블룸)은 적조를 초래한다. 정단복합체충류(apicomplexans)는 세포골격과 분비물 구조로 구성되어 숙주를 관통하는데 도움을 주는 동물성 기생충이다. 섬모충류는 먹이와 추진에 사용되는 섬모를 가진 단세포, 종속 영양 원생 생물이다. 대부분의 부등편모충류는 편모에 미세한 털을 가지고 있다. 갈조류는 해양 생물의 먹이와 서식지를 제공하는 거대 해조류이며, 세대 교체를 겪는다. 규조류는 세포벽에 실리카가 있는 단세포로, 두 개의 반쪽으로 된 껍질을 형성하는데, 일부는 스스로 추진할 수 있다. 난균류는 두 개의 서로 다른 편모를 가진 유주자 포자를 생산하는 것이 독특하다.

- 말라리아를 유발하는 원생 플라스모디움과 싸우기 위해 독소를 찾는데 있어 가장 큰 어려움은 무엇인가?
- 갈조류의 포자체와 재우자체를 어떻게 구별할 수 있는가?

W5.5 근족충류의 특성

학습 목표

1. 대부분의 유공충류(foraminifera)와 규조류의 껍질을 구별하시오.
2. 세포성과 변형체성 점균류를 구별하시오.



근족충류(Rhizarians)와 아메바류(Amoebozoans) (28.7절에 설명됨) 모두 이동을 위해 위족(pseudopods)을 사용한다. 위족은 유기체를 앞으로 당기기 위해 확장되는 유동성 세포질 돌기이다. 아메바 운동은 한때 원생생물을 그룹화하는 특성으로 사용되었지만 계통 발생학적 재구성에 분자 데이터를 포함시키면 운동만으로는 진화 분석에서 유용한 특성이 아니라는 것을 알게 되었고, 방산충류 내에서 세 가지 별개의 단일 계통 그룹이 확인되었다.

방산충류(Radiolaria)는 일반적인 해양 식물성 플랑크톤이고, 유공충류(Foraminifera)도 해양 식물성 플랑크톤이며 탄산 칼슘 껍질은 시간이 지남에 따라 백악질 퇴적물에 기여한다. 사족충류(Cercozoa)는 토양에서 발견된다.

방산충류에는 실리카 외골격이 있다

방산충류는 실리카로 만들어진 유리질 외골격을 분비한다. 이 골격은 단세포 생물에 뚜렷한 모양을 부여하여 좌우대칭이나 방사대칭의 일정 형태를 이룬다. 여러 종류가 외골격에서 바늘 모양으로 위족을 내어 아름다운 형태를 이루는데(그림 28.24), 이 세포질 돌기는 미세소관에 의해 지지된다.

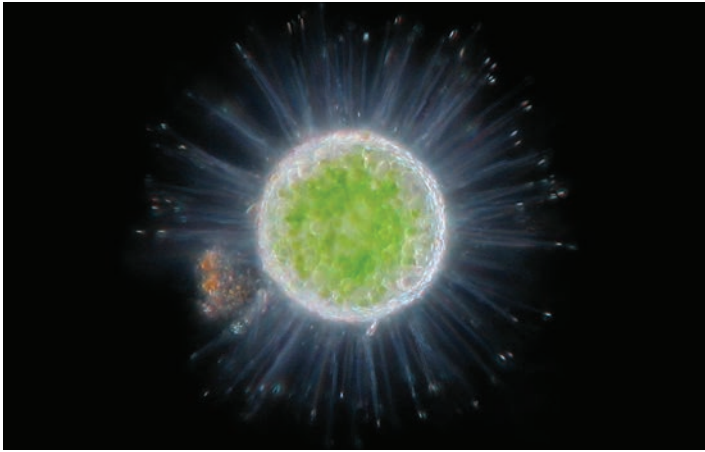


그림 W5.24 바늘 모양의 위족을 가진 *Actinosphaerium*.

유공충류(Foraminifera) 화석은 거대한 석회암 퇴적물을 생성했다

유공충류의 구성원은 해양성 종속영양 원생생물이다. 크기는 마이크로미터에서 수 센티미터까지 다양하다. 그들은 작은 달팽이와 비슷하며 해양 퇴적물에서 3 m 깊이의 층을 형성할 수 있다. 이 그룹의 특징은 일반적으로 탄산 칼슘, 모래, 또는 극피동물의 껍질조각 또는 해면의 골침(탄산 칼슘의 분침)의 알갱이로 강화된 유기 물질로 구성된 구멍이 있는 외각(겉껍질이라고 함)이다.

각 유공충류가 사용하는 재료에 따라 외각의 모습이 다양하게 나타나는데, 그들 중 일부는 적색, 연어색 또는 황갈색을 띤다.

대부분의 유공충류는 모래에 살거나 다른 유기체에 부착되어 살지만 두개의 과(families)는 자유롭게 떠 다니는 플랑크톤 유기체로 구성된다. 겉껍질은 하나의 방으로 되어 있는 것도 있지만, 대개는 여러 개의 방으로 되어 있고, 때로는 작은 달팽이와 유사한 나선형



그림 W5.26 도버의 백색 절벽.

이 절벽을 형성하는 석회암은 거의 대부분 유공충을 포함한 원생생물의 화석 껍질로 구성되어 있다.

모양을 하고 있다. 포디아(podia)라고 불리는 세포질로 구성된 가느다란 막대 모양의 돌출 구조가 겉껍질의 구멍을 통해 나온다(**그림 28.25**). 포디아는 유영, 겉껍질 재료 수집 및 섭식에 사용된다. 유공충류는 다양한 작은 유기체를 먹는다.

유공충류의 세대주기는 반수체와 이배체 세대가 번갈아 일어나며 매우 복잡하다. 그들의 겉껍질은 2억 년 이상 동안 쌓여 좋은 화석 기록으로 남아 있으며, 잘 보존되어 있고 서로 간의 차이점이 많아서 중요한 지질학적 표지로 이용된다. 여러 유공충류의 발생 양상을 보고 석유지층을 찾기도 한다. 영국 남부의 유명한 도버 백색 절벽(White Cliffs of Dover)을 포함한 전 세계 석회석에는 유공충 겉껍질이 풍부하게 들어 있다(**그림 28.26**).

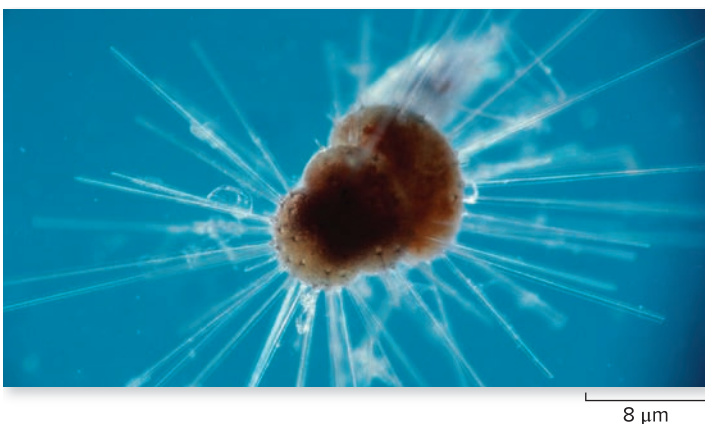


그림 W5.25 유공충류.

석회질의 겉껍질에 난 구멍을 통하여 가느다란 세포질 돌기의 다리가 뻗어 나온다.



그림 W5.27 사족충류 *Paulinella chromatophora*.

보다 최근의 내부공생체인 사족충류는 내부 공생의 진화에 대한 단서를 제공한다.

사족충류(Cercozoa)는 편모 또는 위족으로 이동한다.

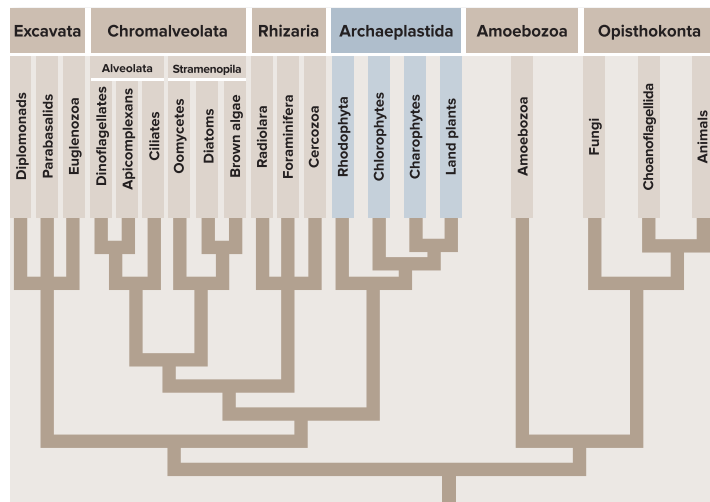
사족충류는 편모 또는 위족으로 이동한다. Cercozo

Cercozoa는 주로 형태 학적으로 다양한 토양 원생생물의 그룹이다. 일부는 운동을 위해 편모에 의존하지만 다른 일부는 아메바 운동을 위해 위족을 뻗는다. 일부는 비늘이나 판으로 구성된 실리카 기반 껍질을 가지고 있다. 사족충류인 폴리넬라 (Paulinella chromatophora)는 최근 6천만년전(60 MYA)까지 시아노박테리움을 섭취했을 수 있다(그림 28.27). 식물을 제외하고 이것이 1차적 내부공생으로 알려진 유일한 사례이다. 그래서, 이 종은 내부공생의 진화에 대한 단서를 찾기 위해 조사되고 있다.

핵심 요약 W5.5

근족충류(rhizaria)는 바늘과 같은 가는 위족의 도움을 받아 움직인다. 유공충류(foraminifera)의 많은 구성원들이 해양 서식지를 차지하고 있다. 이들 대부분은 탄산칼슘 껍데기를 가지고 있으며 석회석의 큰 화석 퇴적물을 담당하고 있는 반면, 사족충류(cercozoans)나 방산충류(radiolarians)들은 실리카 껍데기를 가지고 있다.

- 위족을 이용한 아메바 운동이 원생 생물 계통 발생을 재구성하는데 사용하기에 좋은 특성인지 어떻게 판단하시겠습니까?



계와 일치한다. 더 작은 조류 그룹인 회조류도 원시색소체생물로 분류된다. 회조류 색소체는 1차적 내부공생을 통해 획득되었으며 시아노박테리아 내부공생체를 생각하게 하는 펩티도글리칸 (당 및 아미노산 중합체) 층을 가지고 있다.

녹조류는 두 그룹(녹조식물_Chlorophyta 및 차축조류_Charophyta)을 가지고 있으며 차축조류는 육상 식물과 공통 조상을 공유한다. 육상 식물은 29장과 30장의 초점이며 다른 원시색소체생물은 여기서 논의된다.

자료 분석 To construct a phylogeny with brown, red, and green algae, look for the amount of sequence variation in several genes from the chloroplast genomes of species in each of the groups and nuclear genomes. Few nucleotide differences are to be found among the chloroplast genes. More nucleotide differences occur between the brown algal and either the red or the green algal nuclear genes than between the red and green nuclear genes. Draw a phylogeny and explain your reasoning.

W5.5 원시색소체생물의 특성

학습 목표

1. 홍조류의 주요 특징을 나열하시오.
2. 인간이 홍조류를 어떻게 사용하는지 서술하시오.
3. 윤조식물(charophyte)이 육상 식물의 가장 가까운 친척으로 간주되는 이유를 설명하시오.

원시색소체생물(Archaeplastids)은 2차 내부공생이 광합성 세포를 생성한 갈조류와 달리 1차 내부공생을 통해 엽록체를 획득했다(그림 28.3 및 28.4 참조). 28.1절에서 언급했듯이 모든 조류에서 엽록체 유전체의 공통 기원은 계통 발생 연구를 복잡하게 하는데, 특히 일부 엽록체 유전자가 핵 게놈으로 이동했기 때문이다. 갈조류, 홍조류 및 녹조류 DNA 서열의 광범위한 비교는 이들 그룹과 유색피낭류에 속하는 갈조류 사이보다 홍조류와 녹조류 사이의 진화적 관

홍조식물(Rhodophyta)은 홍조류(red algae)이다

공식적으로도 홍조식물(Rhodophyta)로 알려진 홍조류에는 크기가 미세한 유기체부터 2m 길이의 잎을 가진 *Schizymenia borealis*에 이르기까지 6000종 이상을 포함한다(그림 28.28). 산호초를 만드는 많은 조류가 이 그룹에 속한다. 스시 롤은 홍조류인 노리로 싸여 있다. 특정 종의 홍조류의 세포벽에서 분리된 아가로스는 일부 식품의 일반적인 농축제인 한천을 만드는 데 사용할 수 있다. 한천은 또한 미생물 배양을 위한 고체 성장 배지를 생산하는 데 사용된다.

이 계통에는 편모와 중심체가 없으며 보조 광합성 색소인 피코에



그림 W5.28 홍조류의 다양한 형태와 크기.

리트린(phycoerythrin), 피코사이아닌(phyocyanin) 및 알로피코사이아닌(allophyocyanin)이 있으며 주로 붉은색이다. 갈조류와 마찬가지로 홍조류는 세대주기에서 반수체 및 이배체 단계를 모두 가지고 있다.

녹조식물(chlorophytes)과 차축조류(charophytes)는 녹조류이다

녹조류에는 두 가지 뚜렷한 계통이 있다. 여기서 논의한 녹조식물과 육상식물을 생성한 또 다른 계통인 차축조류이다(그림 28.5 참조). 녹조식물은 특이한 다양성과 특별한 분화 계열 때문에 특히 흥미롭다. 녹조식물은 9억년 전의 광범위한 화석 기록을 가지고 있다. 현대의 녹조식물은 특히 엽록체의 생화학적 구성에서 육상 식물과 매우 유사하다. 그들은 엽록소 a와 b뿐만 아니라 카로티노이드를 가지고 있다.

단세포 녹조식물

초기 녹조류는 10억년전(1 BYA)에 육상식물에서 분리된 클라미도모나스 레인하티(*Chlamydomonas reinhardtii*)와 닮았을 것으로 여겨지고 있다(그림 28.29). 개체들은 미세하고 녹색이며 둥글고 앞

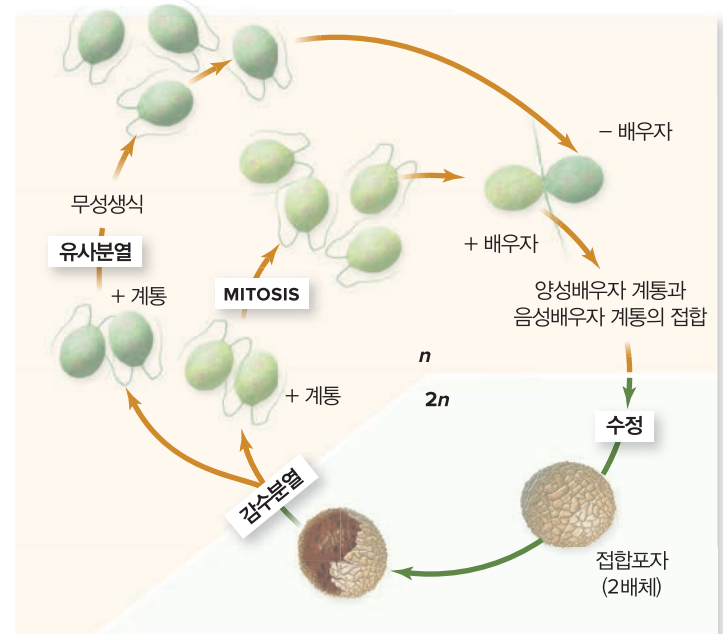


그림 W5.29 클라미도모나스 생활주기.

이 단세포 녹조식물은 무성생식과 유성생식을 모두 한다. 다세포 녹조식물과 달리 유사분열 후에 배우자 융합이 일어나지 않는다.

쪽 끝에 두 개의 편모가 있다. 그들은 토양에 살면서 반대 방향으로 편모를 쳐서 물속에서 빠르게 이동한다. 대부분의 클라미도모나스 개체는 반수체이고, 유성생식뿐만 아니라 무성생식을 하지만 항상 단세포이기 때문에 세대주기가 단복상(haplodiplontic)이 아니다(그림 28.29).

비운동성, 단세포성 녹조류의 진화를 포함하여 클라미도모나스(*Chlamydomonas*)와 같은 생물로 부터에서 진화적 분화의 몇 가지 계통이 유래되었다. 클라미도모나스는 자신이 사는 연못이 마르면 편모를 수축하고 움직이지 않는 단세포 유기체로 정착할 수 있다. 클로렐라(*Chlorella*)와 같이 토양과 나무 껍질에서 발견되는 일반적인 조류의 일부는 이러한 특성에서 클라미도모나스와 유사하지만 편모를 형성하는 능력은 없다.

클라미도모나스 레인하티(*Chlamydomonas reinhardtii*) 유전체는 서열화되었으며, 이 유기체는 비교 유전학 연구와 유전자 기능 분석을 위한 주역이 되었다. 실제로 재조합 단백질 발현과 항체, 면역 독소, 호르몬 및 산업용 효소의 생체 제조에 널리 이용되고 있다.

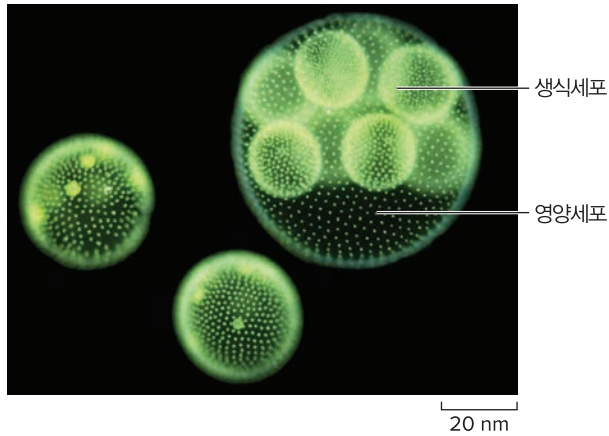


그림 W5.30 볼복스(Volvox).
이 녹조식물은 군체를 형성하며, 일부 세포는 생식을 위해 특화되어 있다.

군집형 녹조식물의 세포 특수화

다세포화는 진핵생물에서 여러 번에 걸쳐 일어났다. 군집형 녹조식물(Colonial chlorophytes)은 다세포화의 측면인 세포 특수화의 한 예이다.

이러한 유기체 중 가장 정교한 것은 볼복스(Volvox, **그림 28.30**)로, 한 세포에 두 개의 편모가 있는 500~60,000 개의 세포가 단일 층으로 구성되어 속이 빈 구형체를 형성한다. 소수의 세포만 생식을 하며, 일부 생식 세포는 무성적으로 분열하고 안쪽으로 튀어나와 처음에는 부모 군집 내에 남아있는 새로운 군집을 생성할 수 있다. 다른 생식 세포는 유성 생식을 위해 배우자를 생성한다.

단복상 생활사를 갖는 다세포 녹조식물

단복상 생활사는 일부 녹조식물과 난접합식물에서 발견되며, 난접합식물에는 차축조류와 육상 식물이 모두 포함된다. 다세포 녹조식물인 파래속(Ulva)은 두 세포 두께의 평평한 엽상구조인 동일한 배우체와 포자체 세대를 가진다(**그림 28.31**). 차축조류와 달리 어떤 녹조식물도 육상 식물로 진화하지 않았다.

? **탐구문제** 문의 질문 파래속(Ulva) 배우자는 감수 분열에 의해 형성되는가? 본인의 응답을 설명하시오.

차축조류 : 육상식물에 가장 가까운 근연

차축조류(Charophytes)는 녹조류이지만, 육상 식물과의 밀접한 계통 발생 관계가 있다는 점이 녹조식물과 구별된다. 현재 rRNA와 DNA 염기 서열의 분자적 증거는 육상생물과 가장 밀접한 관련이 있는 녹조류 단계통군으로 차축조류를 선호한다. 차축조류는 또한 단상 생활사를 가지고 있다.

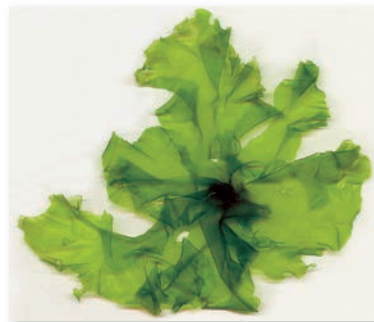
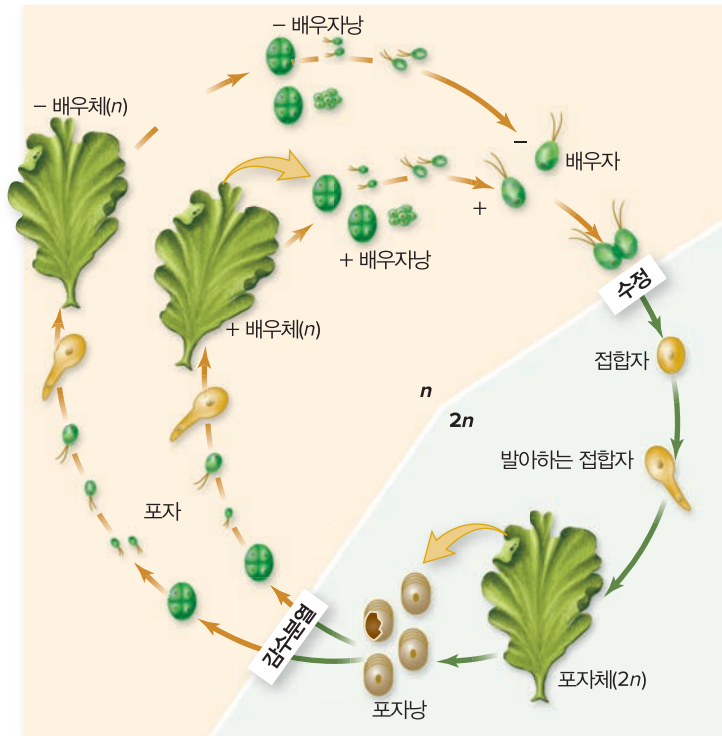


그림 W5.31 Ulva의 생활사.
이 녹조식물은 단복상 생활주기를 갖는다. 배우체와 포자체는 다세포이며 외관은 동일하다.

차축조류의 화석 기록이 부족하기 때문에 차축조류 단계통군 중에서 어느 것이 육상 식물과 가장 밀접한 관련이 있는지 확인하는 것은 오랫동안 생물학자들을 당혹스럽게 만들었다. 두 가지 후보 차축조류 단계통군은 윤조목(Charales)과 콜레오키트목(Coleochaetales)이다(**그림 28.32**). 두 계통 모두 주로 담수 조류이지만 윤조목은 미세한 콜레오키트목(Coleochaetales)에 비해 거대하다. 두 단계통군 모두 육상 식물과 유사하다. 콜레오키트목과 그 근연종은 육상 식물에서 발견되는 원형질연락사(plasmodesmata)라고 불리는 세포 사이에 세포질 연결을 가지고 있다. 윤조목의 차축조 종은 육상 식물 세포처럼 유사 분열과 세포질 분열을 거친다. 두 가지 모두에서 유성 생식은 크고 비운동성 난자와 편모를 지닌 정자에 의존한다. 이러한 배우자들은 많은 차축조류에서 발견되는 것보다 육상 식물의 배우자

와 더 유사하다. 두 차축조류 단계통군은 담수 연못과 습지 가장자리 주변에 녹색 매트를 형성한다. 한 종이 건조에 대한 적응을 통해 성공적으로 육지로 이동했을 것이다.

핵심 요약 W5.5

홍조류는 크기가 매우 다양하며 붉은 색을 띠는 보조 색소를 생성한다. 그들은 중심체와 편모가 없으며 세대를 번갈아 가며 번식한다. 인간은 홍조류를 음식으로 사용하고 한천이라는 농축제를 사용한다. 녹조식물은 육상 식물과 매우 유사한 엽록체를 가지고 있다. 이 그룹의 특성화에는 건조를 견딜 수 있는 비운동성 단세포종과 일부 세포 특성을 나타내는 군집 생물이 포함된다. 차축조류는 분자 증거, 형태 및 번식을 기반으로 육상 식물의 자매일 가능성이 가장 높은 녹조류이다.

- 왜 당신은 핵 DNA와 색소체 DNA의 계통발생학적 분석과 다른 결과를 기대하는가?
- 육상 생물의 유성적 번식을 위해서는 어떤 주요한 장벽을 극복해야 하는가?

W5.7 아메바류의 특성

학습 목표

1. 아메바가 어떻게 움직이는지 설명하시오.
2. 변형체의 특성을 서술하시오.

아메바는 위족을 이용해 이리저리 이동한다. 28.6절에서 언급했듯이, 위족은 아메바를 앞으로 확장하고 당기거나 음식 입자를 삼키는 유동성 세포질 돌기이다. 아메바는 위족을 돌출시키고 세포질이 그 안으로 흘러 들어간다(그림 28.33). 근육에서 발견되는 것과 유사한 액틴과 미오신의 미세 섬유는 이러한 움직임과 관련이 있다. 위족은 세포체의 어디에서나 형성될 수 있으므로 어떤 방향으로든 움직일 수 있다. 아메바류 수퍼 그룹의 아메바는 곰팡이 및 동물의 밀접한 관계를 포함하는 후편모생물(Opisthokonta)과 가장 밀접한 관련이 있다. 이 두 수퍼 그룹의 구성원은 다른 수퍼 그룹의 두 개 이상과 달리 단일 편모를 갖는다. 아메바류와 후편모생물을 통칭하여 단편모생물(Unikonts)이라고 하며 “uni”는 단일 편모를 나타낸다. 그러나 이들은 별개의 수퍼 그룹이다.

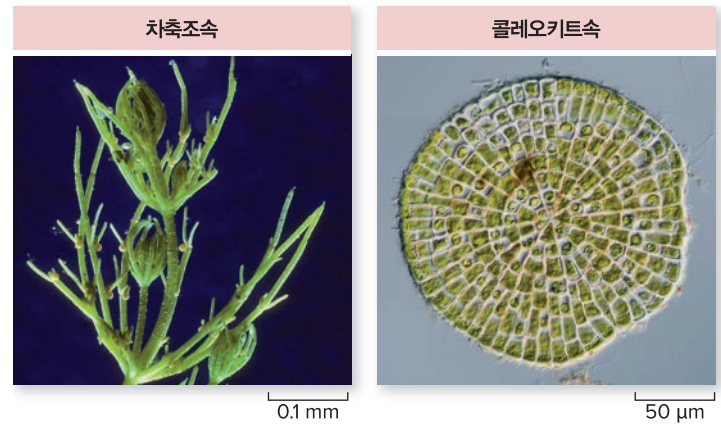
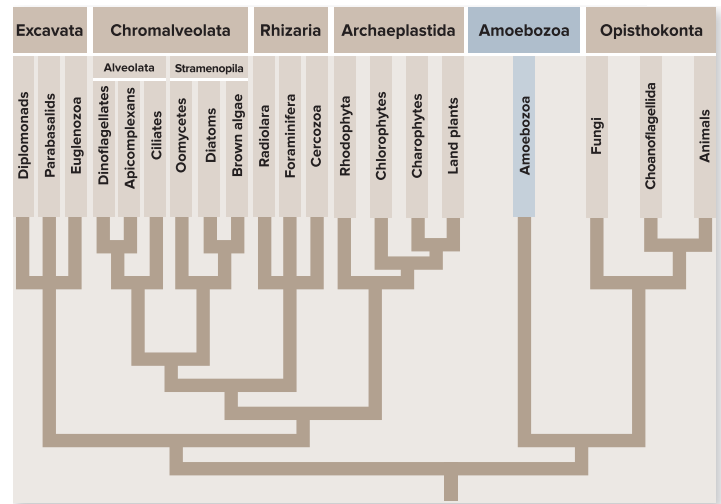


그림 W5.32 차축조목의 하나인 차축조(*Chara*) 속과 콜레오키트목의 하나인 콜레오키트(*Choleochaete*)속은 육상식물과 가장 가까운 두 단일계통군을 대표한다.



대부분의 아메바는 자유 생활을 하지만, 일부는 기생한다

토양뿐만 아니라 담수에서도 발견되는 이 아메바류의 대부분은 자유 생활을 하며 토양 생태계에 중요하다. 인간 병원균으로 작용하는 경우는 드물게 보고되었다. 면역이 억제된 개체의 경우, 아칸쓰아메바(*Acanthamoeba*)는 상처를 통해 몸에 들어가 혈액-뇌 장벽을 넘

그림 W5.33 *Amoeba proteus*.

물출부는 위족이며, 아메바는 위족을 돌출시키고 세포질이 그 안으로 흘러 들어가게 하여 이동한다.

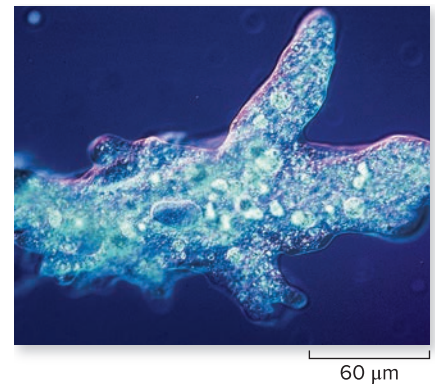




그림 W5.34 변형체성 원생동물.

이 프렐렐 모양의 다핵 변형체성 점균류인 *Hemitrichia serpula*는 세균이나 다른 유기 입자를 찾기 위해 움직인다.

어 뇌로 들어갈 수 있고, 뇌에 들어가면 염증과 죽음으로 이어진다.

변형체 점균류(plasmodial slime mold)는 다핵이다

변형 점균류(plasmodial slime mold)는 세포벽이 없는 움직이는 점액 덩어리와 유사한 다핵성 세포질체인 변형체(plasmodium)를 따라 움직인다(그림 28.34). 이런 형태를 섭식기(feeding phase)라고 하며 변형체는 주황색, 노란색 또는 다른 색일 수 있다.

변형체 내의 세포질은 앞뒤로 흐르는데, 이 모습은 현미경을 통해 뚜렷하게 관찰이 된다. 그들은 천의 그물막을 통과할 수 있고 다른 장애물을 돌아가거나 통과하여 흐를 수 있다. 변형체는 움직이면서 세균, 효모 및 다른 유기물의 작은 입자를 삼켜 소화한다.

다핵 변형체 세포는 유사분열의 늦은 후기나 말기에 핵막이 소실되면서 동시에 유사분열을 하며, 중심립이 없다.

먹이나 수분이 부족하면 변형체는 비교적 빠르게 새로운 지역으로 이동한 다음, 이동을 멈추고 포자가 분화하는 덩어리를 형성하거나 많은 수의 작은 둔덕으로 나뉘며, 각각은 포자를 형성하는 구조인 하



그림 W5.35 변형체성 점균류의 포자낭.

이 *Arcyria* 포자낭은 Myxomycota 문에 속한다.

나의 성숙한 포자낭(sporangium)을 생성한다. 이 포자낭은 종종 아름답고 형태가 매우 복잡하다(그림 28.35). 포자는 열악한 환경 영향에 대한 내성이 강하고 건조하게 유지하면 수년 동안 지속될 수 있다.

세포성 점균류는 세포 분화를 나타낸다

세포성 점균류는 발생 양상이 비교적 단순하기 때문에 세포분화 연구의 주요 대상이 되어 왔다(그림 28.36). 각 개체는 하나의 아메바처럼 행동하며, 토양속에서 이동하면서 세균을 잡아먹는다. 먹이가 부족 해지면 개체들이 모여 움직이는 “민달팽이(슬러그, slug)”와 같은 덩어리를 형성한다. 일부 세포는 규칙적으로 cAMP(cyclic adenosine monophosphate)를 생성하고 다른 세포는 cAMP가 있는 방향으로 이동하여 슬러그를 형성한다. 세포성 점균류 Dictyostelium discoideum에서 이 슬러그는 형태 형성을 거쳐 자루와 포자 세포를 만들고, 포자는 습한 서식지에 떨어지면 새로운 아메바를 형성한다.

핵심 요약 W5.7

점균류는 적어도 세 가지 계통이 존재한다. 세포성 점균류는 다세포형이며, 변형체성 점균류는 큰 다핵 단일세포로 이루어져 있다.

- 세포성 점균류는 변형체성 점균류와 밀접한 관련이 있다고 생각하는가?

W5.8 후편모생물의 특성

학습 목표

1. 깃편모충류의 진화적 중요성에 대해 설명하시오.

곰팡이와 동물은 공통 조상을 공유하기 때문에 식물보다 서로 더 밀접하게 관련되어 있기 때문에 후편모생물(Opisthokonts)로 묶이게 된다. 후편모생물에서 특히 관심을 끄는 깃편모충류(Choanoflagellates)는 해면과 다른 모든 동물의 공동조상과 가장 유사한 단세포 유기체이다. 깃편모충류(Choanoflagellates)는 한 개의 편모를 가지며, 이 편모는 깔때기 모양의 수축성 깃(collar)으로 둘러싸여 있고, 깃은 펠라멘트들이 인접해 이어져 생성되는데, 이런 구조는 해면의

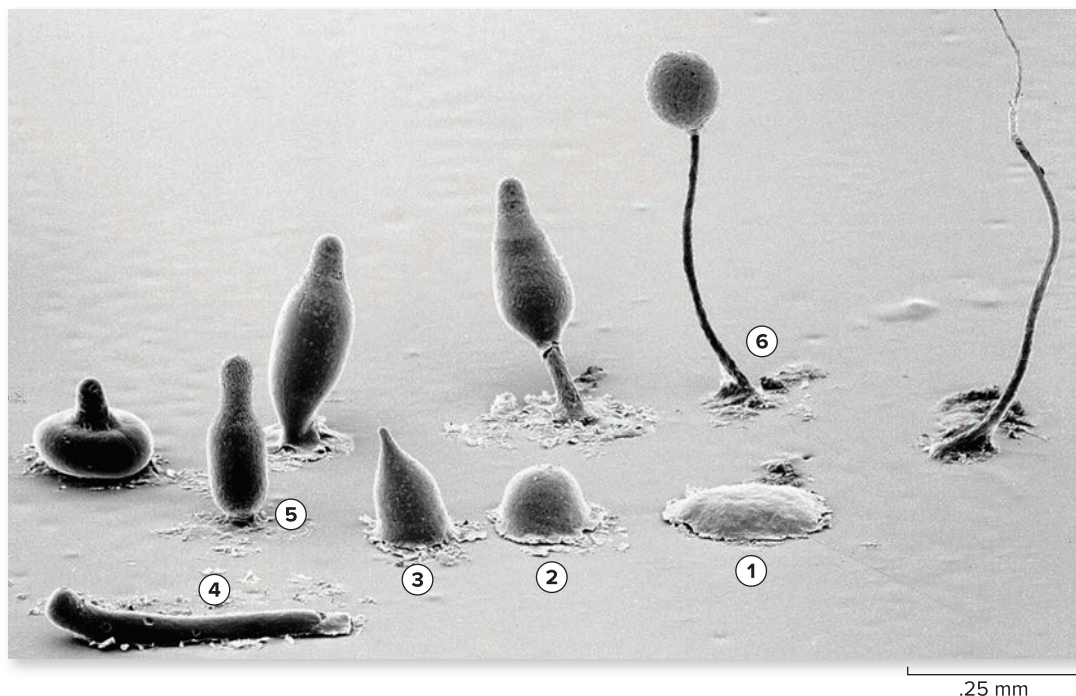


그림 W5.36 세포성 점균류인 *Dictyostelium discoideum*의 발생.

1. 포자가 발아하여 아메바를 형성한다. 먹이가 모두 소진될 때까지 아메바는 섭식과 생식을 한다. 이 시점에서 아메바는 응집하여 고정된 중심을 향해 움직인다. 2. 응집된 아메바들은 언덕을 형성하기 시작한다. 3. 언덕이 뾰족하게 되어 옆으로 넘어진다. 4. 응집된 아메바들이 2—3 mm 길이의 다핵성 “슬러그”를 형성하여 빛을 향해 이동한다. 5. 슬러그는 움직임을 멈추고 정충돌기(culmination process)가 형성되고 세포는 돌기와 포자로 분화된다. 6. 성숙한 자실체에서 아메바는 주머니 안의 포자가 된다.

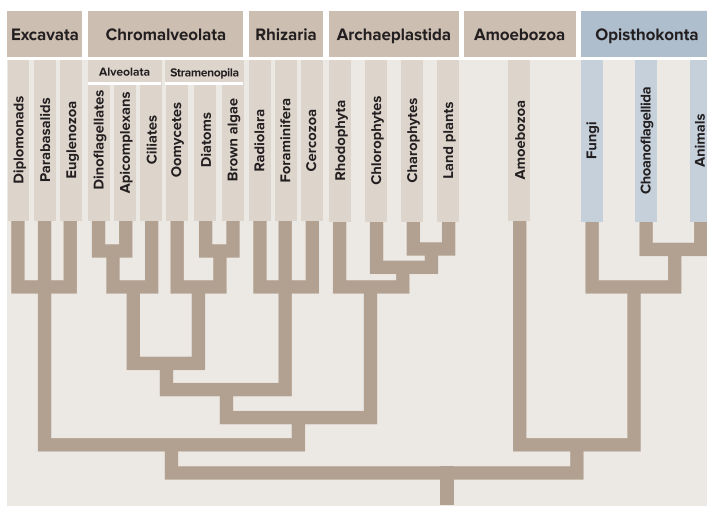


그림 W5.37 군체 형태의 깃편모충류는 가까운 동물 계통인 해면과 비슷하다.

구조와 정확히 일치한다. 이들은 깃을 이용해 세균을 포식하고 살며, 군체 형태는 담수해면을 닮아 있다(그림 28.37).

깃편모충류와 해면에서 발견되는 표면 수용체(티로신 인산화효소 수용체, tyrosine kinase receptor) 사이의 높은 상동관계는 깃편모충류와 동물의 가까운 유연관계를 강하게 시사해 준다. 이 표면 수용체는 인산화를 포함하는 신호 전달경로를 담당한다(9장 참조).

핵심 요약 W5.8

깃편모충류(Choanoflagellates)는 동물과 가장 가까운 계통으로 여겨진다. 군체 형태는 담수 해면과 유사하며, 두 유기체는 상동 세포 표면 수용체를 가지고 있다.

■ 깃편모충류와 해면을 연결하는 다른 유형의 연구는 무엇인가?



핵심 개념 요약

W5.1 진핵 생물 기원과 내부공생

■ 화석 증거는 진핵생물의 기원을 보여준다

진핵생물이 더 일찍 발생했는지 모르지만, 그들의 출현에 대한 화석 증거는 15 억년 전(1.5 BYA)으로 거슬러 올라간다.

■ 핵과 소포체는 막 접힘에서 발생했다(그림 28.2)

■ 미토콘드리아는 섭식된 호기성 박테리아에서 진화했다

내부 공생설에 따르면 조상 진핵세포는 호기성 박테리아를 삼켜 미토콘드리아가 되었다(그림 28.3).

■ 엽록체는 섭식된 광합성 박테리아에서 진화했다

엽록체는 조상 진핵세포가 광합성 박테리아를 삼킬 때 발생했다고 여겨진다(그림 28.4). 갈조류는 적조가 단세포 유기체에 의해 삼켜질 때 2차적인 내부 공생 사건을 통해 발생했다.

■ 내부공생은 다양한 증거에 의해 뒷받침된다

내부공생을 지원하기 위해 여러 세포 기관이 원핵생물의 DNA와 매우 유사한 자체 DNA를 포함하는 것으로 밝혀졌다. 10억 년 반 동안 많은 엽록체와 미토콘드리아 유전자가 핵 유전체로 이동했다.

■ 유사 분열은 진핵생물에서 진화했다

유사 분열 메커니즘은 유기체마다 다르며, 이는 그 과정이 한 번에 모두 진화하지 않았음을 말해준다.

W5.2 원생생물 개요

■ 진핵 생물은 모두 원생 생물을 포함하는 6개의 주요 그룹으로 구성된다

분자 계통학은 원생 생물을 분류하는 데 도움을 주며, 현재 6개의 슈퍼 그룹으로 분류된다: 엑스카바타, 유색피하낭류, 근족충류, 원시색소체생물, 아메바류 및 후편모생물(그림 28.5). 유색피하낭류를 제외하고 슈퍼 그룹은 단일 계통이다.

원생생물들 사이에서 단일 계통 군이 확인되었다.

■ 원생생물의 세포 표면은 매우 다양하다

세포 외 물질(ECM)은 원형질막을 덮을 수 있다.

■ 원생생물은 여러 가지 이동 수단을 가지고 있다

원생생물은 주로 다른 추진 수단이 있지만 편모나 위족을 이동에 사용한다.

■ 원생생물은 다양한 영양 기전을 가지고 있다

원생생물에는 광영양 생물, 종속 영양 생물(포식 영양 생물 또는 삼투 영양 생물) 및 두 가지 모드를 모두 수행 할 수있는 혼합 영양 생물이 포함됩니다.

■ 원생생물은 무성생식과 유성생식으로 번식한다

원생생물은 유사 분열, 출아 또는 분열에 의해 무성 생식을 할 수 있다. 그들은 또한 유성 생식을 수행 할 수 있다.

■ 원생생물은 다세포성의 교량 역할을 한다

군체성 원생생물은 다세포 생물의 선구자 일 수 있다.

W5.3 엑스카바타의 특성

■ 디플로모나드는 기능성 미토콘드리아가 결여되어 있다

디플로모나드는 단세포이며 편모와 함께 움직이고 2개의 핵을 가지고 있다.

■ 파라바살리드류에는 물결 모양의 막이 있다

파라바살리드류는 운동을 위해 편모와 물결 모양의 막을 사용한다.

■ Euglenozoans는 수영하는 동안 모양이 바뀐다

유글레나 (Euglena)에 의해 예시된 자유 생활 유글레나는 빛 속에서 광합성을 수행하는 엽록체를 생성할 수 있다.

그들은 펠리클을 포함하고 전방 편모를 통해 이동한다. 운동핵편모충류는 기생하며 두 가지 유형의 원형 DNA를 가진 단일의 독특한 미토콘드리아를 가지고 있다는 점에서 독특하다.

W5.4 유색피하낭류의 특성

■ 와편모충류는 독특한 특징을 가진 광합성 물질이다

와편모충류에는 편모 쌍이 배열되어 있어 회전하는 동작으로 수영한다. 와편모충류의 폭발적 증식은 적조를 유발한다(그림 28.13).

■ 정단복합체충류에는 말라리아 기생충이 포함된다

정단복합체충류는 포자를 형성하는 동물 기생충입니다(그림 28.15). 그들은 숙주를 침범하는 데 사용되는 정점 복합체라고 불리는 세포의 한쪽 끝에 독특한 한 세포 기관 배열을 가지고 있습니다.

■ 섬모충류는 이동 방식에 의해 특징지어 진다

섬모충류는 먹이와 추진을 위해 수많은 섬모를 사용하는 단세포 종속 영양 원생생물이다.

각 세포에는 대핵과 소핵이 있다. 접합 중에 소핵이 교환된다. (그림 28.19).

■ 갈조류는 거대 해조류를 포함한다

갈조류는 일반적으로 반수체 생활주기를 가진 거대 해조류로 배우자 및 포자체 단계를 생성한다(그림 28.21).

■ 규조류는 이중 껍질을 가진 단세포 생물이다

규조류는 세포벽에 실리카를 가지고 있다. 각 규조류는 뚜껑이 있는 상자와 뚜껑처럼 잘 맞는 두 개의 겹쳐진 유리 껍질을 만든다.

■ “물곰팡이”인 난균류에는 병원성인 것이 있다

난균류는 기생하며 두 개의 다른 편모를 가진 무성 포자(유주자)를 생산하는 것이 독특하다.

W5.5 근족충류의 특성

■ 방산충류에는 실리카 외골격이 있다

실리카로 만든 유리질 외골격은 방산충류에 뚜렷한 모양을 부여한다. 미세소관은 뾰족한 외골격의 끝쪽으로 돌출되는 위족을 지지한다.

■ 유공충류 화석은 거대한 석회암 퇴적물을 생성했다

유공충류는 주로 탄산 칼슘 침전물에 의해 형성된 기공이 박힌 껍질을 가진 해

양성 종속영양 원생생물이다.

■ 사족충류는 편모 또는 위족으로 이동한다

해양 방산충류와 마찬가지로 유공충류는 실리카 외골격을 가지고 있지만 대부분은 토양에서 발견된다. 사족충류는 녹조류를 섭취하고 내부공생의 진화에 대한 단서를 제공할 수 있다.

W5.6 원시색소체생물의 특성

■ 홍조식물은 홍조류이다

홍조류는 붉은 색을 띠는 보조 색소를 생성합니다. 그들은 중심체와 편모가 없으며 세대를 번갈아 가며 번식한다.

■ 녹조식물과 차축조식물은 녹조류이다

단세포 녹조식물에는 편모가 두 개 있는 클라미도모나스와 편모가 없고 무성 번식하는 클로렐라가 있다.

불복스는 군집형 녹조식물의 예이다. 일부 세포는 배우자 생산 또는 무성 생식에 특화되어 있다. 그것은 다세포화로 가는 단계를 나타낼 수 있다. 다세포 녹조식물은 반수체 수명주기를 가질 수 있다.

파래속(Ulva)에는 포자체와 배우체 세대가 있다. 그러나 녹조식물은 육상 식물과 가장 가까운 계통임에도 불구하고 육상 식물을 발생시키지 않는다.

차축조류, 윤조목 및 콜레오키트목 내의 두 그룹은 세포 사이의 세포질 연결인 원형질연락사를 가지고 있으며, 육상 식물과 같은 유사 분열과 세포질 분열을 한다. 차축조류는 모든 조류의 육상 식물과 가장 밀접한 관련이 있다.

W5.7 아메바류의 특성

■ 대부분의 아메바는 자유 생활을 하지만 일부는 기생한다

많은 원생생물은 자유 생활을 하며 토양과 담수 생태계에서 발견되지만 일부 종은 인간에게 병원성을 나타낸다.

■ 변형체 점균류는 다핵이다

섭식 단계의 변형체는 육안으로 볼 수 있는 점액 덩어리이다(그림 28.34). 이 다채로운 거대 세포는 세포 분열없이 유사 분열을 반복한다.

■ 세포성 점균류는 세포 분화를 나타낸다

세포성 점균류 Dictyostelium discoideum은 주변 세포에 신호를 보내고 상호 작용하여 응집체에서 분화된 세포를 생성한다.

W5.8 후편모생물의 특성

군체성 깃편모충류는 구조적으로 담수 해면과 유사하며 분자 유사성이 발견되었다.

연습문제

■ 1단계: 이해력 확인하기

- 진핵생물의 화석 증거의 연대는 언제인가?
 - 25억년전
 - 250만년전
 - 15억년전
 - 150만년전
- DNA가 없는 세포소기관은 어떤 것인가?
 - 소포체
 - 핵
 - 엽록체
 - 미토콘드리아
- 출아에 의해 형성되는 것은?
 - 같은 크기의 두 세포
 - 서로 다른 크기의 두 세포
 - 같은 크기의 많은 세포
 - 크기가 다양한 많은 세포

- 디플로 모나드류와 파라바살리드류 모두
 - 엽록체를 가지고 있다.
 - 다핵세포이다.
 - 미토콘드리아가 없다.
 - 세포벽에 실리카를 지니고 있다.
- 트라이파노솜은 의 예는?
 - 유글레나류
 - 파라바살리드류
 - 디플로모나드류
 - 운동핵편모충류
- 정복합체포자충류에서 정단 복합체의 기능은?
 - 물을 이용해 세포를 돌림
 - 숙주조직관통
 - 먹이흡수
 - 빛의 감지

