

# 26

## 바이러스

### 핵심 개념

- 26.1 바이러스는 핵산이 단백질 껍질에 둘러싸인 구조를 이룬다
- 26.2 바이러스는 숙주세포에서만 증식한다
- 26.3 바이러스, 바이로이드, 프리온은 동식물에서 심한 질병을 일으킨다

▲ 그림 26.1 이 세포에서 방출되는 바이러스 입자(붉은색)들은 살아 있는 것일까?

### 생명을 빌려 쓰다

**그림 26.1**은 놀라운 장면을 보여준다. 왼쪽에 있는 사람의 면역세포는 바이러스의 공격을 받아 더 많은 바이러스 입자를 만들어 방출하고 있다. 이들 바이러스 입자는 계속해서 다른 세포를 감염시킬 것이다. 면역세포를 공격한 것은 인간면역결핍 바이러스(human immunodeficiency virus, HIV)이다. (같은 장면이 왼쪽 아래의 현미경 사진에 나타나 있다.) 바이러스 유전정보가 세포 안에 주입되면 단 하나의 바이러스가 세포를 장악하면서 세포의 기구를 활용하여 새로운 바이러스를 대량으로 증식시킨다. 치료하지 않으면 HIV는 주요 면역세포를 파괴시켜 후천적면역결핍증후군(acquired immunodeficiency syndrom, AIDS)을 일으킨다.

진핵세포, 심지어는 원핵세포에 비해서도 바이러스는 훨씬 더 작고 단순하다. 바이러스(virus)는 세포의 구조나 대사 기구를 구성하지 못한 채 유전체가 단백질 껍질로 둘러싸여 있는 형태의 감염체이다.

바이러스는 살아 있는 생물일까? 아니면 무생물일까? 바이러스가 여러 종류의 질병을 일으킨다는 사실에 근거하여 1800년대 후기에 과학자들은 이들을 세균과 연관지어 생각하기 시작했고 이들을 가장 단순한 생물체의 형태라고 제안하기도 했다. 그러나 바이러스는 숙주세포를 떠나서는 스스로 증식할 수도, 대사 활동을 수행할 수도 없





다. 오늘날 바이러스를 연구하는 대부분의 생물학자들은 이들 바이러스가 살아 있는 것은 아니지만 생명체와 화학물질을 가르는 불분명한 경계면에 존재하는 것이라 생각한다. 최근 두 명의 과학자가 바이러스를 묘사한 단순한 표현이 이들의 특성을 잘 나타내 주고 있다. 바이러스는 “생명을 빌려서” 살아간다.

분자생물학은 세균 바이러스를 연구한 생물학자들의 실험실에서 탄생했다고 해도 지나친 말이 아니다. 바이러스를 이용한 실험을 통해 유전자가 핵산으로 이루어졌다는 중요한 증거를 얻었고, 이들 실험은 또한 DNA 복제, 전사, 번역의 기본적인 과정을 분자 수준에서 이해하는 데 핵심적인 역할을 했다.

실험 도구로서의 가치 외에 바이러스는 그 자체로도 흥미로운 독특한 유전적인 메커니즘을 지니고 있어 중요하다. 또한 바이러스 연구를 통해서 이들이 어떻게 질병을 일으키는지를 알 수 있다. 더불어 바이러스에 대한 연구로 인해 과학자들이 유전자를 조작하고 한 개체에서 다른 개체로 전달할 수 있는 기법을 개발할 수 있었다. 이와 같은 기법은 기초 연구나 생명공학 분야는 물론 의학적인 적용에 있어서도 중요한 역할을 한다. 예를 들어, 바이러스는 유전자 치료에서 유전자 전달의 매개체로 활용되기도 한다(개념 19.4).

이 장에서는 바이러스의 생물학에 대해 살펴볼 것이다. 구조에서 시작하여 어떻게 증식하는지 알아본 다음 질병을 일으키는 매개체, 즉 병원체로서의 바이러스를 살펴보고, 이보다 더 단순한 감염체인 바이로이드와 프리온에 대해 이야기하고자 한다.

## 개념 26.1

### 바이러스는 핵산이 단백질 껍질에 둘러싸인 구조를 이룬다

과학자들은 바이러스를 직접 보기 전부터 간접적으로 바이러스의 존재를 알 수 있었다. 바이러스의 발견은 19세기 말로 거슬러 올라간다.

#### 바이러스의 발견: 과학적 탐구

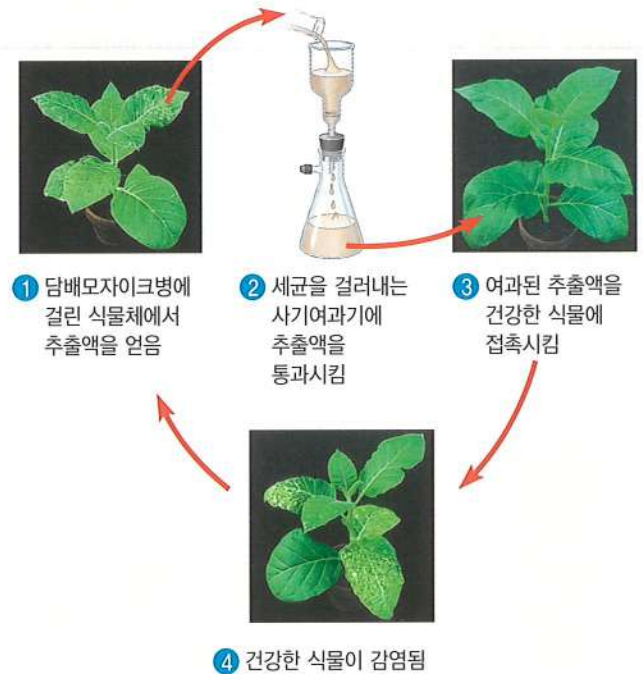
담배모자이크병은 식물의 성장을 저해하고 잎을 얼룩덜룩하게 변색시킨다. 1883년 독일의 과학자 마이어(Adolf Mayer)는 병든 식물의 잎에서 수액을 추출하여 건강한 식물에 문지르면 질병을 옮길 수 있다는 사실을 발견했다. 마이어는 수액에서 감염성 미생물을 찾아내려는 시도를 하다 실패한 후, 이 질병은 현미경으로 관찰할 수 없을 정도의 매우 작은 세균이 일으키는 것이라는 제안을 했다. 후에 러시아 생물학자 이바노프스키(Dimitri Ivanowsky)가 이 가설을 검증하고자 감염된 담배잎의 수액을 세균을 걸러낼 수 있는 여과지에 통과시켜 보았다. 그러나 여과 후에도 수액에는 여전히 모자이크병을 일으키는 인자가 남아 있었다.

그러나 이바노프스키는 세균이 담배모자이크병을 일으킨다는

## ▼ 그림 26.2 탐구

### 담배모자이크병의 원인은 무엇인가?

**실험** 1800년대 후반 네덜란드 델프트의 기술학교에서 베이에링크는 담배모자이크병을 일으키는 감염체의 특성을 조사했다[당시에는 이를 반점병(spot disease)이라 불렀다].



**결과** 여과된 추출액을 건강한 식물체에 문질렀을 때 건강한 식물이 감염되었다. 병든 식물에서 추출하여 여과한 여과액은 또 다시 다른 식물체를 감염시킬 수 있었다. 이 과정을 여러 차례 반복하여도 같은 결과를 얻었다.

**결론** 감염체가 세균을 걸러내는 여과기를 통과한 것으로 보아 세균은 아닌 것으로 보인다. 감염체가 식물체 사이를 여러 차례에 걸쳐 옮겨가도 여전히 병을 일으키는 것에서 감염체는 식물체 내에서 증식할 수 있어야 한다.

**참고문헌** M. J. Beijerinck, Concerning a *contagium vivum fluidum* as cause of the spot disease of tobacco leaves, *Verhandelingen der Koninklijke akademie Wetenschappen te Amsterdam* 65:3–21 (1898). Translation published in English as *Phytopathological Classics* Number 7 (1942), American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN.

**WHAT IF?** 베이에링크의 연구에서 병든 식물체의 추출액을 건강한 식물체에 옮길 때마다 감염증상이 약해져서 최종적으로는 더 이상 질병을 일으키지 못하는 결과를 얻었다면 어떤 결론을 내릴 수 있었을까?

가설에 집착하고 있었다. 그는 세균이 너무 작아서 여과지를 통과하거나, 여과지를 통과할 수 있는 독소를 생성할 것이라 추론하였다. 네덜란드의 식물학자 베이에링크(Martinus Beijerinck)가 여과된 추출액에 있는 감염체가 여전히 증식할 수 있다는 사실을 보여주는, 이제는 고전이 된 실험을 수행함으로써 두 번째 가능성은 배제되었다(그림 26.2).



사실 그 병원체는 감염시킨 숙주 안에서만 증식하였다. 베이에링크는 당시의 실험실에서 사용하였던 세균과는 달리 그 신비로운 모자이크병의 감염체를 시험관이나 페트리 접시의 영양배지에서 배양할 수 없었다. 베이에링크는 증식하는 입자가 세균보다 훨씬 더 작고 단순할 것이라 생각했다. 따라서 베이에링크는 최초로 바이러스라는 개념을 소개한 과학자로 인정받고 있다. 베이에링크의 이 같은 제안은 1935년 미국의 과학자 스탠리(Wendell Stanley)가 지금은 담배모자이크바이러스(tobacco mosaic virus, TMV)라 알려진 감염입자의 결정을 얻으면서 확인할 수 있었다. 이어서 전자현미경의 도움으로 TMV를 비롯한 다른 많은 바이러스를 확인할 수 있었다.

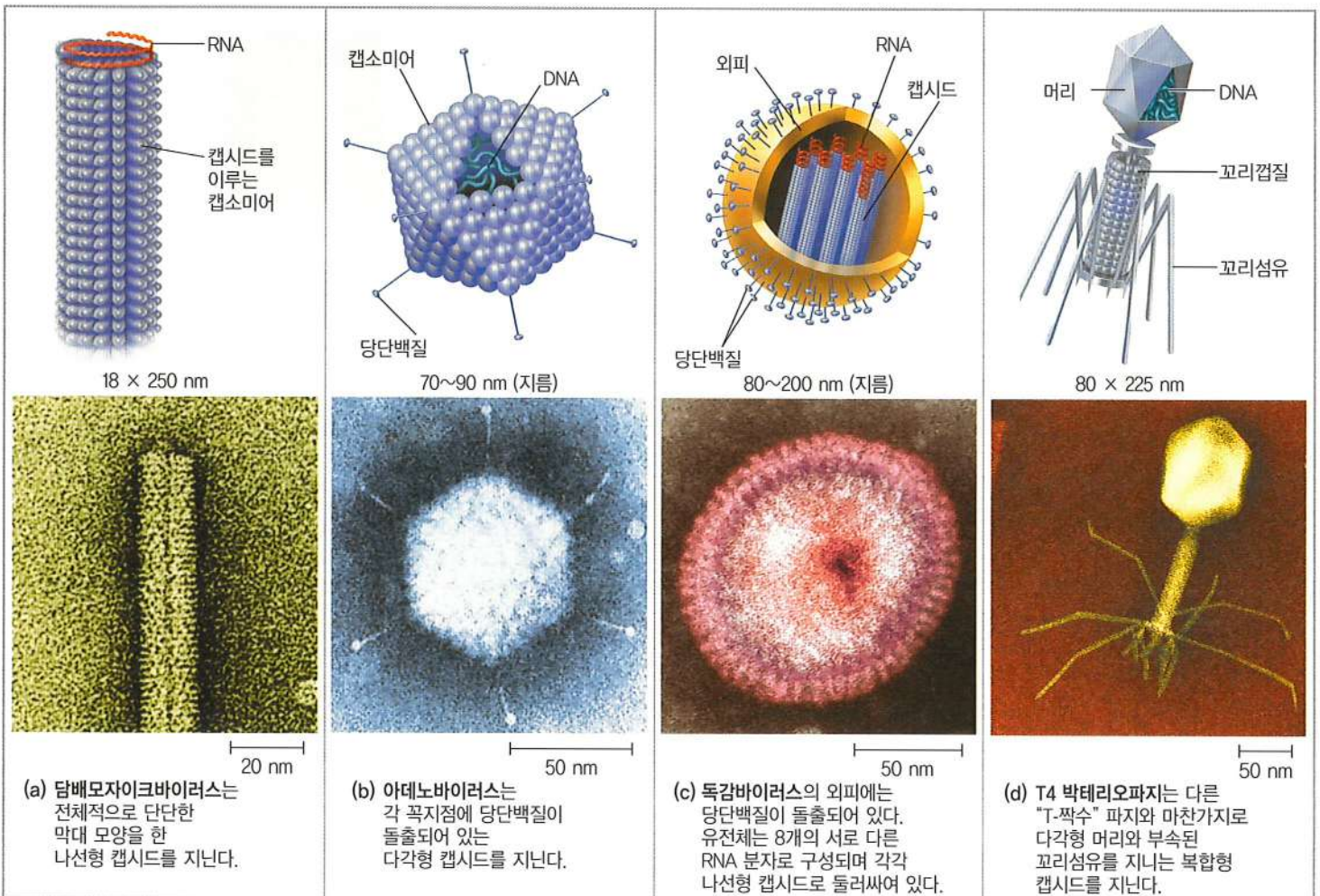
## 바이러스의 구조

가장 작은 바이러스는 지름이 20 nm밖에 되지 않는다. 이는 리보솜보다 작은 크기다. 수백만 개의 바이러스를 가는 편의 머리

위에 올려놓을 수도 있을 정도이다. 가장 큰 것으로 알려진 바이러스도 지름이 수백 나노미터에 지나지 않아 광학현미경으로 겨우 확인할 수 있다. 스탠리가 일부 바이러스를 결정화할 수 있었던 것은 흥미롭기도 했지만 동시에 혼란스러운 결과였다. 가장 단순한 형태의 세포조차 규칙적인 결정의 형태를 형성할 수 없기 때문이었다. 바이러스가 세포가 아니라면 무엇이란 말인가? 바이러스의 구조를 더욱 상세하게 연구한 결과 바이러스는 핵산이 단백질 껍질로 둘러싸여 있는 구조라는 사실이 밝혀졌다. 때로는 막구조가 단백질 껍질을 덮고 있는 경우도 있다.

## 바이러스의 유전체

우리는 대체로 유전자가 전형적인 이중나선 구조를 한 이중가닥 DNA로 이루어졌다고 생각한다. 그러나 많은 바이러스는 이러한 전형에서 벗어난다. 바이러스의 유전체는 종류에 따라 이중가닥 DNA, 단일가닥 DNA, 이중가닥 RNA 또는 단일가닥 RNA



▲ 그림 26.3 바이러스의 구조. 바이러스의 핵산(DNA 또는 RNA)은 단백질 껍질(캡시드) 안에 들어 있다. 캡시드 바깥쪽을 외피가 둘러싸고 있는 바이러스도 있다. 캡시드를 구성하는 낱개 단백질을 소단위를 캡소미어라 부른다. 바이러스의 크기와 모양은 다양하지만 구조에서는 공통적인 특징을 지닌다. (모든 현미경 사진은 투과전자현미경 영상에 색을 입힌 것임.)



로 이루어진다. 유전체를 이루는 핵산의 종류에 따라 바이러스를 DNA 바이러스 또는 RNA 바이러스라 부른다. 두 종류 모두 유전체는 대개 단일한 선형 또는 원형 핵산분자의 형태이나, 여러 분자의 핵산 조각으로 구성된 바이러스도 일부 존재한다. 지금까지 알려진 가장 작은 바이러스는 유전체에 단 3개의 유전자만 있는 반면, 가장 큰 바이러스의 유전체에는 수백에서 수천 개의 유전자가 포함되어 있다. 참고로 세균의 유전체에는 대략 200개에서 수천 개의 유전자가 들어 있다.

## 캡시드와 외피

바이러스의 유전체를 둘러싸는 단백질 껍질을 캡시드(capsid)라 한다. 바이러스의 종류에 따라 캡시드는 막대 모양이거나 다각형 또는 복합형의 형태를 이룬다. 캡시드는 캡소미어(capsomere)라 불리는 수많은 단백질 소단위가 모여 구성되나, 하나의 캡시드를 이루는 단백질의 종류는 그리 많지 않다. 담배모자이크바이러스는 단일 종류의 단백질 분자 수천 개가 나선형으로 배열되면서 단단한 막대형 캡시드를 이룬다. 막대형 바이러스는 이런 연유로 흔히 나선형 바이러스(helical viruse)라 불리기도 한다(그림 26.3a). 동물의 호흡기를 감염시키는 아데노바이러스의 캡시드는 252개의 동일한 단백질 분자가 20개의 삼각면을 이루는 20면체의 구조로 배열되어 있다. 아데노바이러스를 비롯한 다른 비슷한 형태의 바이러스는 정20면체 바이러스(icosahedral virus)라 부른다(그림 26.3b).

일부 바이러스에는 숙주세포 감염과정을 돕는 보조적인 구조가 있다. 예를 들어, 독감바이러스 등의 여러 동물바이러스에는 막으로 이루어진 외피가 캡시드를 둘러싸고 있다(그림 26.3c). 이들 바이러스 외피(viral envelope)는 숙주세포의 막에서 유래된 것으로 숙주세포의 인지질과 막단백질을 포함한다. 외피에는 또한 바이러스가 만들어 낸 단백질과 당단백질이 존재한다. (당단백질은 단백질에 탄수화물이 공유결합된 분자를 말한다.) 일부 바이러스는 캡시드에 한두 가지 바이러스 효소를 포함하기도 한다.

가장 복잡한 형태의 캡시드는 박테리오파지(bacteriophage) 또는 간단하게 파지(phage)라 불리는, 세균을 감염시키는 바이러스에서 볼 수 있다. 대장균을 감염시키는 7종의 파지가 가장 먼저 연구되었다. 이들 7종의 파지는 발견된 순서에 따라 1형(type 1, T1), 2형(type 2, T2) 등으로 명명되었다. 세 종류의 T-작수 파지(T-even phage, T2, T4, T6)는 구조가 매우 비슷한 것으로 알려져 있다. T-작수 파지의 캡시드는 길쭉한 20면체 머리(icosahedral head) 구조를 포함하며 그 안에 DNA가 들어 있다. 머리에는 단백질 꼬리(tail)가 달려 있고 꼬리에서는 꼬리섬유(tail fiber)가 뻗어 있으며 이들 꼬리섬유가 세균에 부착하는 역할을 한다(그림 26.3d). 다음 절에서는 어떻게 이 바이러스 부분들이 세포 성분들과 함께 기능하여 수많은 자손 파지들을 생산해 내는지 살펴보기로 한다.

## 개념 확인 문제 26.1

1. 담배모자이크바이러스(TMV)와 독감바이러스의 구조를 비교하라(그림 26.3 참조).
2. **MAKE CONNECTIONS** 박테리오파지를 이용해서 DNA가 유전 정보를 지니는 물질이라는 증거를 얻었다(그림 16.4 참조). 허쉬와 체이스가 수행한 실험을 간략하게 서술하고 이들이 연구에 파지를 선택한 이유를 찾아보라.

정답은 부록 A 참조

## 개념 26.2

### 바이러스는 숙주세포에서만 증식한다

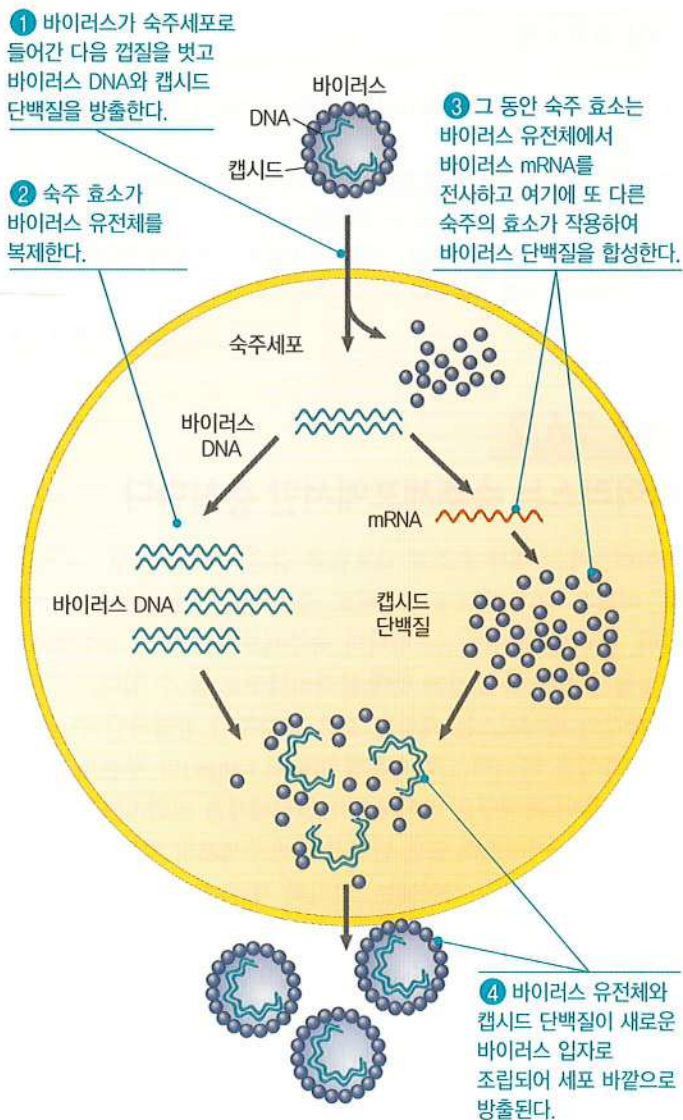
바이러스에는 대사 효소도 리보솜과 같은 단백질 합성기구도 없다. 이들은 절대 세포내 기생체로 숙주세포 안에서만 증식할 수 있다. 분리된 바이러스는 하나의 숙주세포에서 다른 숙주세포로 전달될 수 있도록 포장된 것에 불과하다고도 볼 수 있다.

각각의 바이러스는 제한된 종류의 숙주만 감염시킬 수 있다. 이런 특성을 바이러스의 숙주범위(host range)라 부른다. 이와 같은 숙주의 특이성은 바이러스가 인식체계를 진화시켜옴으로써 생겨났다. 바이러스의 표면 단백질과 숙주세포의 외부에 있는 특이적인 수용체 분자 사이에는 “열쇠와 자물쇠”와 같은 상호작용이 일어나며, 이와 같은 작용에 의해 숙주세포를 인식한다. (이와 같은 수용체는 원래 숙주세포에 필요한 기능을 수행하는 분자였으나 후에 바이러스가 감염 통로로 이용한 것이라는 가설이 있다.) 어떤 바이러스는 숙주범위가 넓다. 예를 들어, 웨스트나일 바이러스(West Nile virus)나 말뇌염바이러스(equine encephalitis virus)는 서로 완전히 다른 바이러스지만 모기, 새, 말, 인간 등의 다양한 생명체를 감염시킬 수 있다. 반면 숙주범위가 좁아 단 한 종의 생물체만을 감염시키는 바이러스도 있다. 예를 들어, 홍역 바이러스(measles virus)는 사람만 감염시킨다. 나아가 다세포 진핵생물에서는 특정한 바이러스가 대개 특정 조직만 감염시킬 수 있다. 감기바이러스는 상기도의 점막세포층만 감염시키는 반면, 에이즈바이러스는 일부 백혈구에만 존재하는 수용체에 결합한다.

### 바이러스 증식회로의 일반적 특징

바이러스가 숙주세포에 결합하여 유전체를 안에 주입하는 것으로 바이러스 감염이 시작된다(그림 26.4). 유전체가 주입되는 메커니즘은 바이러스나 숙주세포의 종류에 따라 다르다. T-작수 파지는 정교한 꼬리구조를 사용하여 세균세포 안으로 DNA를 주입한다(그림 26.3d). 외피를 지니는 일부 바이러스는 세포내흡입(endocytosis) 또는 외피와 세포막과의 융합을 통해 세포 안으로 들어간다. 일단 바이러스 유전체가 세포 안에 들어가면 바이러스





▲ **그림 26.4** 바이러스 증식회로의 개요. 바이러스는 숙주세포의 기구와 작은 분자들을 사용하여 증식하는 절대 세포내 기생체이다. 이 그림은 한 종류의 단백질로 구성된 캡시드를 지닌 DNA 바이러스의 가장 단순한 증식과정을 보여준다.

**DRAW IT** 이 그림에서 붉은 검은색 화살표가 지시하는 단계를 한 단어로 표기하라(그림 17.24 참조).

유전체에서 만들어 내는 단백질이 숙주세포를 관장하게 된다. 이 과정에서 세포의 합성 프로그램을 바꾸어 바이러스의 핵산과 단백질을 합성하도록 한다. 숙주는 이제 바이러스의 핵산 합성에 필요한 뉴클레오타이드를 비롯하여 효소, 리보솜, tRNA, 아미노산, ATP 등 바이러스 단백질 합성에 필요한 성분을 제공하는 역할을 하게 된다. 대부분의 DNA 바이러스는 숙주세포의 DNA 중합효소를 사용하여 바이러스 DNA를 주형으로 새로운 유전체를 합성한다. 반면 RNA 바이러스는 직접 RNA를 주형으로 하는 중합효소를 만들어 자신의 유전체를 합성한다. (바이러스에 감염되지 않은 세포는 대개 이 효소가 없다.)

바이러스의 핵산분자와 캡소미어가 만들어지면 저절로 새로운 바이러스 입자가 조립된다. 실제로 과학자들은 TMV의 RNA와 캡소미어를 따로 분리하여 이들을 적절한 조건에서 섞어주는 것만으로도 새로운 바이러스를 만들어낼 수 있었다. 가장 간단한 형태의 바이러스 증식회로는 감염된 숙주세포에서 수백 또는 수천의 자손바이러스가 방출되는 것으로 끝난다. 이 과정에서 종종 숙주세포가 손상되거나 파괴된다. 바이러스에 감염되었을 때 나타나는 여러 증상은 세포의 손상과 사멸 그리고 이에 따른 신체의 반응으로 인해 나타난다. 세포에서 방출된 자손 바이러스는 또 다른 세포를 감염시킴으로써 바이러스 감염이 전파된다.

지금까지 설명한 단순한 바이러스 증식회로와는 조금씩 다른 과정을 보이는 바이러스도 많다. 이제부터는 세균 바이러스(파지), 동물 바이러스, 식물 바이러스의 순서로 몇몇 바이러스의 특성을 자세히 살펴보면서 바이러스의 다양한 증식 양상을 알아보고자 한다.

## 파지의 증식회로

파지는 가장 잘 알려진 바이러스이며 일부 파지는 바이러스 가운데 가장 복잡한 종류에 속한다. 이중나선 DNA 파지는 용균성 회로와 용원성 회로의 두 가지 증식회로를 지닌다는 사실이 알려졌다.

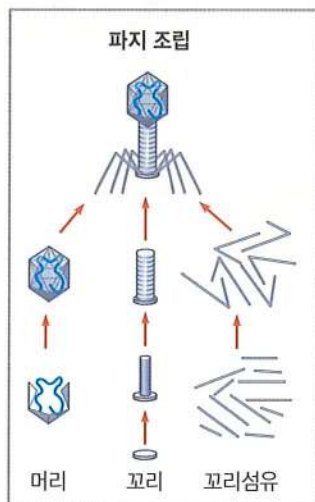
### 용균성 회로

파지가 증식하면서 최종적으로 숙주세포를 사멸시키는 증식 경로를 **용균성 회로(lytic cycle)**라 한다(그림 26.5). 용균은 감염의 마지막 단계를 말하며, 세균이 파괴되면서(용균) 세포 안에서 생성된 파지 입자들이 방출된다. 이들 파지는 각각 또 다른 건강한 세포를 감염시켜 용균성 회로를 계속 반복하여 단 몇 시간 안에 전체 세균 집단을 완전히 전멸시키기도 한다. 용균성 회로만으로 증식하는 파지를 **독성 파지(virulent phage)**라 부른다. 그림 26.5는 전형적인 독성 파지인 T4의 용균성 회로를 단계별로 설명하고 있다. 그림에서 용균성 회로를 잘 이해한 후, 다음 단계로 넘어가자.

용균성 회로를 꼼꼼히 살펴보면 파지들이 용균성 회로로 증식하면서 모든 세균을 전멸시키지 못하는 이유가 무엇인지 궁금해질 것이다. 그것은 세균 또한 파지에 대한 방어책을 지니기 때문이다. 첫째, 특정한 파지가 인식하지 못하는 수용체를 갖는 돌연변이 세균이 자연선택될 수 있다. 둘째, 파지가 침입하면 파지의 DNA를 외부 물질로 인식하여 **제한효소(restriction enzyme)**라 불리는 세포내 효소가 이들을 절단한다. 이들 효소의 이름은 사실상 파지가 세균을 감염시키는 능력을 제한한다는 효소의 활성에서 유래하였다. 세균 자신의 DNA는 특수한 형태로 메틸화되어 있기 때문에 자신의 제한효소가 작용하는 것을 막을 수 있다. 그러나 자연선택으로 인해 바이러스가 인식하지 못하는 세균의 돌연변이 수용체 또는 효과적인 제한효소 활성이 선택되었다면,



▶ **그림 26.5** 독성 파지 T4의 용균성 생활사. T4 파지는 300개에 달하는 유전자를 지니며 이들 유전자는 숙주세포의 기구를 이용하여 전사되고 번역된다. 바이러스 DNA가 숙주세포에 들어간 다음 가장 먼저 번역되는 유전자 가운데 하나는 숙주세포의 DNA를 분해하는 효소 유전자이다(2단계). 이때 파지 DNA는 분해되지 않는데 이는 효소에 의해 인식되지 않도록 사이토신이 변형되어 있기 때문이다. 파지가 최초로 숙주의 표면에 접촉하는 시간부터 세포가 파괴될 때까지 전체 용균성 생활사가 진행되는 데 걸리는 시간은 37°C에서 20~30분밖에 걸리지 않는다.



5 방출. 파지가 세균의 세포벽을 파괴하는 효소를 생산하여 외부의 액체가 세포 안으로 흘러들게 한다. 세포가 팽창하여 결국 터지면서 100~200개의 파지 입자를 방출한다.

4 조립. 세 종류의 단백질이 따로 만들어진 다음 파지의 머리, 꼬리, 꼬리섬유로 자가 조립된다. 파지의 유전체는 머리가 만들어질 때 캡시드 안쪽으로 들어간다.

1 부착. T4 파지는 꼬리섬유를 이용하여 대장균 세포의 외부 표면에 있는 특수한 수용체에 결합한다.

2 파지 DNA의 주입과 숙주 DNA의 분해. 꼬리의 겹질이 수축하면서 파지 DNA는 세포 안으로 주입되고 빈 캡시드는 세포 밖에 남는다. 숙주세포 DNA가 분해된다.

3 바이러스 유전체와 단백질의 합성. 파지 DNA가 숙주의 효소와 숙주의 구성요소를 이용해서 파지 단백질의 합성과 파지 유전체의 복제를 지시한다.

똑같은 방식으로 변형된 수용체에 결합하는 돌연변이 파지 또는 제한효소의 작용을 받지 않는 돌연변이 파지가 선택될 수 있다. 따라서 기생체와 숙주의 관계는 끊임없는 진화적 변화 과정에 놓여 있는 것으로 볼 수 있다.

또한 세균이 파지의 활성화에도 불구하고 멸종되지 않고 살아남게 되는 중요한 세 번째 이유가 또 있다. 숙주세포를 용균시키는 대신 용원 상태(lysogeny)라 불리는 상태로 숙주와 공존하는 파지의 종류도 많다. 이에 대해 살펴보기로 하자.

## 용원성 회로

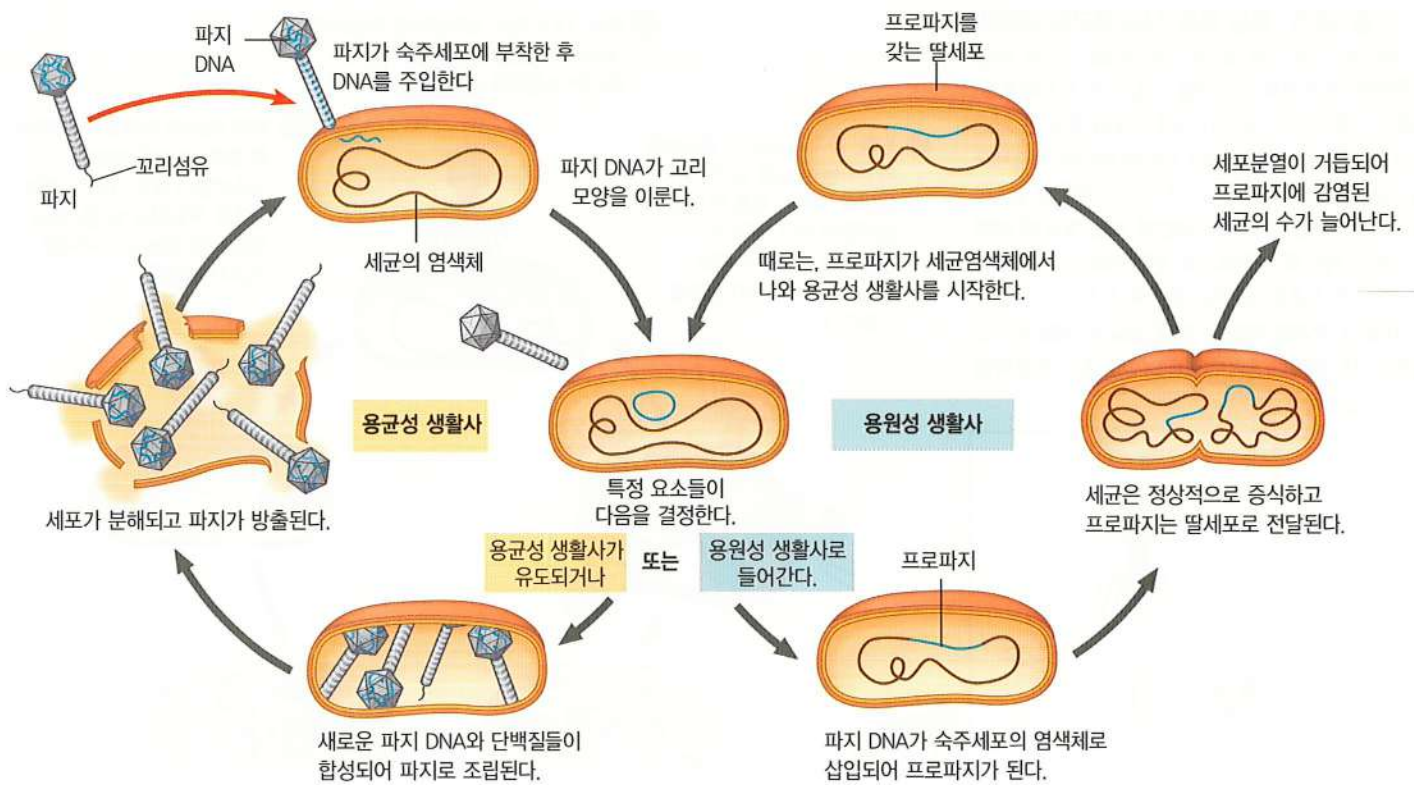
숙주세포를 파괴하는 용균성 생활사와는 달리 용원성 회로(lysogenic cycle)에서는 숙주세포를 파괴하지 않은 채 파지의 유전체가 복제된다. 이 두 가지 생활사를 모두 영위할 수 있는 종류를 온건성 파지(temperate phage)라 부른다. 그리스 문자  $\lambda$ 로 표기하고 람다라 부르는 온건성 파지는 생물학 연구에 널리 사용되어 왔다.  $\lambda$  파지는 T4와 비슷하나 단 하나의 짧은 꼬리섬유를 지닌다.

$\lambda$  파지가 대장균을 감염시키는 과정은 파지가 세포 표면에 결합하여 선형 DNA 유전체를 주입하면서 시작된다(그림 26.6). 숙주 안에서  $\lambda$  DNA 분자는 원형으로 변한다. 다음 단계는 용균성

회로와 용원성 회로 가운데 어느 쪽을 따르는지에 따라 달라진다. 용균성 회로에서 바이러스 유전자는 즉시 숙주세포를  $\lambda$ -생성 공장으로 변환시켜 세포가 곧 용균되면서 바이러스 산물을 방출한다. 그러나 용원성 증식 회로로 접어들면  $\lambda$  DNA 분자는 대장균 염색체의 특정한 자리에 삽입된다. 이때 파지에서 만들어 내는 단백질이 세균과 파지의 원형 DNA 특정 부위를 자른 다음 서로 연결시키는 작용을 한다. 이런 방식으로 세균 염색체에 삽입된 파지의 DNA를 프로파지(prophage)라 한다. 프로파지에 존재하는 유전자 하나는 대부분의 다른 프로파지 유전자의 전사를 억제한다. 따라서 파지 유전체는 세균세포 안에서 대체로 발현되지 않는 상태로 존재한다. 대장균 세포가 분열할 때마다 대장균은 자신의 염색체와 함께 그 일부로 존재하는 파지 DNA를 복제하여 딸세포에 전해준다. 감염된 세포 하나는 곧 프로파지의 형태의 바이러스를 지니는 거대한 개체군으로 성장할 수 있다. 이와 같은 메커니즘은 바이러스가 자신들이 의존할 수밖에 없는 숙주세포를 파괴하지 않고 증식하여 퍼질 수 있는 방법이다.

용원성(lysogenic)이라는 용어는 프로파지가 숙주세포를 파괴할 수 있는 활성화된 파지를 생성할 수 있는 잠재능력이 있다는 사실을 함축한다. 이러한 과정이 유도되면  $\lambda$  유전체는 세균 염색체에서 절제되어 나와 새로이 용균성 회로를 시작한다. 특정한





▲ 그림 26.6 온건성 파지의 일종인 람다 파지의 용균성 회로 및 용원성 회로. 세균세포에 들어간 다음 람다 DNA는 고리 모양을 이룬 다음 곧장 많은 수의 자손 파지를 생성하기 시작하거나(용균성 회로) 또는 세균의 염색체에 삽입된다(용원성 회로). 지는 여러 세대 동안 숙주세포의 염색체에 삽입된 채 존재한다. 람다 파지에는 하나의 짧은 꼬리섬유가 있다.

화합물질이나 고에너지 방사선과 같은 환경으로부터의 신호가 용원성으로 존재하는 프로파지가 용균성 회로를 시작하도록 전환시킨다.

전사억제 단백질 유전자와 더불어 용원성 상태의 프로파지에서는 한두 가지 다른 단백질이 발현되기도 한다. 이들 유전자가 발현되면 숙주의 표현형이 달라질 수 있다. 이와 같은 현상은 의학적으로 중요한 의미를 지닌다. 예를 들어, 디프테리아, 보툴리누스 식중독, 성홍열과 같이 사람에게 심한 질병을 일으키는 3종의 세균은 이들이 지니는 프로파지에서 독소를 만들기 때문에 질병을 야기한다. 세균이 이들 프로파지에 감염되지 않았다면 사람에게서 질병을 일으키지 못한다는 것이다. 또한 우리 장 내에 정상적으로 서식하는 대장균 균주와 심각한 식중독을 일으키는 O157:H7 균주의 차이도 O157:H7이 지니는 프로파지에 의해 나타난다.

## 동물 바이러스의 증식회로

사람은 모두 편도선염이나 독감 또는 감기와 같은 바이러스 감염 증으로 인해 고통받는다. 다른 모든 바이러스와 마찬가지로 사람이나 다른 동물에게 병을 일으키는 바이러스도 숙주세포 안에

서만 증식할 수 있다. 바이러스의 감염과 증식 양상은 동물 바이러스 사이에서도 다양하다. 큰 차이 가운데 하나가 동물 바이러스가 지니는 바이러스 유전체의 특성(DNA인지 RNA인지 또한 이중나선인지 또는 단일가닥인지)이다. 이는 표 26.1에 나타난 바이러스의 일반적인 분류의 척도이다. 단일가닥 RNA 바이러스는 숙주 안에서 RNA 유전체가 어떻게 작용하는지에 따라 세 개의 유형(IV~VI)으로 더욱 세분할 수 있다.

몇몇 박테리오파지도 외피를 갖거나 RNA 유전체를 갖지만 동물 바이러스 중에는 이 두 가지 특성을 모두 지니는 종류가 많다. 사실상 RNA 유전체를 지니는 거의 모든 동물 바이러스가 외피를 지니고 있으며 일부 DNA 바이러스에서도 외피가 발견된다(표 26.1). 모든 바이러스를 다루기보다 여기서는 동물 바이러스의 특징이라 할 수 있는 외피의 기능과 RNA 유전체가 유전물질로 작용하는 과정에 집중해서 바이러스의 감염과 증식 메커니즘을 살펴보기로 한다.

## 바이러스의 외피

캡시드를 둘러싼 외막 구조인 외피를 지니는 동물 바이러스는 이를 이용하여 숙주세포에 침입한다. 이들 외피의 바깥쪽 표면에



표 26.1 동물 바이러스의 분류

유형/과	외피	질병을 일으키는 종류
<b>I. 이중가닥 DNA(dsDNA)</b>		
아데노바이러스 (그림 26.3b 참조)	없음	호흡기바이러스; 동물종양바이러스
파필로마바이러스	없음	사마귀, 자궁경부암
폴리오마 바이러스	없음	종양
허피스바이러스	있음	단순허피스바이러스 1형과 2형(단순 포진, 생식기포진); 수두 대상포진 바이러스(대상포진, 수두); 엡스타인 바바이러스(전염성 단핵구증, 버킷림프종)
포크바이러스	있음	두창바이러스; 우두바이러스
<b>II. 단일가닥 DNA(ssDNA)</b>		
파보바이러스	없음	B19 파보바이러스(심하지 않은 발진)
<b>III. 이중가닥 RNA(dsRNA)</b>		
레오바이러스	없음	로타바이러스(설사); 콜로라도진드기열바이러스
<b>IV. 단일가닥 RNA(ssRNA); mRNA로 작용</b>		
피코나바이러스	없음	리노바이러스(일반 감기); 소아마비 바이러스; A형 간염바이러스; 그 밖의 장 바이러스
코로나바이러스	있음	중증급성호흡기증후군(severe acute respiratory syndrome, SARS)
플라비바이러스	있음	황열병바이러스, 웨스트나일바이러스, C형 간염바이러스
토가바이러스	있음	루벨라바이러스, 말뇌염바이러스
<b>V. ssRNA; mRNA 합성의 주형으로 작용</b>		
필로바이러스	있음	에볼라바이러스(출혈열)
오소믹소바이러스	있음	독감바이러스(그림 26.3c, 26.9a 참조)
파라믹소바이러스	있음	홍역바이러스, 유행성이하선염 바이러스
랍도바이러스	있음	광견병바이러스
<b>VI. ssRNA; DNA 합성의 주형으로 작용</b>		
레트로바이러스	있음	인간면역결핍바이러스(human immunodeficiency virus, HIV/AIDS, 그림 26.8 참조); RNA 종양 바이러스(백혈병)

는 바이러스의 당단백질이 돌출되어 있고 이들이 숙주세포 표면에 존재하는 특수한 수용체 분자에 결합한다. **그림 26.7**에 RNA 유전체를 지니는 외피 바이러스의 증식회로가 요약되어 있다. 외피에 포함된 당단백질의 단백질 부분은 숙주세포의 소포체에 붙어 있는 리보솜에서 만들어진다. 소포체와 골지체에 존재하는 숙주세포의 효소가 당분자를 합성된 단백질에 부착시킨다. 그 결과 만들어진 바이러스의 당단백질은 숙주세포에서 유래된 막에 삽

입되어 세포표면으로 이동한다. 세포외배출과 비슷한 과정을 통해 새로운 바이러스 캡시드는 막으로 둘러싸이고 새싹이 땅속에서 나오듯이 세포 밖으로 방출된다. 따라서 바이러스의 외피는 숙주세포의 세포막에서 유래된 것이나 이 막에 존재하는 일부 단백질은 바이러스 유전자에서 특이적으로 합성된 것이다. 밖으로 떨어져 나온 외피 바이러스는 이제 다른 세포를 감염시킬 수 있다. 이 같은 과정은 용균성 파지의 증식회로와 달리 반드시 숙주 세포를 사멸시킬 필요는 없다.

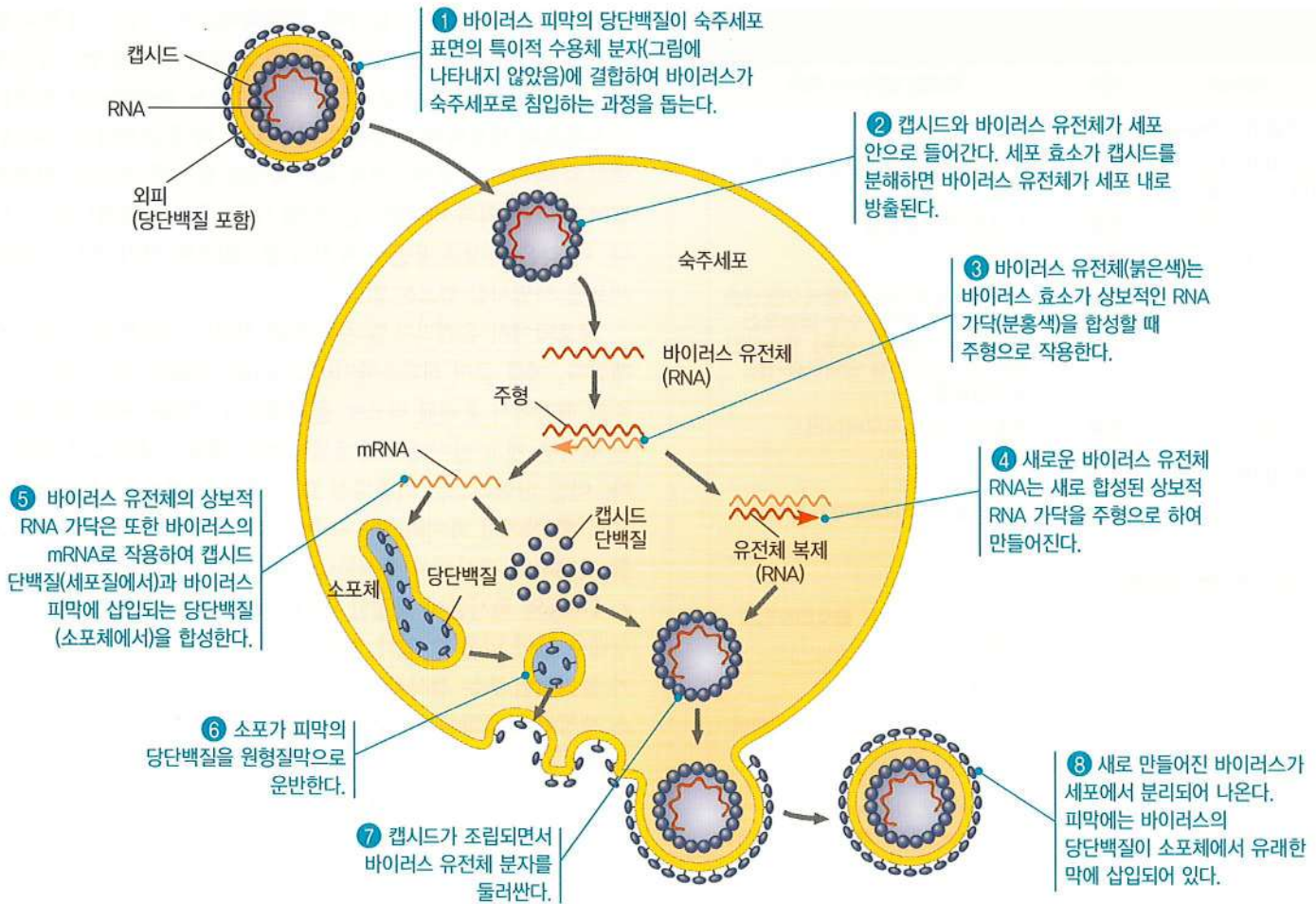
세포막에서 유래되지 않은 외피를 지니는 바이러스도 일부 존재한다. 예를 들어 허피스바이러스(herpesvirus)는 일시적으로 숙주의 핵막에서 유래된 막으로 둘러싸인다. 핵에서 세포질로 나오면 핵막을 벗고 골지체의 막에서 유래된 새로운 막으로 둘러싸인다. 이들 바이러스는 이중나선 DNA를 유전체로 지니고 숙주세포의 핵 안에서 바이러스와 숙주 효소를 함께 이용하면서 DNA를 복제하고 전사하여 증식한다. 허피스바이러스의 경우 바이러스 DNA의 복사본이 특정한 신경세포의 핵 안에 미니 염색체의 형태로 남아 있을 수 있다. 이들 바이러스 유전체는 잠복해 있다가 물리적인 또는 정서적인 변화가 신호로 작용하여 새로 바이러스 생성이 활성화된다. 이렇게 만들어진 새로운 바이러스가 다른 세포를 감염시켜 허피스바이러스 감염 증상의 물질이 형성되는데 주로 입술이나 생식기 주변에 나타난다. 따라서 일단 한 번 허피스바이러스에 감염되면 때때로 이러한 물질이 잡히는 증상이 평생 반복되어 나타날 수 있다.

## 바이러스 유전물질로서의 RNA

일부 파지와 대부분의 식물 바이러스도 RNA 유전체를 지니지만 RNA 바이러스의 대부분은 동물 바이러스에 속한다. 동물 바이러스에서 단일가닥 RNA 유전체를 지니는 바이러스로는 세 가지 유형이 존재한다. 제IV형 바이러스는 바이러스 유전체가 직접 mRNA로 작용하여 감염 즉시 바이러스 단백질을 번역해 낼 수 있다. **그림 26.7**에는 제V형 바이러스가 나타나 있다. 이들 바이러스에서는 RNA 유전체가 mRNA 합성의 주형(template)으로 사용된다. RNA 유전체는 상보적인 RNA 가닥으로 전사되고 이것이 mRNA로 작용하는 동시에 또 다른 유전체 RNA 합성에서의 주형으로 사용된다. RNA를 주형으로 RNA를 합성하는 모든 바이러스는 이를 촉매하는 바이러스 효소를 가지고 있어야 한다. 대부분의 세포에는 이와 같은 효소가 존재하지 않는다. RNA를 주형으로 RNA를 합성하는 바이러스 효소는 캡시드 안에 유전체와 함께 포장된다.

RNA 동물바이러스 가운데 가장 복잡한 생활사를 갖는 것이 VI 유형인 레트로바이러스(retrovirus)다. 레트로바이러스는 역전사효소(reverse transcriptase)라 불리는 효소를 지녀 이 효소가 RNA 주형을 DNA로 전사한다. 따라서 보통의 유전정보 전달과는 달리 RNA 분자에서 DNA로 유전정보가 전달되는 메커





▲ **그림 26.7** 외피가 있는 RNA 바이러스의 증식회로. 이 그림은 단일가닥 RNA 바이러스의 증식회로를 보여준다. 이 바이러스의 유전체 RNA는 mRNA 합성의 주형으로 사용된다. 일부 외피 바이러스는 세포의 원형질막과 바이러스의 외피가 융합

되면서 숙주세포 안으로 들어간다. 다른 바이러스는 세포내흡입 과정을 통해 침입한다. 외피를 지니는 모든 RNA 바이러스에서 자손 바이러스의 외피는 그림에 나타난 방식으로 형성된다.

❓ 자신이 감염된 적이 있는 바이러스 가운데 이와 같은 증식회로를 통해 증식하는 바이러스의 이름은? (힌트: 표 26.1 참조)

니즘을 지닌다. 이와 같은 독특한 현상으로 인해 레트로바이러스(*retro*는 “반대방향”을 의미)라는 이름을 얻게 되었다. 의학적으로 특히 중요한 종류로는 에이즈(acquired immunodeficiency syndrome, AIDS)의 원인이 되는 HIV(human immunodeficiency virus)를 들 수 있다. HIV를 비롯한 레트로바이러스는 외피를 지니는 바이러스로 두 분자의 동일한 단일가닥 RNA와 두 분자의 역전사효소를 지닌다.

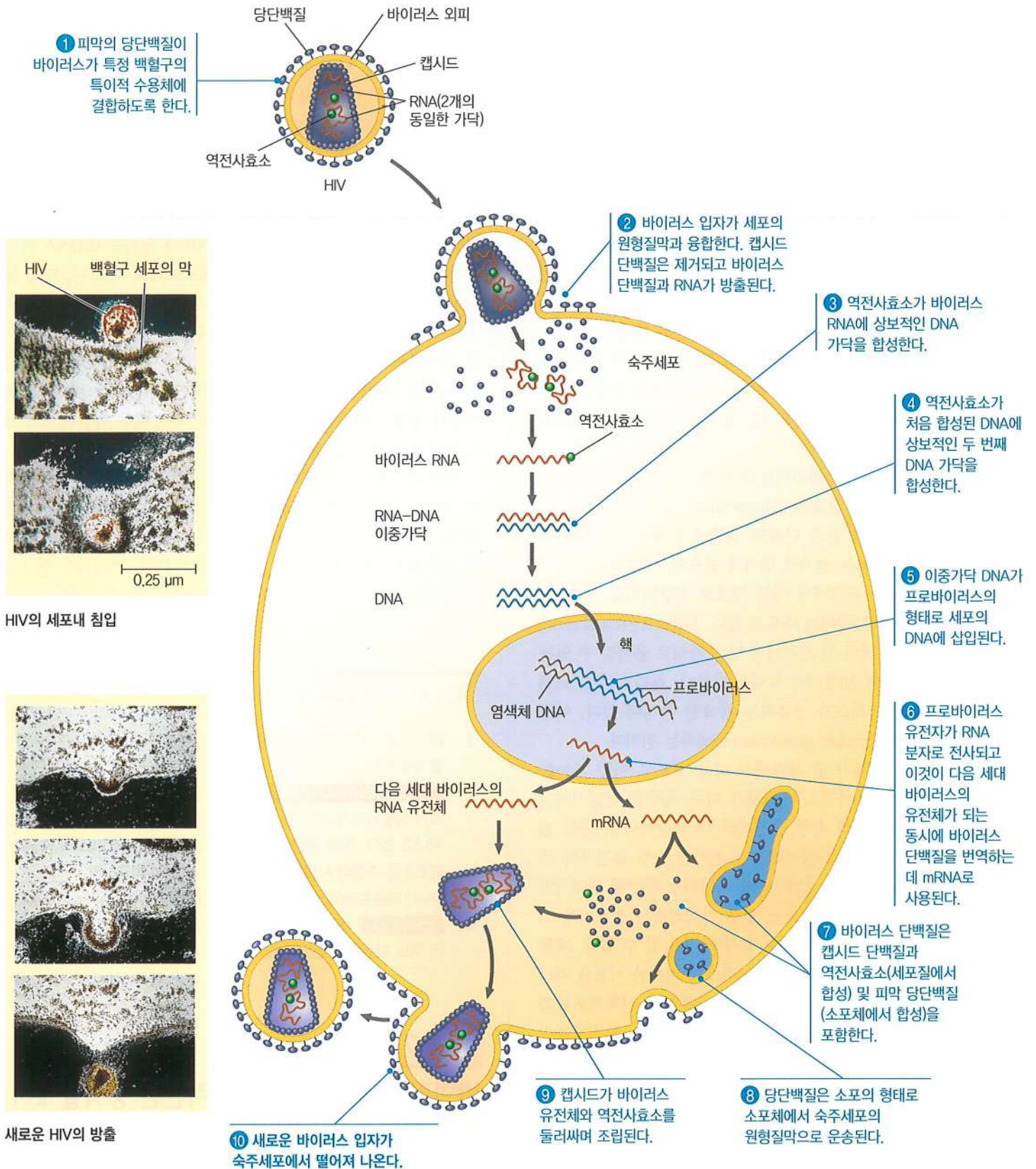
HIV의 증식회로(그림 26.8)는 전형적인 레트로바이러스의 증식 과정을 보여준다. HIV가 숙주세포에 침입하면 역전사효소 분자가 세포질로 방출되어 바이러스 DNA의 합성을 촉매한다. 새로 만들어진 바이러스 DNA는 세포의 핵 안으로 들어가 염색체 DNA로 삽입된다. 삽입된 바이러스 DNA는 프로바이러스(provirus)라 부르는데 숙주의 유전체에서 제거되지 않고 영원히 세포에 존재한다. (용균성 회로를 시작할 때 숙주의 유전체에

서 절제되어 나오는 프로파지와 다르다.) 숙주의 RNA 중합효소는 프로바이러스 DNA에서 RNA 분자를 전사하고 이렇게 전사된 mRNA가 바이러스 단백질 합성 및 새로운 바이러스 유전체로 사용된다. 바이러스 단백질과 새로운 유전체가 합성되면 자가 조립되어 숙주에서 방출된다. 47장에서 HIV가 어떻게 면역체계를 억제하여 에이즈를 일으키는지에 대해 살펴볼 것이다.

## 바이러스의 진화

**진화** 이 장을 시작하면서 바이러스를 생명체로 볼 수 있는지에 대해 질문을 던졌다. 바이러스는 생명체에 대한 우리의 정의를 만족시키지 못한다. 분리된 형태의 바이러스는 생물학적으로 활성이 없고 유전자를 복제하거나 ATP를 합성할 수 없다. 그렇지만 바이러스는 보편적인 생명의 언어로 이루어진 유전 프로그램 지닌다. 바이러스를 자연에 존재하는 가장 복잡한 분자





▲ **그림 26.8** AIDS를 일으키는 레트로바이러스, HIV의 생활사. 바이러스 RNA 유전체에서 합성된 DNA는 5번째 단계에서 숙주세포의 염색체 DNA에 삽입된다. 이 부분이 레트로바이러스가 갖는 독

특한 특징이다. HIV의 수용체로 작용하는 세포 표면 단백질은 그림에서 생략되어 있다. 왼쪽의 사진(채색된 TEM 영상)은 HIV가 사람의 백혈구 세포에 침입하는 과정과 방출되는 과정을 보여준다.

**MAKE CONNECTIONS** HIV가 면역세포에 결합하는 과정을 설명하라(그림 8.8 참조). 이 과정은 어떻게 알게 되었는가?



의 형태로 볼 것인가? 아니면 가장 단순한 생명의 형태로 볼 것인가? 어느 쪽을 선택하든 일상적인 정의를 수정하지 않으면 안 된다. 바이러스가 독립적으로 증식할 수도 대사활동을 수행할 수도 없지만 이들이 유전암호를 사용한다는 사실은 생물계와의 진화적 연관성을 부정할 수 없게 만든다.

바이러스는 어떻게 생겨났을까? 바이러스는 사실 동식물과 세균뿐만 아니라 모든 생물계에서 두루 발견된다. 고세균, 진균류, 조류(algae), 원생생물에도 바이러스가 존재한다. 증식하는데 세포가 있어야만 하므로 이를 세포의 형태를 이루기 이전 생명체의 후예라 볼 수 없고 최초의 세포가 나타난 이후, 아마도 여러 세대가 흐른 다음에서야 생겨난 것으로 추측된다. 대부분의 분자생물학자들은 바이러스가 손상된 부위 등을 통해서 세포 사이를 옮겨 다닐 수 있도록 변한 세포의 핵산 조각에서 유래되었을 것이라고 생각한다. 캡시드 단백질을 암호화하는 유전자가 진화하면서 아마 손상이 없는 세포에도 옮겨갈 수 있는 메커니즘을 갖게 되었을 것이다.

바이러스 유전체는 플라스미드나 트랜스포존에서 유래했을 것으로 추정하고 있다. 플라스미드(plasmid)는 작은 원형 DNA 분자로 세균이나 효모와 같은 단세포 생물에 존재한다. 플라스미드는 세포의 유전체와는 별개로 떨어져 있으며, 독립적으로 복제될 수 있고 때로 한 세포에서 다른 세포로 전달되기도 한다. 플라스미드는 19장과 27장에서 다루고 있다. 트랜스포존(transposon)은 한 세포 유전체 내의 한 자리에서 다른 자리로 옮겨갈 수 있는 DNA 조각을 말하며 20장에서 자세히 다룬다. 플라스미드, 트랜스포존 그리고 바이러스가 공유하는 중요한 특성이 있다. 이들 모두 이동성 유전인자(mobile genetic element)라는 점이다.

바이러스의 유전체가 한 세포에서 다른 세포로 이동 가능한 DNA라는 특성은, 바이러스 유전체가 다른 숙주를 감염시키는 바이러스에 비해 자신의 숙주 유전체와 더 비슷하다는 관찰 결과와 연관된다. 사실 일부 바이러스 유전자는 숙주 유전자와 본질적으로 같다. 반면 최근 많은 수의 바이러스 유전체 염기서열이 결정되었는데, 이 결과를 보면 일부 바이러스는 겉보기에 거의 연관성이 없는 바이러스와 매우 유사한 것을 알 수 있다. 예를 들면 일부 동물 바이러스는 식물 바이러스와 비슷한 서열을 지닌다. 이와 같은 유전적 유사성은 숙주로 작용했던 진핵세포들과 바이러스들의 초기 진화 과정 중에 선택된 바이러스 유전자들이 자연선택 과정에서 지속되었음을 반영하는 것일 수도 있다.

바이러스의 유래에 대한 논쟁은 최근 지금까지 발견된 바이러스 가운데 가장 큰 미미바이러스가 2003년 보고되면서 다시 불붙고 있다. 미미바이러스(mimivirus)는 이중나선 DNA(dsDNA) 바이러스로 정이십면체 캡시드의 지름이 400 nm에 이른다. 이 크기는 작은 세균의 크기와 비슷하다. 미미바이러스의 유전체는 120만 염기쌍(1.2 Mb)이며 대략 1,000개의 유전자를 포함한다. 이는 독감바이러스 유전체의 100배에 달한다. 가장 놀라운 특성은 일

부 유전자가 세포 유전체의 기본적인 특성으로 간주되었던 단백질 산물을 암호화한다는 점이다. 이들은 번역, DNA 수선, 단백질 접힘, 다당류 합성 등에 관련되는 단백질이다. 미미바이러스가 최초의 세포가 탄생하기 이전에 진화하였고 세포가 탄생한 다음에는 이들 세포를 활용하는 방식으로 진화한 것인지, 아니면 더 최근에 진화하면서 숙주세포로부터 유전자를 취한 것인지는 아직 확실하게 알려지지 않았다. 2013년에는 기존에 알려진 바이러스와 다른 더욱 거대한 바이러스가 발견되었다. 이 바이러스는 지름이 1  $\mu\text{m}$ (1,000 nm)이며 2~2.5 Mb에 달하는 dsDNA 유전체를 지닌 것으로 크기가 작은 진핵세포보다도 더 크다. 더욱 놀라운 특징은 2,000여 개에 이르는 유전자의 90% 이상이 기존의 생물체에 존재하는 유전자와 연관되지 않은 것이라는 점이다. 이런 특징으로 인해 연구자들은 이 바이러스에 판도라바이러스라는 이름을 붙였다. 이 바이러스를 포함한 다른 모든 바이러스를 어떻게 생명수에 포함시키는가 하는 문제는 매우 복잡하고도 풀기 어려운 문제가 될 것이다.

바이러스와 숙주세포의 유전체 사이의 진화적 관계가 지속되어 왔다는 사실을 바탕으로 분자생물학에서는 바이러스를 유용한 실험도구로 활용해 왔다. 바이러스는 질병을 일으키는 등 모든 생물체에 엄청난 영향을 행사하기 때문에, 바이러스 연구를 통해 얻은 지식은 실용적인 분야의 발전에도 크게 기여할 수 있었다.

## 개념 확인 문제 26.2

1. 용균성(독성) 파지와 용원성(온건성) 파지가 숙주세포에 미치는 영향을 비교하라.
2. **MAKE CONNECTIONS** 그림 26.7의 RNA 바이러스는 바이러스의 생활사에서 세 번째 단계에 필요한 바이러스 RNA 중합효소를 지니고 있다. 이와 같은 바이러스 RNA 중합효소와 세포의 RNA 중합효소를 주형의 사용과 그 밖의 기능 면에서 비교하라.
3. HIV가 레트로바이러스라 불리는 까닭은 무엇인가?
4. **DRAW IT** 당신이 HIV 감염에 대한 치료법을 연구하는 학자라면 어느 과정이 진행되지 않도록 억제하겠는가? (그림 26.8 참조)

정답은 부록 A 참조

## 개념 26.3

### 바이러스, 바이로이드, 프리온은 동식물에서 심한 질병을 일으킨다

전 세계적으로 인간, 농작물, 가축 모두가 바이러스 감염으로 인한 질병을 앓는다. 동물 바이러스부터 살펴보자. 바이러스보다 조금 더 작고 더 단순한 바이로이드나 프리온 또한 동식물에서 질병을 유발한다.



## 동물에서의 바이러스성 질병

바이러스 감염은 여러 가지 경로로 증상을 유발한다. 바이러스는 리소솜에서 가수분해효소가 방출되도록 하여 세포에 손상을 입히거나 세포를 사멸시킨다. 어떤 바이러스는 감염된 세포가 독소를 만들어 질환 증세를 보이고, 또 다른 종류는 외피 단백질과 같은 바이러스 단백질의 일부가 그 자체로 독성을 나타낸다. 특정한 바이러스가 얼마나 큰 손상을 입히는가는 감염된 세포가 세포분열을 하여 재생하는 능력과 일부 관련이 있다. 사람들은 대개 감기 증세에서 완벽하게 회복되는데, 이는 감기바이러스가 감염시키는 호흡기관의 상피세포가 효율적으로 손상을 회복시킬 수 있기 때문이다. 반면 성숙한 신경세포를 감염시키는 소아마비바이러스에 의한 손상은 영구적이다. 왜냐하면 이들 세포는 더 이상 분열하지 않고 대개는 대체되지도 않기 때문이다. 열이나 통증과 같은 바이러스 감염과 동반되는 많은 일시적인 증상은 바이러스가 직접 세포를 손상시키기 때문이라기보다 대개 우리 몸이 스스로 감염에 대항하기 때문에 나타난다.

면역체계는 복잡하고 중요한 신체의 자연 방어체계의 일부다 (47장). 이는 또한 바이러스 감염을 예방하는 백신이 의학적으로 중요한 이유이다. 백신(vaccine)이란 해로운 병원체에 대항하는 신체의 면역체계를 촉진하기 위해 사용되는 해롭지 않은 변이체 또는 병원체에서 유래된 산물을 말한다. 두창(천연두)은 한 때 인류에게 치명적인 전염성 질환이었으나 세계보건기구(World Health Organization, WHO)가 주도한 백신프로그램으로 이제는 박멸되었다. 두창바이러스의 숙주범위가 매우 좁다는 사실(인간만 감염시킨다)은 이 프로그램 성공의 주된 원인이다. 비슷한 전 세계적인 백신 캠페인이 현재 소아마비와 홍역을 박멸하기 위해 진행되고 있다. 풍진, 유행성 이하선염, B형 간염 등의 바이러스성 질병을 예방할 수 있는 효과적인 백신 또한 개발되어 있다.

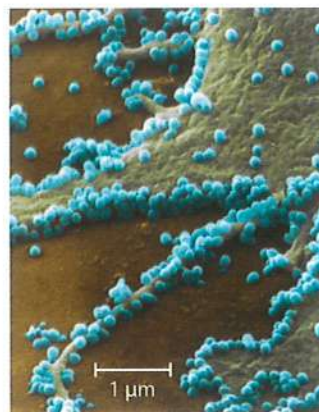
백신으로 특정한 바이러스 질환을 예방할 수는 있지만, 대부분의 바이러스성 질환은 일단 감염되고 나면 치료할 수 있는 방법이 현재로서는 거의 없다. 항생제는 세균성 감염을 치료할 수 있을 뿐 진핵세포나 바이러스가 만드는 효소에는 무용하다. 항생제는 특정한 세균에 특이적인 효소를 억제하여 세균을 사멸시키지만 진핵생물이나 바이러스가 만들어 내는 효소에는 영향을 미치지 못하기 때문이다. 그러나 바이러스가 만드는 일부 효소는 항바이러스 약제의 표적이 되기도 한다. 대부분의 항바이러스 약제는 뉴클레오사이드 유도체로 바이러스의 핵산 합성을 억제한다. 예를 들면, 아시클로버(acyclovir)라는 약제는 바이러스의 중합효소가 바이러스 DNA를 합성하는 과정을 억제함으로써 허피스바이러스의 증식을 막는다. 이와 비슷하게 아지도티미딘(azidothymidine, AZT)은 HIV와 같은 레트로바이러스의 역전사효소의 작용을 막아 증식을 억제한다. 지난 20여 년 동안 HIV를 치료하는 약제를 개발하기 위해 계속 노력해왔다. 현재는 “칠테일(cocktail)” 요법이라 불리는 다약제 처방법이 가장 효과적인

것으로 알려져 있다. 칠테일 요법에서는 보통 두 종류의 뉴클레오사이드 유사물질과 한 종류의 단백질 억제제가 포함되어 바이러스가 생성되는 데 필요한 효소들의 작용을 억제한다.

## 신종 바이러스

갑자기 나타나거나 또는 의학계에 새로 보고되는 바이러스를 보통 신종 바이러스(emerging virus)라 한다. 에이즈를 일으키는 HIV를 전형적인 예로 들 수 있다. HIV는 1980년대 초에 샌프란시스코에 난데없이 나타난 것처럼 보였다. 이후 연구를 통해 1959년 벨기에령 콩고에서 나타난 사례까지 거슬러 올라간다는 사실이 알려졌다. 1976년 최초로 중앙아프리카에서 발견된 에볼라바이러스는 출혈열(hemorrhagic fever)을 일으키는 여러 종의 신종 바이러스 가운데 하나다. 출혈열은 고열, 구토, 다량의 출혈, 순환계 장애 등의 여러 증상을 동반하는데 상당히 치명적이다. 뇌염을 일으키는 여러 종의 위험한 신종 바이러스도 발견되었다. 한 예가 웨스트나일바이러스(West Nile virus)로 1999년 북미 지역에 처음 나타난 다음 이후 미국에서 48개의 인접한 주에 전파되었다. 그 결과 2012년에는 5,000건 이상의 감염 사례와 300명이 넘는 사망자를 기록했다.

2009년 4월에는 멕시코와 미국 지역에 독감과 유사한 유행성(epidemic) 질병이 크게 번졌다. 감염체는 계절성 독감을 야기하는 바이러스와 연관된 독감바이러스의 하나라는 것이 밝혀졌다 (그림 26.9a). 이 바이러스는 H1N1형으로 명명되었다. 독감바이러스의 명명체계는 뒤에서 설명하기로 한다. 이 바이러스 질환은 빠르게 확산되어 2009년 9월에 이르러 WHO에서는 이 질병을 전 세계적인 유행성 질병을 뜻하는 범유행성(pandemic; 광역유행성) 질병이라고 공표하기에 이르렀다. 11월까지 이 질병은 207



(a) 2009 범유행성 H1N1 A형 독감바이러스. 바이러스(파란색)에 감염된 세포(초록색)를 보여주는 채색된 SEM 영상.



(b) 2009 범유행성 독감 진단. 한국의 국제공항에서 열감지 장치를 통해 H1N1 독감에 걸려 열이 나는 승객을 검진하고 있다.

▲ 그림 26.9 사람의 독감



개 나라로 확산되었으며 600,000명 이상이 감염되어 거의 8,000명이 사망한 것으로 집계되었다. 공중보건당국은 조속하게 휴교령과 공공장소에 대한 접근 차단령을 내리는 등의 지침을 확립하였고, 백신개발과 사전 진단을 위한 노력에 박차를 가하였다(그림 26.9b).

이런 바이러스들이 왜 이렇게 갑작스럽게 사람들에게 나타나는 것이며 또한 이전까지는 매우 드물거나 심지어는 전혀 알려지지 않았던 심각한 질병을 일으키는 것일까? 바이러스 질병이 새로 출현하는 것에는 세 가지 과정이 작용한다. 첫째로, 이것이 아마 가장 중요한 이유일텐데, 기존 바이러스에 돌연변이가 발생했기 때문이다. RNA 바이러스는 RNA 중합효소들은 교정(proofread)을 하지 않으며 RNA 유전체 복제시 오류를 교정하지 않기 때문에 돌연변이 발생률이 매우 높다. 어떤 돌연변이는 기존의 바이러스를 이 바이러스에 면역력을 가진 사람에게조차 질병을 일으킬 수 있는 새로운 유전적 변이형으로 바꾼다. 예를 들면 계절형 독감이 유행하는 까닭은 대체로 기존의 바이러스와 유전적으로 충분히 달라 사람들이 거의 면역력을 지니지 못하는 새로운 형태의 독감바이러스가 나타나기 때문이다. 이와 같은 사례를 **과학적 분석 기술의 연습**에서 살펴보게 될 것이다. 여기서 여러분은 2009년 독감 바이러스의 변이체에 나타난 유전적 변화를 분석하여 독감의 전파 과정과 연결시킬 수 있을 것이다.

바이러스성 질병의 출현을 야기하는 두 번째 과정은 작고, 격리된 인간 집단에서 바이러스성 질병이 전파되는 것이다. 예를 들어 에이즈는 세계적으로 퍼지기 전에 수십 년 동안 거의 그 존재를 알지도 이름이 붙어 있지도 않았다. 이와 같은 경우는 세계 여행의 확산, 혈액투석, 개방적인 성생활, 정맥 주사약의 남용 따위와 같은 기술적이고 사회적인 요인으로 인해 이전에는 드물었던 질병이 세계적으로 유행하게 되었다.

새로운 바이러스성 질병의 세 번째 공급원으로는 다른 동물에 존재하던 바이러스가 사람에게 전파되는 것을 들 수 있다. 과학자들은 이런 방식이 사람의 신종 질환의 3/4가량을 차지하는 것으로 추정하고 있다. 동물이 특정한 바이러스를 몸에 지니고 이를 전파시킬 수는 있어도 병에 걸리지 않는 경우가 있다. 이런 동물을 해당 바이러스의 자연 저장고(reservoir)라 한다. 앞에서 이야기한 2009년 독감 범유행을 일으킨 H1N1 바이러스는 돼지에서 사람에게로 전해진 것으로 추정된다. 이런 이유로 인해 2009년 범유행된 독감이 초기에는 “돼지 독감”이라고 불리기도 했다.

유행성 독감은 생물종 사이에서 전파되는 바이러스의 영향을 알려주는 좋은 사례다. 독감바이러스에는 세 종류가 있다. B형과 C형은 사람만 감염시키며 유행병을 일으키지 않는다. 그러나 A형은 새, 돼지, 말, 사람을 포함하여 다양한 동물을 감염시킬 수 있다. A형 독감바이러스는 지난 100년 동안 인류 집단에 네 차례의 주요 유행성 독감을 일으켰다. 가장 치명적이었던 첫 번째 사례는 1918~1919년 사이에 유행하여 400~500만 명을 죽음

으로 몰아간 “스페인 독감” 범유행(pandemic)이다. 당시 제1차 세계대전에서도 수많은 병사들이 스페인 독감에 걸려 사망했다.

A형 독감을 일으키는 바이러스에는 종류별로 일정한 이름이 붙는다. 예를 들어 1918년과 2009년에 범유행성 독감을 일으킨 종류는 H1N1형이라 부른다. 이와 같은 이름은 바이러스의 표면에 존재하는 두 가지 단백질의 종류를 알려준다. H와 N은 각각 헤마글루티닌(hemagglutinin)과 뉴라미니데이스(neuraminidase)의 머리글자를 따온 것이다. 헤마글루티닌은 바이러스가 숙주세포에 부착하는 과정을 돕는 단백질로 서로 다른 16종이 알려져 있다. 감염된 세포에서 새로운 바이러스가 방출되는 과정을 돕는 효소인 뉴라미니데이스는 모두 9종이 알려졌다. 물새류에 기생하는 바이러스 종류에는 H와 N 사이의 모든 가능한 조합이 포함되어 있는 것으로 알려졌다.

1918년을 비롯한 독감의 범유행을 설명하는 그럴듯한 시나리오인 한 종의 숙주에서 다른 종의 숙주로 바이러스가 전해지면서 돌연변이가 발생했기 때문이라는 것이다. 돼지나 새와 같은 특정한 동물이 한 종류 이상의 독감바이러스에 감염되면 서로 다른 바이러스의 유전체 사이에서 유전자 재조합이 일어날 수 있다. 이때 서로 뒤섞인 RNA 분자가 완전한 재조합 바이러스 유전체를 이루어 바이러스 입자 안에 들어가면 새로운 형태의 바이러스가 탄생하는 것이다. 2009년 독감바이러스는 돼지의 몸 안에서 생성된 것으로 추정되는데, 그 안에는 새, 돼지 및 인간의 독감 바이러스 서열이 뒤섞여 있었다. 돌연변이와 함께 독감바이러스의 유전체를 이루는 여러 분자의 RNA가 다른 종류의 바이러스 RNA와 뒤섞여 조립되는 방식으로도 사람 세포를 감염시킬 수 있는 새로운 바이러스가 탄생할 수 있다. 이렇게 변화된 형태의 바이러스에는 이전에 한 번도 감염된 적이 없기 때문에 사람들은 면역성을 나타내지 못하고, 그 결과 신형 바이러스는 심각한 병원성을 나타낼 수 있다. 만일 이렇게 심각한 병원성을 지닌 독감 바이러스가 사람 사이에 널리 퍼질 수 있는 능력을 지닌 다른 바이러스와 재조합된다면 이 바이러스는 사람 사이에 쉽게 전파되어 심각한 유행성 질병의 발생을 야기할 수 있다.

장기적으로 볼 때 가장 큰 위협은 어쩌면 야생 조류 또는 가금류가 지니는 H5N1 바이러스일지도 모른다. 1997년 홍콩에서 최초로 새에서 사람에게 전파된 사례가 발생했다. 이후 H5N1 바이러스 감염에 의한 일반적인 사망률은 50%가 넘는 놀라운 수준을 보이고 있다. 게다가 H5N1의 숙주 범위가 확대되고 있어 서로 다른 바이러스와 유전물질을 뒤섞어 새로운 변종 바이러스가 출현할 가능성이 점점 높아지고 있다. 만일 H5N1 조류 바이러스가 쉽게 사람 사이에 전염되어 퍼질 수 있는 형태로 진화한다면 이는 1918년 범유행성 독감에 필적하는 심각한 위협이 될 수 있다.

이런 일이 얼마나 쉽게 일어날 수 있을까? 최근 사람의 독감 연구에 대한 작은 동물 모델로 쓰이는 족제비 연구자들에 따라



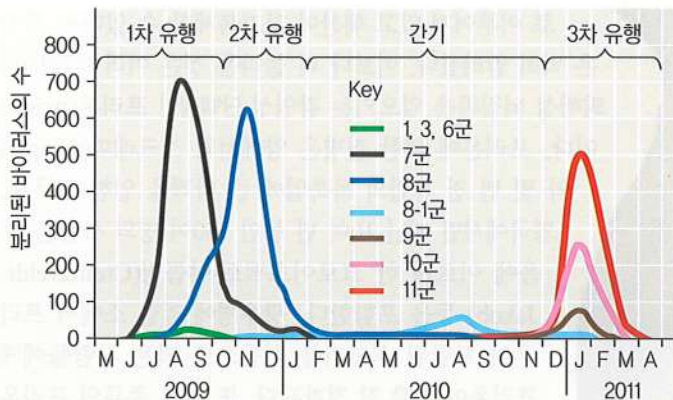
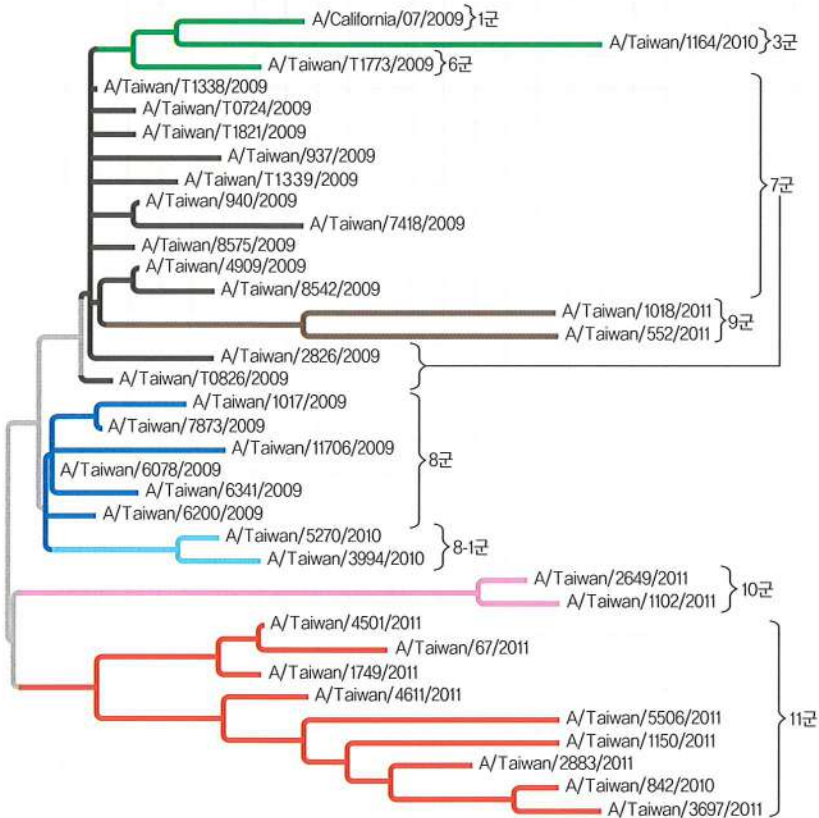
## DNA 서열에 근거한 계통수를 분석하여 바이러스 진화 경로를 탐색하기

DNA 염기서열 자료를 이용해서 범유행 시기의 독감바이러스 진화 경로를 추적하는 방법은? 2009년, H1N1 독감바이러스가 전 세계적으로 크게 유행했다. 바이러스는 세계적으로 전파되면서 집단발병을 일으킬 때마다 계속해서 조금씩 표면구조를 바꾸어갔다. 대만 연구진은 널리 독감백신을 보급하였음에도 불구하고 계속해서 바이러스 감염이 나타나는 이유를 알고 싶었다. 그들은 H1N1 바이러스에서 새로 진화한 변이형은 사람의 면역계를 피할 수 있을 것이라는 가설을 세웠다. 이 가설을 검증하려면, 유행시기별로 서로 다른 H1N1 변이형이 집단발병을 일으켰는지를 결정할 수 있어야 했다.

실험 방법 과학자들은 대만의 H1N1 독감 환자 4,703명에게서 수집한 시료에서 독감바이러스의 유전체 염기서열을 결정하였다. 이 서열과 다른 바이러스들의 헤마글루티닌(HA) 유전자 서열을 비교하여 계통수를 작성하였다(계통수 작성 방법에 대해서는 그림 22.5 참조)



▲ H1N1 독감 예방접종



▲ 과학자들은 분리된 바이러스의 종류와 수량을 분리한 시기별로 도시함으로써 시기에 따라 서로 다른 바이러스 변이체가 사람들에게 활발하게 병을 일으켰다는 사실을 알 수 있었다.

실험 데이터 왼쪽 위 그림이 실험 결과 얻은 계통수의 그림이다. 계통수의 잔가지 끝에는 각기 독특한 HA 유전자 서열을 지닌 H1N1 바이러스 변이체가 위치한다. 이 계통수를 보면 H1N1 변이형들 사이의 진화적 연관관계에 대한 작업가설을 파악할 수 있다.

### 데이터 해석

- 계통수는 H1N1 바이러스 변이형들 사이의 진화적 관계에 대한 다음과 같은 가설에 근거한다. 두 변이형 사이의 연관성이 높을수록 HA 유전자 서열이 더욱 비슷하다. 잔가지로 나누기 전의 매듭은 그 지점에서 서로 다른 돌연변이가 축적되면서 두 개의 계통으로 나누어졌음을 말한다. 가지의 길이는 두 종의 변이형 사이에 얼마나 많은 DNA 서열의 차이가 있는지, 즉 이들이 얼마나 멀리 떨어져 있는지를 측정하여 결정된다. 계통수를 참조하여 다음 두 쌍의 변이형들 가운데 서로 더 밀접하게 연관되어 있는 쌍을 고르고 이유를 설명하시오. (1) A/Taiwan/1018/2011 와 A/Taiwan/552/2011, (2) A/Taiwan/1018/2011 와 A/Taiwan/8542/2009
- 과학자들은 계통수의 가지들을 체계적으로 배열하여 하나의 조상형과 이로부터 유래한 모든 후손, 돌연변이 변이형으로 이루어진 집단으로 묶었다. 이 그림에서는 집단별로 다른 색으로 표시해 두었다. 집단 11을 예로 삼아 변이형들의 계통을 추적하시오 (a) 모든 매듭은 같은 수의 가지 또는 가지끝을 지니고 있는가? (b) 이 집단에서 모든 가지의 길이는 동일할까? (c) 위의 결과는 무엇을 의미하는가?
- 그래프에서 y축은 환자에게서 수집한 바이러스 시료의 수를 x축은 수집된 연월을 나타낸다. 각 변이형 집단별로 수를 집계한 다음 그 결과를 계통수와 같은 색으로 그래프에 나타내었다. (a) 어떤 변이형 집단이 대만에서 가장 먼저 100명 이상의 H1N1 독감 환자들을 발병시켰는가? (b) 한번 변이형 집단이 최대 감염자 수를 감염시킨 다음 같은 집단의 바이러스가 또 다른 집단 유행병을 일으켰는가? (c) 집단 1에서 한 변이형을 이용하여 범유행성 독감이 시작되는 매우 초기에 백신을 만들었다. 그래프에 근거하여 보았을 때 이 백신은 효과가 있는 것으로 보이는가?
- 9, 10, 11군은 모두 H1N1 변이형을 지니고 있으며 대만에서 동시에 대규모의 감염을 일으켰다. 이 결과는 '새로운 변이형이 새로운 유행성 감염을 일으킨다'는 과학자들의 가설이 옳지 않다는 것을 의미하는가? 그 이유는?

참고문헌 J-R. Yang et al., New variants and age shift to high fatality groups contribute to severe successive waves in the 2009 influenza pandemic in Taiwan, *PLoS ONE* 6(11): e28288 (2011). doi:10.1371/journal.pone.0028288.



면 조류 독감바이러스에 단 몇 개의 돌연변이만 일어나도 사람의 비강이나 기도 세포를 감염시킬 수 있다고 한다. 더욱이 과학자들이 축제비 한 마리에서 다른 축제비로 비강 분비물을 연속적으로 옮겨주자, 돌연변이 바이러스가 직접 축제비들 사이에서 전파되는 것을 확인할 수 있었다. 2011년 연구자들이 이 연구 결과를 학회에 보고하자 즉시 이 결과를 공개적으로 발표할 것인지에 대한 폭발적인 논쟁이 일어났다. 결국 학회는 이 연구가 범유행성 전염병 예방에 대해 갖는 잠재적인 유용성이 이 연구 결과를 나쁜 의도로 사용할 위험보다 더 크다는 최종 판단을 내렸고, 연구 결과는 2012년에 발표되었다.

지금까지 살펴본 것처럼, 신종 바이러스들은 대개는 그 자체로 새로운 것이라기보다 기존에 있던 바이러스에 돌연변이가 일어나 현재보다 더 넓은 숙주범위를 지니게 된 것이 많다. 숙주의 행동이나 환경의 변화로 인해 새로운 질병을 일으키는 바이러스가 쉽게 이동할 수도 있다. 예를 들면, 새로운 길이 뚫린다면 이전에는 격리되어 살았던 집단 사이에서도 바이러스가 전파될 경로가 열릴 수 있다. 또한 숲을 파괴하여 작물을 심는 면적이 넓어지면서 사람을 감염시킬 수 있는 바이러스를 보유하는 다른 동물과 접촉하는 일이 많아지기도 한다.

## 식물에서의 바이러스성 질병

식물에서는 2,000종 이상의 바이러스성 질병이 알려졌고 이로 인해 농작물과 화훼작물이 손상되어 세계적으로 해마다 150억 달러에 달하는 손실을 가져오는 것으로 집계되고 있다. 바이러스에 감염되어 나타나는 흔한 증상은 잎이나 열매의 색이 변하거나 갈색 반점이 나타나고(오른쪽의 노란 호박 사진처럼), 성장이 느려지며, 꽃이나 뿌리가 손상되는 것 등으로 모든 증상이 작물의 수확량이나 질을 감소시킨다.

식물 바이러스는 기본 구조와 생활사가 동물 바이러스와 동일하다. 담배모자이크바이러스(TMV)를 포함하여 지금까지 발견된 대부분의 식물 바이러스는 RNA 유전체를 지닌다. TMV처럼 나선 캡시드를 지니는 것이 많으나, 정20면체 캡시드 구조를 이루는 것도 있다(그림 26.3).

식물의 바이러스성 질병은 두 가지 주요 경로를 통해 전파된다. 첫 번째 경로는 수평전파(horizontal transmission)라 불리는 것으로 외부로부터 온 바이러스에 식물체가 감염되는 것을 말한다. 침입한 바이러스가 식물체의 외부 보호층을 이루는 세포(상피 세포)를 거쳐야 하므로 식물체가 바람, 상해, 해충 등으로 인해 손상을 입었을 때 바이러스 감염에 취약해진다. 특히 곤충과 같은 초식동물은 바이러스의 보인자 역할을 하여 식물과 식물 사이에 질병을 전파할 수 있기 때문에 이중의 위협이 된다. 농사짓는 사람들이나 화훼농장주들은 전지가위



나 다른 도구를 잘못 사용해서 식물 바이러스를 옮기기도 한다. 또 다른 바이러스 감염경로는 수직전파(vertical transmission)라 불리는데 이는 식물이 어버이로부터 바이러스 감염을 물려받는 경우를 말한다. 수직전파는 무성생식을 통해서 이루어지며(예를 들면, 꺾꽂이), 유성생식에서도 감염된 종자로부터 수직적으로 바이러스가 전파될 수 있다.

일단 바이러스가 식물세포에 들어가면 증식하기 시작하여 바이러스 유전체와 연관된 단백질들이 원형질연락사를 통해 식물체 곳곳으로 퍼질 수 있다. 원형질연락사란 인접한 식물세포 사이의 세포벽이 뚫려 서로 세포질이 연결된 부분을 말한다(그림 36.18). 바이러스에서 유래된 고분자가 세포와 세포 사이로 이동하는 것을 촉진하기 위해 바이러스가 만들어 내는 단백질은 원형질연락사를 확장시킨다. 과학자들은 아직 대부분의 바이러스성 식물 질병에 대한 치료법을 개발하지 못하고 있다. 그 결과 주로 이러한 병이 퍼지는 것을 줄이거나 질병에 강한 작물을 재배하려는 시도에 노력을 기울이고 있다.

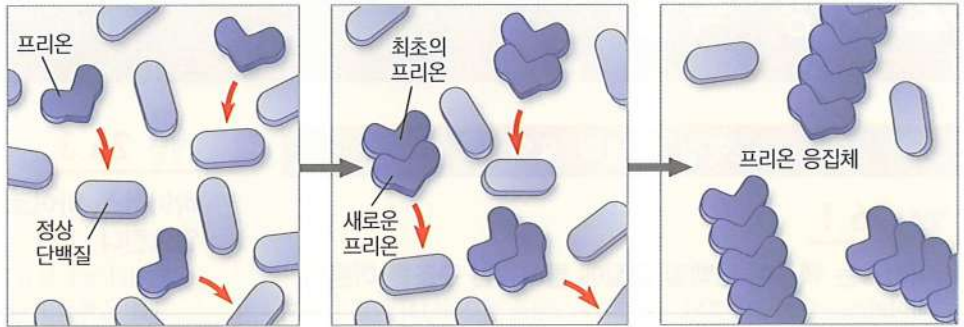
## 바이로이드와 프리온: 가장 단순한 감염체

바이로이드(viroid)는 바이러스만큼이나 작고 단순한 또 다른 종류의 감염체다. 이들은 2~3백 뉴클레오타이드에 불과한 원형 RNA 분자로 식물체를 감염시킨다. 바이로이드는 단백질을 암호화하지 않지만 숙주 식물세포 안에서 숙주세포의 효소를 이용하여 자신을 복제할 수 있다. 이 작은 RNA 분자는 식물의 성장을 조절하는 조절체계에 이상을 일으키는 것으로 생각된다. 바이로이드에 의한 질병의 전형적인 증상은 비정상적인 발달과 성장 저해다. 바이로이드가 일으키는 것으로 카당카당(cadang-cadang)이라 불리는 질병이 있는데 이는 필리핀에서 천만 그루 이상의 코코넛 야자나무를 죽이기도 했다.

바이로이드에서 얻을 수 있는 중요한 교훈은 단 하나의 분자가 질병을 일으키는 감염체로 작용할 수 있다는 것이다. 그러나 바이로이드는 핵산으로 이루어져 있고 핵산이 자가복제할 수 있다는 사실은 익히 알려졌다. 이보다 더 놀라운 것은 여러 동물에서 퇴행성 뇌질환을 일으키는 감염성 단백질인 프리온(prion)이다. 프리온에 의한 질병은 양에서의 스크래피(scrapie)와 몇 년 전 유럽의 목축업에 큰 타격을 입힌 광우병, 영국에서만 지난 10여 년 동안 150여 명의 사람을 죽음에 이르게 한 크로이츠펠트-야콥병(Creutzfeldt-Jakob) 등을 포함한다. 광우병에 걸린 소에서 프리온이 포함된 쇠고기를 식용으로 먹은 사람들에게 프리온이 가장 잘 전파된다. 또 다른 종류의 프리온에 의한 질병으로 쿠루병(Kuru)이 있는데 이는 1900년대 초에 뉴기니의 사우스 포레(South Fore) 원주민 집단에서 처음 알려졌다. 1960년대에 이르러 쿠루병이



▶ **그림 26.10 프리온의 증폭 과정을 설명하는 모형.** 프리온 단백질은 정상적인 뇌 단백질이 잘못 접혀서 생긴다. 프리온이 정상적으로 접힌 단백질과 접하게 되면 정상 단백질을 비정상적인 구조로 바꾼다. 이 같은 연쇄반응이 계속되면서 프리온 단백질이 축적되어 위험 수위에 이르면 세포의 기능이 제대로 이루어지지 않고 결국 뇌가 퇴화된다.



그 지역에서 크게 유행하여 쿠루병을 유전 질환이라 생각했던 여러 과학자들을 혼란에 빠뜨렸다. 그러나 결국 인류학적 연구를 통해 그 병이 어떻게 전해지는지 밝혀내었다. 당시 사우스 포레 원주민들 사이에 널리 퍼져 있었던 식인의식이 원인이었던 것이다.

프리온은 두 가지 주목할 만한 특징을 지닌다. 첫째, 프리온은 매우 천천히 작용한다. 증상이 나타나기 전에 적어도 10여 년 정도의 잠복기를 거친다. 잠복기가 길어지면서 감염원을 확인하지 못한 채 증상이 처음 나타나기도 전에 이미 여러 차례 전염되곤 한다. 둘째, 프리온을 파괴하는 것은 거의 불가능하다. 프리온은 보통의 조리온도에서는 파괴되지도 활성을 잃지도 않는다. 지금까지 프리온성 질환에 대한 치료법은 알려지지 않았다. 효과적인 치료법을 개발하기 위한 유일한 희망은 감염 과정을 이해하는 것이다.

스스로 복제할 수 없는 단백질이 어떻게 전염될 수 있을까? 현재의 주류 가설은 프리온은 정상적으로 뇌세포에 존재하는 단백질이 잘못 접혀진 형태라는 것이다. 프리온이 정상 단백질이 들어 있는 세포 안으로 침입하면 정상적인 단백질을 프리온 형태로 전환시킨다. 여러 분자의 프리온은 서로 사슬형태로 합쳐지면

서 다른 정상 단백질을 프리온으로 바꿀 수 있는 복합체가 된다 (그림 26.10). 프리온이 응집되면 정상적인 세포 기능이 저해되어 질병이 나타난다. 1980년대 초반에 프루시너(Stanley Prusiner)가 처음 이와 같은 가설을 제시하였을 때 많은 사람이 회의적인 반응을 보였으나, 이제는 이 가설이 널리 수용되고 있다. 프루시너는 프리온에 대한 연구 업적으로 1997년 노벨상을 수상했다. 그는 최근 프리온이 또한 알츠하이머와 파킨슨병과 같은 퇴행성 뇌 질환에도 관여한다는 가설을 제시했다. 이들 작은 감염체에 대한 해결되지 않은 의문은 수없이 많이 남아 있다.

### 개념 확인 문제 26.3

1. 기존에 존재하였던 바이러스가 새로 출현하게 되는 과정을 설명하라.
2. 바이러스의 수평전파와 수직전파를 비교하라.
3. **DRAW IT** 거의 모든 담배 제품에서 TMV가 발견되었다. 그럼에도 불구하고 담배를 피우는 사람들 사이에서 TMV 감염이 문제가 되지 않는 이유는 무엇일까?

정답은 부록 A 참조



# 26 장 복습

## 핵심 개념의 요약

### 개념 26.1

#### 바이러스는 핵산이 단백질 껍질에 둘러싸인 구조를 이룬다

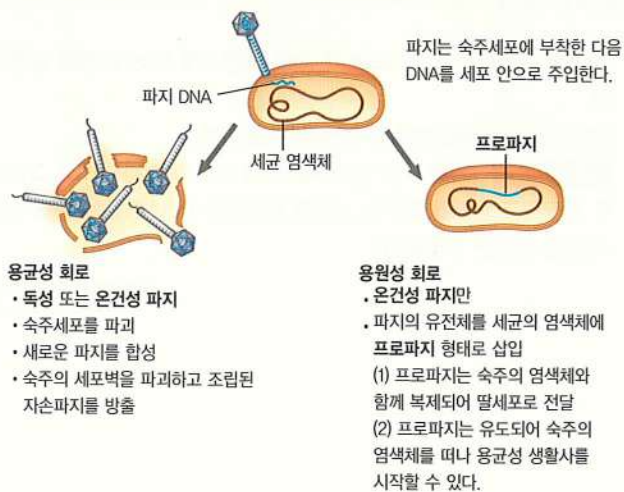
- 바이러스는 1800년대 후반 담배모자이크병을 연구하면서 처음 발견되었다.
- 바이러스(virus)는 작은 핵산 유전체가 단백질 캡시드(capsid)로 둘러싸인 구조이며 막으로 이루어진 외피가 존재하는 경우도 있다. 외피(viral envelope)에는 바이러스가 세포 안으로 침입하는 과정을 도와주는 바이러스 단백질이 존재한다. 바이러스 유전체는 단일가닥 또는 이중가닥의 DNA나 RNA로 이루어진다.

? 바이러스를 일반적인 생명체로 간주할 수 있을까? 그 이유는?

### 개념 26.2

#### 바이러스는 숙주세포에서만 증식한다

- 바이러스는 숙주가 지니는 효소, 리보솜, 작은 분자 등을 이용하여 자신만의 바이러스 입자를 형성한다. 바이러스마다 숙주범위(host range)가 다르다.
- 파지(phage; 세균을 감염시키는 바이러스)는 용균성 회로(lytic cycle)와 용원성 회로(lysogenic cycle)의 두 가지 과정으로 증식할 수 있다.



- 많은 종류의 동물 바이러스가 외피를 지닌다. HIV와 같은 레트로바이러스(retrovirus)는 역전사효소(reverse transcriptase)를 이용하여 자신의 RNA 유전체를 DNA로 복사한다. 복제된 DNA는 숙주의 유전체에 삽입되어 프로바이러스(provirus)의 형태로 존재하기도 한다.
- 바이러스는 세포 내에서만 증식할 수 있으므로 최초의 세포가 나타난 이후에 세포의 핵산 일부가 따로 포장되면서 생성되었을 것으로 생각된다. 바이러스의 유래에 대해서는 여전히 논쟁이 진행되고 있다.

? 대부분의 세포에는 존재하지 않지만 특정 종류의 바이러스 복제에는 반드시 필요한 효소에 대해 설명하라.

### 개념 26.3

#### 바이러스, 바이로이드, 프리온은 동물에서 심한 질병을 일으킨다

- 바이러스에 감염되었을 때 나타나는 증상은 바이러스가 세포에 직접 해를 입혀서 나타나는 것일 수도 있고 신체의 면역반응에 의한 것일 수도 있다. 백신(vaccine)은 우리 몸의 면역체계를 촉진하여 특정한 바이러스를 방어할 수 있도록 해준다.
- 질병이 광범위하게 퍼져 발병하는 경우를 유행성(epidemic)이라 하며 이것이 여러 나라에 걸쳐 확산되는 경우를 범유행성(pandemic)이라 한다.
- “새로운”바이러스 질환의 집단 발병은 대개 기존에 존재하고 있었던 바이러스가 숙주의 범위를 확장하면서 나타난다. 2009년의 H1N1 독감바이러스는 돼지, 사람, 조류 바이러스 유전자의 새로운 조합형으로 범유행성 독감을 일으켰다. H5N1 조류 독감바이러스 또한 심각한 범세계적인 독감유행을 야기할 가능성이 있다.
- 바이러스는 손상된 세포벽을 통한 수평적 전파, 또는 어버이 세대에서 자식에게로 수직적 전파과정을 통해 식물세포에 침입한다.
- 바이로이드(viroid)는 식물을 감염시켜 성장을 저해하는 RNA 분자다. 프리온(prion)은 오랜 기간에 걸쳐 작용하는 사실상 파괴하기 어려운 감염성 단백질로 포유류에서 뇌질환을 일으킨다.

? RNA 바이러스의 어떤 특성이 DNA 바이러스에 비해 새로운 바이러스를 출현시키기 유리한가?

## 생각해보자

### 수준 1: 지식/이해

- 다음 특성, 구조, 과정 가운데 세균과 바이러스가 공통적으로 갖는 것은?
  - a. 대사
  - b. 리보솜
  - c. 핵산으로 이루어진 유전물질
  - d. 세포분열
- 신종 바이러스가 나타나는 까닭은?
  - a. 기존 바이러스의 돌연변이
  - b. 새로운 숙주로 기존의 바이러스가 전파
  - c. 숙주범위의 생물종 내부에서 기존의 바이러스가 더 널리 전파
  - d. a, b, c 모두 정답
- H5N1 조류 독감바이러스가 인류 집단에서 범유행성 질병을 일으키려면?
  - a. 참팬지와 같은 유인원에게 전파되어야 한다.
  - b. 새로운 숙주 범위를 갖는 바이러스로 바뀌어야 한다.
  - c. 사람에게서 사람으로 전파될 수 있어야 한다.
  - d. 더욱 병원성이 강해져야 한다.

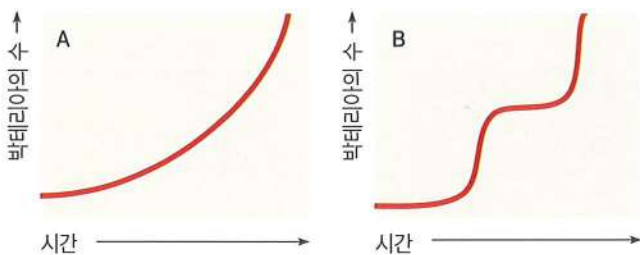


## 수준 2: 응용/분석

4. T2 파지의 단백질 껍질과 T4 파지의 DNA를 지니는 박테리오파지를 실험실에서 제조하여 세균에 감염시켰다. 자손 파지는 어떤 것이겠는가?
  - a. T2 단백질과 T4 DNA
  - b. T2 단백질과 T2 DNA
  - c. T4 단백질과 T4 DNA
  - d. T4 단백질과 T2 DNA
5. RNA 바이러스는 바이러스 자체에서 특정한 효소를 반드시 갖고 있어야 한다. 그 이유는?
  - a. 숙주세포가 바이러스를 빠른 속도로 파괴하기 때문이다.
  - b. 숙주세포에는 바이러스 유전체를 복제할 수 있는 효소가 없기 때문이다.
  - c. 이들 효소가 바이러스 mRNA를 단백질로 번역하기 때문이다.
  - d. 이들 효소가 있어야 숙주에 세포막을 뚫고 들어갈 수 있기 때문이다.
6. **DRAW IT** mRNA와 동일한 단일가닥 RNA 유전체를 지니는 바이러스(IV 유형 바이러스)의 생활사를 그림 26.7과 같은 형태로 그려라.

## 수준 3: 종합/평가

7. **진화적 관점**  
일부 바이러스는 숙주 내에서 진화할 수 있는 능력이 있어 성공적으로 생존해 왔다. 이런 바이러스는 빠른 속도로 변이를 일으키고 신체의 면역체계가 바이러스를 공격하기 전에 변형된 자손 바이러스를 다량으로 방출함으로써 숙주의 방어체계를 피한다. 따라서 감염 후기에 나타나는 바이러스는 숙주를 처음 감염시킨 바이러스와 다르다. 이와 같은 경우를 예로 들어 미소생태계 내에서의 진화를 설명하라. 어떤 바이러스 계통이 살아남는 경향을 보이겠는가?
8. **과학적 탐구**  
동물이 세균에 감염되면 몸 안에서 세균의 수가 기하급수적으로 증가한다(그래프 A). 그러나 독성 동물 바이러스에 감염된 경우에는 한 동안 바이러스가 감지되지 않는다. 그리고 나서 일정 시간이 지난 다음 바이러스의 수가 갑자기 늘어나는 과정이 몇 차례 반복된다(그래프 B). 세균과 바이러스의 생장곡선이 다르게 나타나는 이유를 설명하라.



## 9. 글쓰기: 조직

대부분의 과학자들이 바이러스를 무생물로 간주한다. 그러나 바이러스도 구조와 기능이 서로 연관되어 있다는 점을 포함하여 몇 가지 생명체의 특징을 지니고 있다. 100~150단어의 짧은 글을 지어 바이러스의 구조가 그 기능과 어떻게 연관되어 있는지를 논하라.

## 10. 종합적으로 생각해보기



오셀타미비어(Oseltamivir, 제품명 타미플루)는 독감에 걸렸을 때 처방되는 약제로 뉴라미니데이즈 효소를 억제한다. 이 약물은 독감에 걸리는 것을 막아주거나 감염된 환자가 독감으로 고생하는 시간을 단축하기 위해 사용한다. 이 약제는 어떻게 이와 같은 효과를 나타낼 수 있을까?

정답은 부록 A 참조