

◀ 단백질에 묻혀 있는 키틴은 절지동물의 외골격을 형성한다. 매미가 탈피를 하고 있으며, 낡은 외골격 허물을 벗고 성체 형태로 나타나고 있다.

▶ 키틴은 상처 혹은 수술 자리가 치유된 후에 분해되는 강하고 유연한 수술용 실을 만드는 데 사용된다.



▲ 그림 5.8 구조 다당류인 키틴

포도당을 소에게 영양분이 되는 다른 성분으로 전환시킨다. 이와 유사하게, 셀룰로오스를 스스로 분해하지 못하는 흰개미의 창자에는 목재로부터 음식을 만들 수 있는 이와 같은 생물체가 서식하고 있다. 어떤 곰팡이는 토양 및 여러 장소에서 셀룰로오스를 분해시킬 수 있어서, 지구 생태계 내에서 화학 성분의 재순환을 돕는다.

키틴(chitin)은 또 다른 중요한 구조 다당류인데, 곤충, 거미, 갑각류와 같은 절지동물이 외골격을 만드는 데 사용하는 탄수화물이다(그림 5.8). 외골격은 동물의 부드러운 부위를 둘러싸고 있는 단단한 껍데기라고 할 수 있다. 단백질 층에 박혀 있는 키틴으로 만들어진 껍데기는 처음에는 가죽처럼 유연성이 있지만, 단백질들이 서로 화학적으로 연결되거나(곤충의 경우), 탄산칼슘으로 뒤덮이면(게의 경우) 딱딱하게 된다. 키틴은 셀룰로오스 대신 세포벽의 구성물질로 사용하는 여러 균류에서도 발견된다. 키틴은 β결합을 갖는 점에서 셀룰로오스와 유사하지만, 키틴의 포도당 단위체에는 질소를 포함하는 잔기가 붙어 있는 점이 다르다(그림 5.8의 상단 오른쪽).

개념 확인 문제 5.2

1. 탄소 3개를 갖고 있는 당류의 분자식을 써라.
2. 탈수반응은 2개의 포도당 분자를 연결해서 엿당을 만든다. 포도당의 분자식은 $C_6H_{12}O_6$ 이다. 엿당의 분자식은 어떻게 되는가?
3. WHAT IF? 세균에 감염된 소를 치료하기 위해 항생제를 준 후에 동물 의사는 다양한 원핵생물을 포함한 “장 배양”용액을 소에게 먹인다. 이는 왜 필요할까?

정답은 부록 A 참조

개념 5.3

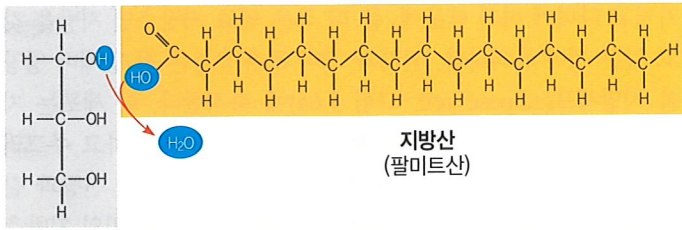
지질은 소수성 분자의 다양한 그룹이다

지질은 진정한 중합체를 포함하지 않는 큰 생체분자의 한 종류이며, 일반적으로 거대분자라고 여길 만큼 크지 않다. 지질(lipid)이라고 부르는 화합물은 하나의 중요한 특성을 공통적으로 갖고 있기 때문에 함께 그룹을 이룬다. 즉, 이들은 적어도 물과 잘 섞이지 않는다. 이러한 지질의 소수성은 분자 구조로부터 기인된다. 지질은 산소와 결합하는 일부 극성결합을 갖고 있지만, 대부분은 탄화수소로 구성되어 있다. 지질은 형태와 기능 모든 면에서 매우 다양한 그룹이다. 지질에는 왁스나 어떤 색소도 포함되지만, 여기서는 지질 중 생물학적으로 가장 중요한 종류인 지방, 인지질, 스테로이드에 초점을 맞출 것이다.

지방

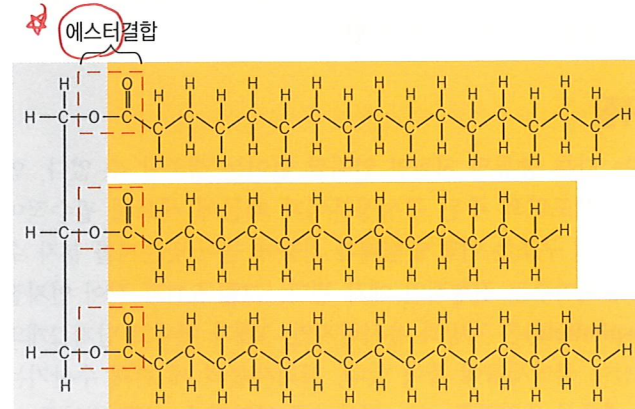
지방은 중합체는 아니지만 탈수반응에 의해 작은 분자들이 조립된 큰 분자이다. 지방(fat)은 글리세롤과 지방산이라는 두 종류의 작은 분자로부터 만들어진다(그림 5.9a). 글리세롤(glycerol)은 탄소 3개를 갖는 알코올이며, 각 탄소는 수산기를 갖고 있다. 지방산(fatty acid)은 긴 탄소골격을 갖고 있는데, 길이는 보통 탄소원자 16개 혹은 18개이다. 지방산 한 쪽 끝의 탄소는 카르복실기의 일부인데, 이는 이들 분자를 지방산이라고 부르게 하는 작용기이다. 지방산 골격의 나머지 부분은 탄화수소 사슬이다. 지방이 소수성인 이유는 지방산의 탄화수소 사슬에 있는 상대적으로 비극성인 C-H 결합 때문이다. 물분자는 다른 물분자와 수소결합을 하면서 지방을 배제하기 때문에 지방은 물로부터 분리된다. 이것은 쉼터드레싱 병에서 액체 지방인 식물성 기름과 수용성인 식초 용액이 분리되는 원인이다.

3개 지방산 분자와 글리세롤이 에스터 결합에 의해 연결되어 지방을 만든다. 이 결합은 수산기와 카르복실기 사이의 탈수반응에 의해 형성된다. 이렇게 만들어진 지방은 트리아실글리세롤(triacylglycerol)이라고 불리는데 글리세롤 한 분자에 3개의 지방산이 결합되어 있다. [이 지방은 또한 트리글리세리드(triglyceride)라고도 하는데, 이 단어는 포장 음식물의 성분 목록



글리세롤

(a) 지방 합성에서의 탈수반응



(b) 지방분자(트리아실글리세롤)

▲ **그림 5.9 지방 혹은 트리아실글리세롤의 합성과 구조.** 지방의 분자적 구성요소는 한 분자의 글리세롤과 세 분자의 지방산이다. (a) 하나의 지방산이 글리세롤과 결합할 때마다 물 한 분자가 빠져나간다. (b) 3개의 지방산 단위를 갖고 있으며 그중 2개는 동일한 지방산을 갖는 지방분자. 지방산의 탄소는 지그재그로 배열되어 있어, 각 탄소에서 뿔어 나온 4개의 단일결합의 실제 방향을 암시해 준다(그림 4.3a).

에서 종종 볼 수 있다.] 한 지방의 지방산이 모두 같을 수도 있지만, 2~3개의 지방산이 다른 종류일 수도 있다(그림 5.9b).

포화지방(saturated fat)과 불포화지방이라는 용어는 영양과 관련하여 일반적으로 사용된다(그림 5.10). 이 용어는 지방산의 탄화수소 사슬의 구조를 나타내고 있다. 만일 사슬을 이루는 탄소원자 간에 이중결합이 없으면 수소원자는 탄소골격에 가능한 많이 붙게 된다. 이런 구조를 수소로 포화되었다고 하며, 그런 지방산을 포화지방산(saturated fatty acid)이라 부른다(그림 5.10a). 불포화지방산(unsaturated fatty acid)은 한 개 또는 여러 개의 이중결합을 가지고 있어서 이중결합을 하는 탄소 하나당 한 개의 수소원자를 적게 가진다. 천연 지방산의 거의 모든 이중결합은 *cis* 이중결합인데, 이는 탄화수소 사슬 어디에 생기더라도 꺾임 구조를 만든다(그림 5.10b). (그림 4.7b에서 *cis*와 *trans* 이중결합 구조를 복습하시오.)

포화지방산으로 만들어진 지방을 포화지방이라고 한다. 대부분의 동물성 지방은 포화지방인데, 지방분자의 '꼬리'인 지방산의 탄화수소 사슬에 이중결합이 없으며, 이들의 유연성은 지방분자가 촘촘히 배열하게 해준다. 라드나 버터와 같은 동물성 포화지

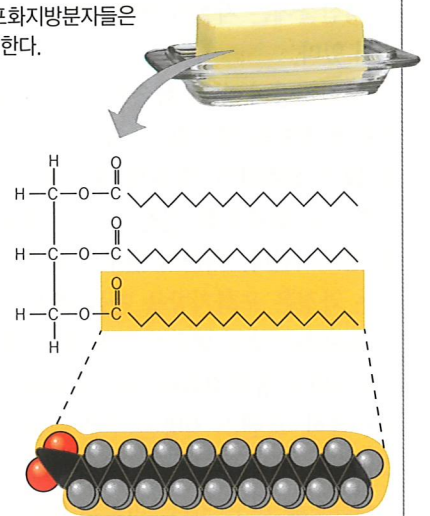
▼ **그림 5.10 포화 및 불포화 지방과 지방산**

(a) 포화지방

실온에서 버터의 지방과 같은 포화지방분자들은 조밀하게 채워져서 고체를 형성한다.

포화지방분자의 구조식 (각 탄화수소 사슬은 지그재그 선으로 표시되어 있는데, 구부러진 모서리는 탄소원자를 나타내며 수소는 나타내지 않았다.)

포화지방산인 스테아르산의 공간채움 모형(적색 = 산소, 검은색 = 탄소, 회색 = 수소)

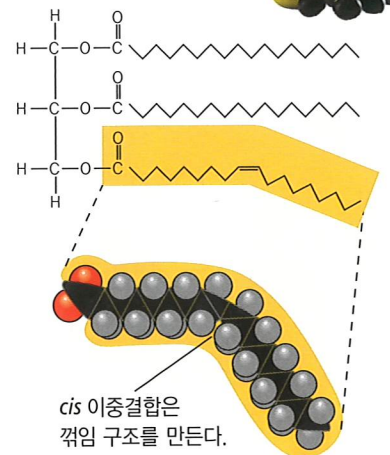


(b) 불포화지방

실온에서 올리브유와 같은 불포화지방분자는 이들 지방산의 탄화수소 사슬 내의 꺾임 구조 때문에 조밀하게 채워질 수 없어서 고체화될 수 없다.

불포화지방분자의 구조식

불포화지방산인 올레산의 공간채움 모형



방은 실온에서 고체이다. 반면에 식물과 생선 지방은 보통 불포화되어 있는데 이는 하나 또는 그 이상의 불포화지방산으로 구성되어 있음을 의미한다. 일반적으로 실온에서 액체인 식물과 생선의 지방은 기름(oil)이라고 부르며, 올리브기름이나 대두 간 기름이 그 예이다. *cis* 이중결합이 있는 부위에서 탄소 사슬의 꺾임은 실온에서 고체화가 될 정도로 분자들이 촘촘하게 배열되는 것을

막아준다. 식품 조성표에 쓰여 있는 “수소화된 식물성 기름”이라는 문구는 불포화지방에 수소를 첨가하여 인위적으로 포화지방으로 변환시켰다는 의미이다. 땅콩버터, 마가린 그리고 많은 다른 생산물에는 지질이 액체 상태로 분리되지 않도록 수소가 첨가되어 있다.

포화지방이 많이 함유된 식단은 동맥경화로 알려져 있는 심혈관계 질환을 일으킬 수 있는 여러 요인 중 하나이다. 포화지방을 많이 섭취하면, 혈관벽 내에 플라크라는 침전물이 생겨 혈관 안쪽으로 돌출부를 만들고 이는 혈류를 방해하고 혈관의 탄력을 감소시킨다. 최근의 연구에 따르면, 식물성 기름을 수소화시키는 과정은 포화지방을 만들 뿐만 아니라 *trans* 이중결합을 갖는 불포화지방도 만든다. 이러한 트랜스 지방(*trans fat*)은 포화지방보다도 동맥경화나 다른 문제를 일으킬 가능성이 더 많다(43장). 특히, 트랜스 지방은 구운 식품과 가공 식품에 많기 때문에, USDA는 식품의 영양성분표에 트랜스 지방 함량에 대한 정보를 표시하도록 하고 있다. 미국의 일부 도시와 덴마크와 스위스 적어도 두 나라는 식당에서 트랜스 지방을 사용하지 못하게 하고 있다.

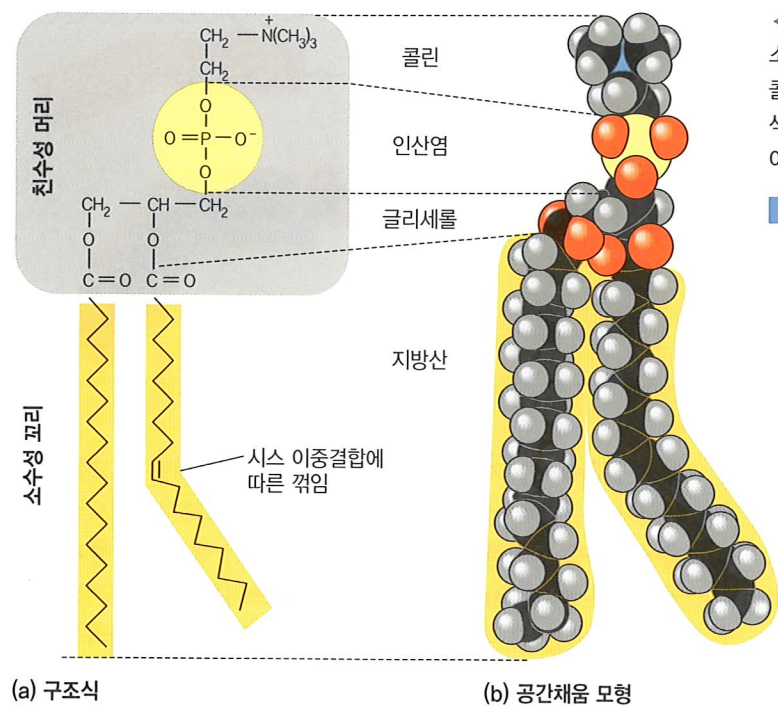
지방의 주된 기능은 에너지 저장이다. 지방의 탄화수소 사슬은 가솔린 분자와 유사하고, 에너지 측면에서도 그만큼 풍부하다. 1 g의 지방은 녹말과 같은 다당류 1 g에 비해 2배 이상의 에너지를 저장한다. 식물은 상대적으로 비이동성이므로, 녹말 형태의 큰 에너지 저장소를 갖고서도 기능을 수행할 수 있다. (식물성 기름은 주로 씨앗에서 얻는데, 씨앗은 식물이 보다 작은 저장고를 필요로 하는 곳이다.) 하지만 동물은 스스로 에너지 저장소를

가지고 다녀야 하기 때문에, 좀 더 작은 연료 저장소인 지방을 갖고 있는 것이 유리하다. 인간과 기타 포유동물은 장기 예비 영양을 지방세포(adipose cell, 그림 4.6a)에 축적한다. 이 세포는 지방이 저장되거나 저장소에서 빠져나갈 때 부풀기도 하고 쭈그러들기도 한다. 지방조직은 에너지를 저장할 뿐 아니라 신장과 같은 생명 유지에 필수적인 기관을 보호해 주고, 피부 밑의 지방층은 몸을 단열시키는 역할을 한다. 특히 고래, 바다표범 그리고 많은 해양 포유동물의 피하층은 두꺼운데, 이는 차가운 바닷물로부터 이들을 보호하는 역할을 한다.

인지질

세포는 다른 종류의 지질인 인지질 없이는 생존할 수 없다. 인지질은 세포막의 주된 구성성분이기 때문에 세포에 필수적이다. 인지질 구조는 어떻게 형태가 기능에 들어 맞는지를 분자 수준에서 보여주는 전형적인 예가 된다. **그림 5.11**과 같이 인지질(phospholipid)은 지방과 유사하지만, 3개가 아니고 단지 2개의 지방산이 글리세롤에 붙어 있다. 글리세롤의 세 번째 수산기는 세포 내에서 음전하를 띠는 인산기에 연결된다. 보통 전하를 띠거나 극성인 작은 분자들이 인산기에 추가로 연결된다. 콜린은 그런 분자 중 하나이며(그림 5.11), 그 외에도 다른 많은 분자들이 있어 서로 다른 다양한 인지질의 형성을 가능하게 한다.

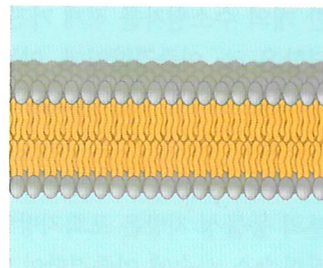
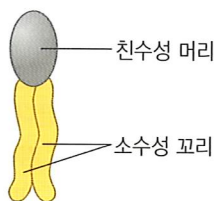
인지질의 양 끝은 물에 대해 서로 달리 작용한다. 인지질의 탄화수소 꼬리는 소수성이며 물로부터 배제된다. 하지만 인산기와 인산기에 붙어 있는 분자들은 물에 대해 친화력을 갖게 하여 친수성 머리를 만든다. 인지질을 물에 넣으면 물로부터 소수성 부



◀ **그림 5.11 인지질의 구조.** 인지질은 1개의 친수성(극성) 머리와 2개의 소수성(비극성) 꼬리를 가지고 있다. 포스파티딜콜린이라고 하는 인지질에는 콜린이 인산기에 붙어 있다. (a) 구조식, (b) 공간채움 모형(노란색은 인, 파란색은 질소), (c) 인지질을 나타내는 이 부호는 이 책에서 계속해서 사용될 것이다. (d) 수용액 환경에서 인지질이 스스로 조립되어 만드는 이중층 구조.

DRAW IT 공간채움 모형에서 친수성 머리 주위를 동그라미로 표시하라.

© Pearson Education, Inc.

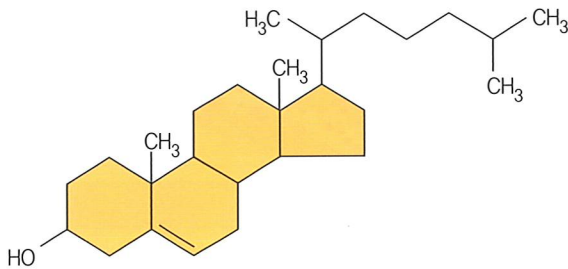


분을 감싸면서 스스로 조립되어 두 층으로 된 구조, 즉 “이중층(bilayer)”이 된다(그림 5.11d).

세포의 표면에서 인지질은 유사한 이중층 배열을 하고 있다. 분자의 친수성 머리는 이중층의 바깥쪽에 위치하며, 세포 안쪽과 바깥쪽의 수용액에 접하게 된다. 소수성 꼬리는 이중층 안쪽으로 향해 있고 물로부터 떨어져 있다. 인지질 이중층은 세포와 외부 환경 사이에 경계를 형성하는데, 실제로 세포의 존재 여부는 인지질의 특성에 의존한다.

스테로이드

스테로이드(steroid)는 4개의 연결된 고리로 구성된 탄소골격이 특징인 지질이다. 다른 스테로이드들은 이러한 고리 구조에 부착된 특정 작용기에 의해 구분된다. 스테로이드의 한 형태인 콜레스테롤(cholesterol)은 동물에게 매우 중요한 분자이다(그림 5.12). 콜레스테롤은 동물세포막의 흔한 구성성분이며, 척추동물의 성호르몬과 같은 또 다른 스테로이드를 합성하는 전구체의 역할을 한다. 척추동물은 간에서 콜레스테롤을 합성하며, 음식물로부터도 얻는다. 혈중 콜레스테롤 농도가 높으면 동맥경화가 일어날 수 있다. 실제로 포화지방과 트랜스 지방 모두 콜레스테롤 수준에 영향을 미침으로써 건강에 악영향을 미칠 수 있다.



▲ 그림 5.12 스테로이드의 하나인 콜레스테롤. 콜레스테롤 분자로부터 성호르몬을 포함한 다른 스테로이드가 합성된다. 스테로이드들은 4개의 서로 연결된 고리(금색)에 붙어 있는 화학기가 다양하다.

MAKE CONNECTIONS 개념 4.3에 나오는 성호르몬과 콜레스테롤을 비교하라. 콜레스테롤이 에스트라디올과 공통적으로 갖는 화학기에 동그라미로 표시하라; 또한 테스토스테론과 공통적으로 갖는 화학기는 네모로 표시하라.

개념 확인 문제 5.3

1. 지방(트리글리세리드)과 인지질의 구조를 비교하라.
2. 사람의 성호르몬을 왜 지질로 여길 수 있는가?
3. **WHAT IF?** 식물종자의 세포와 일부 동물세포에서 그러하듯, 막이 기름방울을 둘러싸고 있다고 가정하자. 막은 어떤 형태일지 기술하고, 왜 그런지 설명하라.

정답은 부록 A 참조

개념 5.4

단백질은 광범위한 기능을 수행하는 다양한 구조로 되어 있다

거의 모든 생명체의 역동적인 기능은 단백질에 의존한다. 실제로 단백질의 중요성은 “첫 번째” 또는 “1차적인”이라는 의미의 그리스어 *proteios*로부터 유래된 이름으로 인해 강조된다. 단백질은 대부분의 세포에서 건조 질량의 50% 이상을 차지하며, 생물체가 하는 거의 모든 일에 도움을 준다. 어떤 단백질은 화학반응의 속도를 높이는 반면, 다른 단백질은 방어, 저장, 수송, 세포 간 정보교환, 운동 또는 구조적 지지에 역할을 한다. 그림 5.13은 이러한 기능을 갖는 단백질의 예를 볼 수 있으며, 뒤의 장에서 더 배울 수 있을 것이다.

대부분이 단백질인 효소(enzyme) 없이는 생명은 불가능하다. 효소 단백질은 반응에 의해 소모되지 않으면서 선택적으로 화학반응의 속도를 높이는 화학물질인 촉매(catalyst)로 작용하여 물질대사를 조절한다. 효소는 계속 반복해서 기능을 수행할 수 있기 때문에, 이 분자들은 생명 과정을 수행함으로써 세포의 활동을 유지시키는, 마치 일하는 말과 같다고 생각할 수 있다.

인간은 무수히 많은 종류의 단백질을 가지고 있으며, 이들은 각기 특이한 구조와 기능을 갖고 있다. 사실, 단백질은 알려져 있는 분자 중 가장 구조적으로 정교하다. 단백질의 다양한 기능에 걸맞게 단백질의 구조는 광범위하게 달라서 각 단백질은 고유한 3차원적 형태를 갖는다.

단백질은 다양하지만, 모든 단백질은 20개 아미노산의 동일한 한 세트로부터 만들어지는, 가지없이 연결된 중합체이다. 아미노산 사이의 결합이 펩타이드 결합이라고 불리기 때문에, 아미노산의 중합체를 폴리펩타이드(polypeptide)라고 부른다. 단백질(protein)은 각기 접히거나 꼬여 특이한 3차원적 구조를 만드는 하나 또는 그 이상의 폴리펩타이드로 이루어진 생물학적 기능을 갖는 분자이다.

아미노산 단위체

모든 아미노산은 공통된 구조를 갖고 있다. 아미노산(amino acid)은 카르복실기와 아미노기를 모두 가지고 있는 유기분자이다(그림 4.9). 옆의 그림은 아미노산의 일반적인 구조를 보여준다. 아미노산 중심에는 알파(α)탄소라고 부르는 비대칭 탄소가 있다. α 탄소에 결합된 4개의 서로 다른 쪽으로 아미노기, 카르복실기, 수소원자, 그리고 R로 표시된 다양한 화학기가 있다. 곁사슬이라고 부르기도 하는 R기는 각 아미노산마다 다르다.

