

Chapter IX Lipids

学习目标

- 脂质的生物学功能
- 储存脂质的结构和性质
- 膜脂的结构和性质
- 信号脂质的结构和性质

脂质的生物学功能

- 储藏能量
 - 还原性物质
 - 疏水性，可紧密堆积
- 隔绝环境
 - 保温
 - 缓冲外力冲击
- 防水
 - 鸟类、防蒸发
- 为水生动物提供浮力与声学功能
- 组成生物膜
 - 主要：磷脂+甾醇
- 酶的辅因子、电子载体
 - 维生素K：血凝
 - 辅酶Q：线粒体中合成ATP
- 细胞信号转导
 - 旁分泌激素：局部
 - 甾类激素：全身
 - 生长因子、维生素A、维生素D
- 吸光色素
 - 赋予鸟颜色，如角黄素、玉米黄素
- 抗氧化剂
 - 维生素E

分类

- 含有脂肪酸：
 - 储能脂质（三酰甘油）
 - 膜脂
- 不含脂肪酸：
 - 胆固醇、维生素、色素

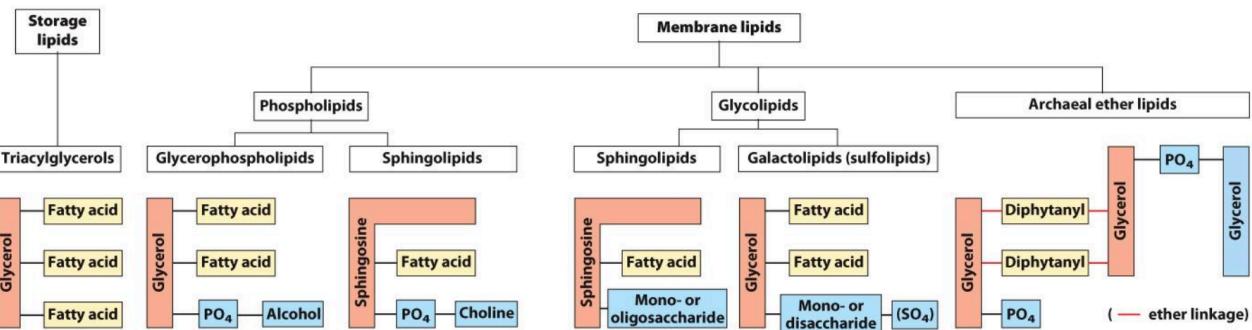


Figure 10-6
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

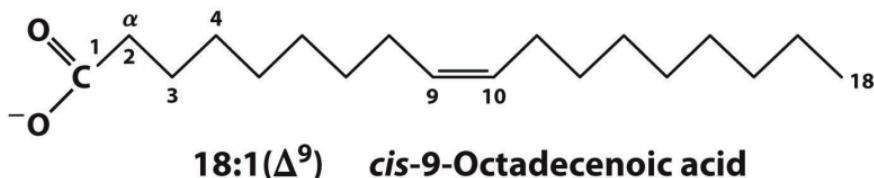
脂肪酸 FA

结构

- 天然的脂肪酸大多是偶数个碳
- 大多数是无分支的
- 类型：
 - 饱和Saturated
 - 单不饱和Monounsaturated
 - 多不饱和Polyunsaturated
- 不饱和键通常是顺式的 cis
- 在脊椎动物中，在血液循环中的自由脂肪酸由血清白蛋白运输，两者非共价交联（疏水相互作用）

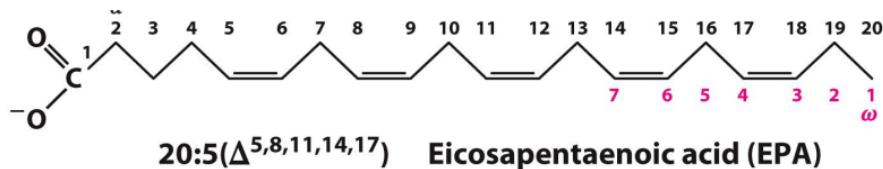
Delta命名法

- 从末端羧基碳开始编号，定位不饱和键
- $18:1(\Delta^9)$ 表示共有18个碳，3个不饱和键，从羧基碳开始，第9，12，15号碳是不饱和的



Unnumbered 10 p361
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

- **Omega (ω) 命名:** 从末端甲基碳开始编号。例如，油酸为 18:1 ω ⁹



物理性质

- **溶解度**
 - 随着链的增长而**降低**
- **熔点**
 - 随着链的增长而**升高**
 - 随着双键数量增多而**升高**

构象

- **饱和脂肪酸:**
 - 构型完全伸展
- **不饱和脂肪酸**
 - 双键顺式，形成扭结kink
 - 有序度低
 - 结构更松散
 - 熔点**更低**

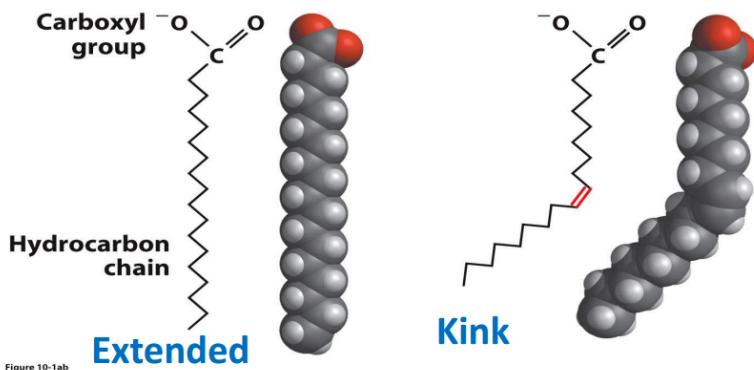


Figure 10-1ab
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

反式脂肪酸 trans

- 由不饱和脂肪酸部分脱氢形成
- 排列更有序，因此具有更高的熔点和热稳定性，保质期更长
- 摄入反式脂肪酸会增加心血管疾病的风险

三酰甘油（又称甘油三酯） Triacylglycerol

主要性质

- 一种非极性分子
- 固体的叫脂肪fat，液体的叫油oil
- 动物中脂质的主要储存形式
- 溶解度比脂肪酸低，密度比水小

结构

- 甘油骨架与三个脂肪酸形酯键，三个脂肪酸可以是不同的

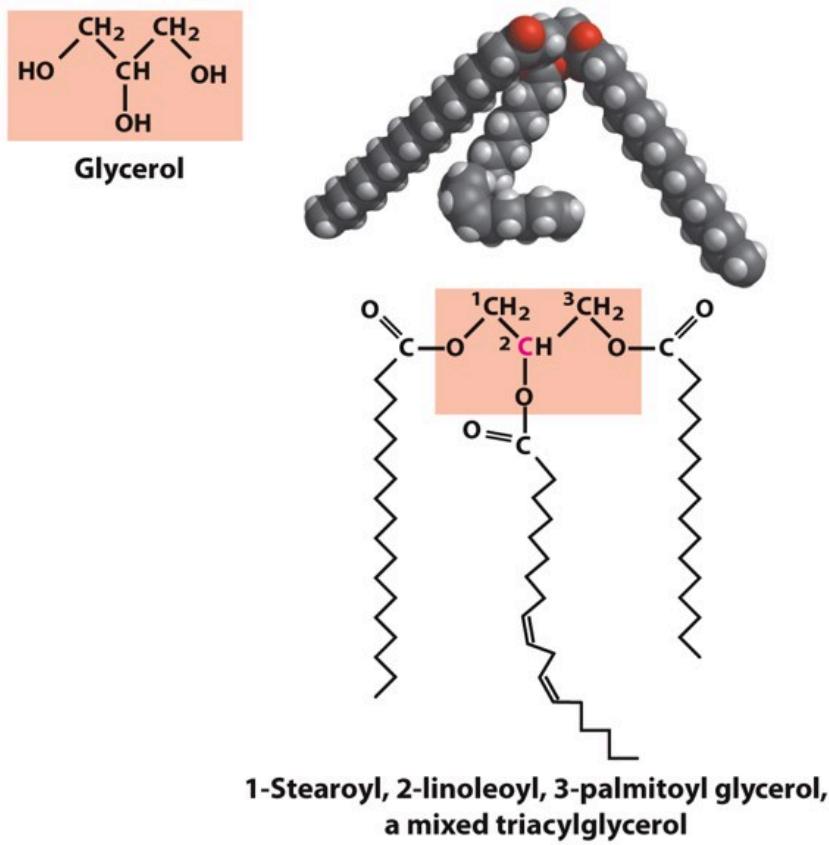


Figure 10-2
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

三酰甘油（脂肪、油）是高效的储能物质

- 和糖类相比更具有**还原性**，能携带更多能量
- **非极性**，聚集在一起含水量小
- 糖原是短期储存快速递送，脂肪是长期储存缓慢递送
- 生物体中的贮存方式：
 - 脊椎动物：储存在脂肪细胞中，同时包含了脂质酶，用于分解

- 。植物种子：通常是液态的油，为种子萌发提供能量

生物蜡 Biological Waxes

- 生物蜡是长链醇+不饱和脂肪酸形成的脂（例如下图蜂蜡是棕榈酸+三十烷醇）

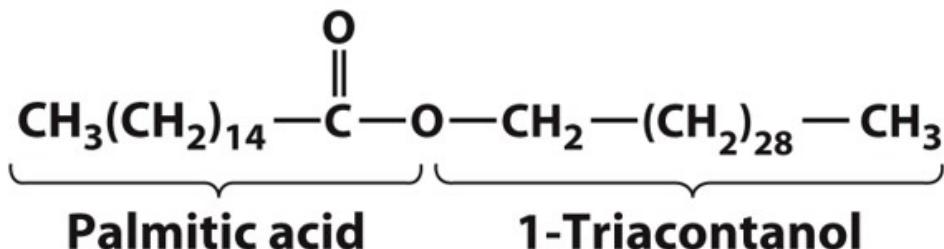


Figure 10-5a
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2012 W.H. Freeman and Company

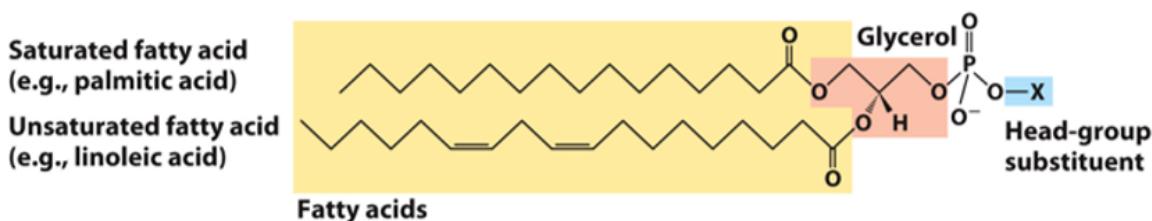
- 不溶、高熔点
 - 可用作能量储存和防水剂，例如浮游生物就用生物蜡作为代谢燃料

生物膜中的脂质

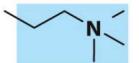
- 极性头部+非极性尾部
 - 多样性来源：
 - 骨架修饰
 - 头部修饰
 - 脂肪酸改变
 - 不同器官、组织的膜有不同的头部基团成分

甘油磷脂 Glycerophospholipids, GP

- 膜的最主要成分
 - 结构：
 - 甘油1号羟基通常连一个饱和脂肪酸
 - 甘油2号羟基通常连一个不饱和脂肪酸
 - 甘油3号羟基连接磷酸头部（头部还可以被进一步被X基团修饰）



- 磷脂酰乙醇胺/脑磷脂: $X = (CH_2)_2NH_3$
 - 磷脂酰胆碱/卵磷脂: $X = (CH_2)_2N(CH_3)_3$, 主要存在于真核生物细胞膜, 大肠杆菌不能合成

Name of glycerophospholipid	Name of X—O	Formula of X	Net charge (at pH 7)
Phosphatidic acid 磷脂酸	—	—H	-2
Phosphatidylethanolamine 磷脂酰乙醇胺/脑磷脂	Ethanolamine		0
Phosphatidylcholine 磷脂酰胆碱/卵磷脂	Choline		0

醚脂 Ether Lipids

- 基本骨架也是甘油，但是1号位是醚键，2号位一般是脂肪酸，3号位是磷脂
- 常见的有缩醛磷脂、血小板活化因子

鞘脂 Sphingolipids, SP

- 基本骨架是神经鞘氨醇，而非甘油
- 脂肪酸与鞘氨醇的氨基相连，形成酰胺键，形成神经酰胺
- 疏水头部连接的是糖链时，形成鞘糖脂
 - 常出现在细胞膜外表面，决定血型
 - 糖链最末端糖基转移酶没有是O型
 - 最末端连转移乙酰半乳糖胺的~酶是A型
 - 最末端连转移半乳糖的~酶是B型
 - 两种都有是AB型
- 疏水头部连接磷酸胆碱时形成鞘磷脂，常出现在包裹神经细胞的髓鞘中

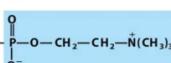
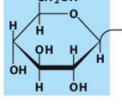
Name of sphingolipid	Name of X—O	Formula of X
Ceramide 神经酰胺	—	—H
Sphingomyelin 鞘磷脂	Phosphocholine	
中性糖脂 Neutral glycolipids Glucosylcerobroside	Glucose	
葡萄糖脑苷脂	Di-, tri-, or tetrasaccharide	
乳糖神经酰胺 (红细胞糖苷脂) Lactosylceramide (a globoside)		
Ganglioside GM2 神经节苷脂	Complex oligosaccharide	

Figure 10-12
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

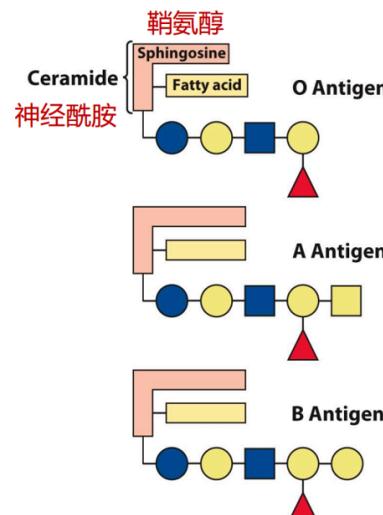


Figure 10-14
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W. H. Freeman and Company

膜脂的降解

- 生物膜脂质是不断降解更替的
- 降解发生在溶酶体中，通过磷脂酶A-D完成，不同的酶切不同的键，最后完全水解呈组成这种膜脂的基本单位，如甘油、脂肪酸、磷酸、糖……

甾醇/固醇 Sterols

结构

- 4个环组成甾核，几乎是平面的
- A环上有一个可变换的极性头部
- 有一条非极性的烷基侧链
- 胆固醇的结构：

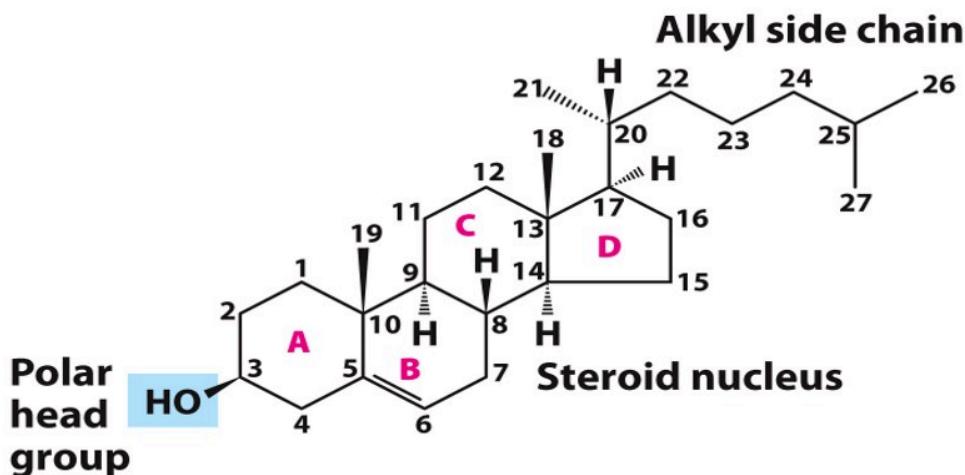


Figure 10-16
Lehninger Principles of Biochemistry, Seventh Edition
© 2017 W.H. Freeman and Company

生理功能

- 调节膜的流动性和稳定性
- 加厚生物膜
- 不存在于大多数细菌中
- 哺乳动物可以从食物中获取或在肝脏中从头合成
- 在血液中的运输需要通过蛋白质运载到组织
- 性激素、肾上腺皮质激素、糖皮质激素都是固醇
- 在低密度脂蛋白（LDL）中运输的胆固醇容易在动脉中沉积，导致动脉粥样硬化。

生物活性脂质

- 量少但功能重要
- 花生四烯酸及衍生物：前列腺素（炎症与发热）、血栓素、白细胞三烯（肺部平滑肌收缩）
- **维生素D**: 由胆固醇在紫外光照射下合成，调节钙代谢。
- **维生素A (视黄醇, Retinol)**: 由**β-胡萝卜素 (β-carotene)** 衍生而来。
 - 其衍生物**视黄醛 (Retinal)** 是视觉色素的组成部分。
 - 其衍生物**视黄酸 (Retinoic acid)** 作为激素信号调节基因表达。
- **维生素E**: 一种**抗氧化剂 (antioxidant)**。
- **维生素K₁**: 一种**凝血辅因子 (blood-clotting cofactor)**。
- 其他：V-E抗氧化剂，V-K凝血辅因子，线粒体电子载体（辅酶Q）、聚酮类（红霉素抗细菌，两性霉素B抗真菌、洛伐他汀是病毒抑制剂）

第十章 总结

本章中，我们了解到：

- 脂质是一类结构和功能多样、在水中溶解度低的分子。
- 三酰甘油是主要的储存脂质。
- 磷脂是膜的主要成分。
- 鞘脂在细胞识别中发挥作用。
- 胆固醇既是膜脂又是甾类激素的前体。
- 一些脂质在细胞间和组织间传递信号。