

揭阳职业技术学院
生物工程系

授 课 教 案

2025 -- 2026 学年度第二学期

课程名称 食品生物化学

班 级 食检（3+）251

教 研 室 食品教研室

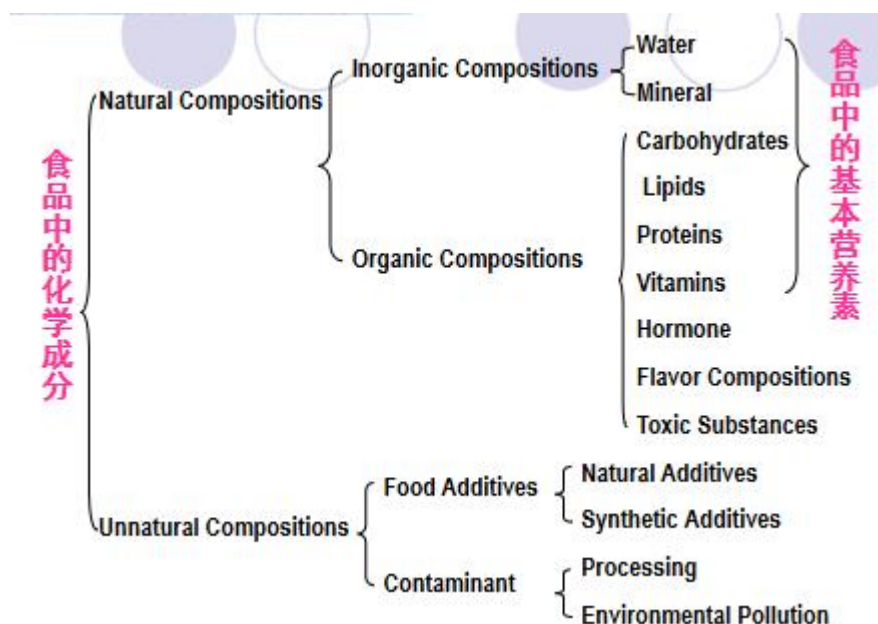
授课教师 林俊虹

理论部分：

第一章 绪论

| | | | | | |
|--|--------|---------|------------|------|-----|
| 授课章节 | 第一章：绪论 | | | | |
| 课时安排 | 4 | 教学方法及手段 | 讲授、案例分析、讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： | | | | | |
| 食品生物化学的概念 | | | | | |
| 食品生物化学的研究内容 | | | | | |
| 食品生物化学发展史与研究方法 | | | | | |
| 食品生物化学的学习方法与要求 | | | | | |
| 三维目标： | | | | | |
| 1.知识：了解食品生物化学的研究内容、方法、食品生物化学的最新进展和动态 | | | | | |
| 2.能力：重点掌握食品中主要的化学变化 | | | | | |
| 3.素养：培养食品安全意识 | | | | | |
| 教学重点、难点： | | | | | |
| 食品生物化学的概念、主要特点及研究食品生物化学的基本方法。食品中主要的化学变化及其对食品品质和安全性的影响。 | | | | | |
| 课程思政： | | | | | |
| 增强爱国情怀与民族自豪感 | | | | | |
| 教学过程： | | | | | |
| 绪 论 | | | | | |
| 一、 食品生物化学的概念 | | | | | |
| 1. 名词概念 | | | | | |
| 食品生物化学：是从化学角度和分子水平研究食品的组成、结构、理化性质、 | | | | | |

生理和生化性质、营养与功能性质以及它们在食品储藏、加工和运销中的变化的学科。



2. 食品生物化学与相关学科的关系

化学生物化学 食品生物化学 植物学 动物学 分子生物学等.

食品生物化学的准备课程无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、生物化学。

食品生物化学的学科特点：多源性 综合性 指导性 应用性（实践性）

3. 食品生物化学的分类

按研究内容的主要范围：

食品成分化学：研究食品中各种化学成分的含量和理化性质等。

食品分析化学：研究食品成分分析和食品分析方法的建立。

食品生物化学：研究食品的生理变化。

食品工艺化学：研究食品在加工贮藏过程中的化学变化。

食品功能化学：研究食物成分对人体的作用。

食品风味化学：研究食品风味的形成、消失及食品风味成分的化学。

按研究对象和物质分类：

食品糖类化学； 食品脂类化学； 食品色素化学； 食品风味化学；

食品毒物化学； 食品蛋白质化学； 食品酶学； 食品添加剂等。

二、 食品生物化学的研究内容

1、天然及非天然成分的性质、功能及人体需要；天然及非天然成分在食品原料中的变化；

2、变化天然及非天然成分在加工及储藏中的变化；

3、研究食品贮藏、加工新技术，食品资源的开发和科学利用；

4、天然及非天然成分对食品质量与安全的影响；

5、食品的色、香、味；通过色、香、味变化可以鉴定食品的：新鲜度、成熟度、加工精度、品种特征、变化的程度

6、食品中的毒害成分

1) 食品中原有的成分；2) 加工后产生的；3) 添加到食品中的有毒成分；4) 污染的成分；

7、食品的质量鉴定：理化鉴定法、微生物鉴定法、感官鉴定法。

(1) 食品成分之间的化学反应历程、中间产物和最终产物的化学结构，及其对食品的营养价值、感官质量和安全性的影响，控制食物中各种生物物质的组成、性质、结构、功能和作用机制，研究食品贮藏加工的新技术，开发新产品和新的食品资源等。

(2) 氧化是食品变质的主要原因之一，它造成食品的腐败、异味、变色，还可能生成有害物质，食品中一些天然物质如 VE、Vc、 β -胡萝卜素等是很好的抗氧化剂，均可抑制氧化反应的发生，阻止过氧化物、过氧化游离基等活泼物质对机体造成损害。

(3) 褐变反应是食品中发生的另一类重要反应，特别是美拉德褐变反应，在食品的热加工和长期贮藏中会发生该反应，由于它涉及到醛(一般是还原糖)和氨(蛋白质和氨基酸)，所以反应的发生对食品的营养价值产生了不利影响，但反应中生成的风味化合物及所形成的色泽，通常又是提高感官质量和产生风味所需的。

(4) 食品风味在食品质量中有着重要作用。食品风味除了新鲜水果和蔬菜外，主要是在加工过程中各成分之间的相互反应而生成的，因此控制食品的加工条件，产生所需要的风味是十分重要的，对风味化合物的分离、结构和形成途径的研究是食品风味化学的组成部分。

(5) 功能食品 80 年代以来, 由于世界经济的发展和水平的提高, 人们对食品的要求不仅仅是营养、风味及安全, 更注重食品的功能作用即增强人体免疫机能, 调整人体生物节律, 防止疾病发生, 恢复健康等作用, 对功能食品中功能因子的化学结构、性质及功能作用的研究将成为食品生物化学的又一重点研究课题。

三、 食品生物化学的发展史与研究方法

1. 食品生物化学的历史

食品生物化学起源于何时难以从历史记载中找到答案;

食品生物化学作为科学加以研究应追溯到十八世纪;

食品生物化学在十九世纪初逐步成为一门独立的学科;

与食品生物化学发展相关的科学家

A. L. avoisier (France) (1743-1794) C. W. Scheele (Sweden) (1742-1786) Nicolas (France) (1767-1845)M. E. Chevreul (France) (1786-1889)William (American) (1785-1853)J. V. Liebig (Germany) (1803-1873) A. L. avoisier

(1) 1780——1850: 瑞典化学家舍雷(scheele) 分离和研究了乳酸的性质。从柠檬汁和醋栗中分离出柠檬酸, 从苹果中分离出苹果酸。

(2) 1743——1794: 法国化学家拉瓦锡(Lavoisier)首先提出了用化学方程式表达发酵过程。

(3) 1767——1845: 法国化学家尼古拉斯 Nicolas 在 Lavoisier 工作基础上用于灰化的方法测定植物中矿物质的含量, 用燃烧分析方法测定了乙醇的元素组成。

(4) 1813: 英国化学家戴维(Davy)在《农业化学原理》一书中论述了食品生物化学的有关内容, 对食品生物化学分析、食品掺假的控制、食品检验起着极大的促进作用。

(5) 1786——1889: 法国化学家谢弗勒尔 Michel Eugene Chevreul 是有机物质分析的先驱, 发现和命名硬脂酸和油酸。

(6) 德国化学家李比希 Justus Von liebig 将食品分类为含氮的和不含氮的。1847: 出版了第一本有关食品生物化学的书《食品生物化学的研究》。

(7) 19 世纪中期: 英国 Arthur Hill Hassall 和助手们绘制了一套比较详尽的

显示纯净食品材料和掺杂食品材料的微观形象的示意图。

(8) 1860: 德国 W. Hanneberg 和 F. Stohman 发展了一种用来常规测定食品中主要成分的重要的方法。

(9) 1871: 法国化学家杜马 Jean Baptiste Dumas 提出仅由蛋白质、糖类和脂肪组成的膳食不足以维持人类的生命。

(10) 20 世纪前半期已发现了大部分基本的食用物质, 并对它们的性质作了鉴定, 这些物质是维生素、矿物质、脂肪酸和一些氨基酸。

与食品生物化学相关的国外学术刊物

<http://www.journals.elsevier.com/food-chemistry/>

<http://pubs.acs.org/journal/jafcau>

http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/622878/authorinstructions

http://www.nonprofitjournals.org/journals/cereal_chemistry.htm

与食品生物化学相关的国内学术刊物

《食品科学》

《中国食品学报》

《食品工业科技》

2. 食品生物化学的研究现状方法

采用模拟体系或简单体系进行研究

将动态多因子科学地分解成静态单因子

对于不同的研究对象用不同的研究手段

将生物技术用于食品生物化学研究中

(1) 食品在贮藏加工过程中各组分间相互作用对食品品质和安全性的不良影响

①质地变化: 食品组分的溶解性、分散性和持水量降低, 食品变硬或变软。

②风味变化: 酸败(水解或氧化), 产生蒸煮味或焦糖味及其他异味。

③颜色变化: 变暗、褪色或出现其他色变。

④营养价值变化: 维生素、蛋白质、脂类等降解, 矿物质和其他重要生物活性成分的损失。

⑤安全性的影响：产生有毒物质或形成有害健康物质。

食品的品质：

直观性品质特性：质构、色泽、风味。

质构：包括了食品的质地(硬，软，绵，脆等)，形状（大、小、粗、细）、形态（新鲜、衰竭、枯萎）。

最常见导致食品质构劣变的原因：食物成分失去溶解性、失去持水力及各种引起硬化与软化的反应。

色：指食品中各类有色物质赋予食品的外在特征，是消费者评价食品新鲜与否、正常与否的重要感官指标。

香：多指食品中宜人的挥发性成分刺激人的嗅觉器官产生的效果，加工的食品一般具有特征香气。“香”有时泛指食品的气味，如羊肉具有膻味。

味：指食品中非挥发性成分作用于人的味觉器官所产生的效果。

非直观性品质特性:消费者难以知晓的食品的质量特征特性。如食品的营养和功能特性。

食品安全性：

广义上：食品在食用时完全无有害物质和无微生物的污染。

实际上，无法按照这一定义来执行。主要原因：

第一，物质的有害性不是绝对的；

第二，不同的人群对食品的敏感性不一样；

第三，有害食品对人的毒害作用有急性和慢性的。

狭义上：食品被食用后，在一定时间内对人体不产生可观察到的毒害。

考虑食品的安全性的几种情况：

①原本就存在于食物中的有害物质；

②食品加工时有意无意添加到食品中的毒物；

③食品在贮运过程中产生的有毒物质。

(2) 影响食品品质特性的化学和生物化学反应

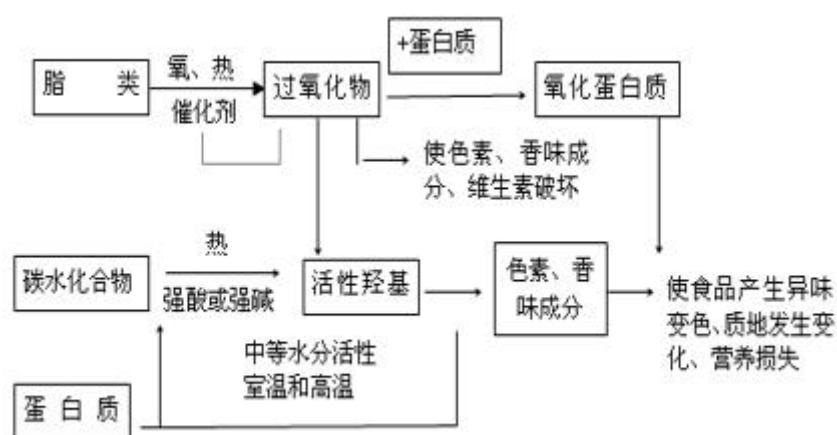
非酶褐变，酶促褐变，脂类水解，脂类氧化，蛋白质变性，蛋白质交联，蛋白质水解，低聚糖和多糖的水解，多糖的合成，糖酵解，天然色素的降解。

(3) 各类反应对食品品质和安全性的影响

食品的各类反应除了引起食品品质变坏，出现食品安全性问题外，有的反应则有利于食品品质的改良，如多糖或蛋白质的化学修饰和衍生物的合成。

食品变质一般是由一系列初级反应引起组分的分子结构发生变化，然后导致肉眼可见或其他感官能感觉的变化，产生对人体有害甚至致癌的物质。

食品中主要成分的反应和相互作用



从单一成分自身的反应来看，其反应的活性顺序为：脂肪>蛋白质>糖类。

脂肪与蛋白质都能在常温下反应，但脂肪的反应具有自身催化作用，因此，食物主要成分中脂肪是最不稳定。

(4) 食品生物化学反应的控制条件

食品在贮藏加工过程中的各种化学和生物化学变化与温度、时间、pH、食品的组成、水活性、反应速率都有关系。在中等范围内，反应符合 Arrhenius 方程

$$K = A \cdot e^{-\Delta E / RT}$$

式中 K 为温度 T 时的速率常数；A 为作用物分子间的撞频率； ΔE 反应活化能；R 为气体常数；T 为温度。

3. 食品生物化学研究的趋势

我国食品资源丰富而复杂、加工技术多样。因此，继续研究不同原料和不同食品的组成、性质和在食品贮藏加工中的变化依然是今后食品生物化学的主要课题。

开发新食源，特别是新的食用蛋白质资源，发现并脱除新食源中有害成分，

同时保留有益成分的营养与功能性。解决现有食品工业生产中存在的问题，如变色变味、质地粗糙、货价期短、风味不自然等。运用现代化科学与技术手段对功能性食品中有效成分的含量、结构、生理活性、保健作用、提取方法及食品应用加以深入研究，强化食品开发的科学性。风味化学和工艺学的研究将逐渐深入，并因为有现代分析与工艺技术的运用应达到新的深度。现有食品材料功能的改良：全天然魔芋消毒湿纸巾的研制；魔芋环保涂料；生物降解油菜杆餐具的研究；淀粉玩具。

4. 高新技术在食品工业中的应用

如微胶囊技术、膜分离技术、超临界提取技术、新灭菌技术、复合包装材料、微波技术、超微粉碎技术、可食用膜技术等。这些技术推动了食品生物化学的发展，也对食品生物化学的研究方法提出了更高的要求。

四、 食品生物化学的学习方法与要求

注意学习食品中主要成分的基本化学特点；对常见食品的化学组成的了解；熟悉重要反应与食品品质的关系，了解控制或加速相关反应的限制性条件或非限制性条件；掌握重要的专业名词（中英文）；学习过程中遇到的很多不明确的基础性问题及时查阅相关的书籍；培养对课程的学习兴趣，注意联系日常生活中的实际例子；了解食品生物化学发展的新动态。

作业布置：

- 1、什么是食品 and 食品生物化学？食品生物化学与其他学科的关系？
- 2、食品的化学组成？
- 3、食品生物化学的基本研究内容？
- 4、食品生物化学的重点研究内容？
- 5、食品生物化学的研究方法？
- 6、食品生物化学的发展前景和发展方向？

参考资料：

主要参考书：

1. 《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年

第二章 糖类

| | | | | | |
|---|--------|---------|---------|------|-----|
| 授课章节 | 第二章 糖类 | | | | |
| 课时安排 | 4 | 教学方法及手段 | 讲授、案例分析 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： 1、糖类的分类 2、单糖 3、低聚糖 4、食品中单糖和低聚糖的功能 5、多糖 | | | | | |
| 三维目标： 1、知识：能够区别不同的糖类； 2、能力：掌握糖类供能特点； 3、素养：掌握葡萄糖与果糖的吸收速度差别及应用 | | | | | |
| 教学重点、难点： 糖类结构 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程： <h3>糖类</h3> <h4>一、糖类的分类</h4> <p>概念：糖类也称糖类，是由碳、氢、氧三种元素组成的。是多羟基醛或多羟基酮及其衍生物和缩合物的总称。(羟基—OH，醛基，羰基 $>C=O$ 至少与一个氢原子相连，酮基：两个烃基与羰基相连)。糖类是自然界分布最广、数量最多的一类有机化合物，占有所有陆生植物和海藻干重的 3/4，存在于所有人类可食的</p> | | | | | |

用的植物中。糖类为人体提供日常生活所需的热量，糖类提供的热量占总摄入量的 70%-80%。

1. 糖类的作用：

是重要的能量来源与营养来源：

单糖和低聚糖是重要的甜味剂和保藏剂(高浓度糖渗透压大，微生物不易生长)：

与食品中其它成分发生反应产生色泽和香味：焦糖化反应，美拉德反应

具有较高黏度、凝胶能力和稳定作用：多指多糖

糖类在加工贮藏中的变化：

有利变化：淀粉糊化，纤维素水解，果胶在水果后熟中的适当降解

不利变化：淀粉老化，马铃薯甜化，甜玉米中蔗糖向淀粉转化

是否有利要依据食品的种类和变化的程度而定：焦糖化反应，美拉德反应

2. 糖类的分类：

单糖：是糖类的基本单位，是不能再被水解的多羟基醛或多羟基酮。单糖又按羟基的类型不同分为醛糖和酮糖。如：核糖、阿拉伯糖，半乳糖，葡萄糖等属于醛糖；果糖属于酮糖。

低聚糖：又叫寡糖，是由 2—10 个单糖分子脱水缩合而成的糖，完全水解后得到相应分子数的单糖。根据水解后生成单糖分子的数目，又可分为二糖(双糖)，三糖，四糖等。其中以双糖的分布最广，典型的双糖有蔗糖，麦芽糖。

多糖：多糖是由很多个单糖分子失水缩合而成的高分子化合物，其单糖单体少则几十个，多则成千上万个，水解后可以生成多个单糖分子。如果多糖是由相同的单糖组成的称为均多糖(或同聚多糖)，比如淀粉，纤维素；若多糖是由不相同的单糖缩聚而成的称为混合多糖(或杂多糖)，比如果胶，半纤维素等。

二、 单糖

1. 单糖的结构：

1、单糖的化学组成和链状结构：

(1)组成 $C_n(H_2O)_m$ ：所有食物中的低聚糖和多糖摄入人体后，都必须水解成单糖后才能被人体吸收。

(2)自然界中以 4，5，6 个碳原子的单糖最普遍。6 碳糖：葡萄糖，果糖；5

碳糖：核糖等等。按照官能团又分为醛糖或酮糖。依分子中碳原子的数目，单糖可分为丙糖，丁糖，戊糖，己糖，庚糖。

(3)分子中碳原子数 ≥ 3 的单糖含有手型碳原子(即离羰基最远的不对称碳原子)，凡单糖分子中离羰基最远的不对称碳原子上—OH的空间排布与D—甘油醛相同的，即—OH在不对称碳原子右边的为D—型；若与L—甘油醛相同，则为L—型。

2. 单糖的构型、结构、构象

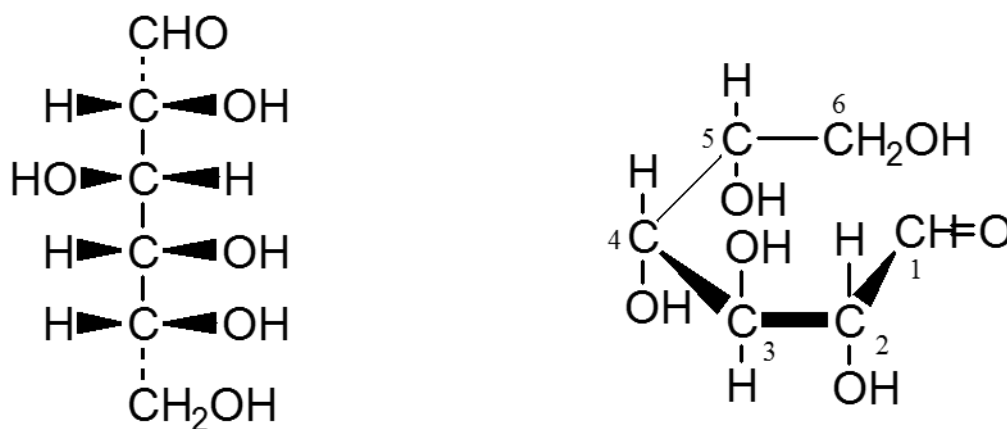
单糖的构型用D-或L-表示：

单糖的环状结构：

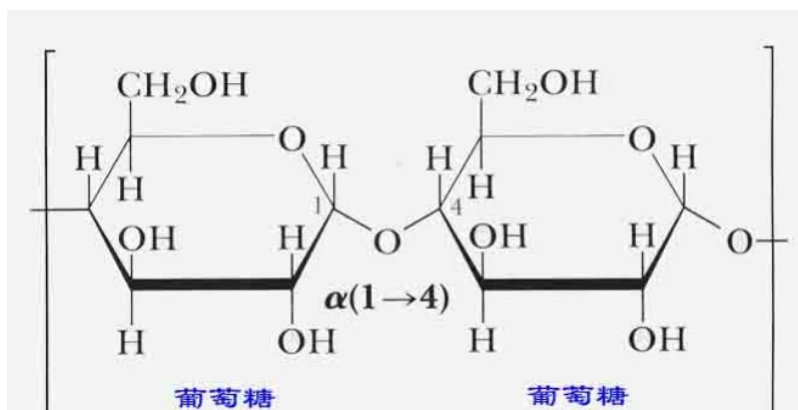
单糖分子的羰基可以与糖分子本身的一个醇羟基反应，生成分子内的半缩醛或半缩酮，形成五元呋喃环或更稳定的六元吡喃环。天然的糖多以六元环形式存在。

单糖结构

环状结构的 α 构型和 β 构型



单糖的化学组成和链状结构



单糖的构象：(1)构象：所谓构象是指 1 个分子中不改变共价键结构，仅由于单键周围的原子或基团旋转所产生的原子和基团的空间排列。由一种构象变为另一种构象时不要求共价键的断裂和重新形成。(2)五元环：成环 C 原子与 O 原子处于同一平面；六元环：分子中成环的 C 原子和 O 原子不在同一平面内，有椅式和船式两种构象，以稳定的椅式构象占绝对优势。

3. 单糖的物理性质：

1、旋光性：具有手性的分子都具有旋光性，要判断一个化合物是否有旋光性，就要看它是否为手性分子。每个单糖分子都含有不对称碳原子，所以都具有旋光能力。

2、溶解度：纯净的单糖为白色晶体，有较强的吸湿性。单糖分子中有多个羟基，增加了它的水溶解性，所以极易溶于水，尤其在热水中的溶解度极大。单糖在乙醇中也能溶解，但不溶于乙醚、丙酮等有机溶剂。

3、甜度：(比甜度)概念单糖都有甜味，果糖最甜。

果糖 > 转化糖 > 蔗糖 > 葡萄糖 > 木糖 > 鼠李糖 > 麦芽糖 > 半乳糖 > 棉籽糖 > 乳糖

4、吸湿性、保湿性、结晶性

4. 单糖的化学性质：

1)、氧化反应：

(1)单糖含有自由醛基或酮基具有还原性，都能发生氧化作用。

(2)在酸性溶液中醛糖比酮糖易于氧化。醛糖能被弱氧化剂溴水(HBrO)氧化，而酮糖不能，借此可将这两种糖区分开来。

(3)D-葡萄糖在葡萄糖氧化酶作用下易氧化成 D-葡萄糖酸内酯。

利用此反应可以测定食品和其他生物材料中 D-葡萄糖的含量，也可以测定血液中葡萄糖的含量，还可以用于检测葡萄糖对食物的掺假，如蜂蜜中通常含有约 32%的 D-葡萄糖和约 38%的 D-果糖，但有些商品中葡萄糖的含量远远超过 32%，这时即可用此方法进行检测。

2)、还原反应：

单糖中有游离羰基，易于还原，在一定压力与催化剂或酶的作用下，羰基还原成羟基，单糖被还原成糖醇。如 D-葡萄糖内的羰基加氢还原成羟基，得到 D

—葡萄糖醇，称山梨糖醇，是一种保湿剂，甜度仅是蔗糖的 50%，是糖尿病人的甜味剂。 $D-果糖 \rightarrow D-葡萄糖醇 + D-甘露醇$ 。 $D-甘露醇$ 的甜度是蔗糖的 65%；木糖可以还原成木糖醇，甜度为蔗糖的 70%。

3)、成苷反应:

单糖的环状结构中的半缩醛(或半缩酮)羟基较分子内的其它羟基活泼，故可与醇或酚等含—OH 的化合物脱水形成缩醛(或缩酮)型物质，这种物质称为糖苷，又称配糖物。其中糖部分称为糖基，非糖部分称为配基。

4)、脱水反应:

单糖 + 强酸 糠醛(或其衍生物) + 酚 \rightarrow 显色
定性、定量测定糖。

三、 低聚糖

1. 概念:

低聚糖也称寡糖，普遍存在于自然界中，可溶于水，有甜味，有旋光活性，在与稀酸共同加热或在酶的作用下可以水解成单糖。

2. 分类:

低聚糖中以双糖分布最为普遍，双糖也称为二糖，是由 2 分子的单糖失水形成的，其单糖单体可以是相同的，也可以是不同的，故可分为同聚二糖和杂聚二糖。同聚二糖：麦芽糖，异麦芽糖，纤维二糖，海藻二糖；杂聚二糖：蔗糖，乳糖等。

3. 二糖:

还原性二糖：还原性二糖可以看作是一分子单糖的半缩醛羟基与另一分子单糖的醇羟基失水而成的。这样形成的二糖分子中，有一个单糖单位形成苷，而另一个单位仍然保留有半缩醛羟基。

1、麦芽糖：由 2 分子 D—葡萄糖以 1，4—糖苷键连接的二糖。麦芽糖为白色晶体，易溶于水，甜度为蔗糖的 46%，麦芽糖具有一般单糖的化学性质。麦芽糖在自然界以游离态存在的很少，主要存在于发芽的谷粒，尤其是麦芽中，在淀粉酶的作用下，淀粉可以水解为糊精和麦芽糖的混合物，其中麦芽糖占 1/3，这种混合物是饴糖的主要成分。饴糖具有一定的黏度，流动性好，有亮度，可用于制作糖果，糖浆等食品。

2、乳糖：乳糖是由1分子 β -D-半乳糖与1分子D-葡萄糖以 β -1, 4-糖苷键连接的二糖。在乳糖的分子结构中具有半缩醛羟基，因此乳糖具有还原性，有变旋现象，能被酸、苦杏仁酶和乳糖酶水解。乳糖存在于哺乳动物的乳汁中，人乳中含量约为5%-8%，牛羊乳中含量为4%-5%，乳糖能溶于水，无吸湿性，甜度为蔗糖的39%，人乳和牛乳等中含有的乳糖结构不同，被消化吸收状况不同。乳糖的存在可以促进婴儿肠道双歧杆菌的生长。乳酸菌使乳糖发酵变为乳酸。在乳糖酶的作用下，乳糖可水解成D-葡萄糖和D-半乳糖而被人体吸收。乳糖容易吸收香气成分和色素，所以在食品加工中可用它来传递这些物质。

乳糖的作用：促进婴儿肠道双歧杆菌的生长；是婴儿糖类营养主要来源；乳酸菌使乳糖发酵成乳酸；易吸收香气成分和色素；在乳糖酶的作用下，水解成D-Glu和D-半乳糖，被人体吸收

3、纤维二糖：纤维二糖是由2分子D-葡萄糖通过 β -1, 4-糖苷键连接而成，能被苦杏仁酶水解而不能被麦芽糖酶水解，是 β -葡萄糖苷。纤维二糖分子结构中也保留有一个半缩醛羟基，所以具有还原性，有变旋现象。纤维二糖在自然界中以结合态存在，是纤维素水解的中间产物。人的体内只有 α -1, 4-糖苷键的消化酶，不含 β -1, 4-糖苷键酶，所以膳食纤维在人体无法消化。

非还原性二糖：非还原性二糖是由一分子单糖的半缩醛羟基与另一分子单糖的半缩醛羟基失水而成的，这类二糖分子中由于不存在半缩醛羟基，因而无还原性，无变旋现象。

4. 蔗糖

1、蔗糖：结构：蔗糖是食物中主要的低聚糖，是一种典型的非还原性糖，也是一种杂聚二糖，它是由一分子 α -D-葡萄糖C₁上的半缩醛羟基与 β -D-果糖C₂上的半缩醛羟基失去1分子水，通过1, 2-糖苷键连接而成的二糖。蔗糖分子中没有保留半缩醛羟基，因此它没有还原性，也没有变旋现象。性质：蔗糖是最重要的甜味剂，但近来发现许多疾病可能与过多摄入蔗糖有关，比如龋齿，肥胖，高血压，糖尿病。蔗糖是无色晶体，易溶于水，在稀酸或酶的作用下得到葡萄糖和果糖的等量混合物。由于在水解的过程中，溶液的旋光度由右旋变为左旋，因此通常把蔗糖的水解作用称为转化作用。转化作用所生成的等量葡萄糖与果糖的混合物称为转化糖。因为蜜蜂体内有蔗糖酶，所以蜂蜜中存在转化糖。

蔗糖水解后，因其含有果糖，所以甜度比蔗糖大。

2、海藻糖：

海藻糖又叫酵母糖，存在于海藻、昆虫和真菌体内。它是由两分子 α -D-葡萄糖在C₁上的两个半缩醛羟基之间脱水，通过 α -1, 1-糖苷键结合而成的二糖。其分子结构中不存在半缩醛羟基，所以也是一种非还原性糖。海藻糖为白色晶体，溶于水，熔点96.5—97.5℃，是各种昆虫血液中的主要血糖。

5. 三糖：

常见的三糖：棉籽糖，龙胆三糖，水苏糖，麦芽三糖等。最常见的、广泛游离在自然界中的是棉籽糖。在棉籽、按树的干性分泌物以及甜菜中含量较多，它是由1分子 α -D-半乳糖，1分子 α -D-葡萄糖，1分子 β -D-果糖组成。棉籽糖是非还原性糖。

四、 食品中单糖和低聚糖的功能

1. 亲水性

单糖和低聚糖的分子结构所含有的亲水性羟基靠氢键与水相互作用，使其与它们的许多聚合物发生溶剂化作用或增溶作用。

(1)糖类的结构不同，对水的结合能力也有较大不同。

(2)糖或糖浆的纯度对其结合水的能力也有较大的影响，纯度不高的糖或糖浆比纯度高的更易吸水且吸水速度更快。

2. 甜味

低分子质量糖类

人所能感觉到的甜味因糖的组成、构型和物理形态而异。

优质的糖应甜味纯正，甜度适宜，达到最甜和消失甜味的速度都很快。

3. 风味结合功能：

糖类可使糖—水的相互作用转变为糖—风味物质的相互作用。这样就保持了食品的色泽和风味

糖—水+风味物质糖—风味物质+水

双糖和分子量较大的低聚糖比单糖更能有效结合风味。

褐变产物和风味：

糖类的非氧化褐变反应除了产生深颜色类黑精色素外，同时还产生了很多挥

发性的风味物质。

4. 保健功能:

使体内双歧杆菌增殖。抑制肠内沙门氏菌和腐败菌的生长。被认为是一种水溶性膳食纤维。低热量。抗龋齿。

5. 结晶性:

糖溶液越纯越容易结晶。非还原性低聚糖相对容易结晶。某些还原性糖产生内在“不纯”而难以结晶。混合的糖比单一的糖难结晶。

五、 多糖

1. 多糖的概念:

多糖是由多个单糖单位通过糖苷键连接起来的高分子化合物,在一定的条件下,糖苷键断裂,完全水解后最终产物是单糖。

2. 多糖的分类:

同聚多糖:由同一种单糖聚合而成的,如淀粉,糖原,纤维素(由葡萄糖聚合)

杂聚多糖:由多种单糖及其衍生物组成,如多糖胶(D-葡萄糖: D-甘露糖: D-葡萄糖醛酸=2: 2: 1)

3. 多糖的性质:

无甜味,无还原性。不溶于水,大多数难以消化:如纤维素和半纤维素。不同水溶性多糖分子可形成不同特性的凝胶。

多糖在酶或酸的作用下依水解程度不同而生成单糖残基数不同的糖类物质,最后完全水解生成单糖。

4. 淀粉:

淀粉的概念:

淀粉是许多葡萄糖组成的被人体消化吸收的植物多糖,是人类糖类的主要食物来源。

淀粉的化学结构:通式($C_6H_{10}O_5$)

根据淀粉的结构和性质可以将淀粉分为直链淀粉和支链淀粉两种。

(1)直链淀粉:

大约由 100—1000 个葡萄糖聚合而成,通过 $\alpha-1, 4$ -糖苷键连接而成的一

个长链分子。相对分子量在 30000—100000 之间。

直链淀粉并不是完全伸直的，由于直链淀粉分子链是非常长的，所以不可能以线形分子存在，而是在分子内氢键的作用下，卷曲盘旋成螺旋状的，每一螺圈一般是含有 6 个葡萄糖单位。

直链淀粉的结构：一个螺旋圈所含葡萄糖基数称为聚合度或重合度，当淀粉形成螺旋时，碘分子进入其中，糖的羟基成为供电子体，碘分子成为受电子体，形成络合物。当链长小于 6 个葡萄糖时，不能形成一个螺旋圈。当聚合度为 20 左右时，碘遇淀粉显红色当聚合度为 20~60 时，碘遇淀粉显紫红色；当聚合度大于 60 时，碘遇淀粉显蓝色

(2)支链淀粉：

由 6000 个左右的葡萄糖单位连接而成，在支链淀粉中葡萄糖除了通过 $\alpha-1, 4$ -糖苷键连接以外，还通过 $\alpha-1, 6$ -糖苷键相互连接成侧链，每隔 6—7 个葡萄糖单位又能再度形成另外一条支链结构，每一支链有 20—30 个葡萄糖分子。各个分支也都是卷曲成螺旋，这样就使支链淀粉形成复杂的树状分支结构的大分子。结构：支链淀粉（不溶性淀粉）

(3)、直链与支链淀粉的存在：

同时存在于植物中，直链淀粉与支链淀粉的比例一般约为 15—25%比 75—85%。因植物品种不同，比例也不同。如蜡质玉米有 99%都是支链淀粉，而有些豆类像皱缩豌豆中直链淀粉含量就高达 98%。但不管怎样，直链淀粉与支链淀粉水解后最终的产物都是 D-葡萄糖，这一点是相同的。

淀粉的分布：

植物的种子、块茎、根中，小麦中含淀粉 60—65%，大米中淀粉含量 70—80%，马铃薯中含 20%。

淀粉的物理性质：

白色、无味、粉末状物质。一般不溶于水也不溶于有机溶剂。直链淀粉一般易溶于热水，而支链淀粉要在加热加压的情况下才溶于水。

淀粉的糊化：

概念：淀粉在植物中是以淀粉粒的形式存在的，淀粉粒不溶于水。我们一般把生淀粉称为 β -淀粉。当把 β -淀粉在水中加热至一定温度的时候，淀粉粒开始

发生膨胀，到一定程度甚至破裂，相应的，淀粉的体积也扩大到原来的数百倍之大，此时，原来的悬浮液变成了粘稠的胶体溶液，这种现象就称为淀粉的糊化，也就叫做淀粉的 α 化，处于这种状态的淀粉称为 α -淀粉。发生糊化时所需的温度就称为糊化温度。本质：淀粉颗粒中有序态(晶体)和无序态(非晶体)的淀粉分子之间的氢键断裂，分散在水中形成亲水性胶体溶液。

影响因素：温度(淀粉糊化以后形成的淀粉糊，随着温度的升高其黏度也不断增大，在 95℃ 附近达到最高黏度后恒定一段时间，其黏度就逐步下降)；淀粉溶液的黏度和胶凝特性；食品中的其他成分，如脂肪，蛋白质，糖，酸，水分含量。

糊化的淀粉的特点：更可口，更利于人体的消化吸收，更容易被淀粉酶所水解(原因：多糖分子吸水膨胀和氢键断裂，从而使淀粉酶能更高地对淀粉发挥酶促消化作用)。

淀粉糊化分为三个阶段：

(1) 可逆吸水阶段 水分进入淀粉粒的非晶质部分，体积略有膨胀，此时冷却干燥，可以复原，双折射现象不变。(2) 不可逆吸水阶段 随温度升高，水分进入淀粉微晶间隙，不可逆大量吸水，结晶“溶解”。(3) 淀粉粒解体阶段 淀粉分子全部进入溶液。

各种淀粉的糊化温度不相同，即使同一种淀粉因颗粒大小不一，糊化温度也不一致，通常用糊化开始的温度和糊化完成的温度共同表示淀粉糊化温度。有时也把糊化的起始温度称为糊化温度。

淀粉的老化：

概念：经过糊化的淀粉冷却后，淀粉运动逐渐减弱，分子链趋向平行排列，相互靠拢，彼此间以氢键结合，形成大于胶体的质点而沉淀，分子间氢键的结合特别牢固，以至于不再溶于水，也不易被淀粉酶水解，这个过程就称为淀粉的老化。“老化”是“糊化”的逆过程，“老化”过程的实质是：在糊化过程中，已经溶解膨胀的淀粉分子重新排列组合，形成一种类似天然淀粉结构的物质。值得注意的是：淀粉老化的过程是不可逆的，不可能通过糊化再恢复到老化前的状态。老化后的淀粉，不仅口感变差，消化吸收率也随之降低。

影响老化程度的因素：

淀粉的来源：淀粉的老化与所含直链淀粉与支链淀粉的比例有关。直链淀粉比支链淀粉易于老化，所以直链淀粉越多，老化就越快。支链淀粉几乎不发生老化。

淀粉的含水量：含水量为 30—60%时易于老化，含水量小于 10%或在大量水中则不易老化。面包含水 30%~40%，馒头含水 44%，米饭含水 60%~70%，它们的含水量都在淀粉易发生老化反应的范围内，冷却后容易发生返生现象。

淀粉温度：老化作用最适宜温度是 2—4℃左右，大于 60℃或小于—20℃都不发生老化。

pH 值：在偏酸或偏碱性条件下淀粉不易老化，一般中性情况下易老化。在 PH4 以下的酸性或碱性环境中，淀粉不易老化。

淀粉的水解反应：

反应条件：淀粉酶或酸

淀粉的呈色反应：

淀粉与碘发生呈色反应：

直链淀粉+碘→呈蓝色

支链淀粉+碘→呈紫红色

糊精与碘发生呈色反应：

紫(糊精)，红(糊精)，无色(糊精)。

机理：碘遇淀粉或糊精会出现不同颜色，不是碘与淀粉间形成了化学键，而是由于淀粉螺旋状结构的中空穴部分恰好能容纳碘分子，二者之间借助于范德华力形成一种淀粉—碘的络合物的缘故。所呈现的颜色则与淀粉糖苷链的长度有关。当链长小于 6 个葡萄糖基时，因为它还不能形成一个螺旋圈，所以不能呈色。当平均长度为 20 个葡萄糖基时呈红色。大于 60 个葡萄糖基时呈蓝色。

5. 糖原：

1、概念：糖原是动物体内的多糖类贮藏物质，又称动物淀粉。

2、生理功能：主要存在于肝和肌肉中，因此有肝糖原和肌糖原之分。糖原在动物体中的功用是调节血液中的含糖量，当血液中的含糖量低于常态时，糖原就分解为葡萄糖，当血液中含糖量高于常态时，葡萄糖就合成糖原。

3、结构：由 α -D-葡萄糖结合而成，结构与支链淀粉相似。糖原的支链更

多，更短，所以糖原的分子结构更紧密，整个分子团呈球形，平均相对分子质量大约在 10^6-10^7 之间。

4、性质：白色粉末，能溶于水及三氯醋酸，不溶于乙醇及其他有机溶剂，遇碘显红色，无还原性。糖原也可被淀粉酶水解成糊精和麦芽糖，若用酸水解，最终可得 D-葡萄糖。

5、分布：除动物外，在细菌，酵母，真菌及甜玉米中也有糖原的存在。

6. 纤维素：

1、纤维素的存在：棉花，麻，木材，植物细胞壁。

2、结构：由 β -D-葡萄糖以 β -1, 4-糖苷键连接而成，是不含支链的直链多糖。

3、性质：稳定，在一般的食品加工条件下不被破坏，但在高温、高压的稀硫酸溶液中，纤维素可被水解为 β -葡萄糖，也可以在纤维素酶的作用下水解成葡萄糖。

4、功能：膳食纤维：促进肠胃的正常蠕动；降低体内胆固醇水平；调节糖尿病患者的血糖水平；

食品加工中，半纤维素能提高面粉结合水的能力，且有助于蛋白质与面团的混合，增加面包体积和弹性，改善面包结构，延缓面包的老化。

5、改性纤维素：将天然纤维素经适当处理，改变其原有性质以适应不同食品的加工需要，称为改性纤维素。

7. 羧甲基纤维素(CMC)

概念：由纤维素与氢氧化钠、一氯乙酸作用生成的含有羧基的纤维素醚称为羧甲基纤维素。

性质：良好的持水性，粘稠性，保护胶体性，薄膜形成性。

用途：增稠剂，胶凝剂，组织改进剂。

8. 甲基纤维素(MC)

概念：由纤维素与氢氧化钠、一氯甲烷反应而成。

性质：增稠、表面活性、薄膜形成性和形成热凝胶。

功能：添在焙烤食品中可增加焙烤食品的吸水力和持水力；添加在油炸食品中，可降低食品的吸油率；在一些疗效食品中，用作低热量无营养填充剂。在无

面筋食品中提供了质构，用于冷冻食品时能抑制脱水收缩。

9. 微晶纤维素(MCC)

可用作抗结剂，无热量填充剂，乳化剂，分散剂，组织改进剂，热稳定剂。

10. 果胶：

1、结构：D-吡喃半乳糖醛酸以 $\alpha-1, 4$ -糖苷键结合成的长链，另外还有少量的鼠李糖，半乳糖，阿拉伯糖，木糖构成支链。

2、分布：植物细胞的细胞壁和胞间层中，水果蔬菜中含量较多。柑橘、柠檬、柚子、南瓜等果皮中约含 30%果胶，是果胶的最丰富来源。

3、分类：原果胶，果胶酯酸和果胶酸

其主要差别是甲氧基含量不相同。

原果胶：泛指一切水不溶性果胶类物质。存在于未成熟的水果和植物的茎叶里，一般认为它是果胶酯酸与纤维素或半纤维素结合而成的高分子化合物。它使未成熟的水果，蔬菜质地坚硬。随着水果的成熟，原果胶在酶的作用下逐步水解为有一定水溶性的果胶酯酸，水果也就由硬变软了。

果胶酯酸：是指甲氧基比例较大的果胶酸。果胶酯酸是一组以复杂方式连接的多聚鼠李糖，多聚半乳糖醛酸。是由 $\alpha-1, 4$ -糖苷键连接的 D-吡喃半乳糖醛酸单位组成的骨架链。其中含有少数有序或无序的 $\alpha-1, 2$ -糖苷键连接的鼠李糖单位，在鼠李糖富集区也夹杂有半乳糖醛酸单位。

果胶酸：由很多个 D-半乳糖醛酸通过 $\alpha-1, 4$ -糖苷键结合而成的线型长链高分子化合物。基本上不含甲氧基。

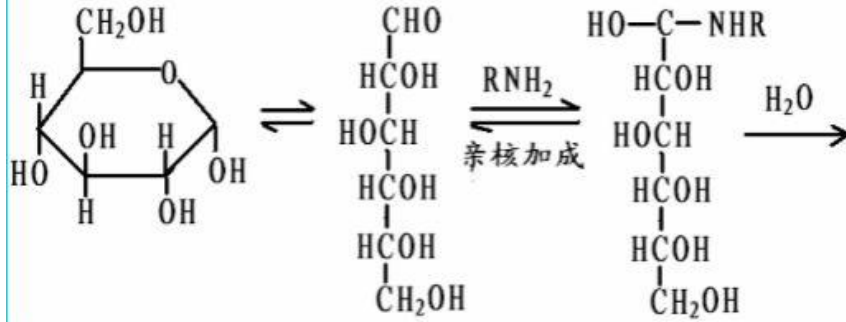
当水果中的果胶在果胶酶的连续作用下生成果胶酸时，水果就变成软烂状态。

4、性质：亲水胶体物质，水溶液在适当条件下可以形成凝胶。

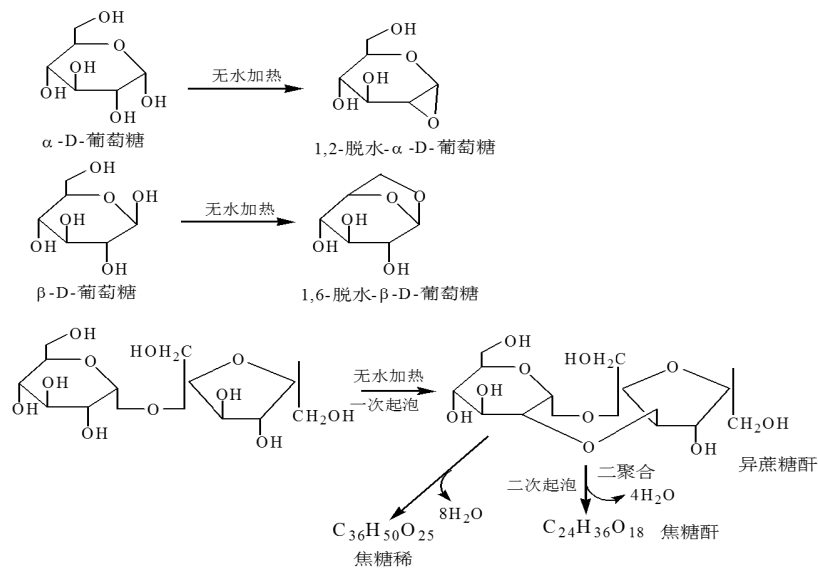
5、用途：制作果酱，果冻的胶凝剂，还可用于乳制品，冰淇淋，调味汁，蛋黄酱，果汁，饮料等食品中作稳定剂和乳化剂。

11. 食品非酶褐变

美拉德反应



焦糖化反应



焦糖化反应：在没有氨基化合物存在的条件下，将糖和糖浆直接加热熔融，在温度超过 100°C 时，随着糖的分解变化，糖会变成黑褐色的焦糖，产生了复杂的焦糖化反应。

焦糖化反应使食品产生色泽和风味。

糖与铵盐加热所得色素：红棕色，含有带正电荷的胶体离子，水溶液 pH4.2~4.8；用于焙烤食品、糖浆、布丁等的生产。

蔗糖直接加热焦糖色素：红棕色，含有略带负电荷的胶体离子，水溶液的 pH3-4；用于啤酒和其它含醇饮料的生产。

小分子糖与碱的作用：碱性条件下，单糖可以发生异构化和分解等反应；其反应的程度和速度受糖的种类、温度、碱的种类和浓度、时间等因素的影响。在稀碱溶液中，单糖经烯醇而发生异构化反应；如 D-葡萄糖在稀碱溶液中形成 D-甘露糖、D-果糖和其自身的平衡混合物。在浓碱溶液中单糖发生分解反应，中间也经历烯醇过程，得到小分子的糖式分解产物。

糠醛和其它醛的形成：糖在强热下除了上面介绍的焦糖形成过程外，还可通过裂解、脱水等反应，得到活性的醛类衍生物；随着条件的不同，反应最终形成的物质种类也有差别。

作业布置：

本章内容较多且理论性较强，在讲授的过程中应深入浅出，同时在课堂中可以开展讨论，调动学生的积极性，另外在讲课过程中要抓住重点。

1. 糖类的定义是什么？是如何进行分类的？
2. 什么是淀粉的糊化作用？
3. 什么是淀粉的老化作用？老化作用的原因是什么？

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年

第三章 脂类

| | | | | | |
|---|--------|---------|----------------|------|-----|
| 授课章节 | 第三章 脂类 | | | | |
| 课时安排 | 4 | 教学方法及手段 | 讲授、情景 演练、讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： 1、概述 2、脂类的物理性质 3、脂类的化学性质 4、油脂在高温下的化学变化 5、油脂加工化学 6、油脂的质量评价 | | | | | |
| 三维目标： 1. 知识：掌握脂的定义与分类、掌握脂肪酸的结构。 2. 能力：掌握油脂的组成。 3. 素养：掌握油脂在加工过程中的化学变化。 | | | | | |
| 教学重点、难点： 1、脂肪酸的结构。 2、油脂的组成。 3、油脂在加工过程中的化学变化。 4、油脂加工化学。 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程： <h3>脂类</h3> <h4>一、 概述</h4> | | | | | |

1. 脂的概念

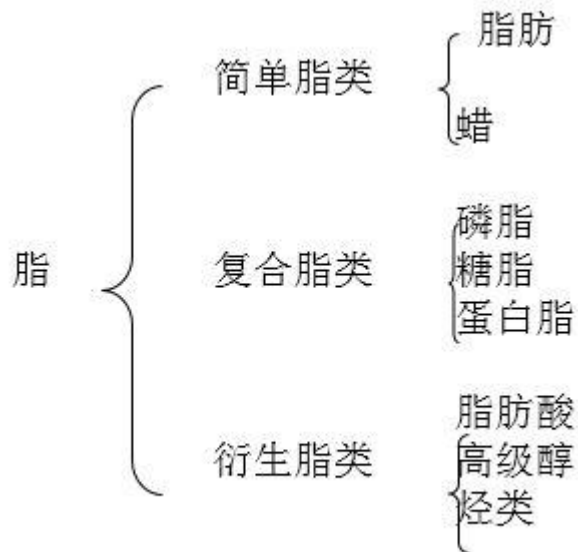
脂类是脂肪和类脂的总称，它是有脂肪酸与醇作用生成的酯及其衍生物，统称为脂质或脂类，是动物和植物体的重要组成成分。脂类是广泛存在与自然界的一大类物质，它们的化学组成、结构理化性质以及生物功能存在着很大的差异，但它们都有一个共同的特性，即可用非极性有机溶剂从细胞和组织中提取出来。

通常具有下列共同特征：不溶于水而溶于乙醚、石油醚、氯仿、丙酮等有机溶剂。大多具有酯的结构，并以脂肪酸形成的酯最多。都是由生物体产生，并能由生物体所利用（与矿物油不同）。例外：卵磷脂、鞘磷脂和脑苷脂类。

功能性脂肪是组成生物细胞不可缺少的物质，能量贮存最紧凑的形式，有润滑、保护、保温等功能。脂类的氧化对人和动物的毒性，已成为十多年来人们讨论的问题。

2. 脂的分类与组成：

元素组成主要为 C、H、O 三种。



简单脂：是由脂肪酸与醇形成的酯的总称，包括甘油与脂肪酸的酯(甘油酯)和脂肪酸与高级一元醇如固醇、高级醇等形成的酯（蜡）。

复合脂质：由醇与脂肪酸形成的酯，其中还含有 P、N、S 等其它元素或基团，主要有：

<1>磷脂：是含有磷酸、氮碱的单脂衍生物，有甘油磷脂和神经鞘磷脂两大类。

<2>糖脂：是由脂肪酸、糖及神经鞘氨基醇所构成，的不含磷酸的脂。有甘油糖酯（由甘油二酸酯与单糖、低聚糖结合组成）和神经鞘糖脂（由神经鞘氨基醇末端—OH 同单糖、低聚糖结合组成）。

衍生脂：它是具有脂类一般性质，简单脂或复合脂类的衍生物，它包括：

<1>脂肪酸：有饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸

<2>甾醇（固醇）：如胆固醇、羊毛甾醇、 β -谷甾醇等，它们具有以下的基本结构：有一部分固醇是以酯的形式存在。

<3>脂肪醇：碳数不低于 8 个的高级醇

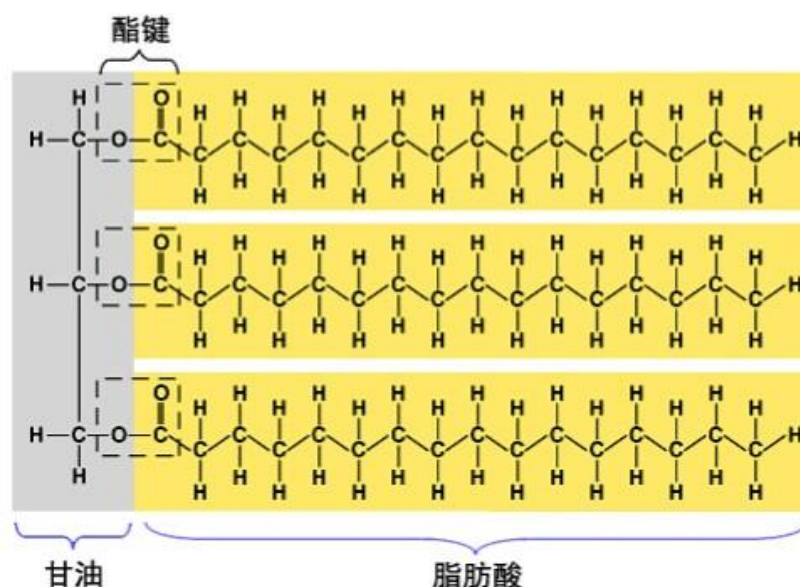
<4>烃类：包括直链烃、鲨烯和类胡萝卜类

<5>各类脂溶性维生素：如 VA、VD、VE、VK

3. 脂的组成与结构

油脂也称三酰甘油，是由甘油与脂肪酸形成的酯。

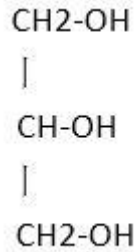
甘油三酯的分子结构



脂肪中的 3 个脂肪酸可以是相同的，也可以是不同的，前者称为单纯甘油酯，后者称为混合甘油酯。

1、甘油

化学名：丙三醇



甘油是食品加工业中通常使用的甜味剂和保湿剂，大多出现在运动食品和代乳品中。

2、脂肪酸

(1) 饱和脂肪酸

天然食用油脂中饱和脂肪酸特点：长链（碳原子数>14）、直链、具有碳原子数的脂肪酸。

(2) 不饱和脂肪酸

天然食用油脂中不饱和脂肪酸特点。一个或多个烯丙基结构，两个双键之间夹有一个亚甲基（非共轭双键）、双键多为顺式。在油脂加工和储藏过程中部分双键会转变为反式并出现共轭双键，这种形式的不饱和脂肪酸对人体无营养。必需脂肪酸：在人体内有特殊的生理功能，自身又不能合成，必须从食物中摄取的不饱和脂肪酸称为必需脂肪酸。比如，亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等等。通常长链不饱和脂肪酸的营养价值比较高。

二、 脂类的性质

1. 食用油脂的物理性质

油脂的物理性质在油脂分析、制取及加工中都显得十分重要，尤其是随着科学技术的进步，近年来在生产和科学研究工作中，愈来愈多的采用测定油脂物理性质以代替某些费时、准确度差较的化学分析法，取得了良好的效果。

2. 脂类的性质

纯净的甘油三酯是无色无味的，天然油脂因有其他成分存在，所以通常带有一定的色泽，经精炼以后，一般呈很浅的黄色，随储藏时间的延长，色泽会逐渐加深，因此，测定油脂的色泽，可以了解油脂的精炼程度，也可以判断油脂是否变质。

油脂的熔点

组成油脂的脂肪酸饱和程度越高，碳链越长，油脂的熔点越高。天然油脂由于是不同三脂酰甘油的混合物，所以没有固定的熔点，只有一个熔点范围。此外，固态油脂存在不同的晶体形态，熔化过程中伴随着不同晶体形态之间的转变，这也需要一个温度段。

常见的熔点范围为：大豆油 $-23\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，葵花籽油 -75°C ，花生油 -2°C ，棕榈油 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，猪油 $33\sim 46^{\circ}\text{C}$ ，牛油 $40\sim 48^{\circ}\text{C}$ ，棉籽油 $-2\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。

由于脂肪是长链化合物，会常出现几种晶型，因而会有几个熔点。同质多晶现象指的是具有相同的化学组成，但具有不同的结晶晶型，在熔化时得到相同的液相的物质。天然脂肪因结晶类型的不同而使得其熔点相差很大，巧克力和人造奶油的感官质量与脂肪的同质多晶现象密切相关。

油脂的沸点

油脂的主要成分是三酰甘油，但也伴有少量二酰甘油、一酰甘油和游离脂肪酸，当酰基相同时，这些物质的沸点依次降低。因此油脂较纯时，沸点较高。油脂中的脂肪酸残基饱和程度越高，碳原子数目越多，油脂的沸点越高。

油脂的烟点、闪点、着火点

油脂的烟点是指油脂在不通风的情况下观察到油脂冒烟时的最低加热温度。它是表示油脂热稳定性的一个参数。油脂中脂肪酸碳链短、含游离脂肪酸越高，则油脂的烟点越低，品质较差。一般油脂的烟点在 240°C 左右，经长期放置后烟点下降。

闪点：油脂挥发的物质能被点燃但不能维持燃烧的温度。

着火点：油脂挥发的物质能被点燃并能维持燃烧不少于 5s 的温度。

油脂的烟点、闪点和着火点是油脂在接触空气加热时的热稳定性指标。

油脂的塑性与其中固体脂肪的含量有关。固体脂含量的相对高低可以用固体脂肪指数(SFI)来表示，它与油脂种类有关，还受温度的影响。一般SFI在 $10\sim 25$ 范围内，固液两相比比例适当，油脂的塑性较好。固体脂含量过多会使油脂过硬；固体脂含量过少会使油脂过软，都使塑性较差。

可塑性油脂的作用：

涂抹性（涂抹黄油等）

可塑性（用于蛋糕的裱花）

起酥作用

使面团体积增加

食用油脂的化学性质

(1)、水解和皂化

脂肪能在酸、碱或酶的作用下水解为脂肪酸及甘油。

在碱性条件下水解出的游离脂肪酸与碱结合生成脂肪酸盐(皂)

三、食用油脂的化学性质

油脂在食品加工和贮藏期间，因空气中的氧气、光照、微生物、酶等的作用，产生令人不愉快的气味，苦涩味和一些有毒性的化合物，这种现象称为油脂酸败。

1. 水解和皂化

乳脂水解释放出短链脂肪酸，使生牛奶产生酸败味（水解酸败），但添加微生物和乳脂酶能产生某些典型的干酪风味。控制和选择脂解也应用于加工其他食品，例如酸牛奶和面包的加工。

在油炸食品时，食品中大量水分进入油脂，油脂又处在较高温度条件下产生脂解。在油炸过程中，由于游离脂肪酸含量的增加，通常引起油脂发烟点和表面张力降低，以及油炸食品品质变劣。

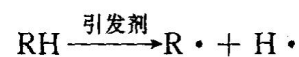
2. 油脂自动氧化

（一）油脂自动氧化机理

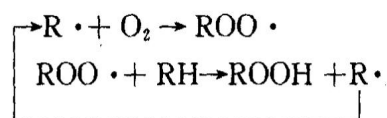
不饱和油脂的自动氧化是游离基反应历程。

以 RH 代表不饱和脂肪，则：此反应分为三个阶段：链的引发期、传递期和终止期。

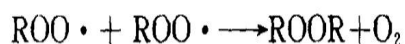
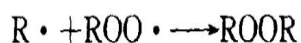
链引发



链传递



链终止



1. 引发期：光、热、金属催化剂等影响下油脂被活化分解成不稳定的自由基
 $R \cdot RH \rightarrow R \cdot + H \cdot$

不饱和脂肪酸中与双键相邻的亚甲基上的氢因受到双键的活化，特别容易被除去，因此容易在这个位置形成自由基。

2、传递期： 当有 O₂ 存在时，游离基可与 O₂ 结合生成过氧化物游离基；此过氧化物游离基又与一个脂肪分子反应生成氢氧化物 ROOH 和游离基 R ·。

3、中止期：当油脂中产生的大量自由基相互结合时，可形成稳定的化合物，反应可终止。

光和射线促使氢过氧化物分解引发游离基

抗氧化剂延缓和减慢油脂氧化速率

过氧化脂质的危害:过氧化脂质几乎能和食品中的任何成分反应，使食品品质降低。 ROOH 几乎可与人体内所有分子或细胞反应，破坏 DNA 和细胞结构。脂质常温及高温氧化均有有害物产生。

近 20 年来,在生命科学领域中,抗氧化理论和抗氧化类产品的飞速发展,已形成自由基生物学!自由基医学和自由基营养学等等学科,归结到一点:抗氧化必将深入每一个人的生活,它是人类对抗疾病!维护健康的重要保障”“世界自由基生物与医学学会主席!美国著名的生物物基学权威帕克教授预言:/如果说 20 世纪是维生素的世纪,那么 21 世纪将是抗氧化的世纪。“可以这么宣布:我们已经进入了抗氧化时代。

人体衰老之谜：自由基的化学性质非常活跃,可从其它分子中夺取电子,以保持自身的电子容量,而被夺走电子的分子又成为自由基,这样形成链式反应不停进行,直至关键分子被彻底破坏。“当自由基进入细胞破坏脱氧核糖核酸(DNA)时,就会导致癌症的发生;自由基破坏了体内的酶,从而导致炎症和衰老;自由基破坏了脂肪便会发生脂质过氧化,导致动脉硬化而发生心脑血管疾病; 因此,自由基是造成人体衰老的主要元凶,是威胁人类健康的重要杀手。

3. 脂肪在高温下的化学反应

热分解、热聚合、缩合、水解、氧化反应等。油脂经长时间加热，颜色变暗，粘度↑，碘值↓，酸价↑，发烟点↓，泡沫量↑。热分解作用、热聚合作用。

氧化热聚合 聚合成二聚体。

在空气中加热（200℃~230℃）可发生热氧化聚合，生成无，单，双，三环二聚体。

二聚物为有毒成分，与酶结合，使酶失活，生理异常。

油脂的缩合反应

高温油炸过程中，由于水分的引入，使油脂分子与水接触的部位发生水解，水解产物之间可以缩合成醚型化合物。

过氧化值（POV）是指 1kg 油脂中所含氢过氧化物的毫克当量数。POV 值宜用于衡量油脂氧化初期的氧化程度。

碘值（IV）指 100g 油脂吸收碘的克数，是衡量油脂中双键数的指标。

酸价（AV）是指中和 1g 油脂中游离脂肪酸所需的 KOH 毫克数。（国标规定，食用植物油的酸价不得超过 5）

皂化价 完全皂化 1g 油脂所需 KOH 的毫克数。

油炸油品质检查：当石油醚不溶物 $\geq 0.7\%$ ，发烟点低于 170℃，或石油醚不溶物 $\geq 1.0\%$ ，无论其发烟点是否改变，均可认为油已经变质。

4. 油脂的氢化

油脂氢化后的特性改变：

稳定性↑ 颜色变浅 风味改变 便于运输和贮存 制造起酥油、人造奶油等。

5. 油脂的互换交酯

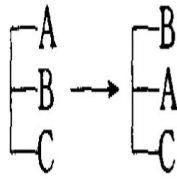
酯交换反应机理

S3：三饱和甘油酯

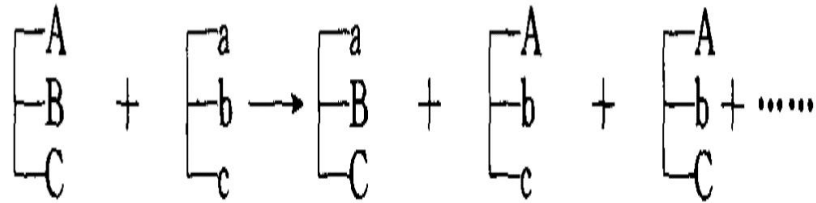
U3：三不饱和甘油酯

酯交换

分子内酯交换



分子间酯交换



作业布置：

本章在讲授的过程中可结合实例进行讲解，如油脂的水解、油脂的氧化及油脂在高温下发生的化学变化均可结合生活中的例子，同时鼓励学生用所学知识对生活中的现象进行解释。

- 1、油脂主要由哪几种元素组成？
- 2、油脂如何分类？每一类有何特点？
- 3、食品中油脂有哪些物理和化学性质？
- 4、食用油脂在加工和贮藏过程中会发生哪些变化？

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年

第四章 蛋白质

| | | | | | |
|---|---------|---------|---------|------|-----|
| 授课章节 | 第四章 蛋白质 | | | | |
| 课时安排 | 6 | 教学方法及手段 | 讲授、小组讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： 1、概述 2、氨基酸和蛋白质的分类和结构 3、蛋白质的物理化学性质 4、食品加工中蛋白质的变化 5、食品加工对蛋白质功能性质及营养价值的得影响 6、酶 7、蛋白质新资源 | | | | | |
| 三维目标： 1. 知识：掌握蛋白质的结构、特点、理化性质。 2. 能力：了解蛋白质功能性质产生的机理，掌握其影响因素以及在食品工业上的具体应用。 3. 素养：掌握蛋白质在食品加工和储藏中发生的物理、化学和营养变化以及如何利用或防止这些变化。 | | | | | |
| 教学重点、难点： 1、蛋白质的特点、理化性质。 2、蛋白质在食品加工和储藏中发生的物理、化学和营养变化。 3、如何利用或防止蛋白质的化学变化。 4、蛋白质的结构。 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程： | | | | | |

蛋白质

一、 概述

蛋白质是食品中三大营养素之一

营养功能：蛋白质是食品中三大营养素之一

感官品质：蛋白质对食品的色、香、味及组织结构等具有重要意义

生物活性：一些蛋白质具有生物活性功能，是开发功能性食品原料之一

食品安全：一些蛋白质及短肽具有有害性，对食品安全的影响

二、 食品中蛋白质来源及种类

动物中蛋白质：如猪肉、鱼肉、鸡肉、乳；植物中蛋白质：如大豆、谷物；微生物中蛋白质：酵母；牛乳中的蛋白质：酪蛋白；乳清蛋白；肉中的蛋白质；肌浆中的蛋白质占 20%—30%肌溶蛋白,球蛋白 X,肌红蛋白；肌原纤维蛋白质占 51%—53%肌球蛋白，肌动蛋白肌动球蛋白，肌原球蛋白； 基质蛋白质；小麦中的蛋白质；醇溶谷蛋白；谷蛋白；清蛋白；球蛋白

三、 蛋白质的组成和分类

1. 组成

蛋白质是由 C（碳）、H（氢）、O（氧）、N（氮）组成,一般蛋白质可能还会含有 P（磷）、S（硫）、Fe（铁）、Zn（锌）、Cu（铜）、B（硼）、Mn(锰)、I（碘）、Mo（钼）等.

这些元素在蛋白质中的组成百分比约为：碳 50% 氢 7% 氧 23% 氮 16% 硫 0~3% 其他微量

（1）一切蛋白质都含 N 元素,且各种蛋白质的含氮量很接近,平均为 16%；

（2）蛋白质系数：任何生物样品中每 1g 元 N 的存在,就表示大约有 $100/16=6.25$ g 蛋白质的存在,6.25 常称为蛋白质常数

蛋白质的基本组成单位是氨基酸。

蛋白质是组成人体一切细胞、组织的重要成分。机体所有重要的组成部分都需要有蛋白质的参与。一般说，蛋白质约占人体全部质量的 18%，最重要的还是其与生命现象有关。

蛋白质是生命的物质基础，是有机大分子，是构成细胞的基本有机物，是生命活动的主要承担者。没有蛋白质就没有生命。它是与生命及与各种形式的生命活动紧密联系在一起物质。机体中的每一个细胞和所有重要组成部分都有蛋白质参与。蛋白质占人体重量的 16%~20%，即一个 60kg 重的成年人其体内约有蛋白质 9.6~12kg。人体内蛋白质的种类很多，性质、功能各异，但都是由 20 多种氨基酸按不同比例组合而成的，并在体内不断进行代谢与更新。

都是无色结晶。熔点约在 230℃ 以上，大多没有确切的熔点，熔融时分解并放出 CO₂；都能溶于强酸和强碱溶液中，除胱氨酸、酪氨酸、二碘甲状腺素外，均溶于水；除脯氨酸和羟脯氨酸外，均难溶于乙醇和乙醚。

具有两性。有碱性[二元氨基一元羧酸，例如赖氨酸 (lysine)]；酸性[一元氨基二元羧酸，例如谷氨酸 (Glutamic acid)]；中性[一元氨基一元羧酸，例如丙氨酸 (Alanine)]三种类型。大多数氨基酸都呈显不同程度的酸性或碱性，呈显中性的较少。所以既能与酸结合成盐，也能与碱结合成盐。

由于有不对称的碳原子，呈旋光性（除甘氨酸外）。同时由于空间的排列位置不同，又有两种构型：D 型和 L 型，组成天然蛋白质的氨基酸，都属 L 型。由于以前氨基酸来源于蛋白质水解（现在大多为人工合成），而天然蛋白质水解所得的氨基酸大多为 α-氨基酸，所以在生化研究方面氨基酸通常指 α-氨基酸。至于 β、γ、δ……ω 等的氨基酸在生化研究中用途较小，大都用于有机合成、石油化工、医疗等方面。氨基酸及其衍生物品种很多，大多性质稳定，要避光、干燥贮存。

2. 蛋白质的分子结构

肽单位特征

蛋白质分子的二级结构

(1) 螺旋结构：螺旋结构的种类 α-螺旋

(2) 折叠：折叠是由两条或多条几乎完全伸展的肽链平行排列，通过链间的氢键交联而形成的。肽链的主链呈锯齿状折叠构象。①在折叠中，碳原子总是处于折叠的角上，氨基酸的 R 基团处于折叠的棱角上并与棱角垂直，两个氨基酸之间的轴心距为 0.35nm。

球状蛋白质三维结构的特征

稳定三级结构的作用力，肌红蛋白的三级结构。自然界大多数蛋白质都是由一条肽链组成的，因此相对稳定的三级结构就是其特征性的空间结构，这是蛋白质分子最显著的特征之一。

不同蛋白质有不同的一级结构，因此折叠形成不同的三级结构，赋予它们不同的生理功能。按一级结构人工合成胰岛素的成功，并具有降低动物血糖浓度的作用，是一级结构决定蛋白质空间结构与生理功能的最好例证。②折叠结构的氢键主要是由两条肽链之间形成的；也可以在同一肽链的不同部分之间形成。几乎所有肽键都参与链内氢键的交联，氢键与链的长轴接近垂直。③折叠有两种类型。一种为平行式，即所有肽链的 N-端都在同一边。另一种为反平行式，即相邻两条肽链的方向相反。在转角部分，由四个氨基酸残基组成。四个形成转角的残基中，第三个一般均为甘氨酸残基。弯曲处的第一个氨基酸残基的 $-C=O$ 和第四个残基的 $-N-H$ 之间形成氢键，形成一个不很稳定的环状结构。这类结构主要存在于球状蛋白分子中。肽链折叠卷曲形成的球状、椭圆形等三级结构蛋白质分子，往往形成一个亲水的分子表面和一个疏水的分子内核，靠分子内部疏水键和氢键等来维持其空间结构的相对稳定。有些蛋白质分子的亲水表面上也常有一些疏水微区，或在分子表面形成一些形态各异的“沟”、“槽”或“洞穴”等结构，一些蛋白质的辅基或金属离子往往就结合在其中。例如上述肌红蛋白分子亲水表面上，就有一个疏水洞穴，其中结合着一个含 Fe^{2+} 的血红素辅基，起着结合并储存氧的功能，供肌肉剧烈收缩氧供应相对不足时释放被利用的需要。

蛋白质分子的四级结构

许多蛋白质是由两个或两个以上独立的三级结构通过非共价键结合成的多聚体，称为寡聚蛋白。寡聚蛋白中的每个独立三级结构单元称为亚基。蛋白质的四级结构是指亚基的种类、数量以及各个亚基在寡聚蛋白质中的空间排布和亚基间的相互作用。如，血红蛋白的四级结构得测定由佩鲁茨 1958 年完成，其结构要点为：

球状蛋白，寡聚蛋白，含四个亚基

两条 α 链，两条 β 链， $\alpha_2\beta_2$

α 链：141 个残基； β 链：146 个残基

分子量 65 000

含四个血红素辅基

亲水性侧链基团在分子表面，疏水性基

团在分子内部亚基单独存在时不具生物活性，只有按特定组成与方式装配形成四级结构时，蛋白质才具有生物活性。

3. 维持蛋白质高级结构的作用力

1、空间作用力

2、范德华力

3、氢键

4、静电作用力

5、疏水作用力

6、二硫键

四、 蛋白质功能性质

1. 蛋白质的功能性质概念

在食品加工、保藏、制备和消费期间影响蛋白质在食品体系中的性能的那些蛋白质的物理和化学性质。

2. 蛋白质的水合性质

蛋白质分子中带电基团、主链肽基团、Asn、Gln 的酰胺基、Ser、The 和非极性残基团与水分子相互结合的性质。

蛋白质水合性质与食品的功能性：

如分散性、湿润性、溶解性、黏度、胶凝作用、乳化和起泡性等，都取决于水-蛋白质的相互作用。

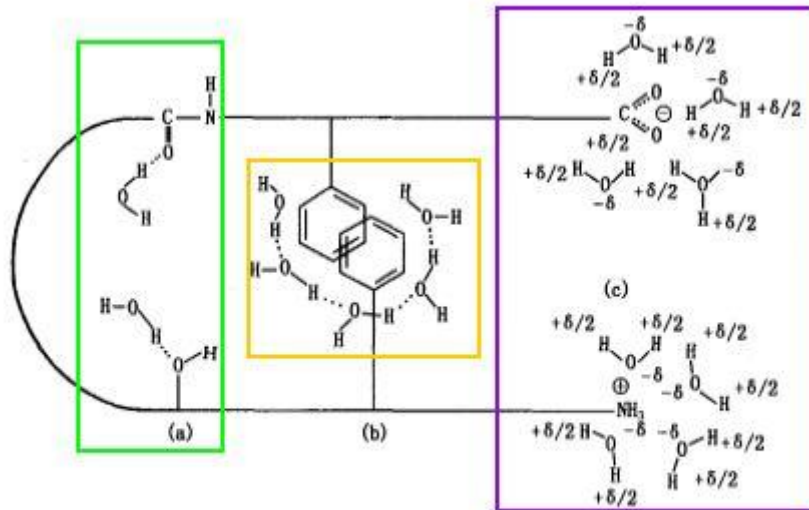


图 5-3 水同蛋白质相互作用的示意图

(a) 氢键 (b) 疏水相互作用; (c) 离子相互作用

- A. 非水合蛋白质
- B. 带电基团的最初水合
- C. 在接近极性和带电部位形成水簇
- D. 在极性表面完成水合
- E. 非极性小区域的水合完成单分子层覆盖
- F. 在与蛋白质缔合的水和体相水之间架桥
- G. 完成流体动力学水合

膨润性：蛋白质吸水充分膨胀而不溶解，这种水化性质通常叫膨润性。

可溶性蛋白：蛋白质在继续水化中被水分散而逐渐变为胶体溶液，具有这种水化特点的蛋白质叫可溶性蛋白质。

蛋白质结合水的能当干蛋白质粉与相对湿度为 90%-95% 的水蒸汽达到平衡时每克蛋白质所结合的水的克数。

持水能力是指蛋白质吸水并将水保留在蛋白质组织（如蛋白质凝胶、牛肉和鱼肌肉）中的能力。

3. 蛋白质的溶解度

蛋白质作为有机大分子分子化合物，在水中以分散态（胶体态）存在，因此，蛋白质在水中无严格意义上的溶解度，只是将蛋白质在水中的分散量或分散水平相应的称为蛋白质的溶解度（solubility）。

蛋白质溶解度的大小在实际应用中非常重要，因为溶解度特性数据在确定天

然蛋白质的提取、分离和纯化时是非常有用的，蛋白质变性的程度也可以通过蛋白质的溶解行为的变化作为评价指标，此外，蛋白质在饮料中的应用也与其溶解性能有直接的关系。

蛋白质溶解度的大小受到一些条件如 pH 值、离子强度、温度、溶剂类型等的影响。蛋白质的溶解度在等电点时通常是最低的，pH 值在高于或低于等电点时，蛋白质所带的净电荷为负电荷或正电荷，其溶解度均增大。蛋白质的溶解度在 pI 时虽然是最底的，但是对不同的蛋白质，还是有一定差异的。一些蛋白质如酪蛋白、大豆蛋白在等电点时几乎不溶，而乳清蛋白在等电点时的溶解度仍然很好。对于溶解性随 pH 值变化大的蛋白质，通过改变介质的酸碱度对其进行相应的提取、分离是十分方便的；而对于溶解性随 pH 值变化不大的蛋白质，则需要通过其他方式才能达到分离、提纯的目的。

盐类对蛋白质的溶解性也产生不同的影响。当中性盐的浓度范围为 0.1-1mol/L 时，可增大蛋白质在水中的溶解度（盐溶，salting in），蛋白质的溶解性与离子强度有关；而在中性盐的浓度大于 1mol/L 时，可降低蛋白质在水中的溶解度甚至产生沉淀（盐析，salting out）。

4. 蛋白质的胶凝作用

沉淀作用：是指由于蛋白质的溶解性完全或部分丧失而引起的聚集反应。

絮凝：是指蛋白质未发生变性时的无规则聚集反应，这常常是因为链间的静电排斥降低而发生的一种现象。

凝结作用：发生变性的无规聚集反应和蛋白质-蛋白质的相互作用大于蛋白质-溶剂的相互作用引起的聚集反应，定义为凝结作用。

胶凝作用：是指变性的蛋白质分子聚集并形成有序的蛋白质网络结构过程。

凝结块（不透明）凝胶 大量非极性氨基酸残基疏水性聚集，不溶性聚集体不可逆凝胶聚集和网状结构的形成速度高于变性速度。

透明凝胶少量非极性氨基酸残基，变性时形成可溶性复合物，缔合速度低于变性速度，在加热后冷却时才能凝结成凝胶，形成有序的透明的凝胶网状结构。

5. 蛋白质的质构化作用

蛋白质的质构化是在开发利用植物蛋白和新蛋白质中要特别强调的一种功能性质。

蛋白质质构化的方法：热凝结和形成薄膜，纤维的形成，热塑性挤压

6. 面团的形成

氢键：谷氨酰胺、脯氨酸和丝氨酸、苏氨酸：水吸收能力强，有黏性。

非极性氨基酸：使蛋白相互聚集、有黏弹性脂肪有效结合。

二硫键：使面团坚韧。

7. 蛋白质的界面性质

蛋白质的界面性质包括：

乳化性：蛋白质在稳定乳剂食品中起着非常重要的作用，并且存在着诸多因素影响蛋白质的乳化性质，如仪器设备的类型、输入能量的强度、加油速率、温度、离子强度、糖类和低分子量表面活性剂与氧接触的程度、油的种类等等。

起泡性：食品泡沫通常是气泡在连续的液相或含有可溶性表面活性剂的半固相中形成的分散体系。种类繁多的泡沫其质地大小不同，例如蛋白质酥皮、蛋糕、棉花糖和某些其他糖果产品、冰淇淋、啤酒泡沫和面包等。

界面参数

对三种界面参数的情况进行模拟：

(1)蛋白质分子与界面之间： $\epsilon_p=100$ ， $\sigma_p=10$ ，水分子与界面之间： $\epsilon_w=1$ ， $\sigma_w=10$ (条件 I)；

(2)蛋白质分子与界面之间： $\epsilon_p=100$ ， $\sigma_p=5$ ，水分子与界面之间： $\epsilon_w=1$ ， $\sigma_w=5$ (条件 II)；

(3)蛋白质分子和水分子与界面之间： $\epsilon=1$ ， $\sigma=1$ (条件 III)。

影响蛋白质乳化作用的因素：

蛋白质的溶解度：正相关 pH 值 $pH=PI$ 溶解度小时，降低其乳化作用 $pH=PI$ 溶解度大，增加其乳化作用血清清蛋白、明胶、蛋清蛋白在 $pH=PI$ ，具有较高的溶解度，此时，乳化作用增加。与蛋白质表面疏水性存在正相关。适当热诱导蛋白质变性，可增强其乳化作用。

蛋白质的起泡性质

是指蛋白质在汽-液界面形成坚韧的薄膜使大量气泡并入和稳定的能力。起泡性质的评价蛋白质的起泡力测定泡沫稳定性泡沫形成和稳定性的因素：

蛋白质的分子性质。蛋白质的浓度 2%—8%，随着浓度增加起泡性增加。

超过 10%，气泡变小，泡沫变硬。温度适当加热处理可提高起泡性能。过度的热处理则会损害起泡能力。pH 值大多数食品泡沫是在不同于其蛋白质等电点的条件下制备的。例外:卵清蛋白在 pI 时蛋白质的溶解度很低，形成泡沫数量较少（泡沫膨胀率较低），但泡沫的稳定性较高。

盐析时则显示较好的起泡性质。盐溶时则显示较差的起泡性质。NaCl: 增加膨胀度和降低泡沫的稳定性 Ca²⁺:提高泡沫的稳定性，Pr-COOH 搭桥

糖损害蛋白质的起泡能力，却改进了泡沫的稳定性。

脂稳定性下降

搅打过度激烈搅打也会导致泡沫稳定性降低

消泡剂

五、 蛋白质的理化性质及分离纯化

1. 蛋白质的理化性质

（一）蛋白质的两性解离与等电点：

由于蛋白质分子中氨基酸残基的侧链上存在游离的氨基和游离的羧基，因此蛋白质与氨基酸一样具有

两性解离的性质，因而也具有特定的等电点。

（二）蛋白质的胶体性质

蛋白质分子的颗粒直径已达 1~100nm，处于胶体颗粒的范围。因此，蛋白质具有亲水溶胶的性质。

布朗运动、丁道尔现象、电泳现象，不能透过半透膜，具有吸附能力。

蛋白质分子表面的水化膜和表面电荷是稳定蛋白质亲水溶胶的两个重要因素。

电泳：带电颗粒在电场中移动的现象。分子大小不同的蛋白质所带净电荷密度不同，迁移率即异，在电泳时可以分开。

（三）蛋白质的变性

在某些物理或化学因素的作用下，蛋白质严格的的空间结构被破坏（不包括肽键的断裂），从而引起蛋

白质若干理化性质和生物学性质的改变，称为蛋白质的变性(denaturation)。引起蛋白质变性的因素

① 物理因素：高温、高压、紫外线、电离辐射、超声波等；

② 化学因素：强酸、强碱、有机溶剂、重金属盐等。

变性蛋白质的性质改变

物理性质：旋光性改变，溶解度下降，沉降率升高，粘度升高，光吸收度增加等；

化学性质：官能团反应性增加，易被蛋白酶水解；

生物学性质：原有生物学活性丧失，抗原性改变。变性蛋白质主要标志是生物学功能的丧失。溶解度降低，易形成沉淀析出，结晶能力丧失，分子形状改变，肽链松散，反应基团增加，易被酶消化；变性蛋白质分子互相凝集为固体的现象称凝固。

蛋白质变性的可逆性

a) 蛋白质在体外变性后，绝大多数情况下是不能复性的；

b) 如变性程度浅，蛋白质分子的构象未被严重破坏；或者蛋白质具有特殊的分子结构，并经特殊处理则可以复性。

（四）蛋白质的沉淀反应

加高浓度盐类（盐析）：加盐使蛋白质沉淀析出。

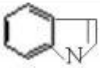
分段盐析：调节盐浓度，可使混合蛋白质溶液中的几种蛋白质分段析出。血清球蛋白（50% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 饱和度），清蛋白（饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ）。

加有机溶剂

加重金属盐

加生物碱试剂 单宁酸、苦味酸、钼酸、钨酸、三氯乙酸能沉淀生物碱，称生物碱试剂。

（六）蛋白质的颜色反应

| 反应名称 | 试剂 | 颜色 | 反应有关基团 | 有此反应的蛋白质或氨基酸 |
|----------------------------|--|--------|--|--------------|
| 双缩脲反应 | NaOH, CuSO ₂ | 紫色或粉红色 | 二个以上肽键 | 所有蛋白质 |
| 米伦反应 | HgNO ₃ , Hg(NO ₃) ₂ 及 HNO ₃ 混合物 | 红色 |  | Tyr |
| 黄色反应 | 浓HNO ₃ 及NH ₃ | 黄色、橘色 |  | Tyr, Phe |
| 乙醛酸反应 (Hopking-Cole 反应) | 乙醛酸试剂及浓 H ₂ SO ₄ | 紫色 |  | Trp |
| 坂口反应 (Sakaguchi反应) | α-萘酚、NaClO | 红色 | 胍基 | Arg |
| 酚试剂反应 (Folin-Ciocalteu 反应) | 碱性 CuSO ₄ 及 磷钨酸-钼酸 | 蓝色 | 酚基、吲哚基 | Tyr |
| 茚三酮反应 | 茚三酮 | 蓝色 | 自由氨基及羧基 | α-氨基酸 |

2. 蛋白质的分离与纯化

(一) 盐析与有机溶剂沉淀:

1. 盐析:

在蛋白质溶液中加入大量中性盐, 以破坏蛋白质的胶体性质, 使蛋白质从溶液中沉淀析出, 称为盐析。

常用的中性盐有: 硫酸铵、氯化钠、硫酸钠等。

盐析时, 溶液的 pH 在蛋白质的等电点处效果最好。

盐析沉淀蛋白质时, 通常不会引起蛋白质的变性。

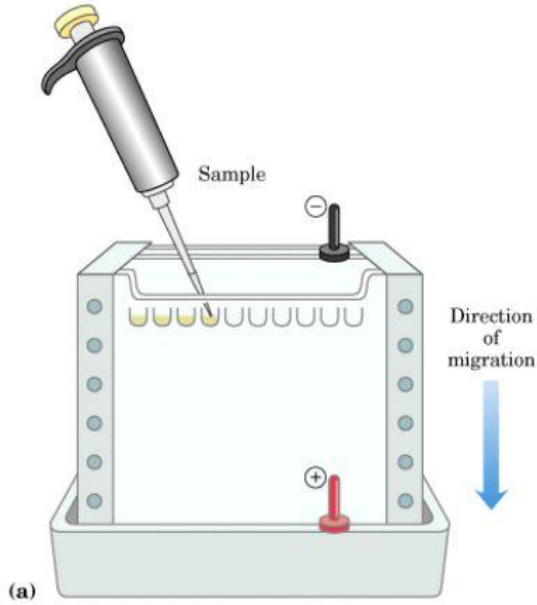
分段盐析:

半饱和硫酸铵溶液可沉淀血浆球蛋白, 而饱和硫酸铵溶液可沉淀血浆清蛋白。

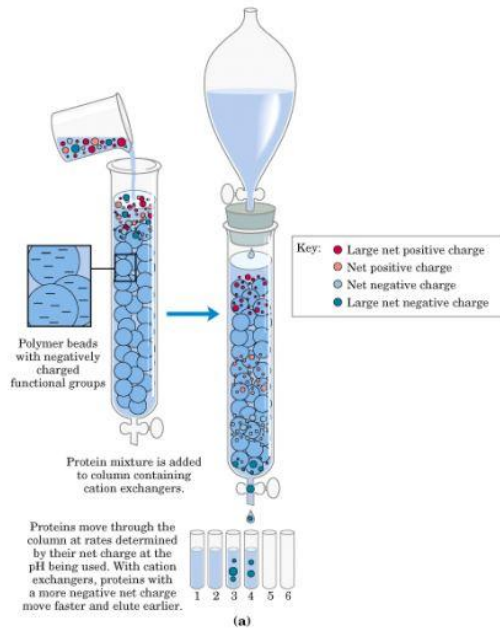
2. 有机溶剂沉淀蛋白质

凡能与水以任意比例混合的有机溶剂, 如乙醇、甲醇、丙酮等, 均可用于沉淀蛋白质。

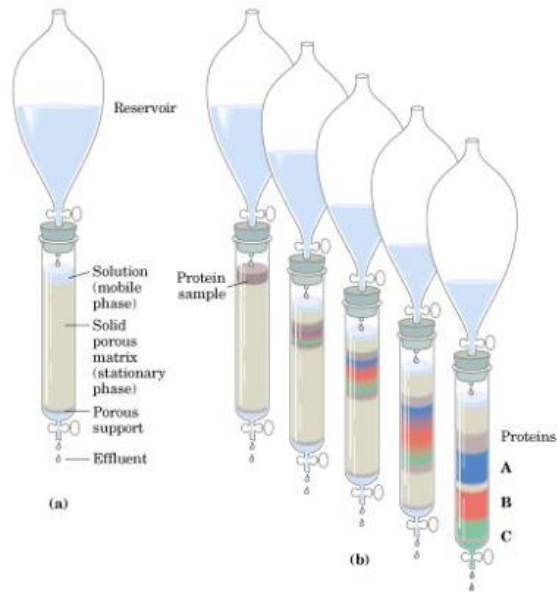
沉淀原理是:



① 脱水作用；



② 使水的介电常数降低，



蛋白质溶解度降低。

(二) 电泳:

(三) 离子交换层析

(四) 凝胶过滤层析

(五) 超速离心:

利用物质密度的不同，经超速离心后，分布于不同的液层而分离。

超速离心也可用来测定蛋白质的分子量，蛋白质的分子量与其沉降系数 S 成正比。

六、 食品加工中蛋白质的变化

1. 蛋白质的构象

水：促进极性挥发物的结合。

pH：碱性 pH 比在酸性 pH 更能促进与风味物的结合。

热：热变性蛋白质显示较高结合风味物的能力。

化学改性：化学改性会改变蛋白质的风味物结合性质

2. 低温处理下的变化

食品的低温贮藏可延缓或阻止微生物的生长并抑制酶的活性及化学变化。

冷却（冷藏）

冷冻（冻藏）

3. 碱处理下的变化

与热处理同时进行时，对蛋白质的营养价值影响很大。蛋白质与氧化剂之间的相互作用

蛋氨酸的氧化

色氨酸的氧化

4. 脱水处理下的变化

①传统的脱水方法。

②真空干燥。

③冷冻干燥。

④喷雾干燥。

⑤鼓膜干燥。

5. 辐照处理下的变化

r 辐射引起蛋白质发生聚合含硫氨基酸残基和芳香族氨基酸残基

6. 机械处理下的变化

对食品中的蛋白质有较大的影响

七、 氨基酸

氨基酸是组成蛋白质的基本单元，天然蛋白质中一般含有 20 种氨基酸，另外还有一些其它较少见的氨基酸存在于自然界中并具有特殊的生物功能。

1. 氨基酸的结构与分类

一、氨基酸的结构

组成蛋白质的基本单位是氨基酸。如将天然的蛋白质完全水解，最后都可得到约二十种不同的氨基酸。

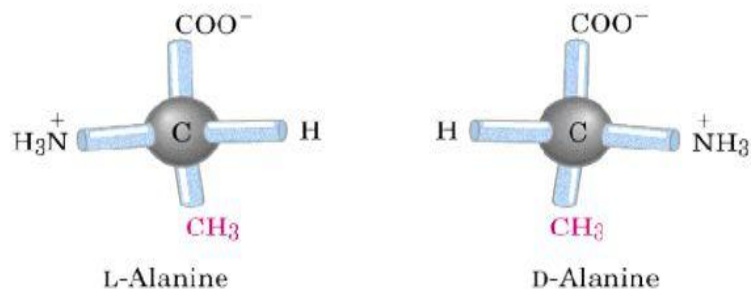
从氨基酸的结构通式可以看出：

构成蛋白质的氨基酸均为 L— α —氨基酸。

除 R 为 H（甘氨酸）外，其余氨基酸均具有旋光性。

*在空间各原子有两种排列方式：L—构型与 D—构型，它们的关系就像左右手的关系，互为镜像关

系，下图以丙氨酸为例：



二、氨基酸的分类：

1.按氨基酸分子中羧基与氨基的数目分：

酸性氨基酸：一氨基二羧基氨基酸，有天冬氨酸、谷氨酸；

碱性氨基酸：二氨基一羧基氨基酸，有赖氨酸、精氨酸、组氨酸；

中性氨基酸：一氨基一羧基氨基酸，有甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、半

胱氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、酪氨酸、脯氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、丝氨酸、苏氨酸。

2.按侧基 R 基的结构特点分：

脂肪族氨基酸

芳香族氨基酸：苯丙氨酸、色氨酸、酪氨酸

杂环氨基酸：脯氨酸、组氨酸

3.按侧基 R 基与水的关系分：

非极性氨基酸：有甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、半胱氨酸、苯丙氨酸、

色氨酸、酪氨酸、脯氨酸；

极性不带电氨基酸：天冬酰胺、谷氨酰胺、丝氨酸、苏氨酸；

极性带电氨基酸：天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸、精氨酸、组氨酸。

4. 按氨基酸是否能在人体内合成分：

必需氨基酸：指人体内不能合成的氨基酸，必须从食物中摄取，有八种：赖氨酸、色氨酸、甲硫氨酸、

苯丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苏氨酸。

非必需氨基酸：指人体内可以合成的氨基酸。有十种。

半必需氨基酸：指人体内可以合成但合成量不能满足人体需要（特别是婴幼儿时期）的氨基酸，有两

种：组氨酸、精氨酸。

三、稀有氨基酸：

参加天然蛋白质分子组成的氨基酸，除了上述 20 种有遗传密码的基本氨基酸之外，在少数蛋白质分

子中还有一些不常见的氨基酸，称为稀有氨基酸。

它们都是在蛋白质分子合成之后，由相应的常见氨基酸分子经酶促化学修饰而成的衍生物。

二十种氨基酸的名称和结构如图所示：

(注：缺脯氨酸)

2. 氨基酸的理化性质

一、物理性质

形态：均为白色结晶或粉末，不同氨基酸的晶型结构不同。

溶解性：一般都溶于水，不溶或微溶于醇，不溶于丙酮，在稀酸和稀碱中溶解性好。

熔点：氨基酸的熔点一般都比较高，一般都大于 200℃，超过熔点以上氨基酸分解产生胺和二氧化碳。

光吸收：氨基酸在可见光范围内无光吸收，在近紫外区含苯环氨基酸有光的吸收。

旋光性：除甘氨酸外的氨基酸均有旋光性。

二、氨基酸的化学性质

1. 两性解离及等电点

氨基酸分子是一种两性电解质。

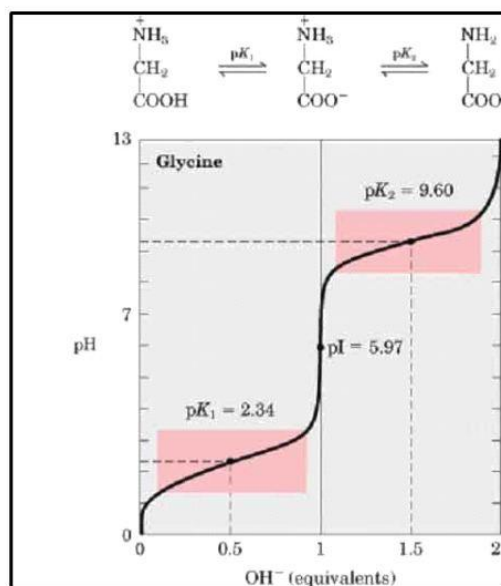
通过改变溶液的 pH 可使氨基酸分子的解离状态发生改变。

氨基酸分子带有相等正、负电荷时，溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点 (pI)。

在某一 pH 环境下，以两性离子（兼性离子）的形式存在。该 pH 称为该

氨基酸的等电点。所以氨基酸的等电点可以定义为：氨基酸所带正负电荷相等时的溶液 pH。

以甘氨酸为例，从左向右是用 NaOH 滴定的曲线，溶液的 pH 由小到大逐渐升高；从右向左是用 HCl 滴定的曲线，溶液的 pH 由大到小逐渐降低。曲线中从左向右第一个拐点是氨基酸羧基解离 50%的状态，第二个拐点是氨基酸的等电点，第三个拐点是氨基酸氨基解离 50%的状态。



通过氨基酸的滴定曲线，可用下列 Henderson—Hasselbalch 方程求出各解离基团的解离常数(pK,)根据 pK,可求出氨基酸的等电点,其等电点左右两个 pK,值的算术平均值求出。

$$pH = pK' + \log \frac{[\text{质子受体}]}{[\text{质子供体}]}$$

中性及酸性氨基酸:

$$pI = (pK_1 + pK_2) / 2$$

中性氨基酸: pK₁, 为 α-羧基的解离常数, pK₂, 为 α-氨基的解离常数。

酸性氨基酸: pK₁, 为 α-羧基的解离常数, pK₂, 为侧链羧基的解离常数。

碱性氨基酸:

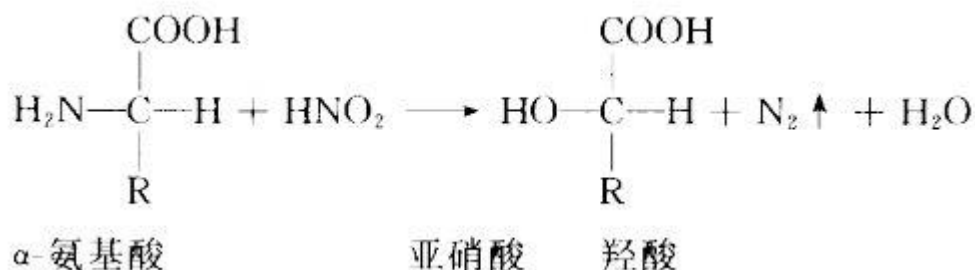
$$pI = (pK_2 + pK_3) / 2$$

其中: pK₂, 为 α-氨基的解离常数, pK₃, 为侧链氨基的解离常数。

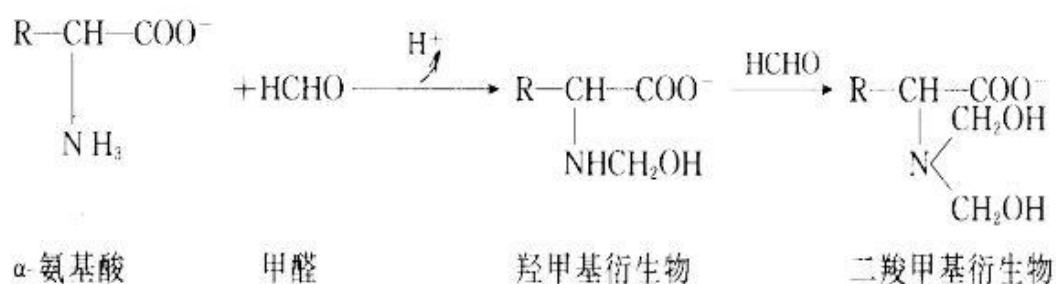
二十种氨基酸的 pK, 及等电点(P133):

2. 由 α-氨基参加的反应

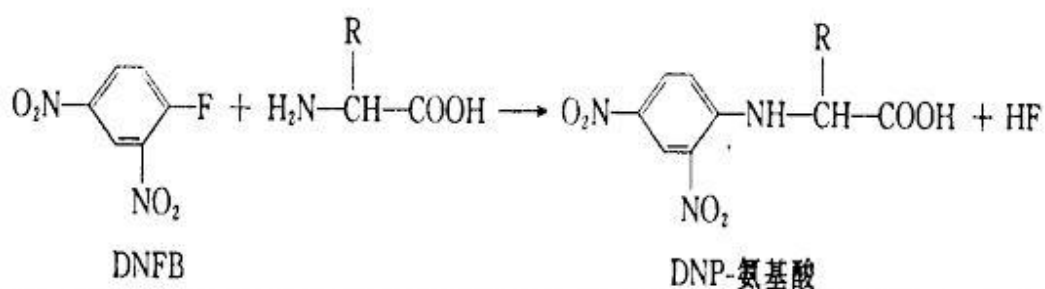
1) 亚硝酸反应 放出氮气, 氮气的一半来自氨基氮, 一半来自亚硝酸, 在通常情况下测定生成的氮气的体积量可计算氨基酸的量, 此反应可用于测定蛋白质的水解程度。



2) 与甲醛的反应 用过量的中性甲醛与氨基酸反应, 可游离出氢离子, 然后用 NaOH 滴定, 从消耗的碱量可以计算出氨基酸的含量。此法称为间接滴定法。



3) 与 2, 4-二硝基氟苯 (2, 4-DNFB) 的反应 (Sanger 反应) 生成黄色的二硝基苯-氨基酸衍生物。

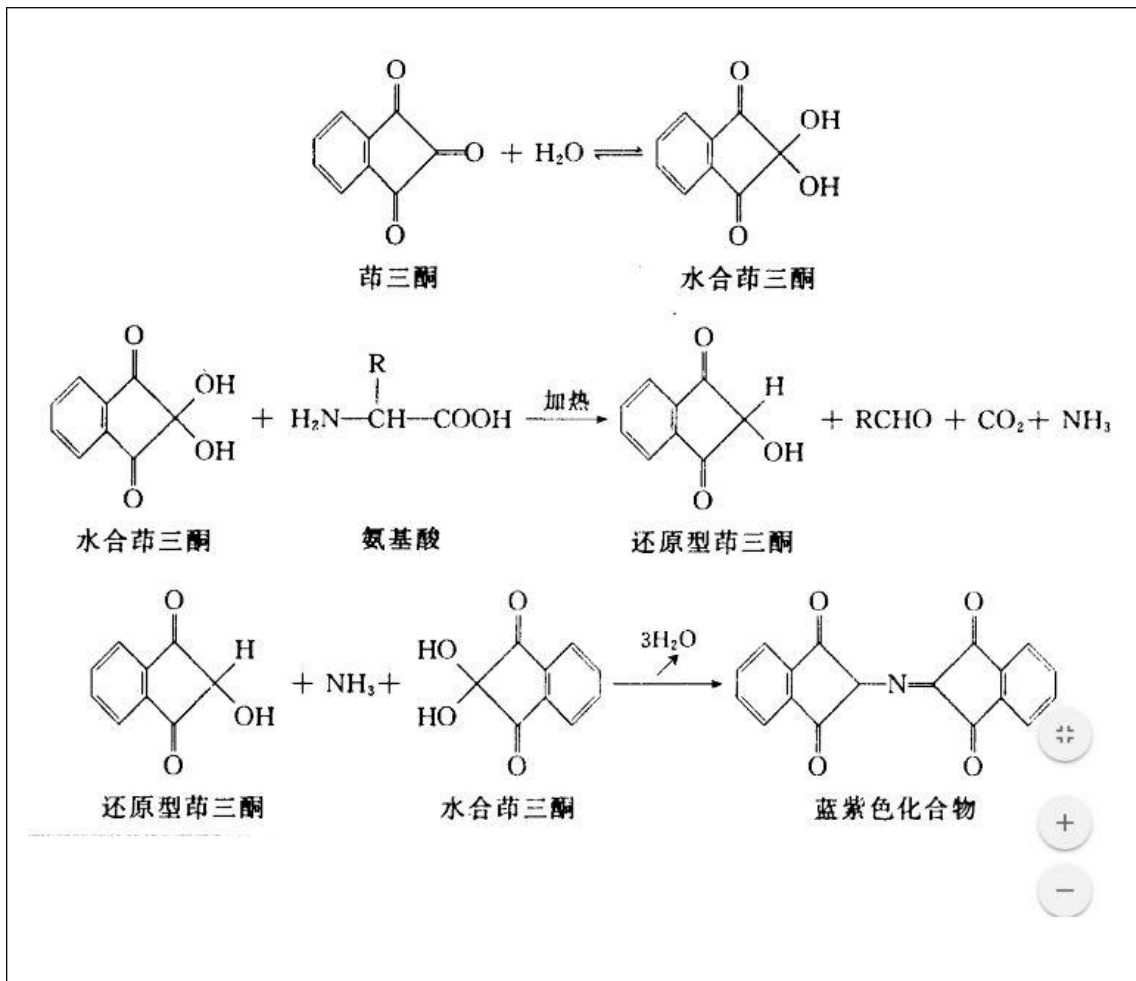


3. α -羧基参加的反应

与碱反应成盐 与醇反应成酯

4. α -氨基与 α -羧基共同参加的反应

与茚三酮的反应: 除脯氨酸与羟脯氨酸外, 可与其它氨基酸生成蓝紫色化合物。脯氨酸与羟脯氨酸为黄色化合物。



作业布置：

本章的知识点较多，在讲授的过程中需有重点的进行讲解，可结合实例进行讲解，可以让学生结合生活实际谈谈蛋白质性质的应用。同时鼓励学生用所学知识对生活中的现象进行解释。

- 1、蛋白质如何分类？
- 2、蛋白质的功能性质有哪些？
- 3、简述蛋白质的一级结构、二级结构。

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》

第五章 核酸

| | | | | | |
|--|--------|---------|---------|------|-----|
| 授课章节 | 第五章 核酸 | | | | |
| 课时安排 | 4 | 教学方法及手段 | 讲授、小组讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： 1. 核酸的概述 2. 核酸的结构 3. 核酸的性质 4. 酵母 RNA 的提取 | | | | | |
| 三维目标： 1. 知识目标：掌握核酸的分类、化学组成及结构特点；理解 DNA 双螺旋结构模型 2. 能力目标：能够区分 DNA 与 RNA 的结构差异；理解核酸在食品中的存在形式 3. 素质目标：认识核酸与食品营养、食品安全的关系 | | | | | |
| 教学重点、难点： 1. 重点：核酸的化学组成（碱基、戊糖、磷酸）；DNA 二级结构；核酸的变性复性 2. 难点：DNA 双螺旋结构的特点；核酸变性的机制及其在食品加工中的应用 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程： 1. 核酸概述 定义：携带遗传信息的生物大分子 分类：DNA（脱氧核糖核酸）：主要存在于细胞核 RNA（核糖核酸）：mRNA、tRNA、rRNA | | | | | |

2. 核酸的化学组成

组成成分 DNA RNA

碱基 A、G、C、T A、G、C、U

戊糖 D-2-脱氧核糖 D-核糖

磷酸 磷酸 磷酸

核苷酸 = 碱基 + 戊糖 + 磷酸 (基本结构单元)

3. 核酸的结构

(1) 一级结构

核苷酸通过 3',5'-磷酸二酯键连接成多核苷酸链

(2) DNA 的二级结构——双螺旋结构 (B-DNA)

Watson-Crick 模型要点:

两条反向平行的多核苷酸链

碱基在内侧, 磷酸-戊糖骨架在外侧

碱基互补配对: A=T (2 个氢键), G≡C (3 个氢键)

双螺旋直径 2nm, 螺距 3.4nm, 每圈 10 个碱基对

(3) RNA 的结构特点

多为单链, 局部可形成双螺旋 (如 tRNA 的三叶草结构)

4. 核酸的理化性质

性质 内容

紫外吸收 最大吸收峰 260nm (用于定量测定)

变性 双链→单链, 紫外吸收增加 (增色效应), 粘度下降

复性 变性 DNA 缓慢冷却恢复双链结构

杂交 不同来源的核酸单链形成杂合双链

食品应用举例:

PCR 技术: 基于 DNA 变性与复性原理, 用于食品致病菌检测

核酸酶: 食品加工中影响风味 (如鱼类鲜味物质的释放)

5. 小结与思考题

课堂小结:

DNA 是双螺旋, RNA 多单链; 碱基配对 A-T、G-C; 变性复性有应用。

思考题：

为什么 DNA 比 RNA 更稳定？

核酸变性在食品检测中有何应用？

作业布置：

1. 列表比较 DNA 与 RNA 在化学组成和结构上的异同
2. 查阅资料：简述核酸在功能性食品开发中的应用

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》

第六章 水和矿物质（一）

| | | | | | |
|--|----------------|---------|---------|------|-----|
| 授课章节 | 第六章 水和矿物质（一）水分 | | | | |
| 课时安排 | 4 | 教学方法及手段 | 讲授、小组讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： 1、引言 2、水和冰的物理特性 3、水和冰的结构 4、水和非水组分的相互作用 5、水分活度 6、总结 | | | | | |
| 三维目标： 1.知识：掌握水分活度的基本概念及特点 2.能力：了解水和冰的物理特性、化学结构 3.素养：吸湿等温线 | | | | | |
| 教学重点、难点： 1、水和冰的结构及其性质； 2、水在食品中的存在状态； 3、水与溶质之间的相互作用及其机理。 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程： <p style="text-align: center;">水分</p> <p>一、 引言</p> | | | | | |

人体所必须的六大营养元素包括：糖类，脂类，蛋白质，维生素，矿物质和水。虽然这些都是活生物体的生存所必须的，但水是食品中最重要的成分之一。食品品种不同，含水量差别很大。

各种食品都有显示其品质的特征含水量，如：果蔬:75%-95%,肉类:50%-80%,面包:35%-45%,谷物:10%-15%；成年人：58—67%；其中肌肉和薄壁组织器官（脑、肝、胃）含水量为70—80%，皮肤60—70%，骨骼，12—15%。

水在生命体内的重要功能：

是体内化学反应的介质

水为生物化学反应提供一个物理环境。

生化反应的反应物

养分和代谢物的载体

热容量大，体质体温

粘度小，有润滑作用

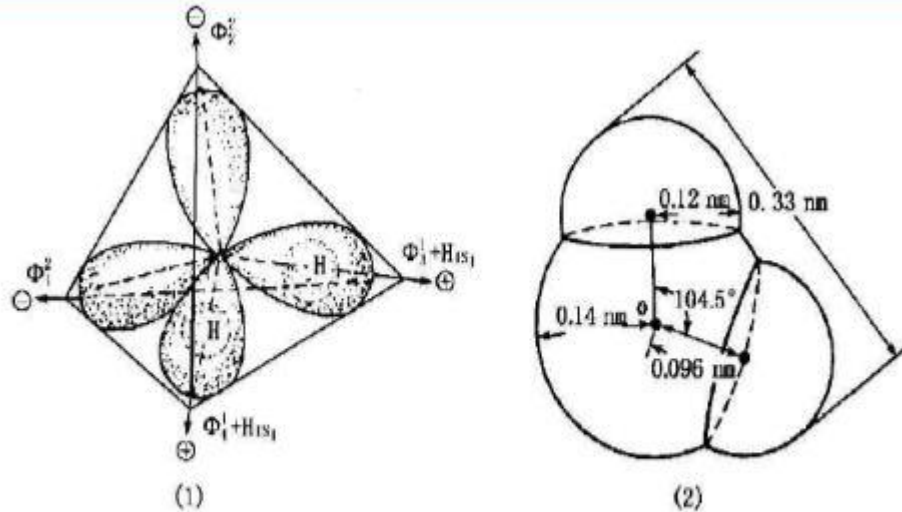
生物大分子构象的稳定剂

二、 水和冰的物理特性

水异常的物理性质: 1. 熔点,沸点高; 2. 介电常数大; 3. 水的表面张力和相变热（熔融热、蒸发热、升华热）大; 4. 密度低,结冰时体积膨胀; 5. 导热值比非金属固体大,0℃时,冰的导热值为同温度下水的4倍,热扩散速度为水的9倍; 6. 密度随温度而变化; 7.具有溶剂性。

三、 水和冰的结构

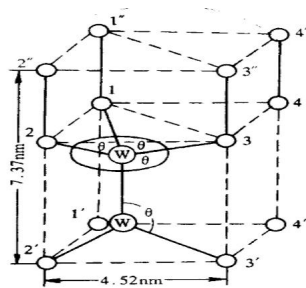
1. 单个水分子的结构特征



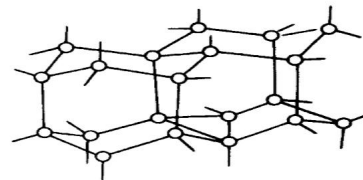
单个水分子的结构示意图

(1) sp^3 构型; (2) 气态水分子的范德瓦尔斯半径

1. H₂O 分子的四面体结构有对称型.
2. H-O 共价键有离子性.
3. 氧的另外两对孤对电子有静电力.
4. H-O 键具有电负性.



(1) 普通冰的晶胞



(2) 普通冰的结构

图 2.1-3 普通冰的晶胞和结构

2. 水分子的缔合

水分子不仅相互之间可以通过**氢键**缔合,而且可以和其它带有极性基团的有机分子通过氢键相互结合,所以糖类、氨基酸类、蛋白质类、黄酮类、多酚类化合物在水中均有一定的溶解。

3. 水分子缔合的原因:

1. H-O 键间电荷的非对称分布使 H-O 键具有极性,这种极性使分子之间产生引力。
2. 由于每个水分子具有数目相等的氢键供体和受体,因此可以在三维空间形成多重氢键。

3. 静电效应。

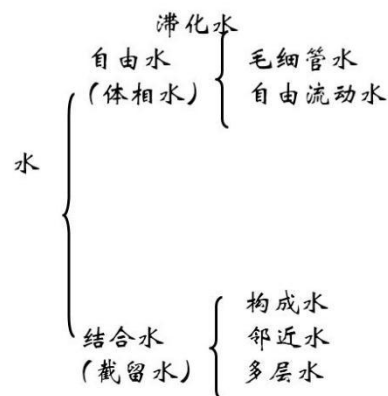
4. 水分子的结构特征

水是呈四面体的网状结构

水分子之间的氢键网络是动态的

水分子氢键键合程度取决于温度

四、 水和非水组分的相互作用



滞留水：被组织中的显微结构或亚显微结构或膜滞留的水。特点：不能自由流动，与非水物质没有关系；

毛细管水：由细胞间隙等形成的毛细管力所系留的水。特点：理化性质与滞留水相同。

自由流动水：以游离态存在的水。特点：可正常结冰，具有溶剂能力，微生物可利用。

构成水：结合最强的水，已成为非水物质的组成部分。如存在于蛋白质分子的空隙区域的水和成为化学水合物的一部分的水。

邻近水：占据着非水成分的大多数亲水基团的第一层位置。如与离子或离子基团相缔合的水。

多层水：占有第一层中剩下的位置以及形成了邻近水外的几层。虽然结合程度不如邻近水，仍与非水组分靠得足够近，其性质大大不同于纯净水。

五、 水分活度

食品水分含量和其腐败性之间有一定关系，不同类型食品虽然水分含量相同，但腐败性存在显著差异。部分原因是水与非水成分缔合强度上的差别，强缔

合的水比弱缔合的水较低程度支持降解活力。

食品中的水分并不是静止的，而是处于一种活动的状态，会随环境条件的变动而变化。如食品周围环境的空气干燥，湿度低，则水分会从食品向空气中蒸发，水分逐渐减少而干燥，反之亦然。

因此，食品的含水量除了用%表示外，还可用水分活性 A_w 来表示。

1. 水分活度

水分活度的定义：1957年 Scott 研究提出水分活度的概念

食品的含水量：指在一定温度、湿度等外界条件下，处于平衡状态时食品的水分含量。(单位 $\text{gH}_2\text{O/g}$ 干物质)

水分活度的概念：

$$A_w = p/p_0$$

A_w :水分活度；

p :一定温度下食中水蒸气分压

p_0 :同温度下纯水的饱和蒸汽分压

物理学意义：一个食物样品中水蒸气分压 p 与同温度下纯水的饱和蒸汽分压 p_0 之比。也可以理解为一个物质所含有的自由状态的水分子数与如果是纯水在此同等条件下同等温度与有限空间内的自由状态的水分子数的比值。

水分活度的大小：

纯水 $A_w = 1$ ，溶液 $A_w < 1$ ，结合水 $\uparrow A_w \downarrow$

a.水分活度反映了食品中的水分存在形式和被微生物利用的程度。

b.水分活度是食品的内在性质，它决定于食品的内部结构和组成。

水分吸附等温线 (Moisture sorption isotherms,MSI),

在恒定温度下，使食品吸湿或干燥，所得到的食品水分含量（每克干物质中水的质量）与 A_w 的关系曲线。

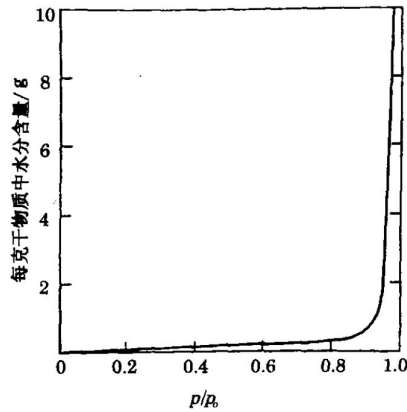


图 2-16 宽水分含量范围的水分吸着等温线

2. 水分活度对微生物生长繁殖的影响：

食品中各种微生物的生长发育是由其水分活度而不是由其含水量决定的。食品的水分活度决定了微生物在食品中萌发的时间、生长速率及死亡率。

细菌对水分活度最敏感。 $A_w < 0.90$ 时，细菌不能生长；酵母菌次之， $A_w < 0.87$ 时大多数酵母菌受到抑制；霉菌的敏感性最差，

$A_w < 0.80$ 时大多数霉菌不生长。

$A_w > 0.91$ 时，微生物变质以细菌为主； $A_w < 0.91$ 时可抑制一般细菌的生长。在食品原料中加入食盐、糖后，水分活度下降，一般细菌不能生长，但一种嗜盐菌却能生长，就会造成食品的腐败。有效抑制方法是在 10°C 以下的低温中贮藏，以抑制这种嗜盐菌的生长。

霉菌生长的最低水分活度在 $0.86-0.97$ 。在真空包装的水产和畜产加工制品，流通标准规定其水分活度要保持在 0.94 以下。

3. 水分活度对食品生物化学变化的影响：

食品中存在着氧化，褐变等化学变化，食品采用热处理的方法可以避免微生物腐败的危险，但化学腐败仍然不可避免。食品中化学反应的速率与水分活度的关系是随着食品的组成、物理状态及其结构而改变的，也受大气组成(特别是氧的浓度)、温度等因素的影响。

水分活度对脂肪氧化酸败的影响：水分活度 \uparrow ，脂肪氧化酸败 \uparrow 。

A_w 为 $0.3-0.4$ 时速率较慢； $A_w > 0.4$ 时，氧在水中的溶解度增加，并使含脂食品膨胀，暴露了更多的易氧化部位。若再增加水分活度，又稀释了反应体系，反应速率开始降低。

水分活度对美拉德反应的影响：

A_w 在 0.6—0.7 时最容易发生，水分在一定范围内时，非酶褐变随水分活度增加而增加。 A_w 降到 0.2 以下，褐变难以进行。 A_w 大于褐变的高峰值，则因溶质受到稀释而速度减慢。

色素的稳定与水分活度： $A_w \uparrow$ ，花青素分解 \uparrow 。

4. 水分活度对食品质构的影响：

A_w 从 0.2—0.3 增加到 0.65 时，大多数半干或干燥食品的硬度及黏性增加，各种脆性食品，必须在较低的 A_w 下，才能保持其酥脆。 A_w 控制在 0.35—0.5 可保持干燥食品理想性质。

对于含水较多的食品，如冻布丁、蛋糕、面包等，它们的 A_w 大于周围空气的相对湿度，保存时需要防止水分蒸发。

通过食品的包装创造适宜的小环境，尽可能达到不同食品对水分活度的要求。

5. 降低水分含量的方法

概念：食品干燥是指将食品中的水不断蒸发、不断扩散出去，而使食品水分含量降低。

自然干燥：

概念：食品的自然干燥是指充分利用自然界的能量除去食品中的水分。如利用日光晒干，利用风进行风干。

优点：简单，经济。不需要特殊设备，被广泛使用。

缺点：所需时间长，易发生变色、褪色、显色、氧化以及由于酶的作用引发的各种生化反应，食品的质量往往受到影响。

热风干燥：

概念：人为的控制下除去食品中的水分。将食品放在金属网或钢制带式运输机上，送入热风干燥室。

优点：可以使水分含量控制在一定范围之内，品质基本保持一致。

真空干燥：

在 101.3kPa 时，水在 100℃ 沸腾；当压力降到 2.33kPa 时，水在 20℃ 即可沸腾。因此适当调节温度和真空度，使食品中的水极易转化为气态逸出，能达到在

较低温度下迅速干燥食品的目的，并能获得品质优良的食品。

喷雾干燥：

应用：对黏度大，易结块的易吸湿的食品，如速溶咖啡，豆奶粉等食品，可以采取喷雾干燥法。

工序：液态食品→浓缩→加压喷头将其喷成微细的雾状→与热风同时进入干燥室→干燥

优点：有较大的表面积，溶解速度快，蛋白质变性和褐变少

冷冻升华干燥：

概念：将湿物料先冻结到冰点以下，使水分变成固体冰，然后在较高的真空度将冰直接转化为蒸汽而除去，物料即被干燥。

优点：适用于热敏性且易氧化的食品，可保持食品的色、香、味及 Vc 等营养物质及原来的外形。

缺点：易吸湿。

六、 总结

降低食品中的水分活度，可以延缓酶促褐变和非酶褐变的进行，减少营养成分的破坏，防止水溶性色素的分解。但水分活度太低，反而会加速脂肪的氧化酸败。要使食品具有最高的稳定性，最好将水分活度保持在结合水范围内。这样，既可使化学变化难以发生，同时又不会使食品丧失吸水性和持水性。

作业布置：

本章主要难点有水和冰的结构、等温吸湿曲线及水分活度对食品生物化学变化的影像，理论性较强，在讲授的过程中应把握重点，同时尽可能的结合生活中的实例加深学生的理解。

- 1、 简要概括食品中水分的存在状态。
- 2、 简述食品中结合水和自由水的性质区别。

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》夏延斌主编 中国农业出版社 2004.8

第六章 水和矿物质（二）

| | | | | | |
|---|-----------------|---------|---------|------|-----|
| 授课章节 | 第六章 水和矿物质（二）矿物质 | | | | |
| 课时安排 | 3 | 教学方法及手段 | 讲授、小组讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： 1、概述 2、食品中的重要矿物质 3、矿物质在食品加工中的损失和强化 | | | | | |
| 三维目标： 1. 知识：了解主要食物矿物元素的分类、分布特点，以及必需元素的功能与生物有效性。 2. 能力：掌握易缺乏性元素钙、铁锌、碘的生理功能与强化方法。 3. 素养：掌握食品中矿物质的功能特性。 | | | | | |
| 教学重点、难点： 1、主要食物矿物元素的分类。 2、钙、铁锌、碘的生理功能。 3、钙、铁锌、碘的强化方法。 | | | | | |
| 教学过程： <h3 style="text-align: center;">矿物质</h3> <h4>一、 概述</h4> <p>所谓矿物质（Minerals）是指食品中各种无机化合物，大多数相当于食品灰化后剩余的成分，故又称粗灰分（Crude ash, CA）。矿物质在食品中的含量较少，但具有重要的营养生理功能，有些对人体具有一定的毒性。因此，研究食品中的矿物质目的在于提供建立合理膳食结构的依据，保证适量有益矿物质，减少有毒矿物质，维持生命体系处于最佳平衡状态。</p> <p>食品中矿物质含量的变化主要取决于环境因素。植物可以从土壤中获得矿物质并贮存于根、茎和叶中；动物通过摄食饲料而获得。</p> | | | | | |

食物中的矿物质可以离子状态、可溶性盐和不溶性盐的形式存在；有些矿物质在食品中往往以螯合物或复合物的形式存在。

1. 矿物质的功能

机体的构成成分

食品中许多矿物质是构成机体必不可少的部分，例如钙、磷、镁、氟和硅等是构成牙齿和骨骼的主要成分；磷和硫存在于肌肉和蛋白质中；铁为血红蛋白的重要组成部分。

维持体内环境的稳定

作为体内的主要调节物质，矿物质不仅可以调节渗透压，保持渗透压的恒定以维持组织细胞的正常功能和形态；而且可以维持体内的酸碱平衡和神经肌肉的兴奋性。

某些特殊功能

某些矿物质在体内作为酶的构成成分或激活剂。在这些酶中，特定的金属与酶蛋白分子牢固地结合，使整个酶系具有一定的活性，例如血红蛋白和细胞色素酶系中的铁，谷胱苷肽过氧化物酶中的硒等。有些矿物质是构成激素或维生素的原料，例如碘是甲状腺素不可缺少的元素，钴是维生素 B12 的组成成分等。

改善食品的品质

许多矿物质是非常重要的食品添加剂，它们对改善食品的品质意义重大。例如，Ca²⁺是豆腐的凝固剂，还可保持食品的质构；磷酸盐有利于增加肉制品的持水性和结着性；食盐是典型的风味改良剂等。

2. 矿物质的分类

食品中矿物质按其对人体健康的影响可分为必需元素（Essential element）、非必需元素（No Essential element）和有毒元素（Toxic element）三类。必需元素是指这类元素存在于机体的健康组织中，对机体自身的稳定具有重要作用。当缺乏或不足时，机体出现各种功能异常现象。例如，缺铁导致贫血；缺硒出现白肌病；缺碘易患甲状腺肿等。但必需元素摄入过多会对人体造成危害，引起中毒。非必需元素又称辅助营养元素，有毒元素通常指重金属元素如汞、铅、镉等。

食品中的矿物质若按在体内含量的多少可分为常量元素（Macro-element）和微量元素（Micro-element）两类。常量元素是指其在人体内含量在 0.01% 以上的

元素如钙、磷等；含量在 0.01%以下的称为微量元素如铁、碘、硒、锌、锰、铬等。无论是常量元素还是微量元素，在适当的范围内对维持人体正常的代谢与健康具有十分重要的作用。

含有阴离子酸根的非金属元素较多的食品，在体内代谢后的产物大多呈酸性，故在生理上称为酸性食品，如肉，鱼，蛋，米等。

含有阳离子金属元素较多的食品在生理上称为碱性食品，如果蔬，豆类等。

3. 判断方法

采取灰化的方法，再用酸或碱中和来确定。

100g 食品的灰分→水，用 0.1N 酸或碱滴定，所消耗的 ml 数即为食品灰分的酸、碱度。“+”表示碱度 “-”表示酸度。

大部分的肉、鱼、禽、蛋因为含丰富的含硫蛋白质，米、面粉制品含磷多，所以属酸性食品。

酸性、碱性食品可影响机体的酸、碱平衡及尿液酸度，在健康情况下，人体为微碱性， $\text{PH}=7.3$ 。若酸性持续时间过长，就会引起对骨骼等的危害，因而，酸碱性食物最好等量食用，别偏食。

注意：虽然水果中含有各种有机酸，但其中含有许多碱性元素，故它属于碱性食品。

矿质元素的价态与营养性：例如， Fe^{3+} 难溶，不利吸收，而 Fe^{2+} 易于吸收。

矿质元素之间对营养性的影响：如 Fe 过多会抑制 Zn, Mn 的吸收

有机物对矿质元素营养性的影响：如 VC 有利于 Fe 的吸收，VD 及 Pr 促进 Ca 的吸收。

由于矿物质在食品中的存在形式多样，并收到多种膳食因素的影响，其生物利用性是可变的，一种食物中某种营养素的含量高，未必说明它是这种营养素的良好来源。

生物可利用性：是指食物中的某种营养素在经过消化吸收过程之后在人体内的利用率，包括吸收率、转化为活性形式的比例以及在代谢中发挥的功能。对于矿物质来说，生物有效性是生物利用性的关键。

生物有效性：指某种矿物质从小肠被吸收入血的效率。对某些植物性食品中的铁来说，生物有效性可低至 1%，而钾钠等的生物有效性则高达 90%以上。

影响矿物质生物有效性的因素很多，主要有以下方面：

1、矿物质在食品中的化学存在形式

同一元素处于不同化合物形式时溶解性可能不同，而，溶解性影响着生物利用性，因为消化吸收需以水为介质，在体内转运和发挥功能也常以水为媒介。

2、食品中充当配位体的物质

3、食品成分的氧化还原性质和 PH

4、金属离子之间的相互作用

5、其他营养素摄入量的影响

6、人体的生理状态

二、 食品中的重要矿物质

1. 钙 (Calcium, Ca)

是人体必需的营养素之一。体内 99%的钙和 80%的磷以羟磷灰石的形式存在与骨骼和牙齿中。钙对血液凝固、神经肌肉的兴奋性、细胞的粘着、神经冲动的传递、细胞膜功能的维持、酶反应的激活以及激素的分泌都起着决定性的作用。

由于钙能与带负电荷的大分子形成凝胶如低甲氧基果胶、大豆蛋白、酪蛋白等，加入罐用配汤可提高罐装蔬菜的坚硬性，因此，在食品工业中广泛用作质构改良剂。钙的主要来源有乳及其制品、绿色蔬菜、豆腐、鱼和骨等；人体缺钙时，幼年易患佝偻病，成年或老年易患骨质疏松症。一般很少出现磷缺乏症。

2. 磷(P)

磷是细胞中不可缺少的成分。

① 生理功能

磷调节体液的 PH 值（组成磷酸盐）；参与能量转移($P_i + \text{APP} \rightarrow \text{ATP}$),调节酶活性（无活性酶 + $P_i \rightarrow$ 有活性酶）

②磷的来源

磷广泛存在所有动植物食品中，食物中以豆类、花生、肉类、核桃、蛋黄中磷的含量比较丰富。但谷类及大豆中的磷主要以植酸盐形式存在，不易被人体消化，但若预先通过发酵或将谷粒、豆粒浸泡在热水中，植酸能被酶水解成肌醇与磷酸盐时就可提高磷的吸收率。

③ 磷的添加剂

正磷酸盐、焦磷酸钠、三聚磷酸钠、偏磷酸钠和骨粉等常用作强化食品的磷的添加剂，但它们也都需经酶水解成正磷酸盐后才能被吸收，而且其水解程度受磷酸聚合程度的影响。磷在软饮料中用作酸化剂；三聚磷酸钠有助于改善肉的持水性；在剁碎肉和加工奶酪时使用磷可起到乳化助剂的作用。此外，磷还可充当膨松剂。

3. 锌 (Zn)

主要存在与骨骼、皮肤、头发和血液中,其中有 25~85%在红细胞中。

①生理功能

锌是某些酶(如碳酸酐酶 LDH)的辅助因子；锌参与蛋白和核酸的合成；存在于胰岛素分子中；与唾液蛋白和转铁蛋白相结合。

②富含 Zn 的食品

一般动物性食品中锌含量较高。例如，肉、内脏、蛋类、海产品。

③缺 Zn 的表现

当缺锌时可表现为食欲低下，厌食、偏食、异食癖、生长发育落后、味觉功能减低以及免疫功能下降，严重时可表现出智力低下。

4. 铁 (Fe)

铁是血红素和某些酶的成分。食物中的铁元素可分为血红素铁和非血红素铁，血红素铁来自于有血的动物食品，吸收率为 20~40%，直接吸收，不受食物因素影响；非血红素铁的吸收率为 3~5%，受植酸和草酸的影响铁盐以二价离子的形式被吸收，并以有机铁盐为最佳吸收。一些动物性食品含铁较高且易于吸收。鸡蛋中可吸收的铁少的原因是因为铁与蛋黄磷蛋白中的磷结合所致。

铁可作为面粉与其它谷物食品中的强化剂，但两价的铁容易使食品褪色或氧化。而元素铁不但容易吸收，而且不会影响食品质量，所以一般宜用元素铁来强化面粉。

5. 碘 (I)

碘是合成甲状腺素的原料，碘缺乏时居民易患甲状腺肿大症，克汀病（侏儒呆小症）。

碘化食盐、海产品如鱼和贝壳类中碘的含量非常丰富。

在食品加工中碘的大量损失可能是由于加工不当（长时间煮、漂洗次数多）

6. 硒Se

硒是 1837 年由瑞典科学家 Berzelius 发现的第一种非金属元素。长期以来，人们一直认为它是有毒物质，直到 1957 年研究发现硒是机体重要的必需微量元素。硒参与谷胱苷肽过氧化物酶（Glutathione peroxidase, GSH-Px）的合成，发挥抗氧化作用，保护细胞膜结构的完整性和正常功能的发挥。硒的抗氧化功能是通过 GSH-Px 来实现的。GSH-Px 催化还原型谷胱苷肽转变成氧化型的谷胱苷肽，将脂肪酸氧化产生的氢过氧化物（ROOH, H₂O₂）还原成羟基脂肪酸，并使 H₂O₂ 分解。

硒能加强维生素 E 的抗氧化作用，但维生素 E 主要防止不饱和脂肪酸（Unsaturated fatty acid, UFA）氧化生成氢过氧化物（ROOH），而硒使氢过氧化物（ROOH）迅速分解成醇和水。硒还具有促进免疫球蛋白生成和保护吞噬细胞完整的作用。硒可能通过诱发神经细胞凋亡而降低细胞存活率。

硒的生物利用率与硒化合物的形态有关（表 6-12），最活泼的是亚硒酸盐，但它化学性质最不稳定。许多硒化合物有挥发性，在加工中有损失。例如脱脂奶粉干燥时大约损失 5% 的硒。硒的食物来源主要是动物内脏，其次是海产品、淡水鱼、肉类；蔬菜和水果中含量最低。

硒缺乏与中毒与地理环境有关。我国黑龙江克山县一带是严重缺硒地区，土壤中的含硒量仅为 0.06mg/kg，这些地区的人易患白肌病（White muscle disease, WMD）或大骨节病；而陕西的紫阳和湖北的恩施部分地区为高硒区，硒的含量变化为 0.08 mg/kg~45.5 mg/kg，平均为 9.7 mg/kg，常会出现硒中毒现象。

三、 矿物质在食品加工中的损失和强化

食品中矿物质的损失与维生素不同。在食品加工过程中不会因光、热、氧等因素分解，而是通过物理作用除去或形成另外一种不易被人体吸收与利用的形式。

1. 预加工

食品加工最初的整理和清洗会直接带来矿物质的大量损失如水果的去皮、蔬菜的去叶等。

2. 精制

精制是造成谷物中矿物质损失的主要因素，因为谷物中的矿物质主要分布在糊粉层和胚组织中，碾磨时使矿物质含量减少。碾磨越精，损失越大（表 6-16）。需要指出的是由于某些谷物如小麦外层所含的抗营养因子在一定程度上妨碍矿物质在体内的吸收。因此，需要适当进行加工，以提高矿物质的生物可利用性。

3. 烹调过程中食物间的搭配

溶水流失是矿物质在加工过程中的主要损失途径。食品在烫漂或蒸煮等烹调过程中，遇水引起矿物质的流失，其损失多少与矿物质的溶解度有关（表 6-17）。烹调方式不同，对于同一种矿物质的损失影响也不同（表 6-18）。

烹调中食物间的搭配对矿物质也有一定的影响。若搭配不当时会降低矿物质的生物可利用性。例如，含钙丰富的食物与含草酸盐较高的食物共同煮制，就会使形成螯合物，大大降低钙在人体中的利用率。

4. 加工设备和包装材料

食品加工中设备、用水和包装都会影响食品中的矿物质。例如，牛乳中镍含量很低，但经过不锈钢设备处理后镍的含量明显上升；罐头食品中的酸与金属器壁反应，生产氢气和金属盐，则食品中的铁和锡离子的浓度明显上升，但这类反应严重时会产生“胀罐”和出现硫化黑斑。

5. 矿物质的营养强化

5.1 矿物质营养强化概况

一种优质的食品应具有良好的品质属性，主要包括安全性、营养、色泽、风味和质地。其中营养是一重要的衡量指标。但是，没有一种天然食物含有人体需要的各种营养素，其中也包括矿物质。此外，食品在加工和贮藏过程中往往造成矿物质的损失。因此，为了维护人体的健康，提高食品的营养价值，根据需要有必要进行矿物质的营养强化。对此，我国有关部门专门制定了食品营养强化剂使用标准（附录 1）。

根据营养强化的目的不同，食品中矿物质的强化主要有三种形式：1、矿物质的恢复（Restoration）。添加矿物质使其在食品中的含量恢复到加工前的水平。2、矿物质的强化（Fortification）。添加某种矿物质，使该食品成为该种矿物质的丰富来源。3、矿物质的增补（Enrichment）。选择性地添加某种矿物质，使其达到规定的营养标准要求。

5.2 矿物质强化的意义

人们由于饮食习惯和居住环境等不同，往往会出现各种矿物质的摄入不足，导致各种不足症和缺乏症。例如，缺硒地区人们易患白肌病和大骨节病。因此，有针对性的进行矿物质的强化对提高食品的营养价值和保护人体的健康具有十分重要的作用。通过强化，可补充食品在加工与贮藏中矿物质的损失；满足不同人群生理和职业的要求；方便摄食以及预防和减少矿物质缺乏症。

5.3 食品矿物质强化的原则

食品进行矿物质强化必须遵循一定的原则，即从营养、卫生、经济效益和实际需要等方面全面考虑。

5.3.1 结合实际，有明确的针对性

在对食品进行矿物质强化时必须结合当地的实际，要对当地的食物种类进行全面的分析，同时对人们的营养状况作全面细致的调查和研究，尤其要注意地区性矿物质缺乏症，然后科学地选择需要强化的食品、矿物质强化的种类和数量。

5.3.2 选择生物利用性较高的矿物质

在进行矿物质营养强化时，最好选择生物利用性较高的矿物质。例如，钙强化剂有氯化钙、碳酸钙、磷酸钙、硫酸钙、柠檬酸钙、葡萄糖酸钙和乳酸钙等。其中人体对乳酸钙的生物利用率最好。强化时应尽量避免使用那些难溶解、难吸收的矿物质如植酸钙、草酸钙等。另外，还可使用某些含钙的天然物质如骨粉及蛋壳粉。因为骨粉含钙 30%左右，其钙的生物可利用性为 83%；蛋壳粉含钙 38%，其生物可利用性为 82%。

5.3.3 应保持矿物质和其他营养素间的平衡

食品进行矿物质强化时，除考虑选择的矿物质具有较高的可利用性外，还应保持矿物质与其他营养素间的平衡。若强化不当会造成食品各营养素间新的不平衡，影响矿物质以及其他营养素在体内的吸收与利用。

5.3.4 符合安全卫生和质量标准

食品中使用的矿物质强化剂要符合有关的卫生和质量标准，同时还要注意使用剂量。一般来说，生理剂量是健康人所需的剂量或用于预防矿物质缺乏症的剂量；药理剂量是指用于治疗缺乏症的剂量，通常是生理剂量的 10 倍；而中毒剂量是可引起不良反应或中毒症状的剂量，通常是生理剂量的 100 倍。

5.3.5 不影响食品原来的品质属性

食品大多具有美好的色、香、味等感官性状，在进行矿物质强化时不应损害食品原有的感官性状而致使消费不能接受。根据不同矿物质强化剂的特点，选择被强化的食品与之配合，这样不但不会产生不良反应，而且还可提高食品的感官性状和商品价值。例如，铁盐色黑，当用于酱或酱油强化时，因这些食品本身具有一定的颜色和味道，在合适的强化剂量范围内，可以完全不会使人们产生不快的感觉。

5.3.6 经济合理，有利于推广

矿物质强化的目的主要是提高食品的营养和保持人们的健康。一般情况下，食品的矿物质强化需要增加一定的成本。因此，在强化时应注意成本和经济效益，否则不利于推广，达不到应有的目的。

作业布置：

本章在讲授的过程中可结合实例进行讲解，同时鼓励学生用所学知识对生活中的现象进行解释。

- 1、矿物质在生物体内的功能有哪些？
- 2、简述矿物质在食品加工中损失的途径。
- 3、简述矿物质营养强化的三种方式。

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》

第七章 维生素

| | | | | | |
|---|---------|---------|---------|------|-----|
| 授课章节 | 第七章 维生素 | | | | |
| 课时安排 | 4 | 教学方法及手段 | 讲授、案例分析 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： 1、概述 2、脂溶性维生素 3、水溶性维生素 | | | | | |
| 三维目标： 1. 知识：掌握维生素的分类。 2. 能力：掌握维生素在食品加工及贮藏过程中的变化。 3. 素养：提高对维生素功能性质的理解 | | | | | |
| 教学重点、难点： 1、各种维生素的一般理化性质。 2、维生素在食品贮藏、处理、加工中所发生的物理化学变化。 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程： <h3>维生素</h3> <h4>一、概述</h4> <p>维生素（Vitamin）是人和动物维持正常的生理功能所必需的一类有机化合物。维生素不参与机体内各种组织器官的组成，也不能为机体提供能量，它们主要以辅酶形式参与细胞的物质代谢和能量代谢过程，缺乏时会引起机体代谢紊乱，导致特定的缺乏症或综合症，如缺乏 VA 时易患夜盲症（Night blindness）。Vitamin 曾音译为“维他命”就充分说明其对人和动物健康的重要性。</p> | | | | | |

维生素除具有重要的生理作用外，有些维生素还可作为自由基的清除剂、风味物质的前体、还原剂以及参与褐变反应，从而影响食品的某些属性。

人体所需的维生素大多数在体内不能合成，或即使能合成但合成的速度很慢，不能满足需要，加之维生素本身也在不断地代谢，所以必须由食物供给。食物中的维生素含量较低，许多维生素稳定性差，在食品加工、贮藏过程中常常损失较大。因此，要尽可能最大限度地保存食品中的维生素，避免其损失或与食品中其他组分间发生反应。

1. 维生素的研究历史

Wagnerhe 和 Flokers (1964) 将维生素的研究大致分为三个历史阶段。

第一阶段用特定食物治疗某些疾病。例如古希腊、罗马和阿拉伯人发现，在膳食中添加动物肝脏可治疗夜盲症 (Night blindness)。16 世纪和 18 世纪，人们发现橘子和柠檬可治疗坏病。1882 年日本的 Takaki 将军观察到许多船员发生的脚气病 (Beriberi) 与摄食大米有关。当在膳食中添加肉、面包和蔬菜后，发病人数大大减少。

第二阶段用动物诱发缺乏病。1907 年，荷兰医生 Eijikman 观察到给小鸡饲喂精米会出现类似于人的脚气病的多发性神经炎；若补充糙米或米糠可预防这种疾病。Boas 发现饲喂卵白的大鼠发生一种严重皮炎、脱毛和神经肌肉机能异常的综合症，用肝脏可治疗这种病。1907 年，Holst 和 Frohlich 报道了实验诱发的豚鼠坏血病。

第三阶段人和动物必需营养因子的发现。1881 年，Lunin 研究发现含有乳蛋白、糖类、脂类、食盐和水分的高纯合饲料不能满足动物需要，认为可能与某些未知成分有关。1912 年，Hopkins 报道人和动物需要某些必需营养因子才能维持正常的生命活动，若缺乏会导致疾病。同年，Funk 通过对因日粮而诱发的疾病的研究，成功地分离出抗脚气病因子，命名为“Vitamines”（即与生命有关的胺类），后来改为“Vitamin”。1929 年，Eijikman 和 Hopkins 因在维生素研究领域的重大贡献而获诺贝尔医学奖。Hodgkin 用 X-线晶体学阐明了维生素 B12 的化学结构而获 1964 年诺贝尔化学奖。

2. 维生素的分类与命名

在维生素发现早期，因对它们了解甚少，一般按其先后顺序命名如 A、B、

C、D、E 等；或根据其生理功能特征或化学结构特点等命名，例如维生素 C 称抗坏血病维生素，维生素 B1 因分子结构中含有硫和氨基，称为硫胺素。后来人们根据维生素在脂类溶剂或水中溶解性特征将其分为两大类：脂溶性维生素（Fat-soluble vitamins）和水溶性维生素（Water-soluble vitamins）。前者包括维生素 A、D、E、K，后者包括维生素 B 族和维生素 C。

表 6-1 维生素研究的主要历史年代

表 6-1 维生素研究的主要历史年代

| 维生素 | 首次分离来源 | 发现 | 分离 | 阐明化学结构 | 合成 |
|-----------------|----------|-------------|-------------|--------|------|
| A | 鱼肝油 | 1909 | 1931 | 1931 | 1947 |
| 胡萝卜素 | 胡萝卜、棕榈油 | | 1831 | 1930 | 1950 |
| D | 鱼肝油、酵母 | 1918 | 1932 | 1936 | 1959 |
| E | 小麦胚芽油 | 1922 | 1936 | 1938 | 1938 |
| K | 苜蓿 | 1929 | 1939 | 1939 | 1939 |
| B ₁ | 米糠 | 1897 | 1926 | 1936 | 1936 |
| B ₂ | 鸡蛋卵白 | 1920 | 1933 | 1935 | 1935 |
| B ₆ | 米糠 | 1934 | 1938 | 1938 | 1939 |
| B ₁₂ | 肝脏、发酵产物 | 1926 | 1948 | 1956 | 1972 |
| 烟酸 | 肝脏 | 1936 (1894) | 1935 (1911) | 1937 | 1894 |
| 泛酸 | 肝脏 | 1931 | 1938 | 1940 | 1940 |
| 生物素 | 肝脏 | 1931 | 1935 | 1942 | 1943 |
| 叶酸 | 肝脏 | 1941 | 1941 | 1946 | 1946 |
| C | 肾上腺皮质、柠檬 | 1912 | 1928 | 1933 | 1933 |
| 胆碱 | 猪胆汁 | 1929 | 1849 | 1867 | 1867 |

二、脂溶性维生素

1. 维生素A

1、结构及化学性质

具有维生素 A 活性的物质包括一系列 20 个碳和 40 个碳的不饱和碳氢化合物。它们广泛分布于动植物体中，其结构如下：



维生素 A 是一类有营养活性的不饱和烃，包括 VA1（视黄醇）和 VA2（脱氢视黄醇）。VA1 是由 β -紫罗酮环与不饱和一元醇组成，其脂链上有四个双键，所以有顺式和反式异构体。食品中存在的视环醇多为全反式构象，生物效价最高。

VA2 是在 3-位上脱氢的视黄醇，主要存在于淡水色的肝脏中，其生物活性为 A1 的 40%。视黄醇可由胡萝卜素在动物的肝及壁肠内转化而来的。凡是在体内能转化成视黄醇的胡萝卜素称为维生素 A 原，如 α -， β -， γ -胡萝卜素。其生物活性最高的是 β -胡萝卜素。

2、稳定性

食品在加工和贮藏中，维生素 A 对光、氧和氧化剂敏感，高温和金属离子可加速其分解，在碱性和冷冻环境中较稳定，贮藏中的损失主要取决于脱水的方法和避光情况。 β -胡萝卜素降解过程及产物无氧条件下， β -胡萝卜素通过顺反异构作用转变为新 β -胡萝卜素，例如如蔬菜的烹调和罐装。有氧时， β -胡萝卜素先氧化生成 5,6-环氧化物，然后异构为 5,8-环氧化物。光、酶及脂质过氧化物的共同氧化作用导致 β -胡萝卜素的大量损失。光氧化的产物主要是 5,8-环氧化物。高温时 β -胡萝卜素分解形成一系列芳香化合物，其中最重要的是紫罗烯（Ionene），它与食品风味的形成有关。

3、缺乏性

夜盲症，干眼，角膜软化，表皮细胞角化，失明等症状。

4、来源

鱼甘油，动物肝脏，蛋黄，胡萝卜，花椰菜，番茄，甘薯等蔬菜。

2. 维生素D

维生素 D 是一类甾醇衍生物。天然的维生素 D 主要有维生素 D₂（麦角钙化醇，Gerocalciferol）和维生素 D₃（胆钙化醇，Cholecalciferol），二者的结构式见图 5-4。

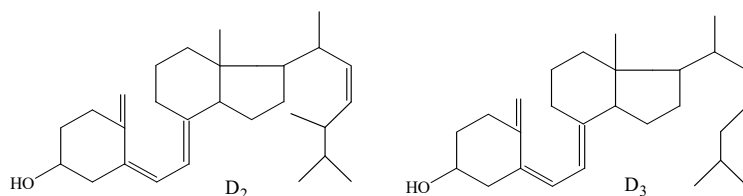


图 6-2 维生素 D 的化学结构

植物及酵母中的麦角固醇经紫外线照射后转化为维生素 D₂，鱼肝油中也含有少量的维生素 D₂。人和动物皮肤中的 7-脱氢胆固醇经紫外线照射后可转化为

维生素 D₃。维生素 D₃广泛存在于动物性食品中，以鱼肝油中含量最高，鸡蛋、牛乳、黄油、干酪中含量较少。维生素 D 的生物活性形式为 1,25-二羟基胆钙化醇，1 μg 的维生素 D 相当于 40IU。维生素 D 十分稳定，消毒、煮沸及高压灭菌对其活性无影响；冷冻贮存对牛乳和黄油中维生素 D 的影响不大。维生素 D 的损失主要与光照和氧化有关。其光解机制可能是直接光化学反应或由光引发的脂肪自动氧化间接涉及反应。维生素 D 易发生氧化主要因为分子中含有不饱和键。

维生素 D 主要与钙、磷代谢有关。缺乏时，儿童易患佝偻病，成人可引起骨质疏松症。维生素 D 可激活钙蛋白酶，使牛肉嫩化。

VD 在加工和贮藏中的变化

维生素 D 非常稳定，在加工和储藏时很少损失。消毒、煮沸和高压灭菌都不影响维生素 D 的活性。冷冻储存对牛乳和黄油中维生素 D 的影响不大。但维生素 D₂ 和 D₃ 遇光、氧和酸迅速破坏，故需保存于不透光的密封容器中。结晶的维生素 D 对热稳定，但在油脂中容易形成异构体。油脂氧化酸败时也会使其中的维生素 D 破坏。

3. 维生素E

(1) 组成与结构

VE 又称为生育酚，它是 6-羟基苯并二氢吡喃的衍生物。

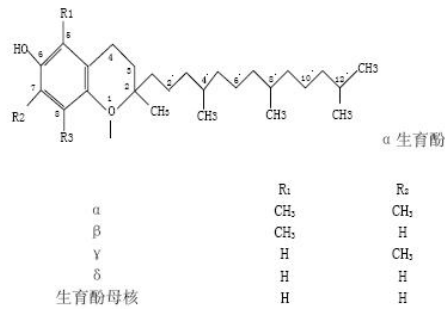
VE 广泛存在于动物食品中，自然界中存在四种生育酚的取代结构，它们都具有相同的生理功能，而以α-生育酚的生物活性最大。

(2) 性质

维生素 E 为淡黄色油状液体，不溶于水，溶于油脂及有机溶剂，对热和酸较稳定，即使加热到 200℃ 也不会破坏，对碱不稳定性，对氧及紫外线较敏感，易被氧化破坏，金属离子和 Fe²⁺ 等可促使其氧化。

由于维生素 E 对氧不稳定，所以在食品中维生素 E 起着抗氧化的作用，从而对 VA、VC 及脂肪等起着保护作用。

食品在一般的加热中，VE 损失不大，但在高温条件下，其活性降低。食品中一般不缺乏 VE。



(3) VE 在加工、贮藏中的变化

食品在加工和贮藏过程中会引起维生素 E 大量损失,这种损失或是由于机械作用损失或是由于氧化作用。例如,谷物机械加工去胚时,维生素 E 大约损失 80%;油脂精炼也会导致维生素 E 的损失;脱水可使鸡肉和牛肉中维生素 E 损失 36%~45%;肉和蔬菜罐头制作中维生素 E 损失 41%~65%;油炸马铃薯在 23°C 下贮存一个月维生素 E 损失 71%,贮存两个月损失 77%。此外,氧、氧化剂和碱对维生素 E 也有破坏作用,某些金属离子如 Fe²⁺等可促进维生素 E 的氧化。因氧化而引起的损失通常伴有脂类的氧化,金属离子如 Fe²⁺能促进维生素 E 的氧化,氧化分解产物包括二聚物、三聚物、二羟基化合物以及醌类。

维生素 E 对氧、氧化剂不稳定,对强碱不稳定。

VE 极易受分子氧和自由基氧化,因此可以充当抗氧化剂和自由基清除剂。

维生素 E 广泛分布于种子、种子油、谷物、水果、蔬菜和动物产品中。植物油和谷物胚芽油中含量高。

4. 维生素K

维生素 K 是由一系列萘醌类物质组成。常见的有维生素 K₁ 即叶绿醌 (Phylloquinone)、维生素 K₂ 即聚异戊烯基甲基萘醌 (Menquinone) 和维生素 K₃ 即 2-甲基-1,4 萘醌 (Menadione)。K₁ 主要存在于植物中, K₂ 由小肠合成, K₃ 由人工合成。K₃ 的活性比 K₁ 和 K₂ 高。

(1) 性质

维生素 K 对热相当稳定,遇光易降解。其萘醌结构可被还原成氢醌,但仍具有生物活性。维生素 K 具有还原性,可清除自由基,保护食品中其他成分(如脂类)不被氧化,并减少肉品腌制中亚硝胺的生成。

(2) 来源

VK 维生素 K₁ 在绿色蔬菜中含量丰富,如菠菜、洋白菜等,鱼肉中维生素 K 含量较多,但麦胚油、鱼肝油中含量很少。

(3) 维生素 K 缺乏症

维生素 K 缺乏导致血中凝血酶原含量下降,从而导致皮下组织和其它器官出血,而且会延长凝血时间。

三、 水溶性维生素

1. 维生素C

维生素 C 又名抗坏血酸 (Ascorbic acid, AA), 是一个羟基羧酸的内酯, 具烯二醇结构 (图 5-10), 有较强的还原性。维生素 C 有四种异构体: D-抗坏血酸、D-异抗坏血酸、L-抗坏血酸和 L-脱氢抗坏血酸。其中以 L-抗坏血酸生物活性最高。



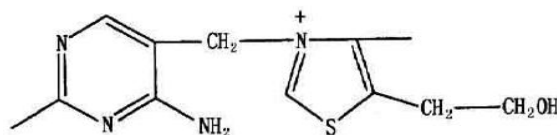
图 6-4 L-抗坏血酸 (左) 及脱氢抗坏血酸 (右) 的结构

维生素 C 主要存在于水果和蔬菜中。猕猴桃、刺梨和番石榴中含量高; 柑橘类、番茄、辣椒及某些浆果中也较丰富。动物性食品中只有牛奶和肝脏中含有少量维生素 C。

维生素 C 是最不稳定的维生素, 对氧化非常敏感。光、 Cu^{2+} 和 Fe^{2+} 等加速其氧化; pH、氧浓度和水分活度 (Water activity, A_w) 等也影响其稳定性。此外, 含有 Fe 和 Cu 的酶如抗坏血酸氧化酶、多酚氧化酶、过氧化物酶和细胞色素氧化酶对维生素 C 也有破坏作用。水果受到机械损伤、成熟或腐烂时, 由于其细胞组织被破坏, 导致酶促反应的发生, 使维生素 C 降解。某些金属离子螯合物对维生素 C 有稳定作用; 亚硫酸盐对维生素 C 具有保护作用。

维生素 C 广泛用于食品中。它可保护食品中其他成分不被氧化; 可有效地抑制酶促褐变和脱色; 在腌制肉品中促进发色并抑制亚硝胺的形成; 在啤酒工业中作为抗氧化剂; 在焙烤工业中作面团改良剂; 对维生素 E 或其他酚类抗氧化剂有良好的增效作用; 能捕获单线态氧和自由基, 抑制脂类氧化; 作为营养添加剂有抗应激、加速伤口愈合、参与体内氧化还原反应和促进铁的吸收等。

2. 硫胺素



硫胺素的化学结构

(1) 组成和结构

维生素 B1 即硫胺素，又称抗脚气病维生素，它是由被取代的嘧啶环和噻唑环通过亚甲基连接而成的一类化合物，它与盐酸可生成盐酸盐，在大自然中常与焦磷酸结合生成焦磷酸硫胺素（简称 TPP）

（2）稳定性

VB1 为白色的针状结晶，硫胺素是 B 族维生素中最不稳定的一种。在中性或碱性条件下易降解；对热和光不敏感；酸性条件下较稳定。食品中其他组分也会影响硫胺素的降解，例如单宁能与硫胺素形成加成物而使之失活；SO₂ 或亚硫酸盐对其有破坏作用；所以，在贮藏含有 VB1 较多的食物中如谷类，豆类，猪肉时，不宜用亚硫酸盐作为防腐剂或以二氧化硫熏蒸谷仓。胆碱使其分子裂开，加速其降解；蛋白质与硫胺素的硫醇形式形成二硫化物阻止其降解。

硫胺素在低 Aw 和室温下贮藏表现良好的稳定性，而在高 Aw 和高温下长期贮藏损失较大。当 Aw 在 0.1~0.65 及 37°C 以下时，硫胺素几乎没有损失；温度上升到 45°C 且 Aw 高于 0.4 时，硫胺素损失加快，尤其 Aw 在 0.5~0.65 之间；当 Aw 高于 0.65 时硫胺素的损失又降低。因此，贮藏中温度是影响硫胺素稳定性的一个重要因素，温度越高，硫胺素的损失越大。

VB1 氧化后变成脱氢硫胺素，脱氢硫胺素在紫外线下呈现蓝色的荧光，可利用这一性质测定食品中硫胺素的含量。

（3）功能和缺乏性

VB1 进入人体后，被磷酸化为成硫胺素焦磷酸脂（TPP）组成辅酶，参与人体内 α-酮酸，丙酮酸，α-酮戊二酸的氧化反应。这对于糖代谢和能量代谢非常重要。

当 VB1 不足时，糖代谢中间产物丙酮酸不能进一步氧化而聚积，造成神经系统功能不足；同时，糖代谢中间产物在神经组织中堆积，会造成健忘，不安，易怒或者忧郁等症状。

（4）来源

粮谷类，豆类，酵母，动物性原料的内脏和鸡蛋中。

食品在加工和贮藏中硫胺素也有不同程度的损失。例如，面包焙烤破坏 20% 的硫胺素；牛奶巴式消毒损失 3%~20%；高温消毒损失 30%~50%；喷雾干燥损失 10%；滚筒干燥损失 20%~30%。部分食品在加工后硫胺素损失见表 6-2。

表 6-2 食品加工后硫胺素的存留率

| 食品 | 加工方法 | 硫胺素的存留率 (%) |
|-----|-----------------|-------------|
| 谷物 | 膨化 | 48~90 |
| 马铃薯 | 浸没水中 16h 后炒制 | 55~60 |
| | 浸没亚硫酸盐中 16h 后炒制 | 19~24 |
| 大豆 | 水中浸泡后在水中或碳酸盐中煮沸 | 23~52 |
| 蔬菜 | 各种热处理 | 80~95 |
| 肉 | 各种热处理 | 83~94 |
| 冷冻鱼 | 各种热处理 | 77~100 |

3. 核黄素

1、结构与分子式

维生素 B2 又称核黄素 (Riboflavin)，是具有糖醇结构的异咯嗪衍生物。自然状态下常常是磷酸化的，在机体代谢中起辅酶作用。核黄素的生物活性形式是黄素单核苷酸 (Flavin mononucleotide, FMN) 和黄素腺嘌呤二核苷酸 (Flavin adanine dinucleotide, FAD) (图 5-15)，二者是细胞色素还原酶、黄素蛋白等的组成部分。FAD 起着电子载体的作用，在葡萄糖、脂肪酸、氨基酸和嘌呤的氧化中起重要作用。两种活性形式之间可通过食品中或胃肠道内的磷酸酶催化而相互转变。

2、稳定性

核黄素在酸性条件下最稳定，中性下稳定性降低，在碱性介质中不稳定。对热稳定，在食品加工、脱水和烹调中损失不大。引起核黄素降解的主要因素是光，光降解反应分为两个阶段：第一阶段是在光辐照表面的迅速破坏阶段；第二阶段为一级反应，系慢速阶段。光的强度是决定整个反应速度的因素。酸性条件下，核黄素光解为光色素 (Lumichrome)，碱性或中性下光解生成光黄素 (Lumiflavin) (图 5-16)。光黄素是一种强氧化剂，对其他维生素尤其是抗坏血酸有破坏作用。核黄素的光氧化与食品中多种光敏氧化反应关系密切。例如，牛奶在日光下存放 2h 后核黄素损失 50% 以上；放在透明玻璃器皿中也会产生“日光臭味”，导致营养价值降低。若改用不透明容器存放就可避免这种现象的发生。

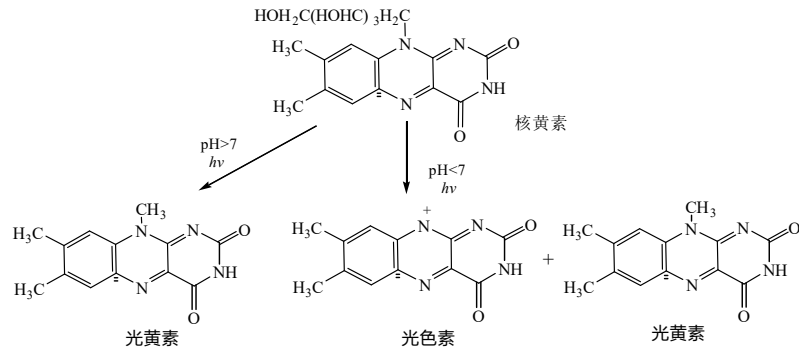


图 5-16 核黄素光辐照时的降解

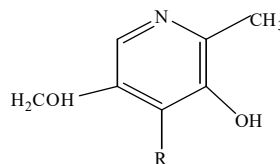
核黄素参与机体内许多氧化还原反应，一旦缺乏将影响机体呼吸和代谢，出现溢出性皮炎、口角炎和角膜炎等病症。

VB2 广泛存在于动物性的食品中，以禽，畜类的肝，肾，心含量最高，其次是奶类和蛋类，许多绿叶蔬菜和豆类中的含量也很高。

4. 吡哆醇

1、结构和分子式

维生素 B6 是指在性质上紧密相关、具有潜在维生素 B6 活性的三种天然存在的化合物，包括吡哆醛 (Pyridoxal)、吡哆醇 (Pyridoxol) 和吡哆胺 (Pyrodoxamine) (图 5-18)。三者均可在 5' - 羟甲基位置上发生磷酸化，三种形式在体内可相互转化。其生物活性形式以磷酸吡哆醛为主，也有少量的磷酸吡哆胺。它们作为辅酶参与体内的氨基酸、糖类、脂类和神经递质的代谢。



维生素 B6 的化学结构

吡哆醛：R=CHO

吡哆醇：R=CH₂OH

吡哆胺：R=CH₂NH₂

2、稳定性

三种维生素都是白色的晶体，吡哆醇易溶于水和乙醇，对光线敏感，对热较稳定，但吡哆醛和吡哆胺在高温时迅速破坏。

维生素 B6 在蛋黄、肉、鱼、奶、全谷、白菜和豆类中含量丰富。其中，谷物中主要是吡吡哆醇，动物产品中主要是吡哆醛和吡哆胺，牛奶中主要是吡哆醛。

作业布置：

本章在讲授的过程中可结合实例进行讲解，同时鼓励学生用所学知识对生活中的现象进行解释。

- 1、什么是维生素？他们的共性是什么？
- 2、引起食品中维生素变化和损失的因素有哪些？

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》王璋等编 中国轻工业出版社 1999 年

《食品生物化学》夏延斌主编 中国农业出版社 2004.8

Food Chemistry, Owen R. Fennema 3rd Edition, 1996

Food Chemistry, Belitz. Grosch. Second Edition, 1999

第八章 酶

| 授课章节 | 第八章 酶 | | | | |
|---|-------|-------------|----------------|------|-----|
| 课时安排 | 4 | 教学方 法及手段 | 讲授、案例 分析、讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： <ol style="list-style-type: none">1. 酶的概念2. 酶在食品加工中的应用实例3. 酶促反应4. 影响酶促反应的因素及规律5. 酶促褐变的原理6. 影响酶促褐变的因素及控制方法 | | | | | |
| 三维目标： <ol style="list-style-type: none">1. 知识：了解酶的概念、掌握影响酶促反应的因素及规律2. 能力：掌握酶促褐变的原理3. 素养：掌握影响酶促褐变的因素及控制方法 | | | | | |
| 教学重点、难点： <ol style="list-style-type: none">1. 影响酶促反应的因素及规律2. 影响酶促褐变的因素及控制方法 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程及内容： 一、发展史 (1)酶是蛋白质： <p>1926 年,James Sumner 由刀豆制出脲酶结晶确立酶是蛋白质的观念，其具有蛋白质的一切性质。</p> (2)核酶的发现： | | | | | |

1981~1982年，Thomas R.Cech 实验发现有催化活性的天然 RNA—
Ribozyme。

1955年，发现 DNA 的催化活性。

(3)抗体酶 (abzyme):

1986年，Richard Lerrur 和 Peter Schaltz 运用单克隆抗体技术制备了
具有酶活性的抗体 (catalytic antibody)。

二、酶的化学本质与分类

1.酶的化学本质

酶是一类由活性细胞产生的具有催化作用和高度专一性的特殊蛋白质。简单说，酶是一类由活性细胞产生的生物催化剂。

全酶(holoenzyme) = 酶蛋白 + 辅因子

三、酶催化作用的特点

1、酶和一般催化剂的共性:

加快反应速度;

不改变平衡常数;

自身不参与反应。

2、酶催化作用特性:

条件温和: 常温、常压、pH=7;

高效率: 反应速度与不加催化剂相比可提高 10⁸ ~ 10²⁰, 与加普通催化剂相比可提高 10⁷~10¹³;

3、专一性: 即酶只能对特定的一种或一类底物起作用, 这种专一性是由酶蛋白的立体结构所决定的。可分为:

绝对专一性: 有些酶只作用于一种底物, 催化一个反应, 而不作用于任何其它物质。

相对专一性: 这类酶对结构相近的一类底物都有作用。包括键专一性和簇(基团)专一性。

立体异构专一性: 这类酶不能辨别底物不同的立体异构体, 只对其中的某一种构型起作用, 而不催化其他异构体。包括旋光异构专一性和几何异构专

一性。如 α -淀粉酶(α -amylase)只能水解淀粉中 α -1,4-糖苷键,不能水解纤维素中的 β -1,4-糖苷键; L-乳酸脱氢酶的底物只能是 L 型乳酸,而不能是 D 型乳酸。

三、酶的作用机制

1.酶催化作用的本质:降低反应活化能

2.酶催化作用的中间产物(络合)物学说

在酶催化的反应中,第一步是酶与底物形成酶-底物中间复合物。当底物分子在酶作用下发生化学变化后,中间复合物再分解成产物和酶。

四、酶促反应的速度及其影响因素

1、米氏方程

1913 年,德国化学家 Michaelis 和 Menten 根据中间产物学说对酶促反映的动力学进行研究,推导出了表示整个反应中底物浓度和反应速度关系的著名公式,称为米氏方程。

K_m — 米氏常数

V_{max} — 最大反应速度

米氏常数 K_m 的意义:

由米氏方程可知,当反应速度等于最大反应速度一半时,即 $V = 1/2 V_{max}$, $K_m = [S]$

米氏常数的单位为 mol/L。

不同的酶具有不同 K_m 值,它是酶的一个重要的特征物理常数。

K_m 值只是在固定的底物,一定的温度和 pH 条件下,一定的缓冲体系中测定的,不同条件下具有不同的 K_m 值。

K_m 值表示酶与底物之间的亲和程度: K_m 值大表示亲和程度小,酶的催化活性低; K_m 值小表示亲和程度大,酶的催化活性高。

2、酶促反应的速度及其影响因素

(1) 底物浓度对酶促反应速度影响

在酶浓度, pH, 温度等条件不变的情况下研究底物浓度和反应速度的关系。如右图所示:

在低底物浓度时,反应速度与底物浓度成正比,表现为一级反应特征。

当底物浓度达到一定值，几乎所有的酶都与底物结合后，反应速度达到最大值（ V_{max} ），此时再增加底物浓度，反应速度不再增加，表现为零级反应。

(2) 温度对酶反应的影响

一方面是温度升高,酶促反应速度加快。

另一方面,温度升高,酶的高级结构将发生变化或变性,导致酶活性降低甚至丧失。

大多数酶都有一个最适温度。在最适温度条件下,反应速度最大。

(3) pH 对酶反应的影响

在一定的 pH 下,酶具有最大的催化活性,通常称此 pH 为最适 pH。

(4) 酶浓度对酶促反应的影响

在底物浓度过量的情况下,也就是说,底物浓度大大高于酶浓度和 K_m 时,反应速度与酶的浓度成正比。即:

$$v \propto K[E]。$$

(5) 抑制剂对酶反应的影响

有些物质能与酶分子上某些必须基团结合(作用),使酶的活性中心的化学性质发生改变,导致酶活力下降或丧失,这种现象称为酶的抑制作用。

能够引起酶的抑制作用的化合物则称为抑制剂(inhibitor)。

(6) 激活剂对酶反应的影响

凡是能提高酶活力的简单化合物都称为激活剂(activator)。

其中大部分是一些无机离子和小分子简单有机物。如: Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cr^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 CN^- 、 NO_3^- 、 PO_4^- 等;

(7) 水分活度对酶稳定性的影响

有利的保存条件: pH 接近中性,温度较低,水分活度低于 0.30。

五、酶活力的表示方法及计算

(1) 酶活力单位

酶活力可用单位时间内单位体积中底物的减少量或产物的增加量表示,单位为 mol/min 等。

酶活力单位的基本定义为：规定条件（最适条件）下一定时间内催化完成一定化学反应量所需的酶量。

（2）国际单位：

一般用活力单位 U（Unit）表示，许多酶活力单位都是以最佳条件或某一固定条件下每分钟催化生成 $1\mu\text{mol}$ 产物所需要的酶量为一个酶活力单位。

五、酶促褐变

1、机理

催化产生褐变的酶类主要是酚酶，其次是抗坏血酸氧化酶和过氧化物酶类等氧化酶类。

2、抑制酶促褐变

食品发生酶促褐变必须具备三个条件，即有多酚类物质、氧和氧化酶类，这三个条件缺一不可。

1) 热处理法

短时高温加热、热烫、巴氏消毒以及微波加热。

加热处理时间必须严格控制，要求在最短时间内，既能达到钝化酶的要求，又不影响食品原有的风味。如蔬菜在冷冻保藏或在脱水干制之前需要在沸水或蒸汽中进行短时间的热烫处理，以破坏其中的酶，然后用冷水或冷风迅速将果蔬冷却，停止热处理作用，以保持果蔬的脆嫩。

2) 酸处理法

酚酶的最适 pH 值范围是 6~7 之间，在 pH 值 3.0 以下，酚酶几乎完全失去活性。

常用的酸性物质：柠檬酸、苹果酸、抗坏血酸等。

柠檬酸对酚酶除了降低 pH 值外，还能和酚酶的 Cu 辅基进行螯合，单独使用时效果不大，通常与抗坏血酸或亚硫酸合用。0.5%柠檬酸与 0.3%抗坏血酸合用效果较好。

抗坏血酸不仅可以使酚酶本身失活。而且可以降低果汁中氧的量，从而抑制褐变作用。

3) 二氧化硫及亚硫酸盐处理。

二氧化硫及亚硫酸盐是酚酶的强抑制剂，广泛应用于食品工业中，如

蘑菇、马铃薯、桃、苹果等加工过程中作护色剂。

二氧化硫及亚硫酸盐溶液在微偏酸性（pH 值约为 6）条件下对酚酶抑制的效果最好，只有游离的二氧化硫才能起作用。

不同产品对游离二氧化硫 的残留有不同的标准；

如，葡萄酒游离二氧化硫 $\leq 50\text{mg/L}$ 。

饮料中二氧化硫 $\leq 10\text{mg/kg}$ 。

二氧化硫超标可产生毒性

二氧化硫进入体内后生成亚硫酸盐，并由组织细胞中的亚硫酸氧化酶将其氧化为硫酸盐，通过正常解毒后最终由尿排出体外，因此少量的二氧化硫进入机体可以认为是安全无害的。

经口摄入二氧化硫的主要毒性表现为胃肠道反应，如恶心、呕吐。此外，可影响钙吸收，促进机体钙丢失。

4) 驱氧法。

将去皮切开的水果、蔬菜用清水、糖水或盐水浸渍；

用真空渗透法将糖水、盐水渗入组织内部，驱除空气；

也可用浓度较高的抗坏血酸浸泡，以达到除氧的目的。

氯化钠也有一定的防褐效果，一般多与柠檬酸和抗坏血酸混合使用。单独使用时，质量分数高达 20%时才能抑制酚酶活性。

参考资料：

主要参考书：

2. 《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》

第九章 食品营养成分的代谢

| 授课章节 | 第九章 食品营养成分的代谢 | | | | |
|---|---------------|---------|---------|------|-----|
| 课时安排 | 6 | 教学方法及手段 | 讲授、小组讨论 | 授课类型 | 理论课 |
| 教学主要内容： <ol style="list-style-type: none">1. 生物氧化2. 糖类分解代谢3. 脂类分解代谢4. 蛋白质分解代谢5. 动植物食品原料的组织代谢 | | | | | |
| 三维目标： <ol style="list-style-type: none">1. 知识目标：掌握糖类、脂类、蛋白质和核酸在生物体内的主要代谢途径；理解代谢的调节机制2. 能力目标：能运用代谢知识解释食品加工贮藏中的品质变化；分析食品营养与人体健康的关系3. 素质目标：培养科学饮食观念，理解合理膳食的生化基础 | | | | | |
| 教学重点、难点： <ol style="list-style-type: none">1. 重点：糖酵解、三羧酸循环、脂肪酸β-氧化、氨基酸代谢；三大营养物质代谢的相互联系2. 难点：代谢途径的调控机制；糖异生途径；酮体代谢的生理意义 | | | | | |
| 课程思政： 增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系 | | | | | |
| 教学过程： 第一节 糖类与脂类代谢 <ol style="list-style-type: none">1. 糖类代谢 | | | | | |

(1) 糖的消化吸收

淀粉经 α -淀粉酶、麦芽糖酶等水解为葡萄糖

葡萄糖通过 SGLT1 主动转运吸收

(2) 糖的分解代谢

阶段 关键途径 亚细胞定位 主要产物 ATP 生成

第一阶段 糖酵解 胞液 丙酮酸 净 2 ATP

第二阶段 三羧酸循环 线粒体 CO_2 、还原当量 2 ATP

第三阶段 氧化磷酸化 线粒体 H_2O 约 28 ATP

关键酶：己糖激酶、磷酸果糖激酶（限速酶）、丙酮酸激酶

(3) 糖的储存与合成

糖原合成：糖原合酶催化，需引物

糖异生：丙酮酸 \rightarrow 葡萄糖（肝、肾），绕过糖酵解三个不可逆反应

(4) 食品应用

低血糖食品：控制淀粉水解速率，延缓血糖升高

美拉德反应：还原糖与氨基酸反应，产生褐变与风味（面包烘焙、肉类烤制）

2. 脂类代谢

(1) 脂肪的消化吸收

胆汁酸盐乳化 \rightarrow 胰脂酶水解 \rightarrow 甘油一酯+脂肪酸 \rightarrow 淋巴系统吸收

(2) 甘油三酯的分解

脂肪动员：甘油三酯脂肪酶（限速酶） \rightarrow 甘油+脂肪酸

甘油代谢：磷酸化后进入糖酵解

脂肪酸 β -氧化：

活化（胞液） \rightarrow 转运（肉碱穿梭） \rightarrow 氧化（线粒体）

产物：乙酰 CoA \rightarrow 三羧酸循环或酮体生成

(3) 食品应用

油脂酸败控制：防止自动氧化（避光、隔氧、加抗氧化剂 VE）

氢化油脂：不饱和脂肪酸 \rightarrow 饱和脂肪酸，提高熔点（人造奶油）

第二节 蛋白质与核酸代谢

1. 蛋白质代谢

(1) 蛋白质的消化吸收

胃蛋白酶、胰蛋白酶、肽酶 → 氨基酸、小肽

氨基酸通过主动转运吸收

(2) 氨基酸的一般代谢

脱氨基作用:

氧化脱氨 (L-谷氨酸脱氢酶)

转氨基作用 (转氨酶)

联合脱氨基 (主要方式)

氨的代谢: 尿素循环 (肝脏) → 尿素排出

α -酮酸的去路: 合成非必需氨基酸、转化为糖或脂肪、氧化供能

(3) 个别氨基酸代谢

芳香族氨基酸: 苯丙氨酸 → 酪氨酸 → 黑色素/甲状腺素

含硫氨基酸: 蛋氨酸、半胱氨酸 (谷胱甘肽合成)

谷氨酸: 味精主要成分, 鲜味剂

(4) 食品应用

肉类嫩化: 钙激活蛋白酶或外源酶 (木瓜蛋白酶) 分解肌肉蛋白

发酵食品: 酵母代谢氨基酸产生风味物质 (酱油、豆酱)

2. 核酸代谢

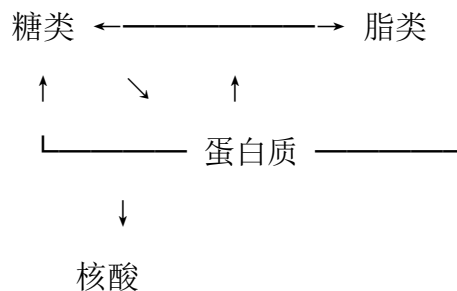
嘌呤核苷酸分解: 终产物为尿酸 (痛风与嘌呤代谢关系)

嘧啶核苷酸分解: 终产物为 β -丙氨酸、 β -氨基异丁酸

3. 物质代谢的相互联系 (10 分钟)

plain

复制



联系枢纽: 乙酰 CoA、三羧酸循环、磷酸戊糖途径

代谢调节：酶活性调节（变构、共价修饰）、酶含量调节（诱导、阻遏）、激素调节

作业布置：

1. 比较糖酵解与糖异生的关键酶差异，说明糖异生的生理意义
2. 如何通过控制美拉德反应获得理想的面包色泽与风味

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》

第十章 食品的色香味化学

| | | | | | |
|---|--------------|---------|---------|------|-----|
| 授课章节 | 第十章 食品的色香味化学 | | | | |
| 课时安排 | 4 | 教学方法及手段 | 讲授、案例分析 | 授课类型 | 理论课 |
| <p>教学主要内容：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 食品的色素与食品加工 2. 食品的呈味物质与食品加工 3. 食品的气味物质与食品加工 | | | | | |
| <p>三维目标：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 知识目标：掌握食品色素的分类、性质及变化规律；理解食品风味物质的化学组成与形成机制 2. 能力目标：能运用色香味化学原理解释食品加工中的品质调控；掌握护色、保香、调味的技术要点 3. 素质目标：树立食品安全意识，理解天然与人工添加剂的科学使用 | | | | | |
| <p>教学重点、难点：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 重点：叶绿素、血红素、类胡萝卜素的结构与性质；美拉德反应与焦糖化反应；食品香气的形成途径；基本味觉与呈味物质 2. 难点：色素的护色机理；风味物质的协同与拮抗作用；食品加工中色香味的保持与调控 | | | | | |
| <p>课程思政：</p> <p style="text-align: center;">增强爱国情怀与民族自豪感、构建职业道德与价值观体系</p> | | | | | |
| <p>教学过程：</p> <p>一、食品的色泽化学</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 食品色素概述 <p>色素：能吸收可见光并呈现颜色的物质</p> <p>呈色机理：分子中的生色团（共轭双键）和助色团（-OH、-NH₂ 等）</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 天然色素 | | | | | |

(1) 四吡咯色素：叶绿素 (a、b) 卟啉环+ Mg^{2+} 绿色 热敏感，酸中脱镁 蔬菜护绿 (高温瞬时/加碱)；血红素 (肌红蛋白、血红蛋白) 卟啉环+ Fe^{2+} 鲜红 (氧合) → 褐 (氧化) 易氧化变色 肉类护色 (亚硝酸盐/真空)

(2) 类胡萝卜素： β -胡萝卜素、番茄红素、叶黄素 多烯链 黄-橙-红 脂溶，对热较稳定，易氧化 油脂、饮料、人造奶油着色

(3) 多酚类色素：花青素、花黄素 (黄酮) 2-苯基苯并吡喃 红-紫-蓝 (pH 相关) 对 pH、光、热敏感 果汁、葡萄酒 (避光、调酸)

(4) 酮类色素：红曲色素、姜黄素 酮结构 红-黄 对光、热较敏感 腐乳、咖喱

3. 食品褐变

(1) 酶促褐变 酚酶催化单酚 → 邻醌 → 黑色素聚合 加热灭酶、调节 pH、隔氧、加还原剂 (SO_2 、VC) 防止果蔬褐变

(2) 美拉德反应 还原糖+氨基酸/蛋白质 → 类黑精+风味物质 控制温度、pH、水分活度 面包烘焙、咖啡焙炒、酱油酿造

(3) 焦糖化反应 糖受热脱水、降解 → 焦糖素+挥发性物质 控制加热温度与时间 焦糖色素、糖果加工

(4) 抗坏血酸氧化 VC 氧化 → 脱氢 VC → 褐变 隔氧、低温、加螯合剂 果汁澄清

4. 合成色素

特点：色泽鲜艳、稳定性好、成本低

常用：苋菜红、胭脂红、柠檬黄、日落黄、亮蓝等

安全性：严格限量使用，部分品种已限制或禁用

二、食品的香气与滋味化学

1. 食品香气化学

(1) 香气物质的分类与特征

- ① 萜烯类 柠檬烯、月桂烯、薄荷醇 柑橘、花香、清凉 柑橘类、香料
- ② 酯类 乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯 果香、酒香 水果、发酵食品
- ③ 醛酮类 乙醛、柠檬醛、香草醛 清香、柠檬香、香草香 油脂氧化、香草
- ④ 醇类 乙醇、香叶醇、芳樟醇 酒香、花香 发酵、香料

⑤ 含硫化合物 二烯丙基硫醚（大蒜素）、甲硫醇 辛辣、葱蒜香 葱蒜、十字花科蔬菜

⑥ 含氮/杂环化合物 吡嗪类、呋喃类、噻唑类 焙烤香、肉香、坚果香
美拉德反应、热解反应

（2）食品香气的形成途径

生物合成：水果成熟过程中的酶促反应（脂氧合酶途径）

酶促反应：蒜氨酸酶→大蒜素；脂肪氧合酶→青豆味

加热反应：美拉德反应、焦糖化反应、油脂热解（烤肉香、咖啡香）

发酵作用：酵母、霉菌、细菌代谢产物（酒、醋、酱油、奶酪）

2. 食品滋味化学

（1）味觉的生理基础

味蕾分布于舌面，味细胞通过味受体识别呈味物质

基本味觉：甜、酸、咸、苦、鲜

（2）呈味物质

① 甜味 蔗糖、果糖、葡萄糖、糖醇（木糖醇） 蔗糖 0.3% 果糖最甜，糖醇低热量 糖果、饮料

② 酸味 柠檬酸、苹果酸、乳酸、醋酸 柠檬酸 0.01% 柠檬酸清爽，乳酸柔和 果汁、酸奶、泡菜

③ 咸味 NaCl、KCl、谷氨酸钠（微咸） NaCl 0.2% NaCl 是主要调味盐 调味品、腌制食品

④ 苦味 咖啡因、奎宁、柚皮苷、胆汁 奎宁 0.0001% 阈值最低，警示作用 咖啡、啤酒、柑橘

⑤ 鲜味 谷氨酸钠（MSG）、5'-肌苷酸（IMP）、5'-鸟苷酸（GMP）

MSG 0.03% 协同效应：MSG+IMP/GMP，鲜味增强 7-8 倍 味精、鸡精、酱油

（3）其他味觉与感觉

辣味：痛觉（辣椒素、胡椒碱、姜辣素）

涩味：触觉（单宁与唾液蛋白结合）

清凉感：冷觉（薄荷醇激活冷感受器）

3. 色香味的相互作用与调控

色泽影响味觉：红色增甜感，黄色增酸感

香气影响味觉：香草香气增强甜味感知

加工调控：低温加工保色、微胶囊技术保香、呈味核苷酸复配增鲜

作业布置：

1. 分析美拉德反应对食品色香味的影响，如何在加工中控制该反应？
2. 查阅资料：天然蓝色素在食品中的应用现状与挑战

参考资料：

主要参考书：

《食品生物化学》刘春娟主编 中国医药科技出版社 2024 年《食品生物化学》