

第十章 食品添加剂

第一节 概述

食品添加剂 (food additives) 通常是人们为了改善食品质量和保持或提高营养价值, 在食品加工或贮藏过程中添加的少量天然或合成的物质, 例如增强营养, 改善色、香、味或质地, 方便加工, 延长货架期, 使消费者更容易接受。它们具有某些特定的功能, 既可以是单一成分, 也可以是混合物。这些物质首先必须是有益的和安全的, 而且是受消费者欢迎的物质。各个国家对食品添加剂都有严格的规定和限量, 新研制的食品添加剂也必须经有关专家和部门的严格审查批准后才能使用。如果采用经济、良好的制作方法和先进的加工工艺, 能得到同样或相似的效果, 所以最好不使用食品添加剂。

有关食品添加剂的定义, 由于各国饮食习惯、加工方法、使用范围和种类的差异, 因此在定义上有所不同。

根据中华人民共和国《食品卫生法 (试行)》规定, 我国对于食品添加剂的定义是指“为改善食品品质和色、香、味以及为防腐和加工工艺的需要而加入食品中的化学合成或天然物质”。营养强化剂是指“为增强营养成分而加入食品中的天然或人工合成的属于天然营养范围的食物添加剂”。

联合国粮农组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 联合组成的食品法规委员会 (CAC) 在集中各国意见的基础上曾于 1983 年规定: 食品添加剂是指其本身通常不以食用为目的, 也不作为食品的主要原料物质, 这种物质并不一定具有营养价值。在食品的制造、加工、调制、处理、罐装、包装、运输和保藏过程中, 由于技术上 (包括调味、着色和赋香等感官) 的目的, 有意识加入到食品中, 同时直接或间接地导致这些物质或其副产品成为食品的一部分, 或者改善食品的性质。它们不包括污染物或者为了保持、提高食品营养价值而加入食品中的物质。

食品添加剂品种繁多, 据不完全统计, 目前世界上使用的食品添加剂达 14 000 种以上, 其中直接使用的约 4000 种 (不包括香料在内), 间接使用的约为 1000 种。

各国对食品添加剂的分类方法差异很大, 通常是按其其在食品中的功能进行分类的。其实, 按使用功能划分类别也并非十分完美, 因为不少添加剂具有多种功能, 例如抗坏血酸既是一种广泛使用的天然抗氧化剂, 又是营养强化剂。因此, 只能考虑它主要使用的功能和习惯划分。

多数国家与地区将食品添加剂按其其在食品加工、运输、贮藏等环节中的功能分为以下 6 类: ①防止食品腐败变质的添加剂有防腐剂、抗氧化剂和杀菌剂; ②改善食品感官性状的添加剂有鲜味剂、甜味剂、酸味剂、色素、香料、香精、发

色剂、漂白剂和抗结块剂；③保持和提高食品质量的添加剂如组织改良剂、面粉面团质量改良剂、膨松剂、乳化剂、增稠剂和被膜剂；④改善和提高食品营养的添加剂有维生素、氨基酸和无机盐；⑤便于食品加工制造的添加剂有消泡剂、净化剂；⑥其他功能的添加剂有胶姆糖基质材料、酸化剂、酶制剂、酿造用添加剂和防虫剂等。

我国将食品添加剂划分为 22 类，美国 FDA 规定的有 32 类，欧洲共同体有 9 类，日本将食品添加剂划分为 25 类。

本书就主要和通常使用的食品添加剂分别予以介绍。

第二节 酸和发酵酸

一、酸和食品

自然界中广泛存在着有机酸和无机酸。酸的重要特性是产生氢离子或水合离子 H_3O^+ ，因而具有酸味。酸在生物体中作为中间代谢物或与其他物质构成复杂的缓冲系统的成分，具有多种功能。在食品和食品加工中，酸有多种用途。

酸和酸盐大量用于化学缓冲系统，后面将作详细讨论。在食品保存中酸有特异性的抑制酸性微生物的作用，因而酸是常用的抗菌剂，如山梨酸、苯甲酸。某些酸离解后对特定的金属离子有螯合作用，形成配合物，使食品保持稳定，延长贮藏期，如柠檬酸及其衍生物。酸可使果胶凝固，酸还可作消泡剂和乳化剂。在奶酪和乳制品生产中（如酸奶），酸可以使乳蛋白凝结。在天然培养过程中，由链球菌和乳酸杆菌产生的乳酸使 pH 降低至接近酪蛋白的等电点而引起凝结。将凝乳酶和酸性物质如柠檬酸加入冷牛奶（4~8℃）可以生产奶酪，然后再加热到 35℃ 便生成均匀的凝胶。将酸加入温热牛奶中会产生蛋白质沉淀而不是凝胶。

在水果和蔬菜罐头食品中，添加柠檬酸使 pH 值降低到 4.5 以下，可以达到灭菌的目的，同时还可抑制有毒微生物（梭菌肉毒杆菌）的生长。

酸对食品除了能产生酸味之外，还有调节和强化人的味觉能力，成为重要的调味剂。此外，用来制造奶油软糖和奶油巧克力软糖的酸，如酒石酸氢钾，可引起蔗糖的有限水解（转化）产生果糖和葡萄糖。这些单糖由于增加了糖浆组成的复杂性，降低了平衡相对湿度，抑制蔗糖晶体的过分生长，从而有效地改善了软糖的质量。

应当指出，短链游离脂肪酸（ $C_2 \sim C_{12}$ ）对食品的味道有重要影响。例如丁酸本身有难闻的气味，浓度较高时产生强烈的水解酸败味；可是，在浓度底时，会有奶酪和黄油这类食品的典型香味。

在食品加工中，有时为了控制反应速率，需要使酸缓慢释放。例如 δ -葡萄糖内酯和丙交酯的水解就是这样（图 10-1 和图 10-2）。

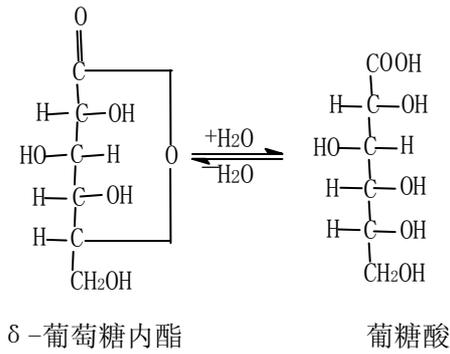
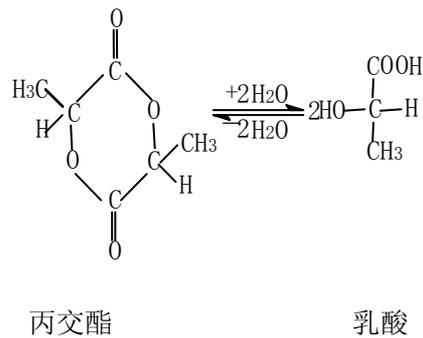
图 10-1 δ -葡萄糖酸内酯水解

图 10-2 丙交酯水解

δ -葡萄糖酸内酯在乳制品和某些化学发酵系统的含水系统中可发生缓慢水解,生成葡萄糖酸,用于缓慢产酸。

丙交酯是乳酸脱水生成的环状双内酯,它亦可用于在水溶液系统中缓慢释放酸。脱水反应是在低水活性和升温条件下发生的,而将丙交酯加入高水活性的食品中,则发生逆反应(水解)生成 2mol 的乳酸。

常用于食品的有机酸有:

醋酸	(CH_3COOH)
柠檬酸	($\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COH}(\text{COOH})-\text{CH}_2-\text{COOH}$)
苹果酸	($\text{HOOC}-\text{CHOH}-\text{CH}_2-\text{COOH}$)
乳酸	($\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{COOH}$)
富马酸	($\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$)
琥珀酸	($\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$)
酒石酸	($\text{HOOC}-\text{CHOH}-\text{CHOH}-\text{COOH}$)

磷酸是唯一作为食品酸化剂使用的无机酸。在有香味的碳酸饮料,特别是可乐和类似啤酒的无醇饮料中,磷酸是广泛使用的一种重要酸化剂。

一些食用酸类的离解常数见表 10-1。

表 10-1 某些食用酸的离解常数 (25℃)

酸	离解步数	pka	酸	离解步数	pka
有机酸					
醋酸		4.75			
乙二酸	1	4.43	丙酸		4.87
	2	5.41	琥珀酸	1	4.16
苯甲酸		4.19		2	5.61
正丁酸		4.81	酒石酸	1	3.22
柠檬酸	1	3.14		2	4.82
	2	4.77	无机酸		
	3	6.39	碳酸	1	6.37
甲酸		3.75		2	10.25
富马酸	1	3.03	正磷酸	1	2.12
	2	4.44		2	7.21
乙酸		4.88		3	12.67
乳酸		3.08	硫酸	2	1.92
苹果酸	1	3.40			
	2	5.10			

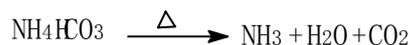
本表摘自：Weast, R. C. (ed.) (1988), Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, BocaRaton, FL.

二、化学发酵系统和发酵酸

发酵酸是化学发酵系统的重要组成部分。它和碳酸氢钠、淀粉及其他补充剂制成发酵粉，成为家庭和面包饼干厂所大量使用的化学发酵剂。

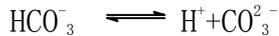
化学发酵系统是一个复杂体系，它在适当水分和温度条件下，能在生面团或面糊中反应释放出二氧化碳。二氧化碳的释放连同带入的空气和水汽使之膨胀，使加工制品具有特殊的多孔蜂窝状结构。

二氧化碳通常来自碳酸氢钠，有时也来自其他碳酸盐。在极少数情况下，也可以用碳酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 和碳酸氢铵 NH_4HCO_3 。但这两种铵盐对温度不稳定，在焙烤温度下即分解：



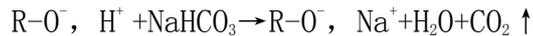
因此，它们和碳酸氢钠不同，不需要外加发酵酸即可起作用。

在无钠食物中，可用碳酸氢钾 KHCO_3 代替碳酸氢钠作为发酵体系的一种成分。缺点是它有吸潮性和稍带苦味，使其应用受到限制。碳酸氢钠易溶于水 (619g/100ml)，溶液呈弱碱性。它在水中完全离解成 Na^+ 和 HCO_3^- 。碳酸氢根又进行水解和进一步离解：



这些仅适用于简单溶液的反应，在含水的面团物料体系中，由于蛋白质和其他天然存在的各类离子参与反应，体系中离子的分布变得更加复杂，难于进行理论计算。

发酵酸提供的氢离子与面团中的碳酸氢钠反应放出二氧化碳气体：



重要的是要注意保持发酵酸和碳酸氢钠（发酵盐）的适当比例。碳酸氢钠过量会使焙烤食品带肥皂味，而过量酸又会使食品带酸味，若比例很不适当有时还带苦味。

一般说来，发酵酸经常是以盐或酯的形式存在，包括强酸弱碱盐、酸式盐和内酯。在含水物料体系中，它们通过水解或离解可提供氢离子与发酵盐（主要是碳酸氢钠），反应释放出二氧化碳，这种反应实质上是中和反应。然而，发酵酸的中和能力各不相同，其相对活度取决它的中和值。发酵酸的中和值，是由中和 100 份重量的碳酸氢钠的重量分数来确定。应当指出，在天然面粉中的情况下，焙烤食品达到中性或任何预定 pH 所需发酵酸的量与从简单水溶液测定的理论量可能很不相同。尽管如此，中和值对于确定发酵体系起始配方是有用的。完全平衡的发酵过程中适当的剩余盐能起到缓冲作用，有助于稳定最终产品的 pH 值。

发酵酸大多是在室温下水溶性很有限的酸类，溶解度的差异决定着室温下释放二氧化碳起始速率的差异，并且这种速率的差异正是发酵酸分类的基础。一般说来，发酵酸室温下溶解度的大小与释放二氧化碳的快慢有着平行的关系。发酵酸一般在焙烤前放出一部分二氧化碳，其余部分则是在高温焙烤过程中释放出来。

研究在室温下不同发酵酸与碳酸氢钠反应产生二氧化碳的起始速率对于食品加工工艺有重要意义。图 10-3 表示 NaHCO_3 与三种发酵酸作用释放 CO_2 量(%) 的情况。曲线 a 是作用快的磷酸二氢钙一水合物 $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ ，曲线 c 是作用慢的 1-3-8 磷酸铝钠 $[\text{NaH}_{14}\text{Al}_3(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ ，而曲线 b 则是从无水磷酸二氢钙 $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ 放出 CO_2 的曲线。曲线表明：反应 10min，有 60% 以上的 CO_2 很快从磷酸二氢钙一水合物中放出，而作用慢的 1-3-8 磷酸铝钠仅释放出约 20% 的 CO_2 ，这是因为水合铝覆盖层起阻隔作用，使覆盖层下面的发酵酸在加热活化之前仅有一小部分能发生反应。气体释放时间的推迟与水分渗透穿过覆盖层所需要的时间大体上是一致的。这一性质可以用来解释某些面制食品为什么在焙烤前需要放置一段时间。

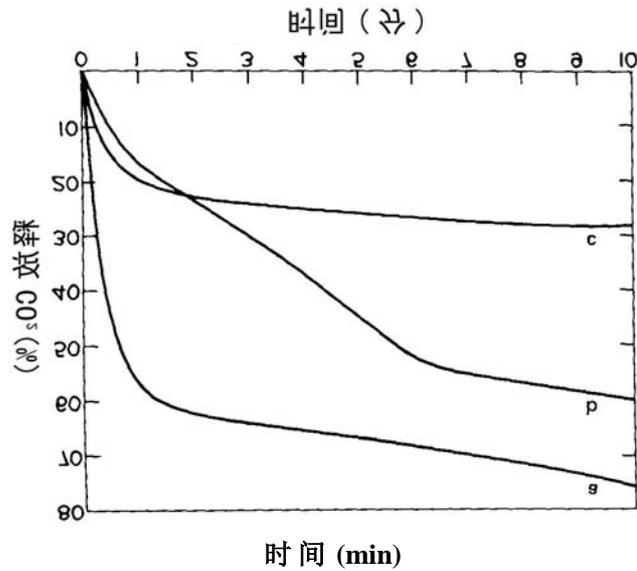


图 10-3 27°C 时 NaHCO_3 反应产生的二氧化碳曲线
 a. 与磷酸二氢钙一水合物反应；b. 与覆盖的无水磷酸二氢钙反应；
 c. 与 1-3-8 磷酸铝钠反应。（引自 Stahl 和 Ellinger 的数据）

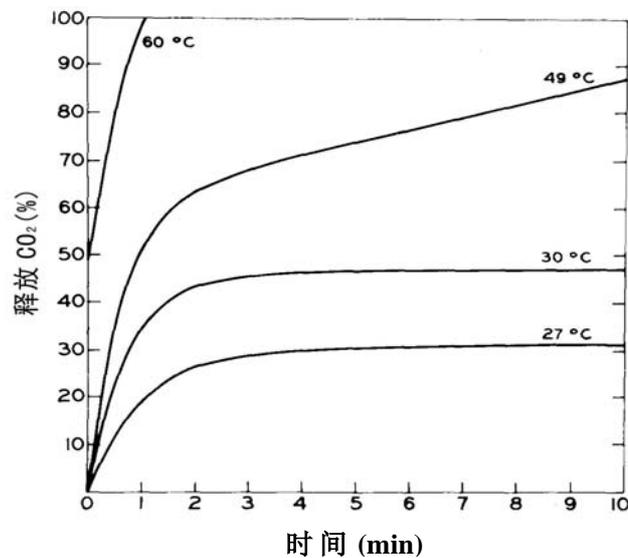


图 10-4 温度对慢速的酸式焦磷酸盐反应释放二氧化碳速率的影响

焙烤是食品加工中的重要工艺过程。在焙烤期间,从发酵体系中释放出的二氧化碳对食品的质地产生最后的完善和修饰作用。因此需要很好地控制焙烤温度和时间。已知反应速率随温度升高而增大,绝大部分的发酵体系都是如此。图 10-4 表示温度对慢作用焦磷酸氢钠 ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$) 发酵酸释放二氧化碳速率的影响。可以看出,温度略微升高(从 27°C 升至 30°C),气体产生明显加快,温度更高则气体释放速率急剧增加(见 49°C 的曲线),温度接近 60°C 时,二氧化碳在 1min 内几

乎全部释放。

不同的发酵酸对温度的敏感程度是不一样的。对温度不太敏感的发酵酸，只有在接近最高焙烤温度时，才显示出较剧烈的作用。例如，磷酸一氢钙 (CaHPO_4)，它是一种微碱性酸式盐，在室温下并不与碳酸氢钠发生反应；可是，在焙烤温度升至 60°C 以上时，它可在水的作用下释放出氢离子，因而使发酵过程活化。作用很慢的发酵酸只能用作较高焙烤温度和较长焙烤时间的食品生产，如某些特别类型的饼干。人们常常采用由多种发酵酸成分组成的发酵酸配方。对于某些特殊的生面团和糊状物，有必要使用特别的发酵粉配方体系。

通常使用的发酵酸包括：酒石酸氢钾、硫酸铝钠、 δ -葡糖内酸内酯铝钠、各种磷酸氢钙、磷酸铝钠、酸式焦磷酸钠等正磷酸、焦磷酸盐和磷酸盐。它们的某些性质见表 10-2。

关于发酵粉的规格，各国有不同的规定。例如美国的标准，要求配方必须产生按发酵粉重量计为 12% 的有效二氧化碳，并且含有按重量计为 26%~30% 的碳酸氢钠。

最后介绍一些实际应用例子，作为本节的结束：

表 10-2 常用发酵酸的某些性质

发酵酸	化学式	中和值 ^a	室温下相对反应速率 ^b
硫酸铝钠	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	100	慢
磷酸氢钙二水合物	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	33	无
磷酸二氢钙一水合物	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	80	快
1-3-8 磷酸铝钠	$\text{NaH}_{14}\text{Al}_3(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	100	慢
酸式焦磷酸钠	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	72	慢
酒石酸氢钾	$\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	50	中等
δ -葡糖酸内酯	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$	55	慢

a. 在简单模拟体系中，中和 100 份重量的发酵酸所需 NaHCO_3 的重量分数。

b. NaHCO_3 存在下，释放 CO_2 的速率。

(引自 Stahl 和 Ellinger)。

方便食品的崛起刺激了配制发酵混合物和冷冻生面团的大量销售。在白色和黄色蛋糕粉中，最广泛使用的发酵酸配料包含无水磷酸二氢钙 [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] 和磷酸铝钠 [$\text{NaH}_{14}\text{Al}_3(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]；巧克力蛋糕粉则通常包含无水磷酸二氢钙和酸式焦磷酸钠 ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$)。

饼干和面包卷制品所用的冷冻生面团，要求在制备和包装期间以较慢的起始速率释放二氧化碳，而在焙烤期则大量释放气体。饼干配方按总生面团重量计算，

通常含 1%~1.5%的 NaHCO_3 和 1.4%~2.0%作用缓慢的发酵酸,例如有覆盖层的磷酸一氢钙和酸式焦磷酸钠。

典型的酸配料一般含有 10%~20%作用快的无水磷酸二氢钙和 80%~90%作用较慢的磷酸铝钠或酸式焦磷酸钠。在已制好的饼干配料中,发酵酸通常包含 30%~50%无水磷酸一氢钙和 50%~70%磷酸铝钠或酸式焦磷酸钠。

焦磷酸盐在生面团中的作用是,它能生成具有大范围反应活性的正磷酸盐。例如,面粉中的焦磷酸酶能使酸式焦磷酸钠水解成正磷酸盐(图 10-5)。

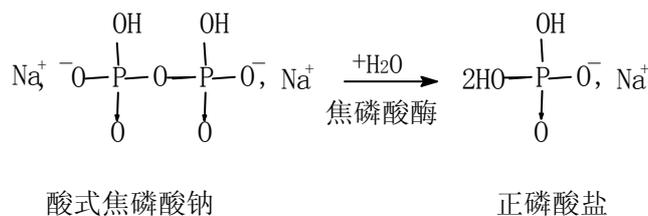


图 10-5 酸式焦磷酸钠的酶水解

碳酸氢钠和焦磷酸盐反应生成若干焦磷酸一氢三钠,后者亦可水解生成正磷酸盐。但必须指出,这种酶作用可导致气体的生成,有助于使冷冻生面团的包装密封,但它亦可导致正磷酸盐大晶体的生成,而这种大晶体可能被消费者误认为是玻璃碎片,所以应尽量设法避免产生。

第三节 碱在食品加工中的作用

在食品和食品加工中碱和碱性物质(多是碱性盐类)有多种应用。它们包括对过量酸的中和、体系 pH 的调节、改善食品的颜色和风味、与某些金属离子的螯合、二氧化碳气体的产生以及各种水果和蔬菜的去皮。在生产像发酵奶油这类食品过程中,需要用碱中和过量的酸。在用搅乳器搅拌前,加入乳酸菌使奶油发酵,产生按乳酸计大约 0.75%的可滴定酸度。然后用碱中和至约 0.25%的可滴定酸度。减小酸度可以提高搅拌效率并阻止产生氧化性臭味。许多碱和碱性物质可单独使用或混合使用作为中和剂,但在选择它们时要注意考虑溶解度、碱的强度、是否会产生气泡等有关性质。特别是要考虑碱性试剂或碱的过量是否会产生异味。在有相当量的游离脂肪存在时,更应该注意。

有时需要用碱将食品调节到较高的 pH 值以便获得更稳定更满意的性质。例如,在干酪加工中加入适量的(1.5%~3.0%)碱性盐,如磷酸氢二钠、磷酸三钠和柠檬酸三钠,使 pH 从 5.7 提高到 6.3,并且能使蛋白质(酪蛋白)分散。这种盐与蛋白质的相互作用能改善奶酪蛋白的乳化和对水的结合量,这是由于盐与酪蛋白胶束中的钙组分相结合,形成不溶性的磷酸盐或可溶性螯合物(柠檬酸盐)的缘故。

普通速溶牛奶凝胶布丁的制作是将含有预糊化淀粉的干混料与冷牛乳混合,

然后在冰箱中放置一定时间，添加碱性盐如焦磷酸四钠（ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ）和磷酸氢二钠（ Na_2HPO_4 ），使牛乳酪蛋白钙与预糊化淀粉结合形成凝胶。布丁形成的最适pH应在7.5~8.0之间，虽然碱性的磷酸盐可提供某种必须的碱性，但通常还需加入适当的其他碱化剂。

磷酸根和柠檬酸根对钙、镁等金属离子有配位作用。加入的磷酸盐和柠檬酸盐，可与酪蛋白的钙、镁离子形成络合物，从而改变液体牛乳中盐的平衡。随所加盐的类型和浓度不同，在乳蛋白质体系中可起到稳定作用、胶凝作用或去稳定作用，其机理比较复杂，至今还不十分了解。

应当着重指出的是，为了改善加工食品的颜色和风味，使消费者更加喜爱，常需进行碱处理。例如，成熟的橄榄用氢氧化钠溶液（0.25%~2.0%）处理，有助于除去它的苦味成分和显现较深的颜色。在焙烤前将椒盐卷饼浸入87~88℃的1.25%氢氧化钠溶液中，由于发生麦拉德褐变反应，使之表面变得光滑并产生深褐色。一般认为用氢氧化钠处理生产玉米粥和玉米面饼的生面团，可以破坏其中的二硫键。大豆蛋白质经过碱处理后可增溶并引起某些营养成分的损失。在脆花生的生产中使用少量碳酸氢钠溶液处理，可促使羰氨褐变，并且通过二氧化碳的释放使之具有孔状结构和松脆感。碳酸氢钠亦用于加工可可粉生产深色（荷兰）巧克力。

在食品加工中，强碱还大量用于各种水果和蔬菜的去皮。只要它们与氢氧化钠的热溶液（约3%，60~82℃）接触，随后稍加磨擦即可达到去皮的目的，与其他传统去皮技术相比，此种去皮法可减少工厂的大量废水。强碱引起细胞和组织成分不同程度的增溶作用（溶解薄层间的果胶质）是腐蚀性去皮工艺的理论依据。

前面讨论的食品在焙烤期间，利用发酵粉中的碳酸氢盐和碳酸盐与发酵酸反应产生二氧化碳，也是碱在食品加工中的重要应用。

第四节 缓冲体系和盐类

一、食品中的缓冲液和pH控制

人们把能够抵抗少量外加酸、碱或稀释的作用，而本身的pH值不发生显著变化的作用称为缓冲作用，具有缓冲作用的体系称为缓冲体系（buffering system）。因为绝大多数食品都是生物来源的复杂物质，它们都是天然缓冲体系。生物要维持生命活动，其pH必须保持在一定范围内，否则就会导致死亡。在生物来源的物质中参与pH控制或构成缓冲体系的物质有蛋白质、有机酸和弱的无机酸及其盐。在植物中还有柠檬酸（柠檬、西红柿、大黄）、苹果酸（苹果、西红柿、莴苣）、草酸（大黄、莴苣）以及酒石酸（葡萄、菠萝），它们都是构成缓冲体系的物质。它们一般与磷酸盐一起作用来控制pH。牛乳是一个复杂的缓冲体

系，它含有二氧化碳、蛋白质、磷酸盐、柠檬酸盐和其他成分。

在食品加工过程中，要使体系的pH稳定在预期的水平，必须通过缓冲体系。乳酪和腌菜发酵产生乳酸时，是自然完成的过程。有些情况下，要使产品味道更为可口而又不损失风味，需要在食品和饮料中使用相当数量的酸，但必须建立一个缓冲体系，才能做到这一点。缓冲体系的主要成分是弱有机酸和它的盐，同离子效应（Common ion effect）是体系pH稳定的基础。弱有机酸盐的酸根是该酸的共轭碱。弱有机酸-共轭碱组成缓冲体系，可以用HA-A⁻表示。

$$\text{pH} = \text{pK}'_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (1)$$

缓冲溶剂具有一定的缓冲作用，是由于体系中含有浓度较大的缓冲剂（弱酸和它的共轭碱），可以使少量外加酸或碱对pH的影响减少。当然，一个体系的缓冲能力是有一定限度的。当外加酸或碱的量接近缓冲剂的量时，体系就会逐渐失去缓冲作用。所以，每个缓冲体系都有一定的缓冲容量。缓冲容量的大小取决于缓冲剂的总浓度（ $C_{\text{总}} = C_{\text{HA}} + C_{\text{A}^-}$ ）和缓冲组分浓度的比值（即 $C_{\text{A}^-} : C_{\text{HA}}$ ）。缓冲剂的总浓度愈大，缓冲容量愈大。当缓冲剂组分浓度比值等于1时，缓冲容量最大，离1越远容量越小。缓冲体系的有效缓冲范围是 $\text{pH} \approx \text{pK}'_a \pm 1$ 。

在食品工业中，葡萄糖酸、醋酸、柠檬酸和磷酸的钠盐经常用作控制 pH 和调节酸味。在调节酸味上，柠檬酸盐优于磷酸盐，其酸味显得更为平和。需要低钠或无钠产品时，可用钾盐代替钠盐。但是不可使用钙盐，因钙盐难溶并与系统中其他组分不相溶。

常见酸-盐体系的缓冲范围是：

柠檬酸和柠檬酸钠	pH2.1~4.7
醋酸和醋酸钠	pH3.6~5.6
磷酸二氢钠和磷酸氢二钠	pH6.0~8.0
碳酸氢钠和碳酸钠	pH9.0~11.0

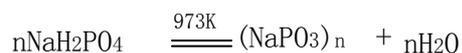
二、盐类在乳制品加工中的应用

前面第二节介绍的发酵盐和发酵酸以及第三节介绍的许多碱性物质，严格地讲都是盐类在食品 and 食品加工中的应用。本节只简要地补充介绍盐类在乳制品和肉类加工食品中的作用。

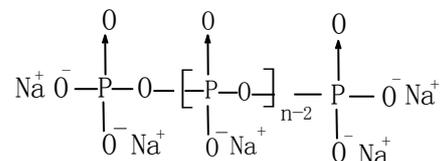
在加工奶酪和人造奶酪中广泛使用盐类来改善其内部结构，使之具有均匀柔嫩的质地。人们常常把这些添加剂看成是乳化盐，因为它们有助于脂肪的分散和体系的稳定。虽然对盐的乳化机理仍不完全清楚，但很可能是当盐加入奶酪中时，盐的阴离子与钙结合导致奶酪蛋白的极性和非极性区的重排和暴露，这些盐的阴离子成为蛋白质分子间的离子桥，因而成为捕集脂肪的稳定因素。奶酪加工使用

的盐包括磷酸一钠、二钠和三钠、磷酸二钾、六偏磷酸钠、酸式焦磷酸钠、焦磷酸四钠、磷酸铝钠、柠檬酸三钠、柠檬酸三钾、酒石酸钠和酒石酸钾钠。向炼乳中加入一定量的磷酸盐如磷酸三钠能阻止乳脂和水相的分离，加入量随季节不同和牛乳来源不同而变化。经高温短时消毒的炼乳在存放时常会发生胶凝，加入多磷酸盐如六偏磷酸钠和三聚磷酸钠，可通过蛋白质变性和增溶机理阻止凝胶的生成，这一机理涉及到磷酸盐对钙和镁的络合。

加入适量的磷酸盐可以增大猪、牛、羊肉、家禽和海味品对水的保持能力，从而可减少水分的损失。三聚磷酸钠 ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$) 是最常使用在加工肉类、家禽和海味中的磷酸盐。它常与六偏磷酸钠 [$(\text{NaPO}_3)_n$, $n=10\sim 15$] 掺和使用，以便增加肉类对腌制用盐水中钙、镁等离子的耐受能力。因为如果盐水中含有较多的钙、镁等离子时，正磷酸盐和焦磷酸盐常常会发生沉淀。需要加以说明的是六偏磷酸钠，常称为格氏盐。把磷酸二氢钠加热到 973K，然后骤然冷却制得的直链多磷酸盐玻璃体：



它易溶于水，能与钙、镁等离子发生络合反应。过去曾把格氏盐看成是具有 (NaPO_3) 的组成，因而被称为六偏磷酸钠，实际上并不存在 (PO_3^{3-}) 这样的独立单位，而是一个长链聚合物。



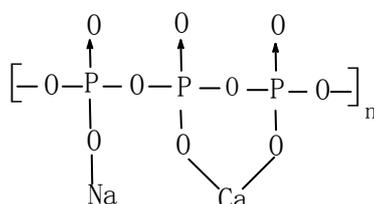
对碱式磷酸盐和多磷酸盐增强肉类水合作用的机理虽不少人做过大量研究，但现在仍不很清楚，它可能与下列因素有关：离子强度效应，pH 变化的影响，以及磷酸根阴离子同二价阳离子的配位和它与心肌纤维蛋白质的特殊相互作用等。也有人认为是多磷酸根阴离子与蛋白质的结合使肌动蛋白与肌浆球蛋白之间交联键同时断裂，造成了肽键间静电排斥力增大和肌肉体系的溶胀所致。如果外面存在可以利用的水，它便被吸收在松散的蛋白质网络内，呈固体状态。另外，由于离子强度增大，可能使蛋白质的相互作用减弱，使部分肌肉纤维蛋白形成胶体溶液。在碎肉制品中，如大红肠和香肠，添加氯化钠 (2.5%~4.0%) 和多磷酸盐 (0.35%~0.5%) 有助于形成更稳定的乳胶，在烹煮后则形成凝聚蛋白质构成的粘网。例如，用多磷酸盐浸过的 (6%~12% 溶液，保留量 0.35%~0.50%) 鱼片、甲壳类动物和家禽，烹调时在表面形成一层可增进水分保持的凝聚蛋白，可以认为盐引起的增溶作用主要发生在组织表面。

第五节 螯合剂

一、螯合物和螯合剂

螯合物又叫内配合物，它是由配合物的中心离子和配位体的两个或两个以上配位原子键合而成的具有环状结构的配合物。

根据螯合物形成的条件，凡含有两个或两个以上能提供孤电子对的原子的配位体称为螯合剂。一般配位体都含有下述功能基团： $-\text{OH}$ ， $-\text{SH}$ ， $-\text{COOH}$ ， $-\text{PO}_3\text{H}_2$ ， $>\text{C}=\text{O}$ ， $-\text{NR}_2$ ， $-\text{S}-$ ， $-\text{O}-$ 。这些功能基团彼此处于合适的几何位置，能以一种有利的空间环境螯合金属离子。金属螯合物由于具有环形结构呈现特殊的稳定性。一般说来，以五元环和六元环最为稳定。作为配位体的螯合剂绝大多数是有机化合物，但也有极少数无机化合物，如上面提到过的三聚磷酸钠可与钙离子形成螯合物，其结构如下：



柠檬酸和它的衍生物，各种磷酸盐和乙二胺四乙酸盐（EDTA）是食品中广泛使用的螯合剂。例如，EDTA 与钙形成高度稳定的螯合物，配位包含两个氮原子的电子对和四个羟基的氧原子上的四个自由电子对。这六个电子供体基团与钙离子形成一个具有多个五元环的极其稳定的螯合物，如图 10-6 所示：

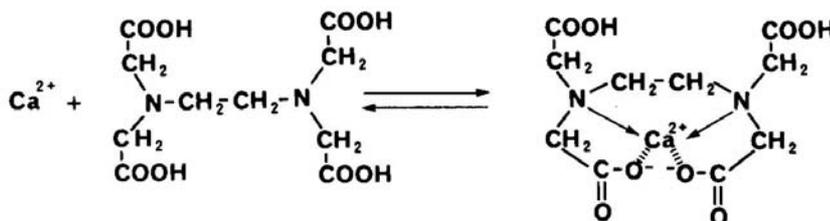


图 10-6 EDTA 螯合钙

体系的pH也会影响金属螯合物的形成。不电离的羧酸基团不是一个有效的供体基团，但羧酸根离子起着有效的作用。适当提高pH值让羧基解离，可增强螯合能力。但是，在有的情况下，由于 OH^- 争夺金属离子反而使螯合效力降低。金属离子一般是以水合配合物形式存在于溶液中，这些配合物的分解速率会影响螯合剂对金属离子的螯合速度。生成螯合物反应的平衡常数也称为螯合物的生成常数。该常数越大表示生成螯合物的倾向越大。螯合物的生成常数又叫稳定常数。

金属离子+螯合剂=金属离子·螯合剂

$$K_{\text{稳}} = \frac{[\text{金属离子} \cdot \text{螯合剂}]}{[\text{金属离子}] [\text{螯合剂}]}$$

例如，对钙而言，EDTA的 $\log K_{\text{稳}}$ 为 10.7，焦磷酸盐为 5.0，柠檬酸盐为 3.5。

二、螯合物在食品中的作用

螯合物对食品的稳定起着重要的作用。食品工业中应用的许多螯合剂是天然物质，如多元羧酸（柠檬酸、苹果酸、酒石酸、草酸和琥珀酸），多磷酸（三磷酸腺苷和焦磷酸盐）和大分子（卟啉和蛋白质）。许多金属在生物体中心以螯合状态存在，如叶绿素中的镁；各种酶中的铜、铁、锌和锰；蛋白质中的铁，如铁蛋白；肌红蛋白和血红蛋白中卟啉环中的铁。当这些离子由于水解或其他降解反应被释放时，会引起一些反应并导致食品变色、氧化性酸败、浑浊以及味道改变。在食品中有选择地适量加入螯合剂，可使这类金属离子形成螯合物，从而使食品保持稳定。

螯合剂也可依靠链终止或作为氧的清除剂而阻止氧化作用，仅从这个意义上讲，螯合剂不能说成是抗氧化剂。然而，它们都是有效的抗氧化剂的增效剂，因为它们能除去那些能催化氧化作用的金属离子。当选择一种螯合剂作为抗氧化剂的增效剂时，首先必须考虑的是它的溶解度，因为不溶解将是无效的。柠檬酸和柠檬酸酯（20~200mg/Kg）丙二醇溶液可使脂肪和油增溶，因此是全部脂类体系的有效增溶剂。另一方面， Na_2EDTA 和 Na_2CaEDTA 的有限溶解性在纯脂肪体系中是无效的。可是，EDTA盐（达到 500 mg/Kg）在乳胶体系中却是很有效的，如色拉调料、蛋黄酱以及人造黄油，因为它们在水相中可以起作用。

多磷酸盐和EDTA用于海产品罐头的加工，可阻止鸟粪石或磷酸铵镁（ $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）的玻璃状晶体的生成。海味含有相当数量的镁离子，在存放期间镁离子可能与磷酸铵反应生成晶体，此晶体往往误认为是碎玻璃污染。螯合剂可以螯合镁并减少鸟粪石的生成。螯合剂亦可用来螯合海产食品中的铁、铜和锌离子以及阻止它们反应，特别是与硫化物反应会引起产品变色。

对动物有特殊生理功能的必需微量元素除 Mn, Fe, Co, Mo, Cu, I, Zn 之外，还有 V, Cr, F, Si, Ni, Se, Sn 等，它们都以配合物的形式存在于动物体内。微量元素又是酶和蛋白质的关键成分，参与激素的作用（如 Zn, Ni），有些影响核酸代谢（如 V, Cr, Ni, Fe, Cu 等），因此在动物食品中加入适量的螯合剂，可以起到稳定作用。

在蔬菜漂洗前加入螯合剂可以抑制金属离子引起的变色，并能除去细胞壁中果胶中的钙，从而增进鲜嫩度。

柠檬酸和磷酸常用作饮料中的酸化剂，它们亦能螯合金属离子，避免这些金属离子催化萜烯这类香料化合物的氧化和变色反应。螯合剂使铜螯合，对发酵麦芽饮料可起到稳定作用。游离铜能催化多酚化合物的氧化，进而与蛋白质反应生成永久性糊状物而变浑浊。

EDTA有极强的螯合能力，但在食品中过多地使用可能导致人体内钙或其他矿物质缺乏。因此对它的使用量和使用范围已有所规定。在某些情况下，食品中通常是使用 Na_2CaEDTA ，而不用全钠（ Na ， Na_2 ， Na_3 或 Na_4EDTA ）或EDTA。可是，根据食品中天然存在的钙和其他二价阳离子的含量，在控制用量的条件下使用这类螯合剂仍然是可以的。

第六节 抗氧化剂

在生物体系和食品中，氧化还原反应普遍存在。虽然有的氧化还原反应可以消除食品中的有害细菌，但同时也带来某些有害的影响。食品中维生素、色素和脂质的降解反应，不仅会造成营养价值损失，而且往往产生臭味，导致食品变质。为防止或延缓食品的氧化，在贮藏加工和包装工艺过程中，一般可采用冷冻、隔氧或添加适量化学试剂的方法。抗氧化剂是指能抑制或阻止食品发生氧化反应的所有物质。一般抗氧化剂都是还原性物质。例如抗坏血酸被认为是一种抗氧化剂，用于抑制水果和蔬菜切割表面的酶促褐变。在这种应用中，抗坏血酸作为还原剂将氢质子转移到被酶氧化的酚类化合物中将其还原。在封闭体系中，抗坏血酸易与氧反应，因此可作为去氧剂。同样，亚硫酸和亚硫酸盐易氧化成磺酸盐和硫酸盐，是干果类食品中有效的抗氧化剂。最常用的食品抗氧化剂是酚类物质。最近，“食品抗氧化剂”一词多用于指那些能阻止脂质氧化的自由基链反应的一类物质，然而，这个词并不只限于此种意义。

各种抗氧化剂的抗氧化效果不同。常常发现几种抗氧化剂的组合有更大的保护作用，显示出协同效应，但此协同效应的机理还不清楚。例如，一般认为抗坏血酸可以使参与脂质氧化链反应的酚类抗氧化剂获得再生或形成大的供氢体。但是，抗坏血酸不溶于脂肪，要使它达到上述效果，必须使之减小极性以增大亲油性。其方法是将抗坏血酸用脂肪酸酯化形成诸如棕榈酰抗坏血酸酯这类化合物。

铜和铁这类金属离子可以催化脂质氧化，是脂质氧化的助氧化剂。加入螯合剂，例如柠檬酸或EDTA，可使之钝化，因此，螯合剂可作为抗氧化剂的增效剂，它们大大增强了酚类抗氧化剂的效果。可是，把它们单独作为抗氧化剂使用，往往是无效的。

许多天然产物具有抗氧化能力，例如生育酚。存在于棉籽中的棉酚也是一种抗氧化剂，但是它有剧毒性。天然抗氧化剂中还有松柏醇（发现于植物中）、愈创木酯以及愈创木酯酸（来自愈创树酯胶）。所有这些化合物在结构上都与人工合成抗氧化剂如丁基化羟基茴香醚（BHA）、丁基化羟基甲苯（BHT）、丙基没食子酸盐（PG）、二-叔-丁基氢醌（TBHQ）相似。目前，它们已在食品加工和贮藏中得到广泛应用。此外，近几年来，对茶叶中茶多酚作为油脂天然抗氧化剂应用的研究亦取得了重大进展。

Isao Kubo 对以没食子酸为基础的抗氧化剂与抗微生物剂的分子设计作了详述, Walker 与 Ferrar 对于食品中酶促褐变的控制进行了讨论。

第七节 抗菌剂

许多化学防腐剂具有抗菌作用, 能防止食物腐坏, 在保证食品安全性方面有重要作用。下面分别介绍主要的抗菌剂。

一、亚硫酸盐和二氧化硫

二氧化硫(SO_2)及其衍生物早已是普遍使用的食品防腐剂。它们添加到食品中, 作为抗氧化剂与还原剂以阻止非酶褐变(nonenzymic browning)和酶催化反应(enzyme catalyzed reactions)以及控制微生物。通常 SO_2 及其衍生物代谢成为硫酸盐, 并经过尿液排出体外, 不产生明显的病理效应。然而由于最近了解到二氧化硫及其衍生物的剧烈反应导致敏感性哮喘, 所以它们在食品中的使用近来受到控制并要求严格地在标签上注明。无论如何, 它们在当前的食品保护中仍占主要地位。

在食品中, 一般使用的形式包括 SO_2 气体和钠、钾、钙的亚硫酸盐(SO_3^{2-})、亚硫酸氢盐(HSO_3^-)和偏亚硫酸盐($\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$)。最常用的亚硫酸盐是偏亚硫酸钠与偏亚硫酸钾。因为它们在固态的氧化反应中也有非常好的稳定性。不过, 当滤去固体有问题或气态也能控制pH时, 则使用气态二氧化硫。

在酸性介质中, 二氧化硫是最有效的抗菌剂, 这种抗菌作用是未离解的亚硫酸产生的。溶液酸度增加至 pH3.0 以下时, 主要存在形式是不解离的亚硫酸, 并有部分二氧化硫气体逸出。酸度高时二氧化硫可产生强的抗菌效果, 因为未解离的亚硫酸更容易穿透细胞壁。亚硫酸抑制酵母、霉菌和细菌的程度各不相同, 特别是酸度低时更是如此。低酸度时 HSO_3^- 离子对细菌有效, 但对酵母无效。而且, 对格兰氏阴性菌的效果远远超过对格兰氏阳性菌的效果。

二氧化硫作为食品保鲜剂, 从微生物学与化学的应用来看, **据信其效果都是由于亚硫酸离子的亲核性所致**。含四价硫和氧的离子与核酸之间的反应, 可引起微生物失活或被抑制, 认为是酸性亚硫酸离子与乙醛在细胞中的反应; 还原酶中的二硫键, 以及生成亚硫酸加成物, 使细胞代谢所必需的酶反应不能发生; SO_2 与酮基反应生成羟基磺酸盐(酯), 使之抑制烟酰胺二核苷酸(nicotinamide dinucleotide)参与的呼吸机制中的几步反应。

在已知的食品非酶褐变抑制剂中, 二氧化硫可能是最有效的。其化学机理复杂多样, 如二氧化硫阻碍非酶褐变(图 10-7), 最重要的是含四价硫和氧的阴离子(酸性亚硫酸)与还原糖和其他参与褐变反应化合物的醛基反应。这种可逆的酸性亚硫酸加成物因为结合了羰基而延缓了褐变过程, 不过也有认为此反应除去

了类黑精结构中的羰基发色团从而产生了漂白效果。含亚硫酸根与羟基的反应是不可逆的，尤其是在褐变反应中与糖的 4-位羟基以及抗坏血酸中间体作用生成了相对稳定的磺酸酯 ($R-CHSO_3^- - CH_2R'$)，从而延缓了整个反应，特别是倾向于产生有色颜料的反应。

二氧化硫也能抑制某些酶催化反应，特别是酶促褐变。在处理新鲜水果和蔬菜过程中，常常发现由于酚类物质酶催化氧化引起的褐变，严重影响质量。应用亚硫酸盐或偏亚硫酸氢盐溶液喷洒或浸渍，可以得到良好效果。在处理前需预先剥皮或切开土豆、胡萝卜或苹果，不论柠檬酸存在与否，此种方法均可使酶促褐变得有效的控制。

二氧化硫在多种食品中具有抗氧化作用，但也有副作用。例如将二氧化硫通入啤酒中，在存放期间会明显阻止氧化风味的形成。鲜肉在二氧化硫存在时，虽能有效地保持红色，但此种方法会掩盖变质的肉制品，所以规定禁止使用。

面粉经二氧化硫作用，会使蛋白质的二硫键发生可逆性断裂。这对面包生面团的焙烤性质有好的影响。水果干燥前常用二氧化硫处理，此种处理虽能防止褐变，但会引起花青素苷色素的氧化漂白。利用二氧化硫的氧化漂白可用于制造白葡萄酒和糖水樱桃。

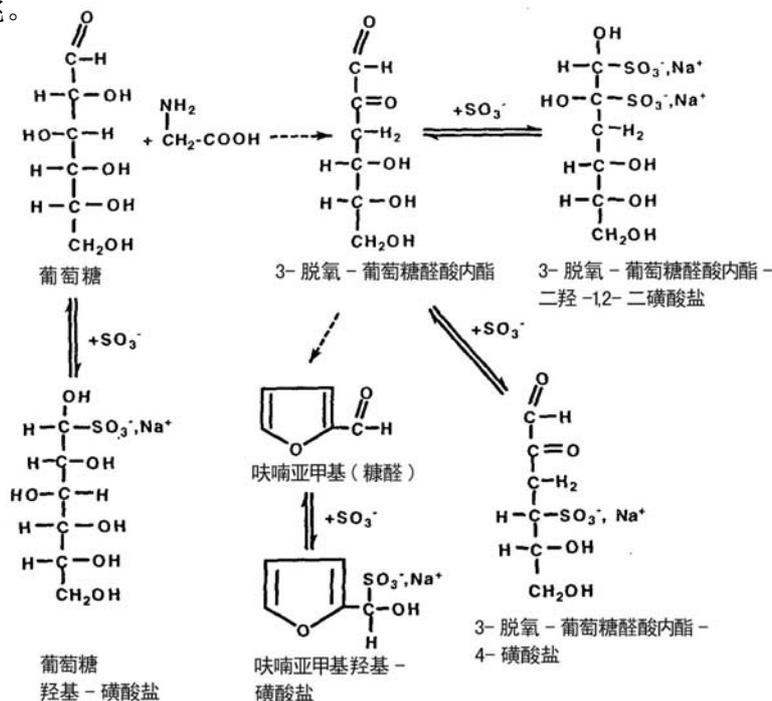


图 10-7 某些硫 (IV) 氧阴离子 (HSO_3^- , SO_3^{2-}) 阻止Maillard褐变反应的机理。

二氧化硫和亚硫酸盐在人体内经过代谢可转变成硫酸盐，然后从尿中排出，而无任何明显的病理学变化，然而，对二氧化硫及其衍生物的有关安全性问题，还正在观察之中。因为有报道认为，某些气喘患者进食亚硫酸氢盐食物后，有剧烈反应并可能导致突变。另外，二氧化硫有明显带刺激性的令人讨厌的味道并污

染空气，值得注意。

二、亚硝酸盐和硝酸盐

亚硝酸和硝酸的钠盐和钾盐通常用于肉类腌制。它们的作用是保持肉类的颜色、抑制微生物的生长及产生特殊风味。实际起作用的是亚硝酸盐而不是硝酸盐。肉中的亚硝酸盐分解形成一氧化氮，它与血红素反应生成亚硝基肌红蛋白，使腌制的肉类呈现粉红色。感官评价表明，亚硝酸盐显然是通过抗氧化剂的作用使腌肉产生风味，但其机理尚不清楚。另外，亚硝酸盐（150~200mg/kg）能抑制碎肉罐头和腌肉中的梭状芽胞杆菌。亚硝酸盐的抑制作用在 pH5.0~5.5 比在较高 pH 值时更为有效。对亚硝酸盐的抗菌机理还不清楚。有人认为亚硝酸盐与巯基反应可形成在厌氧条件下不被生物代谢转化的化合物，从而起到抗菌的作用。

研究证明亚硝酸盐在腌肉中生成少量而且能显毒性的亚硝胺。

硝酸盐存在于多种植物中，如菠菜。过度施肥的土壤所生长的植物组织中可累积大量硝酸盐。硝酸盐在肠道中被还原成亚硝酸盐而被吸收，这样会由于形成高铁血红蛋白而导致青紫症，所以人们对在食品中使用亚硝酸盐和硝酸盐产生了异议。

三、山梨酸

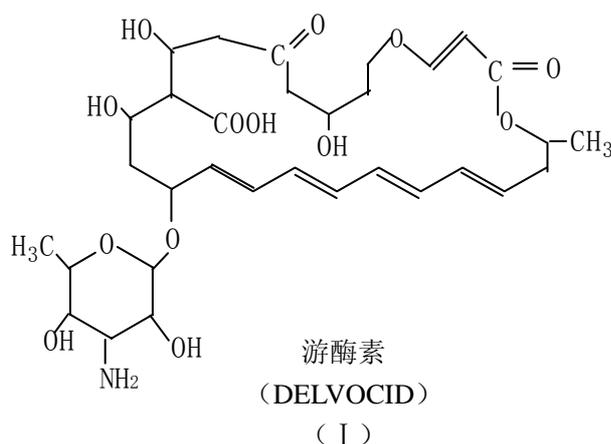
直链脂肪族酸一般显示出抗霉菌活性，其中 α -不饱和脂肪酸同系物特别有效。山梨酸（2, 4-己二烯酸）和它的钠盐和钾盐广泛用于乳酪、焙烤食品、果汁、葡萄糖、蔬菜等各类食品以抑制霉菌和酵母菌。山梨酸阻止霉菌的生长特别有效，而且浓度高达 0.3%（按重量计）也几乎无味道。山梨酸的使用方法包括直接加入、表面涂抹或掺入包装材料中。活性随 pH 降低而增强，表明未解离形式比解离形式抑菌力更强。山梨酸有效范围为 $\text{pH} < 6.5$ ，明显高于丙酸和苯甲酸的有效 pH 范围。

山梨酸的抗霉菌作用是由于霉菌不能代谢脂肪族链中 α 不饱和二烯体系。山梨酸的二烯结构可干扰细胞中的脱氢酶，脱氢酶使脂肪酸正常脱氢，这是氧化作用的第一步。可是，在高等动物体内并不产生此种抑制效应。所有证据均表明，人和动物对山梨酸和天然脂肪酸的代谢完全一样。但也曾出现几种霉菌能代谢转化山梨酸，并认为这种代谢是通过 β -氧化作用进行的，与哺乳动物的代谢相似。

短链（ $\text{C}_2 \sim \text{C}_{12}$ ）饱和脂肪酸对许多霉菌亦有中等程度抑制效力。然而，有些霉菌能促进饱和脂肪酸的 β -氧化生成相应的 β -酮酸，特别是当酸浓度恰好显示抑制作用时。生成的 β -酮酸通过脱羧反应生成相应的甲基酮如图 10-8 所示。

四、游霉菌素

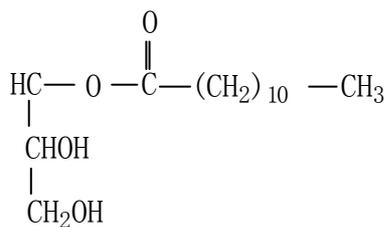
游霉菌素或匹马菌素是一个多烯抗霉菌的大环内酯 (I)，可用来防止加工干酪时霉菌的生长。这种霉菌抑制剂的商业名称为 Delvocid。当它用在直接同空气接触和易生长霉菌的食品表面是高效的。游霉菌素应用于发酵食物，如加工奶酪，特别的引起了人们的注意，因为它选择性地只抑制霉菌而让催熟的细菌正常地生长和代谢。



五、甘油酯

许多游离脂肪酸和酰基甘油对革兰氏阳性细菌和某些酵母菌表现出强烈的抗菌活性。不饱和化合物，特别是那些 18 碳原子的化合物，可显示强的脂肪酸活性；中等链长（12 碳原子）对甘油酯化的抑制作用最强。

单月桂酸甘油酯 (II)，商业名称 Monolaurin，当以浓度 15~250mg/kg 存在时，能抑制几种潜在致病的葡萄球菌和链球菌。由于它的脂质性质，能用在某些含脂食品中。



单月桂酸甘油酯
(II)

这类亲油药剂对 C 肉毒菌亦显抑制作用。具有此种功能的单月桂酸甘油酯在腌（熏）肉和冷冻的包装鲜鱼方面得到了应用。

六、丙酸

丙酸 ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$) 是丙酸菌产生的, 它天然存在于瑞士奶酪中 (达 1%)。丙酸和它的钠、钙盐对霉菌和某些细菌具有抗菌活性。丙酸在面包、糕点以及饼干生产中有广泛用途。它不仅可以有效地抑制霉菌, 而且对胶粘的面包微生物芽孢杆菌属的肠膜菌也是有效的。一般用量可达到 0.3%。正如其他羧酸抗菌剂一样, 其未解离形式是有效的。在大多数应用中, 有效性范围可提高至 pH 5.0。丙酸对霉菌和某些细胞的毒性与它们不能代谢 3 碳骨架有关。可是, 在哺乳动物中, 丙酸的代谢与其他脂肪酸相似, 尚未证明在上述用量水平产生毒性效应。

七、醋酸

醋酸 (乙酸) 是醋的主要成分。醋对食物的防腐作用古人早已利用。除了利用醋 (含 4% 醋酸) 和醋酸之外, 在食品防腐方面亦可应用醋酸钠 (CH_3COONa)、醋酸钾、醋酸钙 [$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$] 以及二醋酸钠 ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot \text{CH}_3\text{COOH} \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)。将这些盐用于面包和其他焙烤食品 (加入量 0.1%~0.4%) 以阻止胶粘和霉菌生长而对酵母菌无害。

醋和醋酸可用于腌肉和腌鱼制品, 如果有发酵的糖类化合物存在, 至少必须添加 3.6% 的酸方可阻止乳酸菌和酵母菌的生长。醋酸还用于番茄酱、蛋黄酱和腌菜这类食品。它能表现出双重功能, 即抑制微生物和产生香味。和其他脂肪酸一样, 醋酸的抗菌活力随 pH 减小而增大。

八、苯甲酸

苯甲酸 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) 广泛用作食品抗菌剂。它天然存在于酸果蔓、梅干、肉桂和丁香中。未解离酸具有抗菌活性, 在 pH 2.5~4.0 范围内呈现最佳活性, 因而适合用于酸性食品, 如果汁、碳酸饮料, 腌菜和泡菜。在食品中添加少量苯甲酸时, 对人体并无毒害。因它与人体内的甘氨酸结合后形成马尿酸 (甘氨酸苯甲酰) 易于从体内排掉 (图 10-10)。

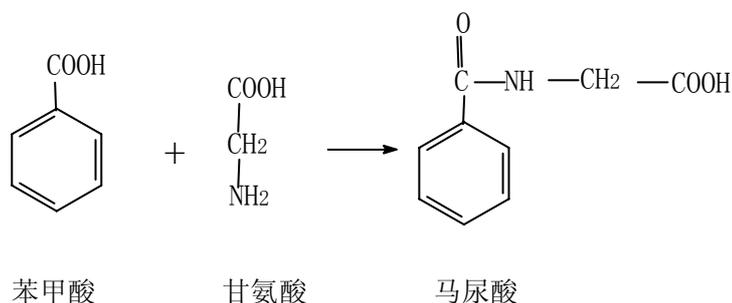


图 10-10 苯甲酸与甘氨酸结合反应

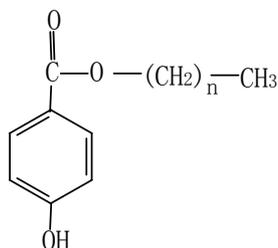
这种解毒作用使苯甲酸不会在体内蓄积。

苯甲酸的钠盐比苯甲酸更易溶于水, 故一般使用钠盐。它在食品中部分转变为有活性的酸的形式。它抑制酵母菌和细菌的作用强, 而对霉菌的作用小。通常将苯甲酸与山梨酸 (即己二烯酸) 或对-羟基苯甲酸烷基酯 (parabens) 合并使用, 使用范

围 0.05%~0.1%。

九、对-羟基苯甲酸烷基酯

对-羟基苯甲酸烷基酯商业名称叫 Parabens。它包括从甲基到庚基的一系列物质，例如。

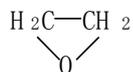


对-羟基苯甲酸烷基酯 (n 为 0~6)

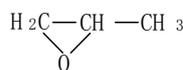
各国采用的烷基种类不完全相同。例如美国使用的是甲基、丙基和庚基酯；其他一些国家也有采用乙基和丁基酯的。Parabens 可用做焙烤制品、软饮料、啤酒、小肉片菜卷、腌菜、果酱、肉冻以及糖浆中的微生物防腐剂。它们几乎不影响食品的香味，是霉菌和酵母菌的有效抑制剂，用量范围是 0.05%~0.10% (按重量)；但对细菌、特别是革兰氏阴性细菌无作用。随着对-羟基苯甲酸酯类烷基链长的增加，其抗菌活性增大，但在水中的溶解度却降低。故通常使用烷基链较短的化合物，因它易溶于水。与其他抗真菌剂比较，这类化合物在 pH7 或更高时仍具有活性，显然表明在这个 pH 范围内化合物仍有相当部分保持不解离状态。酚羟基使分子具有弱酸的特性。酯链甚至在消毒温度下对水解也是稳定的。对-羟基苯甲酸与苯甲酸有许多共同性质，并且它们常常合并使用。它对人毒性很小，在酯基水解和随后的代谢共轭作用，使它们可以经尿排泄到体外。故这类添加剂可安全地使用。

十、环氧化物

环氧乙烷和环氧丙烷是活泼的环醚，它们可破坏包括孢子甚至病毒在内的各种微生物。



环氧乙烷



环氧丙烷

这些烯基氧化物与绝大多数食品抗菌剂不同，它们在所用浓度范围内不仅对微生物有抑制作用，而且有致死效应。它们常用于处理某些低水分食品和无菌包装材料的消毒。为了使这类抗菌剂和微生物能保持紧密接触，可先用蒸气熏蒸，然后用冲洗和抽真空方法除去绝大部分剩余未反应的环氧化物。

关于环氧化物的作用机理，目前还不甚了解。对环氧乙烷而言，曾假定一个羟

基乙基基团 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$) 与主要中间代谢物进行烷基化, 可以解释致死效应。攻击位置可以是代谢体系中任何不稳定的氢。环氧化物还可以与水反应生成乙二醇(图 10-11)。然而, 乙二醇毒性低, 因此并不能解释其抑制效应。

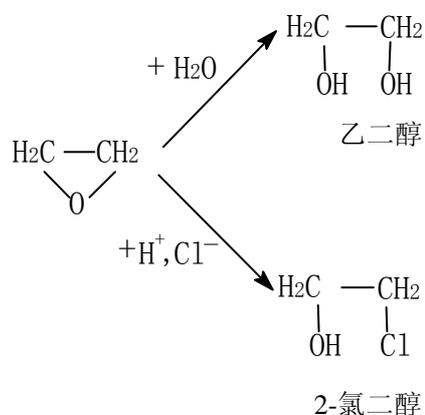


图 10-11 环氧乙烷与水和氯离子反应

此外, 环氧化物可能对维生素B₂、维生素PP和维生素B₆等有利影响。

环氧乙烷比环氧丙烷的反应性强, 挥发性(沸点 13.2°C)和可燃性也比环氧丙烷大。为了安全, 环氧乙烷通常以混合物的形式提供, 混合物组成为 10%的环氧乙烷和 90%的二氧化碳。将需消毒的产品放在密闭室中, 先抽真空, 然后用环氧乙烷-二氧化碳混合气将容器升压到 13.6Kg, 以提供足以在一定时间内可杀死微生物的环氧乙烷浓度所需的压力。当使用环氧丙烷时, 因其沸点稍高(沸点 34.3°C), 必须充分加热使环氧化物处于气态。

环氧化合物由于不仅具有较强的杀菌能力, 而且还能消除食品中的大部分活性氧, 反应后生成的二乙醇类化合物毒性又较低, 因此在食品中得到广泛应用。但它们的使用范围主要局限在干制食品, 如坚果和香料等。对于高水分食品, 环氧化合物因首先与水反应而耗尽, 而象香料类中的风味化合物, 因沸点低、易挥发, 又是热不稳定的, 因此不宜热杀菌。

按规定环氧乙烷处理的产品中, 残留量不能超过 500mg/kg, 环氧丙烷的残留量应低于 300mg/kg。

十一、 抗菌素

抗菌素是由各种微生物天然产生的一大组抗菌剂组成的。它们具有选择性的抗菌活性。抗菌素在控制动物致病微生物方面的成功使它们有可能应用于食品防腐方面。可是, 由于担心经常使用抗菌素会产生微生物抗药性, 有的国家已禁止在食品中使用。但是, 有的国家却允许限制性地使用少量的抗菌素。它们包括乳酸链球菌肽、氯四环素和氧四环素。食品中抗菌素的大多数实际应用都涉及将它们作为食品保藏的辅助物。这包括推迟冷冻易腐食物和降低加热过程的剧烈程度。对于新鲜肉

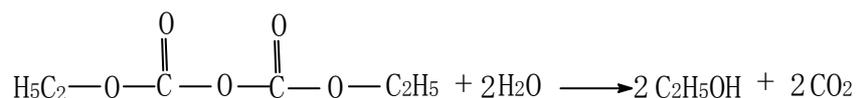
类、鱼和家禽这一类易腐食物，广谱抗菌素具有较好的作用。事实上，近几年来，有的国家的食品和药物管理局允许将宰杀家禽整体浸入氯四环素或氧四环素溶液中。这样就可延长它们的货架期，残留抗菌素可用一般烹煮方法破坏。

乳酸链球菌肽应用于食品防腐已进行过广泛地探索。发现这个多肽抗菌素对革兰氏阳性微生物是有效的，特别是阻止孢子的增生。目前医药上尚未使用此种抗菌素。

乳酸链球菌肽是由乳酸链球菌产生的，世界上有些地区用它来阻止乳制品腐败，例如用于加工奶酪和炼乳，乳酸链球菌肽对革兰氏阴性腐败菌无效，并且有些梭状芽孢杆菌株有抗药性。然而，它对人体基本无毒，不会导致对医药抗菌素有交叉抗药性，并且能在肠道中无害地降解。

十二、 焦碳酸二乙酯

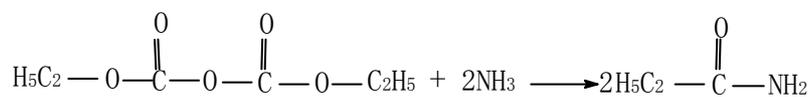
焦碳酸二乙酯已用作饮料类食品的抗菌剂，如果汁、酒和啤酒。它的优点是可用于水溶液的冷巴氏消毒法（Cold Pasteurization Process），并易水解成乙醇和二氧化碳：



在酸性饮料中（低于 pH 4.0）其用量范围为 120~300mg/kg，在此条件下大约 60min 内可杀灭全部酵母菌。其他有耐受力的微生物如象乳酸菌，只有当微生物数量很少（< 500 个/ml）和 pH 低于 4.0 时，才能达到消毒的目的。低 pH 的好处是能降低焦碳酸二乙酯的分解速率和增强它的杀菌效力。

浓焦碳酸二乙酯有刺激性。可是，在酸性饮料中 24h 内基本上完全水解，几乎无直接毒性。遗憾的是，焦碳酸二乙酯与一些化合物反应有可能生成乙酯基衍生物和乙酯。

焦碳酸二乙酯易与氨反应生成尿烷（氨基甲酸乙酯）：



焦碳酸二乙酯

尿烷

尿烷是一种已知的致癌物质。虽然尚未见到食品经焦碳酸二乙酯处理后生成尿烷的报道，但有人采用灵敏的同位素稀释示踪技术已发现曾用焦碳酸二乙酯处理过的橙汁、啤酒和葡萄酒含有 0.17~2.6mg/kg 的尿烷。由于氨普遍存在于动、植物组织中，因此用焦碳酸二乙酯处理过的食品有可能含有极少量尿烷。基于这一点，有的国家已明令禁止在食品中使用焦碳酸二乙酯。

第八节 非营养和低热量甜味剂

非营养和低热量甜味剂包括一大类可产生甜味的物质，它们能增强甜味。由于美国对于环己烷氨基磺酸盐的禁用和糖精的安全性评价等问题，促使人们更深入地研究新的低热量甜味剂，以满足人们对低热量食品与饮料的需求。因而发现了许多有甜味的化合物，增加了一批有潜在商业应用价值的低热量甜味剂，它们的相对甜度列于表 10-3 中。

表 10-3 一些甜味剂的相对甜度

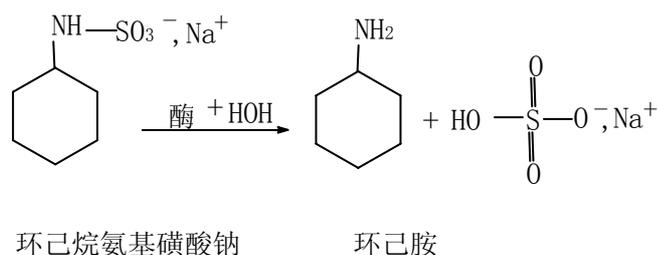
甜味剂	相对于蔗糖的甜度 (蔗糖=1, 按单位质量计)
阿瑟休发姆 K (Acesulfame K)	200
阿里塔姆 (Alitame)	2000
阿斯巴特姆 (AsPartame)	180~200
环己烷氨基磺酸盐 (Cyclamate)	30
甘草苷 (Glycyrrhizin)	50~100
蒙利灵 (Monellin)	3000
新橙皮苷二氢查耳酮 (Neohesperitin dihydrochalcone)	1600~2000
糖精 (Saccharin)	300~400
斯切维苷 (Stevioside)	300
三氯蔗糖 (Sucralose)	600~800
索马甜 (Thaumatococin)	1600~2000

a. 相对甜度是指相对于蔗糖的甜度，在浓缩或饮料加工时，其相对甜度值可能发生变化。

一、环己氨基磺酸盐 (Cyclamate)

美国在 1949 年批准环己氨基磺酸盐作为食品添加剂，环己氨基磺酸及其钠盐、钙盐作为调味剂得到广泛的应用，直到 1969 年底美国食品药品监督管理局 (U. S. Food and Drug Administration, 简称 FDA) 宣布禁止使用为止。它比蔗糖甜三十倍，味道与蔗糖相似，没有感到明显的异味，而且热稳定性高。其甜味的持久性比蔗糖高。

有些早期对小鼠的实验证明环己氨基磺酸盐及其水解产物可引起膀胱癌 (bladder cancer)。



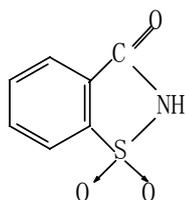
然而后来的实验并没有证实早期的报道结果，于是陆续向美国政府申请重新认可为甜味剂。现在已有包括加拿大在内的四十余个国家允许环己氨基磺酸盐用在低热量食品中，尽管通过深入地试验研究，证实环己烷基磺酸盐与环己胺都不是致癌物质或基因毒物。但由于种种原因，美国 FDA 至今仍未重新批准它们在食品中使用。1982 年 FAO/WHO 经食品添加剂专家委员会再次评价，并规定其 ADI 为 0~11mg/kg，此后，许多国家又开始许可使用。

我国规定，本品可用于酱菜类、调味酱汁、配制酒、糕点、饼干、面包、馄饨、冰淇淋、饮料，最大使用量 0.65g/kg。浓缩果汁按浓缩倍数 80% 加入。用于蜜饯最大用量为 1.0g/kg。

本品常与糖精钠按 9:1 比例混合使用。

二、糖精

目前市场上大量使用糖精作为非营养甜味剂出售。用量取决于所期望的甜度。可是，较高浓度时通常略带苦味。根据公认的经验，糖精比同样浓度的蔗糖甜 300 倍左右，曾经有人对糖精的安全性产生过怀疑，这刺激了对另一些低热量甜味剂的寻求。糖精在人体中很快被吸收，然后经尿迅速排出。现已证明使用糖精是安全的。目前世界上有九十多个国家允许使用。

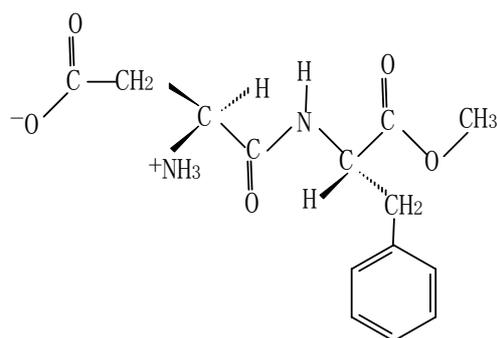


1984 年由 JECFA 评价后暂定 ADI 为 0~2.5mg/kg。但终因其安全性问题，实际应用逐渐减少。1992 年我国轻工业部宣布控制、压缩糖精的生产，限制食品、饮料中使用糖精，故本品有逐渐被取代的趋势。

三、阿斯巴特姆 (Aspartame)

最近，美国允许用阿斯巴特姆 (Aspartame) 作为干食品混合物和软饮料中的甜味剂，并且仍在不断扩大应用范围，其他国家也已经准许使用。阿斯巴特姆

的学名是 L-天冬酰基-L-苯基丙氨酸甲基酯，其立体化学构型如下。

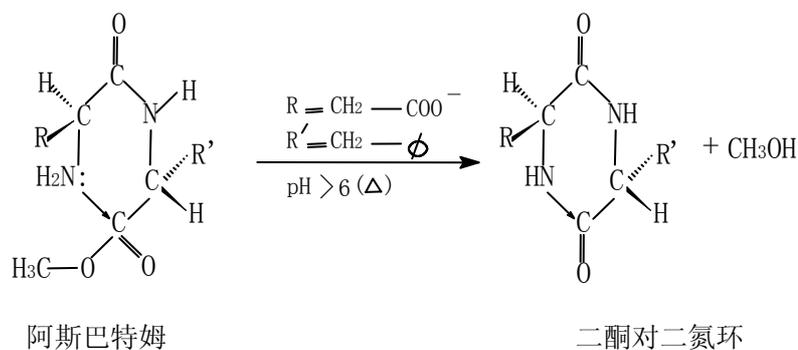


阿斯巴特姆的立体化学构型

阿斯巴特姆虽是一种热量物质（一种二肽），食用后完全消化，但由于它的强甜度（大约比 4%蔗糖浓度甜 200 倍），用量很小，所以产生的热量也很少。

阿斯巴特姆具有肽的性质，对水解和其他化学作用以及微生物降解作用等都很敏感，因此在水体系中存放的有效期受到限制。除了由于苯基丙氨酸的甲基酯，或两个氨基酸之间肽键发生水解而引起甜味损失之外，还会出现分子内的缩合，生成二酮吡嗪（5-苄基-3, 6-二氧化-2-对二氮己环醋酸）如图 10-12 所示。

在中性和碱性 pH（即 $\text{pH} > 6$ ）条件下，此反应特别容易发生，因为非质子化胺基更容易参与反应。同样，碱性 pH 可促使羰基-氨基反应。在此条件下，阿斯巴特姆容易与葡萄糖和香草醛起反应。与葡萄糖反应使之失去甜味，而与香草醛反应，则主要失去香草风味。



阿斯巴特姆

二酮对二氮环

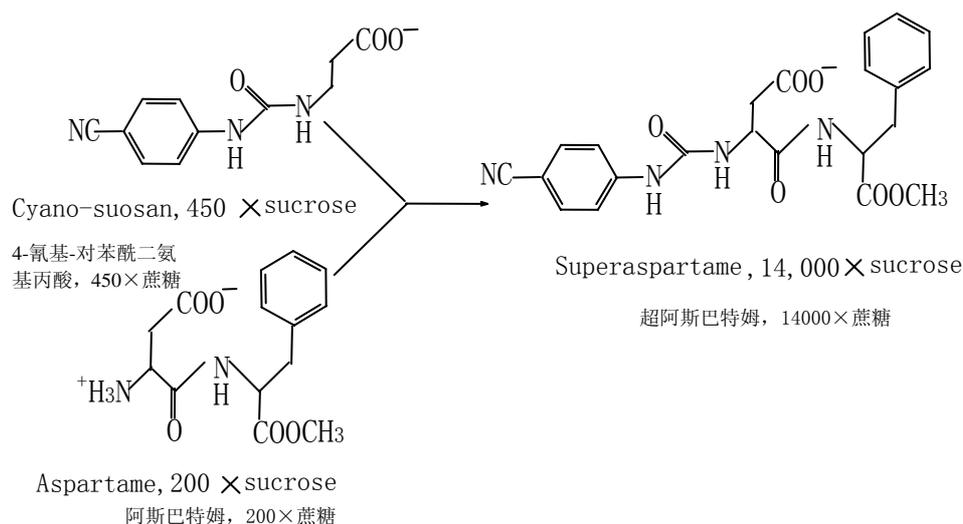
图 10-12 阿斯巴特姆分子内缩合产生二酮对二氮环降解产物

阿斯巴特姆是由天然存在的氨基酸组成的，规定其每日摄入量很小（每人不超过 0.8g），已有大量证据表明，将它用于软饮料时，在限制用量条件下不会产生危险。但是，用阿斯巴特姆作为甜味剂，必须标明其苯基丙氨酸的含量，以避免苯酮尿症病人食用。实验证明，在食品中可能遇到的浓度条件下，二酮对二氮己环对人体是无害的。阿斯巴特姆的 ADI 是 0~40mg/kg，其中杂质二酮对二氮己环的 ADI 为 0~7.5mg/kg。

我国规定本品可按正常生产需要应用于各类食品，通常的用量为 0.5g/kg，常与蔗糖或其他甜味剂并用。

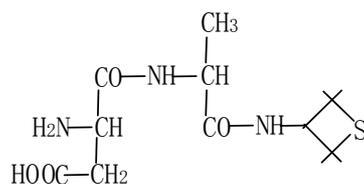
关于二肽类甜味剂的研究很多，出了一些较好的产品，对结构与甜味之间的关系也有一定的了解，目前比较有应用价值的有以下两种：

超阿斯巴特姆 (Superaspartame)。它是在阿斯巴特姆的游离氨基上代入 (对-氰苯基) 氨甲酸基 [(P-eyanopHenyl) Carbamoyl]



从上式可以看出它可认为是两个甜味分子的组合，因而起了增甜作用。其甜度是蔗糖的一万四千倍。

阿斯塔姆 (Alitame) 是由 L-天冬氨酸和 D-丙氨酸结合而成的二肽甜味剂。其化学名称是 L-天冬-D-丙氨酸-N-3-(2, 2, 4, 4-四甲基)-硫代四环酰胺。[N-3-(2, 2, 4, 4-tetramethyl)-thietanylamine of L-Asp-D-Ala]。结构式为：



它是无规则结晶，水溶性好，其甜度为蔗糖的二千倍。甜味纯正，极似蔗糖，无后味，与阿斯巴特姆相比，具有较高的热稳定性和水解稳定性，因此它在冷冻甜食、酸奶、饮料和糕点制作中得到了广泛应用。

四、阿瑟休发姆 K

最近，英国已批准阿瑟休发姆 (Acesulfame K, 6-甲基 1, 2, 3, -氧噻嗪

-4 (3H) -2, 2-二氧化物) 可用作非营养甜味剂。它们商品名称 Acesulfame K, 是根据其结构与乙酰醋酸和氨基磺酸及其钾盐的结构之间的联系命名的 (图 10-13)。

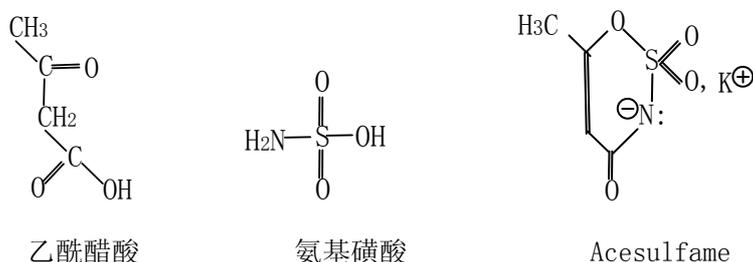


图 10-13 Acesulfame 结构相关化合物

阿瑟休发姆 K 的甜度是 3%蔗糖溶液甜度的 200 倍左右, 它的甜度品质介于环己烷氨基磺酸盐和糖精之间, 广泛试验证明它对动物无毒, 并且在食品中特别稳定。用较低成本的合成方法可以制得很高纯度的阿瑟休发姆 K (图 10-14)。

阿瑟休发姆作为一种可应用的非营养甜味剂, 在食品应用方面取得了一些经验, 已经成为人们感兴趣的甜味剂。

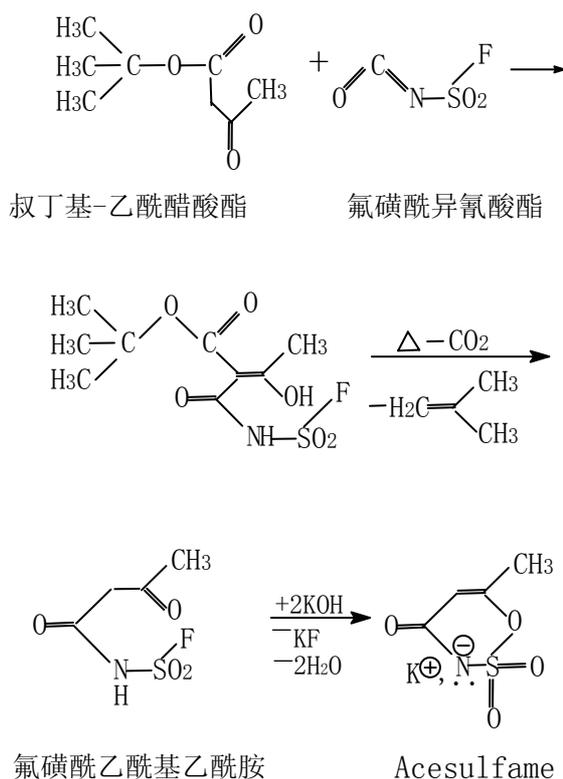


图 10-14 阿瑟休发姆 K 的一种工业合成方法

五、 其他非营养性或低热量甜味剂

下面介绍几种从天然物质中提取的甜味剂:

甘草酸是一种天然的甜味物质，它存在于甘草根中。一般只准许将它作为香料使用，而不用作甜味剂。它的根部提取物含甘草酸的钙盐和钠盐。甘草酸是一种植物糖苷，水解时生成 2mol 的葡糖醛酸和 1mol 的甘草亭酸。在蔗糖甜味阈值的 1/50 仍可检查到甘草酸的甜味，可见它的临界甜味阈值极低。

甘草酸主要用在烟草产品中，也可用于食品和饮料。它的类似甘草的香味影响它在某些应用中的适应性。对结构上与甘草酸相似的物质已进行过探索。卡哈苾昔是甜叶菊叶子中发现的一种天然存在的糖苷甜味剂，其甜度是蔗糖的 300 倍。

新橙皮苷二氢查耳酮也是一种非营养甜味剂，它是从柑橘属水果的苦味黄酮制得的。这个强甜味物质以及其他类似化合物都是由下列物质经氢化生成的，产生柚（皮）苷二氢查耳酮的柚（皮）苷；产生新橙皮苷二氢查耳酮的新橙皮苷；产生橙皮苷二氢查耳酮 4'-O-（葡萄糖）糖苷的橙皮苷。所有这些甜味物质都和它们含有（1→2）-键合的二糖有关。这些二氢查耳酮还必须进行动物喂养实验，在取得可靠的安全性之后才准许用于食品。

热带非洲的一种甜水果卡姆费（kafemfe），含有很甜的可作为低热量甜味剂的物质。这种物质称为Thaumatococcus I 和 II，属于碱性蛋白质，分子量约为 20 000。按mol计算这种蛋白质的甜度大致是蔗糖的 10^5 倍。卡姆费甜水果的提取物是以商业名称Talin出售的，在日本用它作甜味剂和香味增强剂也已得到了批准。Talin的甜度是 4%蔗糖溶液的 5 000 倍，但是显示略微带甘草味的持久甜味。蒙利灵（monellin）是偶然发现的一种浆果中含有的一种有甜味的蛋白质物质，分子量约为 11 500，它具有类似卡姆费中发现的那些甜味剂的性质。这些物质价格昂贵，对热不稳定，并且在室温下当溶液pH低于 2 时，则甜度完全丧失，故其应用会受到一定限制。

另一种碱性蛋白质米拉考林（miraculin）是从奇迹果（*Synsepalum dulcificum*）中分离出来的。它没有味道，但具有使酸味食品带甜味的特殊性质。此物质的分子量为 42 000，是一种糖蛋白。与其他蛋白质甜味剂相似，它对热不稳定，并且在低 pH 值时无活性。此外，米拉考林的味感效应持续时间长，这可能会限制它的应用。

第九节 织构化形成剂和组织硬化剂

一、 织构化形成剂

织构化形成剂有增加结合水、增大粘度和改善质地以及松软度的作用。织构化形成剂主要是多元醇，它是糖类化合物的衍生物，羟基是多元醇的唯一功能团，因此它们一般是水溶性的吸湿材料，浓度较高时出现中等大小的粘度。尽管多元

醇为数不少，但用于食品的仅有少数几种，它们是丙二醇（ $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_3$ ）、丙三醇（ $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$ ），山梨醇和甘露醇 $[\text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\text{CH}_2\text{OH}]$ 。大多数多元醇是天然存在的，但也有例外，如丙二醇。游离的甘油存在于发酵的葡萄酒和啤酒中；山梨醇存在于梨、苹果和梅干这类水果中。

多元醇由于多羟基结构，还有控制粘度、增加容积、保留水分、降低水活性、控制结晶、改善脱水食品的复水性以及用作风味化合物溶剂等作用。多元醇在食品中的许多应用依赖于糖、蛋白质、淀粉和树胶的功能性质，例如糖含有醛基和酮基，这些基团的化学稳定性差，特别是在高温情况下容易发生缩合、脱水和其他反应。

多元醇虽然一般显甜味，但远不及蔗糖，而短链多元醇在高浓度时略带苦味。但使用量少时（2%~10%），影响不大。可是用量多时，如在中等水分食品（甘油25%）和无糖膳食中（不含蔗糖的糖果，山梨醇，40%），这些多元醇对产品的味道有相当大的影响。

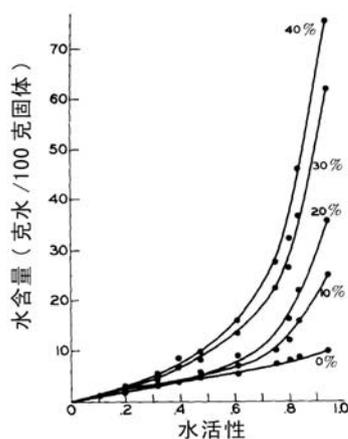


图 10-15 37°C 时不同重量甘油的纤维素模拟体系水分吸着等温线

近来，食品应用方面已注意发展多元醇的聚合物。乙二醇（ $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$ ）是有毒的，聚乙二醇（6000 分子质量）允许在某些食品的涂层和增塑中使用。甘油经碱催化聚合制成聚甘油 $[\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2-(\text{O}-\text{CH}_2\text{CHOH}-\text{CH}_2)_n-\text{O}-\text{CH}_2\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}]$ ，也具有好的性质。它可以进一步用脂肪酸酯化加以改性，生成象类脂化合物性质的材料。这些聚甘油物质允许用于食品，因为它的水解产物为甘油和脂肪酸可参与正常代谢。

多元醇对中等水分食品的稳定性的影响有重要性。这类食品含有相当数量的水分（15%~30%）。虽然这类食品不经冷冻，微生物也不会使其变质。干果、果酱、果冻、果汁软糖、水果蛋糕以及牛肉干等中等水分的食品具有稳定性。其中有的在食用前可以复水，但所有这类食品均具有可塑质地，可以直接食用。

大部分中等水分含量的食品的水活性为 0.70~0.85,而那些含有保湿剂的食品每 100g 固体含大约 20g 水(按重量为 17%水)。如果用解吸法制成水活性为 0.85,的中等水分食品,仍然易受霉菌和酵母菌的侵袭。要克服这个困难,可以在加工时将各种成分加热并添加山梨酸这样的抗霉菌剂。近来发现用吸附法制成的中等水分食品,不需加入化学合成抑制剂,因此生产稳定的中等水分食品应该是可以办到的。

要使食品获得所期望的水活性,通常须加入一种能结合水的保湿剂。这类保湿剂为数不多,主要是甘油、蔗糖、葡萄糖、丙二醇和食盐。图 10-15 表示甘油对纤维素模拟体系的水活性的影响。

从等温线可看出在 37℃10%甘油体系中,水活性 0.9 相当于 100g 固体的水分含量为 25g,而在 40%甘油体系中同样水活性却相当于 100g 固体水分含量为 75g。

甘油的主要风味缺陷是甜中带苦的感觉。而蔗糖和葡萄糖用于中等水分食品时甜味又过高。因此对于中等水分食品中可将甘油、盐、丙二醇和蔗糖以适当比例混合使用。

二、组织硬化剂

食品体系中果胶物质的游离羧基通过与多价阳离子(如钙离子或铝离子)的交联作用使结构稳定,增加硬度。植物组织热加工或冷冻时由于细胞结构改变会变软。这些组织的稳定性和完整性取决于细胞受损伤的程度和细胞壁成分之间分子键合的程度。通常采用加入钙盐的方法(0.1%~0.25%钙)促进游离羧基间的交联使难溶的果胶酸钙和果胶酯酸钙的数量增多,结构稳定,这些稳定的结构支撑组织团块,甚至在经受热加工以后仍然能保持结构的完整性。番茄、浆果和苹果的切片,在装灌或冷冻前加入一种或多种钙盐,可使它变硬。最常用的钙盐是氯化钙、柠檬酸钙、硫酸钙、乳酸钙以及磷酸一钙。大多数钙盐是微溶性的,有的还带苦味。

把某些铝盐添加到发酵后的盐水酸菜中,这样加工成的黄瓜要比不加这些盐的黄瓜脆硬的多。变脆过程与三价铝离子和果胶物质生成配合物有关,所用铝盐有酸性矾盐、硫酸铝钠[$(\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$]、硫酸铝钾、硫酸铝铵以及硫酸铝[$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$]。可是,近期研究证明,硫酸铝对刚装罐或低温消毒的泡菜有软化作用,可能抵消体系中的醋酸或乳酸,因此在这些食品中不宜添加这种盐。软化原因还不太清楚。同时还发现,在加工期间不直接加入添加剂也可控制某些蔬菜和水果的硬度和质地,方法是控制酶的活力,例如,果胶甲酯酶在低温烫漂时(70~82℃经 3~15min)可被活化,而不要采用使酶失去活力的烫漂方法(88~100℃经 3min)。低温烫漂后产品的硬度,可通过在高压灭菌前保持适当时间来加以控制。保持时间长短控制着产品酶水解程度的大小。保持时间长,酶水

解的量小，时间短酶水解的量小。酶水解果胶的甲氧基生成果胶酯酸和果胶酸。这些酸拥有大量的游离羧基，可与内部原有的或外加入的钙离子（产生交联）作用，形成更稳定的结构导致硬化效应。相反，未经酶水解的果胶与果胶甲酯酶结合得不紧，果胶的游离羧基少，易溶于水，因此能从细胞壁中自由移出。已经发现青豆、马铃薯、花菜和酸樱桃的果胶甲酯酶被活化可以产生硬化效应。若采用添加钙离子和酶活化相结合的方法能使硬化效应更大。

第十节 稳定剂和增稠剂

许多亲水性的胶体物质对于乳浊液、悬浊液和泡沫具有稳定作用，并且有增稠性质。它们独特的结构和功能特性在食品中被广泛使用。这些物质大多数来自天然树胶，或经过化学改性以后获得所需的特性。它们许多属于多糖类如阿拉伯树胶、瓜尔豆树胶、羧甲基纤维素、鹿角藻胶、琼脂、淀粉和果胶。明胶来自胶原蛋白，属于广泛应用的少数非糖类化合物的稳定剂。所有稳定剂增稠剂都是亲水的，能以溶胶形式分散在水中，故称为水胶体物质。可增大粘度，有些情况下还能形成冻胶。亲水胶体除能稳定胶体分散体系外，还能抑制结晶（糖和冰），改进（减小粘结）焙烤制品的糖霜，以及提高香料和风味的保存效力。亲水胶体一般使用浓度约为 2%或更小。亲水胶体在许多应用中的功效，直接取决于它们增大粘度的能力。例如，水胶体稳定水包油型乳浊液正是根据这一性质。它们不是起真正乳化剂的作用，因为它们的分子不具有一端亲水另一端亲油的双亲性分子的特性。

十一节 代脂肪（Fat Replacers）

虽然脂肪是一种重要的常规食物组分，但食物中的过多的脂肪会有带来冠心病和癌症的风险。消费者受到劝告去吃瘦肉，特别是鱼和无皮的家禽等低脂食品。并且限制消费油炸食品，高脂肪焙烤的食品和调料，调味品等。不过，消费者还是要求有丰富的，具有传统高脂食品口感的低热量食品。

在发达国家里很容易得到丰富多彩的高脂肪食物制品，同时也为提供仿高脂食品的低脂食品生产技术与产品大量进入市场提供了机会。在过去的二十年内，低脂肪代用品的开发有了很大的进展。有许多种类的化学品被建议用于制造低脂食品。包括碳水化合物、蛋白质、磷脂以及合成的产品。

当食品中少用或完全不用脂肪时，品质产生了变化，因此需要有其他的组分来替代。因此，“脂肪替代物”（Fat replacer）这个词就出现了，它是泛指能替代脂肪功能的组分，它们具有相同的物理结构与口感而不产生热量，称之为“脂肪取代品”（fat substitutes），这类物质能同时保留食品具有类似脂肪的口感以及各种加工应用中的特性如油炸食品。

另一类物质，它们不具有与脂肪完全等同的功能，被称为“仿脂肪”（Fat mimetics）。因为它们能在某些应用中起到模拟脂肪的效果。一个例子是用假润湿剂（Pseudomoistness）来模拟高脂肪焙烤食品中由于脂肪带来的润湿效果。有些物质例如专用的改良淀粉可带来膨松润湿的口感。

一、糖类代脂肪

经过适当处理过的淀粉、树脂、半纤维素与纤维素，以各种方式用在低脂肪食品中，部分起着油脂的作用。关于这类物质的化学已在第3章和本章第9节与第10节中讨论过。有关它们在低脂肪食品中应用的情况也有评述。一般而言，有些拟脂肪的糖类基本不产生热量（如树脂、纤维），另外有些为 $16.7\text{kJ}(4\text{Kcal})\text{g}^{-1}$ ，如改性淀粉，不象常用的油脂有 $37.6\text{kJ}(9\text{Kcal})\text{g}^{-1}$ 热量。这些物质凭借其能保留湿度与固态膨松的性状，在食品中模拟光洁或乳酪状以增加油煎食品或冰淇淋的口感。这些产品的商品名称有 Avical, Oatrim, Klecogel 与 Slandid。

二、蛋白质代脂肪

有许多蛋白质（第5章）已开发成为代脂肪并已得到GRAS的安全论证。但是它们不能在高温下用来油炸食品，所以在应用上受到一些限制，不过这些蛋白质 [$16.7\text{kJ}(4\text{Kcal})\text{g}^{-1}$] 在食品中替代脂肪还是很有价值的，尤其是作为水包油乳化剂。为此，可将它们制成各种微粒 ($\Phi < 3\mu\text{m}$)，象所说的活动球形滚珠那样来模拟脂肪的物理性能。蛋白质溶液也有增稠作用、润滑作用与封口涂层的功能。明胶（Gelatin）是个功能较全的低脂固体产品，如麦淇淋（margarine）在制造过程中具有热可逆的凝胶性。最后增稠为麦淇淋。

制造蛋白质代脂肪有许多方案，其中每一个都要用可溶性蛋白质作为起始原料。从可溶蛋白得到微粒状蛋白，由下列过程之一来促成：（a）内部疏水反应；（b）等电点沉淀；（c）加热变性和（或）凝集作用；（d）形成蛋白-蛋白配合物；（e）形成蛋白质-多糖的配合物，这些过程常伴随着物理剪切作用，足以保证形成微粒。某些蛋白质代脂肪的商品名称有：Sinmplease, Trailedger, 和 Lita。

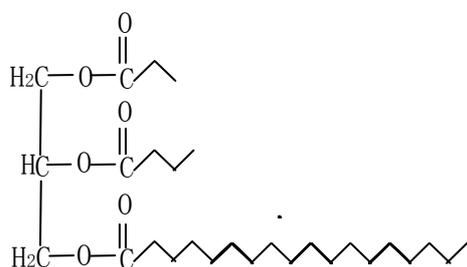
三、合成低卡路里的三酰化甘油脂肪替代物

近年来，出现了某些甘油三脂（Triglycerides），虽然它们具有同样的结构特征，但是当人类与其他单胃动物食用时却不产生足够的热量。这些甘油三脂是用氢化、直接酯化或酯交换等不同的方法来合成的。其中之一是中等链长的甘油三酯（medium-chain triglycerides, MCTs），它早已用来治疗某些脂类代谢紊乱。MCTs是由有 $\text{C}_6\sim\text{C}_{10}$ 链长的脂肪酸构成。它们产生的热量约为 $34.7\text{kJ}(8.3\text{Kcal})\text{g}^{-1}$ 。而正常甘油三酯产生的热量约为 $37.6\text{kJ}(9\text{Kcal})\text{g}^{-1}$ 。

在同一个甘油三酯分子中混有饱和的短链脂肪酸（ $\text{C}_2\sim\text{C}_5$ ）与长链脂肪酸

($C_{14}\sim C_{24}$) 是另一种方案, 这样一来就大大地降低了热值。热值降低的原因部分是由于短链脂肪酸每单位重量的产热量要低于长链脂肪酸的产热量。此外, 甘油分子中长链脂肪酸的位置影响到吸热量。某种饱和脂肪酸长短链的组合甚至可影响到降低一半以上的热量。

按照上述原则构成的甘油三酯家族, 其商品名称为Salatrim (短和长链酰基甘油三酯分子, Short and long acyltriglyceride molecular), 最近已推荐申请GRAS用于食品中。Salatrim是混合的甘油三酯, 主要由植物油氢化得到的硬脂酸 (C_{18}) 作为长链脂肪酸, 以及不同比例的乙酸 (C_2)、丙酸 (C_3)、丁酸 (C_4) 作为短链酸 (X)。人们知道不同Salatrim产品的热量在 19.6 与 21.3kJ(4.7 和 5.1Kcal) g^{-1} 之间。而且可以调控脂肪酸的组分来得到所需的物理性质, 如熔点。

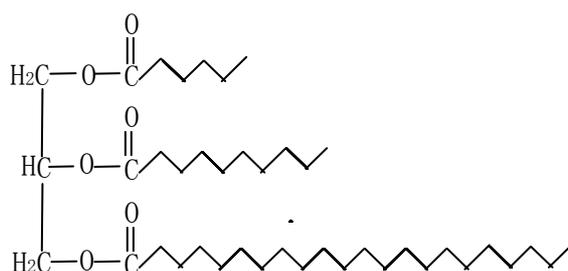


SALATRIM ISOMER (X)

1-丙酰-2-丁酰-3-硬脂酰-Sn-甘油

(1-Propionyl-2-buteryl-3-stearoyl-sn-glycerol)

Caprenin是一种类似合成的甘油三酯的商品名: [约 20.9kJ(5Kcal) g^{-1}] 含有中等长度链的脂肪酸, 己酸 (C_6)、葵酸 (C_{10}) 与长链脂肪酸山嵛酸 (二十二碳酸, C_{22}) (X1), 己酸与葵酸来自椰子油和棕榈油, 山嵛酸则来自海生动物油、氢化菜籽油与花生油, 花生油约含 3%的山嵛酸。



CAPRENIN ISOMER (XI)

异构体

1-己酰-2-葵酰-3-二十二碳酰-Sn-甘油

(1-Caprylyl-2-capryl-3-behenyl-sn-glyceaol) 菜子油中含约 35%芥酸 ($C_{22:1}$) 它经氢化得山嵛酸。海生动物油中含有 10%以上的二十二碳己烯酸 (docosahexaenoic acid, DHA), 它经氢化后得山嵛酸。Caprenin用于糖果条, 并

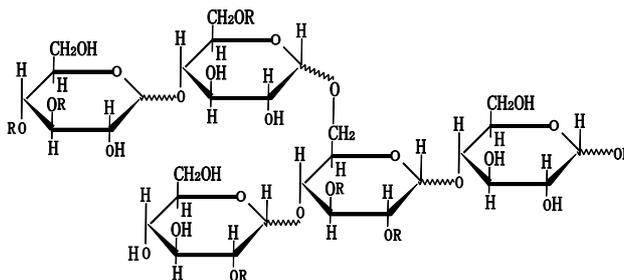
已申请GRAS用于食品中。

四、合成脂肪替代品

已发现一大类合成的化合物具有模拟脂肪与替代脂肪的性能。其中多数含有类似三酰基化甘油的结构与功能基，例如 triolkoxycarbollates，事实上其酯基与经典的脂肪中是相反的（即一个三元羧酸与饱和醇酯化而不是甘油与脂肪酸发生酯化）。由于它们合成上的特性，这些化合物能抑制酶的水解，而且在肠道内多数不消化。美国 FDA 批准了许多这类化合物，证明它们很难得到，并且期望它们在食品中发挥最大作用。

1. 聚右旋葡萄糖 (Polydextrose)

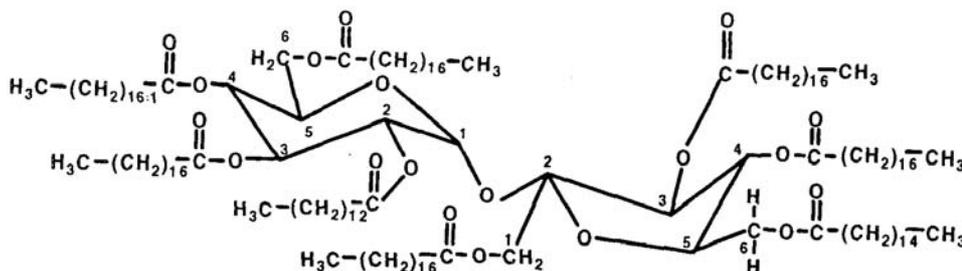
聚右旋葡萄糖作为低热量碳水化合物，有时候作为模拟脂肪应用。因为它只产生 $4.18\text{kJ} (1\text{Kcal}) \text{g}^{-1}$ 热量，所以它作为低热量的糖和脂肪双重目标特别诱人。时下商品名为 Litesse 的聚右旋葡萄糖是由葡萄糖（最低是 90%）、山梨醇（最高是 2%）和柠檬酸经过无规聚合而制得，其中含少量葡萄糖单体与 1,6 葡糖酐，保持适当的水溶性，聚合物的分子质量控制在 22 000 以下。



Litesse

2. 蔗糖多元酯 (Sucrose Polyester)

蔗糖多元酯（商品名 Olestra）是碳水化合物脂肪酸多元酯家族中之一员，它与天然的脂肪物理和化学性质一样，具有亲脂性，不消化与不吸收。蔗糖多元酯的制造是用植物油得来的，脂肪酸（X11）与蔗糖经过各种方法酯化而制得，用作替代脂肪的蔗糖多元酯需要高度酯化反应来制造。而用作乳化剂的制品只需要低度酯化。美国在 1983 年已批准用作乳化剂的蔗糖多元酯。经过二十多年的安全和健康试验。1996 年又批准了高度酯化的蔗糖多元酯在食品中有限使用。



十二节 咀嚼物质 (Masticatory Substances)

咀嚼物质，是用来提供持久的柔顺性能的咀嚼用胶。这类物质是不易分解的天然或合成品。合成的咀嚼胶是由一氧化碳，氢与催化剂通过 Fischer-Tropsch 法的合成产品，在除去小分子量化合物之后加氢而生成合成胶。化学改性的咀嚼物质是将树脂（它们多数由二萜组成）经过部分氢化，然后与季戊四醇或甘油发生酯化反应而制成。另外一些高聚物如合成橡胶也可用作咀嚼物质，它们是由乙烯、丁二烯或乙烯基单体等合成的。

多数的咀嚼用胶是直接来自植物的树胶。它们是经过加热、离心及过滤等深加工处理得到的纯化胶。广泛使用的天然咀嚼糖胶有来自 Sapotaceal (Sapodille) 类的糖胶树脂 (Chicle) Gutta Katiau, 来自 Palagium sp 的树胶, 以及来自 Henea bialiensis 的天然树胶等。

十三节 表观控制剂和澄清剂

啤酒、葡萄酒以及许多果汁在贮藏期间可能会有雾状物或沉淀生成。参与形成雾状胶体的物质可能有天然酚类物，其中包括花色苷、类黄酮、原花色苷，以及单宁、蛋白质、果胶等物质。利用特殊的酶使蛋白质部分地水解可减少雾状物的形成。可是，在某些情况下，如酶活性过高时，相反地又会产生不利影响，例如啤酒中出现泡沫。

处理多酚混合物的一种重要方法是使用澄清剂（或称净化剂）和吸附剂。已经使用的许多澄清剂是非选择性的，而吸附剂则是选择性的。由多酚类形成的雾状物也可以用过滤助剂（如硅藻土）除去。

当多种物质同时存在时，溶解度愈小的物质愈容易被吸附。悬浮的或几乎不溶的物质如单宁-蛋白质复合物，趋向于集中在界面上，因而优先地被吸附。

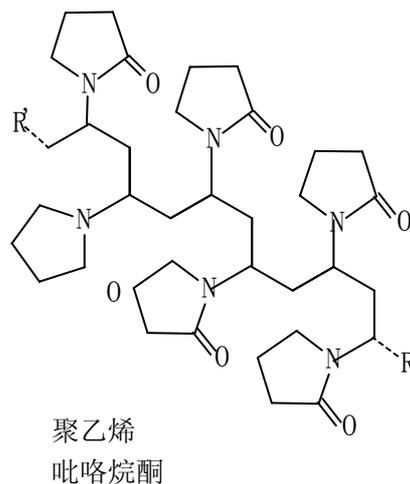
膨润土是澄清剂的典型代表，它是一种蒙脱土的粘土。蒙脱土是一种复杂的水合硅酸铝，含有可以交换的阳离子，通常是钠离子。膨润土由不溶性带负电荷的硅酸盐小片组成，当以水悬浮体的形式存在时具有很大的比表面积，可达 $750\text{m}^2/\text{g}$ 。它选择性地优先吸附蛋白质，这种吸附作用是蛋白质的正电荷与硅酸盐负电荷之间的吸引引起的。同时，被吸附蛋白质覆盖的膨润土颗粒又可吸附一些酚和单宁，当然也不排除它们和蛋白质一起被膨润土颗粒吸附。膨润土常用来作为葡萄酒的澄清剂或净化剂以清除蛋白质悬浮物，每吨添加量为 $1\text{kg}/\text{T}$ 左右。它通常可使蛋白质含量从 $50\sim 100\text{mg}/\text{L}$ 降低并稳定在 $10\text{mg}/\text{kg}$ 以下。膨润土迅速形成重而紧密的沉淀，最后用过滤法除去沉淀。

某些蛋白质的合成树脂也是重要的澄清剂，如明胶和鱼胶是用来净化饮料的

最常用的蛋白质。苹果汁中加入少量明胶可使明胶-单宁复合物聚集和沉淀，复合物沉淀时能捕集除去其他悬浮物固体。明胶的用量必须在加工时确定。多酚物质含量低的果汁，可补充加入单宁或鞣酸（0.005%~0.01%）以促进明胶凝聚。这种凝聚作用与蛋白质中的酰胺键和酚羟基之间的氢键键合可能有关系。

需要指出的是，在低浓度时明胶和其他可溶性澄清剂具有保护胶体的作用，但浓度升高时，它们又能引起沉淀，浓度更高时则又不会引起沉淀，用胶体澄清剂和水之间的氢键键合作用可以解释它们的溶解性。而溶解性和胶粒水合作用大小的变化，取决于澄清剂和多酚化合物的比例。可以设想水和蛋白质或多酚化合物之间氢键几乎全被破坏时，会产生最完全的沉淀。这种情况只有当溶解的澄清剂的量和除去的单宁量大致相等时才有可能发生。

聚酰胺和聚乙烯吡咯烷酮等合成树脂能够防止白葡萄酒褐变和除去啤酒中的雾状物。这些聚合物有可溶和不溶两种形式。在饮料中通常使用不溶的高分子交联型物质，以避免饮料中有残留聚合物的存在。合成树脂在酿造工业中特别有用，因为可逆冷冻引起的雾状物（冷雾）和与产生氧化风味有关的永久性雾状物是非常麻烦的问题。这些雾状物是由发芽大麦中的原花青素和天然蛋白质之间生成的复合物所引起的，过度地除去蛋白质会损害泡沫特性，但有选择地除去多酚化合物可以延长啤酒的稳定期。最初应用的是聚酰胺（尼龙）66，但采用交联聚乙烯吡咯烷酮（PVP）效率更高。每10T啤酒用1.5~2.5kg不溶性PVP处理便可控制冷雾和改进贮藏稳定性。一般在发酵以后和过滤之前加入PVP能很快吸附多酚物质。



十四节 面粉漂白剂和面包改良剂

刚磨好的小麦面粉带淡黄颜色，形成的生面团呈现粘结性，不便于加工或烘烤。面粉储藏时会慢慢变白并经过老化或成熟过程，可以改善其烘烤性能。实际上，可采用化学处理方法以加速这些自然过程，并且用其他添加剂以增强酵母的

发酵活性和防止陈化。

面粉的漂白主要与类胡萝卜素色素的氧化有关。氧化导致类胡萝卜素共轭双键体系的破坏。一般认为氧化剂对生面团的改良与谷蛋白中巯基的氧化有关,氧化剂或者只起漂白作用,或者既可漂白又能改善生面团性能,或者仅有改善生面团的效果。例如,一种常用的面粉漂白剂过氧化苯甲酰 $[(C_6H_5CO)_2O_2]$,具有漂白或脱色作用,但不影响焙烤性能。既可作漂白剂同时又是改良剂的物质包括:氯气(Cl_2)、二氧化氯(ClO_2)、氯化亚硝酰($NOCl$)、以及氮的氧化物(二氧化氮 NO_2 ,四氧化二氮 N_2O_4)。这些氧化剂都是气态的,与面粉接触可立即起作用。

主要作为生面团改良剂的氧化剂,发挥作用是在生面团阶段而不是在面粉中。属于这种物质的有溴酸钾($KBrO_3$)、碘酸钾(KIO_3)、碘酸钙 $[Ca(IO_3)_2]$ 和过氧化钙(CaO_2)。

面粉厂通常将过氧化苯甲酰加入面粉(0.015%~0.075%)。过氧化苯甲酰是粉状物质,一般是和稀释剂或稳定剂一道加入。这些物质包括硫酸钙、碳酸镁、磷酸二钙、碳酸钙以及磷酸铝钠。过氧化苯甲酰是自由基引发剂,加入以后需要几小时方可分解成能够引发类胡萝卜素氧化所需的自由基。

氧化面粉的气态物质的漂白能力各不相同,但都能有效地改进面粉的焙烤品质。例如面粉经二氧化氯处理,可得到良好的加工性质。含少量氯化亚硝酰的氯气广泛用作软化小麦糕点面粉的漂白剂和改良剂。在氯的氧化作用中生成的盐酸使pH值降低,从而改善焙烤蛋糕的质量。空气通过强电弧所产生的四氧化二氮(N_2O_4)和其他氮的氧化物仅是中等有效的漂白剂,但它们能提高面粉的焙烤品质。

作为生面团改良剂的氧化剂在面粉中的添加量为10~40mg/kg。通常把它们掺合到含有许多无机盐的生面团改良剂混合物中,而后在面包加工时添加进去。溴酸钾是广泛用作生面团改良剂的氧化剂,只有在酵母发酵作用使生面团的pH降低,充分活化时才起反应。因此在加工过程中起作用较晚,使面包体积增大,面包对称性、团粒和组织特性均有所改善。

对氧化剂处理改善焙烤品质的原因,新近的看法是:改良剂在适当条件下氧化谷蛋白中的巯基(-SH)产生大量的分子间二硫键(-S-S-)这种交联作用使谷蛋白形成薄而粘结的蛋白质膜网,其中包含发酵的小泡。结果得到更强韧、更干燥、更富于伸展性的生面团和良好特性的最终产品。但必须避免面粉的过度氧化,因为过度氧化会使产品略带灰色、生产出颗粒不均匀和体积减小的次品面包。

为了得到用酵母发酵的生面团,一般是在小麦面粉中加入少量的大豆粉。大豆粉含有大豆脂肪氧合酶。加入这种酶是引发类胡萝卜素产生自由基氧化的最好方法。加入大豆脂肪氧合酶亦可大大改善生面团的流变性质,但其机理尚不清楚。

虽然曾经认为谷蛋白-SH 的氧化涉及脂类氢过氧化物, 但有证据表明: 其他蛋白质与脂质的相互作用, 也与用氧化剂改良生面团有关。

在生面团调节剂中通常掺入的无机盐有: 氯化铵(NH_4Cl)、硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ 、硫酸钙(CaSO_4)、磷酸铵 $[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4]$ 和磷酸一氢钙(CaHPO_4)。它们加入生面团中可促进酵母生长和有助于控制pH。铵盐的主要作用是为酵母的生长提供可直接利用的氮源。磷酸盐是利用它的缓冲作用将酸度控制在略低于正常的pH, 以改进生面团的品质。当供应的水呈碱性时, 这一点特别重要。

在面包生产工业中, 也用其他类型的物质作为生面团的改良剂。例如用硬脂酰-2-乳酸钙 $[\text{C}_{17}\text{H}_{35}-\text{COOC}(\text{CH}_3)\text{HCOOC}(\text{CH}_3)\text{HCOO}]_2\text{Ca}$ 和低含量(0.5%)的乳化剂来改善生面团的混合性能和增大面包体积。也可用水胶态树胶来改善生面团的持水容量和改善生面团及焙烤产品的其他性质。鹿角藻胶、羧甲基纤维素、角豆胶和甲基纤维素都是发酵工业中较有用的水胶体。已发现甲基纤维素和羧甲基纤维素不仅可阻止面包老化和陈化, 而且还能阻止面包在贮藏期间水分向面包表面迁移。鹿角藻胶(0.1%)可以软化甜面团产品的外层质地。将亲水胶体(例如0.25%羧甲基纤维素)掺入油炸面饼混合料中, 能明显减少油炸饼的脂肪吸着量。这些优点显然是由于生面团品质的改善和油炸面饼表面形成了水合阻挡层的缘故。

十五节 抗结剂和调节剂

阻止粉状颗粒彼此粘结成块的物质称为抗结剂, 能改善流动性能, 使混合料便于加工的物质称为调节剂。实际上, 抗结剂往往就是调节剂。一般作为抗结剂或调节剂的添加剂, 附着在颗粒表层使之具有一定程度的憎水性。它们多是硅酸、脂肪酸、磷酸等的钙盐和镁盐。例如, 硅酸钙($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$)用来阻止发酵粉(达到5%), 食盐(达到2%)以及其他食品发生结块。研细的硅酸钙吸收2.5倍自身重量的液体而仍然保持自由流动。除吸收水分以外, 硅酸钙还可有效的吸收油和其他非极性有机物质。这一特性使之能用于成分复杂的粉状混合物和某些含有游离香精油的香料。

从动物油脂制得的食物级长链脂肪酸的钙盐和镁盐可用作调节剂。通常将硬脂酸钙加到粉状食品中以阻止凝聚或粘结, 并且在加工时增大流动性, 以及保证最终产品在贮存有效期内不致于结块。硬脂酸钙不溶于水并能很好地粘附在颗粒表面使之具有憎水性外层。商业硬脂酸盐粉末的体积密度大(约0.32g/ml), 比表面大。这使它作为调节剂使用(0.5%~2.5%)是相当经济的。在生产片状果糖时, 硬脂酸钙可用作脱模润滑剂(1%)。

食品工业中使用的其他抗结剂包括硅铝酸钠、磷酸三钙、硅酸镁和碳酸镁等。

它们的使用量与其他抗结剂相似（例如，硅铝酸钠用在粉状蔗糖中的用量约为1%）。微晶纤维素粉可用来阻止格栅状乳酪结块。抗结剂要求能通过代谢除掉（淀粉和硬脂酸盐）或是在规定用量条件下无毒害作用。

十六节 气体和推进剂的应用

食品工业中使用的气体包括可参加反应的气体和惰性气体，例如，氢气用来氢化不饱和脂肪，氯气用来漂白面粉和消毒设备，二氧化硫用来抑制干果的酶促褐变。乙烯气用来催熟水果，环氧乙烷用作香料和杀菌剂，空气用于氧化成熟橄榄使之出现好的颜色等。此外，食品中还广泛使用惰性气体。

惰性气体用在某些除氧过程或需要防止氧气的场合。例如用氮气或二氧化碳冲刷液面空气，去除喷雾液体；在加工期间或加工后，用惰性气体覆盖产品防止空气氧化等。二氧化碳能在产品上方形成一种稠密的、比空气重的覆盖层，因而在许多加工应用中受到重视。但它并不是完全不产生化学影响的气体，因为它较容易溶于水并在某些食品中能产生强烈的碳酸气味。氮气在常温下是完全惰性的。氮气覆盖时应彻底冲洗容器排掉空气，随后保持适当的正压以阻止空气扩散进入系统。或采用先彻底抽真空，然后充氮密封产品的办法，这样可提高抗氧化能力和延长食品有效期。

将二氧化碳加入液态产品中（碳酸化），可加工成碳酸化软饮料。它们包括各类果汁、啤酒和某些葡萄酒，使它们变成能产生气泡、有浓厚气味、略带酸味和刺激性的饮料。二氧化碳的用量和引入方式随产品类型不同而异。例如，啤酒在发酵过程中已部分碳酸化，装瓶前还要再进行碳酸化处理。啤酒通常含有3~4倍体积的二氧化碳（在16℃和1大气压时，1体积啤酒在相同温度和压力下含3~4倍体积的二氧化碳气体）。碳酸化通常在较低温度（4℃）和增大压力下进行的，以增加二氧化碳的溶解度。由于胶体的表面吸附和化学结构，在常压下溶液中保留有大量二氧化碳。某些产品中由于二氧化碳同氨基酸和蛋白质的自由氨基之间的快速可逆反应可以产生部分氨甲酰化合物。另外，碳酸和碳酸氢根离子的形式，也有助于二氧化碳体系的稳定。啤酒中痕量金属杂质和作为气泡核心的草酸盐微晶体的存在引起啤酒自发释放二氧化碳（即涌出）。

推进剂通常在食品工业中主要用来分装流体食品，使工艺流程自动化。推进剂有气体推进剂和液体推进剂两类。它们必须符合无毒、不可燃和经济的条件。

推进剂通常与食品紧密接触，可能成为食品的附带成分。用于压力分装食品的推进剂主要有一氧化二氮（ N_2O ）、氮气（ N_2 ）和二氧化碳（ CO_2 ）。泡沫和喷洒液型产品通常用 N_2O 和 CO_2 进行分装，因为这些推进剂易溶于水，并且分装时发生膨胀，有助于形成喷雾或泡沫。二氧化碳也用于乳酪涂层材料类产品，因为这类产品容许浓气味和酸味。氮气在水中和脂肪中溶解度小，常用来分装避免产生泡沫

的流体食品在如番茄酱、果酱、食用油和糖浆。所有这些气体用作食品推进剂都必须遵守有关温度和压力的有关规定，避免操作时液化。规定在 21℃ 时压力不得超过 7Kg/cm²，或 54℃ 时压力不得超过 9.5 Kg/cm²，在这些条件下，上述气体均不会液化。应注意的是，产品分装时避免压力降低，因压力降低会给产品均匀性和分装的完善性造成困难。气体推进剂一般不会产生使人讨厌的颜色和风味，可是，单独使用二氧化碳会给某些食品带来不好的味道。

液化推进剂虽然已广泛用于非食品产品，但由于有臭味、腐蚀性或毒性，一般不准许在食品工业中应用液化推进剂。允许用于食品的仅有八氟环丁烷、或氟利昂 318 (CF₂-CF₂-CF₂-CF₂)、一氯五氟乙烷或氟利昂 115。在容器中，这些推进剂以液层形式位于食品上面，容器顶部空间存在气体推进剂。使用液化推进剂能使分装工作在恒压下进行，但是装料必须先摇动成乳胶，以便从容器放出时成为泡沫或喷雾状。这种推进剂是无毒的，并且不会使食品产生异味，可是，与气体推进剂比较，它们价格昂贵。液化推进剂除应用于喷油液产品外，还常与一氧化二氮一道用来分装搅打乳脂和发泡的顶端配料。