第 1 章　　概 论

1.1 食品添加剂的定义和分类

1.1.1 食品添加剂的定义

食品添加剂（Food Additives）的使用可以追溯至古（如植物性食用色素、食用香料等），但食品添加剂这一术语却是随着现代食品工业的发展才出现的。二次世界大战以后，食品工业迅速发展，食品添加剂的使用范围日益扩大，种类日益增多，目前已成为现代食品工业生产中必不可少的物质。食品添加剂工业也已逐渐发展成一种独立的行业，成为发展现代食品工业的基础之一。

由于各国的饮食习惯不同，食品添加剂的使用范围和种类各异，不同国家根据本国的食品法的规定，对食品添加剂一词所下定义也不尽相同。《中华人民共和国食品卫生法》（1995 年 10 月 30 日颁布）对食品添加剂定义是：“指为改善食品的品质和色、香、味，以及为防腐和加工工艺的需要而加人食品中的化学合成或天然物质。”该法还规定了“食品营养强化剂”的定义是：“指为增强营养成分而加人食品中的天然或人工合成的属于天然营养素范围的食品添加剂。”不言而喻，食品营养强化剂在我国是食品添加剂的一类。

各国食品法规不同，给食品的国际贸易造成很大的障碍。为了解决这个问题，国外逐渐采用通用的国际标准。联合国粮农组织（Food and Agriculture Organization；FAO）和世界卫生组织（World Health Organization；WHO） 于 1962 年联合召开了食品标准的国际会议。为了推进国际食品标准制定计划，决定成立（联合国）食品标准委员会（Codex Alimentarius Commission；CAC）。CAC 和 FAO/WHO 对食品添加剂的国际定义作了如下规定：“国际食品标准计划中的食品添加剂，是指本身通常不作食品消费，也不作通常食品的典型成分使用的物质。所以无论有无营养价值，在食品的制造、加工、调制、处理、装填、包装、运输或保管过程中，出于技术目的（包括调味、着色、赋香等）而有意识添加到食品中的物质。这些物质本身或其副产物直接或间接地成为食品的一部分，或给食品的性质以影响，或者可以充分地造成预期的效果。它们不包括污染物质或者是为了维持或改善食品营养价值的物质。”由此可见，上述国际食品组织对食品添加剂所下的定义未将营养强化剂包括在内。欧洲共同体和多数发展中国家采用了这个定义。

食品添加剂本身并不是食物或食品的必要成分，如山梨酸钾不是食品，添加到火腿和香肠中是因为它可以防止因细菌引起的腐败。同样，味精可以用来增加食品的鲜味，胡椒可以作为佐料或香料，但却不会有人把它作为食品食用。食品添加剂只是为了达到某些特定目的，在食品的生产、加工、储藏和运输等过程中所使用的一类专用精细化学品。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

食品添加剂直接或间接地与食品一起进入人体，因此，它与一般精细化学品不同，需要确保该物质对人体是安全的。尽管食品添加剂本身不作为食品或药物消费，但必须符合有关食品卫生法律和法规的要求。任何食品添加剂都需要经过急性、亚急性、慢性及致畸变等毒理学试验，试验合格后，经政府有关部门批准后才可以使用。据不完全统计，目前世界上使用的食品添加剂总数达14 000种以上，其中直接使用的大约有4 000种之多，不包括香料在内，美国有 700 多种，德国有 400 多种，日本有 336 种。我国 1987 年 1月 1 日开始执行的《中华人民共和国食品添加剂使用卫生标准》（GB 2760 -1996）中规定可以使用的食品添加剂约1 000种，其中 742种是香料，包括 1997 年至 1998 年批准的共1 372种，其中香料1 037种。从这可以看出我国与发达国家之间的差距正在缩小。

1.1.2 食品添加剂的分类

各国对食品添加剂的分类方法差异甚大，使用较多的是按其在食品中的功能来分类。其实，从使用功能划分类别的方法也并非十分完善，因为不少添加剂并不只具有单一的功能，例如抗坏血酸既是广泛使用的水溶性食品的抗氧化剂，同时又是营养强化剂；油溶性抗氧化剂丁基茴香醚（BHA）同时具有相当强的抗菌能力等。因此，按使用功能分类时，就只能考虑主要使用它那一功能和习惯划分的方法了。

多数国家与地区将食品添加剂按其在食品加工、运输、贮藏等环节中的功能分为以下六类：

（1）防止食品腐败变质的添加剂，有防腐剂、抗氧化剂、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、抗结块剂；

（3）保持和提高食品质量的添加剂，有组织改进剂、面粉面团质量改良剂、膨松剂、乳化剂、增稠剂、被膜剂；

（4）改善和提高食品营养的添加剂，有维生素、氨基酸、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、防虫剂等。

我国按食品添加剂使用卫生标准 GB 2760 在 1988 年将食品添加剂按其主要功能分为防腐剂、抗氧化剂、发色剂、漂白剂、酸味剂、凝固剂、疏松剂、增稠剂、消泡剂、甜味剂、着色剂、乳化剂、品质改良剂、抗结剂、香料、营养强化剂及其他共 17 类。而 1996 年则将食品添加剂分为：①防腐剂，②抗氧剂，③发色剂，④漂白剂，⑤酸味剂，⑥凝固剂，⑦疏松剂，⑧增稠剂，⑨消泡剂，⑩甜味剂，⑪着色剂，⑫乳化剂，⑬品质改良剂，⑭抗结剂，⑮增味剂，⑯酶制剂，⑰被膜剂，⑱发泡剂，⑲保鲜剂，⑳香料，㉑营养强化剂，㉒其他。

美国曾按《食品、药品和化妆品法》的规定将食品添加剂分为 32 类，而在《食品化学品法典》（第 Ⅳ版）中分为 45 类，其中包括营养强化剂、酶制剂、酶活化剂、吸湿保水剂等。美国将食用色素进行单独管理，无论是人造色素，还是天然色素在生产中均需向食品与药物管理局（ Food and Drug Administration; FDA）证实其纯度及安全性。

欧洲经济共同体的分类则较为简单，共分 9类，将许多属加工助剂性质的添加剂均列入第 9 类中。

随着科学技术的发展，食品添加剂的用途常有新的发现。因此，所有的这种分类法，仅仅指出其首要功能而已。

我国与美国等国家都要求将直接加入到食品中的“直接”食品添加剂在食品标签成分表中注明。

了解不同的国家、地区和组织对食品添加剂的不同定义和规定，将有助于食品的进出口贸易。

1.1.3 食品添加剂在食品工业中的作用

现代食品工业产品的质量取决于三个因素：一是原料的品质，二是加工工艺过程与设备，三是食品添加剂。在这三大因素中食品添加剂是最为活跃和积极的因素。在发达的国家中，食品工业已成为国民经济中第一大行业，加工食品已占到食品生产总量的 90%，其产值为农副产品的 400%以上。我国在近 20 年来食品工业也已得到长足的发展，谁也没有想到今天南北果蔬能积聚一起，超级商场的食品品种数量会如此丰富，这些都与食品添加剂的开发与应用分不开。

有人把食品添加剂的坏处渲染了，也有人把它的作用和好处夸大了，但有一点可以肯定，人类在发展自己的文明过程中，已经逐渐正确地认识了食品添加剂，而正确地使用食品添加剂也促进了人类饮食文明的发展。

1.2 食品添加剂的一般要求与使用标准

1.2.1 对食品添加剂的一般要求

不言而喻，食品添加剂必须具有既定的功能，对人体无任何毒害作用。任何一种作为食品添加剂使用的物质，其最重要的条件是使用的安全性。据此，对食品添加剂的一般要求如下：

(1) 食品添加剂本身应该经过了充分的毒理学鉴定，并在使用范围内对人体无毒害作用；

(2) 食品添加剂应该是食品生产、加工和储藏等过程中所必须加入的，不必要的物质不要加入，以免有损成品固有的质量和造成成本的提高；

(3) 食品添加剂应有严格的质量标准，有害杂质不得被检出或不得超过允许限量；

(4) 食品添加剂对食品营养不应有破坏作用，并且不得影响食品的质量及固有的风味；

(5) 食品添加剂添加后能够提高食品对消费者的吸引力和喜爱的程度；

(6) 出口食品一定得遵照输入国或地区的法律和法规，以免造成退货。

1.2.2 食品添加剂的使用标准

1.2.2.1 食品添加剂的使用卫生标准

食品添加剂的使用卫生标准是为提供安全使用食品添加剂所制定的一种国家标准。GB 2760 内容包括允许使用的食品添加剂品种、使用的目的（用途）、使用范围及最大使用量（或残留量），有的还有使用方法的说明。

《食品添加剂使用卫生标准》是根据食品使用情况的实际调查与毒理学试验结果为依据而制定的。对某一种或某一食品添加剂配方来说，其制定标准的一般程序如图 1-1 所示。

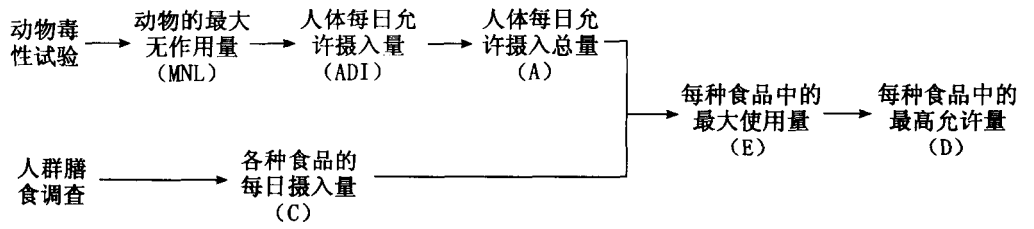


图 1-1 食品添加剂使用卫生标准制订的一般程序

在《食品添加剂使用卫生标准》制定的一般程序中，从动物毒性试验开始。动物毒性试验是食品添加剂研究与开发工作中的重要环节，任何一种新开发的食品添加剂都需要经过动物毒性试验（从动植物可食部分提取的添加剂可根据情况决定）。动物毒性试验一般包括：急性毒性试验、亚急毒性试验和慢性毒性试验，以及一些特殊性试验（繁殖试验，致癌试验，致畸、致突变、致敏试验等）。

通常采用半致死量（50% Lethal Dose；LD_{50}）来粗略地衡量试验样品急性毒性的高低，半致死量是指能使一群接受试验的动物中毒死亡一半所需的剂量，其单位是 mg/kg 体重，相同的受试动物、不同的给饲途径，其值不同。对食品添加剂来说，主要采用经口 LD_{50}，其值越大，则毒性越低。

按经口 LD_{50} 的大小，将受试验物质的毒性粗略分级，如表 1-1 所示。

表 1-1 经口 LD_{50}（大白鼠）与毒性分级

毒性级别	LD_{50}/（$mg \cdot kg^{-1}$）	毒性级别	LD_{50}/（$mg \cdot kg^{-1}$）
极剧毒	≤1	低毒	500～5 000
剧毒	1～50	实际无毒	5 000～15 000
中等毒	50～500	相对无毒	≥15 000

动物的最大无作用量（Maximum No-effect Level；MNL）又称最大无效量，或最大耐受量，是指长期摄入该受试物质仍无任何中毒表现的每日最大摄入剂量，其单位以 mg/kg 体重表示。

人体每日允许摄入量（Acceptable Daily Intakes；ADI）来自动物最大无作用量。但将动物试验所得最大无作用量用到人时，考虑人和动物在抵抗力和敏感度上的差异，以及人与人之间的差异（老、幼、病、弱）等因素，必须引入安全系数。安全系数一般取 100。对于动物毒性试验观察期较短，毒理学资料不足情况下，则可增大安全系数，例如采用 200 甚至更高的安全系数。即：

$$\text{人体每日允许摄入量（ADI 值）} = \frac{\text{最大无作用量（MNL）}}{\text{安全系数（100～200）}}$$

人体每日允许摄入总量（A），按下式用每日允许摄入量 ADI 值乘以平均体重而求得：

每日允许摄入总量（A）= ADI 值 ×平均体重

若从不同种的食品中摄入某物质的总量（B）等于各种食物中该物质摄入总量（B）：

$$B = B_1 + B_2 + B_3 + \cdots\cdots + B_n$$

有了该食品添加剂的每日摄入总量（A）后，根据人群的膳食调查，搞清膳食中含有该物质的各种食品的每日摄入量（C），然后，可以分别确定各种食品中可以含有该食品添加剂的最高允许量（D）。

某种食品添加剂在每种食品中最大使用量（E）是根据上述相应的食品中最高允许量（D）制定的。二者可以是相同值，但为人体安全起见，一般最大使用量标准略低于最高允许量，具体要按照其毒性及使用等实际情况确定。

同样的物质在不同的摄取量下，对人体的安全性是不同的。笼统地讲某种食品添加剂安全与否是不完全得当的，只有在某一剂量下，才能讨论某种食品添加剂安全性的问题。

食品添加剂的安全性受三方面的制约：该物质本身毒性的大小、产品质量标准、使用范围与用量。

联合国粮农组织（FAO）和世界卫生组织（WHO）在 1955 年设立了食品添加剂专家联合委员会（Joint Expert Committee on Food Additives FAO/WHO；JECFA FAO/WHO）。该委员会几乎每年召开一次会议，对国际上使用的食品添加剂进行安全性评价，公布每一种食品添加剂的 ADI 值及毒理资料、产品质量标准、推荐用于某些食品的品种及加入量。我国在 1980 年也建立了类似的组织进行这一工作。当时由国家技术监督局、卫生部、轻工部、商业部等专业部门的专家组成我国的食品添加剂标准化技术委员会。该委员会每年召开一次会议，对国内新开发和使用的食品添加剂进行评审，经评审通过报卫生部批准，列入中华人民共和国食品添加剂使用卫生标准后才能使用。应当注意的是，得到批准使用的某一食品添加剂，并非可以用于任何食品，它还受其使用范围的限制。

1.2.2.2 食品添加剂产品质量标准

食品添加剂必须严格地控制产品本身质量标准，国外曾发生过因添加剂中毒，甚至死亡的事故，例如：日本砷奶事件，患者达 12 131人，死亡人数 130 人。引起这一事件的原因是奶粉中使用的稳定剂磷酸氢二钠含砷量过高（高达 30mg/kg）。因此，事件并不是该不该使用磷酸氢二钠的问题，而是质量控制不严所致。国外多次对糖精等的争议也同样是因杂质超标所引起。

各种食品添加剂产品必须达到各自质量标准。我国食品添加剂生产分散在各个行业之中，长期来没有制定统一的国家标准（GB）。近 20 年来我国国家标准局做了大量的工作，但一些产品仍然执行的是生产企业所属的行业标准，如化工部标准（HG）、轻工部标准（QB）、医药管理局标准（YY）等。鉴于在食品添加剂产品质量标准方面所存在

需要全本请访问 www.ertongbook.com

的混乱现象，食品与食品添加剂等行业正在积极地考虑建立统一的食品添加剂行业标准。

在食品添加剂领域内，我国和国外还存在一定的差距，一些填补国内空白的产品不断被开发出来，对于这类尚未颁布标准的新产品必须先制定企业标准［QB（某地方的简称，如津、粤、桂等）］，此标准的制定多以国际或发达国家标准为依据，如 FAO/WHO、FDA 和 FCC （食品用化学品法典）的相关标准等。当企业标准获得上级批准后才能正式生产。

1.3 食品添加剂的生产特性

食品添加剂属于精细化学工业和食品工业交叉的一个领域，它既具有上述两者，又具有本身的特性。精细化工是当前各国在化学工业领域中致力发展的一个战略重点，也是一个国家技术水平的标志之一。食品工业则是一个支持人类活动，保证人类健康生存的基础工业。这样，食品添加剂工业就具有高安全性、专用性、功能性、技术密集、附加值高等特点。

1.3.1 高安全性

高安全性的另一涵义就是低毒性，即使是人们认为最安全的物质，一旦过量摄入也会对人体造成危害，例如：食盐、食醋、酒等。 1983 年 3月 FAO/WHO 食品添加剂法典委员会第 16 次年会根据安全性评价资料把食品添加剂分成 A、B、C三类，每类又分成两个亚类。

A（1）类：经 JECFA FAO/WHO 认为毒理学资料清楚，已制定了 ADI 值，或者认为其毒性有限，不需规定 ADI 值。

A（2）类：毒理学资料不够完善，但 JECFA FAO/WHO 已制定了 ADI 值，暂许用于食品。

B（1）类：JECFA FAO/WHO 曾进行过评价，由于毒理学资料不足，未建立 ADI 值。

B（2）类：JECFA FAO/WHO 未进行过评价。

FAO/WHO 不推荐使用 B 类物质，但食品工业出自本身的要求，并在某些情况下需要使用。

C（1）类：JECFA FAO/WHO 根据毒理学资料，认为在食品上使用是不安全的。

C（2）类：JECFA FAO/WHO 根据毒理学资料，认为即使是用于某些食品的特殊用途上也必须加以严格控制。

清楚地了解 A、B、C三类食品添加剂的划分，在研究开发食品添加剂、缩短我国与国外的差距方面将有所帮助。

1.3.2 多品种、小批理、生产装置通用性

食品添加剂品种极多。目前世界上的食品添加剂包括复合型在内已多达14 000多种，其中香料达 1万多种。在国外食品工业中得到应用的有4 000多种，在我国获得批

准使用的已超过1 000多种，除香料外有 400 多种。

无论是在天然物、改性物，还是合成食品添加剂的生产，都具有多品种，小批量的特点。在成千上万的香料产品生产中，设计和选用生产装置时，必须认真地考虑，使所确定的装置尽可能地适合用于生产其他准备生产的产品。

合成食品添加剂的生产还具有如下特点：①生产多采用液相反应，流程长，精制繁难；②市场变化大，品种更换或更新周期短等。

早在 20 世纪中叶，国外在生产食品添加剂时就已摒弃单一产品、单一流程、单功能、经济效益差、投资风险大的落后生产方式。因此，在生产时宜考虑采用灵活性较大的间歇式生产装置。

为了适应多功能生产装置在不同条件下生产不同品种和保证产品质量的需要，生产设备材料一般都是采用高质量的不锈钢、搪玻璃、搪橡胶、玻璃钢等。现代化的间歇式精细化工生产装置已逐渐摒弃了完全凭经验、强化劳动的操作方式，而广泛采用微机控制，提高机械化，自动化程度。分析测试也都采用了现代化的仪器，从而使劳动生产率有了很大提高。

1.3.3 高技术密集度

食品添加剂与其他精细化工产品一样，其高技术密集度是由几个基本因素形成的。首先，在实际应用中，产品的质量是以商品综合功能来评价的。为此，在化学合成中要根据不同功能的要求筛选不同的化学结构，在配方生产中需要兼顾产品的自身功能与其他复配物的协同作用。食品添加剂很少单一使用，多以复配物作为商品，例如食品香精的生产，所加成分愈多，产品性能要求也愈复杂，这是使食品添加剂产品生产具有高技术密集度的一个重要因素。其次，就技术密集度而言，化学工业是高技术密集度工业，精细化工又是化学工业中的高技术密集度工业。而食品添加剂的生产囊括着精细化工、生物工程、分离工程、食品工业等学科的知识。生物化学工程已经成功地引入食品添加剂的生产，而且食品添加剂的生产几乎利用了各个领域内的高新技术，如超临界萃取、超临界反应、膜分离技术、分子蒸馏、分步结晶、高效层析等。

食品添加剂新品种的研究与开发目前面临着成功率低、时间长、投资大等问题。这与一些国家对食品添加剂的效能、安全性等方面的要求越来越高，对新品种登记注册和审批越来越严分不开。目前，要想开发比现有品种综合性能更好的新品种的难度也就越来越大，开发的时间越来越长，开发费用也越来越多。正是因为新产品、新技术的研究与开发的成功率低、费用高等，不言而喻，其结果是技术垄断性强，销售利润率高。

1.3.4 劳动密集度高，社会就业机会多

食品添加剂生产一般工艺繁杂、流程长、工序多、产量小、品种更换频繁，因此食品添加剂厂家多为中小型工厂，需要的劳动力较多。发展食品添加剂生产，可以增加社会的就业机会，这对就业不足的我国来说，也是一个值得考虑的因素。

1.4 高新技术在食品添加剂生产中的应用

正是因为现代食品工业对食品添加剂的应用效果和安全性提出越来越严格的要求，

促进了高、新技术在食品添加剂的研究开发与应用。采用现代发酵工程改造了传统的发酵食品生产（如在味精生产中，用双酶法糖化工艺取代传统的酸法水解工艺），大大提高了原料利用率。在生物工程技术方面所取得的成就使人们把食品添加剂的研究与开发重点由化学法合成转向生物合成。目前，利用生物合成法已生产出品种繁多的低糖甜味剂、酸味剂、鲜味剂、维生素、活性多肽等现代发酵产品。利用细胞杂交和细胞培养技术还可生产独特的食品香味和风味的添加剂，如香草素、可可香素、菠萝风味剂以及天然色素（咖喱黄、类胡萝卜素、紫色素、花色苷素、辣椒素、靛蓝等）。通过把风味前体转变为风味物质的酶基因的克隆或通过微生物发酵产生风味物质都可使食品芳香风味得以增强。另外，最近通过生物合成法制备的防腐剂、抗氧化剂等，在食品保藏和延长货架期方面也发挥了重要作用。

利用萃取、蒸馏、浓缩、分级结晶和超临界萃取等单元操作从动植物中提取有效成分，提高了食品添加剂的产品质量，同样为提高产品附加值提供了条件。

第 2 章　鲜味剂（Umami Agents）

【概述】

味（taste）是一种综合的感觉，它与色（color）、香（aroma）、形（form）一起构成食物的风味（flavor）。味感是风味中最为重要的项目。味感包括心理、物理和化学味感。心理味感是由食品的色、光泽和形态决定的；物理味感是由食品的软硬度、粘度、冷热、咀嚼感与口感的综合反映决定的；而化学味感则是呈味物质的分子作用于感受器官的客观反映。调味剂正是能赋予或加强食品的甜、酸、苦、辣、鲜、咸、涩等特殊味道的一类添加剂。

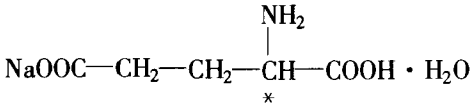
各种食物均带有本身所特有的味道，这是因为每种食物中含有不同的呈味物质的原因。例如，海带的鲜味是因为含有较为丰富的 L-谷氨酸一钠（Monosodium L-Glutamate），柴鱼的所特有的鲜味主要来自柴鱼体内的 5′-肌苷酸磷酸二钠（5′-肌苷酸二钠；5′-Disodium Inosinate），而香菇鲜味则是因为 5′-鸟苷酸磷酸二钠（5′-鸟苷酸二钠；5′-Disodium Guanglate）所引起。在我国的食品添加剂使用卫生标准（GB 2760—1996）中，将此类能补充或增强食品本身风味的物质称为食品增味剂（Flavor Enhancers）或风味增强剂，但在我国长期的食品调味实践中则称之为鲜味剂。具有鲜味的物质有：氨基酸、核苷酸、有机酸、肽、酰胺等。目前使用得较多的鲜味剂主要有： L 谷氨酸一钠（味精）、5′-肌苷酸二钠和 5′-鸟苷酸二钠等。

鲜味剂和其他的食品添加剂一样（味精除外），在食品加工中多以复配的方式使用。复合调味品的特点是在科学的调味理论指导下将各种基础调味剂，按照一定的配比进行调配制作，从而得到满足不同调味需要的调味品。复合调味品所使用的原料种类很多，常用的原料主要有：咸味剂、鲜味剂、鲜味增强剂、甜味剂、酵母精、动植物蛋白水解物、辛香料、辅助剂等。这些内容属于复配技术，本书未将此内容包括在内（继本书后出版的《食品添加剂应用技术》将有详细介绍）。

目前国内外消费量最大的仍是第一代鲜味剂——味精（L-谷氨酸一钠）。第二代鲜味剂为 5′-肌苷酸二钠。及用 5′-鸟苷酸二钠和 5′一肌苷酸二钠和谷氨酸一钠复配的强力味精等。第三代鲜味剂即风味或营养味精，是以牛肉、鸡肉、蔬菜等的冷冻干燥产物或其提取物为基料与其他呈味物质（鲜、甜味剂等）、香料香精等复配而成的新型鲜味剂，它带有更为接近天然的风味。近年来，随着科学技术的进步，生物技术在食品领域中的应用不断深入，出现了许多新型的调味品的风味基料，如以植物蛋白或动物蛋白为原料经酸或酶水解后开发出的植物蛋白水解物（Hydrolyzed Vegetable Protein；HVP）或动物蛋白水解物（Hydrolyzed Animal Protein；HAP）；以酵母细胞为原料，通过其自溶作用而开发的酵母提取物（Yeast Extract）等等。

2.1 L-谷氨酸一钠（Monosodium L-Glutamate；MSG）

L-谷氨酸一钠（GB 12.001；INS 621；CAS［142-47-2］）俗称味精，学名为L-氨基戊二酸一钠盐，常温下带有一个分子结晶水。分子式为 $C_5H_8NNaO_4 \cdot H_2O$，结构式为：



谷氨酸的 α-碳原子为手性碳原子，所以谷氨酸一钠有D-型、L-型和D，L-型三种异构体，但只有L-型才具有鲜味。谷氨酸为无色或白色结晶性粉末，稍带有特殊的滋味和甜酸味，难溶于水、无臭，加热至160℃时熔融并释放出水，在224～225℃分解。

L-谷氨酸一钠为白色柱状结晶或结晶性粉末，无臭，相对密度1.635，熔点195℃，易溶于水，微溶于乙醇、乙醚。其水中溶解度见表2-1。

表2-1 不同温度下L-谷氨酸一钠的溶解度

温度/℃	0	20	40	60	100
溶解度/（$g \cdot 100mL^{-1}$）	64.1	71.7	83.6	101.4	172

L-谷氨酸一钠具有吸湿性，在相对湿度为90%时，15天吸水量为170%，24天吸水量达200%。L-谷氨酸一钠在150℃下脱去结晶水，在210℃下发生吡咯烷酮化，生成焦谷氨酸钠。焦谷氨酸钠的生成不仅大大降低了L-谷氨酸一钠的呈味能力，而且对人体有害。

吡烷酮化反应如下：



L-谷氨酸一钠　　焦谷氨酸钠

L-谷氨酸一钠具有较强的肉类的鲜味，特别是在微酸性溶液中味道更鲜。用水将其稀释3 000倍，仍能感到鲜味，其鲜味阈值为300mg/L左右，但不同的文献对其鲜味阈值报道有较大的差异。食盐对味精的呈味力具有明显的协同效应，没有食盐同时存在就感觉不到L-谷氨酸一钠的鲜味。而当味精用量为食盐质量的10%～15%时，则具有最佳的呈味效果。试验表明：当L-谷氨酸一钠在食品中的质量分数为0.28%～0.8%时，能最大限度增进食品的天然风味。

L-谷氨酸一钠的呈味能力与其离解度有关：当pH值为3.2时（等电点），呈味能力最低；pH值6～7时，几乎全部电离，鲜味最高；pH值大于7时，由于生成二钠盐将导致鲜味消失。在酸性和碱性条件下呈味能力的降低是因为 α-NH_3^+ 和 $-COO^-$ 基团之间因静电吸引所形成的环状结构所致。L-谷氨酸一钠还具有缓和咸、酸、苦味的作用，能减弱糖精的苦味。在葡萄酒中添加质量为0.015%～0.03%时，能显著提高葡萄酒的自然风味。

关于味精的安全性曾经争论不休， 1973 年 FAO/WHO 曾经建议 12 周龄的婴儿不宜食用。但在 1987 年 FAO/WHO JECFA 再次认定 L-谷氨酸一钠为最安全的食物成分，并撤消了 12 周龄婴儿不宜食用的建议。

谷氨酸一钠是由谷氨酸用碱溶液（纯碱、苛性钠）中和，精制而得。

2.1.1 谷氨酸制法

谷氨酸的制法是由蛋白质水解法、化学合成法发展到目前以发酵法为主。发酵法制造谷氨酸的成功，是当代生物合成在氨基酸制造方面的一重大突破。

2.1.1.1 发酵法

发酵法制造谷氨酸是当今国内外使用最为广泛的一种谷氨酸制造方法。此法有如下的优点：①具有广泛的原料来源，利用淀粉质原料、含糖原料（糖厂废料糖蜜或赤砂糖）、碳氢化合物等经微生物发酵均可获得所需产品，不像水解法那样，只能利用蛋白质为原料；②收率高，成本低，按目前发酵法水平，每 100kg 糖发酵转化为谷氨酸的量可达 45kg 左右，成本较水解法低一半以上；③有利于生产的机械化和自动化，劳动强度较低，生产率较高。

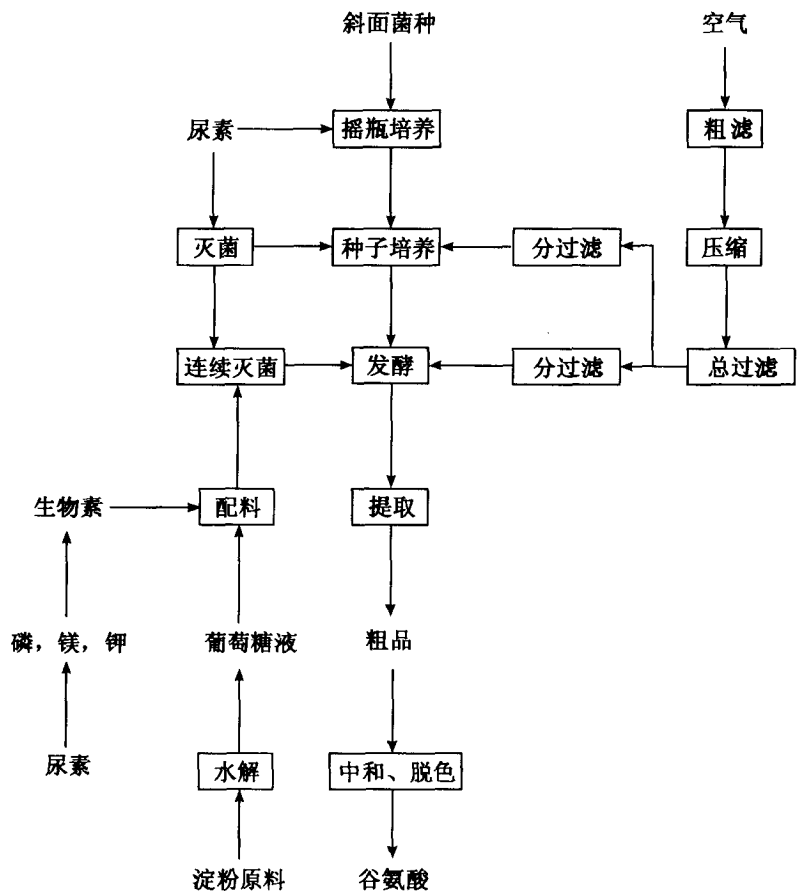


图 2-1 发酵法制造谷氨酸工艺流程

需要全本请访问 www.ertongbook.com

发酵法需要理想的生产菌种，以及较为严密的生产管理与严格的生化操作条件，否则会由于微生物感染而造成生产上的损失（一般发酵的条件讨论见第 12 章）。

发酵法制造谷氨酸，国内主要使用淀粉质原料，如玉米淀粉、薯类淀粉、大米淀粉和野生植物淀粉等。其制造过程基本分为：淀粉水解、种子培养、发酵、提取和精制等，工艺流程见图 2-1。

（1）液体葡萄糖的制备

谷氨酸产生菌不能直接利用淀粉，只能利用葡萄糖作为碳源。因此，在谷氨酸生产过程中第一步就是将淀粉水解成葡萄糖。淀粉水解是将淀粉的大分子多糖结构分解为单糖，可用如下简式表示：

$$(C_6H_{10}O_5)_n + {}_nH_2O \longrightarrow nC_6H_{12}O_6$$

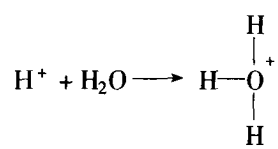
淀粉既不能溶于水，更不能直接与水分子在普通条件下作用而“水解”，即使在高温高压的条件下，也难达到生产的要求，淀粉的水解通常采用催化剂以加速反应的进程。通常采用的催化剂有两类：一种是能提供氢离子的物质，如酸（HCl，H_2SO_4 等）、酸式盐（$NaHSO_4$，$NaHSO_3$ 等）以及强酸弱碱盐（$FeCl_3$ 等）；另一种是可以使淀粉水解的酶制剂。

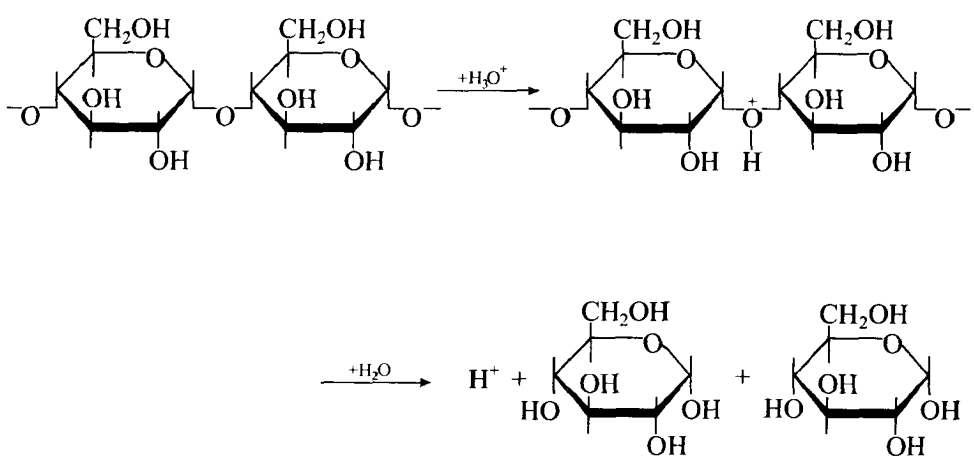
1）酸法水解

①原理

酸在水溶液中电离出 H^+，H^+ 再与 H_2O 分子结合而成 H_3O^+（样离子），H_3O^+ 能使淀粉分子中的糖苷键（氧桥）上的二价氧原子变成不稳定的四价氧原子，并随即与水分子结合，断链完成全部的水解过程：

$$HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$$





以上反应与温度、时间、淀粉和 H^+ 的浓度等条件有关，这些条件之间的关系式为

$$x = a\ (1 - e^{-kt})$$

式中：

x——时间 t 内生成的单糖的量（mol）；

a——投加的淀粉全部水解后理论的单糖产量（mol）；

e——自然对数；

k——水解反应速度常数。

从上式可知，单糖的生成速度与 k 值成正比，反应速度的快慢决定于 k 值。

进一步的研究表明，水解反应速度常数 k 与四个因素有关：

$$k = \alpha \cdot M \cdot \delta \cdot \lambda$$

式中，α 为催化剂活性常数。对于不同的酸，α 值不同，见表 2-2。

表 2-2 不同酸的催化剂活性常数

催化剂	盐酸	硫酸	磷酸	醋酸	氢溴酸	氢碘酸	乙二酸
α	1	0.52～0.5	0.3	0.025	1.7	2.5	0.2

综合考虑催化能力与价格等因素，一般多采用盐酸作催化剂。

M 为酸的浓度（mol/L）。M 值越大，k 越大，用酸越多，中和用碱也越多，导致糖液纯度差。通常使用 0.14mol/L 的盐酸。

δ是多糖水解性常数。不同多糖物质的水解性常数不同，见表 2-3。

表 2-3 不同多糖物质的水解性常数

多糖物质	棉花	木材、禾草	半纤维素	淀粉	蔗糖
δ	1	2.0～2.5	10～400	400	100 000

λ 为温度对水解速度的影响常数。在水解过程中，提高温度可加速水解反应的完成。

提高温度可以增大 k 值，加快水解反应速度。水解的其他条件一定时，温度、压力与反应速度的关系见表 2-4。

表 2-4 水解温度、压力与反应速度的关系

水解温度/℃	反应压力/MPa	淀粉水解反应速度常数 k
119	0.1	0.125
133	0.2	0.470
138	0.25	0.770
143	0.3	1.220

在淀粉水解过程中，同时会伴随葡萄糖的复合、分解等副反应的进行，在生产中必须予以注意。

②水解的工艺过程

味精生产中常用的淀粉酸法水解工艺流程如图 2-2。

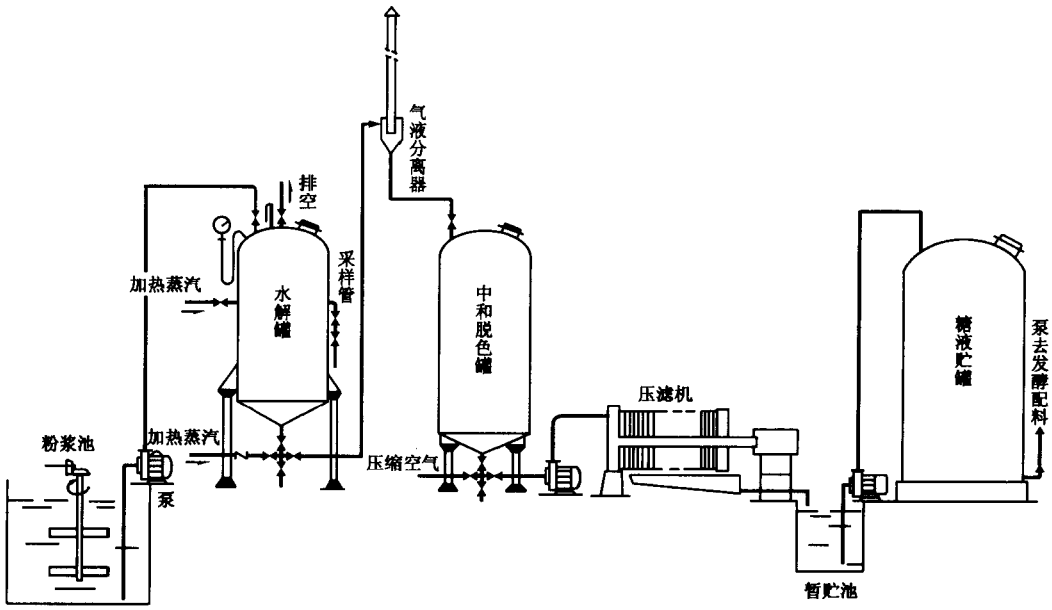


图 2-2　淀粉酸法水解工艺流程

2 酶法水解

酶是一类具有催化活性的特殊蛋白质，其分子质量很大，能溶于水，具有蛋白质的一切物理和化学性质。酶具有特殊的能与某种或某些底物作用的结合部位和催化部位，其催化的专一性严格，产物较纯，催化效能极高，而且反应条件温和，但要求适宜的温度和 pH 值。与一般的化学反应相似，在最适宜的温度以下，每升高 10℃，反应速度成倍增加；而 pH 值高于或低于最适宜值时，酶的活力或反应速度将下降，酶的活力甚至丧失。某些金属离子对酶具有激活或保护作用，但一般重金属离子对酶的活性具有抑制或阻碍作用。

用于淀粉生产的酶制剂有：α-淀粉酶（α-1,4-葡萄糖-4-葡萄糖水解酶）、β-淀粉酶（α-葡萄糖麦芽糖水解酶）、葡萄糖淀粉酶（α-1,4-葡聚糖葡萄糖）和异淀粉酶（切支酶）等（见第 12 章）。淀粉酶能使淀粉分子的葡萄糖苷键发生水解，生成分子质量较小的碳水化合物，如糊精、低聚糖、麦芽糖和葡萄糖等。淀粉酶不仅能作用于淀粉分子，也同样能作用于淀粉的水解产物糊精和低聚糖，使之进一步生成麦芽糖和葡萄糖。

淀粉的酶解工艺可分为液化和糖化两个步骤。液化是利用酸或液化酶的作用使淀粉糊化、粘度降低，将淀粉水解成较小分子质量的糊精和低聚糖。糖化是利用糖化酶将它们进一步水解成葡萄糖单元。

①液化方法

液化处理的类型按反应机理可分为酸法、酶法和酸酶法等；按生产工艺则可分为间歇法、半连续法和连续法；按设备可分为管式、罐式、喷射式等多种。

间歇式液化法是将淀粉浆在同一设备（罐式）中剧烈搅拌下液化，多用于酶法。此法设备简单，操作方便，但液化液的过滤性能差不适宜于大规 模生 产 。

半连续液化法是在不同设备中（仍以罐式为主）将淀粉浆连续进行加热，分段保温液化，也多用于酶法。此法设备简单，操作容易，在我国使用较为广泛。但此法有受热不均、液化不完全的缺点，而且不适于谷类淀粉，因此在大规模工业生产中仍存在问题。

连续液化法是在专用的设备里（多为管式）连续进行不同的液化操作，以得到高质量的液化液，此法适用于各种淀粉原料和各种催化液化方法，有利于实现连续化和自动化生产。此法按不同催化剂又可分酸液化法、酶液化法、酸酶液化法等几种。

A．酸液化法

酸液化法是利用酸作催化剂，使淀粉液化。尽管酶法已逐渐取代了酸法，但因酸法能适应于各类淀粉，并可避免酶法液化时发生的重新结合和淀粉凝沉现象，而具有较好的过滤性能，所以，酸液化法在一些国家（地区）仍在采用。

B．酶液化法

酶液化法是使用细菌 α-淀粉酶，在液化设备中（多为管式）连续液化。根据不同的

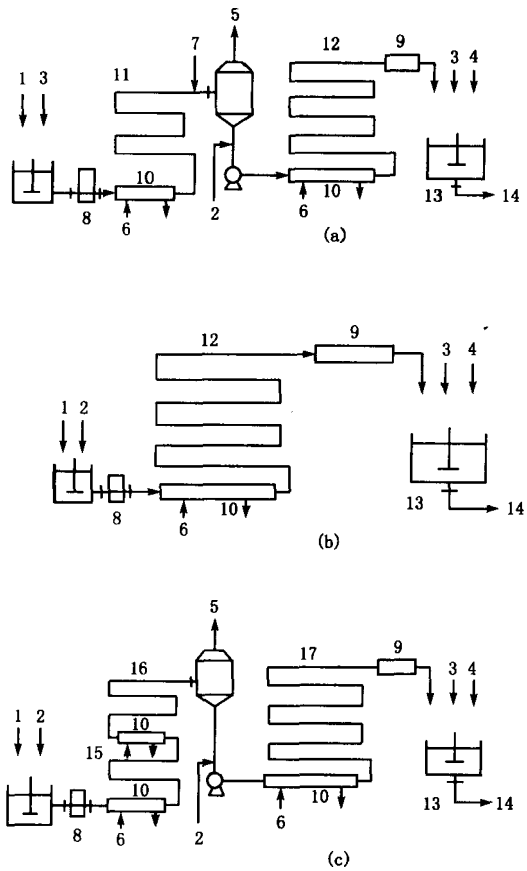


图 2-3　各类酶液化法工艺流程

（a）酸酶法工艺（b）一段酶法流程 （c）三段酶法流程

1-淀粉；2-细菌 α-淀粉酶；3-酸；4-葡萄糖淀粉酶；5-接真空；6-蒸汽；7-Na_2CO_3；8- 泵；9-冷却器；10-液化器；11-酸液化；12-酶液化；13-糖化；14-过滤；15-一段；16-分散；17-三段

淀粉种类，液化条件各异。

酶液化法又分一段液化和三段液化法。一段液化法是在一个设备中连续进行，当使用玉米、小麦淀粉时，过滤操作较为困难，通常先使蛋白质凝结，尽量减少淀粉的凝沉倾向，使其具有良好的过滤性能。三段液化法则是先将淀粉充分转变为糊精，再高温处理使其完全分散，然后再进行液化，以保证具有良好过滤性能。

C．酸酶液化法

此法适用于各种淀粉原料，在液化时可充分利用酸法和酶法各自的优点，使所得液化液具有良好的过滤性能。

此法先将浓度为 19～21°Bé① 的淀粉浆用稀酸处理，使糖化液葡萄糖值（DE 值②）达 4%，再加入细菌 α-淀粉酶继续水解至 DE 为 10%～13%。此法容易过滤，而且糖化后 DE 值可达 97%。但在操作中要尽量缩短中间操作的间隔时间，否则水解物 DE 值较低时，容易产生淀粉凝沉现象，造成过滤困难。

以上各类酶液化的工艺流程如图 2-3 所示。

上述的液化法的归纳比较见表 2-5、表 2-6。

表 2-5　淀粉的种类与适用的液化法

淀粉名称	酸法	酸酶法	一段酶法	三段酶法
甘　薯	适	适	最　适	适
木　薯	适	适	最　适	适
马铃薯	适	适	最　适	适
玉　米	适	适	不太适	最适
小　麦	适	适	不太适	适

表 2-6　各种液化方法的工艺条件

工艺条件 / 液化方法	淀　粉　浆		液化条件		
	浓度°Bé	pH	pH	温度/℃	时间/min
酸法	20	1.8～2.2	1.8～2.2	130～145	5～10
酸酶法	19～21	2.2	酸 2.2 酶 6.5	140 80	30
一段酶法	17	6.5	6.5	86	

① 波美度（°Bé）和换算公式：

标尺名称	温度	重表	轻表
美国标尺	15.6℃	波美度 $\rho/(g\cdot cm^{-3}) = 145/(145 - Bh)$	波美度 $\rho/(g\cdot cm^{-3}) = 140/(130 + Bl)$
合理标尺	15℃	波美度 $\rho/(g\cdot cm^{-3}) = 144.3/(144.3 - Bh)$	波美度 $\rho/(g\cdot cm^{-3}) = 144.3/(144.3 + Bl)$

② 葡萄糖值（Dextrose Equivalent；DE 值）为还原糖（以葡萄糖表示）与干物质的质量比。干物质的百分比可根据折光率查表计算

续表

工艺条件 / 液化方法	淀粉浆		液化条件		
	浓度°Bé	pH	pH	温度/℃	时间/min
三段酶法	17	6.5	6.5	一段：86 二段：140 三段：86	3～5 30～60

②糖化

酶法糖化是利用糖化酶将液化了的糊精及低聚糖进一步水解，使其转化为葡萄糖。糖化设备较为简单，一般是在开口的具有搅拌和保温装置的糖化桶内进行。

糖化的条件视糖化所用菌种来源而异。如应用黑曲霉素 3912-12 酶制剂，糖化可在 50～64℃，pH 值 4.3～4.5 下进行；用根霉 3092 酶制剂，糖化可在 54～58℃，pH 值 4.8～5.0 下进行；若用 AS3.4309 糖化酶，则在 55～60℃，pH 值 3.5～4.2 下进行较为合适。酶的用量决定于酶活力的高低和糖化液的浓度，一般每克淀粉酶活力为 100 单位①。

一般在糖化 22～24h 达到糖化高峰时停止糖化。只要将糖化液迅速升温到 80℃，灭酶 20min 左右糖化作用便能停止，即可将糖液送下道工序进行脱色过滤。

采用酶法液化和酶法糖化制得的糖液浓度可达 30%左右，葡萄糖值（DE 值）达 98%。

影响糖化效果除以上因素外，还有糖化时间，酶的用量和纯度，液化 DE 值和糖化 DE 值等。

③影响淀粉液化和糖化的因素

淀粉液化是一个复杂的生物和物理化学变化，所以影响淀粉液化的因素是多方面的。

A．淀粉的种类

不同品种的淀粉，其结构、化学组成不同，物理化学性质也不同。谷类（玉米、小麦、大米、高粱）淀粉的晶体颗粒比薯类淀粉的小，较难糊化，液化所需温度要高（大约比后者高 2～3℃），液化所需时间长。而且玉米、小麦所含的油脂较薯类高 0.6%～0.7% 油脂不利于液化，液化后的粘度也高得多。同时谷类淀粉在液化过程中容易发生凝沉现象，凝沉后的淀粉，不再容易被酶解，导致糖化率降低。若采用一般酶液化法，谷类淀粉糖的 DE 比薯类的低 2%～3%，过滤速度慢 30%～40%。而且凝沉的淀粉粒会渗透到过滤介质孔中，造成堵塞致使极难过滤。

不同淀粉的凝沉结合量不一样，玉米相当甘薯的 9 倍。玉米、小麦等淀粉含蛋白质较薯类为高，而且产生大量非凝结蛋白质，也会造成过滤困难，故对不同的淀粉应选用不同的液化法，以得到高糖化率和过滤性能良好的液化液。

淀粉在液化过程中形成的“不溶性淀粉颗粒”、不仅对过滤操作过程，而且对进一步的糖化都会造成不利的影响。但是不论是何类淀粉，采用何种方法所得的液化液均会

① 酶活力单位 =转化 1μmol 底物或底物有关的基团量/1min

需要全本请访问 www.ertongbook.com