

高等职业教育项目课程教材



GAODENG ZHIYE JIAOYU JIAOCAI

• 高等职业教育教材 •

Condiment processing technologies

调味品生产技术



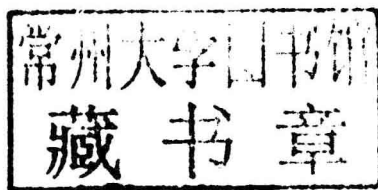
中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

高等职业教育项目课程教材

调味品生产技术

李平凡 邓毛程 主 编



图书在版编目 (CIP) 数据

调味品生产技术/李平凡, 邓毛程主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2013. 3

高等职业教育项目课程教材

ISBN 978 - 7 - 5019 - 9126 - 6

I. ①调… II. ①李…②邓… III. ①调味品 - 生产技术 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TS264

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 316795 号

责任编辑: 张 靓 责任终审: 劳国强 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 责任校对: 晋 洁 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京君升印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720 × 1000 1/16 印张: 13.5

字 数: 272 千字

书 号: ISBN 978 - 7 - 5019 - 9126 - 6 定价: 28.00 元

邮购电话: 010 - 65241695 传真: 65128352

发行电话: 010 - 85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

111379J2X101ZBW

我国是调味品的发源地，也是调味品生产与消费大国，每年总产量已超过1000万t。调味品行业的发展速度基本保持在每年增长15%~20%，并形成了“小产品、大市场”的格局，成为食品工业中新的经济增长点。我国调味品生产历史悠久，但是这个传统行业领域的许多生产技术已落后于日本等国家，整个行业存在技术人员数量严重不足，从业人员职业素质普遍偏低，生产设备陈旧、生产技术和方法落后等问题，整个产业亟需优化和升级。解决这些问题，是我国高职食品及生物技术类专业的人才培养任务和发展机遇。因此，有必要根据食品和生物产业的相关岗位要求，将调味品生产技术构建成一门专业核心课程。

本教材根据现代调味品行业中的酱油、食醋、增味剂、天然调味品及复合调味品等产业的生产岗位的工作内容和相关职业技能资格证书的要求，以完成现代调味品生产岗位工作任务所需要的职业能力培养为核心，以贯穿性项目为导向组织教材内容，体现以工作任务为驱动实施教学的思想，采用教、学、练三者结合以练为主的教学方式，将从业所需的技能、知识和工作态度等有机地结合在一起，使学生在完成项目和任务的过程中获取相关理论知识的同时，也培养了相关的职业能力。

本教材是根据高职院校食品及生物技术类专业的教学需要编写的。但由于调味品产品众多，相关工艺技术也不尽相同，由于篇幅有限，不可能将每一种调味品生产技术都一一阐述。本教材从大多数调味品的典型生产技术分类入手，选择调味品行业典型的生产工艺技术作为教学内容。期望通过有代表表现性的项目教学，起到举一反三的作用，从而达到能力培养和知识积累的目的。

本教材由三大模块组成。模块一发酵类调味品生产技术，包括项目一酱油生产技术，项目二食醋生产技术，项目三豆腐乳生产技术，项目四味精生产技术；模块二反应类调味品生产技术，包括项目五水解型调味品生产技术，项目六抽提类调味料生产技术；模块三复合类调味品生产技术，包括项目七固态复配类调味品生产技术，项目八半固态复配类调味料生产技术和项目九液态复合调味料生产技术。本教材可供高职食品及生物技术类专业学生使用，同时可供从事调味品生产、研发的技术人员参考。

本教材由广东轻工职业技术学院李平凡、邓毛程、沈健，广东科贸职业技术

学院谢婧，漳州职业技术学院余奇飞，西昌学院李正涛编写。编写分工如下：李平凡编写模块一中项目四，模块二中项目五、项目六；邓毛程编写模块一中项目一、项目四部分内容；沈健编写模块二和模块三中项目七以及项目八、项目九部分内容；谢婧编写模块一中项目二、项目三；余奇飞、李正涛编写模块三中项目八、项目九部分内容。

由于编者水平有限，书中肯定存在不少错误与不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

1	模块一 发酵类调味品生产技术
1	背景知识
16	项目一 酱油生产技术
16	子项目一 低盐固态发酵酱油的生产
16	项目引导
16	一、低盐固态发酵工艺的特点与流程
17	二、酱油生产原料处理
21	三、制曲
24	四、酱油的发酵
28	五、酱油的提取
29	六、酱油的加热、配制、贮存、包装及保管
30	七、酱油的成分和质量鉴定、质量标准
33	任务一 种曲制造
35	任务二 厚层通风制曲
36	任务三 低盐固态发酵
36	任务四 移池浸出酱油
37	子项目二 高盐稀态发酵酱油的生产
37	项目引导
37	一、高盐稀态发酵工艺的类型
38	二、高盐稀态发酵工艺的特点与流程
38	任务 高盐稀态发酵
38	拓展与链接
41	项目二 食醋生产技术
41	项目引导
41	一、概述
47	二、食醋原料及处理
49	三、食醋发酵剂制备
56	四、食醋发酵
59	五、食醋半成品处理
62	六、食醋质量标准、物料衡算

66	任务一 淀粉高温酶法液化
66	任务二 酒精发酵
66	任务三 酿醋发酵
67	任务四 食醋半成品处理
67	拓展与链接
84	项目三 豆腐乳生产技术
85	项目引导
85	一、概述
86	二、豆腐乳的类型及特点
87	三、豆腐乳生产的原辅料
90	四、豆腐坯的生产
95	五、豆腐乳发酵
102	六、豆腐乳质量标准及生产技术指标
104	任务一 豆腐坯的制备
105	任务二 豆腐乳前期培菌
105	任务三 豆腐乳后期发酵
106	拓展与链接
113	项目四 味精生产技术
114	子项目一 谷氨酸液体发酵生产
114	项目引导
114	一、谷氨酸生产历史及谷氨酸的应用
115	二、谷氨酸发酵原理
116	三、谷氨酸发酵工艺的特点与流程
117	四、淀粉酶法制取葡萄糖
121	任务一 淀粉酶法生产葡萄糖的控制
121	任务二 谷氨酸生产菌的扩大培养
124	任务三 谷氨酸发酵过程的控制
130	子项目二 味精的制备
130	项目引导
130	一、谷氨酸发酵液的预处理
132	二、谷氨酸的提取
138	三、谷氨酸的转型、中和和精制
145	四、味精的结晶
146	五、味精的分离和干燥
147	任务一 谷氨酸发酵液的超滤膜过滤除菌
149	任务二 谷氨酸的带菌体连续流加等电点法

150	任务三 α -谷氨酸的转型和中和脱色过滤
151	任务四 谷氨酸钠的真空浓缩结晶控制
152	拓展与链接
157	模块二 反应类调味品生产技术
157	背景知识
158	项目五 水解型调味品生产技术
158	项目引导
158	一、水解型调味料的特性
159	二、水解型调味料的生产工艺控制
160	任务一 酸法水解豆粕制备植物蛋白液
161	任务二 酶法水解豆粕制备植物蛋白粉
162	项目六 抽提类调味料生产技术
162	项目引导
162	一、抽提类调味料生产应用及现状
162	二、动物抽提物的生产
163	三、水产类调味料的生产
164	四、植物类抽提物
164	五、酵母抽提物
166	任务一 啤酒酵母制备酵母抽提物
167	任务二 高肽酵母精的制备
167	任务三 畜肉类抽提法制备蛋白粉
168	任务四 海带汤料的制备
168	任务五 香菇汤料的制备
169	拓展与链接
172	模块三 复合类调味品生产技术
172	背景知识
179	项目七 固态复配类调味品生产技术
180	项目引导
180	一、固态复配调味品特点和应用
181	二、固体复配调味品的生产及设备
187	三、固体复配调味品的卫生和质量控制
187	任务一 辣椒粉的制备

188	任务二 颗粒鸡精的制备
189	任务三 牛肉汤块的制备
189	拓展与链接
190	项目八 半固态复配类调味料生产技术
190	项目引导
190	一、概述
191	二、半固态复合调味料生产工艺流程
194	任务一 蘑菇面酱的制备
195	任务二 牛肉香辣酱
196	任务三 番茄沙司的制备
197	拓展与链接
199	项目九 液态复合调味料生产技术
200	项目引导
200	一、概述
200	二、液态复合调味料的生产
202	任务一 鸡汁调味液的生产
203	任务二 辣椒油的生产
205	参考文献

模块一

发酵类调味品生产技术

背景知识

发酵类调味品是指动植物原料经过微生物或者酶的作用,经过特殊的发酵工艺过程制造而成的调味品。发酵类调味品是调味食品中不可或缺的重要元素之一。市场上的发酵类调味品主要是指酱油、食醋、豆腐乳、料酒、酱类、味精等。一般作为基础调味料和功能性调味料应用于食品中。

目前,发酵类调味品的制作方法主要有固态发酵和液态发酵两种。

一、固态发酵生产的特点

固态发酵是指微生物在不含或几乎不含自由水的固态基质中进行生长及生物反应的过程。几千年前,固态发酵技术就已用于酿造中国白酒、食醋、酱油等,至今除了仍用于生产传统酿造食品,还用于生产食用菌、抗生素、酶制剂、微生物制剂、单细胞蛋白、生物农药、生物饲料、生物肥料等。

一般情况下,固态基质水分含量为40%~60%(湿基质量分数),但有些物料持水性极强,即使固态基质含水量高达70%(湿基质量分数)以上,液相也并不以连续相存在,这类发酵仍然属于固态发酵。在固态发酵体系中,多孔性的物料层存在固、液、气三种物质状态,即:固态基质、与固态基质紧密结合的液体(包括少量的游离水)和固体物料颗粒间隙中的气体,因而反应体系内的物质传递极其复杂,存在气-固、气-液、液-固等形式。

固态发酵与固体发酵常被混用,两者在逻辑上有所区别。固体发酵的基质特指那些可作为碳源、能源而又不含或几乎不含自由水的物料;而固态发酵通常利用自然基质作为碳源、能源,和(或)利用惰性基质作为固体支持物。固态发酵的原料非常广泛,包括各种谷物及其加工副产物(如稻壳、麸皮、玉米皮、玉米芯、米糠等)、豆类及其加工副产物(如豆粕等)、一些纤维素类物质(如木屑等)以及富含有机物的工业废渣等。

与液态发酵相比，固态发酵具有以下特点：

(1) 培养基原料种类较少，多为来源广泛的天然基质或加工业副产物，所用原料通常不需经过复杂加工。例如，对于淀粉质类原料，在固态发酵中往往经过粉碎加工即可使用，而液态发酵中可能要经过原料制取淀粉、淀粉制取葡萄糖等复杂处理。

(2) 固态发酵基质含水量较少，水分活度较低，可模拟某些微生物生长的自然环境，有利于这些微生物生长及代谢特殊产物；同时，在水分活度较低的情况下，杂菌不易生长。例如，丝状真菌一般在较低的水分活度下生长，许多丝状真菌适宜采用固态发酵，如白僵菌、绿僵菌的分生孢子不能在液体中繁殖，只能采用固态发酵技术进行生产；而细菌一般在较高的水分活度下生长，许多细菌适宜采用液态发酵。

(3) 固态基质存在明显的固、液、气三相界面，通过固态发酵可以得到液态发酵难以得到的发酵产物。例如，对于白酒、酱油、食醋等传统食品风味物质的产生，固态发酵工艺明显优于液态发酵。

(4) 在固态发酵中，单位体积的产物浓度较高，产物提取容易，但萃取产物过程中易污染基质成分；同时，固态发酵过程很少或不产生有机废水，而液态发酵过程产生大量的有机废水，因而固态发酵的废水污染治理相对容易。

(5) 固态发酵体系中物料层疏松，通入空气的压力降较小，大量供气过程中的动力消耗也较小，而液态发酵的供气动力消耗较大。

(6) 由于固态基质不含游离水或含有游离水极少，固体颗粒内营养物质的扩散是制约微生物生长的主要因素，发酵过程中去除生物热比较困难，许多参数在线检测和自动控制不易进行，而液态发酵在这几方面相对容易进行。

二、固态发酵生产的基本过程

一般情况下，固态发酵生产的基本过程：原料预处理→菌种扩大培养→固态发酵→发酵产品后处理。

(一) 原料预处理

固态发酵原料预处理的目的是使原料更适合被微生物利用，预处理方法很多，主要包括粉碎、筛分、浸泡、配制、蒸煮（灭菌）、压制成型（块曲制造）、冷却等操作。

固体原料粉碎是将块状物料借助机械粉碎成适宜粒径的颗粒或细粉的操作过程，粉碎的目的在于减小粒径、增大比表面积，有利于提高难溶性成分的溶出，从而提高原料的利用率，并可节省蒸煮时的蒸汽消耗。

在对原料颗粒大小有要求的情况下，可通过筛网将不同粒径的物料进行筛分。我国工业标准常用“目”表示筛网型号，即以每平方英寸上筛孔的数目来表示，而筛孔常用微米来表示孔径，孔径大小与筛网目数、筛丝材料及丝径等有

关。例如,对于100目的筛,以钢丝为筛丝材料时的孔径为 $170\mu\text{m}$,以锦纶为筛丝材料时的孔径为 $150\mu\text{m}$ 。

浸泡是原料吸水并膨胀的过程,浸泡目的在于保证原料充分吸收水分,使淀粉粒在蒸煮时容易透心,有利于糊化彻底。同时,谷物原料经过浸泡,沥干水分可去除其中的一些杂质。浸泡时间的长短要根据季节、水温及原料品种而定,一般情况下,温度越高,原料吸水速度越快,浸泡时间越短。

固态发酵基质的营养成分包括碳源、氮源、无机盐、维生素和水,配制固态发酵培养基时应根据生产工艺要求选择各种营养物料的配比,尤其要注意培养基中碳氮比例。有的固态发酵培养基必须掺入一定比例的填充料,如稻壳、玉米皮、棉子壳、玉米芯等,其主要作用是调整淀粉浓度,增加疏松性,以利于微生物的生长和酶的作用。

原料蒸煮处理的目的主要有两个:其一,可促使蛋白质变性和淀粉糊化,并软化纤维素及破坏其晶体结构;其二,对原料进行灭菌处理。原料蒸煮前,应先将原料进行浸泡,使其吸足水分。在蒸煮过程中,蒸汽具有强大的穿透力,可破坏原料内的细胞壁,使大分子物质水合化及更容易被酶解,此过程主要发生了淀粉糊化及蛋白质变性。蒸煮不充分时,则出现原料“生心”现象;若蒸煮过度,蒸煮后的原料过于稀烂,不易成型,对后续的发酵会产生不良影响。

(二) 固态发酵中的菌种培养

固态发酵的微生物种类主要有细菌、放线菌、酵母菌、霉菌和担子菌等,而用于固态发酵的种子主要有液体种子和固体种子,分别通过液态培养和固态培养而获得。种子培养方式的选择与菌种特性、培养目的等有关。若种子是细菌的纯种培养物,培养目的是获得大量菌体,适宜在较高的水分活度下进行培养,故菌种培养可选择液态培养方式;若种子是丝状真菌,培养目的是获得大量分生孢子,要求在较低的水分活度下培养,只能选择固态培养方式。

许多的传统固态发酵采用谷物、豆类等为原料,发酵过程需要能够大量产生水解酶类的微生物参与,这类微生物往往更适宜采用固态培养,因而固态发酵最常用的种子是固体种子。在古代的白酒、酱油、食醋等酿造中,“曲”就是发酵所需的种子。所谓的“曲”,即是经过微生物培养后所得的固体基质、微生物及其代谢产物的固态混合物。古代人们已经创立了曲法培养技术,该技术使用浅盘、竹匾或竹帘等简单设备,在曲室里进行保温、保湿培养,最终获得大量的固体曲。在长期生产实践中,传统曲法培养技术已得到不断改进,为了适用于大规模的种曲生产,厚层通风制曲技术就是一项重大的改进。

固态培养微生物的接种方式有两种:自然接种和人工接种。所谓自然接种,即培养基暴露于环境中,依赖环境中微生物以偶然机会接入培养基的方式。原始曲种制作就是采用自然接种的方式,但古代早有以人工接种方式制曲的记载,如宋代《北山酒经》中记载“以旧曲末逐个为衣”,即挑选当年质量好的曲作为种

子,接于下一年的曲料。如果以优良曲种作为出发种子,固态扩大培养过程通常是一级扩大培养(即:曲盘培养或种曲机培养)或二级扩大培养(即:三角瓶培养→曲盘培养或种曲机培养)。

传统固态发酵过程通常是多菌种混合发酵的过程,一方面由于发酵过程需要多种微生物参与,另一方面在于固态发酵体系通常是开放式或半开放式的体系,难以真正实现纯种发酵。但是,为了强化某种微生物在固态发酵中的特殊作用,随着纯种培养技术的建立与发展,人们经常有意识地分离纯化某种微生物,然后进行纯种培养,再接种到培养物上进行发酵。有时是将单一微生物扩大培养后,再与传统曲种混合作为种子;有时是将多种微生物分别进行纯种扩大培养,再先后或同时接入固态发酵培养基。如果以纯种培养物作为出发种子,固态扩大培养过程通常是三级扩大培养,即:试管培养或茄子瓶培养→三角瓶培养→曲盘培养或种曲机培养。

以厚层通风制曲为例,菌种固态培养的影响因素主要包括 pH、温度、湿度及氧浓度,需对这些因素加以控制。由于固态培养过程难以实现 pH 在线检测,通常以控制培养基初始 pH 为主要措施。生物热是引起固态培养温度变化的主要因素,而散热成为了温度控制的关键,可以通过强制通风进行温度控制,强制通风可以促进培养基水分蒸发,以蒸发散热的形式带走大量的热量,还可以直接带走部分的热量。固态基质的含水量和厚层通风系统的相对湿度对固态培养影响很大,以霉菌为例,如果种曲的培养以产孢子为目的,由于孢子萌发比菌丝体生长所需的水分活度要低,湿度控制时应根据孢子萌发条件调节基质的初始含水量,同时可以采用定期向培养基喷洒无菌水、调节通入空气的相对湿度等方法维持固态基质的含水量。由于物料层具有多孔性,使分布于颗粒间隙的空气形成连续的气相,可以为微生物生长提供良好的有氧环境,但是随着菌丝体的生长和蔓延,菌丝与基质之间、菌丝与菌丝之间会相互缠结,从而使基质内部出现局部缺氧,因此,培养过程中需采用连续通风、搅拌或定期通风、搅拌等方法来为微生物供氧。在整个过程中,温度、湿度和氧浓度的控制往往采用耦合控制的方式,即在强制通风过程中,采用控制通入空气的流速、湿度及温度等手段,达到三个发酵参数的耦合控制。

(三) 固态发酵的影响因素及控制

1. 碳氮比的影响及控制

从微生物细胞的元素组成来看,碳元素含量占 40%~50%,氮元素含量占 7%~15%,氢元素含量占 6%~8%,磷、硫、金属元素含量占 1%~11%,培养基的组成要满足菌体生长繁殖的元素需求。从获得特定产物来看,尤其是非生长偶联型或部分生长偶联型的发酵类型,培养基中碳和氮的比例(C/N)是非常重要的。若碳氮比过大,菌体生长繁殖缓慢,甚至导致发酵所需生物量不足;若碳氮比过小,菌体生长过于旺盛,有可能不利于某种代谢产物的积累。配制培养

基时,必须明确生物量的化学组分和发酵的预产量,以便确定合适的碳氮比及培养基组成,从而使微生物能够充分利用各种营养成分,不会造成原料的浪费。固态发酵中碳氮比一般控制为 10 ~ 100,对于不同微生物的生长或不同产物的发酵,需通过试验来确定最佳的碳氮比。

2. 温度的影响及控制

根据微生物的生长最高温度,可将微生物分为极端嗜热微生物、嗜热微生物、嗜温微生物和嗜冷微生物;在固态发酵生产中,嗜温微生物是最普遍存在和被利用的微生物,这类微生物生长的最适温度在 30 ~ 45℃,可耐受的温度一般不超过 50℃。微生物的生长和产物的合成都是在各种酶的催化下进行的,温度是保证酶活性的重要条件。如果发酵温度过高,易引起一些重要变化,如蛋白质变性、酶抑制、抑制特定代谢途径产物、细胞死亡等。

固态发酵的发酵热是引起温度变化的因素,其是生物热、蒸发热和辐射热的总和。固态发酵的生物热是微生物在固态发酵过程中所产生的热量,其主要来源是碳水化合物、脂肪和蛋白质等物质被微生物分解所释放出来的能量;在释放出来的能量中,一部分用于合成代谢产物,一部分用于合成生命活动所需的高能化合物,其余部分则以热的形式散发出来。蒸发热是固态发酵过程中水分蒸发所带走的热量,辐射热是由于反应器与环境之间存在温差而产生辐射传递的热量。在固态发酵过程中,生物热是产热的主要因素,尤其在发酵旺盛阶段,大量生物热能够使固态料层的温度急剧上升,有时升温速度可高达 2℃/h。

在固态发酵过程中,由于基质的热传导性很差,生物热难以及时扩散;同时,由于基质体积发生收缩,多孔性下降,更加阻碍热的传递。由于传热困难,固态发酵过程中易出现热量堆积现象,使整个固态发酵体系无法达到最佳温度,有时固态料层温差高达 3℃/cm。固态发酵过程的热量散失主要通过蒸发、对流、传导三种机制进行,Gutierrez 等曾经对柠檬酸固态发酵过程的三种传热机制进行研究,结果表明,蒸发、对流及传导的传热效率分别占 64.7%、26.65% 及 8.65%,传导是固态发酵的传热阻力。

固态发酵的温度控制方式与固态发酵工艺、固态反应器等有关,控温方式通常有:自然控温法、通风控温法、拌料控温法、水浴控温法及耦合控温法。

(1) 自然控温法 自然控温法是利用自然环境的温度变化进行调节发酵温度的控温方式,整个过程通常不需采用强制控温手段。例如,在传统的酱油、酱等发酵过程中,将陶缸等发酵容器置放在露天的晒场中,任其日晒夜露半年甚至一年,发酵温度随自然温度而变化,由于这类发酵主要依靠曲料的酶进行作用,而自然温度一般不超过酶的失活温度,故所采用日晒夜露的控温法能够满足发酵温度控制的要求。另外,由于传统固态发酵生产的控温设施并不完善,组织生产时需选择合适的季节,如选择在春季或秋季,其实是利用自然控温法进行温度控制,使发酵温度不超过工艺要求的上限值。

(2) 通风控温法 通风控温法是采用强制通风的措施进行散热的控温方式。强制通风不仅可以直接带走热量,而且可以加强培养基的水分蒸发量,从而带走大量的生物热。例如,在厚层固态发酵过程中,可从物料底部通入空气,由于入口空气的相对湿度较小,而物料层的相对湿度较大,通入空气有助于水分汽化蒸发,从而达到散热目的。通风控温法也适用于固态发酵室的温度控制,通过加强室内外的空气对流,间接地加强物料的水分蒸发,可有效地控制物料的发酵温度。

(3) 拌料控温法 拌料控温法是采用人工翻料或机械翻料的措施进行散热的控温方式。这种方法一般适用于散状物料,翻拌物料可以起到疏松物料、均匀温度的作用,使堆积在物料内部的生物热及时散发出去。

(4) 水浴控温法 水浴控温法是借助发酵设备的隔层(夹套)而采用水浴换热的控温方式。该方法适用于配置隔层(夹套)的小型固态反应器,将恒温水循环输入隔层(夹套),可调解固态反应器内物料的温度。固态发酵采用大型反应器时,由于设备的表面积有限,水浴控温法的换热效果较差,难以调节物料层内部的温度。

(5) 耦合控温法 耦合控温法是将上述数种方法耦合在一起进行调节发酵温度的控温方式。在大规模固态发酵系统中,采用单一的控温方式难以维持物料层内部温度达到较理想的分布,因而需要采用耦合控温法进行控温,例如,同时采用强制通风、拌料、水浴等控温方法;有时,甚至将湿度控制与温度控制进行耦合,定期向物料喷淋无菌水以维持物料层的含水量,从而可以辅助通风控温法的有效实施。

3. 湿度及水分活度的影响及控制

在固态发酵体系中,基质含水量和反应器内的相对湿度都是影响固态发酵的重要因素,但是,微生物能否在基质上生长取决于固态基质的水分活度 A_w , 水分活度 A_w 更加直接反映物料与水亲和能力的大小,从而反映了物料中所含水分作为化学反应和微生物生长的可利用价值。水分活度 A_w 定义为:湿料饱和蒸汽压(p)跟同样温度下纯水饱和蒸汽压(p_0)的比值。水分活度与基质含水量、溶质种类及溶质数量等均有关,纯水体系的水分活度 A_w 为 1.00,随着水中溶质的增加, A_w 值逐渐减小;同时,水分活度还与温度有关,同一物料含水量相同时,温度越高,则其水分活度越大。

底物的性质、最终产物的类型及微生物的需求共同决定底物含水量的水平,不同微生物水分活度要求也不同。一般情况下,细菌要求 A_w 在 0.90~0.99,大多数酵母菌要求 A_w 在 0.80~0.90,真菌和少数酵母菌要求 A_w 在 0.60~0.70。因此,适宜在较低 A_w 下进行生长和代谢的微生物适合于固态发酵过程,这是固态发酵常用真菌的原因。如果 A_w 发生微小的波动,则会对微生物的生长和代谢产生较大的影响,从对维持微生物的生理活性来分析, A_w 要比基质含水量更为

重要,它表示了基质中水的一种潜在的能量,即渗透压和表面张力。当 A_w 过高时,物料层的空隙率会降低,对 O_2 和 CO_2 的扩大会造成阻碍,最终影响了微生物的生长。

另外,固态发酵中水分不仅为微生物生长提供水环境,还直接影响到微生物对氧的利用。基质表面的水膜是传质的控制因素,气体传递受到这层水膜的限制。在生长旺盛的微环境中,氧的浓度梯度很大,表明了水膜制约了氧的传递效率。

在固态发酵中,水分活度的控制主要体现为两方面:其一,控制基质的初始含水量;其二,在发酵过程中调节基质含水量及空气湿度。初始含水量一般控制为30%~75%,若发酵所用菌种为细菌时,初始含水量须高于70%;若是酵母菌,初始含水量控制在60%~70%范围内;若是真菌,初始含水量控制在30%~70%。在发酵过程中,由于蒸发及温度上升,导致 A_w 下降,此时可以采用往基质喷淋无菌水、通入湿度较大的空气等措施来提高 A_w ,以保证发酵的正常进行。

4. pH的影响及控制

pH是影响发酵的重要因素,每一种微生物都有其生长、代谢的最适pH范围。但是,固态发酵过程仍缺乏在线检测pH的方法,很难有效实施pH的控制。目前,控制pH的方法主要有:①对固态培养基的初始pH进行调节;②在配制培养基时,不使用铵盐,而以其他含氮无机盐(如脲)为氮源,以消除发酵过程中酸的生成带来的不利影响;或者,加入一些缓冲能力较强的物质,以消除pH变化幅度过大所带来的不利影响;③在固态发酵过程中,将蒸发散热、水分活度和pH控制相耦合,即将一定浓度的酸溶液或碱溶液直接喷洒在固态培养基上,但酸碱与固态基质混合的均一性比较差,只是在一般敞开式固态发酵中才行之有效。

5. 供氧的影响及控制

固态发酵过程大多数是好氧发酵过程。在固态发酵过程中,氧气在基质颗粒间的传质过程受颗粒间空隙率的影响,而空隙率又受基质颗粒大小、结构及含水量的影响。如果物料颗粒较细或基质含水量过高,空隙率就会降低,容易造成局部厌氧环境。另外,由于微生物的生长,基质表面形成菌膜,甚至出现基质结块,导致基质内局部区域缺氧。为了防止基质内缺氧和增加基质内氧的浓度,确保固态发酵的正常进行,通常采用通风、搅拌或翻拌来增大氧的传递。虽然搅拌或翻拌可以防止物料结块,并有利于散热,但过多的搅拌或翻拌有可能损伤菌丝体。固态发酵过程以通风为供氧的主要手段,往基质通气有助于氧从气相传递到基质表面的液膜,从而被微生物利用;同时,通气对生物热的散发、 CO_2 的排出等都起到重要作用。

固态发酵中没有自由水,基质表面形成的一层液膜是氧气从气相主体到微生物

物传质的控制因素，与液态发酵相比，它的传质阻力较小。在通风供氧过程中，基质空隙率、料层厚度、基质湿度、氧的分压、通气率、搅拌或翻拌的转速、反应器几何特征等对氧的传递速率都有影响。为了提高氧的传递速率，除了适当地搅拌或翻拌，常用的措施还有：以多孔颗粒状物质或纤维状物质为基质；减小基质厚度；增加基质间空隙；使用浅盘式反应器、转鼓式反应器等。

三、液体发酵生产的特点

按培养基的物理性状区分，可将工业发酵分为液体发酵和固体发酵两大类型，而液体发酵又可分为液体浅层发酵和液体深层发酵两种方式。液体浅层发酵又可分为浅盘发酵，即将液体培养基放在浅盘内进行静止发酵，该方式存在劳动强度大、占地面积大、效率低、易染杂菌等缺点。液体深层发酵即是将液体培养基放在发酵罐内进行发酵，按微生物对氧的要求，又可分为厌氧、好氧等方式，好氧发酵方式则需采用通气、搅拌等措施进行供氧。

与固体发酵、液体浅层发酵等相比，液体深层发酵具有很多优点：①容易按照生产菌种生长、代谢的要求而选择最适发酵条件，菌体生长快，发酵产率高，发酵周期短；②可使发酵在均质或拟均质的状态下进行，发酵条件容易控制，产品质量稳定；③占地面积小，容易扩大生产规模，容易实现自动化控制，生产效率高；④产品易于提取、精制等。因此，液体深层发酵在现代发酵工业中被广泛应用，如谷氨酸、柠檬酸、肌苷酸、青霉素等发酵产品都采用这种方法进行大量生产。但是，液体深层发酵尚存在设备投资大、废液排放量大等缺点，仍需不断改进。

四、液体深层发酵生产的基本过程

目前，大多数发酵产品都采用液体深层发酵法进行生产，虽然产品种类繁多，但总体上的生产工艺流程相似，基本流程为：生产菌种→种子扩大培养→发酵→提取与精制→成品。

（一）生产菌种

发酵工业使用的微生物菌种是多种多样的，但不是所有的微生物都可作为菌种，即使同属于一个种（species）的不同株的微生物，其生产能力也不同。因此，无论是野生菌株，还是突变菌株或基因工程菌株，都必须经过精心选育，达到生产菌种的要求方可应用于发酵工业。

一般来说，优良的生产菌种应该具备以下基本特性：①菌种在有限的发酵过程中生长繁殖快和代谢能力强；②菌种遗传特性稳定，不易变异退化，且菌种所要求的工艺控制比较粗放，易于控制；③发酵过程中产生的副产物少；④对噬菌体等的抗感染能力强；⑤菌种不是病源菌，对人、动物、植物和环境都不具有潜在的危害性；⑥菌种具备利用广泛来源原料的能力，并对发酵原料成分波动的敏