

NAU



南京农业大学
NANJING AGRICULTURAL UNIVERSITY

发酵工程



主讲人：陈晓红

电 话：13951009867

E-mail: xhchen@njau.edu.cn

第四章 发酵过程的调节控制

∞ 第一节 发酵过程的代谢变化

∞ 第二节 液态发酵过程调节控制

∞ 第三节 固态发酵过程控制

第一节 发酵过程的代谢变化

- **一次成功的发酵同时受到两方面因素的制约，一是生产菌种的遗传特性，二是发酵条件，因此，必须了解有关环境条件对生产菌种的影响，因地制宜地适应菌种的特性，测定发酵过程中各种参数的变化规律，才能有效地实现发酵工艺的优化和控制。**

一、与代谢变化有关的参数

- 由于发酵过程的复杂性，使得发酵工业生产过程的在线监控比其他行业落后，其重要原因是有效检测过程状态变量的传感器质量不过关，以至很难实现在线分析和控制。
- 变化过程中的参数可分为物理参数、化学参数、生物学参数等，但目前较多的测定参数仅包括温度、罐压、空气流量、搅拌转速、pH值、溶氧、糖含量、菌体浓度、基质浓度等，且其中大多数为非在线测定。

(一) 物理参数:

1、温度:

影响微生物的生长代谢、系统中酶的反应速率、溶氧量、菌体的浓度变化、产物合成等等。

注意:

- 微生物生长和产物合成的温度要求不同;**
- 发酵过程中的发酵热, 包括生物热、搅拌热、蒸发热、辐射热等等影响发酵过程的温度变化。**

(一) 物理参数:

2、罐压:

作用:

- 形成正压，防止污染**
- 增加溶氧，但二氧化碳的溶解量也上升，因此罐压不宜太高；**
- 减少泡沫**

(一) 物理参数:

3、搅拌参数: (转速、功率)

作用:

- 增加溶氧, 但也与泡沫形成等有关;**
- 搅拌功率:**
 - 影响传氧效率;**
 - 菌体损伤 (尤其是丝状真菌)**

(一) 物理参数:

4、空气流量

- 流量越大，泡沫越多，发酵液总体积上升，装料系数下降；**
- 流量越大，空气在罐内停留时间短，氧的有效利用率下降，耗电量上升；**
- 罐外相对湿度一般为60%，出罐时100%，带走水分，蒸发量大。**

(一) 物理参数:

5、空气湿度 (尤其对固态发酵重要)

- 湿度低, 不易染菌, 但太低, 发酵液挥发速度上升, 液体体积下降, 不利于发酵。**
- 以空气湿度60%利于发酵。**

(一) 物理参数

6、溶解氧浓度

- **与氧的传递能力关：**
 - **搅拌速率；**
 - **发酵罐内的结构（挡板等）；**
 - **料液黏度；**
 - **发酵液本身摄氧率**

(一) 物理参数

7、发酵液的表现黏度：

表现黏度越大，溶氧能力越弱

- 与发酵液成分有关；**
- 与液化糖化程度有关；**
- 与菌体浓度，菌种种类（如有无荚膜）、菌种代谢特性有关；**
- 与噬菌体污染有关。**

(一) 物理参数

8、排气中的氧含量和二氧化碳含量

- 观测微生物利用氧的情况，绝大多数微生物对氧的利用率为20%左右**

9、发酵液的OD值

- 表示菌体的含量（例：微生物生长曲线测定）对清夜发酵而言。**

(二) 化学参数

1、基质浓度：

- 糖浓度：还原糖——微生物直接利用的糖。
 - 氮浓度：氨基氮
 - 磷：无机磷转化有机磷
- 一般，碳、氮、磷等与反应中微生物生长、代谢物产量密切相关。残糖通常可反映代谢物的浓度。一般而言，糖消耗率越大越好，但对于风味要求高的发酵食品，残糖利于改善感官品质。

(二) 化学参数

2、pH值：

关系到酶活和菌体生长。

3、DNA的含量：

是细胞生长的真实参数，直到菌体自溶时才改变。当噬菌体侵染时也发生变化。

4、代谢产物的浓度：

调节发酵条件，中止发酵与否通常由此参数检测来定。

(三) 生物参数

1、菌体形态：

- **能准确反应菌体生长情况及代谢产物形成情况。**
- **高活力的菌体形态均一，染色时着色较均匀。**
- **不同阶段菌体形态有差异**

(三) 生物参数

2、菌体干重（湿重、生物量）

- 当培养基不含有不溶性物质时，可直接用离心分离，得到菌体干重**
- 当培养基含有不溶性物质时，可用密度梯度离心法**
- 对于清型发酵液，可用光密度反映菌体浓度，但不适于浓料，与基质本身的光密度有关**

(三) 生物参数

3、菌体的比生长速率：

- 即单位时间内单位菌体的增量。
- 例如： $t_0=0$ 时， $x_0=1\text{g}$;

$$t=5\text{hr} \quad x=3\text{g}$$

则比生长率= $(3-1) / (5-0) = 0.4\text{克/克 (菌) .小时}$

(三) 生物参数

4、氧的比消耗速率：

- **糖的比消耗速率：**
- **氮的比消耗速率：**

5、代谢产物的比增长速率

单位时间内单位菌体所产生的产物量。

二、代谢变化和代谢曲线：

代谢曲线可以准确反映发酵过程各阶段的代谢变化

- **定义：代谢曲线是指以时间为横坐标，以发酵过程中各参数为纵坐标用以反应发酵过程中各参数的变化情况。通过与典型代谢曲线的比较。通常可以判断发酵进行是否正常。**
- **氧的临界浓度：指不影响微生物呼吸强度的最低溶氧浓度。**

(一) 菌体生长阶段 (前期)

- **总糖下降，还原糖先升后降（说明酶解速度大于微生物利用葡萄糖的速度）**
- **溶氧浓度下降到临界浓度，氮下降，菌体浓度上升至最高点**
- **产物尚未累积**

(二) 产物合成阶段

特征:

- 菌体浓度基本恒定或略有增加;
- 氧的比消耗速率较为恒定;
- 可通过控制氮、磷、pH、温度来抑制菌体生长, 促进产物合成。
- 产物合成速度持续上升, 浓度达最大

(三) 菌体衰亡阶段

特征：

- 产物合成速度下降；
 - 由于菌体自溶释放一些菌体物质，使pH上升，氨基氮上升。
- 综合以上特征，应在前期给与丰富的营养，中后期适当补料，为合成代谢产物提供营养，保证产物合成所需的酶量提高，当氨基氮回升时，不再补糖或少补糖。
 - 至菌体自溶解段必须结束发酵，否则可能发生产物降解（如抗生素等），还会给发酵液后处理带来困难。

第二节

液态深层发酵过程控制

一、基质浓度的变化及其控制：

主要控制的是碳、氮、水、pH、磷等

(一) 碳源浓度的变化及控制

- 前期碳过高，渗透压过大，不利生长；
- 后期碳过高，会继续生长，不利合成代谢产物；
- 速效碳，利于菌体生长但过高易产生反馈抑制；
- 缓效碳，利于次生代谢产物的产生，但一次投入太多，易使菌体老化。

补碳常称：“中间补糖”，可有效带来发酵单位的上升。

(一) 碳源浓度的变化及控制

1、补糖时间：

- 过早，刺激生长，次生代谢产物量下降**
- 过迟，整个系统能量跟不上，回复难，干扰代谢。**

**所以，时间宜选择 还原糖从最高峰开始下降时
补糖（补量不要超过原有最高量）**

(一) 碳源浓度的变化及控制

2、补糖数量：

- 以菌体浓度不增加或略增加为原则，当发酵已获得菌体为目的时，可多加，但太多容易引起菌体自溶。**

3、补糖方式

- 连续滴加**
- 流加法，少量多次间歇流加**
- 大量分次补糖**
- 无论何种方式，要防止不增加产物的现象出现。**

(二) 氮源浓度的变化及控制

1、氮的作用：

- 形成菌体蛋白、核酸、菌体代谢产物
- 消长规律与糖基本相似；
- 菌体自溶时，氮含量上升
- 菌体营养所需的碳氮比
 - 一般发酵用的工业培养基，碳氮比为100：0.2-2
 - Glu发酵：C：N=100：0.5-2时，仅菌体生长，几乎无Glu合成
 - C：N达100：11时，Glu开始合成
 - C：N达100：15-21时，适于Glu合成
 - 极少情况下阻遏代谢产物的合成

(二) 氮源浓度的变化及控制

2、氮源种类

- 速效氮：**
- 缓效氮：**

3、控制：

- 在基础培养基中控制碳氮比（用于不含氮的代谢产物）**
- 发酵过程中补氮源**
- 一般原则：代谢产物含氮时，才需要补氮**

(三) 补磷

1、作用：

- 是DNA、RNA、ATP的原料
- 促进细胞的分裂、生长

2、慎用

- 往往容易抑制次生代谢物，特别是抗生素；
 - 会改变代谢途径；
 - 抑制抗生素前体合成；
 - 抑制磷酸酯酶的活性及作用。

(四) 补水:

- **补无菌水**
- **因为菌体浓度上升，会造成缺氧，水用于提高溶氧。**

二、发酵过程温度的控制

- 一般，接种后宜适当提高培养温度，利于孢子萌发或微生物生长繁殖。
- 菌体大量增殖，温度开始上升。
- 主发酵期，温度适当控制低些（比最适生长温度）
- 方式：
 - 夹套冷却升温、保温——10T罐以下，小型罐
 - 盘管式冷却升温——10T以上，大型罐

三、溶氧的浓度及控制

- 通常, 1atm, 25℃, (空气中氧) 在发酵液内的浓度为0.2mMol/L, 摄氧量为10-50mMol/L.hr。
- 无菌空气的获得: 发酵设备的空气系统

三、溶氧的浓度及控制

发酵过程中溶解氧的变化

- 初期：耗氧量大，氧浓度下降，菌体摄氧量达高峰；
- 中后期，耗氧量较恒定，氧浓度变化较小；
- 后期，呼吸强度下降，氧浓度上升。

四、pH的变化及控制

最适pH:

- 细菌——6.5-7.5
- 霉菌——4.0-5.8
- 酵母——3.8-6.0

pH影响发酵过程的机制

- 影响酶的活性
- 影响微生物细胞膜所带电荷
- 影响培养基中某些营养物质和中间代谢产物的离解，从而影响微生物对其利用。

四、pH的变化及控制

发酵过程pH变化:

- 菌体生长期, pH变化较大, 因为微生物利用营养物质产生酸或碱, 使pH下降或上升;
- 产物合成期, pH相对稳定;
- 菌体自溶期, 基质耗尽, 蛋白酶活跃, 氨基氮上升, pH上升

四、pH的变化及控制

控制pH的方法:

- 在基础培养基内加入生理酸性或生理碱性物质
添加氮源物质，如尿素，氨水等；
- 增加溶氧，提高搅拌速度（中间产物被氧化，
pH上升）：
- 利用缓冲溶液配制缓冲能力强、pH变化不大的基础培养基。

五、泡沫的消除

1、泡沫带来的危害

- 影响装液量
- 导致逃液，若密封较好，泡沫从排气管排出，致染菌；
若密封不好，沿轴上升，致污染；
- 影响通气搅拌的正常进行，从而妨碍菌的呼吸，造成代谢异常，导致产物减少和菌体过早自溶；
- 影响后提取。

五、泡沫的消除

2、泡沫的产生

— 培养基成分：

- 产生泡沫物质——蛋白胨、玉米浆、豆饼粉、酵母膏、发酵用水不清洁
- 持泡物质——糖、淀粉糊精、菌体本身

— 菌体本身有产生泡沫的作用，感染噬菌体或杂菌污染时泡沫更多

— 机械搅拌

五、泡沫的消除

3、消泡

- 物理法：改变温度法——改变泡沫、黏度或弹性→泡沫破裂，工业上少用
- 机械法：
 - 罐内消泡法——利用消泡浆（碟片式、耙式）
 - 罐外消泡法——利用旋风分离器分离气体、液体、无气体入缸
- 化学消泡法：消泡剂

五、泡沫的消除

- **A.消泡剂特点及要求：**

- **表面活性剂：泡沫本身表面张力比较低，泡沫表面张力平衡被打破**
- **在气液界面上具有足够大的铺展性能和一定的亲水性；**
- **在水中的溶解度极小，以便长久消泡功能；**
- **无菌、安全，对菌体代谢没有影响，不影响提取；**
- **来源方便，价格便宜。**

五、泡沫的消除

B.常用消泡剂

- **天然油脂：**
 - 豆油、菜油、花生油，主要用精炼油。
 - 缺点：不含亲水基团，不易铺展
 - 用量：1‰-2‰
- **聚醚类：**
 - 优点:不易挥发，稳定性高；
 - 用量：万分之一至万分之三
 - GP:用于稀发酵液
 - GPE:消泡能力强，但作用时间短，用于稠液
 - 一般将GPE与植物油混用

五、泡沫的消除

- **醇类：正十一醇、聚二醇（霉菌发酵用）**
- **硅酮类：**
 - 须与分散剂（微晶二氧化硅）一起使用才行
 - 聚二甲基硅氧烷及其衍生物

增效措施：

- a. 将泡敌与豆油1：1.5混合使用，效果较好
- b. 将泡敌、玉米油和水比例1:1.5:9

六、发酵终点的判断

合理判断对提高发酵单位时间内产量和质量有很大影响，不同类型发酵达到终点目标不同，因而对发酵终点判断也不同

放罐前的补料：

根据糖的消耗速率，计算到放罐时允许残留量。一般：

**40~50吨罐，放罐前10小时不能补料；
大于90吨罐，放罐前16小时不能补料**

六、发酵终点的判断

1、确定放罐时间

— 放罐过早：

- 原料利用率不高，浪费
- 影响终产物提取（因为有许多糖、脂肪、蛋白质、微生物残留）
- 缩短了产物合成期，总产量下降

— 放罐过迟：

- 增加单位产品的原料的能耗
- 由于菌体自溶影响过滤及产品提取
- 代谢产物分解

六、发酵终点的判断

2、判断放罐指标

- 产物的产量增加率开始下降（产物量/体积.小时 称增长率）
- 菌体形态出现衰老（胞内出现颗粒），部分菌体出现自溶；
- 过滤速度明显下降（用移液管吸取发酵液看其流出时间）
- 残糖低，还原糖 $<0.5\%$ ；
- 氨基氮上升，pH上升
- 培养液的外观和黏度等：菌丝碎片增加，黏度增加

六、发酵终点的判断：

3、放罐标准

- 产物的产量
- 后提取的收率
- 设备的利用率
- 能源的消耗率
- 资金的周转率

七、无菌检查及异常发酵的处理

定义：发酵过程中，生产菌以外的其他微生物侵入了发酵培养液均称为杂菌污染，无菌检查则是用显微镜检查，微生物培养检查等发现分析是否染菌及染菌的根本原因。

七、无菌检查及异常发酵的处理

1、无菌检查的方法：

— 显微镜检查法：

- 革兰氏染色，显微镜观察，据形态特征辨别是否有染菌存在

— 平板划线培养或斜面培养检查法

- 培养基平板→37℃，24hr（无菌）→划线→37℃，27℃各培养8hr后观察有无杂菌。

七、无菌检查及异常发酵的处理

— 肉汤培养检查法

- (酚红肉汤培养基, 每隔2-3小时, 抽样, 37℃, 6小时看培养基变黄或混浊→染菌)
- 常用于检查培养基和无菌空气是否带菌或是否被噬菌体污染
- 还可以发酵过程的异常现象来判断是否染菌, 如溶解氧, pH值、排气中二氧化碳含量和菌体酶活的变化来判断。

七、无菌检查及异常发酵的处理

2、发酵染菌率的计算：

- 是指一年内发酵染菌的批数与总投料发酵批数之比
- $\text{总染菌率} = \text{发酵染菌批数} / \text{总投料批数} * 100\%$
- 降至2%之下

染菌原因分析

1、种子带菌引起污染	9.64%
2、培养基未灭好引起	0.79%
3、总过滤器失效	19.96%
4、泡沫冲入轴封内	0.48%
5、夹套和盘管穿孔	12.36%
6、接种管	0.39%
7、阀门渗漏	0.45%
8、轴封密封不好	2.09%
9、罐灭渗漏	1.54%
10、其他设备	10.13%
11、操作不当	10.15%
其余为原因不明污染	

染菌情况分析

- **芽孢杆菌污染：**培养基团块，发酵罐内存在死角
- **非芽孢菌污染：**空气过滤系统失效，设备渗漏
- **霉菌污染：**环境和无菌室引起
- 如果各罐染同一菌种，很可能是总过滤器出问题，和空气总管道失效
- 如果同一产品几个罐均染菌，种子带菌

染菌情况分析

- 若发酵前期染菌，则种子带菌；后期染菌，则可能补料引起
- 若个别罐污染，则可能罐本身出问题；若与种子同步污染，则斜面种子出问题
- 发酵中期染菌：培养基有团块，灭菌不彻底或设备穿孔
- 噬菌体污染：工作菌自源，发酵液变稀，泡沫增多明显，主要是细菌、放线菌

七、无菌检查及异常发酵的处理

3、异常发酵及处理

- **发酵液转稀**（指未进入放罐阶段时）→及时补充氮源增殖菌体，使发酵恢复正常。
- **发酵液过浓**：通常因氮源过多→补水，补水量要不少于发酵液体积的5%，一般10%。
- **糖耗缓慢**：种子质量不好，培养基灭菌不好，磷酸盐浓度下降等→补充适当的氮源或磷酸盐，或提高温度。培养龄越高对 $[\text{po}_4^{3-}]$ 越不敏感。
- **pH不正常**：加入酸、碱或生理酸性或碱性物质调节。

七、无菌检查及异常发酵的处理

污染防治:

- 1) 不随意倾倒工作菌残渣, 放罐时先杀菌, 排气口管道接入漂白粉水中
- 2) 培养抗噬菌体菌种 (自然界中筛选; 驯化选育; 诱变产生突变使吸附位点改变)
- 3) 药物防治: CuSO_4 0.1% 但干扰后面后提取

第四节 固态发酵过程调控

- 在现代发酵生产中，往往把固态发酵、半固态发酵称为传统发酵工业（酿造），而把液态发酵称为现代发酵工业（液态深层发酵）
- 酿造技术是中国传统发酵产业的特殊称谓，是中国传统发酵食品和调味品生产核心技术

- **固态发酵和液态发酵的区别：**

液态发酵是以液相为连续相的生物反应过程，固态发酵以气相为连续相的生物反应过程

- 图1可见：固态发酵是气体作为生物反应过程中的 O_2 、 CO_2 、热量、营养和产物的传递介质，表现为 O_2 、 CO_2 扩散比较容易，热量传递困难，存在明显的营养梯度，并且无大量的无机废水产生

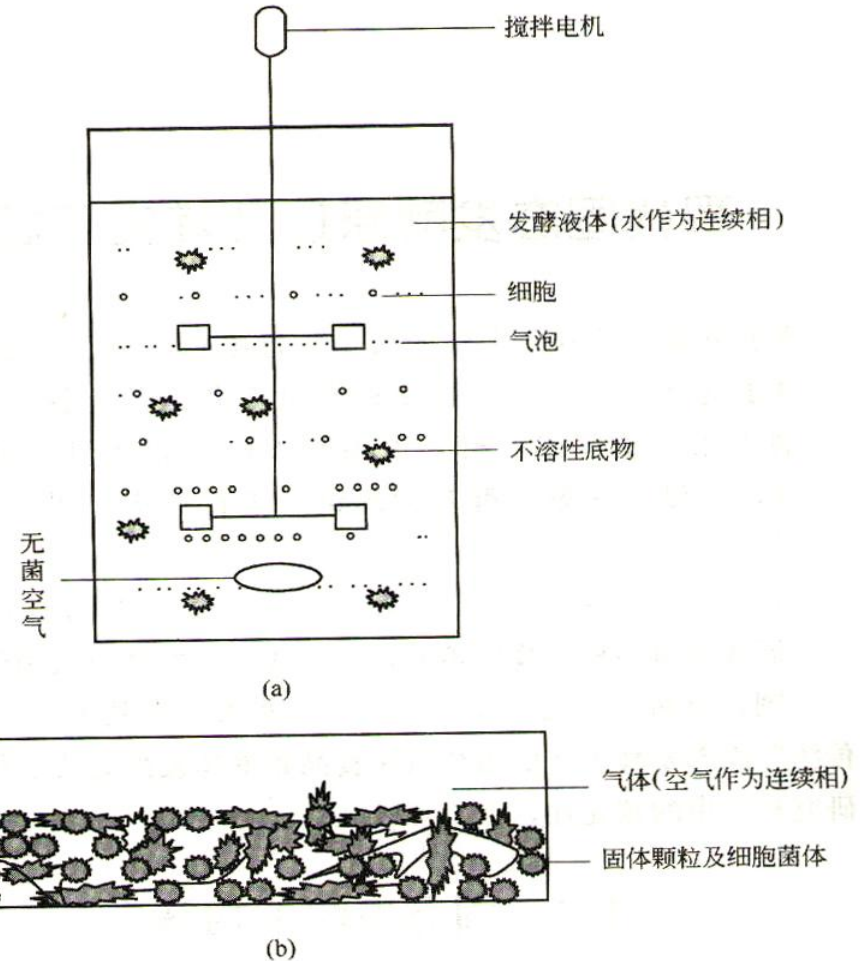


图 1.1 固态发酵与液态发酵的比较
(a) 固态发酵系统；(b) 液态发酵系统

一、固态发酵工程的特点

- 1、发酵基质中没有游离水流动，水是培养基中较低的组分
- 2、微生物从湿的固态吸收营养，营养物浓度存在梯度，菌体生长、营养物消耗和产物代谢累积不均匀
- 3、高底物尝试可产生高产物浓度
- 4、过程中糖化和发酵同时进行，操作简单低能耗
- 5、提取工艺简单可控，有机废液少，但提取物含有底物成分
- 6、机械化程度较低，在线传感器少，过程实时量化监控困难

中国酿造特色：

1、采用多种原料，且多以淀粉质原料为主。

❖ 植物性原料：

🌀 麦：beer、bread、格瓦斯(Kowas)

🌀 豆：酱油、豆豉、腐乳 (ToFu) 、 Tempe、纳豆

🌀 水果：酒、果醋

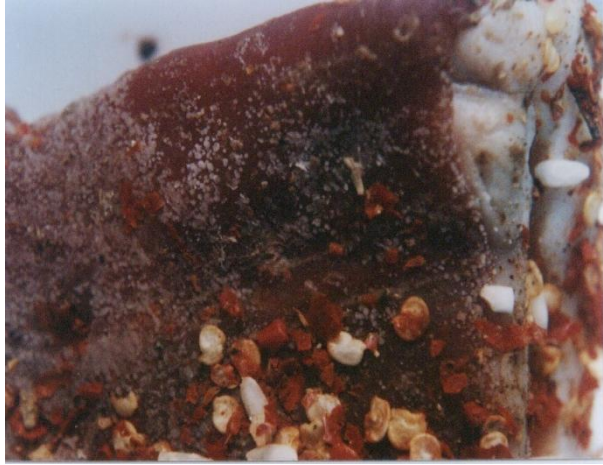
🌀 菜：Kimichi (朝鲜)

🌀 茶叶：红茶、茶菌 (海宝，醋酸菌、酵母、乳酸菌+红茶水+糖)

❖ 动物性原料：

🌀 乳：酸奶、Cheese、Kumiss、Kefir

🌀 肉：香肠、萨拉米(Salami) 等



- 2、多菌种混合发酵，且多以霉菌为主的微生物群。（国外多以细菌、乳酸菌）
- 3、工艺复杂、多用曲：董酒生产制的曲用72味中药。曲（Koji）
- 4、多为固态发酵：醪、醪



二、固态发酵的分类

- 1、**自然富集固态发酵**：利用自然界中的微生物，由不断演替的微生物群系进行的富集混合发酵过程（当地微生物群系、小生态环境）
- 2、**强化接种混合固态发酵**：在自然富集固态发酵的基础上，根据人们部分掌握的生物代谢机制，人为强化接种微生物群系不明确的富集培养物或特定微生物培养物所进行的混合发酵过程（酱曲、酒曲等）

3、**限定微生物混合固态发酵**：在对微生物相互作用和群落认识的基础上，接种的混合培养的微生物是已知和确定的，通常使用两种或两种以上经过分离纯化的微生物纯种，同时或先后接种到同一灭过菌的培养基中，在无污染条件下进行的固态发酵过程。（现代Kefir工艺）

4、**单菌固态纯种发酵**：在纯培养基础上建立起来，如纳豆生产等

三、固态发酵工程技术沿革

- 1、知其然而不知其所以然的自然发酵
- 2、过程不可控到部分可控到纯种发酵
- 3、发酵装备（反应器）的发展
- 4、生物传感器的发展
- 5、机械化、规模化、智能化

四、固态发酵微生物的特征

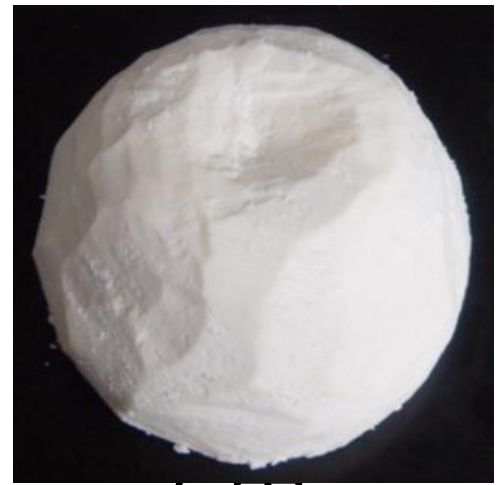
- 1、能够利用多种糖的混合物
- 2、有完整的酶系，可以迅速从一种糖的代谢转入另一种糖的代谢
- 3、蔓延和渗透生长
- 4、在发酵过程中以菌丝体生长而不易产生孢子
- 5、生长迅速，易成为优势菌
- 6、可以在含水量较低的基质上生长
- 7、能够耐受高尝试的营养盐
- 8、可以耐受基质预处理时产生的副产物或有害物

五、固态发酵体系特征和过程调控

特征1 基质为非均相体系

在液态发酵基质中空气、搅拌等是均相的（溶氧、pH、基质补充、T等），但固态发酵中则存在非均质性，在发酵环境中（基质）形成一个个小环境（微环境）。这种不均质性给固态发酵调控带来了很大困难。



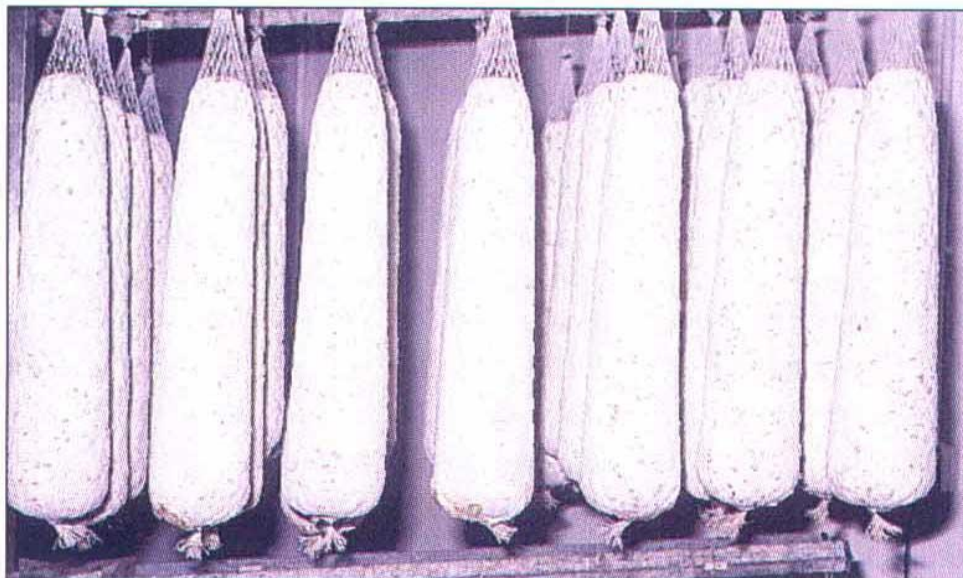
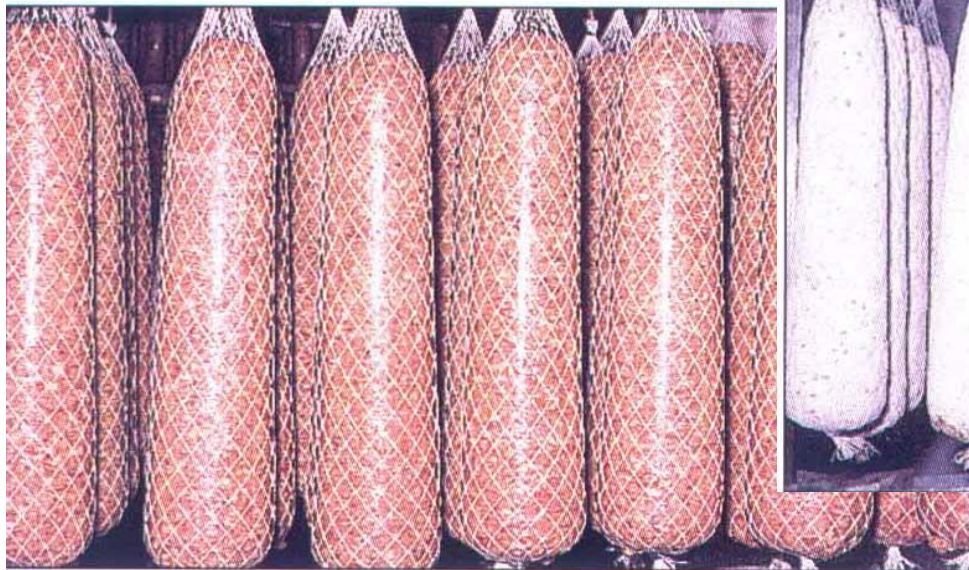
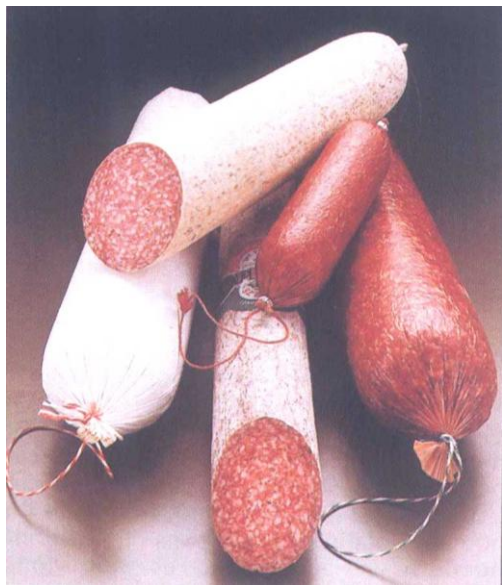


例：干酪发酵、发酵干香肠

- ❖其外部为有氧环境（霉菌生长），而内部是厌氧环境（兼性厌氧菌生长）。
- ❖对T而言，内部发酵高，外部相对低。
- ❖不同菌也在不同的微生物环境中形成了独特的优势群。







❖缺点：

生长、代谢和产物积累的梯度

❖优点：

- ❖利用多菌发酵，如曲酒生产的双边发酵（外部霉菌糖化，内部酒精发酵）。
- ❖又如白酒生产中窖泥中存在的己酸菌等等。这在液态发酵中是难以实现的



特征2 原料需要前处理

固态基质，微生物初始只能作用于基质的表面，而真正对发酵有用的成分往往包裹在内部（如谷物），必须通过粉碎等物理措施及果胶酶、纤维素酶等生化作用消除屏障作用。

特征3 基质成份大多不可直接利用

植物性原料多为不溶性的多聚物，如淀粉、纤维素、蛋白质，必须先降解成为小分子才能被利用。所以微生物生长、发酵速度往往取决于原料大分子转化速度。

特征4 生长取决于水分活度

- ❖ 水分活度是固态发酵独有参数，固态发酵水分控制的下限用含水量表示一般为12%，而含水量上限往往由基质的吸水性来决定，吸水性越强，上限含水量越高，一般的固态发酵含水量上限不超过80%。
- ❖ 对不同的微生物而言，对水分活度的要求是细菌 > 酵母 > 霉菌。正因为固态基质中没有或几乎没有游离水，所以优势菌往往是耐受低水分活度的菌占优势（霉菌）。

特征5 微生物在固态基质上的扩散有限（周期长）

固态发酵基质多呈颗粒状，相对运动性差。因此导致了微生物生长和扩散速度的局限性。所以**固态发酵**往往强调**大量接种**。

- ❖ 一般霉菌菌丝体的渗透性易使之渗入基质内部（例红曲培养细菌纤维素、菌丝岛→连片→结块（如丹贝）
- ❖ 细菌只能附着于表面生长，基质内部的作用往往依赖于菌体生长及酶解作用逐步向内扩散，所以要接种均匀，否则发酵中形成孤岛。

特征6 传质差,操作复杂 (氧气、T等)

❖料层厚、流动性差

❖生物热、化学热

❖难以机械化、自动化调控

固态发酵的调控

控制因素有：

- ❖ 原料配比预处理
- ❖ 气态环境与通气
- ❖ 含水量
- ❖ 基质酸碱度
- ❖ 热传递与控温

1、原料配比预处理

❖ 配比适当：

- ❖ 由终产物性质定：如酒——淀粉、beer——Pro少（C产泡、持泡）酱油、腐乳（Pro高则风味鲜、Car多则产品味甜）

- ❖ 微生物生长条件：加入谷壳提高气流量、加入中药抑制杂菌、酱油中加盐抑菌、抑酶等。

❖ 预处理：粉碎太粗不利作用，太细不利氧气扩散

- ❖ 热处理（蒸料）糊化、热变性，利于酶的液化和糖化作用

2、气态环境与通气

O_2 浓度(分压)、 CO_2 浓度:决定生长及产物的形成、发酵方向

调控方法:

- ❖ 使用多孔的粗粉碎颗粒基质，加大基质内部的空隙
- ❖ 薄层培养或使用较大容器:如浅盘培养
- ❖ 使用带孔的培养盘或袋、帘子（丹贝、豆腐发酵）
- ❖ 翻动基质（开耙、翻曲、倒罐等）

但机械翻动引起菌丝体损伤、自溶，设备有转鼓反应器、圆盘制曲机等（南京机轮酱油）

- ❖ 强制通风：如厚层通风制曲工艺

圆盘制曲机



自动翻曲机



自行研制的国家专利产品 --- 制醋翻醅机

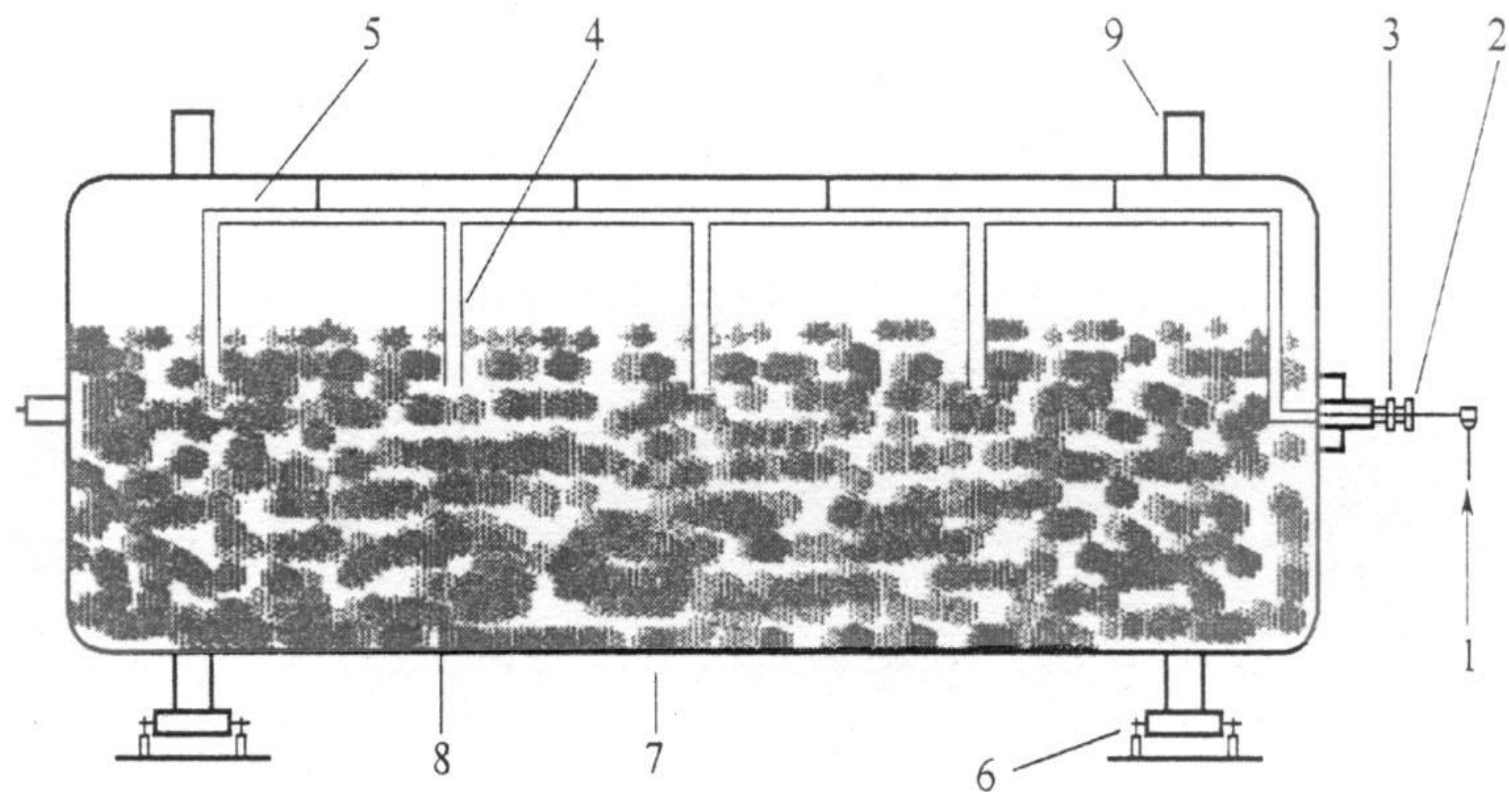


图 1.6 转鼓式固态发酵反应器

1—进气口；2—旋转节；3—耦环；4—空气喷嘴；5—空气管；
6—辊子；7—转鼓；8—固体培养基；9—滚轮

3、含水量

- ❖含水量通常与通氧相矛盾，所以固态基质往往要控制基质的含水量。若含水量高，会挤走氧气，使氧浓度低，妨碍好氧菌（霉菌）的生长；含水量过低，则影响水分活度，影响其生长速度，处于亚适生长状态
- ❖一般采用中间补水的方式。

所以一般霉菌参与的固态发酵，往往先控制水分，利于霉菌的生长、发酵，再补水制醪，进一步发酵。

4、酸碱度

- ❖ 因为固态基质有强大的缓冲能力，减少了对pH的需要，因此pH在固态发酵中影响不明显。一般用酸碱度表示。
- ❖ 实际生产中，往往采用加浆水、浆浸泡原料等方法调节基质的pH，如浙江绍兴加饭酒。

5、热传递与控温

❖ 热传递能力差

单位体积内基质浓度高，菌体浓度高，生物热高（产热多），传热困难，导致基质内温度不均匀，形成温度梯度。如麸曲，厚度一般6.5cm，不除热情况下相差 $3^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 。

❖ 烧曲（内部温度太高）

❖ 除热（控温）方法：

❖ 调节通风风速和通风频率。

❖ 开窗通风，翻曲散热等。

- 固态发酵视频观看及讲解

酱油酿造