

# 纤维素酶活性麦稈霉菌固体 发酵物的流化床干燥试验

许学勤 高福成

(食品科学与工程系)

**摘要** 对含水量 50%~60%(湿基)的纤维素酶( $\beta$ -(1,4,1,3)-葡聚糖内切酶)活性麦稈霉菌固体发酵物湿坯,经过分散化预处理后,在不同的空气流速下进行的流化床干燥试验进行了研究。在干燥温度为 70℃、空气流速为 3m/s 的条件下,将含水量 55%的物料干燥至确定的终点 8%(湿基),可以保留 90%左右的酶活率,其效果与冷冻干燥法和低温(40℃)烘箱干燥法相当。认为湿基 8%左右的物料水分含量应该是制品的干燥终点。对物料酶活性保留和流化床干燥控制有关的湿含量影响和干制品粒度级分的重量、水分含量和酶活含量分布也进行了试验研究。

**关键词** 纤维素酶;  $\beta$ -(1,4,1,3)-葡聚糖内切酶; 麦稈饲料; 流化床干燥; 酶活残存率; 水分活度; 干燥速率

## 0 前 言

能耗突出的干燥过程,在延长许多工业制品的商品使用价值的有效期仍起着其它手段无法替代的作用。干燥是某些含生物活性效价物料最终生产加工成制品的后道处理工序。对于这类物料,干燥的主要目的就是为了使制品的活性成分在贮运阶段保持稳定,从而起到延长商品有效期的作用。

由于干燥耗能大,所以在决定是否采用干燥方法、采用什么干燥方式与条件时,除了待干物料的特性外,还需考虑产品商品价值。生物制品的一个显著特点是其活性成分的热敏性。对于商品比价高的制品,如药品、特种食品等,可以采用费用高的方法(如冷冻干燥法)进行干燥。对于大多数低比价物料,采用冷冻干燥就不一定值得。

本文所述的待干燥物料是一种含霉菌体纤维素酶( $\beta$ -(1,4,1,3)-葡聚糖内切酶)活性的、含水量 50%~60%(湿基)的、以麦稈为基质的湿粘块状霉菌发酵物。这种制品的主要价值在于它的纤维素酶活性,而麦稈原是一种废弃物,所以这种热敏性制品的商品比价并不

收稿日期:1993 12 27

高。

寻求适合于这种物料的干燥方式成了产品开发的关键。流化床干燥具有许多优点,其中之一是它的高传热传质效率。这对于热敏性物料干燥很有意义。这项技术在化工、冶金、矿业中已有许多成熟的应用,粮食、生物、制药、食品工业中也有成功应用流化床干燥的实例。为此,拟采用流化床干燥法对上述的待干燥物料进行实验室规模的干燥试验,研究这种热敏性物料的干燥特性。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

**干燥原料** 麦稈基质霉菌固体发酵产物,含纤维素酶( $\beta$ -(1,4,1,3)-葡聚糖内切酶)活性,湿含量为50%~60%(湿基)。原料由加拿大植物生物化学研究所提供。

**试剂**  $\beta$ -(1,4,1,3)-葡聚糖,GR级,美国Sigma公司出品,其余试剂均为分析纯级。

**干燥设备** LAB-LINE/PPL Hi-Speed 流化床干燥器,温度范围:室温~120℃,空气流速3.00~4.80m/s。干燥器系统示意、干燥室结构尺寸见图1、图2。

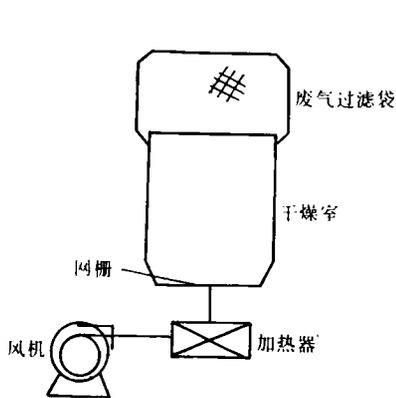


图1 干燥器系统示意

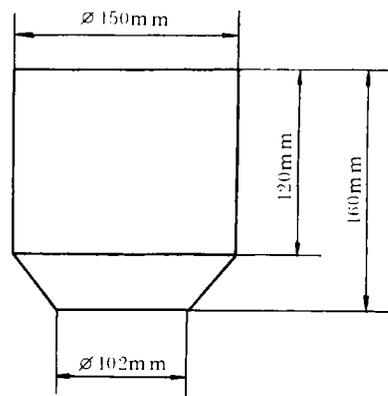


图2 干燥室尺寸

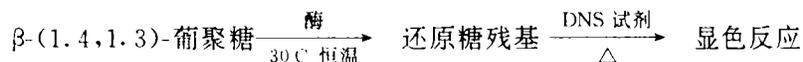
### 1.2 方法

**待干燥物料预处理** 鲜收获的发酵过的麦稈饲料,用HOBART食品绞碎机绞碎,然后用6目(开口0.33cm)的筛子过筛。

**流化床干燥试验** 所有的流化床干燥试验均在LAB-LINE/PPL Hispeed流化床干燥器上以恒定条件方式进行。干燥室载荷:湿料200g。

**1.2.1 干燥曲线和酶活残存率曲线** 在一定的干燥空气速度下,以不同的温度进行流化干燥。在不同的干燥时刻取样,测定样品的水分含量、酶活残存率。每次取样后,重新装湿料,待干燥到下一个时刻再取样。如此干燥、取样、测定水分和酶活残存率,得到不同干燥温度下的干燥曲线和酶活残存率曲线。在一定的干燥温度下,以不同的干燥空气速度进行流化干燥,同时测取干燥曲线和一定干燥终点时的酶活残存率。

$\beta$ -(1,4,1,3)-葡聚糖酶活力根据以下原理进行测定:



用可见分光光度计在 540nm 处,用 DNS 试剂法测定酶反应物中的葡萄糖残基的吸光度,再根据 DNS 试剂法标准葡萄糖溶液曲线确定反应中生成的还原糖残基的含量。从而可得到以  $\mu\text{g}$  分子葡萄糖/min 表示的酶活力单位。

### 1.2.2 水分含量测定

1) 恒重法 热风干燥箱加热,加热温度为 110 $^\circ\text{C}$ ,时间为 12h.

2) 卡尔费休法 用 633 型自动 KF 滴定仪测定。

1.2.3 水分活度测定 用 5863 型水分活度计测定,环境温度 20 $^\circ\text{C}$ ,平衡时间 8h.

## 2 结果与讨论

### 2.1 物料干燥时温度对酶活残存率的影响

在恒定干燥条件下,以一定的干燥空气速度(3m/s)、不同干燥温度(40 $^\circ\text{C}$ 、70 $^\circ\text{C}$ 、90 $^\circ\text{C}$ 、110 $^\circ\text{C}$ )对麦稈饲料进行间歇式流化干燥试验,得到的物料干燥曲线(即水分含量——干燥时间对应曲线)和物料酶活残存率曲线(酶活残存率(%)——干燥时间对应曲线)见图 3,图 4. 由图可见,不论是干燥曲线还是酶活残存率曲线均受到干燥温度很大的影响。这种温度的影响的大小随干燥的进行有较大变化。

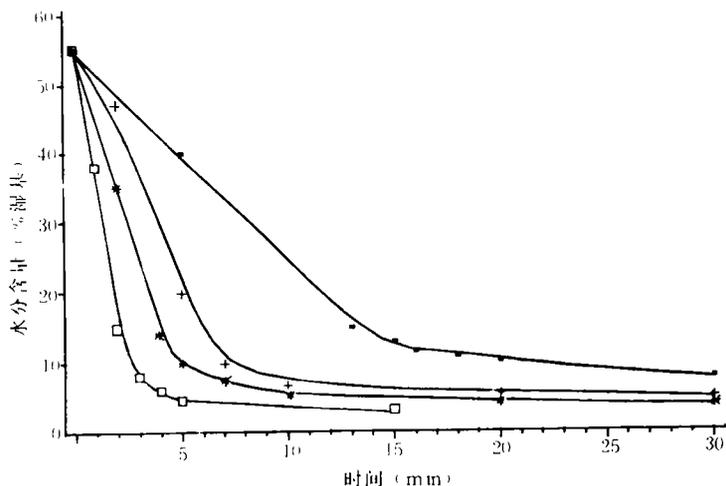


图 3 不同干燥温度的干燥曲线

—●— 40 $^\circ\text{C}$     —+— 70 $^\circ\text{C}$     —\*— 90 $^\circ\text{C}$     —□— 110 $^\circ\text{C}$

就纯干燥角度而言,当然希望干燥得快些,但又能使酶活力尽量多地被保存下来。对温度的选择就显得非常重要。显然,如果用流化床干燥法对这种生化活性的材料进行干燥,干燥温度过低和过高都是不利的。温度过低,干燥时间太长,例如,40 $^\circ\text{C}$ 温度时,将物料干燥至水分含量为 10%(湿基)约需要 20min. 这显然不适宜进行流化床干燥;温度过高则会造成大量的酶活性损失。例如,110 $^\circ\text{C}$ 温度时,物料的酶活残存水平只有 65%,而在 70 $^\circ\text{C}$ 和 90 $^\circ\text{C}$

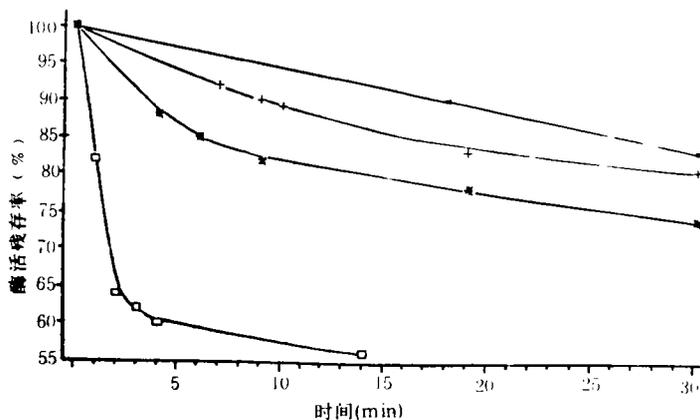


图4 不同干燥温度的酶活残存率曲线

--- 40°C    -+- 70°C    -\*- 90°C    -□- 110°C

时,对应于干燥曲线转折点的酶活残存率分别约为 91%和 89%。因此进一步的探讨将围绕 70°C干燥温度进行。

### 2.2 干燥终点的确定

用 70°C干燥温度分别对物料进行流化床干燥得到的不同水分含量样品,在 20°C时的水分含量与水分活度对应曲线如图 5 所示。一般说来,确定象本试验干燥对象之类的生物制品干燥终点的应该是水分活度,而不是水分含量。本试验的制品是纤维性物料为主的霉菌发酵物,干燥以后在贮运期间主要要控制的微生物对象是霉菌。众所周知,霉菌能适应生存的水分活度( $a_w$ )的下限为 0.6。所以在干燥以后的贮运期间,物料的水分活度应控制在 0.6 以下。如果流化床干燥是对制品脱水的最终手段,那么首先要将物料干燥至与水分活度上限(0.6)相对应的湿度以下才行。由图 5 可知,这时物料水分含量应为 8%,即 8%的物料水分含量应是干燥终点的上限。

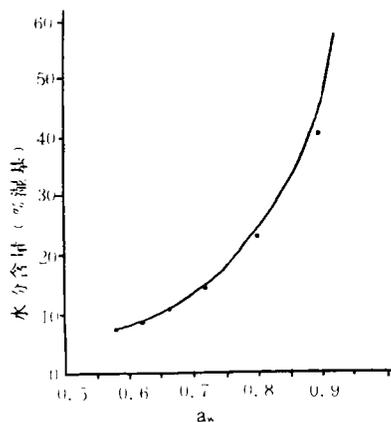


图5 70°C温度下干燥得到的物料在 20°C时的水分含量—水分活度关系

### 2.3 湿含量对酶活损失速率的作用

从图 4 可以发现,除 40°C干燥温度外,其余温度下的酶活残存率曲线有类似于干燥曲线中出现的转变现象。这种酶活残存率曲线中出现的变化,可以用水分活度对酶的热失活作用影响来解释,即一物料较湿的时候(水分活度大)酶容易因热而失活,较干时(水分活度一般也较小),酶的热稳定性较强。环境温度相同时测定不同含水量阶段物料酶活损失的实验结果(见图 6)也进一步证实了上述的湿湿影响变化。这种湿热效应,在正常的流化床操作状态下不会对以酶活保存为考察指标之一的干燥效果产生多大影响。因为干燥前期(即水分

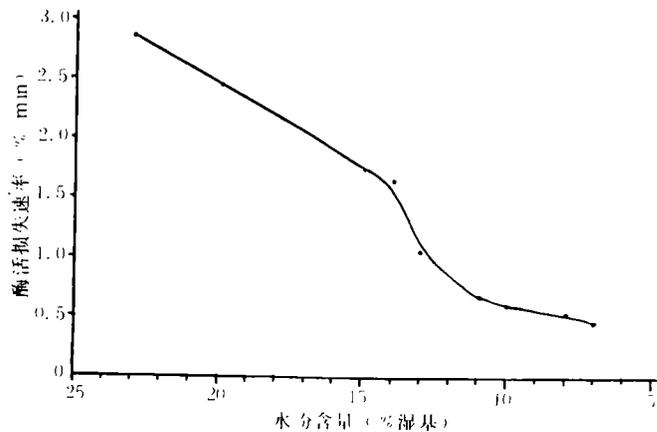


图6 70°C时酶活损失速率与物料水分含量的关系

含量较高时),只要传热传质正常,由于存在蒸发汽化效应,不会使物料的温度升得过快。但是,如果操作不当,物料得不到很好的传质效果,只受加热,而水分不能挥发,造成干燥室内的死角,便会使温度上升过快,造成物料的局部受热过度。这显然会造成酶活性的大量失去。因而,在实际设计、操作中应顾及这方面的预防措施。必要时可以在流化床内安置专门的辅助机构,以帮助物料获得良好的分散和流化效果。

尽管物料处于低水分含量阶段的酶活稳定性较大,但从图3、图6可知,处于干燥温度环境下的干物料的酶活损失速率仍较可观(如在70°C干燥温度下,干燥后期的酶活损失速率仍有每分钟0.5%左右)。所以物料干燥至终点后应及时出料。此外,物料从干燥器取出后,最好能及时得到冷却处理。

#### 2.4 干燥空气速率对物料干燥行为和酶活残存率的影响

在70°C的干燥温度下,以不同的干燥空气流速对物料进行流化床干燥试验的结果见图7,图8。图中表明物料的干燥速率与空气流速有一定程度的关系,随空气流速的增加而增

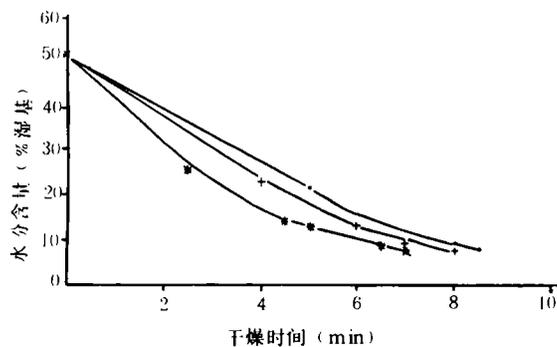


图7 不同干燥空气流速在70°C干燥温度处的干燥曲线

加;但不同的空气流速,在同一干燥温度下,对干燥到同一终点处物料的酶活残存率没有明显影响。由此可以推论:干燥空气流速对酶活损失速率也有影响,即酶活损失速率随空气流

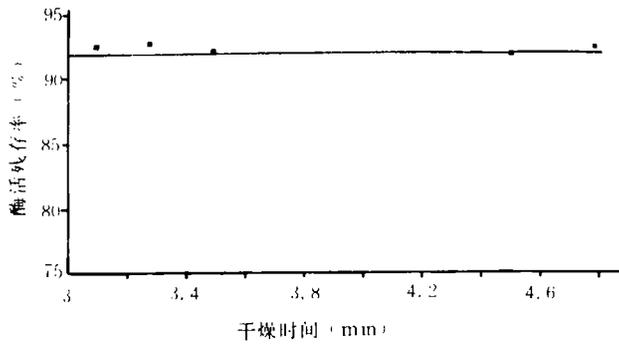


图8 干燥空气流速与干燥物料酶活残存率关系  
(干燥温度70℃,物料水含量9%±0.5%)

速增加而增加。干燥空气流速对干燥速率影响正好抵消了对酶活损失速率影响。所以在实际应用中,对空气流速的选择可以主要根据对物料的流化态需要来考虑。

### 2.5 干燥物料粒度级分的重量、水分含量、酶活含量分布

用筛分方法将干燥至终点的物料分成不同粒度的若干级分,测定其各级分的重量、水分含量、及酶活含量三项分布,结果见图9。实验结果表明,干燥物的三项分布基本一致。物料的粒度分布虽较广(从>2.5mm到<0.05mm)但也较集中(以重量分布为例,平均粒度为 $1.29 \pm 0.49$ mm),粒度小于0.25mm的级分只占约0.3%。由于三项分布的一致性,所以即使小粒度的物料在干燥控制中难以回收,也不会造成对以保留酶活率为目的流化床干燥产生实质性的影响。

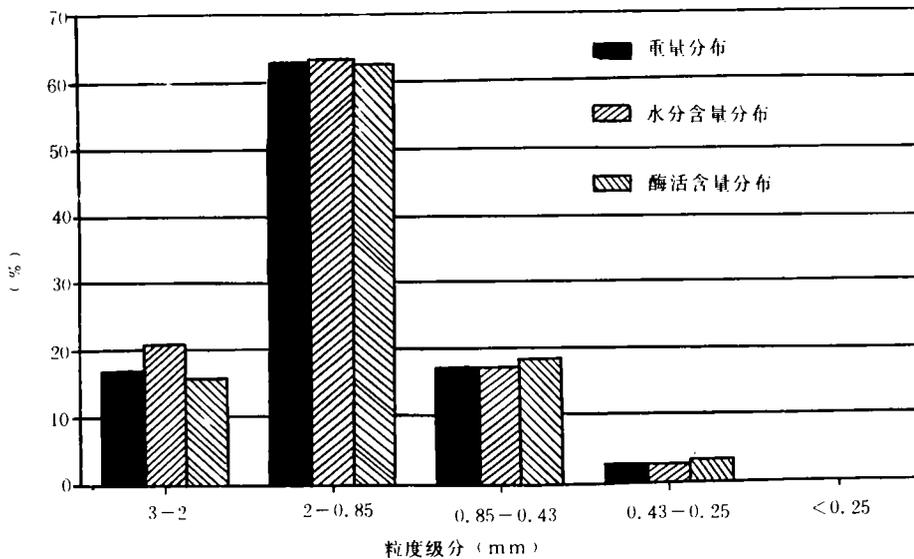


图9 干燥物料(湿含量8.2%)粒度级分的重量、水分含量和酶活含量分布

## 2.6 流化床干燥对物料酶活率的保留效果

由流化床干燥、低温烘箱干燥和冷冻干燥三种方式分别得到的物料酶活残存率的结果见表1。由表可知,流化床干燥法可以使这种发酵物的纤维素酶活率保留在较高的水平(约90%),其效果与冷冻干燥和低温烘箱干燥的相当。

表1 不同干燥方法的酶活保留率

干燥方法	流化床干燥	烘箱干燥	冷冻干燥
酶活残存率	90.9%	89.8%	91.6%
干制品含湿量(湿基)	8.5%	6.8%	7.4%
干燥加热温度	70℃	40℃	25℃

## 3 结 论

具有纤维素酶活性的湿含量为50%~60%左右的麦稈霉菌发酵物,经过适当的预分散化处理后,可以用70℃左右的温度进行流化床干燥。物料的干燥终点应控制在水分含量8%(湿基)以下。为尽量保留酶活率,不宜使物料在流化床内过度干燥。其干燥制品的酶活保留在90%左右,效果与冷冻干燥和低温烘箱干燥相当。干燥空气流速对干制品的酶活率保留没有明显影响。干制品粒度级分的重量、水分含量和酶活含量分布有很好的一致性。

## Fluidizedbed Drying Study of a Mold Fermented Barley-bran Feed with cellulase activity

Xu Xieqing Gao Fucheng  
(Dept. of Food Sci. & Eng.)

**Abstract** The fluidized bed drying of a mold fermented ( $\beta$ -(1,4,1,3)-endoglucanase active) barley-bran feed with 50%~60% moisture is discussed. Drying trials of the above material with pre-disintegration were carried out in batches in a fluidized bed dryer, with various drying temperatures and air flow rates. Under the drying temperature at 70℃ air flow rate at 3m/s, 90% of the original enzyme activity was retained after the material being dried to a humidity point (of 8% water). The results is comparable with those of freeze drying and low temperature (40℃) oven drying. The moisture content of 8% was selected as the drying final of the product. The aspects which are related to the enzyme activity retention of the dried material and the control of fluidized bed drying, and the aspects about distribution of weight, moisture and enzyme activity in particle size fractions of the material were investigated.

**Key-words** Cellulase; Beta-endoglucanase; Barley-bran; Fluidized bed drying; Enzyme activity retention rate; Water activity; Drying rate