

# 促腐剂对菇渣发酵过程的影响及育苗基质优化研究

陈世昌, 周士锋, 徐明辉, 邵秀丽

(河南农业职业学院, 河南 郑州 451450)

**摘 要:**以菇渣为原料,添加促腐剂、尿素进行堆积发酵,研究菇渣发酵过程中温度、发酵天数、养分含量及理化性质的变化;确定发酵最优处理后,对其进行不同剂量保水剂、C/N 及基质配比的 3 因素 3 水平育苗基质正交试验。结果表明:加入促腐剂、尿素后,菇渣发酵的高温持续时间延长,腐熟时间缩短,理化性质得到改善。同时添加尿素、促腐剂的处理 3,菇渣发酵效果最好、发酵最彻底,与 CK 相比,高温持续时间增加了 6 d、腐熟时间缩短了 7 d、最高温度增加了 12℃。发酵结束后,各处理总孔隙度增加,通气性变好,持水能力加强,蒸发速率减小,氮、磷、钾含量升高,但 EC 值较大,C/N 较低。对处理 3 菇渣发酵基质进行 3 因素 3 水平正交试验,得出适合番茄和辣椒幼苗生长的最佳组合  $A_2B_2C_3$ ,即保水剂添加量 4 kg/m<sup>3</sup>,菇渣与珍珠岩(V/V)3:1,C/N 为 35:1。

**关键词:**菇渣;促腐剂;发酵;育苗基质

中图分类号:S 182;S 604<sup>+</sup>.3 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2011)17-0177-04

近年来国内外一直致力于开发新型环保基质,通过各种工艺将工农业中有机废弃物用来生产园艺基质<sup>[1-2]</sup>。中国是食用菌栽培大国,每年产生大量废弃培养料—菇渣,菇渣处理问题常常是困扰食用菌栽培者的难题,简单地作为废弃物倾倒入农田,既浪费了资源又对环境造成了严重的污染。但菇渣在蘑菇栽培过程中已经过了充分分解,结构组成已趋于稳定,使其结构呈粒状,类似于土壤的团粒结构,因此可开发菇渣作为栽培基质<sup>[3]</sup>。

目前人们对菇渣与其它无机基质的复配进行育苗的研究较多<sup>[4-6]</sup>,而对菇渣发酵方法、菇渣的理化性质及生长障碍因素进行系统研究的较少。目前菇渣大多采用自然堆积,发酵时间长、效率低,对环境污染较大。一些试验表明接种外源微生物菌剂可以缩短堆肥的发酵时间<sup>[7-8]</sup>。该试验研究了促腐剂、尿素对菇渣高温发酵的影响,并以发酵后的菇渣进行基质育苗试验,以期对菇渣基质工厂化生产及育苗应用提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选择当地常见的平菇菇渣(栽培原料为棉籽壳、玉米芯各 50%)作为试验材料,菇渣的基本性质见表 1。以尿素为氮源,接种促腐剂。尿素(含 N 46.4%)购自

中牟县农化市场;促腐剂由河南省土壤肥料站提供,有效菌含量 $\geq 1.0 \times 10^9$  cfu/g。精密仪器和药品规格:分光光度计(721 型,上海天普分析仪器有限公司生产),火焰光度计(6400A 型,上海精密科学仪器有限公司厂生产)。测定菇渣中总有机质、全氮、全磷、全钾使用的药品均为分析纯(AR)。正交试验供试番茄品种为‘毛粉 802’,辣椒品种为‘D 椒一号’,所用穴盘为国产 50 孔穴盘。

表 1 菇渣的主要理化性质

Table 1 Main physical and chemical characteristics of mushroom residue

	有机碳/%	全氮/%	C/N	全磷/%	全钾/%	pH	EC/mS·cm <sup>-1</sup>
菇渣	46.3	1.7	26.8	0.76	1.84	8.0	3.6

### 1.2 试验方法

试验于 2009 年 7~11 月在河南省农业职业学院进行。设 3 个处理,1 个对照。处理 1:菇渣+尿素(5 kg/m<sup>3</sup>);处理 2:菇渣+促腐剂(1 kg/m<sup>3</sup>);处理 3:菇渣+尿素(5 kg/m<sup>3</sup>)+促腐剂(1 kg/m<sup>3</sup>);CK:菇渣。将菇渣、尿素、促腐剂和水按各处理配方混合均匀,含水量调至 60%,然后装入 75 cm×65 cm×55 cm 的有盖泡沫箱发酵,料堆从上到下打 5 个通气孔。每个处理设 3 次重复,泡沫箱随机排列。分别在第 5、10、15 天翻堆 1 次,搅拌均匀后,按 5 点采样法,每个处理取 3 个混合样,测定理化性质。当堆体温度与环境温度趋于一致,菇渣颜色变成褐色,终止发酵。将发酵后菇渣风干保存。

**1.2.1 测定指标及方法** 每天 10:00 和 16:00 测定不同处理料堆 20 cm 处温度,取其平均值。风干菇渣与去离子水按 1:10(W/V)混合均匀,静置 1 h,用酸度

第一作者简介:陈世昌(1969-),男,河南信阳人,硕士,副教授,现主要从事农业生物技术的教学与科研工作。E-mail: hncsc@163.com.

基金项目:河南省重点科技攻关资助项目(082102110004)。

收稿日期:2011-05-27

计测定基质 pH,用电导率仪测定基质 EC 值。参照 Byrne 的方法结合常规农化分析方法<sup>[9]</sup>测定容重、孔隙度。取各处理发酵后相同体积的菇渣放入 1 个花盆中,让其达到花盆最大持水量后自然蒸发,每天定时称重,分别计算各基质每天的容积含水率。用一定时间内菇渣失水率代表蒸发速率。有机碳采用重铬酸钾法<sup>[9]</sup>;全氮采用凯氏定氮法<sup>[9]</sup>;全磷采用钼锑抗比色法<sup>[9]</sup>;全钾采用火焰光度法<sup>[9]</sup>。

1.2.2 正交试验 由发酵试验,得出发酵效果较好的处理组。为进一步检测其理化性能,改善其理化性质,使其作为育苗基质,采用 3 因素 3 水平的正交试验将发酵菇渣与珍珠岩进行不同体积配比,并添加不同剂量保水剂和不同 C/N 进行育苗试验。正交试验的 9 个处理完全随机排列,重复 3 次。番茄、辣椒发芽率达 90%时播入穴盘育苗,35 d 后每个处理取 15 株幼苗,采用根冠比对幼苗质量进行评价。根冠比=地下部干重/地上部干重。

1.2.3 统计分析 对原始数据进行标准化处理后,用 Excel 2003 软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对菇渣发酵进程中温度的影响

试验各处理堆体温度变化见表 2。除纯菇渣(CK)在第 3 天堆体温度达 50℃ 外,其它处理均在第 2 天达 50℃ 以上,即进入高温分解阶段。添加尿素的处理 1、添加促腐剂的处理 2 及同时添加尿素和促腐剂的处理 3,与 CK 相比,高温持续时间分别增加了 4、3、6 d,腐熟时间缩短了 2、3、7 d,堆体最高温度增加了 5、6、12℃。综合各项指标,同时添加尿素和促腐剂的处理 3 效果最好。表明在菇渣高温发酵进程中,在加入一定量尿素的基础上添加促腐剂,增加了物料中微生物总数,适宜 C/N 让其快速繁殖,堆体高温期提前到来,高温持续时间加长,加快了物料腐熟,缩短了发酵时间。这和曹慧玲等<sup>[7]</sup>研究相似。此外,处理 2 与处理 1 差异不明显,但处理 2 发酵效果优于处理 1,说明微生物和 C/N 均能影响发酵进程,微生物影响较大,二者相互促进又相互制约。

表 2 不同处理对菇渣发酵进程中温度的影响

Table 2 Effects of different treatments on temperature of fermentation process

处理	达 50℃ 所需天数/d	>50℃ 持续时间/d	腐熟所需时间/d	堆体的最高温度/℃
CK	3	6±1	27±1	55
处理 1	2	10±1	25±1	60
处理 2	2	9±1	24±1	61
处理 3	2	14±1	20±1	67

### 2.2 不同处理对菇渣发酵进程中 pH 的影响

由图 1 可知,CK 的 pH 在发酵过程中变化不大,一直处于较高水平。添加尿素的处理 1,发酵前 10 d pH 略有上升,超过了初始值及 CK,随后开始下降,发酵结束时,pH 仍大于 CK。这可能由于添加尿素后,堆

体温度上升,微生物活动旺盛,氨态氮含量增加,致使 pH 增加,随着发酵的进行,温度进一步升高,微生物活动受阻,氨态氮含量减少,pH 也随着下降。这与赵青松等的研究结果相似<sup>[10]</sup>。

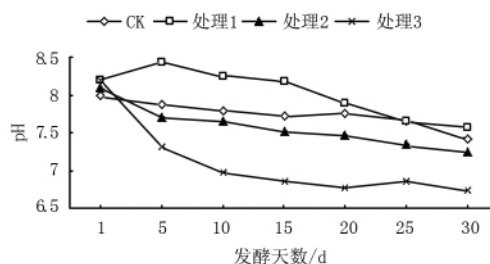


图 1 不同处理堆体发酵过程中 pH 的变化

Fig. 1 The changes of pH on the fermentation process of mushroom residue

添加促腐剂的处理 2 及同时添加尿素、促腐剂的处理 3,随着发酵天数的增加,pH 一直呈下降趋势,且处理 3 的下降趋势高于处理 2。这可能由于添加促腐剂后,微生物数量增加,加快有机物质的分解,分解的同时产生了大量有机酸,使 pH 下降。处理 3 加入了一定量的尿素,使 C/N 增加,加速了促腐剂中微生物的活动,进而加速了有机质的降解进程,故其 pH 下降趋势大于处理 2。

### 2.3 腐熟菇渣蒸发速率的变化

由图 2 可知,菇渣添加促腐剂发酵后,菇渣蒸发速率变慢,失水率明显低于 CK 及添加尿素的处理 1,且同时添加促腐剂和尿素的处理 3 表现最好,基质的失水率最小。处理 1 及 CK 在存放第 6 天失水率开始趋于稳定,菇渣含水率最终稳定在 30% 左右,处理 2 和处理 3 在存放第 9 天时才趋于稳定,且含水率稳定在 40%~50%。表明加入合适的促腐剂,可以提高菇渣的保水性,降低了菇渣蒸发速率。分析认为这是由于促腐剂中的微生物分解了菇渣中的有机物质,改变了菇渣颗粒的大小结构,随着蒸发在表层形成一层空气隔离层,使蒸发速率变小。

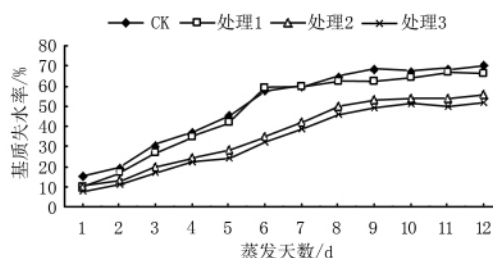


图 2 各处理菇渣腐熟后蒸发速率比较

Fig. 2 Comparison of evaporation rate of different spent mushroom compost treatments

### 2.4 不同处理发酵结束时菇渣理化性质比较

由表 3 可知,各处理的容重及通气孔隙度较 CK 有所降低,差异不显著,都在育苗基质适宜容重和通气

孔隙度范围之内。各处理总孔隙度、持水孔隙度较 CK 有所增加。其中处理 2、处理 3 总孔隙度、持水孔隙度均显著高于 CK、优于处理 1, 分别为 65%、69% 和 40%、44%, 在育苗基质适宜的范围之内, 但均不能满足理想基质的要求。这是由于加入了尿素、促腐剂使得菇渣腐熟较彻底, 改变了菇渣的颗粒结构, 使得菇渣大颗粒减少, 通气性变小, 持水能力增加。此外, 加有

促腐剂的处理 3、处理 2 效果优于处理 1, 这可能与加入促腐剂的处理, 菇渣的减量化效果较好有关。此外, 各处理的水气较 CK 增加, 更适宜作物根系生长。

Wever G 等<sup>[12]</sup>认为菇渣是一种很好的泥炭替代物, 但存在电导率偏高等问题。该试验也验证了这一点, 各处理 EC 值与 CK 差异不大, 均大大超过育苗适宜基质的范围。

表 3 各处理菇渣发酵后的理化性质  
Table 3 The physicochemical properties of the manure mushroom residue

处理	容重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	总孔隙度/%	通气孔隙度/%	持水孔隙度/%	水气比	pH	EC/ $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$
CK	0.258a	57c	30a	27b	1.11b	7.42	5.1
处理 1	0.261a	64b	26a	38ab	1.46ab	7.56	5.0
处理 2	0.255a	65b	25a	40a	1.60ab	7.24	4.82
处理 3	0.214a	69a	25a	44a	1.76a	6.74	4.9
育苗适宜基质 <sup>[12]</sup>	0.2~0.8	65~96	15~30	40~75	1.5~1.8	5.5~7.5	<2.5

注: 表中不同字母表示在  $P<0.05$  水平上有显著差异。

2.5 各处理发酵结束时菇渣理化性质比较

王小琳等<sup>[8]</sup>研究表明, 接种外源微生物加快物料的分解, 浓缩堆肥中的无机营养成分, 而且由于水分的降低, 使养分含量相对增加, 有利于提高物料质量, 与该研究结果相同。由表 4 可知, 发酵前后各处理菇渣养分含量有较大变化, 发酵后各处理全氮、全磷、全钾

含量有所增加, 有机碳含量、C/N 较发酵前有所减少。一些研究者认为当堆肥 C/N 降到 20 以下可认为堆肥达到腐熟。该试验发酵结束时, 各处理 C/N 均小于 20, 可见已经腐熟, 且各处理 C/N 小于 CK, 说明添加尿素、促腐剂后能够加快菇渣腐熟, 一定程度上提高菇渣中养分含量。

表 4 各处理发菇渣发酵前后养分的变化  
Table 4 The changes of nutrition contents in the pre-post fermentation

处理	总有机碳/%		全氮/%		C/N		全磷/%		全钾/%	
	发酵前	发酵后	发酵前	发酵后	发酵前	发酵后	发酵前	发酵后	发酵前	发酵后
CK	46.3	35.2	1.73	2.15	26.8	16.4	0.76	0.81	1.84	2.04
处理 1	46.3	38.5	1.95	2.21	23.7	17.4	0.76	0.87	1.84	2.21
处理 2	46.3	32.1	1.73	2.19	26.8	14.7	0.76	0.94	1.84	2.40
处理 3	46.3	37.1	1.95	2.37	23.7	15.7	0.76	1.01	1.84	2.44

2.6 育苗基质正交试验

综合前期试验可知, 菇渣发酵结束后, 容重及持水孔隙度较大, 通气空隙较小。虽持水能力有所增加, 但水分扩散能力大, 表面失水速度较快, 容易干燥, 且菇

渣 EC、pH 偏高。为进一步检测发酵菇渣的理化性能, 改善其理化性质, 使其作为育苗基质, 设计 3 因素 3 水平的正交试验进行验证(表 5)。

表 5 菇渣基质育苗正交试验  
Table 5 The orthogonal design of mushroom residue in seeding

处理编号	A	B	C	试验指标					
	保水剂用量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	菇渣:珍珠岩/V:V	C/N	35 d 番茄根冠比		35 d 辣椒根冠比			
1	3	4:1	25:1	0.182e		0.200d			
2	3	3:1	30:1	0.256b		0.252a			
3	3	3:2	35:1	0.245b		0.216bc			
4	4	4:1	30:1	0.274a		0.203cd			
5	4	3:1	35:1	0.291a		0.249a			
6	4	3:2	25:1	0.236bc		0.231b			
7	5	4:1	35:1	0.209d		0.229b			
8	5	3:1	25:1	0.238bc		0.211cd			
9	5	3:2	30:1	0.208d		0.200d			
K <sub>1</sub>				0.683	0.665	0.656	0.668	0.632	0.642
K <sub>2</sub>				0.801	0.785	0.738	0.683	0.712	0.655
K <sub>3</sub>				0.655	0.689	0.745	0.640	0.647	0.694
k <sub>1</sub>				0.228	0.222	0.219	0.223	0.211	0.214
k <sub>2</sub>				0.267	0.262	0.246	0.228	0.237	0.218
k <sub>3</sub>				0.218	0.230	0.248	0.213	0.216	0.231
R				0.049	0.040	0.030	0.014	0.027	0.017

由各处理的极差分析可看出,各因素对番茄、辣椒根冠比影响不同。各因素对番茄根冠比影响的主次关系是  $A > B > C$ ,即保水剂添加量和基质配比对番茄幼苗根冠比影响较大,C/N 相对影响较小。处理 5、处理 4 番茄的根冠比数值较大,显著高于其它处理,且最优处理和最佳组合均为处理 5 ( $A_2 B_2 C_3$ ),但与处理 4 ( $A_2 B_1 C_2$ ) 的根冠比差异不显著。各因素对辣椒根冠比影响的主次关系是  $B > C > A$ ,即基质配比对辣椒幼苗根冠比影响较大,C/N 和保水剂添加量影响相对较小,处理 2、处理 5 根冠比较大,显著高于其它处理。

以草炭为基质作对照,对处理 2 ( $A_1 B_2 C_2$ )、处理 4 ( $A_2 B_1 C_2$ )、处理 5 ( $A_2 B_2 C_3$ ) 进行了验证,试验采用完全随机排列,3 次重复,35 d 后测定辣椒及番茄苗的干重。处理 5 ( $A_2 B_2 C_3$ ) 辣椒及番茄幼苗干重最大,分别为 268.8 g、477.1 g。由此得出,菇渣基质育苗的最佳组合为  $A_2 B_2 C_3$ ,即保水剂添加量  $4 \text{ kg/m}^3$ ,菇渣与珍珠岩体积比  $3:1$ ,C/N 为  $35:1$ 。

### 3 结论与讨论

该试验结果表明,同时添加尿素和促腐剂的处理 3 菇渣发酵效果较好,高温持续时间较长,物料腐熟所需时间较短,与 CK 相比,高温持续时间增加了 6 d、腐熟时间缩短了 7 d。发酵后只添加促腐剂的处理 2 和同时添加尿素、促腐剂的处理 3 菇渣理化性质显著优于 CK。发酵后的菇渣理化性质变化较大,菇渣总孔隙度变大,通气性变好,持水能力增强,蒸发速率变小,且菇渣中全氮、全磷、全钾含量有所提高,但 EC 值较大,C/N 较小,这与时连辉等<sup>[14]</sup>的研究结果相同。综合比较得出处理 3 的理化性质较适合作为育苗基质。

为进一步检测发酵菇渣的理化性能,改善其理化

性质,使其作为育苗基质。通过菇渣与珍珠岩配比、添加不同剂量保水剂和不同 C/N,进行 3 因素 3 水平的正交试验,得出适合番茄和辣椒幼苗生长的最佳组合为  $A_2 B_2 C_3$ ,即保水剂添加量  $4 \text{ kg/m}^3$ ,菇渣与珍珠岩体积比  $3:1$ ,C/N 为  $35:1$ 。

### 参考文献

- [1] 李谦盛,郭世荣,李式军. 利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质[J]. 自然资源学报,2002,17(4):515-519.
- [2] 李万才,张丽蓉,马海林. 城市固体废弃物堆肥与化肥对不同土壤植物生长的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(2):107-110.
- [3] 米青山,王尚堃,宋建华. 食用菌废料的综合利用研究[J]. 中国农学通报,2005,21(2):284-284.
- [4] 郑奕,姚永康,周志疆,等. 有机废弃物生产园艺基质的研究[J]. 江西农业学报,2009,21(9):160-162.
- [5] 徐明辉,梁明勤. 菇渣在辣椒育苗上的应用效果试验[J]. 北方园艺,2010(10):62-64.
- [6] 陈世昌,常介田,张变莉,等. 菌糠复合基质在番茄育苗上的效果[J]. 中国土壤与肥料,2011(1):73-75.
- [7] 徐智,汤利,李少明,等. 两种微生物菌剂对西番莲果渣高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(6):1270-1274.
- [8] 王小琳,陈世昌,袁国锋,等. 促腐剂在鸡粪堆肥发酵中的应用研究[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5):1210-1214.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:318-325.
- [10] 赵青松,李萍萍,王纪章,等. 醋糟条垛式堆肥发酵技术及效果[J]. 农业工程学报,2010,26(7):255-259.
- [11] Wever G, van der Burg A M M, Straatsma G. Potential of adapted mushroom compost as a growing medium in horticulture[J]. Acta Hort, 2005,697:171-177.
- [12] 葛晓光. 蔬菜育苗大全[M]. 北京:中国农业出版社,1995:15-20.
- [13] 孙晓华,罗安程,仇丹. 微生物接种对猪粪堆肥发酵过程的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(5):557-559.
- [14] 时连辉,张志国,刘登民,等. 菇渣和泥炭基质理化特性比较及其调节[J]. 农业工程学报,2008,24(4):199-203.

## Effect of Transformation Promoter Addition on Processing Fermentation of Mushroom Residue and Medium Optimization for Seeding

CHEN Shi-chang, ZHON Shi-feng, XU Ming-hui, SHAO Xiu-li  
(Henan Agricultural Vocational College, Zhengzhou, Henan 451450)

**Abstract:** High temperature composting experiments were conducted using mushroom residue and adding the proportion of urea and transformation promoter to study the effects of dynamical changes of temperature, the days of fermentation, nutrition content, physicochemical properties. The optimal processing fermentation was obtained. And then, the effect of different doses of water retaining agent for drought resistance, ration of carbon to nitrogen and the substrate influence to seedling using orthogonal test was studied. The results showed that adding urea and transformation promoter in mushroom residue extended the high temperature sustaining time, shortened the time of maturity and improved the physicochemical properties. The treatment 3 with simultaneous addition of urea and transformation promoter had the best effect in fermentation process. Compared with control, the sustaining time of high temperature extended by 6 days, the time of maturity shortened by 7 days, the highest temperature increased  $12^{\circ}\text{C}$ . After the end of fermentation process, the treatments of total porosity, aeration, water permeability and holding capacity and the content of N, P, K were improved, but the EC were too large and the C/N was too small. We obtained the best combination was  $A_2 B_2 C_3$  in tomato and pepper seedlings, that the quantity of water retaining agent for drought resistance was  $4 \text{ kg/m}^3$ ,  $V(\text{mushroom residue}) : V(\text{Perlite}) = 3:1$ , ration of carbon to nitrogen was  $35:1$ .

**Key words:** mushroom residue; transformation promoter; fermentation; nursery substrate