

双孢蘑菇菌渣堆肥及其肥效的研究

胡清秀¹, 卫智涛^{1,2}, 王洪媛¹

(1.中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2.中南林业科技大学生命科学学院, 长沙 410006)

摘要:为了促进农业废弃物资源的循环利用,以双孢蘑菇菌渣为研究对象,通过菌渣堆肥中添加发酵剂或鸡粪的处理,分析了堆肥过程中各个时期不同处理的温度、pH 值、EC 值、全氮、全磷和全钾的变化趋势,并用腐熟后的堆肥菌渣进行了水稻肥效试验。结果表明,双孢蘑菇菌渣堆制过程中加入发酵菌剂可快速提高堆体温度,与未加发酵菌剂的堆肥处理 A 相比,在堆肥中加入发酵菌剂后,堆肥中全氮、全钾和速效钾的含量增加量分别为处理 A 的 3 倍、1.43 倍和 2.67 倍;菌渣堆肥结束后,处理 A、处理 B 和处理 C 速效磷含量分别比发酵前增加了 54.5%、38.5%和 58.3%。菌渣肥水稻田间试验表明,双孢蘑菇菌渣有机肥能够促进水稻增产,菌渣堆肥增产效果优于不发酵菌渣,而加于菌剂处理的堆肥增产效果最佳,按 400 kg·667 m⁻² 施肥,水稻空瘪粒数少,穗粒饱满,水稻单产 553.37 kg·667 m⁻²,与当地常规施肥方式相比较增产 20.55%,与不施肥处理相比较增产 44.18%。

关键词:双孢蘑菇;菌渣;堆肥;菌剂;肥效试验

中图分类号:S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)09-1902-08

Agaricus bisporus Residue Compost and Its Fertilizer Efficiency

HU Qing-xiu¹, WEI Zhi-tao^{1,2}, WANG Hong-yuan¹

(1.Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2.College of Life Science, Central South University of Forest and Technology, Changsha 410006, China)

Abstract: The present study was designed to promote cyclic utilization of agricultural waste resources by taking *Agaricus bisporus* residues as investigated subject. By adding microbial inoculant or chicken manures into the *Agaricus bisporus* residue compost, the change trends of temperature, pH value, EC value, total nitrogen, total phosphorus and total potassium at different periods in the compost preparation and in different treatments were analyzed. The performance of the residue compost on paddy rice were studied as well. The result showed that the addition of microbial inoculant during the preparation of *Agaricus bisporus* residues compost could rapidly increase the compost temperature. Compared with the treatment A, the contents of total nitrogen, total phosphorus and available potassium in the compost added with the microbial inoculant increased by 3, 1.43 times and 2.67 times, respectively. After composting, the content of available phosphorus in the treatment A, treatment B and treatment C increased by 54.5%, 38.5% and 58.3% respectively. The field experiment of the residue compost on paddy rice indicated that organic fertilizer of *Agaricus bisporus* residues could promote yield increase of paddy rice. The residue compost had better effect on crop yield than that of non-fermented residue. The residue compost added with microbial inoculant had the best effect. With fertilizer application at 400 kg·667 m⁻², the paddy rice had less empty grain per ear and the yield reaches at 553.37 kg·667 m⁻², while the yield increased by 20.55% compared with that under conventional fertilizer application treatment and by 44.18% compared with that with no fertilizer application treatment.

Keywords: *Agaricus bisporus*; fungi residues; compost; microbial inoculant; fertilizer efficiency experiment

双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)是世界上栽培范围最广,产量最高的一种食用菌,我国双孢蘑菇产量已达到 218.2 万 t(中国食用菌 2009 年统计数据),主要

生产基地有福建龙海和闽侯县、山东莘县、江苏沭阳县、河南夏邑县、广西横县、河北宁晋县等。双孢蘑菇产业发展为我国农民增收、农业增效发挥了重要的作用,有力地促进了循环农业的发展。

随着双孢蘑菇的大面积发展,双孢蘑菇栽培后形成的菌渣数量日益增长,大量蘑菇渣就地堆放或直接施入田中,由于菌渣腐解不完全,直接施入农田肥效作用小,腐解速度慢,影响到植物的生根和成活;而直

收稿日期:2011-03-01

基金项目:“十一五”支撑项目“东南地区农田秸秆菌业循环生产技术集成研究与示范”(2007BAD89B1)

作者简介:胡清秀(1963—),女,湖南长沙人,研究员,主要从事食用菌栽培与菌业循环技术研究。E-mail:hqx9758@126.com

接堆放则造成周围环境的破坏,给附近居民生活造成严重影响,也给食用菌生产环境带来杂菌污染。因此,如何实现菌渣资源化利用,规模化、标准化处理,提高食用菌生产综合效益,已成为当前食用菌产业亟待解决的新课题。

双孢蘑菇栽培一般以稻草、牛粪为主要原料,经一次发酵、二次发酵后播种、出菇。栽培后的菌渣不仅含有丰富的营养物质^[1],而且含有数量庞大、种类繁多的微生物群落,特别是含有较多对纤维素类物质有很强降解能力的真菌类微生物,并含有大量木质纤维素降解酶和各类水解酶^[2-4],同时蘑菇渣又是一种很好的有机肥料和土壤调理剂^[5-9]。然而,有关双孢蘑菇渣堆肥技术研究报道很少。为了更好地开发利用双孢蘑菇菌渣,本研究通过对双孢蘑菇渣堆肥过程的处理,并经水稻肥效试验,以期提高双孢蘑菇菌渣肥力水平,促进农业废弃物资源的循环利用。

1 材料与方法

1.1 材料

菌渣:取自福建省龙海市角美镇农家双孢蘑菇栽培基地,pH 值 8.26、电导率(EC 值)2.2 mS·cm⁻¹,有机碳、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)质量分数分别是 47.34%、1.29%、0.5%、1.87%。

鸡粪:取自福建省漳州市某养鸡场,pH 值 7.43、EC 值 7.81 mS·cm⁻¹,有机碳、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)质量分数分别是 33.85%、2.15%、2.81%、1.83%。

发酵菌剂:北京市京圃园生物工程有限公司提供的“有机肥发酵菌曲”。

1.2 试验方法

1.2.1 堆肥试验

堆肥试验设计:取菌渣 1.5 t,堆体的基部长 2 m、宽 1.5 m、堆体高 1 m,堆肥的初始条件是将堆体的含水质量分数调节至 55%左右,然后如表 1 所示依次加入菌剂或鸡粪,共设 4 个处理(表 1),处理 A、B、C 均按常规方法堆制发酵,但处理 A 不添加鸡粪和菌剂,处理 B 添加鸡粪和菌剂,处理 C 添加菌剂;发酵过程中每 3 d 翻堆 1 次,翻堆时补充水分,以保证堆肥含

表 1 试验处理			
Table 1 Method of experiment treatment of fungi residues			
处理 Treatment	鸡粪 Chicken manure	菌剂 Inocula	菌渣 Fungi residues
A	0	0	1.5 t
B	0.35 t	3 kg	1.15 t
C	0	3 kg	1.5 t
D	0	0	1.5 t

水率达到 55%左右。发酵天数为 16 d。处理 D 与处理 A 的堆肥成分相同,只是处理 D 不进行发酵处理,含水量低于 20%。

样品采集与制备:从堆肥开始,分别在建堆、堆肥升温期、翻堆后 1 d、堆肥结束时取样,即在堆肥开始后第 1、3、6、9、12、16 d 取样。

取样方法:采用四分法取样,每次取样 1 kg。

1.2.2 水稻基肥试验

试验地土壤分析:菌渣有机肥施用前,两次对当地土壤的理化性质进行分析,见表 2。从该表可以看出,对当地土壤的总体评价是:耕地土壤碱解氮含量居中等水平,有机质、全氮、速效磷、速效钾含量均为中下等水平,土壤阳离子代换量小,pH 值低。

田间试验设计:堆肥结束后,测定 4 种堆肥养分含量(表 3)。根据配方施肥的要求及菌渣有机肥中养分含量,试验设 18 个处理(表 4),分别施入处理 A、处理 B、处理 C、处理 D,每个处理按照 400、600、800、1 200 kg·667 m⁻² 4 个梯度进行施肥,以未施肥或只施化肥为对照(CK1、CK2),各处理均设 3 次重复,共 54 个小区,每处理面积 45 m²。按照均衡施肥原理,各处理养分总施用量按基肥氮 7.29 kg·667 m⁻²,P₂O₅ 6 kg·667 m⁻²,K₂O 9 kg·667 m⁻²,追肥氮 4.8 kg·667 m⁻² 设计,过磷酸钙和氯化钾均作基肥施入。

1.3 测定方法

1.3.1 堆肥过程中各指标测定

温度:温度计采用国药集团化学试剂北京有限公司定制的 1.2 m 长的双金属温度计,插入堆体深度为 45 cm。从建堆后开始,每天早、中、晚 3 次,每次分上下两层,每层 3 个点进行测温。

pH 值和电导率:采用水样比 10:1 振荡 1 h 后离

表 2 水稻试验地土壤理化性状								
Table 2 Physical and chemical properties of soil of rice plots								
pH 值	CE 值/ μS·cm ⁻¹	有机质 Organic matter/%	全氮 Total N/%	全磷 Total P/%	全钾 Total K/%	速效氮 Available N/mg·kg ⁻¹	速效磷 Available P/mg·kg ⁻¹	速效钾 Available K/%
5.27	142.5	2.25	0.19	0.093	2.26	54.4	123	0.04

表 3 4 种菌渣堆肥的养分含量

Table 3 The nutrient content in four residue composts

菌渣堆肥 Residue compost	有机质 Organic matter/%	全氮 Total N/%	全磷 Total P/%	全钾 Total K/%	速效氮 Available N/mg·kg ⁻¹	速效磷 Available P/mg·kg ⁻¹	速效钾 Available K/%
A	45.80	1.43	0.82	1.89	260	0.17	1.52
B	46.66	1.58	1.18	1.95	333	0.18	1.62
C	45.07	1.56	0.85	1.88	344	0.19	1.72
D	47.34	1.29	0.50	1.67	270	0.082	1.37

表 4 各处理双孢蘑菇菌渣堆肥及肥料每小区施用量(kg)

Table 4 The usage of *Agaricus bisporus* residue compost and fertilizer in different treatments(kg)

处理 Treatments	菌渣堆肥 Residue compost	基肥尿素 Base fertilizer urea	追肥尿素 Topdressing urea	过磷酸钙 Superphosphate	氯化钾 Potash chloride
CK1	0	0	0	0	0
CK2	0	15.7	10.4	50	15
A-1	400	7.3	10.4	44.4	4.2
A-2	600	3.1	10.4	33.9	0
A-3	800	0	10.4	33.3	0
A-4	1 200	0	8.7	27.7	0
B-1	400	9.2	10.4	35.4	4.1
B-2	600	5.9	10.4	28.1	0
B-3	800	2.7	10.4	20.8	0
B-4	1 200	0	10.4	6.1	0
C-1	400	9.9	10.4	38.8	3.6
C-2	600	7.1	10.4	33.2	0
C-3	800	4.2	10.4	27.6	0
C-4	1 200	0	8.7	16.4	0
D-1	400	8.8	10.4	40.1	4.3
D-2	600	5.4	10.4	35.2	0
D-3	800	2.0	10.4	30.2	0
D-4	1 200	0	8.7	20.3	0

心过滤,取滤液测定。

有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效氮、速效钾均采用常规方法测定^[10]。

1.3.2 稻田肥效

测定收获期水稻的株高、穗长、每穗粒数、单株穗重、单株穗粒重、每穗空瘪粒数、千粒重、小区产量、计算亩产量。

2 结果与讨论

2.1 堆肥过程中温度的变化

温度变化是堆体微生物活动和堆肥进程的直观反映,同时也是堆肥快速腐熟的一个重要参数。本试验结果表明(图 1),各个处理总体变化趋势相似,在最后阶段温度接近室温,变化不大,无显著差异。可以判断各个堆肥处理已达到堆肥腐熟度指标要求。与不

添加鸡粪和菌剂的 A 处理相比,添加了发酵菌剂的 2 个处理(处理 B、处理 C)温度升高较快,堆置 1 d 后分别达到 54.8 ℃和 55.2 ℃;升温阶段,各处理堆体温度上升速率为 C>B>A;堆肥结束时,处理 C 温度比处理 A 提前 3 d 下降到 45 ℃以下。表明双孢蘑菇菌渣堆肥时加入发酵菌剂,不仅有利于堆肥温度快速上升,而且可以缩短堆肥时间。

2.2 堆肥过程中电导率的变化

电导率(EC)反映了堆肥浸提液中离子总浓度,即可溶性盐含量,在一定范围内,溶液的含盐量与 EC 值正相关。由试验结果(图 2)可以看出,未进行堆置的菌渣电导率为 2 200 μS·cm⁻¹。菌渣经过堆制发酵处理,EC 值在堆肥过程中逐渐升高,但处理 B 在堆肥过程中 EC 值变化呈现波动性,先降低后升高之后又降低。这是因为处理 B 的鸡粪中含有大量的氨随着

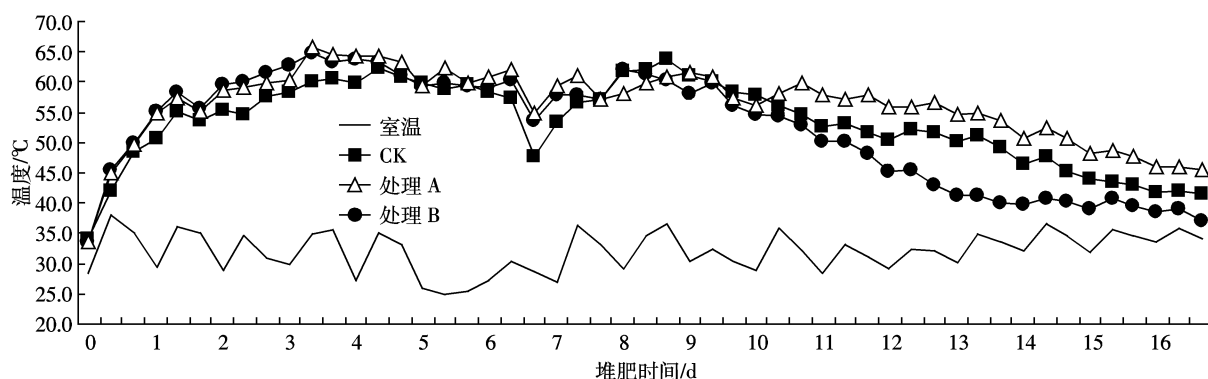


图1 蘑菇渣堆肥过程中温度变化

Figure 1 Change trends of temperature during composting of fungi residues

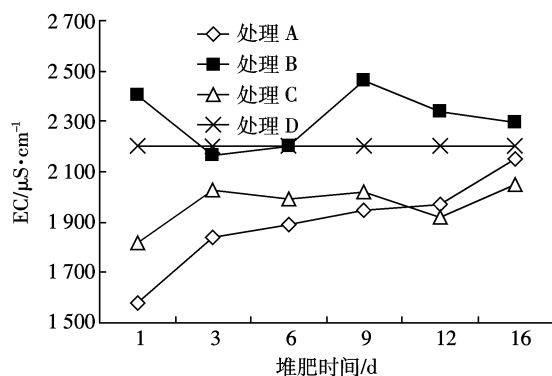


图2 蘑菇渣堆肥过程中电导率变化

Figure 2 Change trends of EC during composting of fungi residues

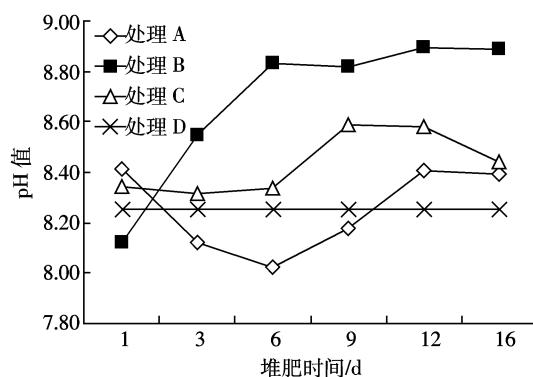


图3 蘑菇渣堆肥过程中 pH 变化

Figure 3 Change trends of pH value during composting of fungi residues

微生物分解作用挥发严重,且翻堆加速了氨、二氧化碳等气体的挥发,导致 EC 值的下降;随着堆肥的进行,有机酸和各种离子进一步积累而使 EC 值逐渐回升;各种有机物分解作用逐渐减弱,EC 值缓慢下降,最终 4 个处理的 EC 值均稳定在 $1900\sim 2300\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 范围之内,避免了不经处理的堆肥直接施入后,因肥料中各种离子波动性变化而对作物生长造成影响。总的来说,双孢蘑菇菌渣是经过一次发酵后的堆肥原料,堆肥过程中 EC 值虽呈现出一定波动性,但整体变化不大,远低于抑制作物生长的限定值 $4000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ [11]。

2.3 堆肥过程中 pH 值的变化

pH 是影响微生物生长的重要因素之一,大多数微生物最适宜生长的 pH 值为中性或弱碱性,pH 值太高或太低都将影响堆肥的效果。由于双孢蘑菇生产过程中,培养料中加入了石灰,4 种菌渣堆肥处理的起始 pH 值较高在 8.3 左右(图 3)。在整个堆肥过程中,各处理 pH 值变化在 8.0~8.8 之间。处理 B 由于加入了鸡粪导致起始 pH 值偏低,随着微生物分解作用

而释放出大量氨气使得其在堆肥初期 pH 值快速升高;处理 C 和处理 A 在堆肥初期由于微生物的快速繁殖,产生大量有机酸使得物料 pH 值下降,其中处理 A 表现的尤其明显,而处理 C 中由于加入的发酵曲霉能够快速分解堆肥过程中产生的有机酸等,对堆肥 pH 值的降低起到了一定的缓解作用。

2.4 堆肥过程中有机质的变化

在堆肥过程发生的各种生化反应中,有机质是微生物赖以生存和繁殖的基本条件,因此有机质的变化能在一定程度上反映出堆肥的进程,可以通过研究堆肥过程中有机质的降解率来判断堆肥的腐熟度 [12-16]。由图 4 看出,处理 A、B 和 C 的有机质总体变化趋势一致,在堆肥结束时有机质含量分别下降了 3.02%、4.46%、3.89%,在堆肥第 9 d 时处理 B 和处理 C 有机质降解率分别是处理 A 的 1.83 倍和 1.32 倍,说明添加发酵菌剂能加快堆肥过程中有机质的降解。

2.5 堆肥过程中全氮、全磷、全钾的变化

堆肥中全氮、全磷、全钾的变化如表 5。从试验结果来看,全氮在堆肥过程中呈现出增加的趋势,处理

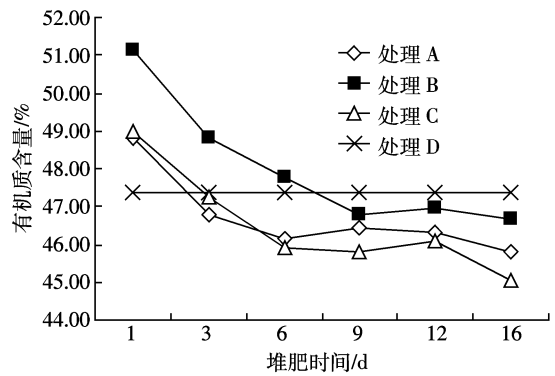


图 4 蘑菇渣堆肥过程中有机质变化

Figure 4 Change trends of organic matter during composting of fungi residues

A、B 和 C 分别从开始的 1.4%、1.44%、1.47%增加到堆肥结束的 1.43%、1.58%、1.56%，比发酵前分别上升了 2.1%、9.7%、7.5%；全磷的含量在堆肥中上升幅度较大，处理 A、B 和 C 分别由开始的 0.56%、0.93%、0.61%上升到堆肥结束的 0.82%、1.18%和 0.85%，分别上升了 47.2%、26.4%和 40.3%；全钾的含量在堆肥中呈上升态势，处理 A、B 和 C 分别由开始的 1.73%、1.81%和 1.60%上升到堆肥结束的 1.89%、1.95%和 1.88%，分别增加了 8.8%、7.5%和 17.7%。表明蘑菇渣中添加发酵菌剂能有效促进堆肥中钾的积累。

从以上数据可以看出，添加发酵菌剂能够明显提高堆肥中全氮、全钾的含量。经方差分析表明，处理 C 与处理 A 全磷变化存在极显著差异($P=0.001$)，处理 C 的全氮增加比例是处理 A 的 3 倍，全钾增加比例是处理 A 的 2 倍。

2.6 堆肥过程中速效氮、速效磷、速效钾的变化

在堆肥过程中，有机物中被固定的养分得到了充分活化，除速效氮外，速效磷、速效钾均明显增加，如图 5~图 7 所示。

由图 5 可以看出，建堆后 1~2 d 内，速效氮含量快速上升，从第 3 d 开始，处理 A、B、C 的速效氮含量

均明显下降，损失严重。和表 5 中全氮含量变化相比可发现，全氮含量增加，速效氮含量减少，说明堆肥在发酵过程中损失的氮主要来自速效氮。特别是处理 B，虽然全氮含量增加明显，速效氮却没有得到有效积累。方差分析表明，处理 A 与处理 B 的速效氮变化存在极显著差异($P=0.001$)。

由图 6 可见，堆肥初期，速效磷的含量呈现减小趋势(堆肥前 6 d)。这是由于在堆肥初期，堆肥中的有机酸含量减少^[17]，溶解磷的能力有限，而微生物繁殖要消耗堆肥中固有的速效磷，将大量磷固定在生物体内，导致速效磷含量下降，随着堆肥的进行，微生物数量增多，活性增强，降解有机质释放有机酸，同时加上自身活动产生的有机酸，使堆肥中有机酸含量明显增加^[18]，加速了对无机磷的溶解。在堆肥后期，微生物大量死亡，固定在生物体内的磷素被释放出来，在一定程度上提高了堆肥中速效磷的含量，处理 A 和处理 C 在堆肥后速效磷含量增加明显，分别增加了 54.5%和 58.3%，而处理 B 速效磷含量只增加了 38.5%，这可能是由于鸡粪的腐熟度与双孢蘑菇菌渣有着较大差异，双孢蘑菇渣中的秸秆已经过多次发酵，鸡粪只有一次发酵，鸡粪不能在短时间的发酵中被微生物彻底分解，因而处理 B 中磷未完全释放。

由图 7 可见，处理 A、B 和 C 的速效钾的增加量分别为：10.9%、13.2%、30.3%，明显高于 3 种处理中全磷和全钾的增加量，说明经过堆肥处理蘑菇渣中的速效养分得到了明显的活化。

2.7 腐熟后菌渣有机肥稻田施用结果

4 种处理的双孢蘑菇菌渣堆肥根据均衡施肥的标准，每 667 m² 每处理按照 400、600、800、1 200 kg 4 种不同梯度施用，经过统计分析，结果如表 5。

从水稻产量来看，双孢蘑菇菌渣有机肥可显著提高水稻产量，最高产量达 554.06 kg·667 m⁻²，但每种菌渣肥处理均有一个最佳施肥量，超过最佳施肥量水

表 5 堆肥过程中全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)的变化(%)
Table 5 Changes of totle N, totle P and totle K during the composting(unit, %)

堆肥时间/d	TN				TP				TK			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	1.40	1.44	1.47	1.29	0.56	0.93	0.61	0.50	1.73	1.81	1.60	1.67
3	1.37	1.32	1.37	1.29	0.59	0.98	0.64	0.50	1.77	1.86	1.91	1.67
6	1.50	1.56	1.37	1.29	0.61	0.78	0.67	0.50	1.82	1.89	1.81	1.67
9	1.39	1.68	1.53	1.29	0.60	1.01	0.67	0.50	1.96	1.93	1.89	1.67
12	1.56	1.60	1.52	1.29	0.72	1.07	0.78	0.50	1.90	1.93	1.91	1.67
16	1.43	1.58	1.56	1.29	0.82	1.18	0.85	0.50	1.89	1.95	1.88	1.67

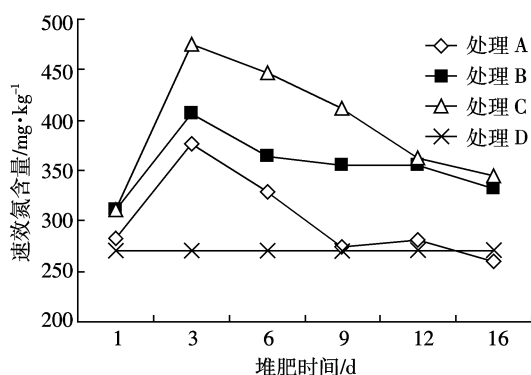


图5 蘑菇渣堆肥过程中速效氮含量变化

Figure 5 Change trends of available N during composting of fungi residues

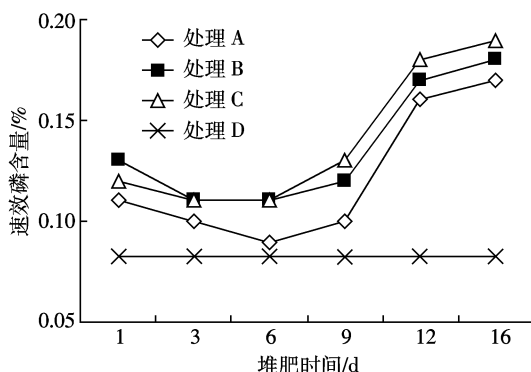


图6 蘑菇渣堆肥过程中速效磷含量变化

Figure 6 Changes of available P during composting of fungi residues

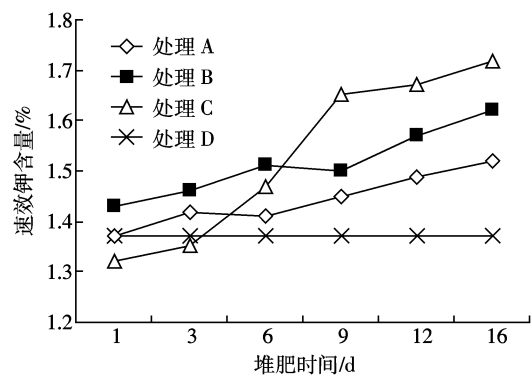


图7 蘑菇渣堆肥过程中速效钾含量变化

Figure 7 Changes of available K during composting of fungi residues

稻产量随着施肥量的增加反而有所下降。处理 A 的最佳施肥量为 $400 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 B 的最佳施肥量为 $600 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 C 的最佳施肥量为 $400 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 D 的最佳施肥量为 $400 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 在最佳施肥量下处理 A 产量为 $516.06 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 B 产量为 $554.06 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 C 产量为 $553.37 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 D 产量为 $498.24 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$ 。未施肥的小区产量 CK1 仅为 $383.79 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 A-1、B-2、C-1、D-1 比 CK1 产量分别提高 34.46%、44.37%、44.18%、29.82%;按当地常规方法施肥的小区 CK2 产量为 $459.02 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^2$, 处理 A-1、B-2、C-1、D-1 与 CK2 相比, 产量分别提高 12.43%、20.71%、20.55%、8.54%。处理 C 按每 667 m^2 400 kg 施肥水稻产量即可达到与处理 B 按每 667 m^2 600 kg 施肥相当的产量, 且增产效果明显。

从 4 种堆肥处理的最佳产量施肥的各种参数对比中可以看出, 处理 C-1 的单株穗重和单株穗粒重最重分别是 8.24 g 和 7.47 g , 每穗粒数最多 306 粒, 每穗空瘪粒数最少 9 粒, 该处理穗粒饱满, 结实率高; 处理 A-1 的千粒重最优 25.17 g , 但是每穗粒数较少为 283 粒, 单株穗重为 7.13 g , 说明该处理虽然稻粒饱满但是结实率较低; 处理 D-1 株高 112.38 cm , 千粒重和单株穗重较轻, 且每穗空瘪粒数较高, 为 14 粒, 说明该处理对于水稻前期生长作用明显, 对于水稻后期生长作用不大。总的来说, C-1 为最佳施肥配方, 处理 C 肥效最佳, 对于水稻增产效果明显。

3 结论

通过双孢蘑菇菌渣不同处理堆肥过程中的肥力变化以及对堆肥结果进行稻田试验及数据分析, 得出如下结论:

(1) 在双孢蘑菇菌渣堆肥中加入菌剂可以快速提高堆肥温度, 缩短堆肥时间。堆肥 1 d 后处理 B 和处理 C 的温度分别达到 54.8°C 和 55.2°C , 在降温阶段, 处理 C 比处理 A 提前 3 d 温度下降到 45°C 以下。处理 B 和处理 C 由于加入了发酵菌剂, 在堆肥的初始阶段, 温度升高迅速, 说明微生物活动剧烈, 有利于微生物的分解和除臭^[9]。

(2) 双孢蘑菇菌渣是经过一次微生物分解后的剩余物料, 其中含有多种微生物, 营养成分丰富^[1], 只需要加入发酵菌剂即可使得营养成分得到进一步有效的积累, 达到良好的发酵效果。在堆肥中加入发酵菌剂可显著提高全氮、全钾和速效钾的含量, 与处理 A 相比处理 C 的全氮的增加量为处理 A 的 3 倍, 全钾增加量为处理 A 的 1.43 倍, 速效钾增加量为处理 A 的 2.67 倍。建堆后 1~2 d, 速效氮含量快速上升, 从第 3 d 开始, 明显下降, 损失严重, 发酵后期下降速度逐渐趋于平缓; 堆肥初期, 速效磷的含量呈现减小趋势 (前 6 d), 6 d 后逐渐上升, 发酵结束时, 处理 A、B 和 C

表 6 不同配方施肥水稻产量等指标的比较

Table 6 Indexes of rice in different treatment fertilizer

处理	单株穗重/g·穗 ⁻¹	千粒重/g	单株穗粒重/g	每穗粒数	产量/kg·667 m ⁻²	株高/cm	穗长/cm	每穗空瘪粒数
CK1	7.07	25.44	6.59	259	383.79	106.40	22.63	9
CK2	7.65	24.65	7.07	286	459.02	110.17	23.09	15
A-1	7.79	25.17	7.13	283	516.06	111.20	23.06	10
A-2	7.73	24.52	7.29	297	500.06	110.87	23.06	11
A-3	7.65	24.40	7.08	290	505.67	108.20	22.66	11
A-4	7.88	25.50	7.38	290	476.18	111.64	23.18	12
B-1	8.21	26.09	7.56	291	526.29	110.87	23.36	11
B-2	7.40	24.24	6.84	282	554.06	111.33	22.63	10
B-3	8.30	24.95	7.62	306	500.22	109.73	22.88	10
B-4	7.44	24.11	6.89	286	493.18	106.67	23.05	12
C-1	8.24	24.62	7.47	306	553.37	110.58	22.44	9
C-2	8.33	24.72	7.61	308	539.33	112.62	22.86	14
C-3	7.40	24.57	6.87	280	518.51	109.02	22.76	14
C-4	7.58	24.30	7.08	291	502.31	108.84	23.17	11
D-1	7.37	23.98	6.82	284	498.24	112.38	22.91	14
D-2	7.54	24.83	6.99	282	489.38	110.07	23.14	11
D-3	7.86	25.24	7.28	288	432.88	107.98	22.62	11
D-4	7.69	24.19	7.05	292	482.10	108.91	22.58	12

分别比发酵前增加了 54.5%,38.5%和 58.3%;速效钾比发酵前的增加量分别为 10.9%、13.2%、30.3%。

(3)腐熟菌渣有机肥稻田试验结果表明,处理 C-1 水稻空瘪粒数少、稻穗饱满,可以使水稻产量与普通农民施肥相比增产 20.55%, 与不施肥相比增产 44.18%,增产效果明显。

参考文献:

[1] 王德汉, 项钱彬, 陈广银. 蘑菇渣资源的生态高值化利用研究进展[J]. 有色冶金设计与研究, 2007, 28(2):262-266.
WANG De-han, XIANG Qian-bin, CHEN Guang-yin. Research progress of ecological higher value application of spent mushroom compost[J]. *Nonferrous Metals Engineering & Research*, 2007, 28(2):262-266.

[2] Andrew S Ball, Anita M Jackson. The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost[J]. *Bioresource Technology*, 1995, 54:311-314.

[3] 李顺鹏, 沈 标, 樊庆笙. 从食用菌菇渣中提取粗纤维素酶的研究[J]. 南京农业大学学报, 1991, 14(3):120-121.
LI Shun-peng, SHEN Biao, FAN Qing-sheng. The research of crude extracting cellulase from the edible fungi residue[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1991, 14(3):120-121.

[4] Trejo-Hernandez M R, Lopez-Munguia A, Quintero Ramirez R. Residual compost of *Agaricus bisporus* as a source of crude laccase for enzymic oxidation of phenolic compounds[J]. *Process Biochemistry*, 2001(36):635-639.

[5] 刘宝勇. 食用菌废料在矿区复垦土壤改良中的应用试验研究 [J]. 露天采矿技术, 2007, 1:64-66.

LIU Bao-yong. Experimental investigation of the application of edible fungus waste in mining area reclamation and soil improvement[J]. *Open-cast Mining Technology*, 2007, 1:64-66.

[6] 宋法龙, 马友华, 江 云, 等. 农业废弃物替代生态护坡基质中泥炭的效果研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13):226-229.
SONG Fa-long, MA You-hua, JIANG Yun, et al. Study on the effect of agricultural wastes as substitute for peat in materials of slope ecology protection[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(13):226-229.

[7] 孙建华, 袁 玲, 张 翼. 利用食用菌菌渣生产有机肥料的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2008(1):52-54.
SUN Jian-hua, YUAN Ling, ZHANG Yi. Research on compost manufacture by use of edible fungus dregs[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008(1):52-54.

[8] Medina E, Paredes C, Pérez-Murcia M D, et al. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100:4227-4232.

[9] Ribas L C C, De Mendon M M, Camellini C M, et al. Use of spent mushroom substrates from *Agaricus subrufescens* (syn. *A. blazei*, *A. brasilensis*) and *Lentinula edodes* productions in the enrichment of a soil-based potting media for lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation: Growth promotion and soil bioremediation[J]. *Bioresource Technology*, 2009(100):4750-4757.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000:433-438.
BAO Shi-dan. Soil analysis in agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000:433-438.

[11] 李吉进. 畜禽粪便高温堆肥机理与应用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.

- LI Ji-jin. Study on mechanism of high temperature composting of live-stock manure and its application[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004.
- [12] Chefetz B, Hatcher P G, Hadar Y, et al. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipals. lid waste[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(4): 776-785.
- [13] Gennaro M C, Ferrara E, Abollino O, et al. Multi-method analysis in studies of characterization and degradation of municipal treatment sludges[J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1993, 53(2): 101-114.
- [14] Murwira H K, Kirchmann H, Swift M J. The effect of moisture on the decomposition rate of cattle manure[J]. *Plant and Soil*, 1990, 122(2): 197-199.
- [15] Domeizel M, Khalil A, Prudent P. UV spectmscopy: A tool for monitoring humification and for proposing an index of the maturity of compost[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 94(2): 177-184.
- [16] Jimenez E I, Garcia V P. Determination of maturity indices for city refuse composts[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1992, 38(4): 331-343.
- [17] 魏自民, 王世平, 魏 丹, 等. 生活垃圾堆肥过程中有机态氮形态的动态变化[J]. *植物营养与肥科学报*, 2005, 11(2): 194-198.
- WEI Zi-min, WANG Shi-ping, WEI Dan, et al. Dynamic changes of organic nitrogen forms during the municipal solid wastes composting[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(2): 194-198.
- [18] Kelley K R, et al. Forms and nature of organic N in soils [J]. *Fertilizer Research*, 1995, 42: 1-11.
- [19] 谷 洁, 李生秀, 秦清军, 等. 农业废弃物静态高温堆腐过程中的生物化学变化[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(8): 1699-1705.
- GU Jie, LI Sheng-xiu, QIN Qing-jun et al. Changes of biochemical properties of agricultural waste materials during composting in high temperature and static state[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(8): 1699-1705.

欢迎订阅 2012 年

《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》是由农业部主管、农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会主办的全国性学术期刊。是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊, 列于被引频次最高的中国科技期刊 100 名之内并入编《中国学术期刊(光盘版)》。本刊还被国外多家著名检索机构收录, 如美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ), 美国《剑桥科学文摘社网站: 水系统、水科学与渔业文摘、环境工程、水资源文摘及环境科学与污染管理》等 7 种国际检索系统列为来源期刊。本刊主要刊登农业生态环境科学领域具有创新性的研究成果, 包括新理论、新技术和新方法。读者对象为从事农业科学、环境科学、林业科学、生态学、医学和资源保护等领域的科技人员和院校师生。

《农业环境科学学报》为月刊, 每月 20 日出版, 大 16 开, 224 页, 每本定价 40.00 元, 全年定价 480.00 元。国内外公开发行, 全国各地邮局征订, 邮发代号 6-64。如读者在当地邮局漏订, 可通过邮局汇款至本刊编辑部补订。此外, 编辑部存有 2000 年以前的各卷合订本, 欢迎选购。

编辑部地址: 天津市南开区复康路 31 号

邮编: 300191

电话: (022) 23674336

传真: (022) 23674336

电子信箱: caep@vip.163.com

网址: <http://www.aes.org.cn>