

堆肥隧道式后发酵技术及效果

许修宏, 刘颜平, 王 博

(东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 该文采用发酵隧道对堆肥进行后发酵处理, 并测定发酵过程中的温度、pH 值、含氮量、微生物的变化, 旨在为集约化生产双孢蘑菇培养料提供理论依据。该技术可以对堆肥进行 10 h 以上的巴氏灭菌(温度在 57~62℃之间)处理和 5 d 的腐熟处理(温度在 45~53℃之间)。处理后发酵堆肥中氮质量分数从 1.58% 增加至 1.85%; pH 值从 8.7 下降到 7.5。嗜热细菌的菌落数从 5.2×10^8 cfu/g 上升到 7.3×10^8 cfu/g (第 3 天), 发酵结束时降低为 2.88×10^8 cfu/g; 放线菌和嗜热真菌菌落数发酵开始时分别为 2.4×10^5 cfu/g 和 3.2×10^4 cfu/g, 发酵结束时分别为 19.6×10^5 cfu/g 和 10.1×10^4 cfu/g。试验结果表明, 经过隧道式后发酵的堆肥适合于双孢蘑菇生长需要, 隧道式后发酵技术可以用于规模化生产优质双孢蘑菇培养料。

关键词: 发酵, 隧道, 废物, 堆肥, 后发酵

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.11.055

中图分类号: S23.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-11-0297-04

许修宏, 刘颜平, 王 博. 堆肥隧道式后发酵技术及效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 297-300.

Xu Xiuhong, Liu Yanping, Wang Bo. Technology and effect of Phase II composting in compost tunnel[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 297-300. (in Chinese with English abstract)

0 引言

利用农作物秸秆和畜禽粪便发展双孢蘑菇生产, 既可减少环境污染, 又可废物利用, 既可提高经济效益^[1], 又可保持农业的生态平衡^[2]。目前国内外多采用二次发酵技术生产双孢蘑菇^[3-4], 二次发酵包括前发酵和后发酵^[5]。中国大多采用简易(外加热)的发酵方式进行后发酵, 该发酵方式具有能耗大、运行成本高、劳动强度大等缺点^[6-7]; 在国外一般采用隧道发酵技术进行后发酵^[8-9], 该技术具有生产效率高、堆肥发酵效果好、运行成本低等优点, 但是在国内只有极少数部门采用后发酵隧道技术, 这方面的研究鲜见报道。因此本文采用后隧道发酵工艺, 制备双孢蘑菇的培养料, 并研究后发酵隧道内的温度、pH 值、含氮量等的变化, 旨在为应用后发酵隧道技术集约化生产双孢蘑菇培养料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料

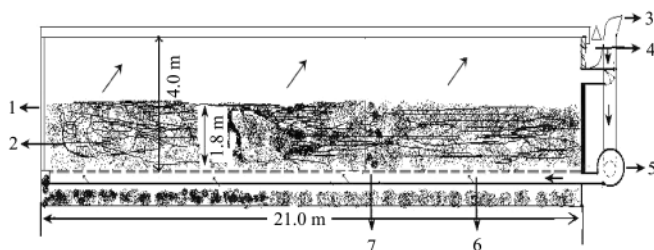
堆肥原料及配方。稻草 9 900 kg、牛粪 4 350 kg、鲜鸡粪 399 kg、豆饼粉 16 kg、尿素 60 kg、石膏粉 324 kg、石灰粉 154 kg、过磷酸钙 71 kg。氮质量分数 1.27%。

1.1.2 仪器与设备

仪器: JKXZ06-20B 恒温加热消煮炉(济南精密科学

仪器仪表有限公司)消化样品, BRAN+LUEBBE-AA3 型连续流动分析仪(德国布朗卢比公司)测定消化样品的氮质量分数, PHS-3C 型数字 pH 计(苏州净化设备有限公司)测定样品的 pH 值, SPX-250B-Z 型生化培养箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂)培养嗜热细菌、放线菌和嗜热真菌。

后发酵隧道内部宽 4 m, 高 4 m, 长 21 m(图 1)。隧道的地板下面埋有通风的管道, 管道上设通风孔。在堆肥发酵过程中, 由大功率风机(全压: 2 811 Pa; 流量: $19\ 650\ \text{m}^3/\text{h}$)产生的强制气流通风管道吹过堆肥层, 再由隧道门上部的百叶窗排出或循环利用。在发酵开始时每小时通入 1.5 min 的新风和 5 min 的循环风, 使堆肥的温度快速上升到 57℃, 进入巴氏灭菌阶段; 巴氏灭菌结束后, 逐渐加大新风的通入时间, 直到每小时通入 2 min 的新风和 5 min 的循环风直到发酵结束。在距风机端 3 m 处(近端)与距风机端 18 m 处(远端)各放 2 个温度探头, 探头距离地面分别为 40 和 140 cm。探头与隧道外的控制仪及通风系统相联动, 通过调整新风与循环风的比例控制堆肥发酵的含水率和所需要的氧气、温度。



1.门 2.堆肥 3.百叶窗 4.气窗 5.风机 6.管道 7.通风孔

图 1 后发酵隧道断面图

Fig.1 Sectional drawing of the Phase II composting tunnel

收稿日期: 2009-02-13 修订日期: 2009-10-15

基金资助: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-09-03); 哈尔滨市科技攻关计划项目(2007AA6CN105); 东北农业大学创新团队发展计划项目(CXT003-2-1)

作者简介: 许修宏(1968—), 男, 吉林舒兰市人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 农业固体废弃物的利用。哈尔滨 东北农业大学, 150030。

Email: lyp830210@163.com; howard2857@hotmail.com

1.2 试验设计

1.2.1 堆肥隧道式后发酵过程

堆肥的前发酵按常规操作,在12 d内翻堆4次,将经前发酵的堆肥均匀装入2条隧道,料高1.8 m。后发酵分为2个阶段,第一个阶段为巴氏灭菌阶段,通气量应尽量小,以保证堆体温度尽快升高到57~60℃之间,保持10 h以上^[10];第二个阶段为腐熟阶段,加大通气量,以控制堆体温度在48~53℃之间,保持5~6 d。通过控制仪测定隧道内堆料的温度变化,通过调节百叶窗的开、关控制隧道内堆肥温度。

1.2.2 含氮量和pH值的测定

堆肥隧道式后发酵进行7 d,每天定时取样,测定总氮质量分数与pH值。

1.2.3 微生物的测定

从堆肥隧道式后发酵每天取得的样品中,分别称取1 g样品并用无菌水进行 10^{-4} 、 10^{-4} 、 10^{-6} 稀释,吸取1 mL 10^{-4} 的稀释液用高氏I培养基培养放线菌,吸取1 mL 10^{-4} 的稀释液用马丁氏培养基培养嗜热真菌,吸取1 mL 10^{-6} 的稀释液用牛肉膏蛋白胨培养基培养嗜热细菌^[11],分别置于50℃温箱中培养。

2 结果与分析

2.1 后发酵过程中堆肥温度变化

在发酵开始的第1 d堆肥各部分的温度逐渐上升(图2),在第22小时时平均温度达到了57℃,堆肥进入巴氏灭菌阶段,平均温度稳定在57~62℃之间,持续10 h以上。之后5 d平均温度缓慢的降到45~53℃之间,进入腐熟阶段。

在后发酵的7 d过程中,远端上部的温度一直高于其它测定位置的温度,最高时达到了71℃,远端下部的温度最低。近端上部在发酵期间的温度仅次于远端上部的温度,最高温度也达到了71℃。近端下部温度稍高于远端下部的温度。

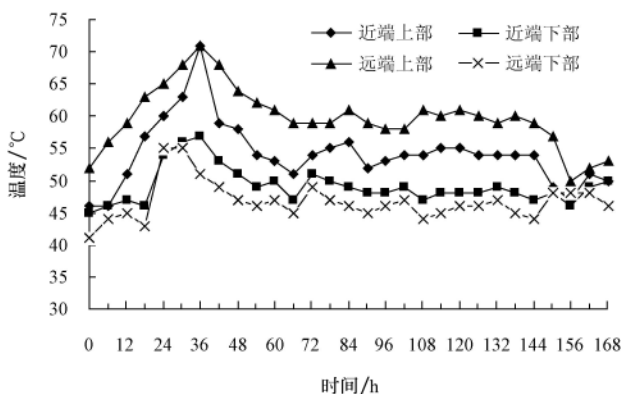
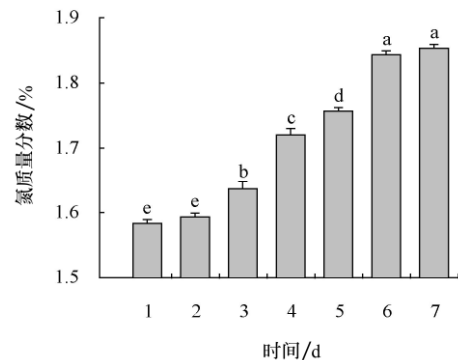


图2 后发酵过程中堆肥的温度变化曲线
Fig.2 Changes of temperature in the compost during Phase II composting

2.2 后发酵过程中堆肥氮质量分数的变化

堆肥前培养料的氮质量分数为1.27%,前发酵结束(后发酵开始)时上升到1.58%。在后发酵过程中堆肥氮

质量分数逐步上升(图3),后发酵的第1~2天上升仅有0.01%。在第2~6天含氮量呈快速上升的趋势,到堆肥的第7 d含氮量上升缓慢,只有0.01%。到后发酵结束时氮质量分数上升到1.85%,在7 d的后发酵过程中氮质量分数上升了0.27%,平均每天上升0.06%。堆肥中的微生物分解碳水化合物,所产生的能量一部分用于微生物自身的生长繁殖,一部分以热能的形式释放出来。在此过程中氮素转化为菌体蛋白而残留下来。由于碳素的减少和氮素的残留,所以堆肥中的总含氮质量分数增加^[10]。



注: a、b、c、d、e表示不同时间的发酵氮质量分数的显著性比较,字母相同表示差异不显著($P>0.05$),不同表示差异显著($P<0.05$)

图3 后发酵过程中堆肥氮质量分数的变化

Fig.3 Changes of nitrogen content in the compost during Phase II composting

2.3 后发酵过程中堆肥pH值的变化

堆肥发酵开始的pH值是9.1,经过前发酵堆肥的pH值下降了0.4,为8.7。后发酵过程中堆肥pH值逐步下降(图4),在后发酵的第1天至第4天pH值平均每天下降0.2,在第5天至第7天平均每天下降0.07,后发酵结束时堆肥的pH值为7.5。

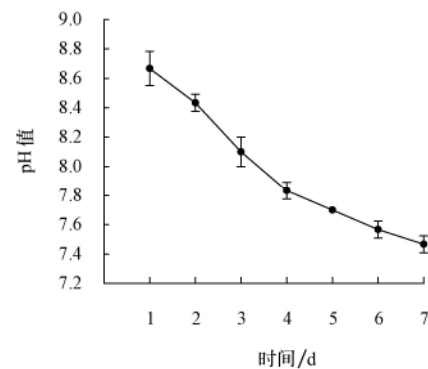


图4 后发酵过程中堆肥的pH值变化

Fig.4 Change of pH value in the compost during Phase II composting

2.4 后发酵过程中堆肥微生物的变化

在隧道内发酵的第1、2天嗜热细菌、放线菌、嗜热真菌数量逐渐增加(图5),但嗜热细菌的数量远高于嗜热放线菌和高温真菌的数量,到第3天达到最高为 7.7×10^8 cfu/g。之后随发酵的进行,嗜热细菌的数量逐渐减少。在整个发酵期间嗜热放线菌和高温真菌都是逐渐

增加的, 并且后发酵结束时嗜热放线菌的数量高于嗜热真菌的数量。后发酵结束时嗜热细菌、放线菌的数量分别是 2.88×10^8 cfu/g 和 19.6×10^5 cfu/g, 这与 W.A.海斯的研究结果相近^[12]。后发酵结束时嗜热真菌的数量是 10.1×10^4 cfu/g。

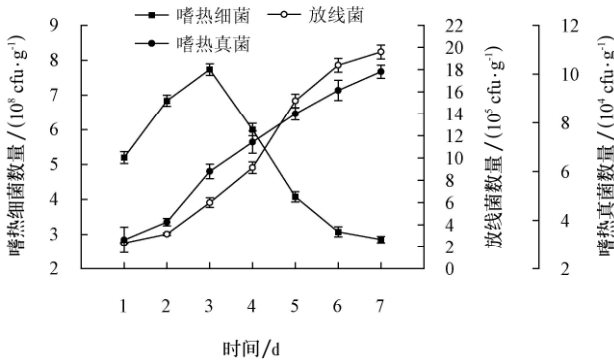


图 5 后发酵堆肥中的微生物变化

Fig.5 Changes of microorganism in the compost during Phase II composting

3 讨论

1) 堆肥后发酵在隧道内进行, 利用培养料中的嗜热微生物发酵使堆肥的温度自然上升。前 2 d 利用高温菌群的活动使堆肥的温度达到 $57 \sim 60^\circ\text{C}$ 之间, 进行巴氏灭菌。在第 2 天至第 7 天含氮量呈直线上升的趋势, 这期间是堆肥的腐熟阶段, 温度降到 $45 \sim 53^\circ\text{C}$ 之间, 有利于堆肥腐熟的菌群代谢。有利于腐熟过程进行的微生物主要是高温细菌和高温放线菌, 两者相互协调、相互促进。同时高温细菌能合成大量多糖类的物质。对于蘑菇菌丝来说, 细菌多糖类物质比单糖更容易被同化吸收。经过这个阶段大部分秸秆已经腐殖质化。这正是蘑菇菌丝能够利用的优良的培养料^[12]。在堆肥发酵的后 3 d, 大量的、绒毛状的菌丝体出现在堆肥的上部, 这是无害的嗜热霉菌, 当温度降低时, 这种霉菌就会快速的消失。当这种霉菌出现时, 是控温条件良好的一个显示^[10]。

2) 本文采用国际先进的隧道式后发酵技术处理畜禽粪便, 制备双孢蘑菇的培养料, 既可解决环境问题, 又可提高经济效益。与耗费大量热蒸汽的传统发酵工艺相比, 隧道发酵的先进性在于①隧道发酵耗能低, 效率高^[12]; ②隧道式后发酵结束时的堆肥料面布满了白色的放线菌, 这是优质堆肥的一个标志, 已知蘑菇菌丝能同化普通嗜热放线菌等的菌体^[10]; ③可将蘑菇生产工艺由一区制改进为 2 区制或 3 区制, 菇房由 1 a 栽培 4 次增加到 8 次, 大大提高生产效率^[13]; ④本研究自行设计建造发酵隧道, 就地取材, 降低成本, 每条隧道造价约为 15 万元, 不到国外同类产品的 1/10。当然, 本试验研究也发现隧道式后发酵的一些不足, 如基础设施投资相对较高^[14]、上下层温度相差较大、近端和远端同一层的温度相差也很大、增加循环风未能达到使料温度混合均匀的目的等。这些具体问题有待于通过进一步的研究和改进来解决。

4 结论

堆肥的隧道式后发酵平均温度 $57 \sim 62^\circ\text{C}$ 持续 10 h 以上, 完全达到巴氏灭菌的效果。温度在 $48 \sim 52^\circ\text{C}$ 维持了 5 d, 堆肥已完全腐熟。在隧道式后发酵期间堆肥的氮质量分数从 1.58% 上升到 1.85%, 满足优质的堆肥在播种时的氮质量分数应在 1.8%~2% 之间^[10] 的要求; 隧道式后发酵期间堆肥的 pH 值从 8.6 下降到 7.5, 优质培养料的 pH 值应在 7.2~7.5 之间^[15]; 在发酵结束每克堆肥中含有的放线菌、嗜热真菌和嗜热细菌数是 19.6×10^5 、 2.88×10^8 和 10.1×10^4 cfu/g, 在高温放线菌和细菌充分繁殖过的堆肥中, 蘑菇菌丝生育良好。这些指标显示经过隧道式后发酵的堆肥适合双孢蘑菇生长需要, 隧道式后发酵技术可以用于规模化生产优质双孢蘑菇培养料。

[参 考 文 献]

- [1] 袁建生, 石朝民, 袁西英. 双孢蘑菇高效栽培新技术[J]. 中国食用菌, 2002, 21(2): 19-21.
Yuan Jiansheng, Shi Chaomin, Yuan Xiying. New efficient cultivate technology of agaricus bisporus[J]. Edible Fungi of China, 2002, 21(2): 19-21. (in Chinese with English abstract)
- [2] 黄建春, 黄丹枫. 双孢蘑菇培养料集中发酵工艺技术研究及其应用[J]. 上海农业学报, 2005, 21(2): 53-57.
Huang Jianchun, Huang Danfeng. Experiment and application of concentrated fermentation technology of agaricus bisporus compost[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2005, 21(2): 53-57. (in Chinese with English abstract)
- [3] 曾广宇, 周国英. 双孢蘑菇堆肥发酵研究现状[J]. 北方园艺, 2007, (12): 237-239.
Zeng Guangyu, Zhou Guoying. Research status of agaricus bisporus compost fermentation[J]. Northern Horticulture, 2007, (12): 237-239. (in Chinese with English abstract)
- [4] 何丽鸿. 双孢蘑菇培养料二次发酵过程中的细菌群落结构研究[D]. 南京: 南京农业大学生命科学学院, 2005.
He Lihong. Study on the Bacterial Communities in the Phase II Ggaricus Bisporus Compost[D]. Nanjing: Coccege of Life Sciences Nanjing Agricultural University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [5] 卢政辉. 双孢蘑菇培养料堆制技术的变革和最新进展[J]. 中国食用菌, 2009, 28(1): 3-5.
Lu Zhenghui. Agaricus bisporus cultivation windrow system, changes in technology and the latest progress[J]. Edible Fungi of China, 2009, 28(1): 3-5. (in Chinese with English abstract)
- [6] 池致念, 王泽生. 蘑菇培养料集中二次发酵初步研究[J]. 中国食用菌, 2001, 21(1): 30-32.
Chi Zhinian, Wang Zesheng. A primarical study on mass-treatment of Phase II compost of mushroom[J]. Edible Fungi of China, 2001, 21(1): 30-32. (in Chinese with English abstract)
- [7] 李荣春, Ralph Noble. 优质双孢蘑菇堆肥的现代堆制模式[J]. 中国食用菌, 2001, 20(1): 24-26.
Li Chunrong, Ralph Noble. Modern composting formula of compost of the high quality[J]. Edible fungi of china, 2001,

- 20(1): 24–26. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张金霞. 食用菌安全优质生产技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 149–154.
- [9] 王振河, 李峰, 姚素梅. 双孢蘑菇生产[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 113–119.
- [10] 杨国良. 蘑菇生产全书[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 152–205.
- [11] 沈萍, 范秀容, 李广武. 微生物学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 49–97.
- [12] W A 海斯. 蘑菇译文集A集[C]. 北京: 中国轻工业出版社, 1980.
- [13] 杨国良, 赵钢勇, 张爱民, 等. 新型蘑菇堆肥隧道发酵的特点及应用效果[J]. 食用菌, 2008, (5): 23–24.
Yang Guoliang, Zhao Gangyong, Zhang Aimin, etc. New type of agaricus bisporus compost fermentation characteristics and effects of application to the tunnel compost[J]. Edible Fungi, 2008, (5): 23–24. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨国良, 赵钢勇, 吴海红, 等. 堆肥隧道后发酵与蘑菇高产技术[J]. 中国食用菌, 2003, 23(1): 18–19.
Yang Guoliang, Zhao Gangyong, Wu Haihong, etc. Phase II composting in tunnel and high yield of agaricus[J]. Edible Fungi of China, 2003, 23(1): 18–19. (in Chinese with English abstract)
- [15] 余荣. 双孢蘑菇引进品种筛选及其生长规律研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学资源与环境学院, 2006.
Yu Rong. The research on Screening and Growth Rule of Introduced Varieties Agaricus Bisporus[D]. Cheungsha: Resources and Environmental Sciences College, Central South University of Forestry and Technology, 2006. (in Chinese with English abstract)

Technology and effect of Phase II composting in compost tunnel

Xu Xiuhong, Liu Yanping, Wang Bo

(Resources and Environmental Sciences College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: A compost tunnel was used in this research to conduct Phase II composting, and temperature, pH value, nitrogen content, microbial changes were determined to provide theoretical basis for intensive production of compost for *Agaricus bisporus* growing. The technique could pasteurize the compost at 57–62°C for 10 h and keep the compost at 45–53°C for 5 d. After Phase II composting, content of nitrogen in compost increased from 1.58% to 1.85%, and pH value decreased from 8.7 to 7.5. Thermophilic bacteria rose from 5.2×10^8 cfu/g to 7.3×10^8 cfu/g at the third day, and decreased to 2.88×10^8 cfu/g in the end. Thermophilic actinomycetes and fungus increased from 2.4×10^5 cfu/g and 3.2×10^4 cfu/g to 19.6×10^5 cfu/g and 10.1×10^4 cfu/g, respectively. The results indicated that after Phase II composting in the tunnel the compost was favorable for growth of the *Agaricus bisporus*, and the technique was recommended to be applied in large-scale production of high-quality compost of *Agaricus bisporus*.

Key words: composting, tunnels, waste, compost, Phase II composting