

高温堆肥中复合菌系对木质纤维素和林丹降解效果的研究

牛俊玲¹, 崔宗均², 李国学¹, 王伟东²

(1. 中国农业大学资源环境学院, 北京 100094; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

摘要: 通过在堆肥中加入经过驯化构建的降解纤维素和林丹的复合菌系, 探讨了接菌处理对提高堆肥效率和有效去除有机污染物的可能性。结果表明, 该复合菌系对纤维素、半纤维素和林丹的降解都有较为明显的促进作用, 而木质素含量在整个堆肥过程中几乎不降解, 复合菌系的接种也未对其产生明显影响。同时使可溶性糖和淀粉在堆肥初期的分解加速, 使堆肥在 60℃ 以上高温持续时间延长, 从而有利于有机碳的分解, 有效缩短了堆肥腐熟时间。

关键词: 堆肥; 复合菌系; 木质纤维素; 林丹; 降解

中图分类号: S141.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2005)02-0375-05

Degradation of Lignocellulose and Lindane in Microbial Composting System During Thermophilic Compost Process

NIU Jun-ling¹, CUI Zong-jun², LI Guo-xue¹, WANG Wei-dong²

(1. College of Resources and Environment Science, China Agriculture University, Beijing 100094, China; 2. College of Agriculture and Biotechnology, China Agriculture University, Beijing 100094, China)

Abstract: The domesticated and constructed composite microbial system of degrading lignocellulose and lindane were added to compost in order to test possibility of improvement for composting efficiency and elimination of organic pollutant. The results indicated that the composite microbial system could improve biodegradation of cellulose and hemicellulose significantly during high-temperature composting period. In the inoculated compost, cellulose and hemicellulose were decomposed by 66.65% and 78.87%, respectively. However, the lignin could hardly be degraded, and the composite microbial system had little effects. The biodegradation of lindane also occurred mostly in the high temperature period, and the degradation ratio of lindane in the inoculated compost increased by 20.32% compared to the control. During the early 28 days the content of dissolved sugar compost decreased by 95.60%, which was 24.9% more than the control. In addition, during early 14 days it was discovered that starch was decomposed significantly faster than the control. It was suggested that composite microbial system adapt compost environment rapidly and use dissolved sugar and the starch as carbon resource to proliferate at the initial stage of composting, so they could have enough quality and ability to degrade the lignocellulose and lindane during the period of high temperature. The test also showed that inoculating the composite microbial system could prolong the lasting time of above 60℃ about ten days. So it could improve the decomposing of organic carbon and shortening time of composting.

Keywords: compost; composite microbial system; lignocellulose; lindane; degradation

长期以来, 堆肥法就被用来作为处理农业、城市

和家庭废弃物的一种手段。20 世纪 80 年代末到 90 年代, 国外有人开始尝试用堆肥法处理被有机污染物污染的土壤, 并观察到堆肥可显著地减少石油烃、炸药的浓度^[1-4]。堆肥处理既可以作为生物修复技术处理有毒有害物质, 同时还可实现农牧业废弃物资源化, 因此具有环境和经济的双重意义。

γ -666 是工业品六六六的活性组分, 当其含量

收稿日期: 2004-07-21

基金项目: 国家十五攻关项目“高效有机肥与缓释肥产业化技术与开发”(2002BA516A03); 国家“863”项目“新型多功能生物有机肥的研究与开发”(2002AA245031)

作者简介: 牛俊玲(1972—), 女, 山西长治人, 在读博士生, 主要研究方向为“固体废弃物处理与资源化”。E-mail: niujl72@cau.edu.cn

联系人: 崔宗均, E-mail: acujzj@cau.edu.cn

达到 99% 以上时成为林丹。六六六对光、热、酸等条件很稳定,所以在自然条件下不易分解消失,是高残留的农药。虽然我国在 1984 年全面禁止生产和使用六六六,但从 1990 年起,我国又批准林丹有限制地在森林治虫、治蝗以及防治小麦浆虫等方面使用^[5,6]。因此,林丹在我国的很多果园、棉田、麦田和稻田土壤中还有较大的残留量,相应地会引起在粮食、蔬菜、果树中积累。因此减少此类有机氯农药在环境中的浓度和降低其通过食物链对人体健康的不利影响一直受到广大科学工作者的重视。其中利用堆肥等生物降解方法是一种比较廉价的方法^[7]。堆肥法一般都是采用增加营养和改善环境条件的方法,利用堆制原料中的土著微生物来降解有机污染物,但由于堆肥物料中通常含有大量的纤维素物质,它由 $\beta(1-4)$ 键的葡萄糖单元所组成。通常与半纤维素和木质素连接在一起,其非均质基团为各种己糖、戊糖、糖醛酸聚合体,它们在物料中常与一些更难分解的物质相复合,因此比较难分解。而天然的纤维素分解菌活性低,降解速度慢,致使发酵时间长,降低了堆肥效率。

在本实验室已成功筛选和驯化了一组高效而稳定的纤维素分解菌复合系 MC1 的基础上^[8,9],充分利用自然界中微生物之间的协同关系,又进一步构建了能在高温和兼性厌氧条件下有效降解纤维素与林丹双重功能的复合微生物菌系。本文报告了在堆肥中引入该复合菌系后,对纤维素类物质、林丹及一些相关的糖类物质分解转化的影响。

1 材料与方法

1.1 堆制材料

堆肥原料采用新鲜的鸡粪、牛粪及麦秸。鸡粪为中国农业大学养鸡场笼养蛋鸡春季粪便,牛粪为中国农业大学养牛场肉牛粪便,麦秸取自中国农业大学科技园。堆肥原料性质见表 1。

表 1 堆肥原料的基本性质

Table 1 The basic characteristics of the compost components

试验材料	全 C/%	全 N/%	C/N	含水量/%
麦秸	38.31	0.39	98.2	0.16
鸡粪	25.71	1.52	16.9	70.95
牛粪	16.9	1.13	14.96	44.27

1.2 复合菌系的制备

配制 1 000 mL 的纤维素蛋白胨培养基(PCS),其成分为 0.5% 蛋白胨,0.5% 纤维素(滤纸或麦秆粉),0.5% NaCl,0.3% CaCO₃,0.1% 酵母粉,装入三角瓶

中,在 121 ℃ 下灭菌 15 min 后,接种 5% 的本实验室自行驯化构建的降解纤维素与林丹的复合菌系,在 50 ℃ 静止培养 3 d。

1.3 堆肥过程及采样

堆肥在中国农业大学农学与生物技术学院的废弃物处理与资源化实验室自行设计的规格为 1.2 m × 1.2 m × 1 m 的堆肥池中进行,通风方式为人工翻堆方法。将鸡粪、牛粪与切碎为 5 cm 左右的麦秸按 C/N 为 25 ~ 30 的比例均匀地混合,调节混合物料水分含量在 55% ~ 60%,分 3 堆装填到堆肥池中。其中 1 堆接种复合菌系(CK + 林丹 + 菌),接种量为 5%;1 堆不接种作为对照(CK + 林丹),在此 2 堆中分别加入等量的林丹;第 3 堆自然堆制(CK)。堆肥时间为 63 d。翻堆方式:从堆肥开始到高温期结束,每 3 d 翻一次,高温期过后每周翻 1 次。每天测定堆体上、中、下部的温度,计算其平均温度;同时测定每天堆肥现场的环境温度。从堆制开始的 0、3、7、14、21、28、35、42、49、56、63 d 采集样品,每堆每次在堆体的上、中、下部分别多点取样,然后混合一部分直接冰冻保存备用,另一部分样品风干磨碎过 60 目筛,干燥保存备用。所有分析测定工作均在采样后完成。

1.4 测定方法

纤维素、半纤维素和木质素的测定采用范氏洗涤纤维分析法^[10];全碳采用重铬酸钾氧化法测定;可溶性糖和淀粉采用蒽酮比色法测定。

林丹采用丙酮-石油醚提取,浓硫酸净化,惠普 HP-4890D 型气相色谱仪测定,30 m 长的 Equity-5 型毛细管柱。测定条件为柱温 120 ℃ 至 260 ℃ 程序升温 5 min,升温速度 20 ℃ · min⁻¹,进样口温度 280 ℃,使用电子捕获检测器,温度 280 ℃,保留时间 22 min。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度的变化

图 1 是 3 个堆体的温度变化情况,从图中可以看出,在所有处理中,接菌处理的升温最快,在堆肥的第 3 d 已升至 50 ℃,第 5 d 升至 63 ℃,此后在 60 ℃ 以上温度持续了 13 d,最高温度达到 66.2 ℃。整个高温期(> 50 ℃)持续了 24 d,之后开始下降,到堆肥结束时已降至环境温度。与之相比,另 2 个处理虽也在第 3 d 升至 50 ℃ 以上,但温度却没有持续上升并稳定在 60 ℃ 以上一段时间,其中 CK 的高温期持续了 23 d,60 ℃ 以上共有 3 d,最高温为 61.9 ℃,CK + 林丹处理的高温期持续了 26 d,60 ℃ 以上有 2 d,最高温为 60.2 ℃。

温度的变化情况在一定程度上可以说明,接菌处理的堆体中有机物氧化分解程度比不接菌的2个堆体剧烈。由于添加林丹与不加林丹的处理相比,温度变化情况没有明显差异,说明本试验所加林丹浓度尚未对微生物产生明显毒害作用,不会抑制其对有机物的降解作用。

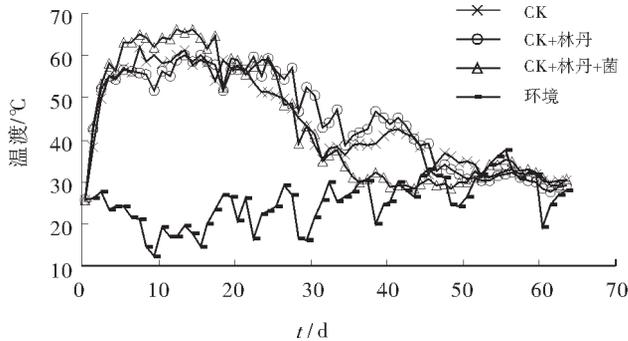


图1 复合菌系对堆肥温度的影响

Figure 1 The effects of microbial composting system on temperature

2.2 堆肥过程中纤维素类物质的变化

由图2、图3可以看出,所有处理的纤维素和半纤维素含量都随着堆肥的进行而降低,而且在堆肥开始的第1周都几乎不发生变化,二者的快速分解主要集中在7~35 d进行,此时正是堆肥的高温期。在图2中,接菌处理堆肥中的纤维素含量到堆肥结束时从开始的16.04%减少到5.35%,减少了66.65%,而CK和CK+林丹分别减少了54.65%和54.74%。在图3中,接菌处理堆肥的半纤维素含量在7~35 d内的下降速度明显大于未接种处理,此后缓慢下降,到堆肥结束时半纤维素含量从开始的11.63%减少到2.46%,减少了78.87%,而CK和CK+林丹分别减少了68.50%和70.32%。这充分说明复合菌系在堆肥过程的高温期纤维素类物质的生物降解中发挥了积极的作用。试验结果中未接菌堆肥中半纤维素的分解

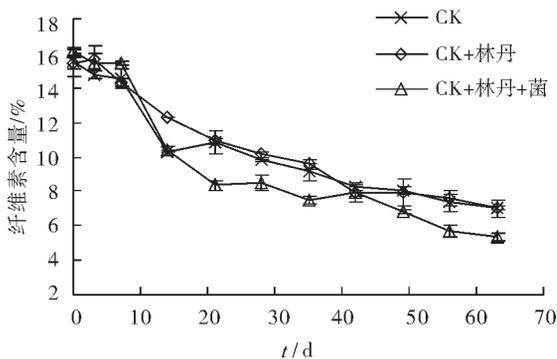


图2 复合菌系对纤维素的影响

Figure 2 The effects of microbial composting system on cellulose

率比一些文献报道的偏高,纤维素的分解则偏低^[11-13],这可能是由于堆肥物料组成的差异造成的。

堆肥中木质素的降解见图4,可以看出木质素含量在整个堆肥过程中几乎不发生降解,复合菌系的接种也未对其产生明显影响。

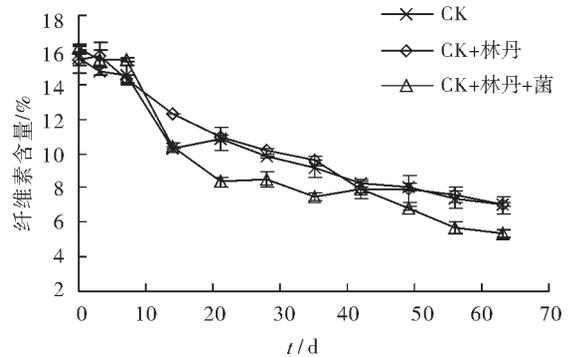


图3 复合菌系对半纤维素的影响

Figure 3 The effects of microbial composting system on hemicellulose

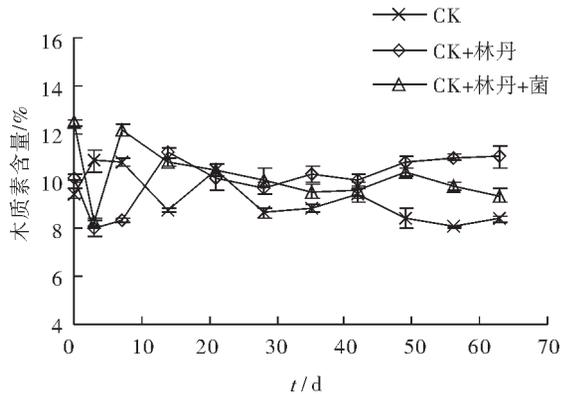


图4 复合菌系对木质素的影响

Figure 4 The effects of microbial composting system on lignin

2.3 堆肥过程中林丹的降解情况

将4个不同堆肥时期的样品用气相色谱进行分析,在试验检测条件下,堆肥物料中的林丹背景值为0(即CK为0),其结果见图5。从图中可以看出,从堆肥开始到高温期刚刚结束(0~28 d),在这一段时间里,接菌与未接菌处理堆肥中的林丹含量都迅速减少,前者从1.80%减少到0.22%,降解率达到87.78%,后者从1.69%减少到0.55%,降解率为67.46%,两处理相差20.32%。此后各处理的林丹降解都较为缓慢。试验结果表明林丹在堆肥中的降解主要在高温期进行,试验所用复合菌系的最适温度在50℃~60℃,所以能有效提高降解率。

2.4 堆肥过程中有机碳的变化

从图6中可以看出,3个处理的TOC含量都随着堆肥的进行而降低,但变化趋势有所不同。在整个堆

肥过程中,接菌处理堆肥的 TOC 含量均明显低于其余两个处理,其中在堆肥前期和高温期的下降速度尤其显著大于未接菌处理,在 21 d 时从开始的 24.35% 显著下降至 15.37%,损失了 36.88%,而 CK 和 CK + 林丹分别损失了 23.92% 和 27.16%。这表明该复合菌系的加入,明显加快了有机物的分解速度。在堆肥过程中,微生物首先利用易降解的有机物和简单的有机物进行新陈代谢和矿化,而试验所用堆肥物料中有机碳的减少主要是纤维素和半纤维素,这些较难降解的纤维素、半纤维素主要在高温期进行。本试验的结果已经表明,复合菌系在堆肥过程中高温期纤维素类物质的生物降解中发挥了积极的作用,所以使得接菌的 TOC 在堆肥结束时比对照的低了 15.83%。

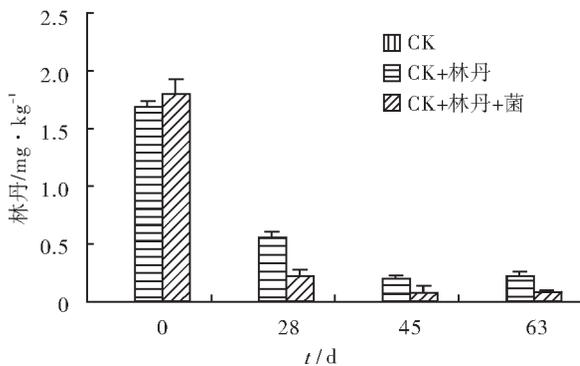


图 5 复合菌系对林丹的影响

Figure 5 The effects of microbial composting system on lindane

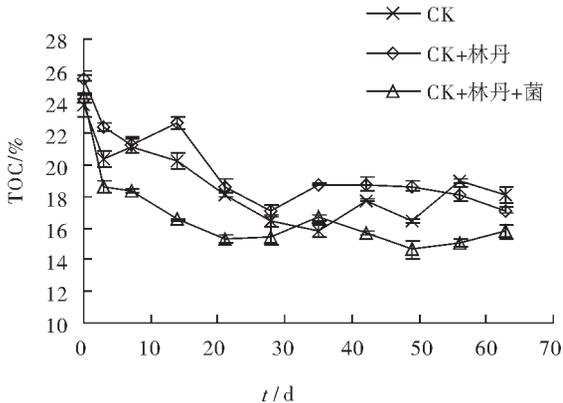


图 6 复合菌系对有机碳的影响

Figure 6 The effects of microbial composting system on TOC

2.5 堆肥过程中糖类物质的变化

在堆肥初期,是微生物旺盛繁殖并释放出热能来不断提高堆肥温度的发热阶段。在这一阶段中,容易被微生物分解的有机物质,如蛋白质,简单的糖类和淀粉类物质等迅速分解,产生大量的热量,然后进入高温阶段。所以在堆肥化进程中这些易降解的有机物的含量变化直接影响到整个过程中的微生物活动

及难降解有机物的降解效率。从图 7 中可以看出,3 个处理的可溶性糖含量在堆肥过程中的变化趋势基本一致,均随着堆肥的进行迅速减少,在 40 d 时几乎全部分解,这与文献报道的研究结果基本一致^[11,14]。在堆肥开始的前 28d,接菌处理的堆体中可溶性糖含量的下降幅度明显大于其他 2 个处理。前者从 2.86% 降到 0.13%,减少了 95.60%,CK + 林丹从 2.61% 降到 0.78%,减少了 70.11%,CK 从 2.56% 降到 0.75%,降低了 70.70%,接菌与不接菌的差异显著,说明复合菌系能很快适应堆肥环境,在堆肥初期以可溶性糖作为碳源,迅速扩繁,从而可以保证其中高温期纤维素类物质降解的过程中有足够的数量,充分发挥降解功能。

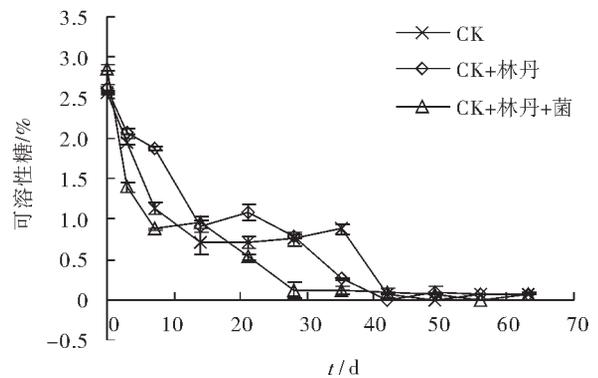


图 7 复合菌系对可溶性糖的影响

Figure 7 The effects of microbial composting system on dissolved sugar

堆肥中淀粉含量的变化见图 8,从图中可以看出,在整个堆肥过程中,所有处理堆肥的淀粉含量也都呈明显的下降趋势,而且在 30 d 时几乎全部分解,比可溶性糖全部分解提前 10 d 左右。在堆肥开始的前 14 d,接菌处理的堆体中淀粉含量的下降幅度明显大于其他 2 个处理。前者从 2.32% 降到 0.16%,减少了 93.10%,CK + 林丹从 2.28% 降到 0.76%,减少了 66.67%,CK 从 2.05% 降到 0.74%,降低了 64.10%,接菌与不接菌的也差异显著。

3 小结

(1) 接种复合菌系可加速堆肥升温,而且在 60 °C 以上高温持续时间延长,但整个高温期 (> 50 °C) 时间并没延长。

(2) 复合菌系在堆肥高温期纤维素类物质的生物降解中发挥了积极的作用。接菌处理使堆肥过程中的半纤维素分解了 78.87%,纤维素分解了 66.65%,显著高于对照处理。而木质素含量在整个堆肥过程中几

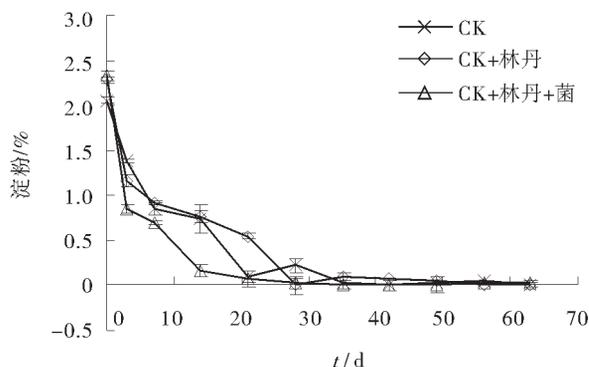


图 8 复合菌系对淀粉的影响

Figure 8 The effects of microbial composting system on starch

乎不降解,复合菌系的接种也未对其产生明显影响。

(3) 林丹在堆肥中的降解主要在高温期进行,复合菌系的引入使林丹的降解率提高了 20.32%。

(4) 接种复合菌系使可溶性糖和淀粉在堆肥初期的分解加速,明显促进了有机碳的分解。

参考文献:

- [1] 沈德中. 污染物的原位生物处理 - 生物清消技术[J]. 环境科学进展, 1993, 1(5): 56 - 59.
- [2] Mcfarland M J, Qiu X J. Removal of benzo[a]pyrene in soil composting systems amended with the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1995, 42: 61 - 70.
- [3] Gupta G, et al. Bioremediation of gasoline contaminated soil using poultrylitter[J]. *Environ Health*, 1992, 31: 2395 - 2401.
- [4] Michel F C, et al. Microbial degradation and humification of the lawn care

pesticide 2, 4 - dichlorophenoxyacetic acid during the composting of yard trimmings[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1995, 61(7): 2566 - 2571.

- [5] 夏家洪. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1996.
- [6] 江孝焯, 李瑞琴, 江希流. 施用林丹跟踪监测研究[J]. 农业环境保护, 1994, 13(6): 252 - 255.
- [7] 李国学, 孙英. 高温堆肥对六六六(HCH)和滴滴涕(DDT)的降解作用研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(3): 141 - 144.
- [8] 崔宗均, 李美丹, 朴哲, 等. 一组高效稳定纤维素分解菌复合系 MC1 的筛选及功能[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 36 - 39.
- [9] Haruta S, Cui Z, Huang Z, M Li, M Ishii, and Igarashi Y. Construction of a stable microbial community with high cellulose - degradation ability [J]. *Applied Microbiology Biotechnology*, 2002, 59: 529 - 534.
- [10] 夏玉宇, 朱丹. 饲料质量分析检验[M]. 北京:化学工业出版社, 1994. 33 - 41.
- [11] Pioncelot R P. The biochemistry and methodology of composting[J]. *Conn Agr Expt Sta Bull*, 1975, 754.
- [12] Chen Y, Inbar Y. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Washington OH: Renaissance. 1993, 551 - 600.
- [13] 陈世和, 谌建宇. 城市固体废物动态堆肥技术的研究[J]. 上海环境科学, 1992, 11(5): 13 - 15.
- [14] Sanchez - Monedero M A, Roig A, Cegarra J, et al. Relationships between water - soluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting[J]. *Biores Technol*, 1999, 70: 193 - 201.