

陈芳艳, 史才娟, 钟杨生, 等. 不同辅料对蚕沙堆肥的影响[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(3): 1-8.

不同辅料对蚕沙堆肥的影响

陈芳艳, 史才娟, 钟杨生, 李文楚, 王叶元, 林健荣
(华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】实现蚕沙的无害化处理和资源化利用。【方法】以新鲜蚕沙为原料分别按质量比添加 5.21% 熟石灰、0.20% EM 菌剂和 10% 桑枝屑, 以未添加任何物质的新鲜蚕沙为对照, 制定 4 种好氧堆肥体系, 分析堆肥过程中的理化指标及微生物菌落数量的动态变化。【结果】添加 5.21% 的熟石灰使堆体温度升至 50 ℃ 的时间比对照推迟了 5 d, 堆体 pH 比有机肥标准高 1.05, 细菌菌落数减少, 但有利于真菌和放线菌的繁殖, 使堆体有机质含量下降、全氮量增加和含水率下降显著。添加 0.20% EM 菌剂, 使全磷含量比对照增加了 28%, 有利于提高细菌菌落数, 但真菌在堆肥中、后期的繁殖受影响, 放线菌在整个堆肥期繁殖都受影响, 其他指标的变化与对照差别不大。添加 10% 桑枝屑能使堆体含水率比对照降低 40%, 造成温度偏高而不利于真菌和放线菌的繁殖, 其碳氮比的下降亦显著低于其他堆体, 同时会造成堆体 pH 高 0.66。4 个堆体发芽指数均超过 100%; 堆体在 50 ℃ 以上持续的时间均超过 7 d。【结论】经堆肥处理后, 4 个堆体均可以使蚕沙达到资源化利用的要求。

关键词:蚕沙; 堆肥; 理化指标; 微生物
中图分类号:S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2016)03-0001-08

Impacts of various materials on composting of silkworm excrement

CHEN Fangyan, SHI Caijuan, ZHONG Yangsheng, LI Wenchu, WANG Yeyuan, LIN Jianrong
(College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To achieve the innocuous treatment and resource utilization of silkworm excrement. 【Method】Fresh silkworm excrement pile was mixed with 5.21% hydrated lime, 0.20% EM agent, or 10% mulberry sawdust in mass fraction. The silkworm excrement pile without any addition served as the control. These four different aerobic composting systems were used for investigating the dynamic changes of physicochemical indexes and population of microbial flora during the composting process. 【Result】The treatment with 5.21% hydrated lime facilitated the reproduction of fungi and actinomycetes, decreased the organic matter content and the moisture content of the pile, increased the total nitrogen content of the pile, delayed 5 d before the temperature of the pile heating up to 50 ℃, resulted in 1.05 higher pH compared to the organic fertilizer standard, and decreased the number of bacterial colonies. The treatment with EM improved the total phosphorus content by 28%, which increased the number of bacterial colonies, but negatively affected the reproduction of fungi in the middle and later periods and the reproduction of actinomycetes throughout the composting process. No significant differences of other indicators were observed between the treatment with 0.20% EM and the control. The treatment with 10% mulberry sawdust reduced the moisture content by 40%, led to higher temperature which was disadvantageous for the reproduction of fungi and actinomycetes, and caused a significantly lower C/N ratio and 0.66 higher pH of the pile compared to other treatments. Germination indexes of four piles were above 100%, and all pile temperatures kept above 50 ℃ for more than 7 d. 【Conclusion】All four piles of

收稿日期:2015-07-27 优先出版时间:2016-04-15
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160415.1554.008.html>
作者简介:陈芳艳(1971—),女,副教授,博士,E-mail:chenfangyan@scau.edu.cn;通信作者:林健荣(1953—),男,教授,博士,E-mail:jrlin@scau.edu.cn
基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-22)

silkworm excrement can meet the demand of resource utilization after composting.

Key words: silkworm excrement; composting; physicochemical index; microorganism

蚕沙也叫蚕粪,是养蚕过程中的废弃物,平均每张蚕种可出风干蚕沙 60 kg 左右^[1]。我国年养蚕种约 1 500 万~2 000 万张,养蚕所产出的蚕沙数量非常大。目前蚕沙除极少部分用于提取叶绿素、生产维生素 K 外^[2-3],许多资源不仅没有得到很好的开发利用,而且还因为蚕沙的随意倾倒而污染农村养蚕环境,且隐藏在蚕沙中的病原微生物还会继续生长和存活,进而大量繁殖,通过桑园、桑叶回传蚕房,诱发蚕病,使得蚕病的防控工作越来越难。蚕沙的污染问题严重影响到蚕业经济的可持续发展,因此蚕沙合理处理问题亟待解决。家蚕蚕沙干物中含氮 15~30 g·kg⁻¹、磷(P₂O₅) 1~10 g·kg⁻¹、钾(K₂O) 20~35 g·kg⁻¹,养分含量高^[4]。目前蚕茧的生产中,桑叶仍是家蚕唯一的饲料,家蚕人工饲料研究尚处于实验室阶段^[5],因此家蚕蚕沙(粪便)不存在其他畜禽粪便中可能存在的重金属和抗生素残留高的问题^[6-8],不会造成土壤的污染,安全性高,是非常优质的有机肥原料。将蚕沙无害化制成有机肥来使用,既能减少对蚕区环境的污染,又能作为生态农业的肥源,可为社会带来更大的效益。

目前国内外对于猪粪、鸡粪、牛粪等畜禽粪便的堆肥已开展了大量深入系统的研究^[9-13],这为蚕沙的堆肥化处理提供了借鉴。但是蚕沙原料性质不同于畜禽粪便,其碳氮比在 15:1~20:1 之间,比畜禽粪便高。蚕桑生产有其特殊性,尽管养蚕生产产生的蚕沙总量很大,但由于目前蚕桑生产尚未实现规模化养殖,以家庭式进行养蚕生产,规模小,各家各户的蚕沙数量少而且分散,工厂难以收购和进一步的开发,因而目前仍难以实现蚕沙肥的商品化生产。为了解决蚕沙的污染问题,部分蚕农利用废弃的粪房进行蚕沙堆沤,这种家庭式的堆肥缺乏专业的堆肥设备,无法按理论值调节碳氮比,难以保证其堆肥的品质。此外,在养蚕过程中为了消毒防病,在蚕眠和起蚕等阶段要撒熟石灰,在天气潮湿时为了保持蚕座的干燥也会撒熟石灰,蚕沙中所含的熟石灰对堆肥会造成怎样的影响? 养蚕生产中除了蚕粪外,还会产生大量的桑枝等废弃物,利用桑枝调高蚕沙碳氮比进行混合堆肥,其效果如何? 这都需要通过深入的研究才能阐明,把蚕沙堆肥推向商品化。目前国内虽然也有关于蚕沙堆肥的研究报道^[4,14],但均未考虑蚕沙原料中含有的石灰、桑枝对堆肥的影

响,也鲜见有从微生物的角度解释堆肥过程理化性质变化的报道。

本研究结合目前蚕桑生产的实际情况,模拟农村堆肥的条件,开展蚕沙堆肥的试验研究,以纯蚕沙为对照,将含熟石灰、桑枝以及添加外源菌剂的蚕沙进行堆肥处理,比较不同原料堆肥过程中其物理、化学和微生物的动态变化,评定不同蚕沙堆肥的品质,希望能为蚕区蚕沙的无害化处理和提高蚕沙堆肥的品质提供理论依据和技术支撑,提供千家万户蚕农能接受的堆肥方式。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验所用的蚕沙,由广东省蚕业技术推广中心提供;蚕沙的含水率(w) 77.20%、有机质 655.30 g·kg⁻¹、全氮 27.75 g·kg⁻¹、全磷 4.36 g·kg⁻¹、全钾 39.08 g·kg⁻¹。EM 菌剂购自河南益加益生物公司(EM 菌剂是一种高效的微生物腐熟剂,由双歧杆菌、乳酸菌、芽孢杆菌、光合细菌、酵母菌、放线菌、醋酸菌等 80 多种菌种经特殊工艺研制而成的高效复合微生物菌剂,每克含有益菌数 ≥ 200 亿 CFU,EM 菌剂的使用按说明书的方法)。桑枝屑由化州蚕业技术推广中心提供,桑枝经粉碎成 0.5 cm 左右,含水率(w) 11.40%、有机质 828.85 g·kg⁻¹、全氮 7.21 g·kg⁻¹、全磷 1.22 g·kg⁻¹、全钾 12.41 g·kg⁻¹。小青菜 *Brassica chinensis* 种子购自广东省农业科学院蔬菜研究所,桑树 *Morus alba* 种子由广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所提供。

1.2 试验设计

本试验设定 4 个堆体。堆体 1 为纯蚕沙,堆体 2~4 分别按质量比添加其他物质,其中:堆体 2 为蚕沙+5.21% 熟石灰,堆体 3 为蚕沙+0.20% EM 菌剂,堆体 4 为蚕沙+10% 桑枝屑。每个堆体蚕沙 60 kg 左右,堆在自建的堆肥池内进行堆肥,为了保证通气量,在每个堆体中间放置 2 根通气管,堆肥时间持续 34 d。分别于 0、2、4、6、8、16、24、34 d 时多点取样,每次采样 500 g 左右,混匀,然后从中取一部分装于密封袋中,尽快测定其含水率、pH,进行可培养微生物的培养检测,余下部分样品置烘箱 60℃ 烘干,粉碎后过筛,密封保存,备用。

1.3 理化指标的测定

温度、pH、含水率、有机质、氮、磷、钾采用常规理化分析方法^[15]进行测定。

1.4 发芽指数的测定

发芽指数测定参照陈晓萍等^[14]的方法。取堆肥第1和34天的蚕沙样品各5 g,加入100 mL温热的蒸馏水,在60℃条件下浸提3 h(同时取小青菜种子和桑树种子分别在蒸馏水中浸泡3 h),5层纱布过滤,吸取15 mL滤液,加到铺有2层滤纸的培养皿内,在各培养皿中点种20粒饱满的小青菜种子或桑树种子,放在25℃的培养箱中培养,小青菜种子培养2 d,桑树种子培养7 d,测定发芽率和根长,同时用蒸馏水作对照。每个处理3次重复。发芽指数(GI)的计算如下:

GI =

$$\frac{\text{堆肥浸提液种子发芽率} \times \text{种子根长}}{\text{对照的种子发芽率} \times \text{种子根长}} \times 100\%$$

1.5 堆肥中可培养微生物的计数

采用平板菌落计数法^[16]。细菌用营养琼脂培养基,真菌用虎红培养基,放线菌用高氏一号培养基。

1.6 数据分析方法

数据采用Excel2007和DPS7.05统计软件进行处理及分析。

2 结果与分析

2.1 堆肥中温度的变化

温度是影响微生物类型、种类及代谢活性的最主要的因素^{[17]28-29,[18]},是反映发酵是否正常最直接、最敏感的指标。不同堆体温度的变化如图1所示。

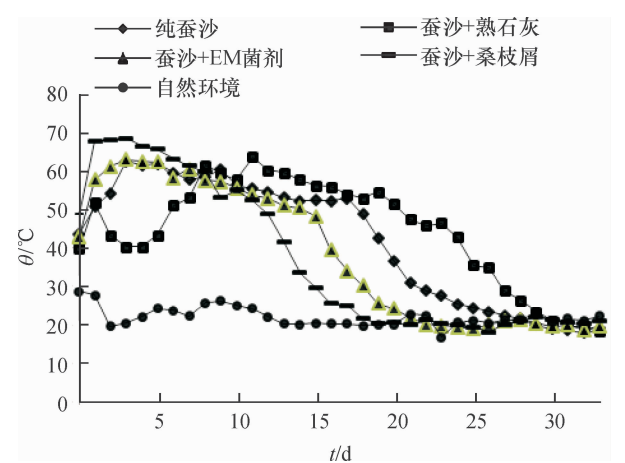


图1 堆肥过程中不同堆体温度的变化

Fig.1 Temperature changes of different piles during the composting process

由图1可见,4个堆体中,含熟石灰堆体第6天时温度上升至50℃以上,而其他3个堆体第1天温度就上升至50℃,其原因可能与所含的熟石灰有关,因熟石灰有杀菌的作用,影响到微生物的繁殖,造成初期发酵温度低,随着时间的推移,熟石灰失效,未杀死的微生物才活跃起来,推高堆体温度。含桑枝屑堆体最高温度达68.6℃,而其他3个堆体则在63℃左右,可能添加桑枝屑提高了堆体的碳氮比,降低了含水率,改善了通风和供氧,更加有利于微生物的生长,但是其在50℃以上高温期持续时间比其他堆体短。

一般研究认为,当堆体温度接近环境温度时表明堆体已经不再发酵,完成熟化^[19]。4个堆体中,含桑枝屑堆体在第15天、含EM菌的堆体在第19天、纯蚕沙堆体在第22天、含熟石灰堆体在第27天与环境温度相近。可见,桑枝屑和外源EM菌剂可以加快堆肥的熟化速度,石灰则会延长堆肥腐熟的时间。4个堆体在50℃以上持续的时间均超过7 d,达到我国粪便无害化标准(GB7959—87)的要求。

2.2 堆肥中pH的变化

pH的变化影响着微生物降解有机物的能力,进而影响堆肥的顺利进行。一般研究认为,微生物在pH6.7~9.0的环境中均能生长,最适pH为5.5~8.0^[20-21]。蚕沙不同堆体的pH变化见图2。

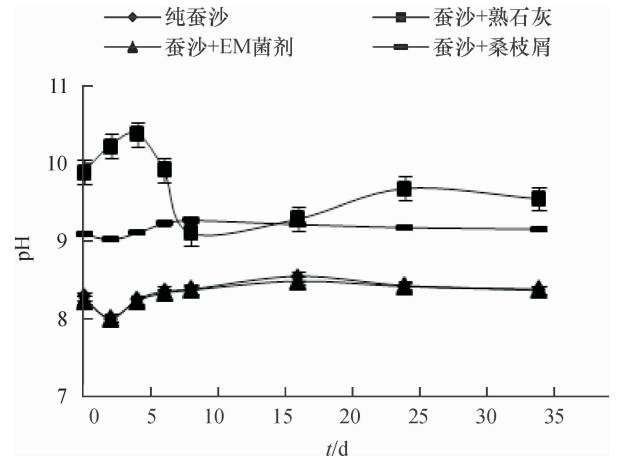


图2 堆肥过程中不同堆体pH的变化

Fig.2 pH changes of different piles during the composting process

由图2可见,含熟石灰堆体pH变化趋势与其他3个堆体相差较大,其初期pH很高,随后降低。这与含有的熟石灰有关,随着时间的推移,熟石灰与二氧化碳作用生成碳酸钙中性盐以及微生物活动产生的有机酸共同使堆体pH下降,但随着堆肥的进行,由于含氮有机物质利用增多,所产生的氨使堆体的

pH 又略微上升。

4 个堆体中,纯蚕沙和添加 EM 菌剂的堆体 pH 在 8.0~8.5 的范围之内变化;含熟石灰堆体及桑枝屑堆体 pH 在 9.0 以上,均超过商品有机肥的标准 (pH5.5~8.5)。

2.3 堆肥中含水率的变化

4 个堆体的含水率变化见图 3。纯蚕沙和含 EM 菌的堆体含水率下降缓慢,堆肥结束时基本无变化;含熟石灰和桑枝屑的堆体含水率下降速度比较快,34 d 时含水率(w)分别为 39% 和 40%,接近商品有机肥含水率(w)的标准($\leq 30\%$)。由于熟石灰和桑

枝屑可降低堆料的含水率,提高堆体的空隙率,因而有利于水分的蒸发,含水率较低。但 4 个堆体含水率均未达到商品有机肥的标准,这与堆体的初始含水率过高,翻堆不足有关。虽然熟石灰和桑枝屑可以降低初始含水率,但是也会对堆肥过程的其他方面造成不利影响。目前仍在寻找解决蚕沙初始含水率偏高的办法。

2.4 堆肥中微生物的变化

为探讨微生物类群在蚕沙堆肥过程中的变化对堆肥质量的影响,试验采用传统微生物培养法测定了 4 个堆体中细菌、真菌和放线菌的数量,结果见图 4。

细菌在堆肥过程中起到主要作用。含熟石灰的堆体细菌数量开始增多是在第 4 天,达到峰值在第 8 天,而其他堆体在第 2 天细菌数量迅速增加,第 4 至 6 天时达到峰值。含熟石灰的堆体细菌数量峰值出现时间推后的原因主要是受熟石灰杀菌的影响。4 个堆体达到峰值时的细菌数量有明显差别,含 EM 菌剂的堆体细菌数量最多,可能与添加的外源菌剂有关;含桑枝屑的细菌数量次之,可能是添加桑枝屑后,堆体营养成分更趋合理,同时改善了通风供氧条件,因而有利于细菌的繁殖;纯蚕沙堆体的细菌较少;含熟石灰堆体的细菌数量最少,因熟石灰的杀菌作用而造成。

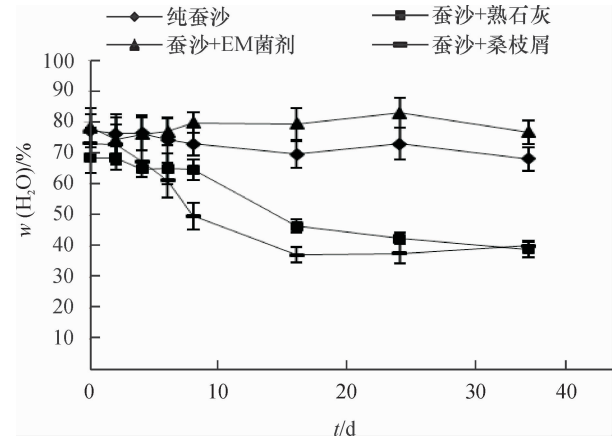


图 3 堆肥过程中不同堆体含水率的变化
Fig. 3 Changes of moisture contents in different piles during the composting process

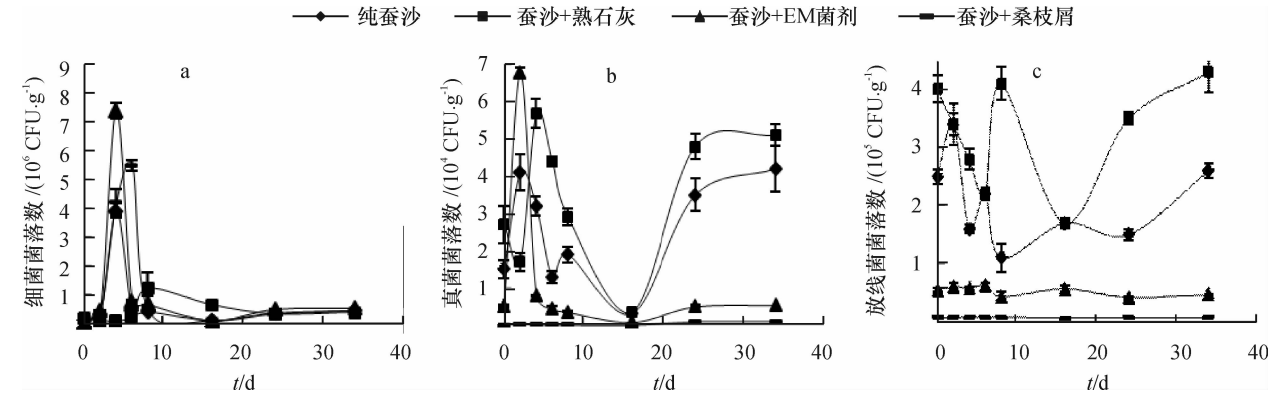


图 4 堆肥过程中微生物数量的变化
Fig. 4 Changes of the number of microorganism colonies in different piles during the composting process

真菌存在于堆肥的整个过程,在温度高于 60 ℃ 时繁殖受影响^[22],真菌是纤维素分解的优势菌群^[23],其存在对于堆肥腐熟和稳定具有重要作用。含熟石灰堆体其真菌数量变化规律与纯蚕沙相似,都在升温阶段迅速增多,高温阶段下降,降温阶段又迅速增多。含 EM 菌的堆体在升温阶段真菌数量最

多,高温和降温阶段数量均显著下降。含桑枝屑的堆体真菌数量变化几乎是一条直线,没有出现明显的峰值。这种不同的趋势与各堆体环境有关。由图 1 可知,含桑枝的堆体最高温度超过 65 ℃,因而真菌的生长繁殖受到影响^[22]。含 EM 菌的堆体其温度变化情况与纯蚕沙相似,但是在降温期其真菌数量很

少,而纯蚕沙在降温期真菌数量很多,这种差异可能是添加的外源菌剂中一些微生物在生长过程中分泌了抗生素等次生代谢产物,影响到后期真菌的繁殖。

放线菌比较耐受高温和酸碱度,因此在堆肥的高温阶段,其对木质素和纤维素的分解起重要作用^[24-26]。纯蚕沙和含熟石灰的堆体放线菌数量较多,整个堆肥期均在 10^5 数量级,在高温期亦未出现数量级的下降,含熟石灰的堆体放线菌数量又明显高于纯蚕沙的。含熟石灰的堆体虽然 pH 较高,但含水率低,这种环境相比于纯蚕沙的堆体可能更有利于对酸碱度有较好耐受力的放线菌的生长。含 EM 菌的堆体放线菌数量较少,整个堆肥期没有明显的峰值,虽然其发酵温度、pH 及供氧环境与纯蚕沙堆体相差不大,但放线菌的数量却比纯蚕沙少了一个数量级,这可能与添加外源菌剂有关。含桑枝的堆体放线菌数量最少,可能堆体温度已超过放线菌的耐受力。

总体来看,添加熟石灰对细菌的生长繁殖有影响,但不会影响真菌和放线菌的生长繁殖;添加 EM 菌剂和桑枝屑的堆体,细菌繁殖较理想,而真菌和放线菌的生长繁殖受影响。

2.5 堆肥中有机质、全氮(TN)、碳氮比的变化

不同堆体有机质的变化见图 5。堆肥结束时,含熟石灰堆体的有机质含量比初始时下降了 27.84%,纯蚕沙堆体下降了 5.72%,含 EM 菌剂堆体下降了 5.38%,含桑枝屑堆体则增加了 6.59%。含熟石灰堆体的有机质含量明显低于纯蚕沙堆体,其原因一方面可能是含熟石灰堆体中的真菌和放线菌繁殖最好,分解利用了难以降解的碳源物质,另一方面可能是熟石灰稀释了蚕沙原料中的有机质。含桑枝屑堆体有机质含量上升,其原因可能是该堆体真菌和放线菌生长繁殖不理想,不利于木质素和纤维素等物质的降解,此外桑枝屑颗粒大,也是其难降解的原因。

不同堆体全氮含量的变化见图 6。4 个堆体的全氮含量均呈上升的趋势,堆肥过程虽然有氮的消耗,但是由于碳素的降解和消耗量大于氮素,因此堆体全氮含量表现总体呈上升趋势。至堆肥结束时,4 个堆体的全氮含量增加量排序为含石灰堆体 > 纯蚕沙堆体 > 含 EM 菌堆体 > 含桑枝屑堆体,分别增加了 33.06%、29.08%、24.63%、5.82%。含 EM 菌堆体与纯蚕沙堆体相比较,其相对含氮量并未增加,由此推测所添加的外源 EM 菌剂没有保氮的作用。含桑枝屑堆体氮素增加量明显低于其他 3 个堆体,一

方面与真菌、放线菌繁殖不好影响到有机质的降解有关;另一方面该堆体 pH 偏高,氮挥发损失相对较高。含熟石灰的全氮量增加最大,一方面可能是真菌、放线菌繁殖最好,碳源物质分解利用多;另一方面可能熟石灰生成的碳酸钙有保氮的作用,根据目前对猪粪堆肥的研究,磷酸钙、氯化钙等钙盐在堆肥过程中能起到保氮的作用^[27-28],石灰中的钙可能也有类似的作用。

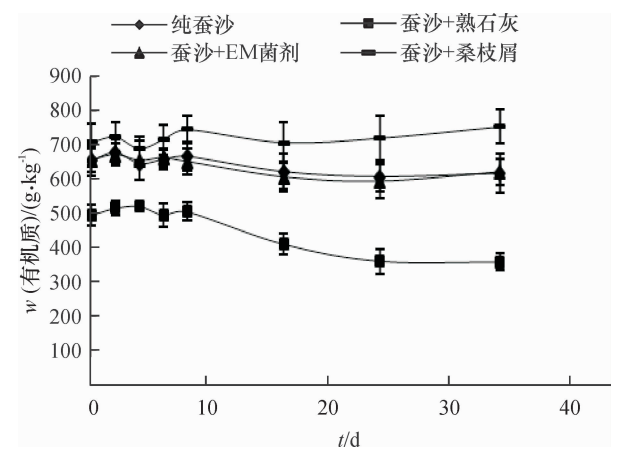


图 5 堆肥过程中有机质含量的变化
Fig. 5 Changes of organic matter contents in different piles during the composting process

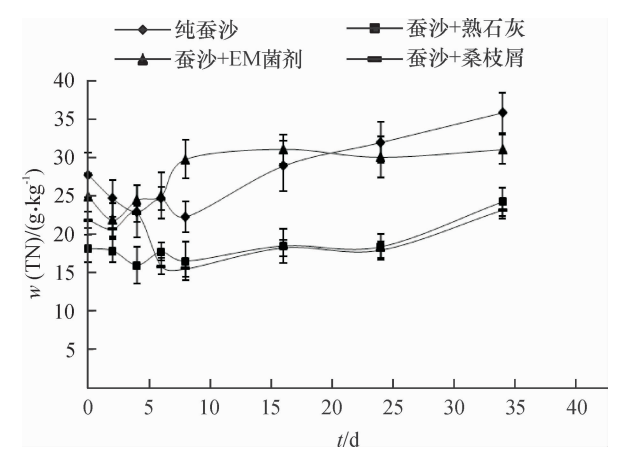


图 6 堆肥过程中全氮(TN)含量的变化
Fig. 6 Changes of total nitrogen (TN) contents in different piles during the composting process

碳氮比 $[w(C)/w(N)]$ 是堆肥腐熟营养化学控制的指标之一,也常被作为评价腐熟度的一个经典参数^{[17]368},堆体碳氮比的变化见图 7。4 个堆体的碳氮比均随着堆肥的进程而下降,堆肥结束时碳氮比下降的顺序为含桑枝屑堆体 < 含 EM 菌剂堆体 < 纯蚕沙堆体 < 含熟石灰堆体,分别比初始值降低了 11.87%、24.07%、38.46%、44.99%。

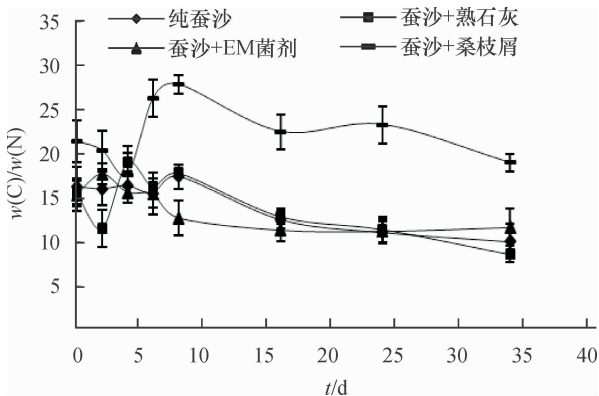


图 7 堆肥过程中碳氮比的变化

Fig.7 Changes of C/N ratios in different piles during the composting process

2.6 堆肥中全磷(TP)、全钾(TK) 的变化

堆肥中的磷、钾不可能通过挥发等形式损失,因此全磷、全钾总量不会有太大变化,由于堆体的总质量下降,因此堆肥过程中磷、钾含量表现出上升的趋势。不同堆体全磷含量的变化见图 8,至 34 d 时,纯蚕沙堆体、含熟石灰堆体、含 EM 菌堆体和含桑枝屑堆体中的磷含量与堆肥初期相比分别增加了 46. 19%、39. 73%、78. 66%、38. 07%,其中含 EM 菌剂的增幅明显高于其他 3 个堆体,可能 EM 菌剂中有一些微生物有利于提高磷的含量^[29],其他堆体增幅相差不大。

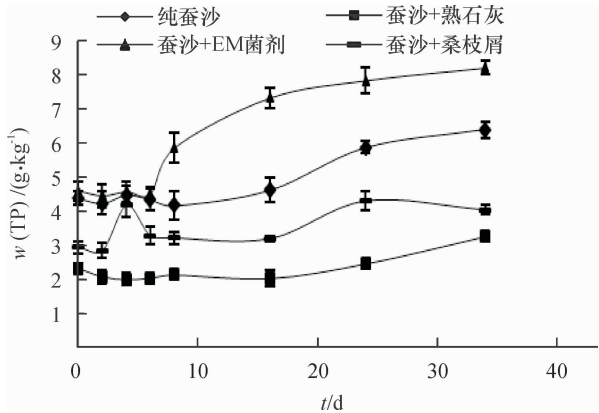


图 8 堆肥过程中全磷(TP) 含量的变化

Fig. 8 Changes of total phosphorus (TP) contents in different piles during the composting process

不同堆体全钾含量变化见图 9,堆肥结束时纯蚕沙堆体和含 EM 菌剂堆体全钾含量接近,含熟石灰堆体和含桑枝屑堆体全钾含量接近,全钾含量增加量的排序为含熟石灰堆体>含 EM 菌堆体>含桑枝屑堆体>纯蚕沙堆体,分别增加了 45. 91%、31. 18%、30. 60%、28. 94%。这种差异主要是由堆体绝对质量的减少所造成。

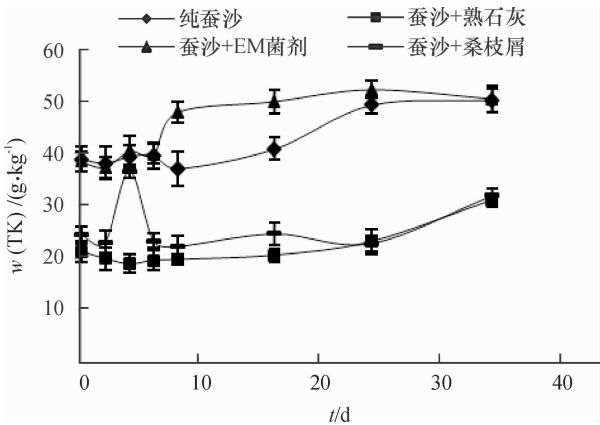


图 9 堆肥过程中全钾(TK) 含量的变化

Fig. 9 Changes of total potassium (TK) contents in different piles during the composting process

2.7 堆肥对种子发芽指数的影响

种子发芽指数(GI)可以判定堆肥产品对植物的毒性,从而判定堆肥的腐熟度。学者们普遍认为,当 GI≥80%,堆肥产品才认为无植物毒性,已腐熟^[17]。蚕沙堆肥提取物对种子发芽指数的影响见表 1。

表 1 不同蚕沙堆肥下的种子发芽指数¹⁾

Tab. 1 Seed germination indexes of different silkworm excrement piles %		
处理	小青菜	桑树
清水对照	100 ± 0. 0c	100 ± 0. 0c
纯蚕沙	125 ± 7. 0a	127 ± 3. 0a
蚕沙 + 熟石灰	104 ± 5. 0b	109 ± 4. 0b
蚕沙 + EM 菌剂	121 ± 4. 0a	123 ± 3. 0a
蚕沙 + 桑枝屑	112 ± 3. 0a	116 ± 3. 0a
新鲜蚕沙	39 ± 0. 7d	43 ± 0. 8d

1) 同列数据后凡具有一个相同小写字母者,表示差异不显著(LSD 法, $P > 0. 05$)。

由表 1 数据可见,本试验的 4 种蚕沙堆肥方式,无论是对于小青菜种子还是桑树种子,种子发芽指数都大于 100%,而未堆肥蚕沙的种子发芽指数则小于 50%,因此可以判定,4 种堆料经 34 d 堆肥处理均已经达到腐熟状态。

3 讨论与结论

以新鲜蚕沙、含有熟石灰蚕沙、接种 EM 菌剂蚕沙和混有桑枝屑的蚕沙为原料进行堆肥,通过测定堆肥过程中物理化学指标的变化、微生物的繁殖情况以及蚕沙肥腐熟质量,分析不同堆体原料对堆肥质量的影响。结果表明,4 种堆体在堆肥过程中的温度均超过 50 ℃,持续发酵的时间均达 7 d 以上,符合

我国粪便无害化堆肥所要求的温度标准(GB7959—87)。蚕沙经过34 d堆肥处理,种子发芽指数达100%,表明已经达到腐熟状态。纯蚕沙堆体、含熟石灰堆体、含EM菌剂堆体、含桑枝屑堆体的有机质质量分数分别为617.81、357.72、622.33和755.11 g·kg⁻¹,总养分质量分数则分别为111.14、69.19、110.76和70.95 g·kg⁻¹,总养分质量分数均达到有机肥NY525-2011的标准(>50 g·kg⁻¹),有机质质量分数除含熟石灰堆体未达标,其他3个堆体有机质质量分数均高于有机肥标准(>450 g·kg⁻¹)。

在蚕沙中混入不同的辅料进行堆肥,堆体中的微生物类群发生变化,腐熟速度、堆肥养分都有差别。从本试验的堆肥情况来看,蚕沙中混入少量熟石灰,堆体升至50℃高温的时间要推后5 d,造成细菌生长繁殖速度减慢,菌落数减少,但真菌和放线菌的繁殖不受影响,在4个堆体中繁殖情况最好,数量最多。真菌和放线菌的快速繁殖有利于堆体中难降解有机质的分解^[24-26],因此其全碳量下降显著高于其他堆体。此外,熟石灰可降低堆体水分含量,改善堆体通风和供氧情况,也是有利于微生物繁殖的原因。含熟石灰的堆体其全氮量增加最大,一方面与有机质分解得多有关,另一方面也可能是熟石灰与二氧化碳反应生成的碳酸钙有保氮作用。但熟石灰并不是合适的堆肥辅料,因熟石灰本身有杀菌的作用,如果添加的量太多,必然会大量杀死微生物,造成堆体无法升温发酵;熟石灰允许混入的最高比例是多少,还有待深入的研究。在养蚕生产过程中,仅是某些时间段需要撒熟石灰,因此注意将含熟石灰的蚕沙与不含熟石灰的蚕沙混匀堆肥,才不会出现熟石灰过量影响发酵的问题。熟石灰会造成堆体pH过高,因而含熟石灰的蚕沙肥在酸性土壤使用更有优势,施用过程注意与其他有机质含量高的肥料混合施用。添加外源EM菌剂可以加快腐熟的速度,可提高全磷的含量和促进堆体细菌的生长繁殖,但是不利于真菌和放线菌的生长繁殖。由此可见,市售的外源EM菌剂用于蚕沙堆肥效果不理想,蚕沙要获得更好的堆肥效果,还要研制开发出针对蚕沙的专用堆肥菌剂。添加桑枝屑可降低堆体含水率,提高堆体空隙率,增加供氧量,加快腐熟速度,但也会造成堆体pH偏高及堆肥的温度过高,使得真菌和放线菌的生长繁殖在整个堆肥期都受到很大的影响,进而影响到有机质的降解,因此添加桑枝屑后要翻堆降温。此外,由于桑枝屑的纤维素和木质素含

量高,难以降解,控制好桑枝颗粒的大小有利于桑枝的降解,从而提高堆肥质量,但是目前蚕桑生产上使用的桑枝粉碎机难以达到理想的粉碎效果,所以直接利用桑枝作为辅料来调节蚕沙的碳氮比目前仍受到设备的限制。

参考文献:

[1] 黄自然,李树英. 蚕业资源综合利用[M]. 北京:中国农业出版社,2013:73.

[2] 刘桃李,凌敏,梁小双. 蚕沙分步制取果胶和叶绿素锌钠盐[J]. 食品科技,2013,13(11): 255-258.

[3] 张友胜,纪平雄,陈芳艳. 用蚕粪生产高置换率叶绿素a 锌钠盐的工艺条件初探[J]. 蚕业科学,2007,33(2): 314-317.

[4] 陈芳艳,钟杨生,李文楚,等. 不同堆沤方式对蚕沙部分理化指标动态变化的影响[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(4): 598-601.

[5] 潘澄,贾仲伟,张至庆. 家蚕全龄人工饲料育试验初报[J]. 江苏蚕业,2014,36(4):13-15.

[6] LU D, WANG L X, YAN B X, et al. Speciation of Cu and Zn during composting of pig manure amended with rock phosphate[J]. Waste Manage, 2014, 34(8): 1529-1536.

[7] LI Y X, LIU B, ZHANG X L, et al. Effects of Cu exposure on enzyme activities and selection for microbial tolerances during swine-manure composting[J]. J Hazard Mater, 2015, 283: 512-518.

[8] ARIKAN O A, MULBRY W, RICE C. Management of antibiotic residues from agricultural sources: Use of composting to reduce chlortetracycline residues in beef manure from treated animals[J]. J Hazard Mater, 2009, 164(2/3):483-489.

[9] BERNAL M P, ALBURQUERQUE J A, MORAL R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review[J]. Bioresour Technol,2009,100(22): 5444-5453.

[10] LIU J, XU X H, LI H T, et al. Effect of microbiological inocula on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost[J]. Biomass Bioenerg,2011,35(8): 3433-3499.

[11] DE MENDONÇA COSTA M S S, CESTONARO T, DE MENDONÇA COSTA L A, et al. Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure[J]. J Clean Prod,2015,86: 9-14.

[12] WANG K, LI X K, HE C, et al. Transformation of dissolved organic matters in swine, cow and chicken manures

- during composting [J]. *Bioresour Technol*, 2014, 168: 222-228.
- [13] ACHIBAA W B, LAKHDARA A, GABTENIB N, et al. Accumulation and fractionation of trace metals in a Tunisian calcareous soil amended with farmyard manure and municipal solid waste compost [J]. *J Hazard Mater*, 2010, 176(1/2/3): 99-108.
- [14] 陈晓萍, 谢亚军, 罗光恩, 等. 蚕沙有机肥的养分特性及其肥效[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1803-1809.
- [15] 叶柄, 丁桂芳. 森林土壤分析方法: LY/T1210 ~ 1275—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [16] 李阜棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 32-36.
- [17] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [18] 王绍文. 固体废弃物资源化技术与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003: 6.
- [19] 刘卫星, 顾金刚, 姜瑞波, 等. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度评价指标[J]. *土壤肥料*, 2005(3): 3-7.
- [20] DE BERTOLDI M, VALLINI G, PERA A. The biology of composting: A review [J]. *Waste Manage Res*, 1983, 1(1): 157-176.
- [21] MILLER F C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors [C] // METTING F B, Jr. *Soil microbial ecology, applications in agricultural and environmental management*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1992: 515-544.
- [22] KEENER H M, DICK W A, HOITINK H A J. Composting and beneficial utilization of composted by-product materials [C] // DICK W A. *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*. Madison: Soil Science Society of America, Inc., 2000: 315-341.
- [23] 窦森, 王帅. 不同微生物对形成不同腐殖质组分的差异性研究进展[J]. *吉林农业大学学报*, 2011, 33(2): 119-125.
- [24] 刘佳, 李婉, 许修宏, 等. 接种纤维素降解菌对牛粪堆肥微生物群落的影响[J]. *环境科学*, 2011, 32(10): 3073-3081.
- [25] GODDEN B, BALL A S, HELVENSTEIN P, et al. Towards elucidation of the lignin degradation pathway in actinomycetes [J]. *J Gen Microbiol*, 1992, 138: 2441-2448.
- [26] BIBOLLET X, BOSCH N, MATULOVA M. et al. ^{13}C and ^1H NMR study of cellulose metabolism by *Fibrobacter succinogenes* S85 [J]. *J Biotechnol*, 2000, 77(1): 37-47.
- [27] 胡明勇, 刘强, 陈雄鹰, 等. 两种钙化合物在猪粪-稻草堆肥中除臭及保氮效果研究[J]. *湖南农业科学*, 2009(7): 51-54.
- [28] WITTER E, KIRCHMANN H. Peat, zeolite and loasalt as adsorbents of ammoniacal nitrogen during manure decomposition [J]. *Plant Soil*, 1989, 115(1): 43-52.
- [29] 赵明梅, 牛明芬, 何随成, 等. 不同微生物菌剂对牛粪堆肥发酵影响的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊): 587-590.

【责任编辑 李晓卉】