

香蕉茎秆与鸡粪混合堆肥效果的探讨

匡石滋, 李春雨, 田世尧, 易干军, 刘传和

(广东省农业科学院果树研究所, 广州 510640)

摘要: 利用香蕉茎秆与鸡粪为底料进行了 C/N 分别为 15.2、21.5、25.5、31.8、41.5 的堆肥对比试验, 量化研究了堆肥过程中堆体的温度、水分、pH 和 EC、全碳、全氮及 C/N、养分有效含量随时间的变化规律。结果表明, 堆体初始 C/N 在 20~40 范围内, 均能成功地进行好氧堆肥。当 C/N 低于 15.2 时, 堆体温度上升快, 但高温持续时间短, pH 高, 水溶性盐分的含量高, 有机质和总养分含量较低, 而且由于加入鸡粪太多, 增加了堆肥的成本; 当 C/N 大于 41.5 时, 堆体温度上升慢, 进入高温期所需时间长, 堆体含水率过高。综合考虑各方面因素, 堆肥初始 C/N 控制在 20~30 为宜, 以 25.5 为最佳; 腐熟期为 27 d 左右, 对应适宜的 C/N 判断值为 18。

关键词: 香蕉茎秆; 鸡粪; 堆肥效果

中图分类号: S141.4 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2011)03-0591-08

Composting Impact on Banana Pseudostem and Chicken Manure

KUANG Shi-zi, LI Chun-yu, TIAN Shi-yao, YI Gan-jun, LIU Chuan-huo
(Institute of Fruit Tree Research Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Compost comparison tests were conducted using banana pseudostem and chicken manure as substrate materials, with different C/N ratios of 15.2, 21.5, 25.5, 31.8, 41.5. The variance of the compost pile temperature, moisture, pH, EC, total carbon, total nitrogen, C/N ratio and nutrients availability was studied quantitatively during the process of composting. Results showed that when the original C/N ratio was in the range of 20~40, aerobic composting was successful. When the C/N ratio was below 15.2, though the pile temperature increased rapidly, the high temperature lasted short time. In addition, high pH, high soluble salt concentration, poor organic matter and total nutrient, and increasing cost of composting were unfavorable to the composting process. When C/N ratio was over 41.5, the pile temperature increased slowly and high temperature lasted long, but pile moisture percentage was too high. In summary, the appropriate C/N ratio range for composting was 20~30, and the optimum value was 25.5. Composting time was 27 days, and the corresponding C/N was 18.

Keywords: banana pseudostem; chicken manure; composting

香蕉作为热带作物具有速生和生物量高的特点, 在香蕉生产的同时, 也产生几乎等量的副产品。长期以来香蕉茎秆一直被当作废弃物, 不仅没有得到合理的利用, 而且造成了环境污染^[1]。主要原因是其体积大、搬移困难, 纤维素含量高(占 3.2%~4.4%), 难以在短时间内分解, 因此大部分作为废弃物被丢弃或焚

烧, 不仅造成极大的资源浪费, 而且堆放到田边占用很大场地, 减少了耕地的利用率, 严重污染着香蕉园内外的生态环境。香蕉茎秆中含有丰富的营养成分, 具有较优越的营养价值和开发价值^[2], 而目前对香蕉茎秆的利用率极低。因此, 如何有效利用蕉秆, 保护农业环境, 是香蕉产业所面临的重要问题^[3]。堆肥化处理是目前针对农业有机固体废弃物无害化、减量化、资源化的根本途径^[4]。利用香蕉茎秆残体为主要原料堆制有机肥, 既可以研制开发一种新型的有机肥料, 也可以减少因过多施用化肥和废弃物本身对环境的污染。

目前, 有关利用香蕉废弃茎叶堆肥方面的研究资

收稿日期: 2010-10-15

基金项目: 国家星火计划项目(2010GA780005); 国家科技支撑计划项目(2007BAD89B14); 广东省科学事业费项目(2010B031800012); 广东省科技计划项目(2009B02020101D)

作者简介: 匡石滋(1963—), 男, 高级农艺师, 主要从事果树栽培及病虫害防治方面的研究。E-mail: kuangshizi@126.com

料较少。张聿柏等^[5]对香蕉茎秆堆肥化处理腐熟指标进行了研究,邓晓等^[6]对不同 C/N 香蕉秆堆肥化过程中微生物种群的动态变化进行了研究。关于香蕉茎秆与鸡粪混合堆肥效果的研究很少,本试验利用粉碎的香蕉茎秆与鸡粪配制成不同的 C/N 的底料,在自然条件下进行堆制,探讨不同初始 C/N 对堆肥过程的影响,以期提高香蕉茎秆的处理效率,为香蕉废弃物堆肥化资源利用提供可靠依据。

1 材料与方法

1.1 堆肥原料

供试香蕉茎秆采自广东省中山市坦洲镇恒衍果场的新鲜蕉秆,用青贮铡草机切断粉碎至 2~3 cm 长,并用鸡粪调节 C/N。堆肥原料的特性见表 1(均为实测值)。

表 1 堆肥原料特性

Table 1 Property of composting raw materials

试验材料	含碳/ %	含氮/ %	C/N	含水率/ %	pH	有机质/ %	有效磷/ %	速效钾/ %
香蕉茎秆	32.39	0.78	41.53	89.01	7.75	55.85	0.22	3.85
鸡粪	11.10	1.17	9.48	26.31	7.43	19.14	1.65	0.89

1.2 试验设计

1.2.1 试验处理

试验按照堆体 C/N 的不同共设 6 个处理,根据原料的初始 C/N,确定出蕉秆与鸡粪的重量比。各处理堆肥材料及其 C/N 见表 2。

表 2 堆肥试验设计

Table 2 Design of the composting experiment

处理	组成成分	C/N
1	香蕉茎秆、加菌剂	41.5
2	香蕉茎秆、鸡粪、加菌剂	31.8
3	香蕉茎秆、鸡粪、加菌剂	25.5
4	香蕉茎秆、鸡粪、加菌剂	21.5
5	香蕉茎秆、鸡粪、加菌剂	15.2
6	香蕉茎秆(CK)	41.5

1.2.2 堆制方法

粉碎后的蕉秆堆制成长 150 cm、宽 120 cm、高 120 cm 的长条形,并分层加入 0.2% 的复合发酵菌剂进行堆制。蕉秆堆制后对其进行定期翻堆,并每日测定堆体上、中、下部的温度。

1.3 采样及方式

1.3.1 采样时间及方法

分别于堆制的第 0、5、10、15、20、27、34、41、48 d

采集堆肥样品,并观察堆体中香蕉茎秆纤维的分解程度、堆体颜色及气味变化。样品在堆体的上、中、下部多点采集、混合。每个处理组各采集 2 个混合样品,其中 1 个混合样品测定水分后制成风干样,用于全碳、全氮、有效磷、速效钾和有机质的测定,1 个混合样品作为鲜样带回实验室立即进行 pH、水分、EC 值(电导率)的测定。

1.3.2 外观分析

采用表观分析法,每次采样时观察记录堆体填料的机械结构、颜色、气味及蚊虫滋生情况等。

1.3.3 温度测定

每日 11:00 和 13:00 使用 SWK-2 数字式温度计(浙江慈溪智能仪器厂产)测定堆体上、中、下部的温度,计算其平均值。同时测定环境温度。

1.3.4 化学指标

鲜样测定指标:含水率利用 SC-10 型水分测定仪(上海良平仪器仪表有限公司产)测定;pH 值利用 B-3 型 pH 计(上海三信仪表厂产)测定;EC 值利用 5061 型 EC 计(上海三信仪表厂产)测定。

风干样测定指标:全氮采用凯氏定氮法;速效钾采用火焰光度法;有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;有机质采用重铬酸钾氧化-容量法。

1.4 统计分析

数据处理及图表制作均利用 Excel 完成。

2 结果与分析

2.1 堆体物理性状的变化

堆肥过程中,除了堆体内部发生一系列微生物生理生化反应外,外观也发生很大的变化。试验表观分析结果为:堆肥开始时,各个处理的堆料均呈黄褐色,且具有很浓的臭味,招引了大量蚊蝇。堆制第 4 d 时,处理 1、处理 2 表层出现大量灰白色菌丝网,堆制第 5 d 时,处理 3、处理 4、处理 5 表层也出现少量白色菌斑。但均有浓重臭味,吸引蚊蝇。同时与堆料的原始体积相比,处理 1~6 的堆体体积分别减少 26.6%、30.1%、30.3%、18.1%、14.3% 和 19.4%。堆制第 10 d 时,处理 1~4 的表层为深褐色,处理 5 的表层为黑褐色,但是各个处理内部仍为黄褐色。堆制第 11 d 时,处理 2、处理 3、处理 4 出现真菌菌落。堆制第 12 d 时,处理 1 和处理 5 也开始出现真菌菌落。堆制第 20 d 时,处理 5 的颜色变成黑褐色,处理 1~4 都变成黑色,处理 6 表层为黑褐色,内部仍为黄褐色。同时处理 1~6 的堆体体积分别减少 61.7%、50.5%、53.4%、

46.5%、34.9%和 45.5%。这与 Garcia 等发现的堆肥过程中堆体体积减少 1/3~1/2 的结果相一致^[7]。接下来的 20 多天香蕉茎秆纤维逐渐分解破碎，颜色较为均匀，异味减小；堆肥约 30 d 之后堆体温度下降，几乎见不到块状香蕉茎秆纤维，各处理均有潮湿泥土的气味，颜色为黑褐色，质地较松软，不再吸引蚊蝇、跳蚤。

2.2 堆体温度和含水率的变化

2.2.1 温度的变化

堆体温度变化是微生物作用的结果，能够反映堆肥内部微生物的活动，也是评价堆肥化过程的重要指标之一。从图 1 可以看出，C/N 不同的各个处理温度变化趋势大体相同，均表现为升温期、高温期和降温期的阶段变化规律，但堆体的升温速度、高温持续时间和降温速度还是有一定差异。处理 2、处理 3、处理 4 在 5 d 后分别达到 56、54、53℃，处理 5 虽然在 3 d 后就达到 52℃，但最高温低于上述 3 个处理，而对照处理 6 最高温度只有 34℃；处理 1 在 7 d 后才达到最高温 39℃。处理 3 高温持续时间最长，以处理 5 降温速度最快。处理 2、处理 3 平均堆体温度较高，最有利于堆肥的发酵和腐熟。处理 5 由于堆体起始 C/N 低，可供微生物利用的含碳量较少，而不利于微生物后续的繁殖和发挥作用，加上鸡粪含量高、有机质多、水分产生得多，也导致堆体降温速度快。处理 1 和处理 6 虽然含碳量较高，但由于含氮量低，同样不利于微生物繁殖和发挥作用^[8]。第 27 d 后各处理温度基本稳定在 30℃左右，堆体温度基本随环境温度的变化而变化。从温度变化趋势看，堆肥在第 27 d 左右已经完成高温发酵。所有添加菌剂的处理均比未加菌剂的对照处理温度上升快、堆体温度高、高温延续时间长，这说明在堆肥初始阶段加入复合发酵菌剂可以对堆体温度有一定的提升作用(有关菌剂对堆肥腐熟作用

的影响,另文讨论)。

2.2.2 含水率的变化

含水量是控制堆肥过程的一个重要参数。堆制过程中保持适宜的水分含量，是堆肥制作成功的首要条件。由于微生物大都缺乏保水机制，对水分极为敏感。通常有机物吸水后会膨胀软化，有利于微生物分解；水分在堆肥中移动时，所带菌体也会向四周移动和扩散，并使堆肥分解腐熟均匀；水中溶解的各种物质还会为微生物提供营养，并为微生物的繁殖创造条件。水分还有调节堆内通气和堆温的作用。水分太少，微生物活动受限制，影响堆肥速度；水分太多，会堵塞堆肥物料间空隙，影响其通透性，易形成厌氧状况，并产生臭气，养分损失大，堆肥也同样缓慢。图 2 表明，堆肥的含水率随着堆肥天数的增加而呈下降趋势。随着堆肥进行，水分减少、含水率下降，堆肥第 48 d 时，处理 1~6 的含水率与初始含水率相比，分别减少 11.2%、15.6%、21.1%、22.2%、27.6%、9.9%。其变化与堆体温度相关，温度高，水分含量少，但总的含水率减

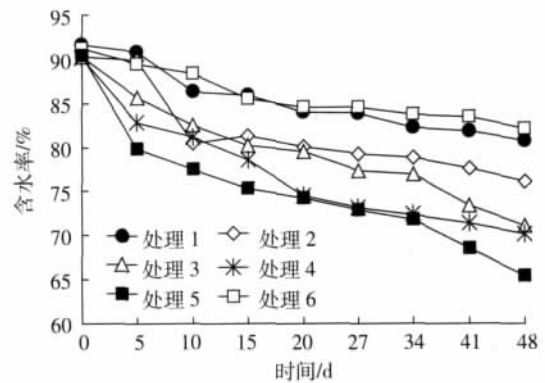


图 2 堆肥过程中含水率的变化

Figure 2 Changes of pile moisture percentage during the composting process

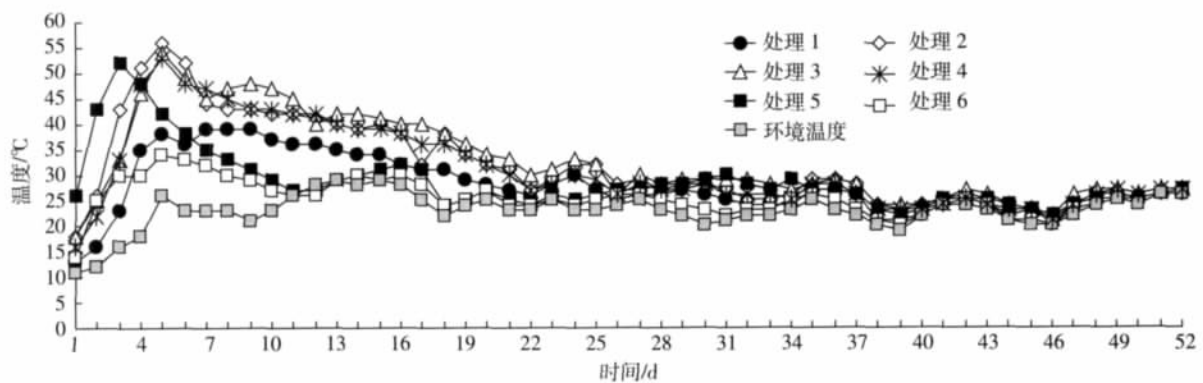


图 1 堆肥过程中堆温和气温的变化

Figure 1 Changes of air and pile temperature during the composting process

少幅度不大。原因可能是本试验采用新鲜的香蕉茎秆,含水率较高,堆肥初始含水率在89%~91%之间,香蕉茎秆切断后并未进行粉碎处理,香蕉茎腔内有一定的保水能力,而堆肥过程中的积水未采取排水措施,导致堆体水分含量下降缓慢,而且影响堆体温度,各处理高温延续时间较短,估计与堆体的含水率较高有一定的关系。

2.3 堆体 pH 和 EC(电导率)的变化

2.3.1 pH 的变化

各处理的平均初始 pH 为 8.03~8.10, 在堆肥初期,混合物料 pH 值迅速升高,图 3 表明,不同 C/N 处理对堆肥的 pH 变化有一定的影响,低 C/N 处理的 pH 较高,高 C/N 处理的 pH 较低,这主要是由于随着堆肥的进行,低 C/N 处理的含氮量较高,有机氮分解产生的 NH_4OH 较多,导致 pH 升高^[9]。pH 升到 8.4 以上后,随着有机物的降解,氨态氮转化为硝态氮而使 pH 值逐步回落,最后稳定在 8.2~8.5 之间。一般微生物最适宜的 pH 是中性或弱碱性,pH 太高或太低都会使堆肥化处理遇到困难。腐熟的堆肥一般呈弱碱性,本试验采用的堆肥填料起始 pH 即为弱碱性,因此能够使堆肥顺利进行,但由于填料的本身性质,各处理 pH 值的总体变化趋势基本相同,堆肥结束时各处理的 pH 值均符合腐熟堆肥 pH 值应在 8.0~9.0 之间的标准^[10]。

2.3.2 EC(电导率)的变化

堆肥施入土壤或用作温床养料时应当测量电导率,以评估其毒性。有研究认为,EC 不宜过高,否则不利于植株正常生长^[11],EC 高于 $4\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 时,会对种子发芽率产生不利影响^[12]。如图 4 所示,各处理的 EC 总体呈先上升后下降的趋势。堆肥前期 EC 逐渐升高,因为堆肥高温期,产生有机酸等对植物种子有毒性的物质,随着堆肥进行,这些物质逐渐消失,堆肥第 20 d 后 EC 呈下降趋势,这是因为堆肥生成腐植酸络合了更多的离子,使游离的可溶性盐含量减少。C/N 越低的处理,EC 就越高;至堆肥第 27 d 时,处理 5 的 EC 仍然在 $4\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上,这说明低 C/N 处理的堆体中水溶性盐分的含量较高。至堆肥结束,除处理 5 的 EC 高达 $4.1\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 外,其余各处理的 EC 均降至 $4\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以下,说明堆制结束时,堆肥基本已腐熟化,可溶性盐含量基本达到使用标准。

2.4 堆体全碳、全氮及 C/N 的变化

2.4.1 全碳百分含量的变化

堆肥发酵是通过微生物的生长代谢活动使有机

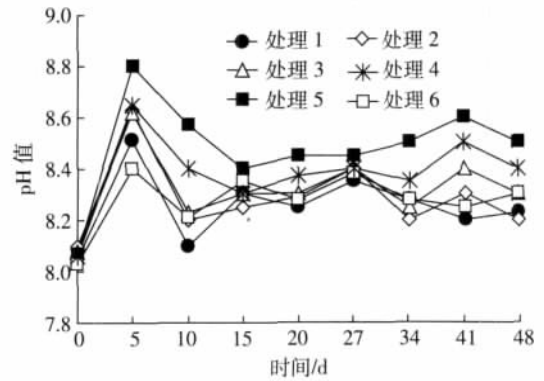


图 3 堆肥过程中 pH 值的变化

Figure 3 Pile pH changes during the composting process

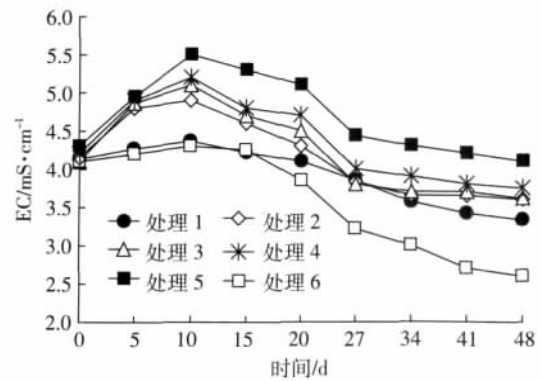


图 4 堆肥过程中 EC 的变化

Figure 4 Pile EC changes during the composting process

质分解的过程,不论是单一底料的堆肥还是不同组分按照一定比例混合堆肥,其结果都是有机碳不断的消耗减少^[13]。随着堆肥的进行各处理全碳含量缓慢下降,说明微生物在堆肥发酵期间,生长代谢活动旺盛,各类有机物分解为 CO_2 和水。不同 C/N 处理的全碳下降趋势又各不相同,具体变化趋势如图 5 所示。至堆肥结束时,全碳含量下降最多的是处理 5,下降了 6.5%;其次是处理 4 下降了 4.1%;处理 3 和处理 2 分

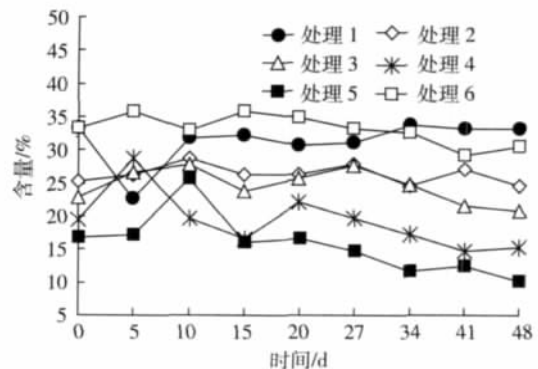


图 5 堆肥过程中全碳的变化

Figure 5 Organic carbon changes of pile during composting

别下降了 2.1% 和 0.9%; 处理 1 和处理 6 在堆肥结束时的全碳含量最高, 分别达 33.1% 和 30.4%。全碳含量过高, 微生物代谢旺盛, 但随之而来的是堆体内部的氧气供应相对不足, 限制了微生物的生长。处理 1 和处理 6 进入高温堆肥期时间较晚, 应与此相关。

2.4.2 全氮百分含量的变化

全氮变化如图 6 所示。在整个堆肥过程中, 各处理在堆制开始时无明显差异, 但随着堆制的进行, 各处理含氮量均有所增加。原因是在堆肥过程中, 氮虽然会以气态或硝态流失, 但由于总碳含量的减少、水分的蒸发作用, 总干物质重量下降幅度明显大于 NH_3 挥发所引起的下降幅度, 最终使得干物质中全氮含量相对增加, 所以氮含量随着堆制天数的延长有增加的趋势^[4]。高温腐熟期以处理 3 的全氮含量为最高, 达 1.8%, 处理 5 最低为 1.2%, 说明本试验中处理 3 的保氮效果最好。腐熟后全氮含量: 处理 1 > 处理 6 > 处理 2 > 处理 3 > 处理 4 > 处理 5。

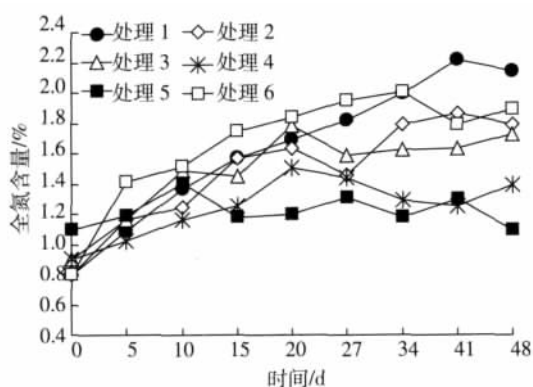


图 6 堆肥过程中全氮含量的变化

Figure 6 Changes of total nitrogen during composting

2.4.3 C/N 的变化

在堆肥过程中, 微生物利用大量的碳作为能源, 在自身代谢过程中, 由于氧化作用, 生成二氧化碳排出, 另一部分碳则生成原生质; 氮则主要被用于原生质的合成。因此, 对于微生物的营养需要来讲, C/N 是一个重要的因素^[15]。对于堆肥品质来讲, 若 C/N 过高, 堆肥施用后将夺取土壤中的氮素, 造成植物的“氮饥饿”; 若 C/N 过低, 由于氮素过多, 有机肥料施入土壤中会造成植物“烧苗”现象^[6]。因此, 合适的 C/N 是堆肥是否达到腐熟的一个重要标志。从图 7 可以看出, 随着堆肥的进行, 各个处理的 C/N 均呈下降的趋势。这是由于随着堆制进行, 微生物消耗大量碳水化合物, 总碳量呈下降趋势, 全氮含量相对增加, 使堆体 C/N 逐渐减小, 堆肥逐渐达到腐熟。

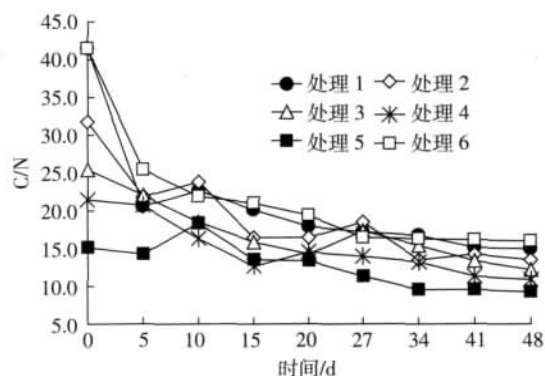


图 7 堆肥过程中 C/N 变化

Figure 7 Changes of C/N ratio during composting

Hirai 等^[17]提出, 若堆肥起始的 C/N 为 25~30, 当其降到 20 左右或以下时, 可以认为堆肥已达腐熟。根据这一标准, 处理 1 和处理 6 在第 20 d 时已达腐熟, 处理 2 在 15 d 时已达腐熟, 处理 3 和处理 4 在第 10 d 时已达腐熟; 处理 5 由于其初始 C/N 较低, 仅为 15.2, 堆肥化过程中的 C/N 变化不明显, 此时 C/N 就不适宜作为评价腐熟度的参数。由于不同原料的性质有很大差异, C/N 不能作为评价堆肥腐熟与否的绝对指标。Morel 等^[18]建议采用 $T = (\text{终点 C/N}) / (\text{初始 C/N})$ 来评价城市垃圾堆肥的腐熟度, 并提出当 $T < 0.60$ 时堆肥达到腐熟。本研究中, 处理 5 在经过 48 d 的堆肥后, T 值为 0.60, 已达腐熟。但是, 不同物料的性质有很大差异, 适合于香蕉茎秆与鸡粪混合堆肥腐熟度评价的 T 值水平及其可行性还有待进一步的研究。从堆料 C/N 的变化还可以看出, 未加菌剂处理的 C/N 高于其他处理, 说明在堆肥中加菌剂对堆料的腐熟有促进作用。

2.5 堆体养分有效含量的变化

2.5.1 有效磷及速效钾含量的变化

堆肥过程是一个复杂的生物化学过程, 伴随着堆肥化进程, 磷、钾的释放和固定, 磷、钾的含量直接影响最终堆肥品质。各处理有效磷及速效钾的相对含量随着总干物重下降均有不同程度的增加, 但增幅程度因处理不同而存在差异。由图 8 可以看出, 有效磷含量变化, 堆肥末期与堆肥初期相比, 处理 4 的有效磷含量增加了 0.7%, 处理 3 增加了 0.3%, 处理 1 和处理 6 变化平缓, 各处理有效磷含量增幅依次为处理 4 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 1 > 处理 5 > 处理 6; 由图 9 可以看出, 不同处理速效钾含量的变化趋势基本一致, 其中处理 1 最为突出, 堆肥末期与堆肥初期相比, 处理 1 的速效钾含量增加了 3.3%, 处理 2 增加了 2.1%, 在堆肥末期各处理速效钾含量增幅依次为处理 1 > 处理

2>处理3>处理4>处理6>处理5。由此可以看出,高C/N处理速效钾含量也高,原因是香蕉属喜钾作物,在生产过程中吸收钾素较多,茎秆处理前速效钾含量高,达3.8%,初始C/N高,堆体的茎秆量多,添加鸡粪少,所以速效钾相对含量就高。处理1和处理6的初始C/N相同,由于处理6未加菌剂,发酵过程较慢,导致速效钾含量较处理1低。

2.5.2 有机质含量的变化

堆肥过程中有机物质在微生物作用下分解转化为二氧化碳、水及矿物质等,分解产物又在微生物的作用下合成新的腐植酸物质^[9]。有机质含量的变化如图10所示。随堆肥的进行各处理有机质含量逐渐下降,在升温期分解的主要是简单的、易分解的有机质,高温期处理4、处理5的有机质含量下降幅度明显,至降温期是有机质降解的又一主要时期,处理2、处理3、处理4、处理5有机质含量再次下降。在堆肥后期和腐熟期,各处理有机质含量变化不大。堆肥末期,处理4和处理5的有机质含量与堆肥前期相比分别下降了9.3%和8.7%,这可能是因为在堆制过程中的温度比

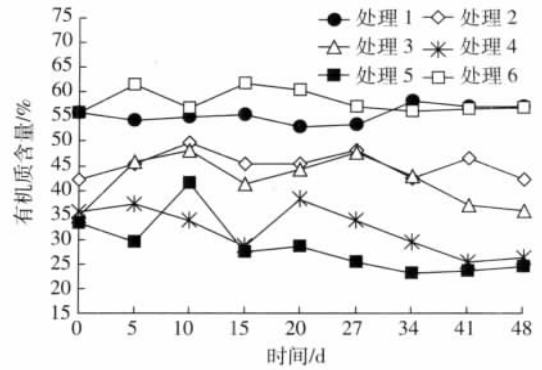


图10 堆肥过程中有机质含量的变化
Figure 10 Changes of organic matter during composting

较高,过度消耗有机质,这有可能降低堆肥有机质的含量,其余处理有机质含量比堆肥前略有增加。

3 讨论

从外观物理指标看出,当茎秆堆制到类似土壤的气味,质地较松软,不再吸引蚊蝇、跳蚤时即为腐熟。这一指标虽然不能准确反应不同处理间的数量变化,但在生产实际中可以参考使用^[5]。

由图1可见,初始C/N低,温度虽然上升快,但降温也快,C/N比为31.8、25.5、21.5的处理温度高,持续时间长,有利于堆肥的进行。由图2可见,不同C/N处理含水率变化均呈下降趋势。李秀金等^[20]研究表明,当堆体的含水率>75%时,由于孔隙中含有大量的水,此时的发酵为厌氧发酵,不利于堆肥的进行。本试验初始含水率过高,影响了堆体的升温。建议采用香蕉茎秆堆肥时,将新鲜香蕉茎秆自然晾干5~7d,初始含水率控制在70%左右为宜。

不同C/N处理对堆肥的pH变化有一定的影响,低C/N处理的pH较高,高C/N处理的pH较低,本试验各处理堆肥终点pH值在8.0~9.0之间,符合腐熟标准,因此堆肥初期不需要调节pH值。在堆肥过程中,堆体EC呈先升后降趋势,初始C/N越低的处理EC就越高,C/N低于15.2时,堆肥终点EC大于4 mS·cm⁻¹;初始C/N为21.5~41.5的处理堆肥终点EC都小于4 mS·cm⁻¹,可直接将堆肥施入土壤,不会对植物产生毒害。

堆肥的有效性在很大程度上依赖于堆肥底物的性质,一般来说,C/N是底物堆肥性能的指示参数。由图7可见,随着堆肥的进行,各个处理的C/N均呈下降的趋势。堆肥初始C/N在20~40范围内,均能成功地进行好氧堆肥。综合考虑各方面因素,香蕉茎秆与

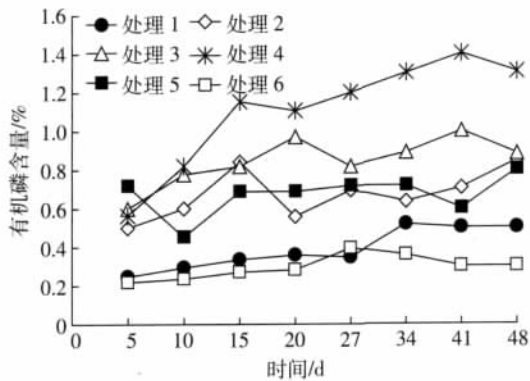


图8 堆肥过程中有效磷含量的变化

Figure 8 Changes of available phosphorus during composting

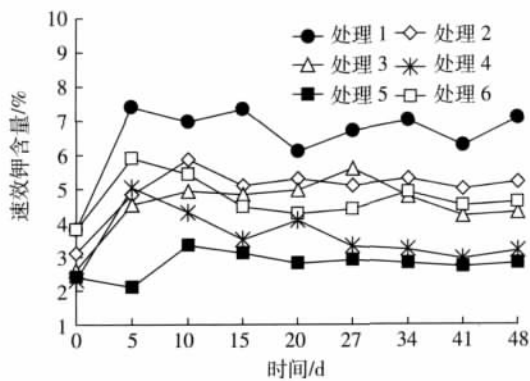


图9 堆肥过程中速效钾含量的变化

Figure 9 Changes of rapid available potassium during composting

鸡粪混合比例,以配制的初始 C/N 控制在 20~30 为宜。

堆肥的有机质、氮、磷、钾的含量是评判有机肥料品质的重要指标。从图 10、图 6、图 8、图 9 可以看出,堆肥结束时,处理 1~处理 6 的有机质含量分别为 57%、42.2%、35.9%、26.4%、24.6%、56.7%; 氮含量分别为 2.2%、1.8%、1.7%、1.4%、1.1%、1.9%; 有效磷含量分别为 0.5%、0.8%、0.9%、1.3%、0.8%、0.3%; 速效钾含量分别为 7.1%、5.2%、4.3%、3.2%、2.8%、4.6%。据《有机肥料》(NY 525—2002)^[21]:有机肥料的总养分(N、P、K)含量应 $\geq 4.0\%$ 。至堆肥结束时,处理 1~6 的有机肥料氮、磷、钾总养分含量分别为 9.8%、7.8%、6.9%、5.9%、4.7%、6.8%,各处理的有机肥料总养分含量均符合有机肥料总养分含量的标准,但含量大小随 C/N 高低而变化,初始 C/N 低,总养分含量也低,由此可见,C/N 过低会影响堆肥品质下降。由此推论,初始 C/N 在 21.5 以下对堆肥的质量有一定的影响,而且初始 C/N 较低时,加入鸡粪太多,增加了堆肥的成本。初始 C/N 定在 20~30 之间是比较合适的,有利于提高堆肥的质量。

腐熟度评价参数的确定还有争议,通常将化学指标和生物学指标综合起来用以评价腐熟度是目前最为常用的方法^[22]。通过对比分析本试验不同配比堆肥过程中的各项指标发现,堆肥的高温腐熟期为 27 d 左右,此时的堆体温度和水分变化趋于稳定,pH 值均符合腐熟堆肥 pH8.0~9.0 之间的标准,EC 的变化除处理 4 和处理 5 外,其余各处理的 EC 均降至 $4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以下。与初始 C/N 在 20~30 之间相对应的处理 4、处理 3 和处理 2,堆至 27 d 左右时,其 C/N 分别降至 14.0、17.3 和 18.6,氮、磷、钾总养分含量分别为 5.9%、8.0%、7.3%,以处理 3 为最高;有机质含量分别为 33.8%、47.5%和 48.0%。从上述试验的各指标分析,香蕉茎秆与鸡粪混合堆肥的高温腐熟期为 27 d 左右,对应的适合的 C/N 判断值为 18,这与张聿柏等^[5]的研究结果基本相同。综合分析各处理的堆肥效果,其中又以处理 3 为最适堆肥配比,即香蕉茎秆与鸡粪混合配制的初始 C/N 为 25.5 时,其堆肥腐熟效率高,堆肥质量好。

4 结论

堆体初始 C/N 在 20~40 范围内,均能成功地进行好氧堆肥,当 C/N 低于 15.2 时,堆体温度上升快,但高温持续时间短、pH 高、水溶性盐分的含量高、有

机质总养分含量较低,而且由于加入鸡粪太多,增加了堆肥的成本。当 C/N 大于 41.5 时,堆体温度上升慢,进入高温期时间长,堆体含水率过高。综合考虑各方面因素,堆肥初始 C/N 控制在 20~30 为宜,以 25.5 为最佳;腐熟期为 27 d 左右,对应的适合的 C/N 判断值为 18。

参考文献:

- [1] 杨华,许继宏.香蕉副产品的净化处理与综合利用[J].云南农业科技,2006,4:62-64.
YANG Hua, XU Ji-hong. A spin-off from the purification of the processing and comprehensive utilization[J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2006, 4:62-64.
- [2] 陈蓉,梁永,杨素娇,等.香蕉假茎营养成分的分析[J].湛江师范学院学报(自然科学版),2000,21(12):11-14.
CHEN Rong, LIANG Yong, YANG Su-jiao, et al. The analysis of nutritional components of pseudostem of *Musa nana* Lour[J]. *Journal of Zhanjiang Normal College (Natural Sciences)*, 2000, 21(12):11-14.
- [3] 徐云升,宋维春.香蕉产业化循环经济模式的研究[J].琼州学院学报,2008,15(5):51-53.
XU Yun-sheng, SONG Wei-chun. Study on circulatory economic mode of banana industrialization[J]. *Journal of Qiongzhou University*, 2008, 15(5):51-53.
- [4] 王革华.实用秸秆资源化利用的主要途径[J].上海环境科学,2002(11):37-40.
WANG Ge-hua. Practical use of the main way to stalk resource[J]. *Shanghai Environmental Science*, 2002(11):37-40.
- [5] 张聿柏,李勤奋.香蕉茎秆堆肥化处理腐熟度评价研究[J].中国农学通报,2009,25(9):268-272.
ZHANG Yu-bai, LI Qin-fen. Study on evaluation of maturity during banana stem composting treatment[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(9):268-272.
- [6] 邓晓,侯宪文,李光义,等.不同 C/N 比香蕉秆堆肥化过程中微生物种群的动态变化[J].热带作物学报,2009,30(5):651-656.
DENG Xiao, HOU Xian-wen, LI Guang-yi, et al. Dynamic changes of microbial populations during the composting process of banana pseudostems at different ratios of carbon to nitrogen[J]. *Guangdong Agriculture Science*, 2009, 30(5):651-656.
- [7] Garcia C, Costa H F, Aynso M. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters[J]. *Common Soil Sci Plant Anal*, 1992, 23(13-14):1501-1512.
- [8] 半振明,高忠爱,祁梦兰,等.固体废弃物的处理与处置[M].北京:高等教育出版社,1996:239.
MI Zhen-ming, GAO Zhong-ai, QI Meng-lan, et al. Solid waste treatment and disposal[M]. Beijing: Higher Education Press, 1996:239.
- [9] 魏源送,李承强,樊耀波,等.不同通风方式对污泥堆肥的影响[J].环境科学,2001,22(3):54-60.
WEI Yuan-song, LI Cheng-qiang, FAN Yao-bo, et al. Effect on sewage sludge composting with different aeration modes[J]. *Environmental Science*, 2001, 22(3):54-60.

- [10] 李艳霞, 王敏健, 王菊思. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标[J]. 环境科学, 1999, 20(2): 98-103.
LI Yan-xia, WANG Min-jian, WANG Ju-si. The maturity indexes and standards of organic solid waste composting[J]. *Environmental Science*, 1999, 20(2): 98-103.
- [11] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 等. 不同填充料污泥好氧堆肥的性质变化及腐熟度[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 61-65.
LI Cheng-qiang, WEI Yuan-song, FAN Yao-bo, et al. The character changes and maturity of sewage sludge aerobic co-composting with various bulking agents[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2001, 22(3): 61-65.
- [12] 李艳霞, 薛澄泽, 陈同斌. 污泥和垃圾堆肥用作林木育苗基质的研究[J]. 农村生态环境, 2000, 16(1): 60-63.
LI Yan-xia, XUE Cheng-ze, CHEN Tong-bin. Use of sewage sludge and refuse compost as medium for sapling cultivation[J]. *Rural Eco-Environment*, 2000, 16(1): 60-63.
- [13] 朴哲, 崔宗均, 苏宝林. 高温堆肥的物质转化与腐熟进度关系[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(3): 74-78.
PIAO Zhe, CUI Zong-jun, SU Bao-lin. Relation ship between the converse characteristics of substances and the decompose process in quick fermentation and compost system[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2001, 6(3): 74-78.
- [14] 沈其荣, 王瑞宝, 王岩, 等. 堆肥制作中的生物化学变化特征[J]. 南京农业大学学报, 1997, 20(2): 51-57.
SHEN Qi-rong, WANG Rui-bao, WANG Yan, et al. Biochemical characteristics of composting[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1997, 20(2): 51-57.
- [15] 马迪, 赵兰坡. 禽畜粪便堆肥化过程中碳氮比的变化研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 193-197.
MA Di, ZHAO Lan-po. A research of carbon-nitrogen ratio variation during animal manure composting[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(14): 193-197.
- [16] 张福锁, 龚元石, 李晓林. 土壤与植物营养研究动态[M]. 第3卷. 北京: 中国农业出版社, 1995: 319-349.
ZHANG Fu-suo, GONG Yuan-shi, LI Xiao-lin. Soil and vegetation nutritional research dynamic[M]. Beijing: China's Agriculture Press, 1995: 319-349.
- [17] Hirai M F, Chanyasakv, Kubota H. A standard measurement for compost maturity[J]. *Biocycle*, 1983, 24: 54-56.
- [18] Morel T L, Conliff, Germonj, et al. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost[C]//GASSER J K R. Composting of agricultural and other wastes. New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. 56-72.
- [19] 陈鲜妮, 来航线, 田霄鸿, 等. 接种微生物条件下牛粪+麦秸堆腐过程有机组分的动态变化[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2417-2421.
CHEN Xian-ni, LAI Hang-xian, TIAN Xiao-hong, et al. Dynamics of organic fractions of cow manure plus wheat straw during decomposition with microbial inoculation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(11): 2417-2421.
- [20] 李秀金, 董仁杰. 粪草堆肥特性的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(2): 31-35.
LI Xiu-jin, DONG Ren-jie. Character istics of cattle manure and rice straw composting[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2002, 7(2): 31-35.
- [21] 张克强, 高怀友, 季民, 等. 畜禽养殖业污染物处理与处置[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 51.
ZHANG Ke-qiang, GAO Huai-you, JI Min, et al. Vegetables to the breeding of the treatment of pollutants[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 51.
- [22] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 等. 堆肥腐熟度的研究进展[J]. 环境科学进展, 1999, 7(6): 1-12.
LI Cheng-qiang, WEI Yuan-song, FAN Yao-bo, et al. Advances in study of compost maturity[J]. *Advances in Environmental Science*, 1999, 7(6): 1-12.