

兰子平,刘敏,张育维,等.柑橘渣混合秸秆好氧发酵工艺[J].江苏农业科学,2016,44(12):491-493.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.145

# 柑橘渣混合秸秆好氧发酵工艺

兰子平,刘敏,张育维,雷光东

(内江师范学院化学化工学院/四川省高等学校“果类废弃物资源化”重点实验室,四川内江 641199)

**摘要:**采用猪粪、牛粪或猪牛混合粪为微生物来源,利用柑橘皮渣提供养分,使微生物快速繁殖,以农作物秸秆调节水分进行好氧发酵生产有机肥料。结果表明,柑橘皮渣和农作物秸秆质量比约为(4~5):1,控制初始含水量为65%~73%,堆体高度为0.6 m,高温发酵期都在10 d以上,30 d可达到腐熟。由结果可知,适量添加天然磷矿石粉提高堆体初始pH值,腐熟快,肥效高。

**关键词:**柑橘皮渣;好氧发酵;腐熟;有机肥

**中图分类号:** S188<sup>+</sup>.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0491-03

柑橘是世界范围内广泛种植的水果之一,其营养丰富,深受广大民众喜爱。近年来,我国柑橘种植业迅猛发展,2014年柑橘产量已达3 378万t<sup>[1]</sup>。由于保鲜原因,柑橘除少部分用于直接食用外,大部分用于加工,其中压汁是最为重要的加工方式,占总加工量的96%,然而伴随柑橘汁加工而产生大量的柑橘皮渣,其特点是含水量高、体积庞大、易腐败变质<sup>[2]</sup>,给处理带来了相当的难度。

多年来国内外对柑橘皮渣综合利用的探索较多,如提取柑橘香精油、果胶及膳食纤维等<sup>[3-8]</sup>,但都受到皮渣有效减量少、二次残渣污染问题而限制了应用。为了提高有效减量,将柑橘皮渣直接烘干作为饲料添加剂,但其保鲜难,含水量大于80%,烘干过程中能量消耗太多,运行成本高,企业难以承受<sup>[9-10]</sup>。为此,一些企业采用直接填埋处理,但因其水分含量高、体积大,占地量过大,并且填埋后产生的臭气和渗滤液,对地下水、空气造成严重的污染,有的企业因废渣处理不当带来环境污染被新闻曝光也时有发生,所以资源化利用柑橘皮渣是该产业可持续发展必需的。

与此同时,农作物秸秆处置也是当今一大难题。随着农业生产的发展,玉米、小麦等秸秆十分丰富,这些秸秆含水量低,含微生物营养物质少,微生物生长慢,堆肥处理腐熟周期长,腐熟不完全。其他加工难度大,许多农民直接燃烧处理,浪费和污染并存,各级政府都明确禁止燃烧秸秆。为此,笔者根据柑橘皮渣含水量高,含有丰富的糖分和有机营养物质且是微生物生长所需,秸秆正好吸收部分水分的特点,设计了柑橘渣混合秸秆好氧发酵工艺。本工艺以新鲜猪粪、牛粪为杂菌源,以农作物秸秆为水分调节剂,采用好氧堆肥法,无害化处理柑橘皮渣,生产出有机肥料,既可解决环境污染问题,又实现了农业废弃物的资源化。好氧堆肥过程中猪牛粪便中微生物不断消耗

柑橘皮渣中的营养成分,并进行自身繁殖,产生有机物质,不停地发生物理、化学、生物等方面的变化,最终达到稳定,并且腐熟形成良好的有机复合肥<sup>[11]</sup>。经过多次试验证实,加入适量的天然磷矿石,有利于堆肥过程中酸碱度的相对平稳,加快了微生物的活动,缩短了发酵周期,增强了最终肥效。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

柑橘皮渣:山东佳美食品工业有限公司内江分公司生产果汁的废弃物;鲜猪粪、鲜牛粪:用时现取于内江市郊区农场;玉米秸秆和小麦秸秆:取自内江周围农村,自然风干备用。

### 1.2 仪器

主要仪器:METTLER-AE240电子分析天平、DHG-9140A型电热恒温鼓风干燥箱、DFT-100手提式高速万能粉碎机、通用型农用切草机。

### 1.3 试验设计

试验设计为2个处理,其中混合秸秆比例以初堆物料含水量确定,初堆含水量约控制在70%。

(1)第1处理组。堆肥1:猪粪+柑橘皮渣+混合秸秆,其质量比为1:5:1;堆肥2:牛粪+柑橘皮渣+混合秸秆,其质量比为1:5:1;堆肥3:猪粪+牛粪+柑橘皮渣+混合秸秆,其质量比为0.5:0.5:5:1。

(2)第2处理组。堆肥4:猪粪+柑橘皮渣+混合秸秆+磷矿,其质量比为4:16:4:1;堆肥5:牛粪+柑橘皮渣+混合秸秆+磷矿,其质量比为4:16:4:1;堆肥6:猪粪+牛粪+柑橘皮渣+混合秸秆+磷矿,其质量比为2:2:16:1。

### 1.4 堆肥处理

将新压汁后的柑橘皮渣用粉碎机打成糊状,磷矿石打成碎粉,过60目筛,把玉米秸秆和小麦秸秆用切草机切成4~5 cm的碎段,两者质量比约为1:1,混合均匀。按相应比例把鲜猪粪或鲜牛粪、磷矿石粉与柑橘皮渣糊一起搅拌,混合均匀,再与相应比例的秸秆混合均匀。疏松堆放于半径0.75 m、高1 m的圆柱形水泥池中,物料堆放高度为0.6 m,池底放1个可隔离渗出液的网罩。表面盖适量稻草类保温材料。每7 d翻堆1次,保证池内氧气充足。堆肥时间为40 d。

收稿日期:2015-11-10

基金项目:四川省内江市应用技术与开发资金(编号:内市科知发函[2012]号);内江师范学院科研项目(编号:12njz12)。

作者简介:兰子平(1964—),男,四川内江人,副教授,主要从事无机及分析化学研究。

通信作者:雷光东,教授,主要从事有机合成研究。E-mail:leiguangd@163.com。

1.5 数据测定

含水量测定:每 4 d 取 1 次样品;每次于堆体多点取样 200 g 于小瓷盘中,并放于电热烘箱中,在 85 ℃ 下烘 8 h 至恒质量,计算含水量;再利用粉碎机打碎并过筛,封于塑料袋中,供分析用。

温度测定:每天 15:00 测定堆体的温度,测量时温度计须插入堆体表层约 30 cm,同时记录周围的环境温度。

pH 值测定:取翻堆时堆底渗出液或堆肥物适度挤压液,用 pH 试纸测定其 pH 值。

全碳的测定:马弗炉灼烧法<sup>[12]</sup>。

总氮的测定:凯式蒸馏法<sup>[13]</sup>。

有机质的测定:重铬酸钾容量法<sup>[13]</sup>。

磷的测定:分光光度法<sup>[13]</sup>。

2 结果与分析

2.1 堆料物理性状的变化

堆肥开始时,各处理组的堆体物料都呈黄色,并且具有一定的臭味,主要由果渣和粪便引起。堆至第 6 天时,牛粪处理组已经无臭味,猪粪和猪牛粪混合处理组仍有一定臭味,堆体表面至约 50 cm 深层都出现灰白色菌丝,堆底有少量渗出液。至 12 d 时,各堆均有大量灰白色菌丝,堆肥颜色变为灰黑色,约 50 cm 处有明显颜色界线,堆体 50 cm 以下物料颜色偏黄、菌丝少,各堆底渗出液量均有增加,猪粪和猪牛粪混合处理组堆肥仍有轻微臭味。第 27 天时,各堆肥仍有大量灰白色菌丝、各堆肥颜色均呈现黑褐色或黑色,均有潮湿泥土的气味与少量渗出液,堆肥基本达到腐熟。与此同时,随着堆肥的进行,物料腐熟度的增加,物料的体积也逐渐缩减,各堆体体积随时间变化情况如表 1 所示。

表 1 堆肥过程中各堆体体积变化情况

处理	不同堆肥时间的堆体相对体积(%)					
	1 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
堆肥 1	100	92	85	80	60	45
堆肥 2	100	92	85	80	65	45
堆肥 3	100	90	80	75	55	40
堆肥 4	100	89	82	80	60	45
堆肥 5	100	88	82	76	60	45
堆肥 6	100	87	80	75	55	40

注:测量体积时间比翻堆时间稍有推后。

2.2 堆肥过程中堆体温度的变化

堆肥过程中,堆体温度变化由升温期、相对稳定的高温期和降温期 3 个阶段构成,而各堆体的温度变化趋势相同(表 2)。

表 2 不同原料配比堆堆体温度特性

处理	升温至 50 ℃ 的时间(d)	≥50 ℃ 高温期		堆肥至开始 降温历时(d)
		最高温度(℃)	持续时间(d)	
堆肥 1	9	55	11	20
堆肥 2	9	56	11	20
堆肥 3	8	60	12	20
堆肥 4	8	55	12	20
堆肥 5	7	56	13	20
堆肥 6	4	59	16	20

由图 1、图 2 可知,2 个批次处理过程中环境温度相差较大。堆肥初期,由于微生物还处于适应期,分解有机质的能力

较弱,并且环境温度较低,故发热阶段时间稍长。通过第 1 次翻堆,为其中好氧微生物分解有机物提供了充足的氧气,堆肥温度逐渐升高,进入高温阶段,此时嗜热微生物快速繁殖,柑橘渣中的纤维素和果胶类物质被分解,释放出大量的热量。随着堆肥进程的继续,易分解的有机物已大部分被微生物分解,微生物活动减弱,产热量减少导致温度降低。在第 4 次翻堆后,温度快速下降,表明堆肥物质已呈稳定状态,堆肥进入腐熟阶段。从 2 批处理温度变化情况可见,猪牛粪混合堆肥,微生物种类丰富,适应环境能力强,能快速进入高温阶段,其中含有较多的嗜热菌,引发升温快,高温持续时间长,堆肥腐熟周期相对较短,降温速度相对较快。从翻堆后温度变化看,第 1 次翻堆时,微生物活动已较快,翻堆后堆温略有下降,但堆体温度较快恢复升温;第 2 次翻堆时微生物活动很快,堆温变化不大;而第 3 次翻堆时微生物活动高峰已过,温度开始下降,但下降较慢;第 4 次翻堆后温度较快下降,说明堆肥已进入熟化阶段。从 2 批处理温度变化情况看,猪牛粪混合导致升温快,高温持续时间长,堆肥腐熟周期相对较短,降温速度相对较快。

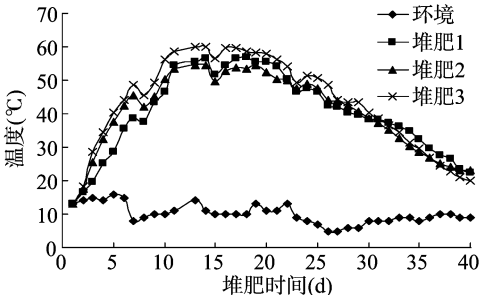


图 1 第 1 处理组各堆体温度随堆肥时间的变化

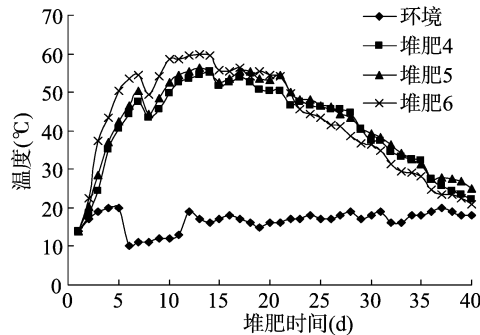


图 2 第 2 处理组各堆体温度随堆肥时间的变化

2.3 堆肥中 pH 值的变化

堆肥过程中酸碱度变化可以堆体渗出液作参考,由表 3 可见,pH 值在堆肥发酵过程中总体表现为先升高,达到一定数值后呈基本稳定的趋势;未加磷矿石的 pH 值变化略大,添加磷矿石的堆体 pH 值相对变化较小,其初始 pH 值相对高些,可见磷矿石具有明显的缓冲作用。同时,磷也是微生物所需元素,适当添加磷矿石更有利于微生物生长,加入磷矿石的堆体微生物生长旺盛,快速分解有机质,对促进堆肥腐熟是有利的。

2.4 水分含量的变化情况

在堆肥过程中水是微生物生长繁殖不可缺少的,菌体和养分都因水分而得以向堆体各处移动,水还使堆肥原料软化,更加容易被分解,所以须保持堆体内有适当水分。试验证实,控制料物的初始水分含量约为 70%,既有利于对含水量较高

表 3 堆肥过程中酸碱度变化情况

处理	不同堆肥时间的 pH 值					
	1 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
堆肥 1	5.5	6.0	7.0	7.5	7.5	7.5
堆肥 2	5.5	6.0	7.5	8.0	8.0	8.0
堆肥 3	5.5	6.3	7.5	8.0	8.0	8.0
堆肥 4	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	8.0
堆肥 5	6.5	7.5	7.5	8.0	8.5	8.0
堆肥 6	6.5	7.5	7.5	8.5	8.5	8.0

的柑橘渣减量,也使物料容易拌匀,同时能较好满足堆肥发酵的水分要求。从表 4 堆体水分含量变化看,20 d 内堆体水分变化不大,水分蒸发、渗出量和物料分解产生水分相当;20 d 后水分散失明显加快,表明堆肥进入腐熟阶段。最终经过风干的水分含量均低于 30%。

表 4 堆肥过程中各堆体含水率的变化

处理	不同堆肥时间的含水率(%)							
	3 d	7 d	11 d	15 d	19 d	23 d	30 d	45 d
堆肥 1	69.5	68.6	67.8	64.0	61.2	56.5	46.2	25.4
堆肥 2	72.5	70.5	68.0	66.4	62.5	58.2	46.0	27.0
堆肥 3	71.0	69.5	67.6	65.5	63.5	58.7	46.6	26.2
堆肥 4	65.7	65.0	61.5	56.3	52.5	48.5	42.3	24.7
堆肥 5	67.0	65.5	62.0	58.0	53.5	50.2	45.0	25.5
堆肥 6	66.5	65.5	63.0	60.0	55.5	51.0	46.2	27.5

## 2.5 堆肥过程中堆料碳氮比的变化

一般认为堆肥碳氮比为 (25 ~ 30) : 1 时,堆肥效果最好<sup>[14]</sup>,本试验中加入了粪肥,因此具有较好的堆肥效果。由图 3 可知,从试验 3 d 起记录碳氮比,随着堆肥的进行,堆肥的碳氮比均呈下降的趋势,初期下降较快,后期趋缓。堆肥 30 d 后各堆碳氮比均下降至初始碳氮比的 60% 以下,基本达到腐熟<sup>[15-16]</sup>。

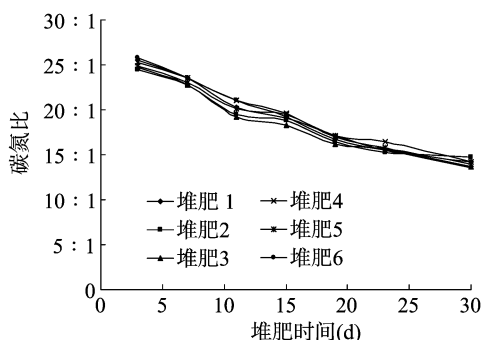


图 3 碳氮比随堆肥时间的变化

## 2.6 堆肥产品肥效

由表 5 可知,几种处理过程所得有机肥的肥效指标均达到了国家标准要求,其中堆肥 4 ~ 6 因添加磷矿石,其有机质含量更低一些,腐熟更趋完全,同时借助于堆肥过程中产生的有机酸对磷矿石进行了转化,因而磷和氮的含量相对高一些,所以综合肥效更好。

## 3 结论

本工艺原料为纯天然物,无任何化学添加,采用猪粪、牛粪或猪牛粪混合粪为微生物来源,利用柑橘皮渣提供养分,以农作物秸秆调节水分进行好氧发酵生产有机肥料,柑橘皮渣中丰富的养分能有效促进微生物的生长繁殖,提高了农作物

表 5 堆肥产品的肥效参数

来源	有机质质量 分数(%)	磷含量 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	钾含量 (%)	氮含量 (%)	pH 值	水分含 量(%)
文献[13]	≥45	≥1	≥1.8	≥1	5.5 ~ 8.5	≤30
堆肥 1	73.2	2.14		1.73	8	25
堆肥 2	74.5	2.21		1.84	8	27
堆肥 4	70.6	3.07		1.81	8	24
堆肥 5	70.1	3.01		1.89	8	26
堆肥 6	68.9	3.05		1.81	8	22

注:钾未测定。

秸秆的腐熟速度,且适量添加天然磷矿石粉提高了堆体初始 pH 值,为微生物生长提供了适合的环境和营养,明显加快了腐熟进程。综合整个发酵过程,堆肥 6 的处理工艺,物料腐熟快,综合肥效指标好,是工艺过程简单、操作技术要求低、适应性和推广性较强的新工艺。

## 参考文献:

- [1] 沈兆敏. 我国柑橘产业发展中值得重视的六大选择[J]. 果农之友, 2015(5): 4-6.
- [2] 温志英, 刘焕云. 柑橘加工废料综合利用现状及发展前景[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(11): 162-166.
- [3] EI - Nawawi S A. Extraction of citrus glucosides[J]. Carbon Hydrate Polymer, 1995, 27: 1-4.
- [4] Yi W K, Huang X G, Wang J M, et al. The study and application on forage of citrus percarp[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(2): 6-20.
- [5] Rosenberg M, Mannheim C H, Kopelman I J. Carotenoid base food colorant extracted from orange peel by dlimonene extraction process and use[J]. Lebensmittel - Wissens Chaft and Technology, 1983, 7(5): 227-270.
- [6] 余先纯, 李湘苏, 龚铮午. 微波与超临界 CO<sub>2</sub> 萃取联用提取橘皮精油的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(32): 18586-18588.
- [7] 张超, 曾顺德, 尹旭敏, 等. 柑橘皮渣酶解条件研究[J]. 南方农业, 2010, 5(4): 49-52.
- [8] 高余朵, 李保国. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取芦柑精油的研究[J]. 食品与机械, 2004, 20(6): 22-24.
- [9] 李赤翎, 李彦, 俞建. 柑橘皮渣发酵饲料研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 169-170, 174.
- [10] 童明伟, 刘彬, 陈胜立, 等. 发酵柑橘皮渣饲料的流态化干燥实验[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2008, 31(2): 155-157, 165.
- [11] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 252-256.
- [12] 黄国锋, 吴启堂, 孟庆强, 等. 猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价[J]. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 23(3): 1-4.
- [13] 崔勇, 杨帆, 李荣, 等. NY 525—2012 有机肥料[S].
- [14] 周群英, 王世芬. 环境工程微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 349-350.
- [15] 张鸣, 高天鹏, 刘玲玲, 等. 麦秆和羊粪混合高温堆肥腐熟进程研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 566-569.
- [16] 王景伟, 陶磅, 冷平, 等. 柿酒渣与牛粪混合高温堆肥效应研究[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(4): 55-59.