

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+.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amp;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。

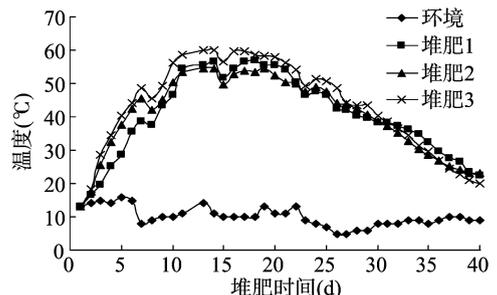


图1 第1处理组各堆体温度随堆肥时间的变化

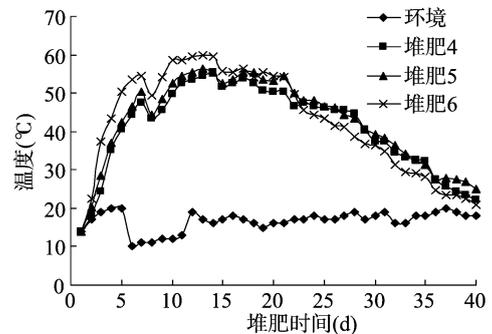


图2 第2处理组各堆体温度随堆肥时间的变化

### 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后水分散失明显增快,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>。

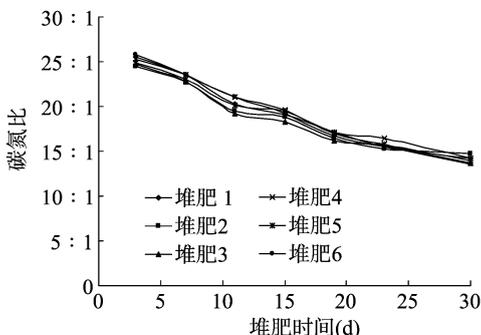


图3 碳氮比随堆肥时间的变化

## 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.