

## 不同调理剂对城市污泥好氧堆肥的影响

金 芬<sup>1</sup>, 孙先锋<sup>1</sup>, 高自文<sup>1</sup>, 周秋丹<sup>1</sup>, 邵瑞华<sup>1</sup>, 周晓毅<sup>2</sup>

(1. 西安工程大学 环境与化学工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 陕西迪隆环保科技有限公司, 陕西 西安 710016)

**摘要:**以西安城市污泥为主要原料,分别以药渣、木屑(刨花)、水稻、玉米和小麦秸秆为调理剂,和污泥混合进行好氧堆肥.通过测定堆肥过程中的温度、含水率、pH值、有机质含量以及种子发芽指数等指标研究不同调理剂对城市污泥好氧堆肥的影响.结果表明,各处理组在堆肥结束后均达到基本腐熟,其中以水稻秸秆为调理剂时升温最快,温度最高,且有机质减少量和发芽指数均达到最大;以木屑为调理剂时,各项指标均最小.说明水稻秸秆作为调理剂效果最好,药渣、玉米秸秆和小麦秸秆效果次之,木屑效果则最不理想.

**关键词:**调理剂;城市污泥;好氧堆肥;微生物;生长代谢

中图分类号:X7

文献标识码:A

## The influence of different conditioners on the aerobic composting of sewage sludge

JIN Fen<sup>1</sup>, SUN Xianfeng<sup>1</sup>, GAO Ziwen, ZHOU Qiudan<sup>1</sup>,  
SHAO Ruihua<sup>1</sup>, ZHOU Xiaoyi<sup>2</sup>

(1. School of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. Dillion Environmental Protection Technology Co. Ltd, Xi'an 710016, China)

**Abstract:** Sewage sludge in Xi'an is used as the main materials, and herb residue, sawdust, rice straw, corn straw and wheat straw are taken as the bulking agent, which is mixed with the sewage sludge. In order to judge the influence of different conditioners aerobic composting of sewage sludge, the temperature, moisture content, pH value, organic matter and germination index are measured in the composting process. The results show that the treated group at the end of the compost has basically reached maturity. The temperature increases highly and fastly when taking rice straw as the bulking agent, and organic matter decrement and germination index are the largest. When the sawdust acts as bulking agent, all the indicators are minimal. All in all, rice straw is the best sludge bulking agent, the herb residue, corn straw, and wheat

收稿日期:2014-05-09

基金项目:陕西省科技厅科技统筹创新工程项目(2011KTZB03-03-03-04)

通讯作者:孙先锋(1973—),男,陕西省西安市人,西安工程大学副教授,博士,研究方向为环境污染的生物与化学控制. E-mail: fakir73@sohu.com

straw are better one, and the sawdust is the worst.

**Key words:** bulking agent; sewage sludge; aerobic composting; microbiology; growth metabolism

## 0 引言

随着社会经济的发展,城市人口的增加,工业废水和城市生活污水的排放量日益增加,城市污水处理率逐年升高,同时,污泥的排放量也随之增多,城市污泥的可再生处理已经势在必行<sup>[1]</sup>。

污泥堆肥法处理成本低廉,能够除臭和有效地杀灭病原菌,且腐熟的堆肥产品可以提高作物的产量,改善农产品的品质,因此已成当前污泥无害化和资源化的重要途径之一<sup>[2]</sup>。而在堆肥过程中,调理剂是加入堆肥化物料中的有机物,因其能增加物料中可降解的有机物数量,改善物料结构,增加与空气接触的面积,故可调节整个堆肥过程的碳氮比及水分含量,也可以起到除臭、保氮和提高堆肥效率的作用,所以成为调节及影响好氧发酵的主要因素之一<sup>[3-4]</sup>。目前国内外已有不少学者进行了研究,Miguel 等<sup>[5]</sup>以锯末为调理剂对人粪渣进行堆肥试验发现,对于 Biotoilet 系统,混合物料的含水率被调节至 65% 时,有机物降解速率最大。Eklind 等<sup>[6]</sup>分别添加秸秆、树叶、硬木片等调理剂与有机生活垃圾混合堆肥,结果表明,加入调理剂后,物料的  $w(C)/w(N)$  从 13 调节至 22~34,有机质降解速率常数从 0.025 提高到 0.039~0.126。张建华等<sup>[7]</sup>进行了不同调理剂对猪粪好氧堆肥效果的影响研究,结果表明药渣和砒糠灰为调理剂时,堆肥效果较理想。顾文杰<sup>[8]</sup>等也研究了不同调理剂对造纸污泥好氧堆肥的影响,以水稻秸秆作为调理剂无法达到高温,添加米糠作为调理剂升温最快,温度最高;添加蘑菇渣作为调理剂,温度偏低。

本文以城市污泥为原料,以药渣、木屑、水稻、玉米及小麦秸秆为调理剂,与污泥混合进行好氧堆肥,研究 5 种不同调理剂对城市污泥好氧堆肥的影响,为西安城市污泥堆肥化处理提供技术支撑。

## 1 实验

### 1.1 材料

研究所用的城市污泥为西安市第二污水处理厂的脱水鲜污泥(SS);作为调理剂的药渣取自西安利君药业股份有限公司的药渣储存车间;水稻秸秆取自广东省农科院;玉米秸秆与小麦秸秆取自陕西迪隆生态环保科技有限公司试验田;木屑取自西安市城东木材加工厂,主要成分为松木;萝卜种子取自金种子商场,品种为秋白 65。将水稻、玉米、小麦秸秆粉碎处理,药渣、木屑进行晾干处理。各堆肥实验材料测定成分的参数如表 1 所示。

表 1 污泥堆肥实验材料基本参数

Table 1 Experimental material properties of sludge composting

名称	全碳/(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	木质素/%	含水率/%	C/N	pH 值
污泥	180	24	-	81	7.5	7.30
药渣	68.7	1.50	50.2	26.3	45.8	6.90
木屑	460	0.7	32.9	13.31	657	5.61
水稻秸秆	650.7	20.3	18.3	13.8	32.0	6.93
玉米秸秆	400	9.5	20.5	6.3	42.0	7.80
小麦秸秆	376	8.0	23.4	10.2	47.0	7.02

### 1.2 方法

实验设 5 个处理组,编号分别为处理 I、处理 II、处理 III、处理 IV 和处理 V。各处理组物料组合见表 2。各处理组调理剂与堆肥物料充分混匀,堆制成长宽高为 2m×1m×0.5m 的堆体。在堆体表面覆盖一层约 5cm 厚的油菜秸秆覆盖层,以减少堆肥过程中水分的散失,并吸收部分挥发的臭气。

采取鼓风机从堆体下方 5cm 处进行强制通风,与人工翻堆方式相结合。鼓风机功率为 100W,风压 0.04MPa,风量为 0.05m<sup>3</sup>·min<sup>-1</sup>。在升温期温度低于 45℃ 时,不通风;高于 45℃ 时,每天记录堆体温度后每 2h 通风 1min,每天上下午各通风 2 次;高温期温度超过 50℃ 时,每 1h 通风 1min,每天上下午各通风 3 次;降温期温度在 45~50℃ 时,每 2h 通风 1min,每天上下午各通风 2 次;低于 40℃ 时停止通风。并于每次

采样后用铁锹来回翻堆 20 次。

堆肥过程中,用长杆水银温度计于每天 9:00,15:00 和 21:00 分别测定堆体上、中、下部温度,取测定温度的算术平均值来描述堆肥过程的温度变化,同时测定环境温度值。

### 1.3 采样和分析

在堆肥的第 0,4,8,12,16,21,28,35,45d,于当天 21:30 进行采样,共计

9 次。采样点为堆体中心及附近四角范围,每次采集约 500g 样品,采用四分法将样品混匀,装入密封塑料袋中。将采集的鲜样用于含水率、pH 值、发芽率的测定,鲜样经烘干后用于有机质的测定。剩余部分放在室内风干后过 40 目筛贮存备用。含水率的测定采用 105℃ 烘箱法;pH 值采用 1:10(W/V)的水提取液玻璃电极法测定<sup>[9]</sup>;有机质采用 550℃ 马弗炉灼烧减重法测定<sup>[10]</sup>。

种子发芽率(GI)的测定方法<sup>[11-12]</sup>:取 6g 鲜样加入 50mL 蒸馏水,震荡 1h,吸取 6mL 滤液于垫有 2 张滤纸的 9cm 直径培养皿中,以等量蒸馏水对照,每个培养皿内置 20 粒饱满的萝卜种子,在 30℃,湿度为 80% 的黑暗条件下培养 48h,计算种子发芽率(GI)值,计算公式为:

$$GI = (\text{样品发芽率} \times \text{种子根长}) / (\text{对照种子发芽率} \times \text{种子根长})$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 温度的变化

温度是影响堆肥过程中微生物活性和堆肥效率的重要因素与指标,微生物通过生长代谢产生大量的热直接影响堆体温度。

如图 1 所示,各处理组堆体温度均经历了 3 个时期,即升温期、高温期和降温期,并且都符合国家标准(GB795987)关于最高堆温应在 50℃ 以上持续 5~7d 的卫生标准。堆肥开始后,各处理组温度均上升,是由于堆料中的有机质在微生物的作用下迅速分解成水、CO<sub>2</sub>、有机酸和氨气,此过程产生大量的热量促使堆体温度上升,5 个处理组温度上升速率分别为 2.05,1.42,2.43,2.06,2.24℃/d,分别在第 16,21,16,17,17d 达到最高温度,最高温度分别为 60.4,61.3,68.4,64.4,67.5℃,即升温速率为处理组 III > 处理组 V > 处理组 IV > 处理组 I > 处理组 II。随着时间的延长,5 个处理组堆肥温度逐渐下降,其下降速率为 0.91,0.88,1.12,0.99,1.09℃/d,降温速率为处理 III > 处理 V > 处理 IV > 处理 I > 处理 II。42d 后,堆肥开始进入冷却和后熟阶段,各处理温度基本趋于一致。上述结果表明,堆肥温度与调理剂类型密切相关,木质素含量较低的调理剂,堆体升温和降温速率均较大,达到最高温所需时间也较短,温度较高并且高温持续时间较长,这与参考文献[13]研究的结果一致。5 种调理剂中,水稻秸秆的木质素含量最低,作为调理剂时升温最快,温度最高。相反,木屑和药渣的木质素含量较高,木屑和药渣作为调理剂的升温速率和降温速率均最慢。

### 2.2 含水率的变化

水分是堆肥中有机物分解和微生物生长繁殖所必需的,堆肥中含水率的变化是有机物氧化分解产生水及通风时水蒸汽挥发散失等过程叠加的结果。堆肥含水率与堆体温度堆制材料孔隙度以及翻堆次数有关。大量研究表明,堆肥最佳含水率为 50%~60%<sup>[14]</sup>。

如图 2 所示,各处理含水率基本呈现逐渐下降的趋势,在堆肥升温期,含水率迅速下降,可能是有机质降解产生水的速率小于水分蒸发的速率,随着温度升高和堆肥含水率的降低,更加适合一些嗜热菌的繁殖代谢,大量降解有机物产生水,即产生水的速率略小于水分散失的速率,致使含水率下降缓慢。堆肥结束时,各处理组含水率分别下降到 30.13%,31.46%,28.78%,27.47%,24.78%,下降率分别为 43.10%,41.08%,46.56%,42.85%,43.34%。处理组 II 含水率下降最少,这与张建华等<sup>[7]</sup>研究结果一致。分析认为木屑为调理剂时,由于木屑中易分解的有机碳较少,难分解的有机物较多,分解反应速率较慢,即温度上升速率也相应较慢;其次木屑密度较大,透气性差,吸水性强,以上两者致使处理组 II 水分蒸发的速率明显下

表 2 不同处理组堆肥实验设计

Table 2 Different treatment group of composting experiment design

处理组	物料组合	C/N	含水率/%	通风方式
I	污泥+药渣	25	70	强制通风+人工翻堆
II	污泥+木屑	25	70	强制通风+人工翻堆
III	污泥+水稻秸秆	25	70	强制通风+人工翻堆
IV	污泥+玉米秸秆	25	70	强制通风+人工翻堆
V	污泥+小麦秸秆	25	70	强制通风+人工翻堆

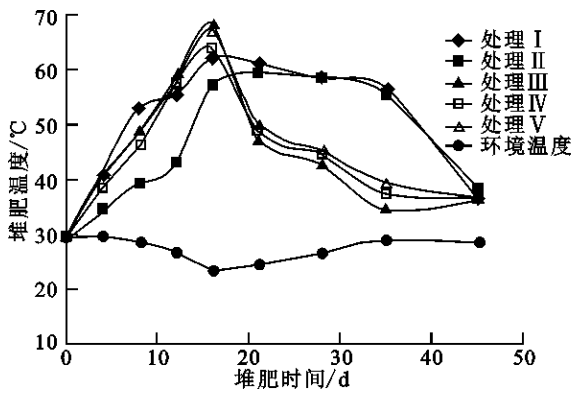


图 1 堆肥过程温度变化

Fig. 1 Temperature changes in composting process

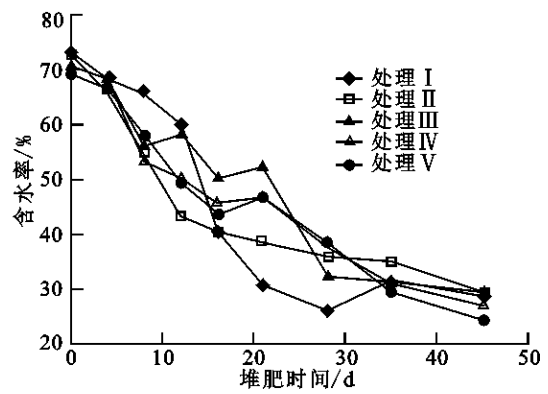


图 2 堆肥过程含水率变化

Fig. 2 Moisture content changes in the composting process

降. 处理组 III 含水率下降最多, 这与其升温速度最快, 高温时间持续最长, 水分蒸发较快有关. 说明以水稻秸秆为调理剂时, 有助于堆体中水分的散失, 有效减少了后期成品烘干的能耗.

### 2.3 pH 值的变化

pH 值可以作为评价好氧发酵腐熟度的一个指标. 适宜的 pH 值可使微生物有效地发挥降解作用. 而过高或过低的 pH 值都会对微生物好氧发酵速率产生影响, 一般认为, 堆肥 pH 值在 7~9 时, 最适宜微生物生长和繁殖, 可获得最大堆肥速率<sup>[15]</sup>.

如图 3 所示, 在整个堆肥过程中, 各处理组堆肥的 pH 值总体上呈现先下降再上升再下降的趋势. 这与贾程等<sup>[16]</sup>研究结果不一致, 贾程的研究认为堆肥过程中 pH 值呈现先上升再下降的趋势, 而本文中由于微生物代谢产生的次级代谢物影响堆肥 pH 值, 可能是污泥原料存在差异, 导致微生物种类与数量不同, 因而试验结果与贾程研究结果不一致. 在堆肥初期 4d 里, 微生物分解有机质产生有机酸的速率大于堆肥中铵态氮转化成氨气的速率, 致使 pH 值下降. 然而随着堆肥时间的进行, 产生的有机酸被大量分解, 同时堆肥中的铵态氮转化成氨气的速率提高, 导致 pH 值回升. 在堆肥后期, 由于氨的氨化作用减弱, 硝化作用增强, 同时剩余的有机物被分解产生有机酸, 造成 pH 值下降. 在整个过程中, 处理组 I 和 II 均在堆肥第 30d 时, pH 值达到最大, 分别为 8.43, 8.01. 处理组 III 和 IV 在第 25d 时, pH 值达到最大, 分别为 8.49, 8.33. 处理组 V 在第 20d 时, pH 值达到最大值 8.31. 其中以水稻秸秆为填料剂的堆肥 pH 值最大, 其次为药渣、玉米、小麦, 以木屑为调理剂时, 处理组的 pH 值最小.

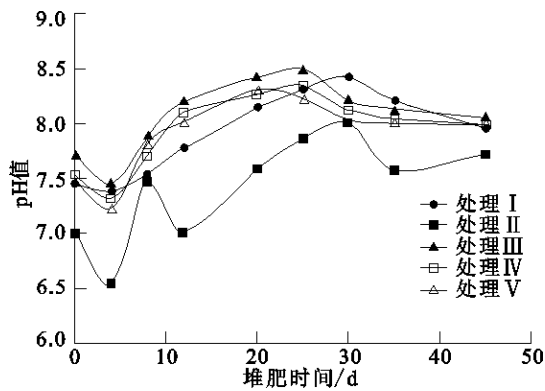


图 3 堆肥过程中 pH 值的变化

Fig. 3 pH variation in the composting process

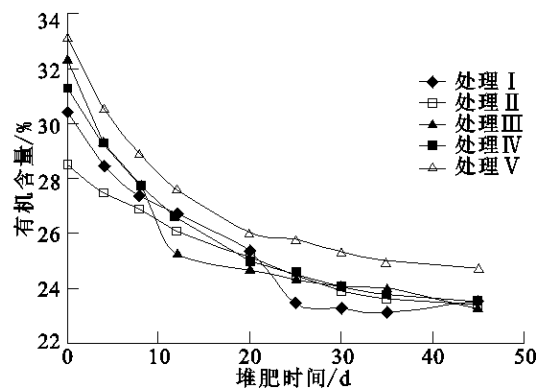


图 4 堆肥过程中有机质含量的变化

Fig. 4 Organic content in the composting process

### 2.4 有机质变化

堆肥中的有机质是微生物赖以生存和繁殖的重要因素, 在堆肥过程中, 微生物通过自身活动, 把一部分有机质转化分解成简单的无机物, 为自身生长代谢提供能量.

如图 4 所示, 在整个堆肥过程中, 有机质含量随着堆肥过程的进行呈现逐渐下降趋势, 堆肥结束时, 各处理组有机质分别下降了 22.53%, 17.89%, 28.32%, 24.98%, 25.45%. 其中处理组 III 有机质下降最多, 其次为处理组 V, IV, I, 处理组 II 有机质下降最少. 即 5 种调理剂中, 以水稻秸秆为调理剂时, 有机质减少

量最大,以木屑为调理剂时,有机质减少量最小.这与康军<sup>[17]</sup>等的研究结果一致.分析认为,由于水稻秸秆中半纤维素及纤维素含量较高,因此分解有机质速率较快.在堆肥过程中,各处理组有机质分解主要发生在升温期 and 高温期,在降温期和腐熟期有机质降解较缓慢,可能由于在升温、高温阶段有机质含量高,微生物生长代谢旺盛,加快了有机质的降解.

### 2.5 种子发芽指数(GI)的变化

种子发芽指数是通过检测堆肥样品中的生物毒性来评价污泥堆肥的腐熟程度和预测其毒性发展,是最可靠有效的指标,且最能反映堆肥产品植物毒性,进而判断堆肥无害化和腐熟度的重要参数.一般认为当  $GI > 50\%$  时,堆肥产品基本无毒性,堆肥腐熟; $GI > 80\%$  时堆肥已完全腐熟<sup>[18]</sup>.

如图 5 所示,在整个堆肥过程中,各处理组堆肥 GI 值总体上呈现先下降后上升的趋势.在堆肥初期的前 4d 时为抑制发芽阶段,微生物强烈作用于堆肥,产生大量  $NH_3$  等有毒的物质,严重抑制种子发芽;在堆肥的 4~12d 时,随着堆肥时间的延长,污泥中的有机质被微生物大量分解利用,污泥对种子发芽抑制作用降低,种子发芽指数迅速上升;在堆肥的 12~35d 后,微生物降解有机质的速率减慢,种子发芽指数缓慢上升.在堆肥的 35~45d,种子发芽指数趋势基本趋于稳定,这与顾文杰<sup>[8]</sup>研究结果不太一致,顾文杰的研究中 GI 值结果较高,原因主要有 3 方面,首先处理的污泥对象不同,他的研究对象为造纸污泥,本文研究对象为污水处理厂脱水污泥;其次,堆肥条件如堆体体积、通风量、搅拌时间等因素均不同;最后萝卜品种可能也存在差异.因此,3 方面因素共同导致了堆肥结果存在差异.堆肥结束时,各处理组 GI 值分别为 64.9%,62.8%,75.2%,70.3%,72.9%.处理组 III 的发芽率最大,处理组 II 最小,各处理组 GI 均大于 50%,说明各处理组在堆肥结束后,均已达到腐熟,堆肥产品对农作物的生长基本无毒性.

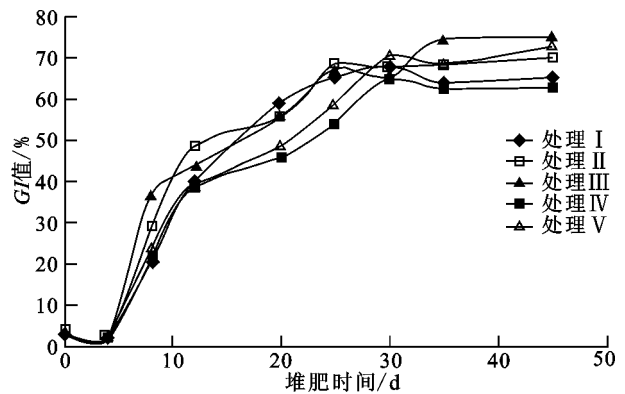


图 5 堆肥过程种子发芽指数变化

Fig. 5 Variation of germination index in the composting process

## 3 结 论

(1) 各处理组堆体温度均经历了 3 个时期,即升温期、高温期和降温期.分别在第 20,21,16,17,17d 达到最高温度,42d 后,堆肥开始进入冷却和后熟阶段,各处理组温度基本趋于一致.以水稻秸秆为调理剂时,堆体升温和降温速率均较快,达到最高温所需时间较短,温度最高且高温持续时间较长,木屑作为调理剂时则相反.

(2) 各处理组含水率均呈现逐渐下降的趋势,其中以木屑为调理剂时,含水率下降最少;以水稻秸秆为调理剂时,含水率下降最多,这有助于堆体中水分的散失,减少后期成品烘干能耗.

(3) 各处理组堆肥的 pH 值总体上呈现先下降再上升后又下降的趋势.其中以水稻秸秆为调理剂时堆肥 pH 值最大,其次为药渣、玉米、小麦,木屑的 pH 值最小.

(4) 有机质含量随着堆肥过程的进行呈现逐渐下降的趋势,各处理组堆肥的 GI 值总体上呈现先下降后上升的趋势;各处理组在堆肥结束后,均已基本达到腐熟,堆肥产品对农作物的生长基本无毒性;在堆肥结束后,5 种调理剂中,以水稻秸秆为调理剂时,有机质减少量最大,发芽率最大;以木屑为调理剂时,有机质减少量最小并且发芽率最小.

### 参考文献:

- [1] 谭启玲,胡承孝,赵斌,等.城市污泥的特性及其农业利用现状[J].华中农业大学学报,2002,21(6):587-591.  
TAN Qiling, HU Chengxiao, ZHAO Bin, et al. The characteristics and agricultural utilization status of sewage sludge [J]. Journal Of Huangzhong Agricultural University, 2002, 21(6): 587-591.
- [2] 李必琼.作物秸秆与城市污泥高温好氧堆肥过程中碳氮磷及重金属转化研究[D].重庆:西南大学,2010:1-2.

- LI Biqiong. Transformation of C, N, and heavy metal during the process of high temperature Aerobic composting of cropstraws and Sewage Sludge[D]. Chongqing: South West University, 2010: 1-2.
- [3] 刘卫,袁兴中,欧阳建新,等. 利用污泥熟肥作为高含水率污泥堆肥调理剂[J]. 环境工程学报, 2013, 7(6): 2349-2350.  
LIU Wei, YUAN Xingzhong, OUYANG Jianxin, et al. Applying matured sludge compost as sludge composting conditioner[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(6): 2349-2350.
- [4] 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): 60-65.  
LI Chengqiang, WEI Yuansong, FAN Yaobo, et al. The character changes and maturity of sewage sludge aerobic composting with Various Bulking Agents[J]. Environmental Science, 2001, 22(3): 60-65.
- [5] MIGUEL ANGEL LOPEZ Z, NAOYUKI F. Effect of moisture content on the composting process in a biotoilet system [J]. Compost Science & Utilization, 2005, 13(3): 208.
- [6] EKLIND Y, KIRCHMANN H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments [J]. Bioresource Technology, 2000, 74(2): 115-124.
- [7] 张建华,田光明,姚静华,等. 不同调理剂对猪粪好氧堆肥效果的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 131-133.  
ZHANG Jianhua, TIAN Guangming, YAO Jinghua, et al. Effect of different bulking agents on aerobic composting of swine manure[J]. Journal of Soil And Water Conservation, 2012, 26(3): 131-133.
- [8] 顾文杰,张发宝,徐培智,等. 不同调理剂的添加对造纸污泥好氧堆肥的影响[J]. 广东农业科学, 2010(9): 118-120.  
GU Wenjie, ZHANG Fabao, XU Peizhi, et al. Addition of different conditioners aerobic compost in papermaking sludge [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010(9): 118-120.
- [9] 牟克珺. 不同调理剂及堆制条件对猪粪堆肥理化指标的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008: 19-22.  
MOU Kejun. Different conditioner and composting conditions on the physical and chemical indicators of the pig[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2008: 19-22.
- [10] 晁阳. 生物表面活性剂对城市污泥好氧堆肥过程中的影响[D]. 长沙: 湖南大学, 2011: 30-35.  
CHAO Yang. Application of biosurfactant in aerobic composting of sewage sludge[D]. Chang sha: Hunan University, 2011: 30-35.
- [11] 罗文连. 不同添加剂与污水污泥混合好氧堆肥实验研究[J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2011, 29(3): 362-363.  
LOU Wenlian. Experimental study on aerobic composting of sewage sludge using different additives[J]. Journal of Jiamusi University: Natural Science, 2011, 29(3): 362-363.
- [12] WEI Y S. Study on stability of sludge composting by using various kinds of conditioner [J]. China Water and Wastewater, 2002, 18: 5-9.
- [13] 贺亮,赵秀兰,李承碑. 不同填料对城市污泥堆肥堆体温度动态变化影响[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 28(3): 389-392.  
HE Liang, ZHAO Xiulan, LI Chengbei. Effect of different bulking agents on transformation of nitrogen during sewage composting[J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science, 2006, 28(3): 389-392.
- [14] I K Adewumi, M O Ogedengbe, J A Adepetu, et al. Composting of municipal solid wastes and poultry manure [J]. Journal of applied sciences research, 2005, 22(10): 292-293.
- [15] 孙先锋,邹奎,钟海风,等. 不同工艺和调理剂对猪粪高温堆肥的影响[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 787-789.  
SUN Xianfeng, ZOU Kui, ZHONG Haifeng, et al. Effect of different techniques and bulking agents on composting of swine feces [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(4): 787-789.
- [16] 贾程,张增强,张永涛. 污泥堆肥过程中氮素形态的变化[J]. 环境科学学报, 2008, 28(11): 2269-2276.  
JIA Cheng, ZHANG Zengqiang, ZHANG Yongtao. Transformation of nitrogen forms during co-composting of sewage sludge and wheat straw [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(11): 2269-2276.
- [17] 康军. 杨凌城市污泥高效好氧堆肥研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 30-40.  
KANG Jun. High-efficiency aerobic composting of municipal sewage sludge in Yangling [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012: 30-40.
- [18] 康军,张增强,张维,等. 玉米秸秆添加比例对污泥好氧堆肥质量的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(2): 173-176.  
KANG Jun, ZHANG Zengqiang, ZHANG Wei, et al. Influence of different proportions of sludge to maize straw ratio on the quality of sludge compost [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(2): 173-176.

编辑:武 晖;校对:赵 放