

马 闯,李明峰,赵继红,等. 翻堆策略对污泥堆肥过程中理化性质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):394-397.

翻堆策略对污泥堆肥过程中理化性质的影响

马 闯,李明峰,赵继红,张宏忠,魏明宝,叶长明

(郑州轻工业学院/环境污染治理与生态修复河南省协同创新中心,河南郑州 450001)

摘要:针对城市污泥强制通风静态垛堆肥工艺,在整个堆肥周期采用固定翻堆频率的情况下,研究不同翻堆策略对堆肥物理和化学性质的影响。结果表明:不同翻堆策略对堆体理化性质的影响不同,翻堆作业可以显著降低堆体温度,加快降温期的降温速度。高温后期开始翻堆(处理3)可提高堆体达到的最高温度及整个堆肥周期的温度,同时更有利于堆肥物料的脱水干化、提高挥发性固体降解率,但会增大氮素损失量;不同翻堆策略对物料 pH 值和种子发芽率没有显著影响,3 个处理均可实现物料的腐熟和无害化。为了保证污泥的脱水干化效果,建议采用处理 3 的翻抛策略。

关键词:污泥;堆肥;翻堆策略;理化性质

中图分类号:X703;S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)07-0394-03

高温好氧发酵后的土地利用是城市污泥主要的处理处置方式之一^[1],由于强制通风静态垛具有占地面积小、处理能力大的优点,工业化的污泥堆肥一般采用该工艺。强制通风静态垛堆肥系统具有半开放、单向鼓风的特点,堆体内部通常会形成温度、湿度及氧气浓度的层次梯度^[2-4],从而影响堆肥效率和堆肥成品的品质。通过对发酵物料进行翻堆处理,不但可以提供氧气,而且有利于物料均匀,促进水分蒸发,还可以有效改善堆体内温度、湿度、氧气浓度等空间效应,打破不同剖面的层次效应,改进通气性能、减少臭气产生^[5]。因此,翻堆成为弥补强制通风静态垛堆肥系统不足的重要手段,也成为提高其堆肥效率和发酵质量的重要措施。针对不同的发酵物料,采用何种翻堆策略取决于物料的湿度、孔隙度、有机质的分解速率及堆肥外部环境等。陈同斌等研究发现,污泥与猪粪堆肥时,升温期和降温期翻堆效果不理想,而高温阶段翻堆有利于提高堆肥效率^[6]。有研究认为,过早翻堆会推迟高温时间,导致堆温显著下降,翻堆过晚则不利于再次升温 and 高温维持^[7-8]。Zhao 等研究发现,堆体每 2 d 翻抛 1 次比每 4 d 翻抛 1 次会散失更多的热量^[9];李玉红等研究牛粪高温堆肥时发现,3 d/次和 6 d/次的处理比 9 d/次的升温快,且温度高,堆肥产品种子发芽率高^[10]。翻堆一般分为人工翻堆和机械翻堆,无论采用何种翻堆方式,随着翻堆频率的增加,堆肥成本均会增加。因此需要探索在尽量降低翻堆频率的同时,通过调整翻堆时机、优化翻堆策略,提高堆肥效率和产品质量,达到堆肥成本和效率的平衡。笔者针对城市污泥强制通风静态垛堆肥工艺,在整个堆肥周期固定翻堆次数,通过分析不同翻堆策略对堆肥物理和化学性质的影响,揭示强制通

风静态垛堆肥的适宜翻堆时间,以期优化翻堆策略,提高堆肥效率和产品质量提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在郑州市八岗污泥处理厂进行,供试的城市污泥为郑州市五龙口污水处理厂的脱水污泥,污泥含水率(MC)79.81%,挥发性固体(VS)含量为60.3%。调理剂为锯末和该厂的腐熟料,其含水率分别为8.23%、34.5%,挥发性固体含量分别为95.5%、43.3%。污泥、锯末和腐熟料按体积比1:0.2:0.8的比例均匀混合,混合后测得待发酵物料的含水率、挥发性固体含量分别为54.5%、52.4%左右。

1.2 试验方法

将混合后待发酵物料用铲车堆积于发酵槽中,堆体的长、宽、高分别为30、4.5、1.7 m。根据需要,用罗茨鼓风机自堆体底部强制间歇式通风供氧,通风量为140 m³/min。堆肥过程由计算机根据堆肥实时温度反馈控制罗茨鼓风机。在试验中采用德国巴库斯翻抛机进行翻抛,翻抛深度为1.6 m。

试验设3个处理,每个堆肥周期均翻抛3次:处理1,在发酵后6、13、15 d翻抛;处理2,在发酵后8、11、14 d翻抛;处理3,在发酵后10、12、14 d翻抛。试验于夏季进行,共发酵15 d。

1.3 采样与分析方法

在整个发酵周期中,采用温度探头自动监测堆体温度。试验过程中,各堆体每3 d取1次样品(最后一次取样为发酵15 d时),分别测定其含水率、挥发性固体(VS)含量、pH值、电导率(EC)、种子发芽指数(GI)、总氮(TN)等。化验分析方法分别为:含水率采用烘干法,挥发性固体采用灼烧法,pH值采用pH酸度计测定法,电导率采用电导率仪测定法,发芽指数采用小白菜发芽试验法,总氮采用半微量凯氏定氮法^[11]。

2 结果与分析

2.1 堆体各处理的温度变化

在好氧堆肥过程中,堆体的温度是好氧堆肥的关键参数,

收稿日期:2013-02-22

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项子课题(编号:2012ZX07204-001);河南省重大公益招标项目(编号:101100910300);河南省科技攻关项目(编号:142102310063);河南省教育厅科学技术研究重点项目(编号:14A610009);郑州轻工业学院博士基金(编号:2013BSJJ022)。

作者简介:马 闯(1982—),男,河南开封人,博士,讲师,主要从事固体废物废弃物资源化研究。E-mail:machuang819@163.com。

同时也是判断堆肥是否成功、能否最终实现无害化的重要指标之一^[12]。不同翻堆策略堆肥过程中的温度变化趋势如图 1 所示,可以看出,3 个处理的温度变化趋势基本相同;堆肥过程中各处理堆体温度的变化均经历了 3 个阶段:快速升温期、高温持续期、降温期;堆肥初期,堆料中易分解的有机质在微生物的作用下迅速分解,堆体产生大量的热量导致堆体温度快速上升,各处理均在 1 d 内完成快速升温过程后进入高温持续期(>50℃),在快速升温期各处理间温度差别不大;进入高温期后,不同处理温度存在一定的差异,在堆肥的高温前期,处理 2 的温度最高,处理 1 次之,处理 3 最低,3 个处理呈现出明显的层次性并持续到堆肥后 6 d;6 d 时,处理 1 进行了翻堆作业,显著降低了处理 1 的温度,7 d 后,处理 2、处理 3 的温度逐渐超过处理 1,以处理 3 温度最高并波动持续到 12 d,之后各处理均进入降温期,处理 2 与处理 3 的温度相差不大,但均高于处理 1。同时,由于堆肥过程中需要维持一段时间的高温才能满足堆肥无害化、稳定化的要求,温度过低时无法完成无害化,而温度过高则会对微生物造成灭活作用^[13]。处理 1、处理 2、处理 3 的温度在 50℃ 以上的持续时间均在 10 d 左右,完全达到了 GB 7959—1987《粪便无害化卫生标准》中规定的堆温应在 50~55℃ 以上并持续 5~7 d 的要求。可见 3 种翻抛策略均可以成功进行污泥堆肥,实现污泥无害化。

堆肥期间,处理 1 分别在 6、13、15 d 时进行了 1 次翻堆作业,处理 2 分别在 8、11、14 d 进行了 1 次翻堆作业,处理 3 于 10、12、14 d 进行了 1 次翻堆作业。由图 1 可见,通过翻堆作业可以显著降低堆体温度,加快降温期的降温速度;同时,每次翻堆后堆体温度均有小幅度上升,翻堆的时间越早则升温速度越快,温度恢复得越好。与高温中期开始翻堆(处理 2)相比,高温前期开始翻堆(处理 1)会降低堆体达到的最高温度及整个堆肥周期的温度,高温后期开始翻堆(处理 3)可提高堆体达到的最高温度及整个堆肥周期的温度。

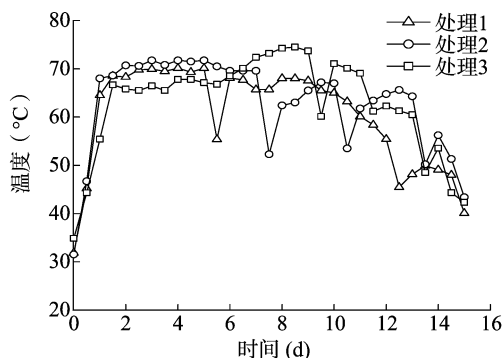


图1 污泥堆肥过程中温度的动态变化

2.2 堆体含水率的动态变化

堆肥物料的干化和脱水是堆肥化处理的主要目的之一,尤其是对于含水率较高的城市污泥更是堆肥成功与否的评价指标之一。翻堆能使堆料混合均匀,促进水分蒸发,有利于堆肥物料干燥^[14]。不同翻堆策略堆肥过程中的含水率变化趋势如图 2 所示,可以看出 3 个处理的含水率变化趋势基本相同,随着堆肥的进行,脱水作用明显,含水率均逐渐降低,各处理堆肥前 7 d 的脱水速率均要高于后 7 d;处理 1、处理 2、处理 3 的含水率分别由开始堆肥时的 53% 左右降为 42.3%、

38.5%、36.7%;3 个处理中以处理 3 的脱水效果最好,处理 2 次之,处理 1 最差。可见与高温前期(处理 1)和高温中期开始翻堆(处理 2)相比,高温后期开始翻堆(处理 3)更有利于堆肥物料的脱水,从而取得更好的干化效果。

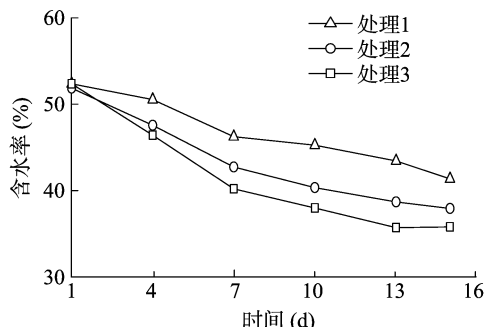


图2 污泥堆肥过程中含水率的动态变化

2.3 堆体挥发性固体的动态变化

堆肥化处理是微生物活动降解有机物的过程,表现为堆肥物料中挥发性固体含量的逐渐降低。由图 3 可知,3 个处理的挥发性固体含量在堆肥过程中均呈明显的下降趋势,且表现为堆肥前期(前 4 d)降低较快,后期相对较慢。堆肥前期易降解的有机物(如可溶性糖、有机酸、淀粉等)分解速率较快,而中后期随着易降解物质的减少,微生物需要利用较难降解的有机物质(如纤维素、半纤维素和木质素等)作为碳源,分解相对缓慢^[15]。处理 1 的挥发性固体含量从 52.1% 降为 46.8%,处理 2 的挥发性固体含量从 51.8% 降为 45.5%,处理 3 的挥发性固体含量从 51.6% 降为 44.1%,3 个处理的挥发性固体含量分别下降了 10.2%、12.2%、14.5%,说明翻堆策略对有机物的降解有显著影响;高温后期开始翻堆(处理 3)能促进挥发性固体的降解,有利于促进堆肥的腐熟,这与处理 3 温度较处理 1、处理 2 相比更高(图 1)、微生物活性更大、降解有机物的能力更强有关。

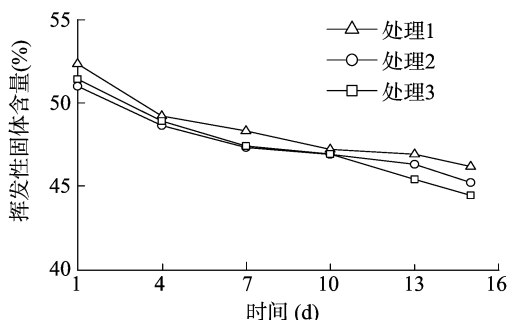


图3 污泥堆肥过程中挥发性固体含量的动态变化

2.4 堆体总氮含量的动态变化

高温堆肥过程中普遍存在氮素损失的现象,不仅会污染环境,而且会降低肥料中的养分含量。堆肥过程中的氨基酸、蛋白质进行脱羧作用和脱氨作用后排出 NH_3 ,造成总氮含量的下降。由图 4 可知,3 个处理污泥堆肥过程中总氮含量变化趋势相同,均呈逐渐下降趋势,且表现为堆肥前期(前 4 d)降低较快,后期相对较慢,与挥发性固体动态变化趋势一致。各处理总氮含量分别由堆肥开始时的 20.5、20.1、20.3 g/kg,降为堆肥结束时的 18.8、17.5、17.1 g/kg,分别下降了 8.3%、

12.9%、15.8%, 可见在整个堆肥过程中处理 3 的氮损失最严重, 而处理 1 的氮损失最小, 这可能与处理 1 在高温前期(6 d)就进行翻堆作业, 从而有效降低了堆体温度并抑制了微生物活性, 降低了有机质矿化速度和 NH_3 产生量有关。

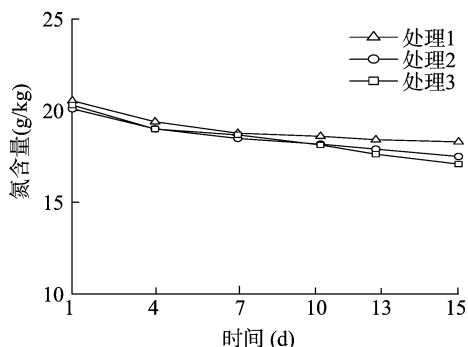


图4 污泥堆肥过程中总氮含量的动态变化

2.5 堆体 pH 值的动态变化

pH 值是影响微生物生命活动的重要因素之一, 一般认为堆肥物料的 pH 值应该以 6~9 为宜, pH 值太高或太低都不利于堆肥化过程顺利进行。由图 5 可以看出, 在堆肥开始的前 4 d, 3 个处理 pH 值均有不同程度的上升, 这可能是由于堆体升温较快, 第 5 天时已经进入高温期第 4 天, 在微生物的作用下含氮有机物矿化和氨化作用产生的大量 NH_3 致使 pH 值上升; 处理 1 在第 8 天的 pH 值有所下降, 后持续升高, 最后稳定在 8.7 左右; 处理 2 在第 5 天后 pH 值逐渐下降, 到第 11 天达到最低(7.8 左右), 第 11 天后 pH 值逐渐增加, 到堆肥结束时达到 8.7 左右; 处理 3 在整个堆肥过程中, 除第 5 至第 14 天, pH 值均持续升高; 堆肥结束时, 3 个处理的 pH 值分别为 8.7、8.7、8.5 左右, 均符合无害化要求, 可见翻堆策略对堆体 pH 值没有显著影响。

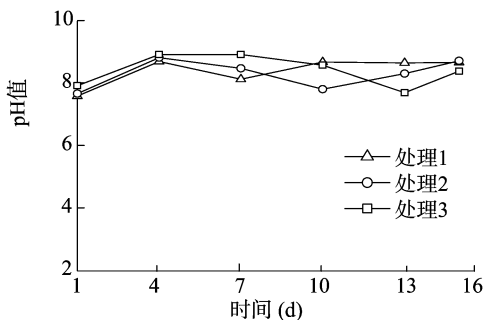


图5 污泥堆肥过程中 pH 值的动态变化

2.6 堆体种子的发芽指数动态变化

污泥好氧发酵后的土地利用是资源化的最终出路, 种子发芽指数(GI)是检验堆肥腐熟度最直接、最有效的方法, 并且可以预测堆肥毒性的大小。一般来说, 堆肥种子发芽指数达到 50% 时, 可认为其对植物基本没有毒害, 若种子发芽指数超过 80%, 则可认为堆肥完全腐熟^[16]。由图 6 可知, 各处理的种子发芽指数变化趋势相似, 均呈现先降低后升高的趋势; 在堆肥第 11 天, 各处理的种子发芽指数均达到 50% 以上, 对植物已经基本没有毒害作用; 堆肥结束时, 各处理的种子发芽指数均可达到 80% 左右, 表明各处理均能够实现物料的腐熟和无害化, 能够满足植物生长的需要。

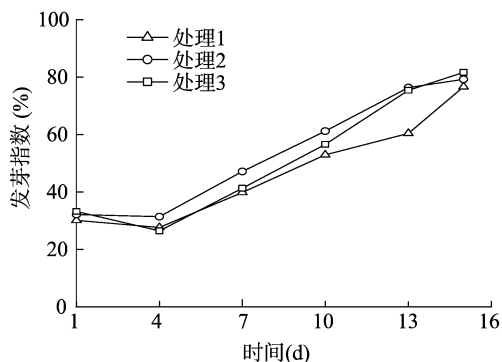


图6 污泥堆肥过程中种子发芽指数的动态变化

3 结论

不同翻堆策略对堆体理化性质的影响不同, 翻堆作业可以显著降低堆体温度, 加快降温期的降温速度。高温后期开始翻堆(处理 3)可提高堆体达到的最高温度及整个堆肥周期的温度。采用处理 3 的翻抛策略更有利于堆肥物料的脱水干化、提高挥发性固体(VS)降解率, 但会增大氮素损失量, 因而要注意控制氨气的释放。不同翻堆策略对物料 pH 值和种子发芽率没有显著影响, 3 个处理均可实现物料的腐熟和无害化。由于污泥堆肥更侧重的是脱水干化和无害化, 为了保证污泥的脱水干化效果, 建议采用处理 3 的翻抛策略。

参考文献:

- [1] Zhou H B, Ma C, Gao D, et al. Application of a recyclable plastic bulking agent for sewage sludge composting[J]. *Bioresource Technology*, 2014, 152: 329 - 336.
- [2] Walker L P, Nock T D, Gossett J M, et al. The role of periodic agitation and water addition in managing moisture limitations during high - solids aerobic decomposition[J]. *Process Biochemistry*, 1999, 34(6/7): 601 - 612.
- [3] 罗 维, 陈同斌, 高 定, 等. 城市污泥 - 猪粪混合堆肥过程中湿度的层次效应及其动态变化[J]. *环境科学*, 2004, 25(2): 140 - 144.
- [4] 陈同斌, 黄启飞, 高 定, 等. 城市污泥堆肥温度动态变化过程及层次效应[J]. *生态学报*, 2002, 22(5): 736 - 741.
- [5] Larney F J, Olson A F, Carcamo A A, et al. Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 75(2): 139 - 148.
- [6] 陈同斌, 罗 维, 郑国砥, 等. 翻堆对强制通风静态垛混合堆肥过程及其理化性质的影响[J]. *环境科学学报*, 2005, 25(1): 117 - 122.
- [7] Kelleher B P, Leahy J J, Henihan A M, et al. Advances in poultry litter disposal technology: a review [J]. *Bioresource Technology*, 2002, 83(1): 27 - 36.
- [8] Chu C P, Lee D J. Dewatering of waste activated sludge via centrifugal field[J]. *Drying Technology*, 2002, 20(4/5): 953 - 966.
- [9] Zhao L, Gu W M, He P J, et al. Effect of air - flow rate and turning frequency on bio - drying of dewatered sludge[J]. *Water Research*, 2010, 44(20): 6144 - 6152.
- [10] 李玉红, 李清飞, 王 岩. 翻堆次数对牛粪高温堆肥的影响[J]. *河南农业科学*, 2006(7): 70 - 72.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2008.

徐春英,邢芳芳,宋 涛,等. 1 株耐盐碱溶磷菌的溶磷特性及其促生效果[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):397-399.

1 株耐盐碱溶磷菌的溶磷特性及其促生效果

徐春英,邢芳芳,宋 涛,徐文凤,胡兆平,李新柱

(国家缓控释肥工程技术研究中心/山东金正大生态工程股份有限公司,山东临沂 276700)

摘要:对国家缓控释肥工程技术研究中心分离保藏的 1 株高效溶磷真菌 PFK 的耐盐碱性能及溶磷性能进行研究,并进行盐碱土盆栽试验,研究其在盐碱土中对小麦的促生作用。结果表明,PFK 菌株具有很强的降解无机磷能力,在以 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 为唯一磷源的无机磷培养基中培养 7 d 时,水溶磷含量达到 892.86 mg/L,为对照组的 89.60 倍;pH 值 ≤ 9 的条件对 PFK 菌株降解无机磷的能力影响不大;PFK 菌株在含 10% NaCl 的 PDA 培养基中仍可生长。盆栽试验结果表明:接种解磷真菌 PFK 的处理组小麦的茎粗、株高、根长、鲜干质量显著高于对照组,因而推断 PFK 菌株具有一定的促生作用。

关键词:溶磷菌;耐盐碱;促生效果

中图分类号:S156.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-15182302(2014)07-0397-03

盐碱土是盐土和碱土的总称,大多是由于农田的不合理灌溉以及化肥的过度使用而使土壤受到破坏、植被的生长受到抑制、土地盐碱化加剧而造成的。由于盐碱土的有机质含量少,土壤盐渍化严重,肥力低,理化性状差,普遍缺磷少氮,对作物有害的阴、阳离子较多,导致其中生长的作物不易出苗。中国盐碱土的分布比较广,可开展农业利用的盐碱土地面积近 130 万 hm^2 ,占中国耕地面积的 10% 以上,开发潜力巨大。随着人口膨胀以及耕地面积的减少,盐碱地的治理和改良也越来越受到人们的重视。这方面主要包括工程改良、化学改良及生物改良^[1]。工程改良短期效果明显,但工程投入大;化学改良见效比较快,但成本很高,而且副作用明显。因此,人们的观点逐步转向利用生物措施来治理盐碱地,并且认识到筛选利用耐盐耐碱菌种的重要性,目前大多数研究集中在利用微生物肥料进行盐碱土的改良,其中解磷微生物肥料的应用为研究热点。微生物的解磷作用能够将难溶性磷酸盐转化为水溶性磷,从而有效增加土壤中速效磷的含量,产生有机酸和活性酶类,促进植物的生长^[2]。本研究从生态工程学和盐碱地生态修复的角度出发,利用筛选出的高效溶磷菌株

PFK 进行耐盐碱试验研究,并利用其耐盐、耐碱及高效溶磷特性制备成生物菌剂,用于促进盐碱地植物的生长,以期对盐碱地的改良探索出一条新途径。

1 材料与与方法

1.1 供试菌株

菌株 PFK 由国家缓控释肥工程技术研究中心实验室分离并保藏于同单位的菌种保藏中心。

1.2 培养基

PDA 培养基(1 L):200 g 马铃薯,20 g 葡萄糖,18 g 琼脂,1 000 mL 蒸馏水,自然 pH 值。盐浓度梯度培养基(1 L):200 g 马铃薯,20 g 葡萄糖,1 000 mL 蒸馏水;按比例配制 800 mL 并分装至 8 个 300 mL 三角瓶中,装液量 100 mL,再分别加入 0、1、2、3、4、6、8、10 g 氯化钠,自然 pH 值。

无机磷液体培养基(1 L):10.0 g 葡萄糖,0.5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,0.3 g NaCl,0.3 g KCl,0.3 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,0.03 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,0.03 g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,5 g $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$,1 000 mL 蒸馏水,pH 值 7.0~7.2,120 °C 高压灭菌 20 min。

碱浓度梯度无机磷液体培养基:140 g 马铃薯,14 g 葡萄糖,700 mL 蒸馏水,分装至 7 个 300 mL 三角瓶中后,分别调节 pH 值为 6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0。

1.3 小麦盆栽试验

1.3.1 供试土壤 试验在笔者所在单位的温室试验基地内进行,土样为山东省东营地区的盐碱土,其基本组分为 0.70% 有机质,1 015.1% 全氮,950 mg/kg 全磷,

收稿日期:2013-10-28

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2011BAD11B02)。

作者简介:徐春英(1985—),女,山东菏泽人,硕士,工程师,主要从事新型肥料的研发及其施肥研究。Tel:(0539)7198803;E-mail:xuchunying508@126.com。

通信作者:宋涛,男,山东潍坊人,博士,工程师,主要从事新型肥料的研发及其施肥研究。E-mail:songtao@kingenta.com。

[12]马 闯,高 定,陈同斌,等. 新型调理剂 CTB-2 污泥堆肥的氧气时空变化特征研究[J]. 生态环境学报,2012,21(5):929-932.

[13]马 闯,李明峰,赵继红,等. 通风策略对废弃物好氧堆肥的影响综述[J]. 江苏农业科学,2013,41(11):350-353.

[14]Schloss P D,Chaves B,Walker L P. The use of the analysis of variance to assess the influence of mixing during composting[J]. Process Biochemistry,2000,35(7):675-684.

[15]郑卫聪,王 俊,王晓明,等. 不同堆置措施对园林有机废弃物堆肥有机物降解的影响[J]. 华南农业大学学报,2012,33(1):28-32.

[16]Saidi N,Kouki S,M'hiri F,et al. Microbiological parameters and maturity degree during composting of *Posidonia oceanica* residues mixed with vegetable wastes in semi-arid pedo-climatic condition[J]. Journal of Environmental Sciences - China,2009,21(10):1452-1458.