

钱玉婷, 杜 静, 曹 云, 等. 接种嗜热菌促进鸡粪超高温堆肥处理的效果[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 321–325.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.080

接种嗜热菌促进鸡粪超高温堆肥处理的效果

钱玉婷^{1,2}, 杜 静¹, 曹 云¹, 孙金金¹, 黄红英¹

(1. 江苏省农业科学院循环农业研究中心/农业部农村可再生能源开发利用华东科学观测实验站, 江苏南京 210014;

2. 农业部农业微生物资源收集与保藏重点实验室, 北京 100081)

摘要:采用鸡粪与稻秸、梧桐叶为基本原料进行超高温预处理室内静态模拟试验, 通过设置不同嗜热菌接种比例(0、1%、5%、10%), 研究接种嗜热菌对鸡粪超高温堆肥预处理过程中理化性状的变化规律, 评估其促进鸡粪超高温堆肥无害化处理的效果。结果表明, 各处理在超高温堆肥预处理 120 h 过程中, pH 值呈先升高后下降的趋势, 有机碳含量和 C/N 均呈下降趋势, 电导率、全氮含量、P₂O₅ 含量、K₂O 含量和种子发芽率呈上升趋势, 并随嗜热菌接种率的增加, 各指标变化幅度明显增加。至超高温堆肥预处理 120 h 时, 处理组 CK、T₁、T₂、T₃ 的 C/N 分别为 16.58、15.65、14.83、13.97, 总养分(N+P₂O₅+K₂O)含量分别 7.92%、8.13%、8.34%、8.61%, 种子发芽率分别为 82.15%、93.58%、100.00%、100.00%。可见, 添加嗜热菌有利于加快鸡粪堆肥物料的腐熟进程, 并且嗜热菌接种率以处理 T₂(即 5%)。

关键词:嗜热菌; 接种; 鸡粪; 超高温堆肥; 电导率; 养分含量; 发芽率; 腐熟; 接种率

中图分类号: X713; S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0321-04

随着中国规模化畜禽养殖业的迅速发展, 大量畜禽粪便已成为新的污染源^[1], 其产量巨大, 成分复杂、不稳定、易腐烂, 且含有多种病原微生物、寄生虫卵、重金属等, 必须进行妥善处理, 以避免二次污染。好氧高温堆肥是有机固体废弃物资源化利用的有效途径之一^[2], 其利用微生物的作用, 将不稳定的有机质转变为较稳定的有机质, 使废弃物中挥发性物质含量降低, 臭味减小, 物理性状明显改善。高温堆肥还可杀灭堆料中的病原菌、虫卵、草籽, 不仅可以解决废弃物的环境污染问题, 而且堆肥产品可以作为土壤改良剂和植物营养源, 施用后有助于改善土壤环境、提高土壤肥力, 对促进农业可持续发展具有重要意义^[3-6]。

传统好氧高温堆肥存在发酵速度慢、堆肥周期长、占地面积大、环境不易控制、碳氮气态挥发损失大、产物肥效低等问题, 如何进一步缩短堆肥周期、提高堆肥质量、改善堆肥环境是目前国内外学者普遍关注的课题^[7]。堆肥是一个生物转化过程, 也是一个有机物矿化、腐殖化过程, 其结果是易降解的有机物被分解转化, 形成结构复杂的腐殖质, 物料稳定性增加。因此, 在堆肥过程中微生物的活性对发酵进程有着决定性作用, 但是在堆肥阶段微生物受高温因素的影响, 其种群数量和活性会普遍降低, 限制有机物的快速分解^[8]。为解决这一问题、促进堆肥化过程, 现代工厂化堆肥普遍采取接种外源微生物菌剂的方式, 增加堆肥中有效功能微生物数量, 加速堆

肥中物质转化和恶臭消除^[9-12]。国内外的研究表明, 在好氧堆肥过程中采取接种外源微生物菌剂的方法有利于快速提高堆肥温度, 缩短堆肥时间, 提高堆肥质量^[13-16]。

在传统好氧堆肥中, 堆肥温度一般控制在 70℃ 以下, 高温期温度在 45~60℃, 温度超过 70℃ 普遍认为过高而被禁止, 往往会通过增加通风和翻堆作业而使堆肥温度降至 70℃ 以下。因此, 传统堆肥接种菌剂一般采用耐热菌(thermoduric bacteria, 40~50℃)和中度嗜热菌(moderate thermophilic bacteria, 40~65℃)。然而已有研究表明, 让堆肥过程跨越升温期, 直接进入高温期, 是一种加速堆肥底物降解、缩短周期的可行方法^[17-18]。席北斗等认为, 堆肥物料在 60℃ 下保持 2 h, 可杀灭所有蛔虫卵, 缩短堆肥周期^[19]。Bath 等也认为, 60℃ 是有机固体废弃物的最佳堆肥温度^[20]。

因此, 笔者所在研究团队前期开发了一种超高温预处理+好氧堆肥的工艺模式, 即在 80~85℃ 条件下对物料超高温预处理 4~6 h, 经预处理后的物料后续好氧堆肥发酵时间可缩短在 15 d 以内。为了进一步优化新型堆肥工艺, 本研究采用鸡粪与稻秸、梧桐叶为基本原料进行超高温预处理室内静态模拟试验, 设置不同的嗜热菌接种比例(0、1%、5%、10%), 通过外源加热使物料快速升温进入高温阶段, 并辅以接种笔者所在研究团队自主筛选的极端嗜热菌(最高生长温度为 85℃)进行超高温堆肥试验, 分析接种嗜热菌对鸡粪超高温预处理过程中的理化性状变化规律, 评估其促进鸡粪无害化处理效果。

1 材料与方法

1.1 堆肥试验材料

供试鸡粪取自江苏省南京市江宁区某一民营养鸡场, 稻秸、梧桐叶分别取自江苏省农业科学院水稻试验基地及其院内, 风干后经粉碎机粉碎并过 10 目筛, 备用。堆肥试验材料的理化性质见表 1。

收稿日期: 2018-07-06

基金项目: 农业部农业微生物资源收集与保藏重点实验室开放课题(编号: MRCP-2016-3); 江苏省自然科学基金(编号: BK20150542)

作者简介: 钱玉婷(1984—), 女, 江苏如皋人, 硕士, 助理研究员, 主要从事有机固体废弃物资源化利用研究。Tel: (025) 84391676; E-mail: yutingqian2006@163.com。

通信作者: 黄红英, 博士, 研究员, 主要从事农业废弃物资源化研究。Tel: (025) 84390243; E-mail: sfmicrolab@yahoo.com.cn。

表 1 堆肥试验材料基本性状

供试原料	总固体含量 (%)	挥发性固体含量 (%)	有机碳含量 (%)	凯式氮含量 (%)	全磷含量 (%)	全钾含量 (%)	碳氮比 (C/N)
鸡粪	92.75 ± 2.98	45.64 ± 1.25	25.92 ± 1.75	1.96 ± 0.01	2.90 ± 0.01	2.67 ± 0.01	13.22
麦秸秆	98.24 ± 0.51	88.17 ± 0.42	40.85 ± 2.00	1.02 ± 0.03	0.17 ± 0.00	0.73 ± 0.00	40.05
梧桐叶	97.68 ± 0.09	87.47 ± 0.11	43.65 ± 3.65	0.93 ± 0.02	0.27 ± 0.00	0.34 ± 0.00	46.94

1.2 试验设计

试验采用笔者所在实验室自行筛选的嗜热复合菌剂,该菌剂包含嗜热脉芽孢杆菌、土芽孢杆菌、嗜热脱氮芽孢杆菌、红嗜热盐菌和嗜热栖热菌,并将各菌株等体积混合,其含菌量大于 1×10^8 CFU/g^[21]。试验设置了 3 个菌剂处理组(按照菌液添加量占新鲜堆肥原料质量比的 1%、5%、10%,分别用 T₁、T₂、T₃ 表示),以不接种菌剂为对照组,共 4 个处理组,每个处理设置 3 个平行。称取梧桐叶 50 g、麦秸秆 60 g、鸡粪 160 g,使 C : N = 20 : 1,混匀后,按菌液(基质分别为 0、1%、5%、10%)接种已培养 24 h 的菌种,并用水调节含水率至 65% 左右,均匀混合,在 80 ℃ 水浴中恒温 1 h,放入 80 ℃ 恒温烘箱中,每 24 h 取出翻堆 1 次。整个试验周期为 5 d,分别在 0、3、5 d 取样分析。取 10 g 处理后的新鲜样品,按固水比 1 g : 5 mL 添加蒸馏水,于室温下 200 r/min 振荡 30 min,用定性滤纸过滤,滤液用于 pH 值、电导率(EC)、种子发芽率测定;风干样粉碎过 60 目筛后用于 C、N、P、K 含量的测定。

1.3 测试指标及方法

试验过程中取样测定有关指标:温度,物料温度由温度自动记录仪直接读出,多点测量取平均值;含水率,采用 105 ℃ 烘干 24 h,差质量法测定^[22];pH 值,采用精密 pH 计(METER 6219 型)测定;电导率(EC),采用雷磁 DDS-307 电导率仪测定^[23];C、N、P、K 含量按照有机肥料标准^[24];发芽指数,参照文献^[25]。

1.4 数据整理与分析

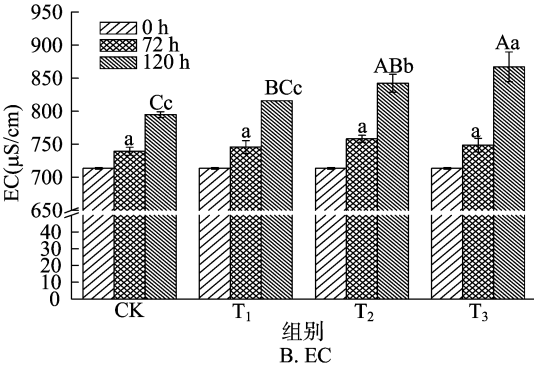
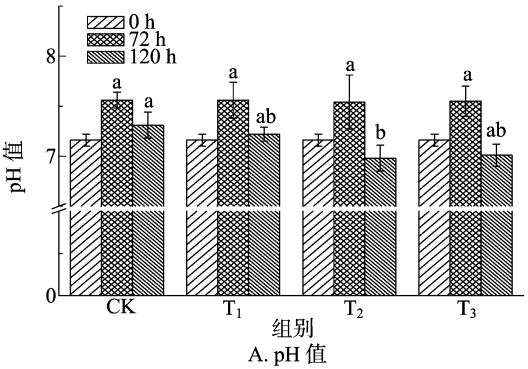
采用 Origin 8.0 和 SPSS 13.0 软件进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 超高温堆肥预处理过程中 pH 值和电导率的变化

研究表明,在堆肥前期或升温期,由于微生物分解蛋白质类有机物产生氨态氮,促使 pH 值快速上升,后续随着氨的挥发及蛋白质类有机物的降解,pH 值下降。从图 1 - A 可以看出,无论是否接种嗜热菌,超高温预处理 120 h 过程中各处理的 pH 值均表现为先升高后下降趋势,这与鲍艳宇等的研究结果^[26]一致,但各处理的 pH 值降幅差异较大,超高温预处理 120 h 与 0 h 的 pH 值降幅表现为 T₂ ≈ T₃ > T₁ > CK。至超高温堆肥预处理 120 h 时,处理组 CK、T₁、T₂、T₃ 的 pH 值分别为 7.31、7.22、6.98、7.01。

堆肥中电导率的变化在一定程度上反映了堆肥中有机氮、无机氮相互转化的程度和可溶性盐的浓度^[27]。从图 1 - B 可以看出,随着超高温堆肥预处理的进行,各处理组的电导率均呈明显上升趋势,与 CK 处理相比,添加嗜热菌处理组的电导率增幅更大,且增幅随着嗜热菌接种率的增加而增加,至超高温堆肥预处理 120 h 时,处理组 CK、T₁、T₂、T₃ 的电导率分别为 794.80、815.76、842.30、867.00 μS/cm。可见,超高温预处理过程中,各处理组物料正处于有机氮、无机氮的快速转化期,并且随着嗜热菌接种率的增加,有助于加快转化速率。



采用 Duncan 方法分析,不同大写字母表示同一处理时间组间差异极显著($P < 0.01$);不同小写字母表示同一处理时间组间差异显著($P < 0.05$);相同字母和无标注的表示差异不显著。 $n = 3$ 。图2同

图1 超高温堆肥预处理过程中 pH 值和电导率变化

2.2 超高温堆肥预处理过程中水溶性有机碳、水溶性有机氮含量的变化

水溶性有机碳(DOC)是微生物在分解有机物料中半纤维素、纤维素等的产物,但同时它又供给微生物所依赖的碳源与能源^[28]。DOC 含量可能与物料的分解速度和微生物的利用有关。由图 2 - A 可知,随着超高温堆肥预处理的进行,各处理组均呈上升趋势但不显著($P > 0.05$),这可能是因为堆

肥前期物料中有机碳分解的速率大于微生物的降解和利用的速率,使得堆肥中水溶性有机碳含量增加^[29]。

从图 2 - B 中可以看出,各处理组的水溶性有机氮含量均呈逐渐上升趋势,与 CK 相比,添加嗜热菌处理组的增幅更大,且随着嗜热菌接种率的增加而增加,至超高温堆肥预处理 120 h 时,处理组 CK、T₁、T₂、T₃ 的水溶性有机氮含量分别为 2.36、2.41、2.48、2.69 g/kg,这是部分无机氮转变成有机氮

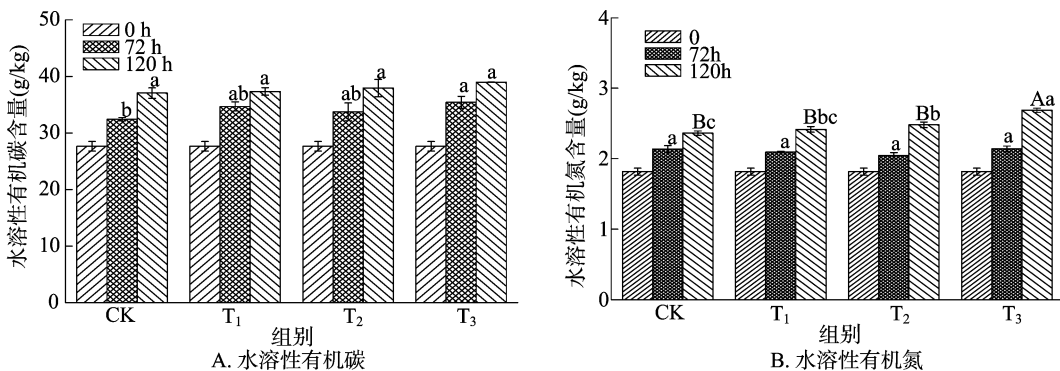


图2 超高温堆肥预处理过程中的水溶性碳和氮含量的变化规律

而被同化固定下来的缘故^[30]。

2.3 超高温堆肥预处理过程中各养分含量的变化

由图3可知,随着超高温堆肥预处理的进行,各处理组的有机碳含量均呈下降趋势,全氮、P₂O₅、K₂O含量均呈增加趋势,并且随着嗜热菌接种率的增加,有机碳含量的降幅逐渐增加,而全氮、P₂O₅、K₂O含量的增幅逐渐增加。至超高温堆肥

预处理120 h时,处理组CK、T₁、T₂、T₃的有机碳含量分别降低11.04%、12.23%、14.57%、16.10%,全氮含量分别增加8.04%、12.95%、16.02%、20.93%。可见,添加嗜热菌有利于加快鸡粪超高温堆肥预处理过程中的养分转化,并且转化速度随着嗜热菌添加量的增加而增加。

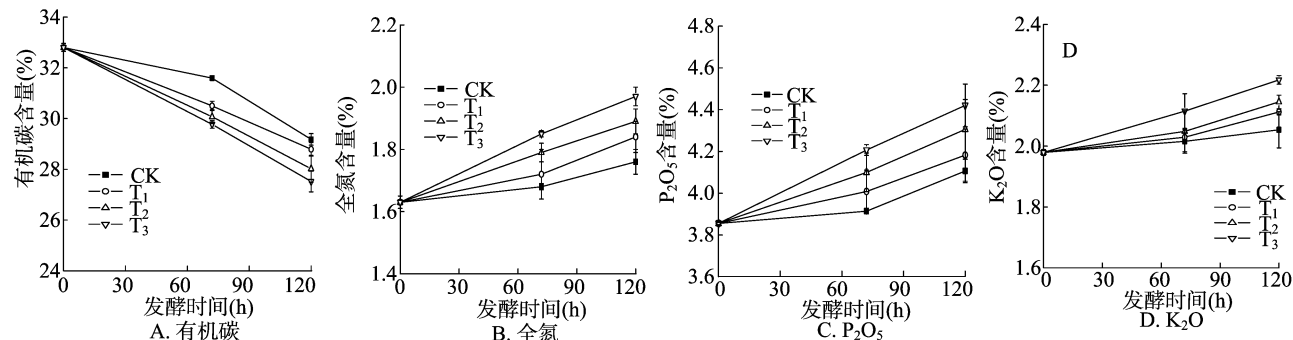


图3 超高温堆肥预处理过程中各养分含量的变化

2.4 超高温堆肥预处理过程中总养分(N + P₂O₅ + K₂O)含量的变化

由图4可知,随着超高温堆肥预处理过程的进行,各处理组的总养分(N + P₂O₅ + K₂O)含量均呈逐渐升高趋势,并且随着嗜热菌接种率的增加,其增幅有所增加。至超高温堆肥预处理120 h时,处理组CK、T₁、T₂、T₃的总养分(N + P₂O₅ + K₂O)含量分别7.92%、8.13%、8.34%、8.61%。按照NY 525—2012《有机肥料》对总养分含量(以烘干基计)的要求:总养分(N + P₂O₅ + K₂O)含量≥5%,各堆肥处理均达要求。

芽的抑制作用,属于判断堆肥物料是否无害化或达到腐熟的重要指标之一。由图5可知,随着超高温堆肥预处理过程的进行,各处理组的种子发芽率均呈明显上升趋势,并且随着嗜热菌接种率的增加,其增幅明显增加。至超高温堆肥预处理120 h时,处理CK、T₁、T₂、T₃的种子发芽率分别为82.15%、93.58%、100.00%、100.00%。可见,添加嗜热菌有利于加快鸡粪超高温堆肥过程的无害化进程。

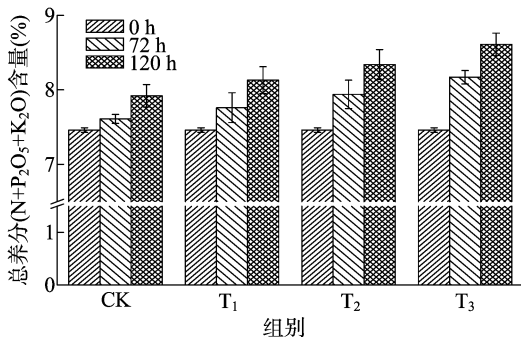


图4 超高温堆肥预处理过程中总养分含量的变化

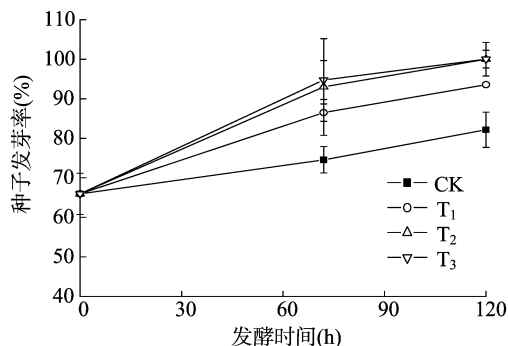


图5 超高温堆肥预处理过程中种子发芽率的变化

2.5 超高温堆肥预处理过程中种子发芽率的变化

种子发芽率可以反映不同堆制时间的堆肥物料对种子发

3 讨论

温度是决定堆肥进程的最重要因素。温度越高,堆肥反应中木质纤维素类难降解物质的结晶度降低,越容易被降解,

腐熟时间越短^[31-32]。研究认为,高温期对堆肥底物的降解占主导地位,嗜热菌对有机物的降解效果往往好于嗜温菌^[33-34]。堆肥物料中一些有机物在超高温堆肥预处理过程中更易溶解,高温条件下滤出的水溶性有机碳的生物可降解性更高^[35-36]。正如本试验结果所示,随着超高温堆肥预处理的进行,水溶性有机碳和有机氮含量均呈明显增加趋势,且增幅随着嗜热菌接种率的增加而增加。

从图 3 可知,超高温堆肥预处理过程中的全氮含量有所增加,可能由于在预处理的较短时间内有机碳被快速降解而使得全氮、 P_2O_5 、 K_2O 的含量呈现“浓缩”效应。此外,C/N 是用于检验堆肥物料腐熟度最常用的指标,有研究发现 C/N 降至 20 以下时表明堆肥物料腐熟。本试验中至超高温堆肥预处理 120 h 时,处理 CK、 T_1 、 T_2 、 T_3 的 C/N 由初始的 20.13 分别降低至 16.58、15.65、14.83、13.97。

结合超高温堆肥过程中的理化性状指标及种子发芽率分析来看,通过添加嗜热菌,可以有效提高堆肥的发酵,加快鸡粪堆肥物料的腐熟进程,并且考虑显著性分析结果及成本分析,嗜热菌接种率以处理 T_2 为宜。

4 结论

添加嗜热菌有利于加快鸡粪超高温堆肥预处理过程中各养分(有机碳、全氮、全磷、全钾)转化,并且转化速率随着嗜热菌添加量的增加而增加。

添加嗜热菌有利于加快鸡粪堆肥物料的腐熟进程,并且考虑无害化处理效果及成本分析,嗜热菌接种率以处理 T_2 (即 5%) 为宜。

参考文献:

- [1] 曹云,常志州,黄红英,等. 添加腐熟猪粪对猪粪好氧堆肥效果的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(21):220-226.
- [2] Cesaro A, Belgioirno V, Guida M, et al. Compost from organic solid waste: quality assessment and European regulations for its sustainable use[J]. Resources Conservation and Recycling, 2015(94):72-79.
- [3] 刘长莉,威利,黄剑,等. 农业有机废弃物资源化利用[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2010.
- [4] 艾平,张衍林,李善军,等. 农业废弃物处理技术的分析[J]. 环境整治,2009,27(1):59-63.
- [5] 赵建荣,高德才,汪建飞,等. 不同 C/N 下鸡粪麦秸高温堆肥腐熟过程研究[J]. 农业环境科学学报,2011,30(5):1014-1020.
- [6] 鲍艳宇,周启星,颜丽,等. 不同畜禽粪便堆肥过程中有机氮形态的动态变化[J]. 环境科学学报,2008,28(5):930-936.
- [7] 王艳,沈春红,李国学,等. 倒仓破碎对缩短发酵周期后生活垃圾堆肥腐熟度的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(5):1053-1059.
- [8] 李敏清,袁英英,杨江舟,等. 畜禽粪便堆肥过程中酶活性及微生物数量的不会研究[J]. 中国生物工程杂志,2010,30(11):56-60.
- [9] 竹江良,刘晓琳,李少明,等. 两种微生物菌剂对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(1):194-199.
- [10] 高华,李鸣雷,谷洁,等. 农业废弃物静态高温堆腐过程中微生物变化的研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):118-122.
- [11] 李国学,李玉春,李彦富. 固体废弃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] 孙晓华,罗安程,仇丹. 微生物接种对猪粪堆肥发酵过程的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(5):557-559.
- [13] Haug R T. The practical hand book of compost engineering[M]. New York: Lewis Publisher, 1993.
- [14] Riffaldi R, Levi - Minzi R, Pera A, et al. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analysis[J]. Waste Management and Research, 1986,4(1):387-396.
- [15] Tiquia S M, Tam N F Y. Co - composting of spent pig letter and sludge with forced aeration[J]. Bioresource Technology, 2000,72(1):1-7.
- [16] 唐璐,曹晓晓,和苗苗. 好氧堆肥过程中含碳有机物演化特征研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版),2015,14(2):217-224.
- [17] Cayuela M L, Sánchez - Monedero M A, Roig A. Evaluation of two different aeration systems for composting two - phase olive mill wastes[J]. Process Biochemistry, 2006,41(3):616-623.
- [18] 石文军,杨朝晖,肖勇,等. 全程高温好氧堆肥快速降解城市生活垃圾[J]. 环境科学学报,2009,29(10):2126-2133.
- [19] 席北斗,李英军,刘鸿亮,等. 温度对生活垃圾堆肥效率的影响[J]. 环境污染治理技术与设备,2005,6(7):33-36.
- [20] Bath P D, Schoda M, Kubota H. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor[J]. J Ferment. Technol, 1984,62(3):285-292.
- [21] 江苏省农业科学院. 一种嗜热菌复配菌剂及其制备方法与应用;201710517989.7[P]. 2017-06-29.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [23] 吴华山,常志州,马艳,等. 不同腐熟猪、牛粪在蔬菜上施用的农学效应研究[C]//第五届全国农业环境科学学术研讨会论文集. 天津:农业环境科学学报,2013.
- [24] 有机肥料:NY525—2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
- [25] 赵玉娇,贺萌,呼世斌,等. 牛粪和红薯秸秆静态高温堆肥研究[J]. 农机化研究,2012,34(12):218-222.
- [26] 鲍艳宇,周启星,颜丽,等. 畜禽粪便堆肥过程中各种氮化化合物的动态变化及腐熟度评价指[J]. 应用生态学报,2008,19(2):374-380.
- [27] 罗一鸣,魏宗强,孙钦平,等. 沸石作为添加剂对鸡粪高温堆肥氮挥发的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(2):243-247.
- [28] Zmora - Nahuma S, Markovitcha O, Tarchitzky J, et al. Dissolved organic carbon(DOC) as a parameter of compost maturity[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005,37(11):2109-2116.
- [29] 张雪辰,邓双,杨密密,等. 畜禽粪便堆腐过程中有机碳组分与腐熟指标的变化[J]. 环境科学学报,2014,34(10):2559-2565.
- [30] 黄国锋,钟流举,张振钿,等. 猪粪堆肥化处理过程中的氮素转变及腐熟度研究[J]. 应用生态学报,2002,13(11):1459-1462.
- [31] Hosseini S M, Abdul A H. Evaluation of thermochemical pretreatment and continuous thermophilic condition in rice straw composting process enhancement[J]. Bioresource Technology, 2013(133):240-247.
- [32] Sánchez O J, Cardona C A. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks[J]. Bioresource Technology, 2008,99(13):5270-5295.
- [33] 王立群,张晓东,吴邵萍,等. 禽粪好氧堆肥发酵高温阶段微生物

王洪斌, 成 群, 熊文超, 等. 2,2',4,4',5-五溴联苯醚(BDE-99)对巴夫藻和塔玛亚历山大藻的致毒胁迫效应[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 325-328.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.081

2,2',4,4',5-五溴联苯醚(BDE-99)对巴夫藻和塔玛亚历山大藻的致毒胁迫效应

王洪斌^{1,2}, 成 群¹, 熊文超¹, 胡业庆¹, 谢冰倩¹, 李士虎²

(1. 淮海工学院海洋生命与水学院, 江苏连云港 222005; 2. 江苏省海洋生物技术重点实验室, 江苏连云港 222005)

摘要:以 2 种海洋微藻的生长量、丙二醛(MDA)含量及过氧化氢酶(CAT)、酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)活性为检测指标,在微藻对数生长期时加入不同浓度梯度的 2,2',4,4',5-五溴联苯醚(BDE-99),研究 BDE-99 对巴夫藻(*Pavloca viridis*)和塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)的致毒胁迫效应。结果显示:低浓度(1.67 μg/L)的 BDE-99 对 2 种微藻均有刺激生长作用,高浓度有强烈的抑制作用并具有明显的剂量效应,26.72 μg/L 浓度的 BDE-99 试验组对巴夫藻、塔玛亚历山大藻的生长抑制率分别为 73%、74%。用一定浓度(6.68 μg/L)的 BDE-99 处理 2 种微藻,2 种微藻的 CAT 活性在 24 h 开始升高,96 h 达最高值,巴夫藻与塔玛亚历山大藻分别增加 47%、31%;巴夫藻 AKP 活性于 72 h 达到最高值,与对照组相比,升高 43%,塔玛亚历山大藻的 AKP 活性于 48 h 达到最大值,与对照组相比,升高 40%;2 种微藻的 ACP 活性变化趋势不明显;随着培养时间的增加,2 种微藻 MDA 含量逐渐升高,特别是塔玛亚历山大藻升高趋势极其明显,巴夫藻、塔玛亚历山大藻均在 120 h 达最高值,与对照组相比,分别增加 56%、95%。研究结果可以为揭示多环芳烃化合物污染对水环境的危害程度提供参考。

关键词:2,2',4,4',5-五溴联苯醚(BDE-99);巴夫藻;塔玛亚历山大藻;毒性效应

中图分类号:X173 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)23-0325-04

2,2',4,4',5-五溴联苯醚(BDE-99)是一种多溴联苯醚(PBDEs),也是一种溴代阻燃剂。PBDEs 拥有极为优异的阻燃性能、热稳定性等,因此被广泛用作电子电路、建筑家具、塑料制品、纺织等行业中。但是,这些产品在使用、焚烧和降解等过程中,不与 PBDEs 共价结合,这时 PBDEs 就会挥发到自然环境中^[1-2],之后经过大自然的各类循环进入海洋,并最终在沉积物和生物体内积累^[3]。大量研究和实证表明,PBDEs 的化学结构与多氯联苯(PCBs)极为相似,具有难降解、高脂溶性等特点,是一种新型的持久性有机污染物。2004 年,欧洲部分国家已禁止八溴联苯醚等 PBDEs 的投放使用。2006 年,欧盟颁布明令禁止欧盟各国在电子商品中使用多溴联苯醚^[4]。

我国为发展中国家,每年使用多溴联苯醚用作阻燃剂等

也十分多。随着 PBDEs 用量的增加,在大气、沉积物或污泥、鱼类、人体血液和脂肪组织、母乳等中均能检测到其存在,而在水、沉积物和生物体中含量最高的是以 BDE-47、BDE-99、BDE-100 为主的低溴联苯醚。

藻类作为海洋和陆地上的初级生产者,其价值在近几十年来被越来越多的研究人员和学者看重。关于藻类的研究更是不胜其数,其中微藻的生态价值已经渗透到工业、农业等各方面。BDE-99 一旦进入水体,开始“入侵”的对象就是浮游藻类。在“侵入”后便在食物链中传播,进入水体和人体,从而危害生物体健康。

本研究选用常见的巴夫藻(*Pavloca viridis*)和塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)为供试材料,以它们的生长量等为检测参数,分析塔玛亚历山大藻和巴夫藻对不同浓度梯度 BDE-99 的致毒胁迫的响应,从而研究 BDE-99 对海洋微藻的毒性效应,以期证明多环芳烃化合物会对水环境带来严重的破坏性,揭示海洋微藻在水环境污染治理及修复中的潜在应用价值。

收稿日期:2017-08-07

基金项目:江苏省科技支撑计划(编号:BE2014336)。

作者简介:王洪斌(1966—),男,江苏连云港人,博士,教授,主要从事环境微生物学及环境毒理学方面的研究。E-mail:lygwhbly@126.com。

物的分离及其作用[J]. 东北农业大学学报,2008,39(21): 204-206.

[34] Tang J C, Shibata A, Zhou Q, et al. Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2007, 104(4): 321-328.

[35] 吴川福, 岛冈隆行, 小宫哲平, 等. 温度、pH 值对城市垃圾中有

机碳溶解及其降解特性的影响[J]. 中国环境科学, 2014, 34(4): 976-982

[36] Bu X, Ding J, Wang L, et al. Biodegradation and chemical characteristics of hot-water extractable organic matter from soils under four different vegetation types in the Wuyi Mountains, southeastern China[J]. European Journal of Soil Biology, 2011, 47(2): 102-107.