

起爆剂促进猪粪堆肥腐熟研究^①

王若斐¹, 薛超¹, 刘超¹, 乔策策¹, 徐谔¹, 顾文文²,
蔡志刚², 李荣^{1*}, 沈其荣¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院/江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心/国家有机肥类肥料工程技术研究中心/
江苏省有机固体废弃物资源化高技术研究重点实验室, 南京 210095; 2 江苏峻德生态农业科技有限公司, 江苏淮安 223300)

摘要: 利用工厂化高温好氧堆肥方式, 探究了有机肥起爆菌剂对猪粪堆肥腐熟效率的影响。通过工厂试验, 以猪粪为原料, 稻壳为辅料, 设置对照 Z1 和接种起爆剂处理 Z2, 研究堆肥过程中不同堆体的温度、pH、EC、C/N 和养分等理化指标的变化及堆体腐熟效率的差异。对照 Z1 与处理 Z2 的堆体温度在高于 55 °C 的时间均持续了 18 d 以上, Z2 处理的升温速率和温度最高值均高于对照 Z1; 两堆体的 pH 和 EC 值变化无显著差异, 至堆肥结束, 堆体 Z1 的 pH 稳定在 7.45 左右, Z2 的 pH 稳定在 7.25 左右; 堆体 Z1 和 Z2 的 C/N 分别下降了 46.39% 和 51.33%, 全碳含量分别下降了 43.18% 和 47.34%, 全氮含量分别上升了 5.94% 和 9.28%; Z1 和 Z2 的 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 具有类似的变化趋势; 至第 28 天, Z2 的发芽指数已达 100%, 说明肥料已完全腐熟, 而 Z1 此时的发芽指数仅为 85%; 堆肥结束时, Z1 和 Z2 的最终总养分含量(N、P₂O₅、K₂O)分别达 51.63 g/kg 和 52.67 g/kg。结果表明接种有机肥起爆剂能够有效加快堆肥腐熟。

关键词: 猪粪; 堆肥; 腐熟度; 有机肥起爆剂

中图分类号: S963.91 文献标识码: A

改革开放 30 多年来, 我国的畜牧业已经进入规模化养殖阶段, 万头、甚至几十万头的猪场, 或几百万羽的禽场到处可见, 确保了我国人民对肉类产品的需求, 这些畜牧场废弃物的肥料化, 确保了养殖业的健康发展, 有机肥料趋于产业化、商品化, 出现了工厂化生产的精制有机肥、有机无机复合肥^[1]。利用有机肥料培肥土壤是我国农业的特色之一^[2], 但传统农业的堆肥方式和技术由于存在发酵时间长、费时费工、卫生条件差、无害化程度和肥力低等诸多弊端, 已经不适合现代化农业的发展要求, 特别是随着近代集约化、规模化养殖场的兴起, 迫切需要改进这种弊端^[3-4]。

为加快有机物料的降解速度, 提高堆肥的腐殖化程度, 近年来国内外学者对堆肥过程中的微生物过程进行了一系列理论和实践研究^[5-6]。由于堆肥是一系列由微生物活动主导的, 兼具物理、化学、生物各种

变化的复杂过程, 而微生物的活动则会影响堆肥的时间和堆肥产品质量^[7-8], 因此在堆肥过程中加入微生物菌剂来增加微生物数量、调节菌群结构, 是一种促进堆肥快速腐熟的有效方法。有机肥起爆剂是由两种或多种微生物按合适比例共同培养, 充分发挥群体的联合作用优势, 取得较佳应用效果的一种微生物制剂^[9]。理论上而言, 在堆肥过程中人为接种外源微生物从而加速腐熟是可行的^[10]。因此, 随着有机肥工厂化生产的市场需求不断增大, 将高效的堆肥起爆剂运用到我国商品有机肥生产中变得相当重要。

本研究以猪粪和稻壳为原料, 添加有机肥起爆剂同时设置不接菌对照, 在工厂进行原位高温好氧堆肥研究, 通过检测堆肥过程中相关指标的动态变化, 并依据理化参数和堆肥有机物质动态变化特征进行腐熟化程度评价, 探究微生物菌剂的添加对堆肥腐熟效率的影响。

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(15)100606)、中央高校基本科研业务费专项资金项目(KYZ2015197 和 KYCYL 201502)、苏北专项(BN2015082)、国家重点研发专项(2016YFE0101100)、江苏省科技计划项目(BY2016077-05)、江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015A061)、青蓝工程和校大学生创新训练项目(1513A09)资助。

* 通讯作者(lirong@njau.edu.cn)

作者简介: 王若斐(1992—), 女, 河南郑州人, 硕士研究生, 主要研究方向为有机固体废弃物资源化利用。E-mail: 2015103123@njau.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 试验材料与 设计

苏淮猪粪取自淮安快鹿牛奶有限公司养殖场,稻壳、蘑菇渣由江苏峻德生态农业科技有限公司提供,其基本理化性质见表 1。堆肥起爆剂由本实验室自行研制,由酵母菌、枯草芽孢杆菌和曲霉按照 1:1:2 (v/v/v)混合后(液体发酵的真菌孢子和芽孢杆菌芽孢数量均大于 10^9 cfu/ml),利用吸附剂按照 3:7(v/v)吸附而成(吸附剂:米糠与玉米芯比值为 7:3)。

将猪粪、稻壳和蘑菇渣按照堆体 C/N 值 25:1 配比混合后,接种 5% 堆肥起爆剂(w/w, DW)为处理 Z2;同时设不接种对照处理 Z1。堆体采用条垛式堆制,长 8 m,宽 2.8 m,高 1 m,初始含水率调节至 65% 左右。堆肥开始前 2 周每 3 天翻一次堆,之后每 5 天翻一次堆。堆肥过程中保持水分自然。

表 1 堆肥原料基本理化性质
Table 1 Basic physicochemical properties of main composting materials

原料	总碳(g/kg)	总氮(g/kg)	碳氮比	含水率 (%)
猪粪	323.60	21.10	15.35	74.19
蘑菇渣	321.10	30.80	10.42	35.01
稻壳	322.40	4.40	73.27	5.21

1.2 测定项目与 方法

1.2.1 样品采集与保存 在整个堆肥过程中,于第 0、1、3、5、9、13、17、21、28 天进行样品的采集。采取剖面多高度等量取样法,即将堆体分成多段,在每段多个高度(上层:5~10 cm;中层:50~60 cm;下层 100~120 cm)采集等量样品,混合后,采用四分法多次分取样品,每时间段共获得样品重复 4 个,以保证取样的代表性^[11-12]。样品分成 3 份,其中 2 份分别保存于 4 °C 和 -80 °C 冰箱,另一份自然风干、粉碎后待用。

1.2.2 堆体温度测定 每天上午 9:00 和下午 15:00 使用水银温度计对堆体中部同一高度(50 cm)随机测量 5 个点,取平均温度作为堆体的实际温度。

1.2.3 全碳、全氮含量和 C/N 的测定 经风干、粉碎、细化、均一化的样品过 100 目筛后用锡箔纸包被,使用元素分析仪(Vario EL, Germany),通过干烧法进行全碳和全氮含量的测定, $C/N = \text{总碳含量}/\text{总氮含量}$ 。每个样品设置 3 次重复。

1.2.4 pH 和电导率(EC)的测定 新鲜样品和去离子水以 1:10(w/v)混合,置于水平摇床振荡 2 h,静置 30 min 后用 pH 计和电导仪测定^[12],每个样品进

行 3 次重复。

1.2.5 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量的测定 新鲜样品和去离子水以 1:10(w/v)混合,置于水平摇床振荡 24 h 后,在 4 °C 下 12 000 r/min 离心 10 min;使用定量滤纸过滤上清液后,再用 0.45 μm 水系微孔滤膜过滤^[11]。使用连续流动分析仪(Auto Analyzer 3, Germany)测定 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量。每个样品设 3 次重复。

1.2.6 发芽指数的测定 新鲜样品与去离子水以 1:10 混合(w/v),置于水平摇床振荡 2 h 后过滤。取 5 ml 滤液加入铺有滤纸的培养皿内,每个培养皿内放置 20 颗独行菜种子,空白对照为去离子水。

培养皿放置于 25 °C 恒温培养箱中暗培养 3 d 后,测定发芽种子数以及根长。每个样品设置 3 次重复。

发芽指数 = 样品发芽率(%) \times 样品根长 \times 100%/对照发芽率(%) \times 对照根长

1.2.7 三维荧光光谱测定 新鲜样品与去离子水以 1:10(w/v)混合,置于水平摇床振荡 24 h 后调节 pH 至 7.0,样品在 4 °C 下 12 000 r/min 离心 10 min,取上清液后经 0.45 μm 水系微孔滤膜过滤并稀释样品,使有机碳浓度小于 10 mg/L。使用荧光分光光度计(Varian Eclipse)进行测定,参数设置为:发射波长始于 250 nm,结束于 600 nm,每次增加 2 nm;同时,激发波长始于 200 nm,结束于 500 nm,每次增加 10 nm;发射波长和激发波长的狭缝宽度为 5 nm;扫描速率设定为 1 200 nm/min^[13]。

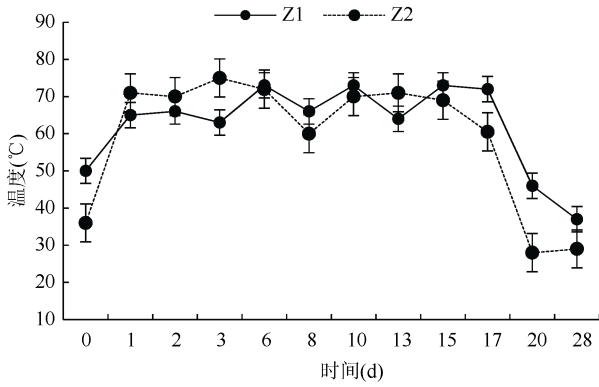
硫酸奎宁单位(QSU)被用于荧光强度的校准:1 QSU 被定义为 1 mol/L H_2SO_4 中,0.01 mg/L 浓度的奎宁在激发波长 350 nm、发射波长 450 nm 下的荧光强度。

1.2.8 数据分析 采用 MATLABR 2016a、Sigmaplot 12.5、Microsoft Excel 2016 软件进行数据统计分析。使用最小显著差异法(least significant difference, LSD) 检验进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度的变化

从图 1 可以看出,添加起爆剂的 Z2 处理起堆后第 1 天开始升温,第 2 天即进入高温阶段,升温速度高于 Z1 处理,其高温阶段的温度维持在 72 °C 左右;而 Z1 对照在同一时间段的温度维持在 65 °C 左右。Z2 处理第 15 天开始进入降温阶段,Z1 对照高温阶段持续到第 18 天后,开始进入降温阶段。相对



(Z1 : C/N = 25 堆体 ; Z2 : C/N = 25 堆体+有机肥起爆剂, 下图同)

图 1 堆肥过程中的温度变化

Fig. 1 Changes of temperatures during composting

Z2 处理, Z1 处理的高温阶段延长了 3~5 天。至起堆第 28 天, Z2 处理的温度已稳定在 30 °C 左右。

2.2 堆肥过程中 pH 和 EC 的变化

由图 2 可知, 堆体 Z1 和 Z2 的 pH 变化一致, 在堆肥初期均大幅升高, 随后出现小幅下降, 后期趋于稳定。堆肥后期, 随着氨的挥发、蛋白质等有机物的彻底降解以及硝化作用的进行, pH 逐渐降低。在整个堆肥过程中, 堆体 Z1 的 pH 始终高出 Z2 堆体 0.075

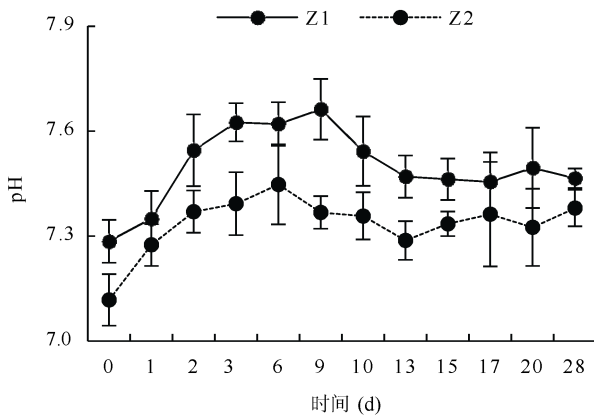


图 2 堆肥过程中 pH 的变化

Fig. 2 Changes of pH values during composting

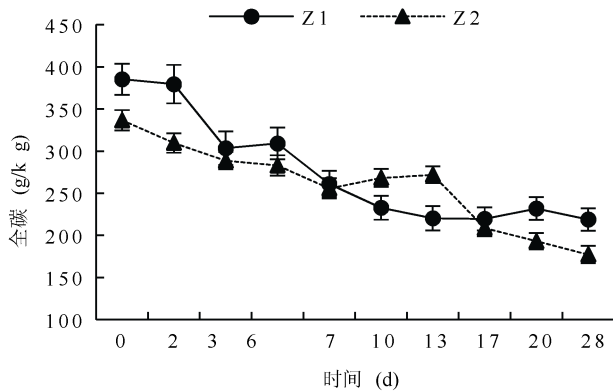


图 4 堆肥过程中全碳含量的变化

Fig. 4 Changes of total carbon contents during composting

~ 0.29, 至堆肥结束, 堆体 Z1 稳定在 7.45 左右, Z2 稳定在 7.25 左右。图 3 中 EC 值随堆肥的进行有较大波动, 在堆肥前期, EC 值略有升高; 进入高温期后, EC 值呈下降趋势。在堆肥后期, 堆体 Z1 与 Z2 的 EC 值均在升高后下降至 1.6 mS/cm。在整个堆肥期间, 添加起爆剂 Z2 处理的电导率始终低于 Z1。

2.3 堆肥过程中全碳、全氮含量及 C/N 的变化

由图 4、图 5 可知, 堆肥过程中堆体 Z1、Z2 的全碳含量呈下降趋势, 而全氮含量相对呈上升趋势。至堆肥结束, Z1、Z2 的有机质含量分别达到 566.92、482.53 mg/kg; 其全碳含量分别下降了 43.18%、47.34%; 全氮含量则分别上升了 5.94%、9.28%。图 6 可知, Z1 和 Z2 在堆肥过程中 C/N 均呈降低趋势, 堆体 Z1 呈平稳的下降趋势至第 28 天 C/N 为 15 左右, Z2 堆体的 C/N 则在第 3~7 天时保持平稳, 之后则较快速地下降至 13 左右。至堆肥结束, 堆体 Z1、Z2 的 C/N 分别下降了 46.39%、51.33%。

2.4 堆肥过程中 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的变化

图 7 可知, 堆体 Z1、Z2 的 NH₄⁺-N 含量变化总体呈先上升后下降趋势, 不同的是 Z1 处理的 NH₄⁺-N 含量直到第 14 天才达到峰值 1.63 g/kg, 相比添加了

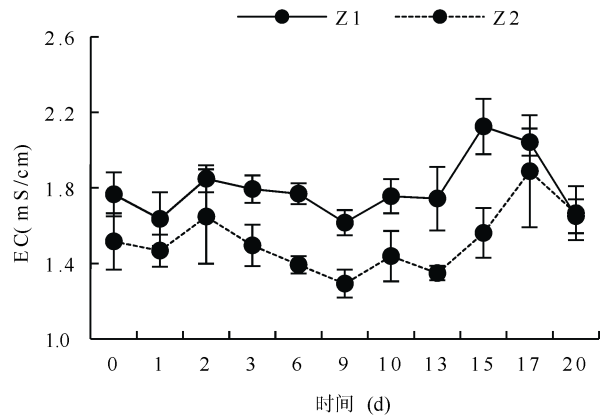


图 3 堆肥过程中 EC 的变化

Fig. 3 Changes of EC values during composting

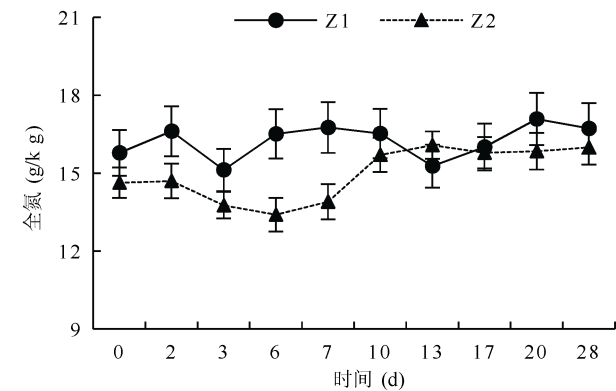


图 5 堆肥过程中全氮含量的变化

Fig. 5 Changes of total nitrogen contents during composting

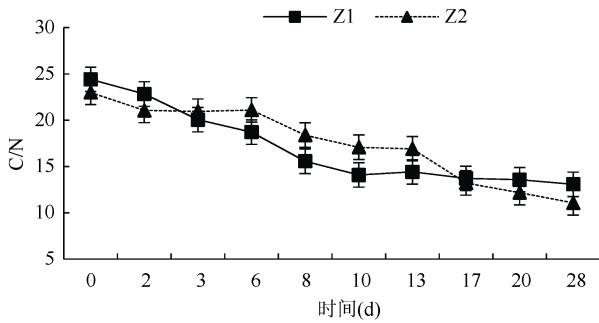


图 6 堆肥过程中 C/N 的变化
Fig. 6 Changes of C/N ratios during composting

起爆剂的处理 Z2 推迟了一周左右的时间。在整个堆肥过程中堆体 Z1 的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量几乎始终高于堆体 Z2。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量变化如图 8 所示，在堆制过程中，各处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量总体上均呈上升趋势。Z1 处理在堆肥初期，其 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量略有波动，至第 11 天左右才开始平稳增高；而 Z2 的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量则从到 14 天开始呈现出上升状态。至堆肥结束，堆体 Z1、Z2 的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 分别增加了 0.24 g/kg 和 0.17 g/kg。

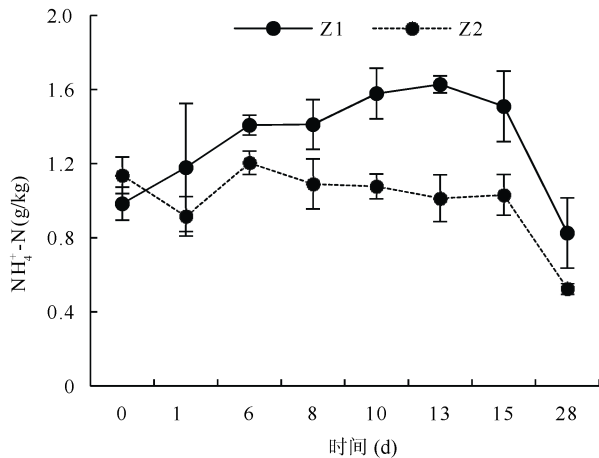


图 7 堆肥过程中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的变化
Fig. 7 Changes of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ contents during composting

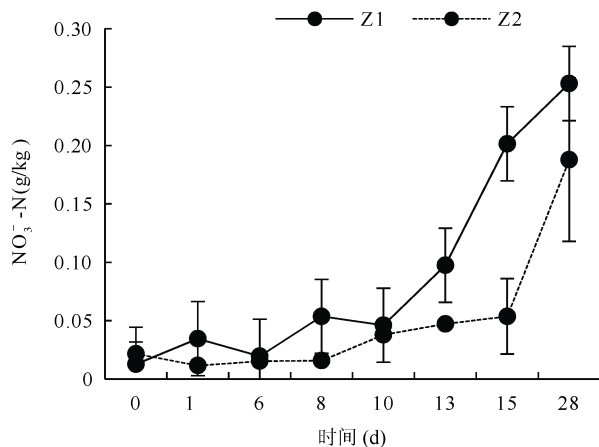


图 8 堆肥过程中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化
Fig. 8 Changes of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ contents during composting

2.5 堆肥过程中的发芽指数变化

堆肥过程中发芽指数的变化如图 9，堆体 Z1、Z2 的发芽指数随堆肥进行均呈明显上升趋势，在堆肥前期二者的发芽指数均维持在 70%，从第 7 天起至堆肥结束 Z2 的发芽指数始终高于 Z1。在第 28 天，Z2 的发芽指数已达 100%，说明肥料已完全腐熟，而 Z1 的发芽指数仅为 85%。

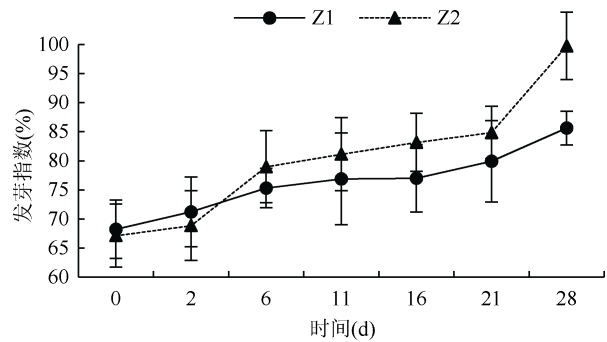


图 9 堆肥过程中发芽指数的变化
Fig. 9 Changes of germination indexes during composting

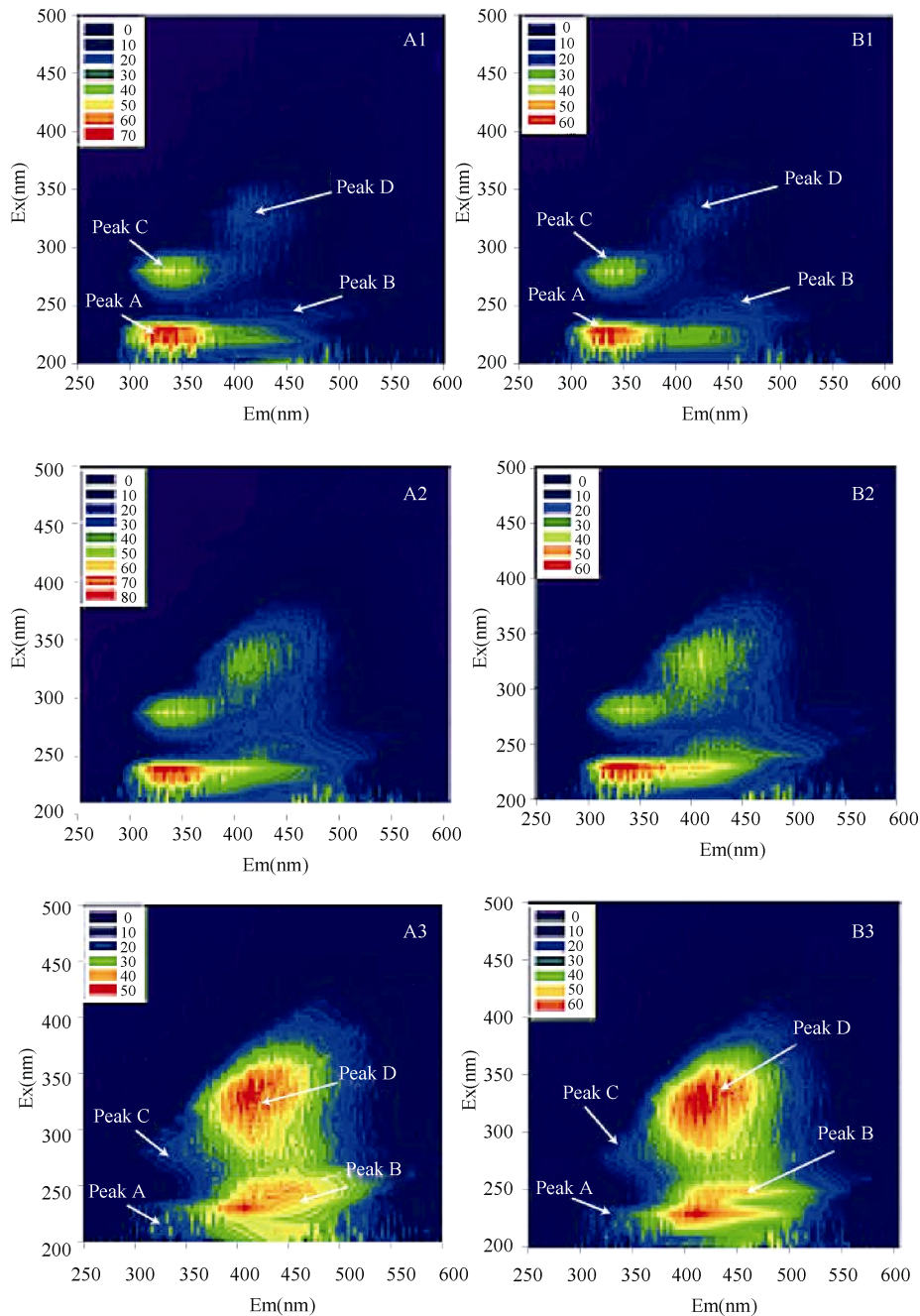
2.6 堆肥过程中的三维荧光图谱变化

三维荧光光谱是 λ_{Ex} 和 λ_{Em} 同时改变光谱图，它不仅可获得 λ_{Ex} 和 λ_{Em} 同时变化时的荧光强度信息，并且可对多组分复杂体系中重叠的对象进行光谱识别，能将 DOM 中的各类物质一一表征出来。两个处理的三维荧光图谱都可以观察到 4 个峰，峰 A 表示含芳香基团蛋白质(发射波长 $\text{Em}<380\text{ nm}$ ，激发波长 $\text{Ex}<250\text{ nm}$) 峰 B 表示富里酸类物质($\text{Em}>380\text{ nm}$ ， $\text{Ex}<250\text{ nm}$)；峰 C 表示水溶性微生物代谢产物($\text{Em}<380\text{ nm}$ ， $\text{Ex}>250\text{ nm}$)；峰 D 表示胡敏酸类物质($\text{Em}>380\text{ nm}$ ， $\text{Ex}>250\text{ nm}$)。

图 10 为堆体 Z1、Z2 在 3 个不同阶段的三维荧光光谱图，由 A1、B1 可观察到：在堆肥初始，两个堆体都呈现几乎相同的原始物料状态；至堆肥中期(第 14 天)，Z2 的 Peak B 与 Peak D(QSU：Peak B = 31.63、Peak D = 39.87)均强于 Z1(QSU：Peak B = 21.53、Peak D = 27.69)，B2 的 Peak A 与 Peak C(QSU：Peak A = 63.77、Peak C = 38.35)也略强于 A2(QSU：Peak A = 53.62、Peak C = 33.87)；至第 28 天堆肥结束时，Z1、Z2 处理的 Peak B 与 Peak D 均有所增强，而 Peak A 与 Peak C 则减弱，Z2 的 Peak B 与 Peak D(QSU：Peak B = 36.34、Peak D = 45.13)均略强于 Z1(QSU：Peak B = 35.68、Peak D = 42.91)。

2.7 堆肥过程中养分的变化

由图 11 可知，堆肥结束时两个堆体的养分有差异 Z2 的全氮含量低于 Z1，全钾含量则明显高于 Z1，



(峰 A、B、C、D 分别表示含芳香基团蛋白质、富里酸类物质、水溶性微生物代谢产物和胡敏酸类物质；图右上角 A1、A2、A3 分别代表 Z1 处理第 0、14 和 28 天的样品，B1、B2、B3 分别代表 Z2 处理第 0、14 和 28 天的样品)

图 10 堆肥初始和结束时三维荧光光谱

Fig.10 Three-dimensional fluorescence spectra of different treatments at beginning and end of composting

全磷含量略高于 Z1。Z1 的总养分含量(N、 P_2O_5 、 K_2O) 达 51.63 g/kg，Z2 为 52.67 g/kg，均符合国家标准。

3 讨论

本研究中，两堆体温度在 55 °C 以上均维持了超过 18 d，当堆体的温度高于 55 °C 并维持在一段时间以上，堆体中的病原菌即可被杀死，可以保证

堆肥的无害化卫生质量^[14]，表明，无论是否添加起爆剂，堆肥都能够有效完成，但接菌缩短了堆体进入高温期的时间，Z2 处理第 2 天即进入了高温阶段，且促进堆体提前进入了降温期。这与李天枢^[15]的研究结果一致，堆肥腐熟剂的添加，加快了堆体的升温速率，促进堆体提前进入高温阶段，提高了最高堆温和堆体的腐熟效率。

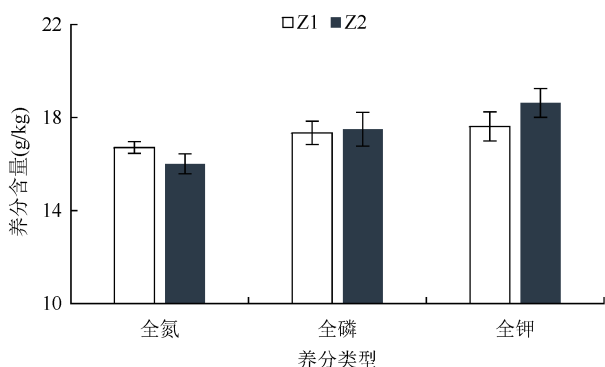


图 11 堆体养分含量

Fig. 11 Nutrient contents of different treatments at beginning and end of composting

酸碱度是影响微生物代谢活动重要的环境条件之一,也是反映堆肥腐熟化过程及判断堆肥是否腐熟的最基本指标。由图 2 可以看出,堆体 Z1 和 Z2 的 pH 都在堆肥初期大幅升高,随后开始出现小幅下降,至后期趋于稳定。这是由于随着堆肥进行,蛋白质水解氨化,挥发的部分氨造成碱性环境^[16]。堆肥后期,随着氨的挥发、蛋白质有机物的彻底降解以及硝化作用的进行,pH 逐渐降低,这一结论与姜继韶和黄懿梅^[16]对有机肥的堆肥研究结论一致。在整个堆肥过程中,堆体 Z1 的 pH 始终高出 Z2 堆体 0.075~0.29,至堆肥结束,堆体 Z1 稳定在 7.45 左右,Z2 稳定在 7.25 左右。这可能是由于 Z2 堆体添加了有机肥起爆剂致使其起始 pH 相对较低。有研究表明,最合适的堆肥 pH 在 5.5~8.0 之间^[17],本研究两个堆体的 pH 变化范围均在最适 pH 范围之内。

EC 反映了溶液中可溶性电解质的总量,有研究认为堆料电导率的增加与堆肥微生物活动有关,在高温期大量营养盐被微生物利用,因此水溶性盐含量较低,对于堆肥产品,其 EC 不宜过大,否则会影响植物的正常生长^[18]。从图 3 中可看出,EC 随堆肥的进行有较大波动,这可能是翻堆的缘故。在堆肥前期,EC 略有升高,可能是由于有机质的矿化作用及有机酸的溶解作用,可溶性盐大量产生,而且不会因挥发或下渗而损失,故而使其增高。在堆肥后期,堆体 Z1 与 Z2 的 EC 均在略微升高后保持在 1.6 mS/cm。在整个堆肥期间,添加有机肥起爆剂的 Z2 处理的电导率始终低于 Z1,这有可能是 Z2 堆体中的微生物在整个堆肥过程中的活动强度持续强于 Z1 处理,堆肥微生物在高温期大量利用营养盐,因此使得 Z2 处理水溶性盐含量较低,这与 Cáceres 等人^[19]的研究结论一致。

在堆肥过程中,微生物代谢活跃,有机质被微生物利用消耗使得其全碳含量不断下降,总氮含量相对

增加,堆体 C/N 逐渐变小,与赵建荣等^[20]的研究结果一致。为保证堆体中微生物最佳的代谢效率,适宜的 C/N 是不可缺少的重要营养条件^[21]。C/N 是评价堆肥腐熟度比较直观的化学指标,堆肥过程中 C/N 不断下降,一般认为,当堆肥产品的 C/N 接近 20 时堆肥可以被认为达到基本腐熟^[21]。而当堆体充分腐熟化,完成堆肥过程之后的 C/N 理论上是 15 左右^[22]。图 6 中可以看出,Z1 和 Z2 在堆肥过程中 C/N 均呈降低趋势,至堆肥结束,堆体 Z1、Z2 的 C/N 分别下降了 46.39%、51.33%。研究表明,微生物的活动与 C/N 之间有着很大的相互作用,微生物活动越强烈,有机物质被大量利用,C/N 则相应降低程度越大^[23]。而对比两个处理可知,有机肥起爆剂的添加(Z2)使得堆堆中微生物的活动相应加强,促进了 C/N 趋向腐熟标准。

Z1、Z2 的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变化总体上都呈现出先上升后下降的趋势。这是由于堆肥初期随着堆体温度的升高,含氮有机物降解, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 大量产生;进入稳定期后,可降解的氮素减少,再加上一部分 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化为有机氮或 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 以气态形式挥发掉导致 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量减少。两处理虽变化趋势一致,但不同的是 Z1 处理的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 直到第 14 天才达到峰值 1.63 g/kg,相比添加了有机肥起爆剂的处理 Z2(峰值为 1.01 g/kg)推迟了一周左右的时间。在整个堆肥过程中 Z1 的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量几乎始终高于 Z2,这可能是由于 Z2 处理中与硝化细菌活动较强烈,且堆堆温度相对更高使得 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 以气态形式挥发更强烈的缘故^[24-25]。在堆制过程中,各处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量总体上均呈增加趋势。堆肥初期,由于堆体温度较高,硝化细菌的活性受到抑制而使 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量变化不大;堆肥后期,堆体温度下降,硝化细菌的活性增强, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 等氮素成分通过硝化作用而转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,使得堆肥体系中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量增加^[26-27]。另外, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的减少及 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的增加,也是堆肥腐熟度评价的常用指标^[20]。

Z2 发芽指数的升高效率显著高于 Z1,至堆肥结束其已完全腐熟,而 Z1 的发芽指数只达到 85%。发芽指数是用来评价有机肥的毒性和腐熟度的重要指标。Zucconi 等^[13]指出许多植物种子在堆肥原料和未腐熟堆肥萃取液中生长受到抑制,而在腐熟的堆肥中生长得到促进,一般发芽指数大于 50% 即可认为,有机肥腐熟。因此,本研究中,无论是否接种起爆剂,堆体都能腐熟,但接种起爆剂的效果更优。随着堆肥进程的推进,Z1 和 Z2 堆体的 Peak A(芳香基团蛋白质)与 Peak C(水溶性微生物代谢产物)强度均逐渐下

降,但 Peak B(富里酸类物质)与 Peak D(胡敏酸类物质)强度均逐渐上升,表明类蛋白物质逐步在向类腐殖酸物质转变。对比图 10 中各峰的强度可以发现 Z2 堆体中的物质转变更强更快,这表明 Z2 处理中的微生物活动能加强类蛋白大分子物质的分解,从而加快了堆体的腐熟效率,这与杨巍等^[28]的结果类似。

至堆肥结束两个堆体的总养分具有微弱差异,总氮含量 Z2 处理略低于 Z1 处理,这可能是由于添加了起爆剂后,相关微生物的剧烈活动使得堆体 Z2 相对 Z1 发酵更强烈,其物质消耗更多,从而使得氮的损耗有所增加,其全磷、全钾含量也高于 Z1 堆体,故 Z2 处理的总养分含量高于 Z1,这与匡石滋等^[29]的研究结果相似。

4 结论

1)以猪粪、稻壳为原料并接种有机肥起爆剂进行工厂化高温好氧堆肥,堆体 Z1、Z2 均在高于 55 °C 的温度持续了 18 d 以上,这是保证堆肥卫生指标合格和堆肥腐熟的重要条件,由其 C/N、NH₄-N 和 NO₃-N、发芽指数及三维荧光图谱等指标也表明至堆肥结束时两个堆体均已腐熟,所含养分也符合国家有机肥标准。

2)添加有机肥起爆剂的堆体 Z2 的升温速度和温度最高值均高于 Z1 处理,其高温期高出 Z1 处理 3 °C 左右;同时堆体 Z2 相比对照堆体 Z1 更快地进入后熟阶段,加快了有机质降解速度,控制了堆体氮的损失,表明有机肥起爆剂能促进有机肥的腐熟。

参考文献:

- [1] 杨兴明,徐阳春,黄启为,等. 有机(类)肥料与农业可持续发展和生态环境保护[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 925-932
- [2] 龚伟,颜晓元,王景燕,等. 长期施肥对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2011, 43 (3): 336-342
- [3] Mandela M, Reese E T. Fungal cellulases and the microbial decomposition of cellulosic fabric[J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 1999, 22: 225-240
- [4] 徐智,汤利,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]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1270-1274
- [5] 王卫平,汪开英,薛智勇. 不同微生物菌剂处理对猪粪堆肥中氨挥发的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 693-697
- [6] 张红,吕家珑,曹莹菲,等. 不同植物秸秆腐解特性与土壤微生物功能多样性研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 744-752
- [7] 顾希贤,许月容. 垃圾堆肥微生物接种实验[J]. 应用与环境生物学报, 1995, 1(3): 274-278
- [8] Claudio M, Herbert I. Community level physiological profiling as a tool to valuate compost maturity: A kinetic approach[J]. European Journal of Soil Biology, 2003, 39: 141-149
- [9] 陈华葵. 微生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1979
- [10] 杨艳红,王伯初,时兰春,等. 复合微生物制剂的综合利用研究进展[J]. 重庆大学学报, 2003, 2(6): 81-85
- [11] 中华人民共和国农业部. 有机肥料(NY 525-2012) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012
- [12] 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]. 甘肃: 甘肃农业大学, 2008
- [13] Zucconi F, Pera A, Forte M, et al. Evaluating toxicity of immature compost[J]. Biocycle, 1981, 22(2): 54-57
- [14] Vallini G, Gregorio S D, Pera A, et al. Exploitation of composting management for either reclamation of organic wastes or solid-phase treatment of contaminated environmental matrices[J]. Environmental Review, 2002, 10(4): 195-207
- [15] 李天枢. 畜粪堆肥高效复合微生物菌剂的研制与应用[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2013
- [16] 姜继韶,黄懿梅. 猪粪秸秆高温堆肥过程中碳氮转化特征与堆肥周期探讨[J]. 环境科学学报, 2011, 31(11): 2511-2517
- [17] 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
- [18] 聂永丰. 三废处理工程技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000
- [19] Cáceres R, Flotats X, Marfà O. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies[J]. Waste Management, 2006, 26(10): 1081-1091
- [20] 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
- [21] 罗泉达. 猪粪堆肥腐熟度指标及影响堆肥腐熟因素的研究[D]. 福建: 福建农林大学, 2005
- [22] 任小利,王丽萍,徐大兵,等. 菜粕堆肥与无机肥配施对烤烟产量和品质以及土壤微生物的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(2): 92-98
- [23] 秦莉,沈玉君,李国学,等. 不同 C/N 堆肥碳素物质变化规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(7): 1388-1393
- [24] 曾光明,黄国和,袁兴中,等. 堆肥环境生物与控制[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [25] 鲍艳宇,周启星,颜丽,等. 畜禽粪便堆肥过程中各种氮化合物的动态变化及腐熟度评价指标[J]. 生态应用学报, 2008, 19(2): 374-380
- [26] 陈毛华,韦中,徐阳春,等. 蚓粪配合不同堆肥对不结球白菜育苗及生长的影响[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(2): 73-78
- [27] Zmora-Nahum S, Markovitch O, Tarchitzky J, et al. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37: 2109-2116

- [28] 杨巍, 王东升, 刘满强, 等. 不同有机物料的蚯蚓堆肥及可溶性有机物的三维荧光光谱特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3181–3188
- [29] 匡石滋, 李春雨, 田世尧, 等. 复合菌剂对香蕉茎秆堆肥中微生物和养分含量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 182–187

Effects of Microbial Inoculants on Pig Manure Composting

WANG Ruofei¹, XUE Chao¹, LIU Chao¹, QIAO Cece¹, XU Xu¹, GU Wenwen²,
CAI Zhigang², LI Rong^{1*}, SHEN Qirong¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, National Engineering Research Center for Organic-based Fertilizers, Jiangsu Key Laboratory of Solid Organic Waste Utilization, Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Jiangsu Junde Ecological Agriculture Technology Co. Ltd., Huaian, Jiangsu 223300, China)

Abstract: In order to enhance the efficiency of high temperature aerobic composting, the effects of microbial inoculants on pig manure composting in factory were investigated in the present study. Functional microbes were inoculated in raw materials constituted of pig manure and auxiliary material, rice husk, to investigate their effects on the variations of the physicochemical indexes including stack temperature, pH value, EC, C/N, nutrients and protein transformation during the composting process in the factory. Stack temperatures remained above 55 °C for 18 days regardless inoculation of microbes, while temperature rise rate and maximum temperature were all higher in Z2 treatment. No significant differences were observed in the variations of pH and EC values, and at the end of the composting, pH values in Z1 control and Z2 treatment were 7.45 and 7.25, respectively. C/N values and total carbon contents decreased by 46.39% and 43.18% in Z1 and by 51.33% and 47.34% in Z2, respectively, while total nitrogen contents increased by 5.94% and 9.28% in Z1 and Z2, respectively. Similar trends of variations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^- \text{-N}$ amounts were observed in Z1 and Z2. At the end of the composting, germination index of compost sample from Z2 was 100%, indicating that the product was maturity, while the value in Z1 was 85%, and total nutrients in Z1 and Z2 were 51.63 mg/kg and 52.67 mg/kg, respectively. The results showed that microbial inoculants could enhance the efficiency of high temperature aerobic composting in factory.

Key words: Pig manure; Composting; Maturity; Microbial inoculants for composting