

微生物菌剂对玉米秸秆堆腐发酵过程的影响

朱金霞¹, 周文生^{2*}, 乔长晟^{3,4}, 张琳⁴, 郑国保¹, 孔德杰¹, 李苗¹

(1. 宁夏农林科学院农业生物技术研究中心, 宁夏银川 750002; 2. 宁夏回族自治区核地质调查院, 宁夏银川 750021; 3. 天津科技大学, 天津 300457; 4. 天津北洋百川生物技术有限公司, 天津 300457)

摘要 采用槽式堆料发酵的方式,以玉米秸秆为研究对象,牛粪为氮源,探讨接种不同微生物菌剂对玉米秸秆堆腐发酵过程的影响。结果表明,接种微生物菌剂有利于促进玉米秸秆堆体温度的迅速升高,其中 T1(有机肥发酵剂)和 T2(菌剂 A)处理的最高温度分别可达 71.1 和 70.1 °C;除对照 T0(未使用菌剂)处理随时间推移 pH 呈逐渐增大的趋势,添加微生物菌剂的处理 pH 均呈先增大后减小的趋势;各处理 EC 值均呈先增大后降低的趋势,与初始值相比,在堆腐发酵 60 d 时,T1 处理 EC 值降低最多,可达 40.4%;各处理堆料的 E4/E6 值变化趋势较为一致,均呈先增大后降低的趋势,在堆腐 60 d 时,接种微生物菌剂的处理显著低于对照处理;不同处理的发芽指数(GI)均呈先逐渐增大后趋于稳定的趋势,在堆腐 60 d 时,T1 和 T2 处理 GI 均超过 90%,筛选出 2 个适宜宁夏地区玉米秸秆腐熟发酵的菌剂。

关键词 微生物菌剂;玉米秸秆;堆腐发酵

中图分类号 S141.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)11-0045-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.11.013



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of Microbial Agents on Corn Straw Composting Fermentation Process

ZHU Jin-xia¹, ZHOU Wen-sheng², QIAO Chang-sheng^{3,4} et al (1. Institute of Forestry Sciences Agricultural Biotechnology Research Center, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002; 2. Ningxia Nuclear Industry Geological Prospecting Institute, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457; 4. Tianjin Beiyang Baichuan Biotechnology Co. Ltd., Tianjin 300457)

Abstract Using the method of trough piling fermentation, taking corn straw as the research object and cow dung as the nitrogen source, the effect of inoculating different microbial agents on the composting and fermentation process of corn stalk was discussed. The results showed that the inoculation of microbial agents could promote the increase of temperature of corn straw, among them, the highest temperature of T1 (organic fertilizer starter) and T2 (bacterial agent A) could reach 71.1 and 70.1 °C respectively. Except for the control T0 (without using inoculum), the pH increased gradually over time, and the pH of the treatment with added microbial inoculum showed a trend of first increasing and then decreasing. The EC value of each treatment showed a trend of first increasing and then decreasing. Compared with the initial value, the EC value of the T1 treatment decreased the most, reaching 40.4%, when the compost fermentation was carried out for 60 days. The change trend of E4/E6 values of the piles in each treatment is relatively consistent, showing a trend of first increasing and then decreasing. At 60 days of composting, the treatment with microbial inoculum was significantly lower than that of the control treatment. The germination index (GI) of different treatments showed a trend of increasing at first and then tending to be stable. At 60 d of composting, the GI of T1 and T2 treatments were more than 90%, and two bacterial agents suitable for corn straw composting fermentation in Ningxia were screened.

Key words Microbial agents; Corn straw; Composting fermentation

农作物秸秆还田是当前世界上一项重要的农田管理措施^[1],它不仅能改善土壤结构,增加土壤有机质,还能为土壤提供丰富的 N、P、K、Mg、Ca 和 S 等营养元素。但秸秆直接还田后,存在自然腐解速度慢、土壤漏风跑墒、影响下茬作物播种、易发生病虫害、还田初期与作物争氮^[2]等问题,这成为限制秸秆资源化利用的关键,而堆肥化处理是解决该问题的有效途径。但传统的堆腐发酵方法存在发酵周期长、养分易流失、质量不稳定、堆腐发酵产品无害化指标难以保证等问题。随着现代生物技术的蓬勃发展及高效化应用,添加微生物菌剂已成为堆肥发酵中的常用手段,可加快秸秆等有机物分解速度,提升堆体温度和延长高温时间^[3-4],还可促进有效态氮、磷、钾的释放^[5]和腐殖质等高分子有机物的合成^[6],减少臭味物质产生^[7]和提高肥效^[8]等。

宁夏地区土壤瘠薄,大部分地区土壤有机质含量较低,再加上长期大水大肥及掠夺式种植方式,导致土壤有机碳极

为匮乏。通过秸秆腐熟还田,可培肥地力和显著提升土壤质量。玉米为宁夏地区主栽作物之一,秸秆生物量大,收获后秸秆还田腐熟效率低下的问题尤为突出,针对此问题,近年来在玉米秸秆堆腐发酵方面开展了大量研究,主要集中于纤维素降解菌种的筛选与菌剂制备^[9-11]、腐熟效果影响因素^[12]、装置^[13]等方面,但针对宁夏地区特殊水土条件下的玉米秸秆堆腐发酵过程的影响研究较少。该研究以宁夏地区的玉米秸秆、牛粪为试验材料,接种不同微生物菌剂进行堆腐发酵试验,明确发酵过程中各指标参数的变化规律,为我国北方地区开展工业化秸秆堆腐还田的应用提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选用新鲜干玉米秸秆和牛粪为堆腐发酵材料。试验所用玉米秸秆购自银川市西夏区附近农场,使用前用碎机将玉米秸秆粉碎,并过长 2 cm 筛。牛粪购自银川市西夏区附近某肉牛养殖场。玉米秸秆粉,全碳 376.3 g/kg,全氮 5.2 g/kg。牛粪粉末,全碳 58.9 g/kg,全氮 5.5 g/kg。

1.2 试验设计 堆体质量为 370 kg(秸秆粉 90.0 kg,牛粪 280.0 kg),玉米秸秆堆料 C/N 比为 25:1~30:1。该试验共设置 5 个处理:对照处理 T0(CK),未使用菌剂;处理 1(T1),有

基金项目 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2021BEG03011);宁夏农林科学院农业自主科技创新专项(DWX-2018026)。

作者简介 朱金霞(1977—),女,宁夏中宁人,副研究员,硕士,从事农业微生物方面研究。*通信作者,高级工程师,硕士,从事资源环境与生态研究。

收稿日期 2021-08-03;修回日期 2021-10-12

机肥发酵剂(购自洛阳欧科拜克生物技术有限公司);处理 2 (T2),菌剂 A(从天津科技大学乔长晟教授实验室引进);处理 3(T3),菌剂 B(天津科技大学乔长晟教授实验室引进);处理 4(T4),纤维素降解专用复合菌剂(该试验自主分离)。每一处理重复 3 次,随机区组排列。

1.3 堆腐发酵方法 采用槽式堆料发酵的方式,发酵槽长、宽、高分别为 2.1、1.5、1.2 m。试验于 2021 年 4 月 12 日—6 月 14 日进行,共 60 d,按照试验设计,将各处理的秸秆和牛粪混合均匀后移入发酵槽发酵。发酵槽上方搭设防雨棚,通风条件良好。T2、T3 和 T4 为液体菌剂接种,接种量均为 1.0%(V/m),T1 为固体菌剂,接种量为推荐最佳使用量,翻堆时间为建堆后 7、14、21、28 d。试验地点设置在宁夏农林科学院农业生物技术研究中心秸秆发酵试验基地。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 温度测定。堆体的温度采用温度记录仪 GSP-6(江苏省精创电器股份有限公司)进行测定和记录,试验开始时每个堆体共放置 3 个温度探头(埋置堆体东部、中部和西部,离堆顶 50 cm 处),每 15 min 测定 1 次,连续测定 24 h 共测定 288 个数据,取平均值即为 1 d 的堆体温度。连续监测 60 d 的温度,直到试验结束。大气温度测定时,3 个温度探头放于 2 个发酵槽之间,置于空气中。

1.4.2 理化指标的测定方法。

(1)取样时间。从拌料堆肥发酵开始计时,分别在 0、10、20、30、40、50、60 d 采集样品 1 次,共采集样品 7 次。

(2)取样方法。从堆体东、中、西部离顶端 50 cm 处采集样品约 500 g,将样品混合均匀后运回实验室,在 4 °C 保存,待用。

(3)pH 和电导率的测定方法。将堆料样品鲜样与蒸馏水按质量体积比 1:10 混匀,180 r/min 振荡 30 min,取出后迅速用电导率仪测定电导率(EC),静置 30 min 后用 pH 计测定 pH;E4/E6 采用超声波法提取,利用 Bio-radxMark 酶标仪测定 465 和 665 nm 处吸光度,取两者之比值,每个样品重复 3 次。

1.4.3 种子发芽指数的测定。测试种子为玉米种子,参照张玉凤等^[14]报道的方法测定种子发芽指数(GI),计算公式为 $GI = \frac{Y \times L}{T \times D} \times 100\%$,式中,Y 为处理的发芽率,L 为处理的根长,T 为对照的发芽率,D 为对照的根长。共测定 3 个平行样本,每个样本测量 3 次,结果取平均值。

1.5 数据统计及处理方法 采用 Excel 2019 进行数据统计和作图,利用 SPSS 25.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同微生物菌剂对玉米秸秆堆体温度的影响 由图 1 可知,不同微生物菌剂对玉米秸秆堆体温度影响显著,各处理堆体温度均呈升温阶段(0~7 d)、高温阶段(8~28 d)和降温阶段(29~60 d)。在升温阶段(0~7 d),各处理堆体温度骤然上升,不同处理堆体温度差异显著,其最高温度由高到

低依次为 T1>T2>T3>T4>T0(CK),温度及出现高温时间分别为 71.1 °C(6 d)、70.1 °C(6 d)、65.9 °C(7 d)、65.1 °C(7 d)、54.4 °C(7 d),接种微生物菌剂的处理堆体温度显著高于未使用菌剂的 T0(CK)处理,且 T1 和 T2 处理高温出现时间早于 T0(CK)处理。在高温阶段(8~28 d),各处理堆体温度保持较高水平,处理间最高温度出现时间差异较大,除 T0(CK)和 T1 处理在第 13 天时分别达最高温度 59.6、70.5 °C 外,T2、T3 和 T4 处理的最高温度均出现在第 21 天,分别为 65.5、62.6 和 62.5 °C。随着堆腐过程的推进,各处理堆体温度呈逐渐降低趋势,在堆腐 28 d 时,处理 T0、T1、T2、T3、T4 堆体温度分别降为 52.3、55.9、46.8、48.2 和 41.1 °C。在降温阶段(29~60 d),随着堆腐时间的进一步延长,各处理堆体温度均逐渐降低,在玉米秸秆堆腐 60 d 时,各处理堆体的温度相差不大,为 34.0~35.9 °C,略高于空气温度。在整个发酵周期内,T0、T1、T2、T3、T4 堆体内部温度超过 55.0 °C 的天数分别为 4、13、10、9、9 d,接种微生物菌剂的处理高温维持时间显著高于对照处理。

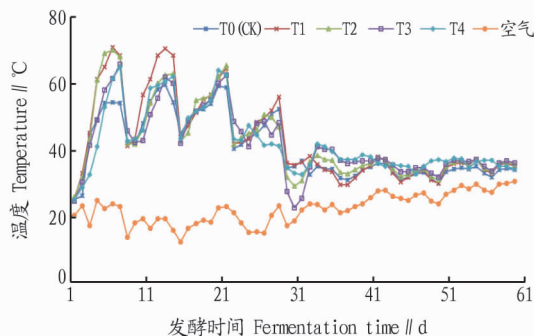
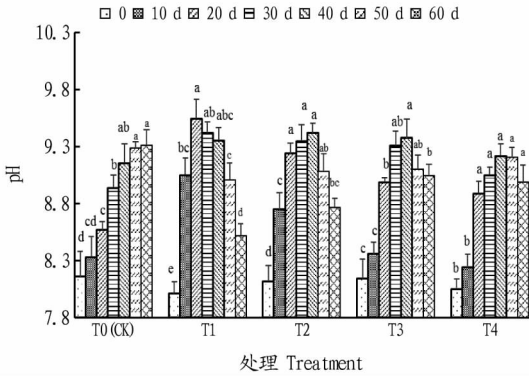


图 1 不同微生物菌剂对玉米秸秆堆体温度的影响

Fig. 1 Effect of different microbial agents on temperature of corn straw

2.2 不同微生物菌剂对玉米秸秆堆料 pH 的影响 由图 2 可知,不同微生物菌剂对玉米秸秆堆料的 pH 影响显著,最大值出现时间差异较大。各处理堆料的 pH 初始值介于 8.01~8.16,在堆腐发酵初期(0~10 d)时,微生物迅速分解有机物,产生大量的铵态氮,各处理堆料的 pH 快速上升,呈增大趋势,但不同处理增幅有差异,与初始值相比,T1 和 T2 处理的 pH 呈增大趋势,分别增大了 1.04 和 0.63,T4 和 T0(CK)处理增幅较小,分别增大了 0.19 和 0.17;在堆腐发酵时间为 10~20 d 时,各处理堆料的 pH 均呈显著增大趋势,在 20 d 时,T1 处理的 pH 为 9.55,与初始值相比增幅最大,增大了 1.54,T2 处理次之,增大了 1.12,T0(CK)处理增幅最低,仅为 0.41。随着堆料时间的延长,T0 处理的 pH 呈增大趋势,在堆腐发酵 60 d 时达到峰值(9.31),而其他处理则呈先增大后减小的趋势,且出现峰值的时间有所差异,其中 T1 处理的 pH 在第 20 天时达到峰值(9.55),T2、T3 和 T4 处理的 pH 则是在第 40 天时达到峰值,分别为 9.42、9.38、9.21。当玉米秸秆腐熟发酵至第 60 天时,T1~T4 处理堆料的 pH 分别为 8.52、8.77、9.05 和 8.99。

2.3 不同微生物菌剂对玉米秸秆堆料 EC 的影响 由图 3



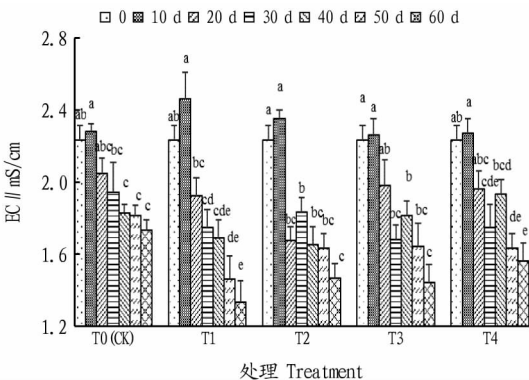
注:不同小写字母表示同一处理不同堆腐发酵时间之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different compost fermentation times in the same treatment ($P < 0.05$)

图2 不同微生物菌剂对玉米秸秆堆料 pH 的影响

Fig. 2 Effect of different microbial agents on pH of corn straw

可知,在整个堆腐发酵过程中除 T0 (CK) 和 T1 处理的 EC 值只有一个峰值外,其他处理均呈双峰曲线。在堆腐发酵初期 (0~10 d),所有处理均出现最大值,与初始值相比较,不同处理其 EC 值增长率不同,T1 处理增长率最高,可达 10.3%,T2 处理次之,EC 值增长率为 5.4%,T0、T3 和 T4 处理差别不大,EC 值增长率为 1.34%~2.24%。随着堆腐发酵时间的进一步延长,T0 和 T1 处理的 EC 值逐渐降低,在堆料 60 d 时 EC 值降低至最小值,分别为 1.73 和 1.33 mS/cm;而 T2 处理在堆腐发酵至 30 d 时出现第二个峰值,EC 值可达 1.83 mS/cm;T3 和 T4 处理则在堆腐发酵至 40 d 时出现第二个峰值,其 EC 值分别为 1.68 和 1.7 mS/cm。但所有处理的 EC 值均在 60 d 时达到了该堆腐发酵试验的最低值,与初始值相比,T1 处理 EC 值降低最多,降低了 40.4%,T3 和 T2 处理 EC 值相差不多,分别降低了 34.4% 和 35.4%,T0 处理 EC 值降低最少,仅降低了 22.4%。



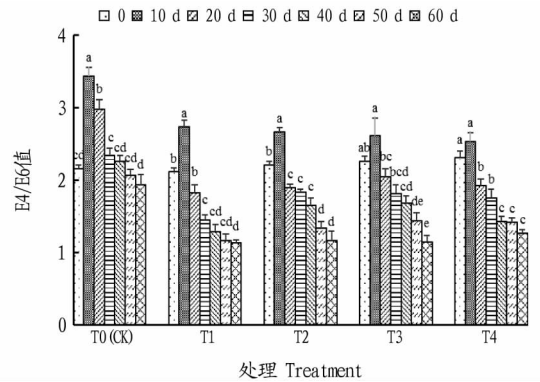
注:不同小写字母表示同一处理不同堆腐发酵时间之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different compost fermentation times in the same treatment ($P < 0.05$)

图3 不同微生物菌剂对玉米秸秆堆料 EC 的影响

Fig. 3 Effect of different microbial agents on EC of corn straw

2.4 不同微生物菌剂对堆料腐殖酸光学特性 (E4/E6) 的影响 从图 4 可以看出,在不同微生物菌剂处理条件下,玉米秸秆堆料的腐殖酸光学特性 E4/E6 值均呈先增大后逐渐减小的趋势。不同处理均在堆腐发酵第 10 天达到峰值,但数值差异显著,其中 T0 (CK) 处理的 E4/E6 值最高,可达 3.43, T1~T4 处理的 E4/E6 值则在 2.53~2.73。随着堆腐时间的进一步延长,各处理堆料的 E4/E6 值均呈下降趋势,在堆腐 30 d 时,T0 处理堆料的 E4/E6 值与初始值相比增大了 8.5%,而接种微生物菌剂的处理 (T1~T4),其堆料的 E4/E6 值均不同程度降低,分别降低了 38.2%、21.8%、22.6% 和 25.4%。因此,接种微生物菌剂,有助于加快玉米秸秆堆料腐殖酸光学特性 E4/E6 值的降低。



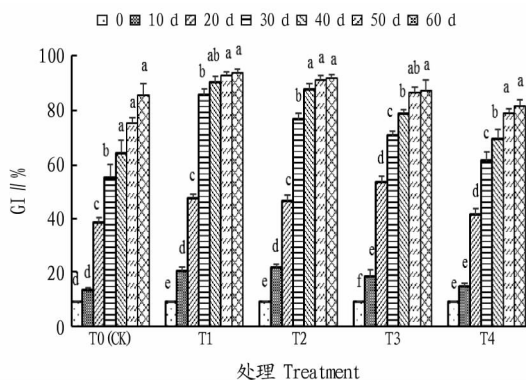
注:不同小写字母表示同一处理不同堆腐发酵时间之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different compost fermentation times in the same treatment ($P < 0.05$)

图4 不同微生物菌剂对玉米秸秆堆料腐殖酸光学特性 (E4/E6) 的影响

Fig. 4 Effects of different microbial agents on the optical properties (E4/E6) of humic acid in corn stover straw

2.5 不同微生物菌剂对堆肥浸提液 GI 的影响 一般来说,如果 $GI > 50\%$,则可认为堆肥基本腐熟;当 GI 达到 80%~85% 时,则可认为堆肥完全腐熟,对植物无毒害作用。从图 5 可以看出,在堆腐发酵 10 d 时,各处理的 GI 均缓慢增大,但增幅存在一定差异,其中 T2 处理的 GI 增长最多,GI 为 21.8%,T4 处理 GI 为 14.9%,增幅最小。在堆腐发酵 20 d 时,各处理的 GI 均迅速增大,但仅 T3 处理 GI 为 53.3%,达到基本腐熟的程度,而其余处理的 GI 则在 38.4%~47.5%。在堆腐发酵 30 d 时,各处理的 GI 均进一步提高,且均大于 50.0%,其中 T1 处理的 GI 最高,为 85.6%,达到完全腐熟的程度,对植物无毒害作用,而其他处理均低于 80.0%,GI 从大到小顺序为 T1>T2>T3>T4>T0。随着堆腐发酵时间的进一步延长,各处理种子的 GI 均缓慢增大,在堆腐发酵 50 d 时,除 T4 处理的 GI 为 78.7% 外,T1、T2、T3 处理的 GI 均超过 80.0%,对植物无毒害作用。在堆腐发酵 60 d 时,所有处理的 GI 均超过 80.0%,其中 T1 和 T2 处理 GI 均超过 90.0%,分别可达 93.8% 和 91.9%,T4 处理的 GI 最小,仅为 81.6%,其次 T0 处理是 85.5%。



注:不同小写字母表示同一处理不同堆腐发酵时间之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different compost fermentation times in the same treatment ($P < 0.05$)

图5 不同微生物菌剂对堆料浸提液 GI 的影响

Fig.5 Effect of different microbial agents on GI of corn straw

3 讨论

温度是影响堆腐发酵速率的主要因素之一,既可反映堆腐过程中堆体内微生物群落的结构与活性,又可决定堆腐过程能否达到无害化和稳定化的重要条件^[15]。堆体温度的高低不仅与发酵物料本身的特性有关,还与微生物菌剂的种类有关。该研究发现,接种微生物菌剂的处理(T1~T4)最高温度为65.1~71.1℃,显著高于未接种菌剂的T0(CK)处理,其最高温度仅为59.6℃。并且接种微生物菌剂的处理(T1~T4)堆体温度超过55℃的时间分别为13、10、9、9d,高于堆腐无害化卫生要求的55℃以上需持续5~7d的条件^[16],显著高于未接种菌剂的T0处理。因此,玉米秸秆堆料发酵时接种微生物菌剂,可显著促进堆体温度提升和高温维持时间的延长,这与李雯等^[3]和孙建华等^[17]的研究结果相似。

堆料pH可作为评价腐熟度的一个参考指标^[18],一般认为pH在7.5~8.5时,可获得最大堆腐速率,但由于受接种菌剂特性、原料性质及堆腐条件等影响,堆料pH存在一定差异。该研究发现,在玉米秸秆堆腐发酵前期,可能由于能被利用的能量物质较多,微生物大量繁殖和迅速分解有机物,最终可产生大量的铵态氮,导致各处理堆料的pH迅速上升。随着堆料反应进程的推进和能量物质的消耗,除未接种菌剂的T0(CK)处理其pH始终呈持续升高的趋势,其他接种微生物菌剂的处理(T1~T4)均呈先增大后减小的趋势,且接种不同微生物菌剂的处理存在较大差异,这与江笑丹^[19]的研究结果相似。

电导率(EC)反映了堆料浸提液中的离子浓度,一般EC值小于4mS/cm的堆腐施入土壤就不会对植物产生毒害作用,所以常将EC作为衡量堆肥腐熟度的有效指标之一^[20]。秸秆堆腐发酵前期主要进行矿质化作用,有机物质分解产生大量的小分子物质,包括小分子有机酸及无机阴阳离子,如 HCO_3^- 、 HSO_4^- 、 NH_3^+ 、 H^+ 等,使EC值上升。随着堆腐发酵过程的进行, CO_2 和 NH_3 挥发,小分子有机酸和阴阳离子被微

生物转化利用而合成腐殖质类物质,EC逐渐下降^[21]。在堆腐发酵初期(0~10d),加入微生物菌剂的处理(T1~T4)EC值均高于T0(CK)处理,表明加入的微生物菌剂对堆料的矿质化有促进作用,这与谷洁等^[22]的研究结果相类似。

E4/E6值是堆腐发酵腐殖化作用大小的重要指标,其高低直接与腐殖酸的分子大小或者分子的缩合度大小有关,通常随着堆腐发酵固相腐殖酸相对分子质量或缩合度增大而减小^[20]。该研究发现,5个处理的E4/E6值随堆腐发酵时间的延长总体均呈先增大后降低的趋势,均在10d时达最大值。随着堆腐发酵进程的延长,一些大分子的腐殖酸逐渐形成,E4/E6值呈降低趋势,加入菌剂的T1~T4处理,E4/E6值下降显著快于T0(CK)处理,这说明加入菌剂能促进腐殖质的缩合和芳构化,这与刘雯雯^[23]的研究结果相似。

种子发芽指数(GI)是通过测定植物毒性来判定堆料是否腐熟的一种方法。GI大于80%表示对植物生长无毒性,也是堆肥腐熟和达到无害化的基本要求之一^[24]。一般条件下堆肥腐熟度越高,种子发芽指数越高,发芽抑制率反而越低。该研究发现,是否使用微生物菌剂,种子发芽指数的变化相似,均呈先升高后逐渐趋于稳定,但不同处理的种子发芽指数相差较大。在30d时,T1处理的种子发芽指数最先达到无害化的基本要求,可达85.6%,对植物无毒害作用。在堆腐发酵60d时,所有处理种子发芽指数均超过80%,其中T1和T2处理分别可达93.8%和91.9%。综上所述,接种不同微生物菌剂对玉米秸秆堆料的GI影响较大,其中T1处理的GI较其他处理高。

4 结论

(1)接种微生物菌剂有利于促进堆体温度的迅速升高,但不同处理对温度的影响存在差异,T1处理的温度最高,高于55℃的时间持续最长,T2处理次之。

(2)不同处理堆料pH存在差异,对照处理的pH呈逐渐增大的趋势,而接种微生物菌剂的处理,堆料pH呈先增大后降低的趋势。

(3)各处理EC值均在堆料10d时达最大值,后逐渐降低。堆料60d时,与初始值(0d)相比,T1处理降低最多。

(4)各处理堆料E4/E6总体均呈先增大后降低的趋势,均在10d时达最大值,之后逐渐下降,且接种微生物菌剂的处理下降较快。

(5)不同处理GI变化规律相似,均呈先升高后逐渐趋于稳定。在堆肥60d时,各处理均可达无害化,其中T1和T2处理的GI均超过90%。

(6)筛选出T1处理所用菌剂(有机肥发酵剂)效果最好,T2处理所用菌剂(菌剂A)次之,2种菌剂均可应用于玉米秸秆的腐熟发酵。

参考文献

- ZHAO H L, SHAR A G, LI S, et al. Effect of straw return mode on soil aggregation and aggregate carbon content in an annual maize-wheat double cropping system[J]. Soil & tillage research, 2018, 175: 178-186.
- 王保君, 金海刚, 张红梅, 等. 浙江地区秸秆全量还田下氮肥用量对单季晚稻生长和土壤养分、碳库的影响[J]. 水土保持研究, 2021, 28(2): 60-66.

- [3] 李雯, 刘艳薇, 李停锋, 等. 不同纤维素降解菌对玉米秸秆的降解效果[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 402-410.
- [4] 李雯, 李停锋, 郭君钰, 等. 菌酶协同处理改善玉米秸秆堆肥品质[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 192-199.
- [5] 劳德坤, 张隳利, 李永斌, 等. 不同接种量的微生物秸秆腐熟剂对蔬菜副产物堆肥效果的影响[J]. 环境工程学报, 2015, 9(6): 2979-2985.
- [6] 郭小夏, 刘洪涛, 常志州, 等. 有机废物好氧发酵腐殖质形成机理及农学效应研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(6): 489-498.
- [7] 赵旭, 王文丽, 李娟. 玉米秸秆调节牛粪含水率对其腐熟进程及氨气释放量的影响[J]. 生态科学, 2020, 39(5): 179-186.
- [8] 刘微, 霍荣, 张津, 等. 生物质炭对番茄秸秆和鸡粪好氧堆肥氮磷钾元素变化的影响及其机理[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 289-294.
- [9] 余克非. 园林绿化废弃物堆肥优势降解菌的筛选及复合菌剂配比研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [10] 张必周, 高聚林, 于晓芳, 等. 玉米秸秆低温降解菌的分离与鉴定及复配菌降解效果研究[J]. 玉米科学, 2020, 28(6): 168-175.
- [11] 陈世珩, 吕兆丰, 王道武, 等. 耐低温降解玉米秸秆复合菌剂的构建及其降解效果评价[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(4): 64-68.
- [12] 张永锋, 滕星, 李忠和, 等. 玉米秸秆堆肥及其影响因素研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38(5): 613-618.
- [13] 王柯坛, 李宏宇, 王秀波, 等. 自引式堆肥装置对玉米秸秆堆肥效果的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(4): 427-433.
- [14] 张玉凤, 田慎重, 边文范, 等. 牛粪和玉米秸秆混合堆肥好氧发酵菌剂筛选[J]. 中国土壤与肥料, 2019(3): 172-178.
- [15] 黄红英, 孙恩惠, 武国峰, 等. 麦秸秸秆花盆堆肥化研究及评价[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(12): 2386-2393.
- [16] 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.
- [17] 孙建华, 袁玲, 张翼. 利用食用菌菌渣生产有机肥料的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2008(1): 52-55.
- [18] 宁尚晓. 生活垃圾堆肥腐熟度评价标准[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(5): 28-29, 98.
- [19] 江笑丹. 蔬菜秸秆基质化利用的堆制发酵过程特征及其应用效果[D]. 镇江: 江苏大学, 2012.
- [20] 史殿龙, 张志华, 李国学, 等. 堆高对生活垃圾中 15mm 筛下物堆肥腐熟的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 324-329.
- [21] 陈胜男. 水解酶活性在秸秆静态高温堆腐过程中变化的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [22] 谷洁, 李生秀, 秦清军, 等. 微生物及胡敏酸 E_4/E_6 值在农业废弃物静态高温腐解中的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(12): 98-102, 106.
- [23] 刘雯雯. 利用菌糠制作生物有机菌肥的途径及其效果研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
- [24] 田伟. 牛粪高温堆肥过程中的物质变化、微生物多样性以及腐熟度评价研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

(上接第 41 页)

品质中的可溶性固形含量、可滴定酸含量、单果重。脆蜜 V_c 含量纺锤形明显低于其他 2 种树形, 树冠枝叶总重 3 种树形差异均显著。高朗 1 号只是单株产量受树形影响, 棕榈叶形明显低于纺锤形和开心形。因此, 综合台湾青枣的果实外观、品质、产量等因素, 脆蜜受树形的影响大于高朗 1 号, 脆蜜整形时可首先棕榈叶形, 其次是纺锤形和开心形, 高朗 1 号整形时首选纺锤形, 其次是开心形和棕榈叶形。

3.2 讨论 果树的结果树形是果树高产优质的基础, 良好的结果树形有利于协调果树营养生长和生殖生长之间的矛盾, 调节营养生长与生殖生长的平衡。台湾青枣由于枝叶生长旺盛, 这两者之间的矛盾更为突出。同时, 日光温室这种特殊条件下, 如何培养台湾青枣的结果树形是高效大棚栽培台湾青枣必须面对的难题。研究表明, 纺锤形是诸多果树选择的树形^[7-11], 这种树形由于主枝成层分布, 有利于树体内部通风透光, 并能有效协调营养生长和生殖生长之间的矛盾, 甚至能明显提前物候期^[1]。该研究结果表明, 纺锤形适用于大棚栽培 3 年生的台湾青枣高朗 1 号, 但并不是大棚栽培 3 年生台湾青枣脆蜜的最佳树形。对于脆蜜品种而言, 棕榈叶形更为适宜。产生这种差异可能是不同结果期不同台湾青枣品种间调整营养生长和生殖生长能力的强弱, 也可能

是大棚栽培条件的差异, 具体原因有待进一步研究。而开心形由于主枝水平分布有利于枝叶接受充足的光照, 有利于青枣果实中可溶性固形物的形成, 但综合多个指标并不是脆蜜和高朗 1 号树形的最佳选择。

参考文献

- [1] 薛进军, 周咏梅. 不同树形对毛叶枣结果的影响[J]. 果树学报, 2005, 22(1): 78-80.
- [2] 冯兰. 台湾大青枣在桂西南地区的栽培技术[J]. 广西热带农业, 2010(3): 43-44.
- [3] 吴延妹, 李辉耀. 台湾青枣栽培技术[J]. 农民致富之友, 2017(14): 183, 277.
- [4] 高宏茂, 林兴娥, 丁哲利, 等. 海南台湾青枣高效栽培管理技术[J]. 园艺与种苗, 2019, 39(10): 24-25.
- [5] 王建春, 曹丽艳, 吴婷. 哈密地区台湾青枣设施栽培技术[J]. 北方园艺, 2017(10): 209-210.
- [6] 李建兵, 何水金. 青枣‘台湾五十种’设施栽培技术[J]. 北方果树, 2007(6): 32-33.
- [7] 林南平. 南靖县台湾青枣设施大棚栽培技术[J]. 中国农技推广, 2021, 37(2): 52-54.
- [8] 张曰盈, 董中和, 侯立群, 等. 板栗幼树纺锤形整形修剪技术研究[J]. 落叶果树, 1999(2): 16-17.
- [9] 张秀葵, 陈宏, 李刚, 等. 桃树纺锤形树形结构及整形修剪技术[J]. 山西果树, 2001(1): 15-16.
- [10] 林保平. ‘翠蜜’台湾青枣品种特征特性及其栽培技术[J]. 东南园艺, 2013(5): 51-52.
- [11] 李宽莹, 王玮, 张坤, 等. 台湾青枣‘脆蜜’‘高朗 1 号’在河西走廊非耕地日光温室的引种表现及栽培技术[J]. 林业科技通讯, 2021(1): 43-46.

(上接第 44 页)

- [8] 吴凌娟, 董传民, 张亚奎, 等. 用马铃薯块茎全蛋白聚丙烯酰胺凝胶电泳技术鉴定品种的真实性和纯度[J]. 马铃薯杂志, 1997, 11(2): 75-80.
- [9] 陈江梅, 李利军, 马齐. 桑葚汁、茶黄汁和沙棘汁中的总黄酮含量测定分析[J]. 中国酿造, 2009, 28(7): 153-155.
- [10] SUN J, PENG H X, SU W Q, et al. Anthocyanins extracted from rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) pericarp tissues as potential natural antioxidants[J]. Journal of food biochemistry, 2011, 35(5): 1461-1467.
- [11] 唐月明, 罗芳耀, 沈学善, 等. 2 个紫色马铃薯品种营养成分分析与评

价[J]. 现代农业科技, 2020(15): 52-54.

- [12] 李红, 董秀丽, 再依拉, 等. 新疆博州地区‘黑美人’紫薯引种示范[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(5): 266-268.
- [13] 卢戟, 卢坚, 王蓓, 等. 马铃薯可溶性蛋白质分析[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(3): 82-85.
- [14] 方忠祥, 倪元颖. 花青素生理功能研究进展[J]. 广州食品工业科技, 2001, 17(3): 60-62.
- [15] 朱海扬, 曾慧兰. 黄酮类化合物药理作用的研究进展[J]. 山东医药, 2009, 49(17): 114-115.