

不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣堆肥 腐熟效果研究

王文丽¹, 王晓巍², 李通², 伏军梅³, 伏晓辉³

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 天水红崖河菌业种植有限公司, 甘肃 天水 741039)

摘要: 通过研究不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣堆肥腐熟效果的影响, 筛选出适宜西北地区黑木耳菌渣发酵的腐熟菌剂。对黑木耳菌渣添加 5 种不同腐熟剂进行高温堆肥, 研究不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵温度、水分、化学成分和种子发芽指数的影响。结果表明, 接种不同腐熟菌剂均能不同程度缩短黑木耳菌渣料堆升温时间, 加速堆体水分的下降, 显著降低料堆的碳氮比, 提高黑木耳菌渣料堆粗纤维的降解率, 显著提高料堆的种子发芽指数和 EC 值。总体来说, 黑木耳菌渣添加洛阳欧克生物科技有限公司、济宁世合生物有限公司和北京裕丰力多金肥业有限公司的腐熟菌剂堆肥腐熟效果更好。

关键词: 黑木耳菌渣; 有机物料腐熟菌剂; 发酵; 理化性质; 菌剂筛选

中图分类号: S147 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2024)12-1167-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.12.017

Effects of Different Decomposition Agents on *Auricularia auricular* Residue Composting

WANG Wenli¹, WANG Xiaowei², LI Tong², FU Junmei³, FU Xiaohui³

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. TianshuiHongya River Fungus Planting Co., Ltd., Tianshui Gansu 741039, China)

Abstract: This study evaluated the effects of various decomposition agents on the decomposition of *Auricularia auricular* residue, aiming to identify inoculants suitable for fermenting *Auricularia auricular* residue in northwestern region. By adding 5 different inoculants to the residue and conducting high-temperature compost, this study examined how each inoculant affected compost through fermentation temperature, moisture levels, chemical composition, and the seed germination index. The results indicated that using these inoculants significantly reduced the time period for heating, accelerated water loss, lowered the carbon/nitrogen ratio, increased the degradation rate of coarse fiber, and enhanced both the seed germination index and electrical conductivity (EC) of the *Auricularia auricular* residue compost. In summary, inoculants from Luoyang Okobaike Biotechnology Co., Ltd., Jining Shihe Biotechnology Co., Ltd., and Beijing Yufengli Duo Fertilizer Co., Ltd., demonstrated the most effective results for *Auricularia auricular* residue composting.

Key words: *Auricularia auricular* residue; Organic matter decomposing agent; Fermentation; Physicochemical property; Screening microbial agent

中国是世界上最大的食用菌生产国^[1], 2022 年食用菌产量 4 222.54 万 t(鲜品), 黑木耳作为我国主产的食用菌品种, 2022 年全国产量为 749.00 万 t, 甘肃省年产 33.47 万 t(鲜品)^[2]。研究表明, 每生产 1 kg 的食用菌约产生 3.25 kg 的菌渣^[3], 按

此比例计算, 我国 2022 年总产菌渣 1.37 亿 t, 仅黑木耳便产生约 2 434 万 t 的菌渣。近年来甘肃省黑木耳产业发展迅速, 天水、陇南和甘南等主产区因此产生大量黑木耳菌渣, 通常堆积在道路和温室两旁, 不及时处理和利用会引起堆积腐烂,

收稿日期: 2024-09-14

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1602109)。

作者简介: 王文丽(1968—), 女, 甘肃民勤人, 研究员, 研究方向为农业废弃物资源化利用。Email: Wang_wenli@sina.com。

通信作者: 王晓巍(1968—), 男, 甘肃宁县人, 研究员, 研究方向为食用菌栽培。Email: wangxw@gsagr.cn。

造成滋生病原菌、排放温室气体、环境污染等问题^[4]。

目前,我国食用菌菌渣的利用途径主要有生产动物饲料、蘑菇栽培基质、生物炭、吸附剂、有机肥料等^[5]。利用高温堆肥将菌渣无害化处理成本较低,但我国西北地区冬季寒冷,堆肥发酵启动慢,尤其是富含难降解的木质纤维素的菌渣存在发酵周期长、腐熟不完全等问题,从而影响堆肥产品质量。高效的降解微生物菌剂在堆肥过程中可以缩短堆肥周期,减少养分损失,降低对环境的污染。微生物菌剂在堆肥生产中已取得了一定进展^[6-8],但甘肃省冬季黑木耳菌渣高温堆肥菌剂的利用鲜有系统研究。因此,本研究使用不同有机物料腐熟菌剂进行黑木耳菌渣高温堆肥发酵,通过测定堆料的物理、化学、生物指标的动态变化,筛选出适宜西北地区黑木耳菌渣发酵的微生物菌剂,为黑木耳菌渣的有效利用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黑木耳菌渣来自天水洪崖河菌业种植有限公司2023年袋料栽培木耳后的废弃菌棒(含有机质64.0%、总氮0.6%、总磷0.32%、总钾0.4%、pH 8.27)。供试牛粪购自天水市秦州区利桥养殖场新鲜牛粪(含有机质40.3%、总氮1.38%、总磷0.9%、总钾2.3%、pH 9.03)。5种供试腐熟菌剂均为市售的腐熟菌剂,具体成分及来源见表1。

1.2 试验设计

采用随机区组设计,设6个处理,每种腐熟菌剂为1个处理,以不施菌剂为对照(CK),重复3次。将黑木耳菌渣和牛粪按照体积比10:1混匀,再按试验设计将不同菌剂和菌渣牛粪混合料混匀,调节料堆的含水量率为58%后堆制。每个

堆的长、宽、高分别为2.5、1.8、1.0 m,根据堆温确定翻堆次数(初次翻堆温度为60℃,之后每隔2~3 d翻堆1次,当堆温下降至50~40℃时,每隔3~5 d翻堆1次,直至发酵结束)。

1.3 测定方法

1.3.1 取样 分别于堆肥初期(C)、升温期(S)、高温期(G)、降温期(J)、腐熟期(M)在每处理料堆的中部和距离两端0.5 m处取样,取样时在剖面上从上到下取5 cm厚的物料约2 000 g,混匀,编号。每个样品分成2份,1份阴凉风干,1份4℃短期保存。

1.3.2 料堆温度测定 每天对料堆的上层(表层下30 cm)和中间层(堆体50 cm部位)使用水银玻璃温度计测温,发酵的第1~20 d分别于09:00时和16:00时各测定1次,发酵的第21~31 d每天09:00时测定堆温,重复3次,计算上层温度和中间层温度的平均值。

1.3.3 发酵堆肥 水分、有机碳、全氮、全磷、全钾、pH、EC值分别在堆肥初期(C)、升温期(S)、高温期(G)、降温期(J)、腐熟期(M)测定。取20.00 g堆肥鲜样,105℃下烘24 h至恒重,冷却后测定其含水量,重复3次。参考NY 525/T—2021测定有机碳、全氮、全磷、全钾及pH^[9]。参考NY/T 2118—2012测定EC值^[10]。T值是评价有机物料腐熟的重要指标,随着堆肥腐熟程度的增加T值不断下降。 $T值=(终点C/N)/(初始C/N)$ 。

1.3.4 种子发芽指数(GI)测定 参照NY/T 525—2021进行测定^[9],以未包衣的萝卜种子为指示材料,在堆肥浸提液中培养,统计发芽种子的粒数,用游标卡尺测量主根长。

种子发芽指数 $(GI)=(A_1 \times A_2)/(B_1 \times B_2)$
式中, A_1 为浸提液培养的种子发芽率, A_2 为浸提

表1 供试腐熟菌剂的主要成分及来源

| 腐熟菌剂 | 来源 | 主要成分 | 活菌数 | 用量 |
|------|----------------|--|----------------|-----------------------|
| JN | 济宁市金益菌生物科技有限公司 | 枯草芽孢杆菌、多黏芽孢杆菌、黄褐假单胞菌、嗜热脂肪地芽孢杆菌、多食鞘氨醇杆菌、戊糖片球菌、解淀粉芽孢杆菌、德氏乳杆菌 | ≥ 200 亿/g | 1.0 kg/m ³ |
| SH | 济宁世合生物有限公司 | 枯草芽孢杆菌、黑曲霉、米曲霉、酵母菌、乳酸菌 | ≥ 200 亿/g | 0.2 kg/m ³ |
| JBL | 北京裕丰力多金肥业有限公司 | 酵母菌、乳酸菌 | ≥ 2 亿/mL | 1.0 L/m ³ |
| WB | 河南省沃宝生物科技有限公司 | 枯草芽孢杆菌、米曲霉 | ≥ 10 亿/g | 1.0 kg/m ³ |
| HWN | 洛阳欧克生物科技有限公司 | 枯草芽孢杆菌 | ≥ 5 亿/g | 70.0 g/m ³ |

液培养的种子的平均根长, B_1 为水培养的种子发芽率, B_2 为水培养的种子平均根长。

1.3.5 粗纤维含量测定 于发酵料初始、腐熟期参考饲料中粗纤维的含量测定(GB/T 6434—2022)中的过滤法测定物料的粗纤维^[11]。

粗纤维损失率= [(初始粗纤维含量-发酵结束粗纤维含量)/初始粗纤维含量] × 100%

1.4 数据处理

采用 Excel 2021 软件进行数据统计和作图, 使用 SPSS 26.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料堆温度的影响

由图 1 可见, 各处理堆体升温 and 降温的趋势基本一致, 整体上呈先上升后下降的趋势。JBL 处理的黑木耳菌渣料堆升温最快, 其次是 HWN 和 SH, 以上 3 个处理在堆制第 5 天料堆的平均温度均达到 55.0 °C; JN 和 WB 处理在第 6 天达到 55.0 °C; CK 在第 7 天达到 55.0 °C。JBL、HWN 和 SH 处理料堆 55.0 °C 以上的高温保持天数最长, 为 16 d; 其次为 JN、WB 处理, 为 15 d; CK 处理最短, 为 14 d。各处理料堆的累计温度均高于 CK, 其中 JBL 最高, 比 CK 高 53.8 °C; 其次是 HWN 和 SH 处理, 分别比 CK 高 39.0、17.3 °C。在发酵的第 30 d, 各料堆的平均温度为 20.0 ~ 28.0 °C, 接近室温, 堆肥基本腐熟。

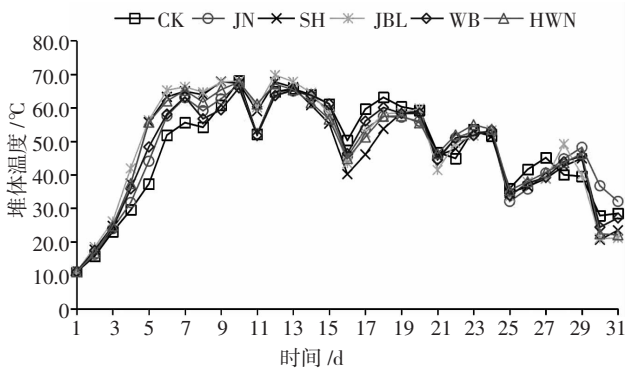


图 1 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料堆温度变化的影响

2.2 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料堆含水率的影响

由图 2 可见, 发酵初期各处理料堆的含水率均在 58% 左右, 随着发酵的推进各处理料堆的含水率均呈现下降趋势。SH、JBL 和 HWN 处理的料

堆含水率下降最快, 腐熟期含水率较初期分别下降了 25.35%、25.88%、25.53%; 其次是 WB 处理和 JN 处理, 分别下降了 24.53%、21.91%; CK 料堆含水率下降最慢, 仅下降了 12.88%。

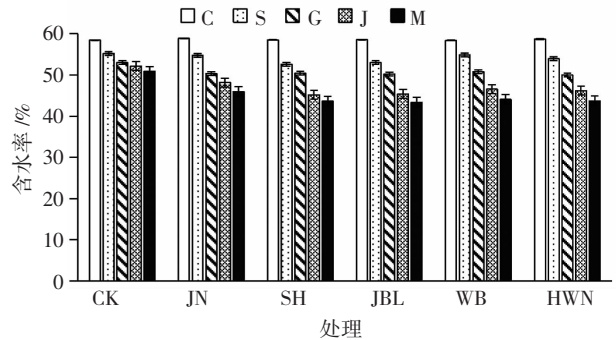


图 2 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料堆水分含量的影响

2.3 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料碳氮比的影响

由表 2 可见, 各处理料堆的初期(C)碳氮比无显著差异, 5 种腐熟菌剂处理发酵过程中料堆的碳氮比下降幅度均显著大于 CK。其中, JBL 处理料堆的碳氮比下降幅度最大, 下降了 8.51% ~ 27.35%; 其次是 HWN 处理, 下降了 5.22% ~ 26.76%; SH、WB、JN 处理分别下降了 6.94% ~ 25.45%、2.80% ~ 24.45%、2.88% ~ 24.21%。腐熟期(M)JBL、HWN、SH、WB、JN 处理料堆的碳氮比较 CK 分别下降了 10.23%、9.95%、7.33%、5.19%、4.89%。各处理料堆的 T 值均显著低于 CK, 其中 JBL、HWN 处理的 T 值最小, 显著低于其他处理; SH、WB、JN 处理的 T 值差异不显著。说明接种腐熟菌剂有助于黑木耳菌渣发酵腐熟。

表 2 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料碳氮比的影响

| 处理 | 初期 (C) | 升温期 (S) | 高温期 (G) | 降温期 (J) | 腐熟期 (M) | T 值 |
|-----|---------|---------|---------|---------|----------|--------|
| CK | 49.17 a | 45.06 a | 43.29 a | 41.45 a | 39.29 a | 0.80 a |
| JN | 49.31 a | 47.89 a | 43.50 a | 40.12 b | 37.37 b | 0.76 b |
| SH | 48.84 a | 45.45 a | 42.96 a | 39.98 b | 36.41 bc | 0.75 b |
| JBL | 48.55 a | 44.42 b | 41.95 b | 39.76 b | 35.27 c | 0.73 c |
| WB | 49.31 a | 47.93 a | 42.50 a | 40.83 a | 37.25 b | 0.76 b |
| HWN | 48.31 a | 45.79 a | 42.09 b | 38.95 b | 35.38 c | 0.73 c |

2.4 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料养分的影响

由表 3 可见, 发酵初期(C)各处理料堆全氮、全磷、全钾的含量均无显著差异。腐熟期 (M)不同处理料堆的全氮、全磷、全钾含量均比初期(C)显著提高, CK 分别提高了 16.67%、22.50%、

16.67%，5种菌剂处理分别提高了20.83%~24.66%、23.68%~25.64%、33.33%~50.00%。其中JBL、HWN、SH处理对料堆全氮、全磷、全钾的提升幅度大于JN处理和WB处理。

表3 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料养分的影响 g/kg

| 处理 | 全氮 | | 全磷 | | 全钾 | |
|-----|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | 初期 (C) | 腐熟期 (M) | 初期 (C) | 腐熟期 (M) | 初期 (C) | 腐熟期 (M) |
| CK | 7.2 a | 8.4 c | 4.0 a | 4.9 a | 6.0 a | 7.0 c |
| JN | 7.2 a | 8.7 b | 3.8 a | 4.7 a | 5.0 a | 7.0 c |
| SH | 7.2 a | 8.9 a | 3.9 a | 4.9 a | 6.0 a | 8.0 b |
| JBL | 7.3 a | 9.1 a | 4.0 a | 5.0 a | 6.0 a | 9.0 a |
| WB | 7.2 a | 8.7 b | 3.9 a | 4.9 a | 5.0 a | 7.0 c |
| HWN | 7.3 a | 9.1 a | 3.9 a | 4.9 a | 6.0 a | 9.0 a |

2.5 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料 pH 和 EC 值的影响

由图3a可见，发酵初期(C)各处理料堆的pH无显著差异，在整个发酵过程中各处理料堆的pH均呈先上升后下降的趋势，均在升温期(S)达到最大，其中JN处理的pH最高，其次为WB处理，JBL处理最低；腐熟期(M)各处理料堆的pH均低于CK。由图3b可见，发酵初期(C)各处理料堆的EC值无显著差异，各处理料堆的EC值在整个发酵过程中均呈先上升后下降的趋势，均在升温期(S)达到最大，其中SH处理料堆的EC值最高，其次为HWN处理，WB处理最低；各处理料堆腐熟期(M)的EC值均高于CK，其中SH、JBL和HWN处理的EC值显著高于CK。

2.6 不同腐熟剂对黑木耳菌渣发酵料粗纤维含量的影响

由表4可见，各处理料堆的发酵初期(C)粗纤维含量差异不显著，腐熟期(M)CK和JN处理

纤维素含量显著高于其他处理，SH处理料堆的粗纤维含量最低。SH处理料堆粗纤维损失率显著高于其他处理；JBL处理和HWN处理差异不显著，均显著高于CK、JN、WB处理；CK处理料堆的粗纤维素损失率最小。说明SH、JBL和HWN处理的料堆的大分子物质降解较多，腐熟程度显著好于CK、JN、WB处理。

表4 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料粗纤维含量的影响

| 处理 | 粗纤维/% | | 粗纤维损失率/% |
|-----|---------|---------|----------|
| | 初期 (C) | 腐熟期 (M) | |
| CK | 28.10 a | 27.10 a | 3.56 d |
| JN | 28.30 a | 26.60 a | 6.01 c |
| SH | 28.70 a | 23.60 c | 17.77 a |
| JBL | 28.50 a | 25.00 b | 12.28 b |
| WB | 26.70 a | 24.80 b | 7.12 c |
| HWN | 28.70 a | 25.40 b | 11.50 b |

2.7 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料堆种子发芽指数影响

由图4可见，整个发酵过程中各处理料堆的种子发芽指数均呈上升趋势，到腐熟期(M)达到最大，各处理种子发芽指数上升的幅度均大于CK处理。各处理料堆发酵初期(C)的种子发芽指数为73.38%~75.58%，腐熟期(M)SH、JBL和HWN处理的种子发芽指数较高，分别较CK了增加13.89%、12.91%、17.32%，JN处理和WB处理分别增加了6.46%、7.53%。表明添加有机物料腐熟菌剂能降低黑木耳菌渣发酵物料的毒性，加快堆肥腐熟进程，其中以HWN、SH和JBL处理腐熟菌剂效果最佳。

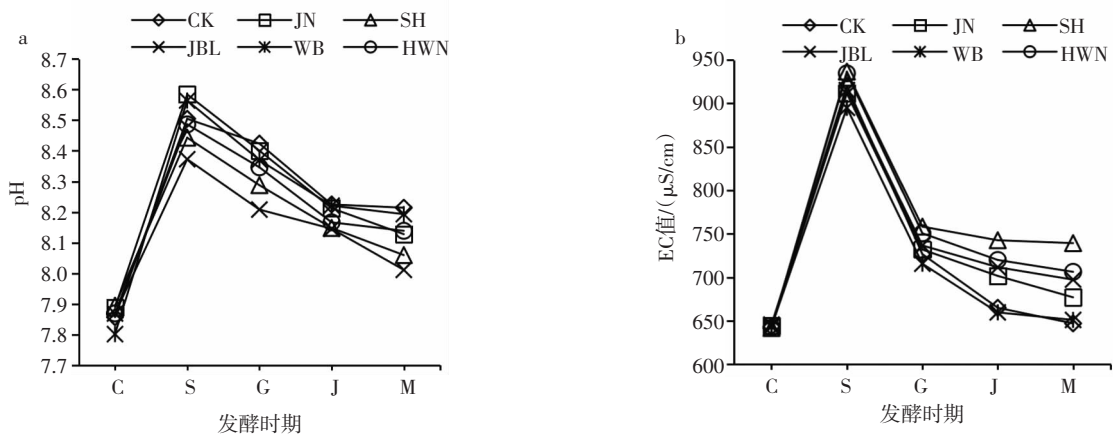


图3 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料堆 pH 和 EC 值的影响

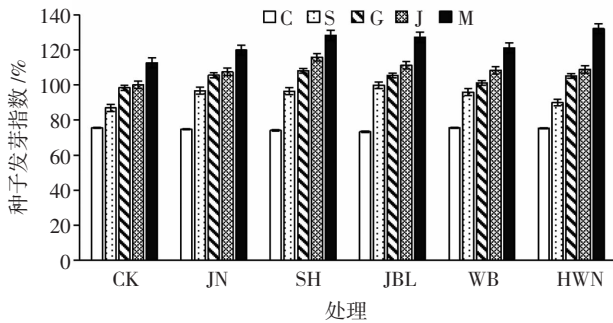


图 4 不同腐熟菌剂对黑木耳菌渣发酵料堆种子发芽指数的影响

3 讨论与结论

堆肥的升温期是指堆肥从环境温度升高的阶段, 该阶段对微生物大量繁殖及启动堆肥反应有着重要意义^[12-13]。在堆肥升温阶段, 微生物利用物料中的水溶性有机物迅速生长繁殖, 同时将部分半纤维素和纤维素分解为单糖或二糖, 并释放热量使堆体升温^[14]。本研究结果表明, 接种不同有机物料腐熟菌剂均能不同程度缩短黑木耳菌渣料堆升温时间, 使料堆迅速进入高温期, 这与陈鑫等^[15]研究结果相似。温度是衡量堆肥成熟度和分解程度的最直观指标, 添加复合微生物菌剂能延长堆肥的高温期^[16], 堆体的温度和高温持续时间会影响堆肥发酵的速度和质量^[17]。本研究发现加入济宁世合生物有限公司、北京裕丰力多金肥业有限公司和洛阳欧克生物科技有限公司生产的腐熟菌剂能延长料堆 55℃ 以上的高温保持天数, 增加料堆发酵过程中的累计温度, 加快料堆进程。

水分是影响堆肥中微生物活跃程度的重要因素之一, 也是影响堆体通气性好坏的重要指标。研究表明, 堆肥物料发酵的最佳含水率为 45% ~ 65%, 在此区间堆体的通气率处于最佳状态, 利于微生物的代谢活动和堆肥腐熟进程^[18]。本研究表明, 随着黑木耳菌渣发酵进程的推进各处理料堆的水分含量均呈下降趋势, 接种外源腐熟菌剂能加速堆体水分的下降, 而且温度上升越高的处理堆体的水分下降越快, 表明接种该菌剂的料堆中的微生物活动比其他处理更强烈, 促使堆体升温加大蒸发量, 从而降低堆体的含水量。

堆肥是一个有机物分解、腐殖酸形成并逐渐稳定的过程, 一般有机碳的降解率越高, 堆肥越稳定^[19]。随着堆肥发酵进程的推进, 堆肥中的有

机碳被分解并以 CO₂ 的形式释放, 总碳量减少总氮量增加, 碳氮比增加^[20]。Bernai 等^[21]的研究表明, 当堆肥的碳氮比小于 20 时, 可以判定堆肥性质稳定已经达到完全腐熟, 但是由于堆肥原料性质差异, 有的堆肥材料腐熟完成后的碳氮比仅为 12, 所以仅仅通过碳氮比并不能准确判断出所有堆肥材料的腐熟程度^[22]。T 值即堆肥材料终点碳氮比和初始碳氮比的比值, 适用于不同物料堆肥的腐熟度评价, 不同物料堆肥腐熟时 T 值约为 0.5 ~ 0.7, 当 T 值小于 0.7 时可认为堆肥腐熟^[23]。本研究中由于黑木耳菌渣中绝大多数是木屑, 所以碳氮比在发酵初期很高, 至腐熟期各处理的碳氮比均在 35 以上, 当加入外源腐熟菌剂时, 能显著降低料堆的碳氮比, 北京裕丰力多金肥业有限公司和洛阳欧克生物科技有限公司生产的腐熟菌剂处理料堆的碳氮比最低, 其 T 值也更接近于 0.7, 说明加入这 2 种腐熟菌剂能促进黑木耳菌渣腐熟。

堆肥中的纤维素是对热处理最敏感的成分, 其降解程度受热处理时间和温度的影响^[24-25]。本研究表明, 加入腐熟菌剂能提高黑木耳菌渣料堆粗纤维的降解率, 且不同菌剂降解效果不同, 济宁世合生物有限公司、北京裕丰力多金肥业有限公司和洛阳欧克生物科技有限公司生产的种腐熟菌剂对黑木耳菌渣料堆的粗纤维降解效果较好, 说明该类菌剂更适合于含难降解有机物料的发醇应用。

种子发芽指数(GI)可以验证堆肥产物的生物毒性, 当 GI 大于 80% 时, 可认为堆肥已达到腐熟标准^[26]。堆肥浸提液的电导率 EC 值能反应堆肥的盐分含量, EC 值越高, 盐分含量越高, 对植物的毒害就越大^[27-28]。Garcia 等^[29]的研究表明, 堆肥腐熟后其 EC 值小于 4 ms/cm 时才不会对植物种子产生毒害。本研究发现, 黑木耳菌渣发酵料本身的盐分含量和全氮含量均较低, 所以发酵初期 GI 较高, 各处理料堆的 GI 值为 73.38% ~ 75.57%; 随着发酵进程的推进, 各处理料堆的 GI 迅速超越 80.00%, 至腐熟期时各处理料堆的 GI 均大于 100%。加入腐熟菌剂会显著提高料堆的 GI 和 EC 值, 进一步说明外源腐熟菌剂有助于降解黑木耳菌渣中的大分子物质, 促进黑木耳菌渣腐熟, 增加植物可以直接利用的有效养分。

综上所述,添加腐熟菌剂可降低黑木耳菌渣发酵物料的含水率和粗纤维含量,提高种子发芽指数,加快黑木耳菌渣的腐解进程,增加黑木耳菌渣的腐熟程度,降低黑木耳菌渣发酵物植物毒性。总体来说,洛阳欧克生物科技有限公司、济宁世合生物有限公司和北京裕丰力多金肥业有限公司生产的腐熟菌剂效果最佳,适合在西北地区黑木耳菌渣发酵生产中推广应用。

参考文献:

- [1] 李武,周祖法.我国食用菌产品出口受阻现状、原因及对策[J].中国食用菌,2024,43(5):96-100.
- [2] 中国食用菌协会.2022年度全国食用菌统计调查结果分析[J].中国食用菌,2024,43(1):118-126.
- [3] 董雪梅,王延锋,孙靖轩,等.食用菌菌渣综合利用研究进展[J].中国食用菌,2013,32(6):4-6.
- [4] 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.
- [5] 张莹,田龙,徐敏慧,等.食用菌菌糠综合利用研究进展[J].微生物学通报,2020,47(11):3658-3670.
- [6] WANG M M, WU Y C, ZHAO J Y, et al. Comparison of composting factors, heavy metal immobilization, and microbial activity after biochar or lime application in straw-manure composting[J]. Bioresource Technology, 2022, 363: 127872.
- [7] 董雪梅,王菲,王延锋,等.菌渣分解复合菌系HM-7在黑木耳菌渣堆肥发酵中的应用[J].食用菌,2023,45(2):56-59.
- [8] 马彦霞,蒯佳琳,张俊峰,等.娃娃菜尾菜堆肥发酵菌筛选[J].寒旱农业科学,2024,3(5):470-475.
- [9] 中华人民共和国农业农村部.有机肥料:NY/T 525—2021[S].北京:中华人民共和国农业农村部,2021.
- [10] 中华人民共和国农业部.蔬菜育苗基质:NY/T 2118—2012[S].北京:中国农业出版社,2012.
- [11] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.饲料中粗纤维的含量测定:GB/T 6434—2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [12] 李季,彭生平.堆肥工程实用手册[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [13] 汤莹,赵旭,李娟,等.糠醛渣添加量对奶牛粪堆肥腐熟及氨气释放量的影响[J].寒旱农业科学,2023,2(6):579-583.
- [14] 丁文川,李宏,郝以琼,等.污泥好氧堆肥主要微生物类群及其生态规律[J].重庆大学学报(自然科学版),2002(6):113-116.
- [15] 陈鑫,李昌宁,肖金玉,等.接种不同微生物菌剂对牛粪好氧堆肥腐熟的影响[J].草原与草坪,2023,43(6):58-65.
- [16] 卢洋洋,杨硕,张玉,等.不同复合微生物菌剂对牛粪堆肥效果的影响[J].家畜生态学报,2021,42(2):43-49.
- [17] 王亚飞,李梦婵,邱慧珍,等.不同畜禽粪便堆肥的微生物数量和养分含量的变化[J].甘肃农业大学学报,2017,52(3):37-45.
- [18] 徐宁.畜禽粪便堆肥无害化技术要点[J].现代畜牧科技,2020(8):81-82;84.
- [19] 詹亚斌,周凯云,常远,等.不同来源有机废弃物堆肥磷素转化特征[J].环境工程,2023,41(S2),1098-1102.
- [20] 王萌萌,范博文,赵立琴,等.牛粪对双孢菇菌渣堆肥过程中碳氮转化及真菌群落的影响[J].农业环境科学学报,2024,43(1):162-173.
- [21] BERNAI M P, PAREDES C, SÁNCHEZ-MONEDERO M A, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes[J]. Bioresource Technology. 1998, 63(1): 91-99.
- [22] JIMENEZ E I, GARCIA P. Determination of maturity indexes for city refuse composts[J]. Agricultureeco systems & Environment.1992, 38(4): 331-343.
- [23] 田赞.园林废弃物堆肥化处理及其产品的应用研究[D].北京:北京林业大学,2012.
- [24] 王凌霄,常瑞雪,王珏,等.堆肥过程中有机物的转化及其评价方法[J].中国农业大学学报,2023,28(9):167-175.
- [25] LIANGT, WANG L J. Thermal treatment of poplar hemi-cellulose sat 180 to 220 °C under nitrogen atmosphere [J]. BioResources, 2017, 12(1): 1128-1135.
- [26] CUNHA-QUEDA A C, RIBEIRO H M, RAMOS A, et al. Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(17): 3213-3220.
- [27] 许淑妮,冯晓璐,陈延玲,等.添加玉米秸秆对胡萝卜尾菜堆肥过程的影响[J].农业工程学报,2023,39(11):230-237.
- [28] 刘曦.复合微生物菌剂的制备及其在污泥堆肥中的应用[D].上海:上海交通大学,2021.
- [29] GARCIA C, HERNANDEZ T, COSTA F, et al. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1992, 23(13-14): 1501-1512.