

不同种类食用菌菌糠与鸡粪堆腐的性状差异研究

王楠, 姚凯, 李兴吉, 徐伟宸, 李伟, 王帅

(吉林农业科技学院 植物科学学院, 吉林 吉林 132101)

摘要:菌糠是生产食用菌后的废弃栽培袋料,不同种类食用菌所采用的栽培袋料性状各异。该研究利用好氧堆腐方法,在温室环境下探讨了平菇菌糠(I)和香菇菌糠(II)分别与木耳菌糠、鸡粪间按照 3:4:3(1)、2:4:4(2)和 1:4:5(3)的质量比混合,在充分构建堆腐条件后,动态监测其在 90 d 腐解期间内含水率、pH、C/N、全磷含量、全钾含量以及发芽指数的变化,旨在为不同种类食用菌菌糠的资源化利用提供切实可行的堆腐配方。结果表明:1) 6 个(I-1、I-2、I-3、II-1、II-2、II-3)处理在 25 d 撤水后转入温室环境,物料含水率均呈先增加后渐趋平稳的变化趋势,物料 pH 均能够在波动中有所上升,最终 pH 为 7.5~9.0,6 个处理 C/N 均随堆腐进行而呈递减规律;2)从堆腐后的物理性状来看,当平菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪间以 2:4:4 的质量比混合时(I-2、II-2)更有利于物料颜色、气味、菌落生长及湿度状况向充分腐熟的方向转化;3)由平菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪所组成的混料,其在堆腐期间均可使全磷及全钾含量先增加而后降低。当香菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪间按照 3:4:3、2:4:4 或 1:4:5 配比混合后(I-1、I-2、I-3),其在堆腐完成皆有助于全磷及全钾含量的提升;4)当平菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪间质量比为 3:4:3 时(II-1),历经 90 d 腐解仍无法保证堆料在生物学角度达到充分腐熟,相反,其余 2 个处理(II-2、II-3)则可有效推进堆料的腐熟进程。

关键词:菌糠;鸡粪;堆腐;性状

中图分类号:F 303.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)09-0143-06

食用菌生产废料俗称为菌糠,是栽培食用菌后的培养料,是经食用菌及其菌丝残体酶解,结构发生质变、含有粗纤维成分的复合物,其不仅富含有机物质和矿质元素^[1],还含有食用菌菌体蛋白、次生代谢产物和微量元素等多种水溶性养分,其氮、磷、钾等养分含量高于稻草和鲜粪且具有良好的持水、透水

性能,使之成为资源化利用生产有机肥料的理想原材料。

随着人们对食用菌消费数量的激增,使得食用菌生产行业迅速发展。该产业的蓬勃发展不仅强村富农、带动地方特色经济,而且也合理消化了作物秸秆,使其物尽其用。然而大量食用菌生产过后,菌袋中玉米芯、锯末子、稻草和糠麸等物质随之被肆意丢弃,其通常被认为是没有农用价值的生产废料。废弃菌糠长期滞留于食用菌场周围,极易发霉,不仅污染周边环境而且严重制约了食用菌产业的良性发展。堆肥化处理是其资源化利用的有效途径,通过人为堆腐可使其不稳定的有机成分逐渐矿化分解,余下的稳定有机物可充当优质有机物料,提升地力、改善作物生产环境^[2]。对于菌糠堆腐研究主要侧重于土壤改良剂、微生物载体以及无土栽培基质^[3],对于其堆腐生产有机肥,多数学者更倾向于堆肥的影响因素研究^[4],而忽略了不同种类食用菌菌糠与鸡粪间配比对于堆腐性状差异的影响^[5]。

为此,该研究以平菇或香菇菌糠为基础物料,通

第一作者简介:王楠(1982-),女,博士,讲师,现主要从事土壤肥力调控等研究工作。E-mail:wangnan664806@126.com.

责任作者:王帅(1982-),男,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事土壤生物及环境化学等研究工作。E-mail:wangshuai419@126.com.

基金项目:吉林省科技厅优秀青年人才基金资助项目(20170520091JH);吉林省教育厅“十三五”科学技术研究资助项目(吉教科合字[2016]第 207 号);吉林农业科技学院重点学科培育资助项目(吉农院合字[2015]第 X006 号);国家自然科学基金资助项目(41401251);吉林农业科技学院博士启动基金资助项目(吉农院合字[2016]第 B03 号);吉林农业科技学院青年基金资助项目(吉农院合字[2015]第 206 号)。

收稿日期:2017-01-12

过添加不同比例的木耳菌糠和鸡粪,揭示其在微生物菌剂作用下,在 90 d 堆腐过程中含水量、物理性状、pH、C/N、全磷及全钾含量的动态变化,根据堆料性状的差异变化筛选菌糠与鸡粪间的适宜配比,为菌糠的资源化利用提供科学合理的堆腐方案。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试平菇、香菇及木耳菌糠均取自吉林市丰满区旺起镇,其 C、N 含量分别为 50.5%、0.48%、46.6%、1.04%和 47.9%、0.56%。鸡粪取自吉林农业科技学院养鸡场,经风干、粉碎后检测,干鸡粪粉末 C、N 含量分别为 43.8%和 2.20%。调节物料初始 C/N 的氮素原料由硫酸铵(N 含量为 21.2%)提供。

供试菌粉由水谷欣生物科技有限公司生产的富硒一堆肥专用菌剂提供,内含钾细菌、芽孢杆菌群、乳酸菌群、曲霉菌群和 5406 菌群等,有益微生物数量可达 200 亿 cfu · g⁻¹。菌剂制备方法如下:称取 1 g 菌粉和 1 g 蔗糖,混匀后置于 250 mL 离心管,加 100 mL 无菌水,25 °C 气浴振荡器中预培养 10 h,3 500 r · min⁻¹ 离心 10 min、过滤,滤液即为供试微生物菌剂。

1.2 试验方法

首先将晾晒好且粉碎通过 0.25 mm 筛的平菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪按照 3:4:3、2:4:4 和 1:4:5 的质量比混合,设置为处理 I-1、I-2 和 I-3。再将香菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪按 3:4:3、2:4:4 和 1:4:5 的配比混匀,设置为处理 II-1、II-2 和 II-3。

将上述物料混匀后,用硫酸铵溶液调节堆料适宜的含水量(60%)和 C/N(25:1),而后将 2 kg 混料置于 9 L 桶状反应容器中,随后均匀接种 100 mL 微生物菌剂(该菌剂由 1 g 富硒堆肥菌粉、1 g 蔗糖和 100 mL 无菌水组成),用塑料薄膜封口、扎孔后启动好氧堆腐进程,每处理 3 次重复。

在堆腐 25 d 内适时补水,确保堆料含水量稳定于 60%,25 d 后停止补水并将其转入温室环境接续堆腐过程,每 24 h 进行 1 次翻堆以确保通气,总堆置期设为 90 d,期间按照 0、10、20、30、45、60、90 d 动态取样,50 °C 鼓风干燥箱中去除水分、粉碎后过 0.1 mm 筛。

1.3 项目测定

1.3.1 含水率测定 采用铝盒 105 °C 烘干法测定。

1.3.2 pH 测定 用水浸提堆料,固液比 1:10 g · mL⁻¹,过滤后用 pH S-3C 型酸度计对滤液测定。

1.3.3 C、N 含量 分别采用重铬酸钾氧化法、凯氏定氮法测定,二者比值为 C/N。

1.3.4 全磷及全钾含量 依照有机肥料 P₂O₅、K₂O 含量检测标准(NY 525-2012)测定。

1.3.5 发芽指数(GI) 称取 5 g 堆料鲜样,用 50 mL 去离子水浸提,振荡 2 h,吸取 5 mL 滤液均匀滴加在铺有滤纸的玻璃培养皿中,每个培养皿点播 20 粒籽粒饱满的雪里蕻种子,置于 20 °C 培养箱中避光培养,48 h 后测定种子发芽率和根长。每个试样重复 3 次,以蒸馏水为对照。 $GI(\%) = (\text{堆肥浸提液种子发芽率}(\%) \times \text{种子根长}(\text{mm})) / (\text{蒸馏水的种子发芽率}(\%) \times \text{种子根长}(\text{mm})) \times 100$ 。

2 结果与分析

2.1 对堆料含水率的动态影响

堆料腐解过程中含水率的变化与其原料的组成密切相关。如图 1 所示,6 个处理在堆腐 25 d 撤水后,含水率均呈先增高后渐趋于平稳的变化趋势,在 27~30 d,各处理含水率呈现直线上升趋势,这主要是因为 25 d 撤水后,含水率急剧下降,而在转入温室后,物料吸收了空气中的水汽,另外,微生物在矿化分解物料时亦会使沉淀物中含有大量水分,致使堆体中心含水率增高^[6]。在 30~90 d 堆腐过程,除了 II-2 处理能够在 90 d 促使含水率降至 46.5% 外,其余处理均可使物料含水率保持在 54.0%~72.6% 的范围。高宏英等^[7]研究认为,水分是微生物驱动腐殖化进程的必备物质,较高的含水率能够促进腐殖化过程。可见,I-1、I-2、I-3、II-1 和 II-3 处理均能够在温室环境确保物料含水率符合堆腐的水分需求。对比 27 d 与 90 d 堆料含水率的差异可知,6 个处理含水率均有不同程度增加,增幅分别达到 50.8%、

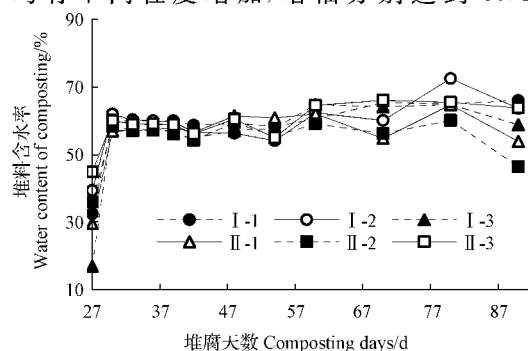


图 1 不同种类食用菌菌糠与鸡粪间
配比对堆料含水率的影响

Fig. 1 Effect of the ratios among different spent mushroom substrates and chicken manure on the water content of composting

38.1%、71.3%、45.2%、22.6%和 29.7%。由此可见,由平菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪所组成的混料,其对含水率的保持作用更为明显,三者间质量比为 1:4:5 时保水作用最强。

2.2 对堆料物理性状的影响

从表 1 可知,各处理在完成 90 d 堆腐后,其物理性状间均存在差异。从堆腐物料的颜色来看,I-2 和 I-3 处理物料的颜色为褐色,符合良好腐熟堆肥产品的特征。从物料腐解后的气味来看,屠巧萍^[8]报道,

表 1 不同种类菌糠与鸡粪间配比对堆料物理性状的影响

Table 1 Effect of the ratios among different spent mushroom substrates and chicken manure on the physical characteristics of composting

处理 Treatments	颜色 Colour	气味 Odour	菌落生长状况 Colony growth	湿度状况 Humidity condition
I-1	棕黄	臭	点状分布,白色菌落,无白毛	结构松散,湿度较小
I-2	褐色	微臭	点状分布,白色菌落,无明显白毛	结构松散,湿度较小
I-3	褐色	微臭	点状分布,白色菌落,无白毛	少部分粘结,湿度适中
II-1	棕黄	微臭	点状分布,白色菌落,无白毛	有结块现象,湿度较小
II-2	棕黄	臭	点状分布,白色菌落,无白毛	少部分粘结,湿度较小
II-3	棕黄	极臭	点状分布,白色菌落,无明显白毛	少部分粘结,湿度适中

2.3 对堆料 pH 的影响

由图 2 所示,尽管个别处理在整个堆制过程 pH 略有波动,但 6 个处理在堆腐完成后 pH 均可获得显著提升。对比腐解 10 d 后的结果,90 d 堆腐可使 6 个处理物料 pH 分别增加 28.9%、29.0%、32.0%、29.0%、17.1%和 28.8%,显然 I-3 处理在提升物料 pH 方面的优势最大。I-1 处理在堆腐 20 d 时,其物料 pH 反而有所下降,这主要是因为堆腐初期,物料降解产生了一定数量的有机酸所致^[9]。在堆腐中后期,I-2、II-2 和 II-3 处理 pH 会在某一阶段有所下降,也许是因为物料中氮素形态转变,即铵态氮转化为硝态氮所致。而在整个过程,pH 均以增加为主要趋势,其源于微生物矿化有机物料所产生数量较大

堆肥过程中氮素损失不仅造成养分散失,而且能释放出恶臭气味,不利于堆腐进行,因此 I-2、I-3 和 II-1 处理在消除臭味气体方面具有明显优势。从菌落生长状况来看,腐熟物料不应该具有明显的白色丝状菌落,6 个处理下稳定的碳素结构均抑制着微生物的活性。从湿度状况来看,结构松散、湿度较小的物料更有利于微生物的好氧堆肥过程。综上,将平菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪间以 2:4:4 的比例混合堆腐时更有利于充分腐解。

的铵态氮所致^[10-11]。所有配方处理的物料 pH 均处于 7.5~9.0,符合有机肥安全生产及施用标准^[12]。

2.4 对堆料 C/N 的影响

C/N 是衡量堆肥腐熟程度的重要指标之一。有学者认为,堆料 C/N 越低,有机氮转化越多,铵态氮损失数量越大,较高的 C/N 意味着堆肥中铵态氮的损失数量少且更利于其向有机氮的转化,而 C/N 过高,则堆腐速率会因此而被抑制。由表 2 可知,随着堆腐进行,各处理的 C/N 均呈递减趋势,多数研究指出,堆肥过程中部分氮素以 NH_3 形式释放出去^[13],而微生物活动需消耗大量有机碳源,最终以 CO_2 形式散失,若前者的下降速度大于后者^[14],则会导致 C/N 在整个堆腐过程渐趋降低。在初始阶段,物料 C/N 均为 25,而在堆腐 10 d 后,I 系列处理的 C/N 均处于 18.6~20.9,略低于 II 系列处理。表明由平菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪组成的混料,其在腐解初期有着更多易于矿化的碳素,而由香菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪所组成的混料,其在初期堆腐速率较慢。对比 10、90 d 堆腐完成后物料的 C/N 差异可知,6 个处理下 C/N 的降幅分别为 12.9%、18.3%、12.4%、23.4%、26.0%和 21.1%,与 I 系列处理相比,II 系列处理的 C/N 下降幅度更大,可推测其在堆腐后期的腐解速率较大,使其在整个腐解过程中有明显优势。另有报道指出,在以猪粪为堆腐主原料时,当 C/N 降至 20 就可以判定堆肥基本腐熟^[15],可见 6 个处理在理论层面均可使堆肥达到基本的腐熟状态。

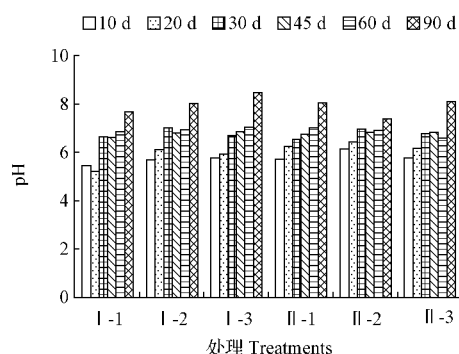


图 2 不同种类菌糠与鸡粪间配比对堆料 pH 的影响

Fig. 2 Effect of the ratios among different spent mushroom substrates and chicken manure on the pH value of composting

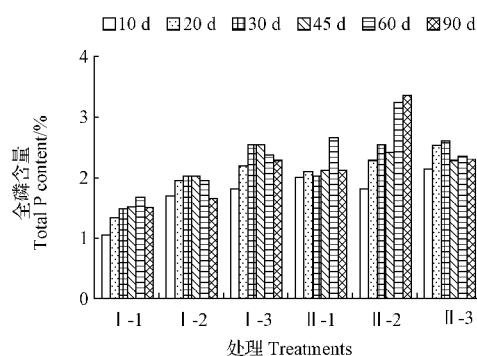
表 2 不同种类菌糠与鸡粪
配比对堆料 C/N 的影响

Table 2 Effect of the ratios among different spent mushroom substrates and chicken manure on the C/N ratio of composting

处理 Treatments	堆腐天数 Composting days/d	10	45	90
I-1		20.9	19.1	18.2
I-2		18.6	17.2	15.2
I-3		20.9	19.5	18.3
II-1		23.5	21.3	18.0
II-2		21.5	19.6	15.9
II-3		19.0	16.1	15.0

2.5 对堆料全磷及全钾含量的影响

堆肥中的矿质营养元素,尤其是全磷、全钾含量对于评价堆肥质量具有重要意义。由图 3 可知,在整个堆腐过程中,I系列处理的全磷含量均表现为先增加后降低的规律,在堆腐完成后,I-1 和I-3 处理皆可有效提升全磷含量,使之增加幅度分别达到 30.9%和 21.0%,此外,II系列处理的全磷含量均历经较大程度波动。在堆腐完成后,其全磷含量均有



所提升,增加幅度分别为 6.1%、45.8%和 6.9%。此外,各处理的全钾含量均呈先增后减的规律变化,比照堆腐 10、90 d,由I-1 至II-3 处理,全钾含量分别增加 19.4%、1.3%、24.2%、29.7%、26.2%和 29.2%。

上述规律表明,由平菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪所组成的混料,其在堆腐期间均可促使全磷及全钾含量先增加而后降低,在堆腐的中前期阶段,二者含量增加也许是因为浓缩效应所致,与李杨等^[4]研究杏鲍菇菌糠堆腐过程的结论相似。在此过程,物料经微生物矿化释放 CO₂ 和 H₂O,使得物料质量下降,尽管全磷及全钾含量有所消耗,但损失速率低于物料质量的下降速度,因此表现为浓缩效应^[16],然而在堆腐后期,微生物矿化作用随稳定性碳结构增多而降低,腐殖化作用的加强对于磷、钾含量皆具有保蓄作用,除了I-2 处理,其余处理的全磷及全钾含量均可获得提升。而香菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪间的混料在堆腐后,其全磷及全钾含量均可获得提升,相比而言,该系列处理对于全钾含量的促进作用更为明显。

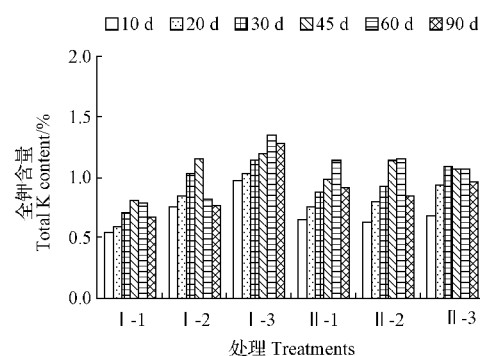


图 3 不同种类菌糠与鸡粪间配比对堆料全磷、全钾含量的影响

Fig. 3 Effect of the ratios among different spent mushroom substrates and chicken manure on the total P and K contents of composting

2.6 对堆料发芽指数(GI)的影响

一般来讲,未腐熟的堆料会含有毒性物质,对植物生长有所抑制,因此可用堆腐物萃取液对植物生长状况的影响来评价堆腐物的生理毒性^[17]。发芽指数(GI)是从生物学角度评价有机物料是否充分腐解的重要指标^[5],植物毒性可由 GI 评价,当 GI 达到 80%~85%时,即可认定该腐解物料没有植物毒性。由表 3 所示,在物料完成堆腐后,II系列处理的种子发芽率明显高于I系列处理,而且在 GI 方面也具有明显优势。从生物学角度来看,各配方除了I-1 处理外,其余处理均能有效促使物料在 90 d 达到充分腐熟,由香菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪所组成的混料更有利于腐解充分。

表 3 雪里蕻种子在不同种类食用菌菌糠与鸡粪堆腐物料萃取液下的发芽指数

Table 3 Germination index of *Potherb mustard* seeds based on the leaching liquor extracted from the composting composed of different spent mushroom substrates and chicken manure

处理 Treatments	种子发芽率 Germination rate of seed/%	平均根长 Average root length /mm	发芽指数 Germination index/%
I-1	35	0.84	26.7
I-2	45	2.13	86.5
I-3	50	2.59	117.2
II-1	50	3.02	136.6
II-2	70	1.89	119.5
II-3	60	2.92	158.5

3 讨论与结论

6个处理在25 d撤水后转入温室环境,物料含水率均能呈现先增高后渐趋平稳的变化趋势,由平菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪所组成的混料,其对含水率的保蓄作用明显,尤以三者间质量比为1:4:5时效果更佳。在供试6个处理的影响下,物料pH均能够在波动中有所上升,最终为pH 7.5~9.0;从堆腐后的物理性状来看,平菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪间以2:4:4的质量比混合时更有利于物料颜色、气味、菌落生长及湿度状况向充分腐熟的方向转化。

随堆腐进行,各处理的C/N均呈递减趋势,由平菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪组成的混料,其在腐解初期有着更多易于矿化的碳素,而由香菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪所组成的混料,其在初期的堆腐速率较慢,而中后期矿化速率急剧增加,使得最终的C/N历经较大程度降低;由平菇菌糠、木耳菌糠和鸡粪所组成的混料,其在堆腐期间可促使全磷及全钾含量先增加而后降低,当三者间质量比为3:4:3或1:4:5时均能在堆腐完成后提升全磷及全钾的含量水平。若将原料中的平菇菌糠调换为香菇菌糠,则在3:4:3、2:4:4和1:4:5的配比下促进全磷及全钾含量的提升;当平菇菌糠、木耳菌糠与鸡粪间以3:4:3的质量比混合时,90 d腐解仍无法促使堆料在生物学角度达到充分腐熟,相反,其余处理则可有效推进堆料的腐熟进程。

参考文献

[1] LOU Z, ZHU J, WANG Z X, et al. Release characteristics and control of nitrogen, phosphate, organic matter from spent mushroom-compost amended soil in a column experiment[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2015, 98: 417-423.

- [2] 张雪辰,邓双,王旭东.快腐剂对畜禽粪便堆肥过程中腐熟度的影响[J].环境工程学报,2015,9(2):889-894.
- [3] 陈智毅,赵晓丽,刘学铭.金针菇菌糠堆肥生产有机肥研究[J].中国食用菌,2012,31(4):30-31.
- [4] 李杨,恒明辉,高晓梅,等.杏鲍菇菌糠促进畜禽粪便发酵过程的研究[J].中国土壤与肥料,2014(2):97-100.
- [5] 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.
- [6] 王锋文.太湖沉积物物理化学性质时空变化特征研究[D].广州:暨南大学,2011.
- [7] 高宏英,艾应伟,王克秀,等.坡位与坡向对岩石边坡人工土壤腐殖质组分及有机质的影响[J].水土保持学报,2013,27(6):244-248.
- [8] 屠巧萍.生物质添加对猪粪堆肥腐殖化的影响及机理研究[D].杭州:浙江大学,2014.
- [9] MEUNCHANG S, PANICHSAKPATANA S, WEAVER R W. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill[J]. Bioresource Technology, 2005, 96: 437-442.
- [10] 黄锦楼,陈琴,许连煌.人工湿地在应用中存在的问题及解决措施[J].环境科学,2013,34(1):401-408.
- [11] 陈广银,王德汉,项钱彬.蘑菇渣与落叶联合堆肥过程中养分变化的研究[J].农业环境科学学报,2006,25(5):1347-1353.
- [12] 于子旋,杨静静,王语嫣,等.畜禽粪便堆肥的理化腐熟指标及其红外光谱[J].应用生态学报,2016,27(6):2015-2023.
- [13] 王岩,霍晓婷,王文亮.家畜粪尿的堆肥化处理技术研究 I 通气量、通气温度及搅翻次数的调节[J].河南农业大学学报,2002,36(1):46-49.
- [14] 尹永强,何明雄,韦峥宇,等.堆肥腐熟机理研究进展[J].安徽农业科学,2008,36(23):10053-10055,10058.
- [15] 吴银宝,汪植三,廖新,等.猪粪堆肥腐熟指标的研究[J].农业环境科学学报,2003,22(2):189-193.
- [16] 李杰,郁继华,冯致,等.不同微生物菌剂对牛粪好氧堆肥的影响[J].干旱区资源与环境,2014,28(2):109-113.
- [17] 秦莉,李玉春,李国学,等.城市生活垃圾堆肥过程中腐熟度指标及控制参数[J].农业工程学报,2006,22(12):189-194.

Differences in Characteristics of Composting Composed of Different Spent Mushroom Substrates and Chicken Manure

WANG Nan, YAO Kai, LI Xingji, XU Weichen, LI Wei, WANG Shuai

(College of Plant Science, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin, Jilin 132101)

Abstract: Spent mushroom substrates were the discarded waste materials after the production of edible mushrooms. Different edible mushrooms need the different culture substrate recipes, which hold different characters. The aerobic composting method was utilized to explore the dynamic changes of pH value, C/N ratio, total P content, total K content and germination index of composting composed of spent mushroom substrates of *Pleurotus ostreatus* (I) and *Lentinula edodes* (II) respectively being blended with the *Auricularia auricula-judae* substrates and chicken manure, whose mass ratios were designed for 3:4:3(1), 2:4:4(2) and 1:4:5(3) in the period of 90 d under the condition of greenhouse in order to provide a more reasonable formula for dealing with the resources of spent mushroom substrates. The results showed that, 1) given up the water supply, the six treatments that I-1, I-2, I-3, II-1, II-2, II-3 were transferred into the greenhouse, whose water content increased initially

DOI:10.11937/bfyy.201709032

氮钾配施对设施番茄土壤微生物群落及土壤养分和盐分的影响

何志刚, 娄春荣, 王秀娟, 董 环, 韩 瑛 祚

(辽宁省农业科学院 植物营养与环境资源研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要:为了探明不同氮钾肥用量对番茄根际土壤细菌群落及土壤养分和盐分的影响,以番茄为研究对象,设置不同氮肥和钾肥用量,通过土培盆栽模拟试验,利用高通量测序技术测定根际土壤微生物及土壤养分的变化。结果表明:1)施肥使主要的优势菌群发生明显改变,过量施肥显著降低根际土壤的细菌数量,根际土壤中肠杆菌科(Enterobacteriaceae)细菌的相对丰度明显下降,但鞘脂单胞菌科(Sphingomonadaceae)和黄单胞菌科(Xanthomonadaceae)相对丰度略有增加,细菌种群分布趋于单一化。2)过量施肥导致的土壤电导率(EC)增加、C/N下降,是土壤根际细菌群落发生改变的主要原因。3)过量施肥显著降低番茄株高、茎粗,但叶片叶绿素 SPAD 相对含量却呈现增加趋势,叶片光合作用受到抑制,从而产量明显下降。研究表明,施肥过量是导致设施土壤次生盐渍化的主要因素,次生盐渍化导致土壤中细菌群落发生改变,植株生长受到抑制,从而产量下降。

关键词:土壤微生物;高通量测序;电导率(EC)

中图分类号:S 641.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)09-0148-06

设施农业作为我国农业现代化的重要标志和农业结构调整的重要选择而得到迅速发展,以辽宁省

第一作者简介:何志刚(1978-),男,硕士,副研究员,现主要从事设施土壤等研究工作。E-mail:hezhiang1227@126.com.

责任作者:娄春荣(1966-),男,硕士,研究员,现主要从事设施土壤等研究工作。E-mail:lcllys@126.com.

基金项目:国家现代农业产业技术体系辽宁省科技厅农业攻关资助项目(201415003);辽宁省科技厅创新人才资助项目(2015028)。

收稿日期:2017-02-08

为例,从2008年开始,辽宁省政府启动设施农业建设工程,在政策的推动下,2011年以来,辽宁省设施蔬菜以年均新增超千公顷的速度,实现了跨越式发展。但随着设施农业的迅猛发展,地表长期覆盖栽培改变了土壤原有的生态环境,其温度、湿度、光照、小气候等都发生了很大的变化,土壤经常处于高温、高湿、高蒸发、无雨水淋溶的环境中,同时生产中盲目追求高产采取了高施肥、高用药等管理措施,使土壤的理化性状和生物学特性产生了很大的变化。不合理施肥,特别是大量施用氮肥、钾肥可能是设施栽

and then gradually changed to be a steady state. In the process, the pH values were enhanced significantly in spite of small fluctuations, and ultimately they were increased to the range of 7.5—9.0. In the process, the C/N ratios had a decreased trend with the composting; 2) from the point of physical characteristics, when the mushroom substrates of *Pleurotus ostreatus*, *Auricularia auricula-judae* and chicken manure being blended according to the proportion of 2 : 4 : 4 (I-2, II-2), their color, odor, colony growth and water content would have a better compost maturity; 3) the composting composed of mushroom substrates of *Pleurotus ostreatus*, *Auricularia auricula-judae* and chicken manure, whose total P and total K contents were enhanced first and then reduced in the period of composting. However, the *Lentinula edodes*, *Auricularia auricula-judae* mushroom substrates were mixed by chicken manure according to the ratios of 3 : 4 : 3, 2 : 4 : 4 and 1 : 4 : 5 (I-1, I-2, I-3), their total P and total K contents would be enhanced at the end of composing; 4) When the ratio of *Pleurotus ostreatus*, *Auricularia auricula-judae* and chicken manure was 3 : 4 : 3 (II-1), the 90 days' composting was still unable to ensure the maturity from the perspective of biology, on the contrary, the other two treatments (II-2, II-3) could effectively promote the maturity of compost.

Keywords: spent mushroom substrates; chicken manure; composting; characteristics