

黑木耳菌糠与牛粪不同配比对堆肥养分性状及发芽指数的影响

雷琬莹¹, 李敏娜², 何东锐¹, 盛炳翰¹, 李芳慧¹, 周昶延¹, 王楠^{1*}

(1. 吉林农业科技学院农学院, 吉林 吉林 132101; 2. 中国昆仑工程有限公司吉林分公司, 吉林 吉林 132000)

摘要: 根据黑木耳菌糠与牛粪不同配比下堆肥养分性状及发芽指数(GI)的变化, 筛选两种农业废弃物腐解的最佳配比。采取室内培养法, 将风干、粉碎的黑木耳菌糠与牛粪按照 10:0、9:1、7:3、5:5、3:7、1:9 和 0:10 共 7 个比例混合, 用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液调节适宜的含水率(60%)和碳氮比(25:1), 随后接种微生物腐熟剂进行为期 90 d 的好氧腐解试验, 通过堆肥 pH、总有机碳(TOC)、总养分($\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O}$)、C/N 及 GI 的动态分析, 筛选黑木耳菌糠与牛粪堆肥的最佳比例。结果表明: 各处理下堆肥的 pH、TOC 含量及 C/N 比经 90 d 腐解后均有不同程度下降, 而全氮、全磷、总养分含量及 GI 值有不同程度的增加。黑木耳菌糠与牛粪按照 7:3 混合堆肥后, pH 由 6.94 降至 5.83, TOC 含量及 C/N 比分别降低 41.0% 和 71.9%, T 值获得最小值(0.28), 全氮、全磷、全钾、总养分含量及 GI 值分别增加 109.9%、163.0%、39.7%、124.3% 和 89.0%。经上述腐熟指标的评价, 该比例堆肥的优势明显高于其他处理。

关键词: 黑木耳菌糠; 牛粪; 堆肥; 养分性状; 发芽指数

中图分类号: S141.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)01-0052-05

Effects of Different Ratios of Spent Mushroom Substrate to Cattle Manure on Nutrient Property and Germination Index of Composting

LEI Wanying¹, LI Minna², HE Dongrui¹, SHENG Binghan¹, LI Fanghui¹, ZHOU Changyan¹, WANG Nan^{1*}

(1. College of Agriculture, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin 132101; 2. Jilin Branch of China Kunlun Contracting & Engineering Corporation, Jilin 132000, China)

Abstract: According to the changes in nutrient property and germination index (GI) of compost consisted of spent mushroom substrate and cattle manure in different ratios, the best ratio between two agricultural wastes to fully decompose was revealed. The method of indoor culture was adopted, in which the air-dried, crushed spent mushroom substrate and cattle manure were mixed in 7 proportions of 10:0, 9:1, 7:3, 5:5, 3:7, 1:9 and 0:10. Suitable moisture content (60%) and C/N ratio (25:1) of compost were adjusted by $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solution. Subsequently, the microbial decomposition agent was inoculated into the compost, and the aerobic decomposition test for 90 days was conducted. During the composting, pH value, TOC, total nutrient content ($\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O}$), C/N ratio and GI were analyzed dynamically in order to evaluate the best ratio of spent mushroom substrate to cattle manure. The results showed that: after the aerobic decomposition of 90 days, the pH value, total TOC and C/N ratio of compost had different degrees of reduction, while the total N, P, total nutrient contents and GI value had different degrees of increase. After the decomposition process, the compost consisted of spent mushroom substrate to cattle manure in 7:3, whose pH value was reduced from 6.94 to 5.83, TOC content and C/N ratio were decreased by 41.0% and 71.9%, T value was given the minimum value (0.28), total N, P, K, total nutrient contents and GI value were increased by 109.9%, 163.0%, 39.7%, 124.3% and 89.0%, respectively. This ratio was evaluated by the maturity indicators mentioned above, and its advantage was more obvious over the other ratios.

Key words: Spent mushroom substrate; Cattle manure; Compost; Nutrient property; Germination index

收稿日期: 2019-01-16

基金项目: 国家大学生科技创新创业训练计划项目(201811439017)

作者简介: 雷琬莹(1998-), 女, 在读硕士, 从事植物科学与技术研究。

通讯作者: 王楠, 女, 博士, 副教授, E-mail: wangnan664806@126.com

黑木耳质地柔软、味道鲜美、营养丰富,广受大众喜爱,又因人们对健康饮食的推崇,使得黑木耳消费数量连年上涨,该行业的迅猛发展带动了乡村特色经济,然而,随之而来的是采收黑木耳后所产生的菌糠废料也逐渐增多,因菌糠主要由棉籽壳、锯木屑、稻草、玉米芯及多种农作物秸秆组成^[1],其较高含量的木质素使其难于单独腐解。菌糠在黑木耳采摘后即被认为是农业固体废弃物,肆意丢弃极易发霉,而发霉的菌糠又不宜作二次栽培料^[2],由此逐渐成为制约黑木耳产业良性发展的屏障。据悉,菌糠能够作为二次栽培料回收的比例很小,焚烧又会引发二次环境污染,饲料化又不利于适口性的提高,鉴于其容重小、疏松、通气性好且养分含量高,堆肥化处理是菌糠资源化利用的最佳途径^[3]。

李杨等^[4]研究认为,添加杏鲍菇菌糠能够增加鸡粪、猪粪等堆料的孔隙度,有效缩短堆肥时间,在此过程中,堆料有机碳含量下降,全磷、全钾因浓缩效应而缓慢上升。吴飞龙等^[5]研究结果表明,添加菌糠能够缩短堆肥进入高温期的时间且有利于堆肥脱水。Meng等^[6]研究认为,添加菌糠和蔗糖能够提高污水污泥堆肥产品的脱氢酶活性,更有利于有机质降解,加快堆肥的腐熟进程。而针对黑木耳菌糠,当前尚无合理可行的配方能使之充分腐解^[2],其较高含量的木质素、较低的养分含量成为制约其堆肥、资源化利用的关键。而牛粪中有机碳含量相对较低,养分含量丰富,可作为调理剂,在化学成分上更好弥补菌糠性状的不足,然而两者间适宜的配比是堆肥成功与否的关键。Zhou等^[7]研究指出,猪粪与菌糠按照9:1、8:2和7:3混合堆肥后可满足发芽指数大于80%的腐熟条件。尽管如此,关于黑木耳菌糠与牛粪间共堆肥的适宜比例尚未见报道。鉴于此,本研究采用室内培养法,以黑木耳菌糠为基础原料,通过不同比例牛粪的添加,试图通过腐解物料pH、总有机碳、总养分、C/N比及GI的动态分析,筛选黑木耳菌糠与牛粪充分腐解的最佳配比,为两种农业废弃物资源化利用提供技术参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

黑木耳菌糠、牛粪由吉林省丰禾育苗营养土有限公司提供。微生物腐熟剂购于金禾佳农(北京)生物技术有限公司,有效活菌数 ≥ 5.0 亿。称取30 g腐熟剂于1 000 mL锥形瓶中,加入300 mL蒸

馏水,在28℃气浴振荡器中摇瓶培养24 h,4 000 r/min离心后收集上清液,即为腐熟剂。

1.2 试验设计

采取室内培养法,将黑木耳菌糠与牛粪晾晒风干、粉碎过0.10 mm筛,共设7个处理:(I)仅黑木耳菌糠;(II)黑木耳菌糠:牛粪=9:1;(III)黑木耳菌糠:牛粪=7:3;(IV)黑木耳菌糠:牛粪=5:5;(V)黑木耳菌糠:牛粪=3:7;(VI)黑木耳菌糠:牛粪=1:9;(VII)仅牛粪,每个处理重复3次。将物料按照不同处理要求混匀,装入3 L聚乙烯塑料桶中,混料总重为1.5 kg,用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液调节混料适宜的含水量(60%)及C/N比(25:1),随后均匀接种100 mL微生物腐熟剂,启动90 d腐解进程,期间按照0、15、30、60、90 d动态取样,每次取样0.3 kg,在鼓风干燥箱中45℃风干至恒重,粉碎过0.10 mm筛,备用。

1.3 测试方法

(1)pH值:用蒸馏水浸提物料,固液质量比为1:10,过滤后立即采用上海雷磁仪器厂制造的pHS-3C型酸度计进行测定。

(2)全氮(N)、总有机碳含量(TOC):分别采用凯氏定氮法和重铬酸钾氧化法测定,两者之比即为物料C/N比。

(3)全磷(P_2O_5)、全钾(K_2O):采用硫酸-过氧化氢消煮,钒钼黄比色法、火焰光度法分别测定。

(4)发芽指数(GI):称取5 g堆肥新鲜样,按质量体积比(g:mL)1:10用去离子水浸提,振荡2 h,取浸提液离心后过滤,吸取5 mL滤液加到铺有滤纸的培养皿中,每个培养皿中点播10粒玉米种子,放置于20℃培养箱中避光培养,72 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^[8]。计算公式为:

$$GI(\%) = \frac{\text{堆肥浸提液种子发芽率}(\%) \times \text{种子根长}(\text{mm})}{\text{蒸馏水种子发芽率}(\%) \times \text{种子根长}(\text{mm})} \times 100$$

1.4 数据处理方法

采用Excel 2003和SPSS 18.0软件对数据进行整理并进行单因素方差分析(Duncan's法)。

2 结果与分析

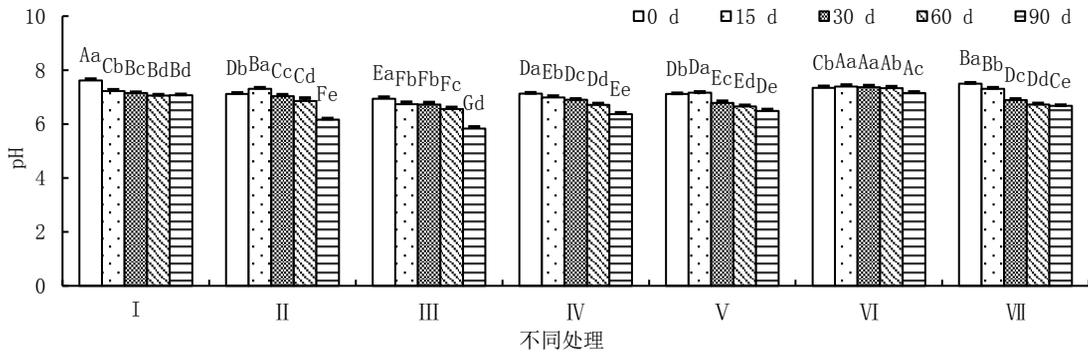
2.1 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料pH的影响

由图1可知,0 d仅黑木耳菌糠和牛粪存在的物料中,pH分别为7.62和7.50,均大于两者混合后物料的pH。混料pH值历经90 d腐解各处理均表现为不同程度的下降趋势,pH由0 d的6.94~

7.62, 降至 90 d 腐解完成后的 5.83 ~ 7.15, 均符合 NY525-2012 有机肥料农业行业标准对 pH 值的要求。其中, 混料在 III 处理 90 d 腐解后下降的幅度最大, 为 16.0%, 其次为 II 处理 13.5%, 下降幅度最小

的是 VI 处理 2.6%。可见, 黑木耳菌糠、牛粪以 7:3 比例混合腐解时, pH 由 6.94 降至 5.83。

2.2 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对堆肥总有机



注: 柱状图上标注的不同小写字母代表不同腐解天数下的差异显著性 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同一腐解天数处理间的差异显著性 ($P < 0.05$), 下同

图 1 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料 pH 的影响

碳 (TOC)、C/N 比及 T 值的影响

由图 2 可知, 随着腐解天数的增加, 各处理物料 TOC 含量均有明显的下降趋势, 整体上由 43.2% ~ 57.0% 降至 25.5% ~ 44.9%。与 0 d 相比, 90 d 腐解完成后, 物料 TOC 含量降低幅度最大的

源自 III 处理 41.0%, 其次为 II 处理 38.6%, 降低幅度最小的为 VII 处理 10.4%。可见, 黑木耳菌糠、牛粪以 7:3 比例混合腐解时对 TOC 的矿化程度最高, TOC 含量由 43.2% 降至 25.5%。

由图 3 可知, I ~ IV 处理在 0 d 时 C/N 比显著高

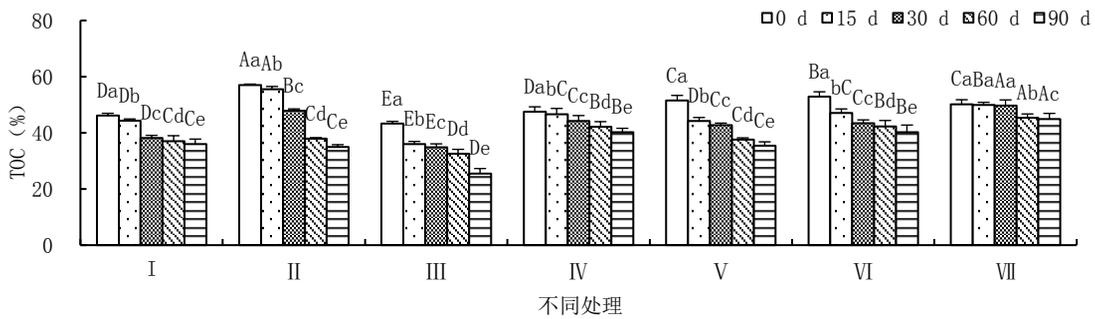


图 2 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料 TOC 含量的影响

于 V ~ VII 处理, 可见, 牛粪的添加有助于降低混料的 C/N 比。随着腐解进行, 各个处理的 C/N 比均呈渐趋降低的趋势, 降低幅度依次为 41.3%、59.4%、71.9%、61.2%、53.3%、34.6% 和 37.3%, 历经

90 d 腐解 III、V 和 VII 处理的 C/N 比分别降至 16.5、17.6 和 18.6。可见, 处理 III 在降低 C/N 比方面具有明显优势。

$T[(C/N)_{\text{终点}}/(C/N)_{\text{起点}}]$ 可以作为腐熟程度评价的

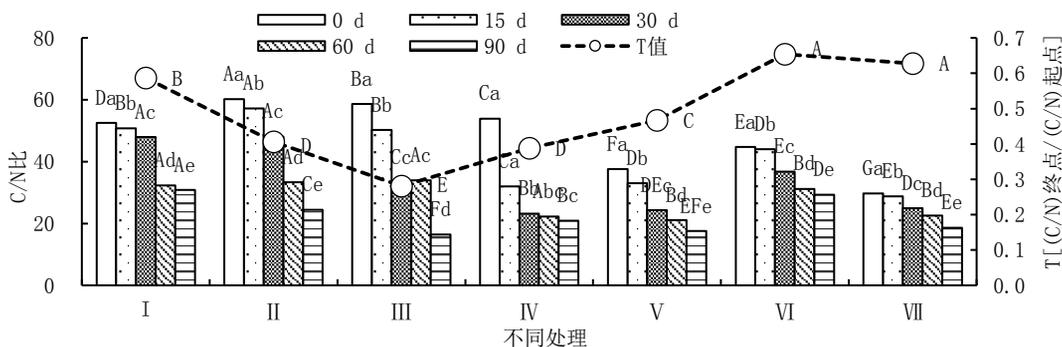


图 3 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料 C/N 比及 T 值的影响

另一指标,当T值小于0.6时可认为堆肥基本达到腐熟^[9]。根据这一原理,又对处理间的T值进行比较,经计算,处理Ⅲ的T值最小,为0.28,而Ⅵ和Ⅶ处理的T值均大于0.6,分别为0.65和0.63。

2.3 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料总养分及N、P₂O₅、K₂O分配的影响

由图4可知,历经90 d腐解,7个处理均可有效提高物料N含量,与0 d相比,Ⅲ处理物料N含量的增加幅度最大,达109.9%,其次为Ⅵ处理95.9%,Ⅳ处理的增加幅度最小,仅为29.4%。各

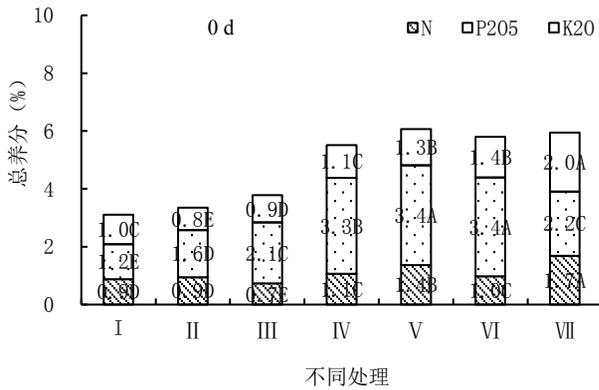


图4 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料总养分及N、P₂O₅、K₂O分配的影响

由图4可知,各处理总养分中的P₂O₅含量均为最大。与0 d相比,90 d腐解均有助于各处理总养分含量的提升。未进行腐解之前,仅有Ⅳ~Ⅶ处理的总养分大于5.0%,腐解后7个处理总养分含量均大于5.0%,符合NY525-2012有机肥料农业行业标准,Ⅲ处理经过90 d腐解后,总养分含量(8.3%)及增加幅度(124.3%)均达到最大。

2.4 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料种

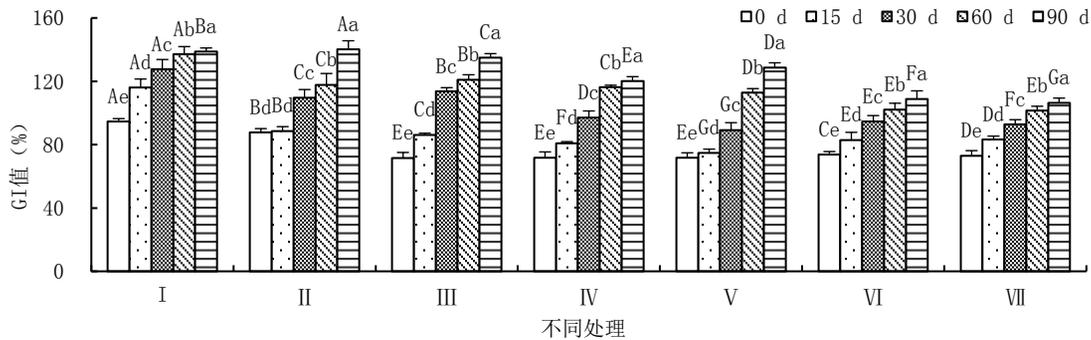
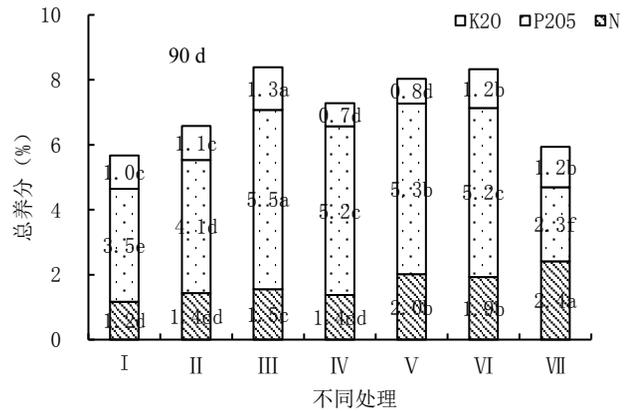


图5 黑木耳菌糠与牛粪不同配比对腐解物料GI值的影响

pH是反映堆肥腐殖化进程及判断堆肥是否腐熟的基本指标^[10]。各处理混料pH值历经90 d腐解均表现为不同程度的下降趋势,由初始的6.94~7.62降至5.83~7.15。上述规律与于子旋等^[11]的结论一致。中性或弱碱性环境是微生物最适宜生存的环境^[12],在物料腐解初期,pH处于6.94

处理P₂O₅含量也呈明显的增加趋势,增加幅度最大的为I处理187.1%,其次为Ⅲ处理163.0%,而Ⅶ处理几乎没有变化,I~Ⅲ处理P₂O₅的增加幅度要远大于Ⅳ~Ⅶ处理,可见,黑木耳菌糠比例较高时更有利于腐解物料P₂O₅含量的提高。与0 d相比,90 d腐解后仅有Ⅱ和Ⅲ处理使物料K₂O含量增加,增加幅度分别为35.4%和39.7%,Ⅳ~Ⅶ处理物料的K₂O含量均有所消耗,降低幅度在15.2%~39.1%之间。

总养分含量是指N、P₂O₅和K₂O含量的加和,



子发芽指数(GI)的影响

由图5可知,随着腐解进行,7个处理的GI值均呈明显增加趋势,与0 d相比,I~Ⅶ处理GI值增加幅度依次为:46.7%、59.9%、89.0%、67.4%、79.5%、47.7%和46%,显而易见,Ⅲ处理增加幅度明显高于其他处理。历经90 d腐解,各处理物料的GI值均处于106.4%~140.1%的范围。

3 讨论与结论

~7.62的范围,微生物活性较高,物料降解使小分子有机酸得以积累,而在中后期,含氮有机物分解产生大量NH₃,使pH降低的趋势有所减缓甚至略有增加,如本试验的处理I,后期NH₃的挥发速率减慢,硝化细菌活性增强,硝化作用产生H⁺,致使物料pH再度降低^[13]。在各处理中,黑木耳菌

糠、牛粪以7:3比例混合堆肥时,pH的降低幅度最大,由6.94降至5.83。

碳是微生物参与腐解进程的主要能源,在有机物料腐解过程中,微生物消耗大量碳水化合物,总有机碳遭致矿化而降低,全氮含量被消耗,然而因物料矿化释放 CO_2 和 NH_3 而失重,浓缩效应使N含量增加,作为衡量堆肥质量重要指标之一的C/N比有降低趋势^[4]。本研究中,随着腐解天数的增加,各处理物料TOC含量及C/N比均有明显下降趋势,Ⅲ处理TOC含量及C/N比的降低幅度分别为41.0%和71.9%,在各处理中腐解优势最为明显。当堆肥C/N比下降至15~20时,即可认定堆肥产品腐熟^[4],Ⅲ处理在完成腐解后物料的C/N为16.5,已达到理论上的腐熟状态。Ⅲ处理的T值为0.28,小于0.6,也可确认堆肥基本达到腐熟^[9]。

N、 P_2O_5 和 K_2O 含量是有机物料发挥肥效、促进植物生长的核心因素,也是NY525-2012标准的刚性要求,可作为评价有机肥料质量的重要考核因素^[15-16]。历经90 d腐解,7个处理均可有效提高全氮、全磷及总养分含量,而全钾含量增减不一。好氧堆肥使有机物料发生矿化分解,尽管微生物活动及自身合成需要消耗N、 P_2O_5 等养分,但物料矿化失重的幅度更大,因此产生“浓缩效应”^[17],使腐解后物料的N、 P_2O_5 等养分浓度增加, K_2O 未参与物料矿化及有机质的合成,浓缩效应可能使其含量增加、矿物固定也可能使其含量降低,尽管增减规律不一,但变化幅度均较小,受到N、 P_2O_5 增加的影响,总养分含量随之增加。Ⅲ处理经腐解后N、 P_2O_5 、 K_2O 及总养分含量分别增加109.9%、163.0%、39.7%和124.3%。

作为生物指标,GI值可反映堆肥产品的植物毒性,被认为是最敏感、最可靠的堆肥腐熟评价指标^[6, 18]。在本研究中,腐解后7个处理的GI值均有明显增加,在堆肥完成后,各处理的GI值均介于106.4%~140.1%。当堆肥GI值大于80%时,可认为堆肥完全腐熟^[3, 19]。据此可推断,7个处理腐解完成后均达到“对植物种子无毒害,可促进堆肥腐熟”的标准,Ⅲ处理GI值的增加幅度(89.0%)最大。堆肥中菌糠比例的增加将潜在影响到种子萌发,因此要控制菌糠在堆肥中的比例^[20]。Ashrafi等^[21]将N、 P_2O_5 含量增加,TOC和C/N比降低视作菌糠堆肥腐熟进程的标志。电导率 $\leq 3\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 、 NH_4^+-N 浓度 $\leq 400\ \text{mg}/\text{kg}$ 、 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 浓度之比 ≤ 0.16 、 $\text{CEC} \geq 60\ \text{cmol}/\text{kg}$ 也可作为堆肥腐熟的指

标^[22]。在本试验中,以养分状况和发芽指数作为评价指标,黑木耳菌糠与牛粪按照7:3混合堆肥后N、 P_2O_5 含量及GI值增加,pH、TOC和C/N比降低,堆肥效果明显优于其他处理,而为了精准评价堆肥产品的质量,仅以有机肥料行业标准(NY525-2012)和发芽指数作为评价依据又略显单一,尚需借助更多指标进行多重评价才能确保堆肥产品的高质量产出。

参考文献:

- [1] 王金贺,王延锋,史磊,等.黑木耳菌糠对五种蘑菇的化感效应及栽培技术研究[J].食用菌,2013,35(3):31-33.
- [2] 王楠,张溪,刘镜娴,等.不同菌糠废料、鸡粪配比对堆肥质量的影响[J].河南农业科学,2017,46(4):49-54.
- [3] Zhang D F, Luo W H, Li Y, et al. Performance of co-composting sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste at different proportions[J]. Bioresource Technology, 2018, 250: 853 - 859.
- [4] 李杨,桓明辉,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] 吴飞龙,叶美锋,吴晓梅,等.添加菌糠对猪粪渣堆肥过程及氨排放的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(3):598-604.
- [6] Meng L Q, Zhang S M, Gong H N, et al. Improving sewage sludge composting by addition of spent mushroom substrate and sucrose[J]. Bioresource Technology, 2018, 253: 197-203.
- [7] Zhou J M, Wang L T, Wang H M, et al. Effects of different ratios of pig manure to fungus residue on physicochemical parameters during composting[J]. Journal of the air & waste management association, 2016, 66(5): 499-507.
- [8] 王楠,姚凯,李兴吉,等.不同种类食用菌菌糠与鸡粪堆腐的性状差异研究[J].北方园艺,2017(9):143-148.
- [9] 刘冉,董莎,姚志超,等.黑木耳菌糠有机肥的制备及肥效研究[J].东北农业科学,2018,43(6):20-24.
- [10] 王若斐,薛超,刘超,等.起爆剂促进猪粪堆肥腐熟研究[J].土壤,2017,49(6):1092-1099.
- [11] 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.
- [12] 牛巧龙,卢显芝,田秀平,等.园林绿化废弃物堆肥过程中碳氮养分变化规律[J].中国农学通报,2016,32(18):109-113.
- [13] 周江明,王利通,徐庆华,等.适宜猪粪与菌渣配比提高堆肥效率[J].农业工程学报,2015,31(7):201-207.
- [14] 马开星,邹长明,赵建荣.鸡粪堆肥腐熟过程中腐熟度参数的变化[J].中国农学通报,2011,27(3):289-292.
- [15] 周德兴,袁大伟,何七勇.有机堆肥对作物生长和土壤改良的作用[J].上海农业科技,2012(5):103-105.

(下转第93页)

(上接第56页)

- [16] 宋春,徐锋,赵伟,等.羊粪-玉米秸秆高温堆肥优化

ternational agriculture: crop modeling study[J]. Agency of US Environment Protection, 1994, 15(4): 66-73.

[2] Brown R A, Rosenberg N J. Sensitivity of crop yield and water use to change in a range of climate factors and CO₂ concentrations: a simulation study applying EPIC to the central USA[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 83(3-4): 171-203.

[3] Schlenker W, Roberts M J. Nonlinear effects of weather on corn yields[J]. review of Agricultural Economics, 2006, 28(3): 391-398.

[4] 韩芳玉,张俊彪,程琳琳,等.气候变化对中国水稻产量及其区域差异性的影响[J].生态与农村环境学报,2019,35(3):283-289.

[5] 周文魁.气候变化对我国水稻生产的影响及科技应对措施[J].江西农业学报,2014,26(9):75-79.

[6] 刘婷婷,王立群,王 辉,等.大气CO₂浓度对水稻食味品质的影响[J].东北农业科学,2017,42(2):49-52.

[7] 吴海燕.东北地区主要粮食作物对气候变化的响应及其产量效应[J].农业资源与环境学报,2014,31(4):299-307.

[8] 朱红根,周曙东.南方水稻对气候变化的脆弱性分析—以江西为例[J].农业现代化研究,2010,31(2):208-211.

[9] Reyenga P J, oeden S M, Meinke H,et al. Global change impacts on wheat production along an environmental gradient in South Australia[J]. Environment International, 2001(27): 195-200.

[10] 王丽妍,杨成林,徐惠风.氮肥运筹对寒地水稻生长及产量的影响[J].东北农业科学,2017,42(5):15-19.

[11] 王 萍,李秀芬,姜丽霞,等.气候变化背景下黑龙江省主栽作物稳产类型区划[J].东北农业科学,2019,44(4): 85-88.

[12] 赵 锦,杨晓光,刘志娟,等.全球气候变暖对中国种植制度可能影响II:南方地区气候要素变化特征及对种植制度界限可能影响[J].中国农业科学,2010,43(9): 1860-1867.

[13] 金之庆,葛道阔,陈 华,等.全球气候变暖对我国南方水稻生产的影响[J].南京林业大学学报,1991,35(10): 11-19.

[14] 郝志新,郑景云,陶向新.气候变暖背景下的冬小麦种植北界研究—以辽宁省为例[J].地理科学进展,2001,20(3): 254-261.

[15] 纪瑞鹏,班显秀,张淑杰.辽宁冬小麦北移热量资源分析及区划[J].农业现代化研究,2003,24(4): 264-266.

[16] 熊 伟,林而达.中国粮食生产的综合因素分析[J].地理学报,2010,65(4):11821-11827.

[17] 江 敏.基于自适应调整的福建省水稻生产气候变化影响研究[D].福州:福建农林大学,2012.

[18] 张 露.农业对气候变化响应研究的进展与前瞻:以水稻为例[J].中国农业大学学报,2016,21(8):150-158.

[19] 邱美娟,王冬妮,王美玉,等.近几十年吉林省水稻品质气候资源变化状况[J].东北农业科学,2018,43(2):54-59.

[20] 陈 帅.气候变化对中国粮食生产的影响—基于县级面板数据的实证分析[J].中国农村经济,2016,13(5):54-59.

[21] 周 力,周曙东.极端气候事件的灾后适应能力研究—以水稻为例[J].中国人口资源与环境,2012,22(4):167-174.

[22] 张瑜洁.气候变化对南方地区水稻生长影响的试验研究[D].北京:中国农业科学院,2014.

[23] 谢立勇,李 悦.粮食生产系统对气候变化的响应:敏感性与脆弱性[J].中国人口资源与环境,2014,24(5):28-37.

[24] 周文魁.气候变化对中国粮食生产的影响及应对策略[D].南京:南京农业大学,2012.

[25] 周曙东,朱红根.气候变化对中国南方水稻产量的经济影响及其适应策略[J].中国人口资源与环境,2010,20(10) 55-63.

[26] 杨 修,孙 芳,林而达,等.我国水稻对气候变化的敏感性和脆弱性[J].自然灾害学报,2004,10(5):88-92.

[27] 朱 珠,陶福祿,娄云生,等.江苏省水稻产量对气候变化的敏感性研究—基于县级和站点尺度[J].资源科学,2013,12(5):43-57.

[28] 熊 伟,杨 婕.中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性[J].生态学报,2013,17(9):76-83.

[29] 谢 云.中国粮食生产对气候资源波动响应的敏感性分析[J].资源科学,1999,8(11):39-51.

[30] 张卫建,陈 金,徐志宇,等.东北稻作系统对气候变暖的实际响应与适应[J].中国农业科学,2012,45(7):69-78.

[31] 付莲莲.江西省气候变化的特征及其对水稻产量的贡献—基于“气候-经济”模型[J].长江流域资源与环境,2016,25(4):591-598.

[32] 孙志超,郭 琦,刘小丹,等.基于综合气候因素聚类方法的吉林省种植区域简明划分探析[J].东北农业科学,2018,43(3):13-19.

[33] 赵跃龙.全球气候变化对美国农业经济影响的再评估[J].地理翻译报,1996,15(12):88-95.

(责任编辑:王 昱)



配比研究[J].四川农业大学学报,2018,36(2):138-144.

[17] 范肖龙,文素芸,陈 佳,等.碳氮比对白三叶和小麦秸秆堆肥的肥力影响[J].西北农业学报,2018,27(9):1322-1327.

[18] 黄国锋,吴启堂,孟庆强,等.猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价[J].华南农业大学学报,2002(3):1-4.

[19] 刘 超,徐 谓,顾文文,等.典型畜禽粪便配伍食用菌菌渣堆肥研究[J].中国农学通报,2018,34(21):84-90.

[20] Aamlid T S, Landschoot P J. Effect of spent mushroom substrate on seed germination of cool-season turfgrasses[J]. HortScience, 2007, 42(1): 161-167.

[21] Ashrafi R, Rahman M M, Jahiruddin M, et al. Quality assessment of compost prepared from spent mushroom substrate[J]. Progressive Agriculture, 2014, 25: 1-8.

[22] Gao M C, Liang F Y, Yu A, et al. Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios[J]. Chemosphere, 2010, 78: 614-619.

(责任编辑:王 昱)