

菌剂添加对牛粪堆肥氮素变化及腐熟度影响

王守红¹, 朱凌宇¹, 徐 荣², 张家宏¹, 寇祥明², 王桂良², 韩光明², 唐鹤军², 毕建花²

(1. 江苏里下河地区农业科学研究所, 扬州 225007; 2. 江苏省生态农业工程技术研究中心, 扬州 225009)

摘 要: 为揭示外源菌剂添加条件下牛粪堆肥氮素变化规律, 探明菌剂组成对氮素转化和腐熟的影响机制, 优选兼有保氮和促腐作用的功能菌剂配方, 采用正交设计法, 设置 4 个菌剂配方, 并以加入商品菌剂和自然堆肥作为对照, 研究牛粪堆肥过程的氮素变化和腐熟程度。结果表明, 堆肥过程的降温腐熟阶段氮素有较大损失, 以全氮、有机氮、铵态氮降幅较大。组成中较高比例的霉菌和酵母菌在降低全氮和有机氮的损失及促进腐熟方面作用显著; 菌剂配比不当反而会影响腐熟。以枯草芽孢杆菌:地衣芽孢杆菌:绿色木霉:黑曲霉:酵母菌=0.5:0.5:1:1:2 的菌剂配比, 腐熟质量及保氮效果最好, 优于市售菌剂。改善降温期真菌种群丰度和比例, 是改良配方的关键。

关键词: 菌剂; 配比; 牛粪堆肥; 氮素变化; 腐熟

中图分类号: X713

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)04-0659-06

Nitrogen changes and maturity of cow manure composting influenced by microbial inoculum

WANG Shouhong¹, ZHU Lingyu¹, XU Rong², ZHANG Jiahong¹, KOU Xiangming²,
WANG Guiliang², HAN Guangming², TANG Hejun², BI Jianhua²

(1. Agricultural Science Research Institution of Lixiahe Area in Jiangsu Province, Yangzhou 225007;

2. Research Center of Eco-agricultural Engineering and Technology of Jiangsu Province, Yangzhou 225009)

Abstract: To reveal nitrogen changes in cow manure composting with addition of exogenous inoculum and the effects and mechanism of inoculum proportion on nitrogen transformation and maturity of the manure compost, and to optimize microbial inoculum formula that is suitable for nitrogen-conserving and decay accelerating, four treatments of microbial inoculums was set up using the uniform design method with the commercial microbial inoculum and natural compost as the control to study nitrogen and maturity index. The results indicated that N lost heavily during the rotten phase with a low temperature, of which, TN (total nitrogen), ON (organic nitrogen) and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ greatly reduced. A rather high proportion of mycete and saccharomycete in constitutes played a significant role in alleviating N lose and promoting maturity; however, an improper proportion would affect maturity. The NF_3 treatment had a better effect than the commercial inoculum. Optimizing the abundance and ratio of fungi in the cooling phase is the key to improving formula.

Key words: microbial inoculum; proportion; cow manure composting; change of nitrogen; maturity

高温好氧堆肥是目前对畜禽粪便实现无害化、资源化利用的有效途径, 人工加入微生物菌剂可以提高微生物活性、缩短发酵周期和提高堆肥制品质量^[1-2], 在商品化堆肥中应用广泛。然而, 畜禽粪便高温堆肥过程中氮素损失严重, 研究表明氮素损失范围在 16%~74% 之间, 以氨挥发占绝大部分^[3]。畜禽粪便堆肥物料中添加微生物菌剂可减少氮素损

失, 促进有机质分解转化, 加快畜禽粪便发酵进程^[4]。堆肥过程中氮的转化与物料性质、温度、pH 值及堆肥中微生物种类及分布变化有关^[5], 目前关于添加微生物菌剂条件下堆肥过程中氮素动态变化及微生物的影响机制研究较为缺乏。在堆肥的不同阶段(升温期、高温期和腐熟期)存在着性质不一的优势种群^[6], 它们通过互作效应共同影响堆肥过

收稿日期: 2017-02-20

基金项目: 江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(BE2014680), 江苏省“333工程”培养基金项目(BRA2015178), 江苏省农业自主创新资金项目(CX(16)1003-06), 江苏里下河地区农业科学研究所基金项目(2015)和扬州市科技计划项目(YZ2014210、YZ2016036)共同资助。

作者简介: 王守红, 副研究员。E-mail: yzwish@126.com

程的氮素变化及腐熟进程。市售菌剂中微生物种类繁多,但由于物料性质差异及菌群拮抗作用等,效果往往不甚理想。本试验根据前期自然堆肥筛得的优势菌种进行复配,并与市售菌剂和自然堆肥进行对比,研究添加微生物菌剂条件下堆肥各阶段中氮素动态变化、转化规律及微生物作用机制,探讨不同菌剂配比对于降低氮素损失和促进腐熟产生差异性的原因,为商品有机肥生产优选兼具保氮和促腐功能的菌剂、优化牛粪堆肥菌剂配方、降低堆肥过程中的氮素流失提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

堆肥原料牛粪取自于扬州荷龙奶牛场,基本理

化性质见表1。

试验菌组成从前期自然堆体中筛得的优势菌中选取,包括芽孢杆菌、霉菌和酵母菌。试验菌种均从市场购得,其中枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、绿色木霉和黑曲霉购自潍坊绿陇生物技术有限公司,酵母菌购自扬州绿科生物技术有限公司。市售菌剂购自江阴联业生物科技有限公司。

1.2 试验设计

采用正交设计法,根据各菌种作用及其适宜生存温度,对功能微生物按一定比例进行复配,设计4个菌剂配方。以加入不同菌剂配方堆肥作为处理,分别是NF₁、NF₂、NF₃和NF₄;另以不加菌剂(CK₀)和加入市售商品菌剂(CK₁)堆肥作为对照,总计6个处理,各菌剂配比见表2。

表1 堆肥原物理化指标

Table 1 Physicochemical indexes of composting material

项目 Item	pH	电导率/mS·cm ⁻¹ EC	有机质/% OM	全氮/g·kg ⁻¹ TN	硝态氮/g·kg ⁻¹ NO ₃ ⁻ -N	铵态氮/g·kg ⁻¹ NH ₄ ⁺ -N
牛粪 Cow manure	8.05	3.84	39.03	10.58	0.37	0.23

表2 不同处理微生物菌剂配比

Table 2 The ratio of microbial agents in each treatment

处理 Treatment	枯草芽孢杆菌 <i>B. subtilis</i>	地衣芽孢杆菌 <i>B. licheniformis</i>	绿色木霉 <i>T. viride</i>	黑曲霉 <i>A. niger</i>	酵母菌 <i>Saccharomyces</i>	堆肥有效活菌数/10 ⁸ ·g ⁻¹ Living bacteria count
NF ₁	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.375
NF ₂	1	1	0.5	0.5	2	0.428
NF ₃	0.5	0.5	1	1	2	0.296
NF ₄	1	1	1	1	1	0.416
CK ₀	堆体土著微生物,比例未知 Unknown ratio of indigenous microorganism					未知 Unknown
CK ₁	解淀粉芽孢杆菌、酵母菌、枯草芽孢杆菌、哈慈木霉,配比未知 Unknown ratio of saled microbial inoculum					0.375

1.3 试验过程

实施地点:试验于2015年6月15日在扬州满春园生物科技有限公司试验基地进行。

建堆:采用条垛式堆肥,建制长、宽和高约1.5 m的牛粪堆体,按4%比例均匀撒入菌剂,充分混合、搅拌均匀,调节含水率约60%~65%,C/N约25。堆肥开始后,每7 d翻堆1次,试验共进行50 d。

采样:分别于堆肥第1、4、13、20、27、34、42和48 d按照5点混合取样法采集鲜样,每处理采样约0.5 kg。采集的样品分为2份,一份自然风干,一份密封后于-4℃冷藏保存。

1.4 测定项目及方法

温度:每天上午10:00测定温度,在距堆体表

面30 cm左右深度以不同方向插入温度计,重复3次。

化学指标:监测堆肥过程中的总氮、碱解氮、铵态氮、硝态氮、有机氮和电导率(EC),按常规方法分析测定^[7]。

种子发芽指数(GI):将牛粪样品按水料比3:1浸提,160 r·min⁻¹震荡1 h后过滤。吸取滤液5 mL于铺有滤纸的培养皿中,滤纸上均匀摆放20粒雪里蕻种子,在培养箱25℃黑暗条件下培养48 h,计算种子发芽率并以游标卡尺刻度为标准,量取种子根长,各处理重复3次,以去离子水做空白对照。种子发芽指数(%)=(添加菌剂处理的种子发芽率×添加菌剂处理的种子根长)/(对照种子发芽率×对照种子根长)。

2 结果与分析

2.1 不同菌剂对堆肥温度变化的影响

各处理牛粪堆肥的温度总体呈现一致的变化趋势。堆肥后 1 d, 温度迅速上升至 50℃ 以上; 在堆肥前 34 d, 温度保持在 50~65℃ 之间。在高温期, 各处理温度变化差异不大, 期间出现反复的波动起伏, 是由于不断翻堆造成温度散失所致。34 d 后堆肥进入降温期, 此时各处理温度差异开始显现, 除 NF₁ 外, 各处理温度均高于 CK₀ (见图 1)。可能原因是当外界条件适宜, 堆肥物料中的土著微生物足以在短时间内迅速繁殖, 达到较大的数量^[8-9], 并在堆肥微生物系统中占主导地位; 随着温度下降, 菌剂中的外源微生物逐渐演替为优势种群, 维持温度的稳定。各处理高温期持续时间有所差异, 其中 NF₁~NF₄ 处理在 55℃ 以上天数分别为 12 d、13 d、13 d 和 17 d, CK₁ 和 CK₀ 均为 15 d。根据堆肥卫生学要求, 堆肥最高堆温在 50~55℃ 以上持续 5~7 d 可完全杀死细菌、虫卵, 所有处理均达到无害化标准。

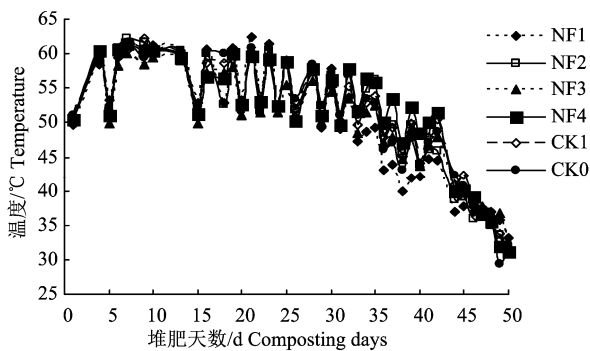


图 1 堆肥过程中堆温的变化

Figure 1 Changes of temperature during composting

2.2 不同菌剂对堆肥过程氮素变化的影响

2.2.1 对全氮变化的影响 各处理全氮含量均较堆肥初期有所下降, 表现出不同程度的氮素损失。CK₀~NF₄ 全氮含量分别比初始降低 36.44%、46.81%、59.62%、12.41%、27.03% 和 32.42%。除 NF₁ 以外, 配比菌剂处理全氮降幅均低于对照和市售菌剂处理, 对氮素损失表现出一定抑制作用。在堆肥前期 (0~27 d), 各处理全氮以累积为主, 表现为不同程度的上升, 其中 CK₀、NF₁、NF₂ 和 NF₄ 在前 13 d 达到峰值, 这是由于牛粪中 C/N 较高, 微生物对碳的利用速度高于对氮的利用速度, 减少氮的损耗^[10], 引起氮的相对累积。同时, 高温环境加快了有机物分解过程中产生的 CO₂、H₂O 的散失,

造成氮的“浓缩”^[11]。各处理全氮含量在堆肥 0~27 d 无显著差异, 但至堆肥 42 d 时, 处理 NF₂、NF₃ 显著高于其他几个处理 ($P < 0.05$), 这是由于在降温期发生大量氮素损失所致。除 NF₂ 和 NF₃ 以外, 各处理全氮量在 27 d 之后均大幅下降, 造成处理间的显著差异 (见图 2)。NF₂ 和 NF₃ 处理在堆肥末期全氮含量有小幅回升, 可能与含有较高比例的酵母菌有一定关系。在堆肥发酵后期, 固氮菌的数量显著增加^[12], 固氮菌的固氮作用使含氮物质向微生物量氮转化, 提高物料中的全氮含量^[13]。酵母菌在降温期的大量繁殖是否对固氮菌产生影响及其影响机理还有待进一步研究。可见, 堆肥的降温阶段对整个过程的氮素流失具有较大贡献, 接种微生物在种类、含量和比例上的差异, 也会影响氮素变化, 并最终造成保氮效果上的差异。

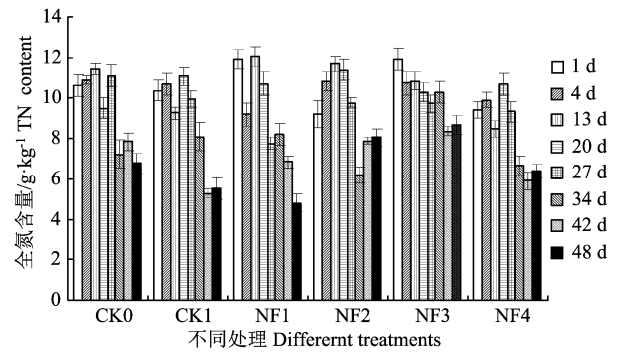


图 2 堆肥过程中全氮含量的变化

Figure 2 Changes of total nitrogen during composting

2.2.2 对有机氮变化的影响 牛粪堆肥原料中, 氮素以有机氮为主。在堆肥高温期, 各处理保持较高的有机氮水平, CK₀~NF₄ 各处理占总氮的比例分别为 96.86%、96.19%、91.07%、95.81%、93.55% 和 93.15%。在堆肥过程中, 各处理有机氮含量和总氮变化一致, 呈现先升后降的变化趋势。在堆肥前期, 各处理有机氮含量有所提高, 可能是由于微生物对碳氮源的选择所造成。由于牛粪有机碳含量丰富, 微生物优先利用碳源, 有机碳的分解速度大于有机氮, 部分有机氮不能被及时利用而富集。随着有机碳不断被分解减少, 碳源成为限制因子, 微生物开始利用有机氮供能, 有机氮含量下降。其中, NF₂、NF₃ 和 NF₄ 处理降幅较小, 分别下降 38.17%、35.37% 和 49.67%, 低于 CK₀ 和 CK₁ (见图 3)。可见加入适当配方的菌剂能减少堆肥有机氮的损失, 促进堆肥后期有机氮的形成^[14], 可能是不同菌种对碳氮比的需求不同所致, 本试验中以 NF₃ 处理对有机氮的保持效果最好。在堆肥降温期, 各处理有机氮占比

均有所下降，表明氮素形态发生改变，部分有机氮被微生物自身同化，部分转化为氨气或氮氧化物排放，部分被转变蛋白氮和硝酸盐氮^[15-16]。

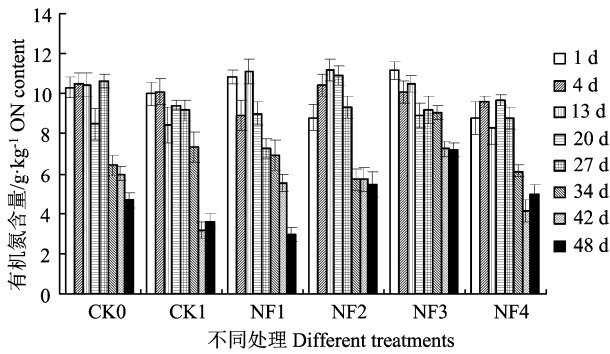


图 3 堆肥过程中有机氮含量的变化

Figure 3 Changes of organic nitrogen during composting

2.2.3 对碱解氮变化的影响 各处理碱解氮总体表现出上升趋势，加入菌剂的各处理碱解氮平均含量均高于 CK₀，可见菌剂对堆肥中碱解氮的保持与提升具有一定促进作用。碱解氮包括铵态氮、硝态氮及易水解有机氮，是水溶性氮动态变化的综合体现。NF₁~NF₄处理在 20 d 时增加迅速，增幅以 NF₂、NF₄ 最高，可能与其含有较高比例的芽孢杆菌有关（见图 4）。高温阶段，嗜温微生物活动旺盛，大量难分解有机质中氮素被矿化形成小分子的无机态氮和易水解态氮，并不断积累，在高温期后期达到最大。其变化规律与铵态氮变化相近，与此时铵态氮大量产生有一定关系。至堆肥后期碱解氮缓慢下降，是因为微生物的代谢利用将部分水溶性氮转化为有机态氮和微生物量氮，使得速效氮含量进一步下降^[17]。铵态氮、硝态氮及水溶性有机氮的动态平衡，维持了碱解氮的稳定。NF₄ 在堆肥末期碱解氮有所提高，可能由于强烈的硝化作用产生了较高的硝态氮所致。

2.2.4 对铵态氮和硝态氮变化的影响 铵态氮总体表现为“M”型的变化趋势。除 CK₀外，加入菌剂的各处理均在高温期达到峰值，以 NF₁ 最高，为 0.61 g·kg⁻¹，至降温期末降到较低水平，表明堆肥高温期是氨化作用发生的主要阶段。其中，CK₁、NF₃ 峰值在第 4 天出现，NF₁、NF₂ 及 NF₄ 峰值分别第 34 天、第 20 天和第 27 天出现（见图 5）。高温阶段各菌剂处理（CK₁、NF₁~NF₄）铵态氮平均含量显著高于 CK₀（*P*<0.05）。表明外源菌剂的加入提高了菌群的多样性，激发了微生物的生理生化反应，促进了氨化作用的发生。高温期铵态氮出现“升—降—升”的波动，是由高温引起的 NH₃ 挥发和氮

的“浓缩”效应共同导致的。在堆肥降温期，随着可供降解有机物不断减少，氨化作用也随之减弱。

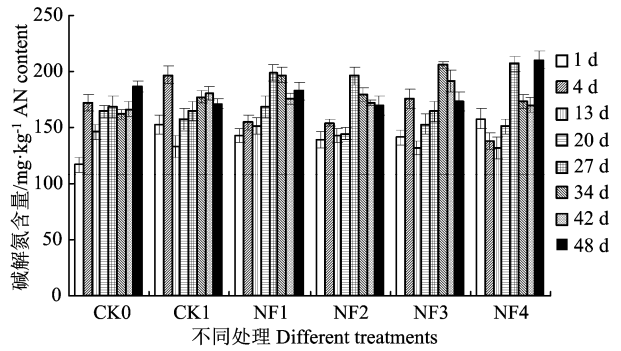


图 4 堆肥过程中碱解氮含量的变化

Figure 4 Changes of available nitrogen during composting

硝态氮总体表现为“W”型的变化趋势，与铵态氮变化相反。在堆肥降温期，硝态氮含量急剧上升，此时主导硝化作用菌群逐渐成为优势菌种，使一部分铵态氮向硝态氮转变^[18]。同时，由于微生物对有机物的不断分解利用，堆体理化性质得以改善，孔隙度增加，提高了堆体中的氧气浓度，进一步增强了硝化细菌活动强度。以 NF₂ 增幅最为显著，比其他处理平均高出 58.94%。可能由于 NF₂ 含有丰富的酵母菌有关，酵母菌分泌产生了一些特定的胞外酶，能被硝化细菌有效利用^[12,19]，促进了硝化作用的发生。

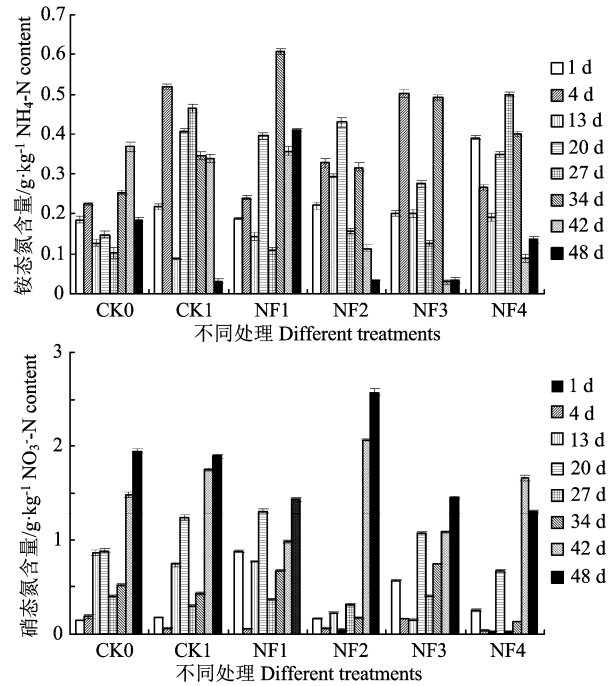


图 5 堆肥过程中铵态氮和硝态氮含量的变化

Figure 5 Changes of NH₄⁺-N and NO₃⁻-N during composting

2.3 不同菌剂对堆肥中 EC 值和 GI 值的影响

EC 值和 GI 值是用于指征堆肥腐熟情况的指标。根据堆肥无害化要求, 堆肥结束时 EC 值在 $3 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以下、 GI 值在 80% 以上, 不会对作物生长产生毒害作用。由表 3 可知, 在堆肥至 48 d 时, 处理 CK_1 、 NF_3 和 NF_4 已达无害标准, 且以 NF_3 腐熟度最高; 而 CK_0 、 NF_1 和 NF_2 尚未完全腐熟。 EC 值与 GI 值呈负相关关系, 说明高盐度对种子发芽

产生胁迫抑制。研究结果显示, 堆肥时加入适当菌种配比的菌剂可缩短腐熟时间, 促进堆肥腐熟。但并非添加外源微生物都能促进腐熟进程, 若微生物比例不当, 可能导致微生物间产生竞争效应, 逐渐丧失了原有的物质分解潜力^[20], 反而对腐熟进程产生阻碍。 NF_3 和 NF_4 腐熟度高的原因在于霉菌比例较高, 霉菌在降温阶段对难分解有机物的有效降解, 加快了堆肥的腐熟进程。

表 3 试验结束时各处理 EC 值和 GI 值
Table 3 EC and GI of each treatment at the end of the experiment

项目 Item	CK_0	CK_1	NF_1	NF_2	NF_3	NF_4
$EC/\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	3.44	2.76	3.63	3.33	2.41	2.78
$GI/\%$	50	150	37.5	40	225	110

3 讨论

3.1 微生物作用对氮素损失的影响

堆肥中氮的主要形态包括总氮、有机氮、铵态氮和硝态氮, 不同形态氮之间转化主要通过氮的固定和释放来实现^[21]。氮的变化、损失与微生物作用密切相关。本试验表明, 堆肥的氮素变化主要受高温期氨化作用和降温期的硝化作用影响, 氮素损失在堆肥降温期发生明显。在堆肥高温阶段, 氨化细菌大量繁殖, 氨化作用强烈, 铵态氮含量急剧上升, 引起全氮、有机氮和碱解氮提高。氨气释放量与铵态氮含量之间呈极显著正相关关系^[12], 但较高的铵态氮含量也增加了氮流失风险。当堆肥进入低温期后, 氨化细菌受到抑制, 此时主要由硝化细菌和反硝化细菌^[22]进行作用, 堆肥中硝态氮含量显著增加, 铵态氮含量大幅下降, 产生的硝态氮不足以补充氮的损耗, 反硝化作用使硝态氮进一步被还原成 N_2 或 N_2O , 加剧了氮的损失。可见, 微生物的氨化作用及反硝化作用对全氮损失有主要贡献, 通过降低氨化作用和反硝化作用强度, 有利于改善堆肥的保氮功能。碱解氮含量较堆肥初期有所提升, 体现了堆肥过程是微生物将大分子有机物逐渐分解为水溶性小分子物质的过程, 其增长幅度与微生物活动强度有很大关系, 本试验各菌剂处理的碱解氮含量高于自然堆肥, 也充分说明了这点。

3.2 菌剂组成对氮素转化的影响及机制探讨

堆肥过程中的氮素变化是一个极其复杂的过程, 在很大程度上受到堆体中微生物的影响^[21,23]。不同微生物在堆肥不同时期占主导, 并因此影响堆肥中氮素转化过程和氮素形态^[12]。堆肥过程中微生物随温度变化, 优势种群种类、数量发生演替, 不

同微生物协同作用, 在堆肥不同阶段发挥优势。堆肥初期, 芽孢杆菌利用堆肥原料中的低分子量碳源快速生长, 令温度迅速升高^[24], 激发其他微生物的活力, 对氮素进行分解转化。本试验中, 芽孢杆菌比例较高的处理 NF_1 、 NF_2 并未在前期氮释放上较自然堆肥体现优势, 原因在于堆肥原料含有大量土著微生物, 足以在条件适宜时启动发酵进程, 削弱了外源微生物的作用。外源微生物的添加, 可能因其大量繁殖而对有益微生物生长产生抑制^[25]。真菌在高温前期数量上升并达到最大, 在高温期后期数量又开始下降, 在腐熟期少量回升^[21]。酵母菌是低温菌, 以在降温阶段数量居多。因此降温腐熟阶段以霉菌、酵母菌对复杂成分进行分解利用为主。本试验中, 真菌比例占 80% 的处理 NF_3 在腐熟期氮素损失得到抑制, 与此阶段真菌对难降解成分的持续分解有较大关系, 产生的小分子氮补充因氨化作用和亚硝化作用造成的氮损失, 形成的腐殖质因其具有螯合基团, 也使一部分氮素得到固持^[26]。可见, 外源菌剂中的有效菌的作用很大程度在堆温下降的堆肥中后期体现, 因此, 减少氮素损失的关键在于调控和改善菌剂中的中低温菌种的配置, 尤其应提高真菌在菌剂中的占比。

3.3 菌剂配比对堆肥腐熟度的影响

堆肥的腐熟程度主要取决于腐熟阶段是否进行彻底, 真菌的存在对于堆肥的腐熟和稳定具有重要意义^[27]。霉菌、酵母菌等真菌类微生物对于难降解物质(如木质素、纤维素和半纤维素等)具有较强分解能力。本试验中, 配方中霉菌比例最高(占 40%)的菌剂处理 NF_3 和 NF_4 较其他配比处理率先完成腐熟, 且腐熟彻底, 而霉菌比例占 20%~33% 的菌剂处理 (NF_1 、 NF_2) 腐熟程度较差, 验证了霉菌在后

腐阶段对于促进堆肥腐熟时间的关键作用。因此,提高霉菌在菌群中的比例,可加快堆肥进度,促进堆肥腐熟。此外,提高菌剂中的有效活菌数对于堆肥腐熟意义不大,本试验 NF₃ 处理的菌剂具有最低的菌群数量(表 2),然而其促腐和保氮效果均比市售菌剂和其他配比菌剂更优,而具有最高菌群数量的处理 NF₂ 尚未达到腐熟;市售菌剂中同样包含芽孢杆菌、霉菌和酵母菌,有效活菌数量也较高,但其促腐和保氮能力均低于处理 NF₃,本试验 NF₃ 配比优越性得以体现。由此可见外源菌剂的接种并不只是通过增加微生物总量加快堆肥腐熟,更在于接种菌剂的特性^[25]。堆肥中微生物数量并非促进堆肥腐熟和养分转化的决定因素,较高的微生物数量可能会因产生有害代谢物质影响腐熟质量。适宜的微生物的种类和比例对于提高堆肥质量、控制氮素流失贡献更大,提高菌剂中霉菌占比对于改良菌剂的促腐性能具有一定意义。

4 结论

结合氮素变化和腐熟度指标综合判定,本试验以 NF₃ 菌剂(配方为枯草芽孢杆菌:地衣芽孢杆菌:绿色木霉:黑曲霉:酵母菌=0.5:0.5:1:1:2)的保氮和促腐效果最好,优于市售菌剂。

堆肥过程中,全氮、有机氮、铵态氮总体下降,而碱解氮、硝态氮总体上升,氮素形态由有机态向无机态、稳定态向有效态、铵态向硝态转化。

菌剂种类、比例配比不当会因为微生物竞争效应影响堆肥腐熟,提高菌剂中有效活菌数对促进腐熟作用不明显。

减少氮素损失的关键在于调控和改善降温期的菌群配置,应适当提高真菌的种群丰度和比例。较高比例的霉菌和酵母菌在控制氮素损失和增进腐熟方面作用显著。

参考文献:

- [1] 王卫平,汪开英,薛智勇,等.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.
- [2] 胡尚勤,周开孝.利用微生物消除鸡粪臭气对生态环境的污染[J].生态农业研究,1996,4(4):35-37.
- [3] RAVIV M, MEDINA S, KRASNOVSKY A, et al. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture[J]. Compost Sci Util, 2004, 12(1): 6-10.
- [4] 范志金,艾应伟,李建明,等.控制畜禽粪氮素挥发的措施探讨[J].四川师范大学学报(自然科学版),2000,23(5):548-550.
- [5] 黄向东,韩志英,石德智,等.畜禽粪便堆肥过程中氮素的损失与控制[J].应用生态学报,2010,21(1):247-254.
- [6] 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),2002,25(6):113-116.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2008:30-58.
- [8] 李国学,张福锁.固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [9] TIQUIA S M, WAN H C, Tam N F Y. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting[J]. Compost Sci Util, 2002, 10(2): 150-161.
- [10] 郑瑞生,封辉,李延.沸石在猪粪堆肥过程中保氮效果研究[J].环境科学学报,2010,30(5):1017-1022.
- [11] 黄国锋,钟流举,张振钿,等.有机固体废物堆肥的物质变化及腐熟度评价[J].应用生态学报,2003,14(5):813-818.
- [12] 马丽红.牛粪高温堆肥化中氮素转化的微生物机理研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [13] 马丽红,黄懿梅,李学章,等.两种添加剂对牛粪堆肥中氮转化及相关微生物的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):76-82.
- [14] 王晓娟,李博文,刘微,等.不同微生物菌剂对鸡粪高温堆腐的影响[J].土壤通报,2012,43(3):637-642.
- [15] 许修宏,赵晓雨,李洪涛,等.牛粪堆肥中氮素转化关键菌群的动态变化影响[J].东北农业大学学报,2015,46(8):26-31.
- [16] 张金金,刘爱民,陈金凤,等.不同菌剂处理下猪粪和牛粪堆肥前期性质变化[J].资源开发与市场,2010(6):481-485.
- [17] 刘东银,许景钢,袁磊,等.低温条件下猪粪堆肥过程营养元素动态变化[J].东北农业大学学报,2008,39(11):32-35.
- [18] 高云航,勾长龙,王雨琼,等.低温复合菌剂对牛粪堆肥发酵影响的研究[J].环境科学学报,2014,34(12):3166-3170.
- [19] 杨柳燕,肖琳.环境微生物技术[M].北京:科学出版社,2003:257-265.
- [20] 任静.接种菌剂对牛粪堆肥过程中微生物、酶活性及腐殖质的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2013:9-10.
- [21] 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.
- [22] SOMMER S G. Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter[J]. Eur J Agron, 2001, 14(2): 123-133.
- [23] 曹晓璐.园林废弃物制造栽培基质过程中微生物的动态变化[D].北京:中国林业科学研究院,2014.
- [24] 王宇,赵述淼,胡咏梅,等.几种微生物及其组合在猪粪堆肥发酵中的作用[J].湖北农业科学,2009,48(1):81-84.
- [25] 王芳.不同菌剂处理对猪粪堆肥效果的影响及PCR-DGGE 研究堆肥微生物群落变化[D].成都:四川农业大学,2008.
- [26] TIQUIA S M. Microbiological parameters as indicators of compost maturity[J]. J Appl Microbiol, 2005, 99(4): 816-828.
- [27] 刘佳,李婉,许修宏,等.接种纤维素降解菌对牛粪堆肥微生物群落的影响[J].环境科学,2011,32(10):3073-3081.