

## 复合微生物菌剂对不同阶段猪粪降解效果的研究

朱鸿杰<sup>1</sup>, 李彩丹<sup>2</sup>, 何成芳<sup>1\*</sup>, 陶敬<sup>1</sup>, 董雪云<sup>2</sup>

(1. 安徽省农业科学院农产品加工研究所, 合肥 230031; 2. 合肥学院, 合肥 230601)

**摘要:** 养殖场猪粪的不当处理会给环境造成严重污染, 研究其降解变化, 可以为养殖场粪便利用提供科学依据。采用恒温培养试验, 研究在保育和育肥两个阶段时分别接种复合微生物菌剂(包括芽孢杆菌、酵母菌、乳酸菌、光合菌)对新鲜猪粪发酵中的有机质、全磷、全氮、硝态氮及铵态氮的影响。结果表明, 复合菌剂处理与对照相比, 提高了有机质的降解速度和 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 转化量。保育阶段, T2、T3 处理 TN 下降了 20.3%, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 下降了 66.7%, T1 处理 TN 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分别下降 17.8% 和 55.7%, 对照组分别下降了 17.3% 和 50.7%。育肥阶段, 接种菌剂的处理 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 较培养初期下降了 66.7%, 对照为 50.9%。试验末期, 随着铵态氮降低, 硝态氮有升高的趋势, 大于 5 g 的复合菌剂添加量对猪粪降解效果不显著 ( $P>0.05$ ), 保育期和育肥期猪粪中有机质、全磷、全氮和硝态氮及铵态氮变化趋势一致。研究表明, 复合菌剂对猪粪的 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 降低作用明显, 但是添加量超过一定范围影响不显著 ( $P>0.05$ ), 试验末期的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 增强效应, 需要进一步研究。推算结果表明, 复合菌剂处理的猪粪 TN 降低 20.3%, 肥料化利用, 氮素循环利用趋于平衡。

**关键词:** 畜禽粪便; 微生物菌剂; 理化特性; 降解

中图分类号: X713

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)05-0811-06

## Research on degradation different growing stages of pig manure effect by handling composite microbial agents

ZHU Hongjie<sup>1</sup>, Li Caidan<sup>2</sup>, HE Chengfang<sup>1</sup>, TAO Jing<sup>1</sup>, DONG Xueyun<sup>2</sup>

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031; 2. Hefei University, Hefei 230601)

**Abstract:** Improper treatment of pig manure in the farm could cause serious environment pollution. The degradation of pig manure can provide scientific basis for the use of farm manure. The effects of inoculated compound microbial agents(including bacillus, yeast, lactic acid bacteria and photosynthetic bacteria) on the fermentation of organic matter, total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), nitrate nitrogen(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) and ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) at the conservation and fattening stage were investigated by constant temperature test. The results showed that compound bacterium agents could increase the degradation rate of the organic matter and the inversion of TN and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N compared to the blank experiments. At the conservation stage, the degradation rates of TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N of pig manure by T2, T3 treatment were decreased by 20.3 and 66.7%, respectively, whereas the degradation rates of TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N by T1 treatment were decreased by 17.8% and 55.7% , respectively, compared to the blank experiments ( 17.3% for TN and 50.7% for NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N). At the fattening stage, the degradation rate of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (66.7%) was higher than that of the blank experiments (50.9%). The inversion of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N at last phase was increased with decreasing of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N. No significant difference ( $P > 0.05$ ) in the degradation of pig manure was observed when the amount of compound bacterium agent was more than 5 g. The same trends of organic matter, TP, TN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N were observed at the conservation and fattening stage. The calculation results showed that the nitrogen cycle of pig manure in plant and livestock system tend to balance in fertilizer.

**Key words:** pig manure; microorganism agents; physical and chemical properties; degradation

收稿日期: 2017-06-08

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAD14B13)资助。

作者简介: 朱鸿杰, 助理研究员。E-mail: 406953463@qq.com

\* 通信作者: 何成芳, 副研究员。E-mail: 897771845@qq.com

畜禽粪便往往不能及时进行处理<sup>[1]</sup>, 需要临时堆积一段时间。在露天堆放、场内粪棚堆放或者随意堆放的过程中, 粪便中的含氮、含磷有机物、重金属以及碳氧化合物等, 对大气、水体、土壤会造成严重污染<sup>[2-3]</sup>。目前, 肥料化利用是处理畜禽粪便的主要途径。因此, 多数研究集中在高温堆肥和厌氧发酵技术方面<sup>[4]</sup>, 包括菌种和各种添加剂的筛选, 堆肥腐熟度的参数及评价指标研究, 以及肥料化过程的 C、N 和 P 转化机理研究等。常温下粪便快速处理研究较少。有研究表明<sup>[5]</sup>, 在生猪生长的仔猪期、保育期和育肥期主要 3 个阶段, 育肥阶段粪便产生量显著高于保育阶段和仔猪阶段, 仔猪期和保育期的猪粪差异不显著。但是, 不同生长阶段猪粪降解过程的成分变化较少研究。本研究采用复合微生物菌剂接种保育、育肥阶段的猪粪, 对猪粪降解过程中的有机质、总磷、总氮、硝态氮及铵态氮进行分析, 揭示常温条件下猪粪接种复合微生物

菌剂的理化指标的变化, 同时探索常温复合微生物菌剂对不同阶段的猪粪产生的差异, 以期养殖场粪便快速降解提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

称取 1 kg 各阶段的新鲜猪粪放入 5 L 密封盒中, 加入 600 mL 清水 (无氯)。然后加入菌剂 I、II 和 III 各 2.5、5 和 7.5 g, 于 25℃ 恒温箱中培养, 结合生产实际情况, 分别在培养 0、3、6、9、15 和 20 d 时取猪粪和污水样品, 每个处理重复 3 次。每次取样为一个重复中的多点混合样。

### 1.2 试验材料

(1) 粪源: 鲜猪粪, 猪粪取自安徽省凤阳县小岗村的宝迪种猪养殖场保育、育肥 2 个阶段当日新鲜猪粪, 各阶段猪粪如表 1 所示。

表 1 各阶段猪粪成分

Table 1 Conservation and fattening two stage of pig composition

阶段 Stage	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	COD Chemical oxygen demand	硝态氮 Nitrate nitrogen	铵态氮 Ammonium nitrogen
保育 Conservation stage	338.54	23.15	31.62	41.51	2.21	0.56
育肥 Fattening stage	343.91	24.69	31.46	43.31	2.46	0.58

(2) 菌剂: 本文选择除臭菌剂组合是: 芽孢杆菌、酵母菌、乳酸菌和光合菌<sup>[6]</sup>。

(3) 地点: 试验安排在安徽省农业科学院农产品加工研究所内进行。

### 1.3 测定项目及方法

有机质采用重铬酸钾外加热法测定<sup>[7]</sup>, 全氮采用混合催化剂浓硫酸消煮扩散吸收法, 全磷采用 NaOH 碱熔融法, 硝态氮采用酚二磺酸比色法, 铵态氮采用 2 mol·L<sup>-1</sup> KCl 浸提-靛酚蓝比色法, 污水 COD 采用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁铵滴定法 (HJ/T399-2007)<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数据处理

本研究采用 SPSS 19.0 统计软件进行方差分析, 以  $P < 0.05$  为差异显著。K-对照, T1-2.5 g 复合微生物菌剂, T2-5 g 复合微生物菌剂, T3-7.5 g 复合微生物菌剂。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机质 (organic matter, OM) 变化

保育和育肥阶段, 添加了微生物复合菌剂处理

与对照相比 (T1~T3 与对照差异显著,  $P < 0.05$ , 但 T1~T3 差异不显著), 均提高了有机质的降解速度, 并且在第 9 天变化率达 50% 以上, T2 处理对猪粪 OM 降解有较明显的优势 (图 1)。

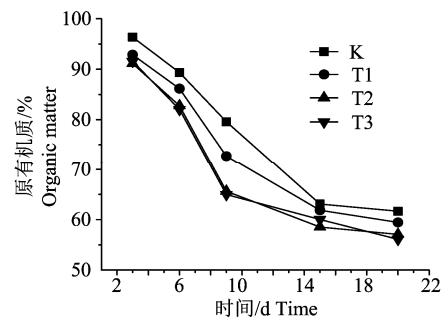


图 1 保育期猪粪有机质占原质量的百分比变化

Figure 1 The change of organic matter content in the process of conservation

在保育阶段各处理有机质占原质量的百分变化趋势基本是一致 (见图 1), 均先下降后趋于平稳。在微生物菌剂处理的 15 d, T1、T2 和 T3 组处理 OM 含量依次比 K 组低 1.21%、4.56% 和 5.05%。在发酵结束时, T2 与 T3 处理的 OM 含量基本持平,

且处理过的 OM 含量均比 K 组低。处理 15d 的 OM 含量与处理 20 d 的有机质含量变化不明显, 变化范围约为 (58.52±1.0) %。

在育肥阶段 (图 2) OM 的含量变化趋势与保育相似, 先下降后趋于平缓。而在育肥阶段, 从接种后 9 d, 出现 OM 含量变幅最大, 表明有机质的分解主要集中在这一时期, 所有处理的 OM 降低幅度都显著高于 K 组, 其中 T2 处理的降幅最大, 表现降解率达 57.16%。随后 OM 降解速度基本趋向于稳定。

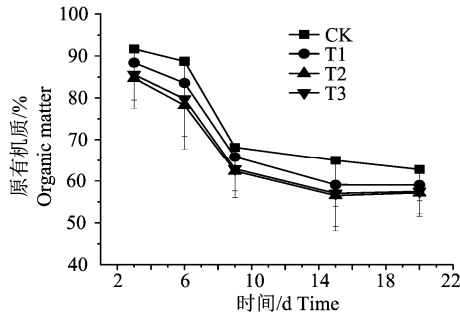


图 2 育肥期猪粪有机质占原质量的百分比变化

Figure 2 The change of organic matter content in the stage of fattening

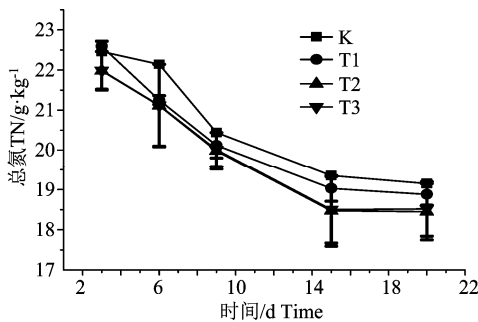


图 3 保育期猪粪总氮含量的变化

Figure 3 The change of total N content in the process of conservation

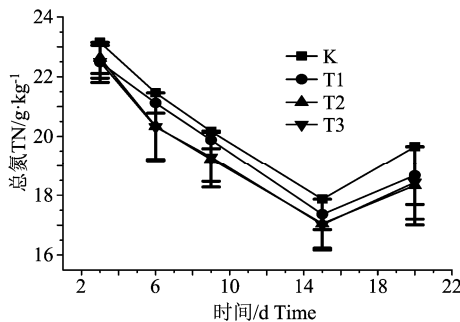


图 4 育肥期猪粪中总氮含量的变化

Figure 4 The change of total N content in the stage of fattening

### 2.2 总氮 (total nitrogen, TN) 变化

图 3 和图 4 可看出, 不管是保育还是育肥阶段 TN 含量都呈下降状态, 育肥期第 15 天 TN 含量最

低, 第 20 天有所升高。

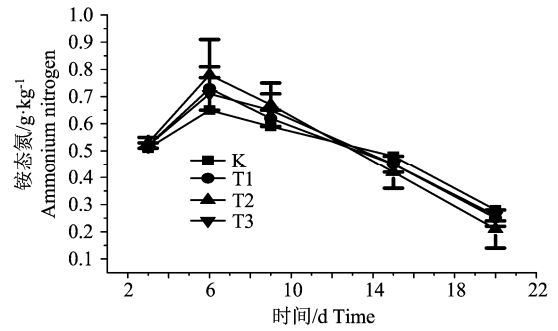


图 5 保育期猪粪铵态氮含量的变化

Figure 5 The change of ammonium nitrogen content in the process of conservation

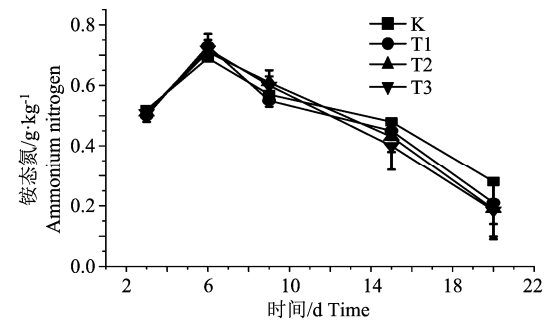


图 6 育肥期猪粪铵态氮含量的变化

Figure 6 The change of ammonium nitrogen content in the stage of fattening

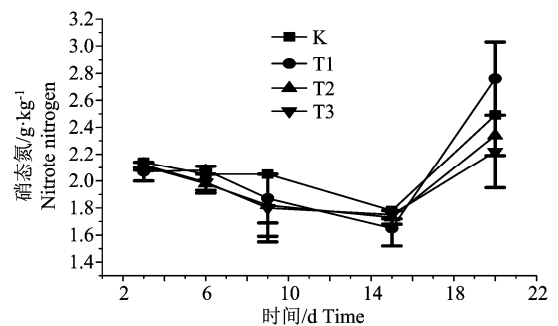


图 7 保育过程中硝态氮含量的变化

Figure 7 The change of nitrate nitrogen content in the process of conservation

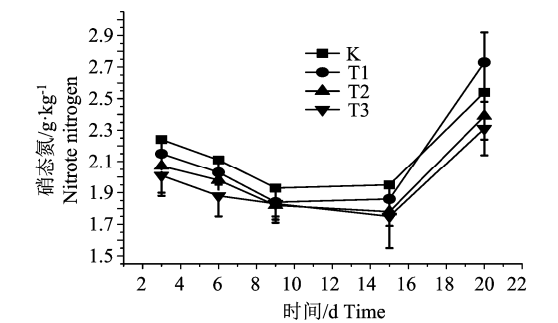


图 8 育肥过程中硝态氮含量的变化

Figure 8 The change of nitrate nitrogen content in the stage of fattening

由于微生物强烈分解有机氮产生氨气，并在碱性环境中挥发而导致氮的损失<sup>[9]</sup>。因此，在试验周期内，TN 含量总体呈下降趋势。在保育期，各组 TN 的含量在从第 15 天开始慢慢趋向稳定，T2 与 T3 处理的 TN 含量基本相似（T2、T3 与 T1 差异显著，与对照差异显著， $P<0.05$ ）。T2、T3 处理在 15 d 的氮降解了 20.2%，20 d 降解了 20.3%，而 T1 和对照组 20 d 分别降解了 17.8% 和 17.3%。在育肥阶段 0~15 d，各组的 TN 含量都急剧下降，第 15 天各组 TN 含量都处于最低（添加菌剂的处理均与对照差异显著， $P<0.05$ ），接着都呈缓缓上升的趋势，各组 TN 含量有所升高。添加菌剂的处理，第 15 天 TN 降解了 30.9%，第 20 天为 25.8%，对照组分别为 27.6% 和 20.4%。

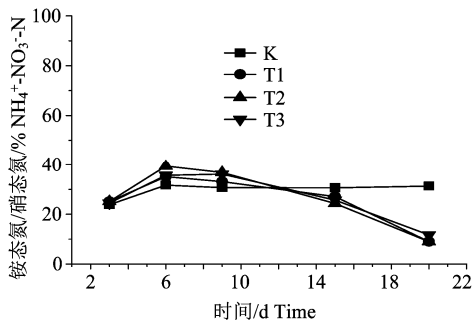


图 9 保育期粪便铵态氮与硝态氮的比值变化

Figure 9 The ratio of change ammonium nitrogen to nitrate content in the process of conservation

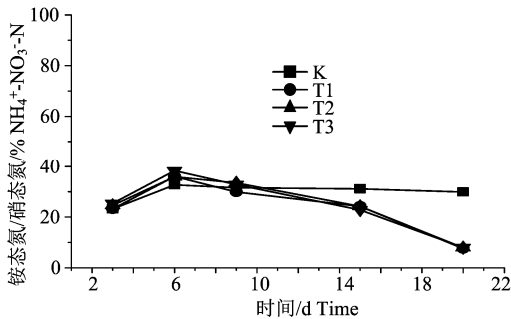


图 10 育肥期粪便铵态氮与硝态氮的比值变化

Figure 10 The ratio of change of fattening ammonium nitrogen to nitrate content in the stage of fattening

### 2.3 铵态氮变化 (ammonium nitrogen, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)

铵态氮 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) 含量的变化 (图 5 和图 6) 反映了微生物菌剂对猪粪粪便的降解程度，对于保育和育肥阶段，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的变化都是先上升后下降的趋势。在保育阶段的第 20 天，T2、T3 处理 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量为 0.21 g·kg<sup>-1</sup>，T1 为 0.25 g·kg<sup>-1</sup>，对照 0.28 g·kg<sup>-1</sup>。相对培养初期，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量 T2 和 T3 下降了 66.7%，T1 为 55.4%，对照下降了 50.7%。育肥与保育阶段相似，在转折点第 6 天起，铵态氮的含

量基本上一直处于下降状态，在第 20 天时 K、T1、T2 和 T3 铵态氮含量分别为 0.28、0.21、0.19 和 0.19 g·kg<sup>-1</sup>，处理组与对照组 K 差异显著， $P<0.05$ ，其铵态氮含量在 (0.2±0.01) g·kg<sup>-1</sup> 左右，较培养初期下降了 66.7%，对照下降了 50.9%。

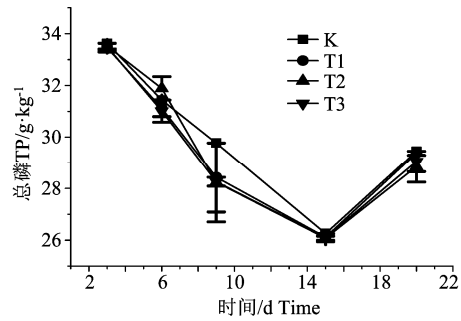


图 11 保育过程中总磷含量的变化

Figure 11 The change of total P content in the process of conservation

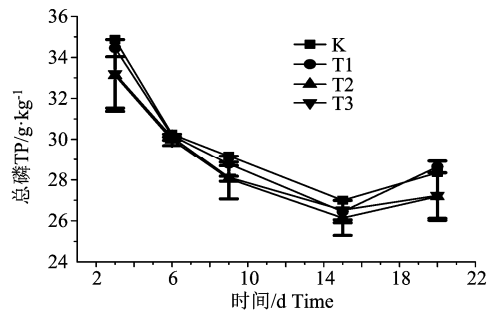


图 12 育肥过程中总磷含量的变化

Figure 12 The change of total P content at the fattening stage

### 2.4 硝态氮变化(nitrate nitrogen, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)

由图 7 和图 8 可知，保育和育肥前期硝态氮 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) 含量均呈下降趋势，后期都有明显上升。保育期 T1、T2、T3 和 K 组硝态氮含量均在第 15 天达到最低值，分别为 1.65、1.73、1.75 和 1.81 g·kg<sup>-1</sup>。同样在育肥期 T1、T2 和 T3 和对照，硝态氮含量也均在第 15 天达到最低值，分别为 1.86、1.78、1.75 和 1.95 g·kg<sup>-1</sup>。培养后第 20 天，各处理的硝态氮含量大幅升高，其中，添加了复合菌剂的 T1 处理较原猪粪提高较多(T1 与对照组 K 和 T2、T3 差异显著， $P<0.05$ )，保育期猪粪 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 提高了 24.9%，育肥期提高了 11%，对照较培养前提高了 12.7% 和 3.3%。与培养前猪粪相比 T2 和 T3 处理 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量，保育期提高较少为 5.9%，育肥期未提高。硝化细菌适宜生长温度范围 20~30℃，高于 40℃ 会抑制硝化细菌的活性和生长<sup>[10]</sup>。另外，游离氨对硝化细菌的生长也有很大的抑制作用<sup>[11]</sup>。培养试验为恒温 25℃，试验末期，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 值达到最低，说明此时温度、游离氨浓度等条件，适宜硝化细菌的生长，硝

化作用得到明显增强。但是, 当复合菌剂超过一定添加量时, 会抑制硝化细菌的生长, 因此表现出 T1 处理增加了  $\text{NO}_3^-$ -N, 而 T2、T3 相比对照降低了  $\text{NO}_3^-$ -N 的生成。

### 2.5 铵态氮与硝态氮的比值变化

$\text{NH}_4^+$ -N 与  $\text{NO}_3^-$ -N 比值表明, 在试验周期内, 添加复合菌剂的处理组从第 15 天出现明显的下降趋势, 而对照组保持较平稳的趋势。从硝态氮和铵态氮的数据可以看出, 第 15 天开始, 添加复合菌剂的处理, 硝化作用增强,  $\text{NH}_4^+$ -N 在整个试验周期内, 不断减少,  $\text{NO}_3^-$ -N 从第 15 天开始出现上升趋势, 从而导致  $\text{NH}_4^+$ -N 与  $\text{NO}_3^-$ -N 比值下降。Bernal 等<sup>[10]</sup>曾提出将  $\text{NH}_4^+$ -N/  $\text{NO}_3^-$ -N 比值小于 0.16 作为堆肥腐熟的指标参数, 认为在堆肥前期, 温度抑制硝化细菌的活性和生长, 弱化硝化作用, 堆肥后期硝化作用逐步增强, 堆肥腐熟并稳定。试验的温度控制在 25 °C, 添加了复合菌剂的处理在 15 d 后硝化作用开始增强, 说明即使没有温度的变化, 猪粪降解过程中仍然会出现后期硝化作用增强的现象, 复合菌剂能有效降低  $\text{NH}_4^+$ -N/  $\text{NO}_3^-$ -N 比值。因此, 复合菌剂对降解的猪粪, 并达到稳定状态, 有明显的促进作用。

### 2.6 总磷 (total phosphorus, TP) 变化

如图 11 和图 12 所示, 保育和育肥 2 个阶段处理组的值变化趋势分别与 K 组值的变化趋势基本一致 (各处理间差异不显著,  $P>0.05$ )。0~15 d, 一直处于下降趋势, 15 d 以后呈上升趋势。保育阶段, 在第 15 天出现一个低峰, 其中 T1、T2、T3 组与 K 组的值基本维持在  $(26.08 \pm 0.1) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。所以对于保育而言, 微生物菌剂处理与 K 组相比, TP 含量处理效果基本上相似, 并没有产生显著变化。育肥阶段, 在第 15 天也出现低峰, 但在 TP 含量上不存在明显差异。磷在整个发酵过程中在总量上几乎没有损失, 但是随着发酵进程, 磷被“浓缩”。因此, 在第 20 天其含量略有提高, 可能是由于有机质分解后的“浓缩效应”引起的。

### 2.7 土地承载分析

按照试验处理结果 (TN 降解了 20.3%, TP 差异不显著), 猪场可以实现减少 TN 20.3%, 按照出栏一头生猪产污系数为 TN  $3.79 \text{ kg} \cdot \text{头}^{-1}$ 、TP  $0.56 \text{ kg} \cdot \text{头}^{-1}$  计算, 猪场处理后的产污系数 TN  $3.79 \times (100\% - 20.3\%) \text{ kg} \cdot \text{头}^{-1}$ 。因此, 年产 3 000 头猪场产生纯氮量 9 061.89 kg。大面积生产中氮肥合理施用以  $\text{N}150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  计, 3 000 头猪场产生纯氮量需要  $60.41 \text{ hm}^2$  土地消纳<sup>[12]</sup>。3 000 头 100 kg 生猪需

要饲料量为 570 t (每生产 1 kg 猪肉需要消耗 1.9 kg 玉米<sup>[13]</sup>, 按照玉米产量  $9.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  计算), 需要种植面积  $60 \text{ hm}^2$ , 即所需饲料种植面积  $\approx$  粪便消纳面积。计算结果表明, 3 000 头养殖规模的猪场按照试验处理, 采用种养结合的模式, 氮素利用可以达到相对平衡, 降低环境污染的风险。

## 3 讨论

### 3.1 不同阶段的猪粪的变化

文献资料表明, 生猪生长的仔猪期、保育期和育肥期主要 3 个阶段, 育肥阶段粪便产生量显著高于保育阶段和仔猪阶段, 仔猪期和保育期的猪粪无明显差异。从保育阶段仔猪开始断奶, 饲料类型和环境改变较大, 试验选取断奶后保育和育肥 2 个主要阶段。育肥期尽管排污量增加, 但是粪便的 OM、N 和 P 成分差异不显著 ( $P>0.05$ )。处理后, 无论保育期还是育肥期的猪粪, TN、 $\text{NO}_3^-$ -N 和 TP 含量均大体呈现先下降后上升的变化。中前期由于硝化作用及部分氨的挥发损耗了氮<sup>[14]</sup>, 后期猪粪中微生物菌剂的固氮作用增强<sup>[15]</sup>,  $\text{NH}_3$  的挥发损失减少, 全氮含量上升<sup>[16-17]</sup>。

### 3.2 不同菌剂添加量的影响

5 g 以上 (5 和 7.5 g) 的复合菌剂添加量, 对猪粪 OM、TN、 $\text{NH}_4^+$ -N 和 TP 的变化影响不显著, 相反适当减少添加量 (2.5 g) 对后期  $\text{NO}_3^-$ -N 累积起到一定促进作用。复合菌剂中, 芽孢杆菌能够抑制猪粪中  $\text{NH}_3$  的产生<sup>[18]</sup>,  $\text{NH}_4^+$  与  $\text{NH}_3$  在水溶液中保持化学平衡状态,  $\text{NH}_3$  的抑制增加向  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的转化, 因此, 添加复合菌剂对  $\text{NO}_3^-$ -N 积累起到促进作用。但是, 复合菌剂不是单一微生物菌剂, 在多种微生物菌协同作用下, 超过一定得添加量可能会抑制芽孢杆菌的生长, 从而降低  $\text{NO}_3^-$ -N 累积。综合考虑复合菌剂的降解效果及成本因素, 5 g 的添加量较为适宜。

### 3.3 猪粪处理对土地承载力影响

目前国内农业一方面农田氮肥超量, 另一方面养殖场粪便排放污染严重, 合理的利用养殖场粪便培肥土壤, 是减少农田购买性资源投入超量和农业面源污染的较好措施。通过计算, 农田  $\text{N}150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  施氮水平, 3 000 头适度规模的养猪场氮排放量降低 20.3%, 刚好可以满足生产其相应饲料量作物的需氮量。目前农田氮素超量的现状, 利用复合菌剂的处理能够有效地降低养殖场粪便氮的排放量, 通过理论计算, 能实现氮素的利用平衡, 有效地控制环境风险。

## 4 结论

研究表明,复合菌剂对猪粪的降解有一定的效果,培养期内 TN 降解了 20.3%,但是添加量超过一定范围影响不显著 ( $P > 0.05$ )。试验末期的  $\text{NO}_3^-$ -N 增强效应,是否有利于猪粪降解达到稳定状态,  $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N 能否反映降解的稳定程度,有待进一步研究。复合菌剂处理后的猪粪,能够达到种养结合模式下氮素利用平衡。

## 参考文献:

- [1] 武淑霞. 我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2005: 1-16.
- [2] RITTER W F, CHIRNSIDE A E M. Impact of animal waste lagoons on ground-water quality[J]. *Biol Wastes*, 1990, 34(1): 39-54.
- [3] 徐轶群, 熊慧欣, 赵秀兰. 浅析畜禽废弃物污染的防治[J]. *家畜生态*, 2003, 24(4): 75-78.
- [4] 牟克珺. 不同调理剂及堆制条件对猪粪堆肥理化指标的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008: 8-11
- [5] 苏文幸. 生猪养殖业主要污染源产排污量核算体系研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2012: 15-29.
- [6] 曹建新, 齐莹莹, 王虹. 畜牧业环境污染的危害及治理措施[J]. *当代畜牧*, 2013 (9): 77-78.
- [7] 吴荷群, 樊洪涛, 陈文武. 规模化畜禽养殖场废弃物污染现状及防治对策[J]. *现代农业科技*, 2011 (6): 282- 282.
- [8] FISCHER G, ERMOLIEVA T, SUN L. Environmental pressure from intensification of livestock and crop production in China: plausible trends towards 2030[R]. Amsterdam: CATSEI project report 2010: 1-29.
- [9] 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. *环境科学*, 2013, 34(7): 2766-2774.
- [10] BERNAI M P, PAREDES C, SANCHEZ-MONEDERO M A, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes[J]. *Biore-source Technol*, 1998, 63(1): 91-99.
- [11] 朱晓东, 张根玉, 朱雅珠, 等. 硝化细菌的生物学特性以及在水产养殖中的应用[J]. *水产科技情报*, 2009, 36(5): 221-224.
- [12] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(4) : 783-795
- [13] 芳芳. 中国生猪生产成本与国际差距大[EB/OL]. [2015-10-31]. <http://www.zhujiage.com.cn/article/201510/553971.html>.
- [14] XU Y Y, GUAN J N. Measurement and analysis of ammonia emission from a pig farm in the northeast of China[J]. *Ecol Chem Eng S*, 2014, 21(1): 71-77.
- [15] 熊仕娟, 徐卫红, 杨芸, 等. 不同温度下微生物和纤维素酶对发酵猪粪理化特性的影响[J]. *环境科学学报*, 2014, 34(12): 3158-3165.
- [16] 常志州, 靳红梅, 黄红英, 等. 畜禽养殖场粪便清扫、堆积及处理单元氮损失率研究[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(5): 1068-1077.
- [17] 姜继韶, 黄懿梅, 黄华, 等. 猪粪秸秆高温堆肥过程中碳氮转化特征与堆肥周期探讨[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(11): 2511-2517.
- [18] 李珊珊. 发酵床功能芽孢杆菌菌株的筛选及应用效果[D]. 保定: 河北农业大学, 2012: 1-28