

# 作物秸秆与城市污泥高温好氧堆肥产物对土壤氮矿化的影响

唐淦海<sup>1</sup>, 刘郡英<sup>1</sup>, 谷春豪<sup>1</sup>, 赵秀兰<sup>1,2\*</sup>, 王定勇<sup>1,2</sup>

(1. 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 重庆市农业资源与环境重点实验室, 重庆 400716)

**摘要:** 为揭示不同作物秸秆与污泥堆肥产物对土壤氮素矿化特征的影响, 为科学施用城市污泥堆肥提供参考依据, 通过室内培养试验研究了城市污泥与 4 种秸秆(小麦、水稻、玉米和油菜)高温好氧堆肥产物施入酸性紫色土、黄壤、石灰性紫色土后土壤氮矿化的差异。结果表明, 4 种秸秆污泥堆肥均可显著提高 3 种土壤氮的潜在矿化势( $N_0$ )和矿化速度( $k$ ), 促进土壤氮的矿化, 提高土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  质量分数, 其中石灰性紫色土以油菜秸秆污泥堆肥和小麦秸秆污泥堆肥处理、黄壤以油菜秸秆污泥堆肥处理、酸性紫色土以小麦秸秆污泥堆肥处理提高幅度最大。作物秸秆与污泥堆肥施入土壤后, 黄壤、酸性紫色土在培养 60 d 和 30 d 后趋于稳定, 石灰性紫色土在培养 60 d 后仍有增高的趋势, 但不同秸秆污泥堆肥对土壤氮矿化速度的影响无明显规律。结果说明秸秆污泥堆肥对土壤氮矿化的效应因土壤及秸秆类型的不同而异, 根据研究结果提出了 4 种作物秸秆与城市污泥堆肥施用的建议。

**关键词:** 秸秆, 污泥处理, 堆肥, 氮矿化, 土壤

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.053

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-01-0326-06

唐淦海, 刘郡英, 谷春豪, 等. 作物秸秆与城市污泥高温好氧堆肥产物对土壤氮矿化的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 326-331.

Tang Ganhai, Liu Junying, Gu Chunhao, et al. Nitrogen mineralization in soils amended with sewage sludge composted with different crop straws as bulking agent [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 326-331. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

城市污泥是城市生活污水处理过程中产生的固体废弃物。因含丰富的有机质、氮、磷和其他植物必需的营养元素, 城市污泥土地利用不仅可以减少废弃物的产生量, 还可有效改善土壤理化性质和生物学性质, 提高土壤肥力及作物产量<sup>[1]</sup>。相对于填埋、焚烧等处置方式, 土地利用被认为是城市污泥资源化合理而有效的途径, 在世界上的许多国家, 城市污泥已作为有机肥料或土壤改良剂广泛应用于农地、园林绿地、退化土壤的恢复等方面<sup>[2]</sup>。在我国, 城市污泥经堆肥处理后土地利用也被认为是适合我国国情的处置方式<sup>[3]</sup>。我国 2009 年实施的《城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策》(试行)鼓励污染物符合《农用污泥中污染物控制标准》(GB-4284)限值的城市污泥经高温好氧发酵后土地利用。

氮是植物必需的大量营养元素之一, 施肥是补充土壤氮素的重要手段。目前, 污泥堆肥土地利用时的施用

量大多是根据污泥堆肥、土壤的氮含量及植物的需氮量确定的。研究表明, 污泥中的氮有 70%~90% 以有机态氮形式存在, 其在土壤中的矿化数量和强度决定了其对植物氮素的供应能力和随水流失而污染水环境的可能性<sup>[4]</sup>, 明确污泥堆肥中氮素的矿化过程及其影响因素对污泥堆肥的科学施用以获得最高的植物产量和最小的环境影响具有重要意义<sup>[5-7]</sup>。土壤中有有机氮的矿化是一个复杂的过程, 受气候条件、土壤及堆肥性质等多种因素的影响<sup>[5]</sup>。迄今对土壤性质如温度和水分<sup>[8]</sup>、质地<sup>[9]</sup>及污泥堆肥的 C/N<sup>[5]</sup>和腐熟程度<sup>[10]</sup>、重金属<sup>[11]</sup>等对污泥堆肥施用土壤中氮素矿化的影响已有研究。

由于城市污泥含水量高、本身颗粒细小、透气性差, 加之脱水过程中加入了絮凝剂, 使得其更易板结, 在堆肥过程中需要添加一定量的填料以调节堆体的水分和改善堆体的通气状况<sup>[12-13]</sup>。已有研究报道了填料的性质及加入量对污泥堆肥的进程及堆肥产品组成成分的影响<sup>[12]</sup>, 对含不同填料的污泥堆肥对土壤氮素矿化的影响研究很少。作物秸秆是城市污泥堆肥理想的填料, 不同种类的秸秆因化学组成的差异, 用作堆肥填料制成的堆肥产品对土壤中氮素的矿化过程及氮的有效性的影响还不清楚。本论文通过室内培养试验, 研究了施用城市污泥与小麦、水稻、玉米和油菜秸秆高温堆肥产物后土壤氮素的矿化特征, 以揭示作物秸秆-城市污泥堆肥对土壤氮素行为的影响规律, 为城市污泥堆肥合理、安全利用提供依据。

收稿日期: 2010-10-08 修订日期: 2011-01-05

基金项目: 重庆市科技攻关计划项目(CSTC, 2008AC7013), 国家科技支撑计划课题(2007BAD39B02)和西南大学生态学重点学科“211 工程”建设经费资助

作者简介: 唐淦海(1984-), 重庆北碚人, 主要从事固体废物资源化研究。重庆 西南大学资源环境学院, 400716。

\*通信作者: 赵秀兰(1969-), 女, 四川德阳人, 博士, 主要从事废弃物污染控制及环境生物技术研究, 重庆 西南大学资源环境学院, 400716。

Email: zxl@swu.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试土壤：供试的 3 种土壤—石灰性紫色土、黄壤和酸性紫色土均取自重庆市北碚区农地表层 0~20 cm，土壤经风干、磨细，过 2 mm 筛后备用，土壤的基本理化性质见表 1。

供试污泥堆肥：城市污泥为采自重庆市某污水处理厂的脱水污泥。将小麦、水稻、玉米、油菜秸秆切碎至 2~3 cm，分别与城市污泥按 C/N 20:1 和含水率 60%~70% 的比例配制，混合均匀，采用强制通风和人工翻堆相结合的方式供氧，堆制 60 d 获得作物秸秆与污泥高温好氧堆肥产物。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic physiochemical properties of tested soils

土壤类型	pH 值	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	总氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	C/N	铵态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	硝态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
石灰性紫色土	8.00	14.14	0.59	13.09	2.75	11.59
黄壤	5.07	11.33	0.46	14.29	2.75	14.38
酸性紫色土	6.10	14.76	1.05	8.15	6.06	10.38

### 1.2 试验设计

采用室内培养法研究不同秸秆与城市污泥堆肥产物对土壤氮的矿化的影响。共设 5 个处理，分别为：①不施肥 (CK)、②水稻秸秆污泥堆肥 (SDC)、③小麦秸秆污泥堆肥 (XMC)、④玉米秸秆污泥堆肥 (YMC) 和 ⑤油菜秸秆污泥堆肥 (YCC)。根据重庆市农地土壤氮肥的施用量计算出水稻污泥堆肥、小麦污泥堆肥、玉米污泥堆肥和油菜污泥堆肥的添加量分别为 13.84 g/kg、14.97 g/kg、12.86 g/kg 和 15.40 g/kg。将污泥堆肥与土壤混匀，放于塑料盆中，按土壤田间持水率的 60% 添加水分，于 25℃ 恒温培养，第 0、7、15、30、60 和 90 d 取

表 2 秸秆污泥堆肥产品的理化性质

Table 2 Physiochemical properties of sewage sludge composts with different crop straws as bulking agent

堆肥种类	pH 值	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	铵态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	硝态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	碳氮比 C/N	腐殖酸/ (g·kg <sup>-1</sup> )	胡敏酸/富里酸 HA/FA
水稻秸秆(SDC)	7.82	391.35	18.63	11.22	25.32	570.52	205.15	12.18	133.93	1.47
小麦秸秆(XMC)	6.93	364.80	17.21	11.05	19.00	301.34	214.28	11.29	128.05	1.38
玉米秸秆(YMC)	7.03	412.04	20.05	11.73	22.93	871.56	382.53	11.92	139.01	1.59
油菜秸秆(YCC)	7.11	415.14	16.74	11.15	31.64	260.43	635.74	14.38	118.52	1.33

### 2.2 秸秆污泥堆肥对土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量分数的影响

土壤中的有机氮首先通过氨化作用转化为 NH<sub>3</sub> (或 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)，形成的 NH<sub>3</sub> (或 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 可被土壤胶体吸附或在通气状况良好的条件下通过硝化作用转化为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N<sup>[15]</sup>。堆肥性质及土壤条件，如水分、温度、pH 值、C/N、质地等因素通过改变微生物类群、数量及生物活性对土壤氮的矿化过程产生影响<sup>[5]</sup>。图 1 为施入秸秆污泥堆肥后土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数随培养时间的变化情况。从图 1 看出，3 种土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数随培养时间的延长有增高的趋势，施入秸秆污泥堆肥后，酸性紫色土 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数随培养时间的延长仍然增高，黄壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数在培

土壤样品，进行铵态氮、硝态氮的测定及矿化量的计算。

### 1.3 测试项目与方法

土壤及堆肥的 pH 值用电位法测定，有机质用重铬酸钾容量法测定，凯氏氮用凯氏定氮法测定<sup>[14]</sup>，全氮为凯氏氮+硝态氮；土壤铵态氮和硝态氮用 2 mol/L KCl 溶液浸提、流动注射仪分析 (FIAstar 5000, Foss, Sweden) 测定。

### 1.4 数据处理方法

采用 SPSS13.0 软件对各指标进行方差分析，用 LSD 多重比较法对方差分析中的结果做进一步差异显著性检验，采用 SigmaPlot 2000 进行一级动力学方程拟合和图形制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 作物秸秆污泥堆肥的基本性质

以水稻、小麦、玉米和油菜秸秆为填料，与城市污泥进行好氧堆肥，获得的堆肥产物的主要性质见表 2。4 种堆肥的 pH 值在 6.93~7.82 之间，有机质质量分数高于 30%，氮、磷和钾养分总量高于 40 g/kg，均达到我国商品有机肥料标准 (NY525-2002) 的限值。受作物秸秆中碳、氮、木质素、纤维素和半纤维素等化学组成的影响，污泥堆肥的组成差异较大。其中有机质质量分数以油菜秸秆堆肥 (YCC) 和玉米秸秆堆肥 (YMC) 最高，小麦秸秆堆肥 (XMC) 最低，而腐殖酸质量分数以 YMC 最高，YCC 最低，腐殖化系数 (胡敏酸/富里酸) 以油菜秸秆、小麦秸秆污泥堆肥最低，玉米秸秆污泥堆肥最高；堆肥产物中氮和铵态氮的质量分数均以 YMC 最高，YCC 最低，相差分别为 1.19 和 3.35 倍；钾的质量分数以 YCC 最高，XMC 最低，相差 1.66 倍；硝态氮质量分数以 YCC 最高，SDC 最低，相差 3.10 倍；C/N 以 YCC 最高，其次为 SDC，YMC 与 XMC 间相近；堆肥产品磷含量相近。

养的 0~7 d 快速上升，第 15 d 时达最大值，之后逐渐降低，培养 30 d 后趋于稳定，而石灰性紫色土 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数在培养初期急剧降低，从培养的第 7 d 到培养结束，随培养时间的延长而升高。黄壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数的变化可能与其砂粒含量高、土壤通气状况好，土壤颗粒对有机氮的吸附能力弱，土壤中有有机氮的氨化作用和随后的硝化作用比较快速有关。石灰性紫色土培养初期 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数快速下降可能与污泥堆肥的加入促进了土壤微生物的快速繁殖，使肥料和土壤中原有有机质矿化出的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 被微生物固定有关<sup>[16]</sup>。

作物秸秆污泥堆肥的施入使土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量分数显

著提高 ( $p < 0.05$ ), 提高幅度酸性紫色土为  $SDC > XMC > YMC > YCC$ , 黄壤为  $XMC > YCC > SDC > YMC$ , 石灰性紫色土为  $XMC > SDC > YCC > YMC$ 。不同培养时间秸秆污泥堆肥使土壤  $NH_4^+-N$  质量分数变化的幅度也不相同, 与对照相比, 培养 15、30、60 和 90 d 时, 4 种秸秆

污泥堆肥使酸性紫色土  $NH_4^+-N$  质量分数分别提高 1.26~1.41、1.57~1.70、1.40~1.69 和 1.39~1.62 倍, 黄壤  $NH_4^+-N$  质量分数分别提高 2.80~6.46、1.74~2.32、1.39~2.08 和 1.33~1.53 倍, 石灰性紫色土  $NH_4^+-N$  质量分数分别提高 1.38~1.57、1.15~1.41、1.42~2.01 和 1.26~1.85 倍。

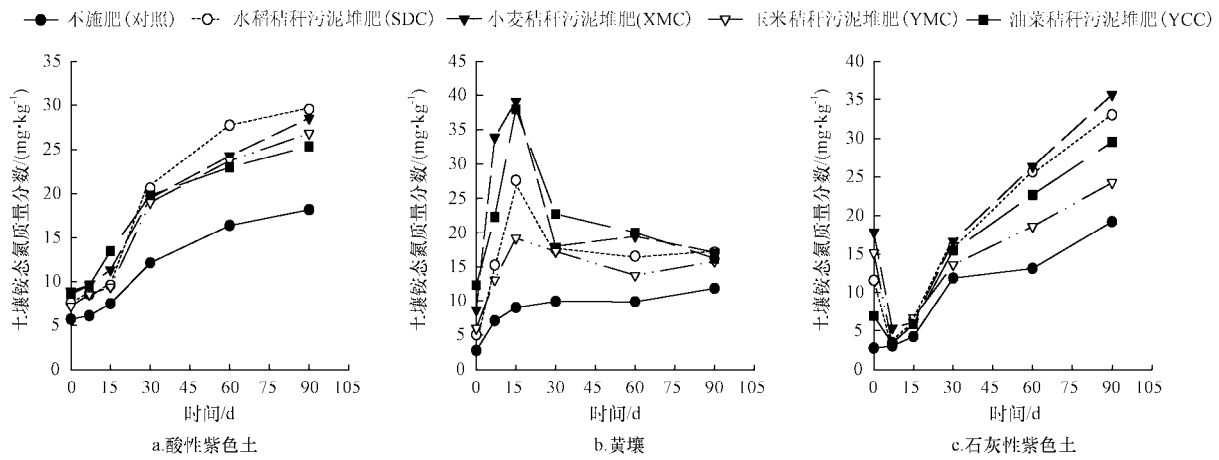


图 1 不同秸秆污泥堆肥对土壤铵态氮质量分数的影响

Fig.1 Changes of  $NH_4^+-N$  in soils amended with sewage sludge composted with different straws

培养过程中土壤  $NO_3^- -N$  的质量分数的变化情况见图 2。酸性紫色土和石灰性紫色土  $NO_3^- -N$  的质量分数随培养时间的延长而增高, 增高的幅度石灰性紫色土大于酸性紫色土, 黄壤  $NO_3^- -N$  的质量分数在培养的前 30d 随培养时间的延长而提高, 30d 后趋于稳定, 表明黄壤中的硝化作用有限。这可能与土壤 pH 值及土壤质地的差异有关。石灰性紫色土的 pH 值较高, 其中微生物的活性较高, 而黄壤 pH 值低, 加之质地较粗、沙粒含量高, 其中保持的水分少, 微生物活性有限<sup>[17]</sup>。

显著提高 ( $p < 0.05$ ), 提高幅度酸性紫色土为  $XMC > YCC > SDC$  和  $YMC$ , 黄壤为  $YCC > XMC > SDC$  和  $YMC$ , 石灰性紫色土为  $YCC > XMC$  和  $YMC > SDC$ 。培养 15、30、60 和 90d 时土壤  $NO_3^- -N$  的质量分数较对照提高的倍数, 酸性紫色土分别为 2.21~3.48、2.14~3.70、2.14~3.45 和 2.56~4.07 倍, 黄壤分别为 1.08~2.53、1.47~3.57、1.33~3.42 和 1.65~3.49 倍, 石灰性紫色土分别为 2.44~4.23、2.82~4.83、2.65~4.47 和 2.71~4.47 倍, 不同秸秆污泥堆肥处理间土壤  $NO_3^- -N$  的质量分数的变化幅度较  $NH_4^+-N$  的质量分数大。

所有污泥堆肥处理土壤  $NO_3^- -N$  的质量分数较对照均

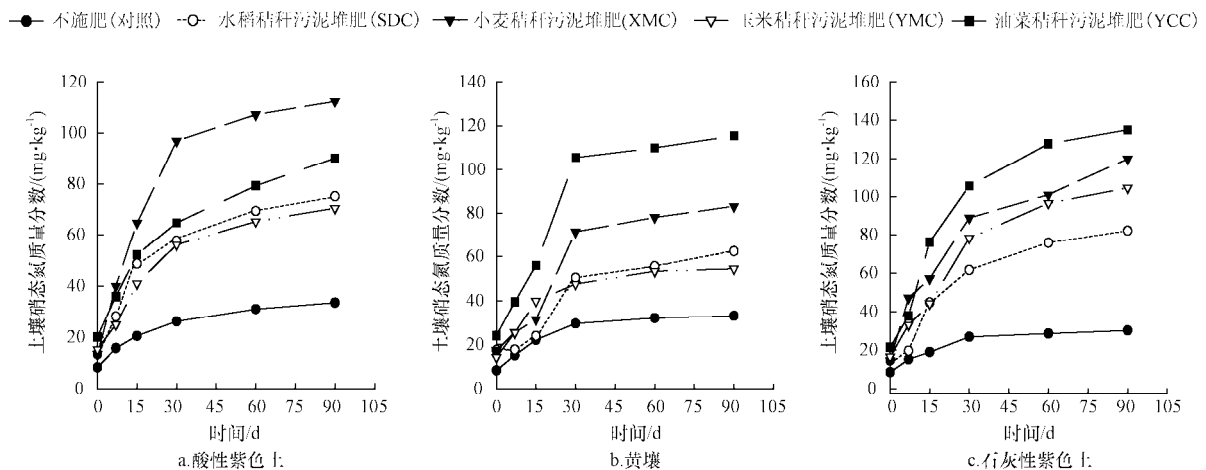


图 2 不同秸秆污泥堆肥对土壤硝态氮质量分数的影响

Fig.2 Changes of  $NO_3^- -N$  in soils amended with sewage sludge composted with different crop straws

### 2.3 秸秆污泥堆肥对土壤氮矿化量的影响

氮的矿化量为培养后与培养前土壤矿质氮量 ( $NH_4^+-N + NO_3^- -N$ ) 之差。施入不同秸秆污泥堆肥后土壤氮的矿化量见图 3。3 种土壤氮的矿化量均随培养时间

的延长而增加, 但酸性紫色土和黄壤分别在 60 d 和 30 d 趋于稳定, 而石灰性紫色土在 60 d 时后仍有增高的趋势。所有污泥堆肥处理均使土壤氮矿化量显著提高 ( $p < 0.05$ ), 不同秸秆污泥堆肥间氮矿化量的差异在 3

种土壤的表现，酸性紫色土为 XMC 显著高于 YCC 和 SDC，YCC 和 SDC 显著高于 YMC( $p<0.05$ )，YCC 与 SDC 处理间差异不显著性 ( $p>0.05$ )；黄壤为 YCC 显著高于 XMC，而 SDC 显著高于 YMC ( $p<0.05$ )，XMC 与 SDC 处理间、SDC 与 YMC 处理间差异不显著 ( $p>0.05$ )；石灰性紫色土为 YCC 显著高于 XMC，XMC 显著高于 YMC 和 SDC ( $p<0.05$ )，而 YMC 与 SDC 处理间差异不显著( $p>0.05$ )。总体上看，施入堆肥后土壤氮矿化量的变化趋势与土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 的质量分数一致，表明土壤氮矿化量的变化主要是由于硝化量的变化引起，这与刘杏认等在内蒙古锡林河流域不同降水强度 3

种类型草地中的研究结果基本一致<sup>[18]</sup>。土壤中矿化的氮主要来于土壤原有的或随污泥堆肥施入的有机氮(堆肥中的凯氏氮与铵态氮之差)，从表 2 看出，培养 90 d 后，酸性紫色土、黄壤和石灰性紫色土的氮矿化量占随污泥堆肥施入的有机氮量的比例分别为 18.64%~36.14%，6.10~28.28%和 21.9%~41.90%。土壤中的  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 是植物从土壤中吸收氮素的主要形态，结果表明油菜、小麦秸秆污泥堆肥能为土壤提供更多的有效氮。因而，在将污泥堆肥施用于农地时，以油菜秸秆和小麦秸秆为填料的污泥堆肥的用量应较以玉米秸秆和水稻秸秆为填料的污泥堆肥的用量低。

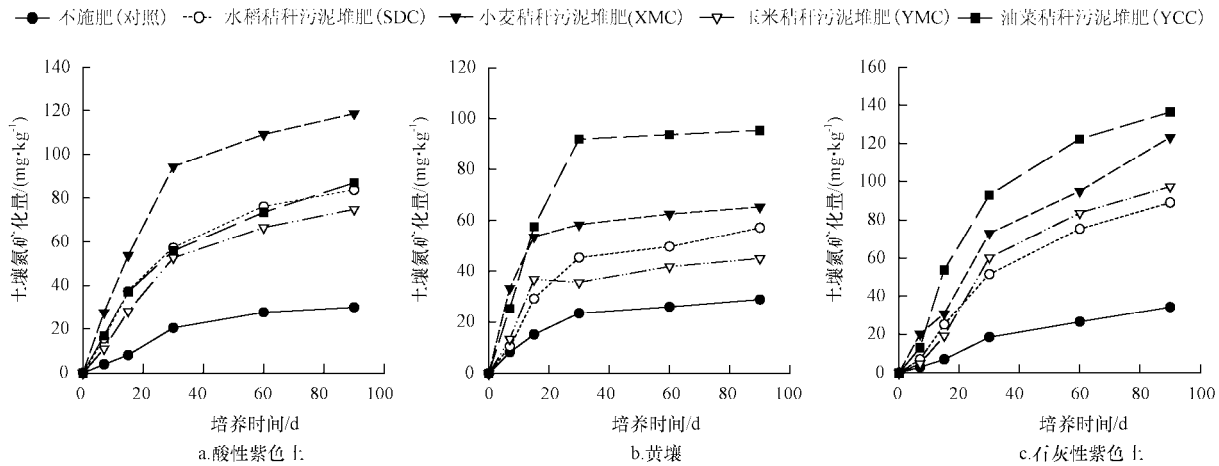


图 3 不同秸秆污泥堆肥对土壤氮矿化量的影响

Fig.3 Accumulated nitrogen mineralization in soils amended with sewage sludge composted with four crop straws

2.4 不同秸秆污泥堆肥对土壤氮矿化常数的影响

利用如下一级动力学方程<sup>[19]</sup>进行拟合，求得 3 种土壤氮素的矿化常数，结果见表 3。

$$N_t = N_0 [1 - \exp(-kt)] \quad (1)$$

式中， $N_t$  为  $t$  时刻土壤氮的矿化量， $\text{mg}/\text{kg}$ ； $N_0$  为土壤氮的潜在矿化势， $\text{mg}/\text{kg}$ ，表征土壤中可矿化的有机氮量； $t$  为培养天数， $\text{d}$ ； $k$  为氮的矿化常数， $\text{d}^{-1}$ ，反映土壤氮矿化的速度。

从表 3 看出，方程拟合的相关系数均达到极显著水平 ( $p<0.01$ )，表明一级动力学方程能很好描述土壤有机氮的矿化动态。在供试的 3 种土壤中，石灰性紫色土的  $N_0$  最高，黄壤的  $N_0$  最低。由于堆肥的施入增加了土壤活性有机氮库，使土壤  $N_0$  (氮的潜在矿化势) 显著提高，酸性紫色土中 XMC 处理显著高于 YCC、SDC 和 YMC ( $p<0.05$ )，而 YCC、SDC 与 YMC 差异不显著 ( $p>0.05$ )，黄壤中以 YCC 最高、YMC 最低，不同堆肥处理间的差异达显著水平 ( $p<0.05$ )，而石灰性紫色土中 YCC 和 XMC 显著高于 YMC 和 SDC ( $p<0.05$ )。结果表明，受堆肥性质和土壤性质等多种因素的影响，不同污泥堆肥施入同一土壤或同一堆肥施入不同土壤，可矿化的有机氮的量不同。油菜秸秆污泥堆肥施入石灰性紫色土和黄壤、小麦秸秆污泥堆肥施入酸性紫色土和石灰性紫色土能为土壤提供更多的可矿化的有机氮库。从表 3 还看出，供试的 3 种土壤  $k$  值大小为黄壤>酸性紫色土>石灰性紫色土，

表 3 土壤氮矿化动态的一级动力学拟合方程  
Table 3 First-order kinetics equations for describing N mineralization dynamic in compost treated soils

土壤类型	处理	培养 90 d 氮累积矿化量 $N_{90}$ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	90 d 有机氮矿化率/%	氮的潜在矿化势 $N_0$ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	氮矿化常数 $k/\text{d}^{-1}$	拟合方程相关系数 $r$
石灰性紫色土	XMC	123.12b	36.22	146.0a	0.0195b	0.9868**
	SDC	88.96c	21.90	110.7b	0.0186b	0.9901**
	YMC	97.28c	26.12	128.0b	0.0168bc	0.9680**
	YCC	136.38a	41.90	148.8a	0.0289a	0.9843**
	CK	34.14d		49.02c	0.0139c	0.9881**
黄壤	XMC	63.25b	14.24	63.22b	0.1120a	0.9945**
	SDC	56.16bc	11.14	56.88bc	0.0448c	0.9813**
	YMC	43.01c	6.10	43.28c	0.0789b	0.9444**
	YCC	97.27a	28.28	98.42a	0.0599bc	0.9782**
	CK	28.26d		28.48d	0.0415c	0.9947**
酸性紫色土	XMC	118.62a	36.14	121.3a	0.0424a	0.9930**
	SDC	83.66b	21.51	87.44b	0.0342bc	0.9974**
	YMC	74.88b	18.64	80.38b	0.0306bc	0.9907**
	YCC	86.86b	23.38	89.70b	0.0323b	0.9959**
	CK	29.82c		34.50c	0.0247c	0.9795**

注：\*表示显著相关 ( $r_{0.05}=0.811, n=6$ )，\*\*表示极显著相关 ( $r_{0.01}=0.917, n=6$ )；  
同列数据中的不同字母表示有显著差异 (LSD,  $p<0.05$ )；  
有机氮矿化率 (%) = (污泥堆肥处理土壤氮的矿化量 - 对照土壤氮的矿化量) / 随污泥堆肥施入到土壤中的有机氮  $\times 100\%$

即土壤有机氮的矿化在黄壤中最高，在石灰性紫色土中

最慢。培养 90 d 氮的矿化量  $N_{90}$  占  $N_0$  的比例为石灰性紫色土 (76.00%~91.65%) < 酸性紫色土 (93.15%~97.79%) < 黄壤 (98.83%~100.00%)，即石灰性紫色土可矿化氮中未矿化的氮最多，而黄壤的可矿化氮基本被矿化。表明秸秆污泥堆肥施入黄壤中的肥效最迅速，其次为酸性紫色土，再次为石灰性紫色土，因而将城市污泥施用于石灰性紫色土时造成的水环境  $\text{NO}_3^-$ -N 污染的风险最小。在进行污泥堆肥施用时，如城市污泥堆肥用作基肥施用于黄壤，30 d 左右应当适当补充氮素肥料，以满足作物中后期生长对氮素的需求，如将城市污泥堆肥用作基肥施用于酸性紫色土和石灰性紫色土，应与适当的速效氮肥配合施用，以满足作物前期和中期对氮素的需求。不同秸秆污泥堆肥处理间土壤  $k$  值变化规律不明显。

### 3 结 论

通过对施入玉米秸秆、水稻秸秆、小麦秸秆和油菜秸秆与城市污泥高温好氧堆肥产物后土壤氮矿化产物  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的测定，利用一级动力学方程对氮矿化动态的拟合分析，得出如下结论：

1) 作物秸秆污泥堆肥可促进土壤氮的矿化，显著提高土壤中  $\text{NH}_4^+$ -N、 $\text{NO}_3^-$ -N 的质量分数，提高幅度油菜秸秆堆肥和小麦秸秆污泥堆肥大于水稻秸秆堆肥和玉米秸秆污泥堆肥，因而当污泥堆肥施用于农地时，油菜秸秆污泥堆肥和小麦秸秆污泥堆肥的用量应较水稻秸秆堆肥和玉米秸秆污泥堆肥低；

2) 一级动力学方程拟合结果表明，污泥堆肥的施入可显著提高土壤氮的潜在矿化势 ( $N_0$ )，其中油菜秸秆污泥堆肥施入石灰性紫色土和黄壤、小麦秸秆污泥堆肥施入酸性紫色土和石灰性紫色土氮的潜在矿化势提高幅度最大；

3) 秸秆污泥堆肥施入土壤后，黄壤、酸性紫色土在培养 60 d 和 30 d 后趋于稳定，石灰性紫色土在培养 60 d 后仍有增高的趋势，土壤中的矿化速率  $k$  为黄壤 > 酸性紫色土 > 石灰性紫色土，不同秸秆污泥堆肥间土壤氮的矿化速率无明显变化规律。

4) 根据土壤氮的矿化特征，建议将秸秆污泥堆肥用作基肥施用于黄壤时，30 d 左右应当适当补施氮肥，以满足作物后期生长对氮素的需求，而将秸秆污泥堆肥用作基肥施用于酸性紫色土和石灰性紫色土时，应配合速效氮肥，以满足植物生长前期对氮素的需求。

#### [参 考 文 献]

[1] Po H K, Cheng C H, Zeng Y H. Response of microbial activities to heavy metals in a neutral loamy soil treated with biosolid[J]. *Chemosphere*, 2006, 64: 63-70.

[2] 孙西宁, 李艳霞, 张增强, 等. 城市污泥好氧堆肥过程中重金属的形态变化[J]. *环境科学学报*, 2009, 29(9): 1836-1841.

Sun Xining, Li Yanxia, Zhang Zengqiang, et al. Extractable forms of heavy metals produced during municipal sludge composting[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(9):

1836-1841. (in Chinese with English abstract).

[3] 陈同斌, 郑国砥, 高定, 等. 城市污泥堆肥处理及其产业化发展中的几个关键问题[J]. *中国给水排水*, 2009, 25(9): 104-108.

Chen Tongbin, Zheng Guodi, Gao Ding, et al. Key problems in municipal sludge composting and its industrialization process[J]. *China Water and Wastewater*, 2009, 25(9): 104-108. (in Chinese with English abstract)

[4] Rowell D M, Prescott C E, Preston C M. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(4): 1401-1410.

[5] Cabrera M L, Kissel D E, Vigil M F. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2005, 34(1): 75-79.

[6] Flavel T C, Murphy D V. Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendment[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35: 183-193.

[7] Doublet J, Francou C, Poitrenaud M, et al. Sewage sludge composting: Influence of initial mixtures on organic matter evolution and N availability in the final compost[J]. *Waste Management*, 2010, 30:1922-1930.

[8] Wennman P, Kätterer T. Effects of moisture and temperature on carbon and nitrogen mineralization in mine tailings mixed with sewage sludge[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35(4): 1135-1141.

[9] Egelkraut T M, Kissel D E, Cabrera M L. Effect of soil texture on nitrogen mineralized from cotton residues and compost[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(5): 1518-1522.

[10] Busby R R, Torbert H A, Gebhart D L. Carbon and nitrogen mineralization of non-composted and composted municipal solid waste in sandy soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(6): 1277-1283.

[11] Barajas Aceves M, Ocampo Velásquez R, Rodríguez Vázquez R. Effects of  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  and tannery sludge on C and N mineralization and microbial activity in semi-arid soils[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 143: 522-531.

[12] 李艳霞, 王敏健, 王菊思, 等. 填充料和通气对污泥堆肥过程的影响[J]. *生态学报*, 2000, 20(6): 1015-1024.

Li Yanxia, Wang Mingjian, Wang Jusi, et al. Effect of bulking agent and aeration on sewage sludge composting process[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6): 1015-1024. (in Chinese with English abstract)

[13] Yañz R, Alonso J L, Díaz M J. Influence of bulking agent on sewage sludge composting process[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 5827-5833.

[14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[15] 孟盈, 薛敬意, 沙丽清, 等. 西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(1): 99-104.

- Meng Ying, Xue Jingyi, Sha Liqing, et al. Variations of soil  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  and N mineralization under different forests in Xishuangbanna, southwest china[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(1): 99–104. (in Chinese with English abstract)
- [16] 赵明, 蔡葵, 赵征宇, 等. 不同有机肥料中氮素的矿化特性研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊): 146–149.
- Zhao Ming, Cai Kui, Zhao Zhengyu, et al. Characteristics of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  Mineralization form Different Organic Fertilizers[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26: 146–149. (in Chinese with English abstract)
- [17] Hseu Z Y, Huang C C. Nitrogen mineralization potentials in three tropical soils treated with biosolids[J]. *Chemosphere*, 2005, 59: 447–454.
- [18] 刘杏认, 董云社, 齐玉春. 温带典型草地土壤净氮矿化作用研究[J]. *环境科学*, 2007, 28(3): 633–639.
- Liu Xingren, Dong Yunshe, Qi Yuchun. Soil net nitrogen mineralization in the typical temperate grassland[J]. *Environmental Science*, 2007, 28(3): 633–639. (in Chinese with English abstract)
- [19] Li Huilin, Han Yong, Cai Zucong. Nitrogen mineralization in paddy soil of the Taihu Region of China under anaerobic condition: dynamics and model fitting[J]. *Geoderma*, 2003, 115: 161–175.

## Nitrogen mineralization in soils amended with sewage sludge composted with different crop straws as bulking agent

Tang Ganhai<sup>1</sup>, Liu Junying<sup>1</sup>, Gu Chunhao<sup>1</sup>, Zhao Xiulan<sup>1,2\*</sup>, Wang DingYong<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** An incubation experiment was conducted to investigate the differences of nitrogen mineralization among three soils amended with four sewage sludge composted with the straws of wheat(XMC), rice(SDC), corn(YMC) and rape(YCC). The purpose was to understand the effect of sewage sludge composted with different crop straws on nitrogen mineralization in soils and establish a scientific way for sewage sludge compost application in agriculture. The soils tested included an acidic purple soil, a yellow soil and a calcareous purple soil. All the compost treatments could significantly improve the values of potentially mineralizable nitrogen( $N_0$ ), promoted nitrogen mineralization, and consequently increase the  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  concentrations in soils. The optimal amounts of nitrogen mineralized and the  $N_0$  values were found in the treatments of YCC and XMC for the calcareous purple soil, in the treatment of XMC for the acidic purple soil and in the treatment of YCC for the yellow soil. The amount of nitrogen mineralized increased after 90 days incubation in the compost treated calcareous purple soil, while it became stable at 60 days and 30days incubation in the compost treated- acidic purple soil and yellow soil, respectively. However, no obvious tendency of the mineralization rate constant ( $k$ ) values was found in the three soils treated with the four composts. The results illustrated that the effect of sewage sludge compost on the mineralization of nitrogen varied with soils and the properties of crop straws. Based on the results of the present study, some advices on the application of sewage sludge compost were put forward.

**Key words:** straw, sludge disposal, composting, nitrogen mineralization, soil