

# 干污泥和堆肥污泥施用于红壤中 N 素的释放特性

拜得珍

(青海省环境科学研究设计院, 青海 西宁 810007)

**摘要:** 在红壤自然状况下, 模拟了施肥沟, 对红壤不同污泥施肥处理的 N 素释放特性进行了研究。试验结果表明, 干污泥配比在 10%~20% 时, 碱解氮、铵态氮和硝态氮累计释放量分别为: 25.71%~33.48%, 9.57%~14.85% 和 4.08%~7.65%。堆肥污泥配比在 20%~33% 时, 其累计释放量分别为 13.55%~15.65%, 2.03%~4.23% 和 3.11%~5.37%。干污泥处理的释放量大于堆肥污泥处理的释放量, 释放过程变化较堆肥污泥剧烈, 铵态氮和硝态氮均有明显峰值, 铵态氮最大含量  $532.98 \pm 10$  mg/kg, 释放量最大达 10.95%; 硝态氮含量最大为  $149.2 \pm 14$  mg/kg, 释放量最大时为 3.32%。无论是从氮的肥效角度, 还是氮释放的环境风险角度考虑, 污泥堆肥处理后施肥方式均优于干污泥处理施肥方式。

**关键词:** 红壤; 污泥施肥; N 素释放

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0313-04

中图分类号: S156.6

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.074

## Nitrogen Release Characteristics of Dry Sludge and Composted Sewage Sludge Applied in Red Soil

BAI De-zhen

(Environmental Science Research and Design Institute of Qinghai Province, Xining, Qinghai 810500, China)

**Abstract:** The nitrogen release characteristics of dry sludge and composted sewage sludge applied in red soil was studied by determining the hydrolyzable N,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  of the different treated and control red soil. The results showed that the accumulative released amounts of hydrolyzable N,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  were 25.71%~33.48%, 9.57%~14.85%, and 4.08%~7.65%, respectively by the 10%~20% dry sludge addition. Meanwhile, the corresponding accumulative released amounts were 13.55%~15.65%, 2.03%~4.23%, and 3.11%~5.37%, respectively when 20%~33% dry sludge was used. Moreover, the dry sludge treatments released greater amounts of nitrogen than composted sewage sludge treatments. In the incubation period, the variation of released N of dry sludge treatments is more than composted sludge treatments, and the peak contents and release amounts of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  were  $532.98 \pm 10$  mg/kg (10.95%) and  $149.2 \pm 14$  mg/kg (3.32%), respectively. Overall, the composted sewage sludge treatments are better than the dry sludge treatments considering whether the N fertilizer effects and the environment risk of N release.

**Keywords:** red soil; sewage sludge; nitrogen release

污泥中含有大量有机质和 N、P、K 等植物所需矿质营养元素, 同时具有改良土壤的特性<sup>[1-4]</sup>, 兼顾到环境生态效益与处置成本、经济效益之间的均衡, 污泥农用成为污泥处置最有效的措施之一<sup>[5-6]</sup>。污泥施用量一般是根据植物需肥特性而定。污泥中绝大部分氮是以有机氮(50%~90%)形式存在的, 在一定的环境条件或微生物作用下经矿化转变为无机态才能被植物吸收利用, 因此, 研究污泥中无机氮转化的特性, 不仅是衡量污泥的肥效高低和确定污泥科学施用的方法, 而且也是评估污泥土地利用后氮素对环境潜

在污染的基础。关于污泥 N 素矿化和养分释放的研究主要集中在中性或偏碱土壤上, 污泥也大多是施用鲜污泥<sup>[6-9]</sup>。本研究在总结前人总结的基础上, 为红壤地区污泥的科学利用进行理论探索, 以期发挥最大肥效并能最大限度降低其所带来的环境风险提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况及供试材料

试验地设在福建农林大学南区后山红壤典型坡

收稿日期: 2013-11-01

修回日期: 2013-11-25

资助项目: 福建省教育厅重点及教育部重点项目“坡地施用污泥径流污染风险的研究”(204075)

作者简介: 拜得珍(1981—), 男(汉族), 青海省西宁市人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要从事环境科研与规划工作。E-mail: rjsbdz@126.com。

地,坡度为  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ,土壤质地均匀,清理区内杂草、林木及地表枯枝落叶层,模拟施肥沟,挖  $50\text{ cm}\times 50\text{ cm}\times 15\text{ cm}$  的小穴,间隔至少大于  $1\text{ m}$ ,周围开挖截留沟,防止地表径流进入施肥沟。

污泥来自厦门市海沧污水处理厂,供试土壤为砂壤土。新鲜污泥风干后粉碎过  $2\text{ mm}$  筛称为干污泥(DS),另一部份污泥与木屑(3:1)混合堆肥处理后粉碎过  $2\text{ mm}$  筛称为堆肥污泥(CS)。干污泥和堆肥污泥有机质分别为  $320.1$  和  $160.05\text{ g/kg}$ ,全氮含量分别为  $40.5$  和  $19.45\text{ g/kg}$ ,全磷含量分别为  $18.59$  和  $12.30\text{ g/kg}$ ,泥与堆肥污泥中 N、有机质等差异很大,初步分析原因,除在堆肥污泥中混入木屑影响了 N 和有机质含量外,也与污泥在堆肥过程中由于微生物的作用,部分有机质的相态发生了变化,随水汽及其它形式造成流失有关<sup>[10]</sup>。同时,堆肥过程中微生物的活动使部分氮元素的盐类物质转化为氨类物质以氨气形式挥发到空气中有关<sup>[10]</sup>,具体原因有待于进一步研究和论证。供试土壤和污泥理化性质详见表 1。

表 1 供试土壤和污泥基本理化性质

项目	土壤(CK)	干污泥(DS)	堆肥污泥(CS)
全氮/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	0.31	40.50	19.45
总磷/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	—	18.95	12.30
硝态氮/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	16.29	226.12	48.43
铵态氮/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	10.32	1 256.20	395.60
pH 值	4.38	7.49	7.10
EC( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	21.4	2 400	1 423
容重( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.08	—	—
空隙度/%	59.25	—	—
有机质/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	15.0	320.1	160.5
CEC( $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	4.67	27.78	—
C/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	8.72	185.49	93.75
C:N	28.07	4.58	4.82
C:P	—	9.98	7.62

## 1.2 试验设计

污泥处理方式分为干污泥和堆肥污泥,污泥撒施指导施肥量按《GB4284—1984》规定,干污泥标准施入量为  $20$  和  $40\text{ t/hm}^2$ ,堆肥污泥施用量为  $40$  和  $66\text{ t/hm}^2$ 。具体试验方案为:其中 DS(dry sewage)代表干污泥,CS(compost sewage)代表堆肥污泥。(1) CK:对照,不施污泥,重复 3 次;(2) DS<sub>10</sub>:微区撒施干污泥  $0.75\text{ kg}$ ,占表层土壤 10% 的质量,即  $20\text{ t/hm}^2$ ,折合全磷  $371.8\text{ kg/hm}^2$ ,有效磷  $22.4$

$\text{kg/hm}^2$ ,重复 3 次;(3) DS<sub>20</sub>:微区撒施干污泥  $1.50\text{ kg}$ ,占表层土壤 20% 的质量,即  $40\text{ t/hm}^2$ ,折合全磷  $743.6\text{ kg/hm}^2$ ,有效磷  $44.7\text{ kg/hm}^2$ ,重复 3 次;(4) CS<sub>20</sub>:微区撒施堆肥污泥  $1.50\text{ kg}$ ,占表层土壤 20% 的质量,即  $40\text{ t/hm}^2$ ,折合全磷  $492.0\text{ kg/hm}^2$ ,有效磷  $81.2\text{ kg/hm}^2$ ,重复 3 次;(5) CS<sub>33</sub>:微区撒施堆肥污泥  $1.50\text{ kg}$ ,占表层土壤 33% 的质量,即  $66\text{ t/hm}^2$ ,折合全磷  $811.8\text{ kg/hm}^2$ ,有效磷  $134.0\text{ kg/hm}^2$ ,重复 3 次。

将混配土壤于 2008 年 3 月 11 日随机施入施肥沟并建立标签,表层再覆盖  $2\sim 3\text{ cm}$  的干土,以减少污泥矿化过程中 N 的气态损失量。

## 1.3 样品采集与测试

于施用污泥起的 0,15,30,45,75 和 105 d 分别在施肥沟中心依次使用小铁铲采取 0—15 cm 土层的混配土样约  $100\text{ g}$  进行样品 N 释放量的测定。

分析养分所用土样为剔除根系和石块后的鲜样,无法立即分析时存放在  $-4^{\circ}\text{C}$  冰箱中于 48 h 内分析完毕。各测试项目所用方法分别为土壤空隙和容重采用环刀法,pH 值采用电位法,土壤全氮采用开氏法,碱解氮采用碱解扩散法,铵态氮采用靛酚蓝比色法<sup>[11]</sup>;硝态氮采用紫外分光光度法测定<sup>[12-13]</sup>,养分释放量计算方法为:

养分释放量(%) =  $100\% \times (\text{各施肥处理土壤养分含量} - \text{空白处理土壤养分含量}) / \text{加入养分量}$ <sup>[14-15]</sup>。

数据分析和制图采用 Excel 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理碱解氮浓度及释放规律随培养时间的变化

土壤碱解氮包括土壤中水溶性氮、交换性氮和易水解性有机态氮,还有相当一部分是来自土壤矿物固定态铵<sup>[16]</sup>,可作为土壤速效氮量的指标。污泥施入土壤后,由于微生物的作用可逐渐矿化释放碱解氮,不同培养期养分含量和养分释放量如图 1—2 所示。由图 1—2 可以看出,在培养期(前 105 d)由于污泥有机氮矿化,碱解氮含量和释放量较对照处理都有所增高。其中,干污泥处理的混配土在前期培养(30 d)内碱解氮含量和碱解氮释放量都明显高于堆肥污泥含量和释放量,具有明显峰值,培养 15 d 时碱解氮含量达到峰值 DS<sub>10</sub>( $573.21 \pm 12\text{ mg/kg}$ )和 DS<sub>20</sub>( $971.10 \pm 21\text{ mg/kg}$ ),相应释放量为 DS<sub>10</sub>(12.84%)和 DS<sub>20</sub>(10.10%),45 d 时出现低谷 DS<sub>10</sub>( $202.42 \pm 14\text{ mg/kg}$ )和 DS<sub>20</sub>( $185.32 \pm 22\text{ mg/kg}$ )。分析原因为干污

泥施用前期,干污泥含易于分解的有机氮多,易出现峰值,随后难以分解的有机氮占重要成分,矿化率减少,养分释放量相应地减少,而在 45 d 左右时,由于随污泥施用投入引起土壤微环境中微生物大量繁殖,使 N 素的生物固定大于矿化作用<sup>[14]</sup>,出现低谷。

堆肥污泥处理的混配土在培养期碱解氮含量和释放量总体趋于上升但平缓,没有明显的峰值和低谷,75 d 后略有降低。CS<sub>20</sub> 和 CS<sub>33</sub> 在培养期混配土碱解氮含量分别在 82.89~217.6 mg/kg 和 116.49~339.67 mg/kg 之间变化。在试验期,累计释放量分别为 13.55% 和 15.68%。

不同配比的混配土在培养期碱解氮养分含量都大于对照含量(CK),并随着配比的增大,混配土碱解氮含量也在增加(DS<sub>20</sub> > DS<sub>10</sub>, CS<sub>33</sub> > CS<sub>20</sub>),但当污泥用量超过一定配比,污泥有机氮矿化率与污泥施用量关系不大:CS<sub>20</sub> (13.55%) < CS<sub>33</sub> (15.68%)。

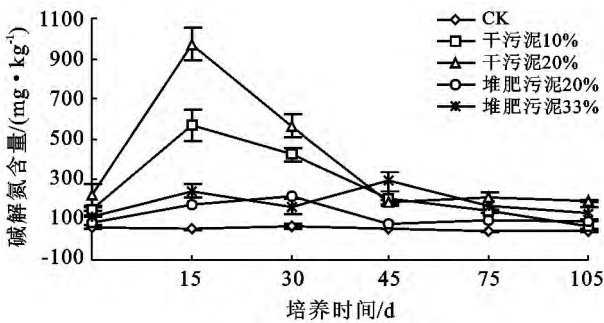


图 1 混配土碱解氮含量变化

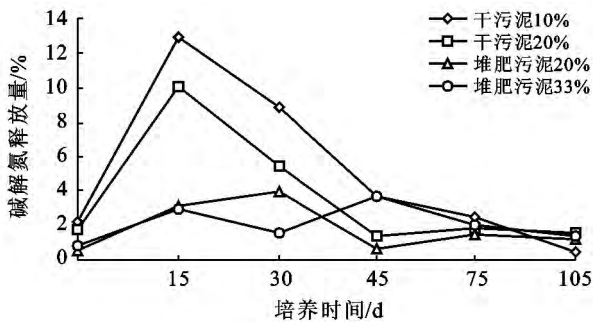


图 2 混配土碱解氮释放量变化

2.2 不同污泥处理土壤中铵态氮随培养时间的变化

从图 3—4 可知,不同类型污泥铵态氮含量和释放量变化规律是一致的,在 15 d 时达到一个高峰,之后迅速降低,干污泥于 45 d,堆肥污泥于 30 d 后,铵态氮含量分别接近对照,之后污泥氮含量以难矿化的有机氮为主,即使矿化形成的铵态氮也被转化为硝态氮,因此混配土中铵态氮含量接近对照水平。混配土

壤中铵态氮含量随着配比的增加而增加(图 3),释放量随配比增加而减少(图 4),但无论是含量还是释放量随配比变化均不显著( $p > 0.05$ )。

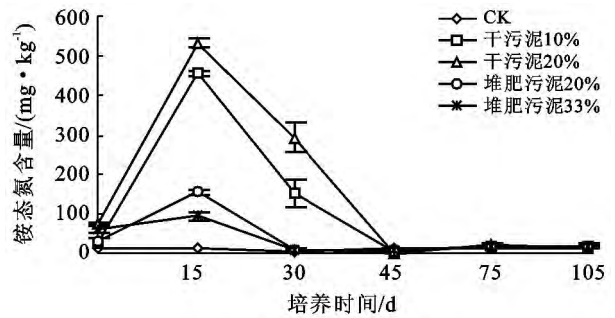


图 3 混配土中铵态氮含量变化

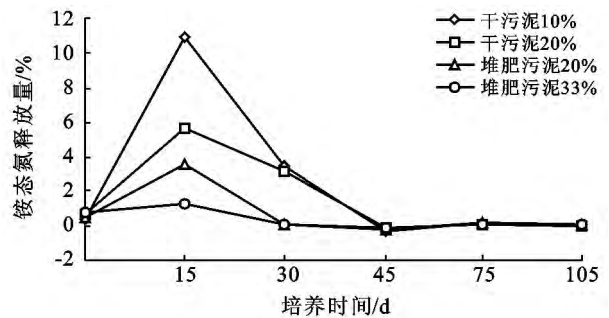


图 4 混配土中铵态氮释放量变化

2.3 混配土中硝态氮随培养时间的变化

从图 5—6 可见,污泥施用增加可土壤中硝态氮含量,随配比的增加,硝态氮含量略有升高,但释放量却明显降低。不同类污泥配比的混配土硝态氮含量和释放量随培养时间总体呈现降低趋势。其中,DS<sub>10</sub> 和 DS<sub>20</sub> 硝态氮含量随培养时间增加—降低—接近对照,变化过程剧烈,在 30 d 时达到一个高峰。堆肥污泥处理(CS<sub>20</sub> 和 CS<sub>33</sub>)的混配土随培养时间平缓降低,没有明显的峰值,最终接近对照。施用堆肥污泥,硝态氮含量变化平缓的主要原因可能是堆肥污泥在堆肥过程中加入木屑等材料,随堆肥进行而产生大量有益和有害的化感物质<sup>[17]</sup>,这些化感物质中存在的某些抑制性物质阻碍硝化和反硝化作用,所以使堆肥配比处理的混配土硝态氮含量没有明显的峰值。但在 45 d 时硝态氮含量突然降低而后又升高,尤其是 CS<sub>33</sub> 变化更为明显,初步分析原因是由于对应的试验时间恰逢连续几天降雨,造成硝态氮的深层迁移或流失,而后随堆肥污泥硝态氮的硝化反应,释放量有所增加有关。本试验的相关研究表明,施用堆肥污泥更易造成营养物质的深层迁移,且与施肥量呈一定的正比例关系。

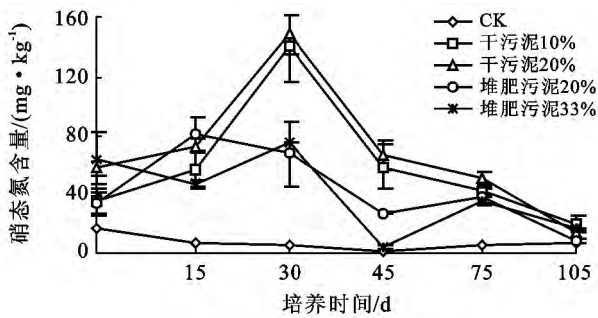


图 5 混配土中硝态氮含量变化

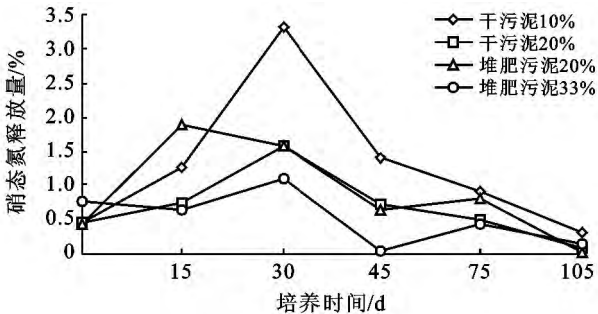


图 6 混配土中硝态氮释放量变化

### 3 结论

(1) 污泥施用后, N 养分释放主要集中在前 30 d, 之后明显降低接近对照。干污泥处理下, 碱解氮释放峰值出现在第 15 d, 堆肥污泥处理下土壤碱解氮含量和释放量总体趋于上升但平缓, 没有明显的峰值和低谷; 干污泥处理和堆肥污泥处理下土壤铵态氮含量和释放量变化规律一致, 在 15 d 时达到一个高峰, 之后迅速降低, 干污泥于 45 d, 堆肥污泥于 30 d 后, 铵态氮含量分别接近对照; 干污泥处理下土壤硝态氮含量随培养时间增加—降低—接近对照, 变化过程剧烈, 在 30 d 时达到一个高峰, 堆肥污泥处理下土壤硝态氮含量和释放量随培养时间平缓降低, 没有明显的峰值, 最终接近对照。

(2) 经过 105 d 试验期, 干污泥处理下土壤氮释放量高于堆肥处理。

(3) 污泥施肥量对土壤碱解氮、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  的含量和释放量有一定影响, 但效果不明显 ( $p > 0.05$ )。在供试条件下, 随配比的增大, 各形态的养分含量略有增大而释放量却减小。

(4) 无论是从氮肥效角度, 还是氮释放的环境风险角度考虑, 污泥堆肥处理后施肥方式均优于干污泥处理施肥方式。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 李艳霞, 陈同斌, 罗维, 等. 中国城市污泥有机质及养分含量与土地利用[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2464-2474.
- [2] Ayuso M, Pascual J A, Garcia C, et al. Evaluation of urban wastes for agricultural use[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1996, 42(1): 105-111.
- [3] Hernandez T, Moreno J I, Costa F. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability[J]. Soil Sci. Plant Nutr., 1991, 37(2): 201-210.
- [4] 郭兰, 米尔芳, 田若涛. 城市污泥和垃圾堆肥的农田施用对土壤性质的影响[J]. 农业环境保护, 1994, 13(5): 204-209.
- [5] 张增强, 薛澄泽. 城市污水污泥的堆肥化与资源化[J]. 环境保护, 1997(7): 12-15.
- [6] 周立祥, 胡霏堂, 戈乃玢, 等. 城市污泥土地利用研究[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 185-193.
- [7] 周立祥, 胡霏堂, 日忠明. 城市污泥有机氮矿化动态及其影响因素的研究[J]. 环境科学学报, 1997, 17(3): 359-364.
- [8] Bremner J M. Inorganic Form of Nitrogen[M]// Black C A. Methods of Soil Analysis (Part 2); Agronomy 9. Madison: American Society of Agronomy, 1965: 1179-1238.
- [9] Stanford G. Assessment of Soil Nitrogen Availability[M]// Stevenson F J. Nitrogen in Agricultural Soils. Agrn. Monogr. Madison: 22 ASA, CSSA and SSSA, WI, 1982: 651-720.
- [10] 李纪周, 姚天举. 秸秆与城市低有机质含量污泥好氧堆肥试验研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 29(35): 9316-9317.
- [11] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [12] 宋歌, 孙波, 教剑英. 测定土壤硝态氮的紫外分光光度法与其它方法的比较[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 288-292.
- [13] 李酉开. 紫外分光光度法测定硝酸盐[J]. 土壤学进展, 1983(6): 44-56.
- [14] 赵明, 赵征宇, 蔡葵, 等. 畜禽有机肥当季速效氮磷钾养分释放规律[J]. 山东农业科学, 2004(5): 59-61.
- [15] 赵明, 陈雪辉, 赵征宇, 等. 鸡粪等有机肥料的养分释放及对土壤有效铜、锌、铁、锰含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 47-50.
- [16] 荆国芳, 钱晓晴, 陈传敏, 等. 土壤碱解氮测定中固定态铵的释放[J]. 土壤, 1998(6): 332-334.
- [17] 马瑞霞, 刘秀芬, 孙思恩, 等. 小麦根区微生物分解小麦残体产生的化感物质及其生物活性研究[J]. 生态学报, 1996, 16(6): 632-639.