

DOI: 10.11766/trxb201905310087

陈雪, 翟欣, 杨振智, 符德龙, 史艺杰, 徐胜祥, 王美艳, 史学正. 特制有机肥提高贵州黄壤氮矿化和硝化率的研究[J]. 土壤学报, 2020, 57(4): 878–886.

CHEN Xue, ZHAI Xin, YANG Zhenzhi, FU Delong, SHI Yijie, XU Shengxiang, WANG Meiyang, SHI Xuezheng. Effect of Customized Organic Manure Improving Mineralization and Nitrification of Soil N in Yellow Soil of Guizhou[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(4): 878–886.

## 特制有机肥提高贵州黄壤氮矿化和硝化率的研究\*

陈雪<sup>1</sup>, 翟欣<sup>1</sup>, 杨振智<sup>2</sup>, 符德龙<sup>1</sup>, 史艺杰<sup>3</sup>, 徐胜祥<sup>3†</sup>, 王美艳<sup>3</sup>, 史学正<sup>3</sup>

(1. 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州毕节 551700; 2. 贵州毕节市烟草公司金沙公司, 贵州金沙 551800; 3. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘 要:** 植烟土壤中的氮素形态比例是优质烟叶生产的关键, 合理施用有机肥可以调节土壤中不同形态氮素矿化水平。以贵州植烟黄壤为研究对象, 采用 Stanford 长期好气间歇淋洗培养法, 研究并模拟了不同特制有机肥施用量(0(CK), 750 kg·hm<sup>-2</sup>(1F), 1 500 kg·hm<sup>-2</sup>(2F), 2 250 kg·hm<sup>-2</sup>(3F))下的土壤氮素矿化过程。结果表明, 供试贵州黄壤培养 5 d 后硝化率低于 10%, 后期硝态氮释放比例严重偏低, 土壤在烟草旺长期能供给的硝态氮总量为 66.89 mg·kg<sup>-1</sup>, 不能满足烟草全生育期内的需氮情况。特制有机肥施用后土壤速效氮矿化速率均呈“前快后慢”趋势, 前期矿化量高, 后期矿质氮素释放减少并逐渐稳定, 符合烟草生长对氮的吸收规律。特制有机肥施用显著提高了土壤速效氮矿化量, 速效氮矿化量最多增长 420.1%, 硝态氮最多增长 276.6%。添加特制有机肥显著提高了植烟黄壤硝化率, 硝化率增幅范围为 8.1%~50.4%。3F 处理特制有机肥施用量条件下, 土壤硝化率变化范围为 43.69%~51.22%, 最符合烟草对不同形态氮素的吸收比例, 有助于提高烟株产质量。综上所述, 每公顷施用 2 250 kg 特制有机肥最适宜贵州黄壤烟草种植。

**关键词:** 有机肥, 烟草, 氮矿化, 硝化率, 黄壤

**中图分类号:** S141.5; S153.6; S572 **文献标志码:** A

## Effect of Customized Organic Manure Improving Mineralization and Nitrification of Soil N in Yellow Soil of Guizhou

CHEN Xue<sup>1</sup>, ZHAI Xin<sup>1</sup>, YANG Zhenzhi<sup>2</sup>, FU Delong<sup>1</sup>, SHI Yijie<sup>3</sup>, XU Shengxiang<sup>3†</sup>, WANG Meiyang<sup>3</sup>, SHI Xuezheng<sup>3</sup>

(1. Bijie Tobacco Company of Guizhou Province, Bijie, Guizhou 551700, China; 2. Jinsha Branch of Bijie Tobacco Company, Jinsha, Guizhou 551800, China; 3. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** [Objective] Soil nitrogen is an important factor in producing quality tobacco leaves. About 2/3 of the nitrogen

\* 贵州省烟草公司毕节市公司科技专项(省市院合 2015-06; 2018-101)和中国烟草总公司贵州省公司科技项目(201703)共同资助  
Supported by the Bijie Branch Company, Guizhou Tobacco Company (No. SSY2015-06; No. 2018-101) and the Science and Technology Foundation of Guizhou Tobacco Monopoly Bureau of China (No. 201703)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: sxxu@issas.ac.cn

作者简介: 陈雪(1967—), 女, 贵州黔西人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事烤烟生产技术研究。E-mail: 248366944@qq.com

收稿日期: 2019-05-31; 收到修改稿日期: 2019-08-26; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2019-11-11

absorbed by tobacco during its whole growth period is in the form of mineralized nitrogen. So, nitrification ratio of the nitrogen in tobacco planting soil is the key to the production of high quality tobacco. Rational application of organic manure can regulate mineralization of soil N of all forms. The aim of the study is to determine a reasonable rate for application of specialized organic manure in yellow soil in Guizhou, and to improve nitrification rate in the tobacco planting soil so as to improve quality of tobacco leaves. 【Method】 In this study, samples of the yellow soil collected from Guizhou were used in an incubation test with the Stanford long-term aerobic and intermittent leaching incubation method. The test was designed to have 4 treatments, i.e. CK (0 kg·hm<sup>-2</sup>), 1F (750 kg·hm<sup>-2</sup>), 2F (1 500 kg·hm<sup>-2</sup>) and 3F (2 250 kg·hm<sup>-2</sup>) in terms of application rate of customized organic manure, to simulate the process of soil nitrogen mineralization. And during the incubation test, a portion of each sample in each treatment was rinsed on D0, D5, D15, D30, D45 and D60, separately, for determination of nitrification ratio. Compared with common organic manure, the specialized organic manure was higher in concentration of available nitrogen, reaching up to 41.3%. 【Result】 Results show that the content of mineral nitrogen, regardless of form, increased with the incubation going on during the incubation period. Mineralization was dominated by nitrate nitrogen at the early stage. After 5 days of incubation, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N turned up in dominancy. With the incubation going on, nitrate nitrogen was being mineralized. After D5, the nitrification rate of soil nitrogen in the yellow soil dropped below 10%. The proportion of nitrate nitrogen in the release of soil N was seriously lower in the late growth period. The total amount of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N the soil could supply during the prime growing season of the plant reached only up to 66.89 mg·kg<sup>-1</sup>, which was far from enough to meet the demand of the crop for nitrogen throughout the growing season. Once the customized organic manure was applied, soil nitrogen mineralization showed a trend of “fast first and then slow”. So soil nitrogen mineralization was high during the initial period, and then the release of mineral nitrogen reduced and levelled off at the late stage, which is in consistence with the rule of nitrogen absorption by tobacco for its growth. The application of customized organic manure increased the content of soil readily available nitrogen through mineralization significantly or even by 420.1%, the content of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N by 276.6%, and nitrification ratio 8.1% to 50.4%. In Treatment 3F(2 250 kg·hm<sup>-2</sup>), soil nitrification rate ranged from 43.69% to 51.22%, which was the most conducive to quality of the tobacco. It was found that NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content and total available nitrogen mineralization capacity of the organic manure increased with rising organic manure application rate. 【Conclusion】 Application of the specialized organic manure at a high rate increases nitrogen supply capacity of the soil, promotes mineralization of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and improves nitrification rate. Especially when the application rate reaches up to 2 250 kg·hm<sup>-2</sup> as is in Treatment 3F, nitrification rate in the soil increases during the tobacco growing period, which is conducive to improvement of quality of the tobacco. In the tobacco growing season, application of the specialized organic manure can ensure stable release of available nitrogen and improve the nitrification rate, which is the most suitable condition for growth of tobacco plants. In conclusion, application of 2 250 kg·hm<sup>-2</sup> of the organic manure is the most suitable rate for tobacco cultivation in the yellow soil area of Guizhou.

**Key words:** Organic fertilizer; Tobacco; Nitrogen mineralization; Nitrification rate; Yellow soil

氮素在所有营养元素中对烤烟产质量影响最大, 烟草全生育期吸收的氮素 2/3 来自于土壤矿化氮<sup>[1-2]</sup>。硝态氮铵态氮均是烟草生长的有效氮源, 土壤中不同氮素形态比例对烤烟品质具有重要影响。因此, 基于氮素形态比例研究有机肥施用对植烟土壤氮矿化规律的影响, 对于指导烟草农业生产具有重要意义<sup>[3-4]</sup>。

当前, 关于农田土壤氮矿化能力的研究已有很多, 主要以土壤氮素矿化量和氮矿化速率作为反映土壤氮素供应能力的指标<sup>[5]</sup>, 集中反映了土壤氮矿

化水平的地域性差异和影响因素。首先, 不同地区不同土壤氮矿化势差异明显, 中国陆地生态系统土壤氮矿化速率随纬度的增加而降低<sup>[6]</sup>, 我国南部主要植烟黄壤、紫色土、红壤、水稻土平均矿化势在 150.1 mg·kg<sup>-1</sup> 以上<sup>[7-8]</sup>, 其中长江中上游烟区、长江中下游烟区、西南烟区土壤矿化势分别为 127.8 mg·kg<sup>-1</sup>、135.0 mg·kg<sup>-1</sup> 和 160.5 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[9]</sup>。其次, 不同施肥处理的土壤氮矿化过程差异明显<sup>[10]</sup>, 石博文等<sup>[11]</sup>研究发现湖北棕红壤低量 (30 t·hm<sup>-2</sup>)、中量 (60 t·hm<sup>-2</sup>)、高量 (120 t·hm<sup>-2</sup>、150 t·hm<sup>-2</sup>)

有机肥与尿素 ( $N\ 225\ kg\cdot hm^{-2}$ ) 与单施尿素相比无机氮最大矿化量增加  $52.9\sim 246.0\ mg\cdot kg^{-1}$ , 有效矿化时间延长 5 d; 王正银和青长乐<sup>[12]</sup>在四川重庆北碚的中性紫色土研究发现在空白处理、加猪粪、加牛粪和加鸡粪的不同处理中土壤氮矿化量分别为  $136.0\ mg\cdot kg^{-1}$ 、 $304.5\ mg\cdot kg^{-1}$ 、 $317.5\ mg\cdot kg^{-1}$ 、 $406.5\ mg\cdot kg^{-1}$ 。此外, 耕作方式也通过影响空气与水分运移进而影响有机氮矿化过程, 刘世平等<sup>[13]</sup>研究扬州灰潮土不同耕作措施的稻麦轮作地发现土壤矿化氮量大小为: 连少耕>连耕和轮耕土, 植株总吸氮量为连少耕  $157.0\ kg\cdot hm^{-2}$ , 连耕  $166.5\ kg\cdot hm^{-2}$ , 轮耕  $182.7\ kg\cdot hm^{-2}$ 。以上研究表明不同地区不同管理措施下的土壤供氮能力存在明显差异, 不同地区烟草生产中通过增施有机肥提高土壤氮矿化速率, 应调节土壤供氮能力与烟草生长的需氮规律相契合。烟草是一种喜硝作物, 当土壤中可吸收的硝态氮比例提高可以促进烤烟品质提升。大量研究表明, 当烟草吸收的硝态氮和铵态氮各占 50% 时, 烤烟品质最佳<sup>[14]</sup>, 所以植烟土壤的硝化率也是决定烟草质量的关键因素<sup>[15-16]</sup>, 当前却鲜有关于通过施用有机肥提高植烟土壤硝化率影响的研究<sup>[17-18]</sup>。

本研究以贵州黄壤为研究对象, 采用间接淋洗好气培养法, 研究添加不同质量特制有机肥对土壤氮矿化速率、氮矿化量和硝化率的影响, 旨在确定植烟黄壤中特制有机肥的合理施用量, 在保证烟草产量的同时, 提高植烟土壤硝化率, 进而提升烟叶质量。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试土壤

供试土壤为贵州毕节金沙科技园耕层土壤, 土壤类型为黄壤。试验土风干后磨细过 5 mm 筛备用。经测定该土壤砂粒 ( $>0.05\ mm$ ) 含量为 17.5%, 粉粒 ( $0.05\sim 0.002\ mm$ ) 含量为 35.0%, 黏粒 ( $<0.002\ mm$ ) 含量为 47.5%, 土壤质地为粉砂质黏壤土; 土壤 pH 为 6.4, 有机质含量为  $19.5\ g\cdot kg^{-1}$ , 全氮  $1.3\ g\cdot kg^{-1}$ , 速效磷  $22.7\ mg\cdot kg^{-1}$ , 速效钾  $313\ mg\cdot kg^{-1}$ , 有效硫  $71.4\ mg\cdot kg^{-1}$ 。

### 1.2 试验用有机肥

特制有机肥为深度腐熟的酒糟有机肥 (由中国

科学院南京土壤研究所提供), 其基本性质为: pH 为 5.6, 全氮含量为  $30.5\ g\cdot kg^{-1}$ ,  $NO_3^- - N$  含量  $2420\ mg\cdot kg^{-1}$ ,  $NH_4^+ - N$  含量  $3440\ mg\cdot kg^{-1}$ , AN (碱解氮) 含量  $5860\ mg\cdot kg^{-1}$ 。该特制有机肥与普通有机肥相比, 硝态氮占碱解氮的比例较高, 可达 41.3%。

### 1.3 试验设计

试验设置 4 个有机肥施用水平, (1) CK 为零添加有机肥的供试土壤; (2) 1F 为有机肥施用量为  $750\ kg\cdot hm^{-2}$ ; (3) 2F 为有机肥施用量为  $1500\ kg\cdot hm^{-2}$ ; (4) 3F 为有机肥施用量为  $2250\ kg\cdot hm^{-2}$ 。每个处理设置 3 个重复。

### 1.4 样品的采集与测定

土壤含水量采用烘干法; pH 采用 pH 计测定; 全氮采用凯氏定氮法; 硝态氮和铵态氮采用流动分析仪测定, 具体参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[19]</sup>。

Stanford 间歇淋洗好气培养实验: 利用布氏漏斗为基础拼接柱状 PVC 管的装置作为矿化容器, 容积 610 mL, 将所有样品放入恒温箱内培养, 设定温度为  $30\ ^\circ C\pm 2\ ^\circ C$ 。培养起始后的第 0 天、第 5 天、第 15 天、第 30 天、第 45 天、第 60 天淋洗样品。采用  $1\ mol\cdot L^{-1}$  KCl 溶液作为淋洗液。取淋洗液保存至 15 mL 离心管内, 用于测定样品矿化过滤液的  $NH_4^+ - N$ 、 $NO_3^- - N$  含量。

硝化率 = 各时段内硝态氮矿化量 / 各时段内硝态氮 + 铵态氮矿化量

碱解氮矿化量 = 从培养时间起至测定时间止的铵态氮含量 + 硝态氮含量

矿化速率 = (培养后速效氮含量 - 培养前速效氮含量) / 培养时间

### 1.5 数据处理与分析

数据采用 IBM SPSS Statistics 22 进行统计分析, 采用 Duncan 法进行显著性检验, 采用 Microsoft Office Excel 2016 进行数据处理及作图。

## 2 结 果

### 2.1 贵州黄壤矿化硝化率及氮矿化量较低

土壤不同形态氮素矿化速率呈现波动式变化 (图 1)。土壤速效氮矿化速率在第 5 天时最高, 此后迅速降低, 其中硝态氮矿化速率在第 5~15 天内

降低了 90.0%；土壤铵态氮矿化速率在第 5~15 天和 15~30 天内降幅分别为 73.8%和 57.3%，第 30~45 天内铵态氮矿化速率回升 34.0%，45~60 d 回落 17.7%。

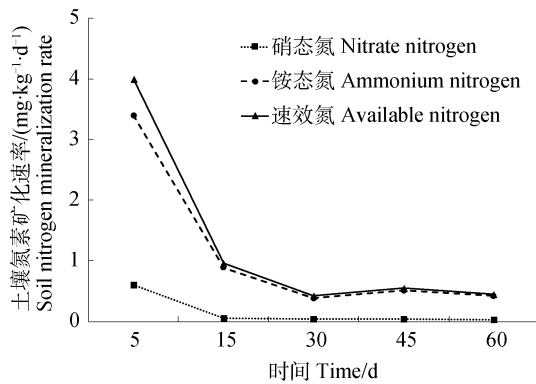


图 1 培养期内土壤氮矿化速率变化

Fig. 1 Variation of soil nitrogen mineralization rate during the incubation

由图 2 可知,CK 无有机肥添加的土壤在 0~60 d 培养期内土壤各形态氮素均呈对数增长。土壤硝态氮矿化量在 0~5 d 内迅速增加 9.7%；5 d 后硝态氮矿化量增长缓慢。铵态氮矿化量在 0~5 d 内迅速增加 45.3%，5d 后稳定增长。土壤碱解氮矿化量在 0~5 d 内，5~15 d 内分别迅速增加了 23.8%和 19.2%，15 d 后呈稳定增长。

土壤氮矿化硝化率呈对数趋势降低 (图 3)，0 d 时土壤硝化率高达 60.1%，0~5 d 内迅速降低 59.9%，5~15 d 期间矿化出的氮硝化率为 9.2%，与 0~5 d 内相比降低 62.1%，15 d 后硝化率稳定降低，至 45~60 d 时为 1.8%。培养期内不同形态矿质氮素比例随培养时间增加变化明显，矿化初期以硝态氮

为主，5 d 后以铵态氮为主，随着培养时间的增加，硝态氮在矿化出的速效氮中占比接近于零。

## 2.2 特制有机肥施用提高了土壤矿化硝化率及速效氮矿化量

土壤不同形态氮矿化速率均随有机肥施用量增加而增加 (图 4)，硝态氮矿化速率在 0~5 d 内以 1F 处理最低，2F 和 3F 为 1F 的 2 倍，5~15 d 各处理均明显降低，15 d 后趋于稳定，2F 和 3F 为 1F 硝态氮矿化速率的 2 倍。铵态氮矿化速率 0~5 d 时差异显著，从小到大为：1F<3F<2F，5~15 d 内迅速降低，30 d 后基本稳定。

各处理土壤氮素矿化量随培养时间推进呈对数增长 (图 5)，土壤氮矿化量随有机肥施入量的增加而增加。0 d 矿化初期：与 CK 相比，1F、2F 和 3F 硝态氮矿化量分别增加了 107.4%，192.0%和 276.6%；铵态氮矿化量分别增加了 164.0%，352.6%和 640.1%；总速效氮矿化量分别增加了 129.7%，255.6%和 420.1%。1F、2F、3F 处理硝态氮矿化量在 30~60 d 内趋于稳定，铵态氮和速效氮矿化量在 0~60 d 内均呈稳步增长趋势。

施用特制有机肥后土壤氮矿化硝化率显著提升 (图 6)。从不同培养时间来看，除 0 d 初始矿化时外，各时段内硝化率随特制有机肥施用量增加而增大，硝化率增幅范围为 8.1%~50.4%。从不同有机肥施用量来看：1F 硝化率在培养期内随时间增长呈先减小后增加的趋势，1F 最高达 54.5%，0~15 d 迅速降低了 21.5%，15d 时出现谷值 21.5%，15~60 d 期间硝化率缓慢回升 6.8%后达到 28.3%；2F 硝化率呈先降低后稳定的趋势，在 0 d 时出现最大值 49.6%，相比同时期 1F 降低了 4.9%，5d 后 2F 的硝化率保持

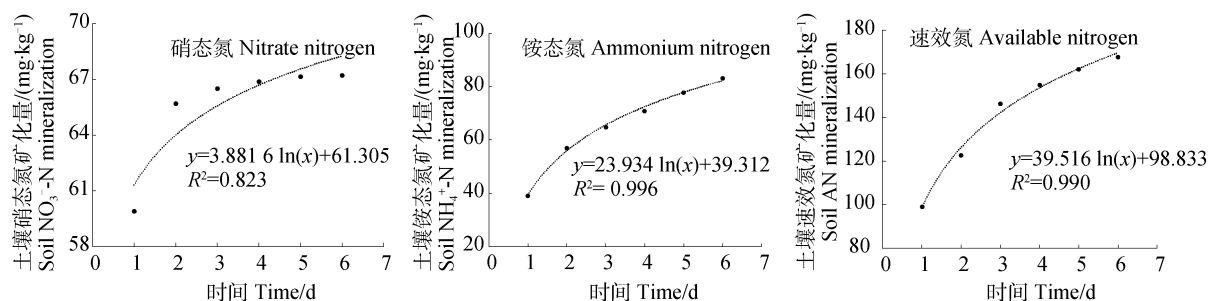


图 2 培养期内土壤氮素矿化量

Fig. 2 Soil nitrogen mineralization during the incubation

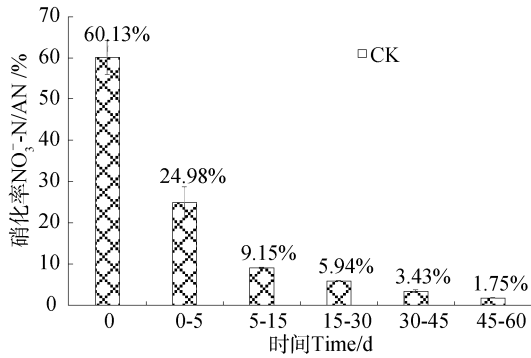


图3 培养期内土壤矿化硝化率  
Fig. 3 Variation of NO<sub>3</sub>-N/AN during the incubation

在 42.0%水平上下波动；3F 的硝化率在培养期内呈持续稳定上升趋势，0 d 时 3F 硝化率最低，0~15 d 迅速增至 51.1%。3F 处理土壤硝化率变化范围为 43.69%~51.22%，3F 在 5~60 d 内硝化率均保持在 50.0%以上。

2.3 特制有机肥施用量增加提高速效氮矿化效率

以 CK 为土壤氮矿化能力为参照，推算不同处理下单位质量有机肥矿化出的速效氮含量（表 1）。由表 1 可知，随有机肥施用量增加，单位有机肥的硝态氮、铵态氮矿化量均明显增加，其中 1F 处理的有机肥硝态氮矿化量为 1.28 mg·g<sup>-1</sup>，2F、3F 分别为

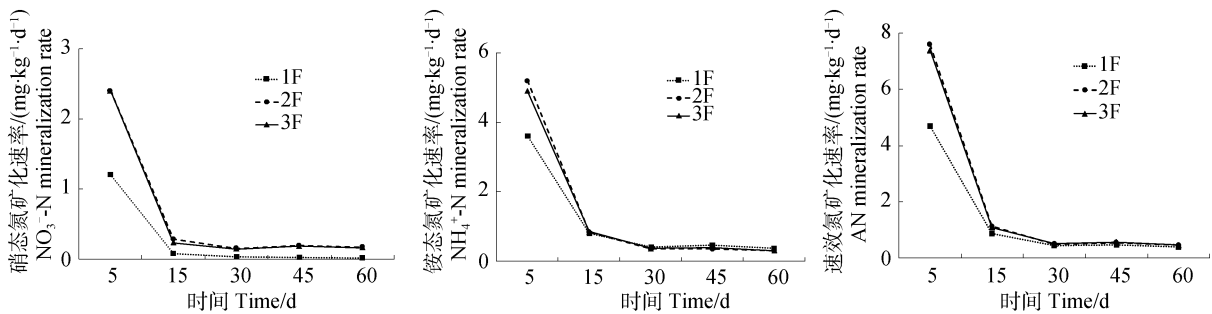


图4 随有机肥施用量增加氮矿化速率变化  
Fig. 4 Soil nitrogen mineralization rate relative to treatment

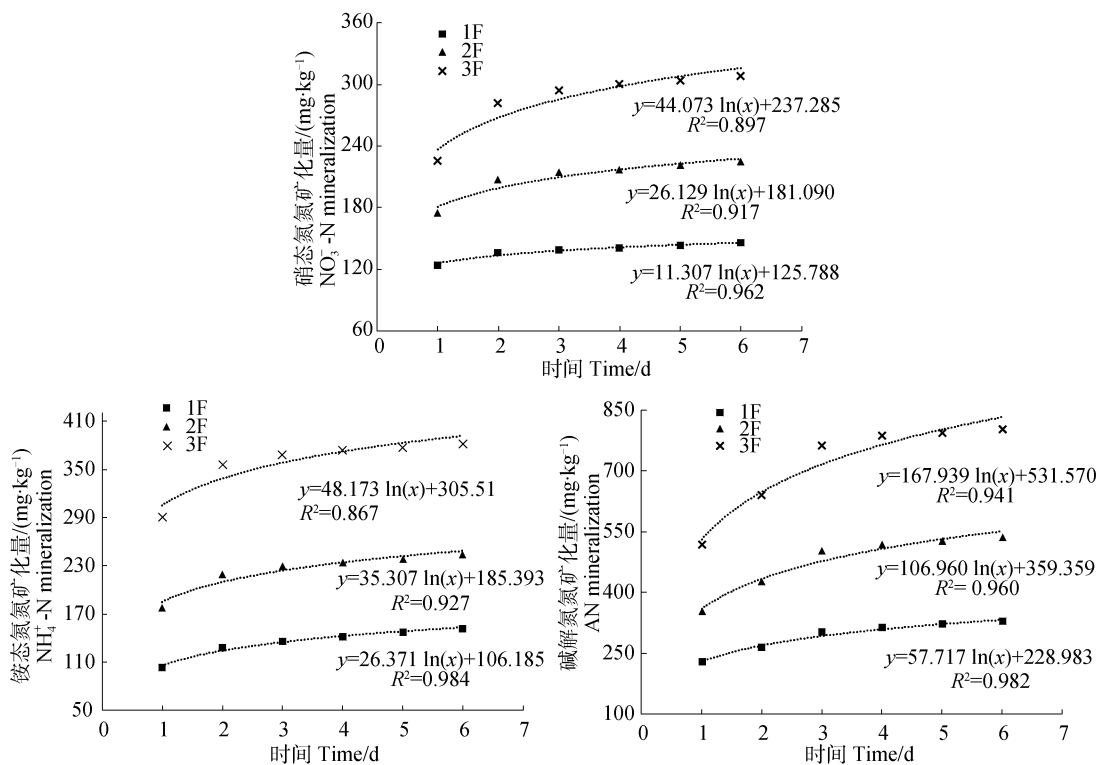
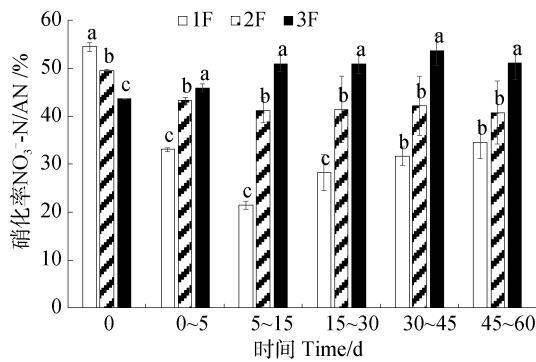


图5 随有机肥施用量增加的氮素矿化量变化  
Fig. 5 Soil nitrogen mineralization relative to treatment



注: 不同小写字母表示不同处理间的差异显著或极显著 ( $P < 0.05$ )。下同 Note: Different lowercase letters represent significant or extremely significant of difference between different treatment ( $P < 0.05$ )。The same below

图 6 随有机肥施用量增加土壤矿化硝化率变化

Fig. 6  $\text{NO}_3^- \text{-N/AN}$  relative to treatment

其 1.47 倍和 1.74 倍; 1F 处理铵态氮矿化量为  $0.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 2F、3F 分别为其 2.02 倍和 2.70 倍; 1F 处理速效氮矿化量为  $1.84 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 2F、3F 分别为其 1.65 倍和 2.05 倍。有机肥硝态氮和总速效氮矿化能力随有机肥施用量的增加而增加, 而有机肥铵态氮矿化能力在 2F 和 3F 水平无明显差异。

### 3 讨论

#### 3.1 黄壤硝化率及氮矿化量难以满足烟草生长需要

烟草吸收的氮素 59.8%~90.9%应来源于土壤氮, 烤烟生长期土壤矿化氮量应占烤烟生长季总输入氮量的 22.6%~54.3%<sup>[9]</sup>, 土壤硝化率在 50%左右为最佳<sup>[20]</sup>。本研究结果显示, 贵州黄壤速效氮总矿化量为  $167.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 仅占总氮含量的 13.0%, 远低于要求的 22.6%, 土壤在烟草旺长期能供给

的硝态氮总量仅为  $66.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 培养后土壤硝化率不足 10%, 不利于提高烟草质量。李建伟等<sup>[21]</sup>认为贵州烟草生产中适当提高硝态氮比例, 烤烟的产量和产值分别能提高 2.5%~8.6%和 1.5%~20.5%。贵州黄壤氮矿化量和硝化率均较低可能是因为黄壤的黏土矿物以蛭石为主, 对氮肥的固定作用强, 而且供试土壤偏酸性, 硝化作用弱, 硝态氮累积量较低, 所以氮矿化以铵态氮为主。因此, 为了保证烟草生长可利用氮素供应充分, 贵州黄壤速效氮矿化量及硝化率有待提高。

#### 3.2 施用特制有机肥后贵州黄壤氮矿化符合烟草需氮规律

烟草理想的硝态氮吸收规律应在移栽后 20 d 前吸收少, 20~40 d 达到高峰, 60 d 后供应量基本消耗殆尽。本研究中加入特制有机肥后显著提高了土壤氮矿化量, 氮矿化速率呈“前快后慢”趋势, 前期矿化量高, 矿化速率快, 后期矿质氮素释放减少并逐渐稳定, 满足烟叶吸收规律。特制有机肥在 3F ( $2 \text{ 250 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 施用水平下, 矿化硝化率随培养期推进出现了先增加后减小的趋势, 并且硝化率 5 d 后基本保持在 50%水平, 符合烟草生长期对硝态氮的需求规律。类似的研究结果显示, 云南砂红壤植烟土壤分别施用腐熟猪粪、菜籽饼和腐熟秸秆后与不施有机肥的对照相比, 土壤矿化氮量差异显著, 35 d 时仅腐熟猪粪处理硝态氮和铵态氮含量较对照增加了 6.7%和 13.6%, 菜籽饼和腐熟秸秆处理均低于对照, 63 d 时腐熟猪粪、菜籽饼和腐熟秸秆处理硝态氮含量分别较对照高 130.6%、34.7%和 137.8%, 铵态氮含量分别提高 46.7%、59.2%和 15.8%<sup>[22]</sup>。对照和施有机肥处理中铵态氮含量均偏低, 硝态氮比例过高。与本研究特制有机肥相比, 上述有机肥中的硝态氮缓释时间过长, 60 d 后才出现供

表 1 有机肥速效氮矿化效率

Table 1 Nitrogen mineralization efficiency of the organic manure relative to treatment

处理 Treatment	单位质量有机肥速效氮矿化量 Nitrogen mineralization efficiency of the organic manure / ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )		
	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	AN
1F	$1.28 \pm 0.13\text{c}$	$0.57 \pm 0.32\text{b}$	$1.84 \pm 0.31\text{c}$
2F	$1.88 \pm 0.15\text{b}$	$1.15 \pm 0.02\text{a}$	$3.03 \pm 0.14\text{b}$
3F	$2.23 \pm 0.03\text{a}$	$1.54 \pm 0.14\text{a}$	$3.77 \pm 0.17\text{a}$

应高峰,未在 20~40 d 烟草吸收硝态氮的高峰集中供应,并且培养期内铵态氮含量较低,不利于烟草生长。原因可能有两点:第一是土壤本身性质的原因,本研究中黏性土本身矿化能力低于砂质土,黏粒对有机质提供了保护作用,所以黏性黄壤高量施用特制有机肥较不施肥处理矿化能力提高显著,而砂红壤上施用有机肥提高作用不明显。第二是因为有机肥 C/N 比不同,秸秆中多含有木质素、纤维素和半纤维素,C/N 最高,复杂碳源被降解后才能刺激氮矿化微生物活动,促进异养硝化作用,所以秸秆类物质施入前期对硝态氮固持作用强,后期释放快,而动物粪肥是含有易降解的有机碳和有机氮,但 C/N 较低的有机肥料,对有机氮矿化的缓释作用强<sup>[23-24]</sup>。另有研究对比贵州龙岗黏壤土分别添加酒糟有机肥、炭基酒糟有机肥、竹炭处理和空白处理发现,添加酒糟有机肥的硝态氮含量和氮素累积矿化量均显著高于其他处理,但 14 d 时氮素矿化量已经占总矿化量的 35.15%,矿化速率过快,氮素量供应不稳定,后期供应不足<sup>[25]</sup>,可能同样受到有机肥料中 C/N 的影响。本研究中特制有机肥经过配方调节和腐熟过程把控,在保证烟草产量的同时,维持土壤硝化率为 50%,从而提高烟叶质量。

### 3.3 土壤氮矿化水平随特制有机肥施用量增加而提高

本研究结果显示,特制有机肥施用量增加提高了土壤供氮能力,与施用 750 kg·hm<sup>-2</sup> 有机肥相比,1 150 kg·hm<sup>-2</sup> 与 2 250 kg·hm<sup>-2</sup> 施用条件下的土壤硝态氮和铵态氮矿化量、矿化速率及单位质量有机肥矿化量均有显著增加,并且随有机肥施用量增加硝化率的增大效果越显著,硝态氮的矿化时间延缓,符合烟草生长期的需氮规律<sup>[26]</sup>。该结论与张新要等<sup>[27]</sup>研究结果不同,其认为云南峨山植烟红壤施用 20%和 40%饼肥代替化肥处理较单施化肥(50%硝态氮+50%铵态氮)对烟叶产质量均未有提升作用,并且随饼肥施用量增加而烟叶产质量有所下降。原因可能与有机肥的腐熟程度有关,若有机肥腐熟度偏低,施入土壤发酵后的水热条件会影响微生物活性及其对有机氮的分解过程,进而使氮矿化量和硝化率偏离预期水平<sup>[28]</sup>。Bernal 等<sup>[29]</sup>研究发现,46.5%污泥和 53.5%废棉混合的三种不同腐熟程度的堆肥(未腐熟、部分腐熟和完全腐熟)施入土壤 70 d 后,

腐熟有机肥净氮矿化率为 8%。部分腐熟有机肥在培养 70 d 后净氮矿化率为 4.7%,未腐熟的有机肥表现为氮的固定,净氮固定率为 4.3%。堆肥样品的腐熟程度增加,促进氮矿化过程增强。本研究中特制有机肥腐熟度对黄壤中氮矿化量和硝化率具有显著提高作用,所以在贵州黄壤地区施用该特制有机肥有助于提高土壤供氮能力,保证烟草品质。

## 4 结 论

供试贵州黄壤矿化硝化率初期较高,5 d 后硝态氮释放比例严重偏低,为保证烟草生长可利用氮素供应充分,贵州黄壤土壤速效氮矿化水平有待提高。加入特制有机肥后速效氮矿化量和矿化速率均显著提高,培养期内矿化速率呈“前快后慢”的变化趋势,前期矿化量高、矿化速率快,后期矿质氮素释放减少并逐渐稳定,符合烟草生长对氮的吸收规律。增加特制有机肥施用量提高了土壤供氮效率,对硝态氮矿化效率促进作用最明显。添加特制有机肥提高了植烟黄壤矿化硝化率,特制有机肥施水平为 3F(2 250 kg·hm<sup>-2</sup>)时,培养期内土壤硝化率可达 43.69%~51.22%。在烟草生长期,施用特制有机肥可以保证土壤稳定释放有效态氮,提高土壤硝化率,每公顷施用 2 250 kg 有机肥最适宜贵州黄壤烟草生产。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Ye X F, Li Z P, Yu X N, et al. Study on release of nutrients from mineralized organic fertilizer during flue-cured tobacco growth period[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2017, 23 (3): 80—86. [叶协锋,李志鹏,于晓娜,等. 腐熟有机肥在烤烟生长期田间养分矿化释放特征的研究[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(3): 80—86.]
- [ 2 ] Xi X Y, Zhao Z X, Li C J. Effects of fertilizer-N and soil-N on nitrogen absorption and nicotine synthesis of flue-cured tobacco[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45 (4): 750—753. [习向银,赵正雄,李春俭. 肥料氮和土壤氮对烤烟氮素吸收和烟碱合成的影响[J]. 土壤学报, 2008, 45 (4): 750—753.]
- [ 3 ] Liu W Q, Chen J H, Liu J L. Relationship between the use of organic fertilizer technology and tobacco leaf quality[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2003, 9 (s1): 9—18. [刘卫群,陈江华,刘建利. 有机肥使用技术与烟叶品质关系[J]. 中国烟草学报, 2003, 9 (s1): 9—18.]
- [ 4 ] Li Y P, Liu G S, Ding S S, et al. Effects of mixed organic

- fertilizer amount on root vigor and rhizosphere soil biological characteristics of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2016, 37 (1): 32—36, 44. [李艳平, 刘国顺, 丁松爽, 等. 混合有机肥用量对烤烟根系活力及根际土壤生物特性的影响[J]. *中国烟草科学*, 2016, 37 (1): 32—36, 44.]
- [ 5 ] Zhang L, Shen S M, Lian H Z, et al. Study on organic carbon, nitrogen mineralization process and soil nitrogen supply in organic materials[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1997, 28 (2): 71—73. [张璐, 沈善敏, 廉鸿志, 等. 有机物料中有机碳、氮矿化进程及土壤供氮力研究[J]. *土壤通报*, 1997, 28 (2): 71—73.]
- [ 6 ] Liu Y, He N P, Wen X F, et al. Patterns and regulating mechanisms of soil nitrogen mineralization and temperature sensitivity in Chinese terrestrial ecosystems[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 215: 40—46.
- [ 7 ] Long S P, Li H G, Zeng W A, et al. Studies on mineralization characteristics of organic nitrogen of tobacco fields in Hunan Province[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2013, 34 (3): 6—9. [龙世平, 李宏光, 曾维爱, 等. 湖南省主要植烟区域土壤有机氮矿化特性研究[J]. *中国烟草科学*, 2013, 34 (3): 6—9.]
- [ 8 ] Wang S H, Liu Q L. Nitrogen mineralization in Yunnan tobacco major growing soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2013 (1): 14—19. [王树会, 刘青丽. 云南主要植烟土壤不同土层氮矿化研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2013 (1): 14—19.]
- [ 9 ] Liu Q L, Ren T Z, Li Z H, et al. Nitrogen mineralization potential of major soil planting tobacco in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15 (6): 1266—1272. [刘青丽, 任天志, 李志宏, 等. 我国主要植烟土壤氮素矿化潜力研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (6): 1266—1272.]
- [ 10 ] Wang T, Li L L, Zhou H Y, et al. Effects of long-term fertilization on soil nitrogen under rainfed farming in loess plateau of east Gansu[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 (1): 177—188. [王婷, 李利利, 周海燕, 等. 长期不同施肥措施对雨养条件下陇东旱塬土壤氮素的影响[J]. *土壤学报*, 2016, 53 (1): 177—188.]
- [ 11 ] Shi B W, Lai X, Li J, et al. Effect of interaction between manure and urea on transformation of nitrogen in brown red soil[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31 (5): 938—945. [石博文, 赖欣, 李洁, 等. 尿素与有机肥配施对棕红壤氮素转化的影响[J]. *核农学报*, 2017, 31 (5): 938—945.]
- [ 12 ] Wang Z Y, Qing C L. Studies on the nitrogen mineralization and response of crops in purple soils[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27 (2): 13—23. [王正银, 青长乐. 紫色土氮素矿化与作物效应的研究[J]. *中国农业科学*, 1994, 27 (2): 13—23.]
- [ 13 ] Liu S P, Lu J F, Shan Y H, et al. Study on nitrogen mineralization and its supply to rice in the paddy soil with rotation tillage[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2003, 24 (2): 38—41. [刘世平, 陆建飞, 单玉华, 等. 稻田轮耕土壤氮素矿化及土壤供氮量的研究[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2003, 24 (2): 38—41.]
- [ 14 ] Zhang Y C, Chen Z F, Long H Y, et al. Effect of different nitrogen forms and their ratio on agronomical character, economic and quality of flue-cured tobacco[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11 (6): 787—792. [张延春, 陈治锋, 龙怀玉, 等. 不同氮素形态及比例对烤烟长势、产量及部分品质因素的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11 (6): 787—792.]
- [ 15 ] Wu J N, Yan H T, Peng G X, et al. Effects of biochar addition combined with nitrogen fertilizer on soil nitrogen and nitrogen utilization of flue-cured tobacco[J]. *Soils*, 2018, 50 (2): 256—263. [吴嘉楠, 闫海涛, 彭桂新, 等. 生物质炭与氮肥配施对土壤氮素变化和烤烟氮素利用的影响[J]. *土壤*, 2018, 50 (2): 256—263.]
- [ 16 ] Shao X F, Xu M G, Zhang W J, et al. Changes of soil carbon and nitrogen and characteristics of nitrogen mineralization under long-term manure fertilization practices in black soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20 (2): 326—335. [邵兴芳, 徐明岗, 张文菊, 等. 长期有机肥培模式下黑土碳与氮变化及氮素矿化特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (2): 326—335.]
- [ 17 ] Pratiwi E P A, Hillary A K, Fukuda T, et al. The effects of rice husk char on ammonium, nitrate and phosphate retention and leaching in loamy soil[J]. *Geoderma*, 2016, 277: 61—68.
- [ 18 ] Garnica M, Houdusse F, Zamarreño A M, et al. The signal effect of nitrate supply enhances active forms of cytokinins and indole acetic content and reduces abscisic acid in wheat plants grown with ammonium[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2010, 167 (15): 1264—1272.
- [ 19 ] Lu R K. Analytical methods of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science Press, 2000. [鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 中国农业科学技术出版社, 2000.]
- [ 20 ] Wang L C, Wang H, Piao S L, et al. Effects of different nitrogen forms on the growth, photosynthesis, yield and quality of tobacco[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2012, 40 (12): 136—144. [王利超, 王涵, 朴世领, 等. 铵硝氮配比对烤烟生长生理及产量和品质的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2012, 40 (12): 136—144.]
- [ 21 ] Li J W, Zheng S Q, Shi J X, et al. Effects of the different formulas of nitrogen form on the tobacco quality[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2003, 31 (6): 3—5. [李建伟, 郑少清, 石俊雄, 等. 氮素形态对烤烟品质的影响[J]. *贵州农业科学*, 2003, 31 (6): 3—5.]



- [ 22 ] Yang L P, Yang Y H, Zhao Z X. Effects of organic manure on nitrogen supply and characteristics of soil[J]. Tobacco Science & Technology, 2007, 40 ( 7 ): 58—61. [杨丽萍, 杨宇虹, 赵正雄. 有机肥对植烟土壤氮素供应及土壤性状的影响[J]. 烟草科技, 2007, 40 ( 7 ): 58—61.]
- [ 23 ] Chen Z S, Huang Y. Effects organic manures with different C-N ratio on nitrogen in tobacco-growing yellow soil[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2016, 44 ( 4 ): 75—78. [陈忠莎, 黄莺. 不同碳氮比有机肥对植烟黄壤氮素的影响[J]. 贵州农业科学, 2016, 44 ( 4 ): 75—78.]
- [ 24 ] Wang J, Cheng Y, Cai Z C, et al. Effects of long-term fertilization on key processes of soil nitrogen cycling in agricultural soil: A review[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53 ( 2 ): 292—304. [王敬, 程谊, 蔡祖聪, 等. 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53 ( 2 ): 292—304.]
- [ 25 ] Zhou N, Chen Y, Ye C, et al. Effect of bio-char-based products on soil carbon and nitrogen mineralization characteristics[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46 ( 11 ): 238—242. [周南, 陈懿, 叶婵, 等. 生物炭基产品对土壤碳氮矿化特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46 ( 11 ): 238—242.]
- [ 26 ] Guo Q Z, Jiang Z S, Zhang X Y, et al. Effects of soil with different organic matter contents on growth, nitrogen accumulation and upper leaves' chemical element of flue-cured tobacco[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22 ( 5 ): 254—257. [郭群召, 姜占省, 张新要, 等. 不同有机质含量土壤对烤烟生长发育和氮素积累及上部叶化学成分的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22 ( 5 ): 254—257.]
- [ 27 ] Zhang X Y, Jiang Z S, Li T F, et al. Effects of different amounts of cake fertilizer and nitrogen forms on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36 ( 6 ): 867—870. [张新要, 姜占省, 李天福, 等. 不同饼肥用量和氮素形态对比对烤烟产质量的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36 ( 6 ): 867—870.]
- [ 28 ] Rigby H, Clarke B O, Pritchard D L, et al. A critical review of nitrogen mineralization in biosolids-amended soil, the associated fertilizer value for crop production and potential for emissions to the environment[J]. Science of the Total Environment, 2016, 541 : 1310—1338.
- [ 29 ] Bernal M P, Navarro A F, Sánchez-Monedero M A, et al. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30 ( 3 ): 305—313.

( 责任编辑: 檀满枝 )