

西南烟区氮素供应与烤烟氮素吸收的关系

刘青丽, 张云贵, 焦永鹤, 谷海红, 夏昊, 李志宏*

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/烟草行业生态环境与烟叶质量重点实验室, 北京 100081)

摘要:【目的】氮是影响烤烟产量和品质的最重要元素, 本研究旨在探索氮素供应与烤烟氮素吸收的关系, 为提升西南烟区烤烟氮素营养管理水平奠定理论基础。【方法】在云南、贵州设置多点施肥试验, 采用田间原位培养试验、¹⁵N 同位素示踪方法, 研究烤烟对土壤及肥料氮的吸收。【结果】烤烟氮素累积量与土壤基础供氮量呈线性正相关, 土壤基础供氮量分别解释了烤烟氮素累积量和烤烟土壤氮素累积量 82.6% 和 84.8% 的变异, 是烤烟氮素累积量的决定性因素; 土壤基础供氮量与土壤有机质含量密切相关, 在土壤有机质含量 0~35 g/kg 范围内, 土壤基础供氮能力随着有机质含量的增加而增加; 鉴于烤烟对氮素的需求, 土壤基础供氮量在 60 kg/hm²、土壤有机质含量 20 g/kg 左右较为适宜烟叶品质的形成。烤烟氮素来源主要包括土壤矿化氮、土壤起始无机氮及肥料氮, 西南烟区在烤烟大田期土壤矿化量为 19.9~38.9 mg/kg, 大田期土壤矿化氮量与烤烟氮素累积量呈非线性相关, 当土壤矿化氮量增加至 30 mg/kg 以上时, 烤烟氮素累积量不再增加; 单位土壤有机质大田期矿化氮量与有机质含量的关系可以用对数方程来表达, 通过此方程可初步预测土壤矿化氮供应量。西南烟区土壤起始无机氮 (0—30 cm) 和肥料氮输入量为 14.1~237.7 kg/hm², 两者输入量与烤烟氮素累积量呈显著正相关, 当土壤起始无机氮和肥料氮输入量超过 150 kg/hm² 时, 烤烟氮素的累积量趋于稳定; 烤烟氮素累积量随无机氮素供应的增加而增加, 烤烟生长季氮供应量超过 300 kg/hm² 时烤烟氮素累积量增加趋势变缓, 此时烤烟氮素累积量达到了 100 kg/hm²。西南烟区氮肥利用率为 25.4%~37.1%, 土壤有机质与肥料氮利用率的相关系数达到了 0.783 ($P < 0.01$), 肥料利用率随土壤有机质含量以对数函数方式增长。【结论】在西南烟区烤烟农田生态系统中, 烤烟种植宜选择土壤基础供氮量在 60 kg/hm²、有机质含量 20 g/kg 左右的土壤, 肥料氮和土壤起始无机氮供应量之和应在 150 kg/hm² 以内, 烤烟生长季总无机氮供应量应控制在 300 kg/hm² 以内。西南烟区氮肥利用率平均为 32.6%, 通过培育土壤, 提高土壤肥力可提高氮肥利用率。

关键词: 起始无机氮; 矿化氮; 肥料氮; 烤烟

Relationship between nitrogen supply and nitrogen absorption of flue-cured tobacco in southwest China

LIU Qing-li, ZHANG Yun-gui, JIAO Yong-ge, GU Hai-hong, XIA Hao, LI Zhi-hong*

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Eco-environment and Tobacco Leaf Quality, CNTC, Beijing 100081, China)

Abstract: 【Objectives】 Nitrogen is the most important element affecting the growth, development and quality of flue cured tobacco. Nitrogen deficiency or excess can greatly affect the yield and quality of flue-cured tobacco. This paper aimed to understand the relation between nitrogen supply and nitrogen uptake of flue-cured tobacco, which can provide a theoretical basis for improving management level of nitrogen nutrition of tobacco grown in southwest China. 【Methods】 Several fertilization experiments were carried out in Yunnan and Guizhou Provinces. The *in situ* incubation and ¹⁵N isotope tracing method were used to study nitrogen absorption of tobacco from soils and fertilizers. 【Results】 The results showed that the N amount in flue-cured tobacco was positively correlated with the soil basic N supply. Soil basic nitrogen supply (SBNS) explained the variation of

收稿日期: 2016-08-11 接受日期: 2016-12-12

基金项目: 国家烟草专卖局科技项目 (110200601014) 资助。

作者简介: 刘青丽 (1982—), 女, 河北邯郸人, 博士, 主要从事土壤氮素矿化研究。Tel: 010-82106198, E-mail: liuqingli@caas.cn

* 通信作者 Tel: 010-82106198, E-mail: zhli@caas.ac.cn

nitrogen in flue-cured tobacco and soil nitrogen for 82.6% and 84.8%, respectively, which was decisive factor for nitrogen accumulation in tobacco. SBNS was closely related to the content of soil organic matter. When the soil organic matter contents were within the range of 0–35 g/kg, the SBNS increased with the increase of organic matter content. In view of the requirement of flue cured tobacco to nitrogen, SBNS with 60 kg/hm² and SOM with 20 g/kg were more suitable for the formation of tobacco leaf quality. The sources of nitrogen in flue-cured tobacco mainly included the mineralized nitrogen, initial inorganic nitrogen in soil and nitrogen fertilizers. The amounts of soil mineralized nitrogen were 19.9–38.9 mg/kg during the growing season. There was a nonlinear correlation between soil mineralized N and N in flue-cured tobacco. The N amount in flue-cured tobacco was not increased when the content of mineralized N increased to 30 mg/kg. The relationship between mineralized N and SOM can be expressed by a logarithmic equation which can predict the supply of mineralized N. The input of soil initial inorganic nitrogen and fertilizer nitrogen was 14.1–237.7 kg/hm². There was a significant positive correlation between the nitrogen input and nitrogen accumulation in flue-cured tobacco, when the input amount was more than 150 kg/hm², the nitrogen amount of tobacco became stable. Flue-cured tobacco nitrogen accumulation was increased with the increase of inorganic nitrogen supply. The increasing trend became slow when inorganic nitrogen reached more than 300 kg/hm², and at this point, the amount of nitrogen accumulation reached 100 kg/hm². The correlation coefficient between soil organic matter and nitrogen utilization efficiency was 0.783 ($P < 0.01$), and the utilization rates of fertilizers were from 25.4% to 37.1%. **【 Conclusions 】** Overall, for the production of flue-cured tobacco in southwest China, the soils should be considered in priority in which the basic soil nitrogen supply is about 60 kg/hm², organic matter content about 20 g/kg, the supply of the fertilizer nitrogen and soil initial inorganic nitrogen should be within 150 kg/hm², total inorganic nitrogen supply within 300 kg/hm². The current average of fertilizer nitrogen utilization efficiency in this area is relatively low at about 32.6%, which could be increased by cultivating soils and improving soil fertility.

Key words: initial inorganic nitrogen; mineralized nitrogen; fertilizer nitrogen; flue-cured tobacco

氮是影响烤烟生长发育以及烟叶质量的最重要的元素^[1]。氮素不足或过量都会对烤烟产量和品质产生极大的影响, 只有掌握了氮素供应与烤烟氮素吸收的关系, 才能有效管理烤烟氮素营养。在烟草生产中, 维持烟株生长发育和形成优良品质的氮素来源, 不仅包括人为施入的肥料氮, 土壤矿化氮和土壤残留无机氮在烤烟氮素营养中也占有重要地位。研究证明, 烤烟全生育期吸收的氮素中约 2/3 来自于土壤氮^[2]。由于土壤氮素供应难以控制, 施肥便成为调控氮素供应的重要措施, 合理控制施氮量是烟叶品质的重要保证。以往针对烤烟氮肥施用量^[3-5]、氮素吸收利用^[6-8]和土壤矿化氮供应^[9-13]已有颇多研究, 基本明确了西南烟叶烤烟适宜施氮量为 90~105 kg/hm²^[14], 但不同条件下氮素综合供应与烤烟氮素累积的关系尚不清楚。因此本文在对红壤^[15]、水稻土^[16]、黄壤^[17, 18]氮素供应、吸收分别进行研究的基础上, 拟通过多点试验综合分析氮素供应量与烤烟氮素吸收量的关系。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在贵州省毕节市金沙县、云南大理弥渡县、云南建水县、云南玉溪红塔区四个地点进行, 共选择 10 块当地典型烟田, 其土壤理化性状见表 1。

金沙县: 位于贵州省毕节市东部, 东经 105°47′~106°44′, 北纬 27°07′~27°46′, 地势西南高东北低。年均气温 12.5~16.5℃, 日照时数 1098 h, 无霜期 275 d, 年均降雨量 1050 mm。属于北亚热带温暖湿润季风气候, 冬无严寒, 夏无酷暑, 无霜期长, 昼夜温差大, 雨量充沛, 适宜多种作物生长。

弥渡县: 位于云南省大理白族自治州东南部, 介于东经 100°19′~100°47′, 北纬 24°47′~25°32′。年均气温 17.3℃, 日照时数 2520 h, 无霜期 249 d, 年均降雨量 824.4 mm。属中亚热带季风气候区, 冬无严寒, 夏无酷暑, 气候温和, 没有明显的四季之分, 只有干季雨季之别。

建水县: 该县位于云南省南部红河北岸, 东经

表 1 试验田土壤基本理化性状
Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soils

| 试验田 Field | 地点 Site | 土壤类型 Soil type | 有机质 (g/kg) SOM | 碱解氮 (mg/kg) Alk.-hydr. N | 无机氮 (mg/kg) Mineral N | 有效磷 (mg/kg) Olsen-P | 速效钾 (mg/kg) NH ₄ OAc-K | pH |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----|
| A | 金沙 Jinsha | 黄壤 Yellow soil | 33.8 | 200.2 | 77.0 | 12.3 | 112 | 5.9 |
| B | 金沙 Jinsha | 黄壤 Yellow soil | 15.5 | | 49.8 | 12.1 | 129 | 6.4 |
| C | 金沙 Jinsha | 黄壤 Yellow soil | 23.7 | | 31.0 | 70.2 | 239 | 6.9 |
| D | 弥渡 Midu | 水稻土 Paddy soil | 23.5 | 106.0 | 5.5 | 23.1 | 96 | |
| E | 弥渡 Midu | 水稻土 Paddy soil | 22.9 | 185.0 | 3.9 | 43.7 | 251 | |
| F | 红塔区 Hongta zone | 水稻土 Paddy soil | 27.2 | 50.7 | 4.3 | 68.6 | 160 | 6.3 |
| G | 红塔区 Hongta zone | 水稻土 Paddy soil | 22.9 | 44.1 | 3.9 | 37.4 | 87 | 6.7 |
| H | 建水 Jianshui | 红壤 Red soil | 8.4 | 46.6 | 6.0 | 7.0 | 53 | 6.2 |
| I | 建水 Jianshui | 红壤 Red soil | 15.6 | 64.0 | 8.9 | 28.8 | 120 | 5.9 |
| J | 建水 Jianshui | 红壤 Red soil | 20.2 | 99.8 | 17.6 | 12.4 | 116 | 5.9 |

102°35′~103°11′, 北纬 23°12′~24°10′, 年均气温 19.8℃, 日照时数 2322 h, 年均降雨量 805 mm, 无霜期 307 d。属南亚热带季风气候, 光照时间长, 无霜期长, 有效积温高, 受季节和地形变化影响, 呈现出夏季炎热多雨、冬季温和少雨的立体气候特征。

玉溪红塔区: 该区地处滇中, 东经 102°17′~102°41′, 北纬 24°08′~24°32′, 试验点海拔高度为 1630 m; 年均气温为 17℃, 日照时数 1878 h, 年均降雨量 894.4 mm, 无霜期 272 d, 属中亚热带半湿润高原季风气候。

1.2 试验设计

设置不施氮肥、常规氮肥 (N_{conv}) 以及高量氮肥 (N_{high}) 3 个处理, 每个处理 3 次重复, 小区面积 66 m²。试验田氮、磷、钾肥分别为硝酸铵、过磷酸钙、硫酸钾, 具体施肥量如表 2 所示。其中施用氮肥的小区采用丰度为 5.3% 的 ¹⁵N 双标记硝酸铵标记 12 株, 其余烟株施用普通硝酸铵, 磷、钾肥用量均相同。

1.3 田间管理

施肥方法: 氮、钾肥按照基、追比 7:3 施入, 磷肥全部做底肥, 每株烤烟单独称肥; 底肥于移栽时穴施或环施 (D、E 试验点), 追肥于移栽后 30 d 浇施。基肥中氮磷钾肥料采用混合穴施, 将肥料与穴

内 20 cm × 20 cm × 10 cm 土壤混合, ¹⁵N 处理烟株间用塑料薄膜隔断, 深度 30 cm, 追肥将 ¹⁵NH₄¹⁵NO₃ 用少量水溶解浇在距烟根 5 cm 处, 用土覆盖。

地膜覆盖: 起垄施肥后, 随之覆盖地膜, 并在团棵期将地膜揭去, 之后进行中耕培土, 以利于烟草根系生长。

试验栽培措施: 大田试验均采用当地主栽烤烟 (*Nicotiana tabacum* L.) 品种 K326, 移栽苗选用漂浮育苗。种植密度为 16500 plant/hm², 以 110 cm 行距、55 cm 株距定植。烤烟移栽后现蕾打顶, 留叶 18~22 片。田间管理按优质烟生产技术措施实施。

1.4 样品采集与测试

1.4.1 土壤样品的采集及测定 1) 移栽前土壤取样: 在烤烟移栽前取试验田间土壤样品, 每个试验点按多点取样原则, 取土 1 kg 混合, 测定土壤有机质、碱解氮、铵态氮、硝态氮、有效磷、速效钾、pH。2) 田间原位培养取样: 在烤烟移栽后 1、3、5、7、9、11、13、15 周和成熟期进行取样。为考虑烟草根系生长及其分泌物对矿化的影响, 取距离烟株根茎 10 cm 以内的混合土壤样品 (0—30 cm 土层), 分成二份, 一份用 0.01 mol/L CaCl₂ 溶液浸提后, 测定硝态氮和铵态氮; 另一份土样装入封口袋中, 选择取

表 2 试验设计
Table 2 Experiment design

| 试验田 Field | 地点 Site | 土壤类型 Soil type | 施肥量 Fertilizer amount (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O, kg/hm ²) | | |
|--------------|---------------------|-------------------|--|-------------------|-------------------|
| | | | N ₀ | N _{conv} | N _{high} |
| A | 金沙县 Jinsha County | 黄壤 Yellow soil | 0-90-225 | 90-90-225 | |
| B | 金沙县 Jinsha County | 黄壤 Yellow soil | 0-90-225 | 90-90-225 | 120-90-225 |
| C | 金沙县 Jinsha County | 黄壤 Yellow soil | 0-90-225 | 90-90-225 | 120-90-225 |
| D | 弥渡县 Midu County | 水稻土 Paddy soil | 0-105-210 | 105-105-210 | |
| E | 弥渡县 Midu County | 水稻土 Paddy soil | 0-105-210 | 105-105-210 | |
| F | 红塔区 Hongta zone | 水稻土 Paddy soil | 0-90-180 | 90-90-180 | |
| G | 红塔区 Hongta zone | 水稻土 Paddy soil | 0-90-180 | 90-90-180 | |
| H | 建水县 Jianshui County | 红壤 Red soil | 0-90-270 | 90-90-270 | |
| I | 建水县 Jianshui County | 红壤 Red soil | 0-90-270 | 90-90-270 | |
| J | 建水县 Jianshui County | 红壤 Red soil | 0-90-270 | 90-90-270 | |

过土样的位置,埋于 0—30 cm (15 cm) 土层中,用塑料软管保持封口袋与外界通气。培养 2 周后取出封口袋,放置于冰盒中,将样品带回,浸提并测定土壤含水量。同时采样并重复以上操作,进行下一阶段的培养,直至烟叶采收结束。土壤氮净矿化量即为培养前后无机氮的差值。

土壤无机氮采用氯化钙浸提,连续流动分析仪 (Foss Sampler) 测定;土壤有机质采用高温外热,重铬酸钾氧化—容量法;土壤 pH 值采用水土比为 2.5 : 1, pH 计测定;有效磷采用碳酸氢钠浸提—比色法;速效钾采用醋酸铵浸提—火焰光度法^[9]。

1.4.2 植株样品采集与测定 成熟期每小区采样 2 株,取标记与非标记各 1 株,分为根、茎、下部叶、中部叶和上部叶五个部位,不同部位分别测定。样品在 105℃ 下杀青 30 min, 60~70℃ 烘干至恒重,称重后粉碎待测。样品全氮采用 K-05 自动定氮仪测定 [KJELTEC SYSTEM 1002 Distilling Unit (FOSS 公司)], 同位素标记样品 ¹⁵N 丰度测定采用质谱法 (改进型 ZHT-03 质谱计)。

1.5 计算方法

土壤基础氮素供应量 = 无氮肥区烤烟氮吸收量;

烟株吸收总氮量 = 植株氮含量 × 干物质重;

烟株吸收肥料氮量 = 烟株吸收总氮量 × 烟株的

¹⁵N 原子百分超/肥料 ¹⁵N 的原子百分超;

烟株吸收土壤氮量 = 烟株吸收总氮量 - 烟株吸收肥料氮;

土壤净矿化氮量 (N_{min}) = 培养后土壤无机氮 - 培养前土壤无机氮。

2 结果与分析

2.1 土壤基础供氮量与烤烟氮素吸收

土壤基础氮素供应量 (soil basic nitrogen supply, SBNS) 是评价土壤氮素供给能力的综合指标,以无氮肥区烤烟氮吸收量表示。研究结果 (图 1) 显示,烟田土壤基础供氮量差异较大,云南、贵州 10 个试验点土壤基础氮素供应量为 17.1~106.1 kg/hm²。土壤基础供氮量与施肥条件下烤烟氮素累积量和土壤氮素累积量呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.91 和 0.92; 线性回归方程拟合程度高, 方程的决定系数分别达到了 0.826 和 0.848, 表明土壤基础供氮量分别解释了烤烟氮素累积量和烤烟土壤氮素累积量 82.6% 和 84.8% 的变异。

土壤有机质含有植物生长所需的各种营养元素,是土壤微生物活动的能源,对土壤物理、化学和生物学性质都有着很深的影响。研究结果显示,SBNS 与土壤有机质含量密切相关 (图 2)。SBNS 随土壤有机质含量增加而增加,对数方程能够较好拟合两者间的变化趋势,拟合方程的决定系数 (R^2) 为 0.486。通过两者的拟合曲线可以看出,在土壤有机质含量 20 g/kg 时,土壤基础供氮量为 60 kg/hm²。

2.2 土壤矿化氮供应与烤烟氮素累积

土壤矿化氮是烤烟生长期间通过土壤微生物分解释放出来的无机氮。原位培养研究 (图 3) 显示,西南烟区在烤烟大田期土壤氮矿化量为 19.9~38.9 mg/kg; 烤烟生长季土壤矿化氮量与土壤基础氮素供应量、施肥条件下烤烟氮素累积量呈非线性相关,

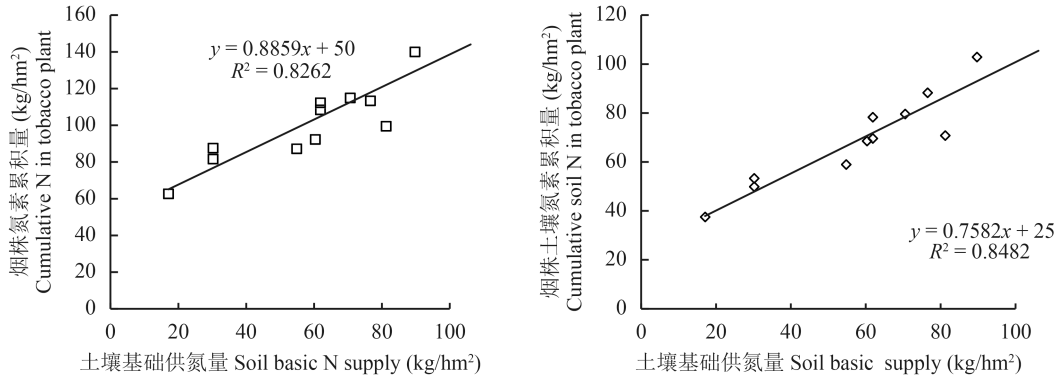


图 1 土壤基础供氮量与烤烟、土壤氮素累积量的关系

Fig. 1 The relation between SBNS and cumulative N in tobacco plants and soil

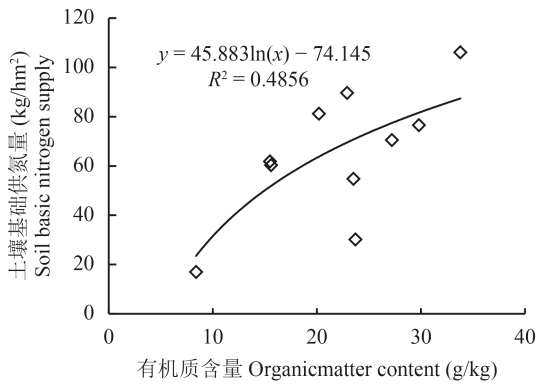


图 2 土壤有机质与烟田土壤基础供氮量的关系

Fig. 2 The relation between soil organic matter content and soil basic nitrogen supply

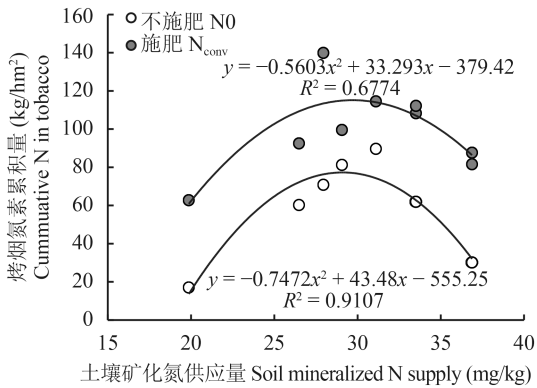


图 3 烤烟生长季土壤矿化氮供应量与烤烟氮素累积量的关系

Fig. 3 Relationship between mineralized soil N supply and cumulative N absorption in tobacco plants during growing seasonb

相关系数分别为 0.95 和 0.82。烤烟氮素累积量随着土壤矿化氮量的增加而提高, 当土壤矿化氮量增加至 30 mg/kg 以上时, 即使土壤矿化氮量再增加, 烤烟氮素累积量也不再增加。

多个试验结果表明, 单位土壤有机质矿化氮量为 1.1~2.4 mg/kg, 平均为 1.6 mg/kg。相关分析显示, 单位土壤有机质大田期矿化氮量与有机质含量线性相关系数达到了 -0.823。其关系符合方程 $y = -0.9297\ln(x) + 4.3927$ (图 4), 通过该方程来预测土壤矿化氮供应量。

2.3 烤烟对肥料氮的吸收利用

氮素利用率能够反映肥料氮的实际吸收利用情况, 本研究采用 ¹⁵N 同位素示踪方法研究了烤烟氮素实际利用率。结果显示, 西南烟区氮肥实际利用率为 25.4%~37.1%, 平均为 32.6%。土壤类型、施肥量、土壤有机质对肥料利用率均有影响, 相关分析显示土壤有机质与肥料氮利用率的线性相关系数达到了 0.783 ($P < 0.01$), 肥料利用率随土壤有机质以对数函数方式增长 (图 5)。

2.4 起始无机氮与肥料氮对烤烟氮素累积的影响

烤烟移栽前, 土壤起始无机氮和施入化肥氮是烤烟移栽时重要的氮素来源, 且通常认为土壤起始

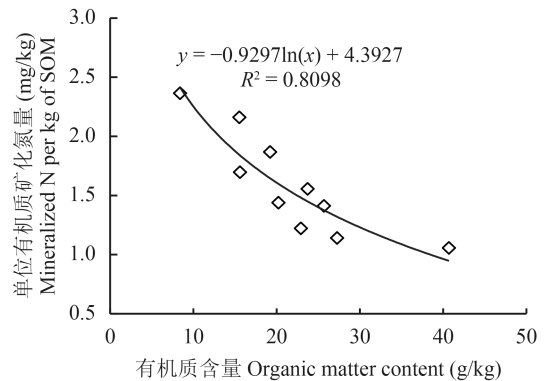


图 4 土壤有机质含量与土壤氮素矿化量的关系
Fig. 4 Relationship between soil organic matter (SOM) content and the mineralized N per kg of SOM

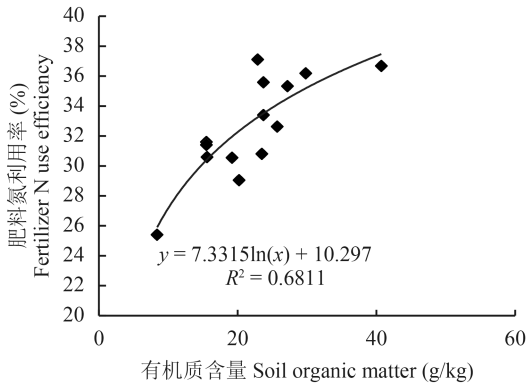


图5 土壤有机质与肥料氮利用率的关系

Fig. 5 Relationship between soil organic matter and fertilizer N use efficiency

无机氮与施入化肥氮是等效的, 因此土壤起始无机氮(表层 0—30 cm) 和施入化肥氮之和可以反映速效氮的供应能力。西南烟区大田试验研究显示, 两者输入量为 14.1~237.7 kg/hm², 其与烤烟氮素累积量呈显著正相关 ($r = 0.57$, $P < 0.05$)。如图 6 所示, 随着土壤起始无机氮和化肥氮输入量的增加, 烤烟氮素累积量增加, 当两者输入量超过 150 kg/hm² 时, 烤烟氮素的累积量趋于稳定。

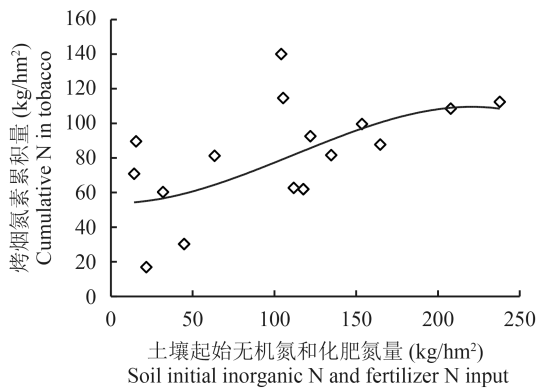


图6 土壤起始无机氮和化肥氮输入量与烤烟氮素累积量的关系

Fig. 6 Relationship between cumulative N in tobacco and soil initial inorganic N plus fertilizer N input

2.5 供氮量与烤烟氮吸收

烤烟生长季氮素供应包括土壤起始无机氮、矿化氮和化肥氮。试验点大田期表层土壤(0—30 cm) 供氮量为 93.2~358.3 kg/hm², 从烤烟大田期总供应量与烤烟氮素累积量的关系可以看出, 虽然烤烟氮素累积量和无机氮供应总量相关系数不高, 但总体上呈现随无机氮供应量增加烤烟氮素累积量增加的趋势(图 7)。烤烟生长季, 在 0~300 kg/hm² 的无机

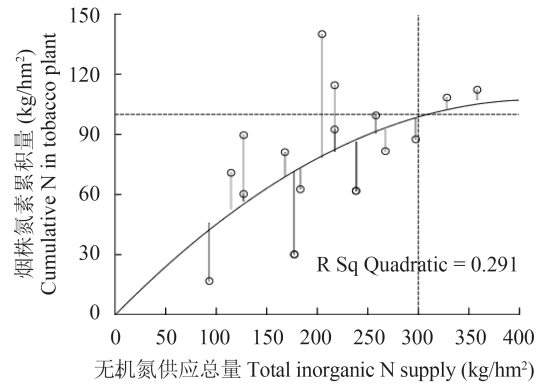


图7 无机氮供应总量对烤烟氮素累积量的影响

Fig. 7 Effect of total inorganic N on cumulative N in tobacco plants in the growth season

氮供应量范围内, 烤烟氮素累积量增加较快, 无机氮供应量超过 300 kg/hm², 烤烟氮素累积量增加趋势变缓, 此时烤烟氮素累积量达到了 100 kg/hm²。

3 讨论

土壤基础氮素供应量是评价土壤氮素供给能力的综合指标, 能够用来作为建立在土壤测试和作物反应基础上推荐施肥的补充手段, 最终作为最佳养分管理的有效修正工具。研究显示, 云南、贵州 10 个试验点土壤基础供氮量为 17.1~106.1 kg/hm², 烟田土壤基础供氮量差异较大; 这与 Khurana 等^[20] 研究结果相一致, 其研究显示印度西北部灌溉小麦区土壤本底供氮量为 26.1~94.8 kg/hm², 地区间差异较大。土壤基础供氮量与施肥条件下烤烟氮素累积量、烤烟来自土壤氮累积量呈显著正相关, 但就烟草的品质而言, 烤烟氮素累积量并不是越高越好, 西南烟区烤烟氮适宜需求量为 100 kg/hm²^[21], 从图 1 可以看出此时土壤基础供氮量为 60 kg/hm², 表明土壤基础供氮量在 60 kg/hm² 较为适宜。鉴于土壤基础供氮量与土壤有机质的关系(图 2), 烤烟种植宜选择在有机质含量 20 g/kg 左右的土壤, 这与陈江华等^[21] 将土壤有机质含量小于 25 g/kg 作为土壤供氮适宜指标的观点基本一致。

近年来, 针对烤烟氮肥利用率的研究较多, 不同研究结果间差异较大。本研究显示, 西南烟区氮肥实际利用率为 25.4%~37.1%, 平均为 32.6%。土壤有机质与肥料氮利用率的相关系数达到了 0.783 ($P < 0.01$), 肥料利用率随土壤有机质以对数函数方式增长。王月福等^[22] 利用土柱试验和 ¹⁵N 示踪技术, 研究了高、低土壤肥力下小麦基施和追施氮肥的利用效率, 也显示小麦对基施和追施氮肥的吸收利用

效率均表现为高肥力土壤高于低肥力土壤。这主要是由于土壤有机质含量增加, 作物氮素累积量增加, 从而吸收更多的肥料氮, 提高了肥料氮利用率。因此培育土壤、提高土壤肥力也是提高氮肥利用率的有效措施。

土壤矿化氮是土壤基础供氮的重要组成部分, 土壤矿化氮量与烤烟氮素吸收密切相关(图 2), 烤烟氮素吸收量随着土壤矿化氮量的增加而提高, 当土壤矿化氮量增加至 30 mg/kg 以上时, 即使土壤矿化氮量再增加, 烤烟氮素累积量也不再增加。土壤有机质是土壤肥力的重要参数, 同时有机质又是土壤氮素矿化的底物, 因此土壤有机质含量对土壤氮素矿化量有重要影响。研究显示, 单位土壤有机质矿化氮量与有机质含量的关系可通过方程 $[y = -0.9297\ln(x) + 4.3927]$ 来计算, 但由于土壤氮矿化受土壤及环境等多种因素的影响^[23], 这种估算方法仍有很大的局限性。

大量研究结果表明, 上茬作物收获后残留在土壤中的无机氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$) 和施入土壤的化肥氮是等效的, 因此只要确定作物达到目标产量所需的氮素供应量(土壤初始无机氮 + 化肥氮), 测定作物播前土壤无机氮, 即可确定氮肥供应量, 此方法称为土壤 N_{min} 法^[24]。近 20 年来, 欧、美的研究者在作物旺盛生长前采取一定土层深度的土壤样品测定无机氮或只测定硝态氮来进行氮肥推荐, 取得了良好的节氮效果^[25-26]。西南烟区大田试验研究显示, 烟田起始无机氮 (0—30 cm 土壤) 和化肥氮输入量为 14.1~237.7 kg/hm², 两者输入量与烤烟氮素累积量呈显著正相关。当两者输入量超过 150 kg/hm² 时, 烤烟氮素的累积量趋于稳定。因此土壤起始无机氮与肥料氮供应量之和应在 150 kg/hm² 以下。

烟叶干物质累积量随烤烟氮素累积量增加而增加, 西南烟区烤烟氮素累积量达到 100 kg/hm² 时, 烟叶干物质产量趋于稳定, 化学成分协调, 有利于上部烟叶品质的形成^[2]。本研究显示, 烤烟氮素累积量随氮素供应的增加而增加, 土壤起始无机氮 (0—30 cm 土层)、矿化氮 (0—20 cm 土层) 与化肥氮供应量之和超过 300 kg/hm² 时烤烟氮素累积量增加趋势变缓, 此时烤烟氮素累积量达到了 100 kg/hm²。因此考虑经济效益和生态风险, 总无机氮的供应量应控制在 300 kg/hm² 以内。

4 结论

在西南烟区烤烟农田生态系统中, 烤烟种植宜选择在基础供氮量 60 kg/hm²、有机质含量 20 g/kg 左

右的土壤, 肥料氮和土壤起始无机氮供应量之和应在 150 kg/hm² 内, 烤烟生长季总无机氮供应量应控制在 300 kg/hm² 以内。西南烟区氮肥利用率平均为 32.6%, 通过培育土壤、提高土壤肥力可提高氮肥利用率。

参 考 文 献:

- [1] Steinberg R A, Tso T C. Physiology of the tobacco plant[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1958, 9(1): 151-174.
- [2] 刘青丽, 陈阜, 张云贵, 等. 我国西南烟区典型植烟土壤烤烟氮素的吸收规律[J]. 作物学报, 2013, 39(3): 486-493.
Liu Q L, Chen F, Zhang Y G, *et al.* Nitrogen uptake of flue-cured tobacco in typical types of soil in southwest China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(3): 486-493.
- [3] 张诗卉. 氮肥对恩施州烤烟氮分配及品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学硕士学位论文, 2014.
Zhang S H. Effect of nitrogen fertilizer on nitrogen distribution and quality of flue-cured tobacco in Enshi state [D]. Zhengzhou: MS Thesis of Henan Agricultural University, 2014.
- [4] 刘亚琦. 氮肥用量及成熟度对烤烟品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学硕士学位论文, 2014.
Liu Y Q. Effect of nitrogen application rate and maturity on flue-cured tobacco quality [D]. Zhengzhou: MS Thesis of Henan Agricultural University, 2014
- [5] 邹勇, 叶晓青, 余志虹, 等. 始兴烟区旱地烤烟氮素利用及生态经济适宜施氮量[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(4): 29-33.
Zou Y, Ye X Q, Yu Z H, *et al.* Nitrogen use efficiency and eco-economic suitable amount of nitrogen application on dry land flue-cured tobacco in Shixing[J]. Chinese Tobacco Science, 2015, 36(4): 29-33.
- [6] 杨宇虹, 徐照丽, 段玉琪, 等. 基于¹⁵N示踪技术的水稻土与红壤对烤烟氮肥吸收和分配的影响[J]. 云南农业大学学报, 2014, 29(6): 896-902.
Yang Y H, Xu Z L, Duan Y Q, *et al.* The study of nitrogen absorption and allocation in tobacco under paddy soil and red soil condition based on ¹⁵N tracer technology[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2014, 29(6): 896-902.
- [7] 刘喜庆. 利用¹⁵N示踪研究烤烟氮素吸收分配规律[D]. 郑州: 河南农业大学硕士学位论文, 2013.
Liu X Q. Studies on the absorption and the distribution of nitrogen in flue-cured tobacco based on ¹⁵N [D]. Zhengzhou: MS Thesis of Henan Agricultural University, 2013.
- [8] 单德鑫, 杨书海, 李淑芹, 等. ¹⁵N示踪研究烤烟对氮的吸收及分配[J]. 中国土壤与肥料, 2007, (2): 43-45.
Shan D X, Yang S H, Li S Q, *et al.* Absorption and distribution of nitrogen of flue-cured, tobacco with ¹⁵N tracer[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2007, (2): 43-45.
- [9] 邓世友. 不同土壤氮素矿化特征及其对烤烟化学品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, 2009.
Deng S Y. Characteristics of nitrogen mineralization in different soils and their effects on chemical quality of flue-cured tobacco [D]. Changsha: MS Thesis of Hunan Agricultural University, 2009.

- [10] 陆琳, 米艳华, 王树会, 等. 不同质地植烟土壤氮素矿化的差异性[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 147–153.
Lu L, Mi Y H, Wang S H, *et al.* Effect of soil character on nitrogen mineralization of tobacco soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(3): 147–153.
- [11] 马兴华, 荣凡番, 苑举民, 等. 典型植烟土壤氮素矿化研究[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(3): 61–65.
Ma X H, Rong F F, Yuan J M, *et al.* Studies on nitrogen mineralization of typical tobacco-growing soils[J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(3): 61–65.
- [12] 吕明. 黑钙土烤烟氮素吸收与土壤供氮规律研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学硕士学位论文, 2009.
Lü M. Study on the nitrogen absorption of flue-cured tobacco and soil nitrogen supply of chernozem [D]. Daqing: MS Thesis of Heilongjiang Bayi Land Reclamation University, 2009.
- [13] 龙世平. 湖南植烟土壤有机质区域差异及其与土壤有机氮矿化的关系[D]. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, 2006.
Long S P. Regional difference in organic matter in tobacco soils in Hunan province and relations between it and mineralization of soil organic nitrogen [D]. Changsha: MS Thesis of Hunan Agricultural University, 2006.
- [14] 李志宏, 张云贵, 刘青丽. 烤烟氮素养分管理[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2016.
Li Z H, Zhang Y G, Liu Q L. Nitrogen nutrition management of flue-cured tobacco [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2016.
- [15] 焦永鸽. 红壤供氮特性及对烤烟氮素营养的贡献[D]. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 2008.
Jiao Y G. The characteristic of nitrogen supply of red soil and its contribution to nitrogen nutrition of flue-cured tobacco [D]. Beijing: MS Thesis of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.
- [16] 谷海红. 水旱轮作植烟土壤供氮特征及对烤烟氮素积累分配的影响[D]. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 2008.
Gu H H. Characteristic of nitrogen supply on the paddy-upland rotation soil and the effects on the accumulation and distribution of nitrogen in the flue-cured tobacco [D]. Beijing: MS Thesis of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.
- [17] 王鹏. 土壤与氮营养对烤烟氮吸收分配及品质影响[D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2007.
Wang P. Effects of soil and nitrogen on nitrogen absorption, distribution and quality of flue-cured tobacco [D]. Beijing: PhD Dissertation of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007.
- [18] 刘青丽. 土壤供氮特征及其对烤烟氮素营养的影响[D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2009.
Liu Q L. Characteristics of soil nitrogen supply and its effect on the nitrogen nutrition of flue-cured tobacco [D]. Beijing: PhD Dissertation of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Agro-chemical analysis of soil [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] Khurana H S, Phillips S B, Alley M M, *et al.* Agronomic and economic evaluation of site-specific nutrient management for irrigated wheat in northwest India[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2008, 82(1): 15–31.
- [21] 陈江华, 李志宏, 刘建利, 等. 全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J]. 中国烟草学报, 2004, 10(3): 14–18.
Chen J H, Li Z H, Liu J L, *et al.* Evaluation of soil nutrients condition in major tobacco production of China[J]. Chinese Journal of Tobacco, 2004, 10(3): 14–18.
- [22] 王月福, 姜东, 于振文, 等. 高低土壤肥力下小麦基施和追施氮肥的利用效率和增产效应[J]. 作物学报, 2003, 29(4): 491–495.
Wang Y F, Jiang D, Yu Z W, *et al.* Nitrogen use efficiency and yield of wheat with basal and top-dressed nitrogen fertilizers in soils with different fertility[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(4): 491–495.
- [23] 张笑千, 陈卓, 常鹏, 等. 土壤氮素矿化研究进展[J]. 北方园艺, 2010, (15): 33–36.
Zhang X Q, Chen Z, Chang P, *et al.* Research progress of soil nitrogen mineralization[J]. Northern Horticulture, 2010, (15): 33–36.
- [24] Greenwood D J. Prediction of nitrogen fertilizer needs of arable crops[J]. Advances in Plant Nutrition, 1986, .
- [25] Richter J, Roelcke M. The N-cycle as determined by intensive agriculture-examples from central Europe and China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 57(1): 33–46.
- [26] Wehrmann J, Scharpf H C. The N_{min} -method—an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization[J]. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1986, 149(4): 428–440.