

兰盼龙, 杜兴良, 赵会杰, 等. 种植密度对烤烟<sup>15</sup>N吸收与分配利用的影响 [J]. 福建农业学报, 2018, 33 (9): 924—929.  
LAN P L, DU X L, ZHAO H J, et al. Effect of Planting Density on Absorption, Distribution and Utilization of <sup>15</sup>N by Flue-cured Tobacco [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33 (9): 924—929.

## 种植密度对烤烟<sup>15</sup>N吸收与分配利用的影响

兰盼龙<sup>1</sup>, 杜兴良<sup>1</sup>, 赵会杰<sup>1\*</sup>, 张皓凡<sup>1</sup>, 李 华<sup>1</sup>, 蒲文宣<sup>2</sup>, 简永兴<sup>2</sup>, 王 东<sup>2</sup>, 汪耀富<sup>2\*</sup>

(1. 河南农业大学生命科学学院, 河南 郑州 450002; 2. 湖南中烟工业有限责任公司, 湖南 长沙 410007)

**摘 要:**以烤烟品种 K326 为材料, 设置 D<sub>1</sub> (16 592 株·hm<sup>-2</sup>)、D<sub>2</sub> (18 182 株·hm<sup>-2</sup>)、D<sub>3</sub> (20 202 株·hm<sup>-2</sup>) 3 个种植密度处理, 采用<sup>15</sup>N 标记技术, 研究烤烟对氮素吸收与分配的特点, 以及种植密度的调节效应, 结果表明: 圆顶期烟株各部位吸收的肥料氮 (Ndff) 比例表现为下部叶>中部叶>茎秆>上部叶>根系, 说明在圆顶期烟株下部叶和中部叶对来自肥料的<sup>15</sup>N 的征调能力较强, 但随着烟株的发育和成熟衰老, 各部位对肥料氮的吸收征调能力逐渐下降。种植密度对烟株不同部位的 Ndff 比例具有显著影响, 增加种植密度提高了圆顶期各部位的 Ndff 比例, 但到了中后期, 随着种植密度增大, 烟株的 Ndff 比例明显下降, 表明种植密度过大, 不利于烟株生育中后期维持对氮素的征调能力。烟株各部位的<sup>15</sup>N 分配率, 圆顶期表现为下部叶>中部叶>上部叶>茎秆>根系, 烟株吸收的<sup>15</sup>N 平均 76.95% 分配到叶片、15.36% 分配到茎秆、7.68% 分配到根系, 表明在生长发育前期烟株吸收的<sup>15</sup>N 大部分向叶片分配, 在 D<sub>2</sub> 处理的种植密度下烟株圆顶期<sup>15</sup>N 向根、茎的分配率较高, 有利于根、茎发育, 形成健壮植株; 在下部、中部叶片成熟采收后, 叶片中的<sup>15</sup>N 分配率降低, 根、茎中的<sup>15</sup>N 分配率上升, 但直到生育后期仍以叶片的分配率较高。总体上氮肥利用率随着生育进程而降低, 但各个时期均以 D<sub>2</sub> 处理的氮肥利用率最高, 生育后期 D<sub>2</sub> 处理、D<sub>3</sub> 处理之间的差异不显著。在试验设置的种植密度处理中, 随着种植密度增大, 烟叶产量增加, 但上等烟的比例明显降低, 以 D<sub>2</sub> 处理的单位面积产值最高, 其后依次为 D<sub>3</sub> 处理和 D<sub>1</sub> 处理, 说明适宜的种植密度为 18 182 株·hm<sup>-2</sup>, 其对氮肥的利用率, 以及烤烟品质和生产效益均较高。

**关键词:** 烤烟; <sup>15</sup>N 示踪技术; 肥料氮; 土壤氮; 种植密度; 氮素吸收; 分配利用

**中图分类号:** S 572; Q 493.99

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008—0384 (2018) 09—924—06

### Effect of Planting Density on Absorption, Distribution and Utilization of <sup>15</sup>N by Flue-cured Tobacco

LAN Pan-long<sup>1</sup>, DU Xing-liang<sup>1</sup>, ZHAO Hui-jie<sup>1\*</sup>, ZHANG Hao-fan<sup>1</sup>, LI Hua<sup>1</sup>, PU Wen-xuan<sup>2</sup>,  
JIAN Yong-xing<sup>2</sup>, WANG Dong<sup>2</sup>, WANG Yao-fu<sup>2\*</sup>

(1. College of Life Sciences, He'nan Agricultural University, Zhengzhou, He'nan 450002, China;

2. China Tobacco Hu'nan Industrial Co., Ltd., Changsha, Hu'nan 410007, China)

**Abstract:** Characteristics of nitrogen absorption, utilization and distribution as well as effect of planting density, of flue-cured tobacco were studied using a <sup>15</sup>N tracer. The experiment employed K326 (a cultivar of *Nicotiana tabacum*) for the cultivation with 3 planting densities, i. e., D<sub>1</sub> (16 592 plants·hm<sup>-2</sup>), D<sub>2</sub> (18 182 plants·hm<sup>-2</sup>) and D<sub>3</sub> (20 202 plants·hm<sup>-2</sup>). The results showed that nitrogen derived from fertilizer (Ndff, %) in different parts of a plant was in the order of lower leaves>middle leaves>stem>upper leaves>roots at round top stage. It was indicated that lower and middle leaves had higher ability to absorb and transport nitrogen fertilizer. However, with the development and maturity of tobacco plants, the ability of various parts to absorb and transport nitrogen fertilizer was gradually reduced. Planting density had significant effect on the Ndff ratio in different parts of the tobacco plant. Increment of planting density increased the proportion of Ndff in all parts at round top stage. However, in the middle and late period, with the increase of planting density, the Ndff ratio of tobacco plants decreased significantly, indicating that when the planting density was too large, it was not conducive to maintain the ability to absorb nitrogen in the late growth stage of tobacco plants. The <sup>15</sup>N distribution

**收稿日期:** 2018—05—03 初稿; 2018—07—05 修改稿

**作者简介:** 兰盼龙 (1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事作物栽培生理研究 (E-mail: 1045727098@qq.com)

\* 通讯作者: 汪耀富 (1964—), 男, 博士, 教授, 主要从事烟草栽培生理研究 (E-mail: yaofuwang@163.com);

赵会杰 (1958—), 男, 博士, 教授, 主要从事植物生理研究 (E-mail: 1050312132@qq.com)

**基金项目:** 湖南中烟工业有限责任公司科技项目 (KY2016YC0002、KY2014JD0002)

rate of different parts was in the order of lower leaves>middle leaves>upper leaves>stem>roots at round top stage. On average, 76.95% of <sup>15</sup>N were shown in leaves, 15.36% in the stems, and 7.68% in the roots. Harvesting the lower and middle leaves decreased the proportion of <sup>15</sup>N in the leaves while increased those in the stems and roots. Comparatively, the <sup>15</sup>N distribution to the roots and stem was higher than to the leaves under D<sub>2</sub> resulting in a stronger plants. The nitrogen utilization efficiency (NUE) of flue-cured tobacco decreased as the plant aged. NUE of plants grown under D<sub>2</sub> was the highest in various periods among all treatments, but the difference between D<sub>2</sub> and D<sub>3</sub> was not significant in the late growth period. As the planting density was raised, the tobacco leaf yield increased, but the percentage of high-grade leaves decreased significantly. The output value per unit area of D<sub>2</sub> was the highest, followed by D<sub>3</sub> and D<sub>1</sub>.

**Key words:** flue-cured tobacco; <sup>15</sup>N tracer; nitrogen derived from fertilizer; nitrogen derived from soil; planting density; nitrogen absorption; distribution and utilization

氮素是烤烟生长发育和产量品质形成所需的重要营养元素,施用氮肥是调控烟草个体生长和群体发展,从而获得优质适产的主要措施<sup>[1-2]</sup>。因此,关于烤烟对氮素的吸收与分配利用的研究受到极大关注。随着<sup>15</sup>N示踪技术的发展与完善,<sup>15</sup>N示踪技术被广泛应用于粮食和果蔬作物的氮素营养研究<sup>[3-9]</sup>,也为烤烟的氮素营养研究提供了有效手段。单德鑫等<sup>[10]</sup>采用<sup>15</sup>N示踪技术研究发现,肥料氮进入烤烟不同部位叶片的比例不同,表现为下部叶>中部叶>上部叶。刘青丽等<sup>[11]</sup>应用<sup>15</sup>N示踪技术研究不同氮肥对烤烟氮素营养及品质的影响,表明有机、无机氮肥配施可以降低烤烟的烟碱含量,增加糖碱比,改善烟叶品质。习向银等<sup>[12]</sup>用<sup>15</sup>N示踪技术研究土壤氮对烤烟氮素累积和烟碱合成的影响,表明土壤氮对烤烟氮素累积和烟碱合成的影响随叶位上升而上升,打顶后烤烟各器官的土壤氮占总氮比例显著高于肥料氮占总氮比例。智磊<sup>[13]</sup>研究发现,烟株对氮素的吸收高峰集中在移栽后40~60 d内,烟株在打顶前基本完成了对氮素的吸收累积过程。上述研究结果为烤烟合理施用氮肥提供了重要依据。然而,作物对氮素的吸收、分配与利用效率不仅仅取决于施肥本身,还受到诸如种植密度、水分管理和田间生态条件等因素的影响。关于种植密度对农作物氮素吸收与分配利用的影响,已有许多报道,如石德杨等<sup>[14]</sup>以耐密型品种郑单958和不耐密型品种鲁单981为材料,研究种植密度对夏玉米根系生长特性和氮素吸收利用的影响,发现两个品种的根系生物量、根长、根系表面积、根系活性吸收面积均随种植密度的增加而降低。也就是说,增加种植密度导致两个玉米品种的单株氮素积累量及氮素利用效率显著降低;相比之下,耐密型品种受到种植密度的影响较小。种植密度不仅是调控烤烟个体生长和群体发展的主要措施<sup>[15]</sup>,而且与氮肥有着明显的互作效应<sup>[16-17]</sup>。李海平等<sup>[18]</sup>认为,种植密度既影响烟田环境和烟株生长发育,又与

烟叶的产量和质量有着密切的关系,合理的种植密度是实现烟叶优质稳产的保证。然而,迄今缺乏利用<sup>15</sup>N示踪技术研究种植密度对烤烟氮素吸收与分配影响的研究报道。因此,本研究利用<sup>15</sup>N示踪技术,探讨烤烟对<sup>15</sup>N吸收与分配利用的特点,并探讨种植密度的调节效应,旨在为烤烟生产中确定合理的种植密度和肥料运筹提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况与试验设计

试验于2016年在湘西自治州龙山县召市镇进行。试验田土质为壤土,地势平坦,排灌方便,含有有机质 18.58 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 75.34 mg·kg<sup>-1</sup>、有效磷 31.27 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 114.00 mg·kg<sup>-1</sup>。以烤烟品种 K326 为试验材料,根据该品种的特性和当地的生产实际,设置3个种植密度处理:D<sub>1</sub>(16 529 株·hm<sup>-2</sup>,行距 110 cm,株距 55 cm);D<sub>2</sub>(18 182 株·hm<sup>-2</sup>,行距 110 cm,株距 50 cm);D<sub>3</sub>(20 202 株·hm<sup>-2</sup>,行距 110 cm,株距 45 cm)。采用随机区组设计,3次重复。每公顷施纯氮 97.5 kg,氮、磷、钾肥按照 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 1.0:1.5:2.5 的比例施用。氮肥用量的 40%作基肥,60%作追肥。肥料种类为尿素、过磷酸钙和硫酸钾。土壤肥力和施肥量均为当地的常规水平。现蕾打顶,每株留叶 18 片,按照常规措施进行田间管理。

为了防止施入土壤的<sup>15</sup>N标记肥料流失,在每个小区中选取3株代表性植株,采用铁框法进行微区试验。烟苗移栽前将长 100 cm、宽 50 cm、高 100 cm 的镀锌铁框置于所选各小区烟株对应位置的土中,铁框顶部高出地面 10 cm。按设计施肥量施入<sup>15</sup>N-尿素(上海化工研究院生产,标记丰度为 10.15%)。施基肥时先将微区最上部 0~10 cm 土层的土壤挖出,过 5 mm 筛,混匀后把<sup>15</sup>N 尿素、过磷酸钙、硫酸钾按 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 1.0:1.5

: 2.5 的比例与土壤充分混合后填回微区, 再进行移栽。

## 1.2 样品采集与测定

根据烤烟的生产特点, 分别于圆顶期、下部叶采收后、中部叶采收后 3 次取样。圆顶期取烟株的上部叶 (自下而上第 15~16 叶)、中部叶 (自下而上第 9~10 叶)、下部叶 (自下而上第 3~4 叶)、根、茎样品; 下部叶采收后取烟株的上部叶、中部叶、根、茎样品; 中部叶采收后取烟株的上部叶、根、茎样品。所有样品采集后立即于 105℃ 杀青 10 min, 然后于 70℃ 下烘干至恒重, 将干样粉碎, 并过 0.5 mm 筛, 用于测定。

样品全氮含量测定采用凯氏定氮法<sup>[19]</sup>。<sup>15</sup>N 丰度采用 DELTA V Advantage 同位素比率质谱仪 (Isotope Ratio Mass Spectrometer) 测定。

## 1.3 计算方法

计算烤烟对氮素吸收与分配的主要指标: 各组分 (器官) 中来自肥料氮 (Nitrogen derived from fertilizer, Ndff) 的比例, 即 “Ndff (%)”; 各组分 (器官) 的全氮含量, 即 “组分全氮量 (g)”; 进入各组分 (器官) 的肥料氮量, 即 “组分 Ndff (g)”; 各组分 (器官) 中来自土壤氮 (Nitrogen derived from soil, Ndffs) 含量, 即 “组分 Ndffs (g)”; 各组分 (器官) 中氮肥的分配率, 即 “组分氮肥分配率 (%)”; 植株中肥料氮占施氮量的比例, 即 “氮肥利用率 (%)”。上述指标的计算方法参考王俊忠等<sup>[20]</sup>、韩明玉等<sup>[21]</sup>的方法。

$$\text{Ndff}/\% = (\text{样品中的}^{15}\text{N 丰度}\% - \text{自然丰度}) / (\text{肥料中}^{15}\text{N 的丰度}\% - \text{自然丰度}) \times 100 \quad (1)$$

(1) 式中自然丰度为 0.365%。

$$\text{组分全氮量}/\text{g} = \text{组分干物重}(\text{g}) \times \text{含氮率}(\text{N}\%) \quad (2)$$

(2) 式中含氮率 (N%) 指氮素占干物的百分比, 各组分的全氮量之和等于植株的全氮量。

$$\text{组分 Ndff}/\text{g} = \text{组分全氮量}(\text{g}) \times \text{Ndff}(\%) \quad (3)$$

$$\text{组分 Ndffs}/\text{g} = \text{组分全氮量}(\text{g}) - \text{组分 Ndff}(\text{g}) \quad (4)$$

$$\text{组分氮肥分配率}/\% = \text{组分 Ndff}(\text{g}) / \text{植株总 Ndff}(\text{g}) \times 100 \quad (5)$$

$$\text{氮肥利用率}/\% = \text{植株总 Ndff 量}(\text{g}) / \text{施氮量}(\text{g}) \times 100 \quad (6)$$

## 1.4 数据处理

所有数据均用 3 次重复计算得到, 用平均值 ± 标准差表示, 使用 Microsoft excel 软件进行初步数据整理, 采用 SPSS18.0 统计软件进行单因素方

差分析 (one-way ANOVA), 并用 Duncan's 进行处理间差异显著性检验 ( $\alpha=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 种植密度对烟株不同部位 Ndff (%) 的影响

Ndff (%) 是指烟株不同器官从肥料中吸收的<sup>15</sup>N 量对该部位全氮量的贡献率, 反映了各器官对肥料氮的吸收征调能力<sup>[19]</sup>。测定结果 (表 1) 表明, 圆顶期各部位叶片的 Ndff (%) 均表现为下部叶 > 中部叶 > 上部叶, 说明在圆顶期下部叶和中部叶对肥料中<sup>15</sup>N 的征调能力较强; 与根系相比, 茎秆对<sup>15</sup>N 的征调能力较强。种植密度对烟株不同部位的 Ndff (%) 具有显著影响, 表现为随着种植密度增大, 各部位的 Ndff (%) 值呈显著上升趋势, 说明增加种植密度有利于增强各部位对肥料中<sup>15</sup>N 的吸收征调能力。下部烟叶采收后, 各部位的 Ndff (%) 值表现为上部叶 > 中部叶 > 茎秆 > 根系, 上部叶对肥料<sup>15</sup>N 的吸收征调能力增强; 就整株的 Ndff (%) 而言, 以 D<sub>2</sub> 处理的最高。烟株发育后期 (中部叶采收后), 各部位 Ndff (%) 总体上表现为根系 > 茎秆 > 上部叶, 说明随着烟株发育进程的推进, 以及下部叶、中部叶的采收, 烟株各部位对肥料<sup>15</sup>N 的吸收征调能力发生了明显变化。

表 1 种植密度对烟株不同部位 Ndff (%) 的影响

Table 1 Effect of planting density on Ndff in various parts of a tobacco plant

时期	部位	Ndff/%		
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
圆顶期	上部叶	16.23±0.38c	22.29±0.35b	29.06±0.82a
	中部叶	18.01±0.42c	23.99±0.426b	32.24±0.23a
	下部叶	20.04±0.33c	24.09±0.72b	34.50±0.45a
	茎秆	16.66±0.65c	22.68±0.63b	30.26±0.73a
	根系	15.73±0.47c	20.54±0.23b	22.59±0.41a
	全株	15.55±0.34c	17.18±0.19b	23.16±0.42a
下部叶采收后	上部叶	16.52±0.42c	20.33±0.34b	27.66±0.02a
	中部叶	16.40±0.35c	19.29±0.36b	25.90±0.43a
	茎秆	15.30±0.48c	16.14±0.27b	21.54±0.52a
	根系	13.22±0.16c	15.31±0.18a	13.71±0.29b
	全株	15.43±0.35b	16.82±0.23a	15.86±0.41b
	中部叶采收后	15.35±0.43a	15.45±0.31a	15.32±0.45a
中部叶采收后	茎秆	16.23±0.38c	22.29±0.35b	29.06±0.82a
	根系	18.01±0.42c	23.99±0.426b	32.24±0.23a
	全株	20.04±0.33c	24.09±0.72b	34.50±0.45a

注: 同行数据后不同小写字母表示不同密度处理间差异达到 5% 显著水平。

表 2~4 同。

2.2 种植密度对<sup>15</sup>N 在烟株各部位分配率的影响

<sup>15</sup>N 分配率是指各部位中<sup>15</sup>N 含量占全株<sup>15</sup>N 总量的百分比，反映了肥料氮在烟株体内的分布情况及其在各部位间的迁移规律。从测定结果（表 2）可以看出，①圆顶期不同密度条件下，叶片<sup>15</sup>N 分配率分别为 79.26%（D<sub>1</sub>）、73.68%（D<sub>2</sub>）、77.92%（D<sub>3</sub>），平均 76.95%；茎秆<sup>15</sup>N 分配率分别为 12.48%（D<sub>1</sub>）、16.61%（D<sub>2</sub>）、17.00%（D<sub>3</sub>），平均 15.36%；根系<sup>15</sup>N 分配率分别为 8.26%（D<sub>1</sub>）、9.71%（D<sub>2</sub>）、5.08%（D<sub>3</sub>），平均 7.68%。表明圆顶期之前，烟株吸收的<sup>15</sup>N 大部分向叶片分配，其次为茎秆，根系的分配率最低。从不同部位叶片的分配率看，下部叶最高，其次是中部叶，上部叶最低。种植密度对<sup>15</sup>N 的分配率有明显影响，D<sub>2</sub> 处理的种植密度下，<sup>15</sup>N 向根、茎的分配率较高，种植密度过低（D<sub>1</sub>）、过高（D<sub>3</sub>）均使根、茎的分配率降低；②下部叶采收后，不同种植密度条件下，叶片<sup>15</sup>N 分配率分别为 59.45%（D<sub>1</sub>）、67.44%（D<sub>2</sub>）、66.09%（D<sub>3</sub>），平均 64.33%；中部叶<sup>15</sup>N 分配率明显高于上部叶；茎秆<sup>15</sup>N 分配率分别为 20.31%（D<sub>1</sub>）、20.07%（D<sub>2</sub>）、20.61%（D<sub>3</sub>），平均 20.33%；根系<sup>15</sup>N 分配率分别为 20.24%（D<sub>1</sub>）、12.49%（D<sub>2</sub>）、13.30%（D<sub>3</sub>），平均 15.34%。由于此期烟株仅剩上部叶和中部叶，根和茎的<sup>15</sup>N 分配率增加。较高的密度（D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>）条件下，叶片的<sup>15</sup>N 分配率较高；较低的密度（D<sub>1</sub>）条件下，根系<sup>15</sup>N 分配率较高，不同密度间茎秆<sup>15</sup>N 分配率的差异不显著；③中部叶采收后，烟株发育进入最后阶段，茎秆上只有上部叶，根系和茎秆的<sup>15</sup>N 分配率进一步提高，烟株吸收的<sup>15</sup>N 平均有 36.13% 分配到茎秆、25.21% 分配到根系、38.66% 分配到上部叶片。较高的密度（D<sub>3</sub>）条件下，叶片<sup>15</sup>N 分配率较高；较低的密度（D<sub>1</sub>）条件下，茎秆<sup>15</sup>N 分配率较高，不同密度间根系<sup>15</sup>N 分配率的差异不显著。

2.3 种植密度对烟株吸收肥料氮和土壤氮比例的影响

为了了解在烟株生长发育过程中对土壤氮和对肥料氮的吸收情况，测定了烟株在各时期所吸收的土壤氮及肥料氮的含量，并计算土壤氮和肥料氮所占比率，结果表明：在不同发育时期和不同种植密度条件下，烟株的氮素来源均以土壤氮占比较大（图 1）。对不同生育时期进行比较，发现圆顶期烟株对肥料氮的吸收比例较高，随着烟株发育进程，以及下、中部烟叶的采收，烟株对肥料氮的吸收比

例减少，对土壤氮的吸收比例增加，3 种植密度处理的变化趋势一致。对不同种植密度处理的试验结果进行比较，圆顶期和下部叶采收后以高密度（D<sub>3</sub>）条件下的肥料氮比例较高，但到后期（中部叶采收后）下降明显；而低（D<sub>1</sub>）、中（D<sub>2</sub>）密度条件下，肥料氮所占比例相对较低，变化较为平缓。

表 2 不同种植密度处理烟株各部位的<sup>15</sup>N 分配率  
Table 2 Effect of planting density on distribution of <sup>15</sup>N in various parts of a tobacco plant (单位/%)

时期	部位	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
圆顶期	上部叶	14.21±1.01b	13.93±0.79b	18.37±1.13a
	中部叶	31.11±1.56a	26.15±1.29b	25.67±1.03b
	下部叶	33.94±1.51a	33.60±1.48a	33.88±1.24a
	叶片总计	79.26±3.04a	73.68±2.17b	77.92±1.83a
	茎秆	12.48±0.92b	16.61±1.17a	17.00±1.09a
	根系	8.26±0.52a	9.71±0.45a	5.08±0.36b
下部叶采收后	上部叶	21.29±1.55c	25.57±1.38b	30.10±1.61a
	中部叶	38.16±1.97ab	41.87±2.04a	35.99±1.19b
	叶片总计	59.45±2.34b	67.44±3.29a	66.09±2.61a
	茎秆	20.31±1.37a	20.07±1.45a	20.61±1.22a
中部叶采收后	根系	20.24±2.23a	12.49±1.16b	13.30±1.28b
	上部叶	36.87±1.68b	38.19±1.32ab	40.91±2.08a
	茎秆	36.81±1.93ab	37.61±2.14a	33.98±1.76b
	根系	26.32±1.21a	24.20±1.34a	25.11±1.09a

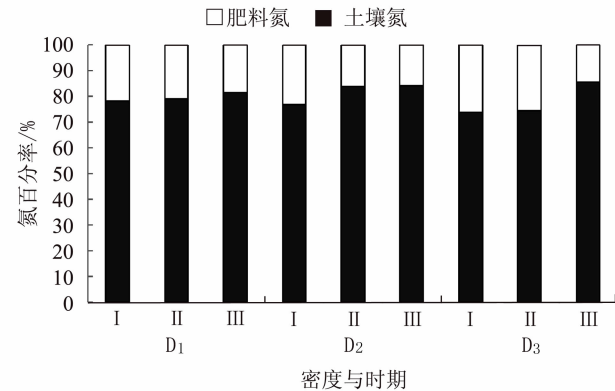


图 1 烟株中来自土壤氮和肥料氮的比例  
Fig. 1 Percentages of nitrogen in tobacco plant derived from soil and fertilizer

注：I 为圆顶期，II 为下部叶采收后，III 为中部叶采收后。

2.4 种植密度对氮肥利用率的影响

从表 3 看出，随着烤烟的生育进程，氮肥利用率降低。圆顶期以中等密度（D<sub>2</sub>）条件下的氮肥利用率最高，其次为 D<sub>3</sub> 处理和 D<sub>1</sub> 处理，处理之间差异均达显著水平；在下部叶采收后及中部叶采

收后，仍以 D<sub>2</sub> 处理的氮肥利用率最高，D<sub>1</sub> 处理的氮肥利用率最低，但 D<sub>2</sub> 处理和 D<sub>3</sub> 处理之间差异不显著。表明适当增加种植密度有利于提高烤烟的氮肥利用率。

2.5 种植密度对烤烟经济性状的影响

从表 4 看出，随着种植密度增加，单位面积的烟叶产量有所提高，但 D<sub>2</sub> 处理、D<sub>3</sub> 处理之间产量差异不显著；而上等烟比例随着种植密度的增加而下降，但 D<sub>1</sub> 与 D<sub>2</sub> 之间上等烟比例差异不显著；单位面积产值以 D<sub>2</sub> 处理最高，其次是 D<sub>3</sub> 处理，D<sub>1</sub> 处理最低，处理之间差异均达显著水平。

表 3 不同种植密度处理氮肥的利用率

Table 3 Effect of planting density on NUE of flue-cured tobacco (单位/%)

时期	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
圆顶期	18.54±1.17c	35.64±2.35a	29.11±1.63b
下部叶采收后	10.90±0.68b	24.76±1.34a	21.45±1.82a
中部叶采收后	6.55±0.87b	9.83±1.04a	9.19±1.31a

表 4 不同种植密度处理烤烟产量、产值及上等烟比例

Table 4 Yield, output and proportion of high-grade tobacco leaves of flue-cured tobacco plants by treatments

项目	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
产量(kg·hm <sup>-2</sup> )	2071.5±63.5b	2215.9±41.1a	2308.3±51.8a
产值(元·hm <sup>-2</sup> )	518.6±746.5c	58129.8±862.7a	55610.4±907.3b
上等烟比例(%)	39.7±0.74a	37.3±1.12a	31.2±0.69b

3 讨论与结论

烤烟是以叶片为收获对象的作物，烟株对氮素的吸收与分配情况直接影响到其产量和品质的形成。单德鑫等<sup>[11]</sup>研究了肥料氮进入不同叶位的比例，表现为下部叶>中部叶>上部叶的规律。在利用<sup>15</sup>N 标记技术研究作物对氮素吸收分配规律过程中，常用 Ndff (%) 值来表示各器官对肥料中<sup>15</sup>N 的吸收征调能力<sup>[6,8-9,22]</sup>。本试验结果表明，圆顶期烟株各部位对肥料氮的征调能力表现为下部叶>中部叶>上部叶，本试验结果与前人的研究结果基本一致。从<sup>15</sup>N 在烟株各部位中的分配率看出，圆顶期烟株各部位的<sup>15</sup>N 分配率表现为下部叶>中部叶>上部叶>茎秆>根系；在圆顶期对不同部位<sup>15</sup>N 分配率进行测定，从 3 个处理平均值看出，烟株吸收<sup>15</sup>N 总量的 76.95% 分配到叶片、15.36% 分

配到茎秆、7.68% 分配到根系，表明在生长发育前期，烟株吸收的<sup>15</sup>N 大部分向叶片分配，其次为茎秆，根系的分配率最低；在下部、中部叶成熟采收后，叶片中的<sup>15</sup>N 分配率降低，根、茎中的<sup>15</sup>N 分配率上升，但直到生育后期仍以叶片的分配率较高。上述结果说明烟株从肥料中吸收的氮素大部分用于叶片的生长，其次是茎秆和根系。种植密度对<sup>15</sup>N 的分配有明显影响，D<sub>2</sub> (18 182 株·hm<sup>-2</sup>) 的种植密度条件下，<sup>15</sup>N 向根、茎的分配率较高，种植密度过低 (D<sub>1</sub>, 16 529 株·hm<sup>-2</sup>)、过高 (D<sub>3</sub>, 20 202 株·hm<sup>-2</sup>) 均使根、茎的分配率降低。表明适宜的种植密度有利于根茎发育，促进形成健壮植株。

烟株吸收的氮素一部分来源于土壤，一部分来源于肥料。为了探明不同生育时期土壤氮和肥料氮对烟株的贡献，比较了烟株中来自肥料氮与来自土壤氮的比例，结果表明：圆顶期烟株吸收的氮素中，土壤氮的比例显著大于肥料氮的比例，生育后期土壤氮的比例进一步增加，表明良好的土壤肥力是烟株健壮生长的基础，这与单德鑫<sup>[10]</sup>、智磊等<sup>[14]</sup>的研究结果基本一致。比较不同生长发育时期、不同种植密度处理的氮肥利用率，结果表明：烟株对氮肥的利用率随着生育进程而降低，种植密度对氮肥利用率具有明显的影响。各个时期均以中等密度 (D<sub>2</sub>) 条件下的氮肥利用率最高，但生育后期中等密度 (D<sub>2</sub>) 与高密度 (D<sub>3</sub>) 处理间差异不显著，表明适宜的种植密度有利于提高氮肥利用率。

沈杰等<sup>[23]</sup>在四川省泸州市以云烟 99 为材料研究表明，随着种植密度的增加，烟株养分吸收量增加，而叶片养分含量和养分经济系数呈先升高后降低的变化趋势；种植密度增加后每生产 100 kg 烤烟的养分摄取量增加，养分利用效率降低，且随着种植密度的增加，中、下部烟叶烟碱含量显著降低，认为：云烟 99 按 15 150~16 660 株·hm<sup>-2</sup> 密植，能更好地发挥烟株群体密植效应，改善烟叶营养吸收与利用状况，进而提高烟叶产量和品质。本研究加大了种植密度，设置了 3 个种植密度处理，结果认为：单位面积烟叶产量随着种植密度的增大而增加，但上等烟的比例则随着种植密度的增加而降低，尤其 D<sub>3</sub> 处理的上等烟比例显著降低，说明提高种植密度，可以在一定程度上通过增加烟株和叶片数量而提高烟叶产量，但过高的种植密度会导致烟田微环境恶化，不利于协调个体生长与群体发育的关系，使烟叶品质降低。采用单位面积产值作

为反映产量和品质的综合指标,可以发现:D<sub>2</sub>处理的单位面积产值最高,其次是D<sub>3</sub>处理。综合分析表明:D<sub>2</sub>处理的种植密度(18 182株·hm<sup>-2</sup>),有利于增强烟株对氮素的吸收利用,协调烟株的氮素分配,提高氮肥利用效率和烤烟的单位面积产值,是较为适宜的种植密度。

#### 参考文献:

- [1] 毛家伟,张翔,王宏,等. 种植密度和氮用量对烟叶光合特性和产量质量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(5):66—70.
- [2] 彭冠云,周清明,易克,等. 中国烤烟大田施肥研究进展[J]. 湖南农业科学,2006(3):70—72.
- [3] 王巧兰,吴礼树,赵竹青. <sup>15</sup>N示踪技术在植物氮素营养研究中的应用及进展[J]. 华中农业大学学报,2007,26(1):127—132.
- [4] BELOW F E, CRAFS-BRANDMERR S J, JIANG D, et al. Uptake distribution and remobilization of <sup>15</sup>N-labeled urea applied to maize canopies[J]. *Field Crops Research*, 2004, 77: 412—415.
- [5] 王志杰,王纪华,赵春江,等. 用叶面标记<sup>15</sup>N研究冬小麦不同叶位氮素的运转[J]. 华北农学报,2004,19(2):71—75.
- [6] 褚贵新,沈其荣,李奕林,等. 用<sup>15</sup>N叶标记法研究旱作水稻与花生间作系统中氮素的双向转移[J]. 生态学报,2004,24(2):279—284.
- [7] JENSEN E S. Barley uptake N deposited in the rhizosphere of associated field pea[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(2):159—168.
- [8] 李鹏程,郑苍松,孙森,等. 利用<sup>15</sup>N示踪研究不同肥力土壤棉花氮肥减施的产量与环境效应[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(5):1199—1206.
- [9] 赵林,姜远茂,彭福田,等. 嘎拉苹果对春施<sup>15</sup>N-尿素的吸收、利用与分配特性[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(6):1439—1443.
- [10] 单德鑫,杨书海,李淑芹,等. <sup>15</sup>N示踪研究烤烟对氮的吸收与分配[J]. 中国土壤与肥料,2007(2):43—45.
- [11] 刘青丽,石俊雄,张云贵,等. 应用<sup>15</sup>N示踪研究不同有机物对烤烟氮素营养及品质的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(22):4642—4651.
- [12] 习向银,曹逢春,李春俭. 利用<sup>15</sup>N示踪法研究土壤氮对烤烟氮素累积和烟碱合成的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(6):1232—1236.
- [13] 智磊. 基于<sup>15</sup>N同位素的烤烟氮素吸收分配规律研究[D]. 郑州:河南农业大学,2012.
- [14] 石德杨,李艳红,夏德军,等. 种植密度对夏玉米根系特性及氮肥吸收的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(11):2006—2017.
- [15] 许海良,赵会杰,蒲文宣,等. 种植密度对烟草冠层辐射和群体光合作用的影响[J]. 福建农业学报,2017,32(3):253—257.
- [16] 毛家伟,张翔,王宏,等. 种植密度和氮用量对烟叶光合特性和产量质量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(5):66—70.
- [17] 张喜峰,张立新,高梅,等. 密度与氮肥互作对烤烟圆顶期农艺及经济性状的影响[J]. 中国烟草科学,2012,33(5):36—41.
- [18] 李海平,朱列书,黄魏魏,等. 种植密度对烟、田环境、烤烟农艺性状及产量质量的影响研究进展[J]. 作物研究,2008,22(5):489—490.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [20] 王俊忠,黄高宝,张超男,等. 施肥量对不同肥力水平下夏玉米碳素代谢及氮素利用率的影响[J]. 生态学报,2009,29(4):2045—2052.
- [21] 韩明玉,张芳芳,张立新,等. 矮化中间砧富士苹果初夏土施<sup>15</sup>N-尿素的吸收分配特性[J]. 中国农业科学,2011,44(23):4841—4847.
- [22] 顾曼如. <sup>15</sup>N在苹果氮素营养研究中的应用[J]. 中国果树,1990(2):46—48.
- [23] 沈杰,蔡艳,何玉亭,等. 种植密度对烤烟养分吸收及品质形成的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(10):51—58.

(责任编辑:杨小萍)