

广东南雄烟区烤烟氮素累积分配及利用特征^{*}

杨志晓^{1,2} 刘化冰¹ 柯油松³ 吴文斌³ 张小全¹ 邱妙文⁴ 赵伟才⁴ 杨铁钊^{1**}

(¹河南农业大学烟草学院, 郑州 450002; ²贵州省烟草科学研究所, 贵阳 550081; ³广东省烟草南雄市有限公司, 广东南雄 512400; ⁴广东省南雄烟草科学研究所, 广东南雄 512400)

摘 要 在广东南雄烟区以烤烟品种 K326 为材料, 采用田间原位培养方法和¹⁵N 同位素示踪技术, 在大田条件下研究了土壤氮素矿化特征、烤烟氮素累积分配规律以及当季施入肥料氮的分配情况. 结果表明: 南雄烟区土壤氮素矿化量随着生育期推移呈上升趋势, 在移栽后 75 d 达到高峰, 此后下降; 不施氮处理土壤氮素矿化量在各生育期均显著高于施氮处理; 烟株不同器官氮素积累量表现为叶片>茎>根. 烤烟在团棵期和打顶期以吸收肥料氮为主, 成熟期则以吸收土壤氮为主, 烟株整个生育期吸收的氮素主要来源于土壤氮, 且吸收的土壤氮及其占总氮的比例随生育期推移和叶片着生部位的升高而增加. 氮肥烟株利用率、土壤残留率和损失率分别为 30.8%、32.3% 和 36.9%. 南雄烟区土壤氮素矿化能力较强, 土壤氮对上部叶片质量的影响较大, 在施氮量为 150 kg·hm⁻² 条件下, 肥料氮的残留量和损失量较高.

关键词 烤烟 氮素 土壤 矿化 ¹⁵N 示踪

文章编号 1001-9332(2011)06-1450-07 中图分类号 S257.4, S572 文献标识码 A

Nitrogen uptake and allocation characteristics of flue-cured tobacco in Nanxiong tobacco-planting area of Guangdong Province. YANG Zhi-xiao^{1,2}, LIU Hua-bing¹, KE You-song³, WU Wen-bin³, ZHANG Xiao-quan¹, QIU Miao-wen⁴, ZHAO Wei-cai⁴, YANG Tie-zhao¹ (¹College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; ²Guizhou Tobacco Science Research Institute, Guiyang 550081, China; ³Nanxiong Tobacco Co. Ltd., Nanxiong 512400, Guangdong, China; ⁴Nanxiong Tobacco Science Research Institute, Nanxiong 512400, Guangdong, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(6): 1450–1456.

Abstract: By the method of field in situ culture and ¹⁵N isotopic tracer technique, and taking flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum*) cultivar K326 as test material, a field experiment was conducted in the Nanxiong tobacco-planting area of Guangdong Province to study the characteristics of soil nitrogen (N) mineralization, the patterns of N accumulation and allocation in tobacco plants, and the allocation of plant-absorbed fertilizer N applied in current growth season. In the study area, the amount of soil mineralized N increased with tobacco growth, peaked at 75 days after transplanting, and decreased thereafter. The soil mineralized N at each tobacco growth stage was significantly higher in the control than in the N fertilization treatment. The N accumulation in tobacco plant organs was in the order of leaf > stalk > root. Tobacco plants mainly absorbed fertilizer N at rosette stage and topping stage, and mainly absorbed soil N at mature stage. The absorbed N in tobacco whole growth period was mainly derived from soil N, and the absorbed soil N and its proportion to the total absorbed N increased evidently with extending growth stage and ascending leaf position. The fertilizer N use efficiency per plant and the residual rate and loss rate of applied fertilizer N were 30.8%, 32.3%, and 36.9%, respectively. In the study area, soil N mineralization rate was relatively high, and soil N had greater effects on the quality of upper tobacco leaves. Under the application rate of 150 kg N·hm⁻², the residual amount and loss amount of applied fertilizer N were relatively high.

Key words: flue-cured tobacco; nitrogen; soil; mineralization; ¹⁵N tracer.

^{*} 国家烟草专卖局项目(110200601020)资助.

^{**} 通讯作者. E-mail: yangtiezhao@126.com

2010-11-27 收稿, 2011-03-17 接受.

氮素是烟草生长发育过程中最重要的营养元素之一,对烟叶的产量、品质起关键性作用^[1-2].烟草是一种高经济价值作物,烟农通常喜欢施用过量氮肥来获得较高的经济效益,造成我国植烟地区氮肥施用量普遍偏高,导致烟叶品质下降,工业可用性较差^[3-4],同时对环境造成很大压力^[5-6].因此,确定满足烤烟生长发育所需要的适宜氮肥用量,对提高我国烟叶产量和品质,减少环境污染具有重要意义.

研究表明,烟株吸收的氮素主要来源于土壤氮和当季施入的肥料氮,土壤氮在烤烟生长发育过程中起着重要作用^[7-9].王鹏等^[10]研究发现,在黄壤烟区,烤烟全生育期积累的氮素 70% 以上来自于土壤氮,生长后期土壤供氮是烤烟主要的氮素来源.习向银等^[11]研究指出,烤烟吸收的土壤氮用于烟碱合成的比例随生育期推进逐渐增加,显著高于肥料氮.目前,烤烟氮素营养研究主要集中在烟株对土壤氮和肥料氮的吸收和利用上,而关于当季施入的肥料氮在土壤中残留、损失状况的研究报道还较少^[12-13].烤烟对氮素的吸收和利用受土壤肥力、施氮水平和降雨等多种生态因素的制约^[14];而我国烟区分布范围较广,气候、土壤条件复杂多样,生态条件差异较大,因此,应根据各地生态条件因地制宜地选用适宜的氮肥施用量.广东省南雄市是我国著名的优质烟叶产区,但在烟叶生产中存在氮肥用量偏高、氮肥利用率低和肥料损失严重等问题^[15].为此,本文针对南雄烟区特有的生态条件,采用田间原位培养方法和¹⁵N 同位素示踪技术研究了南雄烟区土壤氮素矿化特征、烤烟氮素累积规律以及当季施入肥料氮的利用、残留和损失情况,旨在为该区域合理施用氮肥提供科学依据和理论支撑.

1 研究地区与研究方法

1.1 试验点基本情况

广东省南雄市位于广东省东北部大余岭南麓(25°—35° N, 114°—114°45′ E),属中亚热带季风湿润区,具大陆性气候特征,四季分明,年平均气温 19.6 ℃,年降雨量 1530.6 mm,年日照时数 1654.7 h,全年无霜期 273 d,2—6 月≥10 ℃的有效积温在 2100 ℃以上.烤烟生育期大田主要气象资料如表 1 所示.

供试烟田土壤类型为紫色土,前作为水稻,土壤 pH 7.47,全氮 0.86 g·kg⁻¹,全钾 27.5 g·kg⁻¹,全磷 0.45 g·kg⁻¹,有机质 8.8 g·kg⁻¹,碱解氮 57 mg·kg⁻¹,速效钾 126 mg·kg⁻¹,速效磷 8.0 mg·kg⁻¹.

表 1 南雄烟区烤烟生长期间气象资料
Table 1 Meteorological data during the flue-cured tobacco growing period in Nanxiong tobacco-growing area

月份 Month	总日照 Total sunshine (h)	月降雨量 Monthly rainfall (mm)	平均气温 Average temperature (℃)
2	50.5	98.4	18.5
3	68.4	174.5	22.4
4	76.8	235.4	27.7
5	89.3	166.8	29.6
6	135.2	154.7	34.3

1.2 试验设计

1.2.1 植烟土壤氮素矿化特征试验 采用田间原位培养法.试验设不施氮肥(N₀)和施氮量为 150 kg·hm⁻²(N₁₅₀)两个处理,采用随机区组排列.其中,N₁₅₀为当地推荐施氮量,其与磷肥和钾肥的比例为 N:P₂O₅:K₂O=1:0.8:2,N₀处理的磷肥和钾肥施用量与 N₁₅₀相同.氮、磷、钾肥分别采用硝酸铵、钙镁磷肥和硫酸钾.磷肥全部作为基肥,70%的氮肥和钾肥在移栽时基施,剩余 30%的氮肥和钾肥在烤烟移栽后 25 d追施,基肥和追肥均单株称量施肥.基肥采用环施法,在距烟株 10 cm 左右环状施入,并覆土 10 cm;追肥采用淋施法,即将称好的肥料溶解于定量的水中,浇施在距烟株 10 cm 左右处,覆土 10 cm.供试烤烟品种为 K326,行距 110 cm,株距 50 cm,田间管理按照优质烟叶生产技术措施进行.

1.2.2 烤烟氮素积累规律和氮肥利用率试验 ¹⁵N 示踪微区试验设置在 1.2.1 中的 N₁₅₀小区内.用 60 目的尼龙筛网制成直径 50 cm、高 45 cm 的网袋,每袋装土 25 kg,每袋植烟一株,埋入垄间,共植烟 12 株.每株氮肥用量为 10 g (折合 150 kg·hm⁻²).供试氮肥为双标记的¹⁵NH₄¹⁵NO₃,丰度为 5.28%,购自上海化工研究院.磷肥和钾肥分别采用化学分析纯磷酸二氢钾和硫酸钾.施肥方法和田间管理同 1.2.1 中一致.

1.2.3 土壤氮素矿化试验 参照晁逢春^[7]的方法,采用田间埋袋培养法进行.在烤烟移栽时及移栽后第 15、30、45、60、75、90 和 105 天进行取样,每次分别在 N₀ 和 N₁₅₀处理的垄上随机选取 3 个点进行采样.取样点设在垄的一侧靠近烟株主根的位置(取样时应注意减少对烟根的伤害),每次随机选择采样点,但采样点距烟株主根的距离保持相对一致.将 3 个点 0~20 cm 深的土壤充分混合后(土壤含有施入的肥料)分为 2 份,一份用来测定土壤中的铵态

氮和硝态氮含量;把余下的土样装入自封袋中后封口,用塑料软管保持封口袋与外界通气,选择取过土样的位置将自封袋垂直埋于 0 ~ 20 cm 取过土样的土层中,封口朝上,塑料通气管露出地面约 5 cm. 培养 2 周后取自封袋,置于冰盒中,将样品带回实验室进行分析,同时采样并进行下一轮的培养,直至烟叶采收结束. 培养前后无机氮的差值即为土壤氮矿化量. 土壤中铵态氮和硝态氮参照鲍士旦^[16]的方法进行测定,铵态氮采用 2 mmol · L⁻¹ KCl 浸提-蒸馏法,硝态氮采用酚二磺酸比色法测定.

1.2.4 ¹⁵N 微区试验 于烤烟团棵期(移栽后 30 d)在¹⁵N 微区内取 4 株烟株,每株分根、茎、叶 3 部分;打顶期(移栽后 55 d)每株留叶数 18 片,取烟株 4 株,每株分根、茎、上部叶、中部叶和下部叶 5 部分(上部叶、中部叶和下部叶 3 个部位各为 6 片叶);剩余 4 株在叶片成熟时进行分次采收,然后按照上部、中部、下部 3 个叶位合并,采收结束后收获茎和根. 各时期取样的同时在距烟株茎基部 10 cm 处取 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层的土样. 所取根、茎、叶先称鲜质量,然后在 105 ℃ 杀青 15 min,75 ℃ 烘干至恒量,粉碎后过 60 目网筛. 由河北农林科学院遗传生理研究所采用半微量凯氏定氮法和同位素质谱法分别测定烟株各器官和土壤中总氮及¹⁵N 丰度.

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件和 SPSS 16.0 数据处理系统对数据进行统计分析. 相关指标计算公式:土壤无机氮含量=土壤硝态氮含量+土壤铵态氮含量;土壤氮素矿化量=培养后无机氮含量-培养前无机氮含量;烟株吸收的总氮量=烟株干物质量×烟株含氮量;烟株吸收肥料氮的比例=烟株¹⁵N 原子百分超/肥料¹⁵N 原子百分超×100%;烟株吸收的肥料氮=烟株吸收的总氮量×烟株吸收肥料氮的比例;烟株吸收的土壤氮=烟株吸收的总氮量-烟株吸收的肥料氮;氮肥利用率=烟株吸收的肥料氮/施氮

量×100%;肥料氮在土壤中的残留率=土壤¹⁵N 原子百分超/肥料¹⁵N 原子百分超×100%;肥料氮在土壤中的残留量=土壤全氮含量×土壤容重×土层厚度×肥料氮在土壤中的残留率;肥料氮损失量=施氮量-烟株吸收的肥料氮-肥料氮在土壤中的残留量;肥料氮损失率=肥料氮损失量/施氮量×100%.

2 结果与分析

2.1 南雄烟区土壤氮素矿化规律

由图 1 可以看出,在烤烟全生育期内,N₀ 和 N₁₅₀ 两个处理土壤氮素矿化特性相似,表现为:在烤烟移栽后 30 d 内土壤氮素矿化量较低,此后,矿化量上升较快,在移栽后 75 d 时达到高峰,之后随生育期推移呈下降趋势. N₀ 处理的土壤氮素矿化量在各生育期均高于 N₁₅₀ 处理,差异达到显著水平. 在移栽后 60 ~ 105 d 这一时期内,N₀ 和 N₁₅₀ 处理土壤氮素矿化量分别为 160.25 和 141.3 kg · hm⁻²,分别占全生育期的 56.9% 和 57.5%. 表明在烤烟成熟期土壤氮素矿化量较大,具有较强的矿化能力.

2.2 烤烟氮素累积特征

氮素对烤烟器官形成有重要影响. 从表 2 可以看出,全生育期烟株各器官氮素积累量均表现为叶片>茎>根,烟株上部叶片、茎、根及整株的氮

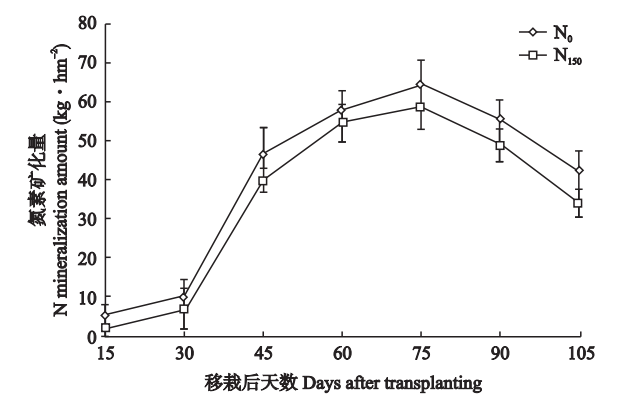


图 1 土壤氮素矿化特性
Fig. 1 Characteristic of soil nitrogen mineralization.

表 2 不同生育期烤烟各器官及整株氮素积累的动态变化
Table 2 Dynamics of nitrogen accumulation in organs and whole plant of flue-cured tobacco at different growth stages (g · plant⁻¹)

生育期 Growth stage	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	茎 Stalk	根 Root	全株 Whole plant
团棵期 Rosette stage		0.93		0.13	0.08	1.14
打顶期 Topping stage	0.91	1.07	0.78	0.54	0.41	3.70
成熟期 Mature stage	1.39	1.02	0.68	2.82	0.84	6.74

素积累量随着生育期推进呈增加趋势,而中部和下部叶片在打顶期前氮素积累量增加,成熟期则出现明显的氮素转移现象.打顶期时,烤烟叶片各部位氮素积累量表现为:中部叶>上部叶>下部叶,成熟期则表现为:上部叶>中部叶>下部叶.成熟期烟株吸收的氮素占全生育期氮素积累量的44.3%,打顶后烟株仍吸收大量氮素,这表明南雄烟区烤烟在成熟期存在氮素积累过多的现象.

2.3 烤烟对不同来源氮素的吸收积累规律

烤烟生长发育所需要的氮素不仅来源于肥料氮,而且更多来源于土壤中可利用的氮素.由表3可以看出,肥料氮在烤烟各器官中的分布在各个生育期均以叶片最多,茎次之,根最少.团棵期时,烟株地上部对肥料氮的吸收积累量较少,至打顶期达到高峰,成熟期呈下降趋势.成熟期时,中、下部叶片中的肥料氮明显减少,有可能向根、茎和上部叶片转移.

烤烟根、茎、叶各器官及整株中肥料氮占总氮的

比例在团棵期达到最大,然后随生育期推移显著下降(表4).打顶期肥料氮占总氮的比例在烤烟上部、中部和下部叶片中分别为54.5%、57.3%和58.5%,表现为下部叶>中部叶>上部叶;而土壤氮则表现为上部叶>中部叶>下部叶,这表明肥料氮占总氮的比例随叶位上升而减少,土壤氮占总氮的比例则随叶位上升而增加.不同生育期烤烟对肥料氮和土壤氮的吸收比例不同,团棵期和打顶期时,烟株根、茎、叶各器官对肥料氮的吸收比例均超过50%,高于土壤氮;此后,尽管烟株吸收的肥料氮总量有所增加,但其占总氮的比例一直呈下降趋势,而吸收的土壤氮比例不断上升,成熟期时烟株根、茎、叶各器官吸收的肥料氮占总氮的比例均低于50%.这说明烤烟打顶之前以吸收肥料氮为主,而成熟期则以吸收土壤氮为主.总体来看,烟株整个生育期中吸收的氮素主要来自于土壤氮.同时成熟期上部烟叶中土壤氮积累量高于中部和下部烟叶,这说明上部烟

表3 不同生育期烤烟各器官对肥料氮和土壤氮积累的动态变化
Table 3 Dynamics of fertilizer nitrogen and soil nitrogen accumulation in organs of flue-cured tobacco at different growth stages (g·plant⁻¹)

生育期 Growth stage	肥料氮积累量 Fertilizer nitrogen accumulation					土壤氮积累量 Soil nitrogen accumulation				
	根 Root	茎 Stalk	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	根 Root	茎 Stalk	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf
团棵期 Rosette stage	0.05	0.08		0.55		0.04	0.05		0.38	
打顶期 Topping stage	0.21	0.27	0.49	0.61	0.45	0.21	0.26	0.41	0.46	0.32
成熟期 Mature stage	0.23	1.08	0.33	0.39	0.22	0.62	1.73	1.06	0.64	0.46

表4 不同生育期烤烟各器官肥料氮占总氮比例的动态变化
Table 4 Dynamics of ratio of fertilizer nitrogen to total nitrogen in organs of flue-cured tobacco at different growth stages (%)

生育期 Growth stage	根 Root	茎 Stalk	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf
团棵期 Rosette stage	56.8	64.6		58.8	
打顶期 Topping stage	50.2	51.0	54.5	57.3	58.5
成熟期 Mature stage	41.2	44.9	44.7	47.5	49.1

表5 烤烟不同生育期肥料氮的去向
Table 5 Fate of fertilizer nitrogen at different growth stages of flue-cured tobacco

生育期 Growth stage	烤烟吸收 Tobacco absorption		肥料氮土壤残留 Fertilizer nitrogen residue in soil				肥料氮损失 Fertilizer nitrogen loss	
	吸收量 Absorption amount (kg·hm ⁻²)	氮肥利用率 Nitrogen use efficiency (%)	0~20 cm Residue amount in 0-20 cm (kg·hm ⁻²)	0~20 cm Residue rate in 0-20 cm (%)	20~40 cm Residue amount in 20-40 cm (kg·hm ⁻²)	20~40 cm Residue rate in 20-40 cm (%)	损失量 Loss amount (kg·hm ⁻²)	损失率 Loss rate (%)
团棵期 Rosette stage	9.11	6.1	102.58	68.4	9.90	6.6	28.41	18.9
打顶期 Topping stage	42.54	28.4	48.72	32.5	9.58	6.4	49.16	32.8
成熟期 Mature stage	46.13	30.8	41.48	27.7	7.04	4.7	55.35	36.9

叶中氮素积累量受土壤氮的影响较明显。

2.4 烤烟当季施入肥料氮的去向

由表 5 可知,烤烟当季氮肥利用率在团棵期、打顶期和成熟期分别为 6.1%、28.4% 和 30.8%,在整个生育期呈增加趋势。肥料氮在土壤中的残留量随生育期推进逐渐减少,成熟期肥料氮土壤残留率为 32.3%,其中,肥料氮主要残留在 0~20 cm 土层中,残留在 0~20 cm 土层的肥料氮占总残留量的 85.5%。团棵期、打顶期和成熟期肥料氮损失率分别为 18.9%、32.8% 和 36.9%,肥料氮损失主要发生在烤烟生长前期。这可能是由于南雄烟区烤烟生长前期雨水较多,造成肥料氮流失和发生反硝化作用,导致肥料氮损失量较大。

3 讨 论

3.1 南雄烟区土壤氮素矿化特征

在烟叶生产中,氮素是维持烟株生长发育和形成优良品质的主要肥料因子,其不仅来源于当季施入的肥料氮,土壤氮在烤烟氮素营养中也占有重要地位,其中植株打顶后土壤供氮量对烟叶品质的影响尤为显著。巨晓棠等^[17]研究发现,中国烤烟与国外优质烤烟的吸氮曲线有较大差距,打顶之后仍有大量氮素吸收,并且这部分氮素主要来自土壤氮,这可能是中国烟叶整体质量不高的重要原因之一。

土壤氮素矿化量与土壤有机氮含量、生物分解特性以及矿化的水热条件和时间有关^[18-19]。本试验结果表明,在烤烟移栽后 75 d 内,土壤氮素矿化量不断增加,呈上升趋势。这是由于在本试验气候条件下(表 1),烤烟全生育期内降雨量和积温主要集中在这一时期,而且此时期烟垄覆盖地膜提高了土壤温度并对土壤水分进行了有效控制,这种高温、高湿的环境状况非常有利于土壤微生物的活动,从而促进土壤氮素矿化,使烤烟生长季内的土壤氮素矿化量主要集中在烤烟移栽后 75 d 内这一阶段。而 75 d 以后,由于南雄烟区具有高温强光照的气候特征^[20],并且降雨较少,不利于土壤氮素矿化,导致土壤氮素矿化量下降。尽管成熟期土壤氮素矿化能力下降,但仍能矿化出大量氮素;不施氮、施氮两个处理成熟期土壤氮素矿化积累量占全生育期氮素矿化总量的比例均超过 50%,表明南雄烟区植烟土壤在成熟期仍具有较强的供氮能力,这种供氮特征易导致烟株后期吸收氮素过多,烟碱含量偏高,品质下降。南雄烟区植烟土壤质地黏重的理化性质可能是产生这种现象的重要原因。本研究同时发现,施氮处

理土壤氮素矿化变化趋势与不施氮处理相似,仅表现为土壤氮素矿化量不同,这表明施用氮肥只能减少土壤氮素矿化量,而不能从根本上改变土壤氮素矿化特性,这与谷海红等^[9]和焦永鸽^[21]的研究结果相一致。已有研究把这种现象称为“氮素矿化的反馈作用”,即较高的矿质氮初始值限制了土壤氮素矿化^[22]。万大娟等^[23]对湖南省代表性旱耕地土壤固定态铵的研究指出,在作物生长前、中期,由于氮肥的施入和土壤有机氮的矿化,土壤固定态铵含量上升。宇万太等^[24]认为,施用氮肥可使作物减少对土壤氮的利用。这可能是导致不施氮处理土壤氮素矿化量高于施氮处理的重要原因,但对土壤氮素矿化的影响因素还需进行深入研究,从而对土壤氮素释放进行合理调控。

3.2 南雄烤烟氮素累积规律及对不同来源氮素的吸收、利用

在南雄烟区,烟株上部叶片、茎、根及整株的氮素积累量均随生育期推进呈增加趋势,而中部叶片和下部叶片在打顶前氮素积累量增加,成熟期则出现明显的氮素转移现象。在烤烟全生育期,烟株各器官氮素积累量均呈现出叶片>茎>根的规律。在打顶期,烤烟各部位叶片氮素积累量表现为中部叶>下部叶>上部叶,成熟期则表现为上部叶>中部叶>下部叶,这可能是由于氮素在烟株体内移动性较强,烟株吸收的氮素优先分配到生长旺盛的部位。团棵期至打顶期中部叶片处于生命活动活跃期,生长发育迅速,而此时上部叶片尚未发育完全,使打顶期中部叶片氮素积累量高于上部叶片。进入成熟期,中部叶片和下部叶片进入衰老成熟阶段,而上部叶片对氮素需求量增大,导致中部和下部烟叶中的氮素向上部叶片转移。同时,由于施氮量过高,打顶后根系的“二次发育”对氮素的大量需求导致中、下部叶片氮素输出^[25]。这与习向银等^[8]和王世济等^[26]的研究结果相一致。

本研究表明,烟株吸收的肥料氮积累量随着叶位升高而下降,打顶后上部、中部、下部 3 个部位烟叶和根、茎中肥料氮占总氮的比例均随生育时期推进显著下降;而土壤氮积累量则随叶位上升而上升,且打顶后 3 个叶位中土壤氮占总氮的比例随生育时期推进显著增加。这与谢志坚等^[27]和马兴华等^[28]的研究结论相一致。采收结束时烤烟根、茎、叶片及整株中土壤氮占总氮的比例均超过 50%,积累量高于肥料氮。这说明烟株全生育期吸收的氮素主要来源于土壤,打顶后土壤氮对烤烟各器官氮素积累的

贡献率高于肥料氮。

3.3 南雄烟区当季施入肥料氮的去向

氮肥施入大田后,一部分肥料氮被植株吸收,这是植物当季利用的一部分;一部分肥料氮被土壤或微生物等固持和吸收,仍保存在土壤中,是土壤固定的部分;另外还有一部分损失掉^[29]。本试验表明,在南雄生态条件下,烟株当季氮肥利用率为 30.8%,与前人对烤烟氮肥利用率的研究结果基本一致^[30]。从移栽至团棵期烤烟氮肥利用率较低,这是因为此时烟株已经揭膜,雨水较多,肥料氮通过淋洗、下渗等途径损失,导致氮肥利用率低。随着烤烟生育期推移,氮肥利用率逐渐提高,成熟期达到高峰。这表明烤烟对氮素吸收高峰滞后,不符合优质烟“少时富,老来贫,烟株长成肥退劲”的需肥特征^[31]。同时,本试验在施氮量 150 kg · hm⁻² 条件下,成熟期肥料氮土壤残留率和损失率分别达到 32.3% 和 36.9%,肥料氮残留率和损失率均较高,表明该地区氮肥用量偏高,导致肥料氮在土壤中的残留量和损失量均较高。这可能是由于南雄烟区在移栽至打顶这一时期内降雨量和降雨强度较大,通过挥发、硝化、反硝化和淋失等途径损失的肥料氮较多,同时也与烟株打顶抹杈造成氮素损失有关^[32]。因此,从提高氮肥利用率和烟叶质量的目标出发,应根据烟株需氮特点、土壤氮素供应规律对烤烟氮肥供应进行合理调控。

参考文献

- [1] Han J-F (韩锦峰), Wang Y-F (汪耀富), Qian X-G (钱晓刚). Tobacco Physiology of Cultivation. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 143-145 (in Chinese)
- [2] Li C-J (李春俭), Zhang F-S (张福锁), Li W-Q (李文卿), et al. Nitrogen management and its relation to leaf quality in production of flue-cured tobacco in China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2007, **13**(2): 331-337 (in Chinese)
- [3] Li C-J (李常军), Gong C-R (宫长荣), Xiao P (肖鹏), et al. Influence of nitrogen application and flue-curing condition on nitrogen compounds and tobacco quality. *Chinese Tobacco Science* (中国烟草科学), 2001, **22**(1): 4-7 (in Chinese)
- [4] Zhang S-J (张生杰), Huang Y-J (黄元炯), Yang T-Z (杨铁钊), et al. Effects of nitrogen fertilization on leaf senescence, photosynthetic characteristics, yield, and quality of different flue-cured tobacco varieties. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(3): 668-674 (in Chinese)
- [5] Ye Y-L (叶优良), Wang G-L (王桂良), Zhu Y-J (朱云集), et al. Effects of nitrogen fertilization on population dynamics and yield of high-yielding wheat and on alteration of soil nitrogen. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(2): 351-358 (in Chinese)
- [6] Ju XT, Liu XJ, Zhang FS, et al. Effect of long-term fertilization on organic nitrogen forms in a calcareous alluvial soil on the North China Plain. *Pedosphere*, 2006, **16**: 224-229
- [7] Chao F-C (晁逢春). Effects of Nitrogen on the Growth and Quality of Flue-cured Tobacco. PhD Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2003 (in Chinese)
- [8] Xi X-Y (习向银), Chao F-C (晁逢春), Li C-J (李春俭). Effect of soil-N on nitrogen and nicotine accumulation in flue-cured tobacco using ¹⁵N-traced method. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2008, **14**(6): 1232-1236 (in Chinese)
- [9] Gu H-H (谷海红), Liu H-B (刘宏斌), Wang S-H (王树会), et al. Study on accumulation and distribution of different sources of nitrogen in flue-cured tobacco plant by ¹⁵N tracer. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(9): 2693-2702 (in Chinese)
- [10] Wang P (王鹏), Zeng L-L (曾玲玲), Wang F-P (王发鹏), et al. Study of ¹⁵N accumulation, distribution and utilization in flue-cured tobacco on yellow soils. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2009, **15**(3): 677-682 (in Chinese)
- [11] Xi X-Y (习向银), Zhao Z-X (赵正雄), Li C-J (李春俭). Effect of fertilizer-N and soil-N on nitrogen absorption and nicotine synthesis of flue-cured tobacco. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2008, **45**(4): 750-753 (in Chinese)
- [12] Qin Y-Q (秦艳青), Li C-J (李春俭), Zhao Z-X (赵正雄), et al. Effects of rates and methods of N application on growth and N uptake of flue-cured tobacco. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2007, **13**(3): 436-442 (in Chinese)
- [13] Gu H-H (谷海红), Li Z-H (李志宏), Li T-F (李天福), et al. Accumulation and distribution of nitrogen in tobacco from different sources and their effects on quality of flue-cured tobacco. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2009, **15**(1): 183-190 (in Chinese)
- [14] Yuan S-H (袁仕豪), Yi J-H (易建华), Pu W-X (蒲文宣), et al. Nitrogen use efficiency of base fertilizer and top dressing in flue-cured tobacco in rainy regions. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2008, **34**(12): 2223-2227 (in Chinese)
- [15] Chen Y-M (陈永明), Chen J-J (陈建军), Qiu M-W (邱妙文). Effects of nitrogen rates and transplanting period on contents of reducing sugar and nicotine in flue-cured tobacco leaves. *Chinese Tobacco Science* (中国烟草科学), 2010, **31**(1): 34-36, 40 (in Chinese)
- [16] Bao S-D (鲍士旦). Soil and Agro-Chemistry Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25-177 (in Chinese)
- [17] Ju X-T (巨晓棠), Chao F-C (晁逢春), Li C-J (李春俭), et al. The yield and nicotine content of flue-cured tobacco as affected by soil nitrogen mineralization in late stage. *Acta Tobaccaria Sinica* (中国烟草学报), 2003,

- 9(Suppl.): 48–53 (in Chinese)
- [18] Zhang G-C (张国春), Liu Q-J (刘琪璟), Xu Q-Q (徐倩倩), *et al.* Soil nitrogen mineralization and primary productivity in *Rhododendron aureum* community of snowpacks in alpine tundra of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(9): 2187–2196 (in Chinese)
- [19] Liu Q-L (刘青丽), Ren T-Z (任天志), Li Z-H (李志宏), *et al.* The characteristics of nitrogen supply in yellow soil planted with tobacco. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2010, **43**(1): 87–95 (in Chinese)
- [20] Luo Z-Y (罗战勇), Lü Y-H (吕永华), Li S-L (李淑玲), *et al.* Division of eco-regions and evaluation of quality of tobacco in Guangdong. *Guangdong Agricultural Sciences* (广东农业科学), 2004(1): 18–20 (in Chinese)
- [21] Jiao Y-G (焦永鸽). The Characteristic of Nitrogen Supply of Red Soil and Its Contribution to Nitrogen Nutrition of Flue-cured Tobacco. Master Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008 (in Chinese)
- [22] Tian M-J (田茂洁). Review on the contributing factors to mineralization of soil nitrogen. *Journal of China West Normal University* (Natural Science) (西华师范大学学报·自然科学版), 2004, **25**(3): 298–303 (in Chinese)
- [23] Wan D-J (万大娟), Zhang Y-Z (张杨珠), Yang Z-P (杨曾平). Dynamic change and release of fixed ammonium in upland soils during crop growth period. *Hunan Agricultural Sciences* (湖南农业科学), 2006(6): 70–75 (in Chinese)
- [24] Yu W-T (宇万太), Zhou H (周桦), Ma Q (马强), *et al.* Effect of N fertilizer on uptake of soil N by crops with special discussion on fertilizer nitrogen recovery rate. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2010, **47**(1): 90–96 (in Chinese)
- [25] Wang S-S (王树声), Li C-J (李春俭), Liang X-F (梁晓芳), *et al.* Effect of nitrogen rates on root-shoot balance and nitrogen accumulation and distribution in flue-cured tobacco. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2008, **14**(5): 935–939 (in Chinese)
- [26] Wang S-J (王世济), Cui Q-R (崔权仁), Zhao D-K (赵第琨), *et al.* Study on the dry-substitute in tobacco and acumination principle of N, P, and K element. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2003, **31**(5): 770–772 (in Chinese)
- [27] Xie Z-J (谢志坚), Tu S-X (涂书新), Li J-P (李进平), *et al.* Effect of transplanting time and nitrogen fertilizer on the yield, market value and N uptake of flue-cured tobacco by using ^{15}N tracing technique. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica* (核农学报), 2009, **23**(3): 513–520 (in Chinese)
- [28] Ma X-H (马兴华), Zhang Z-F (张忠锋), Rong F-F (荣凡番), *et al.* Studies on nitrogen absorption, distribution and utilization in flue-cured tobacco under higher and lower fertility conditions. *Chinese Tobacco Science* (中国烟草科学), 2009, **30**(1): 1–4, 9 (in Chinese)
- [29] Zhu Z-L (朱兆良). Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction. *Soil and Environmental Sciences* (土壤与环境), 2000, **9**(1): 1–6 (in Chinese)
- [30] Ling S-J (凌寿军), Xie Y-H (谢玉华), Zeng X-E (曾晓娥). Study on nutrition property of four kinds of soil and utilization rates of fertilizer. *Chinese Tobacco Science* (中国烟草科学), 2003, **24**(3): 11–13 (in Chinese)
- [31] Collins WK, Hawks SN. Principles of Flue-cured Tobacco Production. Raleigh NC: North Carolina State University, 1994
- [32] Chen P (陈萍), Li T-F (李天福), Zhang X-H (张晓海), *et al.* Exploring tobacco plant's absorption and distribution of nitrogen fertilizers by using ^{15}N tracing technique. *Journal of Yunnan Agricultural University* (云南农业大学学报), 2003, **18**(1): 1–4 (in Chinese)

作者简介 杨志晓,男,1981年生,博士研究生.主要从事烟草遗传育种与生理生态研究. E-mail: linyingxian2006@126.com

责任编辑 张凤丽
