

基于种植密度的烤烟氮素吸收累积特征分析

苟小梅¹, 沈 杰¹, 蔡 艳¹, 何玉亭¹, 王昌全¹, 罗定棋², 杜宣延^{1,3}

(1. 四川农业大学资源学院, 四川 成都 611130; 2. 四川省烟草公司泸州市公司, 四川 泸州 646000;
3. 四川省攀枝花市农林科学院, 四川 攀枝花 617061)

摘 要:通过大田试验,探究不同种植密度:13 890(D1)、15 150(D2)、16 660(D3)、18 510 株·hm⁻²(D4)对云烟 97、NC71 和 K326 烤烟氮素吸收分配的影响,以期为优化当地烤烟群体结构,发挥最大密植效应提供理论依据。结果表明,随着生育进程的推进,烤烟氮含量呈下降趋势,降幅为 91.10%~180.10%,动态曲线可用指数函数拟合;密植后,云烟 97、NC71 初始氮含量呈下降趋势,分别降低了 0.07%、0.14%,K326 则从 4.26%降低到 4.24%,再升高到 4.30%;密植对 K326 氮含量下降速率无显著影响,而云烟 97、NC71 高密度处理氮含量降幅显著,下降速率相较于对照(D1)分别增加 9.09%、8.26%。烤烟氮素累积动态可用 Logistic 模型拟合,氮素累积峰值参数出现时间相较于 D1 均有不同程度的提前,其中云烟 97 高密度处理(D4)的氮素快速累积起始时间、终止时间和最大氮累积速率出现时间分别提前 7.18、17.26 d 和 12.22 d,且最大氮累积速率呈增加趋势,增幅为 12.46%~34.69%。从不同生育期来看,旺长期以前氮素累积随种植密度的增加明显上升,密植效应显著,其中 D4 处理上升幅度达 30.65%~314.58%;旺长期以后氮素累积趋于稳定。密植后,中心花开放期烤烟根茎和下部烟叶氮累积增幅显著,相较于 D1 分别增加 32.67%~49.01%和 42.97%~58.98%,而中上部烟叶氮累积受限。综上得出:K326 高密植(D4)、NC71 中密植(D3)、云烟 97 中低密植(D1、D2 之间)有利于烟叶氮素吸收利用和光合作用,以发挥烤烟最大密植效应。

关键词:烤烟植株;种植密度;氮素吸收分配;品种

中图分类号:S572;S143.1 **文献标志码:**A

Analysis of nitrogen uptake and accumulation characteristics of flue-cured tobacco based on planting density

GOU Xiao-mei¹, SHEN Jie¹, CAI Yan¹, HE Yu-ting¹, WANG Chang-quan¹,
LUO Ding-qi², DU Xuan-yan^{1,3}

(1. College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China;
2. Sichuan Tobacco Corporation Luzhou Branch, Luzhou, Sichuan 646000, China;
3. Academy of Agriculture and Forestry Science, Panzhihua, Sichuan 617061, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for optimizing the population structure of local flue-cured tobacco and giving the maximum dense planting effect, a field experiment was adopted to study the effects of different planting densities: 13 890(D1), 15 150(D2), 16 660 plants·hm⁻²(D3) and 18 510 plants·hm⁻²(D4) on the nitrogen (N) uptake and distribution in Yunyan 97, NC71 and K326 flue-cured tobacco. The results showed that the N content in flue-cured tobacco decreased by 91.10%~180.10% with the growth process and a dynamic exponential function could be used to describe N content variation in the plant. With dense planting, the initial N content of Yunyan 97 and NC71 decreased by 0.07% and 0.14% respectively, while K326 decreased from 4.26% to 4.24% and then increased to 4.30%. Planting density did not significantly impact decreasing rate of N content in K326, however, the N content of Yunyan 97 and NC71 decreased significantly in high dense planting (D4), compared to the control (D1), the decreasing rate raised by 9.09% (Yunyan97) and 8.26% (NC71). The Dynamic

收稿日期:2018-03-13 修回日期:2019-04-29
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD14B18-02);中国烟草总公司四川省公司重点科技项目“植烟土壤质量提升关键技术研究与集成应用”(SCYC201504);四川省烟草公司泸州市公司重点项目(2013003);四川农业大学双支计划项目(03571890)
作者简介:苟小梅(1994-),女,四川剑阁人,硕士研究生,研究方向为土壤-植物营养与施肥。E-mail: gxmjh1112@163.com
通信作者:蔡艳(1976-),四川达县人,博士,副教授,主要从事土壤与植物营养研究。E-mail: caiyya@126.com

Logistic model showed the time of N rapid accumulation and peak value of N accumulation in dense planting flue-cured tobacco were earlier but at different degrees than that of D1. The start time, termination time of rapid accumulation of nitrogen and maximum N accumulation rate in high dense planted Yunyan 97 (D4) were 7.18 d, 17.26 d and 12.22 d earlier than D1, respectively, and the maximum N accumulation rate increased by 12.46% ~ 34.69%. In different growth stages, the N accumulation significantly increased with increasing planting density before the fast-growing stage, and the dense planting effect was significant, esp. the D4 treatment increasing by 30.65% ~ 314.58%; the N accumulation tended to be stable after the fast-growing stage. With the dense planting, the N accumulation in roots and stems, and lower leaves of flue-cured tobacco significantly increased by 32.67% ~ 49.01% and 42.97% ~ 58.98% than that of D1, respectively, while the N accumulation of middle and upper leaves was limited during the flowering stage. In summary, high-dense of K326 (D4), mid-dense of NC71 (D3), and mid-low density planting of Yunyan 97 (D1 and D2) were optimum planting to the N uptake and photosynthesis to achieve the maximum dense planting effect of flue-cured tobacco.

Keywords: flue-cured tobacco plant; planting density; nitrogen uptake and distribution; variety

氮是烤烟生长发育所必需的矿质营养元素之一,因其直接参与烟株体内多种生理生化过程^[1],与烤烟产量、质量密切相关,成为诸多学者关注的热点之一^[2]。其中,种植密度通过影响水、气、光、热的时空分配从而影响烤烟生长,导致氮素吸收积累与分配的差异,最终影响烟叶的成熟及其品质^[3]。近年来学者对烤烟的氮素吸收积累与分配展开了大量研究^[4-9]。邢云霞等^[10]研究表明,烤烟移栽后 13 周,各时期烟叶的氮素累积量基本随施氮量的增加而增加,不同器官氮累积量表现为叶>茎>根。时向东等^[11]在河南烟区的研究发现,整个大田生育期烟株体内氮素累积量不断增加,其中旺长期增幅最大且吸收的氮素 50% 以上分布在叶片中。此外,根系对氮素的积累在整个生育期都呈现持续增加的趋势。而王军等^[12]对广东南雄 3 种主要植烟土壤的研究表明,烟株氮素积累总体上均表现出“缓慢-快速-缓慢”的增长趋势,积累高峰期出现在移栽后 45~60 d,总积累量分别为 5.36、4.81 g·株⁻¹和 4.19 g·株⁻¹。目前,研究不同施肥、种植模式及田间管理下烤烟氮素吸收积累的文献较多^[13-15],但关于不同种植密度下烤烟氮素吸收累积特征的相关研究鲜有报道。因此,本研究在四川泸州地区烤烟习惯种植密度(13 890 株·hm⁻²)基础上,进行基于种植密度的烤烟氮素吸收累积特征分析,为优化当地烤烟群体结构,发挥最大密植效应提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试烤烟品种为当地主栽品种云烟 97(Yunyan 97,株型呈塔形,低耐密性)和国外引进推广的良种

NC71(株型呈塔形或腰鼓形,中耐密性)、K326(株型呈筒形,高耐密性)。

供试土壤:黄壤,基本理化性质为:pH 6.05、有机质 20.26 g·kg⁻¹、全氮 0.67 g·kg⁻¹、碱解氮 98.73 g·kg⁻¹、有效磷 12.60 mg·kg⁻¹、速效钾 113.01 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计与处理

试验于 2015 年在四川省泸州市古蔺烟区进行,采用裂区试验设计方法。试验设置 3 个品种,分别为云烟 97、NC71 和 K326。同时设置 4 个种植密度,分别为 13 890(D1)、15 150(D2)、16 660(D3)、18 510(D4)株·hm⁻²,行株距分别为 120 cm×60 cm、120 cm×55 cm、120 cm×50 cm、120 cm×45 cm。共计 12 个组合,主、副区面积分别为 480 m²、120 m²,均随机排列,并设 3 次重复,共计 36 个小区,四周设保护行。

于 4 月 10 日进行移栽。烤烟每公顷纯养分施用量为 555 kg,氮磷钾配比为 1:1.4:2.69,移栽前 15 d 将底肥(70% N,98% P₂O₅,60% K₂O)条施进沟,覆土起垄盖膜,移栽后 7~10 d 第 1 次追肥(30% N,2% P₂O₅,12% K₂O),栽后 35~45 d 第 2 次追肥(28% K₂O)。其他管理同常规。

1.3 测定项目与方法

分别于移栽后 21、35、49、63、77、91、105 d 在小区内选取长势一致且具代表性的烤烟 6 株,采集全株植物样品,于 105℃ 杀青 30 min,60℃ 下烘干至恒重,称重,粉碎过筛后采用凯氏定氮法测定全氮^[16]。各养分参数按照吕鹏等^[17]的方法计算。

生育期植株氮累积量(kg·hm⁻²)=生育期单株氮含量×单株总干物质质量×种植密度

各器官氮累积量(kg·hm⁻²)=各器官氮含量×

各器官干重×种植密度

1.4 数据处理

所有数据采用 Excel 2013 与 IBM SPSS Statistics 20 进行统计与分析,模型拟合均用 Curve Expert 1.40进行,数据图表分别用 SigmaPlot 12.5 和 Excel 2013 绘制。

2 结果与分析

2.1 种植密度对烤烟植株氮素吸收的影响

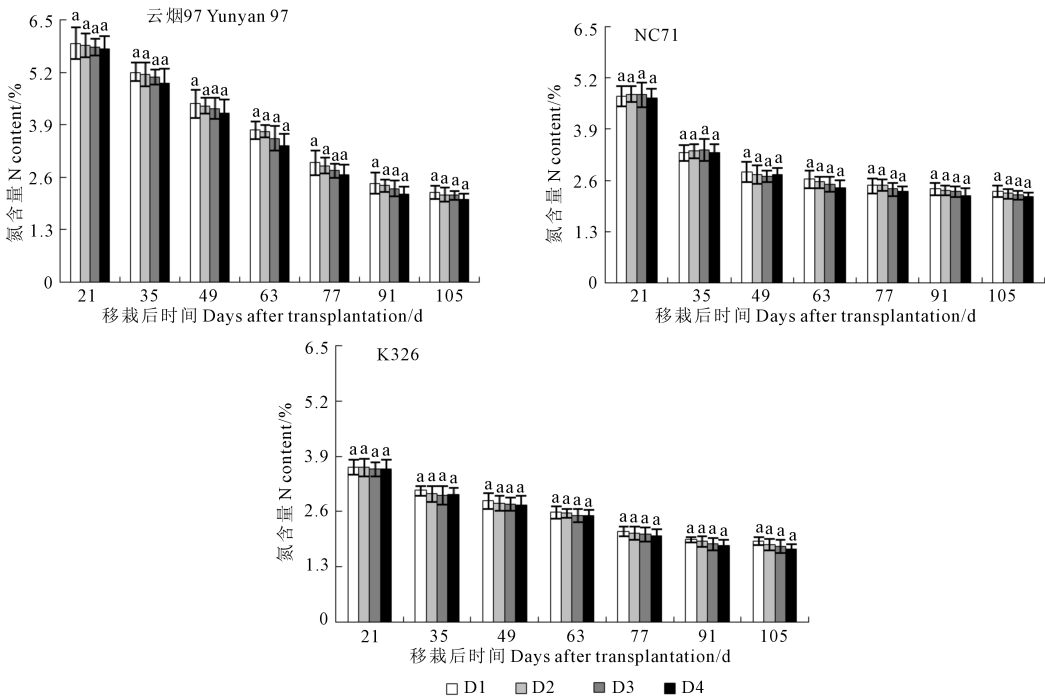
2.1.1 烤烟植株氮含量 由图 1 分析可知,烤烟植株氮含量在整个生育时期均表现为云烟 97>NC71>K326,不同品种和种植密度下烤烟氮含量随生育进程的推进呈逐渐下降趋势。烤烟进入团棵期(移栽后 35 d)后,NC71 氮含量下降幅度显著高于云烟 97 和 K326;对于不同品种而言,云烟 97 高密植区(D4)氮素积累在进入旺长期(移栽后 63 d)后降幅显著,且相比稀植区差异显著;生育末期(移栽 105 d)以 D1 处理平均氮吸收量最高,D2、D3 次之。NC71 高密植区(D4)氮素积累表现为 21d 后降幅显著,生育末期氮素吸收表现为 D1>D2>D3>D4;种植密度增加后,K326 氮吸收量变化与 NC71 趋势表现相似。

2.1.2 烤烟植株氮含量模型构建 表 1 结果表明,不同密度处理的云烟 97、K326 氮素含量随生育进程的推进可用负指数函数($y = ae^{-bx}$)进行拟合,

NC71 氮含量变化可用修正指数($y = ae^{b/x}$)拟合,式中 y 为氮含量, x 为移栽后天数, a 为初始氮含量, b 为氮含量下降速度。依据模型拟合决定系数(R^2)最大、标准残差最小的原则,各方程拟合决定系数 R^2 均在0.97以上,回归方程标准残差介于 0.0149~0.1224之间,拟合值与实测值的相关性均达到极显著水平。云烟 97、NC71 拟合方程的 a 值随种植密度增加而减小,K326 则先减后增,不同品种间表现为云烟 97>K326>NC71;整体来看,3 种烤烟拟合方程的 b 值表现为云烟 97>NC71>K326。其中,云烟 97 氮含量下降速率随种植密度的增加逐渐减小,NC71 下降幅度则呈上升趋势,K326 变化不明显。从函数生物学意义上来说,云烟 97 和 K326 高密度处理(D4)氮含量降幅减小,而 NC71 氮含量降幅增加。

2.2 种植密度对烤烟氮素累积的影响

2.2.1 烤烟植株氮累积量 由图 2 可知,随着生育进程的推进,3 个品种烤烟氮累积量均呈递增变化趋势,且不同密植水平氮累积量差异显著。烤烟旺长期以前(63 d 以前),密植区(D3、D4)氮累积量均显著高于稀植区(D1、D2);进入旺长期以后,密植区与稀植区氮素累积量差异逐渐减小。就不同品种而言,云烟 97 高密植区(D4)氮素积累在进入 77 d 后无明显变化甚至有所降低,且与稀植区相比无



注: D1、D2、D3 和 D4 分别代表种植密度为 13 890、15 150、16 660 株·hm⁻²和 18 510 株·hm⁻²;不同小写字母表示同一品种不同种植密度间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: D1, D2, D3 and D4 indicate the planting density of 13 890, 15 150, 16 660 plant·hm⁻² and 18 510 plant·hm⁻², respectively. Different lowercase letters mean significantly difference ($P<0.05$) among the different planting densities. The same below.

图 1 不同品种和种植密度下烤烟植株的氮含量

Fig.1 N content in flue-cured tobacco plants under different varieties and planting densities

表 1 不同品种和种植密度下烤烟氮含量的拟合方程

品种 Variety	种植密度 Planting density	拟合方程 Regression equation	标准残差 Standardized residual	R ²
云烟 97 Yunyan 97	D1	$y = 7.7802e^{-0.0121x}$	0.1054	0.9920 **
	D2	$y = 7.7751e^{-0.0122x}$	0.1224	0.9900 **
	D3	$y = 7.7452e^{-0.0126x}$	0.1072	0.9922 **
	D4	$y = 7.7141e^{-0.0132x}$	0.0942	0.9936 **
NC71	D1	$y = 1.9367e^{18.7568/x}$	0.0149	0.9996 **
	D2	$y = 1.8921e^{19.5259/x}$	0.0443	0.9978 **
	D3	$y = 1.8417e^{20.1172/x}$	0.0559	0.9968 **
	D4	$y = 1.7946e^{20.3061/x}$	0.0536	0.9970 **
K326	D1	$y = 4.2617e^{-0.0083x}$	0.1015	0.9795 **
	D2	$y = 4.2559e^{-0.0086x}$	0.1055	0.9787 **
	D3	$y = 4.2411e^{-0.0088x}$	0.0981	0.9818 **
	D4	$y = 4.2986e^{-0.0091x}$	0.0918	0.9850 **

注: y-N 含量(%) ;x-移栽天数(d) ; ** 表示方程在 0.01 水平下显著。下同。
Note: y means N content (%) ;x means transplanting days (d) ; ** means significant at P=0.01 probability level. The same below.

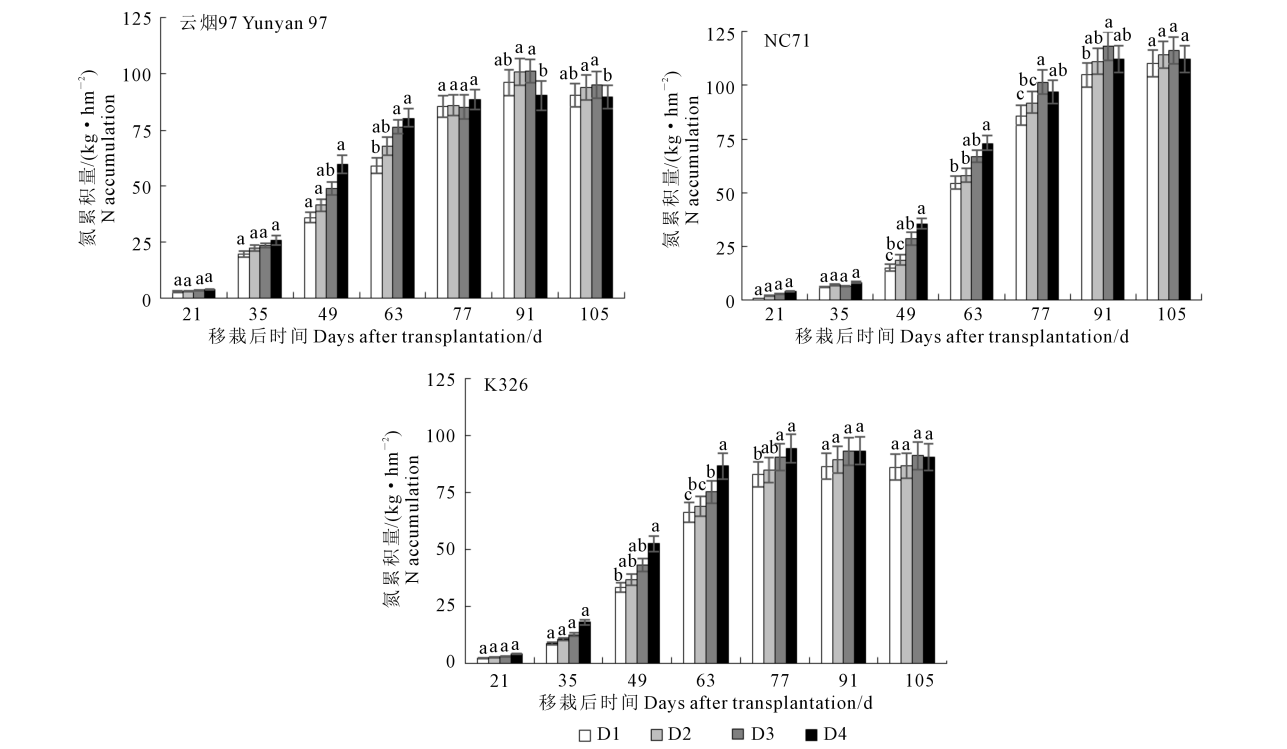


图 2 不同品种和种植密度下烤烟植株氮累积的变化情况

Fig.2 The N accumulation in flue-cured tobacco with different varieties and planting densities

明显差异;生育末期(移栽 105 d)以 D3 处理平均氮累积量最高(95.01 kg·hm⁻²),相比 D4 增加了 5.95%。NC71 高密植区氮素累积表现为 77 d 后趋于稳定,生育末期氮素累积表现为 D3>D2>D4>D1;而 K326 各个密度处理在 77 d 前氮素累积均表现为持续上升趋势,77 d 后有所下降;且随着种植密度的增加,烤烟 K326 各个生育期氮素累积增幅明显。

2.2.2 烤烟氮累积模型构建 由回归分析(表 2)可知,烤烟氮素累积动态随着生育进程的推进可用 Logistic 模型 $y=k/(1+ae^{-bt})$ 进行拟合,式中 y 为氮素累积量,k 为终极量(氮素累积理论最大值),a 为初始参数,b 为氮素累积速率参数,t 为移栽后天数。由方程特征分析可知,决定系数 R² 均在 0.98 以上,拟合值和实测值呈极显著相关关系。不同种植密度对 3 种烤烟氮素累积理论最大值影响显著。云烟 97 和 NC71 氮累积量随密度增加呈先增加后减小的趋势,其中云烟 97 表现为 D3>D2>D1>D4,NC71 表现为 D3>D2>D4>D1,而密植后 K326 氮累积量逐渐上升,表现为 D4>D3>D2>D1。除此之外,随着种植密度的增加,3 种烤烟氮素快速累积起始时间、终止时间和最大氮累积速率出现时间均有不同程度提前。与对照(D1)相比,云烟 97 高密度处理(D4)起

始时间、终止时间和最大氮累积速率出现时间平均提前 7.18、17.26 d 和 12.22 d。随着种植密度的增加,烤烟最大累积速率呈增加趋势,不同品种间表现为 NC71>K326>云烟 97。

2.3 种植密度对烤烟氮素分配的影响

2.3.1 烤烟各器官氮吸收量 由图 3 分析可知,从烟株吸收的氮素在各器官的分配来看,烤烟吸收的氮素主要集中在叶片,根茎分布相对较少。中心花开放期烤烟氮含量表现为上部叶>中部叶>下部叶>根、茎。除此之外,烤烟根茎和下部叶氮含量随种

植密度的增加而增加,其中根、茎部位氮含量最低,平均含量为 2.03%,且均表现为高密度处理(D4)含量最高。就氮素在叶片的分配而言,上部烟叶氮含量随密度增加降幅较大,不同品种降幅表现为云烟 97>NC71>K326;中部烟叶氮含量有所降低但均未达到显著水平;下部烟叶氮含量随种植密度增加呈上升趋势,不同品种表现为云烟 97>K326>NC71。由此可见,烤烟密植后,根茎和下部烟叶氮素积累增加,而中上部烟叶氮素积累则受到抑制。

2.3.2 烤烟各器官氮累积量 由图 4 分析可知,种

表 2 不同品种和种植密度下烤烟氮累积量拟合方程及特征参数

Table 2 Regression equations and characteristic parameters of the N accumulation in flue-cured tobacco under different varieties and planting densities						
品种 Variety	种植密度 Planting density	拟合方程 Regression equations	R^2	T_1-T_2/d	T_m/d	$V_m/(kg \cdot hm^{-2})$
云烟 97 Yunyan97	D1	$y = 96.9020 / (1 + 89.5520e^{-0.0810x})$	0.9894 **	39.23~71.75	55.49	1.96
	D2	$y = 99.4046 / (1 + 74.1867e^{-0.0814x})$	0.9906 **	36.72~69.08	52.90	2.02
	D3	$y = 97.5853 / (1 + 80.9307e^{-0.0894x})$	0.9902 **	34.41~63.87	49.14	2.18
	D4	$y = 89.8691 / (1 + 160.8531e^{-0.1174x})$	0.9986 **	32.05~54.49	43.27	2.64
NC71	D1	$y = 110.6406 / (1 + 996.4808e^{-0.1074x})$	0.9980 **	52.02~76.54	64.28	2.97
	D2	$y = 115.9645 / (1 + 816.7644e^{-0.1056x})$	0.9990 **	51.02~75.96	63.49	3.06
	D3	$y = 119.6800 / (1 + 604.2088e^{-0.1058x})$	0.9986 **	48.08~72.97	60.52	3.17
	D4	$y = 113.6877 / (1 + 311.4501e^{-0.1000x})$	0.9980 **	44.24~70.58	57.41	3.34
K326	D1	$y = 86.9932 / (1 + 578.6747e^{-0.1199x})$	0.9998 **	42.09~64.03	53.05	2.61
	D2	$y = 88.7863 / (1 + 446.1050e^{-0.1171x})$	0.9992 **	40.03~63.34	52.09	2.60
	D3	$y = 92.8197 / (1 + 408.9274e^{-0.1195x})$	0.9994 **	39.30~61.34	50.32	2.77
	D4	$y = 93.6770 / (1 + 494.1007e^{-0.1334x})$	0.9976 **	36.62~56.36	46.49	3.12

注: T_1 -快速积累始期; T_2 -快速积累末期; T_m -速率峰值出现时间; V_m -速率峰值。
Note: T_1 means initiation of rapid growing stage; T_2 means end of rapid growing stage; T_m means occurring time of maximum N accumulation; V_m means maximum of the N accumulation.

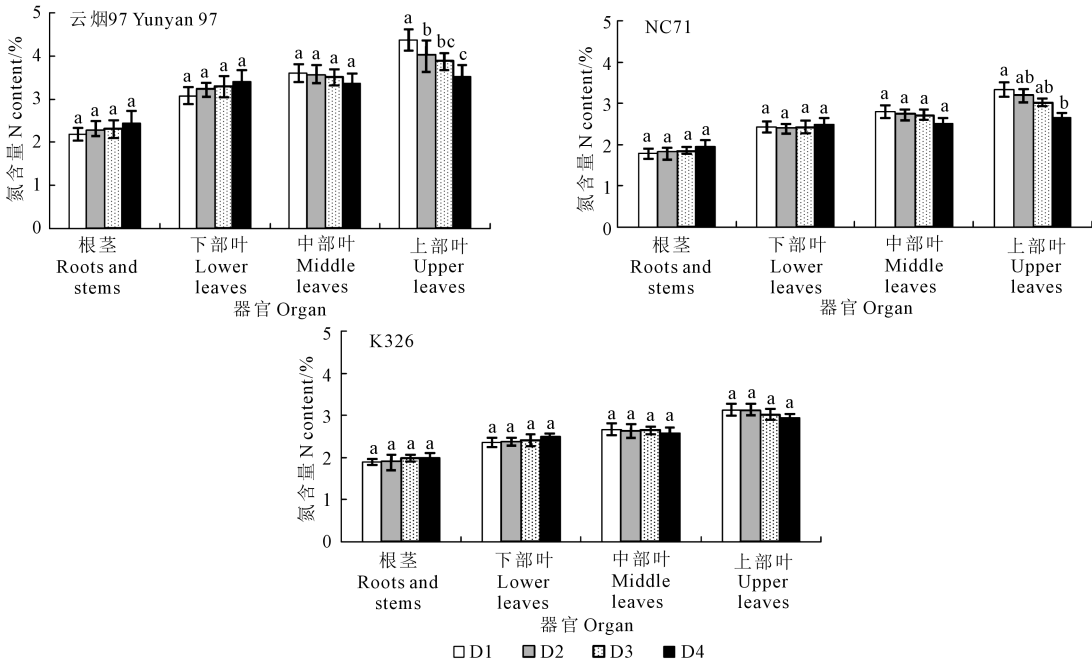


图 3 品种和种植密度对烤烟中心花开放期各器官氮含量的影响

Fig.3 Effects of varieties and planting densities on N content in different organs of flue-cured tobacco during central flowering period

植密度对 3 个品种烤烟各部位氮累积均有明显影响,且不同品种间差异显著。整体来看,3 种烤烟的根、茎和下部叶氮累积量均高于中上部叶,随着种植密度的增加呈上升趋势,其中根茎部位氮累积量最高且密植区显著高于稀植区。从氮素在叶片部位的分配来看,K326 各部位烟叶氮累积量均随种植密度的增加而增加,且下部叶高密度处理(D4)时氮

素累积显著高于其他处理;而云烟 97 和 NC71 下部烟叶与中、上部烟叶差异明显,且趋势相反。随着烤烟种植密度的增加,下部烟叶氮累积量呈上升趋势且处理间差异显著,中部烟叶氮累积先增后减,上部烟叶氮则略有下降。由此可见,烤烟种植密度增加后,根茎和下部烟叶氮素累积量增加,中上部部位氮素积累受限。

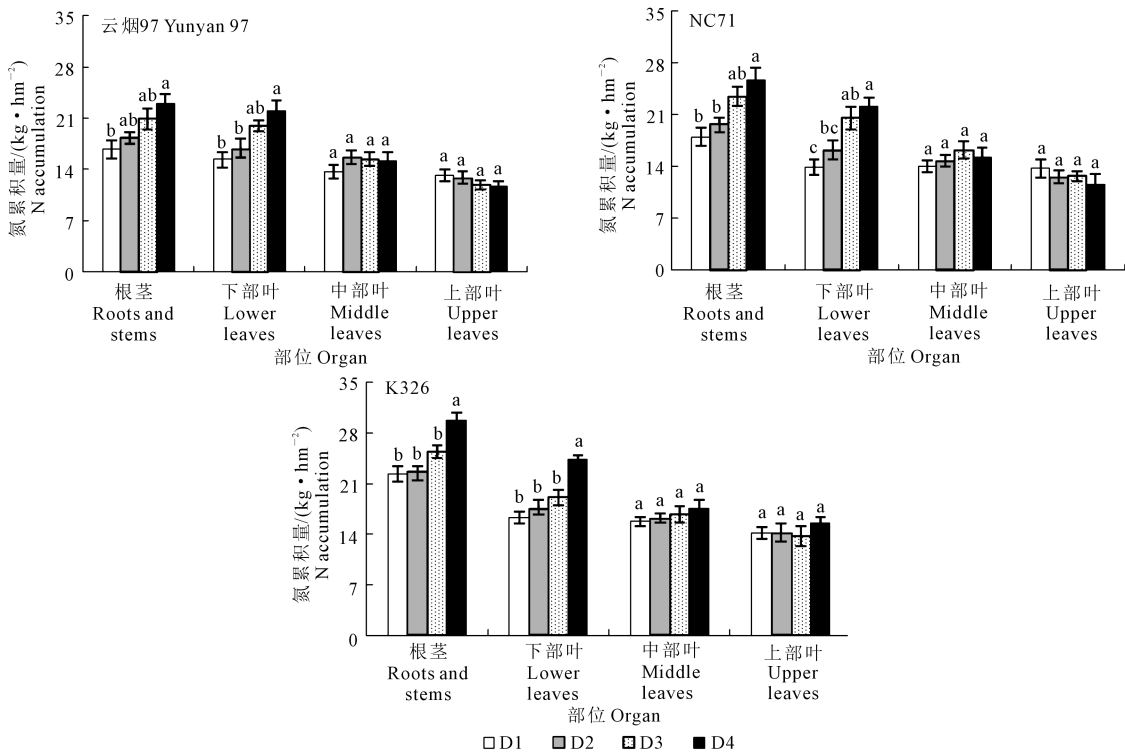


图 4 品种和种植密度对烤烟中心花开放期各器官氮累积的影响

Fig.4 Effects of varieties and planting densities on N accumulation in different organs of flue-cured tobacco during central flowering period

3 讨 论

氮素是植物体内重要的结构物质之一,参与其合成的酶及辅基也是植物体生化反应的重要调控因子^[18]。氮素在作物生长过程中以光合同化物的形式积累,其积累和转运与营养物质的积累转运密切相关^[19]。目前养分吸收累积动态模拟是研究植物养分的常用手段,也是作物生长模拟系统的重要部分。赵敏等^[20]研究发现,水稻植株氮素累积符合 Logistic 曲线增长规律。郭文琦等^[21]采用 Logistic 模型拟合了棉花花后氮磷钾养分的累积动态。本研究分别采用指数模型和 Logistic 模型对烤烟氮素吸收累积动态进行拟合,结果发现,云烟 97 氮含量下降速率随种植密度的增加逐渐减小,NC71 下降幅度则呈上升趋势,K326 变化不明显;而烤烟氮素快速累积起始时间、终止时间和最大氮累积速率出

现时间均有不同程度提前,烤烟营养生长期缩短,碳氮代谢过渡期提前。除此之外,本研究中,烤烟植株氮素累积量随着生育期的推进呈单调递增变化趋势。烤烟在旺长期(63 d)以前,密植区(D3、D4)氮累积量明显高于稀植区(D1、D2),密植效应明显;进入旺长期以后,密植区与稀植区氮素累积差异逐渐减小。这可能是因为随着烤烟生育进程的推进,密植区烤烟植株间竞争加剧,群体与个体矛盾突出,光合作用效率降低而影响了养分吸收。这与张喜峰等^[22]的研究结论存在差异,可能与烤烟品种、气候条件和采样时期等有关。

除此之外,作物氮素累积分配受诸多因素的影响,其中种植密度通过调节作物源库活性,进一步调控氮素在不同器官间的吸收积累^[23]。王子胜等^[24]研究表明,种植密度和施氮量可以显著影响棉铃各部分生物量和氮素累积的动态特征。魏全全

等^[25]研究发现,随着烤烟生育期的推进,根、茎和叶氮含量呈先下降后小幅上升趋势,不同部位的氮含量表现为叶>根>茎;烤烟根、茎和叶片氮素累积量表现为先升后降趋势,在移栽后 95 d 达最大值。马兴华等^[26]研究表明,氮素在烤烟不同器官中的分配比例为叶片>茎>根系,随生育进程的推进,中部叶及下部叶的氮素分配比例降低,烟茎氮素分配比例增加,根系氮素分配比例变化较小。在本研究中,从烟株吸收氮素在各部位的分配来看,烤烟吸收的氮素主要集中在叶片,根茎分布较少。中心花开放期烤烟氮含量表现为上部叶>中部叶>下部叶>根、茎。除此之外,种植密度对 3 种烤烟各器官氮累积量均有显著影响。随着种植密度的增加,烤烟根茎和下部叶氮素累积增加,而中上部烟叶氮素积累则受到抑制。这可能是因为烤烟中心花开放期为烤烟茎、叶发育峰值时期,是烤烟营养生长向生殖生长发育的节点^[27],种植密度增加后导致烤烟长期养分不足,提前开花早熟,致使氮素累积集中在下部叶和根茎部位。

4 结 论

随着生育期的推进,烤烟氮含量呈下降趋势,氮累积量呈递增变化。密植后,云烟 97 和 K326 的氮含量降幅减小,而 NC71 氮含量降幅增加。旺长期前(63 d 前),密植区(D3、D4)氮累积量均显著高于稀植区(D1、D2),之后差异逐渐减小,其中云烟 97 和 NC71 以 D3 处理的氮素累积量最高,K326 则以 D4 最高。此外,随着种植密度的增加,烤烟氮快速积累起始时间、终止时间和最大氮累积速率出现时间相较对照有不同程度的提前,最大氮累积速率呈增加趋势。密植后,中心花开放期烤烟同一部位氮含量差异不大,但根茎、下部烟叶氮累积增幅显著,中、上部烟叶氮累积受限。综上,K326 高密植(D4)、NC71 中密植(D3)、云烟 97 中低密植(D1、D2 之间)有利于烟叶氮素吸收利用和光合作用,以达到烤烟最大密植效应。

参 考 文 献:

[1] 姜丽娜,刘佩,齐冰玉,等. 不同施氮量及种植密度对小麦开花期氮素积累转运的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(2): 131-141.

[2] 陈富彩,耿伟,阮志,等. 炭基有机物料对陕南烤烟氮钾含量、光合特性、生长及质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(2):114-119.

[3] 朱佩,张继光,薛琳,等. 不同质地土壤上烤烟氮素积累、分配及利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2):362-370.

[4] Wang X F, Zou C Q, Zhao Z X, et al. Growth and accumulation of ni-

trogen and potassium in flue-cured tobacco as affected by calcium nitrate and ammonium nitrate[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2009, 40(11-12):1873-1888.

[5] 樊玉星,张洁洁,闫凯龙,等. 不同施氮水平对水稻土氮素供应和烤烟氮素吸收积累的影响[J]. 土壤, 2016, 48(3):455-462.

[6] 马兴华,梁晓芳,刘光亮,等. 氮肥用量及其基追施比例对烤烟氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6):1655-1664.

[7] 梁太波,尹启生,张艳玲,等. 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(6):1429-1435.

[8] 穆金丽,丁松爽,李健鹏,等. 腐植酸与氮肥互作对烤烟生长和氮素吸收的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(6):1399-1403.

[9] Zhao B P, Ren P, Liu J H, et al. Nitrogen accumulation, retranslocation and partitioning in oats (*Avena L.*) as affected by different water supply and nitrogen fertilization [J]. Advanced Materials Research, 2013, 610-613:2963-2967.

[10] 邢云霞,刘世亮,刘芳,等. 施氮量对豫中烟区植烟土壤无机氮含量和氮素吸收的调控[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5):266-272.

[11] 时向东,刘喜庆,王振海,等. 利用¹⁵N 示踪研究烤烟对氮素的吸收和分配规律[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(6):55-58.

[12] 王军,谢玉华,王全,等. 广东南雄烟区土壤氮素矿化特征及烟株对氮素的吸收和累积规律[J]. 烟草科技, 2016, 49(5):1-7.

[13] 彭友,张云贵,李志宏,等. 有机无机肥配施对黄壤烤烟氮素累积、吸收与分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014, (3):54-58.

[14] 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.

[15] 孙适,胡曼,宋海龙,等. 打顶后断根对烤烟干物质积累、氮钾素吸收和分配的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(6):40-43.

[16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 264-270.

[17] 吕鹏,张吉旺,刘伟,等.施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):826-860.

[18] 周培禄. 玉米不同杂交种密植群体冠层结构及其光、氮利用特征研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2016.

[19] 叶东靖,高强,何文天,等. 施氮对春玉米氮素利用及农田氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3):552-558.

[20] 赵敏,胡剑锋,钟晓媛,等. 不同基因型机插稻植株氮素积累运转特性[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2):277-287.

[21] 郭文琦,张思平,陈兵林,等. 水氮运筹对棉花花后生物量和氮素利用率的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11):2270-2277.

[22] 张喜峰,张立新,高梅,等. 密度与氮肥互作对烤烟氮钾含量、光合特性及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013,(2):32-36.

[23] 王三根,张建奎. 山地烟叶的生理特性与栽培调控[M]. 科学出版社, 2014:103-105.

[24] 王子胜,吴晓东,高相彬,等. 施氮量和种植密度对东北早熟棉区棉铃生物量和氮素累积的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2):403-410.

[25] 魏全全,赵欢,周开芳,等. ¹⁵N 示踪探究黄壤区稻-烟模式烤烟氮素的积累[J]. 西南农业学报, 2018, 31(2):347-353.

[26] 马兴华,苑举民,荣凡番,等. 施氮对烤烟氮素积累、分配及土壤氮素矿化的影响[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(1):17-21.

[27] 许卫猛. 苗期低温对烟草花芽分化及生长发育的影响分析[D]. 重庆:西南大学, 2015.