

氮用量和基追肥氮比例对稻茬烤烟氮、磷、钾积累和产量、产值的影响

刘凌华¹, 谭志鹏¹, 李思军¹, 吴文信¹, 陈夏晔¹, 马胤华¹, 刘怡璟¹, 宗毅¹, 李旭², 于大鹏², 谢小丽^{3*}, 成明珠⁴, 邓小华^{4*}

1. 湖南省烟草公司郴州市公司, 湖南郴州 424400; 2. 吉林烟草工业有限责任公司, 吉林延吉 130000; 3. 桂阳县气象局, 湖南桂阳 424400; 4. 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128

摘要: 探究烟稻复种区烤烟氮、磷、钾养分积累, 烟叶产量、产值对施氮量和基追肥氮比例的响应, 为稻茬烤烟制定施肥策略。以云烟 87 为材料, 设计氮用量水平 150、165、180 kg/hm² 和基追肥氮比例为 3:7、5:5, 采用效应值 (η_p^2) 分析氮用量、基追肥氮比例及其互作对氮、磷、钾养分积累的贡献率。结果表明: 烤烟积累的氮、磷、钾养分主要分配给烟叶, 且随着烤烟生长, 分配给烟叶的比例也减少。随着氮用量的增加, 烤烟的氮积累量、烟叶产量、产值也增加; 减少基肥氮比例, 可显著提高烟株氮积累量和烟叶产量、产值, 显著提高氮肥利用率和氮、磷、钾肥的偏生产力、偏生产效益。氮用量、基追肥氮比例及其互作对烤烟氮积累的贡献率平均值分别 42.89%、29.63%、27.47%, 对磷积累的贡献率平均值分别为 38.62%、24.12%、37.25%, 对钾积累的贡献率平均值分别为 41.22%、21.24%、37.54%, 对产量的贡献率平均值分别为 62.13%、6.34%、31.53%, 产值的贡献率平均值分别为 47.30%、14.74%、37.95%。整个生育期, 施氮量 180 kg/hm² 和基追肥氮比例 3:7 处理的氮积累量相对较多; 在团棵期和圆顶期, 施氮量 180 kg/hm² 和基追肥氮比例 3:7 处理的磷、钾积累量相对较多; 施氮量 180 kg/hm² 和基追肥氮比例 3:7 处理烤烟产量和产值最高。因此, 在烟稻复种区, 氮用量对烤烟氮、磷、钾养分积累的影响最大, 烤烟生产中基肥氮比例由 50% 减少至 30%, 可提高烟叶氮积累量, 有利于烟叶产量、产值及氮肥利用率的提高。

关键词: 稻茬烤烟; 施氮量; 基追肥氮比例; 养分积累与分配; 肥料利用率

中图分类号: S572 文献标志码: A

Effects of Nitrogen Application Rate and Basal-topdressing N Ratio on Accumulation of Nitrogen, Phosphorus and Potassium and Yield and Output Value of Paddy-tobacco

LIU Linghua¹, TAN Zhipeng¹, LI Sijun¹, WU Wenxin¹, CHEN Xiaye¹, MA Yinhua¹, LIU Yijing¹, ZHONG Yi¹, LI Xu², YU Dapeng², XIE Xiaoli^{3*}, CHENG Mingzhu⁴, DENG Xiaohua^{4*}

1. Chenzhou Branch, Hunan Tobacco Co., Chenzhou, Hunan 424400, China; 2. Jilin Tobacco Industrial Co., Ltd, Yanji, Jilin 130000, China; 3. Guiyang County Meteorological Bureau, Guiyang, Hunan 424400, China; 4. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China

Abstract: The response of nitrogen, phosphorus and potassium nutrient accumulation, yield and output value of flue-cured tobacco in multi-planting area of tobacco-rice to the nitrogen application and basal-topdressing ratio was studied to provide a theoretical basis for the development of fertilizer application strategies for paddy-tobacco. Cultivar Yunyan 87 was used and three nitrogen application treatments (150 kg/hm², 165 kg/hm² and 180 kg/hm²) and two

收稿日期 2024-08-16; 接受日期 2025-03-17

基金项目 郴州市烟草专卖局科技项目 (No. CZYC2022JS06); 吉林烟草工业有限责任公司科技项目 (No. KJXM-2023-15)。

作者简介 刘凌华 (1976—), 男, 学士, 助理农艺师, 研究方向: 烟草生产管理与调制。*通信作者 (Corresponding author): 谢小丽 (XIE Xiaoli), E-mail: 415606226@qq.com; 邓小华 (DENG Xiaohua), E-mail: yzdxh@163.com。

basal-topdressing ratio of nitrogen treatments (3 : 7 and 5 : 5) were set up. The effects of nitrogen application and basal-topdressing ratio on the accumulation and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients, also on yield, output value and fertilizer utilization of paddy-tobacco, and the contribution rate of nitrogen application and basal-topdressing ratio and the interaction to the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium were analysed using the effect value (η_p^2). The results showed that nitrogen, phosphorus and potassium nutrients accumulated by flue-cured tobacco were mainly allocated to tobacco leaves, and the proportion allocated to tobacco leaves decreased with the growth of flue-cured tobacco. With the increase of nitrogen application, nitrogen accumulation and tobacco yield and output value of flue-cured tobacco increased, meanwhile reducing the proportion of base fertilizer nitrogen could significantly increase the nitrogen accumulation of the tobacco plant and yield and output value of tobacco leaf, also significantly increase the utilization rate of nitrogen fertilizer and the partial productivity and the partial production benefit of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. On average, nitrogen application and basal-topdressing ratio and the interactions contributed 42.89%, 29.63% and 27.47% to nitrogen accumulation of flue-cured tobacco, and 38.62%, 24.12% and 37.25% to phosphorus accumulation, and 41.22%, 21.24% and 37.54% to potassium accumulation, and 62.13%, 6.34% and 31.53% to yield, and 47.30%, 14.74% and 37.95% to output. Throughout the reproductive period, nitrogen accumulation was relatively high in the nitrogen treatments of 180 kg/hm² and the 3 : 7 basal-topdressing N ratio. In the rosette stage and dome stage, the accumulation of phosphorus and potassium was relatively high in the nitrogen treatments of 180 kg/hm² and 3 : 7 basal-topdressing N ratio. The highest yield and output value were achieved in the nitrogen treatments of 180 kg/hm² and 3 : 7 basal-topdressing N ratio. Therefore, in the multi-planting area of tobacco-rice, the nitrogen application has the greatest influence on the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in flue-cured tobacco, and the reduction of the proportion of base fertilizer nitrogen from 50% to 30% can increase the accumulation of nitrogen of tobacco leaf, which is conducive to the improvement of the yield and output value of tobacco leaf and the utilization rate of nitrogen fertilizer.

Keywords: paddy-tobacco; nitrogen application; basal-topdressing N ratio; accumulation and distribution of nutrients; fertilizer utilization rate

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.07.017

湖南烟稻复种区的烤烟大田前期雨水多^[1], 肥料流失严重^[2], 其施氮量一般在 180 kg/hm², 远高于云南和河南烟区^[3-4], 不仅增加了烤烟生产成本, 还污染烟区生态环境, 减少烤烟生产的氮肥施用量迫在眉睫。改进施氮方式, 采用合理的基追肥氮比例, 使烟田供肥强度与烟株需肥强度一致^[2-3], 使烟株充分吸收养分, 能有效减少肥料流失, 从而提高烟叶产量和品质。在多雨的南方烟区, 采用地膜覆盖^[5]、减少基肥氮比例具有较好的减氮效应^[6-7]。烤烟基肥中添加微生物菌剂可提高烟叶产量、产值及品质, 也可减少氮肥施用^[8]; 施用生物炭基肥可改善土壤功能细菌群落结构, 显著提高减氮条件下的土壤养分积累并保障烟株成熟期养分需求^[9]; 施用生物有机肥不仅可改良土壤和减少氮肥用量, 而且还具有防控烟草青枯病的效果^[10]。施用土壤改良剂可促进烤烟根系生长, 提高减氮条件下的烟叶产量和质量^[11]; 施用腐殖酸碳肥可促进烤烟根系生长, 提高氮肥施用效果^[12]; 采用促根灌蔸肥并适当减少基肥氮比例的促根减氮施肥模式, 在促进烤烟根系生长的情况下提高根系对氮肥的吸收, 提高稻茬烤烟

种植经济效益和环境效益^[13]。针对湖南烟稻复种区雨水多的特点, 如何通过合理基追肥氮比例并搭配适宜的施氮量来减少氮肥用量的研究报道较少, 特别是对烤烟养分积累与分配及肥料利用效率的研究还是空白。据此, 本研究采用氮用量和基追肥氮比例的双因素试验方法, 探讨其对烤烟氮磷钾养分积累与分配、烟叶产量和产值、肥料利用率的影响, 为南方烟稻复种区制定烤烟施肥技术提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2022—2023 年在湖南省郴州市桂阳县进行。试验田地处于亚热带季风湿润气候区, 为烟稻复种连作烟田, 土壤 pH 为 7.71, 有机质为 46.83 g/kg, 全氮为 1.40 g/kg, 全磷为 1.90 g/kg, 全钾为 1.90 g/kg, 碱解氮为 142.05 mg/kg, 速效磷为 46.31 mg/kg, 速效钾为 219.42 mg/kg。基肥为烟草专用基肥 [N(m) : P₂O₅(m) : K₂O(m)=8 : 17 : 7, 总养分≥32%, 湖南金叶众望科技股份有限公司]、发酵菜籽饼肥 (总养分≥8%, 有机质

$\geq 47\%$, 云南云烟化肥股份有限公司)、过磷酸钙 [$m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=0:12:0$, 岳阳新港工贸有限公司]; 追肥有烟草专用提苗肥 [$m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=20:9:0$, 湖南金叶众望科技股份有限公司]、烟草专用追肥 [$m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=11:0:31$, 陕西秦川肥业有限公司]、硫酸钾肥 [$m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=0:0:52$, 国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司]。供试烤烟品种为云烟 87。

1.2 方法

氮肥施用方式设施氮量 (A)、基追肥氮比例 (B) 2 个因素。施氮量设置: A_1 , 施氮量为 $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$; A_2 , 施氮量为 $165 \text{ kg}/\text{hm}^2$; A_3 , 施氮量为 $180 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。基追肥氮比例设置: B_1 , 氮的基肥和追肥比例为 3:7; B_2 , 氮的基肥和追肥比例为 5:5。同时设计 1 个不施氮肥处理。大田试验设置 7 个处理, 3 次重复, 21 个小区, 小区面积为 200 m^2 , 随机区组排列。氮磷钾比例为 10.0:13.4:29.0; 以烟草专用基肥和专用追肥的施用量来控制施氮量和基追肥氮比例, 磷不足用过磷酸钙调节, 钾不足用硫酸钾调节。烟草专用基肥、发酵菜籽饼肥 ($450 \text{ kg}/\text{hm}^2$)、过磷酸钙等在烤烟移栽前 10 d 做基肥穴施; 提苗肥于移栽后 7、15、25 d 分 3 次兑水浇施; 烟草专用追肥和硫酸钾于移栽后 25、35、45 d 兑水浇施。两段式育苗, 单垄栽培。3 月 4 日施基肥; 3 月 14 日移栽。种植密度为 50 cm (株距) $\times 120 \text{ cm}$ (行距)。其他管理措施同当地生产技术方案。

分别在烤烟移栽后 30、60、90 d 的团棵期、打顶期、圆顶期每处理选取 5 棵烟株, 洗净根系泥土, 分离根系和地上部分, 置于烘箱中 105°C 杀青 30 min, 然后 70°C 烘干至恒重, 作为烟株不同器官的干物质质量。样品用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 法消煮, 全氮采用凯氏定氮法测定, 全磷采用钼锑抗比色法测定, 全钾采用火焰光度法测定^[14]。烤烟氮 (磷、钾) 积累量=烟株氮 (磷、钾) 浓度 $\times$ 烤烟干物质质量; 烤烟器官氮 (磷、钾) 分配率=某器官氮 (磷、钾) 积累量/烤烟氮 (磷、钾) 总积累量 $\times 100\%$ 。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 及 SPSS 20.0 等软件进行统计分析。采用新复极差法进行多重比较。采用效应值 (η_p^2) 表示施氮量、基追肥氮比例及其互作对烤烟某一性状贡献的大小, 该值越大说明贡献

越大。以某一性状所有指标的 η_p^2 之和所占百分比作为某一性状指标总变异贡献率的大小^[15-17]。

肥料利用效率采用烤烟圆顶期样本统计数据计算: 氮 (磷、钾) 肥利用率=[施肥处理烤烟氮 (磷、钾) 素吸收量-不施肥处理烤烟氮 (磷、钾) 素吸收量]/施氮 (磷、钾) 量 $\times 100\%$; 氮肥 (磷、钾) 偏生产力 (kg/kg) = 不同处理烟叶产量/施氮 (磷、钾) 量; 氮肥 (磷、钾) 偏生产效益 (元/ kg) = 不同处理烟叶产值/施氮 (磷、钾) 量^[18-19]。

2 结果与分析

2.1 氮用量和基追肥氮比例对烤烟氮素积累与分配的影响

2.1.1 氮用量对烤烟氮素积累与分配的影响 从表 1 可见, 在团棵期, A_3 烤烟根的氮积累量较 A_1 、 A_2 分别高 36.84%、13.04%, 且差异显著; A_3 烤烟茎、叶的氮积累量和氮积累总量显著高于 A_1 、 A_2 ; 在各器官中, A_1 叶的氮素分配率较 A_3 高 5.56%。在打顶期, A_2 、 A_3 烤烟根的氮积累量显著高于 A_1 , 分别高 26.74%、20.75%; A_2 、 A_3 烤烟茎的氮积累量显著高于 A_1 ; A_2 、 A_3 烤烟叶的氮积累量较 A_1 高 5.19%、6.24%, 且差异达显著水平; A_2 、 A_3 烤烟氮的积累总量显著高于 A_1 , 分别高 12.92%、15.48%; 在各器官中, A_3 茎的氮素分配率显著大于 A_1 、 A_2 ; A_1 、 A_2 叶的氮素分配率显著大于 A_3 。在圆顶期, A_3 烤烟根的氮积累量较 A_1 、 A_2 分别高 20.90%、12.90%, 且差异显著; A_3 烤烟叶的氮积累量较 A_1 、 A_2 高 36.04%、12.24%, 且差异显著; A_3 烤烟氮的积累总量较 A_1 、 A_2 分别高 20.90%、8.10%, 差异达显著水平; 在各器官中, A_1 茎的氮素分配率显著大于 A_2 、 A_3 ; A_3 叶的氮素分配率显著大于 A_1 。在 3 个时期中, 随施氮量增加, 烟株积累氮素量增加; A_1 、 A_2 、 A_3 的烤烟氮素均主要分配给烟叶 (52.24%~79.65%), 其中团棵期在 75.45%~79.65%之间, 打顶期在 58.09%~62.78%之间, 圆顶期在 52.54%~59.13%之间。

2.1.2 基追肥氮比例对烤烟氮素积累与分配的影响 从表 2 可见, 在团棵期, B_1 烤烟根、茎、叶的氮积累量和氮积累总量较 B_2 分别高 7.70%、33.33%、37.61%、32.82%, 且差异显著; 在各器官中, 二者在根、茎、叶的分配率差异不显著。在打顶期, B_1 烤烟根、茎、叶的氮积累量和氮积累总量较 B_2 分别高 6.68%、32.86%、0.14%、6.75%; 在各器官中, B_1 茎的氮素分配率显著大

于 B₂，但 B₂ 叶的氮素分配率显著大于 B₁。在圆顶期，B₁ 烤烟根、茎、叶的氮积累量和氮积累总量较 B₂ 分别高 24.49%、0.33%、1.42%、1.34%；在各器官中，B₁ 根的氮素分配率显著大于 B₂，茎、叶的氮素分配率差异不显著。在 3 个时期中，随基肥氮比例增加，烟株积累氮素减少；B₁、B₂ 的烤烟氮素主要分配给烟叶，且分配率随着烤烟生长而降低。

表 1 施氮量对烤烟氮素积累与分配的影响
Tab. 1 Effects of nitrogen application rate on nitrogen accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	氮积累 N accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	A ₁	0.57±0.07 ^c	0.45±0.08 ^b	4.04±0.57 ^b	5.07±0.62 ^b	11.28±1.20 ^a	9.07±1.64 ^a	79.65±2.81 ^a
	A ₂	0.69±0.08 ^b	0.46±0.04 ^b	4.09±0.72 ^b	5.26±0.77 ^b	14.27±1.67 ^a	8.70±1.47 ^a	77.02±2.70 ^{ab}
	A ₃	0.78±0.09 ^a	0.60±0.03 ^a	4.38±0.39 ^a	5.78±0.72 ^a	14.36±3.11 ^a	10.20±2.31 ^a	75.45±2.28 ^b
打顶期	A ₁	9.35±0.49 ^b	9.53±0.37 ^b	32.33±0.51 ^b	51.22±0.48 ^b	18.19±0.85 ^a	18.93±0.88 ^b	62.87±0.59 ^a
	A ₂	11.15±0.22 ^a	12.67±0.19 ^a	34.01±0.59 ^a	57.84±0.82 ^a	20.90±3.61 ^a	15.29±3.55 ^b	63.81±3.08 ^a
	A ₃	11.29±0.16 ^a	13.50±0.29 ^a	34.35±0.22 ^a	59.15±0.85 ^a	19.16±2.24 ^a	22.76±4.49 ^a	58.09±2.62 ^b
圆顶期	A ₁	17.95±0.55 ^c	23.67±0.54 ^a	45.98±0.49 ^c	87.60±0.79 ^c	20.43±3.54 ^a	27.03±1.26 ^a	52.54±4.55 ^b
	A ₂	19.22±0.74 ^b	23.01±0.77 ^a	55.73±0.76 ^b	97.97±0.73 ^b	19.68±1.95 ^a	23.63±2.70 ^b	56.70±3.40 ^{ab}
	A ₃	21.70±0.87 ^a	24.64±0.28 ^a	59.55±0.34 ^a	105.90±0.64 ^a	20.46±2.01 ^a	20.41±1.44 ^c	59.13±2.37 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（*P*<0.05）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period (*P*<0.05).

表 2 氨基追肥氮比例对烤烟氮素积累与分配的影响
Tab. 2 Effects of nitrogen basal dressing N ratio on nitrogen accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	氮积累 N accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	B ₁	0.70±0.02 ^a	0.56±0.02 ^a	4.72±0.03 ^a	5.99±0.21 ^a	11.97±1.60 ^a	9.22±2.60 ^a	78.81±2.78 ^a
	B ₂	0.65±0.01 ^b	0.42±0.03 ^b	3.43±0.03 ^b	4.51±0.32 ^b	14.63±2.60 ^a	9.43±0.72 ^a	75.93±2.68 ^a
打顶期	B ₁	11.18±0.91 ^a	12.13±0.31 ^a	35.85±0.52 ^a	59.17±0.24 ^a	19.94±3.27 ^a	21.40±4.11 ^a	58.65±3.14 ^b
	B ₂	10.48±0.43 ^a	9.13±0.77 ^b	35.80±0.43 ^a	55.43±0.44 ^b	18.89±1.79 ^a	16.59±3.46 ^b	64.52±4.56 ^a
圆顶期	B ₁	21.76±0.26 ^a	23.30±0.48 ^a	54.93±0.18 ^a	100.00±0.51 ^a	21.84±1.79 ^a	23.62±3.65 ^a	54.53±5.00 ^a
	B ₂	17.48±0.33 ^b	22.25±0.34 ^b	54.58±0.79 ^a	94.32±0.83 ^b	18.53±1.92 ^b	23.75±3.16 ^a	57.71±3.11 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（*P*<0.05）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period (*P*<0.05).

2.1.3 氮用量和基追肥氮比例互作对烤烟氮素积累与分配的影响 从双因素互作效果看（表 3），在团棵期，A₃B₁ 的根、茎、叶氮素积累量和氮积累总量相对较高；在各器官中，A₂B₂、A₃B₂ 根的氮素分配率显著高于其他处理，但 A₁B₂、A₂B₂、A₃B₂ 叶的氮素分配率显著低于其他处理。在打顶期，A₃B₁ 在根、茎、叶及烟株的氮素积累量显著高于其他处理；在各器官中，A₂B₁ 根的氮素分配率显著高于其他处理，A₃B₁ 茎的氮素分配率显著高于其他处理，A₂B₂ 叶的氮素分配率显著高于其他处理。在圆顶期，A₃B₁ 的根、叶和烟株的氮素积累总量相对较高，A₃B₂ 的茎的氮素积累量相对较高；在各器官中，A₁B₁ 的根、茎的氮素分配率相对较高；

A₃B₂ 在叶的氮素分配率相对较高。总体上看，以 A₃B₁ 积累的氮素较多；氮素积累以烟叶为主，占 48.95%~80.20%，特别是团棵期占比更大。
2.1.4 氮用量和基追肥氮比例及其互作对烤烟氮素积累的贡献 从表 4 可见，在团棵期，氮用量（A）对根氮素积累的影响最大，氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对茎氮素积累的影响最大，基追肥比例（B）对叶氮素积累和氮素积累总量的影响最大；综合来看，基追肥氮比例（B）对烤烟氮素积累的贡献率最大，为 37.28%。在打顶期，氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对根氮素积累的影响最大，氮用量（A）对茎、叶氮素积累的影响最大，氮用量（A）对氮素积累总量

的影响最大；综合来看，氮用量（A）对烤烟氮素积累的贡献率最大，为 42.10%。在圆顶期，基追肥氮比例（B）对根氮素积累的影响最大，氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对茎氮素积累的影响最大，氮用量（A）对叶氮素积累的影响最大，氮用量（A）对氮素积累总量的影响最大。综合来看，氮用量（A）对烤烟氮素积累的贡献率最大，为 53.42%。将 3 个时期的贡献率平均，氮用量、基追肥氮比例及其互作对烤烟氮素积累的贡献率分别为 42.89%、29.63%、27.47%。

表 3 施氮量和基追肥氮比例互作对烤烟氮素积累与分配的影响
Tab. 3 Effects of interaction between nitrogen application N rate and basal dressing ratio on nitrogen accumulation and distribution of tobacco leaf

时期 Period	处理 Treatment	氮积累 N accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	A ₁ B ₁	0.62±0.07 ^{bc}	0.48±0.11 ^b	4.19±0.48 ^b	5.29±0.36 ^b	11.09±1.68 ^b	8.70±2.37 ^a	80.20±4.04 ^a
	A ₂ B ₁	0.67±0.10 ^b	0.48±0.05 ^b	4.24±0.95 ^b	5.39±1.05 ^b	13.00±0.70 ^b	7.94±1.68 ^a	79.05±2.36 ^a
	A ₃ B ₁	0.84±0.11 ^a	0.80±0.05 ^a	5.53±0.87 ^a	7.17±1.18 ^a	11.81±2.02 ^b	11.01±3.30 ^a	77.18±1.38 ^a
	A ₁ B ₂	0.52±0.05 ^c	0.43±0.05 ^b	3.40±0.03 ^c	4.35±0.13 ^c	11.46±0.82 ^b	9.44±0.82 ^a	79.10±1.58 ^a
	A ₂ B ₂	0.72±0.08 ^b	0.43±0.04 ^b	3.45±0.25 ^c	4.60±0.31 ^c	15.54±1.28 ^a	9.46±0.92 ^a	74.99±0.58 ^b
	A ₃ B ₂	0.74±0.05 ^b	0.46±0.03 ^b	3.49±0.44 ^c	4.69±0.52 ^c	16.90±0.85 ^a	9.39±0.73 ^a	73.72±1.46 ^b
打顶期	A ₁ B ₁	9.54±0.48 ^b	9.69±0.52 ^b	32.03±0.55 ^b	51.26±0.50 ^c	18.61±0.79 ^b	18.91±1.20 ^b	62.48±0.47 ^b
	A ₂ B ₁	13.59±0.80 ^{ab}	10.47±0.14 ^b	32.63±0.41 ^b	56.70±0.45 ^b	24.01±1.77 ^a	18.50±0.55 ^b	57.50±2.06 ^{bc}
	A ₃ B ₁	14.41±0.28 ^a	16.19±0.21 ^a	33.90±0.64 ^a	60.55±0.58 ^a	17.20±0.61 ^b	26.81±0.12 ^a	55.99±0.58 ^c
	A ₁ B ₂	9.16±0.51 ^b	9.77±0.27 ^{bc}	32.62±0.30 ^b	51.57±0.52 ^c	17.77±0.82 ^b	18.96±0.70 ^b	63.27±0.43 ^b
	A ₂ B ₂	10.11±0.68 ^b	9.86±0.28 ^c	33.00±0.55 ^{ab}	52.97±0.55 ^c	17.78±0.54 ^b	12.09±0.71 ^c	70.13±1.23 ^a
	A ₃ B ₂	12.18±0.65 ^{ab}	10.78±0.24 ^b	34.79±0.32 ^a	57.75±0.76 ^b	21.11±0.84 ^{ab}	18.71±1.16 ^b	60.18±1.92 ^b
圆顶期	A ₁ B ₁	20.06±0.36 ^b	21.77±0.78 ^c	48.11±0.53 ^c	89.95±0.53 ^b	23.46±1.77 ^a	27.59±1.35 ^a	48.95±3.06 ^b
	A ₂ B ₁	20.08±0.14 ^b	22.27±0.48 ^{ab}	57.58±0.98 ^b	99.94±0.96 ^{ab}	20.13±0.61 ^{ab}	22.52±3.61 ^b	57.35±4.16 ^a
	A ₃ B ₁	24.15±0.16 ^a	22.85±0.94 ^{ab}	63.09±0.37 ^a	110.11±0.73 ^a	21.94±0.97 ^{ab}	20.76±0.83 ^b	57.29±1.79 ^a
	A ₁ B ₂	14.84±0.85 ^c	22.57±0.31 ^{ab}	47.85±0.47 ^c	85.25±0.33 ^b	17.41±0.89 ^b	26.47±1.09 ^a	56.13±1.96 ^a
	A ₂ B ₂	18.36±0.85 ^b	23.76±0.21 ^{ab}	53.87±0.54 ^b	95.99±0.59 ^{ab}	19.23±2.92 ^{ab}	24.74±1.24 ^{ab}	56.04±3.20 ^a
	A ₃ B ₂	19.25±0.16 ^b	24.43±0.77 ^a	58.01±0.74 ^{ab}	101.70±0.55 ^a	18.97±1.61 ^b	20.06±2.04 ^b	60.97±0.80 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period ($P<0.05$).

表 4 氮用量和基追肥氮比例对烤烟氮素积累影响的 η_p^2 值和贡献率
Tab. 4 η_p^2 and contribution rate for effects of nitrogen application N rate and basal dressing ratio on N accumulation of flue-cured tobacco

时期 Period	变异来源 Variation source	η_p^2				贡献率 Contribution rate/%
		根氮素积累 N accumulation of root	茎氮素积累 N accumulation of stem	叶氮素积累 N accumulation of leaf	氮素积累总量 Total N accumulation	
团棵期	A	0.638	0.292	0.195	0.298	33.15
	B	0.121	0.230	0.631	0.618	37.28
	A×B	0.190	0.345	0.341	0.393	29.57
打顶期	A	0.829	0.986	0.387	0.647	42.10
	B	0.340	0.973	0.342	0.023	24.80
	A×B	0.831	0.955	0.369	0.085	33.09
圆顶期	A	0.671	0.272	0.700	0.711	53.42
	B	0.794	0.125	0.002	0.262	26.82
	A×B	0.429	0.295	0.107	0.040	19.76

2.2 氮用量和基追肥氮比例对烤烟磷素积累与分配的影响

2.2.1 氮用量对烤烟磷素积累与分配的影响 从表 5 可见，在团棵期，A₂、A₃ 烤烟根的磷积累量显著高于 A₁，分别高 35.48%、38.71%；A₃ 烤烟茎、叶的磷积累量和磷积累总量显著高于 A₁、A₂；在各器官中，A₂ 在根的磷素分配率较 A₁ 显著高 33.13%，A₃ 在茎的磷素分配率较 A₂ 显著高 25.46%，A₁ 在叶的磷素分配率显著高于 A₂、A₃。在打顶期，A₂、A₃ 烤烟茎的磷积累量较 A₁ 高 31.13%、32.03%；A₃ 烤烟叶的磷积累量和磷积累总量显著高于 A₁；在各器官中，A₁、A₂、A₃ 在根、茎、叶的磷素分配率差异不显著。在圆顶期，A₁ 烤烟根的磷积累量较 A₂ 高 25.85%，且差异显著；A₃ 烤烟茎的磷积累量较 A₂ 高 20.72%，且差异达显著水平；A₃ 烤烟叶的磷积累量较 A₁、A₂ 高 31.62%、25.14%，且差异显著；A₃ 烤烟磷积累

总量较 A₂ 显著高 21.27%；在各器官中，A₁、A₂、A₃ 在根、茎、叶的磷素分配率差异不显著。可见，烤烟对磷素的积累与氮用量的关系不明显，磷素积累主要分配给烟叶，特别是烤烟生长前期在 75.90%~79.15%之间。

2.2.2 氮基追肥氮比例对烤烟磷素积累与分配的影响 从表 6 可见，在团棵期，B₁、B₂ 烤烟根、茎、叶的磷积累量和磷积累总量差异不显著；在各器官中，二者在根、茎、叶的分配率同样差异不显著。在打顶期，B₂ 烤烟茎的磷积累量较 B₁ 显著高 73.90%；B₂ 烤烟磷积累总量较 B₁ 高 11.48%；在各器官中，B₂ 茎的磷素分配率显著大于 B₁，但 B₁ 叶的磷素分配率显著大于 B₂。在圆顶期，B₁、B₂ 烤烟根、茎、叶的磷积累量和磷积累总量差异不显著；在各器官中，二者在根、茎、叶的磷素分配率同样差异不显著。可见，基追肥氮比例对烤烟的磷素积累无明显影响。

表 5 施氮量对烤烟磷素积累与分配的影响
Tab. 5 Effects of nitrogen application rate on phosphorus accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	磷积累 P accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	A ₁	0.62±0.07 ^b	0.48±0.03 ^b	4.20±0.24 ^b	5.31±0.16 ^b	11.65±1.85 ^b	9.20±0.76 ^{ab}	79.15±2.32 ^a
	A ₂	0.84±0.04 ^a	0.45±0.12 ^b	4.19±0.45 ^b	5.48±0.53 ^b	15.51±1.69 ^a	8.17±1.79 ^b	76.32±1.50 ^b
	A ₃	0.86±0.06 ^a	0.68±0.22 ^a	4.95±0.29 ^a	6.49±0.55 ^a	13.85±2.81 ^{ab}	10.25±1.07 ^a	75.90±1.87 ^b
打顶期	A ₁	9.23±1.27 ^a	8.93±1.54 ^b	27.81±1.97 ^b	45.95±1.71 ^b	20.02±2.26 ^a	19.54±4.00 ^a	60.45±2.22 ^a
	A ₂	8.86±1.05 ^a	11.71±6.88 ^a	29.42±6.18 ^{ab}	49.98±2.77 ^{ab}	17.73±1.92 ^a	23.10±2.97 ^a	59.17±3.64 ^a
	A ₃	8.52±1.57 ^a	11.79±4.28 ^a	31.80±3.52 ^a	52.12±6.19 ^a	16.77±4.73 ^a	22.12±5.73 ^a	61.11±2.54 ^a
圆顶期	A ₁	18.79±2.57 ^a	24.27±1.43 ^{ab}	32.86±6.24 ^b	75.92±2.84 ^{ab}	24.88±4.27 ^a	32.04±2.76 ^a	43.08±6.72 ^a
	A ₂	14.93±0.56 ^b	21.28±1.43 ^b	34.56±3.43 ^b	70.77±3.84 ^b	21.13±1.15 ^a	30.10±2.01 ^a	48.77±2.81 ^a
	A ₃	16.86±0.81 ^{ab}	25.69±2.62 ^a	43.25±3.99 ^a	85.82±5.22 ^a	19.76±2.09 ^a	29.91±1.89 ^a	50.33±2.05 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（*P*<0.05）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period (*P*<0.05).

表 6 基追肥氮比例对烤烟磷素积累与分配的影响
Tab. 6 Effects of nitrogen basal dressing N ratio on phosphorus accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	磷积累 P accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	B ₁	0.81±0.12 ^a	0.56±0.24 ^a	4.75±0.49 ^a	6.12±0.58 ^a	13.60±2.68 ^a	8.92±2.08 ^a	77.47±1.81 ^a
	B ₂	0.74±0.14 ^a	0.51±0.05 ^a	4.14±0.31 ^a	5.39±0.33 ^a	13.74±2.70 ^a	9.49±0.46 ^a	76.77±2.85 ^a
打顶期	B ₁	8.74±1.08 ^a	7.89±2.16 ^b	30.03±4.19 ^a	46.67±2.26 ^b	18.76±2.29 ^a	17.10±5.31 ^b	64.13±6.21 ^a
	B ₂	8.98±1.49 ^a	13.72±4.76 ^a	29.32±4.72 ^a	52.03±4.90 ^a	17.59±4.20 ^a	26.06±8.21 ^a	56.35±7.22 ^b
圆顶期	B ₁	17.51±2.72 ^a	25.14±2.65 ^a	36.22±8.70 ^a	78.88±8.85 ^a	22.56±4.92 ^a	31.98±2.48 ^a	45.47±6.88 ^a
	B ₂	16.20±1.39 ^a	22.35±1.75 ^a	37.56±3.39 ^a	76.12±6.02 ^a	21.29±0.62 ^a	29.39±1.30 ^a	49.32±1.40 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（*P*<0.05）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period (*P*<0.05).

2.2.3 氮用量和基追肥氮比例互作对烤烟磷素积累与分配的影响 从双因素互作效果看（表 7），在团棵期，以 A₃B₁ 的磷积累量最高；其中，A₂B₁、A₃B₁、A₂B₂、A₃B₂ 在根的磷素积累量显著高于 A₁B₁ 和 A₁B₂；A₃B₁ 在茎、叶的磷素积累量和磷积累总量显著高于其他处理；在各器官中，A₂B₁、A₃B₂ 在根的磷素分配率显著高于其他处理；A₃B₁ 在茎的磷素分配率显著高于 A₂B₁；A₁B₂ 在叶的磷素分配率显著高于 A₂B₂、A₃B₂。在打顶期，A₁B₂ 在根的磷素积累量高于其他处理，A₂B₂、A₃B₂ 在茎的磷素积累量显著高于其他处理，A₂B₁、A₃B₂ 在叶的磷素积累量显著高

于其他处理；A₃B₂ 在磷素积累总量高于其他处理；在各器官中，A₁B₂ 在根的磷素分配率显著高于其他处理，A₂B₂ 在茎的磷素分配率显著高于其他处理，A₂B₁ 在叶的磷素分配率显著高于其他处理。在圆顶期，A₁B₁ 在根的磷素积累量相对较高，A₃B₁ 在茎、叶的磷素积累量和磷积累总量高于其他处理。在各器官中，A₁B₁ 在根、茎的磷素分配率显著高于其他处理，但 A₁B₁ 在叶的磷素分配率显著低于其他处理；A₃B₁ 在叶的磷素分配率显著高于其他处理。总体上看，团棵期和圆顶期以 A₃B₁ 的磷积累量相对较多，打顶期以 A₃B₂ 的磷积累量相对较多。

表 7 施氮量和基追肥氮比例互作对烤烟磷素积累与分配的影响
Tab. 7 Effects of interaction between nitrogen application rate and basal dressing N ratio on phosphorus accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	磷积累 P accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	A ₁ B ₁	0.67±0.07 ^b	0.48±0.03 ^b	4.06±0.60 ^b	5.21±0.95 ^b	12.94±1.85 ^b	9.13±0.97 ^{ab}	77.92±2.81 ^{ab}
	A ₂ B ₁	0.86±0.03 ^a	0.34±0.04 ^b	4.07±0.68 ^b	5.27±0.53 ^b	16.50±1.90 ^a	6.54±0.23 ^b	76.96±2.01 ^{ab}
	A ₃ B ₁	0.89±0.06 ^a	0.88±0.07 ^a	6.12±1.14 ^a	7.89±0.93 ^a	11.37±1.00 ^b	11.10±0.81 ^a	77.54±0.68 ^{ab}
	A ₁ B ₂	0.56±0.02 ^b	0.50±0.03 ^b	4.34±0.85 ^b	5.39±0.83 ^b	10.35±0.37 ^b	9.27±0.69 ^{ab}	80.38±1.05 ^a
	A ₂ B ₂	0.83±0.04 ^a	0.56±0.01 ^b	4.31±0.19 ^b	5.69±0.20 ^b	14.53±0.80 ^{ab}	9.80±0.24 ^{ab}	75.67±0.57 ^b
	A ₃ B ₂	0.83±0.04 ^a	0.48±0.04 ^b	3.78±0.95 ^b	5.10±0.86 ^b	16.34±0.43 ^a	9.41±0.28 ^{ab}	74.26±0.47 ^b
打顶期	A ₁ B ₁	8.09±1.21 ^b	1.03±0.69 ^b	26.57±2.06 ^{bc}	44.94±1.75 ^c	18.01±0.37 ^b	22.92±2.22 ^c	59.07±2.34 ^b
	A ₂ B ₁	8.38±0.87 ^b	5.46±1.02 ^d	34.65±3.30 ^a	48.48±2.08 ^b	17.35±2.47 ^b	11.29±1.53 ^e	71.35±3.95 ^a
	A ₃ B ₁	9.76±1.02 ^{ab}	7.95±1.46 ^c	28.87±1.86 ^b	46.59±1.86 ^{bc}	20.93±1.97 ^{ab}	17.10±2.00 ^d	61.98±3.13 ^b
	A ₁ B ₂	10.35±0.38 ^a	7.58±1.10 ^c	29.03±1.05 ^b	46.96±1.05 ^{bc}	22.03±0.73 ^a	16.15±0.81 ^d	61.82±1.07 ^b
	A ₂ B ₂	9.33±0.57 ^{ab}	17.96±0.88 ^a	24.19±1.66 ^c	51.48±2.86 ^{ab}	18.11±1.66 ^b	34.90±0.61 ^a	47.00±2.09 ^c
	A ₃ B ₂	7.28±0.48 ^c	15.64±0.96 ^a	34.73±1.32 ^a	57.65±1.32 ^a	12.62±0.51 ^c	27.14±1.60 ^b	60.24±2.02 ^b
圆顶期	A ₁ B ₁	21.01±1.25 ^a	25.29±1.71 ^{ab}	27.25±1.62 ^d	73.54±1.55 ^c	28.58±2.07 ^a	34.39±1.12 ^a	37.03±1.48 ^c
	A ₂ B ₁	15.39±2.86 ^c	22.23±2.80 ^b	35.23±5.05 ^{bc}	72.86±4.42 ^c	21.19±1.64 ^b	30.61±2.69 ^b	48.20±4.14 ^b
	A ₃ B ₁	16.15±0.59 ^b	27.91±2.72 ^a	46.19±1.82 ^a	90.25±4.25 ^a	17.89±0.14 ^c	30.93±1.73 ^b	51.18±1.74 ^a
	A ₁ B ₂	16.58±2.91 ^b	23.25±1.08 ^{ab}	38.47±3.29 ^b	78.30±3.23 ^b	21.18±0.41 ^b	29.69±1.11 ^b	49.13±0.92 ^b
	A ₂ B ₂	14.46±2.00 ^c	20.33±2.10 ^c	33.89±1.58 ^c	68.69±2.05 ^d	21.07±0.78 ^b	29.59±1.44 ^b	49.34±1.25 ^b
	A ₃ B ₂	17.58±2.51 ^b	23.49±3.80 ^{ab}	40.32±3.28 ^{ab}	81.38±2.94 ^b	21.62±0.71 ^b	28.90±1.69 ^b	49.48±2.30 ^b

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（*P*<0.05）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period (*P*<0.05).

2.2.4 氮用量和基追肥氮比例及其互作对烤烟磷素积累的贡献 从表 8 可见，在团棵期，氮用量（A）对根磷素积累的影响相对较大；氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对茎、叶和烟株的磷素积累的影响相对较大；综合来看氮用量（A）对烤烟氮素积累的贡献率相对较大，为 40.31%。在打顶期，氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对根、茎、叶磷素积累的影响相对较大；基追肥氮比例（B）对磷

素积累总量的影响相对较大；综合来看，氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对烤烟氮素积累的贡献率相对较大，为 43.68%。在圆顶期，氮用量（A）对根、茎、叶和烟株的磷素积累影响相对较大；综合来看，氮用量（A）对烤烟磷素积累的贡献率相对较大，为 44.29%。将 3 个时期的贡献率平均，氮用量、基追肥氮比例及其互作对烤烟磷素积累的贡献率分别为 38.62%、24.12%、37.25%。

表 8 氮用量和基追肥氮比例对烤烟磷素积累影响的 η_p^2 和贡献率
Tab. 8 η_p^2 and contribution rate for effects of nitrogen application rate and basal dressing N ratio on P accumulation of flue-cured tobacco

时期 Period	变异来源 Variation source	η_p^2				贡献率 Contribution rate/%
		根磷素积累 P accumulation of root	茎磷素积累 P accumulation of stem	叶磷素积累 N accumulation of leaf	磷素积累总量 Total P accumulation	
团棵期	A	0.880	0.880	0.633	0.762	40.31
	B	0.416	0.337	0.555	0.609	24.49
	A×B	0.135	0.923	0.835	0.862	35.20
打顶期	A	0.160	0.840	0.502	0.738	31.27
	B	0.032	0.962	0.045	0.755	25.05
	A×B	0.702	0.968	0.822	0.638	43.68
圆顶期	A	0.917	0.815	0.806	0.907	44.29
	B	0.655	0.717	0.082	0.322	22.82
	A×B	0.865	0.304	0.724	0.666	32.89

2.3 氮用量和基追肥氮比例对烤烟钾素积累与分配的影响

2.3.1 氮用量对烤烟钾素积累与分配的影响 从表 9 可见，在团棵期，A₃烤烟根的钾积累量显著高于 A₁、A₂；A₁、A₃烤烟茎、叶的钾积累量显著高于 A₂；A₃钾积累总量显著高于 A₁、A₂，分别高 6.07%、4.80%；在各器官中，A₂、A₃ 在根的磷素分配率较 A₁ 分别高 46.51%、40.77%，A₁ 在叶的钾素分配率较 A₂、A₃ 分别高 3.03%、3.72%。在打顶期，A₃、A₂ 烤烟茎的钾积累量显著高于 A₁；A₃烤烟叶的钾积累量和钾积累总量显著高于 A₁；在各器官中，A₂ 在茎的钾素分配率较 A₃ 高 47.20%；A₃ 在叶的钾素分配率较 A₂ 高 14.22%。在圆顶期，A₁、A₂、A₃ 在烤烟根、茎、叶的钾积累量和钾积累总量，以及氮素器官分配率中差异

不显著。总体上看，3 个时期均以 A₃ 的钾积累量相对最高。

2.3.2 基追肥氮比例对烤烟钾素积累与分配的影响 从表 10 可见，在团棵期，B₁、B₂ 烤烟根、茎、叶的钾积累量和钾积累总量差异不显著；在各器官中，二者在根、茎、叶的分配率同样差异不显著。在打顶期，B₂ 烤烟茎的钾积累量较 B₁ 显著高 42.39%；B₂ 烤烟钾积累总量较 B₁ 高 18.88%；在各器官中，B₂ 茎的钾素分配率显著大于 B₁，但 B₁ 叶的钾素分配率显著大于 B₂。在圆顶期，B₁、B₂ 烤烟根、茎、叶的钾积累量和钾积累总量差异不显著；在各器官中，二者的根、茎、叶的钾素分配率同样差异不显著。可见，基追肥氮比例对烤烟钾素积累的影响不明显。

表 9 施氮量对烤烟钾素积累与分配的影响
Tab. 9 Effects of nitrogen application rate on potassium accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	钾积累 K accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	A ₁	0.93±12.55 ^c	1.39±0.19 ^a	8.37±0.98 ^a	10.70±1.01 ^b	8.88±2.16 ^b	13.02±1.05 ^a	78.10±2.39 ^a
	A ₂	1.13±6.68 ^b	1.12±0.18 ^b	8.61±0.87 ^b	10.83±0.98 ^b	13.01±1.53 ^a	11.19±1.31 ^a	75.80±1.69 ^b
	A ₃	1.41±10.43 ^a	1.37±0.09 ^a	8.56±1.02 ^a	11.35±1.11 ^a	12.50±0.84 ^a	12.20±1.34 ^a	75.30±1.93 ^b
打顶期	A ₁	10.77±2.14 ^a	22.65±1.32 ^b	56.07±13.27 ^b	89.50±15.98 ^b	12.02±0.95 ^a	25.88±3.98 ^{ab}	62.10±3.84 ^{ab}
	A ₂	10.77±2.14 ^a	28.83±7.61 ^a	58.89±4.30 ^{ab}	98.51±6.45 ^{ab}	10.99±2.37 ^a	29.10±6.61 ^a	59.91±4.56 ^b
	A ₃	12.02±1.62 ^a	29.40±6.21 ^a	60.22±5.08 ^a	101.64±10.93 ^a	11.80±0.56 ^a	19.77±4.40 ^b	68.43±4.79 ^a
圆顶期	A ₁	13.78±1.21 ^a	34.13±3.56 ^a	55.13±7.28 ^a	103.05±10.03 ^a	13.51±2.01 ^a	33.13±1.31 ^a	53.36±2.17 ^a
	A ₂	14.81±3.27 ^a	36.06±2.05 ^a	65.58±3.33 ^a	116.46±7.33 ^a	12.62±2.05 ^a	31.01±1.51 ^a	56.37±1.89 ^a
	A ₃	14.90±1.90 ^a	36.15±2.17 ^a	66.64±7.67 ^a	117.40±9.71 ^a	11.16±1.44 ^a	32.38±2.60 ^a	56.46±2.10 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period ($P<0.05$).

表 10 基追肥氮比例对烤烟钾素积累与分配的影响

Tab. 10 Effects of nitrogen basal dressing N ratio on potassium accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	钾积累 K accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	B ₁	1.27±0.21 ^a	1.23±0.17 ^a	8.06±1.23 ^a	10.57±0.46 ^a	12.20±2.11 ^a	11.71±1.11 ^a	76.09±1.81 ^a
	B ₂	1.14±0.23 ^a	1.36±0.20 ^a	8.31±0.75 ^a	10.82±0.73 ^a	10.73±2.60 ^a	12.57±1.58 ^a	76.71±2.75 ^a
打顶期	B ₁	10.72±1.98 ^a	19.77±3.78 ^b	57.72±1.43 ^a	88.22±1.63 ^b	12.12±1.26 ^a	22.87±5.87 ^b	65.00±6.15 ^a
	B ₂	11.65±1.94 ^a	28.15±6.02 ^a	65.07±6.96 ^a	104.88±5.35 ^a	11.09±1.59 ^a	26.96±6.26 ^a	61.95±4.79 ^b
圆顶期	B ₁	15.17±2.14 ^a	36.08±3.78 ^a	62.91±1.16 ^a	114.17±5.12 ^a	13.45±2.15 ^a	31.75±1.65 ^a	54.80±2.91 ^a
	B ₂	12.62±1.67 ^a	35.95±2.10 ^a	61.85±3.30 ^a	110.43±3.96 ^a	11.41±1.27 ^a	32.59±2.31 ^a	56.00±1.82 ^a

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（ $P<0.05$ ）。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period ($P<0.05$).

2.3.3 施氮量和基追肥氮比例互作对烤烟钾素积累与分配的影响 从双因素互作效果看(表 11)，在团棵期，A₃B₁ 在根的钾素积累量显著高于其他处理；A₁B₂ 在茎的钾素积累量显著高于其他处理；A₃B₁、A₁B₂ 在叶的钾素积累量显著高于其他处理；A₃B₁ 的钾积累总量显著高于 A₁B₁、A₂B₁；在各器官中，A₂B₁ 在根的钾素分配率显著高于 A₁B₂，但 A₁B₂ 在叶的钾素分配率显著高于 A₂B₁、A₃B₂。在打顶期，A₂B₂ 在根的钾素积累量高于其他处理，A₃B₂ 在茎的钾素积累量显著高于其他处理，A₂B₂ 在叶的钾素积累量高于其他

处理；A₁B₂、A₂B₂、A₃B₂ 的钾素积累总量显著高于其他处理。在各器官中，根的钾素分配率差异不显著；A₃B₂ 在茎的钾素分配率显著高于其他处理；A₂B₁ 在叶的钾素分配率显著高于其他处理。在圆顶期，A₂B₁ 在根的钾素积累量相对较高，A₃B₁ 在茎、叶和烟株的钾素积累量相对较高；在各器官中，A₁B₁、A₂B₁ 在根的钾素分配率显著高于其他处理；A₃B₁、A₂B₂ 在叶的钾素分配率显著高于其他处理。总体上看，在团棵期和圆顶期，A₃B₁ 的钾积累量较高；在打顶期，A₂B₂ 的钾积累量较高。

表 11 施氮量和基追肥氮比例互作对烤烟钾素积累与分配的影响

Tab. 11 Effects of interaction between nitrogen application rate and basal dressing N ratio on potassium accumulation and distribution of flue-cured tobacco

时期 Period	处理 Treatment	钾积累 K accumulation/(kg·hm ⁻²)				分配率 Distribution ratio/%		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总量 Total	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期	A ₁ B ₁	1.02±0.11 ^c	1.28±0.13 ^c	7.63±0.88 ^c	9.94±0.87 ^b	10.40±2.18 ^{ab}	12.95±0.71 ^a	76.66±2.26 ^{ab}
	A ₂ B ₁	1.33±0.05 ^b	1.05±0.12 ^d	7.20±0.14 ^d	9.58±0.31 ^b	14.03±1.42 ^a	11.00±0.32 ^a	74.97±1.72 ^c
	A ₃ B ₁	1.48±0.09 ^a	1.36±0.12 ^b	9.34±0.39 ^a	12.18±0.36 ^a	12.18±1.06 ^{ab}	11.17±0.89 ^a	76.65±1.49 ^{ab}
	A ₁ B ₂	0.84±0.04 ^d	1.50±0.08 ^a	9.12±0.90 ^a	11.47±0.30 ^{ab}	7.36±0.22 ^b	13.09±1.50 ^a	79.55±1.69 ^a
	A ₂ B ₂	1.25±0.06 ^b	1.19±0.22 ^c	8.03±0.26 ^b	10.48±0.28 ^{ab}	12.00±0.88 ^{ab}	11.38±2.02 ^a	76.62±1.46 ^{ab}
	A ₃ B ₂	1.34±0.06 ^b	1.38±0.06 ^b	7.78±0.81 ^c	10.51±0.92 ^{ab}	12.82±0.58 ^{ab}	13.23±0.72 ^a	73.95±1.29 ^c
打顶期	A ₁ B ₁	8.98±0.39 ^b	22.14±1.21 ^b	44.26±3.16 ^d	75.39±5.10 ^c	11.90±1.39 ^a	29.40±1.08 ^b	58.70±0.50 ^{bc}
	A ₂ B ₁	10.82±0.36 ^b	15.18±2.87 ^c	68.18±6.83 ^{ab}	94.20±10.65 ^b	11.50±0.68 ^a	16.05±1.36 ^d	72.46±1.87 ^a
	A ₃ B ₁	12.36±0.85 ^{ab}	22.00±0.45 ^b	60.72±4.10 ^b	95.08±5.51 ^b	12.98±1.49 ^a	23.17±0.94 ^c	63.85±1.59 ^b
	A ₁ B ₂	12.56±0.83 ^{ab}	23.17±1.45 ^b	67.88±3.44 ^{ab}	103.62±3.90 ^a	12.14±0.52 ^a	22.37±1.19 ^c	65.50±1.41 ^b
	A ₂ B ₂	13.21±0.70 ^a	25.61±2.61 ^b	70.26±3.85 ^a	109.09±4.34 ^a	12.11±0.17 ^a	23.49±2.26 ^c	64.40±2.29 ^b
	A ₃ B ₂	9.19±0.76 ^b	35.67±2.12 ^a	57.07±4.40 ^c	101.93±6.20 ^a	9.01±0.21 ^a	35.03±1.74 ^a	55.97±1.67 ^c
圆顶期	A ₁ B ₁	14.46±1.39 ^{ab}	31.35±0.69 ^c	48.82±2.02 ^c	94.64±4.08 ^b	15.26±0.84 ^a	33.15±0.70 ^a	51.59±0.29 ^b
	A ₂ B ₁	17.50±1.88 ^a	37.64±1.24 ^{ab}	67.15±4.42 ^{ab}	122.30±5.29 ^a	14.29±1.07 ^a	30.83±2.05 ^a	54.87±1.26 ^{ab}
	A ₃ B ₁	13.56±0.21 ^b	39.25±1.71 ^a	72.77±2.15 ^a	125.59±1.76 ^a	10.80±0.30 ^b	31.26±1.28 ^a	57.94±1.41 ^a
	A ₁ B ₂	13.10±0.58 ^b	36.91±2.85 ^{ab}	61.44±2.96 ^b	111.46±4.76 ^a	11.76±0.45 ^b	33.11±1.95 ^a	55.13±1.51 ^{ab}
	A ₂ B ₂	12.13±1.31 ^b	34.48±1.22 ^b	64.01±9.4 ^{ab}	110.63±2.06 ^a	10.96±1.00 ^b	31.18±1.18 ^a	57.87±0.76 ^a
	A ₃ B ₂	12.65±2.90 ^b	36.46±1.73 ^{ab}	60.10±4.71 ^b	109.22±5.65 ^{ab}	11.52±2.17 ^b	33.50±3.39 ^a	54.98±1.58 ^{ab}

注：同列不同小写字母表示同一时期差异显著（ $P<0.05$ ）。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period ($P<0.05$).

2.3.4 氮用量和基追肥氮比例及其互作对烤烟钾素积累的贡献 从表 12 可见，在团棵期，氮用量（A）对根、茎钾素积累的影响相对较大；氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对叶、烟株钾素积累的影响相对较大；综合来看，氮用量（A）对烤烟钾素积累的贡献率相对较大，为 50.76%。在打顶期，氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对根、叶钾素积累的影响最大；基追肥比例（B）对茎、烟株钾素积累总量的影响相对较大；综合来看，氮用

量和基追肥氮比例互作（A×B）对烤烟钾素积累的贡献率相对较大，为 35.94%。在圆顶期，基追肥氮比例（B）对根钾素积累的影响相对较大；氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对茎、叶、烟株钾素积累的影响相对较大；综合来看，氮用量和基追肥氮比例互作（A×B）对烤烟钾素积累的贡献率最大，为 46.25%。将 3 个时期的贡献率平均，氮用量、基追肥氮比例及其互作对烤烟钾素积累的贡献率分别为 41.22%、21.24%、37.54%。

表 12 氮用量和基追肥氮比例对烤烟钾素积累影响的 η_p^2 值和贡献率
Tab. 12 η_p^2 and contribution rate for effects of nitrogen application rate and basal dressing N ratio on K accumulation of flue-cured tobacco

时期 Period	变异来源 Variation source	η_p^2				贡献率 Contribution rate/%
		根钾素积累 K accumulation of root	茎钾素积累 K accumulation of stem	叶钾素积累 K accumulation of leaf	钾素积累总量 Total K accumulation	
团棵期	A	0.913	0.482	0.336	0.416	50.76
	B	0.515	0.198	0.045	0.037	18.80
	A×B	0.097	0.087	0.563	0.540	30.44
打顶期	A	0.272	0.830	0.706	0.495	32.16
	B	0.190	0.871	0.504	0.720	31.90
	A×B	0.700	0.734	0.722	0.419	35.94
圆顶期	A	0.217	0.541	0.798	0.784	40.74
	B	0.477	0.002	0.040	0.228	13.01
	A×B	0.360	0.673	0.802	0.819	46.25

2.4 氮用量和基追肥氮比例对烤烟产量和产值的影响

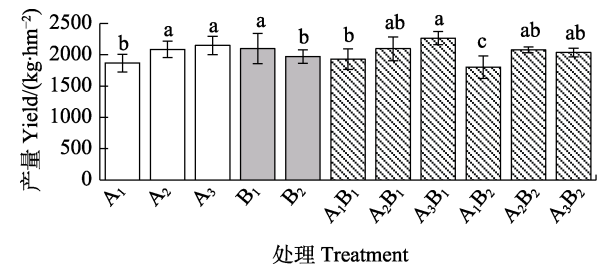
2.4.1 氮用量和基追肥氮比例对烤烟产量的影响 由图 1 可见，A₃、A₂的产量显著高于 A₁，分别高 15.21%、11.84%；B₁的产量较 B₂显著高 6.37%。从两因素互作看，产量排序为 A₃B₁>A₂B₁>A₂B₂>A₃B₂>A₁B₁>A₁B₂，A₃B₁ 显著高于 A₁B₁、A₁B₂。可见，随施氮量增加，烟叶产量增加；随基肥氮

比例降低，产量增加；施氮量为 180 kg/hm² 和基追肥比例为 3：7 的处理烤烟产量最高。

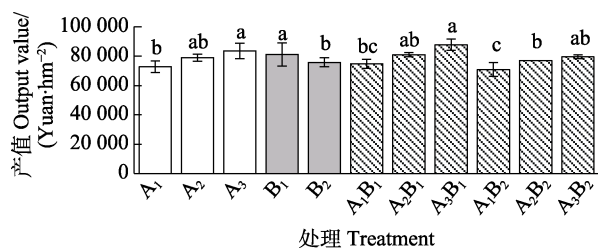
A、B 及 A×B 的效应值（ η_p^2 ）分别为 0.735、0.075、0.373，氮用量、基追肥氮比例及其互作对烤烟产量的贡献率分别为 62.13%、6.34%、31.53%，以氮用量对产量的影响最大。

2.4.2 氮用量和基追肥氮比例对烤烟产值的影响 由图 2 可见，A₃的产值比 A₁、A₂ 分别高 14.81%、5.82%，其中 A₃显著高于 A₁；B₁的产值较 B₂显著高 7.12%。从两因素互作看，产值排序为 A₃B₁>A₂B₁>A₃B₂>A₂B₂>A₁B₁>A₁B₂，A₃B₁ 显著高于其他处理。可见，随施氮量增加，烟叶产值增加；随基肥氮比例降低，产值增加；施氮量为 180 kg/hm² 和基追肥氮比例为 3：7 的处理烤烟产值最高。

A、B 及 A×B 的效应值（ η_p^2 ）分别为 0.754、0.235、0.605，氮用量、基追肥氮比例及其互作对烤烟产值的贡献率分别为 47.30%、14.74%、37.95%，以氮用量对产量的影响最大。



不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).
图 1 氮用量和基追肥氮比例对烤烟产量的影响
Fig. 1 Effects of nitrogen application rate and basal dressing N ratio on yield of flue-cured tobacco



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

图 2 氮用量和基追肥氮比例对烤烟产值的影响

Fig. 2 Effects of nitrogen application rate and basal dressing N ratio on output value of flue-cured tobacco

2.5 氮用量和基追肥氮比例对肥料利用效率的影响

2.5.1 氮用量和基追肥氮比例对肥料利用率的影响 由表 13 可见, A₁、A₂、A₃ 氮肥利用率差异不显著; B₁ 氮肥利用率较 B₂ 显著高 7.73%; A₂B₁、A₃B₁ 氮肥利用率显著高于 A₁B₂。A₁、A₂、A₃ 磷肥利用率差异不显著; B₁、B₂ 磷肥利用率差异不显著; A₃B₁、A₁B₂ 磷肥利用率显著高于 A₂B₂。A₁、A₂、A₃ 钾肥利用率差异不显著, B₁、B₂ 钾肥利用率差异不显著; A₂B₁、A₃B₁、A₁B₂ 钾肥利用率显著高于 A₁B₁。可见减少基肥氮比例可提高氮肥利用率。

2.5.2 氮用量和基追肥氮比例对肥料偏生产力的影响 由表 13 可见, A₂ 氮肥偏生产力较 A₃ 显著高 5.95%; B₁ 氮肥偏生产力较 B₂ 显著高 6.27%; A₃B₂ 氮肥偏生产力相对较低。A₂ 磷肥偏生产力较 A₃ 显著高 5.95%; B₁ 磷肥偏生产力较 B₂ 显著高 6.27%; A₃B₂ 磷肥偏生产力相对较低。A₂ 钾肥偏生产力较 A₃ 显著高 5.86%; B₁ 钾肥偏生产力较 B₂ 显著高 6.17%; A₃B₂ 钾肥偏生产力相对较低。可见, 减少基肥氮可提高氮、磷、钾肥的偏生产力。

2.5.3 氮用量和基追肥氮比例对肥料偏生产效益的影响 由表 13 可见, A₁ 氮肥偏生产效益较 A₂、A₃ 分别高 1.39%、4.53%, A₁ 显著高于 A₃; B₁ 氮肥偏生产效益较 B₂ 显著高 7.04%; A₁B₁ 氮肥偏生产效益高于其他处理。A₁ 磷肥偏生产效益较 A₂、A₃ 分别高 1.39%、4.52%, A₁ 显著高于 A₃; B₁ 磷肥偏生产效益较 B₂ 显著高 6.97%; A₁B₁ 磷肥偏生产效益显著高于其他处理 (除 A₂B₁ 外)。A₁ 钾肥偏生产效益较 A₂、A₃ 分别高 1.38%、4.53%, B₁ 钾肥偏生产效益较 B₂ 显著高 6.97%; A₁B₁、A₂B₁、A₃B₁ 钾肥偏生产效益高于其他处理。可见, 减少基肥氮可提高氮、磷、钾肥的偏生产效益。

表 13 施氮量和基追肥氮比例对烤烟肥料利用效率的影响

Tab. 13 Effects of nitrogen application rate and basal dressing N ratio on fertilizer efficiency of flue-cured tobacco

处理 Treatment	肥料利用率 Fertilizer utilization efficiency/%			偏生产力 Partial factor productivity/(kg·kg ⁻¹)			偏生产效益 Partial factor benefit/(Yuan·kg ⁻¹)		
	N 肥 N fertilizer	P 肥 N fertilizer	K 肥 N fertilizer	N 肥 N fertilizer	P 肥 N fertilizer	K 肥 N fertilizer	N 肥 N fertilizer	P 肥 N fertilizer	K 肥 N fertilizer
A ₁	39.83±2.02 ^a	19.09±1.16 ^a	9.20±1.86 ^a	12.44±0.10 ^{ab}	9.28±0.07 ^{ab}	3.20±0.02 ^{ab}	485.25±1.76 ^a	362.12±1.00 ^a	124.87±2.83 ^a
A ₂	41.92±1.53 ^a	15.21±1.12 ^a	10.27±1.17 ^a	12.65±0.54 ^a	9.44±0.40 ^a	3.25±0.14 ^a	478.59±6.68 ^{ab}	357.15±2.45 ^{ab}	123.16±2.29 ^a
A ₃	42.43±3.00 ^a	19.60±1.23 ^a	9.53±1.50 ^a	11.94±0.90 ^b	8.91±0.68 ^b	3.07±0.23 ^b	464.24±3.60 ^b	346.45±4.33 ^b	119.46±2.39 ^b
B ₁	42.93±1.65 ^a	18.42±1.26 ^a	9.85±1.73 ^a	12.72±0.53 ^a	9.49±1.14 ^a	3.27±0.39 ^a	492.05±55.21 ^a	367.20±4.20 ^a	126.62±4.21 ^a
B ₂	39.85±1.28 ^b	17.21±1.29 ^a	9.47±1.02 ^a	11.97±0.37 ^b	8.93±1.02 ^b	3.08±0.35 ^b	460.10±38.63 ^b	343.28±8.83 ^b	118.37±3.94 ^b
A ₁ B ₁	41.25±2.15 ^{ab}	17.92±1.25 ^{ab}	7.88±1.29 ^b	12.86±0.30 ^a	9.60±0.97 ^a	3.31±0.34 ^a	498.22±3.55 ^a	371.81±3.50 ^a	128.21±1.21 ^a
A ₂ B ₁	43.00±2.15 ^a	16.05±1.25 ^{ab}	11.09±1.29 ^a	12.71±0.30 ^a	9.48±0.97 ^{ab}	3.27±0.34 ^{ab}	490.65±3.55 ^b	366.15±3.50 ^{ab}	126.26±1.21 ^a
A ₃ B ₁	44.55±1.30 ^a	21.01±2.27 ^a	10.59±1.01 ^a	12.58±0.75 ^a	9.39±0.57 ^{ab}	3.24±0.21 ^{ab}	487.29±3.80 ^b	363.65±1.73 ^b	125.40±2.62 ^a
A ₁ B ₂	38.40±2.55 ^b	20.10±2.23 ^a	10.51±1.27 ^a	12.02±0.14 ^{ab}	8.97±0.87 ^{ab}	3.09±0.32 ^{ab}	472.27±31.79 ^c	352.44±2.02 ^c	121.53±2.51 ^b
A ₂ B ₂	40.83±1.40 ^{ab}	14.29±2.11 ^b	9.44±1.16 ^{ab}	12.57±0.27 ^a	9.38±0.97 ^{ab}	3.23±0.36 ^{ab}	466.53±40.30 ^d	348.16±3.72 ^c	120.05±3.52 ^b
A ₃ B ₂	40.31±1.09 ^{ab}	17.86±1.23 ^{ab}	8.47±1.27 ^{ab}	11.30±1.08 ^b	8.44±0.83 ^b	2.91±0.31 ^b	441.19±28.20 ^c	329.24±2.20 ^d	113.53±2.66 ^c

注: 同列不同小写字母表示同一时期差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in the same period ($P<0.05$).

3 讨论

在烟株生长过程中, 氮、磷、钾是不可或缺

的三大营养元素。烤烟对氮、磷、钾养分的吸收受施肥水平、根系发育、土壤养分供应等的影响, 其产量和质量也与氮、磷、钾养分的吸收及在植

株内的分配密切相关^[19-20]。烟株积累的氮、磷、钾养分主要分配给叶片，且随烤烟生长，养分在叶片的占比减少，这与多数人的研究结论一致^[21-23]。施氮水平能引起植株氮磷钾养分吸收和分配的差异，且合理的施肥模式能显著提高氮肥的肥料利用率^[24]。本研究表明，随氮用量增加，烟株氮、钾积累量增加，这说明施用氮肥与烤烟的生长发育密切相关，与前人研究结果相似^[23-24]；A₃处理在圆顶期各器官钾积累量无显著差异，以及磷积累量与氮用量规律不明显，这可能与烤烟后期供肥主要来自土壤供肥有关^[25]。

肥料氮是烤烟的主要氮素来源之一。改变氮肥施用时期对肥料氮在土壤中的残留和分布有显著影响，适当延后氮肥追施时期或增加追肥氮比例有利于减少肥料氮的损失^[26-27]。增加追肥氮比例能够减少肥料氮的损失，提高肥料氮的利用率^[5-6]；在多雨烟区的烤烟追肥氮比例由 50% 提高到 65% 时，上部烟叶营养得到改善，烟叶产值和烟叶质量均得到提升^[28]。本研究表明，减少基肥氮比例可增加烟株的氮积累总量，显著提高烟叶产量和产值，以及提高氮肥利用效率和氮、磷、钾的偏生产力与偏生产效益；这与前人的研究结果一致^[5-6, 26-28]。南方稻茬烤烟大田前期常遇低温多雨天气，农田土壤养分流失迅速，过多的基肥氮会增加肥料流失率^[3]，从而降低肥料利用率，影响烤烟生长和烟叶产量、产值^[3, 28]。

烤烟对氮素敏感，不适量或不适时的氮素供应均会造成烟叶产量和质量下降。施氮水平对烟株氮磷钾积累与分配具有重要影响，适时提供烟株氮素是提高烟叶产量和质量的有效措施。在广东多雨烟区，追肥氮比例偏高条件下适度加大施氮量才能有效满足不同生育期烤烟氮养分需求，对促进烤烟氮素吸收利用、增产增效有显著作用^[29]，这与本研究结果基本一致。本研究表明，烟叶产量和产值随施氮量增加而增加，随基肥氮比例降低而增加，以施氮量为 180 kg/hm² 和基追肥氮比例为 3:7 的处理烤烟产量最高。因此，在烤烟生产中更需要合理施用氮肥，以实现烟叶产量、产值和品质提升，以及氮肥高效和环境友好的目标。

4 结论

本研究结果表明，随氮用量增加，烤烟氮积

累量和烟叶产量、产值增加；减少基肥氮比例，可显著提高烟株氮积累量和烟叶产量与产值，以及显著提高氮肥的利用率和氮磷钾肥的偏生产力、偏生产效益。氮用量和基追肥氮比例及其互作对烤烟氮积累的贡献率分别为 42.89%、29.63%、27.47%，对磷贡献率分别为 38.62%、24.12%、37.25%，对钾积累的贡献率分别为 41.22%、21.24%、37.54%。因此，在烟稻复种区，氮用量对烤烟氮磷钾养分积累的影响最大，烤烟生产中减少基肥氮比例可提高烟叶氮积累量，有利于提高烟叶产量和产值及氮肥利用率。

参考文献

- [1] 邓小华, 周米良, 田茂成, 田峰, 吴志科, 黎娟, 王心中. 湘西州植烟气候与国内外主要烟区比较及相似性分析[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(3): 28-33.
DENG X H, ZHOU M L, TIAN M C, TIAN F, WU Z K, LI J, WANG X Z. A comparison on climate of tobacco growing areas and its similarity between Xiangxi and main domestic and overseas[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2012, 18(3): 28-33. (in Chinese)
- [2] 汪耀富, 邵孝侯, 孙德梅, 陈立华. 基于微区设计的多雨地区烟田土壤氮素平衡研究[J]. 烟草科技, 2019, 52(3): 18-25.
WANG Y F, SHAO X H, SUN D M, CHEN L H. Study on nitrogen balance of tobacco-planting soils in rainy regions based on micro-area design[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(3): 18-25. (in Chinese)
- [3] 邓小华, 肖汉乾. 烤烟生产氮肥减施增效理论与模式[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2023.
DENG X H, XIAO H Q. The theory and model of reducing nitrogen fertilizer and increasing effect in flue-cured tobacco production[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2023. (in Chinese)
- [4] 张雨薇, 裴晓东, 黎娟, 周清明, 易镇邪. 施氮量与密度对浏阳烤烟产质量的耦合效应[J]. 作物研究, 2017, 31(1): 59-65.
ZHANG Y W, PEI X D, LI J, ZHOU Q M, YI Z X. Coupling effects of different nitrogen application rate and planting density on yield and quality of flue-cured tobacco in Liuyang[J]. Crop Research, 2017, 31(1): 59-65. (in Chinese)
- [5] LIAO Z Q, ZHANG K B, FAN J L, LI Z J, ZHANG F C, WANG X K, WANG H D, CHENG M H, ZOU Y F. Ridge-furrow plastic mulching and dense planting with reduced nitrogen improve soil hydrothermal conditions, rain-fed soybean yield and economic return in a semi-humid

- drought-prone region of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2022, 217.
- [6] 王新月, 肖汉乾, 邓小华, 黄杰, 周孚美, 李伟, 陈治锋, 单雪华. 追肥氮量对稻茬烤烟生长和养分积累的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2021, 47(2): 153-160.
WANG X Y, XIAO H Q, DENG X H, HUANG J, ZHOU F M, LI W, CHEN Z F, SHAN X H. Effect of different amounts of topdressing nitrogen on the growth and nutrient accumulation of flue-cured tobacco in rice-tobacco rotation[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2021, 47(2): 153-160. (in Chinese)
- [7] 马兴华, 梁晓芳, 刘光亮, 石屹, 张忠锋. 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. (in Chinese)
MA X H, LIANG X F, LIU G L, SHI Y, ZHANG Z F. Effect of nitrogen application rate and base and topdressing ratio on nitrogen utilization of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2016, 22(6): 1655-1664. (in Chinese)
- [8] 全柯颖, 蔡奇, 张阳, 陈舜尧, 谢会雅, 王新月, 黄琼慧, 邓小华. 减氮配施微生物菌剂对烤烟产量和品质的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2023, 49(6): 645-651.
QUAN K Y, CAI Q, ZHANG Y, CHEN S Y, XIE H Y, WANG X Y, HUANG Q H, DENG X H. Effects of nitrogen reduction fertilization combined with microbial agents on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2023, 49(6): 645-651. (in Chinese)
- [9] 吴东, 李茂森, 李帅兵, 董贤春, 牟毅, 王博, 唐婷婷, 唐韵, 赫英宇, 任天宝. 减氮条件下生物炭基肥对土壤养分及细菌群落结构的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2023, 57(4): 657-666.
WU D, LI M S, LI S B, DONG X C, MOU Y, WANG B, TANG T T, TANG Y, HAO Y Y, REN T B. Effects of bio-char based fertilizer on soil nutrients and bacterial community structure under nitrogen reduction[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2023, 57(4): 657-666. (in Chinese)
- [10] 尹兴盛, 包玲凤, 濮永瑜, 孙加利, 张庆, 李海平, 杨明英, 林跃平, 王怀鑫, 何永宏, 杨佩文. 减氮配施生物有机肥对植烟土壤特性及烟草青枯病的防效研究[J]. *中国农业科技导报*, 2023, 25(7): 122-131.
YIN X S, BAO L F, PU Y Y, SUN J L, ZHANG Q, LI H P, YANG M Y, LIN Y P, WANG H X, HE Y H, YANG P W. Effects of chemical fertilizer reduction combined with bio-organic fertilization on tobacco soil characteristics and tobacco bacterial wilt control[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2023, 25(7): 122-131. (in Chinese)
- [11] 陈晨, 胡艳芳, 程玉渊, 刘园, 牛莉莉, 吴疆, 赵园园, 尹光庭, 刘流, 李倩, 孙善兴, 张常兴. 减氮配施土壤改良剂对烤烟生长及产质量的影响[J]. *贵州农业科学*, 2022, 50(9): 38-45.
CHEN C, HU Y F, CHENG Y Y, LIU Y, NIU L L, WU J, ZHAO Y Y, YIN G T, LIU L, LI Q, SUN S X, ZHANG C X. Effects of soil amendment on growth, yield and quality of flue-cured tobacco under reducing nitrogen rate[J]. *Guizhou Agricultural Science*, 2022, 50(9): 38-45. (in Chinese)
- [12] 黄琼慧, 肖汉乾, 肖艳松, 江智敏, 徐均华, 胡庆辉, 向清慧, 邓小华. 稻茬烤烟减氮配施腐植酸碳肥的效应[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 48(5): 520-527.
HUANG Q H, XIAO H Q, XIAO Y S, JIANG Z M, XU J H, HU Q H, XIANG Q H, DENG X H. Effects of nitrogen reduction combined with humic acid carbon fertilizer application on flue-cured tobacco in rice-tobacco rotation[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2022, 48(5): 520-527. (in Chinese)
- [13] 陈治锋, 肖汉乾, 邓小华, 何铭钰, 黄杰, 夏冰, 向铁军, 邓小强, 李武进, 肖艳松. 促根减氮施肥模式对烤烟产量和品质的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2023, 49(1): 12-17.
CHEN Z F, XIAO H Q, DENG X H, HE M Y, HUANG J, XIA B, XIANG T J, DENG X Q, LI W J, XIAO Y S. Effects of fertilization models of root-promoting and nitrogen-reduction on the yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2023, 49(1): 12-17. (in Chinese)
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 167-169.
LI H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 167-169. (in Chinese)
- [15] COHEN J. Statistical power analysis for the behavioral sciences[M]. Hillsdale N J: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [16] 王新月, 张阳, 蔡奇, 谢会雅, 陈舜尧, 王旋, 何伟, 黄琼慧, 全柯颖, 夏冰, 邓小华. 育苗盘孔径、微生物菌剂和移栽叶龄对烤烟生长发育的影响[J]. *中国烟草科学*, 2023, 44(5): 18-26.
WANG X Y, ZHANG Y, CAI Q, XIE H Y, CHEN S Y, WANG X, HE W, HUANG Q H, QUAN K Y, XIA B, DENG X H. Effects of float seedling tray size, microbial agents and transplanting leaf age on growth of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2023, 44(5): 18-26. (in Chinese)
- [17] 邓小华, 杨丽丽, 邹凯, 齐永杰, 徐文兵, 张光利, 于庆涛, 雷天义. 烟稻轮作模式下烤烟增密减氮的主要化学成分效应分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(4): 991-997.

- DENG X H, YANG L L, ZOU K, QI Y J, XU W B, ZHANG G L, YU Q T, LEI T Y. Effect of density-increasing and nitrogen-saving on chemical components of flue-cured tobacco under tobacco-rice rotation system[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2017, 23(4): 991-997. (in Chinese)
- [18] 黄琼慧, 邓小华, 陈舜尧, 王新月, 张阳, 谢会雅, 蔡奇, 周毅, 王旋, 何伟, 黄子彧, 刘昭伟. 水溶性追肥配施促根剂对烤烟养分积累及利用率的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2023, 49(3): 268-278.
- HUANG Q H, DENG X H, CHEN S Y, WANG X Y, ZHANG Y, XIE H Y, CAI Q, ZHOU Y, WANG X, HE W, HUANG Z Y, LIU Z W. Effects of water-soluble topdressing with root-promoting agents on nutrient accumulation and utilization rate of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2023, 49(3): 268-278. (in Chinese)
- [19] 何铭钰, 肖汉乾, 邓小华, 李良勇, 李武进, 周孚美, 陈治锋, 肖艳松, 黄琼慧, 黄杰. 浓香型稻茬烤烟生长和物质积累与养分利用效率[J]. *华北农学报*, 2021, 36(4): 139-146.
- HE M Y, XIAO H Q, DENG X H, LI L R, LI W J, ZHOU F M, CHEN Z F, XIAO Y S, HUANG Q H, HUANG J. Growth and dry matter accumulation and nutrient utilization efficiency of rich flavor style paddy-tobacco[J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2021, 36(4): 139-146. (in Chinese)
- [20] 王世济, 刘炎红, 崔仁仁, 刘小平, 韩永镜, 陈其峰, 赵第锐. 皖南烟区烤烟干物质和养分的积累研究[J]. *烟草科技*, 2004(7): 40-43.
- WANG S J, LIU Y H, CUI Q R, LIU X P, HAN Y J, CHEN Q F, ZHAO D K. Research on dry matter and nutrient accumulation in flue-cured tobacco in growing area of south Anhui[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2004(7): 40-43. (in Chinese)
- [21] 王军, 田俊岭, 刘兰, 宗钊辉, 樊苗苗, 罗福命. 施肥水平对烤烟的干物质、养分积累及分配的影响[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(22): 8-14.
- WANG J, TIAN J L, LIU L, ZONG Z H, FAN M M, LUO F M. Effects of different fertilization levels on dry matter and nutrient accumulation and distribution in flue-cured tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(22): 8-14. (in Chinese)
- [22] 邓小华, 王新月, 杨红武, 刘勇军, 邓永晟, 周米良, 张明发, 赵炯平, 李奇, 王卫民, 陈金, 栗戈璇. 粉垄耕作深度对烤烟生长和物质积累及烟叶产质量的影响[J]. *中国烟草科学*, 2020, 41(5): 28-35.
- DENG X H, WANG X Y, YANG H W, LIU Y J, DENG Y S, ZHOU M L, ZHANG M F, ZHAO J P, LI Q, WANG W M, CHEN J, SU G X. Effects of smashing ridge tillage on growth, dry matter accumulation, output and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2020, 41(5): 28-35. (in Chinese)
- [23] 滕永忠, 李素华, 王瑞宝, 杨光华, 张洪玲. 滇东南烟区烤烟干物质和养分的分配状况研究[J]. *中国烟草科学*, 2005(1): 17-19.
- TENG Y Z, LI S H, WANG R B, YANG G H, ZHANG H L. Distribution of dry matter and nutrient in tobacco of south-east Yunnan province[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2005(1): 17-19. (in Chinese)
- [24] 杨成翠, 徐照丽, 史普西, 贾孟, 白羽祥, 朱宣全, 程亚东, 杨焕文, 王戈. 氮肥运筹对烤烟养分积累和产质量的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2020, 22(6): 176-185.
- YANG C C, XU Z L, SHI P Y, JIA M, BAI Y X, ZHU X Q, CHENG Y D, YANG H W, WANG G. Effects of nitrogen fertilizer application on nutrient accumulation, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(6): 176-185. (in Chinese)
- [25] 韩锦峰, 郭培国. 氮素用量、形态、种类对烤烟生长发育及产量品质影响的研究 [J]. *河南农业大学学报*, 1990(3): 275-285.
- HAN J F, GUO P G. Effects of nitrogen application rate, forms and varieties on growth, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 1990(3): 275-285. (in Chinese)
- [26] LÓPEZ-BELLIDO L, LÓPEZ-BELLIDO R J, LÓPEZ-BELLIDO F J. Fertilizer nitrogen efficiency in durum wheat under rainfed mediterranean conditions: effect of split application[J]. *Agronomy Journal*, 2005, 98: 55-62.
- [27] OTTMAN M J, POPE N V. Nitrogen fertilizer movement in the soil as influenced by nitrogen rate and timing in irrigated wheat[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 1883-1892.
- [28] 张海伟, 何宽信, 叶为民, 王玉胜, 邵雪莲, 刘润生, 王念磊, 焦绍赫. 多雨烟区烤烟氮肥优化施用的减氮效应及对烤烟产质量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2018(3): 36-41.
- ZHANG H W, HE K X, YE W M, WANG Y S, SHAO X L, LIU R S, WANG N L, JIAO S H. Effects of modified nitrogen fertilization on nitrogen rate reduction and yield and quality of flue-cured tobacco in rainy tobacco-growing regions[J]. *Chinese Soil and Fertilizer*, 2018(3): 36-41. (in Chinese)
- [29] 王军, 谢玉华, 王全, 陈泽鹏. 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.
- WANG J, XIE Y H, WANG Q, CHEN Z P. Characteristics of soil nitrogen mineralization and effects on nitrogen absorption and accumulation in tobacco plants in Nanxiong tobacco planting areas[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2016, 49(5): 1-7. (in Chinese)