

减氮条件下不同施肥模式对稻茬烤烟生长和养分积累及利用效率的影响

李伟¹, 何铭钰², 邓小华^{2*}, 肖汉乾¹, 黄杰²,
向铁军³, 李武进⁴, 肖艳松⁴, 李旭⁵, 于大棚⁵

(1. 湖南省烟草公司烟叶管理处, 长沙 410004; 2. 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 3. 湖南金叶众望科技股份有限公司, 岳阳 414307; 4. 湖南省烟草公司郴州市公司, 郴州 423000; 5. 吉林烟草工业有限责任公司, 延吉 133000)

摘要: 为明确减氮条件下不同施肥模式对稻茬烤烟生长发育及肥料利用效率的影响。采用单因素随机区组试验, 研究了不同施肥模式对烤烟根系生长、地上部生长、干物质及养分积累分配和肥料利用效率的影响。结果表明, 在传统施肥 ($162.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 基础上, 减氮 22.22% 的促根减氮施肥模式有利于促进烤烟的根系生长和地上部生长, 能够提高烤烟生长期间的烟株干物质积累量和烟叶干物质积累量, 提高烟株的氮素积累量及烟叶中的氮、钾积累量; 促根减氮施肥模式能够提高烤烟氮肥吸收效率 21.98%, 氮肥利用效益 $10.39 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 氮肥干物质积累效率 34.95%。促根减氮施肥模式能促进烤烟烟株生长, 提高烟株养分吸收能力, 提高烤烟的肥料利用效率。该结果这为我国南方多雨烟稻轮作区烤烟肥料高效利用提供了理论参考。

关键词: 稻茬烤烟; 促根减氮施肥模式; 养分积累与分配; 养分利用效率

中图分类号: S572.062

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2023)05-0869-07

Effects of different fertilization models under nitrogen-reducing condition on the growth, nutrient accumulation and utilization efficiency of rice stubble flue-cured tobacco

LI Wei¹, HE Minyu², DENG Xiaohua², XIAO Hanqian¹, HUANG Jie²,
XIANG Tiejun³, LI Wujin⁴, XIAO Yansong⁴, LI Xu⁵, YU Dapeng⁵

(1. Tobacco Leaf Management Department of Hunan Tobacco Company, Changsha 410004; 2. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128; 3. Hunan Jinyezhongwang Technology Co., Ltd., Yueyang 414307; 4. Hunan Tobacco Company Chenzhou Company, Chenzhou 423000; 5. Jilin Tobacco Industry Co., Ltd, Yanji 133000)

Abstract: In order to clarify the effects of different fertilization model under nitrogen-reducing condition on the growth and fertilizer utilization efficiency of rice stubble flue-cured tobacco, a single factor experiment with randomized block was used to study the effects of different fertilization modes on root growth, above-ground growth, dry matter and nutrient accumulation and distribution, and fertilizer utilization efficiency of flue-cured tobacco. The results showed that the root promotion and nitrogen reduction fertilization model which was 22.22% nitrogen reduced from traditional fertilization ($162.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) was beneficial to promote the root growth and above-ground growth of flue-cured tobacco, and could increase the dry matter accumulation of tobacco plants and that of tobacco leaves during tobacco growth period, and increase the total nitrogen accumulation of tobacco plants and the accumulation of nitrogen and potassium of tobacco leaves. The root promotion and nitrogen reduction fertilization model could improve the nitrogen absorption efficiency by 21.98%, the nitrogen utilization efficiency by $10.39 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and the nitrogen accumulation efficiency by 34.95%. The root promotion and nitrogen reduction fertilization model could promote the tobacco plant growth, improve the nutrient absorption capacity and the fertilizer utilization efficiency of flue-cured tobacco. The result provides a theoretical reference for the

收稿日期: 2022-09-11

基金项目: 湖南省烟草专卖局科技项目 (19-22Aa03) 和吉林烟草工业有限责任公司科技项目 (KJXM-2023-15) 共同资助。

作者简介: 李伟, 博士, 高级农艺师。E-mail: 343801680@qq.com

* 通信作者: 邓小华, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: yzdxh@163.com

flue-cured tobacco's efficient utilization of fertilizer in rainy southern China rice-tobacco rotation areas.

Key words: rice stubble flue-cured tobacco; fertilization mode of root-promoting and nitrogen-reducing; nutrient accumulation and distribution; nutrient utilization efficiency

良好的施肥管理可以有效改善烟株生长的养分环境,促进烤烟根系生长与养分吸收,最大发挥烤烟的生产潜力,提高肥料利用率,改善烤烟品质^[1]。湖南稻作烟区烤烟大田前期的低温阴雨和稻田土壤的黏性重、土块大而硬,不利于烤烟伸根期的根系生长和烟株对养分的吸收^[2],加之过程降雨量大、肥料流失严重^[3],烤烟种植氮肥施用量远大于北方烟区和西南烟区^[4],导致烟叶烟碱含量过高和烟叶可用性下降^[5],肥料利用率偏低而污染环境^[6],减施氮肥迫在眉睫。

关于我国南方多雨烟区烤烟氮肥减施研究较多,张海伟等^[7]研究认为,采用基肥穴施、提高追肥比例、减氮 15%的条件下,能够促进烟株早生快发,促进烤烟生长;李伟等^[8]研究认为基追氮比 2:8 有利于提高湖南稻茬烤烟氮肥利用率,增加烤烟产量,改善烟叶品质;王新月等^[9]研究认为适当增加追肥施氮量,可提高湖南稻茬烤烟氮、磷、钾肥的利用率;李超等^[10]研究发现梅州大埔地区应用 RTNM 施肥模式可有效提高氮肥的利用率;陈壮壮等^[11]研究认为,氮钾肥为“基肥+RTNM 追肥”的施肥模式能够提高烤烟产量和品质;但关于稻茬烤烟采用促根措施与氮肥管理相结合的减氮施肥模式对烤烟生长、养分积累和利用效率的研究报道较少。因此,本试验以湖南稻茬烤烟为研究对象,围绕减氮、减工、节本、增效,开发了稻作烟区专用穴肥、灌蔸肥、专用追肥等肥料种类,形成新的促根减氮

施肥模式,以期为促进我国稻茬烤烟早生快发的氮肥高效利用技术提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及试材

试验于 2021 年安排在湖南省郴州市桂阳县(25.77° N, 112.69° E),年平均降雨量 1 385.2 mm,平均气温 17.2 °C,平均日照时长为 1 705.4 h。供试土壤为水稻土,土壤养分含量为全氮 2.27 g·kg⁻¹,全磷 0.54 g·kg⁻¹,全钾 38.1 g·kg⁻¹,碱解氮 162.8 mg·kg⁻¹,速效磷 29.8 mg·kg⁻¹,速效钾 159.5 mg·kg⁻¹。供试烤烟品种为云烟 87。供试肥料来源于湖南金叶众望科技股份有限公司,烟草专用基肥: N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 8%、17%和 7%;生物发酵饼肥:总养分≥8%,有机质≥70%;硫酸钾: K₂O≥50.0%;烟草专用提苗肥: N、P₂O₅和 K₂O 含量分别为 20%、9%和 0%;烟草专用追肥: N、P₂O₅和 K₂O 含量分别为 11%、0%和 31%;专用穴肥: N、P₂O₅和 K₂O 含量分别为 6%、15%和 11%;灌蔸肥: N、P₂O₅和 K₂O 含量分别为 20%、9%和 0%,总养分≥29%,硝态氮/总氮≥40%,含硼、镁、锌、钼、黄腐酸、抗病解磷复合功能菌、天然生物抗病素、保水保肥营养增效剂等,为全水溶肥;水溶追肥: N、P₂O₅和 K₂O 含量分别为 10%、0%和 40%,硝态氮/总氮≥75%,全水溶。

表 1 促根减氮施肥模式与传统施肥模式的肥料施用方法

Table 1 Fertilizer application methods of root-promoting and nitrogen-reducing fertilization patterns and traditional fertilization patterns

| 肥料类型 | T | | | CK | | |
|------|--------|---------------------------|---------|--------|---------------------------|------|
| | 施肥时间/d | 施用量/(kg·hm ²) | 施用方法 | 施肥时间/d | 施用量/(kg·hm ²) | 施用方法 |
| 基肥 | 移栽前 10 | 专用穴肥 600, 生物发酵饼肥 450 | 穴施,与土混匀 | 移栽前 10 | 专用基肥 750, 生物发酵饼肥 450 | 穴施 |
| | 移栽后 0 | 灌蔸肥 30 | 淋施 | 移栽后 7 | 提苗肥 45 | 兑水浇施 |
| | 移栽后 7 | 灌蔸肥 75 | 兑水浇施 | 移栽后 15 | 提苗肥 45 | 兑水浇施 |
| 追肥 | 移栽后 15 | 灌蔸肥 75, 水溶追肥 225 | 兑水浇施 | 移栽后 25 | 专用追肥 300, 提苗肥 22.5 | 兑水浇施 |
| | 移栽后 30 | 水溶追肥 300, 硫酸钾 45 | 兑水浇施 | 移栽后 35 | 专用追肥 375, 硫酸钾 75 | 兑水浇施 |
| | 移栽后 45 | 水溶追肥 75, 硫酸钾 150 | 兑水浇施 | 移栽后 45 | 专用追肥 75, 硫酸钾 225 | 兑水浇施 |

1.2 试验设计

试验设 2 个处理, T, 促根减氮施肥模式; CK, 传统施肥模式, 具体见表 1。T 处理总施肥量 2 025.0 kg·hm⁻², 无机养分氮、磷、钾投入量分别为 126.0、

103.5 和 418.5 kg·hm⁻²; 氮磷钾比例为 1:0.82:3.32; 基肥无机氮占比总氮 28.6%。CK 处理总施肥量 2 362.0 kg·hm⁻², 无机养分氮、磷、钾投入量分别为 162.0、137.7 和 435.0 kg·hm⁻²; 氮磷钾比例为

1 : 0.83 : 2.64; 基肥无机氮占比总氮 36.4%。各处理 3 次重复, 每小区面积在 200 m², 单因素随机区组排列。烤烟漂浮育苗, 3 月 15 日移栽, 5 月 15 日开始打顶, 5 月 25 日进入采收期, 种植密度为 50 cm (株距) × 120 cm (行距)。其他管理措施同当地生产技术方案。

1.3 主要检测指标及方法

(1) 烤烟根系生长指标测定: 在烤烟移栽后 30、60 和 90 d 时, 每个处理取有代表性烟株 5 株, 小心连同根际土壤一起将植株挖出, 分离根系和地上部分, 用水将根系小心冲洗干净, 用网筛接住根系, 尽量保持根系的完整。采用 LA-2400 多参数根系分析系统 (北京易科泰生态技术有限公司), 测定根长、根表面积、根体积、根平均直径、根尖数及分叉数^[12-13]。

(2) 烤烟地上部生长指标测定: 在烤烟移栽后 30、60 和 90 d 时, 每个处理取有代表性烟株 5 株, 按照标准《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T 142—2010)^[14]测量烤烟株高、茎围、节距、叶片数、最大叶长和叶宽; 最大叶面积=叶长×叶宽×0.634 5。

(3) 烤烟干物质及氮磷钾含量测定: 于烤烟移栽后 30、60 和 90 d 时, 每个处理选择 5 株长势均匀一致的植株, 分为根、茎、叶片, 在 105 °C 杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒重后测定干物质质量。植株用 H₂SO₄-H₂O₂ 法^[15]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^[15]。干物质积累量(kg·hm⁻²)=某时期烟株干物质质量(g)×种植密度×15/1 000。干物质分配率(%)=某器官干物质质量/植株干物质总量×100。氮、磷、钾积累量(kg·hm⁻²)=某时期烟株氮、磷、钾量(%)×干物质质量。氮、磷、钾分配率(%)=某器官氮、磷、钾量/植株氮、

磷、钾总量×100。

(4) 烤烟养分利用效率指标测定: 参考文献^[2,9,16], 氮(磷、钾)肥干物质积累效率(g·kg⁻¹)=单位面积烟株干物质质量/单位面积氮(磷、钾)肥施用量; 氮(磷、钾)肥吸收效率(FAE, %) = 单位面积烟株氮(磷、钾)积累量(90 d)/单位面积氮(磷、钾)肥施用量×100%; 氮(磷、钾)收获指数(HI, %) = 单株烟叶中的氮(磷、钾)积累量(90 d)/植株氮(磷、钾)积累量×100%; 氮(磷、钾)肥利用效益(FUE, g·kg⁻¹) = 单位面积烟叶干物质质量(90 d)/单位面积氮(磷、钾)肥施用量; 氮(磷、钾)烟叶生产效率(LPE, g·kg⁻¹) = 单株烟叶干物质质量(90 d)/植株氮(磷、钾)素积累总量。

1.4 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 17.0 进行数据处理和统计分析。采用 Duncan 法在 P=0.05 水平下检验显著性。

2 结果与分析

2.1 对烤烟地下部根系生长的影响

从表 2 可以看出, 烤烟移栽 30、60 和 90 d 时, T 处理的烤烟根系总长度、总表面积、根尖数及根分叉数显著高于 CK 处理, 差异达到显著性, 而两个处理的根平均直径和总体积无明显差异; 其中, 30、60 和 90 d 时, T 处理的根系总长度较 CK 处理分别多 34.69%、12.25%和 9.29%, 根总表面积较 CK 处理分别多 65.11%、16.88%和 27.39%, 根尖数较 CK 处理分别多 60.13%、12.83%和 22.22%, 根分叉数较 CK 处理分别多 14.74%、14.03%和 15.48%。由此可见, 促根减氮施肥模式的烤烟根系生长较传统配方施肥的烤烟根系生长好。

表 2 不同氮肥施用模式对烤烟根系生长的影响

Table 2 Effects of different nitrogen fertilization patterns on root growth of flue-cured tobacco

| 取样时间/d | 处理 | 长度/cm | 表面积/cm ² | 平均直径/mm | 体积/cm ³ | 根尖数 | 根分叉数 |
|--------|----|-----------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| 30 | T | 1 186.29±48.22 ^a | 398.85±15.49 ^a | 0.92±0.43 ^a | 9.17±1.72 ^a | 2 498±420 ^a | 18 590±328 ^a |
| | CK | 880.78±75.04 ^b | 241.57±23.76 ^b | 1.13±0.48 ^a | 6.83±2.92 ^a | 1 560±105 ^b | 16 202±498 ^b |
| 60 | T | 1 643.11±22.14 ^a | 632.08±17.17 ^a | 1.62±0.53 ^a | 25.58±3.67 ^a | 3 105±716 ^a | 25 922±420 ^a |
| | CK | 1 463.85±65.58 ^b | 540.79±27.86 ^b | 1.81±0.44 ^a | 21.10±2.07 ^a | 2 752±198 ^b | 22 732±773 ^b |
| 90 | T | 1 825.84±48.66 ^a | 803.11±22.28 ^a | 1.75±0.48 ^a | 36.87±2.56 ^a | 3 983±296 ^a | 32 511±817 ^a |
| | CK | 1 670.61±74.54 ^b | 630.41±23.18 ^b | 2.04±0.54 ^a | 37.31±12.37 ^a | 3 259±166 ^b | 28 153±662 ^b |

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间具有显著性差异 (P>0.05)。下同。

2.2 对烤烟地上部生长的影响

由表 3 可以看出, 在烤烟移栽后 30 d 时, T 处理的烤烟株高、最大叶面积显著大于 CK 处理, 分别大 33.33%和 6.21%, 其他指标差异不显著; 在烤

烟移栽后 60 d 时, T 处理的烤烟株高显著大于 CK 处理, 两个处理的烤烟茎围、节距、叶片数、最大叶长、最大叶宽和最大叶面积无显著差异; 在烤烟移栽 90 d 时, T 处理的烤烟地上部生长略优于 CK

处理,但两个处理的烤烟地上部生长指标均无显著差异。由此可见,在促根减氮施肥模式下,烤烟的地上部生长略优于传统施肥模式的烤烟,但无明显差异。

2.3 对烤烟干物质积累和分配的影响

由表4可以看出,在烤烟移栽后30和60d时,T处理的烤烟总干物质积累量、根茎叶中的干物质积累量均显著高于CK处理;在烤烟移栽后90d时,处理的烤烟总干物质积累量、茎和叶中的干物质积累量显著高于CK处理,说明在传统施肥模式基础上减氮22.22%可以增加烤烟总干物质积累量4.93%,

两个处理的根干物质积累量无明显差异;在30、60和90d的干物质分配比例中,T处理和CK处理的干物质分配比例均无显著差异。从干物质积累效率看,不同施肥模式的钾肥干物质积累效率差异不显著,但T处理的氮肥干物质积累效率显著高于CK,在30、60和90d的分别高84.11%、38.77%和34.95%;T处理的磷肥干物质积累效率显著高于CK,在30、60和90d的分别高90.07%、43.56%和39.61%。由此可见,促根减氮施肥模式可以提高烟株和茎、叶的干物质积累量,可提高氮、磷肥干物质积累效率,但对干物质分配比例无明显影响。

表3 不同氮肥施用模式对烤烟地上部生长的影响

Table 3 Effects of different nitrogen fertilization patterns on aboveground growth of flue-cured tobacco

| 取样时间/d | 处理 | 株高/cm | 茎围/cm | 节距/cm | 有效叶片数/片 | 最大叶长/cm | 最大叶宽/cm | 最大叶面积/cm ² |
|--------|----|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 30 | T | 58.00±1.48 ^a | 5.22±0.30 ^a | 3.90±0.13 ^a | 13.33±0.52 ^a | 60.50±1.26 ^a | 28.80±0.50 ^a | 1105.85±19.46 ^a |
| | CK | 43.50±2.95 ^b | 5.13±0.40 ^a | 3.55±0.35 ^a | 12.67±0.48 ^a | 57.67±1.36 ^a | 28.43±1.46 ^a | 1041.15±17.52 ^b |
| 60 | T | 97.85±1.16 ^a | 8.85±0.21 ^a | 4.63±1.14 ^a | 17.33±1.15 ^a | 71.80±1.41 ^a | 30.45±1.73 ^a | 1384.64±23.61 ^a |
| | CK | 91.30±0.99 ^b | 8.60±0.14 ^a | 4.48±0.49 ^a | 17.00±1.73 ^a | 71.50±1.66 ^a | 29.90±0.42 ^a | 1357.23±26.57 ^a |
| 90 | T | 95.90±1.32 ^a | 9.10±0.61 ^a | 5.67±0.31 ^a | 17.50±1.12 ^a | 75.60±1.75 ^a | 30.40±2.66 ^a | 1459.32±83.32 ^a |
| | CK | 95.83±1.65 ^a | 9.03±0.32 ^a | 5.10±0.20 ^a | 16.00±1.41 ^a | 74.53±1.05 ^a | 29.13±2.45 ^a | 1418.74±82.99 ^a |

表4 不同氮肥施用模式对烤烟干物质积累与分配的影响

Table 4 Effects of different nitrogen fertilization patterns on dry matter accumulation and distribution of flue-cured tobacco

| 取样时间/d | 处理 | 干物质总量/(kg·hm ²) | 干物质积累量/(kg·hm ²) | | |
|--------|----|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | 根 | 茎 | 叶 |
| 30 | T | 496.10±25.31 ^a | 38.50±2.00 ^a | 68.20±3.18 ^a | 389.40±1.50 ^a |
| | CK | 346.50±18.03 ^b | 33.55±5.30 ^b | 54.45±4.67 ^b | 258.50±2.28 ^b |
| 60 | T | 2561.19±34.05 ^a | 461.18±5.30 ^a | 758.18±7.42 ^a | 1341.84±10.04 ^a |
| | CK | 2373.40±19.41 ^b | 430.65±6.36 ^b | 707.85±4.24 ^b | 1234.90±15.13 ^b |
| 90 | T | 5059.72±55.37 ^a | 1163.60±20.00 ^a | 1548.94±19.62 ^a | 2347.18±11.34 ^a |
| | CK | 4821.81±44.97 ^b | 1147.58±28.94 ^a | 1370.66±20.64 ^b | 2303.58±11.82 ^b |

| 干物质分配比例/% | | | 干物质积累效率/(kg·kg ⁻¹) | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 根 | 茎 | 叶 | 氮肥 | 磷肥 | 钾肥 |
| 7.76±1.63 ^a | 13.75±1.13 ^a | 78.49±3.18 ^a | 3.94±0.76 ^a | 4.79±0.54 ^a | 1.19±0.12 ^a |
| 9.68±1.91 ^a | 15.71±2.64 ^a | 74.60±1.67 ^a | 2.14±0.25 ^b | 2.52±0.36 ^b | 0.80±0.18 ^a |
| 18.01±0.11 ^a | 29.60±0.15 ^a | 52.39±3.42 ^a | 20.33±2.41 ^a | 24.75±2.53 ^a | 6.12±0.72 ^a |
| 18.14±0.78 ^a | 29.82±0.57 ^a | 52.03±2.24 ^a | 14.65±1.80 ^b | 17.24±5.46 ^b | 5.46±0.24 ^a |
| 23.00±0.42 ^a | 30.61±1.38 ^a | 46.39±2.62 ^a | 40.16±3.54 ^a | 48.89±5.61 ^a | 12.09±0.46 ^a |
| 23.80±1.90 ^a | 28.43±1.73 ^a | 47.77±3.64 ^a | 29.76±2.01 ^b | 35.02±4.22 ^b | 11.08±0.80 ^a |

2.4 对烤烟氮素积累和分配的影响

由表5可以看出,在烤烟移栽后30d时,T处理的烤烟氮素积累总量、根茎叶中氮素积累量显著高于CK处理,两个处理根茎叶的氮素分配比例无显著差异;在烤烟移栽后60d时,T处理的烤烟氮素积累总量、叶中氮素积累量和叶分配比例显著高于CK处理,CK处理的茎分配比例显著高于T处理,两个处理根、茎的氮素积累量和根分配比例无

显著差异;在烤烟移栽后90d时,T处理的烤烟氮素积累总量、茎叶中氮素积累量和茎分配比例显著高于CK处理,说明在传统施肥模式基础上减氮22.22%可以增加烤烟氮素积累总量27.20%,CK处理的根分配比例显著高于T处理,两个处理的根积累量和叶的氮素分配比例无显著差异。由此可见,促根减氮施肥模式可以提高烤烟的氮素积累总量和氮素在叶中的积累量。

表 5 不同氮肥施用模式对烤烟氮素积累和分配的影响

Table 5 Effects of different nitrogen fertilization patterns on N accumulation and distribution of flue-cured tobacco

| 取样时间/d | 处理 | 氮素积累总量/(kg·hm ⁻²) | 氮积累量/(kg·hm ⁻²) | | | 氮分配比例/% | | |
|--------|----|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | 根 | 茎 | 叶 | 根 | 茎 | 叶 |
| 30 | T | 12.45±1.06 ^a | 0.91±0.14 ^a | 1.42±0.05 ^a | 10.12±1.00 ^a | 7.37±0.61 ^a | 11.41±0.53 ^a | 81.22±1.14 ^a |
| | CK | 10.33±0.73 ^b | 0.66±0.13 ^b | 1.20±0.31 ^b | 8.48±0.55 ^b | 6.42±1.69 ^a | 11.51±2.15 ^a | 82.07±0.47 ^a |
| 60 | T | 41.80±0.91 ^a | 6.12±0.10 ^a | 9.66±0.43 ^a | 26.02±1.38 ^a | 14.64±0.43 ^a | 23.12±0.02 ^b | 62.24±0.45 ^a |
| | CK | 38.71±0.32 ^b | 6.15±0.36 ^a | 10.50±0.39 ^a | 22.05±0.29 ^b | 15.89±0.91 ^a | 27.12±0.61 ^a | 56.96±0.31 ^b |
| 90 | T | 71.27±1.05 ^a | 13.00±0.76 ^a | 18.37±0.33 ^a | 39.91±0.62 ^a | 18.23±0.80 ^b | 25.77±0.84 ^a | 55.99±0.04 ^a |
| | CK | 56.03±0.87 ^b | 13.04±0.93 ^a | 12.47±0.76 ^b | 30.51±0.82 ^b | 23.26±1.30 ^a | 22.25±1.01 ^b | 54.48±2.31 ^a |

表 6 不同氮肥施用模式对烤烟磷素积累和分配的影响

Table 6 Effects of different nitrogen fertilization patterns on P accumulation and distribution of flue-cured tobacco

| 取样时间/d | 处理 | 磷素积累总量/(kg·hm ⁻²) | 磷积累量/(kg·hm ⁻²) | | | 磷分配比例/% | | |
|--------|----|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | 根 | 茎 | 叶 | 根 | 茎 | 叶 |
| 30 | T | 1.13±0.07 ^a | 0.08±0.02 ^a | 0.17±0.01 ^a | 0.88±0.07 ^a | 7.33±0.58 ^a | 15.31±0.23 ^a | 77.37±0.81 ^a |
| | CK | 0.97±0.05 ^a | 0.06±0.01 ^a | 0.14±0.04 ^a | 0.76±0.03 ^a | 6.56±1.60 ^a | 14.78±2.89 ^a | 78.66±1.29 ^a |
| 60 | T | 5.02±0.05 ^a | 0.71±0.04 ^a | 1.47±0.01 ^a | 2.84±0.04 ^a | 14.25±1.03 ^a | 29.25±0.18 ^a | 56.51±0.21 ^a |
| | CK | 5.00±0.13 ^a | 0.84±0.06 ^a | 1.46±0.02 ^a | 2.71±0.16 ^a | 16.71±0.56 ^a | 29.11±1.16 ^a | 54.18±1.73 ^a |
| 90 | T | 9.17±0.06 ^a | 1.59±0.05 ^a | 2.50±0.18 ^a | 5.09±0.17 ^a | 17.28±0.42 ^a | 27.20±1.76 ^a | 55.52±2.18 ^a |
| | CK | 9.10±0.13 ^a | 1.76±0.07 ^a | 2.55±0.2 ^a | 4.79±0.41 ^a | 19.31±1.05 ^a | 28.09±2.65 ^a | 52.60±3.71 ^a |

表 7 不同氮肥施用模式对烤烟钾素积累和分配的影响

Table 7 Effects of different nitrogen fertilization patterns on K accumulation and distribution of flue-cured tobacco

| 取样时间/d | 处理 | 钾素积累总量 (kg·hm ⁻²) | 钾积累量/(kg·hm ⁻²) | | | 钾分配比例/% | | |
|--------|----|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | 根 | 茎 | 叶 | 根 | 茎 | 叶 |
| 30 | T | 14.79±0.93 ^a | 0.79±0.01 ^a | 2.69±0.05 ^a | 11.31±0.89 ^a | 5.39±0.41 ^a | 18.18±0.80 ^a | 76.43±1.21 ^a |
| | CK | 11.07±0.73 ^b | 0.57±0.09 ^b | 2.03±0.55 ^b | 8.47±0.26 ^b | 5.17±1.11 ^a | 18.25±3.76 ^a | 76.58±2.65 ^a |
| 60 | T | 64.94±1.98 ^a | 6.53±0.14 ^a | 21.35±0.43 ^a | 37.06±2.41 ^a | 10.06±0.24 ^b | 32.90±0.85 ^a | 57.04±1.09 ^a |
| | CK | 57.12±0.22 ^b | 6.70±0.11 ^a | 18.62±0.39 ^b | 31.8±0.72 ^b | 11.73±0.24 ^a | 32.61±0.81 ^a | 55.67±1.05 ^a |
| 90 | T | 78.92±1.70 ^a | 8.87±0.77 ^b | 26.37±2.07 ^a | 43.68±0.40 ^a | 11.25±1.21 ^b | 33.39±1.90 ^a | 55.36±0.69 ^a |
| | CK | 78.25±0.10 ^a | 11.19±1.23 ^a | 25.52±1.63 ^a | 41.55±1.76 ^b | 14.29±1.55 ^a | 32.60±2.04 ^a | 53.10±3.59 ^a |

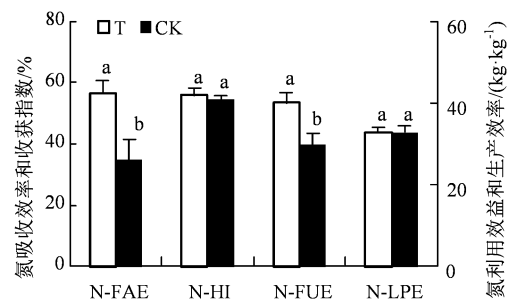
2.5 对烤烟磷素积累和分配的影响

由表 6 可以看出, 在烤烟移栽后 30 d、60 d 和 90 d 时, T 处理的烤烟磷素积累总量、磷素在烤烟根茎叶中的积累量以及分配比例与 CK 处理相比均无显著差异。由此可见, 促根减氮施肥模式可以提高烤烟的氮素积累总量和氮素在叶中的积累量, 对烤烟的磷素积累与分配无明显影响。

2.6 对烤烟钾素积累和分配的影响

由表 7 可以看出, 在烤烟移栽 30 d 后, T 处理的烤烟钾素积累总量、根茎叶中钾素积累量显著高于 CK 处理, 两个处理根茎叶的钾素分配比例无显著差异; 在烤烟移栽后 60 d 时, T 处理的烤烟钾素积累总量、茎叶中钾素积累量显著高于 CK 处理, CK 处理的根分配比例显著高于 T 处理, 两个处理根的钾素积累量和茎叶的分配比例无显著差异; 在烤烟移栽后 90 d 时, T 处理的烤烟叶中钾素积累量显著高于 CK 处理, CK 处理的根积累量和根分配比

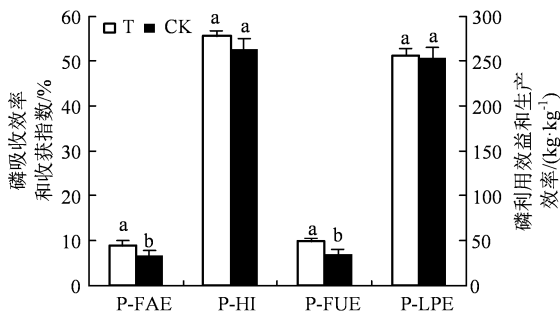
例显著高于 T 处理, 两个处理的钾素积累总量、茎积累量和茎叶的钾素分配比例无显著差异。由此可见, 促根减氮施肥模式可以提高钾素在烟叶中的积累量。



NFAE: 氮肥吸收效率, %; NHI: 氮收获指数, %; NFUE: 氮肥利用效益, kg·kg⁻¹; NLPE: 氮烟叶生产效率, kg·kg⁻¹。

图 1 不同氮肥施用模式的烤烟氮素利用效率比较

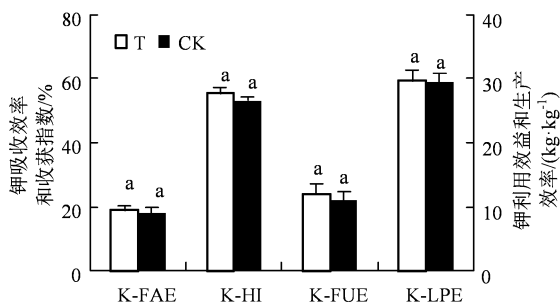
Figure 1 Comparison on N efficiency of flue-cured tobacco in different nitrogen fertilization patterns



N-FAE: 磷肥吸收效率, %; N-HI: 磷收获指数, %; N-FUE: 磷肥利用效益, $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$; N-LPE: 磷烟叶生产效率, $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

图2 不同氮肥施用模式的烤烟磷素利用效率比较

Figure 2 Comparison on P efficiency of flue-cured tobacco in different nitrogen fertilization patterns



N-FAE: 钾肥吸收效率, %; N-HI: 钾收获指数, %; N-FUE: 钾肥利用效益, $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$; N-LPE: 钾烟叶生产效率, $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

图3 不同氮肥施用模式的烤烟钾素利用效率比较

Figure 3 Comparison on K efficiency of flue-cured tobacco in different nitrogen fertilization patterns

2.7 对烤烟养分利用效率的影响

由图1可以看出, T处理的氮肥吸收效率(FAE)和氮肥利用效益(FUE)显著高于CK处理, 分别高21.98%和 $10.39\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 两个处理的氮收获指数及氮烟叶生产效率差异不显著。由图2可知, 从磷肥利用看, T处理的磷肥吸收效率和磷肥利用效益显著高于CK处理, 分别高2.26%和 $13.87\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 两个处理的磷收获指数及磷烟叶生产效率差异不显著。由图3可知, 从钾肥利用方面可以看出, 两个处理的钾吸收效率、收获指数、利用效益和烟叶生产效率差异均不显著。以上说明, 促根减氮施肥模式有利于提高烤烟的氮、磷肥利用效率。

3 讨论与结论

本试验研究表明, 促根减氮施肥模式可以增加烟株的氮素积累量及烟叶中的氮、钾积累量, 有效提高烤烟氮、磷肥的吸收效率和肥料利用效益, 从而促进烤烟根系生长和地上部生长, 增加烟株的干物质积累量及烟茎和烟叶中的干物质积累量。

根系是烤烟产质量形成的基础^[17]。我国南方稻

作烟区烤烟移栽期雨水多, 土壤含水量过高导致烟苗移栽后缓苗期延长。前人一般采用在生长前期额外施加促根剂等措施促进烤烟根系生长^[18-19]。本试验用灌蔸肥代替传统的烟草提苗肥, 增加了硼、镁、锌、钼、黄腐酸、抗病解磷复合功能菌、天然生物抗病素、保水保肥营养增效剂等微量元素、菌剂及营养剂, 并使灌蔸肥提前至移栽期, 分别在烟苗移栽后当天、第7天和第15天施用, 能够有效促进烟苗移栽后根系的快速生长和减少还苗期, 提高根系对肥料的吸收能力, 减少肥料流失。结果表明, 促根减氮施肥模式的根系发达、分布广、根毛多, 显著优于传统施肥模式, 其中黄腐酸成分能够增强烤烟生物酶活性, 增强根系活力^[20], 提高了烤烟根系对土壤养分的吸收能力与吸收面积, 促使烤烟早生快发, 缩短烤烟缓苗期, 这一研究结果与前人相同^[21]。

氮素是一种影响烤烟生长发育和烟叶产量质量^[22-24]的重要营养元素。烤烟生长前期对肥料氮的需求量不大, 在南方多雨烟区, 肥料流失高, 特别是重施基肥氮会导致肥料流失更加严重, 降低肥料利用率, 而追肥氮比例的增加可以提高氮肥利用率^[3-4]。马兴华等^[25]研究认为, 在追肥比例为50%时, 肥料氮的利用率能够达到最高。本试验采用促根减氮施肥模式增加了追肥氮比例, 提高了氮肥吸收效率和氮肥利用效益, 这一结果与前人研究一致^[26-28]。

烤烟大田前期促根可促进烤烟早生快发, 提高烤烟对养分的吸收^[18-19]; 增加追肥氮比例可减少养分流失, 提高肥料利用率^[7-8]。本研究采用的促根减氮模式, 在传统施肥模式基础上减氮22.22%, 基肥无机氮占比由36.4% (传统施肥模式) 减至28.6%, 适当增加追肥氮比例, 氮肥吸收效率提高了21.98%, 氮肥利用效益提高了 $10.39\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 氮肥干物质积累效率提高了34.95%, 其主要原因是根系活力调控促进了根系对养分的吸收, 减少基肥氮和增加追肥氮, 实现了养分释放与烟株养分需求规律相匹配, 促根吸收与减少肥料流失叠加, 有效提高了肥料利用率, 在我国南方多雨的烟稻轮作区具有一定推广价值。

参考文献:

- [1] 李春俭, 张福锁, 李文卿, 等. 我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2):331-337.
- [2] 黄杰, 张敏, 邓永晟, 等. 三类稻作烟田的烤烟生长、物质积累分配及养分利用效率特征[J]. 西南农业学报, 2022, 35(3):655-661.

- [3] 段淑辉, 刘天波, 张璐, 等. 浏阳烟区烤烟氮素吸收利用特征[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5):28-33.
- [4] 汪耀富, 邵孝侯, 孙德梅, 等. 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.
- [5] 邓小华, 杨丽丽, 邹凯, 等. 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.
- [6] 余小芬, 杨树明, 邹炳礼, 等. 云南多雨烟区增密减氮对烤烟产质量及养分利用率的调控效应[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5):327-333.
- [7] 张海伟, 何宽信, 叶为民, 等. 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.
- [8] 李伟, 江智敏, 肖汉乾, 等. 基追氮肥比例对郴州稻茬烤烟生长和产量及质量的影响[J]. 作物研究, 2021, 35(6):576-580.
- [9] 王新月, 肖汉乾, 邓小华, 等. 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.
- [10] 李超, 林建委, 曾繁东, 等. 不同氮肥管理模式对烤烟产量、品质形成和氮肥利用率的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014(5):57-63.
- [11] 陈壮壮, 郭俊杰, 陈泽鹏, 等. 不同施肥模式对烤烟氮钾肥利用效率及产量和品质的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(5):180-188.
- [12] 顾东祥, 汤亮, 曹卫星, 等. 基于图像分析方法的水稻根系形态特征指标的定量分析[J]. 作物学报, 2010, 36(5):810-817.
- [13] 徐文兵, 吴峰, 邓小华, 等. 根区施用不同生物有机肥对烤烟根系生长发育的影响[J]. 中国烟草科学, 2017, 38(5):45-49.
- [14] 国家烟草专卖局. 烟草农艺性状调查测量方法: YC/T 142-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 何铭钰, 肖汉乾, 邓小华, 等. 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.
- [17] 李小勇, 赵铭钦, 王鹏泽, 等. 断根对延边烤烟根系生长和烟叶糖、烟碱及钾含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(5):1-5.
- [18] 张小全, 贾振宇, 李举旭, 等. 不同促根措施对皖南烤烟成熟期钾素代谢的影响[J]. 作物杂志, 2022(3):205-210.
- [19] 彭润润, 李举旭, 郑好, 等. 增施不同促根剂对皖南烤烟生长和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(5):48-57.
- [20] 陈泽斌, 夏体渊, 郭丽红, 等. 黄腐酸钾对烟草云烟 97 生长发育和产量品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(1):52-55.
- [21] 张静静, 自由路, 杨俐苹, 等. 喷施 γ -聚谷氨酸提高夏玉米产量和养分吸收的机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11):1856-1867.
- [22] 张延春, 陈治锋, 龙怀玉, 等. 不同氮素形态及比例对烤烟长势、产量及部分品质因素的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6):81-86.
- [23] 杨成翠, 徐照丽, 史普酉, 等. 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.
- [24] 樊红柱, 曾祥忠, 顾会战, 等. 氮肥形态及运筹对烤烟产量与品质的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(4):879-882.
- [25] 马兴华, 管恩森, 王永, 等. 氮肥后移对烤烟氮素吸收、利用及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(1):36-40.
- [26] 张海伟, 翟晶, 程小强, 等. 不同基追肥比例及施氮量对紫色土旱地烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(2):72-76.
- [27] 马兴华, 石屹, 张忠锋, 等. 施氮量与基追比例对烟叶品质及氮肥利用率的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(4):34-39.
- [28] 袁仕豪, 易建华, 蒲文宣, 等. 多雨地区烤烟对基肥和追肥氮的利用率[J]. 作物学报, 2008, 34(12):2223-2227.