

引用格式:

王霞, 夏冰, 陈舜尧, 张阳, 谢会雅, 王新月, 黄杰, 邓小华. 促早生快发措施对稻茬烤烟生长和养分积累及肥料利用效率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(4): 1–8.

WANG X, XIA B, CHEN S Y, ZHANG Y, XIE H Y, WANG X Y, HUANG J, DENG X H. Effects of early-growth promotion strategies on the growth, nutrient accumulation and fertilizer use efficiency of rice stubble flue-cured tobacco[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(4): 1–8.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



促早生快发措施对稻茬烤烟生长和养分积累及肥料利用效率的影响

王霞¹, 夏冰¹, 陈舜尧², 张阳², 谢会雅², 王新月¹, 黄杰¹, 邓小华^{1*}

(1. 湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南省烟草公司株洲市公司, 湖南 株洲 412400)

摘要: 以‘云烟87’为材料, 通过扩大育苗盘孔径、育苗基质添加菌肥、长叶龄烟苗迟栽、基肥中添加微生物菌剂等技术, 研究不同促早生快发措施对烤烟农艺性状、烤烟干物质积累与分配、养分积累与分配、肥料利用效率的影响。结果表明: T1处理(136孔育苗盘+育苗基质添加“苗强壮”菌肥+“根茎康”微生物菌剂、10叶龄移栽)、T2处理(200孔育苗盘+育苗基质添加“苗强壮”菌肥+“根茎康”微生物菌剂、8叶龄移栽)都有利于促进烤烟地上部的生长, 提高烟株干物质和氮、磷、钾积累量; 与传统种植模式相比, T1处理的氮、磷、钾肥干物质积累效率分别提高了31.10%、31.09%、31.07%, 氮、磷、钾肥烟叶生产效率分别提高33.28%、33.28%、33.19%, 氮、磷、钾肥的吸收效率分别提高34.08%、40.22%、14.79%; T2处理的氮、磷、钾肥干物质积累效率分别提高24.59%、24.58%、24.59%, 氮、磷、钾肥烟叶生产效率分别提高20.25%、20.31%、20.22%, 氮、磷、钾肥的吸收效率分别提高22.76%、38.78%、12.18%。在烟稻复种区, 扩大育苗盘孔径、育苗基质添加菌肥可以培育适合延迟移栽的烟苗, 配合基肥添加微生物菌剂, 有利于促进烤烟早生快发, 具有一定的推广价值。

关键词: 烤烟; 烟稻复种区; 促早生快发; 养分积累与分配

中图分类号: S572.04

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)04-0001-08

Effects of early-growth promotion strategies on the growth, nutrient accumulation and fertilizer use efficiency of rice stubble flue-cured tobacco

WANG Xia¹, XIA Bing¹, CHEN Shuniao², ZHANG Yang², XIE Huiya²,

WANG Xinyue¹, HUANG Jie¹, DENG Xiaohua^{1*}

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Zhuzhou Branch of Hunan Tobacco Company, Zhuzhou, Hunan 412400, China)

Abstract: Using the flue-cured tobacco cultivar ‘Yunyan 87’ as the plant material, techniques including enlarging the aperture of the seedling tray, amending the seedling substrate with bacterial fertilizer, delayed transplanting of long-leaf-age seedlings cultivated under sparse sowing conditions, and incorporating microbial inoculants into the base fertilizer were integrated to promote early growth and rapid establishment. The effects of these different accelerated establishment modes on agronomic traits, dry matter accumulation and distribution, nutrient accumulation and distribution, and fertilizer use efficiency were investigated. The results indicate that T1 treatment(136 well seedling

收稿日期: 2024-12-02

修回日期: 2025-07-11

基金项目: 湖南省烟草公司株洲市公司科技项目(20-001); 吉林烟草工业有限责任公司科技项目(KJXM-2023-15)

作者简介: 王霞(2000—), 女, 云南勐海人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培与调制研究, wanglot0@163.com; *通信作者, 邓小华, 博士, 教授, 主要从事烟草科学与工程技术研究, yzdxh@163.com

tray+seedling substrate amended with “Miaoqiangzhuang” bacterial fertilizer+ “Genjangkang” microbial inoculant, transplanted at 10-leaf stage), T2 treatment(200 well seedling tray+seedling substrate amended with “Miaoqiangzhuang” bacterial fertilizer+ “Genjangkang” microbial inoculant, transplanted at 8-leaf stage) both promoted aboveground growth of tobacco, and enhanced the accumulation of dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium in the plants. Compared with traditional planting methods, the T1 treatment resulted in higher efficiency metrics. The dry matter accumulation efficiencies of N, P and K fertilizers increased by 31.10%, 31.09% and 31.07%, respectively. Corresponding increases in tobacco leaf production efficiencies were 33.28%, 33.28% and 33.19%, while absorption efficiencies rose by 34.08%, 40.22% and 14.79%, respectively. The T2 treatment also showed improvements: dry matter accumulation efficiencies increased by 24.59%, 24.58% and 24.59%; leaf production efficiencies by 20.25%, 20.31% and 20.22%; and absorption efficiencies by 22.76%, 38.78% and 12.18%. In the tobacco-rice double cropping area, a strategy involving large-cell seedling trays, bacterial fertilizer amendment in seedling substrate to raise seedlings suitable for delayed transplanting, and microbial inoculants in base fertilizer promoted early and rapid tobacco establishment, showing considerable promise for widespread extension

Keywords: tobacco; tobacco-rice double cropping area; early-growth promotion; nutrient accumulation and distribution

烤烟生长和干物质积累是烟叶品质和产量形成的基础^[1], 烤烟养分利用效率是评价烤烟肥料农学效率的重要指标^[2]。近年来, 湖南稻作烟区常遇暖冬年, 烤烟移栽过早, 伸根期的低温阴雨致使烤烟早花^[3-4], 影响烟叶产量和品质。为解决这个问题, 需筛选出一种适用于稻茬烟区的、能促进烟苗早期快速生长发育的办法, 使烟苗有更宽裕的移栽时间, 适合延迟移栽, 以便避开低温阴雨天气的影响, 提高烟叶的产量和品质。前人研究表明, 采用减氮施肥模式^[5]、粉垄耕作方式^[6]、在基肥中添加微生物菌剂^[7-8]、增施生物炭^[9-11]可促进烤烟根系发育和地上部生长, 有利于烤烟干物质和氮、磷、钾养分积累; 减少育苗盘孔数^[12]、在育苗时采用微生物菌剂^[13]能提高烟苗质量, 促进烤烟生长; 在烤烟基肥中配施微生物菌剂也可促进烤烟早生快发^[14]。但有关稀播施配微生物菌剂以培育适合延迟移栽的长叶龄烟苗, 并在基肥中配施微生物菌剂以促进稻茬烤烟早生快发的研究报道较少。本研究以‘云烟87’为试验材料, 研究扩大育苗盘孔径、育苗基质添加微生物菌剂、培育长叶龄烟苗、基肥添加微生物菌剂等技术对烤烟生长、干物质积累与分配、养分积累与分配、肥料利用效率的影响, 旨在为湖南稻作烟区烤烟生产可持续发展提供参考。

1 试验地概况

2023 年在湖南省株洲市茶陵县腰陂镇(113°45'0"E, 26°46'59"N)开展试验。试验田为烟稻复种烟田的水稻土。地处亚热带季风湿润气候区, 年均日照率37%, 年均日照时数1 744.7 h, 年平均

气温17.9 °C, 年均降水量1 423 mm, 太阳辐射总量470.24 J/cm³, 海拔高度870 m, 无霜期290 d。土壤pH为5.82, 有机质的质量分数为44.23 g/kg, 碱解氮、有效磷、速效钾的质量分数分别为34.72、60.22、250.14 mg/kg。

2 材料与方法

2.1 材料

试验烤烟品种为‘云烟87’。烟草专用基肥中N、P₂O₅、K₂O的质量比为7:17:8, 总养分含量≥29%, 硝态氮与总氮之比≥20%, 有机质含量≥15%; 生物发酵饼肥的总养分含量≥8%, 有机质含量≥70%; 硫酸钾中水溶性氧化钾(K₂O)含量≥52.0%, 氯含量≤1.0%, 硫含量≥17.5%; 烟草专用提苗肥中N、P₂O₅、K₂O的质量比为20:9:0, 总养分含量≥29%, 硝态氮与总氮之比≥40%; 烟草专用追肥中N、P₂O₅、K₂O的质量比为11:0:31, 总养分含量≥42%, 硝态氮与总氮之比≥50%。“苗强壮”菌剂(有效活菌数≥100亿个/g)、“根茎康”微生物菌剂(有效活菌数≥30亿个/g)由北京恩格兰环境技术有限责任公司提供。

2.2 试验设计

试验设3个处理。其中, T1处理采用136孔育苗盘(尺寸为30 mm×30 mm)漂浮育苗, 育苗基质添加“苗强壮”菌肥200 g/kg, 10叶龄移栽, 添加“根茎康”微生物菌剂30 kg/hm², 与基肥混合均匀条施; T2处理采用200孔育苗盘(尺寸为23 mm×23 mm)漂浮育苗, 育苗基质添加“苗强壮”菌肥200 g/kg, 8叶龄移栽, 添加“根茎康”微生物菌剂30 kg/hm², 与基肥

混合均匀条施；CK处理采用传统栽培模式(200孔育苗盘漂浮育苗，基质中不添加“苗强壮”菌肥，基肥不添加“根茎康”微生物菌剂)。采用大区试验，每个大区1 500 m²，3次重复。总施肥量2 475 kg/hm²，其中氮、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)养分投入量分别为160.50、159.75、450.50 kg/hm²，氮、磷、钾质量比为1.000 : 0.995 : 2.870。烟草专用基肥900 kg/hm²、生物发酵菜籽饼肥450 kg/hm²，在烤烟移栽前10 d作基肥条施。提苗肥于移栽当天(22.5 kg/hm²)和移栽后第7天(52.5 kg/hm²)分2次兑水浇施；烟草专用追肥和硫酸钾分别于移栽后第15天(专用追肥255 kg/hm²、硫酸钾150 kg/hm²)、第30天(专用追肥300 kg/hm²、硫酸钾0 kg/hm²)和第40天(专用追肥195 kg/hm²、硫酸钾150 kg/hm²)兑水浇施。于3月28日移栽T2、CK烟苗，7 d后移栽T1处理烟苗。种植密度为50 cm(株距)×120 cm(行距)，单垄栽培。其他田间管理和生产措施按株洲市优质烤烟生产技术执行。

2.3 主要测定指标与方法

2.3.1 烟株生长指标的考查

每个处理选择具有代表性的5株烟株进行观察，分别在移栽后的团棵期、打顶期、圆顶期，按照《烟草农艺性状调查测量方法》^[15]测定烟株的株高、茎围、节距、叶片数、最大叶叶长、最大叶叶宽、最大叶叶面积等生长指标。

2.3.2 烟株干物质和氮、磷、钾养分检测

在团棵期、打顶期、圆顶期每个处理选取5株烟株，洗净根系泥土，分离根、茎和叶，于烘箱中105 ℃杀青30 min，然后70 ℃烘干至恒重，称量烟

株不同器官的干物质质量。样品使用H₂SO₄-H₂O₂法消煮，采用凯氏定氮法测定全氮含量，采用钼锑抗比色法测定全磷含量，采用火焰光度法测定全钾含量；按照文献[16-17]的方法计算烟株各器官氮、磷、钾积累量和氮、磷、钾的分配比例。

2.3.3 烟株养分效率的比较

借鉴文献[18]的方法，统计氮、磷、钾肥干物质积累效率和氮、磷、钾肥烟叶生产效率以及氮、磷、钾肥烟株吸收效率。

2.4 数据分析

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。

3 结果与分析

3.1 对烤烟地上部生长的影响

由表1可知，在烟株团棵期，T1、T2处理的叶片数较CK的分别多16.70%、20.00%，其中T2处理的显著多于CK的；T1、T2处理的最大叶叶长显著长于CK的，分别较CK的长7.75%、8.54%；T1、T2处理最大叶叶宽较CK的分别宽8.26%、15.60%，最大叶叶面积较CK的分别大16.71%、25.40%，其中T2处理的显著大于CK的。在烟株打顶期，T1、T2处理的株高较CK的分别高17.53%、5.15%，最大叶叶长较CK的分别长14.02%、0.97%，最大叶叶宽较CK的分别宽3.77%、9.44%，最大叶叶面积显著大于CK的，较CK的分别大18.36%、11.17%。在烟株圆顶期，T1处理的株高显著高于CK的，T2处理的

表1 不同处理的烟株生长指标

Table 1 Growth parameters of tobacco plant under different treatments								
取样 时期	处理	株高/cm	茎围/cm	节距/cm	叶片数	最大叶		
						长/cm	宽/cm	面积/cm ²
团棵期	T1	(7.85±0.15)b	4.00±0.20	0.68±0.02	(11.67±0.58)ab	(34.05±0.45)a	(11.80±0.60)ab	(275.47±17.64)ab
	T2	(10.35±0.15)a	4.40±0.30	0.86±0.02	(12.00±0.00)a	(34.30±0.60)a	(12.60±0.70)a	(295.98±11.27)a
	CK	(8.20±0.70)ab	3.60±0.10	0.82±0.07	(10.00±0.00)b	(31.60±0.60)b	(10.90±0.10)b	(236.02±2.32)b
打顶期	T1	(85.50±1.30)a	8.55±0.05	4.89±0.22	17.50±0.50	(81.35±1.15)a	(31.10±0.80)ab	(1 733.38±20.09)a
	T2	(76.50±1.10)b	8.75±0.05	4.37±0.07	17.50±0.50	(72.04±5.40)b	(32.80±0.30)a	(1 628.14±13.27)b
	CK	(72.75±0.25)b	8.45±0.15	4.28±0.02	17.00±0.00	(71.35±0.85)b	(29.97±0.25)b	(1 464.54±29.67)c
圆顶期	T1	(110.55±0.75)a	10.80±0.09	5.82±0.04	(19.00±0.00)a	(87.10±1.80)a	33.80±0.30	(2 017.76±59.60)a
	T2	(109.05±1.55)b	10.80±0.12	5.90±0.24	(18.50±0.50)ab	(83.10±0.40)b	31.80±1.10	(1 810.76±53.93)b
	CK	(109.50±0.60)b	10.05±0.15	6.26±0.15	(17.50±0.50)b	(76.95±0.65)c	32.10±0.60	(1 692.58±17.34)c

注：同列不同小写字母表示同一取样时期处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

株高较CK的低0.41%，T2处理和CK没有显著差异；T1、T2处理的叶片数较CK的分别多8.57%、5.71%，T1处理的显著多于CK的；T1、T2处理的最大叶叶长、最大叶叶面积均与CK的差异显著。由此可见，T1、T2处理烟株地上部的生长状况优于CK的，其中团棵期T1处理烟株的地上部分的生长状况要略差于T2处理的，而打顶期和圆顶期T1处理烟株地上部分的生长状况优于T2处理的。

3.2 对烤烟干物质积累和分配的影响

由表2可知，在烟株团棵期，T1、T2处理烟株的总干物质积累量显著高于CK的，分别较CK的高37.90%、17.36%；T1、T2处理的烟株根、茎、叶的干物质积累量显著高于CK的，各处理根、茎、叶干物质的分配比例无显著差异。在烟株打顶期，T1、T2处理的总干物质积累量显著高于CK的，分别较CK的高12.30%、3.69%；T1、T2处理根的干物质积累量均高于CK的，分别较CK的高31.52%、29.47%；

茎的干物质积累量低于CK的，分别较CK低21.87%、17.48%；叶的干物质积累量显著高于CK的，分别较CK的高27.23%、8.64%；T1、T2处理根、叶的干物质分配比例高于CK的，茎的干物质分配比例低于CK的。在烟株圆顶期，T1、T2处理的总干物质积累量显著高于CK的，分别较CK的高31.09%、24.59%；T1、T2处理根的干物质积累量显著高于CK的，分别较CK的高31.41%、23.45%；T1、T2处理茎的干物质积累量无显著差异，但均高于CK的，分别较CK高27.96%、31.10%；T1、T2处理叶的干物质积累量显著高于CK的，分别较CK的高33.28%、20.27%；T2处理茎的干物质分配比例高于T1处理的，与CK的无显著差异；T1处理叶的干物质分配比例与CK的没有显著差异，T2处理的显著低于CK的，较CK的低3.48%。由此可见，T1、T2处理能显著提高烟株的总干物质积累量，其中T1处理的效果较好。

表2 不同处理的烟株干物质积累和分配

Table 2 Dry matter accumulation and distribution in tobacco plants under different treatments

取样 时期	处理	总干物质积累量/ (g·株 ⁻¹)	干物质积累量/(g·株 ⁻¹)			干物质分配比例/%		
			根	茎	叶	根	茎	叶
团棵期	T1	(10.88±0.56)a	(1.13±0.08)a	(1.45±0.12)a	(8.30±0.36)a	10.34±0.17	13.32±0.43	76.34±0.59
	T2	(9.26±0.45)b	(0.94±0.11)b	(1.12±0.09)b	(7.20±0.37)b	10.13±0.55	12.04±1.34	77.83±0.22
	CK	(7.89±0.24)c	(0.74±0.11)c	(0.85±0.11)c	(6.30±0.10)c	9.38±1.40	10.77±1.13	79.85±1.27
打顶期	T1	(94.92±1.94)a	(17.94±0.37)a	(21.01±0.43)b	(55.97±1.15)a	(18.90±0.11)b	(22.13±0.01)c	(58.97±0.01)a
	T2	(87.64±0.30)b	(17.66±0.38)a	(22.19±0.37)b	(47.79±0.29)b	(20.15±0.37)a	(25.32±0.50)b	(54.53±0.14)b
	CK	(84.52±1.04)c	(13.64±0.58)b	(26.89±0.17)a	(43.99±0.63)c	(16.13±0.49)c	(31.82±0.59)a	(52.05±0.11)c
圆顶期	T1	(377.98±4.08)a	(86.40±1.10)a	(122.50±0.80)a	(169.08±2.18)a	22.86±0.05	(32.41±0.14)b	(44.73±0.09)a
	T2	(359.24±3.64)b	(81.17±0.34)b	(125.50±3.10)a	(152.57±0.87)b	22.60±0.32	(34.93±0.51)a	(42.47±0.19)b
	CK	(288.34±8.67)c	(65.75±3.56)c	(95.73±1.78)b	(126.86±3.34)c	22.79±0.55	(33.21±0.38)ab	(44.00±0.17)a

注：同列不同小写字母表示同一取样时期处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3.3 对烤烟氮积累和分配的影响

由表3可知，在烟株团棵期，T1、T2处理氮积累总量显著高于CK的，分别较CK的高8.98%、6.19%；茎的氮积累量分别较CK的高38.15%、20.41%，叶的氮积累量分别较CK的高6.24%、4.69%；3个处理根、茎、叶的氮分配比例无显著差异。在烟株打顶期，T1、T2处理氮积累总量分别较CK的高4.48%、0.24%，其中，T2和CK的无显著差异；T1、T2处理根部的氮积累量显著高于CK的，分别较CK的高9.19%、4.00%；T1处理茎的氮积累量显著高于CK的，T2处理较CK的低3.47%，但差

异不显著；各处理叶部的氮积累量无显著差异，根、茎、叶的氮分配比例也没有显著差异。在烟株圆顶期，T1、T2处理氮积累总量均显著高于CK的，较CK的分别高34.08%、22.76%，根部的氮积累量也显著高于CK的，较CK的分别高33.84%、45.72%，茎部的氮积累量显著低于CK的，较CK的分别低15.02%、20.50%，叶部的氮积累量显著高于CK的，较CK的分别高78.37%、50.28%；T1、T2处理茎的氮分配比例显著低于CK的，叶的氮分配比例显著高于CK的。由此可见，处理T1、T2可以提高烤烟的氮积累总量和氮素在根、叶中的氮积累量。

表3 不同处理的烟株氮积累和分配

Table 3 Nitrogen accumulation and distribution in tobacco plants under different treatments

取样 时期	处理	氮积累总量/ (g·株 ⁻¹)	氮积累量/(g·株 ⁻¹)			氮分配比例/%		
			根	茎	叶	根	茎	叶
团棵期	T1	(158.42±3.58)a	9.86±1.65	(11.37±2.07)a	(137.19±2.86)a	6.21±0.12	7.15±1.25	86.63±1.37
	T2	(154.37±3.99)a	9.28±0.21	(9.91±0.84)ab	(135.18±3.08)a	6.02±0.33	6.41±1.18	87.57±1.15
	CK	(145.37±2.85)b	8.01±1.00	(8.23±0.20)b	(129.13±3.73)b	5.52±0.85	5.66±1.03	88.82±1.83
打顶期	T1	(3 035.74±73.76)a	(283.19±2.23)a	(571.53±20.26)a	2 181.02±15.64	9.33±0.26	18.85±2.01	71.82±2.25
	T2	(2 912.41±39.69)b	(269.72±3.19)b	(483.03±44.90)b	2 159.66±41.57	9.26±0.35	16.58±1.39	74.16±1.69
	CK	(2 905.52±26.97)b	(259.35±4.57)c	(500.37±37.46)b	2 145.80±28.05	8.99±1.38	17.24±0.86	73.77±2.09
圆顶期	T1	(4 836.13±65.52)a	(1 000.88±58.46)a	(1 150.90±51.45)b	(2 684.35±80.02)a	20.73±1.72	(23.81±1.10)b	(55.46±1.81)a
	T2	(4 428.02±33.84)b	(1 089.73±33.64)a	(1 076.64±32.98)b	(2 261.65±44.20)b	24.18±5.43	(24.31±0.51)b	(51.51±5.56)a
	CK	(3 606.95±86.66)c	(747.80±63.35)b	(1 354.24±25.19)a	(1 504.91±61.51)c	20.77±0.92	(37.30±3.60)a	(41.93±2.87)b

注：同列不同小写字母表示同一取样时期处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3.4 对烤烟磷积累和分配的影响

由表4可知，在烟株团棵期，T1、T2处理的磷积累总量均显著高于CK的，分别较CK的高23.38%、20.67%；T1、T2处理根的磷积累量分别较CK的高37.50%、20.19%，2个处理茎的磷积累量无显著差异，叶的磷积累量均高于CK的，分别较CK的高19.63%、17.88%；各处理根的磷分配比例无显著差异，T1、T2处理茎的磷分配比例显著高于CK的，而叶的磷分配比例显著低于CK的。在烟株打顶期，T1和T2处理的磷积累总量较CK分别高15.02%、7.91%；T1、T2

处理根、茎、叶的磷积累量均显著高于CK的，其中叶的磷积累量较CK的分别高14.30%、3.88%；T1、T2处理根、茎、叶的磷分配比例与CK的均无显著差异。在烟株圆顶期，T1、T2处理的磷积累总量均显著高于CK的，分别较CK的高40.22%、38.77%；T1、T2处理的根、茎、叶磷积累量均显著大于CK的；各处理根的磷分配比例无显著差异，T1、T2处理茎的磷分配比例小于CK的，而叶的磷分配比例大于CK的。由此可见，处理T1、T2可以显著增加磷积累总量和磷元素在根、茎、叶中的积累量。

表4 不同处理的烟株磷积累和分配

Table 4 Phosphorus accumulation and distribution in tobacco plants under different treatments

取样 时期	处理	磷积累总量/ (g·株 ⁻¹)	磷积累量/(g·株 ⁻¹)			磷分配比例/%		
			根	茎	叶	根	茎	叶
团棵期	T1	(22.80±0.90)a	(1.43±0.08)a	(2.23±0.15)a	(19.14±0.69)a	6.28±0.10	(9.76±0.32)a	(83.96±0.42)b
	T2	(22.30±2.42)a	(1.25±0.43)ab	(2.19±0.23)a	(18.86±2.22)a	5.50±1.45	(10.00±2.27)a	(84.50±0.83)b
	CK	(18.48±0.51)b	(1.04±0.18)b	(1.44±0.04)b	(16.00±0.37)b	5.63±0.90	(7.81±0.04)b	(86.56±0.86)a
打顶期	T1	(263.93±6.55)a	(31.44±2.17)a	(54.78±8.19)a	(177.71±8.64)a	12.00±1.53	20.69±1.00	67.31±0.73
	T2	(247.61±3.37)b	(31.88±0.62)a	(54.21±1.38)a	(161.52±2.76)b	12.88±0.43	21.89±0.30	65.23±0.32
	CK	(229.46±10.31)c	(28.19±1.78)b	(45.79±2.62)b	(155.48±12.20)c	12.29±0.80	20.01±1.86	67.70±2.52
圆顶期	T1	(732.18±31.56)a	(177.96±3.45)a	(194.18±25.75)a	(360.04±13.07)a	24.33±0.82	(26.47±2.55)b	(49.21±1.80)a
	T2	(724.63±33.08)a	(178.74±8.16)a	(191.98±33.43)a	(353.91±10.97)a	24.68±0.98	(26.41±3.55)b	(48.91±2.68)a
	CK	(522.18±46.84)b	(123.86±6.10)b	(156.99±34.40)b	(241.33±7.26)b	23.78±1.20	(29.84±3.72)a	(46.38±2.68)b

注：同列不同小写字母表示同一取样时期处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3.5 对烤烟钾积累和分配的影响

由表5可知，在烟株团棵期，T1、T2处理的钾积累总量均高于CK的，其中T2和CK的差异不显著；T1、T2处理根、茎、叶的钾积累量均高于CK的，其中根部较CK的分别高34.16%、11.50%，茎部较CK的分别高51.61%、20.79%，叶部较CK的分别高

20.63%、1.43%；各处理根的钾分配比例无显著差异，T1、T2处理茎的钾分配比例大于CK的，叶的钾分配比例小于CK的。在烟株打顶期，T1、T2处理的钾积累总量均大于CK的，分别较CK的多36.45%、31.46%；T1、T2处理的根部钾积累量分别较CK的高17.61%、39.67%，茎部的钾积累量较CK

的低, 叶部的钾积累量分别较CK的高70.79%、53.43%; T1、T2处理根部的钾分配比例无显著差异, 茎的钾分配比例小于CK的, 叶的钾分配比例大于CK的。在烟株圆顶期, T1、T2处理的钾积累总量均显著高于CK的, 分别较CK的高14.79%、12.18%, 根、茎、叶的钾积累量均高于CK的, T1、T2处理

根部的较CK的分别高31.42%、17.31%, 茎部的较CK的分别高7.76%、6.04%, 叶部的较CK的分别高16.33%、15.46%; 各处理根、叶的钾分配比例无显著差异, T1、T2处理茎部的钾分配比例小于CK的。由此可见, T1、T2处理可以显著提高烤烟的钾积累总量, T1处理的提升效果较好。

表5 不同处理的烟株钾积累和分配

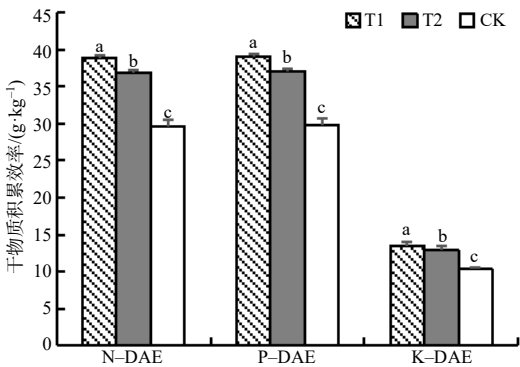
Table 5 Potassium accumulation and distribution in tobacco plants under different treatments								
取样时期	处理	钾积累总量/ (g·株 ⁻¹)	钾积累量/(g·株 ⁻¹)			钾分配比例/%		
			根	茎	叶	根	茎	叶
团棵期	T1	(450.83±23.76)a	(23.33±2.02)a	(55.14±6.06)a	(372.36±16.15)a	5.17±0.28	(12.21±0.71)a	(82.62±0.87)b
	T2	(376.41±20.62)b	(19.39±1.21)ab	(43.93±4.58)b	(313.09±18.02)b	5.17±0.62	(11.66±0.72)ab	(83.17±0.66)ab
	CK	(362.45±26.65)b	(17.39±2.80)b	(36.37±3.08)c	(308.69±23.13)b	4.81±0.75	(10.03±0.12)b	(85.16±0.70)a
打顶期	T1	(5 373.73±40.23)a	(421.10±14.88)b	(1 246.41±25.22)b	(3 706.22±37.69)a	7.84±0.33	(23.19±0.34)c	(68.97±0.34)a
	T2	(5 177.23±46.31)b	(500.11±10.76)a	(1 347.52±73.41)ab	(3 329.60±19.86)b	9.66±0.28	(26.02±1.19)b	(64.32±0.91)b
	CK	(3 938.29±73.56)c	(358.06±15.23)c	(1 410.14±24.90)a	(2 170.09±163.43)c	9.10±0.58	(35.84±1.29)a	(55.06±1.84)c
圆顶期	T1	(9 638.44±17.85)a	(1 196.02±15.23)a	(3 347.69±71.18)a	(5 094.73±886.66)a	12.50±1.33	(34.84±4.49)b	52.66±5.27
	T2	(9 418.87±35.23)b	(1 067.60±97.02)ab	(3 294.48±81.38)ab	(5 056.80±184.34)a	11.34±1.14	(34.98±0.57)b	53.68±1.47
	CK	(8 396.39±22.13)c	(910.09±49.22)b	(3 106.74±57.61)b	(4 379.56±115.31)b	10.83±0.30	(37.01±0.29)a	52.16±0.01

注: 同列不同小写字母表示同一取样时期处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3.6 对烤烟氮、磷、钾肥利用效率的影响

3.6.1 对烤烟氮、磷、钾肥干物质积累效率的影响

由图1可知, T1、T2处理的氮肥干物质积累效率显著高于CK的, 较CK的分别高31.10%、24.59%; 磷肥干物质积累效率也显著高于CK的, 较CK的分别高31.09%、24.58%; T1、T2处理的钾肥干物质积累效率与CK的差异均显著, 分别较CK的高31.07%、24.59%。由此可见, T1、T2处理能有效提高氮、磷、钾肥干物质积累效率, 其中以T1处理的效果较好。



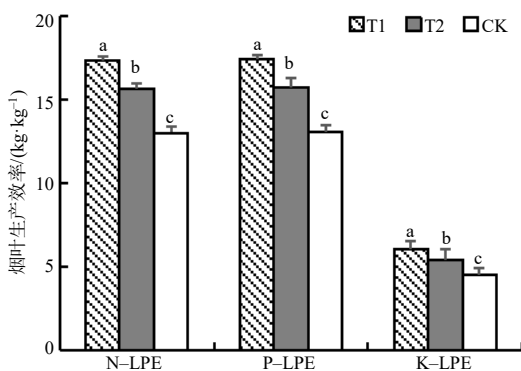
N-DAE表示氮肥干物质积累效率; P-DAE表示磷肥干物质积累效率; K-DAE表示钾肥干物质积累效率; 同一指标不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

图1 不同处理的氮、磷、钾肥干物质积累效率

Fig.1 Dry matter accumulation efficiencies related to N, P, K fertilizer under different treatments

3.6.2 对烤烟氮、磷、钾肥烟叶生产效率的影响

由图2可知, T1、T2处理的氮肥烟叶生产效率显著高于CK的, 分别较CK的高33.28%、20.25%; 磷肥烟叶的生产效率也显著高于CK的, 分别较CK的高33.28%、20.31%; 钾肥烟叶生产效率也显著高于CK的, 较CK的分别高33.19%、20.22%。由此可见, T1、T2处理能有效提高氮、磷、钾肥的烟叶生产效率, T1处理的效果更好。



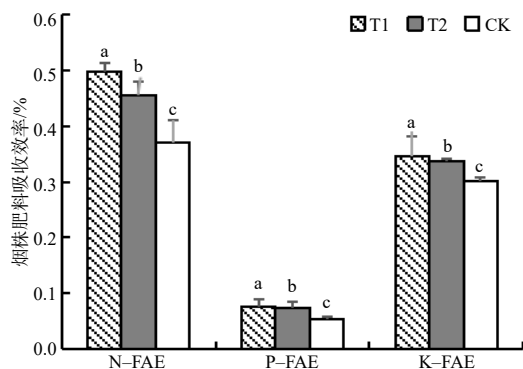
N-LPE表示氮肥烟叶生产效率; P-LPE表示磷肥烟叶生产效率; K-LPE表示钾肥烟叶生产效率; 同一指标不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

图2 不同处理的氮、磷、钾肥烟叶生产效率

Fig.2 Tobacco leaf production efficiencies related to N, P, K fertilizer under different treatments

3.6.3 对烤烟氮、磷、钾肥烟株吸收效率的影响

由图3可知, T1、T2处理烟株对氮肥的吸收效率显著高于CK的, 较CK的分别高34.08%、22.76%; 对磷肥的吸收效率也显著高于CK的, 较CK的分别高40.22%、38.78%; 对钾肥的吸收效率也显著高于CK的, 较CK的分别高14.79%、12.18%。由此可见, T1、T2处理能有效提高烟株对氮、磷、钾肥的吸收效率, 其中T1处理的效果最好。



N-FAE表示氮肥吸收效率; P-FAE表示磷肥吸收效率; K-FAE表示钾肥吸收效率; 同一指标不同字母表示处理间的差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

图3 不同处理的氮、磷、钾肥烟株吸收效率

Fig.3 N, P and K absorption efficiency in tobacco plants under different fertilizer treatments

4 讨论

湖南烟稻复种区在烤烟移栽期常遇低温阴雨天气, 导致还苗期长和伸根期生长缓慢, 适当延迟移栽可避免低温阴雨天气对烟苗的影响^[19]。培育可延迟移栽的长叶龄烟苗, 必须给烟苗生长后期创造一个良好的环境。育苗盘的孔径尺寸决定着烟苗根系的生长空间, 相关研究^[20-21]表明, 减少育苗盘孔数, 扩大了根系可利用的发育空间, 有利于促进烟苗根系的生长, 所培育的烟苗素质较好, 直接影响移栽后烟叶的生长。本研究采用136孔育苗盘育苗, 扩大了根系发育的空间, 避免了根系间的缠绕, 增强了烟苗根部的通风性, 有利于培育壮苗和提高烟苗素质, 改善烟株农艺性状, 提高干物质积累量和烟叶生产效率。

育苗基质拌菌对烤烟农艺性状具有促进作用, 在一定程度上还能抑制病害的发生^[22]。梁辉等^[23]研究表明, “苗强壮”育苗基质拌菌技术能优化根际微生态环境, 有效提升苗床烟苗质量, 提高田间烟株抗病性。有研究^[24-29]表明, 微生物菌剂能提高作物根系有益菌的活度, 活化基质中的养分, 在基质中添加微生物菌剂可提高基质中微生物的数量和

整体活性, 提高基质肥力, 重构健康的环境, 从而促进漂浮育苗烤烟植株的生长及其对氮、磷、钾养分的吸收, 提升根系活力, 防控烟草的“两黑一青”, 提高烟叶产量和品质。本研究中, 使用“苗强壮”菌剂拌烟苗基质, 基肥中添加“根茎康”菌剂, 可构建早期的生物屏障^[30], 在培育壮苗的前提下, 将大量的有益菌补充到育苗基质中, 有利于在烟苗周围形成保护屏障, 抑制有害微生物的生长, 促进烟苗根系生长, 为烟株的健康生长提供了稳定的环境。

气候条件对烟株移栽、生长和烟叶品质及风格形成有重要影响^[31-33], 适当延迟移栽有助于避免阴雨天气对烤烟生长的影响^[34]。有研究^[35]表明, 增加育苗盘孔径, 在基质中添加微生物菌剂, 培育能够在更长时间段内进行移栽的矮茎壮根优质苗可提高烤烟产量和品质, 改善烟叶的物理特性和化学成分可用性。由于烟稻季节矛盾^[36], 目前湖南稻作烟区主要采用两段式育苗培育长叶龄烟苗来实现延迟移栽^[13], 但两段式育苗的成本高。本研究通过扩大育苗盘孔径, 在基质中添加“苗强壮”菌肥, 并在基肥中添加“根茎康”微生物菌剂, 培育适合延迟移栽的烟苗, 以应对稻作烟区移栽时的低温阴雨天气所造成的负面影响, 既能够解决两段式育苗成本高的问题, 又能促进烟苗的根系生长, 提高烟苗素质, 增强移栽后烟株的抗病能力, 促进烟苗的早生快发, 提高烤烟的干物质积累量和烟叶的生产效率, 增强烤烟对养分的吸收能力, 为烟叶的优质丰产打下基础。

5 结论

在烟稻复种区, 可通过扩大育苗盘孔径(采用136孔育苗盘)、在育苗基质添加“苗强壮”菌肥和“根茎康”微生物菌剂等措施培育适合10叶龄移栽的烟苗, 该措施不仅能促进烤烟的地上部生长, 还能提高烟株干物质和氮、磷、钾的积累量以及氮、磷、钾肥干物质积累效率、烟叶生产效率、吸收效率, 有利于促进烤烟早生快发, 具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 黄琼慧, 邓小华, 陈舜尧, 等. 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.
- [2] 刘凌华, 谭志鹏, 李思军, 等. 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[J]. 热带作物学报, 2025, 46(7): 1702-1715.
- [3] 罗冯凌云, 郭圣军, 简予, 等. 复合制剂对烟草低温早花的改善及烤烟成分的影响[J]. 湖南农业科学,

- 2023(5): 42–44, 48.
- [4] 周孚美, 陈小虎, 刘波, 等. 耒阳市烤烟主要生育期与气象因素的相关性分析[J]. 湖南农业科学, 2019(10): 24–28.
- [5] 侯建林, 李思军, 何铭钰, 等. 不同施肥模式对稻茬烤烟生长和干物质积累及产质量的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(33): 39–43.
- [6] 邓小华, 王新月, 杨红武, 等. 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.
- [7] 于大鹏, 谢小丽, 郭伟, 等. 优化基肥和提苗肥对稻茬烤烟早生快发的影响[J]. 作物研究, 2023, 37(6): 600–607.
- [8] FENG J N, CHEN L L, XIA T Y, et al. Microbial fertilizer regulates C : N : P stoichiometry and alleviates phosphorus limitation in flue-cured tobacco planting soil[J]. Scientific Reports, 2023, 13: 10276.
- [9] YANG Y F, AHMED W, YE C H, et al. Exploring the effect of different application rates of biochar on the accumulation of nutrients and growth of flue-cured tobacco(*Nicotiana tabacum*)[J]. Frontiers in Plant Science, 2024, 15: 1225031.
- [10] BINDU J P, REDDY D D, SANTHY P, et al. Effect of chemical fertilizer and tobacco stalks-derived biochar on FCV tobacco yield, nutrient use efficiency and carbon management index in a light textured alfisol[J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2023, 35(2): 88–107.
- [11] LIU X Z, MA Y Y, MANEVSKI K, et al. Biochar and alternate wetting-drying cycles improving rhizosphere soil nutrients availability and tobacco growth by altering root growth strategy in Ferralsol and Anthrosol[J]. Science of The Total Environment, 2022, 806: 150513.
- [12] 高华军, 林北森, 贺远, 等. 不同规格漂浮育苗盘对雪茄烟苗素质和膜上移栽烟叶产质量的影响[J]. 河南农业科学, 2021, 50(10): 44–50.
- [13] 王新月, 张阳, 蔡奇, 等. 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.
- [14] 全柯颖, 蔡奇, 张阳, 等. 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.
- [15] YC/T 142—2010. 烟草农艺性状调查测量方法[S].
- [16] 李伟, 夏冰, 金江华, 等. 根区施用微生物菌肥对稻茬烤烟生长和干物质与养分积累的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2025(3): 126–135.
- [17] 张阳, 黄琼慧, 谢会雅, 等. 长叶龄烟苗培育措施对大田烤烟干物质和养分积累及肥料利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2023, 38(S1): 280–291.
- [18] 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.
- [19] 杨园园, 杨军杰, 史宏志, 等. 浓香型产区不同移栽期气候配置及对烟叶质量特色的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(2): 40–52.
- [20] 陈东, 邹静, 郭刚刚, 等. 不同规格育苗盘对烟苗素质及主要生理特性的影响[J]. 作物杂志, 2023(1): 129–135.
- [21] 唐明, 杨建, 谢冰, 等. 育苗盘规格对烟苗生长发育及烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(7): 27–29, 40.
- [22] 扈雪琴, 刘晓姣, 江其朋, 等. 烟草育苗基质拌菌对烟草生长及青枯病的影响[J]. 植物医生, 2019(4): 28–32.
- [23] 梁辉, 王勇, 江连强, 等. 育苗基质拌菌对凉山州烟株生长和病害防控效果研究[J]. 植物医学, 2022, 1(3): 25–33.
- [24] 潘锋华, 艾永峰, 熊承飞, 等. 施用不同微生物肥对烤烟生长发育及品质的影响[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(20): 29–30.
- [25] 傅献忠, 张炜, 樊苗苗. 微生物菌剂对烟苗生长发育的影响[J]. 安徽农学通报, 2024, 30(14): 35–38.
- [26] 李岱黛, 耿宗泽, 李泽慧, 等. 不同微生物菌剂对烤烟漂浮育苗生长和养分吸收的影响[J]. 绿色科技, 2024, 26(1): 144–149.
- [27] 黄晓杰, 付丽美, 李思颖, 等. 不同微生物菌剂对烟株生长及“两黑一青”防治效果探究[J]. 中国农学通报, 2023, 39(27): 133–139.
- [28] 刘昭伟, 邹佳怡, 黄子彧, 等. 氮肥减量配施微生物菌剂对烤烟生长发育的影响[J]. 作物研究, 2023, 37(5): 503–510, 534.
- [29] 徐凤丹, 李亮, 张翔, 等. 高碳基肥与微生物菌剂配施对土壤肥力及烟叶产质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(1): 77–83.
- [30] 丁伟, 刘晓姣. 植物医学的新概念: 生物屏障[J]. 植物医生, 2019(1): 1–6.
- [31] 顾永丽, 李冬, 唐军, 等. 移栽期和移栽方式组合对烤烟生长及产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(11): 32–35.
- [32] 严若松, 彭雨情, 苟正贵, 等. 移栽期对烤烟新品种湘烟7号产质量的影响[J]. 耕作与栽培, 2025, 45(2): 48–52, 61.
- [33] 邓小华, 谢鹏飞, 彭新辉, 等. 土壤和气候及其互作对湖南烤烟部分中性挥发性香气物质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2063–2071.
- [34] 肖志鹏, 李建华, 王卫民, 等. 控水促根和稀播培育长叶龄壮根苗对烤烟干物质和氮磷钾积累的影响[J]. 中国农学通报, 2024, 40(27): 27–39.
- [35] 谢会雅, 黄琼慧, 张阳, 等. 育苗盘孔径和微生物菌剂及移栽叶龄对烤烟产量和品质的影响[J/OL]. 分子植物育种, 2023: 1–15. (2023–12–20). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231220.0948.002.html>.
- [36] 李云霞, 杨佳蒨, 李洋洋, 等. 不同移栽期对烟稻轮作烟区烤烟生长发育及产量和质量的影响[J]. 作物杂志, 2025(2): 222–227.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 罗维