

引用格式:

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.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



水溶性追肥配施促根剂对烤烟养分积累及利用率的影响

黄琼慧¹, 邓小华^{1*}, 陈舜尧², 王新月¹, 张阳², 谢会雅², 蔡奇²,
周毅², 王旋¹, 何伟², 黄子彧², 刘昭伟²

(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, 采用双因素试验, 研究了 2 种追肥模式(传统追肥模式、水溶性追肥模式)配施促根剂(地康食安 1 号、诱抗特、普多收魔力根)在不同移栽天数后对烤烟干物质和氮、磷、钾养分积累及肥料吸收效率、肥料生产效益的影响。结果表明: 传统追肥模式不利于烟叶后期脱氮, 水溶性追肥模式可促进烟叶落黄成熟; 水溶性追肥模式和促根剂及其互作均有利于烤烟干物质积累, 可改善烟株氮、磷、钾积累和分配状况, 提高烤烟的养分吸收效率和生产效益; 追肥模式、促根剂及其互作对干物质积累的贡献率分别为 37.64%、41.35%、21.01%, 对氮积累的贡献率分别为 34.14%、33.78%、32.08%, 对磷积累的贡献率分别为 34.41%、33.47%、32.12%, 对钾积累的贡献率分别为 32.12%、36.56%、25.16%。在湖南稻作烟区, 采用水溶性追肥配施地康食安 1 号、诱抗特可显著促进烤烟生长前期干物质积累, 显著增加烤烟氮、磷积累量, 有效提升肥料吸收效率和生产效益。

关键词: 烤烟; 促根剂; 水溶性追肥; 配施; 干物质积累; 养分积累; 养分利用效率

中图分类号: S572.062

文献标志码: A

文章编号: 1007–1032(2023)03–0268–11

Effects of water-soluble topdressing with root-promoting agents on nutrient accumulation and utilization rate of flue-cured tobacco

HUANG Qionghui¹, DENG Xiaohua^{1*}, CHEN Shunyao², WANG Xinyue¹, ZHANG Yang², XIE Huiya²,
CAI Qi², ZHOU Yi², WANG Xuan¹, HE Wei², HUANG Ziyu², LIU Zhaowei²

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

Abstract: Using flue-cured tobacco cultivar Yunyan87 as the material, the effects of two topdressing modes (traditional topdressing and water-soluble topdressing) combined with root promoting agents(Dikangshian1, Youkangte and Puduoshoumoligen) on the accumulation of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium, and on fertilizer absorption efficiency and fertilizer production efficiency of flue-cured tobacco at different days after transplanting were studied. The results showed that the traditional topdressing mode was not conducive to the nitrogen removal of tobacco leaves, while the water-soluble topdressing mode could promote the yellowing and ripening of tobacco leaves. Water-soluble topdressing mode and root promoting agents and their interactions were beneficial to dry matter accumulation, and could improve nitrogen, phosphorus and potassium accumulation and distribution, and increase nutrient absorption efficiency and production benefit of flue-cured tobacco. The contribution rates of topdressing mode, root promoter and their interaction to

收稿日期: 2022–07–18

修回日期: 2023–04–10

基金项目: 湖南省烟草公司株洲市公司科技项目(20–001); 湖南省烟草专卖局科技项目(19–22Aa03)

作者简介: 黄琼慧(1999—), 女, 湖南永州人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培与调制研究, leacwet@foxmail.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

dry matter accumulation were 37.64%, 41.35% and 21.01%, respectively; the contribution rates of topdressing mode, root promoter and their interaction to nitrogen accumulation were 34.14%, 33.78% and 32.08%, respectively; the contribution rates of topdressing mode, root promoter and their interaction to phosphorus accumulation were 34.41%, 33.47% and 32.12%, respectively; and the contribution rates of topdressing mode, root promoter and their interaction to potassium accumulation were 32.12%, 36.56% and 25.16%, respectively. In Hunan tobacco-rice rotation area, the application of water-soluble topdressing combined with the application of Dikangshian 1 and Youkangte can significantly promote the dry matter accumulation of flue-cured tobacco in early growth stage, significantly increase the accumulation of nitrogen and phosphorus, and effectively improve the fertilizer absorption efficiency and production efficiency.

Keywords: flue-cured tobacco; root-promoting agents; water-soluble topdressing; combined application; dry matter accumulation; nutrient accumulation; nutrient use efficiency

烤烟的干物质和养分积累是烟叶产量和质量形成的前提, 烤烟养分利用效率是评价烤烟肥料农学效率的重要指标^[1-2]。影响烤烟干物质积累、养分吸收与分配的因素有很多: 王新月等^[3]研究表明, 施用石灰、绿肥和生物有机肥等改土物料可提高烟株干物质积累 18.05% ~ 61.42%, 并促进干物质和钾向烟叶中分配; 顾勇等^[4]研究表明, 水旱轮作下烤烟干物质积累是旱地轮作模式的 1.11 倍, 烤烟叶片氮素积累分配比例比旱地轮作高 3.79%; 柳渊博等^[5]研究发现, 优化施肥 + 滴灌处理可提高 33.36% 烤烟叶片生物量, 烟叶 N、P、K 的积累量分别提高 12.24%、98.75%、83.47%。水溶性肥料的易水溶性决定了其施肥效率高^[6]。夏昊等^[7]研究表明, 采用水溶性追肥替代常规追肥, 氮、磷、钾追肥各占施肥总量的 50% 时, 烤烟的长势最好, 可促进烤烟养分吸收和积累, 产量和产值分别显著提高 12.6%、26.0%。沈晗等^[8]在化肥减量条件下施用水溶性追肥, 追肥比例为 60% 时, 烤烟干物质积累量显著提升, 且氮、磷、钾利用率分别提升 6.3%、3.4%、25.3%。近年来促根剂已在甘蔗、水稻、玉米、小麦等作物上广泛应用。彭润润等^[9]研究表明, 在正常施肥基础上烟田增施 γ -聚谷氨酸可增加干物质量 61.22%, 增施豆浆灌根的产量和产值分别提升 8.85% 和 12.53%, 并可改善烟叶品质; 陈鹏宇等^[10]在低温条件下施用生物促根剂(油枯+生石灰+生物炭+液体发酵剂), 烤烟地上部干质量积累量显著提升 67.7%, 且明显提高耕层温度。南方稻作烟区的烤烟移栽期常遇低温阴雨天气, 不利于烤烟根系的生长发育, 也不利于烟株根系对肥料的吸收, 如何调控烟株根系发育和促进烟株对养分的吸收, 以减少南方稻作烟区化肥施用量, 成为烤烟生产的难题之一^[11]。笔者尝试以水溶性追肥和促根剂联用来解决这一问题: 设计了 2 种追肥模式(传统施肥模式、水

溶性追肥模式)并配施促根剂, 探讨其对烤烟干物质积累与分配、养分积累和分配、养分利用效率的影响, 以期对南方稻作烟区优质烟叶生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

烤烟品种为云烟 87。烟草专用基肥, N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 7%、17%、8%, 总养分 $\geq 29\%$ 。生物发酵饼肥, 总养分 $\geq 8\%$, 有机质 $\geq 70\%$ 。硫酸钾, K₂O $\geq 52.0\%$, 氯含量 $\leq 1.0\%$, 硫含量 $\geq 17.5\%$ 。灌兜肥, N、P₂O₅ 含量分别为 20%、9%, 总养分 $\geq 29\%$, 全水溶。水溶性追肥, N、K₂O 含量分别为 10%、40%, 总养分 $\geq 50\%$, 全水溶。烟草专用提苗肥, N、P₂O₅ 含量分别为 20%、9%, 总养分 $\geq 29\%$ 。烟草专用追肥, N、K₂O 含量分别为 10%、32%, 总养分 $\geq 42\%$, 硝态氮与总氮之比 $\geq 50\%$ 。促根剂“地康食安 1 号”为矿源腐殖质微粉, 地康食安农业科技有限公司产品; “诱抗特”为植物抗逆诱导剂, 湖北移栽灵农业科技股份有限公司产品; “普多收魔力根”为普多收国际贸易有限公司产品。

1.2 试验设计

试验于 2021 年在湖南省株洲市茶陵县腰陂镇进行。试验地地理坐标 113°39'E、26°53'N, 属亚热带季风湿润气候区, 气候温和, 雨量充沛, 冬寒期短, 年平均气温 17.9 °C, 活动积温 5509 °C, 无霜期 294 d, 年均降水量 1423 mm。试验地烟稻轮作, pH5.82, 有机质 44.23 g/kg, 碱解氮 34.72 mg/kg, 有效磷 60.22 mg/kg, 速效钾 250.14 mg/kg。

试验采取双因素随机区组设计。追肥模式(C)设 2 个水平, C1 为水溶性追肥, C2 为传统追肥(表 1); 促根剂种类(D)设 4 个水平, D1 为地康食安 1 号(兑水配制成质量分数为 10% 的溶液), D2 为诱抗

特(兑水配制成质量分数为 0.3%的溶液), D3 为普多收魔力根(兑水配制成质量分数为 5%的溶液), D4 不施加促根剂。移栽后, 促根剂与定根水混匀浇施于根部。8 个处理, 3 次重复。24 个小区, 小区面积 65 m²。随机区组排列。烤烟漂浮育苗, 3 月 12 日移栽, 种植株距 50 cm、行距 120 cm, 单

垄栽培, 垄高 40 cm。烤烟基肥施氮量相同, N、P₂O₅、K₂O 分别为 63.00、153、150 kg/hm²。水溶性追肥(C1), N、P₂O₅、K₂O 分别为 100.50、14.85、348.00 kg/hm²; 传统配方追肥(C2), N、P₂O₅、K₂O 分别为 106.50、10.80、342.00 kg/hm²。其他田间管理和生产措施与株洲市优质烤烟生产技术规程相同。

表 1 水溶性追肥与传统追肥的施用方法

Table 1 Application methods for traditional topdressing and water-soluble topdressing

施肥阶段	施肥时间	传统追肥模式	水溶性追肥模式	施用方法
基肥	移栽前 10 d	烟草专用基肥 900 kg/hm ² , 硫酸钾 150 kg/hm ² , 生物发酵饼肥 450 kg/hm ²	烟草专用基肥 900 kg/hm ² , 生物发酵饼肥 450 kg/hm ² , 硫酸钾 150 kg/hm ²	穴施
追肥	移栽当天	提苗肥 45 kg/hm ²	灌兜肥 45 kg/hm ²	兑水浇施
	移栽后 10 d	提苗肥 75 kg/hm ²	灌兜肥 75 kg/hm ²	兑水浇施
	移栽后 20 d	烟草专用追肥 225 kg/hm ²	水溶性追肥 225 kg/hm ²	兑水浇施
	移栽后 30 d	烟草专用追肥 300 kg/hm ²	水溶性追肥 300 kg/hm ²	兑水浇施
	移栽后 40 d	烟草专用肥 300 kg/hm ² , 硫酸钾 75 kg/hm ²	水溶性追肥 150 kg/hm ² , 硫酸钾 75 kg/hm ²	兑水浇施
	移栽后 55 d	硫酸钾 75 kg/hm ²	硫酸钾 75 kg/hm ²	兑水浇施

1.3 检测项目及方法

每小区选择长势具有代表性的烟株 15 株, 分别于移栽后 30、60、90 d, 每次采集 5 株烟株, 依照文献[12]的方法, 将根、茎、叶分别杀青烘干, 粉碎后消煮, 测定烤烟全氮、全磷、全钾的含量。

依照文献[1,13]的方法, 测定烤烟氮(磷、钾)积累量和干物质积累量, 计算烤烟的肥料吸收效率与生产效益。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2010 及 SPSS 20.0 进行统计分析, 选用新复极差法进行多重比较。当方差分析检定为显著性差异时, 采用效应值 $\eta^{2[13-14]}$ 对追肥模式、促根剂及其互作影响烤烟某一性状的程度进行评价。 η^2 值为 0~1, 该值越大, 说明差异幅度越大。

2 结果与分析

2.1 水溶性追肥配施促根剂对烤烟干物质积累及分配的影响

由表 2 可知, 烟苗移栽后 30 d, 水溶性追肥模式(C1)烤烟干物质总量较传统追肥模式(C2)的多 19.19%, 对叶的干物质质量影响最大(η^2 最大); 烟苗移栽后 60 d, 水溶性追肥模式干物质总量较传统追肥模式多 13.01%, 对茎的干物质质量影响最大; 烟苗

移栽后 90 d, 水溶性追肥模式干物质总量较传统追肥模式多 5.43%, 对叶的干物质质量影响最大。可见, 水溶性追肥有利于烤烟干物质积累, 特别是有利于烤烟大田后期烟叶干物质积累。

烟苗移栽后 30 d, 添加促根剂地康食安 1 号(D1)、诱抗特(D2)、普多收魔力根(D3)处理的干物质总量较不添加促根剂处理(D4)的分别多 59.53%、64.83%、15.72%, 烟苗移栽后 60 d 分别多 14.10%、10.84%、3.35%, 烟苗移栽后 90 d 分别多 9.07%、7.91%、3.08%。可见, 地康食安 1 号和诱抗特的效果较好。施用促根剂对根、茎、叶干物质质量的影响均达显著水平, 其中对叶的干物质积累影响最大。

追肥模式与促根剂互作对烟株干物质总量影响均达显著水平, 以 C1D1、C1D2 干物质总量相对较多。追肥模式与促根剂互作对烟株根、茎、叶的影响均达显著水平, 但在不同时期对不同器官的影响不一样, 烟苗移栽后 30、60 d 对根的影响最大, 烟苗移栽后 90 d 对茎的影响最大。

从追肥模式、促根剂及其互作对烟株干物质总量的影响效应看, 烟苗移栽后 30、60 d 促根剂贡献率最大, 其次为追肥模式; 烟苗移栽后 90 d 追肥模式贡献率最大, 其次为促根剂。将 3 个时期的效应值求和, 并转化为百分率, 追肥模式对干物质积累的贡献率为 37.64%, 促根剂的贡献率为 41.35%, 交互贡献率为 21.01%。可见促根剂对干物质积累影响最大, 其次是追肥模式, 交互影响相对较小。

表 2 水溶性追肥配施促根剂的烤烟干物质积累量和分配量

Table 2 Dry matter accumulation and distribution in flue-cured tobacco under water-soluble topdressing and root promoting agent treatments

移栽时间/d	因子	处理	干物质总量/(kg hm ⁻²)	不同器官干物质质量/(kg hm ⁻²)		
				根	茎	叶
30	追肥模式	C1	(112.10±2.63)a	9.94±2.98	(15.56±1.05)a	(86.60±2.77)a
		C2	(94.05±1.48)b	10.29±3.01	(12.56±1.13)b	(71.21±4.34)b
		η_c^2	0.825	0.027	0.451	0.787
	促根剂	D1	(121.83±3.81)a	(10.98±2.45)a	(17.48±2.16)a	(93.38±7.81)a
		D2	(125.88±8.23)a	(13.58±1.75)a	(15.78±2.27)a	(96.50±2.21)a
		D3	(88.33±8.94)b	(8.48±1.10)b	(12.33±3.18)b	(67.53±2.91)b
		D4	(76.28±4.66)b	(7.43±1.49)b	(10.68±1.00)b	(58.23±4.83)b
		η_D^2	0.963	0.863	0.729	0.944
	互作	C1D1	(143.20±1.96)a	(12.95±1.81)a	(20.95±2.07)a	(109.25±1.20)a
		C1D2	(131.30±5.04)b	(12.10±0.38)a	(15.50±1.20)b	(103.70±5.02)a
		C1D3	(95.70±3.92)d	(7.80±1.23)c	(14.45±3.38)b	(73.45±5.48)c
		C1D4	(78.20±4.88)e	(6.90±1.62)d	(11.35±1.02)cd	(60.00±4.69)d
		C2D1	(100.45±6.58)d	(9.00±0.15)cd	(14.00±1.65)bc	(77.50±5.94)c
		C2D2	(120.45±7.46)c	(15.05±1.00)b	(16.05±3.34)b	(89.30±5.62)b
		C2D3	(80.95±4.60)e	(9.15±0.40)c	(10.20±0.60)d	(61.60±4.59)d
		C2D4	(74.35±4.40)e	(7.95±1.45)cd	(10.00±0.31)d	(56.45±5.20)d
		$\eta_{C \times D}^2$	0.759	0.653	0.426	0.622
		60	追肥模式	C1	(1966.81±19.25)a	(337.55±1.05)a
C2	(1740.33±13.42)b			(334.25±2.18)b	(425.24±3.47)b	(980.84±5.54)b
η_c^2	0.900			0.708	0.884	0.811
促根剂	D1		(1975.25±10.33)a	(387.13±6.99)a	(512.75±6.94)a	(1075.38±9.85)a
	D2		(1918.83±53.22)ab	(373.48±4.23)ab	(497.75±5.51)a	(1047.60±9.65)a
	D3		(1789.10±52.38)bc	(341.48±3.94)bc	(455.85±2.52)b	(991.78±6.70)b
	D4		(1731.10±17.88)c	(325.45±1.99)c	(436.98±4.36)c	(968.68±7.60)c
	η_D^2		0.870	0.741	0.736	0.830
互作	C1D1		(2069.85±57.85)a	(398.65±16.41)a	(570.05±32.49)a	(1101.15±11.57)a
	C1D2		(2058.25±15.80)a	(409.50±24.48)a	(548.55±13.15)a	(1100.20±19.31)a
	C1D3		(1916.85±90.15)b	(372.35±29.30)b	(509.10±25.20)b	(1035.40±45.98)b
	C1D4		(1822.30±54.30)d	(337.55±14.05)b	(478.00±22.59)bc	(1006.75±24.17)c
	C2D1		(1880.65±15.52)b	(375.60±7.33)b	(455.45±25.20)cd	(1049.60±10.03)b
	C2D2		(1779.40±11.11)c	(337.45±19.96)c	(446.95±18.80)d	(995.00±14.91)c
	C2D3		(1661.35±31.01)e	(310.60±8.48)c	(402.60±25.13)e	(948.15±14.66)d
	C2D4		(1639.90±34.55)f	(313.35±9.23)d	(395.95±6.84)e	(930.60±27.02)d
	$\eta_{C \times D}^2$		0.232	0.363	0.096	0.202
	90		追肥模式	C1	(4549.27±35.30)a	(966.59±8.30)a
C2		(4314.97±57.62)b		(916.78±5.32)b	(986.48±5.44)b	(2411.72±17.32)b
η_c^2		0.609		0.321	0.513	0.523
促根剂		D1	(4603.33±59.08)a	(946.12±16.47)ab	(1041.95±8.18)a	(2615.26±35.44)a
		D2	(4554.32±54.62)a	(976.11±23.31)a	(1043.61±4.68)a	(2534.60±11.47)b
		D3	(4350.48±42.34)b	(911.18±21.72)b	(999.12±5.70)b	(2440.18±9.50)c
		D4	(4220.37±27.06)c	(933.33±28.40)b	(965.89±3.75)c	(2321.16±9.84)d
		η_D^2	0.731	0.296	0.617	0.751
互作		C1D1	(4823.44±106.49)a	(1003.52±20.71)a	(1092.19±27.13)a	(2727.73±75.37)a
		C1D2	(4670.39±91.16)ab	(984.28±28.58)ab	(1072.91±18.18)a	(2613.20±77.08)a
		C1D3	(4426.55±122.66)b	(926.63±27.02)c	(1018.87±37.45)b	(2481.05±92.34)b

表 2(续)

移栽时间/d	因子	处理	干物质总量/(kg hm ⁻²)	不同器官干物质质量/(kg hm ⁻²)		
				根	茎	叶
90	互作	C1D4	(4276.71±32.02)cd	(951.91±29.31)bc	(971.25±26.82)bc	(2353.55±50.53)c
		C2D1	(4383.22±105.46)bc	(888.72±65.62)e	(991.70±12.35)bc	(2502.80±47.28)b
		C2D2	(4438.24±105.04)b	(967.93±41.91)bc	(1014.31±10.05)b	(2456.00±81.16)b
		C2D3	(4274.40±135.08)cd	(895.73±53.90)e	(979.38±51.48)bc	(2399.30±98.71)c
		C2D4	(4164.03±172.67)d	(914.74±62.94)d	(960.52±41.41)c	(2288.78±80.59)d
		$\eta_{C \times D}^2$	0.312	0.218	0.290	0.204

同列不同字母表示同一移栽时间处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。 η_C^2 、 η_D^2 、 $\eta_{C \times D}^2$ 分别为追肥模式(C)、促根剂(D)及其互作的效应值。

2.2 水溶性追肥配施促根剂对烤烟氮、磷、钾积累的影响

2.2.1 对烤烟氮积累的影响

由表 3 可知, 烟苗移栽后 30、60、90 d, 水溶性追肥模式(C1)氮积累总量较传统追肥模式(C2)分

别多 45.07%、79.85%、10.72%, 对根、茎、叶氮积累量影响均显著, 以对茎的氮积累量影响最大, 可见水溶性追肥有利于烟株的氮积累。在烟苗移栽后 90 d, 传统追肥模式的烟叶氮积累量较水溶性追肥模式显著提升 20.75%, 说明水溶性追肥模式有利于烟叶后期脱氮, 可促进烟叶落黄成熟。

表 3 水溶性追肥配施促根剂的烤烟的氮积累量

Table 3 Nitrogen accumulation in flue-cured tobacco under water-soluble topdressing and root promoting agent treatments						
移栽时间/d	因子	处理	总氮含量/(kg hm ⁻²)	不同器官氮积累量/(kg hm ⁻²)		
				根	茎	叶
30	追肥模式	C1	(4.38±0.32)a	(0.35±0.09)a	(0.74±0.05)a	(3.17±0.11)a
		C2	(3.01±0.59)b	(0.24±0.03)b	(0.43±0.15)b	(2.34±0.58)b
		η_C^2	0.941	0.936	0.985	0.893
	促根剂	D1	(4.47±0.57)a	(0.36±0.13)a	(0.86±0.26)a	(3.25±0.17)a
		D2	(4.60±0.81)a	(0.33±0.06)a	(0.60±0.26)b	(3.67±0.51)a
		D3	(3.02±0.50)b	(0.25±0.02)b	(0.63±0.16)b	(2.14±0.33)b
		D4	(2.70±0.23)b	(0.25±0.04)b	(0.49±0.27)c	(1.96±0.10)b
		η_D^2	0.960	0.921	0.962	0.962
	互作	C1D1	(5.88±0.49)a	(0.48±0.05)a	(1.09±0.04)a	(4.31±0.41)a
		C1D2	(5.31±0.33)a	(0.39±0.01)b	(0.84±0.02)b	(4.09±0.34)a
		C1D3	(3.45±0.34)bc	(0.26±0.02)cd	(0.77±0.08)b	(2.41±0.24)c
		C1D4	(2.89±0.15)cd	(0.28±0.03)c	(0.74±0.07)b	(1.87±0.06)c
		C2D1	(3.05±0.02)cd	(0.24±0.02)cd	(0.62±0.02)c	(2.19±0.06)c
C2D2		(3.89±0.39)b	(0.28±0.02)cd	(0.36±0.03)e	(3.25±0.34)b	
C2D3		(2.59±0.25)d	(0.23±0.02)cd	(0.50±0.05)d	(1.86±0.18)c	
	$\eta_{C \times D}^2$	0.877	0.888	0.730	0.891	
60	追肥模式	C1	(77.39±14.87)a	(13.98±1.99)a	(24.19±5.31)a	(39.22±3.49)a
		C2	(43.03±4.79)b	(5.80±0.87)b	(7.18±1.09)b	(30.05±3.13)b
		η_C^2	0.979	0.992	0.992	0.877
	促根剂	D1	(68.45±12.86)a	(11.10±1.58)a	(17.75±1.32)a	(39.59±1.13)a
		D2	(67.00±12.99)a	(11.19±1.65)a	(18.73±1.37)a	(37.08±1.09)a
		D3	(58.26±12.16)b	(8.47±1.06)b	(14.47±1.59)b	(35.33±1.65)b
		D4	(47.13±8.02)c	(8.79±1.70)b	(11.80±1.09)c	(26.55±1.60)c
		η_D^2	0.919	0.918	0.930	0.891
	互作	C1D1	(89.11±2.37)a	(15.28±0.40)a	(28.04±2.32)a	(45.79±3.45)a
		C1D2	(87.73±2.79)ab	(16.31±1.45)a	(29.06±2.34)a	(42.36±3.00)a
C1D3		(78.40±4.57)b	(12.17±0.51)b	(23.22±0.71)b	(43.01±4.37)a	

表 3(续)

移栽时间/d	因子	处理	总氮含量/(kg hm ⁻²)	不同器官氮积累量/(kg hm ⁻²)		
				根	茎	叶
60	互作	C1D4	(54.33±2.13)c	(12.16±0.43)b	(16.44±0.43)c	(25.73±2.13)c
		C2D1	(47.79±4.68)cd	(6.93±0.52)c	(7.46±0.76)d	(33.39±3.40)b
		C2D2	(46.28±4.51)cd	(6.08±0.62)cd	(8.39±0.85)d	(31.81±3.04)bc
		C2D3	(38.13±1.71)d	(4.77±0.15)d	(5.72±0.58)d	(27.65±0.98)bc
		C2D4	(39.93±2.51)d	(5.41±0.14)cd	(7.16±0.59)d	(27.36±2.06)bc
		$\eta_{C \times D}^2$	0.840	0.750	0.905	0.781
90	追肥模式	C1	(62.47±1.65)a	(10.18±0.84)a	(24.42±0.79)a	(27.86±1.49)b
		C2	(56.42±1.12)b	(8.73±1.10)b	(15.65±1.04)b	(33.64±0.61)a
		η_C^2	0.683	0.769	0.980	0.884
	促根剂	D1	(62.44±6.39)a	(10.03±1.28)a	(20.97±0.08)a	(31.44±1.14)a
		D2	(61.07±4.77)a	(9.97±0.87)ab	(19.38±0.60)b	(31.71±0.82)a
		D3	(60.71±3.25)a	(9.66±0.40)ab	(19.01±0.70)b	(32.05±5.94)a
		D4	(55.57±2.97)b	(8.17±1.20)b	(19.58±0.35)b	(27.82±5.51)b
		η_D^2	0.697	0.783	0.551	0.727
	互作	C1D1	(68.11±0.18)a	(11.13±0.36)a	(26.49±0.01)a	(30.49±0.18)bc
		C1D2	(65.42±0.02)ab	(10.66±0.20)ab	(23.56±0.82)bc	(31.20±1.04)bc
		C1D3	(58.98±1.07)bcd	(9.77±0.31)ab	(22.35±0.11)c	(26.86±0.65)cd
		C1D4	(57.39±1.41)cd	(9.18±0.79)b	(25.29±2.05)ab	(22.93±1.43)d
C2D1		(56.78±3.42)cd	(8.93±0.91)b	(15.46±1.49)d	(32.39±1.02)b	
C2D2		(56.72±0.67)cd	(9.28±0.95)b	(15.21±0.55)d	(32.23±0.83)b	
C2D3		(62.45±5.80)bc	(9.55±0.80)ab	(15.66±1.19)d	(37.23±3.81)a	
C2D4		(53.75±4.70)d	(7.16±0.73)c	(13.88±1.42)d	(32.71±2.54)b	
	$\eta_{C \times D}^2$	0.729	0.484	0.678	0.810	

同列不同字母表示同一移栽时间处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。 η_C^2 、 η_D^2 、 $\eta_{C \times D}^2$ 分别为追肥模式(C)、促根剂(D)及其互作的效应值。

烟苗移栽后 30 d, 添加促根剂地康食安 1 号(D1)、诱抗特(D2)、普多收魔力根(D3)处理的氮积累总量较不添加促根剂处理(D4)的分别多 65.56%、70.37%、11.85%, 60 d 时分别多 45.24%、42.16%、23.26%, 90 d 时分别多 12.36%、9.90%、9.25%。可见, 地康食安 1 号和诱抗特对促进烟株氮积累效果较好。施用促根剂对根、茎、叶的氮积累量影响均达显著水平, 但在不同时期对不同器官的影响不一样: 烟苗移栽后 30 d, 对茎、叶的影响最大; 烟苗移栽后 60 d, 对茎的影响最大, 其次是根; 烟苗移栽 90 d, 对根的影响最大, 其次是叶。

追肥模式与促根剂互作对烟株氮积累量的影响均达显著水平, 以 C1D1、C1D2 氮积累量相对较多; 但在烟苗移栽后 90 d, C1D1、C1D2 氮积累量显著小于 C2D3, 也说明 C1D1、C1D2 烟叶后期脱氮快, 有利于烟叶落黄成熟。追肥模式与促根剂互作对烟株根、茎、叶的影响均达显著水平, 但在不同时期对不同器官的影响不一样: 烟苗移栽后 30 d, 对根、叶的影响相对较大; 烟苗移栽后 60 d, 对茎

的影响最大; 烟苗移栽 90 d, 对叶的影响最大。

从追肥模式、促根剂及其互作对烟株氮积累量的影响效应看, 烟苗移栽后 30 d, 促根剂贡献率最大, 其次为追肥模式; 烟苗移栽后 60、90 d, 追肥模式贡献率最大, 其次为促根剂。可见, 烤烟大田前期, 促根剂对氮积累影响大; 大田中、后期, 追肥模式对氮积累影响大。将 3 个时期的效应值求和, 并转化为百分率, 追肥模式对氮积累的贡献率为 34.14%, 促根剂的贡献率为 33.78%, 互作贡献率为 32.08%。可见追肥模式对氮积累影响最大, 其次是促根剂, 互作的影响相对较小。

2.2.2 对烤烟磷积累的影响

由表 4 可知, 烟苗移栽后 30、60、90 d, 水溶性追肥模式(C1)磷积累总量较传统追肥模式(C2)分别多 92.00%、86.38%、29.79%, 对根、茎、叶磷积累量的影响均显著, 烟苗移栽后 30 d, 对茎的磷积累量影响最大, 烟苗移栽后 60、90 d 对根的磷积累量影响最大。可见, 水溶性追肥有利于烟株磷的积累。

表4 水溶性追肥配施促根剂的烤烟的磷积累量

移栽时间/d	因子	处理	总磷含量/(kg hm ⁻²)	不同器官磷积累量/(kg hm ⁻²)		
				根	茎	叶
30	追肥模式	C1	(0.48±0.14)a	0.03±0.01	(0.06±0.02)a	(0.38±0.13)a
		C2	(0.25±0.05)b	0.03±0.01	(0.03±0.01)b	(0.19±0.04)b
		η_c^2	0.978	0.067	0.986	0.979
	促根剂	D1	(0.46±0.19)a	(0.03±0.01)ab	(0.06±0.03)a	(0.36±0.16)a
		D2	(0.44±0.13)a	(0.04±0.01)a	(0.04±0.01)b	(0.36±0.13)a
		D3	(0.33±0.13)b	(0.03±0.01)ab	(0.04±0.02)b	(0.26±0.11)b
		D4	(0.23±0.04)c	(0.02±0.01)b	(0.04±0.01)b	(0.17±0.02)c
		η_D^2	0.968	0.954	0.962	0.969
	互作	C1D1	(0.63±0.05)a	(0.03±0.01)bc	(0.09±0.01)a	(0.51±0.05)a
		C1D2	(0.55±0.03)b	(0.04±0.01)b	(0.05±0.01)c	(0.47±0.03)a
		C1D3	(0.45±0.04)c	(0.03±0.01)cd	(0.06±0.01)b	(0.36±0.03)b
		C1D4	(0.27±0.01)de	(0.02±0.01)d	(0.05±0.01)bc	(0.19±0.01)cd
		C2D1	(0.28±0.01)de	(0.03±0.01)cd	(0.03±0.01)d	(0.22±0.01)c
		C2D2	(0.33±0.03)d	(0.05±0.01)a	(0.04±0.01)d	(0.24±0.02)c
		C2D3	(0.21±0.02)ef	(0.03±0.01)cd	(0.03±0.01)e	(0.16±0.01)d
		C2D4	(0.20±0.01)f	(0.02±0.01)d	(0.03±0.01)e	(0.15±0.01)d
	$\eta_{C \times D}^2$	0.903	0.736	0.955	0.911	
60	追肥模式	C1	(7.25±1.66)a	(1.33±0.25)a	(1.61±0.37)a	(4.32±1.25)a
		C2	(3.89±0.64)b	(0.58±0.08)b	(0.83±0.13)b	(2.48±0.59)b
		η_c^2	0.983	0.991	0.980	0.969
	促根剂	D1	(6.43±2.47)a	(1.01±0.36)a	(1.56±0.65)a	(3.86±0.47)a
		D2	(6.03±2.70)a	(1.16±0.61)a	(1.29±0.44)b	(3.58±0.65)ab
		D3	(5.12±2.20)ab	(0.80±0.32)b	(1.00±0.38)c	(3.32±0.50)b
		D4	(4.71±0.15)b	(0.84±0.35)b	(1.04±0.25)c	(2.83±0.59)c
		η_D^2	0.907	0.943	0.941	0.842
	互作	C1D1	(8.67±0.50)a	(1.34±0.05)b	(2.14±0.18)a	(5.19±0.37)a
		C1D2	(8.48±0.59)a	(1.71±0.13)a	(1.69±0.13)b	(5.09±0.34)a
		C1D3	(7.12±0.45)b	(1.10±0.04)c	(1.34±0.02)c	(4.68±0.47)a
		C1D4	(4.74±0.15)c	(1.16±0.01)c	(1.27±0.05)c	(2.31±0.20)c
		C2D1	(4.19±0.39)cd	(0.68±0.06)d	(0.97±0.09)d	(2.54±0.25)c
		C2D2	(3.58±0.31)de	(0.61±0.06)de	(0.89±0.09)d	(2.08±0.16)c
		C2D3	(3.12±0.09)e	(0.51±0.03)e	(0.65±0.05)e	(1.96±0.01)c
		C2D4	(4.68±0.28)c	(0.51±0.03)e	(0.81±0.08)de	(3.36±0.23)b
	$\eta_{C \times D}^2$	0.951	0.896	0.840	0.963	
90	追肥模式	C1	(6.71±0.25)a	(1.38±0.18)a	(2.16±0.21)a	(3.17±0.96)a
		C2	(5.17±0.64)b	(0.87±0.05)b	(1.85±0.34)b	(2.45±0.35)b
		η_c^2	0.961	0.969	0.833	0.961
	促根剂	D1	(7.29±0.30)a	(1.27±0.41)a	(2.35±0.16)a	(3.67±0.73)a
		D2	(5.72±0.21)b	(1.14±0.28)ab	(1.73±0.24)b	(2.86±0.70)b
		D3	(5.79±0.75)b	(1.04±0.20)b	(2.12±0.09)a	(2.63±0.49)b
		D4	(4.96±0.26)c	(1.05±0.23)b	(1.82±0.28)b	(2.09±0.34)c
		η_D^2	0.967	0.807	0.925	0.984
	互作	C1D1	(8.46±0.16)a	(1.65±0.06)a	(2.48±0.01)a	(4.34±0.11)a
		C1D2	(6.82±0.10)b	(1.39±0.06)b	(1.95±0.09)b	(3.49±0.05)b
		C1D3	(6.45±0.22)bc	(1.22±0.07)b	(2.16±0.06)b	(3.07±0.09)c

表 4(续)

移栽时间/d	因子	处理	总磷含量/(kg hm ⁻²)	不同器官磷积累量/(kg hm ⁻²)		
				根	茎	叶
90	互作	C1D4	(5.12±0.02)d	(1.25±0.09)b	(2.06±0.09)b	(1.80±0.17)e
		C2D1	(6.11±0.35)c	(0.89±0.07)c	(2.22±0.18)b	(3.00±0.09)d
		C2D2	(4.62±0.05)d	(0.88±0.08)c	(1.52±0.07)c	(2.22±0.10)d
		C2D3	(5.14±0.41)d	(0.87±0.09)c	(2.09±0.18)b	(2.18±0.14)d
		C2D4	(4.81±0.45)d	(0.85±0.09)c	(1.57±0.16)c	(2.39±0.20)d
		$\eta_{C \times D}^2$	0.874	0.747	0.584	0.965

同列不同字母表示同一移栽时间处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。 η_C^2 、 η_D^2 、 $\eta_{C \times D}^2$ 分别为追肥模式 C、促根剂 D 及其互作的效应值。

烟苗移栽后 30 d, 添加促根剂地康食安 1 号(D1)、诱抗特(D2)、普多收魔力根(D3)处理的烟株磷积累总量较不添加促根剂处理(D4)的分别多 100.00%、91.30%、43.48%, 60 d 时分别多 36.52%、28.03%、8.70%, 90 d 时, 分别多 46.98%、15.32%、16.73%。可见, 地康食安 1 号对促进烟株磷的积累效果最好, 其次是诱抗特。施用促根剂对根、茎、叶的磷积累量影响均达显著水平, 但在不同时期对不同器官的影响不一样: 烟苗移栽后 30 d, 对根、茎、叶的影响都较大; 烟苗移栽后 60 d, 对根、茎的影响较大; 烟苗移栽后 90 d, 对茎、叶的影响较大。

追肥模式与促根剂互作对烟株磷积累量的影响均达显著水平, 以 C1D1、C1D2 磷积累量相对较多。追肥模式与促根剂互作对烟株根、茎、叶的影响均达显著水平, 但在不同时期对不同器官的影响不一样: 烟苗移栽后 30 d, 对茎、叶的影响相对较大; 烟苗移栽后 60、90 d, 对叶的影响最大。

从追肥模式、促根剂及其互作对烟株磷积累量

的影响效应看, 烟苗移栽后 30 d, 促根剂贡献率最大, 其次为互作; 烟苗移栽后 60 d, 追肥模式贡献率最大, 其次为互作; 烟苗移栽后 90 d, 追肥模式贡献率最大, 其次为促根剂。可见, 烤烟大田前期, 促根剂对磷积累影响大, 大田中、后期, 追肥模式对磷积累影响大。将 3 个时期的效应值求和, 并转化为百分率, 追肥模式对磷积累的贡献率为 34.41%, 促根剂的贡献率为 33.47%, 互作贡献率为 32.12%。可见促根剂对磷积累的影响最大, 其次是追肥模式, 互作的影响相对较小。

2.2.3 对烤烟钾积累的影响

由表 5 可知, 烟苗移栽后 30、60、90 d, 水溶性追肥模式(C1)烤烟钾积累总量较传统追肥模式(C2)分别多 25.78%、113.12%、17.79%; 对根、茎、叶钾积累量影响均显著, 30 d 时对茎的钾积累量影响最大, 60 d 时对根的钾积累量影响最大, 90 d 时对叶的钾积累量影响最大。可见, 水溶性追肥有利于烟株钾的积累。

表 5 水溶性追肥配施促根剂的烤烟的钾积累量

Table 5 Potassium accumulation in flue-cured tobacco under water-soluble topdressing and root promoting agent treatments						
移栽时间/d	因子	处理	总钾含量/(kg hm ⁻²)	不同器官钾积累量/(kg hm ⁻²)		
				根	茎	叶
30	追肥模式	C1	(5.61±0.43)a	0.40±0.09	(0.80±0.16)a	(4.41±0.16)a
		C2	(4.46±0.98)b	0.39±0.11	(0.55±0.10)b	(3.52±0.81)b
		η_C^2	0.886	0.021	0.941	0.857
	促根剂	D1	(5.99±1.55)a	(0.36±0.06)b	(0.92±0.33)a	(4.71±1.18)a
		D2	(6.15±0.38)a	(0.54±0.03)a	(0.70±0.07)b	(4.91±0.35)a
		D3	(4.32±0.48)b	(0.35±0.02)b	(0.55±0.10)c	(3.42±0.40)b
		D4	(3.68±0.30)c	(0.32±0.03)b	(0.54±0.10)c	(2.82±0.20)c
	η_D^2	0.963	0.932	0.958	0.958	
	互作	C1D1	(7.37±0.68)a	(0.40±0.08)b	(1.21±0.02)a	(5.76±0.59)a
		C1D2	(6.42±0.34)b	(0.53±0.01)a	(0.75±0.04)b	(5.15±0.38)ab
C1D3		(4.72±0.25)c	(0.34±0.02)b	(0.63±0.07)b	(3.75±0.16)c	

表 5(续)

移栽时间/d	因子	处理	总钾含量/(kg hm ⁻²)	不同器官钾积累量/(kg hm ⁻²)			
				根	茎	叶	
30	互作	C1D4	(3.95±0.10)cd	(0.33±0.06)b	(0.62±0.07)b	(3.00±0.02)cd	
		C2D1	(4.60±0.20)c	(0.32±0.01)b	(0.62±0.02)b	(3.67±0.22)c	
		C2D2	(5.88±0.42)b	(0.56±0.04)a	(0.65±0.10)b	(4.67±0.37)b	
		C2D3	(3.92±0.40)cd	(0.37±0.03)b	(0.46±0.04)c	(3.09±0.33)cd	
		C2D4	(3.41±0.04)d	(0.32±0.01)b	(0.45±0.03)c	(2.64±0.06)d	
		$\eta_{C \times D}^2$	0.835	0.502	0.905	0.782	
	60	追肥模式	C1	(89.64±10.39)a	(17.94±2.44)a	(20.99±3.90)a	(50.71±7.32)a
			C2	(42.06±6.47)b	(3.77±0.69)b	(10.09±1.23)b	(28.20±5.11)b
			η_C^2	0.985	0.996	0.980	0.958
		促根剂	D1	(69.83±4.20)ab	(9.64±1.24)b	(18.77±1.63)a	(41.42±11.40)a
D2			(72.64±2.75)a	(11.97±1.32)a	(16.44±1.39)ab	(44.23±13.11)a	
D3			(67.50±7.80)b	(11.37±1.53)a	(14.21±1.73)b	(41.91±14.70)a	
D4			(53.42±23.22)c	(10.44±1.01)a	(12.73±1.38)c	(30.25±11.16)b	
		η_D^2	0.865	0.791	0.896	0.841	
互作		C1D1	(91.83±4.29)a	(14.42±0.46)c	(25.71±1.19)a	(51.70±3.56)a	
		C1D2	(99.43±9.77)a	(20.44±1.90)a	(23.10±2.46)a	(55.88±5.41)a	
	C1D3	(92.74±6.38)a	(19.16±0.51)ab	(18.52±0.32)b	(55.06±6.57)a		
	C1D4	(74.54±4.36)b	(17.74±0.89)b	(16.62±2.16)b	(40.18±5.63)b		
	C2D1	(47.83±2.57)c	(4.86±0.26)d	(11.83±0.87)c	(31.13±1.44)bc		
	C2D2	(45.85±4.91)c	(3.50±0.22)d	(9.77±0.90)d	(32.57±3.80)bc		
	C2D3	(42.26±1.03)cd	(3.59±0.03)d	(9.90±0.72)d	(28.76±0.27)cd		
	C2D4	(32.30±0.63)d	(3.13±0.15)d	(8.84±0.49)d	(20.33±0.29)d		
		$\eta_{C \times D}^2$	0.385	0.903	0.753	0.225	
	90	追肥模式	C1	(103.73±9.59)a	(14.64±1.89)a	(33.03±1.53)a	(56.06±5.36)a
C2			(88.06±5.26)b	(11.26±1.04)b	(30.10±1.73)b	(46.69±2.22)b	
		η_C^2	0.877	0.864	0.629	0.819	
促根剂		D1	(102.09±10.82)a	(14.37±3.31)a	(34.14±2.51)a	(53.59±1.63)a	
		D2	(101.33±11.94)a	(13.45±1.54)ab	(33.96±1.94)a	(53.93±1.68)a	
		D3	(90.27±10.51)b	(12.30±0.89)b	(27.29±1.99)b	(50.31±1.21)a	
		D4	(89.89±5.00)b	(11.70±2.18)b	(30.88±1.53)ab	(47.68±1.82)b	
		η_D^2	0.797	0.701	0.860	0.574	
互作		C1D1	(111.88±1.13)a	(17.24±2.15)a	(36.05±1.81)a	(58.60±2.83)ab	
		C1D2	(111.99±5.54)a	(14.77±0.82)ab	(35.47±2.24)a	(61.75±2.47)a	
	C1D3	(91.75±8.17)bc	(13.01±0.58)bc	(25.78±1.98)c	(52.97±5.62)abc		
	C1D4	(99.31±4.37)b	(13.57±1.43)bc	(34.82±0.98)a	(50.92±6.78)bc		
	C2D1	(92.31±3.02)bc	(11.50±0.90)cd	(32.23±2.50)ab	(48.58±0.38)c		
	C2D2	(90.67±0.48)bc	(12.13±0.88)bcd	(32.44±0.32)ab	(46.10±1.67)c		
	C2D3	(55.51±3.51)d	(5.51±0.33)d	(18.21±0.82)d	(31.78±2.36)b		
	C2D4	(52.44±4.24)d	(4.34±0.46)d	(17.70±2.06)d	(30.39±1.72)b		
		$\eta_{C \times D}^2$	0.586	0.583	0.750	0.455	

同列不同字母表示同一移栽时间处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。 η_C^2 、 η_D^2 、 $\eta_{C \times D}^2$ 分别为追肥模式(C)、促根剂(D)及其互作的效应值。

烟苗移栽后 30 d, 添加促根剂地康食安 1 号 (D1)、诱抗特(D2)、普多收魔力根(D3)处理烤烟钾积累总量较不添加促根剂处理(D4)的分别多 62.77%、67.12%、17.39%, 60 d 时分别多 30.72%、35.98%、26.36%, 90 d 时分别多 13.57%、12.73%、0.42%。可见, 地康食安 1 号、诱抗特对促进烟株

钾积累效果较好。施用促根剂对根、茎、叶的钾积累量影响均达显著水平, 但在不同时期对不同器官的影响不一样, 30、60 d 时对茎、叶的影响都较大; 90 d 时对茎的影响较大。

追肥模式与促根剂互作对烟株钾积累量影响均达显著水平, 烟苗移栽后 30 d, C1D1 烟株钾积累量

相对较多；烟苗移栽后 60 d, C1D1、C1D2、C1D3 烟株钾积累量相对较多；烟苗移栽后 90 d, C1D1、C1D2 烟株钾积累量相对较多。追肥模式与促根剂互作对烟株根、茎、叶的影响均达显著水平，但在不同时期对不同器官的影响不一样，30、90 d 时对茎的影响相对较大，60 d 时对根的影响最大。

从追肥模式、促根剂及其互作对烟株钾积累量的影响效应看，烟苗移栽后 30 d, 促根剂贡献率最大，其次为互作；烟苗移栽后 60、90 d, 追肥模式贡献率最大，其次为促根剂。可见，烤烟大田前期，促根剂对钾积累影响大；大田中、后期，追肥模式对钾积累影响大。将 3 个时期的效应值求和，并转化为百分率，追肥模式对钾积累的贡献率为 38.28%，促根剂的贡献率为 36.56%，互作贡献率为 25.16%。可见，促根剂对钾积累影响最大，其次是追肥模式，互作的影响相对较小。

2.3 水溶性追肥配施促根剂对烤烟养分利用效率的影响

2.3.1 对肥料吸收效率的影响

由表 6 可知，水溶性追肥模式(C1)烤烟氮、磷、钾吸收效率较传统追肥模式(C2)的分别高 12.79%、33.05%、19.23%，且差异显著，表明水溶性追肥有利于烤烟吸收氮、磷、钾肥，特别是对磷肥的吸收。施用促根剂地康食安 1 号(D1)、诱抗特(D2)、普多收魔力根(D3)处理烤烟氮吸收效率较不添加促根剂

表 6 水溶性追肥配施促根剂的氮磷钾肥料吸收效率

Table 6 Absorption efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers under water-soluble topdressing combined with root-promoting agent

		%		
因子	处理	氮肥吸收效率	磷肥吸收效率	钾肥吸收效率
追肥模式	C1	(38.21±1.85)a	(4.10±0.56)a	(21.08±1.95)a
	C2	(33.88±2.43)b	(3.08±0.38)b	(17.68±1.06)b
促根剂	D1	(37.58±1.56)a	(4.40±0.54)a	(20.64±1.32)a
	D2	(36.74±1.59)a	(3.46±0.47)b	(20.48±1.55)a
	D3	(36.46±1.62)a	(3.50±0.50)b	(18.16±1.07)b
	D4	(33.41±2.27)b	(3.00±0.19)c	(18.25±1.24)b
互作	C1D1	(41.66±1.08)a	(5.16±0.17)a	(22.74±0.63)a
	C1D2	(40.01±1.01)b	(4.17±0.40)b	(22.76±0.80)a
	C1D3	(36.08±1.46)c	(3.94±0.09)c	(18.65±1.17)c
	C1D4	(35.10±0.61)cd	(3.13±0.36)e	(20.19±0.63)b
	C2D1	(33.50±1.42)d	(3.64±0.15)d	(18.54±0.43)c
	C2D2	(33.46±1.28)d	(2.75±0.21)f	(18.21±0.68)c
	C2D3	(36.84±2.42)c	(3.06±0.18)ef	(17.68±0.87)cd
	C2D4	(31.71±1.96)e	(2.86±0.19)f	(16.31±0.93)d

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

处理(D4)的分别多 12.48%、9.97%、9.13%，磷吸收效率分别多 47.04%、15.54%、16.81%；地康食安 1 号(D1)、诱抗特(D2)钾吸收效率较不添加促根剂(D4)分别多 13.10%、12.26%，普多收魔力根(D3)较 D4 减少 0.47%；表明地康食安 1 号、诱抗特有利于烤烟对氮、磷、钾肥的吸收，特别是对磷肥的吸收。水溶性追肥模式与促根剂互作对烤烟氮、磷、钾肥吸收效率均达到显著水平，氮、磷、钾肥吸收效率均以 C1D1 最高，其次为 C1D2，表明水溶性追肥与地康食安 1 号、诱抗特配合施用有利于烤烟对肥料的吸收，提高肥料利用率。

2.3.2 对肥料生产效益的影响

由表 7 可知，水溶性追肥模式(C1)烤烟的氮、磷、钾生产效益较传统追肥模式(C2)的分别高 9.35%、8.09%、6.77%，且差异显著，表明水溶性追肥有利于烤烟吸收氮、磷、钾肥。施用促根剂地康食安 1 号(D1)、诱抗特(D2)、普多收魔力根(D3)处理烤烟氮生产效益较不添加促根剂处理(D4)的分别多 12.73%、9.23%、5.13%，磷生产效益分别多 12.73%、9.23%、5.15%，钾生产效益分别多 12.69%、9.21%、5.13%，表明 3 种促根剂均有利于烤烟吸收氮、磷、钾肥，以地康食安 1 号效果最好。追肥模式与促根剂互作对烤烟氮、磷、钾肥的生产效益均达到显著水平，以 C1D1、C1D2 的氮、磷、钾肥生产效益相对较好。可见，水溶性追肥与促根剂 D1、D2 配合施用有利于烤烟吸收肥料，提高肥料的生产效益。

表 7 水溶性追肥配施促根剂的氮、磷、钾肥料生产效益

Table 7 Production efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers under water-soluble topdressing combined with root promoting agent

		kg/kg		
因子	处理	氮肥生产效益	磷肥生产效益	钾肥生产效益
追肥模式	C1	(15.56±0.98)a	(15.53±0.98)a	(5.17±0.33)a
	C2	(14.23±0.63)b	(14.37±0.64)b	(4.84±0.22)b
促根剂	D1	(15.72±1.10)a	(15.78±1.01)a	(5.28±0.31)a
	D2	(15.24±0.92)ab	(15.29±0.84)ab	(5.12±0.25)ab
	D3	(14.66±0.76)bc	(14.72±0.70)bc	(4.93±0.21)bc
	D4	(13.95±0.61)c	(14.00±0.54)c	(4.69±0.16)c
互作	C1D1	(16.68±0.46)a	(16.65±0.46)a	(5.54±0.15)a
	C1D2	(15.98±0.47)a	(15.95±0.47)a	(5.31±0.16)ab
	C1D3	(15.17±0.56)b	(15.15±0.56)b	(5.04±0.19)bc
	C1D4	(14.39±0.31)bc	(14.37±0.31)bc	(4.78±0.10)cd
	C2D1	(14.77±0.28)bc	(14.91±0.28)b	(5.02±0.09)c
	C2D2	(14.49±0.48)bc	(14.63±0.48)b	(4.93±0.16)c
	C2D3	(14.16±0.58)cd	(14.29±0.59)bc	(4.82±0.20)cd
	C2D4	(13.50±0.48)d	(13.64±0.48)c	(4.60±0.16)d

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3 结论与讨论

本试验结果表明:与传统追肥模式配施促根剂相比,水溶性追肥模式配施促根剂有利于烤烟干物质积累,提高肥料的利用率和生产效益;水溶性追肥与地康食安1号、诱抗特配合施用的综合效益最好,促根剂的贡献率最大,其次为追肥模式。

有研究表明,水溶性追肥可以缓解土壤酸化现象,改善土壤物理化学性状,促进根系发育,从而提高作物养分利用效率,改善品质,增加产量^[15-17]。本研究结果表明,在水溶性施肥施氮量减少的处理下,施用水溶性肥料可提高烤烟的干物质积累量,有助于烟株氮、磷、钾的积累,可显著促进烤烟对氮、磷、钾肥的吸收,有利于氮、磷、钾肥分配给烟叶,提升生产效益。

前人^[18-20]研究表明,促根剂可提高烟苗素质,促进烟苗根系生长,提高烤烟根系活力,进而有效提高烟株干物质积累量,增加烤烟的产量和质量,提高上等烟比例。本研究中,施用促根剂可提高烟株本身的吸氮能力,从而增加了干物质积累量和烟株氮、磷、钾积累量,有助于提高烤烟对氮、磷、钾肥的吸收效率,改善烟株内氮、磷、钾肥的分配,以地康食安1号、诱抗特效果较好。

本研究结果表明,追肥模式对干物质积累的贡献率为37.64%,促根剂的贡献率为41.35%,互作的贡献率为21.01%;追肥模式对氮积累的贡献率为34.14%,促根剂的贡献率为33.78%,互作的贡献率为32.08%;追肥模式对磷积累的贡献率为34.41%,促根剂的贡献率为33.47%,互作贡献率为32.12%;追肥模式对钾积累的贡献率为38.28%,促根剂的贡献率为36.56%,互作贡献率为25.16%;水溶性追肥与地康食安1号、诱抗特配合施用有利于烤烟对肥料的吸收和分配,提高肥料利用率和生产效益。综合看来,促根剂对烤烟养分积累影响最大,其次为追肥模式。

参考文献:

[1] 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.

[2] 邓小华,张明发,田峰. 山地植烟土壤评价和烤烟高效施肥研究与实践[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2019.

[3] 王新月,张敏,刘勇军,等. 改土物料混用对酸性土壤 pH 和烤烟生长及物质积累的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(11): 2626-2633.

[4] 顾勇,谢云波,张永辉,等. 不同种植模式下烤烟干物质积累与养分吸收动态变化分析[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(4): 115-122.

[5] 柳渊博,王静,朱学杰,等. 不同水肥管理模式对烤烟养分积累及烟叶品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(9): 193-201.

[6] 陈清,张强,常瑞雪,等. 我国水溶性肥料产业发展趋势与挑战[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1642-1650.

[7] 夏昊,刘青丽,张云贵,等. 水溶肥替代常规追肥对黔西南烤烟产量和质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(1): 64-69.

[8] 沈晗,石俊雄,杨凯,等. 化肥减量条件下水溶性追肥比例对烤烟产质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(5): 89-94.

[9] 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.

[10] 陈鹏宇,杨超,汪代斌,等. 基于盆栽试验的促根剂对低温条件下烤烟地上部生长和根系发育的影响[J]. 烟草科技, 2021, 54(1): 17-23.

[11] 曹健,邓小华. 郴州浓香型特色优质烟叶生产与开发[M]. 长沙:湖南科学技术出版社, 2006.

[12] 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, 2000.

[13] COHEN J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences[M]. 2nd ed. Hillsdale, N J: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

[14] 张龙辉,粟戈璇,邓小华,等. 改良剂施用对酸性植烟土壤养分的影响效应[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(5): 20-27.

[15] 高庆磊,陈秀斋,张永春,等. 水溶肥在烤烟生产中的应用效果研究[J]. 农业开发与装备, 2018(7): 130.

[16] 夏全杰. 有机水溶性肥在蔬菜(叶菜类)上的应用效果及其高效机制初探[D]. 武汉:华中农业大学, 2015.

[17] 张阳,王新月,谢会雅,等. 烤烟生长对水溶性追肥配施促根剂的响应[J]. 核农学报, 2023, 37(5): 1030-1039.

[18] 陈治锋,肖汉乾,邓小华,等. 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.

[19] 张永辉,王飞,年夫照,等. 不同促根剂对烟苗素质及烤烟产质量影响的研究[J]. 江西农业学报, 2020, 32(4): 98-102.

[20] 祁帅. 烟草专用促根剂对烤烟生长及品质的影响[D]. 广州:华南农业大学, 2017.

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:罗维