

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2024.04.09

雪茄烟苗期钾素营养特征及干物质的积累

李禹¹, 姚恒², 孔光辉², 张光海², 赵高坤², 吴玉萍², 李薇²,
李永平², 王戈¹, 白羽祥¹, 周鹏¹, 杜宇¹, 王娜¹

(1. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650021; 2. 云南省烟草农业科学研究院, 云南昆明 650021)

摘要:为提高雪茄烟的品质,明确雪茄烟育苗阶段干物质积累及钾素吸收利用特性的很有必要,试验采用溶液培养方法,研究钾素供应水平(不供钾、正常供钾(1 L 霍格兰氏营养液含有 506 mg 硝酸钾)、超量供钾(1 L 霍格兰氏营养液含有 506 mg 硝酸钾+523.23 mg 硫酸钾))对雪茄烟烟苗生长状况、干物质积累量及钾素吸收利用特性的影响。结果表明,钾素显著影响雪茄烟苗期形态建成。就烟苗农艺性状而言,水培 45 d 时,株高、茎围、最大叶长和最大叶宽均以正常供钾处理最高,分别为 31.67、2.30、21.17、11.17 cm;烟苗干物质积累而言,不供钾处理在水培过程中干物质积累较为缓慢,超量供钾处理在水培 15~30 d 时积累量很小且缓慢,而水培 30~45 d 时积累量急剧增加;在钾素方面,与 CK 相比,超量供钾处理提高了烟株钾素含量,但钾素利用率却有所降低,在水培 15、30、45 d 时分别降低了 1.48%、18.24%、11.45%。综上,缺钾从开始即影响烟苗生长,根系生长受抑制,缺钾症状典型特征 15 d 后逐步显现;钾素过量时,烟株前长期势稍好,中后期增效不明显,干物质积累在烟苗生长前期积累量小且缓慢,且钾素利用率低于正常施钾处理。

关键词:雪茄烟;钾素;溶液培养法;干物质积累;钾素利用率

中图分类号:S572 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2024)04-0068-08

Potassium Nutrition Characteristics and Dry Matter Accumulation of Cigar Tobacco at Seedling Stage

LI Yu¹, YAO Heng², KONG Guanghui², ZHANG Guanghai², ZHAO Gaokun², WU Yuping²,
LI Wei², LI Yongping², WANG Ge¹, BAI Yuxiang¹, ZHOU Peng¹, DU Yu¹, WANG Na¹

(1. College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650021, China;

2. Yunnan Academy of Tobacco and Agricultural Sciences, Kunming 650021, China)

Abstract: In order to improve the quality of cigar tobacco, clarify the characteristics of dry matter accumulation and potassium absorption and utilization at the seedling stage of cigar tobacco, in this study, the effects of potassium supply level (no potassium supply, normal potassium supply (Hoagland nutrient solution 1 L, containing potassium nitrate 506 mg), excessive potassium supply (Hoagland nutrient solution 1 L, containing potassium nitrate 506 mg, adding 523.23 mg potassium sulfate)) on the growth status, dry matter accumulation, and potassium absorption and utilization characteristics of cigar tobacco seedlings were studied by solution culture method. The results showed that potassium significantly affected the morphogenesis of cigar at the seedling stage. In terms of agronomic traits of tobacco seedlings, the plant height, stem circumference, maximum leaf length, and maximum leaf width were the highest under normal potassium supply treatment at 45 days of hydroponic culture, the trait values were 31.67 cm, 2.30 cm, 21.17 cm, and 11.17 cm, respectively. In terms of dry matter accumulation of tobacco seedlings, the dry matter accumulation of no potassium supply treatment was relatively slow during the hydroponic culture. The accumulation of the excessive potassium supply treatment was very small and slow at 15-30 d of hydroponic culture, while the accumulation increased sharply at 30-45 d of hydroponic culture. Compared with CK, the excessive potassium supply treatment increased the potassium content of tobacco plant, but the potassium utilization rate decreased, it decreased by 1.48%, 18.24%, and 11.45% respectively at 15 d, 30 d, and 45 d. In summary, potassium deficiency affected the growth of tobacco seedlings from the beginning, root growth was inhibited, and the typical characteristics of potassium deficiency symptoms gradually appeared after 15 days. When potassium was excessive, the growth of tobacco plants was slightly better in the early stage, and the efficiency was not obvious in the middle and late stages. The dry matter accumulation was small and slow in the early stage of tobacco seedling growth, and the potassium utilization rate was lower than that of normal potassium application treatment.

Key words: cigar; potassium; solution culture method; dry matter accumulation; potassium utilization rate

收稿日期: 2023-09-28

基金项目: 中国烟草总公司云南省公司科技计划项目(2022530000241004)

作者简介: 李禹(1997-), 男, 云南曲靖人, 在读硕士, 研究方向: 烟草栽培与生理生化。李禹、姚恒为同等贡献作者。

通信作者: 王娜(1979-), 女, 云南楚雄人, 副教授, 硕士, 主要从事烟草生理生化研究工作。

近年来,雪茄烟消费市场持续走高,国内市场需求十分旺盛,发展前景广阔^[1]。但是,我国优质雪茄烟原料长期依赖进口,严重限制中式雪茄烟品牌的树立和发展^[2]。钾素主要集中分布在烟株生长点、形成层、幼叶等生命活动最旺盛的部位,是烟草吸收量最大的元素^[3]。其含量高低与雪茄烟长势长相、农艺性状及烟叶品质等密切相关^[4]。而我国烟叶钾含量普遍偏低,这已经成为制约我国烟叶品质提高的关键因素之一^[5]。如何提升雪茄烟叶原料质量是当前我国烟草行业亟待解决的问题^[6],探究雪茄烟对钾素营养特征的响应显得十分有意义。

研究表明,充足的钾素可促进蛋白质和糖合成、气孔开放、光合作用、抗逆性等生理生化过程,直接影响烟叶品质^[7-10]。钾元素供应不足,烟株的长势较差,烤后烟叶的化学成分不够协调,严重影响着烟叶燃烧性和持火力,烟叶香气量不足且香气质较差,不利于烟叶产量和品质的提高^[11-13]。植物需要从根部吸收环境中的钾素并转运到植物体中,然后以适合不同细胞的浓度跨膜运输到不同细胞中^[14],参与烟株体内的多种酶反应,促进烟株体内许多代谢过程^[15],提高烟株抗逆性和烟叶产量,多方面改善烟叶,且其作用不能用其他无机离子替代。

钾肥施用是当前最直接有效的增钾措施,明确烟叶需钾特征是科学施肥的关键。烟叶钾素营养主要受烟草类型、品种、环境条件的综合影响^[16-18],

目前有关研究大多集中在烤烟的钾素营养方面^[19-22],对于雪茄烟钾素营养的研究鲜有报道,一定程度上限制了雪茄烟施钾策略的科学制定。本研究以雪茄烟品种云雪38为供试材料,采用溶液培养方法,探讨了钾素供应量对雪茄烟苗期生长、干物质积累及钾素吸收利用的影响,以为雪茄烟施肥提供必要的理论支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地点

试验于2022年6月24日至8月15日在云南省玉溪市研和烟草栽培基地的温室大棚中进行。该地位于24°23'97"N,102°49'83"E,海拔1634 m。

1.2 供试材料

雪茄烟品种材料为四叶一心的云雪38烟苗。供试水培容器为水培专用玻璃瓶,上口直径10 cm,高17 cm;供试营养液为霍格兰氏营养液,溶剂为纯水;药剂增减造成元素变化的补充剂为硫酸钾、氯化钙和普钙。

1.3 试验设计

水培试验设置3个钾素供应量,分别为常规供钾(CK)、不供钾(-K)、超量供钾(+K)(表1)。各处理重复3次,每个重复10株,共30株。元素缺失及过量营养液在霍格兰氏营养液的基础上进行试剂增减,若增减的试剂中涉及到其他元素含量的改变,则使用相应试剂进行补充或减量。

表1 各处理的配方
Tab.1 Formula in each treatment

元素种类		化合物	常规供钾(CK)	不供钾(-K)	超量供钾(+K)
Element sort		Compound	Normal potassium supply	No potassium supply	Excessive of potassium supply
大量元素	Massive element	CaNO ₃ ·4H ₂ O	945.00	825.49	945.00
		KNO ₃	506	0	506
		(NH ₄) ₂ SO ₄	132.00	529.11	132.00
		KH ₂ PO ₄	136	0	136
		MgSO ₄	490	490	490
		K ₂ SO ₄	0	0	523.23
		CaCl ₂	0	0	0
		Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	0	126	0
铁盐溶液	Iron salt solution	FeSO ₄ ·7H ₂ O	5 560	5 560	5 560
微量元素	Micronutrient	CHN ₂ Na ₂ O ₈	7 460	7 460	7 460
		H ₃ BO ₃	6.2	6.2	6.2
		MnSO ₄ ·H ₂ O	22.3	22.3	22.3
		ZnSO ₄ ·7H ₂ O	8.6	8.6	8.6
		Na ₂ MoO ₄	0.25	0.25	0.25
		CuSO ₄	0.025	0.025	0.025
		CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.025	0.025	0.025

各处理营养液经 122 °C 高压灭菌 30 min 后倒入水培瓶,每个水培瓶装营养液 1L,待烟苗长至四叶一心时将其移植入水培瓶,并用支撑杆固定,所有水培瓶均置于温室大棚内统一条件培养。在水培全程中,瓶身用黑色塑料膜包裹,来让烟苗根系完全处于避光条件下,每 5 d 更换一次营养液,利用小型通气泵通气 10 min/h(定时开关,自动控制)。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 烟苗生长状况调查 于水培第 15、30、45 天,每个处理选取 15 株作为调查对象,观测烟苗长势长相,并参照《烟草农艺性状调查方法》(YC/T 142—2010)进行农艺性状测定。

1.4.2 烟苗干物质测定 于水培第 15、30、45 天进行烟苗取样,用清水洗净后,根、茎、叶分别记鲜质量后放入烘箱,经 105 °C 杀青 15 min,65 °C 下烘至恒质量后进行称量。

1.4.3 烟苗钾素含量及利用率测定 于水培第 15、30、45 天进行烟苗取样,在称质量后烟苗各器官

粉碎过筛,采用火焰光度计法测定整株烟苗的(NY/T 2017—2011)钾素含量。烟苗吸钾量、钾素利用率参照李淮源等^[23]的方法进行计算。

1.5 数据分析

试验数据采用 SPSS 23.0 进行方差分析,采用 Excel 2013 进行处理作图。

2 结果与分析

2.1 各处理对云雪 38 烟苗长势长相及农艺性状的影响

2.1.1 各处理对云雪 38 烟苗长势长相的影响 由图 1 可知,钾素供应水平显著影响了烟苗生长发育。CK 的烟苗叶色、根茎长势等生长发育正常;就株高而言,+K 处理 15 d 时,烟苗生长势优于其余处理,30 d 时与 CK 差异不明显,45 d 时则弱于 CK。-K 处理从培养开始即逐渐显现钾素缺乏症状,叶尖 15 d 开始轻微枯焦,根系稀少,之后症状逐渐加重,V 字型焦斑扩大,颜色变深,部分组织枯死,叶尖和叶缘停止生长,叶片下垂,叶数较少。

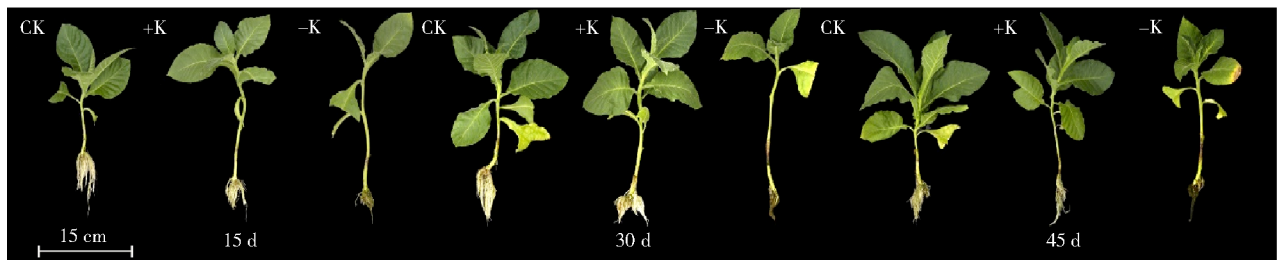


图 1 各处理各个时期的烟苗长势
Fig.1 Growth of tobacco seedling at each stage of each treatment

2.1.2 各处理对云雪 38 烟苗农艺性状的影响 各处理农艺性状指标如表 2 所示。

表 2 各处理农艺性状指标
Tab.2 Agronomic traits of each treatment

培养时间/d Culture time	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem circumference	有效叶数/片 Effective leaf number	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum width of blade
15	-K	17.03±0.85a	1.40±0.10ab	3.00±0.00a	8.93±0.25b	4.57±0.32b
	+K	17.27±2.00a	1.53±0.06a	3.00±0.00a	10.33±0.83a	5.83±0.76a
	CK	11.67±2.52b	1.23±0.21b	3.33±0.58a	10.60±0.79a	6.13±0.49a
30	-K	18.00±1.73a	1.50±0.10a	3.67±0.58b	9.13±0.91b	4.90±0.36b
	+K	19.33±2.57a	1.70±0.10a	4.67±0.58b	11.20±1.06b	6.83±0.72a
	CK	17.00±4.36a	1.63±0.15a	6.67±0.58a	15.20±2.34a	7.33±0.76a
45	-K	21.50±3.97b	1.60±0.10b	6.33±1.53c	9.70±0.98c	5.20±0.44c
	+K	27.67±2.75ab	1.73±0.06b	9.00±1.00b	14.80±2.50b	7.70±1.51b
	CK	31.67±6.64a	2.30±0.26a	12.33±1.15a	21.17±2.48a	11.17±1.44a

注:同一时期不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。下表同。

Note: Different lowercase letters in the same period indicated that there was a significant difference between different treatments at 0.05 level. The same as below.

从表 2 可以看出,水培 15 d 时,株高、茎围以 +K 处理最优,其次为 -K 处理,且二者与 CK 差异显

著($P < 0.05$);30 d 时,有效叶数、最大叶长、最大宽各处理间差异显著($P < 0.05$),以 CK 处理最优,-K

处理最差;45 d时,CK的各指标显著优于+K和-K处理。综合来看,缺钾处理在前期烟苗表现为徒长,15 d时株高、茎围显著高于正常供钾处理($P < 0.05$),45 d时则出现显著下降。超量供钾处理在15 d时,株高、茎围均不同程度优于CK,而有效叶数、最大叶长、最大叶宽间差异不显著;30 d时,株高、茎围差异不显著,有效叶数、最大叶长、最大叶宽则不同程度低于CK;45 d时超量供钾处理的各指标均低于正常供钾处理。正常供钾水平的叶长、叶宽在水培全过程中均高于其余处理。

2.2 各处理对云雪38烟苗鲜质量及干物质积累的影响

2.2.1 各处理对鲜质量的影响

由表3可知,各处理烟苗在不同时期各部位(根、茎、叶)鲜质量生物

累积量基本呈现出叶>茎>根的积累规律。而水培15 d时,-K处理各部位鲜质量均显著最低($P < 0.05$),CK和+K处理间差异不显著。水培30、45 d时,各部位鲜质量所有处理间差异显著($P < 0.05$),且均以-K处理显著最低($P < 0.05$),+K处理显著最高($P < 0.05$),均表现出CK>+K>-K的规律。整体来看,在水培15~45 d中,随着生育期的推进,各处理的鲜质量均逐渐增加,且CK增加量最大,+K次之,-K处理增加最少。就根冠比而言,水培各时期的根冠比表现为CK>+K>-K。在水培15~45 d中,-K处理根冠比变化幅度最小,+K处理次之,CK处理变化幅度最大,到水培45 d时各处理根冠比依次增加了2.21、4.43和4.87。

表3 各处理对鲜质量的影响
Tab.3 The effect of each treatment on fresh weight

培养时间/d Culture time	处理 Treatment	鲜质量 Fresh weight/(g/株)			根冠比 Root top ratio
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	
15	-K	0.11±0.01b	1.25±0.19b	1.58±0.61b	3.94±0.46b
	+K	0.23±0.02a	1.79±0.16a	2.48±0.42ab	5.38±0.34a
	CK	0.26±0.06a	1.64±0.17a	2.74±0.31a	5.88±1.00a
30	-K	0.22±0.01c	1.47±0.04c	2.17±0.07c	6.14±0.24b
	+K	0.44±0.03b	2.51±0.08b	3.28±0.10b	7.66±0.40b
	CK	0.88±0.09a	3.67±0.11a	4.84±0.15a	10.41±1.31a
45	-K	0.38±0.04c	3.18±0.10c	3.07±0.09c	6.15±0.83b
	+K	1.26±0.12b	5.19±0.19b	7.67±0.80b	9.81±0.49a
	CK	1.67±0.03a	6.48±0.19a	9.09±0.27a	10.75±0.35a

2.2.2 各处理对烟苗干物质积累的影响

从图2可以看出,不同处理的各部位干质量占比均表现为叶部>茎部>根部。水培45 d时,与CK相比,+K处理的根部干质量占比增加,叶部干质量占比降低,-K处理的根部和叶部的干质量占比均降低,而茎部干质量占比有所增加。总体来看,各处理烟株

随着水培时间的推移,干物质积累量均不同程度地增加。具体表现为,-K处理在水培各个时期内干物质积累较为缓慢;+K处理在水培15~30 d时累积量很小且缓慢,而水培30~45 d时累积量急剧增加;CK处理在水培各时期干物质积累较快且累积量较大。

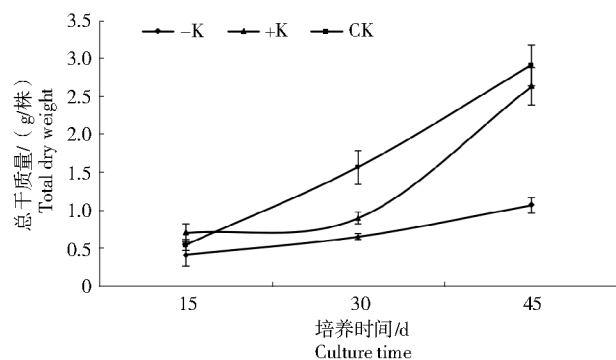
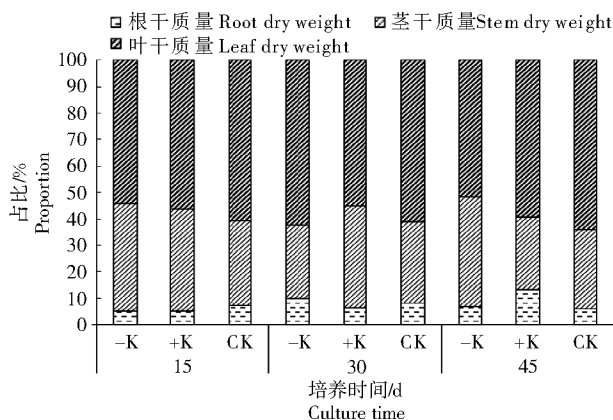


图2 各处理的总干质量及根、茎、叶占比

Fig.2 The total dry weight of each treatment and the proportion of roots, stems and leaves to the total dry weight

2.3 各处理对烟苗钾素含量及利用率的影响

从图3可以看出,水培15、45 d时,各处理的钾素积累量表现为+K>CK>-K,水培30 d时表现为CK>+K>-K。在整个测定期内,随着烟株生长期的延长,不同处理的钾素含量积累趋势存在一定差异。其中,-K处理的钾素含量出现轻微的下陷趋势。+K处理在水培15~30 d时钾素含量积累缓慢,水培30~45 d时钾素含量积累较为迅速。

CK处理的钾素积累量整体呈现上升的趋势。在钾素利用率方面,随着生育期的延长,钾素利用率亦在增加呈上升趋势。其中,CK处理前期的利用率增加较快,后期的利用率增加幅度略有减缓。+K处理前期的钾素利用率相对较低,后期则快速增加。与CK相比,+K处理提高了烟株钾素含量,但钾素利用率却有所降低,在水培15、30、45 d时分别降低了1.48%、18.24%、11.45%。

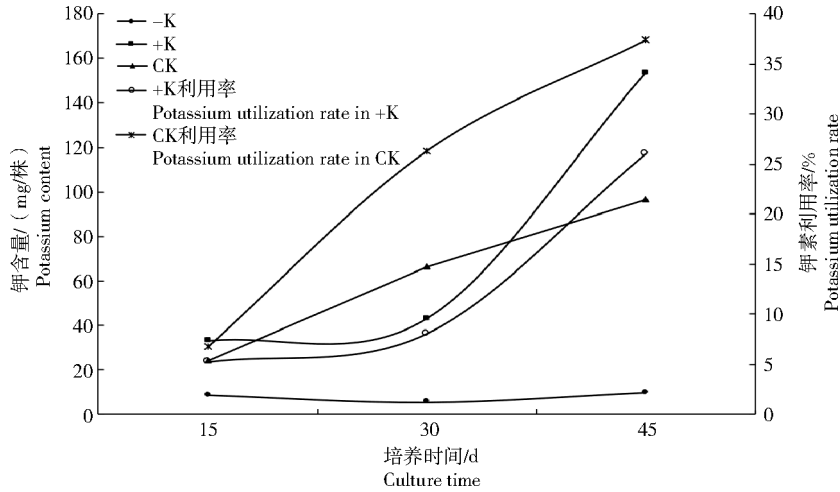
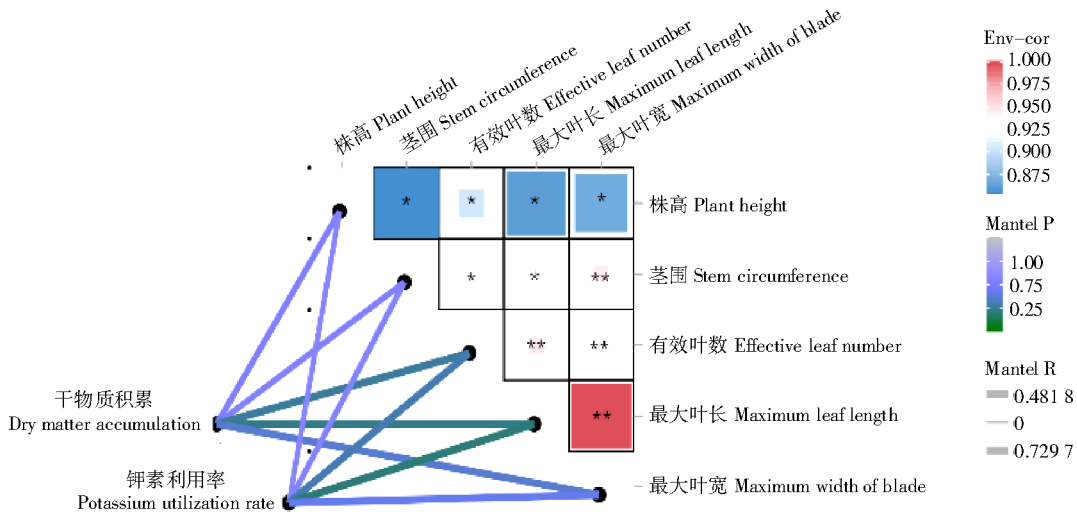


图3 各处理钾素含量及钾素利用率比较
Fig.3 Potassium content and potassium utilization rate of each treatment

2.4 农艺性状、干物质积累及钾素利用率的相关性

对农艺性状、干物质积累量与钾素利用率进行相关性分析(图4),结果表明,最大叶长与有效叶数呈极显著正相关($P<0.05$),最大叶宽与茎围、有效叶数和最大叶长间呈极显著正相关($P<0.05$),其余农艺性状间呈显著正相关($P<0.05$)。干物质积

累量与株高、茎围呈显著正相关($P<0.05$),但相关性较弱,与有效叶数、最大叶长和最大叶宽呈显著正相关($P<0.05$),且相关性较强。钾素利用率与有效叶数、最大叶长相关性较强,但不显著,与最大叶宽呈显著正相关($P<0.05$),与株高、茎围呈显著正相关($P<0.05$),但相关性较弱。



**表示相关性极显著($P<0.01$);*表示相关性显著($P<0.05$)
** indicated extremely significant correlation($P<0.01$); * indicated significant correlation($P<0.05$)

图4 干物质积累及钾素利用率与农艺性状的相关性
Fig.4 Correlation between dry matter accumulation, potassium utilization rate and agronomic traits

3 结论与讨论

钾是植物生长发育必需的大量元素之一^[24],适宜的钾素供应可保证作物的正常生长发育^[25]。钾素对烟草产量和品质的形成尤为重要,因此,烟草被称为嗜钾作物^[15]。大量研究表明,植物根系生长与钾离子浓度密切相关^[26],缺钾可抑制根系生长^[27],导致烟株根系生物量、总根长和根系总体积显著下降^[28-29],影响烟株品质^[30]。本研究表明,与正常供钾处理相比,缺钾烟苗侧根生根量明显不足,根系生物量少,总根长较短。植株下部叶片出现从老叶的叶尖、叶缘黄化焦边或有褐色的斑点是缺钾的典型症状^[31]。本研究中,缺钾明显影响了烟苗生长,15 d后烟苗叶片开始表现出缺钾典型症状,叶尖、叶缘处开始出现病斑,随后由叶尖向整个叶片扩展,这与烤烟缺钾症状相似^[32]。

作物长期处于钾饥饿状态下,会导致其生长受到抑制,严重时会导致植株死亡^[33]。本试验结果显示,缺钾和超量供应均不同程度影响烟苗生长发育,比如超量供钾时,在烟苗生长前期表现为显著促进,但后期效果不明显甚至生长停滞,其整体长势差于CK。这说明只有适宜的钾素供应量才能保证烟苗生长。侯云鹏等^[34]研究得出,施用钾肥可显著提高作物产量,但钾素供应量与作物产量不呈正比关系的观点也能佐证本试验中超量供钾对干物质积累促进效果并不显著的结论。在雪茄烟烟苗生长前期,干物质积累量很小,水培15 d后开始缓慢增加,在30~45 d时干物质积累量急剧增加,这与张硕等^[35]的研究结果一致。

钾素供应水平同样显著影响植株对钾素的吸收利用^[36-37]。刘蒙蒙等^[38]研究表明,雪茄烟钾素吸收高峰在移栽后35 d。本研究中超量供钾的烟苗钾含量在生长后期(30~45 d)反超对照的现象也佐证了这一结论。前人研究表明,随钾肥用量的增加,烟株钾积累量呈增加趋势^[39],烟株钾吸收总量与施钾量呈显著正相关^[40]。而本研究中缺钾、正常供钾和超量供钾处理雪茄烟烟苗的含钾量依次增加,说明增加钾素供应量能提高烟株对钾的吸收。本研究结果还表明,烟苗钾素利用率与供应量不成正比,超量供钾情况下钾素利用率低于常规供应量,这可能是本试验采用水培方式,烟苗生长环境与实际土壤环境差异较大,导致根系钾素吸收效率较低,具体原因还有待进一步研究。相关性分析表明,钾素利用率与有效叶数和最大叶长呈正相关,

且相关性较强,这可能是由于较多的绿叶面积有利于提高光合面积和光合产物,生理代谢活动旺盛,蒸腾作用加大,导致钾素需求量变大。这也说明,同时关注钾素的供应量和地上部烟株的长势,才能保证较好的烟叶产质量。

综上,雪茄烟烟苗缺钾时,缺素症状突出,根系生长停滞,活力较差,烟株体内钾含量较低。钾素过量时,烟株前期长势稍好,中后期增效不明显,长势不如正常供钾。干物质在烟苗生长前期积累量小,积累缓慢;30~45 d是干物质大量、迅速积累期。钾素利用率与有效叶数和最大叶长密切相关,且随生长期的延长而增加,其中正常施钾处理的钾素利用率最高,且几近呈直线增加。

参考文献:

- [1] 张蓝月,周迪,赵园园,等. 四川雪茄系列品种烟碱转化率及品种纯化效果[J]. 西南农业学报, 2023, 36(6): 1188-1196.
ZHANG L Y, ZHOU D, ZHAO Y Y, et al. Nicotine conversion rate for individual plants of Sichuan cigar varieties and effectiveness of purification[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(6): 1188-1196.
- [2] 陈栋,李猛,王荣浩,等. 国产雪茄茄芯烟叶研究进展[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(1): 83-90.
CHEN D, LI M, WANG R H, et al. Progress of the domestic cigar filler tobacco[J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2019, 40(1): 83-90.
- [3] 陈雨峰,彭世逞,柯奕武,等. 硝酸钾与硫酸钾配施对烤烟产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(10): 17-22.
CHEN Y F, PENG S C, KE Y W, et al. Effect of different ratio of potassium nitrate and potassium sulfate on the yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 47(10): 17-22.
- [4] 汤宏,李向阳,王建伟,等. 施钾量对烤烟品质及钾吸收利用的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(2): 86-91.
TANG H, LI X Y, WANG J W, et al. Effect of potassium application rate on quality, potassium uptake and use efficiency of flue-cured tobacco[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(2): 86-91.
- [5] 李鑫,周冀衡,李强,等. 枸橼性钾肥与解钾菌液配施对烤烟生长及钾素营养状况的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(11): 1-6.
LI X, ZHOU J H, LI Q, et al. Application of citrate soluble potassium fertilizer combined with potassium dissolving bacteria on growth and potassium nutrition of flue-cured tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(11): 1-6.
- [6] 王琰琰,刘国祥,向小华,等. 国内外雪茄烟主产区及品种资源概况[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(3): 93-98.
WANG Y Y, LIU G X, XIANG X H, et al. Overview of main cigar production areas and variety resources at domestic and overseas[J]. Chinese Tobacco Science, 2020, 41(3): 93-98.
- [7] 张士荣,王军,林昌华,等. 钾肥运筹对砂泥土土壤烤烟生长、钾素吸收及香气品质改善的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(2): 187-197.

- ZHANG S R, WANG J, LIN C H, et al. Effect of K application level on biomass, K absorption and quality of flue-cured tobacco in sand mud soil[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(2):187-197.
- [8] 何紫瑶, 陈其睿, 胡文诗, 等. 不同钾素供应和光强对油菜叶片光合能力的影响[J/OL]. *中国油料作物学报*, 2023; 1-12[2023-07-19]. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.20222354>.
- HE Z Y, CHEN Q R, HU W S, et al. Effects of different potassium supply and light intensity on photosynthetic capacity of oil-seed rape leaves[J/OL]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2023; 1-12[2023-07-19]. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.20222354>.
- [9] 李耀鑫, 李静静, 琚联营, 等. 不同类型钾肥对烤烟上部叶钾含量与碳氮代谢及品质的影响[J]. *山东农业科学*, 2023, 55(4): 90-96.
- LI Y X, LI J J, JU L Y, et al. Effects of different types of potassium fertilizers on potassium content, carbon and nitrogen metabolism and quality of upper leaves of flue-cured tobacco[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2023, 55(4):90-96.
- [10] 张翔, 索炎炎, 毛家伟, 等. 钾用量与灌溉方式交互对土壤-烤烟系统钾素及烟叶品质的影响[J]. *土壤通报*, 2017, 48(3): 669-675.
- ZHANG X, SUO Y Y, MAO J W, et al. Effect of potassium rate and irrigation methods on potassium contents in plant-soil system and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48(3):669-675.
- [11] 余垚颖, 蒋长春, 顾会战, 等. 有机无机复混钾肥钾素表观释放特征及对烤烟产质量的影响[J]. *中国烟草科学*, 2016, 37(1):14-19.
- YU Y Y, JIANG C C, GU H Z, et al. The K apparent release characteristics of organic-inorganic compound potash fertilizers and its effect on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2016, 37(1):14-19.
- [12] HU W, DI Q, WANG Z J, et al. Grafting alleviates potassium stress and improves growth in tobacco[J]. *BMC Plant Biology*, 2019, 19(1):130.
- [13] 李媛媛, 汪代斌, 王高峰, 等. 钾肥施肥对烤烟钾积累、烟叶产量和质量的影响[J]. *湖南农业科学*, 2022(8):30-35.
- LI Y Y, WANG D B, WANG G F, et al. Effects of combined application of different potassium fertilizers on potassium accumulation, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2022(8):30-35.
- [14] 刘寅笃, 姚攀峰, 杨志坚, 等. 马铃薯钾素营养研究进展[J]. *植物生理学报*, 2023, 59(8):1505-1516.
- LIU Y D, YAO P F, YANG Z J, et al. Research progress of potassium nutrition in potato[J]. *Plant Physiology Journal*, 2023, 59(8):1505-1516.
- [15] 吕大树, 李子坤, 郭泽, 等. 分次施用钾肥及配套措施对烤烟生长发育及其产质量的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2020, 22(1):116-123.
- LYU D S, LI Z S, GUO Z, et al. Effects of potassium fertilizer and related measures on growth and quality of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(1):116-123.
- [16] PI K, LUO W, MO Z J, et al. Overdominant expression of related genes of ion homeostasis improves K⁺ content advantage in hybrid tobacco leaves[J]. *BMC Plant Biology*, 2022, 22(1):335.
- [17] ZHANG Y Y, SHUAI J T, SU S H, et al. Biochar contributes to release of potassium in paddy soil to improve tobacco growth[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2020, 23: 1107-1113.
- [18] 李梦竹, 叶红朝, 王惠, 等. 不同水分胁迫程度下烤烟叶片钾含量的光谱响应[J]. *中国烟草学报*, 2020, 26(4):86-92.
- LI M Z, YE H C, WANG H, et al. Spectral response of potassium content in flue-cured tobacco leaves under different degree of water stress[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2020, 26(4):86-92.
- [19] 闫慧峰, 石屹, 李乃会, 等. 烟草钾素营养研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2013, 15(1):123-129.
- YAN H F, SHI Y, LI N H, et al. Progress in tobacco potassium nutrition[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15(1):123-129.
- [20] 徐祥玉, 樊俊, 王瑞, 等. 雪茄烟田间生长期干物质及氮、磷、钾累积规律分析[J]. *湖北农业科学*, 2022, 61(16):18-23.
- XU X Y, FAN J, WANG R, et al. Analysis of dry matter and accumulation of N, P, and K of cigar during field growth period[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2022, 61(16):18-23.
- [21] 王金棒, 邱纪青, 郑路, 等. 国内外雪茄烟专利技术研究热点及趋势分析[J]. *中国烟草学报*, 2020, 26(4):7-17.
- WANG J B, QIU J Q, ZHENG L, et al. Analysis of hot topics and research trends in domestic and foreign patents related to cigars[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2020, 26(4):7-17.
- [22] 王一恒, 崔俊明, 袁波, 等. 雪茄外包皮烟叶干物质及矿物质营养元素的积累[J]. *浙江农业学报*, 2011, 23(4):680-684.
- WANG Y H, CUI J M, YUAN B, et al. Accumulation of dry matter and mineral nutrients in cigar wrapper tobaccos[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(4):680-684.
- [23] 李淮源, 杜晓辉, 袁长才, 等. 钾肥减量条件下配施 PASP 对土壤理化特性及烤烟钾素吸收利用的影响[J]. *烟草科技*, 2023, 56(2):1-10.
- LI H Y, DU X H, YUAN C C, et al. Effects of potassium fertilizer reduction combined with supplement of polyaspartic acid on soil physicochemical properties, potassium absorption and utilization of flue-cured tobacco[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2023, 56(2):1-10.
- [24] 蔡何青, 李彩斌, 戴彬, 等. 不同生物炭用量对烤烟钾素积累及产量的影响[J]. *山西农业科学*, 2022, 50(8):1131-1135.
- CAI H Q, LI C B, DAI B, et al. Effects of different biochar amounts on potassium accumulation and yield of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2022, 50(8):1131-1135.
- [25] 杨晓燕, 赵锴源, 郑洪健, 等. 植物钾营养利用及性状遗传研究进展[J]. *华北农学报*, 2022, 37(S1):275-282.
- YANG X Y, ZHAO K Y, ZHENG H J, et al. Advances in studies on potassium nutrient utilization and trait inheritance in plants[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2022, 37(S1):275-282.
- [26] 储成才, 王毅, 王二涛. 植物氮磷钾养分高效利用研究现状与展望[J]. *中国科学:生命科学*, 2021, 51(10):1415-1423.
- CHU C C, WANG Y, WANG E T. Improving the utilization efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium: current situa-

- tion and future perspectives[J]. *Scientia Sinica(Vitae)*, 2021, 51(10):1415-1423.
- [27] 李娟. 拟南芥钾通道 AKT1 参与低钾胁迫感受、调控根生长的机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
LI J. Mechanism analyses of potassium channel AKT1 in low potassium sensing and root growth regulation in *Arabidopsis* [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [28] 况帅, 冯迪, 宋科, 等. 低钾胁迫对烟草幼苗活性氧及抗氧化酶系统的影响[J]. *中国烟草学报*, 2018, 24(2):48-54.
KUANG S, FENG D, SONG K, et al. Effects of potassium deficiency stress on active oxygen and antioxidant enzyme system in tobacco seedlings[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2018, 24(2):48-54.
- [29] 杜玉海, 孙志伟, 王晓琳, 等. 缺钾对烤烟氮素吸收利用的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2019, 21(3):141-145.
DU Y H, SUN Z W, WANG X L, et al. Influence of potassium deficiency on nitrogen absorption and assimilation in flue-cured tobacco[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(3):141-145.
- [30] 孙计平, 李雪君, 李丽华, 等. 河南烟区烤烟新品种的耐涝性评价[J]. *山西农业科学*, 2023, 51(9):1042-1049.
SUN J P, LI X J, LI L H, et al. Evaluation of waterlogging tolerance of new flue-cured tobacco varieties in Henan tobacco area[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2023, 51(9):1042-1049.
- [31] 朱振兴, 曲匡正, 李丹, 等. 高粱类缺钾症状种质矿质元素含量分析及基因定位[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(3):75-80.
ZHU Z X, QU K Z, LI D, et al. Mineral elements content analysis and gene mapping of potassium-deficient mimic sorghum[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(3):75-80.
- [32] 刘智强, CAO YUYING, 赵正雄. 田间烤烟叶片缺钾症状与钾积累及土壤供钾水平关系[J]. *土壤学报*, 2020, 57(1):195-205.
LIU Z Q, CAO Y Y, ZHAO Z X. Relationships of potassium deficiency symptoms and potassium accumulation in flue-cured tobacco leaves with soil potassium supply capacity[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57(1):195-205.
- [33] 周利. 低钾胁迫对烟草蛋白质表达的影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
ZHOU L. Differences in protein expression of tobacco under low potassium stress[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2013.
- [34] 侯云鹏, 杨建, 孔丽丽, 等. 施钾对春玉米产量、养分吸收及分配的影响[J]. *玉米科学*, 2015, 23(4):124-131.
HOU Y P, YANG J, KONG L L, et al. Effects of potassium fertilizer application on yield, nutrient absorption and distribution of spring maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2015, 23(4):124-131.
- [35] 张硕, 沈晗, 裴洲洋, 等. 氮钾肥用量对皖南烤烟生长发育及养分吸收的影响[J]. *华北农学报*, 2019, 34(4):167-173.
ZHANG S, SHEN H, PEI Z Y, et al. Effects of nitrogen and potassium application rates on flue-cured tobacco growth and nutrient uptake in southern Anhui province[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(4):167-173.
- [36] 王树林, 祁虹, 王燕, 等. 氮磷钾肥量对玉米产量及养分吸收、利用效率的影响[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 36(11):768-773.
WANG S L, QI H, WANG Y, et al. Effects of fertilization of N P K on maize yield, nutrients uptake and using efficiency[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2016, 36(11):768-773.
- [37] 康利允, 李晓慧, 高宁宁, 等. 低钾条件下不同基因型甜瓜产量、品质及钾素吸收利用差异分析[J]. *河南农业科学*, 2022, 51(8):99-106.
KANG L Y, LI X H, GAO N N, et al. Analysis of yield, quality and potassium absorption and utilization of different genotypes of melon under low potassium condition[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2022, 51(8):99-106.
- [38] 刘蒙蒙, 王旭锋, 王慧芳, 等. 雪茄茄衣烟干物质及矿质营养积累规律的研究[J]. *山东农业科学*, 2015, 47(8):67-70.
LIU M M, WANG X F, WANG H F, et al. Research on accumulation of dry matter and mineral nutrients in cigar wrapper tobacco[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2015, 47(8):67-70.
- [39] 赵文军, 薛开政, 尹梅, 等. 油菜-烤烟轮作体系中油菜秸秆还田方式及钾肥减量对烤烟钾素利用效率的影响[J]. *土壤通报*, 2022, 53(3):675-681.
ZHAO W J, XUE K Z, YIN M, et al. Effects of rape straw returning method and reduction of potassium fertilizer on potassium use efficiency of tobacco in tobacco-rape rotation[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, 53(3):675-681.
- [40] 蒋雨洲, 张吉立, 李洋, 等. 不同钾肥追施量对烤烟钾吸收与烟叶钾含量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(9):98-100.
JIANG Y Z, ZHANG J L, LI Y, et al. Effects of different potassium fertilizer topdressing amount on potassium absorption and potassium content of flue-cured tobacco[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(9):98-100.