

陈大江,孔光辉,张光海,等. 钙素供应对雪茄烟苗期干物质积累及钙素养分利用率的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(12):115-121.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.12.015

# 钙素供应对雪茄烟苗期干物质积累 及钙素养分利用率的影响

陈大江<sup>1</sup>, 孔光辉<sup>2</sup>, 张光海<sup>2</sup>, 赵高坤<sup>2</sup>, 吴玉萍<sup>2</sup>, 李 薇<sup>2</sup>, 李永平<sup>2</sup>, 王 戈<sup>1</sup>,  
白羽祥<sup>1</sup>, 周 鹏<sup>1</sup>, 王 娜<sup>1</sup>, 姚 恒<sup>2</sup>, 杜 宇<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省烟草农业科学研究院, 云南玉溪 653100)

**摘要:**通过开展雪茄烟品种云雪 38、云雪 39 生长发育进程中钙(Ca)元素缺失与过量溶液培养试验,跟踪调查钙元素丰缺对雪茄烟生长发育、干物质积累及钙元素利用率的影响,明确雪茄烟缺钙和丰钙的外观表征。试验在玉溪市研和烟草栽培基地的温室大棚中进行。设置 3 个处理,分别为全素(CK)、缺钙(T1)、丰钙(T2)处理。调查并分析不同处理下的烟株形态、干物质积累量及钙元素利用率。结果显示,在 T1 处理下,云雪 38、云雪 39 烟株农艺性状、干物质积累、钙素积累均整体显著低于 CK,表明缺钙会抑制烟株生长,影响雪茄烟株农艺性状。在农艺性状方面,全素、丰钙处理下差异不明显。在干物质积累方面,2 个品种表现有所不同。云雪 38 总体表现为全素处理干物质积累较大;云雪 39 除 30 d 外,其余时期表现为丰钙处理下最大,根冠比除 20 d 外,其余时期均表现为丰钙处理下最大。在钙素积累方面,云雪 38、云雪 39 均为丰钙处理钙素积累量最大。在钙素利用率方面,同一时期云雪 38、云雪 39 均表现为全素处理高于丰钙处理。

**关键词:**雪茄烟;农艺性状;干物质积累;钙元素利用率

**中图分类号:**S572.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)12-0115-06

雪茄烟的传统概念是指全部用雪茄烟叶卷制而成的烟草制品,由外到内分为茄衣、茄套和茄芯,具有烟碱含量较高、劲头较大且焦油含量低的特点<sup>[1]</sup>。然而,目前国产雪茄烟叶整体质量偏低,国产雪茄烟的质量特征和风格特色有待进一步明确和凝练<sup>[2]</sup>。在国产雪茄烟中,高档雪茄所用原料几乎全部来自国外<sup>[3]</sup>。当前,亟需对国内雪茄烟展开针对性的研究,确定优良品种,完善相应的配套生产与调制技术,并逐步扩大生产规模,稳步提高烟叶质量。

前人研究表明,在烟草种植过程中,大中微量元素对烟草生长发育、烟叶化学品质及非挥发性有机酸、香气物质的积累等具有重要作用<sup>[4]</sup>。其中钙

(Ca)是细胞壁胞间层中果胶酸钙的组成成分,Ca<sup>2+</sup>是蛋白质的羧基与磷脂中的磷酸联结的桥梁,具有稳定膜结构的功能,有助于保持细胞膜的完整性、通透性和孔径,且可防止细胞内的钾外渗,从而有助于钾的吸收<sup>[5]</sup>。钙是偶联胞内生理生化反应与胞外信号的第二信使,对烟株体内的新陈代谢调节具有至关重要的作用<sup>[6]</sup>。同时,钙能减少烤烟叶片中的硝酸盐含量,缓解其他离子过多带来的毒害<sup>[7]</sup>。目前国内对于烟草种植的研究多集中于烤烟,而关于雪茄烟叶生产的研究较少。

目前,云南雪茄烟生产采取的栽培措施主要来源于国外,缺乏因地制宜的本土化栽培技术体系。本研究通过在玉溪市研和烟草栽培基地的温室大棚开展雪茄烟品种云雪 38 和云雪 39 在生长发育进程中 Ca 元素缺失与过量试验,跟踪调查钙元素丰缺对 2 个品种生长发育的影响,明确雪茄烟钙元素缺少和过量的外观表征,并综合评价各项栽培技术措施对云南雪茄烟叶外观质量的影响,以期集成一套成熟规范的中式雪茄原料栽培技术体系,为国产雪茄烟叶原料的生产提供栽培技术支撑,满足烟草企业对雪茄高端原料的迫切需求。

收稿日期:2023-07-27

基金项目:中国烟草总公司云南省公司科技计划(编号:2022530000241004、2023530000241005)。

作者简介:陈大江(2000—),男,云南曲靖人,硕士研究生,研究方向为烟草栽培与生理生化。E-mail:3058450377@qq.com。

通信作者:姚 恒,博士,副研究员,主要从事雪茄烟栽培技术研究, E-mail:yaohn@126.com;杜 宇,博士,高级工程师,主要从事烟草栽培及烟草化学研究,E-mail:duyu@ynau.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2022 年 6 月 24 日至 8 月 15 日在玉溪市研和烟草栽培基地(24°23'97"N,102°49'83"E,海拔 1 634 m)的温室大棚中进行。

1.2 供试材料

雪茄烟品种为云雪 38、云雪 39;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,配方为四水硝酸钙 945 mg/L、硝酸钾 506 mg/L、硫酸铵 132 mg/L、磷酸二氢钾 136 mg/L、硫酸镁 490 mg/L、铁盐溶液 2.5 mL/L、微量元素液 5 mL/L。其中,铁盐溶液配方为七水硫酸亚铁 5.56 g/L、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)7.46 g/L、pH 值 5.5;微量元素液配方为硼酸 6.2 mg/L、一水硫酸锰 22.3 mg/L、七水硫酸锌 8.6 mg/L、钼酸钠 0.25 mg/L、硫酸铜 0.025 mg/L、氯化钴 0.025 mg/L。药剂增减所造成的元素变化补充剂:硫酸钾、氯化钙、一水过磷酸钙。

1.3 试验设计

试验以 Ca 元素丰缺为因素,共设 3 个处理,分别为对照(CK)、缺钙(T1)、丰钙(T2)。每个处理设置 3 次重复,每个重复 10 株,共计 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,即缺钙(T1)处理的营养液在霍格兰氏营养液的基础上需取消四水硝酸钙的使用,所造成的氮元素降低则通过硫酸氨补充;丰钙(T2)处理的营养液在霍格兰氏营养液的基础上增施 444.13 mg/L 氯化钙,以达到增施 2 倍 Ca<sup>2+</sup> 的效果,具体见表 1。

各处理营养液经 122 ℃ 高压灭菌 30 min 后倒入水培瓶,每个水培瓶装 1 L 营养液,瓶身用黑色塑料膜包裹,将烟苗放入定植篮中,并用支撑杆固定,置于温室大棚内进行培养。水培过程中,烟苗的根系处于避光条件下,每 5 d 更换 1 次营养液,并利用小型通气泵每小时通气 10 min(定时开关自动控制)。

表 1 钙元素供应水平设置

处理	元素设置	营养液
CK	全素	霍格兰氏营养液
T1	缺 Ca	霍格兰氏营养液-四水硝酸钙+528 mg/L 硫酸铵
T2	增施 2 倍 Ca	霍格兰氏营养液+444.13 mg/L 氯化钙

1.4 调查与测定项目

1.4.1 烟株形态记录 在水培期间每天定时观察烟草叶片和根系的变化,并记录缺素症状及出现的时间。分别于水培 20、30、40 d 时,从各处理中选取 1 株最具代表性的烟株,进行外观形态拍摄。

1.4.2 烟株农艺性状测定 在水培 20、30、40 d 时,从各处理中分别选取 3 株最具代表性的烟株,进行株高、节距、茎围等主要农艺性状的测定。具体测定方法按照 YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查测量方法》进行。

1.4.3 烟株干重测定 在水培 20、30、40 d 时,从各处理中分别选取 3 株最具代表性的烟株,用清水冲洗干净,经 105 ℃ 杀青 15 min,65 ℃ 烘至恒重后,进行根、茎、叶干重测定。

1.4.4 烟株养分积累及利用率测定 在水培 20、30、40 d 时,从各处理中分别选取 3 株最具代表性的烟株,采用原子吸收分光光度法测定整株烟株钙元素养分含量,并计算钙元素利用率,计算公式为

化肥表观利用率=(施肥区作物养分吸收量-不施肥区作物养分吸收量)/化肥施用量×100%。  
式中:不施肥区作物养分吸收量为缺钙处理(T1)的 Ca<sup>2+</sup> 吸收量。

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 进行处理并作图。

2 结果与分析

2.1 元素丰缺对雪茄烟长势长相的影响

由图 1 可知,在缺钙条件下,随着水培时间的推移,云雪 38 和云雪 39 均表现为根系生长停滞;新叶较厚、颜色深绿,且叶缘叶尖向叶背卷曲,叶缘不规则,叶尖、叶缘坏死,有效叶片数减少。在丰钙处理下 2 个品种的雪茄烟长势与全素处理下的差异不明显,均正常生长。

2.2 各处理对农艺性状的影响

2.2.1 不同处理烟株水培 20 d 时的农艺性状 由表 2 可以看出,在水培 20 d 时,对于云雪 38,由于前期雪茄烟烟株生长缓慢,处理间部分农艺性状差异不明显。除茎围和最大叶长外,株高、有效叶片数、最大叶宽均表现为处理间无显著差异;CK 茎围显著低于 T2 处理,最大叶长显著高于 T1 处理。株高、茎围均表现为 CK 最小,T2 处理最大;有效叶片数、最大叶长、最大叶宽均表现为 T1 处理最低,CK 最大。

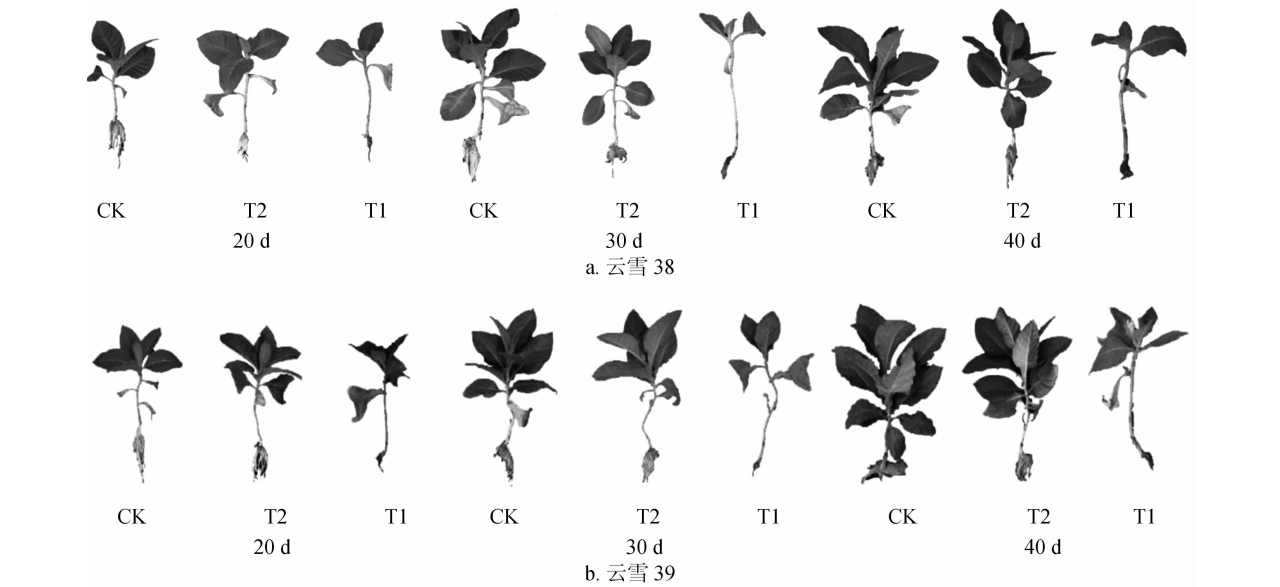


图1 不同处理水培雪茄烟 3 个时期的烟株形态

对于云雪 39,在株高方面,T1 处理显著低于 CK、T2 处理,CK 最大,达 18.00 cm。在茎围方面,T2 处理为 1.77 cm,显著高于 CK、T1 处理。在有效叶片数方面,CK 显著高于 T1、T2 处理。在最大叶长方面,T2 处理显著高于 T1 处理,二者均与 CK 差异不显著。各处理最大叶宽差异不明显。

表 2 不同处理烟株水培 20 d 时的农艺性状

品种	处理	株高 (cm)	茎围 (cm)	有效叶片数 (张)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)
云雪 38	CK	11.73 ± 0.61a	1.23 ± 0.21b	3.33 ± 0.58a	10.60 ± 0.79a	6.13 ± 0.49a
	T1	13.33 ± 3.25a	1.37 ± 0.58ab	2.33 ± 0.58a	8.97 ± 0.47b	5.37 ± 0.40a
	T2	14.83 ± 1.04a	1.57 ± 0.58a	3.33 ± 0.58a	10.27 ± 0.90ab	6.03 ± 0.38a
云雪 39	CK	18.00 ± 1.80a	1.50 ± 0.10b	4.33 ± 0.58a	11.63 ± 0.90ab	6.20 ± 0.56a
	T1	14.10 ± 1.67b	1.47 ± 0.06b	3.00 ± 0.00b	9.60 ± 1.40b	5.40 ± 0.75a
	T2	17.83 ± 1.53a	1.77 ± 0.06a	3.67 ± 0.58b	12.10 ± 0.78a	6.40 ± 0.44a

注:同列数据后不同小写字母表示同一指标在不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

2.2.2 不同处理烟株水培 30 d 时的农艺性状 由表 3 可以看出,在水培 30 d 时,随着水培天数的增加,各农艺性状之间差异开始明显。在株高和茎围方面,云雪 38、云雪 39 均表现为 T1 处理显著低于 T2 处理。在有效叶片数方面,云雪 38 表现为 T1 处理显著低于 CK、T2 处理;云雪 39 表现为 T1、T2 处理显著低于 CK,T2 处理显著高于 T1 处理。在最大叶长方面,云雪 38、云雪 39 均表现为 T1 处理显著低于 CK,在云雪 39 中 T2 处理也显著高于 T1 处理。在最大叶宽方面,云雪 38、云雪 39 均表现为 T1 处理显著低于 CK,在云雪 38 中 T2 处理也显著高于 T1 处理。2 个品种最大叶长和最大叶宽均表现为 CK 最高,分别为 15.20、15.70 cm 和 7.33、7.90 cm。与水培 20 d 时的农艺性状相比,云雪 38 除有效叶

片数外,其他性状均表现为 CK 增长最快,T1 处理增长最慢;云雪 39 除株高外其他性状均表现为 CK 增长最快,T1 处理增长最慢。

2.2.3 不同处理烟株水培 40 d 时的农艺性状 由表 4 可以看出,在水培 40 d 时,2 个品种所有农艺性状均表现为 T1 处理最小,且显著低于 CK、T2 处理,CK 与 T2 处理差异不显著。除株高表现为 T2 处理最大外,其他农艺性状均表现为 CK 最大。与水培 30 d 时的农艺性状相比,除云雪 39 有效叶片数外,其余农艺性状均表现为 CK 增长最快,T1 处理增长最慢。值得注意的是,2 个品种的最大叶长、叶宽均出现培养 40 d 小于 30 d 时的情况,结合图 1 和烟株缺钙症状分析,可能由于烟株缺钙后期,叶尖叶缘停止生长,叶片皱缩,甚至出现逐渐枯萎的现象,从

表 3 不同处理烟株水培 30 d 时的农艺性状

品种	处理	株高 (cm)	茎围 (cm)	有效叶片数 (张)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)
云雪 38	CK	17.07 ± 0.32a	1.63 ± 0.58a	6.67 ± 0.58a	15.20 ± 2.34a	7.33 ± 0.38a
	T1	13.67 ± 0.70b	1.43 ± 0.58b	2.33 ± 0.58b	10.30 ± 2.49b	5.90 ± 0.26b
	T2	18.33 ± 1.62a	1.67 ± 0.12a	6.67 ± 0.58a	14.27 ± 2.16ab	6.90 ± 0.26a
云雪 39	CK	18.30 ± 2.76ab	1.93 ± 0.12a	9.00 ± 0.00a	15.70 ± 1.90a	7.90 ± 1.08a
	T1	16.07 ± 0.50b	1.53 ± 0.06b	4.33 ± 0.58c	10.20 ± 1.11b	5.80 ± 0.72b
	T2	21.73 ± 3.20a	1.87 ± 0.12a	7.00 ± 1.00b	14.80 ± 1.15a	7.53 ± 0.85ab

表 4 不同处理烟株水培 40 d 时的农艺性状

品种	处理	株高 (cm)	茎围 (cm)	有效叶片数 (张)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)
云雪 38	CK	31.67 ± 6.64a	2.30 ± 0.26a	12.33 ± 1.15a	21.17 ± 2.48a	11.17 ± 1.44a
	T1	14.17 ± 3.01b	1.43 ± 0.58b	2.67 ± 0.58b	8.57 ± 1.07b	4.80 ± 0.62b
	T2	32.33 ± 5.11a	1.90 ± 0.26a	11.67 ± 0.58a	18.57 ± 3.48a	10.47 ± 2.41a
云雪 39	CK	29.93 ± 3.75a	2.10 ± 0.17a	14.33 ± 0.58a	18.87 ± 1.81a	9.63 ± 1.23a
	T1	19.67 ± 2.86b	1.53 ± 0.06b	5.00 ± 0.00b	8.93 ± 1.89b	5.03 ± 1.17b
	T2	30.00 ± 5.11a	1.97 ± 0.29a	13.67 ± 2.08a	17.33 ± 1.87a	7.50 ± 0.87a

而导致培养 40 d 时所测得的烟株最大叶长、叶宽小于培养 30 d 时。

2.3 不同处理烟株干物质积累分析

2.3.1 不同处理烟株水培 20 d 时的干物质积累量

由表 5 可见,在水培 20 d 时,对于云雪 38,除茎、叶干重外,根干重、总干重、根冠比均表现为 T1 处理最小,CK 最大,且显著高于 T1、T2 处理,T1 处理与 T2 处理差异不显著。在茎干重方面,依然是 CK

最大,T1 处理最小,但只有 CK 显著高于 T1 处理。在叶干重方面,3 个处理之间均存在显著差异,CK 显著高于 T1、T2 处理;T2 处理显著高于 T1 处理。对于云雪 39,3 个处理在根干重、根冠比方面无显著差异,在茎、叶干重方面均为 T2 处理最高,分别为 0.320、0.423 g;其中 T2 处理茎干重显著高于 T1、CK;T2 处理叶干重显著高于 T1 处理。总干重则表现为 T2 处理显著高于 T1、CK,CK 显著高于 T1 处理。

表 5 不同处理烟株水培 20 d 时的干物质积累量

品种	处理	干重(g)				根冠比 (%)
		根	茎	叶	总计	
云雪 38	CK	0.039 ± 0.011a	0.173 ± 0.032a	0.327 ± 0.032a	0.540 ± 0.066a	7.800 ± 1.380a
	T1	0.011 ± 0.002b	0.117 ± 0.029b	0.100 ± 0.020c	0.227 ± 0.047b	5.267 ± 0.306b
	T2	0.018 ± 0.004b	0.130 ± 0.010ab	0.183 ± 0.055b	0.333 ± 0.064b	5.800 ± 0.954b
云雪 39	CK	0.032 ± 0.006a	0.200 ± 0.026b	0.347 ± 0.006ab	0.579 ± 0.019b	5.873 ± 1.256a
	T1	0.030 ± 0.006a	0.160 ± 0.030b	0.237 ± 0.015b	0.426 ± 0.040c	7.648 ± 2.323a
	T2	0.042 ± 0.008a	0.320 ± 0.020a	0.423 ± 0.110a	0.786 ± 0.099a	5.680 ± 0.537a

2.3.2 不同处理烟株水培 30 d 时的干物质积累量

由表 6 可以看出,在水培 30 d 时,云雪 38 除根冠比外,各部分干重均表现为 T1 处理最小,CK 最大,其中在根干重、叶干重、总干重方面,CK 显著高于 T1、T2 处理;T2 处理显著高于 T1 处理。在茎干重方面,CK 显著高于 T1、T2 处理,T1 处理与 T2 处理差异不显著。在根冠比方面,T2 处理最大,T1 处理最小;T2 处理显著高于 T1、CK 处理,T1 处理与 CK

差异不显著。对于云雪 39,除根冠比表现为各处理间无显著差异外,其余指标均为 T1 处理显著低于 CK、T2 处理。除叶干重和总干重表现为 CK 最高外,其余指标均为 T2 处理最高。

2.3.3 不同处理烟株水培 40 d 时的干物质积累量

由表 7 可见,在水培 40 d 时,云雪 38 表现为除根冠比外,各部分干重均表现为 T1 处理最小,其中在根干重、叶干重、总干重方面,T1 处理显著低于 CK、

表 6 不同处理烟株水培 30 d 时的干物质积累量

品种	处理	干重(g)				根冠比 (%)
		根	茎	叶	总计	
云雪 38	CK	0.126 ± 0.023a	0.490 ± 0.085a	1.020 ± 0.210a	1.637 ± 0.320a	8.333 ± 0.252b
	T1	0.026 ± 0.005c	0.157 ± 0.040b	0.170 ± 0.026c	0.357 ± 0.076c	8.100 ± 0.300b
	T2	0.082 ± 0.017b	0.240 ± 0.040b	0.497 ± 0.090b	0.817 ± 0.150b	11.067 ± 0.379a
云雪 39	CK	0.143 ± 0.018a	0.503 ± 0.131a	1.033 ± 0.300a	1.680 ± 0.443a	9.664 ± 2.108a
	T1	0.036 ± 0.005b	0.293 ± 0.047b	0.277 ± 0.042b	0.606 ± 0.039b	6.439 ± 1.271a
	T2	0.155 ± 0.027a	0.597 ± 0.051a	0.887 ± 0.234a	1.638 ± 0.219a	10.773 ± 3.195a

T2 处理,T2 处理与 CK 差异不显著,其中根干重以 T2 处理最大,叶干重、总干重均以 CK 最大。在茎干重方面,CK 最大,只有 T1 处理与 CK 存在显著差异,表现为 CK 显著高于 T1 处理。在根冠比方面,CK 最小,T2 处理最大,T2 处理显著高于 CK。对于云雪

39,各处理根干重、茎干重表现为 T2 处理显著高于 CK、T1 处理;CK 显著高于 T1 处理。叶干重、总干重、根冠比则表现为 T1 处理显著低于 CK、T2 处理;CK 与 T2 处理差异不显著。不同处理烟株水培 40 d 时不同部位干物质积累量均表现为 T2 处理最高。

表 7 不同处理烟株水培 40 d 时的干物质积累量

品种	处理	干重(g)				根冠比 (%)
		根	茎	叶	总计	
云雪 38	CK	0.140 ± 0.018a	0.740 ± 0.185a	1.500 ± 0.462a	2.380 ± 0.658a	6.467 ± 1.124b
	T1	0.050 ± 0.004b	0.330 ± 0.070b	0.250 ± 0.053b	0.630 ± 0.123b	8.867 ± 1.474ab
	T2	0.170 ± 0.022a	0.550 ± 0.108ab	1.130 ± 0.219a	1.853 ± 0.317a	10.400 ± 2.667a
云雪 39	CK	0.300 ± 0.014b	1.177 ± 0.101b	2.110 ± 0.491a	3.587 ± 0.445a	9.223 ± 1.114a
	T1	0.072 ± 0.013c	0.630 ± 0.157c	0.517 ± 0.060b	1.219 ± 0.195b	6.229 ± 0.274b
	T2	0.400 ± 0.028a	1.467 ± 0.165a	2.243 ± 0.351a	4.110 ± 0.468a	10.972 ± 2.177a

2.4 各处理对烟株钙素积累及钙素利用率的影响

由表 8 可以看出,除水培 20 d 时云雪 39 钙素积累表现为 T2 处理与 CK 无显著差异外,2 个品种在其余时期均表现为 T2 处理显著高于 T1、CK;CK 显著高于 T1 处理。随着移栽时间的推移,2 个品种钙素积累在不同时期变化不大。在 T1 处理缺钙条件下仍有钙素积累,原因可能是烟株在育苗阶段有钙素营养的吸收。

表 8 不同处理烟株各时期钙素积累

品种	处理	钙素积累量(%)		
		20 d	30 d	40 d
云雪 38	CK	1.335 ± 0.023b	1.367 ± 0.067b	1.380 ± 0.071b
	T1	0.356 ± 0.031c	0.357 ± 0.059c	0.424 ± 0.062c
	T2	1.612 ± 0.172a	1.654 ± 0.085a	1.683 ± 0.172a
云雪 39	CK	1.307 ± 0.029a	1.423 ± 0.035b	1.457 ± 0.065b
	T1	0.390 ± 0.017b	0.488 ± 0.072c	0.546 ± 0.029c
	T2	1.513 ± 0.180a	1.630 ± 0.085a	1.665 ± 0.095a

由图 2 可以看出,在同一时期内,2 个品种均为 CK 下的钙素利用率高于丰钙处理。2 个品种在同一处理下钙素利用率表现为云雪 39 高于云雪 38。

对于 T2 处理,2 个品种均为水培 30 ~ 40 d 时钙素吸收较多;对于 CK,云雪 38 表现为 20 ~ 30 d 时钙素吸收较多,云雪 39 则表现为水培 30 ~ 40 d 时钙素吸收较多。说明云雪 39 对钙元素的吸收高于云雪 38,云雪 38 在 CK 下水培 20 ~ 30 d、在 T2 处理下水培 30 ~ 40 d 时应注意追施钙元素;云雪 39 在 CK、T2 处理下都应在水培 30 ~ 40 d 时注意追施钙元素。

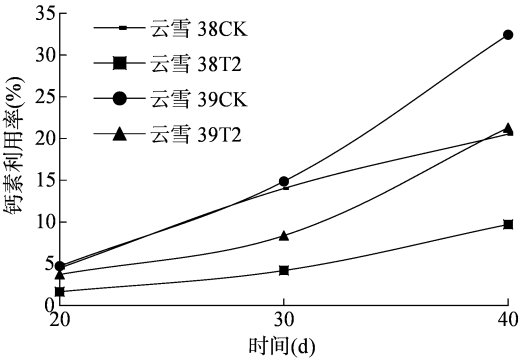


图2 不同处理对烟叶钙素利用率的影响

3 讨论

钙是烟草生长发育所需的中量元素之一,具有

协调烟株生理机能的作用,可使烟株根系发达,生长旺盛<sup>[8]</sup>。雪茄烟的农艺性状直观反映了雪茄烟的生长状况,本试验中,在缺钙处理下,云雪 38、云雪 39 均出现根系生长停滞,新叶较厚,叶缘不规则且向叶背卷曲,叶尖、叶缘坏死,有效叶片数减少等现象;全素和丰钙处理下均表现为烟株根系发达,植株生长旺盛。王佩云等认为,烟株缺钙时生长发育受到抑制,缺素症状首先出现在幼嫩组织,表现为幼叶卷曲畸形,叶缘焦枯、失绿、变形,出现弯钩状<sup>[9]</sup>,从本试验的雪茄烟长势图也可以得到类似结果。高加明等的研究表明,施钙能够促进烤烟的生长,农艺性状表现较好<sup>[10]</sup>。本试验结果表明,水培 30 d 后,全素和丰钙处理下的烟株农艺性状均优于缺钙处理。钙素的施用能给土壤提供植物可吸收的植物钙,并调节土壤酸碱度<sup>[11]</sup>,为其他营养元素的吸收提供适宜的土壤条件,从而促进烟株的生长发育。张世川认为,少量钙肥施用对烤烟烟株的农艺性状有一定的促进作用,能加大烟叶的叶面积,但与常规施钙量相比,增加施钙量促进作用不明显<sup>[12]</sup>,本试验结果与之基本一致,本试验中,丰钙处理与全素处理下的雪茄烟农艺性状除培养 20 d 时的茎围以及培养 20、30 d 时云雪 39 的有效叶片数外其余指标之间无显著差异。说明钙营养元素对烤烟和雪茄烟农艺性状的影响基本一致,适量的钙有助于雪茄烟的生长发育,缺钙严重影响烟株生长,而丰钙没有进一步促进烟株生长。

根系生长对矿质元素反应敏感,微量元素的丰缺在一定程度上影响根系生物量的积累,进而影响植物干物质积累<sup>[13]</sup>。李玥等的研究表明,钙元素可促进烟株根系发育,使烟株生长旺盛,促进烟株生物量积累<sup>[11]</sup>。本试验中,云雪 38、云雪 39 在干物质积累上有所差异,在前期全素处理下云雪 38 的总干物质积累量显著高于缺钙、丰钙处理,后期丰钙处理与全素处理差异不显著,原因可能是烟株生长前期对钙元素吸收较少,导致丰钙处理下的钙元素过量,影响烟株对其他元素的吸收,进而影响植株生长发育,随着烟株生长后期对钙元素吸收的增多,丰钙处理下烟株的钙元素胁迫减弱,从而对烟株生长的抑制作用减弱,进而表现为前期丰钙处理下烟株干物质积累量显著低于全素处理;后期则表现为差异不显著。云雪 39 在培养 20、40 d 时均表现为丰钙处理下干物质积累量最高,同时期云雪 39 各部分干重高于云雪 38。不同品种雪茄烟对土壤养分

的要求有所不同<sup>[14]</sup>,干物质积累产生差异的原因可能是 2 个品种对矿质元素吸收的区别导致烟株对钙元素吸收有所差异。对比同一处理不同时期干物质积累量发现,丰钙处理下根干重增长较快,与王佩云等得出的缺钙对烤烟根系生长的影响大于对地上部分的试验结果<sup>[9]</sup>相符。

本试验中,不同钙素处理下云雪 38、云雪 39 钙素积累表现为缺钙处理最小,全素处理次之,丰钙处理下最高。介晓磊等认为,当营养液中钙浓度达到 300 mg/L 左右时,烤烟烟株钾、磷、钙含量达到最大值,钙浓度继续增大时,钾、磷、钙含量开始下降<sup>[15]</sup>,本试验与之存在差异。本试验中,丰钙条件下营养液中钙浓度为 320 mg/L,但丰钙处理下雪茄烟钙素累计最高,说明雪茄烟对于钙营养元素的吸收高于烤烟。在钙元素利用率方面,云雪 38、云雪 39 均表现为 CK 高于 T2 处理;在同一时期内云雪 39 对钙元素的利用率高于云雪 38。可以看出,当钙元素施用达到一定量时,随着施用量的继续增大,烟株的吸收减少。在雪茄烟种植过程中,应做到适量施用钙元素,达到经济效益最大化。

## 4 结论

钙在植物生长发育过程中起着重要作用,同时钙也是烟草生长发育所需的中量元素之一,具有协调烟株生理机能的功效<sup>[16]</sup>。云雪 38、云雪 39 在缺钙处理下烟株长势、农艺性状、干物质积累、钙素积累等与全素、丰钙处理有较大差异。在烟株长势和农艺性状方面,全素处理与丰钙处理总体区别不明显。在干物质积累方面,2 个品种表现有所不同。云雪 38 总体表现为全素处理干物质积累较大,云雪 39 除培养 30 d 外,其余时期表现为丰钙处理下最大;云雪 39 根冠比除培养 20 d 外,其余时期均表现为丰钙处理下最大。在钙素积累及利用率方面,云雪 38、云雪 39 均为丰钙处理钙素积累最大、全素处理钙元素利用率高于丰钙处理;在同一时期,云雪 39 对钙元素的利用率高于云雪 38。

## 参考文献:

- [1] 危跃,邢云飞,刘旭东,等. 国内雪茄烟研究态势——基于 CNKI 数据库的文献计量[J]. 中国农业信息,2022,34(2):27-36.
- [2] 李爱军,秦艳青,代惠娟,等. 国产雪茄烟叶科学发展刍议[J]. 中国烟草学报,2012,18(1):112-114.
- [3] 韦祖松. 析释“中式雪茄”的特点和发展现状[J]. 广东经济,2020(11):82-89.

张馨怡,郭宝佃,韩晨阳,等. 猕猴桃溃疡病菌Ⅲ型效应蛋白 HopAH1 的三维结构与生化功能分析[J]. 江苏农业科学,2024,52(12):121–127.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2024.12.016

# 猕猴桃溃疡病菌Ⅲ型效应蛋白 HopAH1 的三维结构与生化功能分析

张馨怡<sup>1</sup>, 郭宝佃<sup>2</sup>, 韩晨阳<sup>3</sup>, 赵延存<sup>2</sup>, 刘凤权<sup>1,2</sup>

(1. 海南大学热带农林学院, 海南海口 570228; 2. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏南京 210014;

3. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**猕猴桃溃疡病危害严重,影响猕猴桃的产量。对猕猴桃溃疡病菌 14 个保守的Ⅲ型效应蛋白进行了功能域预测分析,发现 HopAH1 属于糖基水解酶超级家族。搜索同源蛋白并结合进化树分析发现,HopAH1 与丁香假单胞菌番茄致病变种的效应蛋白亲缘关系较近,而与其他同源蛋白的亲缘关系相对较远。Alpha Fold2 预测三维结构发现,HopAH1 具有糖基水解酶 GH5 家族典型的桶状结构。酶活性测定试验发现 HopAH1 不能水解槐树豆胶、羧甲基纤维素钠以及对硝基苯基- $\beta$ -D 半乳糖苷等 3 种底物,推测可能存在其他特异性底物。使用农杆菌介导的蛋白瞬时表达体系在本氏烟中表达 HopAH1,发现不能引起烟草细胞坏死。研究结果将为 HopAH1 的作用机制研究提供参考。

**关键词:**猕猴桃溃疡病菌;效应蛋白;三维结构;生化功能

**中图分类号:**S436.634.1<sup>+</sup>9 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2024)12–0121–07

猕猴桃富含维生素 C 等多种营养物质,被誉为“水果之王”,是重要的园艺经济作物<sup>[1]</sup>。猕猴桃溃疡病危害严重,病原为丁香假单胞菌猕猴桃致病变

种(*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*, *Psa*)<sup>[2]</sup>。猕猴桃溃疡病在我国猕猴桃产区普遍发生,特别是在四川和陕西等猕猴桃主产区,发病率可达 20%,严重影响了我国猕猴桃产量<sup>[3]</sup>。目前针对猕猴桃溃疡病菌发病成灾机制的研究非常少,也加大了对采取有效防治措施的难度。因此,深入研究猕猴桃溃疡病菌的致病机理,对制定猕猴桃溃疡病防治新策略,进而有效地控制病害、提高猕猴桃产量具有重要意义。

植物病原细菌利用Ⅲ型分泌系统将效应蛋白导入寄主细胞,通过影响寄主免疫反应及多种生物

收稿日期:2023–12–14

基金项目:国家自然科学基金(编号:32202261);江苏省自然科学基金(编号:BK20210156)。

作者简介:张馨怡(1997—),女,陕西咸阳人,硕士研究生,从事植物病理学研究。E-mail:zhangxinyi0302@163.com。

通信作者:郭宝佃,博士,助理研究员,从事植物与病原互作研究, E-mail:guo\_baodian@163.com;刘凤权,博士,教授,从事植物细菌病害研究, E-mail:fqliu20011@sina.com。

[4]管庆林,朴晟源,秦艳青,等. 中微量元素配施对雪茄烟叶中性致香成分及非挥发性有机酸含量的影响[J]. 山东农业科学, 2023,55(2):110–118.

[5]聂新柏,靳志丽. 烤烟中微量元素对烤烟生长及产质量的影响[J]. 中国烟草科学,2003(4):30–34.

[6]刘茜茜. 钙、镁营养对烤烟产量和品质的影响[D]. 贵阳:贵州大学,2020.

[7]吕永华,詹寿,马武军,等. 石灰、钙镁磷肥对烤烟生产及土壤酸度调节的影响[J]. 生态环境,2004,13(3):379–381.

[8]张丽英,许自成,苏永土,等. 烟草钙素营养研究概况[J]. 江西农业学报,2010,22(10):73–75.

[9]王佩云,李璐,陈照峰,等. 钙、镁、铁亏缺对烟草生长和生理指标的影响[J]. 湖南农业科学,2022(10):21–24.

[10]高加明,黄广华,任晓红,等. 氨基酸钙对烤烟生长及烟叶品质

的影响[J]. 现代农业科技,2020(12):23–24,26.

[11]李玥,赖勇林,王军,等. 不同养分缺乏对烤烟根系形态及营养生长的影响[J]. 中国烟草科学,2015,36(2):60–65.

[12]张世川. 中微量元素肥料对抚州烟区烤烟生长发育及产质量的影响[D]. 南昌:江西农业大学,2019.

[13]贾晓红,周再知,马华明,等. 缺素对土沉香幼苗根系生长和叶绿素荧光参数的影响[J]. 热带作物学报,2015,36(4):660–664.

[14]杨兴有,靳冬梅,李爱军,等. 四川万源市烟区生态条件与雪茄烟叶质量分析[J]. 中国烟草学报,2017,23(1):69–76.

[15]介晓磊,刘世亮,李有田,等. 不同浓度钙营养液对烟草矿质营养吸收与积累的影响[J]. 土壤通报,2005,36(4):560–563.

[16]李晓彤,杨婉莹,孙莎莎,等. 外源褪黑素对番茄缺钙胁迫的缓解效应[J]. 植物生理学报,2019,55(2):169–176.