

陈琪,董静,杨加仪,等. 培养液供钾浓度对番茄生长、产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(23):165-170.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.23.025

培养液供钾浓度对番茄生长、产量和品质的影响

陈琪¹,董静²,杨加仪¹,庞忠俊¹,何世朋¹,陈飞¹,梁斌¹

(1. 青岛农业大学资源与环境学院,山东青岛 266109; 2. 寿光市农业局国家大宗蔬菜体系寿光综合实验站,山东潍坊 262700)

摘要:为探究钾离子浓度对番茄钙、镁吸收及果实品质的提升作用。采用砂培的栽培模式,研究不同钾离子浓度(5 mmol/L, K1; 10 mmol/L, K2; 15 mmol/L, K3)对番茄生物量、产量、养分吸收和果实品质的影响。结果表明,高浓度钾处理(15 mmol/L)显著降低冬春季番茄生物量与产量,降幅分别为 21%~26% 和 17%。增加钾浓度供应水平,冬春季番茄茎、叶中钾含量降低,果实中钾含量升高,K3 较 K1 处理茎、叶中钾含量显著降低 11%~13%,K3 较 K1 处理果实中钾含量显著增加 36%,秋冬季番茄茎、叶和果中钾含量无显著变化。高钾浓度供应显著降低秋冬季茎秆中钙、镁含量,降幅为 9%~12%;也降低冬春季番茄茎秆中钙、镁含量,降幅为 4%~15%,果实中钙含量也显著降低 24%,但果实中镁含量显著增加 6%,叶片钙、镁含量显著增加 9%~24%。增加钾离子浓度会降低钾肥回收利用率,与 K1 处理相比,K3 处理钾肥回收利用率显著降低 31%~78%。增加钾离子浓度显著增加果实中可溶性糖含量、有机酸含量、维生素 C 含量和果实硬度,番茄品质的综合得分排名依次为 K3 > K2 > K1。

关键词:番茄;钾水平;砂培;钾、钙、镁;产量;品质

中图分类号:S641.206 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)23-0165-06

无土栽培是指以草炭、河砂和椰糠等基质固定植物的栽培方法,有效解决了土壤栽培出现的土传病害及连作障碍等问题^[1],具有通气性好、盐分积累少等优点。世界上使用无土栽培种植蔬菜的国家和地区已达 100 多个,种植蔬菜的面积达到 19.7 万 hm²,据统计,我国无土栽培种植蔬菜的面积从 2015 年约为 2 万 hm²,增加至 2020 年 5 万 hm² 左右^[2]。因此,随着无土栽培种植面积和应用范围的增多,无土栽培技术也逐渐成熟和发展起来,经营和技术管理水平也逐渐达到一个新的高度,逐步实现集约化和规模化,达到优质高产和高效的目的。

2022 年,我国番茄种植面积高达 505.20 万 hm²,产值达 1.87 亿 t,总产值已超过 600 亿美元,我国逐渐成为全球最大的番茄生产与消费国家^[3]。番茄因其富含维生素 C 及钙、镁、锌、硼等矿质元素,且风味独特,成为世界上最受欢迎的蔬菜之一。番茄属于喜钾作物,钾能促进植物养分吸收,调节酶活性,进一步提高产量和品质。王军君等研究发

现,雾培番茄营养液中钾浓度为 8 mmol/L 时,番茄产量、风味品质和抗氧化营养品质最高,通过水培试验,得出钾浓度为 10 mmol/L 时番茄产量和品质最佳^[4-6]。侯广欣通过椰糠栽培番茄表明,营养液中钾浓度为 16 mmol/L 时可提高番茄产量和品质^[7]。Lin 等在无土栽培条件下对甜瓜进行钾处理,发现当钾浓度为 6 mmol/L 时的果实可溶性糖、维生素 C 含量显著增加^[8]。

作物对钾、钙、镁等养分元素的吸收受到多因素的影响^[9],元素之间的相互作用也会对植物的养分吸收产生影响,大量的钾投入可能造成植株体内钙镁失衡^[10],相关研究表明,K⁺和 Ca²⁺既存在协同作用又存在拮抗作用,适量施钾可促进植株对钙的吸收,过量施钾时,K⁺和 Ca²⁺开始竞争质膜上的结合位点,过量的 K⁺对钙的吸收产生负面影响^[11]。

因此,为探究砂培条件下提高钾离子浓度对番茄植株钙、镁吸收及番茄产量和品质的影响。本试验以番茄为材料,栽培方式为砂培,依托施肥机实时监测水分变化,及时地进行不同钾浓度的水肥灌溉。在成熟期进行取样,测定茎、叶、果养分含量,测定 3 穗果实可溶性糖、维生素 C 和有机酸含量等品质指标,并统计单株产量,比较不同钾水平番茄产量和品质以及植株养分吸收情况,探索出番茄在砂培条件下达到稳产提质目的的钾浓度,为我国番

收稿日期:2023-03-17

基金项目:山东省重点研发项目(编号:2021CXGC010801)。

作者简介:陈琪(1997—),女,内蒙古通辽人,硕士研究生,主要从事设施蔬菜水肥高效利用。E-mail:chenqi2048@qq.com。

通信作者:梁斌,教授,博士,主要从事设施蔬菜水肥高效利用。

E-mail:liangbin306@163.com。

茄的优质高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2021 年 8 月至 2022 年 6 月在山东省寿光市洛城街道青岛农业大学水肥资源高效利用基地温室内进行(118°51'40"E,36°51'40"N)。供试的番茄品种为戴安娜,番茄种植 2 季,分别于 2021 年 8 月 23 日和 2022 年 1 月 8 日定植。

1.2 试验设计

试验设 3 个处理,分别保持营养液钾浓度为 5、10、15 mmol/L,记作 K1、K2、K3,钾离子源于甲酸钾。随机区组排列,3 次重复。浇水施肥使用原位检测水肥一体化施肥机,浇水施肥方式为滴灌,时间为 06:00—19:00,每次供液最长时间不超过 20 min,定植后缓苗 3~5 d,缓苗结束开始处理,除了灌溉液钾浓度不同外,其他肥料浓度、各处理栽培方式和田间管理相同,营养液配方参照霍格兰营养液并进行改良。

1.3 样品采集与测定

在番茄成熟期(2021 年 12 月 1 日和 2022 年 5 月 10 日),每个处理选取具有代表性的植株 6 株,并对每株茎、叶和果进行分装,且在果实成熟期选取果实 10~20 个。样品采集后烘干、称质量和粉碎。测定指标包括钾、钙和镁。植物样品经 $H_2SO_4 - H_2O_2$ 消煮后,消煮液内全钾含量分别采用火焰光度

法测定。钙、镁采用干灰化-ICP 仪测定。采摘番茄三穗果实进行品质的测定,果实硬度采用 GY-4-J 水果硬度计测定。可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[12],有机酸含量采用 NaOH 滴定法测定;糖酸比=可溶性糖含量/有机酸含量。维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚磺酞法测定^[13],可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[12]。钾肥回收利用率=番茄钾携出量/钾养分投入量。

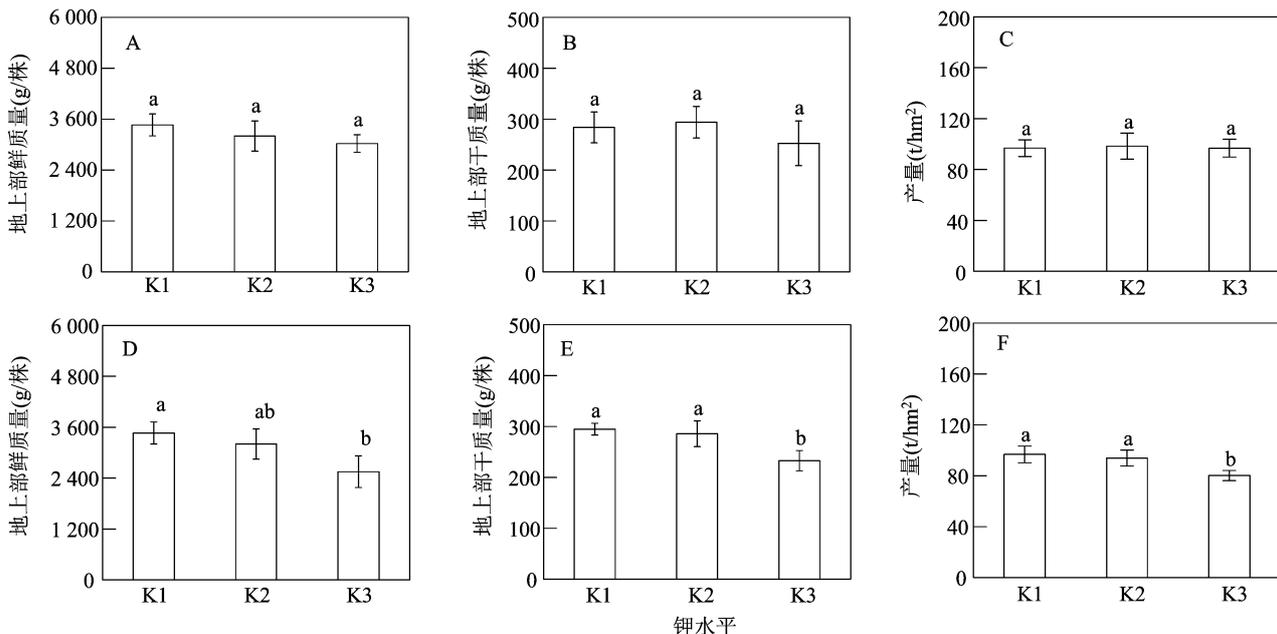
1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件进行试验数据处理和分析;使用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和主成分分析,采用 Origin 软件进行统计分析。采用多指标综合评价方法评价番茄品质指标,选取可溶性糖含量(X_1)、有机酸含量(X_2)、糖酸比(X_3)、可溶性蛋白含量(X_4)、维生素 C 含量(X_5)、硬度(X_6)6 个品质指标作为评价因子,利用 SPSS 22.0 软件进行数据标准化和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 番茄生物量与产量

由图 1 可知,秋冬季和冬春季番茄产量范围为 80~100 t/hm²。秋冬季各处理地上部干质量、鲜质量和产量无显著差异。2022 年冬春季,高浓度钾水平(15 mmol/L)显著降低生物量和产量,与 K1(5 mmol/L)处理相比,番茄地上部鲜质量、地上部干质量和产量分别显著降低 26%、21% 和 17%



图中 A~C、D~F 分别为 2021 年秋冬季、2022 年冬春季的数据。不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同

图1 钾水平对番茄生物量和产量的影响

($P < 0.05$), 5、10 mmol/L 钾浓度处理生物量和产量无显著差异。

2.2 番茄养分含量、携出量以及钾肥利用率

钾水平和生长季对番茄茎和果中钾含量均有极显著影响(表1)。由表2可知,钾浓度对秋冬季番茄茎、叶、果中钾含量无影响。K2处理叶片中钾携出量较K1和K3处理显著降低18%和21%。

2022年冬春季高浓度(15 mmol/L)处理显著降低茎中钾含量,提高果实中钾含量。与K1处理相比,K3处理茎中钾含量显著降低11%,果实钾含量显著增加36%,K3处理植株钾携出量较K1处理显著降低10%($P < 0.05$);与K1相比,K2处理果实中钾含量显著提高33%($P < 0.05$),但植株钾的携出量无显著变化。

表1 生长季和钾水平对番茄茎叶果中钾、钙、镁含量影响的方差分析结果

变异来源	K 含量 F 值			Ca 含量 F 值			Mg 含量 F 值		
	茎	叶	果	茎	叶	果	茎	叶	果
生长季	8.38**	0.18ns	43.98**	6.03*	1.34ns	2.62ns	11.55**	4.34*	0.53ns
钾水平	48.78**	0.00ns	538.57**	509.68**	310.74**	2.80ns	0.08ns	0.08ns	4.42*
生长季×钾水平	5.13*	8.70ns	52.59**	21.21**	2.33ns	6.14ns	3.57ns	15.67**	1.90ns

注: *、** 分别表示影响显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。

表2 不同处理对植株钾浓度与钾携出量的影响

生长季	处理	K 含量(g/kg)			K 养分携出量(g/株)			
		茎	叶	果	茎	叶	果	全株
秋冬季	K1	46.77 ± 1.85a	45.68 ± 3.63a	38.04 ± 0.23a	4.94 ± 0.39a	3.10 ± 0.14a	4.93 ± 0.41a	12.98 ± 0.46a
	K2	44.05 ± 5.83a	45.75 ± 1.78a	36.59 ± 0.93a	4.11 ± 0.30a	2.53 ± 0.20b	4.99 ± 1.26a	11.63 ± 1.13a
	K3	50.65 ± 2.86a	51.05 ± 2.65a	38.08 ± 0.88a	4.55 ± 0.60a	3.19 ± 0.25a	5.18 ± 0.59a	12.91 ± 1.44a
冬春季	K1	64.24 ± 2.08a	50.26 ± 2.57a	44.66 ± 2.93b	4.37 ± 0.31a	1.94 ± 0.23a	9.41 ± 0.15b	15.72 ± 0.29a
	K2	52.31 ± 2.75b	48.37 ± 2.85a	59.51 ± 0.73a	2.50 ± 0.14b	1.96 ± 0.14a	11.43 ± 0.45a	15.89 ± 0.36a
	K3	56.89 ± 2.33b	43.82 ± 1.82b	60.63 ± 2.07a	2.44 ± 0.14b	2.08 ± 0.20a	9.70 ± 0.88b	14.22 ± 0.99b

注:同栏同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下表同。

番茄茎和叶中钙含量的变化主要由钾水平来决定(表1)。由表3可知,2021年秋季高浓度(15 mmol/L)显著降低茎中钙含量和携出量,与K1处理相比,K3处理茎中钙含量和携出量分别显著降低9%和23%,番茄植株钙携出量也显著降低,降幅

为18%($P < 0.05$)。2022年冬春季,与K1处理相比,K3处理叶中钙含量和携出量分别显著提高9%和57%,但果实中钙含量和携出量分别显著降低24%和56%,茎中钙的携出量也显著降低,降幅为16%($P < 0.05$),番茄植株钙的携出量无显著差异。

表3 不同处理对植株钙浓度与钙携出量的影响

生长季	处理	Ca 含量(g/kg)			Ca 养分携出量(g/株)			
		茎	叶	果	茎	叶	果	全株
秋冬季	K1	28.21 ± 1.34a	27.56 ± 2.51a	1.96 ± 0.39a	2.98 ± 0.20a	1.95 ± 0.23a	0.20 ± 0.04a	5.14 ± 0.13a
	K2	24.74 ± 1.02b	27.73 ± 2.87a	2.06 ± 0.48a	2.29 ± 0.42b	1.43 ± 0.12b	0.24 ± 0.10a	3.96 ± 0.51b
	K3	25.61 ± 1.04b	27.19 ± 1.43a	2.64 ± 0.42a	2.29 ± 0.24b	1.77 ± 0.22ab	0.30 ± 0.05a	4.22 ± 0.29b
冬春季	K1	16.24 ± 0.24b	43.10 ± 0.73b	3.05 ± 0.35a	0.92 ± 0.12a	1.58 ± 0.12b	0.70 ± 0.09a	3.20 ± 0.25a
	K2	19.12 ± 0.63a	47.31 ± 2.86a	2.12 ± 0.20b	0.95 ± 0.05a	2.14 ± 0.35ab	0.40 ± 0.07b	3.49 ± 0.37a
	K3	15.58 ± 0.35b	47.10 ± 1.75a	2.32 ± 0.23b	0.77 ± 0.03b	2.48 ± 0.22a	0.31 ± 0.04b	3.56 ± 0.24a

生长季对番茄茎、叶中镁含量的变化有显著或极显著影响,不同钾水平处理对果实中镁含量的影响有显著影响(表1)。由表4可知,与2021年秋季K1处理相比,K3处理显著降低茎中镁含量,降幅为

12%,茎中镁携出量显著降低26%,K3处理植株镁的携出量也显著降低22%($P < 0.05$)。2022年冬春季K3处理与K1处理相比,茎中镁含量显著降低15%,镁的携出量也显著降低27%,同时也显著降

低果实镁携出量,降幅为 46%,与 K1 相比,K3 处理果实镁含量显著提高 6%,叶中镁含量和携出量分

别显著提高 24% 和 68% ($P < 0.05$),但植株整体镁的携出量无显著差异。

表 4 不同处理对植株镁浓度与镁携出量的影响

生长季	处理	Mg 含量(g/kg)			Mg 养分携出量(g/株)			
		茎	叶	果	茎	叶	果	全株
秋冬季	K1	11.09 ± 0.64a	10.82 ± 0.75a	1.72 ± 0.18a	1.18 ± 0.16a	0.77 ± 0.14a	0.21 ± 0.07a	2.16 ± 0.28a
	K2	9.98 ± 0.41ab	10.88 ± 0.79a	1.57 ± 0.09a	0.90 ± 0.15b	0.61 ± 0.03a	0.18 ± 0.05a	1.69 ± 0.15b
	K3	9.80 ± 0.67b	9.87 ± 0.57a	1.58 ± 0.16a	0.87 ± 0.03b	0.64 ± 0.05a	0.17 ± 0.01a	1.68 ± 0.05b
冬春季	K1	10.85 ± 0.28a	9.98 ± 0.40b	1.48 ± 0.01b	0.62 ± 0.08a	0.37 ± 0.3b	0.37 ± 0.14a	1.35 ± 0.25a
	K2	10.98 ± 0.33a	8.95 ± 0.82b	1.51 ± 0.02ab	0.55 ± 0.05a	0.39 ± 0.08b	0.25 ± 0.04ab	1.19 ± 0.09a
	K3	9.25 ± 0.69b	12.37 ± 0.84a	1.57 ± 0.03a	0.45 ± 0.01b	0.62 ± 0.02a	0.20 ± 0.06b	1.28 ± 0.07a

由图 2 可知,钾浓度对秋冬季钾肥利用率有显著影响,高浓度(15 mmol/L)处理番茄植株钾肥利用率最低,与 K1 处理相比,K3 处理显著降低,降幅为 78% ($P < 0.05$);K2 处理与 K1 处理相比也显著降低,降幅为 39% ($P < 0.05$)。钾水平对冬春季钾肥利用率也有影响,K3 处理钾肥利用率最低,与 K1 相比,显著降低 31% ($P < 0.05$),K1 和 K2 处理无显著差异。

2.3 番茄品质

高浓度(15 mmol/L)提高番茄可溶性糖、有机酸、维生素 C 含量和硬度。由表 5 可知,2021 年秋冬季和 2022 年冬春季,与 K1 处理相比,K3 处理番茄果实的可溶性糖含量分别显著增加 68% 和 27%,有机酸含量分别显著增加 17% 和 32%,维生素 C 含

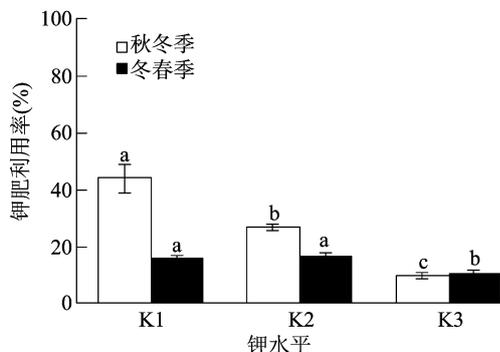


图 2 不同处理钾肥回收利用率

量分别显著增加 21% 和 59%,硬度分别显著增加 22% 和 33%。2021 秋冬季可溶性蛋白含量各处理间无显著差异,2022 年冬春季番茄 K2 处理可溶性蛋白含量最高。

表 5 不同处理对番茄品质的影响

生长季	处理	可溶性糖含量 (mg/g)	有机酸含量 (mg/g)	糖酸比	可溶性蛋白含量 (mg/g)	维生素 C 含量 (mg/kg)	硬度 (kg/cm ²)
秋冬季	K1	24.42 ± 0.94b	7.23 ± 0.75b	3.59 ± 0.33b	1.50 ± 0.03a	106.97 ± 7.35b	2.84 ± 0.08b
	K2	39.07 ± 1.42a	7.20 ± 0.08b	4.84 ± 0.34ab	1.54 ± 0.05a	100.34 ± 8.92b	3.47 ± 0.28a
	K3	41.13 ± 2.74a	8.44 ± 0.28a	5.12 ± 0.57a	1.55 ± 0.01a	129.41 ± 8.30a	3.47 ± 0.17a
冬春季	K1	29.67 ± 1.03b	4.62 ± 0.13b	6.42 ± 0.39b	2.92 ± 0.06b	125.67 ± 7.39b	1.92 ± 0.09c
	K2	39.05 ± 2.09a	4.41 ± 0.28b	8.89 ± 0.90a	3.10 ± 0.06a	137.94 ± 36.49b	2.17 ± 0.15b
	K3	37.73 ± 1.46a	6.11 ± 0.22a	6.28 ± 0.36b	2.96 ± 0.06b	200.00 ± 13.79a	2.55 ± 0.09a

2.4 番茄果实品质综合分析

对 2021 年秋冬季和 2022 年冬春季 3 个处理番茄果实 6 个品质指标进行主成分分析,由表 6 可知,分别得到 2 个主成分,累计贡献率达 86.15% 和 89.97%,表明秋冬季和冬春季番茄果实 6 个品质指标第 1 和第 2 主成分分别反映原始变量 86.15% 和 89.97% 的信息。因此,这 2 个主成分可代替 6 个品质指标对 3 个处理的番茄果实进行综合评价。

表 6 番茄果实品质指标主成分分析结果

生长季	主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
秋冬季	1	4.06	67.58	67.58
	2	1.11	18.57	86.15
冬春季	1	3.04	50.72	50.72
	2	2.36	39.25	89.97

为进一步确定秋冬季和冬春季 3 个不同处理与不同品质指标之间的定量关系,分析主成分载荷矩阵,分别得到 2 个主成分的表达式,秋冬季为: $F_1 = 0.56X_1 + 0.51X_2 - 0.41X_3 + 0.40X_4 - 0.07X_5 - 0.30X_6$; $F_2 = 0.08X_1 + 0.27X_2 + 0.45X_3 + 0.45X_4 + 0.54X_5 + 0.48X_6$;冬春季为: $F_1 = 0.49X_1 + 0.46X_2 + 0.46X_3 + 0.43X_4 + 0.36X_5 + 0.16X_6$; $F_2 = 0.07X_1 + 0.12X_2 - 0.17X_3 + 0.02X_4 - 0.46X_5 + 0.86X_6$ 。

表达式中, F_1 、 F_2 分别对应第 1、第 2 主成分的得分, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别为数据消除变量之间量纲关系后的可溶性糖含量、有机酸含量、糖酸比、可溶性蛋白含量、维生素 C 含量、硬度。

综合评价函数是以各个主成分对应的方差贡献率作为权重,即秋冬季和冬春季番茄品质的综合得分分别为 $F = 0.51F_1 + 0.39F_2$ 、 $F = 0.68F_1 + 0.19F_2$ 。

由表 7 可知,通过主成分分析对 2021 年秋冬季和 2022 年冬春季番茄果实品质指标进行综合排名,均依次为 $K3 > K2 > K1$ 。

表 7 不同营养液浓度处理主成分分析的综合得分

生长季	处理	F_1	F_2	F	排序
秋冬季	K1	-0.60	-1.77	-1.00	3
	K2	-1.72	1.87	-0.15	2
	K3	2.22	0.55	1.35	1
冬春季	K1	-2.62	0.02	-1.78	3
	K2	1.01	-0.86	0.52	2
	K3	1.62	0.83	1.26	1

3 讨论

3.1 钾水平对作物生物量、产量和品质的影响

2021 年秋冬季钾水平试验表明,不同钾水平处理对植株地上部干质量、鲜质量及产量均无显著差异。2022 年冬春季钾水平试验表明,10、5 mmol/L 钾浓度处理番茄地上部生物量无显著差异,高浓度(15 mmol/L)处理显著降低番茄地上部鲜质量、干质量及产量。张恩平等研究表明,在无土栽培模式下,10.7 mmol/L 钾浓度番茄茎粗最大,干物质量也最大^[14];宁秀娟研究表明,高浓度(12 mmol/L)反而不利于植株生长^[15]。

研究表明,适当增加钾供应水平可改善品质^[16-21],2021 年秋冬季和 2022 年冬春季试验表明,番茄果实中,可溶性糖含量、维生素 C 和有机酸随着钾离子浓度提高而增加,这与张丽等的研究^[22]

一致。但过量的钾供应将会抑制根系生长,降低植株养分吸收,光合作用减弱,生育期滞后,降低产量^[23-24],这与 2022 年冬、春季钾水平试验结果一致,高浓度的钾导致番茄产量、地上部生物量降低,调高钾浓度会提高作物品质,低浓度的钾不利于番茄品质的提高,但盲目追求品质会造成产量的显著降低。因此,适度增加钾浓度既可提高果实可溶性糖含量和糖酸比,也可减轻高钾对植物生长的抑制作用,并维持产量,减少肥料浪费。

3.2 钾水平对植株钾、钙、镁吸收以及钾肥利用率的影响

2021 年秋冬季试验结果表明,钾浓度的提高对番茄植株钾携出量无显著差异,但随着钾浓度的提高茎中钙的含量和携出量显著降低,叶中钙的携出量也显著降低,茎中镁含量及携出量也会随着钾浓度的升高而降低,进而降低番茄植株钙、镁的携出量,这与丁玉川等在水稻上的研究结果^[25]一致。2022 年冬春季试验结果表明,高浓度的钾会降低茎中钾的含量及携出量,也降低叶中钾含量,番茄植株中钾携出量也显著降低。钾浓度的升高使植株叶中钙含量及携出量显著升高,但果实中钙的含量及携出量显著降低,各处理间番茄植株钙携出量无显著差异。高钾浓度降低茎中镁的含量和携出量,降低果实镁携出量,但升高果实镁含量以及叶中镁含量和携出量。植物体内钾、钙、镁的吸收存在协同和拮抗的双重作用,适量的钾浓度促进植株对钙、镁的吸收,过量将会抑制植物对钙的吸收^[26-28]。因此,营养液中大量 K^+ 的存在会阻止植株对钙、镁的吸收量,抑制作物生长,降低产量^[28]。钾浓度的增加显著降低秋冬季和冬春季番茄植株钾肥利用率,肥料利用率主要受施肥量的影响^[29-31]。2022 年冬春季,高钾浓度肥料施用量大,养分携出量降低,肥料利用率也降低。2021 年冬春季,不同钾水平番茄植株钾携出量没有显著差异,但肥料施用量大,钾肥利用效率也显著降低。

4 结论

综上所述,得出如下结论:(1)高浓度(15 mmol/L)显著降低冬春季番茄地上部鲜质量、干质量及番茄产量,降幅分别为 26%、21% 和 17%,提高番茄品质指标综合得分,排名依次为 $K3 > K2 > K1$ 。(2)高钾浓度(15 mmol/L)显著增加冬春季叶中钙含量和镁含量,分别较 5 mmol/L 处理增加

9%和24%。15 mmol/L处理冬春季果实中钙含量比5 mmol/L处理显著降低24%，果实中镁含量显著增加6%。15 mmol/L处理显著降低冬春季茎中钙、镁含量，分别较10 mmol/L显著降低19%和16%。钾水平对秋冬季番茄叶、果中钙含量和镁含量没有显著影响。茎秆和果实中钾浓度受生长季和钾水平的双重影响，高钾浓度(15 mmol/L)使冬春季茎中钾浓度显著降低11%，但果实中钾含量显著增加36%。钾水平对秋冬季番茄植株钾携出量无显著差异，但冬春季茎秆中钾携出量显著降低44%，进而番茄植株钾携出量显著降低10%。(3)高浓度(15 mmol/L)使番茄植株钾肥回收利用率显著降低31%~78%。

参考文献:

[1] 蔡祖聪. 我国设施栽培养分管理中待解的科学和技术问题[J]. 土壤学报, 2019, 56(1): 36-43.

[2] 孙锦, 李谦盛, 岳冬, 等. 国内外无土栽培技术研究现状与应用前景[J]. 南京农业大学学报, 2022, 45(5): 898-915.

[3] 程国亭, 娄茜棋, 栗现芳, 等. 番茄果实风味物质组成及其影响因素研究进展[J]. 中国蔬菜, 2022(7): 23-33.

[4] 王军君, 邬小撑, 丁文雅, 等. 雾培营养液氮钾水平对不同番茄品种果实产量和营养品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2013, 39(5): 489-496.

[5] 王军伟, 黄科, 毛舒香, 等. 基质栽培番茄营养液中氮、钾最佳浓度研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11): 2019-2028.

[6] Almeselmani M, Pant R C, Singh B. Potassium level and physiological response and fruit quality in hydroponically grown tomato[J]. International Journal of Vegetable Science, 2009, 16(1): 85-99.

[7] 侯广欣. 深冬设施环境及钾、锌营养对番茄品质、产量影响[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2018.

[8] Lin D, Huang D F, Wang S P. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 102(1): 53-60.

[9] 马建梅. 施用钾肥对土壤中钙、镁有效性及其效应的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2021.

[10] 蔡祖聪. 我国设施栽培养分管理中待解的科学和技术问题[J]. 土壤学报, 2019, 56(1): 36-43.

[11] 薛欣欣, 李小坤. 施钾量对水稻干物质积累及吸钾规律的影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(5): 905-913.

[12] 张治安. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[14] 张恩平, 张淑红, 李天来. 无土栽培条件下钾营养对番茄生长发

育与N、P、K吸收动态的影响[J]. 北方园艺, 2007(4): 53-55.

[15] 宁秀娟, 余宏军, 蒋卫杰, 等. 不同钾水平对温室番茄生长、产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(6): 35-38.

[16] Caretto S, Parente A, Serio F, et al. Influence of potassium and genotype on vitamin E content and reducing sugar of tomato fruits[J]. HortScience, 2008, 43(7): 2048-2051.

[17] 齐红岩, 李天来, 周璇, 等. 不同氮钾水平对番茄产量、品质及蔗糖代谢的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 251-255, 337.

[18] Fandi M, Muhtaseb J, Hussein M. Effect of N, P, K concentrations on yield and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in tuff culture[J]. Journal of Central European Agriculture, 2010, 11(2): 179-184.

[19] Filiz O A, Sahriye S. Reflection of different applications of potassium and iron fertilization on tomato yield and fruit quality in soilless medium[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2010, 8(3/4): 426-429.

[20] Parisi M, Giordano L, Pentangelo A, et al. Effects of different levels of nitrogen fertilization on yield and fruit quality in processing tomato[J]. Acta Horticulturae, 2006(700): 129-132.

[21] 王越, 温祥珍, 李亚灵. 基质栽培中营养液配方对番茄养分吸收利用的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 139-145.

[22] 张丽, 王寅, 鲁剑巍, 等. 施钾对直播油菜产量及钾钙镁养分吸收的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(3): 336-343.

[23] 白娉娉, 高艳明, 李建设, 等. 不同营养液配比对营养液膜栽培番茄生长及品质的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(6): 1217-1224.

[24] 林多, 黄丹枫. 钾素水平对基质栽培网纹甜瓜光合及品质的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(2): 221-223.

[25] 丁玉川, 罗伟, 徐国华. 镁、钾营养及其交互作用对水稻产量、产量构成因素和养分吸收的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 178-182.

[26] Narwal R P, Kumar V, Singh J P. Potassium and magnesium relationship in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] [J]. Plant and Soil, 1985, 86(1): 129-134.

[27] Rehm G W, Sorensen R C. Effects of potassium and magnesium applied for corn grown on an irrigated sandy soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 1985, 49(6): 1446-1450.

[28] Li H X, Chen Z J, Zhou T, et al. High potassium to magnesium ratio affected the growth and magnesium uptake of three tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(12): 2813-2821.

[29] 王荣萍, 余炜敏, 李淑仪, 等. 华南地区主要蔬菜氮肥肥料利用率研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(25): 34-39.

[30] 梁静, 王丽英, 陈清, 等. 我国设施番茄氮肥施用量现状及其利用率、产量影响和地力贡献率分析评价[J]. 中国蔬菜, 2015(10): 16-21.

[31] 张守才, 赵征宇, 孙永红, 等. 设施栽培番茄的氮磷钾肥料效应研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016(2): 65-71.