

# 增施硫酸钾对日光温室水果辣椒生长与果实品质的影响

李恭峰, 高亚新, 李欣然, 马万成, 张振兴, 李青云

(河北省蔬菜产业协同创新中心·河北农业大学园艺学院 河北保定 071000)

**摘要:** 为了探索硫酸钾对改善基质栽培辣椒果实品质的影响,以 19-164 水果辣椒为供试材料,自门椒开花坐果期开始,在滴灌平衡型水溶肥基础上定期浇灌硫酸钾溶液,设 0(CK)、5(P5)、10(P10)、15(P15)、20(P20)kg·667 m<sup>2</sup> 共 5 个处理,调查辣椒的生长与果实品质指标。结果表明,盛果期浇灌硫酸钾对水果辣椒生长有显著促进作用,P15 处理效果最好并显著高于 CK,其中株高、茎粗比 CK 高 17.76%和 34.63%;硫酸钾改善了水果辣椒的果实品质,与 CK 相比,P15 处理的绿熟果和红熟果可溶性固形物含量分别提高 9.62%和 34.39%,可溶性蛋白含量分别提高 30.00%和 58.90%,维生素 C 含量分别提高 46.03%和 66.41%,有机酸含量分别降低 18.75%和 12.73%。综合分析表明,硫酸钾的施用量为 15 kg·667 m<sup>2</sup> 时对水果辣椒生长发育、果实品质提升的效果最好。

**关键词:** 水果辣椒;生长发育;品质;硫酸钾;基质栽培

中图分类号:S641.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2022)05-068-06

## Potassium sulfate affects snack pepper growth and fruit quality in solar greenhouse

LI Gongfeng, GAO Yaxin, LI Xinran, MA Wancheng, ZHANG Zhenxing, LI Qingyun

(Hebei Vegetable Industry Collaborative Innovation Center/College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

**Abstract:** Pepper variety 19-164 was used to explore the effect of potassium sulfate on improving the fruit quality of soilless soil cultured snack pepper fertigated with potassium sulfate solution added to water-soluble fertilizer and applied through drip irrigation from flowering and fruit setting stage. The treatments included add 0 (CK), 5 (P5), 10 (P10), 15 (P15) and 20 (P20) kg·667 m<sup>2</sup> of potassium sulfate. The growth and fruit quality were evaluated. The results showed that potassium sulfate significantly promoted the growth of the pepper, P15 treatment was the best, plant height, stem diameter, leaf SPAD value, net photosynthetic rate and root activity were 17.76%, 34.63%, 14.50%, 18.26% and 53.92% higher than CK. Compared with CK, the soluble solid content of green and red fruits of P15 treatment increased by 9.62% and 34.39%, the soluble protein content increased by 30.00% and 58.90%, the vitamin C content increased by 46.03% and 66.41%, and the organic acid content decreased by 18.75% and 12.73% in green and red fruit.

**Key words:** Snack pepper; Growth and development; Quality; Potassium sulfate; Substrate

辣椒为茄科辣椒属一年或有限多年生草本植物,性热、味辛,含有大量的维生素 C,还含有维生素 B、胡萝卜素以及钙、铁等矿物质<sup>[1]</sup>。辣(甜)椒产业目前已成为我国最大的蔬菜产业。中国是世界辣椒生产第一大国,据不完全统计,近年我国辣(甜)椒种植面积超过 133.33 万 hm<sup>2</sup>,占世界辣(甜)椒种植面积的 35%,占全国蔬菜种植面积的 10%<sup>[2]</sup>。北

方保护地辣椒产区主要以鲜食菜用辣椒和甜椒生产为主,然而,随着人们生活水平的提高,休闲农业发展迅速,适合现场采摘、搭配果菜礼品套餐的高品质水果型辣椒、甜椒产品深受消费者欢迎。目前,肉厚、甜而不辣的水果椒生产属于起步阶段,品种偏少,生产技术尚不成熟<sup>[3]</sup>。随着人们对辣椒上市时间、产量和品质的要求不断提高,传统的辣椒

收稿日期:2021-11-12;修回日期:2022-04-18

基金项目:河北省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队(HBCT2018030211)

作者简介:李恭峰,男,在读硕士研究生,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail:2811962321@qq.com

通信作者:李青云,女,教授,主要从事设施蔬菜生理生态及生长调控研究。E-mail:yylqy@hebau.edu.cn

栽培技术已经不能适应实际生产需求,亟需研究与品种配套的优质高效栽培技术。

钾作为植物生长和发育的重要元素,是植物体内含量最高的金属元素<sup>[4]</sup>。钾元素对植物的生长起着很重要的调节作用<sup>[5]</sup>,可以促进根系生长,提高植物抗逆性<sup>[6]</sup>。钾有助于光合作用,在植物生长期,适当浓度的钾离子溶液处理能有效促进叶绿体合成,提高植物的叶绿素含量、光合速率<sup>[7]</sup>。有研究表明,增施钾肥可提高作物对其他营养元素如 N、P 等的吸收利用能力<sup>[8]</sup>,促进光合同化产物向生殖器官转运与分配<sup>[9]</sup>,防止早衰<sup>[10]</sup>,促进果实生长发育<sup>[11]</sup>。研究表明,适量增施钾肥可以提高草莓、大白菜、樱桃番茄、葡萄、甜瓜等<sup>[12-16]</sup>作物的产量和果实中的维生素 C、可溶性糖、可溶性固形物含量。目前,关于钾可以提高果实品质的研究主要集中在苹果、枣、梨、桃、西瓜等<sup>[17-21]</sup>作物上,关于辣椒的研究较少。水果辣椒是近年来推广的一类甜度较高的鲜食品种,探讨其提质技术对生产具有重要的指导意义。笔者研究了椰糠基质栽培条件下增施不同浓度硫酸钾对辣椒生长及果实品质的影响,探索提高品质适宜的硫酸钾浓度,以期为水果型辣椒优质高效生产提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试品种:水果辣椒 19-164,由河北农业大学园艺学院蔬菜育种团队提供。硫酸钾( $K_2SO_4 \geq 99.0\%$ )由国药集团化学试剂有限公司生产,圣诞树牌全水溶性肥料( $N-P_2O_5-K_2O \cdot 20-20-20$ )由北京富特森公司生产。

### 1.2 方 法

2020 年 8 月 10 日育苗,2020 年 10 月 8 日定植于河北省保定市清苑区水润佳禾现代农业园区 9 号日光温室内。水果辣椒采用袋装基质栽培方式,基质为椰糠,每袋 6.00 kg,椰糠理化性质见表 1。

每行南北走向放置 23 个种植袋,每袋种植 2 株苗,株距 17.50 cm,行距 95.00 cm,小区面积 7.65 m<sup>2</sup>,3 次重复,随机区组排列。吊蔓栽培,四干整枝。采用滴箭灌溉,滴灌孔径 3.00 mm,流量 2 L·h<sup>-1</sup>,滴灌次数和时间由光辐射软件控制。其他采用常规管理措施。

试验设 5 个硫酸钾处理,施用量分别为 0 (CK)、5(P5)、10(P10)、15(P15)、20(P20) kg·667 m<sup>2</sup>,即每株每次称取 0 g(CK)、0.402 6 g(P5)、0.805 2 g

(P10)、1.207 8 g(P15)、1.610 4 g(P20)硫酸钾溶于 100 mL 蒸馏水,灌根处理。于 2020 年 10 月 22 日开花坐果期开始施用,每次处理间隔 14 d,共 6 次,至 2020 年 12 月 31 日止。

表 1 椰糠基质的基本理化性质

参数	w(有机碳)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(有机质)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(碱解氮)/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(有效磷)/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾)/ (g·kg <sup>-1</sup> )
数值	287.61	495.85	321.18	17.24	5.68

### 1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标 分别在植株开花坐果期、盛果期测定株高和茎粗,在盛果期和拉秧期测定根系活力。每处理测定 5 株,3 次重复。用直尺测量株高,用游标卡尺测量茎粗,用 TTC 法测定根系活力<sup>[22]</sup>。

1.3.2 光合指标 盛果期,每个处理取 3 株,用翼鬃麒科技(北京)有限公司产 YZQ-100A 便携式光合仪测定植株生长点以下 4~5 片完全展开功能叶的净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导度。测定时设定光量子通量密度为 1000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,3 次重复。

1.3.3 品质指标 分别取青熟果和红熟果,测定果实长度、宽度、果肉厚度和单果质量,取果实中间部位测定可溶性固形物含量等品质指标,每处理取 10 个果实,3 次重复。

用直尺测量果实长度,用游标卡尺测量果实宽度和果肉厚度,用电子天平测量单果质量。

参考高茜等<sup>[23]</sup>和王艳颖等<sup>[24]</sup>的方法,并稍加改动。采用高效液相色谱法测定果实糖含量。采用 Shodex Asahipak NH2P-50 4E 色谱柱(4.6 mm×250 mm,5 μL),柱温 32 ℃,流动相乙腈、水体积比 75:25,流速 0.80 mL·min<sup>-1</sup>,进样量 5.00 μL,检测器为视差折光检测器,保留时间 20 min。采用 Agilent 1200 高效液相色谱仪测定。

采用日本爱拓 PAL-1 糖度计测定可溶性固形物含量;采用考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白含量<sup>[25]</sup>。

采用高效液相色谱法测定维生素 C 含量<sup>[26]</sup>,并稍加改动。采用 Agilent ZORBAX SB-C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm,5 μL),柱温 30 ℃,流动相乙腈、0.30 mol·L<sup>-1</sup>磷酸二氢钾水溶液(用磷酸调节 pH 值 4~5)体积比 10:90,流速 0.80 mL·min<sup>-1</sup>,进样量 10.00 μL,检测器为二极管阵列检测器,检测波长 280 nm,保留时间 15 min。采用 Agilent 1260 高效液相色谱仪测定。

采用高效液相色谱法测定有机酸含量<sup>[27]</sup>,并稍

加改动。采用 Agilent ZORBAX SB-C18 色谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μL), 柱温 35 °C, 流动相为甲醇、0.02 mol·L<sup>-1</sup> 磷酸二氢钠水溶液(用磷酸调节 pH 值 2.9)体积比 5:95, 流速 0.80 mL·min<sup>-1</sup>, 进样量 20 μL, 检测器为二极管阵列检测器, 检测波长 210 nm, 保留时间 20 min。采用 Agilent 1260 高效液相色谱仪测定。

### 1.4 数据处理

运用 SPSS 26.0 数据处理系统进行差异显著性分析, 采用 Office 2016 记录数据并作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同硫酸钾处理对水果辣椒生长的影响

由表 2 可以看出, 在开花坐果期, 各处理间植株高、茎粗和叶片 SPAD 值无显著差异; 在盛果期, 施用硫酸钾处理株高、茎粗、叶片 SPAD 值均显著高于 CK, 且随着施用硫酸钾含量升高, 各项指标均呈现先升高后降低趋势, P15 处理株高、茎粗、叶片 SPAD 值显著高于其他处理, 比 CK 分别提高 17.76%、34.63%和 14.50%。

表 2 不同硫酸钾处理对水果辣椒生长的影响

时期	处理	株高/cm	茎粗/mm	叶片 SPAD 值
开花坐果期	CK	69.98±2.27 a	7.05±0.20 a	48.00±0.49 a
	P5	69.92±2.01 a	6.99±0.05 a	48.60±1.67 a
	P10	70.20±2.33 a	7.04±0.20 a	49.44±0.78 a
	P15	70.50±2.06 a	7.07±0.13 a	49.52±0.45 a
	P20	69.96±1.27 a	6.98±0.15 a	48.88±1.63 a
盛果期	CK	110.90±5.18 d	11.58±0.46 c	51.18±0.81 d
	P5	120.00±2.05 c	13.21±0.48 b	54.20±0.47 bc
	P10	125.50±0.50 b	14.29±1.02 b	55.54±0.82 b
	P15	130.60±2.63 a	15.59±0.40 a	58.60±1.42 a
	P20	120.00±2.50 c	13.48±0.40 b	53.64±0.91 c

注: 同列数据后不同小写字母表示在同一时期不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

### 2.2 不同硫酸钾处理对水果辣椒光合作用的影响

从表 3 可以看出, 盛果期 P15 和 P10 处理的净光合速率显著高于 CK 和其他处理, P15 处理的最

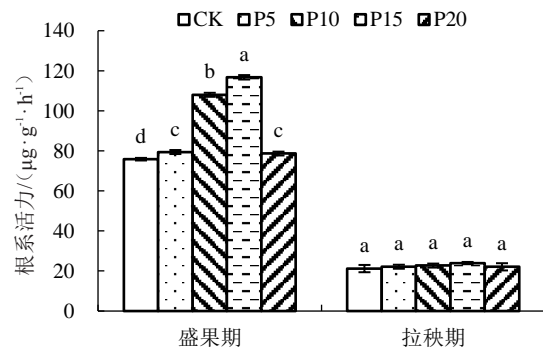
表 3 不同硫酸钾处理对盛果期水果辣椒叶片光合参数的影响

处理	净光合速率/ (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	蒸腾速率/ (mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度/ (μmol·mol <sup>-1</sup> )	气孔导度/ (mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )
CK	16.70±0.49 c	5.06±0.27 d	377.37±0.31 a	678.27±60.80 c
P5	16.72±0.25 c	6.56±0.12 c	367.53±1.12 b	751.07±30.59 c
P10	17.45±0.23 b	6.36±0.18 c	361.97±1.62 c	1 052.90±21.52 a
P15	19.75±0.29 a	7.02±0.11 b	356.70±0.17 d	1 128.00±31.07 a
P20	16.43±0.32 c	7.53±0.12 a	366.37±0.32 b	912.63±58.71 b

高, 比 CK 提高 18.26%; P20 和 P15 蒸腾速率显著高于 CK 和其他处理, P20 处理最高, 比 CK 提高 48.81%; P15 的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度显著低于 CK 和其他处理, 比 CK 降低 5.48%; P15 和 P10 处理的气孔导度显著高于 CK 和其他处理, P15 的最高, 比 CK 提高 66.31%, 且 P15 和 P10 处理之间差异不显著。

### 2.3 不同硫酸钾处理对水果辣椒根系活力的影响

由图 1 可知, 对盛果期的植株而言, 其根系活力与该时期株高和茎粗的生长趋势基本一致, P15 处理的根系活力最强, P10 处理次之, CK 处理根系活力最弱, 且 P15 处理显著高于 CK, 比 CK 提高 53.92%。拉秧期植株衰老, 根系活力明显降低, 各处理间差异不显著。



注: 图中不同小写字母表示在同一时期不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 开花坐果期与拉秧期不同硫酸钾处理的水果辣椒根系活力

### 2.4 不同硫酸钾处理对水果辣椒果实外观品质的影响

由表 4~5 可以看出, 对青熟果而言, P15 处理果实长度显著高于其他处理, 比 CK 提高 5.44%; P5、P10、P15 处理果肉厚度显著高于 CK, 且三者之间差异不显著, P15 处理比 CK 提高 23.62%; P15 处理单果质量低于 CK, 但二者差异不显著。对红熟果而言, P15 处理果实长度最长, 显著高于 CK, 比 CK 提高 8.02%; P15 处理果肉厚度显著高于 CK, 比 CK 提高 8.63%; P15 处理单果质量显著高于 CK, 比 CK 高 7.78%。青熟果和红熟果中各个处理果实宽度差异均不显著。

表 4 不同硫酸钾处理水果辣椒青熟果的外观品质

处理	果实长度/cm	果实宽度/mm	果肉厚度/mm	单果质量/g
CK	21.50±0.50 b	45.05±0.50 a	3.09±0.09 b	75.93±4.68 a
P5	20.17±0.76 c	41.70±0.29 a	3.96±0.06 a	67.57±9.29 ab
P10	20.67±0.58 bc	41.70±0.29 a	3.89±0.22 a	73.92±3.32 a
P15	22.67±0.58 a	43.33±0.58 a	3.82±0.17 a	67.20±1.15 ab
P20	20.17±0.29 c	40.00±0.00 a	3.31±0.16 b	61.51±6.07 b

表5 不同硫酸钾处理水果辣椒红熟果的外观品质

处理	果实长度/cm	果实宽度/mm	果肉厚度/mm	单果质量/g
CK	20.83±0.58 b	43.25±2.96 a	3.71±0.36 b	95.08±4.76 b
P5	21.50±0.50 ab	45.25±1.23 a	3.58±0.10 b	86.25±3.07 c
P10	21.50±0.87 ab	44.53±3.84 a	4.02±0.14 a	99.04±2.01 ab
P15	22.50±0.50 a	47.05±1.67 a	4.03±0.13 a	102.48±2.98 a
P20	22.67±0.29 b	42.97±1.75 a	3.49±0.12 b	81.92±2.93 c

## 2.5 不同硫酸钾处理对水果辣椒果实品质的影响

由表6可知,青熟果中P15处理的可溶性固形物、可溶性蛋白和维生素C含量均高于其他处理,P5处理有机酸含量显著高于其他处理,P15处理的有机酸含量最低。与对照相比,P15处理可溶性固形物、可溶性蛋白、维生素C含量分别提高9.62%、30.00%、46.03%,有机酸含量则降低了18.75%。

表6 不同硫酸钾处理对水果辣椒果实品质的影响

处理	w(可溶性固形物)/%		w(可溶性蛋白)/(mg·g <sup>-1</sup> )		w(维生素C)/(mg·100g <sup>-1</sup> )		w(有机酸)/(mg·g <sup>-1</sup> )	
	青熟果	红熟果	青熟果	红熟果	青熟果	红熟果	青熟果	红熟果
CK	5.20±0.20 b	9.80±0.20 d	0.80±0.03 b	0.73±0.03 c	76.87±1.18 c	124.56±0.53 b	4.80±0.52 bc	2.75±0.06 a
P5	4.70±0.10 c	10.20±0.20 cd	0.69±0.07 b	0.78±0.07 c	108.16±4.08 a	182.56±0.19 ab	6.00±0.69 a	2.85±0.02 a
P10	5.43±0.42 ab	10.60±0.10 c	0.85±0.16 b	0.94±0.03 b	88.44±2.36 b	198.53±0.31 a	4.95±0.45 b	2.55±0.04 b
P15	5.70±0.10 a	13.17±0.31 a	1.04±0.10 a	1.16±0.04 a	112.25±4.08 a	207.28±0.14 a	3.90±0.69 c	2.40±0.03 b
P20	5.00±0.10 bc	11.97±0.15 b	0.77±0.08 b	0.81±0.10 c	46.26±2.36 d	169.31±0.18 ab	4.95±0.00 b	2.71±0.14 a

红熟果P15处理可溶性固形物、可溶性蛋白和维生素C含量均显著高于CK,并且随硫酸钾浓度升高,各指标均呈先升高后下降的趋势,其中P15处理含量最高。P15处理有机酸含量最低,且显著低于对照处理。相较于对照处理,P15处理可溶性固形物、可溶性蛋白、维生素C含量分别提高34.39%、58.90%、66.41%,有机酸含量降低了12.73%。

## 2.6 不同硫酸钾处理对水果辣椒果实糖含量的影响

由表7可以看出,无论是青熟果还是红熟果,水果辣椒中的果糖和葡萄糖含量均较高,是果实中的主要糖分,蔗糖含量较低。其中P15葡萄糖和果糖含量均最高,显著高于CK和其他处理,与CK相比,青熟果的果糖、葡萄糖含量分别提高26.48%和105.75%,红熟果的果糖、葡萄糖含量分别提高

表7 不同硫酸钾处理对水果辣椒果实糖含量的影响

处理	w(果糖)		w(葡萄糖)		w(蔗糖)	
	青熟果	红熟果	青熟果	红熟果	青熟果	红熟果
CK	11.82±0.62 c	20.39±0.58 c	4.87±0.10 e	27.19±1.24 c	0.98±0.04 a	1.23±0.12 b
P5	11.66±0.97 c	20.81±0.83 c	6.54±0.35 d	38.15±1.73 b	1.09±0.05 a	1.04±0.28 b
P10	12.34±0.56 bc	25.95±1.46 b	7.63±0.54 c	36.58±2.34 b	0.98±0.09 a	1.13±0.04 b
P15	14.95±1.54 a	28.70±0.29 a	10.02±0.20 a	49.43±1.54 a	0.74±0.05 b	1.08±0.03 b
P20	14.11±1.23 ab	18.02±1.60 d	9.05±0.04 b	25.32±1.65 c	0.96±0.96 a	1.54±0.04 a

40.76%和81.79%。

## 3 讨论与结论

本试验结果表明,在日光温室水果辣椒正常管理条件下,在开花坐果期适当增施硫酸钾可有效促进根系生长、增强植株长势,施用硫酸钾浓度过高反而会抑制植株生长,这与刘亭亭<sup>[28]</sup>、曹永康等<sup>[29]</sup>得出适宜浓度硫酸钾有促进植株生长的作用、高硫酸钾浓度抑制植株生长的结论相同;植物叶片SPAD值能够反映叶片内叶绿素相对含量,叶片内叶绿素的含量直接决定光合效率,进而反映植株的营养健康状况以及同化物的积累量。钾是植物体内主要的矿质元素之一,是多种酶的活

化剂,参与糖类代谢,可以促进光合作用<sup>[9]</sup>,直接影响植物的生长发育和品质形成。P15处理净光合速率显著高于对照,表明其能更好地进行有机物的累积;在开花坐果期和盛果期P15处理的叶片SPAD值均最高,叶绿素相对含量高可提高光合速率、改善果实品质,这与谯高阳等<sup>[30]</sup>研究结果一致。

钾被誉为作物生产中的“品质元素”,能够在一定程度上提高和改善蔬菜产品的品质<sup>[31]</sup>。可溶性固形物、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C和有机酸含量能够明确地反映出蔬菜品质的优劣。与对照相比,P15处理青熟果可溶性固形物、可溶性蛋白、维生素C含量分别提高了9.62%、30%和

46.03%，红熟果可溶性固形物、可溶性蛋白、维生素 C 含量分别提高了 34.39%、58.90% 和 66.41%。青熟果与红熟果有机酸含量分别降低了 18.75% 和 12.73%。张绩等<sup>[32]</sup>指出适量增施钾肥可有效提高脐橙的维生素 C、可溶性固形物和可溶性糖的含量，这一结论在华明艳等<sup>[12]</sup>草莓栽培的研究中也得到证实。彭佃亮等<sup>[33]</sup>研究表明，番茄叶面喷施钾肥可显著提高番茄果实单位面积产量，改善果实品质，同时降低果实畸形率。顾玉成等<sup>[34]</sup>研究表明，钾肥施用过量会增加草莓果实的含酸量，降低果实品质。薛亮等<sup>[35]</sup>也在甜瓜栽培的研究中证实，与对照相比适当增施硫酸钾可显著提高水果辣椒可溶性固形物、维生素 C、可溶性蛋白的含量。本试验表明，适量增施硫酸钾在提高水果辣椒可溶性糖含量的同时降低有机酸含量，提高果实的风味和口感；红熟果中 P15 处理比对照果糖含量提高了 40.76%，葡萄糖含量提高了 81.79%。这与王勤礼等<sup>[36]</sup>适量增施硫酸钾可以提高甜椒果实含糖量的结论相同。值得注意的是，过量施用钾肥会造成作物生长减慢，产量降低，有机酸含量增加，果实品质降低等问题。

适当增施硫酸钾能提高果实品质的原因可能有两方面：一是增施硫酸钾能显著提高植株的株高、茎粗，增强了植株的长势和抗倒伏能力，从而提高了植株同化物的转运和运输效率，进而提高果实品质；二是叶片 SPAD 值在一定程度上可以反映叶片内叶绿素的相对含量，叶绿素含量则直接决定了光合速率的快慢，叶片的净光合速率反映了植物的光合作用积累有机物的量。试验表明，适量增施硫酸钾可以显著提高叶片 SPAD 值和净光合速率，从而提高有机物的积累量。

本试验分别研究了青熟果和红熟果的品质，但 19-164 水果辣椒为彩椒品种，红熟期的果实品质更为重要。综上所述，在日光温室基质栽培施用平衡水溶肥条件下，适当增施硫酸钾可以促进水果辣椒植株生长，提高果实品质，且随硫酸钾浓度增加，辣椒株高、茎粗、红熟果可溶性固形物、可溶性糖、可溶性蛋白和维生素 C 含量呈先升高后下降的趋势。P15 处理的各项指标表现均较好，综合各项生长指标和品质指标来看，硫酸钾的最佳施用量为 15 kg·667 m<sup>-2</sup>。

### 参考文献

- [1] 陈强. 辣椒优质高产栽培技术探究[J]. 中国果菜, 2021, 41(1): 74-76.
- [2] 李育军, 朱文斌, 胡航青, 等. 华南地区辣(甜)椒的栽培技术模式和典型品种推荐[J]. 长江蔬菜, 2021(2): 40-43.
- [3] 袁升凯, 闫筱筱, 蒲团卫, 等. 辣椒新品种‘豫甜橙’[J]. 园艺学报, 2020, 47(S2): 2986-2987.
- [4] LEIGH R A, WYN JONES R G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell[J]. New Phytologist, 1984, 97(1): 1-13.
- [5] KOCHIAN L V, LUCAS W J. Potassium transport in roots[M]// CALLOW J A. Advances in botanical research. Academic Press, 1989: 93-178.
- [6] 苏文, 刘敬, 王冰, 等. 植物高亲和钾离子转运蛋白 HAK 功能研究进展[J]. 生物技术通报, 2020, 36(8): 144-152.
- [7] 陈昆, 刘世琦, 张自坤, 等. 钾素对水培大蒜生理和品质的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(3): 556-562.
- [8] 周可金, 马成泽, 许承保, 等. 施钾对花生养分吸收、产量与效益的影响[J]. 应用生态学报, 2003(11): 1917-1920.
- [9] BARRACLOUGH P B, HAYNES J. The effect of foliar supplements of potassium nitrate and urea on the yield of winter wheat[J]. Fertilizer Research, 1995, 44(3): 217-223.
- [10] 康利允, 常高正, 马政华, 等. 不同氮钾肥用量对甜瓜坐果节位叶片生理特性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(4): 96-104.
- [11] 王劲松, 董二伟, 武爱莲, 等. 不同肥力条件下施肥对粒用高粱产量、品质及养分吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(22): 4166-4176.
- [12] 华明艳, 宋兰芳, 崔少杰, 等. 钾肥处理对草莓产量和品质的影响[J]. 中国果树, 2019(6): 73-75.
- [13] 樊驰, 王正银, 李振轮, 等. 钾肥种类和施用时期对大白菜产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1562-1567.
- [14] 李建设, 周筠, 高艳明. 水分胁迫及钾肥对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(10): 97-103.
- [15] 卢精林, 张红菊, 刘志芳. 增施钾肥对日光温室葡萄产量和品质的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 694-697.
- [16] 康利允, 李晓慧, 高宁宁, 等. 钾肥追施时期后移对甜瓜产量和品质及钾肥利用率的影响[J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(6): 941-948.
- [17] 王鑫, 许云飞, 田钰君, 等. 叶面喷施不同配比氮、钾元素对富士苹果叶片性状及果实品质的影响[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(11): 11-17.
- [18] 杜振宇, 宋永贵, 许元峰, 等. 钾对冬枣品质与产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(01): 32-36.
- [19] 魏树伟, 王少敏, 董肖昌, 等. 不同类型钾肥对‘新梨 7 号’果实风味品质的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(S1): 101-108.
- [20] 郑继成, 白红, 石佩, 等. 不同施钾方式对桃树营养及果实产量和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(05): 699-706.
- [21] 尤春, 孙兴祥. 土壤有效钾含量及钾肥用量对西瓜生长的影响[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(9): 26-30.
- [22] 郑坚, 陈秋夏, 金川, 等. 不同 TTC 法测定枫香等阔叶树容器

- 苗根系活力探讨[J]. 浙江农业科学, 2008(1): 39-42.
- [23] 高茜, 韩振泰. 高效液相色谱-示差折光率法测定林业生物质原料中的可溶性糖[J]. 分析试验室, 2017, 36(12): 1406-1410.
- [24] 王艳颖, 胡文忠, 庞坤, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射法测定苹果中可溶性糖的含量[J]. 食品与发酵工业, 2008(6): 129-131.
- [25] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中有机酸的测定: GB 5009. 157—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 2-3.
- [27] 李玉彩, 李响明, 周永妍, 等. RP-HPLC 测定银杏叶提取物的注射液中维生素 C 的含量[J]. 中国现代中药, 2019, 21(3): 380-382.
- [28] 刘亭亭. 番茄产量品质对施钾量与施钾时期的响应研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [29] 曹永康, 颜建明, 何志学, 等. 钾肥水平对辣椒生长、品质和产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(6): 50-55.
- [30] 譙高阳, 杨跃虎, 李正丽. 施用不同钾肥对辣椒产量和品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2014(20): 67-69.
- [31] 金珂旭, 王正银, 樊驰, 等. 不同钾肥对甘蓝产量、品质和营养元素形态的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(6): 1369-1377.
- [32] 张绩, 李俊杰, 万连杰, 等. 施钾水平对纽荷尔脐橙养分、产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(20): 4271-4286.
- [33] 彭佃亮, 唐玉海, 张敬敏, 等. 喷施不同类型叶面钾肥对日光温室番茄产量、品质和效益的影响[J]. 北方园艺, 2018(15): 75-79.
- [34] 顾玉成, 杨波, 万进, 等. 平衡施肥对提高草莓产量和品质的效果[J]. 湖北农业科学, 2005, 44(4): 57-58.
- [35] 薛亮, 马忠明, 杜少平. 沙漠绿洲灌区甜瓜氮磷钾用量优化模式研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(2): 303-313.
- [36] 王勤礼, 殷学贵, 鄂利峰, 等. 钾肥在加工型甜椒中施用效果研究初报[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 177-178.

(上接第 67 页)

- [10] 成金华, 张翠娥, 郑亮. 江苏省灌南县水稻“3414”肥料效应试验[J]. 河北农业科学, 2009, 13(3): 56-59.
- [11] 尚学灵, 司昌亮, 王旭立, 等. 基于“3414”田间试验的玉米膜下滴灌多元肥料效应函数模型研究[J]. 中国农村水利水电, 2017(9): 23-26.
- [12] 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 等. 应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 197-203.
- [13] 朱克保, 吴传洲, 陶光兵, 等. 沿江地区油菜肥料效应研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(4): 1070-1071.
- [14] 娄春荣, 董环, 王秀娟, 等. 辽宁省花生“3414”肥料试验施肥模型探讨[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 892-895.
- [15] 彭少兵, 成艳霞, 董文浩, 等. 核桃“3414”肥料效应试验及推荐施肥量的回归分析[J]. 经济林研究, 2018, 36(4): 27-32.
- [16] 马昭山, 盛建东, 颜安. 新疆和硕县甜椒“3414”试验肥料效应研究[J]. 新疆农业大学学报, 2015, 38(1): 63-67.
- [17] 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.
- [18] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 万辰, 马瑛骏, 张克强, 等. 洱河流域不同有机肥替代对土壤理化性质及油菜产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2494-2502.
- [21] 韩江培. 设施栽培条件下土壤酸化与盐渍化耦合发生机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [22] 何世朋, 梁斌, 武德军, 等. 设施菜地番茄的养分需求规律[J]. 华北农学报, 2020, 35(S1): 282-288.
- [23] 赵伟, 杨圆圆, 蒋丽媛, 等. 减施磷肥提高设施番茄氮磷钾生理效率并减少土壤速效磷累积[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(10): 1710-1718.
- [24] 牛天航, 何志学, 颜建明, 等. 不同施肥处理对大棚越冬韭菜产量、品质及养分利用的影响[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(7): 64-70.
- [25] 谢言东, 郁继华, 吕剑, 等. 不同施肥处理对露地甘蓝生长、产量及品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(12): 52-57.
- [26] 董洁, 邹志荣, 燕飞, 等. 不同施肥水平对大棚番茄产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2009(12): 38-41.