

钾肥品种对加工番茄生长发育及产量品质的影响

王金鑫 李青军 张炎*

(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐, 830091)

摘要: 研究了不同钾肥对加工番茄干物质、产量及品质的影响。试验设 3 个钾肥品种, 采用膜下滴灌种植, 在收获期测定加工番茄株数、单果重, 计算产量, 分析肥料效益。相同氮磷用量的基础上, 施用钾肥可显著提高加工番茄干物质及产量; 2 种加工番茄对 KCl 农学效率均最高。施用 KCl 时加工番茄品质无显著差异; 施用 KCl 的经济效益比 K_2SO_4 、 KNO_3 更好, 农民纯收益最高。加工番茄施用 KCl 产量最高。

关键词: 钾肥品种; 加工番茄; 干物质; 产量品质

新疆独特的气候条件非常适宜加工番茄的生长, 是我国加工番茄种植面积、加工规模和出口量最大的生产基地之一, 加工番茄产业已成为当地经济增长的一个支柱产业^[1]。经过多年的发展, 2014 年新疆加工番茄种植面积已达 105 万亩, 年生产能力已突破 734.6 万吨, 加工番茄制品产量、出口量已占全国 90% 以上^[2]。加工番茄是需钾量较大的作物, 1 吨番茄产品需吸收 5.0 公斤 K_2O , 其茎和果实内钾的含量超过了氮和磷的含量^[3-4], 但是由于新疆土壤富含钾素的观念导致多年来在加工番茄生产中, 农民不施或很少施用钾肥, 而农作物从土壤中带走了大量的钾, 使土壤钾有了较大的消耗, 农田土壤速效钾也有较大幅度的下降^[5]。因此, 缺钾已成为制约加工番茄高产优质的重要因素之一^[6-7]。钾素对加工番茄生长发育、产量形成以及抗逆稳产发挥着重要作用。研究表明加工番茄一生中需钾量最高, 氮次之, 磷的需求量远少于氮和钾^[8-10]。因此合理施用钾肥可显著提高加工番茄产量, 改善品质, 增强抗病能力^[11]。

国内关于加工番茄的合理施肥技术研究较多, 齐红岩等^[7]研究了不同氮、钾施用水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响; 吴建繁^[12]、汤明尧等^[9]对加工番茄氮、磷、钾肥料效应及其吸收分配规律进行了研究。以往的研究多集中在钾肥施用的时期、用量等研究或氮磷钾配施对

加工番茄产量品质性状的影响方面, 但对滴灌条件下加工番茄的钾肥品种优化管理技术的研究较少。本研究是在膜下滴灌生产栽培条件下, 通过田间小区试验探讨不同钾肥对 2 个加工番茄品种产量、品质的影响, 为新疆加工番茄生产中钾肥合理施用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

试验安排在新疆昌吉兵团灌溉中心试验站, 加工番茄供试品种为 HYH-01 和屯河 8 号, 一膜 2 行种植, 株距为 28 厘米, 行距 60 厘米, 小区面积 32 平方米。加工番茄育苗 1 个月于 5 月 7 日移栽, 7-10 天灌溉一次, 全生育期灌溉 10 次, 总计 300 方/亩。HYH-01 试验地前茬作物为加工番茄, 屯河 8 号试验地前茬作物为棉花, 作物秸秆打碎后还田。播前土壤基础养分如表 1 所示。

表 1 0-20 cm 供试土壤基本农化状况					
	pH	有机质 (克/公斤)	速效氮 (毫克/公斤)	有效磷 (毫克/公斤)	速效钾
HYH-01	7.8	11.64	48.3	16.7	230
屯河 8 号	7.83	11.3	48.3	7.8	236

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 资助项目 (IPNI-XJ-13)

作者简介: 王金鑫 (1985-), 男, 山东人, 助理研究员, 研究方向为作物营养与施肥。E-mail: wjxin345@sohu.com

通讯作者: 张炎 (1965-), 女, 新疆人, 研究员, 硕士生导师, 研究方向为作物营养与施肥。E-mail: yanzhangzy@sohu.com

1.2 试验设计

试验设 K-0、K-KCl、K-K₂SO₄、K-KNO₃，共 4 个处理，重复 3 次。各处理氮肥全部作为追肥，在加工番茄生育期间分数次随水滴施，磷肥及微肥全部基施，钾肥 50% 开花期滴灌追施和 50% 结果期滴灌追施。氮肥用尿素 (N 46%)、磷肥用三料磷肥 (P₂O₅ 46%)、K-KCl 处理用氯化钾 (K₂O 60%)，K-K₂SO₄ 处理用硫酸钾 (K₂O 52%)，K-KNO₃ 处理用硝酸钾 (K₂O 46.53%，N 13.86%)，有机肥 (55% ≤ OM ≤ 58%，N+P+K ≥ 5%) 施用量为 100 公斤/亩。微肥为 ZnSO₄、MnSO₄、FeSO₄。各处理施肥量见表 2。

表 2 各处理施肥量 (公斤/公顷)

处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	ZnSO ₄	MnSO ₄	FeSO ₄
K-0	24	14	0	0.4	1.7	2
K-KCl	24	14	8	0.4	1.7	2
K-K ₂ SO ₄	24	14	8	0.4	1.7	2
K-KNO ₃	24	14	8	0.4	1.7	2

1.3 测定方法

干物质测定: 在苗期 (5 月 10 日)、初花期 (6 月 11 日)、初果期 (6 月 27 日)、盛果期 (7 月 23 日)、成熟期 (8 月 21 日) 采取加工番茄样品, 将采集的植株按不同器官 (茎、叶、蕾 + 花 + 果) 分开, 烘干、称重, 统计各器官干物质。

加工番茄品质的测定: Vc 含量: 2, 6-二氯酚酚滴定法; β-胡萝卜素: 高效液相色谱法; 总酸: pH 电位法; 番茄红素: 分光光度法; 色差值: 色差仪; 可溶性固形物: 折光计法。

加工番茄产量测定: 加工番茄成熟期, 在每个小区内划定测产区, 收获成熟果实、称重, 计算产量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS11.5 统计分析软件对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 钾肥品种对加工番茄成熟期干物质累积与分配的影响

干物质积累是产量形成的基础, 由表 3 可以看出, 成熟期两个品种加工番茄生殖器官所占比重达到 65.67% - 76.78%、55.46% - 69.10%。HYH-01 的 K-KCl 处理分配到茎、叶的干物质都是最多, 分别为 39.94 克/株、53.64 克/株, 与 K-KNO₃ 处理无显著差异, 但与其他处理均差异显著; K-K₂SO₄ 处理分配到果干物质最多, 其次是 K-KCl 处理和 K-KNO₃ 处理, K-0 处理最少,



表 3 加工番茄干物质及分配 (克/株)

处理	HYH-01				屯河 8 号			
	茎	叶	果	总计	茎	叶	果	总计
K-0	32.17ab	33.58b	140.22b	205.97b	36.34b	43.57b	117.37b	197.27b
K-KCl	39.94a	53.64a	178.98ab	272.56a	47.14ab	52.49b	159.24ab	258.87a
K-K ₂ SO ₄	27.39b	35.27b	207.15a	269.80a	55.25a	73.21a	159.95ab	288.41a
K-KNO ₃	32.38ab	49.17a	168.71ab	250.26a	37.88b	46.32 b	188.30a	272.50a

K-KNO₃、K-KCl 处理无显著差异；总干物质以 K-K₂SO₄ 处理最多，与其他处理均有显著差异，而 K-0 处理最少。屯河 8 号 K-K₂SO₄ 处理分配到茎、叶的干物质最多，分别为 55.25 克/株、73.21 克/株，K-KNO₃ 处理分配到果中干物质最多，K-K₂SO₄、K-KNO₃、K-KCl 处理之间无显著差异；K-0 处理茎、叶、果含量最低，与其他处理差异显著；施钾处理总干物质无显著差异，但显著高于 K-0 处理，以 K-K₂SO₄ 处理最大，K-0 处理最低。

2.2 钾肥品种对加工番茄生长发育的影响

表 4 可知，加工番茄干物质积累随着生育期的进展而逐渐增强，苗期积累缓慢，到盛果期时达到高峰。加工番茄 HYH-01、屯河 8 号干物质积累速率最大的时刻 t₀，各施肥处理分别比 K-0 处理推后了 2-6 天和 4-13 天。其中，均以 K-K₂SO₄ 处理的 t₀ 时刻出现最晚，为出苗后的 116 天和 97 天，而且干物质积累的旺盛时期 Δt 也最长，分别比 K-0、K-KCl、K-KNO₃ 处理延长了 4、7、6 天和 8、3、2 天，表明硫酸钾肥料有利于推迟加工番茄干物质积累速率最大的时刻，延长干物质积累的旺盛时期。K-K₂SO₄ 处理的 HYH-01 (269.8 克) 和屯河 8 号 (288.4 克) 处理每株干物质最大积累量显著高于 K-0 的

206 克和 197.3 克，经成熟期干物质数据比较 K-K₂SO₄ 处理比 K-KCl 显著增加的主要是茎叶干物质，而果实干物质无显著差异。

钾肥的施用增加了不同品种加工番茄在 Δt 时期内的干物质积累量，HYH-01 各处理干物质积累主要集中在出苗后的 84-140 天内 (盛果期到成熟期)，而屯河 8 号干物质积累主要集中在出苗后的 71-114 天内 (初果期到盛果期)；施用不同钾肥虽然对每株干物质最大积累量影响不大，但施钾可以使加工番茄干物质快速积累时间 (Δt) 变长，施用钾肥的各处理的干物质快速增长期 (Δt) 都在 32-48 天左右，而 K-0 处理的干物质快速增长期都在 27-44 天左右。综上所述，钾肥可以延长加工番茄干物质积累的时期并增加干物质积累量。

2.3 钾肥品种对加工番茄产量及构成因子的影响

从表 5 可以看出，钾肥品种对 HYH-01 和屯河 8 号的单株果数没有显著影响，但 HYH-01 不施钾肥单株果数显著降低。单果重均以 K-KNO₃ 处理最高，分别为 66.00 克/个、63.37 克/个，屯河 8 号 K-KNO₃ 处理与 K-0 处理达到了差异显著，与 K-K₂SO₄、K-KNO₃ 处理差异不显著。产量均以 K-KCl 处理最高，与 K-0 处理都达到了显著差异，与 K-K₂SO₄、K-KNO₃ 处理

表 4 加工番茄干物质积累的 Logistic 模型及其特征值

加工番茄	处理	方程	t ₁	t ₂	Δt	t ₀	R ²	F
HYH-01	K-0	$y=264.5337 / [1+e^{(6.3953-0.060172t)}]$	84	128	44	106	0.9954	322**
	K-KCl	$y=335.6402 / [1+e^{(6.6447-0.063758t)}]$	84	125	41	104	0.9969	481**
	K-K ₂ SO ₄	$y=509.9955 / [1+e^{(6.4231-0.055306t)}]$	92	140	48	116	0.9969	483**
	K-KNO ₃	$y=318.0180 / [1+e^{(6.6202-0.062367t)}]$	85	127	42	106	0.9985	976**
屯河 8 号	K-0	$y=196.6892 / [1+e^{(8.3633-0.099359t)}]$	71	97	27	84	0.9956	343**
	K-KCl	$y=267.3031 / [1+e^{(7.1839-0.081313t)}]$	72	105	32	88	0.9952	309**
	K-K ₂ SO ₄	$y=317.4954 / [1+e^{(7.2474-0.074944t)}]$	79	114	35	97	0.9985	1025**
Tunhe No.8	K-KNO ₃	$y=290.2778 / [1+e^{(7.5794-0.080946t)}]$	77	110	33	94	0.9994	2641**

注：t 为加工番茄出苗后的天数 (d)，y 为加工番茄干物质积累量 (g/株)，t₀ 为干物质积累速率最大时，t₁ 和 t₂ 分别为 Logistic 生长函数的两个拐，Δt=t₂-t₁，是加工番茄旺盛生长的时期 F(3, 5) 0.05=5.41，F(3, 5) 0.01=12.1。

表 5 不同钾肥品种对加工番茄产量的影响

处理	HYH-01				屯河 8 号			
	单株果数 (个/株)	单果重 (克/个)	产量 (公斤/公顷)	增产率 (%)	单株果数 (个/株)	单果重 (克/个)	产量 (公斤/公顷)	增产率 (%)
K-0	26.88 b	61.92 c	6020b	--	30.63 ab	56.89c	4983c	--
K-KCl	32.75 ab	64.72 ab	8012a	24.87	32.25 a	58.67b	6164a	19.17
K-K ₂ SO ₄	36.63 a	63.07 ab	7659ab	21.4	28.38b	61.59ab	5566b	10.49
K-KNO ₃	33.38 ab	66.00 a	7357ab	18.17	30.75 ab	63.37a	5824ab	14.44

差异不显著, K-KCl、K-K₂SO₄、K-KNO₃ 处理的加工番茄产量比 K-0 处理增产 18.17% - 24.87% 和 10.49% - 19.17%。

2.4 钾肥品种对加工番茄品质的影响

从表 6 可以看出, 钾肥品种对 HYH-01 色差、总酸含量和 β-胡萝卜素含量无显著影响, 但对 Vc 含量有显著影响, K-K₂SO₄ 处理中的 Vc 含量最多, 与 K-0、K-KCl、K-KNO₃ 处理差异显著; 可溶性固形以 K-K₂SO₄ 处理最高, K-0 处理最小, 两者相差 1.28%, 说明施用 K-K₂SO₄ 但能够提高 HYH-01 的可溶性固形物; K-KCl 处理和 K-K₂SO₄ 处理的 β-胡萝卜素含量最多, 其次为 K-KNO₃ 处理, K-0 处理最低, K-KCl 处理色差值和总酸含量最大, 而 K-KNO₃ 处理最小。

钾肥品种对屯河 8 号加工番茄的 Vc 含量、β-胡萝卜素、可溶性固形、色差、总酸、番茄红素无显著影响, K-KCl 处理中的 Vc 含量、β-胡萝卜素、可溶性固形、总酸、番茄红素最多, 分别为 30.63 毫克/100 克、0.29 毫克/100 克、6.28%、4.93 克/公斤、13.70 毫克/100 克, 而不施钾肥时加工番茄的可溶性固形和番茄红素含量最低, 这说明 KCl 肥料能够提高屯河 8 号的品质。

2.5 肥料效益分析

由表 7 可以看出, 钾肥的农学效率用每千克纯养分增产的加工番茄产量表示, 每千克 K₂O 促进 HYH-01 增产约为 167.10 - 249.05 公斤, 促进屯河 8 号增产 72.98 - 147.70 公斤, 其中 K-KCl 处理农学效率最高, 而 K-0 处理最小。

按照当年当地的加工番茄和钾肥价格计算, HYH-01 每投入 1 元的 K₂O, K-KCl 处理可增收 3.21 元, 而 K-K₂SO₄ 和 K-KNO₃ 处理分别增收 2.64 元和 2.16 元; 屯河 8 号每投入 1 元的 K₂O, K-KCl 处理可增收 1.90 元, 而 K-K₂SO₄ 和 K-KNO₃ 处理分别增收 0.94 元和 1.36 元。扣除肥料成本, K-KCl 处理收益最好, 分别为 3474 元/亩、2606 元/亩, 而 K-0 处理收益最低, 分别为 2616/亩和 2129 元/亩。以上表明, KCl 的肥料效益最好。

讨论

通常农民认为大量施用化肥, 就能获得高产, 而在加工番茄生产过程忽略了合理的肥料配比, 长期施用单一肥料品种, 不但无法获得较高的经济效益, 还破坏土壤的养分平衡, 造成了土壤结构板结^[13]。在施用相同氮

表 6 不同处理对加工番茄品质的影响

品种	处理	色差 a/b	可溶性固形物 (%)	总酸 (克/公斤)	Vc (毫克/100 克)	番茄红素 (毫克/100 克)	β-胡萝卜素 (毫克/100 克)
HYH-01	K-0	2.68 a	5.29 b	3.52 a	27.53 b	11.57 a	0.22 a
	K-KCl	2.72 a	5.50 ab	3.82 a	28.40 b	11.97 a	0.26 a
	K-K ₂ SO ₄	2.70 a	5.74 a	3.56 a	32.60 a	11.90 a	0.26 a
	K-KNO ₃	2.62 a	5.30 b	3.47 a	27.00 b	10.37 b	0.24 a
屯河 8 号	K-0	2.68a	5.71a	4.47a	27.97 a	12.33 a	0.28 a
	K-KCl	2.73a	6.28a	4.93a	30.63 a	13.70 a	0.29 a
	K-K ₂ SO ₄	2.66a	5.79a	4.42a	29.63 a	12.53 a	0.27 a
	K-KNO ₃	2.74a	5.89a	4.72a	24.13 a	13.17 a	0.25 a

表 7 不同处理下加工番茄肥料效益分析

处理	HYH-01					屯河 8 号				
	农学效率 (公斤/公斤)	增收 (元/元)	产值	肥料成本 (元/亩)	纯收益	农学效率 (公斤/公斤)	增收 (元/元)	产值	肥料成本 (元/亩)	纯收益
K-0	--	--	2829	213	2616	--	--	2342	213	2129
K-KCl	249.05	3.21	3766	292	3474	147.70	1.90	2897	292	2606
K-K ₂ SO ₄	204.83	2.64	3599	292	3308	72.98	0.94	2616	292	2325
K-KNO ₃	167.10	2.16	3458	292	3166	105.14	1.36	2737	292	2446

注: 2013 年昌吉市加工番茄 0.47 元/公斤, N: 4.89 元/公, P₂O₅: 5.65 元/公, K₂O: 9.0 元/公, FeSO₄: 0.7 元/公斤, MnSO₄: 7.8 元/公斤, ZnSO₄: 5 元/公斤.

磷肥基础上^[6], 施用不同钾肥品种均增加了加工番茄产量, 显著增加了收益, 经济效益较显著。秦鱼生^[14]等对马铃薯开展了不同钾肥品种试验, 结果表明当氯化钾的施用量为 15 公斤/亩时, 增产的效果最明显, 增产的幅度达到 29.0%; 当施钾量一样时, 氯化钾增产的效

果高于硫酸钾, 钾肥施用可以明显提高作物产量。与前人研究结果相似, 本试验 2 个加工番茄品种各处理产量均以 KCl 处理最高, 相较于不施钾处理, 增产率分别达 24.87% 和 19.17%。该结果与李彦等人的研究结果在增产率方面存在一些差异, 但均表明了氯化钾增产的效果高



于硫酸钾。钾素是加工番茄生产的关键限制因子之一,适当的钾肥品种运筹是保证钾素供应充足、提高钾素农学效率和促进作物产量形成的关键因素^[15]。在本试验中通过钾肥品种的变化,在加工番茄成熟期,施用 KCl 处理产量显著偏高,其钾素积累量明显偏高,加工番茄钾素积累量与产量呈正相关关系。

3 结论

1) 钾肥可显著提高加工番茄干物质及产量;施用 KCl 的经济效益比 K_2SO_4 、 KNO_3 更好,农民纯收益最高。

2) KCl 能提高屯河 8 号 Vc、 β -胡萝卜素、可溶性固形、色差、总酸、番茄红素含量,但差异不显著;硫酸钾能显著提高 HYH-01 可溶性固形物及 Vc 含量。

参考文献

- [1] 庞胜群,王祯丽,张润. 新疆加工番茄产业现状及发展前景[J]. 中国蔬菜, 2005, (2):39-41.
- [2] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[J]. 中国统计出版社, 2015.
- [3] 李彦,郭良进,高贤彪,等. 钾肥对大棚番茄产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2004, (1):60-61.
- [4] 王明香,聂俊华,张华芳. 钾素营养研究进展[J]. 云南农业大学学报, 2000, 15(4):356-358.
- [5] 张炎,史军辉,罗广华,等. 新疆农田土壤养分与化肥施用现状及评价[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(5):375-379.
- [6] 胡伟,张炎,王海燕,等. 几种钾肥在加工番茄上的应用效果研究[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(4):494-497.
- [7] 齐红岩,李天来,富宏丹,等. 不同氮钾施用水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(2):268-272.
- [8] 张小玲,马海刚,赵黎,等. 新疆加工番茄营养特性及专用肥最佳配方的研究[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5):278-282.
- [9] 汤明尧,张炎,胡伟,等. 不同施氮水平对加工番茄养分吸收、分配及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5):1238-1245.
- [10] 崔瑞秀,张丽敏,吴秀英. 氮钾肥配施对番茄产量及品质的影响研究初报[J]. 河北农业科学, 2005, 9(1):114-115.
- [11] 杨晓燕,卜玉山,段小柱. 施钾对番茄产量和品质效应研究[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4):272-275.
- [12] 吴建繁,王运华,贺建德,等. 京郊保护地番茄氮磷钾肥料效应及其吸收分配规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4):409-416.
- [13] 赵彬,郎家庆,韩晓日,等. 番茄最佳施肥量及配比研究[J]. 辽宁农业科学, 2002, (5):16-18.
- [14] 秦鱼生,涂仕华,冯文强,等. 不同钾肥品种及用量对马铃薯产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(6):1950-1954.
- [15] 史春余,王振林,赵秉强,等. 钾营养对甘薯某些生理特性和产量形成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1):81-85.