

不同施钾量对‘骏枣’产量、品质及光合特性的影响

朱祖雷¹, 黄华梨², 张露荷², 王多锋², 贾旭梅¹

王双成¹, 赵通¹, 张夏焱¹, 张瑞¹, 王延秀^{*}

(¹甘肃农业大学, 兰州 730070; ²甘肃省林业科学研究院, 兰州 730070)

摘要:【目的】通过研究钾肥施用量对‘骏枣’产量、品质、光合效率和树体营养的影响,以期确定‘骏枣’最适宜施钾量。【方法】以‘骏枣’为试材,设置钾肥(K₂O)施用量分别为76.5 g·株⁻¹、153 g·株⁻¹、229.5 g·株⁻¹、306 g·株⁻¹,于开花期和果实膨大期根际施入。【结果】与对照相比,施钾可显著提高‘骏枣’果实产量、维生素C含量、可溶性蛋白质含量、糖酸比、可溶性糖含量、蔗糖含量、果糖含量和叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、叶绿素含量,且具有钾肥浓度影响效应。主成分分析结果表明,4种施钾处理中以施钾(K₂O)153 g·株⁻¹对提高‘骏枣’果实产量、品质、叶片光合效率和降低果实裂果率的效果最为显著。【结论】施用钾肥能明显提高‘骏枣’果实产量、品质和叶片光合效率,增强‘骏枣’树体营养状况,降低果实裂果率。因此,在甘肃黄河灌区‘骏枣’以高产优质为目标,推荐钾肥(K₂O)施用量为153 g·株⁻¹。

关键词: ‘骏枣’; 钾肥; 产量; 品质; 光合特性

中图分类号: S665.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2019)12-1693-11

Effect of potassium application on yield, quality and photosynthetic characteristics in ‘Junzao’ jujube

ZHU Zulei¹, HUANG Huali², ZHANG Luhe², WANG Duofeng², JIA Xumei¹, WANG Shuangcheng¹, ZHAO Tong¹, ZHANG Xiayi¹, ZHANG Rui¹, WANG Yanxiu^{*}

(¹Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China; ²Gansu Academy of Forestry Science, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: 【Objective】*Ziziphus jujubes* ‘Junzao’ is a very important economic horticultural crop. The fruit is rich in nutrition and contains a variety of vitamins and trace elements. It tastes sweet and mellow, and is praised as a good tonic. However, in recent years, due to excessive amount of fertilizer applied to jujube trees, the fertilizer efficiency has decreased significantly. Potassium is a recognized quality element. Excessive or unreasonable application of potassium fertilizer not only reduces the benefit from the fertilizer but also causes increase in fruit cracking, decrease in quality and yield, soil crusting, and environmental pollution. In this study, we examined the effects of potassium fertilizer on yield, quality, photosynthetic capacity and tree nutrition of ‘Junzao’ in order to screen the optimal application amount of potassium that improves fruit yield and quality while reduces fruit cracking rate. 【Methods】 ‘Junzao’ trees were used as the materials for the experiment carried out for two consecutive years in Jingtai County, Gansu Province. Five concentrations of potassium fertilizer (K₂O) (0, 76.5, 153, 229.5, and 306 g per plant) were used. Mature fruit, leaves and branches were collected in 2017 and 2018, and quality, yield, contents of nitrogen, phosphorus and potassium and tree nutrition were determined. Chlorophyll content and photosynthetic characteristics of ‘Junzao’ leaves were determined during fruit expansion in 2018. 【Results】1) The yield of ‘Junzao’ was increased and the rate of fruit cracking was significantly decreased by potassium fertilization. The effect of yield increasing was strongest at 153 g per plant. Cracking rate was in the range of 3.58%-55.47%, and treatment at this dose had a significant low-

收稿日期: 2019-06-05

接受日期: 2019-09-05

基金项目: 2018年中央财政林业科技推广示范项目(2018ZYTG4)

作者简介: 朱祖雷, 男, 在读硕士研究生, 主要从事果树栽培生理研究。Tel: 18894310231, E-mail: 2324506745@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13919489161, E-mail: wangxy@gsau.edu.cn

er fruit cracking rate than the other treatments. 2) Compared with the control (0 g per plant), potassium application significantly improved the nutritional status of ‘Junzao’ tree, and the soluble sugars in leaves and shoots increased with the increase in potassium application. The soluble starch content in the leaves in the treatment at 306 g per plant was significantly higher than in the other treatments. 3) Potassium application significantly improved fruit quality and photosynthetic efficiency in the two seasons. The effect in the treatment at 153 g per plant was most significant. Moreover, with the increase in potassium application rate, vitamin C (Vc), soluble protein, sugar to acid ratio, contents of sucrose, fructose, nitrogen, phosphorus and potassium, net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r), and contents of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophylls, nitrogen, phosphorus and potassium increased within certain range but decreased when the potassium application exceeded this range. The intercellular CO_2 concentration (C_i) and chlorophyll a/b increased at low doses and increased at higher doses, and the application rate of 153 g per plant was the lowest. Principal component analysis showed that the application of potassium at 153 g (K_2O) per plant had the most significant effect in improving the yield, quality and leaf photosynthetic efficiency and in reducing fruit cracking rate of ‘Junzao’ fruit. 【Conclusion】 Under normal application of nitrogen and phosphorus fertilizers, supply of potassium significantly promotes chlorophyll synthesis, improves photosynthetic efficiency, and has a dosage effect. Furrow application of potassium fertilizer (K_2O) at 153 g per plant was shown to have the most significant effect. Therefore, in order to achieve high yield and quality, the recommended application amount of potassium fertilizer (K_2O) is 153 g per plant in the areas along the Yellow River in Gansu Province.

Key words: ‘Junzao’; Potassium fertilizer; Yield; Quality; Photosynthetic characteristics

钾是植物生长发育所必需的三大元素之一,土壤含钾量是影响骏枣产量品质和叶片光合效率的重要因素^[1]。钾不仅能调控植株代谢过程,促进碳水化合物合成和氮代谢,而且能提高作物产量,改善果实品质,增强植物叶片光合性能^[2-4]。宁运旺等^[5]研究表明,施钾可促进光合产物向块茎运输,且提高叶片中蔗糖的合成能力,年施 K_2O 134.3 kg·hm² 能显著增加单薯质量和单株薯数,提高甘薯产量。朱宗瑛等^[6]通过田间定位试验研究发现,氮磷肥相同时,增施钾肥可提高纽荷尔脐橙果实可溶性糖、蔗糖、葡萄糖、果糖和维生素 C 含量,降低果实可滴定酸和柠檬酸含量。林多等^[7]研究发现,适宜钾水平不仅能提高网纹甜瓜叶片叶绿素含量及净光合速率,还能促进低 CO_2 浓度条件下叶片的光合效率。

‘骏枣’(*Ziziphus jujubes* ‘Junzao’)为鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Ziziphus* Mill.)植物。然而,近年来随着‘骏枣’高产以及氮、磷化肥用量的增加,枣园中土壤钾素移走量逐渐增大,钾素损耗得不到有效补充,土壤钾素处于亏缺状态,致使‘骏枣’果实品质、产量连年降低。关于钾肥与‘骏枣’的研究主要集中在氮磷钾肥配施方面,氮磷钾肥配施可显著提

高‘骏枣’果实产量及品质,促进‘骏枣’生长发育^[8],且果实膨大期追施钾肥能提高‘骏枣’叶片光合效率、品质和产量^[9]。而关于不同施钾量对‘骏枣’果实内在品质、裂果率、树体营养、矿质营养及光合特性的研究鲜见报道。笔者在合理施氮磷肥基础上,以‘骏枣’为试验材料,设置不同施钾量处理,探讨不同施钾量对‘骏枣’产量、品质、光合特性、树体营养和裂果率的影响,旨在确定甘肃沿黄灌区‘骏枣’合理施钾量,为实现‘骏枣’优质高产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2017、2018年5月在甘肃省白银市景泰县五佛乡兴水村王希禄家枣园进行。土壤质地是沙壤土,‘骏枣’果园的土壤基本性质如表1所示。试材为长势一致的2009年高接换优‘骏枣’,砧木为酸枣,栽植密度为2 m×4 m,树高1.8 m,冠幅1.2 m,树干胸径7 cm。

1.2 试验设计

试验采取随机区组试验,设置5个处理,3次重复,每个小区6株,小区之间设置保护行。分别在

表 1 土壤基础理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil

土层深度 Depth of soil layers/ cm	w(有机质) Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	w(速效磷) Available P/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Available K/ (mg·kg ⁻¹)	pH	w(硝态氮) NO ₃ ⁻ -N/ (mg·kg ⁻¹)	w(铵态氮) NH ₄ ⁺ -N/ (mg·kg ⁻¹)
0-20	12.05	9.79	70.57	8.52	19.49	0.93
20-40	10.08	16.07	84.34	8.60	13.84	1.34
40-60	5.97	10.72	57.41	8.72	4.71	3.15

‘骏枣’开花期(5月15日)和果实膨大期(8月25日)在树体周围开两条沟施用钾肥,每株施硫酸钾分别为0、150、300、450、600 g(折合K₂O分别为0、76.5、153、229.5、306 g)。如表2所示,以不施钾肥为对照。其他试验条件保持一致,N、P肥的追施参照当地果园水平(尿素300 g+磷酸二铵150 g)。钾肥为硫酸钾(K₂O 51%),产自青海格尔木。

表 2 不同处理的施钾量(以 K₂O 计)

Table 2 The amount of potassium applied in different treatments (Calculation by K₂O)

处理 Treatment	开花期 Flowering period	果实膨大期 Fruit expansion period
对照 CK	0.0	0.0
T1	76.5	76.5
T2	153.0	153.0
T3	229.5	229.5
T4	306.0	306.0

1.3 测定指标与方法

1.3.1 叶绿素含量 采集‘骏枣’叶片,去除叶脉并洗净,称取新鲜样品0.2 g于玻璃试管中,加入10 mL 80%的丙酮进行24 h提取,在波长645、652、663 nm下测定吸光度,应用公式计算叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)含量。

$$\text{叶绿体 a 含量}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (12.7 (D663)) - 2.69 (D645) \times (V / (1\ 000 \times W))$$

$$\text{叶绿体 b 含量}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (22.9 (D645)) - 4.68 (D663) \times (V / (1\ 000 \times W))$$

$$\text{叶绿体总量}/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (D652 \times 1\ 000 / 34.5) \times (V / (1\ 000 \times W))$$

式中:D663、D645和D652分别为叶绿体色素提取液在波长663、645、652 nm下的吸光度;V为浸提液体积(mL),W为叶片浸提质量(g)。

1.3.2 光合参数测定 选取位于‘骏枣’中上部向阳、成熟功能叶,用Li-6400光合仪(LI-COR公司,美国)于晴天9:00—11:00 am测定净光合速率、气孔导度、蒸腾速率及胞间CO₂浓度,每个处理选取3株,

每株随机选取6张叶片测定。

1.3.3 果实品质和产量的测定 可溶性糖含量测定用蒽酮比色法^[13],果实滴定酸含量测定用氢氧化钠滴定法,可溶性蛋白质测定用考马斯亮蓝染色法^[14],维生素C采用2%草酸浸提,0.001 mol·L⁻¹ 2,6-二氯酚靛酚滴定。单果质量用电子天平测定,单株产量=挂果数×单果质量,裂果率/%=裂果数/挂果数。全氮用半微量“凯氏法”测定,碱解氮用扩散法,全磷用碱熔-钼锑抗比色法,全钾用NaOH熔融-火焰光度法^[15]。

1.4 数据分析

用Microsoft Office Excel 2013及Origin 8.0进行数据处理及作图,并用SPSS 22.0进行方差分析和主成分分析。统计分析采用单因素ANOVA的LSD比较差异的显著水平(α=0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同施钾肥水平对‘骏枣’单果质量、产量和裂果率的影响

合理施用钾肥可有效提高果树产量,但不同施钾量的产量效应存在明显差异。由表3可知,两季中,施钾能提高‘骏枣’单果质量和单株产量,且2018年单果质量和单株产量高于2017年,随施钾量的增加,单果质量和单株产量均呈先升高后降低的趋势,且在T2处理下,达到最大值,表现为T2>T3>T4>T1>对照。从钾肥用量看,钾肥T2是‘骏枣’较为适宜的用量,与对照相比,2017年‘骏枣’单果质量和单株产量分别显著增加了41.31%、44.64%,

表 3 不同施钾肥水平对‘骏枣’单果质量、产量和裂果率的影响
Table 3 Effect of different potassium fertilizer levels on single fruit weight, yield and fruit cracking rate of ‘Junzao’

年份 Year	处理 Treatment	单株产量 Yield per plant/g	单果质量 Weight per fruit/g	裂果率 Fruit cracking rate/%
2017	对照 CK	1 475.740±61.212 cd	21.053±0.754 d	5.909±0.182 a
	T1	1 513.196±90.576 cd	24.070±0.602 c	4.350±0.174 b
	T2	2 134.467±61.712 a	29.750±0.893 a	3.717±0.188 c
	T3	1 972.200±64.823 b	27.027±1.081 b	4.323±0.193 b
	T4	1 633.280±55.68 c	25.007±0.825 c	5.477±0.170 ab
2018	对照 CK	1 997.810±72.21 d	22.103±0.6 d	5.152±0.180 a
	T1	2 090.062±82.568 c	25.927±0.831 c	4.818±0.201 ab
	T2	3 322.083±104.479 a	31.860±1.08 a	3.083±0.260 c
	T3	2 765.004±136.982 b	29.167±0.93 b	3.377±0.192 bc
	T4	2 200.587±150.04 c	26.447±0.606 c	3.753±0.276 b

注:处理间对比采用Duncan’s显著性检验,小写字母表示0.05显著水平。下同。

Note: Duncan’s significance test is used for comparison between treatments, and lowercase letters indicate level of 0.05. The same below.

2018年分别显著增加了46.24%、66.29%，且T2显著高于其他处理。对‘骏枣’裂果率而言，两季中，施钾处理能降低‘骏枣’裂果率，且2018年‘骏枣’裂果率比2017年低，随施钾量的增加，裂果率呈先降低后升高的趋势，且T2处理下，裂果率达到最小值。2017年T2比对照显著降低了58.97%，同样2018年T2比CK显著降低了67.11%。表明在一定范围内，施用钾肥可显著提高‘骏枣’产量，降低裂果率，但超过阈值，‘骏枣’产量下降，裂果率上升。

2.2 不同施钾肥水平对‘骏枣’叶片和枝条营养状况的影响

在‘骏枣’采收期，光合产物基本上停止向果实

运转，养分开始回流到叶片及枝条中，此时枝条和叶片的可溶性淀粉和可溶性糖可反映出树体的营养状况，而树体的营养状况一定程度上体现出其抗逆能力^[10]。从图1中可以看出，在相同氮磷肥基础上，总体上枝条可溶性淀粉和可溶性糖随施钾量的逐渐增加呈升高趋势，且均在T4处理时达到峰值。T4的枝条可溶性淀粉含量显著高于其他处理，分别比对照、T1、T2、T3增加了67.18%、42.45%、36.87%、37.37%。施用钾肥明显提高‘骏枣’枝条可溶性糖含量，T3与T4差异不显著，但T4显著比对照、T1、T2高出31.86%、11.25%、21.10%。说明施钾肥能显著提高‘骏枣’枝条可溶性淀粉含量和可溶性糖含

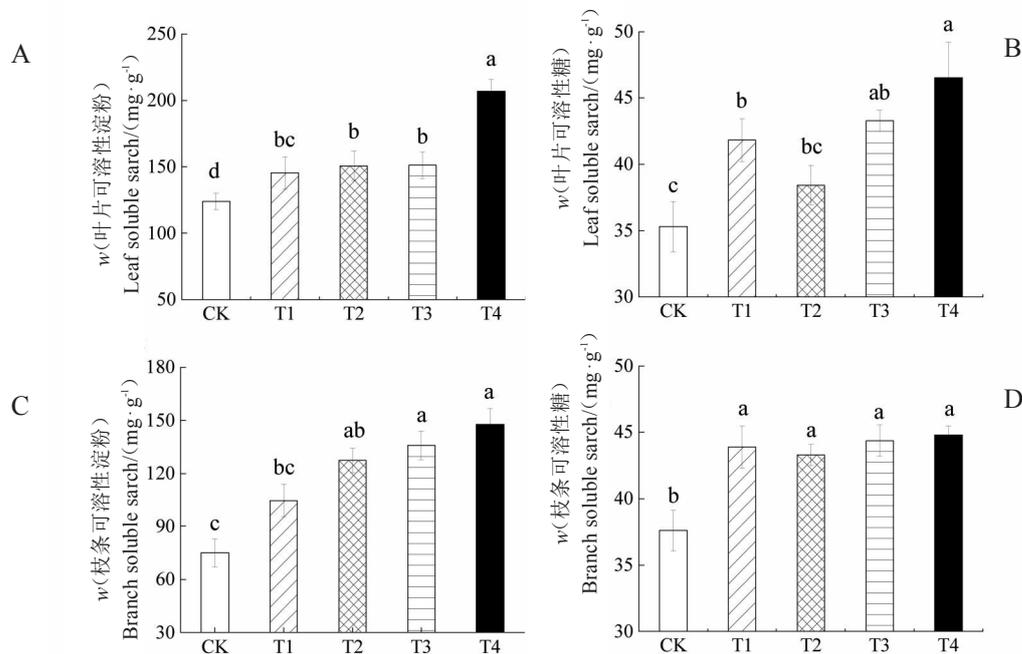


图 1 不同施钾水平对‘骏枣’叶片、枝条的营养状况(2017、2018 年均值)

Fig. 1 Nutritional status of the leaves and branches of ‘Junzao’ by different potassium application levels (the average of 2017 and 2018)

量,有利于改善树体营养状况,增强树体抗性。

由图1可得,在相同氮磷肥基础上,‘骏枣’叶片可溶性淀粉含量和可溶性糖含量随施钾量的逐渐增加呈升高趋势。叶片可溶性淀粉含量在T4处理时达到最大值,T4与T2、T3差异不显著,较对照和T1的可溶性淀粉含量显著增加了96.70%、41.03%。与对照相比,T1、T2、T3、T4可溶性糖含量分别显著增加了15.16%、16.73%、18.04%、19.11%,且T4与T1、T2和T3无显著性差异。故增施钾肥可以显著提高叶片可溶性淀粉和可溶性糖含量,有助于提升叶片

同化能力及树体营养水平。

2.3 不同施钾肥水平对‘骏枣’果实内在品质的影响

由表4可以看出,与对照相比,施用钾肥显著提高了‘骏枣’果实维生素C含量、可溶性蛋白质含量、糖酸比、可溶性糖含量、蔗糖含量和果糖含量,如2017年,‘骏枣’在T2处理时,以上指标分别比对照显著提高18.88%、60.85%、87.89%、21.04%、41.44%、95.78%,且随着施钾量的增加,均呈先升高后下降的趋势,以T2为拐点。维生素C在作物新陈代谢过程中具有重要作用,且是‘骏枣’重要品质指标之

表4 不同施钾水平对‘骏枣’果实内在品质的影响(2017—2018年)

Table 4 Effects of different potassium application levels on internal quality of ‘Junzao’ fruit (in 2017—2018)

处理 Treatment	w(维生素C) Vc/(mg·100g ⁻¹)		w(可溶性蛋白质) Soluble protein/%		糖酸比 Sugar acid ratio	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
对照 CK	229.485 d	252.212 e	3.453 d	4.586 d	5.302 cd	5.259 d
T1	248.576 b	273.576 d	4.396 c	4.962 d	6.966 c	6.756 c
T2	272.818 a	295.545 a	5.554 a	7.266 a	9.962 a	9.907 a
T3	268.197 a	290.924 b	5.249 a	6.561 b	8.919 b	8.672 b
T4	239.788 c	279.182 c	4.899 b	5.834 c	7.713 c	8.173 c

处理 Treatment	w(可溶性糖) Soluble sugar/(mg·g ⁻¹)		w(蔗糖) Sucrose/(mg·g ⁻¹)		w(果糖) Fructose/(mg·g ⁻¹)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
对照 CK	44.184 d	44.448 d	8.921 cd	9.191 c	10.972 d	12.361 b
T1	46.831 c	47.755 c	9.573 c	10.989 bc	15.972 bc	19.444 a
T2	53.481 a	58.920 a	12.618 a	15.156 a	21.481 a	22.778 a
T3	48.435 b	53.020 b	11.507 b	14.163 a	19.861 ab	20.972 a
T4	44.584 c	47.612 bc	9.134 c	11.489 b	13.935 cd	13.519 b

一。2017年,维生素C含量在施钾量T2时达到最大值,相比对照、T1、T4分别显著增加了18.88%、9.75%、13.77%,而与T3差异不显著。可溶性蛋白质是一种重要的渗透调节物质,同时也是一种关键的营养物质,其在T2为峰值,为5.554%,T2与T3差异不显著,T2相比对照、T1、T4分别显著增加了60.85%、26.34%、13.37%。

糖酸比是鉴定‘骏枣’果实品质的重要指标之一,直接影响果实的风味。T2的糖酸比较对照、T1、T3、T4分别显著增加了87.89%、43.01%、11.69%、29.16%。T2的可溶性糖含量比对照、T1、T3、T4显著增加了21.04%、14.20%、10.42%、19.96%。蔗糖含量在T2处理时达到最大值,且显著高于其他处理,增幅为9.65%~41.44%。果糖在T2达到峰值,T2较对照、T1、T4显著提高了95.78%、34.49%、54.15%,T2与T3差异不显著。2018年,‘骏枣’在各施钾处理下,其果实品质的各项指标与2017年类似,且总体上2018年施用钾肥对提高‘骏枣’品质的效果略佳于2017年。表明合理的钾肥施用量可提高‘骏枣’果实维生素C、可溶性蛋白质、可溶性糖、蔗糖、果糖含量和糖酸比,改善果实品质,施钾量过高反而使品质降低。这可能是由于过量钾肥会影响‘骏枣’对多种离子的吸收,造成矿物质吸收失衡,使果实品质降低。

2.4 不同施钾肥水平对‘骏枣’叶片氮、磷、钾含量的影响

由表5可知,在相同氮磷肥基础上,施用钾肥可提高‘骏枣’叶片对N、P、K的吸收、积累,且随施钾量的增加,N、P、K含量呈先升高后下降的变化趋势。所有

表5 不同施钾肥水平对‘骏枣’叶片氮、磷、钾含量的影响(2017、2018年均值)

Table 5 Effect of different potassium application levels on nitrogen, phosphorus and potassium contents in leaves of ‘Junzao’ (the average of 2017 and 2018)

处理 Treatment	w(N)/%	w(P)/(g·kg ⁻¹)	w(K)/(g·kg ⁻¹)
对照 CK	0.147±0.012 c	0.845±0.056 b	30.533±1.557 c
T1	0.227±0.039 ab	1.207±0.161 a	33.333±1.553 bc
T2	0.257±0.017 a	1.252±0.085 a	38.767±1.904 a
T3	0.190±0.015 bc	1.190±0.073 a	36.367±3.570 ab
T4	0.161±0.024 c	0.944±0.144 b	32.533±1.097 bc

施钾处理的N、P、K含量均高于对照,N含量提高幅度为9.52%~74.83%,其中T2处理N含量最高,T2与T1差异不显著,但显著高于对照、T3和T4;P含量提高幅度为11.72%~48.17%,各施钾处理中,尤以T2效果最为明显,其中T2与T1、T3差异不显著,但显著高于对照及T4;K含量提高幅度为6.55%~26.97%,在T2处理时,K含量达到最大值,且T2与T3差异不显著,但显著高于对照、T1和T4。这可能是因为钾与氮、磷间有协同效应,对钾的吸收也促进了氮、磷元素的吸收。

2.5 不同施钾肥水平对‘骏枣’果实氮、磷、钾含量的影响

由表6可知,从不同施钾量对‘骏枣’果实N、P、K吸收、积累的影响来看,施钾肥可显著提高果实N、P、K含量,且随施钾量的逐渐增加,果实N、P、K含量呈先上升后下降的趋势。所有施钾处理中,T2较对照和T4,N含量分别显著增加了33.16%和15.12%,而与T1和T3无显著性差异。各施钾处理均显著提高果实P

表 6 不同施钾肥水平对‘骏枣’果实氮、磷、钾含量的影响 (2017、2018 年均值)

Table 6 Effects of different potassium application levels on nitrogen, phosphorus and potassium contents in ‘Junzao’ fruits (the average of 2017 and 2018)

处理 Treatment	w(N)/%	w(P)/(g·kg ⁻¹)	w(K)/(g·kg ⁻¹)
对照 CK	0.383 ± 0.044 c	0.938 ± 0.066 d	29.300 ± 0.608 c
T1	0.450 ± 0.037 ab	1.928 ± 0.037 b	30.733 ± 1.904 c
T2	0.510 ± 0.020 a	2.352 ± 0.159 a	40.467 ± 0.551 a
T3	0.497 ± 0.009 ab	1.654 ± 0.187 c	34.333 ± 1.365 b
T4	0.443 ± 0.036 b	1.721 ± 0.035 bc	31.363 ± 1.026 b

含量,其中T2显著高于其他处理,P含量的增加幅度为83.48%~150.75%。在施钾处理中,T2处理的果实K含量最高,且显著高于其他处理,对照与T1差异不显著,T2、T3和T4较对照,K含量分别显著提高了38.11%、17.18%和7.04%。

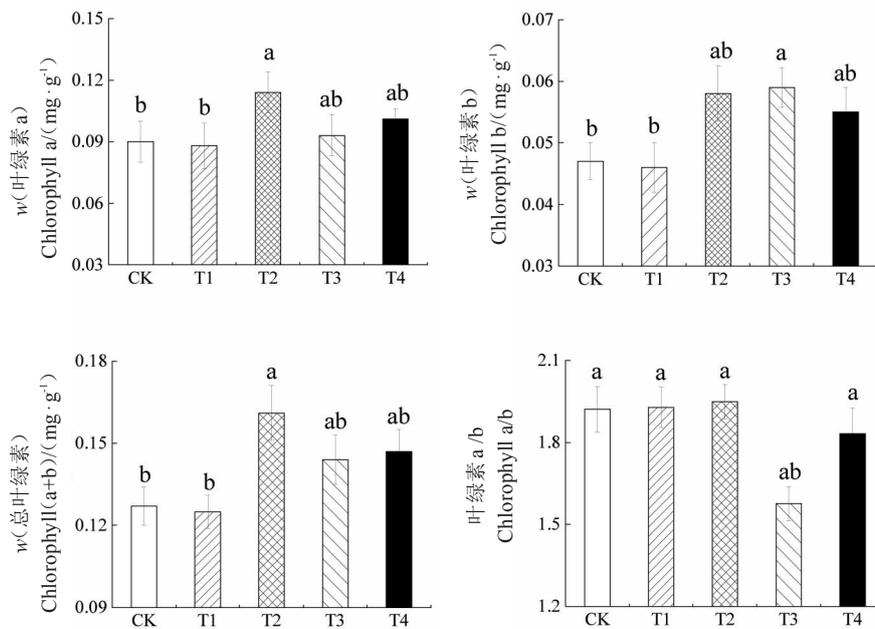


图 2 不同施钾水平下‘骏枣’叶片的叶绿素含量的影响 (2018 年)

Fig. 2 Effect of chlorophyll content of ‘Junzao’ leaves under different potassium application levels (in 2018)

而有降低的趋势。这是因为高钾将会对叶绿素的合成产生负载,使得叶绿素含量降低。

2.7 不同施钾肥水平对‘骏枣’叶片光合特性的影响

由图3可知,在施用氮磷肥基础上,随着钾肥施用量的增加,‘骏枣’叶片 P_n (净光合速率)、 G_s (气孔导度)和 T_r (蒸腾速率)呈先上升后下降的趋势,且均在T2时达到峰值。于叶片 P_n 而言,T2与T3处理无显著差异,T2分别较对照、T1、T4显著提高22.27%、17.72%、19.82%,且对照与T1、T4差异不显著。4个施钾肥处理均较无钾处理(CK)显著增加了‘骏枣’

2.6 不同施钾肥水平对‘骏枣’叶片叶绿素含量的影响

由图2可以看出,施用钾肥提高了‘骏枣’叶片叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量。相同氮磷基础上,叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总量随施钾量的增加均呈先升高后下降的趋势。叶绿素a和叶绿素总量在T2时达到最大值,叶绿素a分别较对照、T1显著提高了26.67%、29.55%,叶绿素总量分别较对照、T1显著提高了26.77%、28.80%,且T2与T3、T4差异不显著。对叶绿素b而言,在T3处理时达到峰值,分别较对照、T1显著提高了25.53%、28.26%,T3与T2、T4差异不显著。所有处理中,T3叶绿素a/b最低,且与其他处理无显著性差异。表明在一定范围内,随施钾量的增加,‘骏枣’叶片叶绿素含量逐渐增加,超过一定的施钾量,叶绿素含量不仅不增加,反

叶片 G_s ,T2与T3处理无显著差异,T2较对照、T1、T4分别显著提高289.29%、25.29%、118.00%。叶片 T_r 在T2处理下达到最大值,且较对照、T1、T3、T4分别显著提高108.22%、19.40%、13.43%、96.38%,T4与对照无显著性差异。对叶片 C_i (胞间CO₂浓度)而言,随施钾量的增加,其值先降低后升高,在T2时达到最低值,较对照显著降低31.73%,且T1、T3和T4与对照无显著性差异。表明适宜施钾量有利于提高‘骏枣’叶片 P_n 、 G_s 和 T_r ,降低 C_i ,而施钾量过大则会降低叶片光合效率。

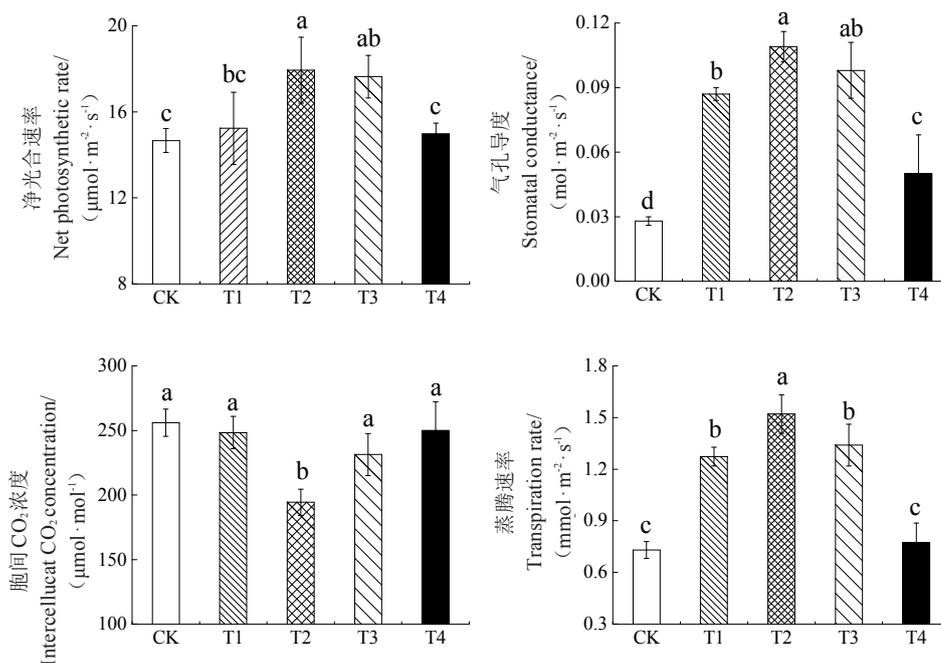


图3 不同施钾水平对‘骏枣’叶片光合特性的影响(2018年)

Fig. 3 Effect of different potassium application levels on photosynthetic characteristics of ‘Junzao’ leaves (in 2018)

2.8 不同施钾水平下‘骏枣’果实及叶片的主成分分析

采用主成分分析对‘骏枣’产量、品质及光合在不同施钾水平的产量、单果质量、裂果率、维生素C、可溶性蛋白质、糖酸比、可溶性糖、蔗糖、果糖、N、P、K、叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总量、叶绿素a/b、P_n、C_i、G_s、T_r等25个指标进行综合分析,提取果实特征值>1的2个主成分,其特征值分别11.309和1.043,累计方差贡献率达到95.025%,同时提取叶片特征值>1的3个主成分,其特征值为7.45、3.15和1.515,累计方差贡献率为93.188%,符合分析要求。

综合得分(F)是每个主成分得分与对应贡献率乘积之和,即‘骏枣’果实 F=F₁×86.99%+F₂×8.035%,由表7可知,对照、T1、T2、T3、T4的综合得分分别是-1.211 025 172、-0.335 211 492、1.075 603 789、0.556 347 107、-0.085 714 232,即施钾量对提高骏枣果实品质和增加其产量的效果依次为T2>T3>T4>T1>对照。同时‘骏枣’叶片 F=F₁×57.306%+F₂×24.228%+F₃×11.654%,由表8可知,CK、T1、T2、T3、T4的综合得分分别是-0.773 569 605、-0.444 885 122、0.860 487 028、0.209 638 909、0.148 328 79,即施钾量对‘骏枣’叶片光合能力的作用依次为T2>T3>T4>T1>对照。

‘骏枣’果实产量品质和叶片光合特性与多个因素相关,单一指标很难真实准确反映钾肥施用量对

表7 5种施钾水平下‘骏枣’果实的综合得分及其排名

Table 7 Comprehensive score and ranking of ‘Junzao’ fruits under 5 potassium application levels

处理 Treatment	主成分得分 Principal Component Score		综合得分(F) Composite score	综合得分排名 Comprehensive score ranking
	PC1(F1)	PC2(F2)		
	对照 CK	-1.320 59		
T1	-0.347 31	-0.411 78	-0.335 211 492	4
T2	1.306 73	-0.760 68	1.075 603 789	1
T3	0.606 42	0.358 71	0.556 347 107	2
T4	-0.245 25	1.588 41	-0.085 714 232	3

表8 5种施钾水平下‘骏枣’叶片的综合得分及其排名

Table 8 Comprehensive scores and ranking of ‘Junzao’ leaves under 5 potassium application levels

处理 Treatment	主成分得分 Principal component score			综合得分(F) Composite score	综合得分排名 Comprehensive score ranking
	PC1(F1)	PC2(F2)	PC3(F3)		
	对照 CK	-1.005 42	-0.912 94		
T1	-0.430 68	-0.684 43	-0.276 78	-0.444 885 122	4
T2	1.519 35	-0.438 70	0.824 58	0.860 487 028	1
T3	0.454 24	0.552 83	-1.584 07	0.209 638 909	2
T4	-0.537 49	1.483 24	0.832 19	0.148 328 79	3

叶片光合特性和果实品质产量的影响实质,采用多个指标对‘骏枣’叶片光合特性和果实品质产量进行综合评价显得十分必要。本试验以‘骏枣’的25个

相关指标进行主成分分析。结果表明,根据主成分分析综合评价,施钾量对提高‘骏枣’果实产量品质和叶片光合性能的效果依次为 T2>T3>T4>T1>对照。据此,可以认为施钾量(K_2O) $153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 对提高‘骏枣’叶片光合效率及果实产量品质的效果最佳,且优于其他处理。

3 讨 论

3.1 钾肥用量与果实产量、裂果率及树体营养

近年来,钾肥在果树生产的增产效应日益凸显,单果质量和挂果量共同构成决定‘骏枣’产量的主要影响因素。本试验研究表明,与对照($0\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$)相比,施钾处理显著提高单果质量及产量,随施钾量的增加,单果质量及产量呈先升高后降低的趋势,且在 T2 ($153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$)下,单果质量和产量达到最大值,分别较对照增加了 41.31%、44.64%。这可能是施钾可以使树体营养生长与生殖生长达到平衡状态,并促进叶片光合生产能力,积累较多光合产物,使光合产物以氨基酸和蔗糖的形式向果实转运,故增加果实单果质量。适宜的钾素水平能促进果实淀粉合成酶、蛋白质合成酶等活性,提高干物质积累量和单果质量^[11],而缺钾和高钾使植株生理代谢紊乱、果实发育缓慢、叶片光合生产能力差,导致果实单果质量和产量降低。白红等^[12]在‘重阳红’桃研究发现,适量施用钾肥可显著提高‘重阳红’桃产量及单果质量,最适宜施钾(K_2SO_4)量为单株 0.7 kg,当施钾量超过此值,产量则会降低,本文研究结果与之一致。李小梅等^[13]在油茶上研究表明,在相同氮磷肥基础上,油茶产量在一定钾肥范围内随施钾量的增加而逐渐增加,当施钾量超过阈值,其产量呈下降趋势,这再次验证了本文观点。

钾素与‘骏枣’果实裂果率有密不可分的关系。枣果皮开裂与角质层无显著相关性,而与表皮层和中果皮的组织结构密切相关^[14]。果实成熟过程中果肉同化物增加使渗透压降低,果肉迅速吸收水分膨胀造成裂果,同样水溶性果胶逐渐增加,使细胞组织分离,果皮应力降低也使得大量果实裂果^[15]。本研究表明,与对照相比,施钾处理显著降低‘骏枣’果实裂果率。随施钾量的增加,裂果率呈先降低后升高的趋势,且在 T2 处理下,裂果率达到最小值,较对照降低了 58.97%。这可能是钾促进原生质水合强度,防止细胞质外渗,调节果实细胞渗透压和水溶性果

胶含量,降低‘骏枣’裂果率,而低钾和高钾会产生负效应。周继芬等^[16]在脐橙研究发现,施钾能明显降低裂果率,同时发现钙含量与果实裂果率呈极显著负相关,而不同树种不同生育时期与最适钾钙比之间的关系,目前尚未清楚,还需进一步论证、探索。

在‘骏枣’果实收获后,树体会继续从土壤中获得养分,并且叶片通过光合作用,将养分储存在叶片、枝条、树干和根部,随着叶片凋落,养分会全部储存在树体中,这部分储存的养分提供来年新器官的萌发^[17]。钾素虽然不参与植物体内有机物质的组成,但钾调控树体内多种代谢过程,参与淀粉和糖的合成与运转^[10]。本研究发现,施钾能显著提高‘骏枣’叶片和枝条的可溶性糖含量和可溶性淀粉含量,总体上可溶性淀粉含量和可溶性糖含量随施钾量的增加也逐渐增加,在 T4 处理时达到最大值。说明施钾能够促进‘骏枣’树体的营养状况,提到树体的抗逆性。

3.2 钾肥用量与果实品质及叶片、果实矿质营养

本试验条件下,不同钾肥施用量对‘骏枣’果实营养品质的影响差异显著。可溶性蛋白质含量在 T2 时达到最大值,且相比于对照、T1、和 T4 分别显著增加了 60.85%、26.34%、13.37%,而与 T3 差异不显著,表明适宜施钾量可显著提高果实可溶性蛋白质含量,但用量过多则会出现下降趋势,这与前人研究结果基本一致^[18]。这可能是由于钾素活化树体氮代谢中天冬酰胺酶、氨酰-tRNA 合成酶、多肽合成酶、硝酸还原酶等,促进植株对氮的吸收利用,并促进氨基酸和蛋白质的合成,而钾素供应量过多植株对氮及其他矿质养分的吸收利用效率降低,导致植株体内含氮化合物减少^[19]。本研究还发现,随钾肥施用量的增加,‘骏枣’果实糖酸比、可溶性糖、蔗糖和果糖呈先升高后下降的趋势,表明合理施用钾肥可增加果实糖度,提高糖酸比,从而改善‘骏枣’的品质,这与前人研究结果一致^[7,20]。这是因为钾素通过提高蔗糖磷酸合酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS)、磷酸果糖激酶等活性,促进果糖、蔗糖和葡萄糖积累,钾素还可以通过改变叶片光合作用、同化产物装载与卸出能力和光呼吸速率等调节“库”与“源”的活性而影响糖分的积累量^[21-23],但钾素供应量过多则会导致 SPS、SS 等几种酶活性降低,蔗糖合成受阻,而且叶片所产生的光合产物更多用于合成其他化合物,致使果实含糖量降低^[24]。武晓等^[25]在‘黄冠梨’上研究发现,施钾肥可

降低可滴定酸的含量,而糖酸比及可溶性糖含量则逐步上升,本研究结果与之一致。金会翠等^[26]认为,在一定范围内增施钾肥能提高苹果品质,而超过阈值时,由于养分不平衡会使果实品质降低^[27-28],本研究结果与之相佐。

本研究中,施用钾肥可显著提高果实维生素C,且随施钾量的增加呈先升高后下降的趋势,在T2时维生素C达到最大值,这可能是钾素过高抑制维生素C合成^[29]。抗坏血酸抗氧化酶(APX)随施钾量的增加而增加,因其可催化维生素C的氧化还原,所以APX活性的高低与维生素C含量呈负相关^[30],这可能是施钾量过高,‘骏枣’果实维生素C含量反而降低的原因。鲁剑巍等^[31]在脐橙上研究发现,施 K_2O $250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 可明显提高果实维生素C含量,本文进一步验证了这个观点。

3.3 钾肥用量与叶片光合特性

光合作用是作物产量和果实品质形成的重要代谢过程,而钾对调控叶片光合作用影响较为显著^[32]。长期以来叶绿素含量被作为衡量植物吸收利用光能能力的重要指标,叶绿素含量变化直接影响植物的光合作用。本研究发现,施钾可提高‘骏枣’叶片叶绿素含量,且施钾量(K_2O)在 $0\sim 153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 时,叶绿素含量随施钾量的增加而增加,施钾量超过 $153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,叶绿素含量不增反降,梁振娟等^[33]在春玉米叶片上得出相同结论,但光合效率高受到多种因素的综合影响,因此单一叶绿素指标不能作为判断叶片光合能力的标准。通常认为,当 C_i 的变化规律与 P_n 和 G_s 的变化规律一致时,可判断 P_n 受气孔限制,而变化规律不一致时, P_n 则受非气孔限制^[34],此外,叶片 P_n 升高时,细胞间的 CO_2 被快速吸收固定,导致 C_i 保持在较低水平。本研究结果表明,施钾量(K_2O)在 $0\sim 153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 时, P_n 、 G_s 和 T_r 随施钾量的增加而增加,施钾量超过 $153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$, P_n 、 G_s 和 T_r 不增反降,而 C_i 的变化规律与 P_n 的相反,随施钾量的增加呈先下降后上升,说明‘骏枣’叶片 P_n 受非气孔限制,施用钾肥可增加叶片叶绿素含量,这有利于提高叶片 P_n ,但‘骏枣’叶片 P_n 还可能受到其他非气孔限制因素影响。本研究中,不同施钾水平中以T2($153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$)对提高‘骏枣’光合效率效果最优,说明适宜的施钾量有利于提高‘骏枣’叶片光合能力,而过高或过低的施钾量则不利于提高‘骏枣’叶片光合能力,原因可能是适宜钾素可提高叶片 G_s 和RuBP羧化酶活

性,减小叶片气孔阻力,从而提高叶片 P_n ,而且钾离子浓度在合理水平时,促进叶片光合磷酸化及 CO_2 同化,致使 C_i 降低^[35]。杜彩艳等^[36]在三七上研究发现,钾肥用量为 K_2O $675\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时较有利于提高三七光合能力及产量的提高,而钾肥施用量不足或过高,三七光合效率降低,本文研究结果与之一致。

4 结 论

钾素作为重要的营养元素,在‘骏枣’果实品质产量和光合效率方面起着关键性作用。本试验条件下,施用钾肥可提高‘骏枣’产量,促进树体的营养状况,减少‘骏枣’果实裂果率,改善果实品质,且提高‘骏枣’叶片光合效率,不同施钾(K_2O)水平中以 $153\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$ 效果最为显著,研究结果为骏枣的高产优质提供一定理论依据。

参考文献 References:

- [1] 吴翠云,蒋卉,李天红,于军. 土施钾肥对骏枣叶片光合特性及果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2018,276(4): 105-112. WU Cuiyun, JIANG Hui, LI Tianhong, YU Jun. Effect of soil potassium fertilization on leaf photosynthesis and fruit quality of jujube[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2018, 276 (4): 105-112.
- [2] 张海鹏,马健,文俊,周桃华. 施钾对不同转基因棉花品种光合特性及产量和品质的影响[J]. 棉花学报,2012,24(6): 548-553. ZHANG Haipeng, MA Jian, WEN Jun, ZHOU Taohua. Effects of potassium application on the photosynthetic characteristics, yield, and fiber properties of different transgenic cotton varieties [J]. Cotton Science, 2012, 24 (6): 548-553.
- [3] 谌琛,同延安,路永莉,高义民. 不同钾肥种类对苹果产量、品质及耐贮性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(1): 216-224. CHEN Chen, TONG Yanan, LU Yongli, GAO Yimin. Effects of different potassium fertilizers on production, quality and storability of Fuji apple[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2016, 22(1): 216-224.
- [4] AHMAD I, MAATHUIS F J M. Cellular and tissue distribution of potassium: Physiological relevance, mechanisms and regulation[J]. Journal of Plant Physiology, 2014, 171(9): 708-714.
- [5] 宁运旺,张辉,许仙菊,马洪波,张永春. 薯麦轮作体系钾肥全部施于薯季提高甘薯和周年产量[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 121(4): 91-102. NING Yunwang, ZHANG Hui, XU Xianju, MA Hongbo, ZHANG Yongchun. Full application of potassium fertilizer in sweet potato to increase tube and annual yields in sweet potato/wheat rotation[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2018, 121(4): 91-102.
- [6] 朱宗瑛,李明,张长明,谭启玲,胡承孝,谢合平. 纽荷兰脐橙高

- 产优质的磷钾最佳配比研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 1105-1112.
- ZHU Zongying, LI Ming, ZHANG Changming, TAN Qiling, HU Chengxiao, XIE Heping. Optimum P and K ratio for high yield and good quality of 'Newhall' navel orange[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2018, 24(4): 1105-1112.
- [7] 林多, 黄丹枫, 杨延杰, 陈宁. 钾素水平对网纹甜瓜叶片光合特性及叶绿体亚显微结构的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1066-1070.
- LIN Duo, HUANG Danfeng, YANG Yanjie, CHEN Ning. Effects of potassium level on photosynthetic characteristics and chloroplast submicroscopic structure of muskmelon leaves[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5): 1066-1070.
- [8] 史彦江, 吴正保, 谷量, 哈地尔·依沙克, 木合塔尔·扎热, 宋锋惠. 不同氮磷钾配比追肥对幼龄骏枣生长及其产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014, (1): 42-47.
- SHI Yanjiang, WU Zhengbao, GU Liang, HADIER Yishake, MUHTAR Zari, SONG Fenghui. Effect of different topdressing NPK ratios on Junzao tree's growth, jujube fruit yield and quality [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2014, (1): 42-47.
- [9] 吴翠云, 白团辉, 王振磊, 罗宪, 李天红, 王合理. 钾肥对直播密植枣园幼龄骏枣光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(7): 156-161.
- WU Cuiyun, BAI Tuanhui, WANG Zhenlei, LUO Xian, LI Tianhong, WANG Heli. Effect of potassium on photosynthetic characteristics of young Jujube Trees in close planting orchard[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2013, 22(7): 156-161.
- [10] 乔晓宇. 不同钾肥施用量对桃树营养状况及果实品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- QIAO Xiaoyu. Research on effects of potassium on tree nutrient and quality of *Prunus persica* (L.) batsch[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.
- [11] 马振峰. 钾营养水平对柰李光合特性和果实质量影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010.
- MA Zhenfeng. Study on the effect of potassium nutrition level on the photosynthetic characteristics and fruit quality of *Naiplum*[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2010.
- [12] 白红, 陶佳, 石佩, 郭东花, 范崇辉. 追施钾肥对“重阳红”桃果实产量和品质及采果前树体营养的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(5): 730-737.
- BAI Hong, TAO Jia, SHI Pei, GUO Donghua, FAN Chonghui. Effects of topdressing potassium fertilizer on fruit yield and quality and tree nutrition of 'Chongyanghong' peach before harvest[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2016, 25(5): 730-737.
- [13] 李小梅. 钾素水平对油茶林养分积累、果实产量和含油量的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014.
- LI Xiaomei. Effects of potassium levels on nutrient accumulation, fruit yield and oil content of *Camellia oleifera*[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2014.
- [14] 石志平, 王文生. 鲜枣裂果及其与解剖结构相关性研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(2): 92-94.
- SHI Zhiping, WANG Wensheng. Studies of correlation of fruit crack and anatomical structure in Jujube fruit[J]. North China Agricultural Journal 2003, 18(2): 92-94.
- [15] 任国慧, 陶然, 文习成, 李玉, 王晨, 房经贵. 重要果树果实裂果现象及防治措施的研究进展[J]. 植物生理学报, 2013, 49(4): 324-330.
- REN Guohui, TAO Ran, WEN Xicheng, LI Yu, WANG Chen, FANG Jinggui. Advances on fruit cracking and prevention measures of some important fruit trees[J]. Plant Physiology Journal, 2013, 49(4): 324-330.
- [16] 周继芬, 向彬, 兰武, 王秀琪, 刘新强, 胡肖盼. 不同肥料处理对脐橙叶片氮钾钙比值及裂果的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(1): 265-268.
- ZHOU Jifen, XIANG Bin, LAN Wu, WANG Xiuqi, LIU Xinqiang, HU Xiaopan. Effects of treatments with different fertilizers on fruit cracking and ratio of N, K and Ca in Navel Orange leaves[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(1): 265-268.
- [17] 湛琛. 长期施钾对苹果产量、品质和耐贮性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- CHEN Chen. Effect of long-term potassium fertilizer application on apple yield, quality and storability of Fuji apple[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.
- [18] 柴仲平, 王雪梅, 孙霞, 蒋平安, 张谦. 不同氮磷钾配比滴灌对灰枣产量与品质的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(2): 229-233.
- CHAI Zhongping, WANG Xuemei, SUN Xia, JIANG Pinan, ZHANG Qian. Influence of N, P, K with drip irrigation on yield and fruit quality of Huizao jujube[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(2): 229-233.
- [19] 魏树伟, 王少敏, 董肖昌, 张勇, 董冉, 冉昆, 王宏伟. 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, 31(增刊): 101-108.
- WEI Shuwei, WANG Shaomin, DONG Xiaochang, ZHANG Yong, DONG Ran, RAN Kun, WANG Hongwei. Effect of different K fertilizers on fruit flavor quality of 'Xinli No. 7' pears[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 31(Suppl.): 101-108.
- [20] 潜宗伟, 陈海丽, 刘明池. 不同氮素水平对甜瓜芳香物质和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1451-1458.
- QIAN Zongwei, CHEN Haili, LIU Mingchi. Effects of nitrogen fertilization on aromatic compounds and nutritional quality of melon fruits[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(6): 1451-1458.
- [21] MEHTA K D, SMITH M. Dose optimization of potassium (K) for yield and quality increment of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) chandler[J]. American Journal of Experimental Agriculture, 2014, 264(4): 1526-1535.
- [22] NIEVESCORDERONES M, SHIBLAWI F R A, HERVFE S. Roles and transport of sodium and potassium in plants[J]. Met Ions in Life Sciences, 2016, 16: 291-324.
- [23] KANAI S, OHKURA K, ADU-GYAMFI J J, MOHAPATRA P

- K, NGUYEN N T, SANEOKA H, FUJITA K. Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(11): 2917-2928.
- [24] 李冬梅,魏珉,张海森,王秀峰. 氮、磷、钾用量和配比对温室黄瓜叶片相关代谢酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 382-387.
- LI Dongmei, WEI Min, ZHANG Haisen, WANG Xiufeng, WANG Xiufeng. Effects of N P K rates and ratios on activities of metabolism enzymes in leaves of cucumber in greenhouse[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3): 382-387.
- [25] 武晓,申长卫,丁易飞,伍从成,董彩霞,徐阳春. 黄冠梨果实和叶片钾素积累特征及其对施钾的响应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(5): 1425-1432.
- WU Xiao, SHEN Changwei, DING Yifei, WU Congcheng, DONG Caixia, XU Yangchun. Potassium accumulation in 'Huangguan' pear fruits and leaves and their response to different potassium application[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(5): 1425-1432.
- [26] 金会翠,张林森,李丙智,韩明玉,刘小刚. 增施钾肥对红富士苹果叶片营养及果实品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2007, 16(3): 100-104.
- JIN Huicui, ZHANG Linsen, LI Bingzhi, HAN Mingyu, LIU Xiagang. Effect of potassium on the leaf nutrition and quality of Red Fuji apple[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007, 16(3): 100-104.
- [27] OLPAN E, ZENGIN M, ZBAH E A. The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato[J]. *Horticulture Environment & Biotechnology*, 2013, 54(1): 20-28.
- [28] LIN D, HUANG D, WANG S. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture[J]. *Scientia Horticulturae*, 2004, 102(1): 53-60.
- [29] 张艳丽,李建明,王静静,邹志荣,赵智明. 通风与氮钾肥对温室甜瓜生长及品质的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2010, 38(2): 117-122.
- ZHANG Yanli, LI Jianming, WANG Jingjing, ZOU Zhirong, ZHAO Zhiming. Effects of ventilation, nitrogen and potassium on growth and quality of melon in solar greenhouse[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2010, 38(2): 117-122.
- [30] LI M J, MA F W, ZHANG M, PU F. Distribution and metabolism of ascorbic acid in apple fruits (*Malus domestica* Borkh cv. Gala) [J]. *Plant Science*, 2008, 174(6): 606-612.
- [31] 鲁剑巍,陈防,王运华,刘冬碧,万运帆,余常兵. 氮磷钾肥对红壤地区幼龄柑橘生长发育和果实产量及品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(4): 413-418.
- LU Jianwei, CHEN Fang, WANG Yunhua, LIU Dongbi, WAN Yunfan, YU Changbing. Effect of N, P, K fertilization on young citrus tree growth, fruit yield and quality in area of red soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2004, 10(4): 413-418.
- [32] 孙哲,史春余,刘桂玲,高俊杰,柳洪鹃,郑建利,张鹏. 干旱胁迫与正常供水钾肥影响甘薯光合特性及块根产量的差异[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(4): 1071-1078.
- SUN Zhe, SHI Chunyu, LIU Guiling, GAO Junjie, LIU Hongjuan, ZHEN Jianli, ZHANG Peng. Effect difference of potassium fertilizer on leaf photosynthetic characteristics and storage root yield of sweet potato under drought stress and normal water condition[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(4): 1071-1078.
- [33] 梁振娟,张亚黎,罗宏海,张旺锋. 钾营养对棉花叶片光合作用及衰老特性的影响[J]. *石河子大学学报(自科版)*, 2013, 31(3): 265-270.
- LIANG Zhenjuan, ZHANG Yali, LUO Honghai, ZHANG Wangfeng. Effect of Potassium Nutrition on Cotton Leaf Photosynthesis and Senescence[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2013, 31(3): 265-270.
- [34] 夏颖,姜存仓,汪宵,陈防. 低钾胁迫对棉花光合作用和光合产物分配的影响[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(6): 1476-1482.
- XIA Yin, JIANG Cuncang, WANG Xiao, CHEN Fang. Effects of low potassium stress on the photosynthesis and photosynthate partitioning of cotton[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(6): 1476-1482.
- [35] 刘建祥,杨肖娥,吴良欢,杨玉爱. 低钾胁迫对水稻叶片光合功能的影响及其基因型差异[J]. *作物学报*, 2001, 27(6): 1000-1006.
- LIU Jianxiang, YANG Xiaoe, WU Lianghuan, YANG Yuai. The effects of low potassium stress on the photosynthetic function of rice leaves and their genotypic difference[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(6): 1000-1006.
- [36] 杜彩艳,张乃明,包立,杜建磊,米艳华,陈璐,孔令明. 钾素水平对二年生三七全生育期光合特性及产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2018, 276(4): 113-119.
- DU Caiyan, ZHANG Naiming, BAO Li, DU Jianlei, MI Yanhua, CHEN Lu, KONG Lingming. Effects of potassium application rate on photosynthetic characteristics and storage root yield of *Panax notoginseng* in the whole growth period[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2018, 276(4): 113-119.