



王雨, 李永红, 李杰, 田启航, 刘国俭, 陈湖, 常瑞丰, 王召元. 不同钾肥水平对设施桃品质、养分积累及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(07): 89-102.
WANG Yu, LI Yonghong, LI Jie, TIAN Qihang, LIU Guojian, CHEN Hu, CHANG Ruifeng, WANG Zhaoyuan. Effects of different potassium fertilizer levels on the quality, nutrient accumulation and yield of protected peach[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(07): 89-102.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.07.09

不同钾肥水平对设施桃品质、养分积累及产量的影响

王雨 李永红 李杰 田启航 刘国俭 陈湖 常瑞丰 王召元*

(河北省农林科学院 昌黎果树研究所, 河北 昌黎 066600)

摘要 为探究钾肥对设施桃品质、养分积累及产量的综合调控作用,以设施桃优系‘C26-7-17’为试材,在氮磷肥比例为1:0.5的基础上,按照0、0.5、1、1.5和2的质量比例设置5个硫酸钾水平,在果实成熟后测定果实品质、产量以及果实、枝条和叶片中矿质元素含量,对产量和不同部位的矿质元素含量进行相关性分析,并运用主成分分析法对果实品质进行综合评价,确定最适宜的钾肥用量。结果表明:氮磷肥混施条件下,增施钾肥显著提高了设施桃单果重、可溶性固形物、蔗糖、果糖和葡萄糖含量,改善了果实着色,降低了可滴定酸、苹果酸、酒石酸和柠檬酸含量,显著提高了设施桃产量。增施钾肥增加了果实、枝条、叶片中K元素含量和枝条中的大部分矿质元素含量,但果实中除K元素外,大部分矿质元素含量降低。产量与叶片中磷、钾元素,与枝条中镁、磷元素含量显著正相关,与叶片氮、锰元素含量显著负相关;果实中各元素含量间显著正相关。对品质和产量指标进行综合评价得出NPK₄处理(氮肥152 g/株、磷肥292 g/株、钾肥269 g/株)是本试验条件下最佳钾肥用量。

关键词 桃; 设施栽培; 钾肥; 品质; 产量; 养分积累

中图分类号 S662.1

文章编号 1007-4333(2024)07-0089-14

文献标志码 A

Effects of different potassium fertilizer levels on the quality, nutrient accumulation and yield of protected peach

WANG Yu, LI Yonghong, LI Jie, TIAN Qihang, LIU Guojian,

CHEN Hu, CHANG Ruifeng, WANG Zhaoyuan*

(Changli Institute of Pomology, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Changli 066600, China)

Abstract In order to explore the comprehensive regulation effect of potassium on the quality, nutrient accumulation and yield of protected peach, the protected peach superior line C26-7-17 was used as the test material. On the basis of a nitrogen-phosphorus fertilizer ratio of 1:0.5, five levels of potassium sulfate were set according to the mass ratio of 0, 0.5, 1, 1.5 and 2. After the fruit matured, the fruit quality, yield, and mineral element content in the fruits, branches and leaves were determined. Correlation analysis was carried out between the yield and the content of mineral elements in different parts. The comprehensive evaluation of fruit quality was conducted using principal component analysis to determine the optimal amount of potassium fertilizer. The results showed that: Under the condition of mixed application of nitrogen and phosphorus fertilizers, the application of additional potassium fertilizer significantly increased the fruit weight, soluble solids, sucrose, fructose, and glucose content, improved fruit coloration, decreased the

收稿日期: 2023-10-17

基金项目: 河北省农林科学院基本科研业务费项目(2023020102); 河北省农林科学院科技创新专项(2022KJCXZX-CGS-6); 热杂果现代种业科技创新团队项目(21326310D); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-30-Z-02); 河北省现代农业产业技术体系创新团队建设项目(HBCT2023130205)

第一作者: 王雨(ORCID:0009-0007-6545-3827), 助理研究员, 主要从事桃育种与栽培生理研究, E-mail: 912963518@qq.com

通讯作者: 王召元(ORCID:0009-0003-5898-9421), 研究员, 主要从事桃育种与栽培生理研究, E-mail: wangzhaoyuan1981@sina.com

titratable acid, malic acid, tartaric acid and citric acid content, and significantly increased the yield of protected peach. The application of potassium fertilizer increased the K element content in the fruits, branches, leaves and most of the mineral element content in the branches. Except for K element, the content of most mineral elements in the fruit decreased; The yield was significantly positively correlated with the P and K elements in the leaves and the Mg and P elements in the branches, and significantly negatively correlated with the N and Mn elements in the leaves; The content of various elements in the fruit was significantly positively correlated. The comprehensive evaluation of quality and yield indicators showed that the NPK₄ treatment (nitrogen fertilizer 152 g/plant, phosphate fertilizer 292 g/plant, potassium fertilizer 269 g/plant) was the optimal amount of potassium fertilizer under the conditions of this experiment.

Keywords peach; facility cultivation; potassium fertilizer; quality; yield; nutrient accumulation

设施栽培是利用塑料大棚、日光温室或其他保护设施,避开自然因素的不利影响,人为控制温度、光照和水分等生长条件的栽培模式^[1]。设施桃经济效益高,近两年,我国环渤海湾桃产区5月中旬前成熟的设施桃平均批发价达到了10~16元/kg,不算人工成本折合亩纯收益在1.5万元以上^[2]。

果实风味不佳,果品质量差是目前制约我国设施桃产业发展的主要问题^[3]。钾素是提高果实品质的重要营养元素,是多种生理生化反应中酶的合成成分和活化剂^[4]。在果树的生长发育周期中,单施钾肥或是与氮磷等其他营养元素配施,均能在不同程度上获得增产提质的效果。前人研究表明,钾肥可显著改善果实外观品质和内在品质,如提高果实鲜重、改善果实着色,提高可溶性固形物、可溶性糖和维生素C含量,降低糖酸比等,并且已经在西瓜^[5]、苹果^[6]和梨^[7]等多种果树作物上证实。目前国内已有不少关于钾肥提高桃果实品质的报道,其中

包括对桃适宜施钾量^[8]、施钾方式^[9]、配施比例^[10]以及施钾时期^[11]的探讨。对于施钾量,不同品种、树龄和栽培方式下得出的适宜施钾量有一定差异。同一品种、同一施钾量在不同地区的施肥效果也不相同^[12]。本试验以设施桃优系‘C26-7-17’为试材,在固定氮磷肥比例的基础上,探究钾素对设施桃果实品质、不同部位营养元素含量及产量的影响,以期得出最佳钾肥用量,为设施桃增产提质和养分管理研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在河北省农林科学院昌黎果树研究所院内二号温室进行。株行距1.0 m×1.5 m,土壤pH=7.0,有机质质量分数27.16 g/kg。常规水肥管理,正常疏花疏果,保证每株负载量一致。施肥前土壤矿质元素基本条件见表1。

表1 施肥前温室中0~20和20~40 cm土层中矿质元素含量

Table 1 Mineral element contents in 0 to 20 cm and 20 to 40 cm soil layers in the greenhouse before fertilization g/kg

土层深度/cm Depth of soil layers	氮 N	磷 P	钾 K	钙 Ca	镁 Mg	铁 Fe	锰 Mn	锌 Zn	铜 Cu
0~20	2.28	1.20	3.82	5.29	4.73	21.60	0.41	0.16	0.05
20~40	1.67	0.95	3.48	3.98	4.43	21.27	0.39	0.15	0.05

1.2 试验材料

供试材料为江苏省农业科学院果树研究所选育的短需冷量优系‘C26-7-17’,2019年春季定植,主干形树形,平均树高1.65 m,主干平均粗度5 cm。

1.3 试验方法

试验以每2株为1小区,每个处理3个小区,共

3次重复。施肥用量参考DB 37/T 1673—2020《桃优质丰产栽培技术规程》^[13]中施肥部分。固定氮磷肥比例(氮磷肥按照1:0.5的比例分别施入152 g/株和292 g/株),以仅施氮磷肥为对照,硫酸钾按照0、0.5、1、1.5和2的质量比例设置5个施肥水平,分别是NPK₀(0 g/株)、NPK₁(67 g/株)、NPK₂(135 g/株)、

NPK₃(202 g/株)和NPK₄(269 g/株), K₂O用量分别为0、35、70、105和140 g/株。条状沟施法施入, 施肥深度30 cm。施肥时间为距离果实成熟一个月前的果实膨大期(2022年3月3日)。氮磷钾所用肥料分别为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 12%)和硫酸钾(含K₂O 52%)。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 果实外观品质的测定

果实成熟时, 每个处理随机选取15个果实测定单果重、纵横径, 并计算果形指数; 使用SPH 860 (Colorlite公司, 德国)色差仪测定每个果实果皮的 L^* 、 a^* 、 b^* 和 h° 的色泽参数值。

1.4.2 果实内在品质的测定

每个处理随机选取9个果实, 用手持测糖仪测定可溶性固形物含量。用自动电位滴定仪测定可滴定酸含量, 使用蒽酮比色法测定可溶性总糖含量。

果肉中可溶性糖及有机酸组分的测定采用高效液相色谱法(HPLC)外标法测定, 测定仪器为岛津液相色谱仪(LC-20A)。称取1 g果肉匀浆到10 mL离心管中, 加入8 mL超纯水, 80℃水浴超声提取1 h; 冷却后8 000 r/min离心15 min, 取上清液; 用微孔滤膜(0.22 μ m $\times$ 25 mm)过滤到样品瓶, 用于上机测定。糖组分测定条件: 色谱柱为Supelco apHera NH₂ 250 mm $\times$ 4.6 mm 5 μ m, 流动相V(乙腈): V(水)=75:25, 流速0.8 mL/min, 进样量10 μ L, 柱温30℃, 检测器为岛津RID-10A示差检测器。有机酸组分测定条件: 色谱柱为Phenomenex Luna C18 250 mm $\times$ 4.6 mm 5 μ m, 流动相为V(10 mmol KH₂PO₄溶液): V(甲醇)=97:3, KH₂PO₄溶液用磷酸调节pH至2.1, 流速0.8 mL/min, 进样量10 μ L, 柱温30℃, 检测器为岛津SPD-20A紫外检测器, 检测波长为210 nm。试验所配制的流动相均经过0.45 μ m微孔滤膜过滤, 检测样品均经过0.22 μ m针孔滤膜过滤。

1.4.3 矿质元素含量的测定

果实、枝条和叶片采回洗净, 放置烘箱中105℃杀青30 min, 后80℃烘干至恒重, 用球磨机粉碎所有样品并过100目筛。

全氮含量用凯氏定氮法测定。取果实、枝条和叶片粉末样品各0.2 g到消煮管中, 加入10 mL浓硫酸后置于石墨消解仪消解, 消解完成冷却后用凯

氏定氮仪测定氮元素含量。其他矿质元素含量使用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES)测定。分别称取烘干后的粉末果实0.5 g、叶片0.2 g和枝条0.2 g到消煮管中, 加入65% HNO₃ 10 mL后进行微波消解; 消解完成后冷却, 用滤纸过滤并用双蒸水定容至50 mL, 之后上机测定P、K、Ca、Mg、Fe、Mn和Zn元素的含量。

1.5 数据处理及分析

使用SPSS 26.0软件进行差异显著性分析, 使用Excel和Origin软件进行数据处理和作图。

2 结果与分析

2.1 不同钾肥水平对设施桃外观品质的影响

2.1.1 对果实形态的影响

钾肥对果实形态的影响如表2所示。本试验条件下, 果实大小在不同钾肥水平下并无明显变化。单果重随钾肥用量增加呈逐渐上升的趋势, 在NPK₄处理下最大为186.59 g, 分别高于NPK₀、NPK₁和NPK₂处理9.95%、11.13%和9.37%, 差异均达到显著水平($P<0.05$)。各处理间果形指数为0.91~0.94, 且无明显差异。

2.1.2 对果实着色的影响

对果皮着色指标测定的结果如表3所示。 L^* 在NPK₁处理下最大, 显著高于NPK₀, 说明NPK₁处理提高了果面光泽度。在NPK₄处理下, a^* 最大, 且显著高于NPK₀; h° 最小, 说明在NPK₄处理下果皮颜色最红润; L^* 在NPK₄处理中最低有可能是红色调较深的缘故。相比之下, NPK₄处理改善果实着色效果较明显。

2.2 不同钾肥水平对设施桃内在品质的影响

2.2.1 对可滴定酸、可溶性固形物和可溶性总糖含量的影响

钾肥对设施桃主要品质指标的影响见表4。施用钾肥显著提高了设施桃可溶性固形物含量, 降低了可滴定酸含量。NPK₂、NPK₃和NPK₄处理的可溶性固形物含量为11.48%、11.29%和11.68%, 与NPK₀相比, 分别显著增加了13.73%、11.87%和15.71%。可滴定酸含量除NPK₂外, NPK₁、NPK₃和NPK₄较NPK₀处理显著降低了13.60%、21.33%和28.42%。可溶性糖含量在NPK₂处理下最大, 为97.17 mg/g, 显著高于其他4个处理, 其他处理的可溶性糖含量为70.82~77.57 mg/g。

表2 不同钾肥施用量对设施桃果实形态的影响

Table 2 Effects of different potassium fertilizer application rate on fruit shape of protected peach

处理 Treatment	单果重/g Fruit weight	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Transverse diameter	果形指数 Fruit shape index
NPK ₀	169.70±18.14 b	63.90±3.07 a	69.36±2.25 a	0.91±0.06 a
NPK ₁	167.90±15.11 b	62.81±2.77 a	68.57±2.69 a	0.92±0.03 a
NPK ₂	170.60±17.93 b	63.95±2.96 a	69.70±3.88 a	0.93±0.03 a
NPK ₃	180.48±13.95 ab	65.19±2.19 a	70.21±3.03 a	0.94±0.04 a
NPK ₄	186.59±15.98 a	65.04±2.76 a	71.95±3.32 a	0.92±0.05 a

注:NPK₀表示不施钾肥;NPK₁表示施入钾肥 67 g/株;NPK₂表示施入钾肥 135 g/株;NPK₃表示施入钾肥 202 g/株;NPK₄表示施入钾肥 269 g/株。表中显示的数值为“平均值±标准差”。每个处理的果实形态数据来自 15 个果实。不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: NPK₀, no potassium fertilizer; NPK₁, applied with potassium fertilizer 67 g/plant; NPK₂, applied with potassium fertilizer of 135 g/plant; NPK₃, applied with potassium fertilizer 202 g/plant; NPK₄, applied with 269 g/plant potassium fertilizer. The values shown in the table are “mean±standard deviation”. Fruit morphology data were obtained from 15 fruits for each treatment. Different letters indicate significant difference between treatments ($P<0.05$). The same below.

表3 不同钾肥施用量对设施桃果实着色的影响

Table 3 Effects of different potassium fertilizer application rate on fruit coloration of protected peach

处理 Treatment	L^*	a^*	b^*	h^*
NPK ₀	54.47±3.50 bc	8.95±1.46 bc	27.01±3.20 ab	66.75±7.81 ab
NPK ₁	58.99±3.52 a	9.98±2.88 ab	29.64±3.20 a	72.16±6.23 a
NPK ₂	56.56±3.77 ab	6.52±1.24 c	28.09±2.94 a	73.03±4.55 a
NPK ₃	57.83±2.77 ab	8.16±1.72 bc	27.95±2.66 a	69.09±6.60 ab
NPK ₄	52.87±3.31 c	11.57±1.32 a	24.32±2.95 b	62.43±5.18 b

注: L^* 表示果皮亮度,值越大越亮; a^* 是红绿色差指标,正值越大红色越深; b^* 是黄蓝色差指标,正值越大黄色越深; h^* 为综合颜色指标, $h^*=0$ 为紫红色; $h^*=90$ 为黄色; $h^*=180$ 为蓝绿色^[14]。

Note: L^* indicates the brightness of the peel, and the larger the value, the brighter it is. a^* is the indicator of the difference between red and green, and the larger the positive value, the darker the red. b^* is an indicator of the difference between yellow and blue, and the larger the positive value, the darker the yellow. h^* is a comprehensive color index, $h^*=0$ is fuchsia; $h^*=90$ is yellow; $h^*=180$ is blue green^[14].

2.2.2 对葡萄糖、蔗糖、果糖和山梨醇含量的影响

桃属于蔗糖积累型果实,4种可溶性糖含量中,蔗糖含量最高,占比最大,显著高于其他3种糖;含量第二的为果糖,其次为山梨醇和葡萄糖,两者含量相差不大。钾肥对设施桃可溶性糖含量的影响见表5。山梨醇和蔗糖含量均在NPK₂处理下最大,与NPK₀相比分别显著增加了21.85%和43.50%。施钾后蔗糖质量分数分别为18.55、23.10、18.95和21.22 mg/g,均高于NPK₀(16.10 mg/g),NPK₂、NPK₄处理与NPK₀处理相比差异均达到显著水

平。果糖和葡萄糖含量随钾肥用量增加均逐渐上升,均在NPK₄处理下达到最大值(7.21 mg/g和2.86 mg/g)。果糖含量在NPK₄处理下显著高于对照NPK₀ 19.50%,葡萄糖在NPK₂、NPK₃和NPK₄处理下分别显著高于对照23.00%、42.51%和52.99%。因蔗糖和果糖在4种糖含量中占比较大,且两者均在NPK₄处理下显著高于对照,同时在NPK₄处理下葡萄糖含量也显著高于对照,所以NPK₄处理在提高可溶性糖含量上的效果较好。

表 4 不同钾肥施用量对设施桃主要品质指标的影响

Table 4 Effects of different potassium fertilizer application rate on the main quality indicators of protected peach

处理 Treatment	可溶性固形物含量/% Soluble solids content	可滴定酸含量/% Titrable acid content	可溶性糖质量分数/(mg/g) Mass fraction of soluble sugar
NPK ₀	10.09±0.64 c	0.38±0.01 a	70.82±2.13 b
NPK ₁	10.70±1.10 bc	0.32±0.01 b	71.71±3.13 b
NPK ₂	11.48±0.83 ab	0.38±0.02 a	97.17±2.11 a
NPK ₃	11.29±0.50 ab	0.30±0.02 c	77.57±4.42 b
NPK ₄	11.68±1.08 a	0.29±0.01 c	72.95±5.22 b

注：每个处理的果实内在品质数据来自 9 个果实。

Note: Fruit intrinsic quality data for each treatment were obtained from 9 fruits.

表 5 不同钾肥施用量对设施桃糖组分的影响

Table 5 Effects of different potassium fertilizer application rate on sugar component of protected peach mg/g

处理 Treatment	蔗糖质量分数 Mass fraction of sucrose	葡萄糖质量分数 Mass fraction of glucose	果糖质量分数 Mass fraction of fructose	山梨醇质量分数 Mass fraction of sorbitol
NPK ₀	16.10±3.27 c	1.87±0.08 c	6.03±0.68 b	2.88±0.27 b
NPK ₁	18.55±1.75 bc	2.00±0.14 c	5.98±0.27 b	3.04±0.25 b
NPK ₂	23.10±1.87 a	2.30±0.15 b	6.34±0.25 ab	3.51±0.13 a
NPK ₃	18.95±1.27 bc	2.66±0.25 a	6.54±0.41 ab	2.83±0.06 b
NPK ₄	21.22±0.33 ab	2.86±0.08 a	7.21±0.62 a	2.85±0.07 b

注：每个处理的糖组分数据来自 5 个果实。

Note: Sugar fraction data for each treatment were obtained from 5 fruits.

2.2.3 对柠檬酸、酒石酸和苹果酸含量的影响

钾肥对有机酸含量的影响见表 6。3 种有机酸中,苹果酸质量分数最高,在 2.67~3.93 mg/g 范围;其次是柠檬酸,质量分数在 1.18~1.54 mg/g,酒石酸则在 0.12~0.23 mg/g。低浓度钾肥增加了苹果酸含量,高浓度钾肥降低了苹果酸含量,NPK₄处理相比 NPK₀显著降低了 3 种有机酸的含量。随钾肥用量增加,苹果酸含量从 NPK₂处理开始呈下降趋势,在 NPK₃和 NPK₄处理下苹果酸质量分数为 3.32 和 2.67 mg/g,与 NPK₀(3.72 mg/g)相比显著降低了 10.84% 和 28.31%。柠檬酸含量在 NPK₁(1.18 mg/g)、NPK₂(1.34 mg/g)和 NPK₄(1.34 mg/g)处理下显著低于 NPK₀(1.44 mg/g),分别下降了 18.47%、7.16% 和 6.87%。酒石酸含量在施钾后均低于 NPK₀(0.23 mg/g),在 NPK₁(0.14 mg/g)、NPK₂(0.12 mg/g)和 NPK₄(0.16 mg/g)3 个处理下

分别显著降低了 37.51%、46.23% 和 31.66%。

2.3 矿质元素含量

2.3.1 对果肉中矿质元素含量的影响

钾肥对果肉中矿质元素含量有显著影响,大部分元素含量均有所下降(表 7),以 Fe 元素降低最为明显。随钾肥用量增加,N、P、K、Ca、Mg、Fe 和 Zn 元素含量均表现出先降低后上升的趋势,Mn 元素表现为“降-升-降-升”的变化趋势;上述元素均在 NPK₃处理下最低,且与对照相比差异显著;在 NPK₄处理下各元素含量开始升高,但仍低于 NPK₀处理,K 元素除外。

2.3.2 对枝条中矿质元素含量的影响

由表 7 可知,与仅施氮磷肥相比,4 个钾肥处理均增加了枝条中 P、K 和 Mg 的元素含量;N 和 Mn 元素除了 NPK₃处理外,Ca 和 Zn 元素除了 NPK₄处理外,上述元素含量在其余处理下均有所增加。各元素含量随施钾量增加的变化趋势不一致。N、P、K、

表6 不同钾肥施用量对设施桃有机酸组分的影响

Table 6 Effects of different potassium fertilizer application rate on organic acid component of protected peach mg/g

处理 Treatment	苹果酸质量分数 Mass fraction of malic acid	柠檬酸质量分数 Mass fraction of citric acid	酒石酸质量分数 Mass fraction of tartaric acid
NPK ₀	3.72±0.07 ab	1.44±0.04 b	0.23±0.05 a
NPK ₁	3.93±0.15 a	1.18±0.08 d	0.14±0.04 b
NPK ₂	3.52±0.10 bc	1.34±0.07 c	0.12±0.04 b
NPK ₃	3.32±0.10 c	1.54±0.02 a	0.17±0.02 ab
NPK ₄	2.67±0.21 d	1.34±0.04 c	0.16±0.02 b

注:每个处理的有机酸组分数据来自5个果实。
Note: The organic acid component data for each treatment were obtained from 5 fruits.

表7 不同钾肥用量对果实和枝条营养元素含量的影响

Table 7 Effects of different potassium fertilizer application rate on nutrient element content of fruit and branches

部位 Parts	处理 Treatment	氮/(mg/g) N	磷/(mg/g) P	钾/(mg/g) K	钙/(mg/kg) Ca	镁/(mg/kg) Mg	铁/(mg/kg) Fe	锰/(mg/kg) Mn	锌/(mg/kg) Zn
果实 Fruit	NPK ₀	19.04±	2.71±	21.39±	397.41±	875.34±	17.76±	7.78±	7.34±
		0.34 a	0.08 a	0.34 a	6.41 a	29.65 a	1.32 a	0.15 a	0.59 a
	NPK ₁	18.91±	2.41±	20.55±	356.25±	791.45±	15.2±	5.28±	7.04±
		0.10 a	0.14 b	0.91 ab	22.85 b	51.35 b	0.20 a	0.11 c	0.86 ab
	NPK ₂	16.42±	2.35±	19.51±	219.77±	711.01±	8.81±	6.74±	6.18±
		0.29 b	0.08 b	0.64 b	15.68 c	7.45 c	0.84 b	0.14 b	0.51 ab
	NPK ₃	13.90±	1.71±	18.35±	139.09±	614.03±	2.02±	5.07±	3.77±
		0.11 d	0.28 c	0.79 c	23.31 d	40.10 d	0.17 c	0.05 c	0.17 c
	NPK ₄	15.91±	2.42±	21.41±	352.38±	734.34±	4.22±	6.52±	5.80±
		0.19 c	0.01 b	0.04 a	11.23 b	85.26 b	2.74 c	0.31 b	0.98 b
枝条 Branch	NPK ₀	18.99±	1.43±	12.02±	8.86±	1.59±	33.06±	14.74±	7.21±
		0.27 d	0.21 c	0.96 c	1.42 c	0.21 b	5.86 a	0.53 b	1.77 cd
	NPK ₁	21.88±	1.91±	13.43±	12.08±	1.89±	40.65±	18.84±	17.19±
		0.36 a	0.10 b	0.43 b	1.32 a	0.18 a	5.72 a	0.45 a	0.96 a
	NPK ₂	19.49±	2.05±	16.61±	10.84±	1.74±	37.67±	19.60±	9.95±
		0.19 c	0.03 ab	0.25 a	0.17 ab	0.06 ab	5.58 a	0.43 a	1.51 bc
	NPK ₃	18.77±	1.90±	13.96±	10.07±	1.67±	15.15±	13.41±	11.84±
		0.11 d	0.11 b	1.03 b	0.71 bc	0.13 ab	0.42 b	0.88 b	2.06 b
	NPK ₄	20.83±	2.24±	15.99±	6.83±	1.90±	20.17±	19.69±	6.19±
		0.22 b	0.11 a	0.56 a	0.54 d	0.16 a	2.02 b	1.15 a	1.93 d

注:每个处理的矿质元素数据来自5个果实,10枝20 cm长的枝条。不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Mineral element data for each treatment came from 5 fruits, 10 branches 20 cm long. Different letters indicate significant difference between treatments($P<0.05$). The same below.

Mg 和 Mn 元素均表现出“升-降-升”的锯齿状变化趋势,在 NPK₄ 处理时分别较对照显著增加了 9.70%、56.28%、33.02%、19.70% 和 33.55%;Fe 元素质量分数在高钾处理下显著降低,NPK₃和 NPK₄处理分别为 15.15 和 20.17 mg/kg;Zn 元素含量同样表现出锯齿状的变化趋势,但为“升-降-升-降”的走势;与 NPK₀ 处理相比,Ca 元素含量在 NPK₁~NPK₃ 处理下升高,在 NPK₄ 处理下显著降低了 22.98%。

2.3.3 对叶片中矿质元素含量的影响

叶片矿质元素含量是反应树体营养状况的重要指标,通过检测叶片营养可以分析树体营养状况^[15]。表 8 为钾肥对叶片中矿质元素含量的影响。施钾后 N 元素含量除 NPK₂ 处理外均显著低于对照。P 和 K 元素含量随施钾量增加逐渐增加,NPK₄

处理的 P 和 K 元素含量增长最明显,分别是 NPK₀ 处理的 1.91 和 2.13 倍。Ca 元素含量在 NPK₂ 和 NPK₃ 处理下较 NPK₀ 处理显著降低,分别降低了 30.33% 和 14.02%。Mg 元素含量在 NPK₄ 处理下显著低于对照 33.83%,其他处理与对照无明显差异。Fe 元素含量随钾肥施用量增加先升高后降低,NPK₁ 和 NPK₂ 处理是 NPK₀ 处理的 2.21 倍和 2.07 倍,之后随钾肥用量增加,Fe 元素含量显著降低。说明高钾条件会降低叶片中 Mg 和 Fe 元素含量。Mn 和 Zn 元素含量随钾肥用量增加呈现出锯齿状的变化趋势,Mn 在 NPK₁ 和 NPK₃ 处理显著高于对照,在 NPK₂ 和 NPK₄ 处理下显著低于对照;Zn 元素含量在 NPK₂ 处理下最大,为 17.86 mg/kg,显著高于对照 16.84%;在 NPK₁ 处理下相比对照显著降低了 19.26%。

表 8 不同钾肥用量对叶片营养元素含量的影响
Table 8 Effects of different potassium fertilizer application rate on nutrient element content of leaves

处理 Treatment	氮/(mg/g) N	磷/(mg/g) P	钾/(mg/g) K	钙/(mg/g) Ca	镁/(mg/g) Mg	铁/(mg/kg) Fe	锰/(mg/kg) Mn	锌/(mg/kg) Zn
NPK ₀	36.71±	2.46±	22.8±	12.18±	3.37±	31.78±	66.23±	15.29±
	0.53 a	0.22 c	2.11 bc	0.98 a	0.46 a	1.55 d	0.38 c	2.37 b
NPK ₁	35.72±	2.38±	21.87±	13.16±	3.81±	70.14±	72.38±	12.34±
	0.33 b	0.28 c	1.48 c	0.72 a	0.22 a	4.08 a	0.36 a	1.32 c
NPK ₂	37.08±	2.69±	23.25±	8.48±	3.59±	65.89±	44.88±	17.86±
	0.43 a	0.22 c	1.51 bc	1.21 c	0.19 a	1.19 b	0.40 d	0.95 a
NPK ₃	35.24±	3.29±	25.32±	10.47±	3.56±	38.35±	71.15±	14.21±
	0.59 b	0.52 b	0.44 b	0.79 b	0.49 a	2.07 c	1.10 b	0.28 bc
NPK ₄	34.27±	4.70±	48.45±	11.92±	2.23±	19.89±	15.17±	15.05±
	0.18 c	0.17 a	0.07 a	0.14 ab	0.20 b	1.03 e	0.20 e	0.17 b

注:每个处理的数据来自叶龄和长势一致的 10 片叶片。
Note: The data for each treatment were from 10 leaves with the same leaf age and growth.

2.4 产量及经济效益

施钾对设施桃产量和经济效益的影响见表 9。NPK₄ 处理的单株产量和经济效益最大,为 6.64 kg 和 43 465.69 元/667 m²,单株产量较 NPK₀ 显著提高了 43.15%;其他处理下单株产量均高于 NPK₀ 但差异不显著。根据单果重的差异将果实进行分级,高钾处理增大了一级果的比例,在 NPK₄ 处理下,一级果比例达到了 75%。

2.5 不同钾肥施用量下设施桃果实品质及产量的综合评价

对本试验中 16 个果实品质及产量指标进行主成分分析(表 10 和 11)。共提取出 4 个特征值大于 1 的主成分,对应的方差贡献率分别为 44.175%、21.717%、13.181% 和 8.015%,累计贡献率达到了 87.087%,说明提取的主成分可以反映大部分指标所代表的信息。根据各主成分的方差百分比计算

表9 不同钾肥施用量对设施桃的产量及经济效益的影响

Table 9 The effect of different potassium fertilizer application rates on the yield and economic benefits of protected peach

处理 Treatment	单株产量/kg Yield per plant	不同等级果实 所占比例/% The Proportion of different grades of fruit		产量/(kg/ 667 m ²) Yield	不同等级果实产 值/(元/667 m ²) Output value of different grades of fruit	总产值/ (元/667 m ²) Output	肥料投入/ (元/667 m ²) Fertilizer input	经济效益/ (元/667 m ²) Economic benefits
		果实 等级 Fruit grade						
NPK ₀	4.64 b	一级	45.5	2 061.58	15 008.31	28 491.05	286.48	28 204.57
		二级	54.5		13 482.74			
NPK ₁	5.12 b	一级	30.0	2 276.03	10 924.94	30 043.58	414.60	29 628.98
		二级	70.0		19 118.64			
NPK ₂	4.65 b	一级	27.3	2 068.25	9 034.11	27 077.50	544.63	26 532.87
		二级	72.7		18 043.40			
NPK ₃	5.09 b	一级	58.3	2 262.03	21 100.20	32 419.39	672.74	31 746.65
		二级	41.7		11 319.19			
NPK ₄	6.64 a	一级	75.0	2 951.10	35 413.24	44 266.55	800.86	43 465.69
		二级	25.0		8 853.31			

注：硫酸钾肥料按4.4元/kg，设施桃单价按4月份鲜桃市场价一级果16元/kg计算，二级果12元/kg计算。果实分级参考地方标准DB 1303/T 341—2022《设施桃果实分级》^[16]。

Note: K₂SO₄ fertilizer is calculated at 4.4 yuan/kg, and the unit price of peaches is calculated according to the market price of fresh peaches in April. The first grade fruit is 16 yuan/kg, and the second grade fruit is 12 yuan/kg. Fruit grading refer to the local standard DB 1303/T 341-2022 Facility peach fruit grading^[16].

本试验中5个处理的综合得分,最终得分情况分别为-1.237、-0.938、0.301、0.768和1.207,排名由大到小为:NPK₄>NPK₃>NPK₂>NPK₁>NPK₀。由此得出钾肥对改善设施桃果实品质和提高产量有明显作用,以NPK₄处理的效果最好。

2.6 不同部位矿质元素含量与产量的相关性分析

果实、枝条、叶片中各矿质元素含量及产量间相关性分析结果表明(图1),产量与叶片P、K元素含量呈极显著正相关关系,与枝条P、Mg元素含量呈显著正相关,与叶片N、Mn元素呈极显著和显著的负相关。果实各矿质元素间大部分表现出较强的正相关关系,且大部分为差异极显著水平。在枝条中,P与K,Mn与N、P、K,Ca与Fe、Zn表现为极显著正相关关系;Mg与N、P、K、Mn,Fe与Zn表现为显著正相关关系。叶片中各元素大部分表现出中等程度负相关(*r*在0.4~0.6)或强负相关关系(*r*在0.6~0.8),为显著或极显著水平,如N与P、

K、Ca,P与Mg、Fe、Mn,K与Mg、Fe、Mn,Ca与Fe、Zn;Mg与Fe、Mn,K与Ca,P与K,N与Fe之间呈显著或极显著正相关。此外,Fe元素含量与其他部位其他元素间关系较密切,枝条中Fe元素与叶片中的N、Mg、Fe、Mn呈显著或极显著正相关,与叶片中P、K元素呈极显著负相关;果实中的Fe与枝条和叶片中的P、K元素呈显著负相关,与枝条中Fe呈显著正相关。

3 讨论

3.1 不同钾肥施用量对设施桃果实品质及产量的影响

本试验条件下,增施钾肥显著提高了设施桃单果重、改善了果实着色,提高了可溶性固形物,降低了可滴定酸含量。这与张绍阳等^[17]和曾朝辉等^[10]的研究结果一致。此外,已有研究证实,可溶性糖能够促进花色苷的积累^[18],钾能够促进花色苷相关

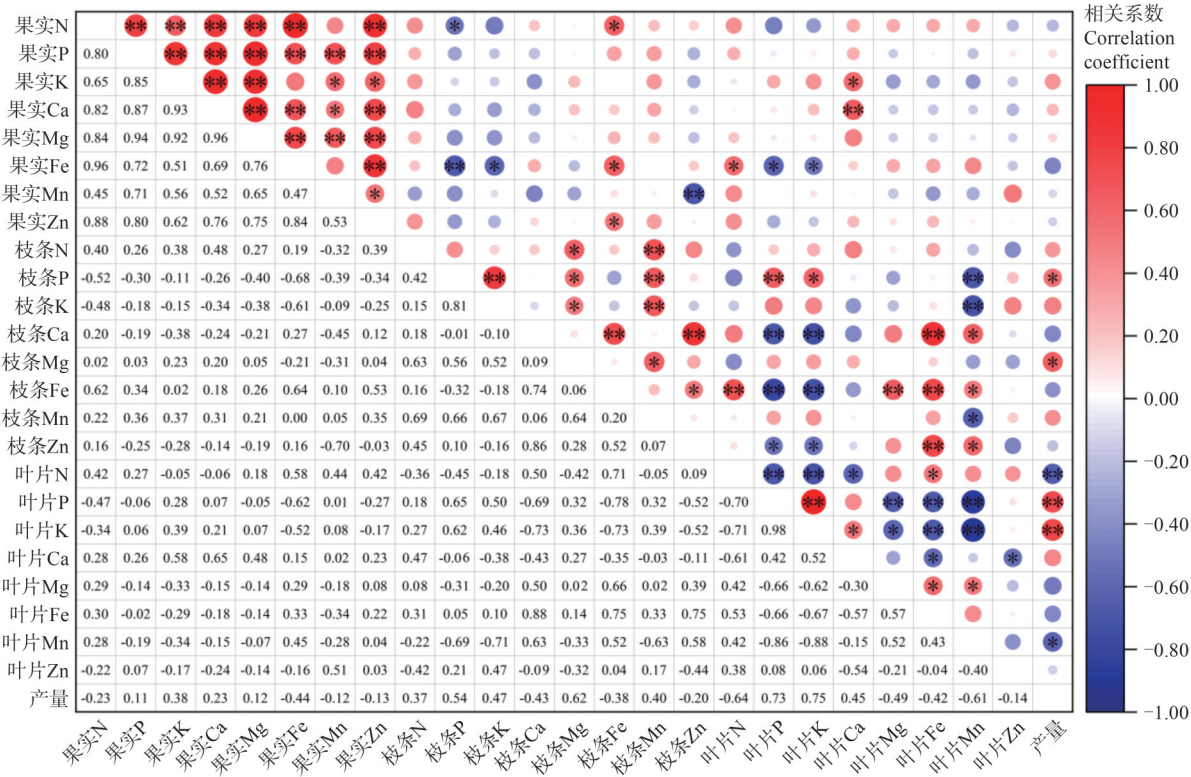
表 10 不同钾肥水平下各指标成分矩阵、特征值及累计贡献率

Table 10 Matrix of components, eigenvalues, and cumulative contribution rate of each index under different levels of potassium fertilizer					
指标 Index	成分 1 Principal component 1	成分 2 Principal component 2	成分 3 Principal component 3	成分 4 Principal component 4	
单果重 Fruit weight	0.911	0.018	0.174	0.011	
纵径 Longitudinal diameter	0.779	0.050	0.461	0.209	
横径 Transverse diameter	0.878	−0.107	0.220	0.188	
果形指数 Shape index	0.506	0.597	0.526	−0.153	
L^*	−0.288	0.693	0.456	−0.425	
h°	−0.124	0.841	0.443	0.002	
可溶性固形物质量分数 Mass fraction of soluble solids	0.851	0.353	−0.220	−0.010	
可滴定酸质量分数 Mass fraction of titratable acid	−0.601	0.242	0.014	0.722	
葡萄糖质量分数 Mass fraction of glucose	0.869	−0.125	−0.203	−0.125	
果糖质量分数 Mass fraction of fructose	0.893	0.003	−0.135	0.047	
蔗糖质量分数 Mass fraction of sucrose	0.546	0.601	−0.416	0.238	
山梨醇质量分数 Mass fraction of sorbitol	−0.156	0.834	−0.289	0.362	
苹果酸质量分数 Mass fraction of malic acid	−0.89	0.300	0.268	−0.126	
柠檬酸质量分数 Mass fraction of citric acid	0.336	−0.274	0.657	0.434	
酒石酸质量分数 Mass fraction of tartaric acid	−0.253	−0.704	0.517	0.125	
产量 Yield	0.758	−0.032	0.044	−0.229	
特征值 Eigenvalue	7.068	3.475	2.109	1.282	
方差百分比/% Variance percentage	44.175	21.717	13.181	8.015	
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	44.175	65.891	79.072	87.087	

表 11 不同钾肥处理的主成分得分、综合得分及排序

Table 11 The principal component scores, comprehensive scores, and ranking of different potassium fertilizer treatments

处理 Treatment	成分 1 Principal component 1	成分 2 Principal component 2	成分 3 Principal component 3	成分 4 Principal component 4	综合得分 Comprehensive scores	排名 Ranking
NPK ₀	−2.397	−1.838	1.030	1.057	−1.237	5
NPK ₁	−2.280	1.115	−0.319	−1.632	−0.938	4
NPK ₂	−0.403	2.300	−0.970	1.341	0.301	3
NPK ₃	1.467	−0.182	1.536	−0.531	0.768	2
NPK ₄	3.798	−1.416	−1.183	−0.089	1.207	1



*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$)。圆圈大小表示相关系数值的大小,数字部分为具体的相关系数。

* indicates the difference significance level $P<0.05$, ** indicates the extremely significance level $P<0.01$. The size of the circle indicates the size of the correlation value, and the numerical part is the specific correlation coefficient.

图 1 不同部位间矿质元素含量与产量的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis between mineral element content and yield in different parts

代谢基因 *DFR*、*LDOX* 和 *UFGT* 的表达^[19], 同时在氮钾互作条件下可通过诱导糖酸代谢相关酶基因的表达, 调控可溶性糖和有机酸含量, 进而影响花青苷合成酶基因的表达, 调控花色苷的合成^[20], 这有可能是本试验中高钾处理改善果实着色的原因。施钾肥后苹果酸含量随钾肥用量增加逐渐下降, 这

与郭志刚等^[21]对于苹果的研究结果一致; 酒石酸和柠檬酸含量无明显变化趋势, 但除了 NPK₃ 处理外, 酒石酸、柠檬酸含量均低于 NPK₀ 处理。说明施钾有可能是影响了酸代谢过程中细胞质型苹果酸酶 (cyME) 和磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶 (PEPCK) 等相关酶的活性从而影响了有机酸的代谢。

曾朝辉等^[10]对7年生露地桃施肥试验得出适宜的氮磷钾配比为2:1:3;高清华等^[22]在对设施桃幼树施用200 g/株钾肥后(折合 K_2O 111.2 g/株),叶片净光合速率 P_n 最大;杨颖等^[23]对油桃进行多次施肥,得出氮磷钾施用量分别为180、80和360 g/株时施肥效果最佳;陈栋等^[8]对7年生露地毛桃多次施肥得出N:P:K配比在1:0.5:1.5时(N:336 kg/hm², P_2O_5 :168 kg/hm², K_2O :504 kg/hm²)最有利于提高果实品质。可见不同试验材料、不同栽培模式下适宜的施肥量有一定差异,这也说明施肥需要根据当地条件、品种特性和栽培模式有针对性地进行,这样才能实现精准、科学和高效的栽培。本试验通过综合评价得出NPK₄处理下140 g/株 K_2O 用量最佳,与高清华等^[22]的钾肥用量较接近。试验中最佳钾肥用量为所设定的最大用量,在一定范围内继续增加钾肥可能对品质提升效果更好,但超过一定范围会起反作用。

3.2 不同钾肥施用量对设施桃果实、枝条和叶片矿质元素含量的影响

不同部位的元素含量有较大差异,这与各部位对元素的调运、吸收和分配特性有关。在果实膨大期,果实是生长中心,各元素以向果实方向调运为主^[24]。同时各元素之间有着复杂的交互作用,不同施钾量对各器官各矿质元素作用不同,且部分元素在不同钾肥量下所表现出的变化趋势并无规律,有些呈锯齿状走势。

大量研究表明,施钾可增加氮、磷、钾和镁等其他养分的含量,单施钾肥或者与其他肥料配施均有显著的效果^[25-27]。涂美艳等^[28]、乔晓宇^[29]和王小娟等^[30]的试验证明,施钾可显著增加果实、枝条和叶片中K元素含量,本试验研究结果与其一致,且各器官钾元素含量均在NPK₄处理下最大,显著高于仅施氮磷肥处理。同时P、K元素之间具有协同作用,果实、枝条和叶片中P、K两元素含量随施钾量增加表现出相同的变化趋势,施钾显著增加了叶片和枝条中P、K元素含量。枝条中除了Fe元素外,其他元素含量在施肥后均增加,说明施钾有利于植株生长,提高植株抗性。果实中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn和Zn元素含量随施钾量增加先降低后升高,可能与土壤理化状况有关。施肥前土壤中氮磷元素充足,钾元素亏缺,施了氮磷元素促进了植株的营养生长,削弱了钾元素促进果实同化物积累的作用,钾肥用量

升至269 g/株时,钾肥发挥作用,各元素含量开始升高。可见不同氮磷钾肥料配比对果实矿质元素含量也有重要影响,具体原因还需进一步验证。

此外,诸多试验结果表明K离子与Ca、Mg离子之间存在复杂的相互作用,低钾浓度促进Mg离子的吸收,高钾浓度抑制Mg离子、Ca离子吸收^[31-34],并且马建梅等^[31]认为钾肥对Mg离子向果实运输有抑制作用。本试验结果与前人研究结果相似,施钾肥后枝条中Ca元素、叶片中Mg元素含量先升高但在高钾条件下显著下降,果实中Mg元素含量均低于仅施氮磷肥处理;但枝条中Mg元素含量在施钾肥后显著增加,可能是由于钾与镁的相互作用因器官不同而有所差异,也有可能是本试验的钾浓度还未达到枝条中钾镁产生抑制作用的临界浓度。

相关性分析表明Fe元素与其他部位元素间关系密切,说明影响Fe元素含量会间接影响其他部位的元素含量。枝条中Fe元素和叶片中Fe、Mn元素含量先升高但在高钾浓度下降,说明适宜钾肥用量可提高叶片和枝条中Fe元素及叶片中Mn元素含量,高钾条件会降低枝条中Fe元素和叶片中Fe、Mn元素含量。上述结果与王登亮等^[35]对于柑橘的试验结果不一致,这有可能与试验材料本身有关。

张绩等^[36-37]的试验结果显示,叶片、枝条中K与纽荷兰脐橙果实产量间存在正相关关系,冰糖橙叶片Cu、Mn元素与产量呈极显著负相关。徐丞等^[38]在经过相关性分析和路径分析得出板栗产量与叶片中P、N、Fe、Ca含量呈显著正相关关系。苏利荣等^[39]对核桃的研究发现上部叶片中的P含量与核桃产量的相关性最大。本试验中,产量与叶片P、K元素,与枝条Mg、P元素存在显著正相关关系,叶片N、Mn元素含量与产量呈极显著和显著的负相关关系,P、K元素的结果与上述学者一致,N元素结果不一致。果实中各元素之间存在显著正相关关系,说明果实中各矿质营养含量变化规律较一致,并且在树体养分管理中提高P、K和Mg的含量对提高产量有积极的促进作用,改善树体营养元素水平是提高产量的重要措施。

4 结 论

增施钾肥提高了设施桃的果实品质、产量和经济效益,品质提升具体表现在提高了单果重,改善了果实着色,增加了糖含量,降低了酸含量;此外,

增加了枝条、叶片中K元素含量以及枝条中部分矿质元素含量,降低了果实中大部分矿质元素含量,高钾浓度处理降低了叶片中大部分矿质元素含量。产量与叶片P、K元素,与枝条Mg、P元素存在显著正相关关系,且果实中各元素之间存在显著正相关关系。对品质和产量指标进行综合评价得出NPK₄(K₂O用量140 g/株)处理是本试验条件下最佳的钾肥用量。

参考文献 References

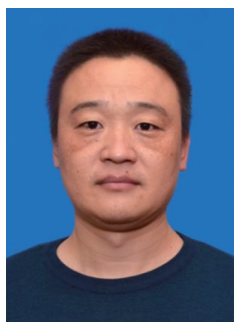
- [1] 李晨, 刘建廷, 樊永信, 赵惠雪, 肖伟, 陈修德, 付喜玲, 李玲, 李冬梅. UV-B对设施桃叶片光合功能及叶绿体超微结构的影响[J]. 植物学报, 2022, 57(4): 434-443
Li C, Liu J T, Fan Y X, Zhao X H, Xiao W, Chen X D, Fu X L, Li L, Li D M. Effects of UV-B on photosynthetic function and chloroplast ultrastructure of peach leaves grown in greenhouse[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2022, 57(4): 434-443 (in Chinese)
- [2] 中国桃网. 设施桃栽培现状与发展建议[EB/OL]. [2022-12-20]. <https://mp.weixin.qq.com/s/yTflzeCF9fMdNZFXZegiUA>
China Peach Net. Present Situation and Development Suggestion of Protected Peach Cultivation [EB/OL]. [2022-12-20]. <https://mp.weixin.qq.com/s/yTflzeCF9fMdNZFXZegiUA>
- [3] 王召元, 李永红, 常瑞丰, 刘国俭, 陈湖. 设施桃果实品质的影响因素及改善措施[J]. 河北果树, 2017(6): 22-24
Wang Z Y, Li Y H, Chang R F, Liu G J, Chen H. Influencing factors and improvement measures of fruit quality of protected peach[J]. *Hebei Fruits*, 2017(6): 22-24 (in Chinese)
- [4] Lester G E, Jifon J L, Makus D J. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L.) case study[J]. *Plant and Soil*, 2010, 335: 117-131
- [5] 杜少平, 马忠明, 薛亮. 钾、硼、锌肥配施对砂田西瓜生长及养分吸收的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(7): 841-849
Du S P, Ma Z M, Xue L. Effect of potassium, boron and zinc fertilizers on growth and nutrient uptake in watermelon grown in gravel-mulched fields[J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(7): 841-849 (in Chinese)
- [6] 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 C, Tong Y A, Lu Y L, Gao Y M. Effects of different potassium fertilizers on production, quality and storability of Fuji apple[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(1): 216-224 (in Chinese)
- [7] 武晓. 施钾对黄冠梨产量与品质及钾素营养的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2016
Wu X. Effects of different potassium application rates on fruit yield and quality and potassium nutrition of 'Huangguan' pear [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [8] 陈栋, 涂美艳, 杜晋城, 谢红江, 孙淑霞, 李靖, 江国良. 不同施钾量对曙光油桃产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4): 1173-1176
Chen D, Tu M Y, Du J C, Xie H J, Sun S X, Li J, Jiang G L. Effects of potassium nutrition on yield and quality of nectarine[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23(4): 1173-1176 (in Chinese)
- [9] 郑继成, 白红, 石佩, 范崇辉, 赵彩平. 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(5): 699-706
Zheng J C, Bai H, Shi P, Fan C H, Zhao C P. Effects of different potassium fertilizer methods on nutrition, fruit yield and quality in peach[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(5): 699-706 (in Chinese)
- [10] 曾朝辉, 方兴华. 不同氮磷钾肥配比对艳红桃产量及品质的影响[J]. 贵州农业科学, 2006, 34(S1): 48-49, 52
Zeng Z H, Fang X H. Effects of different combination ratios of N, P and K fertilizer on yield and quality of Yanhong peach [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2006, 34(S1): 48-49, 52 (in Chinese)
- [11] 郭磊, 张斌斌, 宋宏峰, 马瑞娟, 严娟, 汪晨雨. 增施钾肥对大棚蟠桃品质及营养生长的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(11): 2273-2279
Guo L, Zhang B B, Song H F, Ma R J, Yan J, Wang C Y. Effects of potassium fertilizer application on fruit quality and vegetative growth of flat peach[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2015, 35(11): 2273-2279 (in Chinese)
- [12] 李文涛, 王令宇, 杨毓贤, 余文彬, 刘卫春, 房经贵, 上官凌飞. 施钾时期对葡萄转色和品质及钾吸收基因表达的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(2): 345-352
Li W T, Wang L Y, Yang Y X, Yu W B, Liu W C, Fang J G, ShangGuan L F. Effects of potassium fertilizer application time on the coloration and quality of grape fruit and the expression of potassium-absorbing genes[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(2): 345-352 (in Chinese)
- [13] DB37/T 1673—2020. 桃优质丰产栽培技术规程[S]. 山东: 山东省市场监督管理局, 2020
DB 37/T 1673—2020. Technical specification for peach high quality and high yield[S]. Shandong: Shandong market supervision and administration bureau, 2020 (in Chinese)
- [14] 郭燕, 张树航, 李颖, 张馨方, 王广鹏. 板栗叶片颜色最佳色差仪参数确定[J]. 河北农业科学, 2021, 25(6): 51-54
Guo Y, Zhang S H, Li Y, Zhang X F, Wang G P. Determination of optimum colorimeter parameters of chestnut leaves color[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2021, 25(6): 51-54 (in Chinese)
- [15] 康专苗, 何凤平, 刘清国, 黄海, 李向勇, 张燕, 朱文华, 王代谷, 黄建峰, 党志国, 龚德勇. 不同施肥处理对红玉砧及土壤的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(5): 84-91
Kang Z M, He F P, Liu Q G, Huang H, Li X Y, Zhang Y, Zhu W H, Wang D G, Huang J F, Dang Z G, Gong D Y. Effects of different fertilization treatments on the growth of Hongyu mango and soil properties[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022(5): 84-91 (in Chinese)
- [16] DB 1303/T 341—2022. 设施桃果实分级[S]. 秦皇岛: 秦皇岛市市场监督管理局, 2022
DB 1303/T 341—2022. Facilities peach fruit grading[S]. Qinhuangdao: Qinhuangdao administration for market regulation, 2022 (in Chinese)
- [17] 张绍阳, 杨军, 刘桂华. 钾营养水平对艳光油桃果实品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35(2): 289-292
Zhang S Y, Yang J, Liu G H. Effects of K nutrition levels on fruit quality of "Yanguang" nectarine[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2008, 35(2): 289-292 (in Chinese)
- [18] 杜纪红. 桃果实花青苷和糖酸含量变化及其与套袋关系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007
Du J H. The change of anthocyanin and sugar and acid in peach fruit and the effect of bagging on them [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007 (in Chinese)
- [19] 何平, 李林光, 王海波, 常源升. 叶面喷施钾镁钙肥对桃果实着色、品质及

- 着色相关基因表达的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(10): 89-94
- He P, Li L G, Wang H B, Chang Y S. Effects of spraying K, Mg and Ca foliar fertilizers on coloration, quality and coloring related gene expression in 'Chunxue' peach [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50(10): 89-94 (in Chinese)
- [20] 武林楠. 氮与钾对葡萄果实糖酸代谢和花色苷合成的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2022
- Wu L N. Effects of nitrogen and potassium on sugar, acid metabolism and anthocyanin synthesis in grape berries [D]. Shihezi: Shihezi University, 2022 (in Chinese)
- [21] 郭志刚, 李文芳, 毛娟, 左存武, 陈佰鸿. 钾肥施用对元帅苹果果实内源激素含量及酸代谢的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(10): 281-290
- Guo Z G, Li W F, Mao J, Zuo C W, Chen B H. Effects of potassium fertilizer on endogenous hormone content and acid metabolism in fruit of apple cv 'Red Delicious' [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(10): 281-290 (in Chinese)
- [22] 高清华, 叶正文, 章镇, 李世诚, 吴钰良, 苏明申. 钾营养对设施油桃幼树光合特性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(3): 264-267
- Gao Q H, Ye Z W, Zhang Z, Li S C, Wu Y L, Su M S. Effects of potassium fertilizer on photosynthetic characteristics of young nectarine trees in greenhouse [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27(3): 264-267 (in Chinese)
- [23] 杨颖, 火建福. 不同施钾量对油桃果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(26): 84-85, 107
- Yang Y, Huo J F. Effects of potassium amount on quality of nectarine [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(26): 84-85, 107 (in Chinese)
- [24] 史祥宾, 王孝娣, 王宝亮, 王志强, 冀晓昊, 王小龙, 刘凤之, 王海波. '红地球'葡萄氮、磷、钾、钙、镁的年需求特性研究[J]. 园艺学报, 2021, 48(11): 2146-2160
- Shi X B, Wang X D, Wang B L, Wang Z Q, Ji X H, Wang X L, Liu F Z, Wang H B. Requirement rule of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium of 'red globe' grapevine [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2021, 48(11): 2146-2160 (in Chinese)
- [25] 孙红梅, 李天来, 须晖, 郭泳, 范文莉. 钾营养对保护地番茄氮钾吸收及植株生育的影响[J]. 中国蔬菜, 2001(4): 14-16
- Sun H M, Li T L, Xu H, Guo Y, Fan W L. Effect of potassium nutrition on nitrogen and potassium uptake and plant fertility in protected tomatoes [J]. *Chinese Vegetables*, 2001(4): 14-16 (in Chinese)
- [26] 许伟韬, 冯建骋, 邵贞荣, 王寅, 侯文峰, 高强. 氮钾互作对东北梗稻干物质积累与氮素利用率的影响[J/OL]. 吉林农业大学学报, 2023, 1-9[EB/OL]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=vRpkk4Q00oi0sGkeWogLgs7ZtRWESf-0-mL9kZcCsGvPhGTBfbGHQh1Ik5vZnXcMg5WgWACi_skdNkNeCsCejbHAhGTHk54eJspRoEQ9FiGagbKFZ3uQUffYjZ9wNNAvZ8UA6e9sbQ=&uniplatform=NZKPT&language=CHS. DOI: 10.13327/j.jjlau.2021.1615
- Xu W T, Feng J C, Shao Z Z, Wang Y, Hou W F, Gao Q. Interactive effects of nitrogen and potassium on dry matter accumulation and nitrogen use efficiency of japonica rice in Northeast China [J/OL]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2023, 1-9[EB/OL]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=vRpkk4Q00oi0sGkeWogLgs7ZtRWESf-0-mL9kZcCsGvPhGTBfbGHQh1Ik5vZnXcMg5WgWACi_skdNkNeCsCejbHAhGTHk54eJspRoEQ9FiGagbKFZ3uQUffYjZ9wNNAvZ8UA6e9sbQ=&uniplatform=NZKPT&language=CHS. DOI: 10.13327/j.jjlau.2021.1615
- [27] 钱晨晟, 陈立, 马泉, 李春燕, 朱敏, 朱新开, 丁锦峰, 郭文善. 磷钾肥施用量和方法对弱筋小麦籽粒产量和蛋白质含量及养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(2): 287-299
- Qian C C, Chen L, Ma Q, Li C Y, Zhu M, Zhu X K, Ding J F, Guo W S. Effects of phosphorus and potassium fertilizer on grain yield, nutrient uptake and utilization in low-gluten wheat [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(2): 287-299 (in Chinese)
- [28] 涂美艳, 江国良, 杜晋城, 廖明安, 陈栋, 谢洪江, 孙淑霞, 李靖. 钾素营养对油桃采果期树体营养状况的影响[J]. 北方园艺, 2009(12): 29-33
- Tu M Y, Jiang G L, Du J C, Liao M A, Chen D, Xie H J, Sun S X, Li J. Effect of potassium on the tree nutrient status in fruit picking period of nectarine [J]. *Northern Horticulture*, 2009(12): 29-33 (in Chinese)
- [29] 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 X Y. Reaseach on effects of potassium on tree nutrient and quality of *prunus persica*(L) Batsch [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016 (in Chinese)
- [30] 王小娟, 陈健晓, 伍壮生, 李雪娇, 张文, 吴月燕, 廖道龙, 高芳华. 不同钾水平下厚皮甜瓜生育后期氮磷钾吸收及利用特征[J]. 热带作物学报, 2019, 40(6): 1046-1054
- Wang X J, Chen J X, Wu Z S, Li X Q, Zhang W, Wu Y Y, Liao D L, Gao F H. The characteristics of nitrogen, phosphorus and potassium uptake and utilization at different potassium levels at late growth stages of muskmelon [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(6): 1046-1054 (in Chinese)
- [31] 马建梅, 李惠霞, 张学科. 不同施钾量对设施栽培番茄生长及钙、镁养分吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 90-95
- Ma J M, Li H X, Zhang X K. Effects of different potassium application amounts on the growth and uptake of calcium and magnesium in tomato under facility condition [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(3): 90-95 (in Chinese)
- [32] 郑圣先, 罗成秀, 戴平安, 李明德. 钾、镁营养水平对油菜产量和养分吸收的影响[J]. 土壤通报, 1991, 22(2): 87-89, 92
- Zheng S X, Luo C X, Dai P A, Li M D. Effects of potassium and magnesium nutrition levels on rapeseed yield and nutrient absorption [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1991, 22(2): 87-89, 92 (in Chinese)
- [33] 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
- Ding Y C, Luo W, Xu G H. Effects of Mg, K and their interaction on grain yield and yield components and nutrient uptake of rice [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(3): 178-182 (in Chinese)
- [34] 屈帅, 李惠霞, 张天一, 寇桂香, 陈萍, 杨彦梅. 钾镁互作对番茄养分吸收、积累及分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(5): 935-948
- Qu S, Li H X, Zhang T Y, Kou G X, Chen P, Yang Y M. Interactive effects of potassium and magnesium on nutrient uptake, accumulation and allocation of tomato [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(5): 935-948 (in Chinese)
- [35] 王登亮, 吴雪珍, 刘春荣, 郑雪良, 刘丽丽, 姜翔鹤. 高钾胁迫对椪柑果园土壤和叶片营养的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(1): 49-51
- Wang D L, Wu X Z, Liu C R, Zheng X L, Liu L L, Jiang X H. Effects of high potassium stress on soil and leaf nutrients of ponkan orchard [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(1): 49-51 (in Chinese)
- [36] 张绩, 李俊杰, 万连杰, 杨江波, 郑永强, 吕强, 谢让金, 马岩岩, 邓烈, 易时来. 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
- Zhang J, Li J J, Wan L J, Yang J B, Zheng Y Q, Lv Q, Xie R J, Ma Y Y, Deng L, Yi S L. Effects of potassium application levels on nutrient,

- yield and quality of newhall navel orange [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(20): 4271-4286 (in Chinese)
- [37] 张绩, 李俊杰, 杨江波, 田旺海, 普金安, 陈磊, 郑永强, 吕强, 谢让金, 马岩岩, 邓烈. 新平冰糖橙果园营养水平与产量、品质状况系统分析[J]. 中国土壤与肥料, 2020(3): 164-171
- Zhang J, Li J J, Yang J B, Tian W H, Pu J A, Chen L, Zheng Y Q, Lv Q, Xie R J, Ma Y Y, Deng L. Study on the relationship between yield, fruit quality and nutrient level of Bingtang sweet orange (*Citrus sinensis*) orchards in Xinping County [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(3): 164-171 (in Chinese)
- [38] 徐丞, 郭素娟. 板栗叶片及土壤养分含量对产量影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 283-290
- Xu C, Guo S J. Effects of leaf nutrient and soil nutrient on yield of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Bl) [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(3): 283-290 (in Chinese)
- [39] 苏利荣, 秦芳, 曾成城, 李琴, 苏天明, 何铁光, 俞月凤, 张雨, 徐亮, 冯倩, 李慈, 梁钟方, 谢代祖, 李露, 汤晓芳. 不同施肥水平对核桃产量品质及叶片养分的影响[J]. 中国南方果树, 2020, 49(6): 111-115, 120
- Su L R, Qin F, Zeng C C, Li Q, Su T M, He T G, Yu Y F, Zhang Y, Xu L, Feng Q, Li C, Liang Z F, Xie D Z, Li L, Tang X F. Effects of different fertilization levels on yield, quality and leaf nutrient of walnut [J]. *South China Fruits*, 2020, 49(6): 111-115, 120 (in Chinese)
- 责任编辑: 董金波



第一作者简介: 王雨, 硕士, 河北省农林科学院昌黎果树研究所助理研究员。工作期间曾参加省级项目2项、市厅级项目2项, 参与获得实用新型专利3项, 以第一作者和通讯作者在中级刊物发表论文4篇。



通讯作者简介: 王召元, 硕士, 研究员。现任河北省现代农业产业技术体系桃产业创新团队设施栽培岗岗位专家。主要从事桃优质高效栽培技术研究、桃种质资源评价利用及桃新品种选育工作。主持承担和参加国家、省部级课题13项, 取得科研成果3项。获得河北省科技进步三等奖1项、技术发明三等奖1项、河北省农林科学院科学技术二等奖1项; 选育新品种5个, 2个获国家新品种保护; 制定并颁布地方标准4项; 取得国家发明专利6项; 发表学术论文40余篇。