

磷减量配施锌肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响

刘怀伟^{1,2}, 谭启玲², 陈敏^{1,2}, 庄木来³, 李潇彬³, 胡承孝^{1,2}

1. 园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070;

2. 新型肥料湖北省工程实验室/华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070;

3. 福建省平和县农业局, 平和 363700

摘要 为探究磷肥减量施用以及配施锌肥对平和县琯溪蜜柚果实产量和品质的影响, 以平和地区白肉琯溪蜜柚为试验材料, 试验设置 6 个处理: 磷减量 70% 不施锌肥、磷减量 70% 施锌肥、磷减量 35% 不施锌肥、磷减量 35% 施锌肥、磷习惯用量不施锌肥、磷习惯用量施锌肥。结果表明: 磷肥减量可提高果实产量和改善果实品质, 磷肥减量 35% 时果实产量显著升高, 且能显著降低单果质量、果皮厚, 增加维生素 C、固酸比等指标; 磷肥减量 35% 配施锌肥可显著提高果实产量、综合品质得分、果实出汁率、含水率和维生素 C 含量。田间试验结果显示, 平和琯溪蜜柚园磷肥可减量 35%, 磷肥减量 35% 配施锌肥具有显著增产和提升果实品质的效果, 即磷肥 (P_2O_5) 0.85 kg/(plant · a)、2 次喷施 0.2% 锌肥 ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 40 g/(plant · a)。

关键词 琯溪蜜柚; 磷减量; 配施锌肥; 产量; 果实品质; 推荐施肥量; 微肥高效利用; 化肥零增长; 合理施肥
中图分类号 S 147.34; S 666.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)01-0070-07

琯溪蜜柚属于我国著名的柚类优质栽培品种之一, 其具有良好适种性, 已有 500 多年栽培历史, 果实具有面滑皮薄、汁多籽少、品质佳的特点。福建省漳州市平和县是琯溪蜜柚的原产地, 近年来其种植面积、优质品牌、产出量、产出价值、市场占有率、出口数量均排在首位。目前, 琯溪蜜柚栽培面积达 4.33 万 hm^2 , 年产量 150 万 t, 总产值 60 亿元以上, 是平和县农业收入的主要来源^[1-2]。据 2008 年报道, 福建省漳州市约 60% 果园土壤磷含量丰富, 山地果园最高含量达 683.1 mg/kg, 耕地果园 821.1 mg/kg; 平和县琯溪蜜柚园 3 247 个土壤样品中 58.46% 土壤有效磷含量丰富^[3]。2014—2015 年对平和县 120 个代表性种植户调查结果表明, 琯溪蜜柚施肥存在磷肥用量和比例偏高现象^[4]。2015—2016 年对我国 14 个柑橘试验站共 29 个柑橘品种进行的问卷调查结果显示, 我国柚类主产区磷过量施用面积占 87.17%, 其减施潜力为 63.89%, 磷肥平均施用量最高的省份是福建省, 以平和县琯溪蜜柚试验站施用量最高, 为 1.25 kg/(plant · a)^[5]; 笔者所在课题组 2016—2017 年试验结果表明, 长期过量施用

磷肥导致土壤磷富集, 减少磷用量不会导致琯溪蜜柚减产, 反而具有增产和明显改善果实品质的效果^[6]。

锌(Zn)是作物生长发育必需的微量元素之一, 影响作物的产量和品质^[7]。世界约 30% 的土壤锌缺乏, 我国柑橘主产区锌缺乏现象也十分普遍, 赣南地区 95.04% 的脐橙叶片锌含量处于低量或缺乏水平, 重庆 70% 以上的果园缺锌, 广东 70%~80% 果园缺锌^[8]。施用锌肥可显著提高朝天椒^[9] 和马铃薯^[10] 果实产量及品质。在土壤-植物体系中磷、锌间存在拮抗作用, 磷肥过量施用而致土壤磷富集是影响锌有效性的关键因素^[11]。有关琯溪蜜柚施肥的研究主要集中在氮、磷、钾肥^[12] 等方面, 而对磷减量配施锌肥的研究报道。

本研究在磷减量施肥基础上, 采用田间试验, 研究分析磷肥减施以及配施叶面锌肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响, 为试验区琯溪蜜柚磷肥减施、微肥高效施用和提质增效提供技术指导和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试果园土壤为酸性红壤, 基本理化性质 pH

收稿日期: 2020-08-21

基金项目: 柑橘化肥农药减施技术集成研究与示范项目(2017YFD0202000); 现代柑橘产业技术体系专项(CARS-26)

刘怀伟, E-mail: 757408029@qq.com

通信作者: 胡承孝, E-mail: huex@mail.hzau.edu.cn

4.02、有机质 27.09 g/kg、碱解氮 79.26 mg/kg、速效磷 432 mg/kg、有效锌 0.88 mg/kg,属于强酸性、磷富集及锌不足。

试验设置在平和县琯溪蜜柚综合试验站(N24°24'16.7",E117°14'51.4"),试验材料为 27 年生白肉琯溪蜜柚,砧木为酸柚。

1.2 试验设计

试验以本课题组前期调查和试验结果为基础,设置低磷(减量 70%,P1)、中磷(减量 35%,P2)、高磷(习惯用量,P3) 3 个磷用量水平及 Zn0(喷施等量水)、Zn1(喷 0.2% ZnSO₄·7H₂O 溶液)2 个锌肥水平(表 1),共 6 个处理,每个处理设置 6 个重复,每个重复选取 1 棵树,处理间的柚树树势基本一致。

以尿素(N 46%)、磷酸二铵(N:P₂O₅:K₂O=18:46:0)、过磷酸钙(P₂O₅ 16%)、硫酸钾(K₂O 51%)作为氮、磷、钾肥源,全年分 4 次,以穴施方式施入 10~20 cm 土壤并覆土,其中促花肥(2 月下旬或 3 月上中旬)氮、磷、钾肥施用分别为全年施用总量的 30%、15%、25%;稳果肥(5 月上中旬)为 30%、15%、20%;壮果肥(7 月下旬或 8 月上旬)为 15%、50%、20%;采果肥为 25%、20%、30%。锌肥全年喷施 2 次,分别在促花肥、壮果肥时喷施 0.2% ZnSO₄·7H₂O 溶液 10 kg/株,试验于 2018 年 3 月开始,2018 年 11 月收获。

表 1 磷减量配施叶面锌肥试验设计

Table 1 Experimental design of phosphorus reduction combined with foliar zinc fertilizer

处理 Treatments	施肥量 Fertilization amount			
	N/kg	P ₂ O ₅ /kg	K ₂ O/kg	ZnSO ₄ ·7H ₂ O/g
P3Zn0	1.12	1.30	1.40	0
P2Zn0	1.12	0.85	1.40	0
P1Zn0	1.12	0.39	1.40	0
P3Zn1	1.12	1.30	1.40	40
P2Zn1	1.12	0.85	1.40	40
P1Zn1	1.12	0.39	1.40	40

1.3 样品采集与测定

果实样品于 11 月中旬采摘,在每棵果树东、南、西、北 4 个方向上各采集 1 个中等大小、无病害的果实,每个重复采集 4~6 个果实作为 1 个混合样品。单果质量用普通电子天平称量,果皮色差值用色彩色差计(MINOLTA CR-300,Japan)于果实赤道面测定,果皮厚度用测厚仪测量,可溶性固形物用手持数显糖量计(PAL-1,Japan)测定,可滴定酸用氢氧化钠中和滴定法,V_C含量用 2,6-二氯靛酚氧化还原滴定法。相关指标的计算公式如下:

果形指数=果实纵径/果实横径,

固酸比=可溶性固形物含量/可滴定酸含量,

出汁率=(果汁质量/果肉质量)×100%,

可食率=(果肉质量/果实质量)×100%,

含水率=(果实鲜质量-果实干质量)/

果实鲜质量×100%,

产量=果实数×平均单果质量。

1.4 数据处理

用 Excel 和 SPSS 20 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 磷减量配施锌肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响

如表 2 所示,2018 年各处理间产量差异显著,P2Zn1 处理显著高于 P3Zn0 处理,前者比后者产量高 27.79%;其余处理相较于 P3Zn0 处理差异不显著,但有增产的趋势。磷减施($F=9.33^{**}$)与锌配施($F=7.68^{**}$)均显著影响了蜜柚果实产量,但磷减量配施锌($F=0.35$)无显著的交互作用。不同 P 水平间,以习惯用量(P3)为对照,减施 35%(P2)和 70%(P1)的磷肥没有导致果实产量下降,减施 35%(P2)显著提高了 17.11%的果实产量;不同磷肥用量配施锌肥有增加果实产量的趋势,锌配施(Zn1)相较于未施锌显著增产 9.54%。由此说明,减施磷肥,并未导致果实减产,而是有所增加,以减 35%时增产显著;喷施锌肥有增产效果,以磷肥减量 35%配施锌肥效果最好。

由表 2 可知,2018 年蜜柚单果质量 P3Zn0 处理最大,为 2.31 kg,显著大于 P2Zn1;磷减施($F=3.59^{*}$)显著影响蜜柚单果质量,随着磷肥减施量的增加,单果质量先降低后增加,磷减施 35%(P2)单果质量显著降低。蜜柚果皮厚 P1Zn1 处理最大,为 15.33 mm,显著大于 P2Zn0 和 P2Zn1;磷减施($F=5.83^{**}$)对其影响显著,随着磷肥减施量的增加,果皮厚先降低后增加,磷减施 35%(P2)果皮显著变薄。蜜柚可食率为 71.30%~75.86%,各处理间无显著差异,磷减施($F=3.55^{*}$)对其影响显著,果实可食率随磷减施量的增加而先增加后降低,磷减施 35%(P2)可食率显著升高。

蜜柚出汁率为 46.31%~53.79%,其中 P2Zn1 处理出汁率最高,为 53.79%,显著高于除 P2Zn0 以外的其他处理;磷减施($F=25.63^{**}$)显著影响蜜柚

出汁率,随着磷肥减施量的增加,出汁率先增加后降低,磷减施 35%(P2)出汁率显著升高。蜜柚含水率为 86.15%~89.17%,其中 P2Zn1 处理含水率最高,为 89.17%,显著高于其他处理;施锌($F=19.68^{**}$)及磷减施($F=37.02^{**}$)显著影响蜜柚含水率,随着磷肥减施量的增加,含水率先增加后降低,磷减施 35%(P2)含水率显著升高,配施锌肥增加蜜柚的含水率。蜜柚可溶性固形物含量为 10.66%~11.60%,其中 P2Zn1 处理可溶性固形物含量最高,为 11.60%,显著高于 P1Zn0 和 P3Zn0;磷减施($F=5.24^*$)显著影响蜜柚可溶性固形物含量,随着磷肥减施量的增加,可溶性固形物含量先增加后降低,磷减施 35%(P2)可溶性固形物含量显著升高。

蜜柚可滴定酸含量为 0.47%~0.55%,其中 P3Zn0 处理可滴定酸含量最高,为 0.55%,显著高于除 P3Zn1 以外的其他处理;磷减施($F=8.39^{**}$)显著影响蜜柚可滴定酸含量,随着磷肥减施量的增加,可滴定酸含量先降低后增加,磷减施 35%(P2)可滴定酸含量显著降低。蜜柚固酸比为 19.37~24.88,

其中 P2Zn1 处理固酸比最高,为 24.88,显著高于除 P2Zn0 和 P1Zn1 以外的其他处理;磷减施($F=19.19^{**}$)显著影响蜜柚的固酸比,随着磷肥减施量的增加,固酸比先增加后降低,磷减施 35%(P2)固酸比显著升高。蜜柚 V_C 含量为 15.57~19.78 mg/100 g,其中 P2Zn1 处理维生素 C 含量最高,为 19.78 mg/100 g,显著高于除 P2Zn0 和 P1Zn1 以外的其他处理;施锌($F=13.86^{**}$)及磷减施($F=16.62^{**}$)显著影响蜜柚 V_C 含量,随着磷肥减施量的增加, V_C 含量先增加后降低,磷减施 35%(P2) V_C 含量显著升高,配施锌肥增加蜜柚的 V_C 含量。

随着磷肥施用量的减少,琯溪蜜柚果实的单果质量、果皮厚、可滴定酸含量均呈现先降低后升高,在磷肥减量 35%(P2)显著降低,即高磷(P3)和低磷(P1)均导致单果质量变大、果皮加厚、酸度升高;不同 P 水平间,果实可食率、出汁率、含水率及可溶性固形物、 V_C 含量、固酸比等指标则均以磷肥减量 35%(P2)时显著升高。因此,磷肥用量过高或偏低

表 2 不同处理下琯溪蜜柚产量和品质指标

Table 2 Yield and quality indexes of Guanxi pomelo under different treatments

处理 Treatment	单株产量/ kg Yield per plant	增产率/ % RG	单果 质量/kg Single fruit weight	果皮 厚度/ mm Peel thick	可食率/% Edible rate	出汁率/% Juice yield	含水率/% Moisture content	可溶性 固形物/% Soluble solids	可滴 定酸/% Titratable acid	固酸比 Solid acid ratio	V_C / (mg/ 100 g)
P3Zn0	69.73b	—	2.31a	13.28abc	72.59a	47.58cd	86.15d	10.66b	0.55a	19.37d	16.27cd
P2Zn0	79.50b	14.01	2.07ab	12.07bc	75.02a	52.18ab	87.74b	11.33ab	0.48bc	23.92ab	19.12ab
P1Zn0	70.60b	1.25	2.15ab	14.30ab	71.30a	46.31d	86.39d	10.77b	0.49bc	22.04bc	15.57d
P3Zn1	74.25b	6.48	2.19ab	12.69abc	75.86a	46.95cd	87.24bc	10.93ab	0.53ab	20.66cd	17.53bc
P2Zn1	89.11a	27.79	2.00b	10.76c	75.58a	53.79a	89.17a	11.60a	0.47c	24.88a	19.78a
P1Zn1	77.46b	11.09	2.26ab	15.33a	71.86a	49.51bc	86.60cd	10.90ab	0.49bc	22.67abc	18.30ab
Zn0	73.28b	—	2.18a	13.22a	72.97a	48.69b	86.76b	10.92a	0.51a	21.78a	16.99b
Zn1	80.27a	9.54	2.15a	12.93a	74.43a	50.08a	87.67a	11.14a	0.50a	22.74a	18.53a
P3	71.99b	—	2.25a	12.98ab	74.23ab	47.26b	86.70b	10.80b	0.54a	20.02c	16.90b
P2	84.31a	17.11	2.03b	11.42b	75.30a	52.99a	88.46a	11.47a	0.47b	24.40a	19.45a
P1	74.03b	2.83	2.21a	14.82a	71.58b	47.91b	86.50b	10.83b	0.49b	22.36b	16.94b
$F(Zn)$	7.68**		0.12	0.14	1.56	3.40*	19.68**	1.44	0.36	2.74	13.86**
$F(P)$	9.33**		3.59*	5.83**	3.55*	25.63**	37.02**	5.24*	8.39**	19.19**	16.62**
$F(Zn \times P)$	0.35		1.14	0.76	0.59	1.91	3.06	0.06	0.21	0.11	2.03

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。Note: The different lowercase letters indicate significant differences among treatments($P<0.05$). The same as below. * $P<0.05$; ** $P<0.01$.

都会导致品质下降,其中影响较大的指标包括单果质量、果皮厚度、可滴定酸、出汁率、 V_C 含量、固酸比等,以中磷(P2)处理品质最佳。

锌肥显著影响琯溪蜜柚果实出汁率,极显著影响果实含水率和 V_C 含量,配施锌肥使果实出汁率、含水率、 V_C 含量依次提高了 2.85%、1.05%、9.06%,以 V_C 增加幅度较大;在 P3、P2、P1 水平下配施锌肥使果实出汁率依次增加 -1.32%、3.09%、

6.91%,含水率依次增加 1.27%、1.63%、0.24%, V_C 含量依次增加 7.74%、3.45%、17.53%。因此,其增加幅度因磷肥用量而异,果实出汁率、 V_C 含量因配施锌肥而增加的幅度均以低磷用量下较高,即低磷用量配施锌肥效果更好。

综上所述,磷肥用量对琯溪蜜柚果实品质有显著或极显著影响,高量或低量施用磷肥都会导致果实品质下降,中量磷能够明显降低单果质量、果皮厚

度而增加出汁率、V_C、固酸比等,改善果实品质;配施锌肥能够提高果实出汁率、含水率和 V_C 含量,但以低磷用量时配施效果最佳。

2.2 磷减量配施锌肥下琯溪蜜柚果实品质的相关性分析

由表 3 可知,琯溪蜜柚果实单果质量与果皮厚

度、可滴定酸呈显著正相关,与可溶性固形物、固酸比成显著负相关;果皮厚度与出汁率、可溶性固形物含量呈极显著负相关;出汁率与可溶性固形物含量、固酸比、V_C含量呈极显著正相关;可食率、可溶性固形物含量与 V_C含量呈显著正相关;可滴定酸含量与固酸比呈极显著负相关;固酸比与 V_C含量呈显著正

表 3 琯溪蜜柚各指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis of various indexes of Guanxi pomelo

品质因子 Quality factor	单果质量 Single fruit weight	果皮厚 Peel thick	出汁率 Juice yield	可食率 Edible rate	可溶性固形物 Soluble solids	可滴定酸 Titratable acid	固酸比 Solid acid ratio	V _C 含量 V _C content
单果质量 Single fruit weight	1	0.484 *	-0.359	-0.064	-0.483 *	0.490 *	-0.520 *	-0.256
果皮厚度 Peel thick		1	-0.732 **	-0.258	-0.802 **	0.397	-0.483 *	-0.507 *
出汁率 Juice yield			1	0.303	0.687 **	-0.419	0.593 **	0.728 **
可食率 Edible rate				1	0.435	0.124	-0.001	0.574 *
可溶性固形物 Soluble solids					1	-0.284	0.360	0.470 *
可滴定酸 Titratable acid						1	-0.832 **	-0.321
固酸比 Solid acid ratio							1	0.479 *
V _C 含量 V _C content								1

相关。这表明,琯溪蜜柚果实品质指标之间存在一定的相关性,果实越大,皮越厚,内在品质指标就越低,即品质越差。

2.3 磷减量配施锌肥下琯溪蜜柚果实品质的综合评价

由表 4 可知,基于琯溪蜜柚果实品质指标之间的相互关系,以单果质量(1)、果形指数(2)、果皮厚度(3)、可食率(4)、出汁率(5)、含水率(6)、可溶性固形物(7)、可滴定酸(8)、固酸比(9)、V_C(10)、果皮亮度(11)等指标进行主成分分析,提取特征值大于 1 的主成分 2 个,2 个贡献率相加为 89.89%,大于 80%,可以进行果实品质综合评价,筛选最优处理。

表 4 内外在品质指标主成分分析

Table 4 Principal component analysis of internal and external quality indicators

成分 Principal	特征值 Characteristic value	贡献率/% Contribution rates	累积贡献率/% Cumulative contribution rates
1	8.36	75.96	75.96
2	1.53	13.93	89.89
3	0.70	6.32	96.21
4	0.23	2.14	98.35
5	0.18	1.65	100.00
6	1.86 × 10 ⁻¹⁶	1.69 × 10 ⁻¹⁵	100.00
7	2.69 × 10 ⁻¹⁸	2.45 × 10 ⁻¹⁷	100.00
8	-7.32 × 10 ⁻¹⁷	-6.65 × 10 ⁻¹⁶	100.00
9	-1.88 × 10 ⁻¹⁶	-1.70 × 10 ⁻¹⁵	100.00
10	-2.46 × 10 ⁻¹⁶	-2.24 × 10 ⁻¹⁵	100.00
11	-4.42 × 10 ⁻¹⁶	-4.02 × 10 ⁻¹⁵	100.00

各处理果实综合评价的得分和相应的排名为: P2Zn1(3.93 分) > P2Zn0(1.85 分) > P1Zn1(-0.57

分) > P3Zn1(-0.95 分) > P1Zn0(-1.46 分) > P3Zn0(-2.79 分)。在相同锌肥水平下,综合得分随磷肥用量先升后降,即高量和低量施磷均降低琯溪蜜柚果实品质综合得分;在 P₃、P₂、P₁ 水平下配施锌肥使果实品质综合得分依次增加 1.84、2.08、0.89 分, P₂ 水平配施锌肥增加最多, P₂Zn1 处理果实综合得分最高, P₂Zn0 处理得分排名第二,即配施锌肥能提高果实品质综合得分值,改善果实综合品质,中量施磷下不论是否配施锌肥都能够获得较好的果实综合品质;高量和低量磷肥水平下果实品质综合得分均为负值,其中 P₃Zn0 处理得分最低。因此,高量和低量施用磷肥均导致琯溪蜜柚果实综合品质得分下降,磷肥减量 35%果实综合品质得分较好,同时配施锌肥果实品质综合评价得分最高,这与前文分析结果一致。

以不同处理的综合得分作为聚类变量,对琯溪蜜柚磷减量配施叶面锌肥 6 个处理进行系统聚类分析,得到聚类树状图(图 1)。

表 5 显示,以距离为 5 作为分割线将不同磷减量配施叶面锌肥处理分为 3 大类群。类群一所包含的处理为 P₂Zn1,相应的综合得分为 3.93。类群二所包含的处理为 P₂Zn0,相应的综合得分为 1.85。类群三所包含的处理为 P₃Zn0、P₃Zn1、P₁Zn0、P₁Zn1,相应综合平均得分为 -1.44。综上所述,类群一的 P₂Zn1 处理综合得分最高,果实品质最优。可以说明,磷减量 35%配施锌肥是最优处理。

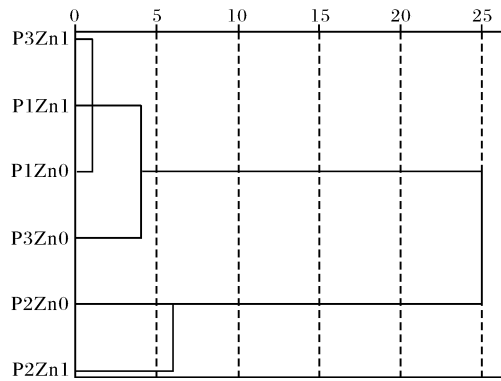


图 1 不同处理果实品质评价因子聚类树状图
Fig.1 Dendrogram of clustering evaluation factors of fruit quality under different treatments

表 5 不同施肥处理类群

Table 5 Different fertilization treatment groups

指标 Quality index	类群一 Cluster 1	类群二 Cluster 2	类群三 Cluster 3
单果质量/kg Single fruit weight	2.00	2.07	2.23
果形指数 Fruit shape index	1.00	1.04	1.05
果皮厚度/mm Peel thick	10.76	12.07	13.90
可食率/% Edible rate	75.58	75.02	72.90
出汁率/% Juice yield	53.79	52.18	47.59
含水率/% Moisture content	89.17	87.74	86.60
可溶性固形物/% Soluble solids	11.60	11.33	10.82
可滴定酸/% Titratable acid	0.47	0.48	0.52
固酸比 Solid acid ratio	24.88	23.92	21.19
V _C /(mg/100 g) V _C content	19.78	19.12	16.92
果皮亮度 Peel brightness	79.12	77.51	75.40
处理 Treatment	P2Zn1	P2Zn0	P3Zn0 P1Zn0 P3Zn1 P1Zn1

3 讨论

我国琯溪蜜柚生产中,过量施用化肥,既增加了生产成本,又会对果实产量和品质带来不利影响^[5]。随着“化肥零增长”方案的提出,我国琯溪蜜柚园化肥减施势在必行。侯广军等^[13]的研究表明,化肥减施 30%可提高苹果产量和品质。本研究为长期试验的一部分,分析了一年大田试验数据,结果表明,磷肥减施能提高琯溪蜜柚果实产量和品质,磷肥减

量 35%(P₂O₅0.85 kg/株)时,果实产量最高、提高了 17.11%,且显著降低单果质量、果皮厚度而增加出汁率、V_C、固酸比等,改善了果实品质并提高了果实品质综合得分。位高生等^[6]2016 年氮磷减量施肥试验结果表明,氮肥减少 60%、磷肥减少 70%并不会导致琯溪蜜柚果实产量下降,且氮、磷肥减量施用均有增产作用;磷肥用量极显著地影响果实 V_C 含量,显著影响果实可食率,低量磷肥可以增加果实 V_C 含量和可食率;果实品质主成分分析综合评分以氮肥减少 30%、磷肥减少 35%处理最高,氮肥减少 30%、磷肥减少 70%处理其次,氮肥减少 60%、磷肥减少 70%处理第三,因此,年施用 P₂O₅0.85 kg/株时琯溪蜜柚的产量和品质俱佳。黄绿林^[14]对平和琯溪蜜柚园施肥量的研究表明,成年果树磷肥(P₂O₅)施用量 0.60~0.90 kg/株时产量、品质较好。综上所述,磷肥由习惯施用量 1.30 kg/株减少 35%至 0.85 kg/株,其增产提质的效果显著。

在农业生产中,锌肥的合理施用可以提高果实产量和品质。刘汝亮等^[15]报道,喷施 0.50%~1.00%锌肥适宜苹果树生长并提高果实品质;吴亚楠等^[16]的研究发现,喷施 0.30%锌肥最有利于猕猴桃产量与品质提高。本研究结果表明,不同磷肥用量配施锌肥有增加果实产量的趋势,锌配施(Zn1)相较于未施锌显著增产 9.54%;配施锌肥提高果实出汁率、含水率和 V_C 含量,以低磷用量时效果较好;不同磷肥用量下配施锌肥均能提高果实品质综合得分,以磷肥减量 35%时果实综合品质得分提升最高。聚类分析结果显示,高量或低量磷肥处理,果实品质表现为果实大、果皮厚,内在品质指标较差;而配施锌肥能提高内在品质指标,并降低果实质量、果皮厚、可滴定酸含量,提高果实品质综合评分。山地梨枣^[17]、沙田柚^[18]、芒果^[19]等也有类似报道,不合理施肥还降低葡萄柚^[20]等果实品质。磷减量配施锌肥试验以 P2Zn1 处理即磷肥(P₂O₅)0.85 kg/(plant·a)、2 次喷施 0.2% 锌肥(ZnSO₄·7H₂O)40 g/(plant·a)果实品质整体较好,这与张鹏等^[19]对芒果的研究结果类似。果实单果质量小、果皮薄,相应可溶性固形物、V_C、固酸比含量高,这与果实品质相关性分析结果一致,也与黄日升等^[21]对琯溪蜜柚果实的研究相符。由此说明,只有合理施肥,果实才能优质,高量或低量施磷导致果实大、果皮厚、酸度高、V_C 含量低,其生理机制仍待深入探究。

综上所述,磷肥减量 35%能显著降低单果质

量、果皮厚度,增加果实产量、固酸比等指标;磷肥减量 35% 并配施锌肥具有显著增产和提升果实内外在品质的效果,综合品质得分最高,即磷肥 (P_2O_5) 0.85 kg/(plant · a)、2 次喷施 0.2% 锌肥 ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 40 g/(plant · a)。

参考文献 References

- [1] 李发林,曾瑞琴,危天进,等.福建省平和县琯溪蜜柚果园土壤磷环境风险评价研究[J].中国生态农业学报,2015,23(8):1001-1009.LI F L,ZENG R Q,WEI T J,et al. Risk assessment in soil phosphorus environment of Guanxi pummelo orchard in Pinghe County,Fujian Province[J]. Chinese journal of eco-agriculture,2015,23(8):1001-1009(in Chinese with English abstract).
- [2] 陈军金,陈毅炜.琯溪蜜柚高接换种技术措施[J].中国南方果树,2016,45(1):111-112.CHEN J J,CHEN Y W. Guanxi pomelo top-working technical measures [J]. South China fruits,2016,45(1):111-112(in Chinese with English abstract).
- [3] 曾瑞琴.平和县琯溪蜜柚果园土壤养分状况及其施肥建议[J].福建农业科技,2012(10):67-69.ZENG R Q. Soil nutrient status and recommendation for fertilization in Guanxi honey pomelo garden in Pinghe County[J]. Fujian agricultural science and technology,2012(10):67-69(in Chinese with English abstract).
- [4] 李清华,王飞,黄绿林,等.平和琯溪蜜柚施肥现状调查分析[J].南方农业学报,2016,47(12):2059-2064.LI Q H,WANG F,HUANG L L,et al. Investigation and analysis of fertilization status for Guanxi honey pomelo in Pinghe County[J]. Journal of southern agriculture,2016,47(12):2059-2064(in Chinese with English abstract).
- [5] 梁珊珊.我国柑橘主产区氮磷钾肥施用现状及减施潜力研究[D].武汉:华中农业大学,2017.LIANG S S. Studies on NPK fertilization status and the potential of reducing application rate in major citrus planting regions of China[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2017(in Chinese with English abstract).
- [6] 位高生,胡承孝,谭启玲,等.氮磷减量施肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(2):471-478.WEI G S,HU C X,TAN Q L,et al. The effect of nitrogen and phosphorus fertilizer reduction on yield and quality of Guanxi pomelo[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers,2018,24(2):471-478(in Chinese with English abstract).
- [7] HACISALIHOGLU G,HART J J,WANG Y H,et al. Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat[J]. Plant physiology,2003,131:595-602.
- [8] 凌丽俐,彭良志,淳长品,等.赣南纽荷尔脐橙叶片微量元素含量状况[J].园艺学报,2010,37(9):1388-1394.LING L L,PENG L Z,CHUN C P,et al. Characteristics analysis of microelement contents in newhall navel orange leaves in southern Jiangxi Province[J]. Acta horticulturae sinica,2010,37(9):1388-1394(in Chinese with English abstract).
- [9] 李美玲,皇飞,郭振升,等.不同锌肥对朝天椒产量和品质的影响[J].陕西农业科学,2018,64(5):30-33.LI M L,HUANG F, GUO Z S,et al. Effects of different zinc fertilizers on yield and quality of Chaotian pepper[J]. Shaanxi journal of agricultural sciences,2018,64(5):30-33(in Chinese).
- [10] 徐绍成,熊贤志.不同锌肥施用量对马铃薯产量及品质的影响[J].农技服务,2017,34(3):16-17.XU S C,XIONG X Z. Effects of different zinc fertilizer application rates on potato yield and quality[J]. Agricultural technical services,2017,34(3):16-17(in Chinese).
- [11] PRASAD R,SHIVAY Y S,KUMAR D. Interactions of zinc with other nutrients in soils and plants-a review[J]. Indian journal of fertilisers,2016,12(5):16-26.
- [12] 李金强,文云,柏自琴.营养诊断配方施肥对琯溪蜜柚及桃产量与品质的影响初探[J].中国南方果树,2013,42(4):54-56.LI J Q,WEN Y,BAI Z Q. Effect of nutritional diagnosis formula fertilization on yield and quality of Guanxi pomelo and peach [J]. South China fruits,2013,42(4):54-56(in Chinese).
- [13] 侯广军,陈海宁,杜加银,等.化肥减肥 30% 对红富士苹果产量与品质的影响[J].烟台果树,2018(3):9-11.HOU G J,CHEN H N,DU J Y,et al. Effect of 30% weight loss by chemical fertilizer on yield and quality of Hongfujii apple [J]. Yantai fruits,2018(3):9-11(in Chinese).
- [14] 黄绿林.山地琯溪蜜柚土肥管理技术[J].中国热带农业,2015(3):93-95.HUANG L L. Techniques of Guanxi pomelo soil and fertilizer management in mountainous [J]. China tropical agriculture,2015(3):93-95(in Chinese with English abstract).
- [15] 刘汝亮,同延安,樊红柱,等.喷施锌肥对渭北旱塬苹果生长及量品质的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):62-65.LIU R L,TONG Y A,FAN H Z,et al. The conservation tillage technique and its influences on farmland environment[J]. Agricultural research in the arid areas,2007,25(3):62-65(in Chinese with English abstract).
- [16] 吴亚楠,刘月,刘婷,等.硼和锌对猕猴桃产量与品质的影响[J].北方园艺,2016,40(17):22-26.WU Y N,LIU Y,LIU T,et al. Effect of boron and zinc nutrition on yield and quality of kiwifruit[J]. Northern horticulture,2016,40(17):22-26(in Chinese with English abstract).
- [17] 叶胜兰.Fe、Zn 对山地梨枣生长特性、产量品质及微量元素含量的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.YE S L. Effects of iron,zinc fertilizers on rowth,quality and the content of microelement on pear-jujube of in the Loess Plateau[D]. Yangling: Journal of Northwest A&F University,2017(in Chinese with English abstract).
- [18] 罗来辉.施锌对沙田柚果实品质的影响[J].嘉应学院学报,2010,28(5):71-74.LUO L H. Applying zinc to citrus grand is fruits quality[J]. Journal of Jiaying University,2010,28(5):71-74(in Chinese with English abstract).
- [19] 张鹏,范家慧,程宁宁,等.水肥一体化减量施肥对芒果产量、品质及肥耗的影响[J].中国土壤与肥料,2019(2):114-118. ZHANG P,FAN J H,CHEN N N,et al. Effect of water and

- fertilizer integration with reduction of fertilizer on yield and quality of mango[J]. *Soil and fertilizer sciences in China*, 2019 (2):114-118(in Chinese with English abstract).
- [20] HE Z L, CALVERT D V, ALVA A K, et al. Thresholds of leaf nitrogen for optimum fruit production and quality in grapefruit [J]. *Soil science society of America journal*, 2003, 67(2): 583-588.
- [21] 黄日升, 朱东煌, 林锦星, 等. 琯溪蜜柚果实分级标准研究[J]. *中国南方果树*, 2015, 44(3): 28-31. HUANG R S, ZHU D H, LIN J X, et al. Study on grading standard of Guanxi pomelo fruit [J]. *South China fruits*, 2015, 44(3): 28-31 (in Chinese with English abstract).

Effects of phosphorus reduction combined with zinc foliar fertilizer on yield and quality of Guanxi pomelo fruit

LIU Huaiwei^{1,2}, TAN Qiling², CHEN Min^{1,2}, ZHUANG Mulai³, LI Xiaobin³, HU Chengxiao^{1,2}

1. *Key Laboratory of Horticultural Plant Biology of Ministry of Education, Wuhan 430070, China;*
2. *Hubei Provincial Engineering Laboratory for New-type Fertilizer/Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*
3. *Pinghe Agriculture Bureau, Fujian Province, Pinghe 363700, China*

Abstract Six treatments including 70% reduction in phosphorus combined without zinc fertilizer, 70% reduction in phosphorus combined with zinc fertilizer, 35% reduction in phosphorus combined without zinc fertilizer, 35% reduction in phosphorus combined with zinc fertilizer, the habitual amount of phosphorus combined without zinc fertilizer, the habitual amount of phosphorus combined with zinc fertilizer were set up in the white flesh Guanxi pomelo in Pinghe area to investigate the effects of phosphorus reduction combined with zinc foliar fertilizer on the yield and quality of Guanxi pomelo fruit in Pinghe County. The nitrogen, phosphorus and potash fertilizers were orderly applied at the period of flowering (mid-March), steady fruiting (mid-May), filling fruiting (late July or early August) and wintering (late November). Foliar zinc fertilizer sprayed during the period of flowering (mid-March) and filling fruiting (late July or early August). Results showed that reducing the amount of phosphate fertilizer increased fruit yield and improved fruit quality. When phosphate fertilizer is reduced by 35%, the fruit yield is increased significantly, and the weight of single fruit and thick skin is significantly reduced. The content of vitamin C, solid-acid ratio and other indicators are increased. 35% reduction in phosphorus combined with zinc fertilizer significantly increased fruit yield, comprehensive quality score, fruit juice rate, water content and vitamin C content. Results of field test showed that phosphate fertilizer can be reduced by 35% in Pinghe Guanxi pomelo orchard. Phosphate fertilizer reduction by 35% combined with zinc fertilizer can significantly increase fruit yield and improve fruit quality. The fertilization rate recommended is phosphate fertilizer (P_2O_5) 0.85 kg/(plant · a), two sprays of 0.2% zinc fertilizer ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) 40 g/(plant · a).

Keywords Guanxi pomelo; phosphorus reduction; combined with zinc foliar fertilizer; fruit yield; fruit quality; fertilization rate recommended; high efficiency utilization of microfertilizer; zero increase in fertilizer; rational application of fertilizer

(责任编辑:赵琳琳)