

# 旱季不同水肥管理对葡萄柚果实营养品质的影响

邓 佳<sup>1</sup>, 张晓敏<sup>2</sup>, 严 毅<sup>3</sup>, 王连春<sup>4</sup>, 吴海波<sup>4</sup>, 刘惠民<sup>1\*</sup>

(1. 西南林业大学 西南山地森林资源保育与利用省部共建教育部重点实验室, 云南 昆明 650224;

2. 西双版纳州森林公安局, 云南 西双版纳 666308; 3. 昆明市海口林场, 云南 昆明 650114;

4. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224;)

**摘 要:**采用  $L_9(3^4)$  正交试验设计, 研究旱季水肥管理技术三因素(品种、施肥量、灌溉强度)对葡萄柚果实营养品质的影响。经直观分析和方差分析综合评价, 结果表明:旱季不同水肥处理对葡萄柚果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸和还原糖含量变化具有明显提高。灌溉因素是影响果实水分、可溶性固形物含量的主要因子, 品种因素是影响 Vc、总酸、总糖和还原糖的关键因子。3 种因素对果实可溶性固形物的影响均达到极显著水平, 品种因素对 Vc、总酸和还原糖的影响达到极显著水平, 施肥、灌溉因素分别对总糖、还原糖的影响极显著。本试验中, 葡萄柚果实营养品质最优组合处理为星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月。

**关键词:** 葡萄柚; 水肥管理; 果实营养品质; 正交试验

**中图分类号:** S723.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-7461(2014)-02-0129-

## Effects of Water and Fertilizer Managements on Nutritional Quality the Grapefruit in Dry Season

DENG Jia<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-min<sup>2</sup>, YAN Yi<sup>3</sup>, WANG Lian-chun<sup>4</sup>, WU Hai-bo<sup>4</sup>, LIU Hui-min<sup>1\*</sup>

(1. Southwest Forestry University, Key Laboratory for Forest Resources Conservation and Use in the Southwest Mountains of China, Ministry of Education, Kunming, Yunnan 650224, China; 2. Xishuangbanna Forest Public Security Bureau, Xishuangbanna,

Yunnan 666308, China; 3. Kunming Haiko Forest Farm, Kunming, Yunnan 650114, China;

4. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

**Abstract:** In order to understand the effects of water and fertilizer managements on grapefruit fruit nutritional quality in dry season, orthogonal experiment with three factors (fertilizer variety, quantity, and irrigation intensity) was carried out. The results indicated that all the water and fertilizer managements significantly promoted fruit quality, such as the contents of fruit water, soluble solid, Vc, total acid, and reducing sugar. Irrigation intensity was the main factor for water content and soluble solid content. Fertilizer variety was the key factor for the contents of Vc, total acid, total sugar and reducing sugar. Three factors contributed significantly to soluble solid content. Variety factor had the significantly contribution to Vc, total acid and reducing sugar content. Fertilizing and irrigation factors contributed significantly to total sugar and reducing sugar. The optimal managements were to apply the fertilizer called "Star Ruby" with an amount of 1 kg, and to irrigate twice per month.

**Key words:** grapefruit (*Citrus paradisi*); water and fertilizer management; fruit nutritional quality; orthogonal experiment

葡萄柚(*Citrus paradisi*)属芸香科柑桔属植物,为世界四大柑桔类群之一,它具有结果晚,外形

收稿日期:2013-08-23 修回日期:2013-10-30

基金项目:国家林业局项目([2010]47);云南省省级林业技术推广项目(2012TSYN11)。

作者简介:邓佳,女,博士研究生,研究方向:经济林(果树)栽培与利用。E-mail: dengjia1983@163.com

\* 通信作者:刘惠民,男,博士,教授,博士生导师,研究方向:经济林栽培与利用。E-mail: swfuedu@163.com

美观,果肉细腻,水分含量高等特点,其果实主要用于鲜食和果汁加工,营养保健价值较高<sup>[1]</sup>。云南省西双版纳州从 2002 年开始进行葡萄柚引种栽培,已在果实丰产栽培技术和果实品质等方面展开了广泛的研究,并取得了一定研究成果<sup>[2-4]</sup>。云南省西双版纳地区属于热带季风气候,干湿季节分明,旱季(每年 11 月至次年 4 月)降水量仅占全年降水量的 20%左右,旱季贯穿葡萄柚的花期和春季抽梢期,不利于葡萄柚果树的营养生长和开花结实,且当地经营管理水平较低,影响了葡萄柚果实的品质,限制了果实经济价值提高。为了进一步加强当地葡萄柚果园管理,提高果实品质,笔者结合当地生产实际情况,开展了旱季不同水肥管理对葡萄柚果实营养品质影响的研究,总结出云南省西双版纳地区旱季葡萄柚水肥管理的较优方案,从而为葡萄柚果实丰产栽培管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于云南省西双版纳州普文镇实验林场,地理位置为 22°33'N,101°23'E,海拔 840 m,属于低山河谷地貌。受湿润的西南季风和干暖的西风南支急流的交替控制影响,有明显的干、湿季之分。年日照 1 869.9 h,年均气温 20.1℃,月平均气温最低 13.9℃,最高 23.9℃,年降水量 1 655.3 mm,多集中在 5—10 月,约占全年降雨量的 80%。土壤为紫色砂岩发育的赤红壤,全 N 含量 0.53 g·kg<sup>-1</sup>,全 P 含量 0.09 g·kg<sup>-1</sup>,全 K 含量 0.40 g·kg<sup>-1</sup>,速效 N 含量 182.89 mg·kg<sup>-1</sup>,速效 P 含量 6.68 mg·kg<sup>-1</sup>,速效 K 含量 196.29 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验设计

试验于 2010 年 12 月至 2011 年 5 月进行,供试品种为‘火焰’、‘帕利斯’和‘星路比’葡萄柚。3 个品种于 2002 年春季嫁接于当地 10 年生‘曼赛罗’柚树,株行距 3 m×3 m,2004 年开始挂果。试验设计了品种、施肥量和灌溉强度 3 个因素,每个因素包括 3 个水平(表 1),根据因素水平采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交设计安排试验,共 9 个处理(表 2),每个处理 3 株葡萄柚果树,2 次重复。施肥处理:采用环状沟施,供试肥料为“狮马牌”复合肥(氮、磷、钾含量均为 15%),每 30 d 施肥 1 次;灌溉处理:采用常规田间浇灌,单次灌溉强度为 20 L/m<sup>2</sup>。2011 年 11 月下旬果实成熟后进行统一采收测定分析。

### 1.3 测定分析方法

果实水分含量采用恒温干燥法;可溶性固形物含量采用手持糖量计测定;Vc 含量采用 2,6-二氯

靛酚滴定法;总酸含量采用酸碱滴定法;总糖、还原糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法。所有测定指标均重复 3 次,用 SPSS 软件进行极差分析、方差分析和多重比较。

表 1 田间试验因素水平

Table 1 Field experiment factors and levels table

水平	品种(A)	施肥(B) (kg·株 <sup>-1</sup> )	灌溉(C) 月/(次·月 <sup>-1</sup> )
1	火焰	1.0	4
2	帕利斯	1.5	3
3	星路比	2.0	2

表 2 正交试验设计(L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>))

Table 2 Orthogonal design (L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>))

处理	因素			处理组合
	品种(A)	施肥(B)	灌溉(C)	
1	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	火焰施肥 1 kg 灌溉 4 次/株/月
2	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	火焰施肥 1.5 kg 灌溉 3 次/株/月
3	A <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	火焰施肥 2 kg 灌溉 2 次/株/月
4	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	帕利斯施肥 1 kg 灌溉 3 次/株/月
5	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	帕利斯施肥 1.5 kg 灌溉 2 次/株/月
6	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	帕利斯施肥 2 kg 灌溉 4 次/株/月
7	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月
8	A <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	星路比施肥 1.5 kg 灌溉 4 次/株/月
9	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	星路比施肥 2 kg 灌溉 3 次/株/月

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理组合间的差异分析

对不同水肥处理的葡萄柚果实进行营养品质指标(表 3)多重比较,结果(表 4)表明,火焰品种不同水肥处理组合(1、2、3)的果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖含量的平均值比常规处理(表 3)分别增加了 7.23%、35.24%、13.77%、7.57%、34.98%和 28.8%。其中处理组合 2 的水分(82.91%)、还原糖(0.83%)含量最低,显著低于其他 2 组处理组合,而其他 2 组处理组合间的水分、还原糖含量无显著差异。处理组合 3 的 Vc 含量最高,比含量最低的处理组合 1 增加了 13.14%,二者之间具有显著差异。综合来看,该品种以处理组合 3 果实营养品质较优(即火焰施肥 2 kg 灌溉 2 次/株/月)。帕利斯品种不同水肥处理组合(4、5、6)的果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖含量的平均值比常规处理(表 3)分别增加了 2.25%、17.39%、64.19%、44.79%、25.84%和 27.78%。其中处理组合 6 的总酸含量最高,比处理组合 4、5 分别高出 34.38%和 29.87%,差异达到显著水平,其他各指标不同处理间差异不显著。

综合来看,该品种以处理组合 5 果实营养品质较好(即帕利斯施肥 1.5 kg 灌溉 2 次/株/月)。星路比品种不同水肥处理(7、8、9)的果实水分、可溶性固

形物、Vc、总酸、总糖和还原糖含量的平均值比常规处理(表 3)分别增加了 3.25%、4.44%、130.93%、40.71%、21.23%和 8.09%。其中处理组合 9 的可溶性固形物、Vc 含量显著低于处理组合 7、8,而处理组合 7、8 间无显著差异。处理组合 8 的总酸含量显著低于其他 2 组处理组合,比处理组合 7、9 分别降低了 34.25%和 31.51%。综合来看,该品种以处理组合 7 果实营养品质较优(即星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月)。上述结果表明,早季不同水肥处理

对葡萄柚果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖含量具有不同程度的增加作用,从而提高了葡萄果实的营养价值。

表 3 不同品种葡萄柚果实营养品质

Table 3 Fruit nutritional quality of different variety grapefruit						
品种	水分 /%	可溶固形物 /%	Vc/(mg·100 g <sup>-1</sup> )	总酸 /(g·kg <sup>-1</sup> )	总糖 /%	还原糖 /%
火 焰	82.48	4.38	46.10	3.17	3.23	0.81
帕利斯	89.21	5.27	36.77	2.24	3.16	0.96
星路比	87.92	5.85	26.30	2.53	3.47	1.03

表 4 不同水肥葡萄柚果实营养品质

Table 4 Different water and fertilizer treatments on fruit nutritional quality of grapefruit

处理	水分/%	可溶固形物/%	Vc/(mg·100g <sup>-1</sup> )	总酸/(g·kg <sup>-1</sup> )	总糖/%	还原糖/%
1	91.50a	6.05abc	49.61e	3.31bc	3.40a	1.11a
2	82.91b	5.78bc	51.60de	3.65ab	5.13a	0.83b
3	90.91a	5.94abc	56.13bcd	3.27bc	4.55a	1.19a
4	91.34a	6.20abc	61.79ab	2.88c	3.64a	1.22a
5	91.28a	6.08abc	60.85abc	2.98c	4.39a	1.28a
6	91.04a	6.28ab	58.48abc	3.87a	3.90a	1.18a
7	90.54a	6.32a	64.57a	3.92a	3.70a	1.10a
8	91.05a	6.30a	62.72a	2.92c	4.57a	1.11a
9	90.75a	5.71c	54.91cde	3.84a	4.35a	1.13a

注:表中不同大小写字母表示多重比较 0.05 水平上差异显著。表 5 同。

2.2 影响葡萄柚果实营养品质的最优处理组合及其关键因子

2.2.1 果实水分 葡萄柚果实水分的直观分析结果(表 5)和极差分析结果(表 6)表明,水肥管理影响葡萄柚果实水分的 3 个因素主次顺序为灌溉>品种>施肥,各因素的最优水平为 A<sub>2</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>,最优理论处理组合为 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>,即帕利斯施肥 1 kg 灌溉 4 次/株/月,本试验处理中没有此组合,实际处理水分含量最高组合为 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>,即火焰施肥 1 kg 灌溉 4 次/株/月,与理论最优处理组合不相同。方差分析结果(表 7)显示,3 种因素对果实水分含量影响不显著( $p>0.05$ )。多重比较结果(表 5)表明,不同品种间、不同浓度施肥处理间及不同强度灌溉处理间水分含量差异不显著。

2.2.2 果实可溶性固形物 对果实可溶性固形物进行直观分析(表 5)和极差分析(表 6),结果表明水肥管理影响可溶性固形的各个因素主次顺序是灌溉>品种>施肥,各因素的最优水平为 A<sub>2</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>,最优理论处理组合为 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>,即帕利斯施肥 1 kg 灌溉 4 次/株/月,本试验处理中无此组合,实际处理可溶性固形物含量最高组合为 A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>,即星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月,与理论最优处理组合不相同。方差分析结果(表 7)显示,3 种因素对果实可溶性固形物的影响达到极显著水平( $p<0.01$ )。多重比较结果(表 5)表明, A<sub>2</sub> 和 A<sub>3</sub> 无极显著的差异,但 2 个水平与 A<sub>1</sub> 的差异极显著;B<sub>1</sub> 可溶性固形物含

量最高,B<sub>2</sub> 含量最低,两者之间具有极显著差异,B<sub>3</sub> 与 2 个水平无极显著的差异;C<sub>1</sub> 与 C<sub>3</sub> 无极显著差异,但 2 水平与 C<sub>2</sub> 的差异达到极显著水平。

2.2.3 果实 Vc 直观分析结果(表 5)和极差分析结果(表 6)表明,影响果实 Vc 的 3 个因素主次顺序为品种>灌溉>施肥,各因素的最优水平为 A<sub>3</sub>、B<sub>1</sub>、C<sub>3</sub>,最优理论处理组合为 A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>,即星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月,实际试验结果与理论最优组合相一致。方差分析结果(表 7)显示,品种因素对 Vc 的影响达到极显著水平( $p<0.01$ )。多重比较结果(表 5)表明,A<sub>2</sub> 与 A<sub>3</sub> 无极显著差异,但 2 水平与 A<sub>1</sub> 的差异达到极显著水平;C<sub>3</sub> 的 Vc 含量最高,C<sub>2</sub> 含量最低,两者之间的差异达到显著水平,C<sub>1</sub> 与 2 个水平无显著的差异。

2.2.4 果实总酸 葡萄柚果实总酸的直观分析结果(表 5)和极差分析结果(表 6)表明,水肥管理影响葡萄柚果实总酸的 3 个因素的主次顺序为品种>施肥>灌溉,各因素的最优水平为 A<sub>3</sub>、B<sub>3</sub>、C<sub>3</sub>,最优理论处理组合为 A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>,即星路比施肥 2 kg 灌溉 2 次/株/月,本试验处理中没有此组合,实际处理总酸含量最高组合为 A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>,即星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月,与理论最优处理组合基本一致。方差分析结果(表 7)显示,品种因素对果实总酸的影响达到极显著水平( $p<0.01$ )。多重比较结果(表 5)表明,A<sub>3</sub> 总酸含量最高,与其他 2 个水平的差异达到极显著水平,但 A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub> 无极显著的差异。

表 5 果实营养品质直观分析结果

Table 5 Visual analysis results of fruit nutritional quality

水平	水分			可溶性固形物			Vc		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
K1	88.44	91.12	91.2	5.26B	6.19A	6.21A	52.45B	58.66	56.93ab
K2	91.22	88.41	88.33	6.18A	5.38B	5.23B	60.37A	58.39	56.10b
K3	90.78	90.9	90.91	6.11A	5.98AB	6.11A	60.73A	56.51	60.52a
水平	总酸			总糖			还原糖		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
K1	3.41B	3.13	3.37	3.5	3.58B	3.96	1.04B	1.14ab	1.13AB
K2	3.28B	3.18	3.22	3.98	4.61A	3.52	1.23A	1.07b	1.06B
K3	3.88A	3.66	3.39	4.21	4.26AB	4.21	1.11B	1.17a	1.19A

表 6 影响葡萄柚果实营养品质因素主次与优水平

Table 6 Primary and secondary factors and best levels on quality of grapefruit

果实营养品质	极差值( <i>R</i> )	因素主次顺序	优水平			优组合
			A	B	C	
水分	$R_A=2.78,R_B=2.71,R_C=2.87$	C>A>B	2	1	1	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
可溶性固形物	$R_A=0.26,R_B=0.21,R_C=0.31$	C>A>B	2	1	1	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
Vc	$R_A=8.28,R_B=2.15,R_C=4.42$	A>C>B	3	1	3	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
总酸	$R_A=0.55,R_B=0.53,R_C=0.17$	A>B>C	3	3	3	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
总糖	$R_A=0.70,R_B=0.68,R_C=0.69$	A>C>B	3	2	3	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
还原糖	$R_A=0.18,R_B=0.09,R_C=0.13$	A>C>B	2	3	3	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>

表 7 试验因素水平对葡萄柚果实营养品质影响的方差分析

Table 7 Variance analysis of Experimental factors and levels on grapefruit fruit internal quality influence

果实营养品质	变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	显著值
水分	品种	80.295	2	40.148	0.991	0.379
	施肥	81.476	2	40.738	1.005	0.374
	灌溉	89.695	2	44.847	1.107	0.339
	误差	1 904.383	47	40.519		
	总变异	44 0981.7	54			
可溶固形物	品种	19.124	2	9.562	9.397	0.000 **
	施肥	12.537	2	6.268	6.16	0.003 **
	灌溉	21.015	2	10.507	10.326	0.000 **
	误差	102.775	101	1.018		
	总变异	3 850.31	108			
Vc	品种	526.085	2	263.043	11.021	0.000 **
	施肥	32.882	2	16.441	0.689	0.51
	灌溉	132.119	2	66.06	2.768	0.079
	误差	692.177	29	23.868		
	总变异	12 1863.1	36			
总酸	品种	2.371	2	1.185	7.969	0.002 **
	施肥	0.425	2	0.212	1.428	0.257
	灌溉	0.593	2	0.297	1.994	0.156
	误差	4.016	27	0.149		
	总变异	429.233	34			
总糖	品种	1.476	2	0.738	0.813	0.448
	施肥	13.358	2	6.679	7.361	0.001 **
	灌溉	1.747	2	0.873	0.962	0.388
	误差	55.352	61	0.907		
	总变异	1 227.361	68			
还原糖	品种	0.415	2	0.208	10.406	0.000 **
	施肥	0.116	2	0.058	2.913	0.061
	灌溉	0.207	2	0.104	5.199	0.008 **
	误差	1.296	65	0.02		
	总变异	93.536	72			

注：\* 在 0.05 水平上显著，\*\* 在 0.01 水平上显著。

2.2.5 果实总糖 直观分析结果(表 5)和极差分析结果(表 6)表明,水肥管理影响葡萄柚果实总糖的各个因素主次顺序是品种>灌溉>施肥,各因素的最优水平为 A<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>,最优理论处理组合为 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,即星路比施肥 1.5 kg 灌溉 2 次/株/月,本试验处理中没有此组合,实际总糖含量最高处理组

合为 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>,即星路比施肥 1.5 kg 灌溉 4 次/株/月,与理论最优处理组合基本一致。方差分析结果(表 7)显示,施肥因素对果实总糖的影响达到极显著水平( $p<0.01$ )。多重比较结果(表 5)表明,B<sub>2</sub>总糖含量最高,B<sub>1</sub> 含量最低,两者之间差异达到极显著水平,B<sub>3</sub> 与 2 个水平无显著的差异。

2.3.6 果实还原糖 葡萄柚果实还原糖直观分析(表 5)结果和极差分析(表 6)结果表明,影响果实还原糖的 3 个因素主次顺序是品种>灌溉>施肥,各因素的最优水平为 A<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>、C<sub>3</sub>,最优理论处理组合为 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>,即帕利斯施肥 2 kg 灌溉 2 次/株/月,本试验中无此处理组合,实际还原糖含量最高处理组合为 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,即帕利斯施肥 1.5 kg 灌溉 2 次/株/月,与理论最优处理组合基本一致。方差分析结果(表 7)显示,品种和灌溉因素对果实还原糖的影响达到极显著水平( $p<0.01$ )。多重比较结果(表 5)表明,A<sub>2</sub> 的还原糖含量最高,与其他 2 个水平的差异达到极显著水平,但 A<sub>1</sub> 与 A<sub>3</sub> 无显著差异;B<sub>3</sub> 还原糖含量最高,B<sub>1</sub> 次之,B<sub>2</sub> 最低,B<sub>2</sub> 与 B<sub>3</sub> 差异极显著,B<sub>1</sub> 与 2 个水平无显著差异;C<sub>3</sub> 还原糖含量最高,C<sub>2</sub> 最低,两者之间具有极显著差异,C<sub>1</sub> 与 2 个水平无显著差异。

### 3 结论与讨论

正交试验设计与数据分析是选择最佳试验方案的一个十分有效的工具,它针对试验过程存在的多因素、多水平的复杂研究条件,利用标准化的正交表来安排试验方案,并对试验结果进行计算分析,最终达到减少试验次数,缩短试验周期,迅速找到优化方案的一种科学试验设计方法,具有合理性、可靠性、高效性等优点<sup>[5-6]</sup>。目前,正交试验设计方法已在多种植物的栽培管理研究中广泛应用,皆取得较好的效果<sup>[7-9]</sup>。本试验采用正交设计的方法,通过极差分析和方差分析,研究分析了影响葡萄柚果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖的 3 个因素的主次,同时分别筛选了最佳田间水肥管理措施。当然,正交试验设计是一种理论设计,不可能包括所有处理组合,最优的实际组合未必与理论组合相一致,他能否发挥较好的效果,关键在于参试因子与试验水平范围的正确选择<sup>[10]</sup>。

果树生产过程中,采用合理的田间水肥栽培技术,是保证果树生长和改善果实品质的一项重要管理措施。目前,关于田间水肥管理试验对不同果树果实营养品质影响方面的研究,已有大量报道,结果表明水肥管理技术具有显著的增产和提高果实品质的效果<sup>[11-14]</sup>。本研究结果表明,旱季不同田间水肥处理对葡萄柚果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖等营养指标含量均有不同程度的提高。不同水肥处理后火焰品种(处理组合 1、2、3)的果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖含量的平均值比常规处理增加了 7.23%、35.24%、13.77%、7.57%、34.98% 和 28.8%。帕

利斯品种(处理组合 4、5、6)的果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖含量的平均值比常规处理增加了 2.25%、17.39%、64.19%、44.79%、25.84% 和 27.78%。星路比品种(处理组合 7、8、9)的果实水分、可溶性固形物、Vc、总酸、总糖和还原糖含量的平均值比常规处理增加了 3.25%、4.44%、130.93%、40.71%、21.23% 和 8.09%。综合来看,3 个品种分别以处理组合 3、5、7 的果实营养品质较优(即火焰施肥 2 kg 灌溉 2 次/株/月、帕利斯施肥 1.5 kg 灌溉 2 次/株/月、星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月)。

极差分析结果表明,品种是影响 Vc、总酸、总糖和还原糖含量的主要因子,灌溉是影响水分、可溶性固形物含量的主要因子。3 种因素(品种、施肥、灌溉)的直观分析结果表明,星路比果实营养品质略优于帕利斯,两者均优于火焰。灌溉强度 2 次/月和 4 次/月的果实营养品质相近,两者均优于 3 次/月。施肥强度 1 kg/月和 2 kg/月的果实营养品质相近,两者均优于 1.5 kg/月。

矿质营养是果实生长发育、产量形成和品质提高的物质基础。矿质元素的施用对营养生长、光合作用均有促进作用,还可加快淀粉和糖类运转,提高果实品质<sup>[15]</sup>。有研究报道,旱地果园对氮、磷、钾的需求量大,但由于干旱胁迫导致其有效性降低<sup>[16]</sup>。因此,合理施用并发挥氮、磷、钾的独特作用,对旱地果园施肥具有重要指导意义。张雯<sup>[17]</sup>等人对干旱地区苹果园进行灌溉研究,结果发现合理的灌溉量、方式保证了果实新梢生长量、光合作用,进而促进果实营养生长,提高果实品质。张士功<sup>[16]</sup>等认为,干旱条件下,较高的养分水平能够促进作物生长,使作物建立起一个比较合理的营养体,增加对深层土壤水分的利用,使作物能够充分利用土壤贮存水分;另外,无机营养还可以作为可溶性的小分子化合物,植物在高营养状况下增强自身的渗透调节能力,因而保持了较好的水分状况,达到“以肥调水”的目的。

综上所述,根据本试验所涉及因素及水平,从节约成本、提高水肥利用效率的角度考虑,星路比施肥 1 kg 灌溉 2 次/株/月处理最佳,与理论最优处理组合 7(A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>)相一致。

### 参考文献:

[1] 李贤忠,刘惠民,姜超强,等. 引进葡萄柚营养状况与果实品质的相关性[J]. 经济林研究,2008,26(2):17-22.  
LI X Z, LIU H M, JIANG C Q, et al. Correlations between Nutrition status and fruit quality of introduced *Citrus paradise* Macf [J]. Nonwood Forest Research, 2008, 26(2):17-22. (in Chinese)

[2] 吴海波, 刘惠民. 葡萄柚的栽培及研究概况[J]. 经济林研究, 2005, 23(1):69-73.  
WU H B, LIU H M. Progress of grapefruit cultivation and research[J]. Nonwood Forest Research, 2005, 23(1):69-73. (in Chinese)

[3] 姜超强, 刘惠民. 云南引进葡萄柚品种果实品质评价[J]. 西南林学院学报, 2007(2):30-32.  
JIANG C Q, LIU H M. Evaluation on the fruit quality of 9 citrus paradise cultivars introduced into Yunnan Province [J]. Journal of Southwest Forestry College, 2007(2):30-32. (in Chinese)

[4] 严毅, 张南新, 何承忠, 等. 葡萄柚不同砧木嫁接亲和性与保护酶活性相关性分析[J]. 北方园艺, 2012(11):8-11.  
YAN Y, ZHANG N X, HE C Z, *et al.* Analysis on the correlation between the grafting affine of different stock and protection of enzyme activity in grapefruit [J]. Northern Horticulture, 2012(11):8-11. (in Chinese)

[5] 徐仲安, 王天保, 李常英, 等. 正交试验设计法简介[J]. 科技情报开发与经济, 2002, 12(5):148-150.  
XU Z A, WANG T B, LI C Y, *et al.* Brief introduction to the orthogonal test design [J]. Sci/Tech Information Development & Economy, 2002, 12(5):148-150. (in Chinese)

[6] 董如何, 肖必华, 方永水. 正交试验设计的理论分析方法及应用[J]. 安徽建筑工业学院学报, 2004, 12(6):103-106.  
DONG R H, XIAO B H, FANG Y S. The theoretic analysis of orthogonal test designs [J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry, 2004, 12(6):103-106. (in Chinese)

[7] 陆斌, 陈芳, 宁德鲁, 等. 欧洲榛子的扦插繁殖试验[J]. 云南林业科技, 2003(9):64-67.  
LU B, CHEN F, NING D L, *et al.* Cutting experimental study of *Corylus avellana* [J]. Yunnan Forestry Science and Technology, 2003(9):64-67. (in Chinese)

[8] 刘立成, 黎斌, 张莹, 等. 沙藏处理和赤霉素协同作用对阔叶十大功劳种子萌发的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(8):194-197.  
LI L C, LI B, ZHANG Y, *et al.* Synergistic effect of sand storage and gibberellin treatments on *Mahonia fortunei* seed germination [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(8):194-197. (in Chinese)

[9] 唐文忠, 王小媚, 黄伟雄, 等. 应用正交试验设计优选番木瓜组培苗生根培养基研究[J]. 南方农业学报, 2012, 43(11):1672-1675.  
TANG W Z, WANG X M, HUANG W X, *et al.* Rooting medium optimization of *Carica papaya* plantlets by using orthogonal design [J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(11):1672-1675. (in Chinese)

[10] 张雅文, 肖蓉萍, 任建军, 等. 树莓生根培养的正交试验设计分析[J]. 河南科学, 2004, 22(1):70-72.  
ZHANG Y W, XIAO R P, REN J J, *et al.* Orthogonal design analysis in the rooting experiment of *Rubus corchorifolius* [J]. Henan Science, 2004, 22(1):70-72. (in Chinese)

[11] 任玉忠, 王水献, 谢蕾, 等. 干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22):95-102.  
REN Y Z, WANG S X, XIE L, *et al.* Effect of irrigation methods on water use efficiency and fruit quality of jujube in arid area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(22):95-102. (in Chinese)

[12] 房玉林, 孙伟, 万力, 等. 调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(13):2730-2738.  
FANG Y L, SUN W, WAN L, *et al.* Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on wine grape growth and fruit quality [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(13):2730-2738. (in Chinese)

[13] 焦蕊, 于丽辰, 贺丽敏, 等. 有机肥施肥方法和施肥量对富士苹果果实品质的影响[J]. 河北农业科学, 2011, 15(2):37-38, 61.  
JIAO R, YU L C, HE L M, *et al.* Effects of fertilization methods and application rate of organic fertilizer on fruit quality of Red Fuji apple [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2011, 15(2):37-38, 61. (in Chinese)

[14] 赵林, 杨峰, 张玉娇, 等. 不同施肥方式对黄冠梨果实发育特性及果实品质的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(6):98-101.  
ZHAO L, YANG F, ZHANG Y J, *et al.* Effect of fertilizer application methods on fruit development characteristics and quality of “Huangguan” pear [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2013, 22(6):98-101. (in Chinese)

[15] 张立新, 张林森, 李丙智, 等. 旱地苹果矿质营养及其在生长发育中的作用[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(3):111-115.  
ZHANG L X, ZHANG L S, LI B Z, *et al.* Mineral nutrition elements and their roles in growth and development of apple trees in arid areas [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(3):111-115. (in Chinese)

[16] 张士功, 刘国栋, 刘更另. 植物营养与植物抗旱性[J]. 植物学通讯, 2001, 18(1):64-69.  
ZHANG S G, LIU G D, LIU G L. Plant nutrition and drought resistance of crops [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18(1):64-69. (in Chinese)

[17] 张雯, 安贵阳, 李翠红. 根系分区交替灌溉对富士苹果光合作用及果实品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6):33-37.  
ZHANG W, AN G Y, LI C H. Effect of alternative partial root-zone irrigation on the photosynthesis and fruit quality in Fuji apple trees[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(6):33-37. (in Chinese)