

香榧种实充实期叶面施肥对种实品质的影响

郝琪淳¹, 谢吉全², 戴文圣¹, 李柯豫¹, 俞晨良¹, 喻卫武¹

(1. 浙江农林大学 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 淳安县住房和城乡建设局, 浙江 杭州 311700)

摘要: 【目的】以香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 种实充实期补肥作为切入点, 研究香榧种实的外观性状、营养品质、元素质量分数、花芽分化、膨大坐果等, 以期补充树体营养及提高种实品质提供理论依据。【方法】在 6—8 月香榧种实充实期, 施用清水作为对照, 并喷施 7 种商品叶面肥进行处理 (氨基酸水溶肥、黄腐酸水溶肥、活力钾水溶肥、高力钙水溶肥、液体硼水溶肥、微量元素水溶肥、大量元素水溶肥), 测定香榧种实外形、含油率及脂肪酸组分、粗蛋白质量分数、淀粉质量分数、可溶性糖质量分数、成花强度等指标, 分析施肥对香榧种实品质的影响。【结果】喷施氨基酸水溶肥和大量元素水溶肥能显著 ($P < 0.05$) 增加香榧种实的核形指数、单核质量、出核率、仁型指数、单仁质量, 显著 ($P < 0.05$) 降低淀粉质量分数, 明显提高油脂质量分数、可溶性糖质量分数及成花强度, 其中氨基酸水溶肥处理的香榧种实单核质量较对照提高 9.8%, 淀粉质量分数较对照减少 1.9%; 大量元素水溶肥处理的香榧种实单仁质量、油脂质量分数、可溶性糖质量分数较对照分别增加 9.5%、11.9%、15.9%。同时, 喷施氨基酸水溶肥对香榧种实金松酸相对含量起到显著 ($P < 0.05$) 的促进作用, 较对照增加 15.9%; 喷施大量元素水溶肥香榧种实不饱和脂肪酸相对含量较对照显著 ($P < 0.05$) 增加 4.2%。此外, 高力钙水溶肥对香榧种实出仁率、成花强度和坐果率具有促进作用, 较对照分别提高 3.3%、17.1% 和 10.9%; 活力钾水溶肥较对照显著 ($P < 0.05$) 提高香榧种实蛋白质质量分数 13.6%。通过主成分分析发现: 氨基酸水溶肥处理的香榧种实品质综合评分最高。【结论】喷施不同叶面肥对香榧种实品质的作用存在差异, 氨基酸水溶肥处理的效果最佳, 高力钙水溶肥、大量元素水溶肥次之。图 3 表 5 参 29

关键词: 香榧; 种实充实期; 叶面施肥; 果实质量

中图分类号: S725.5; Q945.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2024)03-0457-10

Effect of foliar fertilization on seed quality of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ during seed filling period

HAO Qichun¹, XIE Jiquan², DAI Wensheng¹, LI Keyu¹, YU Chenliang¹, YU Weiwu¹

(1. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China;

2. Housing and Urban Rural Development Bureau of Chun'an County, Hangzhou 311700, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] This study aims to explore aspects of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seeds, including appearance, nutritional quality, element content, flower bud differentiation, and expansion and fruit setting, so as to provide a theoretical basis for supplementing tree nutrition and improving seed quality. [Method] During the seed filling period of *T. grandis* ‘Merrillii’ from June to August, the seeds were treated with water as a control and sprayed with 7 commercial foliar fertilizers (amino acid water-soluble fertilizer, fulvic acid water-soluble fertilizer, active potassium water-soluble fertilizer, high-strength calcium water-soluble fertilizer, liquid

收稿日期: 2023-03-04; 修回日期: 2023-07-30

基金项目: 浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目 (2022C02061); 浙江省重大科技专项 (2021C02066-11); 浙江省省院合作林业科技项目 (2021SY11, 2022SY14)

作者简介: 郝琪淳 (ORCID: 0009-0005-0796-3293), 从事经济林培育研究。E-mail: ZAFUhcq@163.com。通信作者: 喻卫武 (ORCID: 0000-0003-4246-4287), 高级实验师, 从事经济林栽培与产品分析研究。E-mail: yww888@zafu.edu.cn

boron water-soluble fertilizer, trace element water-soluble fertilizer, and macro-element water-soluble fertilizer). Physiological indicators of seeds in terms of seed morphology, oil content and fatty acid composition, crude protein content, starch content, soluble sugar content, and flowering intensity were measured and their effects on seed quality were analyzed. [Result] Spraying amino acid water-soluble fertilizer and macro-element water-soluble fertilizer significantly increased ($P < 0.05$) the kernel shape index, single kernel mass, nucleation rate, kernel type index, and single kernel mass of seeds, as well as oil content, soluble sugar content, and flowering intensity, and significantly reduced starch content. Among them, the single kernel mass of seeds treated with amino acid water-soluble fertilizer increased by 9.8% compared with the control, while the starch content decreased by 1.9%. The single kernel mass, oil content, and soluble sugar content of seeds treated with macro-element water-soluble fertilizer increased by 9.5%, 11.9%, and 15.9%, respectively, compared with the control. At the same time, spraying amino acid water-soluble fertilizer significantly promoted ($P < 0.05$) the content of taxoleic acid in seeds, which increased by 15.9% compared with the control, while spraying macro-element water-soluble fertilizer significantly ($P < 0.05$) increased the content of unsaturated fatty acids in seeds by 4.2% compared with the control. In addition, high-strength calcium water-soluble fertilizer had a significant promoting effect ($P < 0.05$) on the increase of kernel yield, flowering intensity, and fruit setting rate, which were 3.3%, 17.1%, and 10.9% higher than the control. The active potassium water-soluble fertilizer significantly increased the protein content of seeds by 13.6% compared with the control. Principal component analysis showed that the comprehensive quality score of seeds treated with amino acid water-soluble fertilizer was the highest. [Conclusion] The amino acid water-soluble fertilizer treatment has the best effect, followed by high-strength calcium water-soluble fertilizer and macro-element water-soluble fertilizer. [Ch, 3 fig. 5 tab. 29 ref.]

Key words: *Torreya grandis* ‘Merrillii’ ; seed filling period; foliar fertilization; fruit quality

香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 是榧树 *Torreya grandis* 中的优良变异经人工选育的优良品种^[1], 是中国特有的珍贵经济干果树种^[2]。随着人们生活水平的提高, 以香榧为代表的健康休闲类坚果消费需求不断增加, 市场不断扩大^[3]。近年来, 浙江省香榧产业发展迅速, 平均每年增长面积达 3 127 hm², 10 余年来种植面积增长了 140%^[4]。但当前的香榧林地种植模式较为粗放, 在长期的栽培、繁育过程中, 存在较多问题。如为了提高产量, 大量施肥, 施肥结构不合理, 导致环境受到污染^[5]; 林区土壤养分受人为活动影响明显, 人工成本高, 香榧吸收土壤养分所需时间长^[6]; 通过栽培措施, 香榧产量有所增多, 但种实品质下降, 树体的生长也受到影响^[7]。每年 6—9 月是香榧的种实充实期, 种实体积无明显变化, 光合作用的产物主要用于种仁发育和内部物质积累^[8]。生产上为了避免引起“反青”现象, 在香榧种实充实期不施用肥料, 但是, 在实践中发现不及时补充营养元素会对香榧树体后期生长以及香榧种实的品质产生影响。为提高香榧种实品质, 在保证相对一致的生产管理条件下, 本研究以香榧种实充实期补肥作为切入点, 对香榧种实的外观性状以及营养品质开展研究。研究结果可为筛选优良商品叶面肥, 提高香榧种实品质提供理论和生产依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验区位于浙江省杭州市临安区畈龙村香榧基地 (31°19'46"N, 120°43'27"E), 亚热带季风气候, 气候总体特征为四季分明, 空气湿润, 雨量丰沛, 光照充足。年平均气温为 17.1 °C, 极端最高气温为 39.4 °C, 极端最低气温为 -10.4 °C, 年平均降水量为 1706.5 mm, 年平均相对湿度为 80%, 年平均风速为 1.6 m·s⁻¹。试验样地 0~20 cm 土壤中全氮、全磷和全钾的质量分数分别为 1.96、0.96、9.95 g·kg⁻¹。样地香榧年产量约为 350 kg, 每年施肥以复合肥和猪粪为主。

1.2 试验方法

选取香榧基地内立地条件、株高、结实量基本一致的 40 株 15 年生香榧为研究对象，在香榧种实充实期 (2021 年 6—8 月) 喷施叶面肥。设置清水对照 (ck)，氨基酸水溶肥 (处理 A，活性氨基酸 $100.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、有机质 $130.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、锌 $15.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、硼 $5.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)，黄腐酸水溶肥 (处理 F，黄腐酸 $500.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、腐殖酸 $700.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有机质 $750.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、氧化钾 $120.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)，活力钾水溶肥 (处理 K，钾 $400.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、氮 $110.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、磷 $40.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、镁 $20.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、硼 $2.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、锌 $1.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)，高力钙水溶肥 (处理 CA，钙 $195.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、硼+锌+铁 $10.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、镁 $5.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)，液体硼水溶肥 (处理 B，硼 $150.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、锌 $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)，微量元素水溶肥 (处理 W，铁 $75.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、锌 $30.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、硼 $20.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、镁 $12.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、锰 $12.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、铜 $2.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、钼+钴 $1.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)，大量元素水溶肥 (处理 D，氮 $250.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、磷 $80.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、钾 $200.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、硼+锌 $4.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 8 个处理，稀释 1 000 倍施用，隔 20 d 喷 1 次，连续喷施 3 次，每个处理喷施 5 株；选择天气晴朗的 10:00 前或 17:00 后完成喷施，以叶片和果面滴水为度。叶面肥购于深圳市杜高生物新技术有限公司。

1.3 生理指标测定

于 2021 年 9 月中上旬香榧种实开裂后，分别在每株样树的东、西、南、北 4 个方向随机采集成熟香榧鲜种实 60 颗，置于干冰中带回实验室，置于 $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存。测完种实表型后将其置于阴凉通风处，等待假种皮自然开裂，用于后续研究。测定内容包括种核纵径、种核横径、核形指数 (种核纵径/种核横径)、单核质量、出核率、种仁纵径、种仁横径、仁形指数 (种仁纵径/种仁横径)、单仁质量、出仁率及种仁油脂质量分数、蛋白质质量分数、淀粉质量分数、可溶性糖质量分数、脂肪酸组成、矿质元素质量分数共 16 个种实性状指标^[9]。翌年 3—5 月统计成花强度、膨大率和坐果率。

1.3.1 种实外形指标测定 用精度为 0.01 cm 的电子游标卡尺测量种核和种仁的纵横径；用万分之一电子天平测量单核质量和单仁质量。

1.3.2 油脂、蛋白质、淀粉、可溶性糖质量分数和脂肪酸组分测定 油脂质量分数参照 GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》测定；蛋白质质量分数用凯氏定氮法测定；淀粉和可溶性糖质量分数参照蒽酮比色法测定；脂肪酸组分根据 GB 5009.168—2016《食品中脂肪酸的测定》测定，将提出的油进行甲酯化，采用峰面积归一化法测定脂肪酸相对含量。

1.3.3 元素质量分数测定 用硫酸-过氧化氢 ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$) 联合消煮法消煮待测样品，氮和磷质量分数采用凯氏定氮法和钼锑抗比色法测定；用硝酸-过氧化氢 ($\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$) 联合消煮法消煮待测样品，钾、铜、锌、铁、锰、钙、镁的质量分数采用 ICPA-PRO 电感耦合等离子体质谱仪测定。

1.3.4 成花强度测定 于 2022 年 5 月统计每株样树上部、中部、下部共 20 根 1 年生枝的花芽及叶芽的数量，并计算成花强度=(花芽数量/总芽数量) $\times 100\%$ 。

1.3.5 膨大率和坐果率测定 于 2022 年 3 月统计每株样树上 10 根枝条的第 2 代果实数量，从 5 月开始隔 5~10 d 统计 1 次种实数量，直到 7 月初共统计 6 次。膨大率=(每次膨大种实数量/3 月种实数量) $\times 100\%$ ，坐果率=(每次种实数量/3 月种实数量) $\times 100\%$ 。

1.4 数据统计与分析

所有数据均测定 3 个以上生物学重复，取平均值。利用 Excel 2022 和 SPSS 25.0 进行数据整理与统计分析，利用单因素方差分析比较不同叶面肥处理下香榧种实之间存在的差异，运用最小显著性差异法进行多重比较，使用主成分分析法对香榧种实品质进行综合评价，采用 Graph Pad Prism 制图。

2 结果与分析

2.1 不同叶面肥处理对香榧种实形态指标的影响

由表 1 可知：处理 A 和处理 F 对于香榧种实的核形指数、单核质量、单仁质量较对照均有显著 ($P < 0.05$) 提高；处理 D 的单仁质量较对照显著 ($P < 0.05$) 增加了 9.5%；处理 CA 对于香榧种实出仁率的影响比其他叶面肥显示出更大的优势，比对照增加了 3.3%。

2.2 不同叶面肥处理对香榧种实品质指标的影响

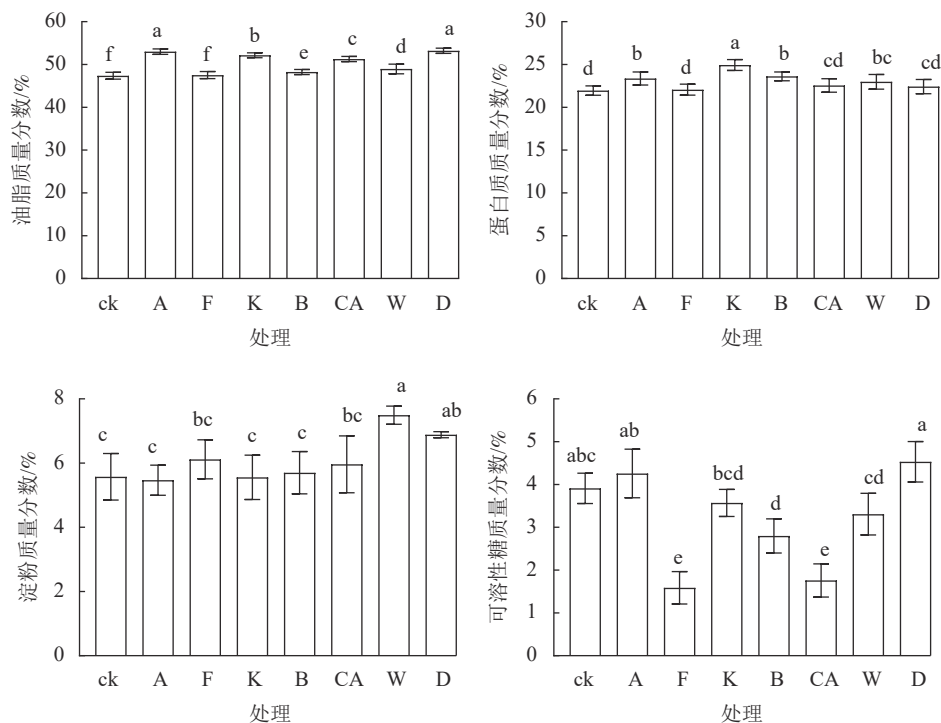
2.2.1 不同叶面肥处理对香榧种实油脂、蛋白质、淀粉、可溶性糖质量分数的影响 由图 1 可知：处理

表1 不同叶面肥处理下香榧种实形态指标的比较

处理	核形指数	单核质量/g	出核率/%	仁形指数	单仁质量/g	出仁率/%
ck	1.844±0.071 b	1.833±0.257 b	20.027±0.647 ab	2.228±0.086 ab	1.209±0.071 b	66.009±0.345 c
A	2.001±0.093 a	2.013±0.207 a	21.720±0.944 a	2.233±0.144 a	1.357±0.099 a	67.742±0.651 b
F	1.979±0.042 a	1.993±0.105 a	18.923±0.211 bc	2.225±0.053 ab	1.333±0.056 a	66.864±0.993 bc
K	1.927±0.040 ab	1.904±0.107 ab	19.386±0.828 bc	2.179±0.056 ab	1.296±0.074 ab	67.184±0.804 b
B	1.961±0.105 ab	1.952±0.277 ab	18.059±0.724 c	2.192±0.125 ab	1.291±0.198 ab	66.947±0.947 bc
CA	1.962±0.072 ab	1.939±0.083 ab	19.520±0.864 b	2.231±0.088 a	1.321±0.057 ab	68.197±0.218 a
W	1.936±0.083 ab	1.906±0.152 ab	21.403±0.455 a	2.070±0.093 b	1.276±0.104 ab	66.981±0.645 bc
D	1.944±0.035 ab	1.970±0.065 ab	19.952±0.614 b	2.190±0.038 ab	1.324±0.047 a	67.230±0.932 b

说明：数据为均值±标准差。同一列的不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

D、处理 A、处理 K 的香榧种实油脂质量分数分别为 53.202%、53.003% 和 52.151%，比对照分别增加了 12.3%、11.9% 和 10.1%；处理 K 的香榧种实的蛋白质质量分数为 24.937%，比对照增加了 13.6%，同时处理 B 和处理 A 的香榧种实蛋白质质量分数分别为 23.615% 和 23.362%，较对照分别显著 ($P<0.05$) 增加了 7.6% 和 6.4%；处理 A、处理 K 和对照间的香榧种实淀粉质量分数无显著差异，但显著 ($P<0.05$) 低于其他处理，最低的是处理 A，为 5.467%，低于对照 1.9%；处理 A 和处理 D 对香榧种实可溶性糖质量分数产生显著 ($P<0.05$) 促进作用，分别为 4.257% 和 4.530%，与对照相比分别增加 8.9% 和 15.9%。



不同小写字母表示香榧种实不同叶面肥处理间差异显著 ($P<0.05$)。

图1 不同叶面肥处理对香榧种实品质的多重比较

Figure 1 Multiple comparison of seed quality of *T. grandis* 'Merrillii' with different foliar fertilizer treatments

2.2.2 不同叶面肥处理对香榧种实脂肪酸相对含量的影响 由表2可知：香榧种实中所含脂肪酸多为硬脂酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生一烯酸、花生二烯酸、金松酸这8种脂肪酸，其中不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸、亚麻酸、花生一烯酸、花生二烯酸、金松酸)的相对含量远远高于饱和脂肪酸(硬脂酸、棕榈酸)。脂肪酸中亚油酸的相对含量最高(39.512%~43.900%)，其次是油酸(35.254%~38.172%)、金松酸(7.591%~8.797%)、棕榈酸(6.706%~8.985%)，亚麻酸相对含量最低，为0.279%~0.330%，可见香榧种实中的不饱和脂肪酸主要是亚油酸和油酸。

表 2 不同叶面肥处理下香榧种实脂肪酸组成和相对含量

Table 2 Composition and contents and fatty acid under different foliar fertilizer treatments of seeds in *T. grandis* 'Merrillii'

处理	相对含量/%				
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
ck	8.985±0.106 g	3.528±0.107 e	38.172±3.327 a	39.512±2.915 d	0.279±0.008 d
A	8.451±0.115 e	2.927±0.127 d	35.254±2.426 e	42.364±2.700 b	0.291±0.013 cd
F	7.965±0.222 d	2.297±0.019 ab	36.658±2.457 bc	42.412±2.858 b	0.287±0.009 d
K	8.627±0.323 f	3.147±0.237 d	37.246±2.431 b	40.570±3.552 c	0.330±0.016 a
B	6.822±0.413 b	2.505±0.214 bc	36.848±1.673 bc	42.973±2.907 b	0.301±0.014 bc
CA	7.045±0.375 c	2.622±0.327 c	36.910±1.781 bc	42.606±3.682 b	0.301±0.017 bc
W	6.897±0.408 b	2.397±0.112 bc	35.862±1.535 de	43.950±3.648 a	0.303±0.022 bc
D	6.706±0.636 a	2.158±0.313 a	36.479±2.298 cd	43.974±3.358 a	0.307±0.025 b

处理	相对含量/%				
	花生一烯酸	花生二烯酸	金松酸	饱和脂肪酸	不饱和脂肪酸
ck	0.452±0.021 b	1.480±0.130 b	7.591±0.868 e	12.513±2.303 g	87.487±5.826 g
A	0.472±0.057 b	1.446±0.110 b	8.797±0.334 a	11.377±2.341 e	88.623±6.141 e
F	0.476±0.043 b	1.462±0.115 b	8.442±0.503 bc	10.262±2.309 d	89.738±7.509 d
K	0.543±0.045 a	1.478±0.186 b	8.060±1.046 d	11.774±2.558 f	88.226±6.007 f
B	0.496±0.044 ab	1.543±0.093 b	8.513±1.034 bc	9.327±1.628 b	90.673±7.933 b
CA	0.453±0.062 b	1.721±0.080 a	8.342±0.987 c	9.666±1.703 c	90.334±8.103 c
W	0.444±0.012 b	1.528±0.096 b	8.619±0.923 ab	9.294±1.522 b	90.706±7.841 b
D	0.457±0.030 b	1.592±0.142 ab	8.328±0.720 c	8.864±0.950 a	91.136±8.058 a

说明：数据为均值±标准差。同列的不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

棕榈酸、硬脂酸和油酸相对含量在对照中最高。棕榈酸和硬脂酸相对含量在处理 B 和处理 W 间无显著差异，但它们与其他处理间差异显著 ($P<0.05$)，处理 D 相对含量最低；油酸相对含量在处理 F、处理 B、处理 CA 处理间无显著差异，但它们与其他处理间差异显著 ($P<0.05$)，处理 A 相对含量最低；亚油酸相对含量在处理 W、处理 D 间无显著差异，但显著 ($P<0.05$) 高于其他处理；亚麻酸和花生一烯酸相对含量在处理 K 中显著 ($P<0.05$) 高于其他处理，其他处理之间无显著差异；处理 A 的亚麻酸相对含量显著 ($P<0.05$) 高于其他处理，其他处理之间无显著差异；金松酸相对含量最高的是处理 A，最低的是对照处理。饱和脂肪酸相对含量最低，不饱和脂肪酸相对含量最高的是处理 D。从不饱和脂肪酸相对含量来讲，处理 D、处理 W、处理 B、处理 CA 处理优于其他处理，尽管各脂肪酸成分不同。

2.2.3 不同叶面肥处理对香榧种仁元素质量分数的影响 香榧种仁中含有丰富的营养元素。从表 3 可以看出：氮元素质量分数为 $51.050\sim 54.645\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，镁元素质量分数为 $4.595\sim 5.188\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，铁元素质量分数为 $45.718\sim 68.594\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。氮、镁、铁元素质量分数最高的均为处理 A 的香榧种仁，比对照分别增加了 6.9%、11.6%、5.8%。铜元素质量分数为 $17.874\sim 22.911\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，锰元素质量分数为 $27.497\sim 35.295\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，铜、锰质量分数最高的均为处理 F 的香榧种仁，比对照分别增加了 3.9%、28.3%。磷元素质量分数为 $6.139\sim 6.728\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，钙元素质量分数 $0.706\sim 0.879\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，磷和钙质量分数最高的均为处理 CA 的香榧种仁，比对照分别增加了 9.6% 和 14.0%。

2.2.4 不同叶面肥处理对香榧种实翌年成花强度的影响 如图 2 所示：处理 A、处理 F、处理 CA、处理 D 对于花芽比例的提升均有一定作用，且差异显著 ($P<0.05$)，其中处理 A 的成花强度 (47.415%) 和处理 CA 的成花强度 (47.058%) 显著 ($P<0.05$) 高于其他处理，较对照分别提高了 18.0% 和 17.1%；次之为处理 D 的成花强度 ($44.805\%\pm 3.549\%$) 和处理 F 的成花强度 ($44.258\%\pm 1.375\%$)，较对照分别提高 11.5% 和 10.1%；处理 W 的成花强度 ($37.680\%\pm 2.332\%$) 最低，比对照减少 6.2%。

2.2.5 不同叶面肥处理对香榧种实第 2 年膨大率和坐果率的影响 从图 3 可以看出：5 月 13—19 日香榧种实的膨大率在波动中呈上升趋势，5 月 19—23 日处理 B 膨大率仍在继续上升，而其他处理则开始下

表3 不同叶面肥处理下香榧种仁营养元素质量分数

Table 3 The element contents of kernel under different foliar fertilizer treatments in *T. grandis* 'Merrillii'

处理	氮/(g·kg ⁻¹)	磷/(g·kg ⁻¹)	钾/(g·kg ⁻¹)	钙/(g·kg ⁻¹)	镁/(g·kg ⁻¹)	铜/(mg·kg ⁻¹)
ck	51.108±3.197 d	6.139±0.084 f	12.118±0.523 bcd	0.771±0.083 cd	4.649±0.123 bc	22.055±2.148 b
A	54.645±2.105 a	6.463±0.370 c	11.704±1.638 cd	0.849±0.089 ab	5.188±0.319 a	19.630±1.800 c
F	52.135±2.729 c	6.393±0.251 d	12.078±1.442 cd	0.706±0.096 e	4.886±0.324 abc	22.911±0.469 a
K	53.531±1.831 b	6.437±0.281 c	11.631±1.354 d	0.799±0.032 cd	4.937±0.528 ab	19.363±1.644 c
B	52.328±2.384 c	6.454±0.121 c	13.006±0.295 a	0.755±0.107 d	4.595±0.381 c	22.114±1.521 b
CA	53.362±1.259 b	6.728±0.287 a	12.677±0.556 ab	0.879±0.074 a	5.047±0.276 a	18.645±1.501 d
W	51.050±0.650 d	6.231±0.269 e	12.215±1.537 bc	0.814±0.053 bc	4.662±0.327 bc	17.874±2.282 e
D	52.044±3.550 c	6.647±0.225 b	12.102±0.511 bcd	0.846±0.092 ab	5.037±0.255 a	22.053±2.801 b

处理	锌/(mg·kg ⁻¹)	铁/(mg·kg ⁻¹)	锰/(mg·kg ⁻¹)	大量元素/(g·kg ⁻¹)	微量元素/(mg·kg ⁻¹)
ck	66.105±5.100 e	64.822±6.952 a	27.502±4.345 f	74.894±4.101 d	181.484±9.545 a
A	68.349±6.403 b	68.594±6.443 a	30.355±5.294 cd	78.854±4.521 a	186.803±11.940 a
F	66.848±6.474 d	57.447±2.518 bc	35.295±5.500 a	76.198±4.941 c	182.501±8.961 b
K	69.018±2.521 ab	48.187±4.199 de	32.720±1.890 b	77.328±4.126 b	169.288±9.254d
B	63.794±5.787 f	61.254±6.337 b	30.903±4.788 c	77.138±3.287 b	178.065±10.432 c
CA	67.500±4.953 c	45.718±1.005 e	30.140±2.407 d	78.586±2.460 a	162.003±8.865 f
W	66.510±5.612 de	52.337±6.876 cd	27.497±1.880 f	74.973±2.936 d	164.218±9.650 f
D	70.271±5.607 a	58.194±2.229 bc	29.113±3.293 e	76.675±4.634 c	179.412±7.930 c

说明：数据为均值±标准差。同一列的不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

降；5月23日至6月13日对照和处理K的膨大率先上升后下降，而其他处理则持续下降，在7月1日左右趋于平稳，其中处理CA的下降趋势较其他处理较为平缓。

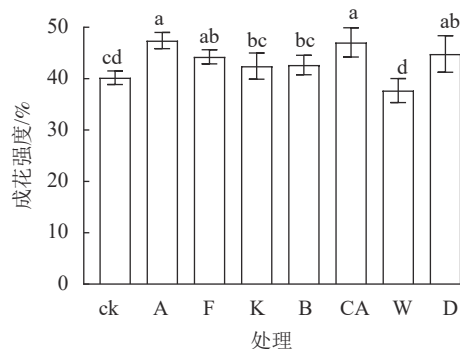
对香榧种实7月坐果率进行多重比较分析发现：处理A的坐果率(15.625%)显著(P<0.05)高于其他处理，比对照增加了23.4%，其次是处理CA(14.037%)和处理B(13.507%)，比对照分别提高了10.9%和6.7%；最低的是处理F(4.831%)，低于对照61.8%。

2.3 香榧种实品质评价的综合得分

由表4可知：15项指标经主成分分析后提取出5个主成分，特征值均大于1.000，累计方差贡献率为91.701%，说明前5个主成分所含有原本15项指标91.701%的信息。根据主成分分析结果对影响香榧种实品质的各方面因素进行综合评价，利用公式计算综合得分(F)： $F=0.3892F_1+0.2184F_2+0.1410F_3+0.1025F_4+0.0660F_5$ ，综合主成分F值越高，综合品质表现越好。由表5可见：处理A的综合评分最高，说明喷施氨基酸肥可有效改善香榧种实的品质。此外，处理CA、处理D的香榧种实品质的也受到显著影响，说明钙肥和大量元素肥也可有效改善香榧种实的品质。

3 讨论

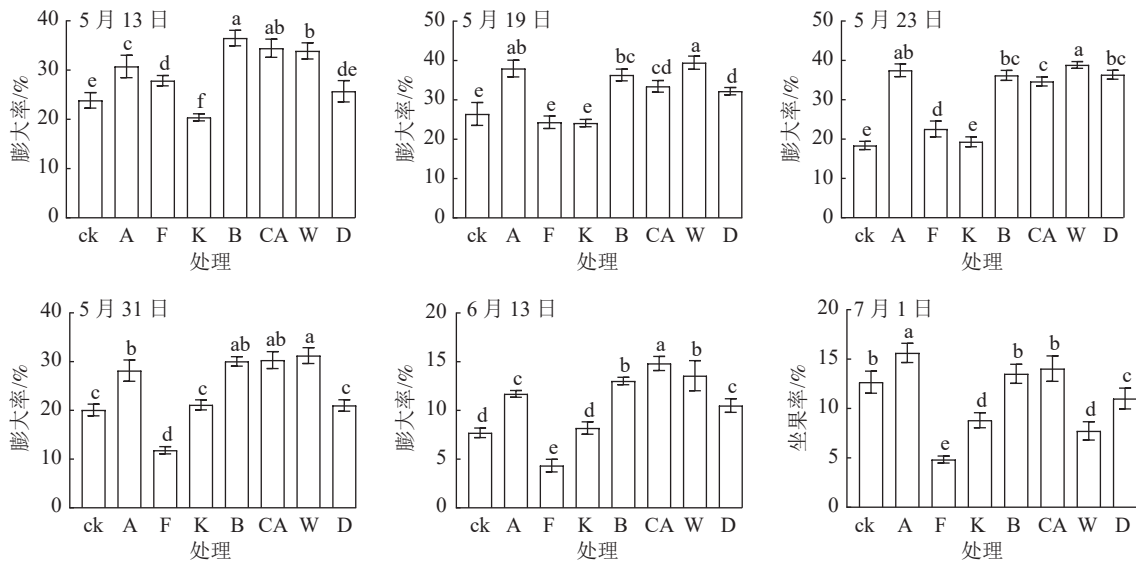
叶面施肥在现代农业中发挥着重要作用，可以改善植物因土壤肥吸收不足而缺乏营养的状况，从而提高肥料的利用效率，但叶面施肥对果实品质的影响存在差异^[10]。唐岩等^[11]对苹果 *Malus pumila* 的研究发现：喷施叶面肥能显著增加苹果果实可溶性固形物和挥发性物质的种类和质量分数，降低可滴定酸。李秋利等^[12]研究发现：叶面喷施山梨醇和蔗糖促进了桃 *Prunus persica* 果实着色，增加果实可溶性固形



不同小写字母表示香榧种实不同叶面肥处理间差异显著(P<0.05)。

图2 香榧种实翌年成花强度

Figure 2 Flowering intensity of *T. grandis* 'Merrillii' seeds in the next year



不同小写字母表示香榧种实不同叶面肥处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 不同叶面肥处理下香榧种实膨大率和坐果率

Figure 3 Expansion and fruit-setting rates under different foliar fertilizer treatments of seeds in *T. grandis* ‘Merrillii’

表 4 主成分因子载荷矩阵

Table 4 Load matrix of principal component factor

指标	主成分					指标	主成分				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
核形指数	0.911	-0.235	-0.182	0.111	-0.231	可溶性糖质量分数	-0.141	0.204	0.847	0.310	-0.101
单核质量	0.871	-0.109	-0.196	0.358	-0.236	不饱和脂肪酸相对含量	0.364	-0.729	-0.217	0.074	0.298
出核率	0.084	-0.156	0.736	0.409	0.082	金松酸相对含量	0.744	-0.482	0.029	0.218	-0.203
仁形指数	0.292	0.851	-0.367	0.133	0.142	大量元素质量分数	0.893	0.352	0.065	-0.260	0.063
单仁质量	0.947	-0.119	-0.083	0.154	-0.163	微量元素质量分数	-0.174	0.623	-0.059	0.685	-0.284
出仁率	0.894	-0.105	0.114	-0.265	0.284	成花强度	0.844	0.442	-0.152	0.085	0.182
油脂质量分数	0.661	0.093	0.618	-0.090	0.094	坐果率	0.314	0.561	0.356	-0.039	0.429
蛋白质质量分数	0.234	0.014	0.403	-0.671	-0.556	特征值	6.227	3.494	2.256	1.640	1.055
淀粉质量分数	-0.125	-0.904	0.148	0.257	0.228	累计贡献率	38.918	60.753	74.855	85.104	91.701

表 5 喷施叶面肥后香榧种实的综合评分

Table 5 Comprehensive evaluation of *T. grandis* ‘Merrillii’ seeds after spraying foliar fertilizer

处理	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F	排名
ck	-4.803	2.456	0.201	0.604	0.601	-1.203	7
A	8.532	1.661	1.599	1.234	-0.584	3.997	1
F	0.614	-0.514	-2.829	1.056	-0.914	-0.224	5
K	-0.909	0.624	1.029	-2.176	-1.250	-0.378	6
B	0.501	0.089	-1.156	-0.694	-0.455	-0.050	4
CA	5.531	0.188	-0.857	-1.346	1.895	2.060	2
W	-4.334	-3.806	1.152	0.130	0.008	-2.341	8
D	2.052	-0.698	0.862	1.191	0.699	0.936	3

物，有利于整体提升桃果实品质。刘松忠等^[13]研究发现：对叶片喷施氨基酸肥可显著提高黄金梨 *Pyrus pyrifolia* ‘Hwangkumbae’ 果实的总糖、蔗糖、果糖和葡萄糖质量分数，降低总酸及苹果酸、酒石酸质量分数。

香榧种实油脂、蛋白质、淀粉、可溶性糖质量分数以及脂肪酸组成是影响香榧种实品质的重要指标。香榧中蛋白质、油脂质量分数越高,淀粉质量分数越低,香榧种实的口感就会越细腻香脆^[14]。叶面喷施适量的氨基酸肥对香榧种实的核形指数、单核质量等有显著的促进效果,且在7种处理中效果最为显著;对于油脂、蛋白质、可溶性糖质量分数的增加和淀粉质量分数的减少也有显著作用。这可能是叶面肥的喷施使得枝叶角质层所含的羟基与氨基酸产生强亲和性^[15],将叶片角质层软化渗入营养元素,补充香榧种实在充实期生长发育所需要的营养成分,改善种实品质,促进树体生长发育^[16]。同样,叶面追肥时施用氨基酸水溶肥也有效提高了玉米 *Zea mays*^[17]、小白菜 *Brassica campestris*^[18]、棉花 *Gossypium hirsutum*^[19] 等的生长指标,增强叶片的光合作用和养分转化,从而实现增产增收。

钙是细胞壁的重要组成部分,同时也是细胞膜的保护剂,可以增强膜结构的稳定性^[20]。此外,钙离子作为植物细胞内的第二信使具有调节细胞内部多种生理活动的功能^[21]。有研究表明:叶面喷施钙肥可以快速为植物补充钙素,能有效提高作物坐果率、产量与品质,防止裂果并延长果实的储藏期^[22-23]。叶面喷施糖醇螯合钙肥不仅显著增加了香榧种实的仁形指数和出仁率,增加花生二烯酸的合成,提高香榧种实内磷元素和镁元素的质量分数,还能促进翌年树体的花芽分化,为开花结实提供更多养分,显著增加膨大率和坐果率,促进香榧幼果的快速膨大,减少僵果、落果,增加产量。该结果与叶面施钙在辣椒 *Capsicum annuum*^[24-25]、荔枝 *Litchi chinensis*^[26] 和苹果^[27] 等水果中的应用效果一致。

大量元素水溶肥能明显提高香榧种实的单仁质量、油脂质量分数和可溶性糖质量分数,对其他特性也有显著影响。可能是由于本研究使用的大量元素水溶肥除基本的氮、磷、钾元素外还含有硼、锌元素,具备比较均衡全面的养分,这些元素具有不同的生理功能并进行相互作用,促进树体生长发育。其中硼元素促进植物体内碳水化合物的合成、运输和代谢,显著增加果实的单果质量,有效减少果实机械损伤^[28];锌元素作为各种酶类(超氧化物歧化酶、乙醇脱氢酶、碳酸酐酶、RNA聚合酶等)的成分或活化剂,可激活光合作用中与碳代谢有关的多种酶,使之向蔗糖合成途径转移^[29]。

4 结论

从本研究结果可知:氨基酸水溶肥处理的综合评分最高,说明喷施氨基酸肥可有效改善香榧种实的品质;此外,大量元素水溶肥对于香榧种实品质的提升有显著的影响,钙肥可以显著影响香榧树体花芽分化、膨大坐果。在生产实践中应根据果树的生长状况进行复合施肥,将叶面肥混合使用,效果可能更佳。

5 参考文献

- [1] 黎章矩,程晓建,戴文圣,等.香榧品种起源考证[J].浙江林学院学报,2005,22(4):443-448.
LI Zhangju, CHEN Xiaojian, DAI Wensheng, et al. Origin of *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2005, 22(4): 443-448.
- [2] 叶淑媛,曾燕如,胡渊渊,等.香榧初结果母枝性状变化规律与结实能力的关系[J].浙江农林大学学报,2022,39(1):41-49.
YE Shuyuan, ZENG Yanru, HU Yuanyuan, et al. Relationship between character changing and seed-bearing capacity of initial seed-bearing mother shoots in *Torreya grandis* 'Merrillii' [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2022, 39(1): 41-49.
- [3] 何祯,王宗星,张骏,等.浙江省香榧产业发展现状与对策[J].浙江农业科学,2020,61(7):1345-1347.
HE Zhen, WANG Zongxing, ZHANG Jun, et al. Present situation and countermeasures of *Torreya grandis* 'Merrillii' industry development in Zhejiang [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(7): 1345-1347.
- [4] 徐翠霞.浙江省香榧产业发展及其对策研究[D].杭州:浙江农林大学,2018.
XU Cuixia. *Study on Torreya grandis 'Merrillii' Production Development and Its Suggestions in Zhejiang Province* [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2018.
- [5] 曹永庆,任华东,王开良,等.不同类型土壤栽培香榧种仁品质综合评价和分析[J].果树学报,2022,39(5):836-845.
CAO Yongqing, REN Huadong, WANG Kailiang, et al. Comprehensive evaluation and analysis of kernel quality of *Torreya grandis* 'Merrillii' from different soil types [J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39(5): 836-845.
- [6] 赵燕,刘千玲,陈田甜,等.施肥对香榧枝梢生长和结实量的影响[J].东北林业大学学报,2015,43(3):26-29,61.

- ZHAO Yan, LIU Qianling, CHEN Tiantian, *et al.* Effects of fertilization on shoot growth and fruit yield of *Torreya grandis* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2015, **43**(3): 26 – 29, 61.
- [7] 周智峰, 黄文斌, 钟子龙, 等. 不同施肥措施对初果期香榧林生长的影响[J]. 浙江林业科技, 2015, **35**(3): 83 – 86.
ZHOU Zhifeng, HUANG Wenbin, ZHONG Zilong, *et al.* Effect of fertilization on growth of *Torreya grandis* cv. Merrillii during first-fruiting stage [J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2015, **35**(3): 83 – 86.
- [8] 孙小红, 周瑾, 胡春霞, 等. 不同海拔对香榧种子外观性状及营养品质的影响[J]. 果树学报, 2019, **36**(4): 476 – 485.
SUN Xiaohong, ZHOU Jin, HU Chunxia, *et al.* Effects of different altitudes on seed morphology and nutritional composition of *Torreya grandis* ‘Merrilli’ [J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, **36**(4): 476 – 485.
- [9] 陈红星, 周先尧, 张龙满, 等. 磐安长榧种实特性初步研究[J]. 浙江林业科技, 2019, **39**(5): 24 – 31.
CHEN Hongxing, ZHOU Xianyao, ZHANG Longman, *et al.* Preliminary study on seed traits of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ in Pan’an [J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2019, **39**(5): 24 – 31.
- [10] 李书玲. 叶面施肥技术在果树上的应用分析[J]. 现代农业科技, 2020(9): 89 – 90.
LI Shuling. Application analysis of foliar fertilization technology on fruit trees [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(9): 89 – 90.
- [11] 唐岩, 宋来庆, 孙燕霞, 等. 叶面喷施硅酸钾对富士苹果品质的影响[J]. 落叶果树, 2014, **46**(4): 11 – 13.
TANG Yan, SONG Laiqin, SUN Yanxia, *et al.* Effect of foliar spraying potassium silicate on the quality of fuji apple [J]. *Deciduous Fruits*, 2014, **46**(4): 11 – 13.
- [12] 李秋利, 杨文佳, 高登涛, 等. 山梨醇和蔗糖对桃果实、叶片可溶性糖含量及果实品质的影响[J]. 河南农业科学, 2019, **48**(8): 110 – 116.
LI Qiuli, YANG Wenjia, GAO Dengtao, *et al.* Effects of sorbitol and sucrose on soluble sugar content of peach fruits and leaves and fruits quality [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2019, **48**(8): 110 – 116.
- [13] 刘松忠, 刘军, 朱青青, 等. 肥料种类对不同采收期‘黄金梨’糖酸含量和风味的影响[J]. 果树学报, 2012, **29**(5): 804 – 808.
LIU Songzhong, LIU Jun, ZHU Qingqing, *et al.* Effects of manure types on sugar and acid contents and flavor of pear (*Pyrus pyrifolia* ‘Hwangkumbae’) at different mature stages [J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, **29**(5): 804 – 808.
- [14] 方明慧, 郑思静, 王思凡, 等. 不同香榧单株种实表型性状变异[J]. 凯里学院学报, 2021, **39**(3): 47 – 54.
FANG Minghui, ZHEN Sijing, WANG Sifan, *et al.* Phenotypic traits variation of seed among different *Torreya grandis* individuals [J]. *Journal of Kaili University*, 2021, **39**(3): 47 – 54.
- [15] 王学君, 董晓霞, 董亮, 等. 含氨基酸水溶肥对盐碱地小麦产量和经济效益的影响[J]. 山东农业科学, 2016, **48**(6): 78 – 80.
WANG Xuejun, DONG Xiaoxia, DONG Liang, *et al.* Effects of water-soluble fertilizer containing amino acids on wheat yield and economic benefits in saline field [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2016, **48**(6): 78 – 80.
- [16] 张木, 胡承孝, 孙学成, 等. 叶面喷施微量元素和氨基酸对小白菜产量及品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, **30**(5): 613 – 617.
ZHANG Mu, HU Chengxiao, SUN Xuecheng, *et al.* Effects of spraying micronutrient and amino acids into surface of leaves on yield and quality of Chinese cabbage [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2011, **30**(5): 613 – 617.
- [17] 张姿, 于海燕, 李威, 等. 绿色植物生长调节剂GGR对玉米生长发育及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2023(2): 44 – 50.
ZHANG Zi, YU Haiyan, LI Wei, *et al.* Effects of green plant growth regulator GGR on growth and yield of maize [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2023(2): 44 – 50.
- [18] 王红梅, 廖玲玲, 瞿洁, 等. 氨基酸水溶肥在小白菜上的应用效果初探[J]. 上海农业科技, 2021(5): 100 – 101.
WANG Hongmei, LIAO Linlin, ZHAI Jie, *et al.* Preliminary study on the application effect of amino acid water-soluble fertilizer on Chinese cabbage [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2021(5): 100 – 101.
- [19] 张洪浩, 常巧真. 氨基酸微量元素水溶肥对棉花产量的影响[J]. 中国棉花, 2017, **44**(4): 19 – 20.
ZHANG Honghao, CHANG Qiaozhen. Effects of a water-soluble fertilizer containing amino acids and trace elements on yield of cotton [J]. *China Cotton*, 2017, **44**(4): 19 – 20.
- [20] 刘丽莉, 冯涛, 向言词. 外源钙对镉胁迫下芥菜型油菜幼苗生长和生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(5):

978 – 983.

LIU Lili, FENG Tao, XIANG Yanci. Effect of exogenous calcium on seedling growth and physiological characteristics of *Brassica juncea* under cadmium stress [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, **28**(5): 978 – 983.

- [21] 廖霏霏, 刘兴贵, 王克秀, 等. 赤霉素和叶面肥对马铃薯原种雾化生产的影响[J]. 农学学报, 2022, **12**(4): 18 – 23, 53.
LIAO Feifei, LIU Xingguai, WANG Kexiu, *et al.* Gibberellin and foliar fertilizer: effects on pre-basic seeds of potato production by aeroponics [J]. *Journal of Agriculture*, 2022, **12**(4): 18 – 23, 53.
- [22] YAMANET. Foliar calcium applications for controlling fruit disorders and storage life in deciduous fruit trees [J]. *Japan Agricultural Research*, 2014, **48**(1): 29 – 33.
- [23] 唐宽强, 刘守伟, 吴凤芝, 等. 外源喷施CaCl₂对低温逆境下番茄抗冷性及开花结果的影响[J]. 北方园艺, 2013(11): 10 – 14.
TANG Kuanqiang, LIU Shouwei, WU Fengzhi, *et al.* Effect of exogenous CaCl₂ on the cold resistance and blossom and yield of tomato under cold stress [J]. *Northern Horticulture*, 2013(11): 10 – 14.
- [24] 李石开, 陶婧, 桂敏, 等. 氯化钙和多效唑浸种对干制辣椒种子发芽及幼苗抗旱性的影响[J]. 西南农业学报, 2012, **25**(5): 1786 – 1789.
LI Shikai, TAO Jing, GUI Min, *et al.* Effects of seed soaking with CaCl₂ and PP₃₃₃ on germination and seedling drought resistance in dry chili [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, **25**(5): 1786 – 1789.
- [25] 丘智晃, 冯紫荟, 陈煜林, 等. 叶面喷施不同钙源对辣椒生长及其果实品质的影响[J]. 福建农业学报, 2022, **37**(12): 1562 – 1570.
QIU Zhihuang, FENG Zihui, CHEN Yulin, *et al.* Agronomic effects of foliar calcium sprays on chili peppers [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, **37**(12): 1562 – 1570.
- [26] 廖海枝, 林晓凯, 杨成坤, 等. 叶面喷施钙镁肥对'妃子笑'荔枝果肉苹果酸积累的影响[J]. 广西植物, 2022, **42**(12): 2138 – 2146.
LIAO Haizhi, LIN Xiaokai, YANG Chengkun, *et al.* Effects of foliar spraying of calcium and magnesium fertilizers on malic acid accumulation of 'Feizixiao' litchi fruit [J]. *Guihaia*, 2022, **42**(12): 2138 – 2146.
- [27] 裴健翔. 外源钙对'寒富'苹果果实钙代谢及果实品质影响的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
PEI Jianxiang. *Effects of Exogenous Calcium on Calciummetabolism and Fruit Quality of 'Hanfu' Apple* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [28] 张景全, 周同永. 叶面喷施硼肥对蓝莓产量及品质的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, **36**(3): 553 – 557.
ZHANG Jingquan, ZHOU Tongyong. Effect of foliar application of boron fertilizer on the yield and quality of blueberry [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2021, **36**(3): 553 – 557.
- [29] MAHDIEH M, SANGI M R, BAMDAD F, *et al.* Effect of seed and foliar application of nano-zinc oxide, zinc chelate, and zinc sulphate rates on yield and growth of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2018, **41**(18): 2401 – 2412.