

谭玉鹏,耿 阳,赵晓梅,等. 喷施叶面肥对冬枣生长及贮后货架品质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):152–159.

doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2023.06.022

# 喷施叶面肥对冬枣生长及贮后货架品质的影响

谭玉鹏<sup>1</sup>, 耿 阳<sup>2,3</sup>, 赵晓梅<sup>3,5</sup>, 鲍立威<sup>4</sup>, 薄学敏<sup>5</sup>, 张 婷<sup>5</sup>, 孟伊娜<sup>5</sup>

(1. 新疆农业职业技术学院, 新疆昌吉 831100; 2. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052;

3. 新疆农业科学院生物质能源研究所, 新疆乌鲁木齐 830091; 4. 浙大城市学院商学院, 浙江杭州 310015;

5. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)

**摘要:**为探究喷施植物源叶面肥和配施中量元素叶面肥(幼果期、膨大期)对冬枣生长发育及果实贮藏后货架品质的影响。通过测定叶面肥处理后冬枣叶片和果实的生长情况,分析喷施叶面肥处理对其生长发育的影响,同时对比不同生长阶段配施中量元素叶面肥处理对冬枣贮藏后货架期内感官与营养品质的变化。结果显示,与对照组相比,喷施叶面肥处理的冬枣叶片横径和纵径分别提高 3.92%~6.16% 和 4.40%~6.53%,果实横径和纵径分别提高了 7.96%~9.50% 和 9.94%~10.72%;叶面肥处理组冬枣果实中可溶性固形物、维生素 C 等营养物质的积累增加,且以幼果期喷施的中量元素叶面肥处理效果最佳,较对照组分别提高了 15.44% 和 21.93%,并表现出显著性差异( $P < 0.05$ );同时,采前叶面肥处理有效延缓了冬枣货架期内果实品质的下降。至货架期末,该处理组冬枣果实硬度、失质量率分别为 3.55 kg/cm<sup>2</sup> 和 4.73%,可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖、维生素 C、总酚、类黄酮等营养物质含量分别为 22.19%、0.36%、17.55%、1.93 mg/g、2.04 mg/g、0.35 mg/g,均优于对照组。总体看来,喷施叶面肥处理均有促进冬枣采前生长和果实品质提升,及延缓贮后货架期品质下降的效果,幼果期配施中量元素叶面肥效果更好。同时,使用保鲜袋贮藏可以延缓冬枣品质下降,研究结果可为冬枣栽培生长调控提供参考。

**关键词:**叶面肥;冬枣;生长发育;贮藏;货架品质

**中图分类号:**S665.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2023)06–0152–07

枣(*Zizyphus jujuba* Mill.)是蔷薇目鼠李科枣属植物的果实,富含糖类、维生素、环磷酸腺苷及钙、铁、磷等多种营养成分,有“百果之王”“活维生素丸”之称,具有补虚益气、养血安神、健脾和胃、降血脂等功效<sup>[1]</sup>,深受广大消费者的喜爱<sup>[2–3]</sup>。冬枣别称苹果枣、冰糖枣,与其他品种相比其皮薄肉脆、味甜爽口,可食率在 95% 以上,是目前公认的优质鲜食枣栽培品种<sup>[2–4]</sup>。

近年,随着人们对水果品质的要求不断提高,果实品质成为决定市场竞争力的重要因素,包括可溶性固形物含量、可滴定酸含量、果皮色泽、维生素 C 含量及硬度等一系列指标<sup>[5]</sup>。由于冬枣采收后易失水软化,常温下易失绿变红,营养成分流失,品质下降,甚至失去商品价值,常温下冬枣贮藏期仅 4 ~

5 d<sup>[6]</sup>。低温条件下长期贮藏易造成冬枣软化、霉变和腐烂等现象<sup>[7]</sup>。除了品种、贮藏环境、采收成熟度等因素之外,采前品质也是决定果实采后贮藏潜力的重要因素之一<sup>[8–10]</sup>。果实生长需要足够的养分支持,叶面施肥已成为现代农业生产中一项重要技术,叶面施肥能够及时补充树体营养,提高产量、改善品质,提高光合效率,已成为一种作用更为直接、高效的辅助施肥方法<sup>[11–12]</sup>。

目前,有关叶面肥处理对改善冬枣品质及耐贮性的研究报道较少,本研究以冬枣为研究对象,在喷施叶面肥的同时分别在幼果期和膨大期配施中量元素叶面肥,观察其对冬枣果实生长发育及贮后货架品质的影响,以期对冬枣生长调控和贮藏保鲜提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

试验地点在新疆维吾尔自治区麦盖提县央塔克乡鲜食枣生产示范园,选取正常生长、树势基本一致的 5 年生冬枣树作为供试样本树,砧木为灰枣,

收稿日期:2022–05–03

基金项目:国家重点研发计划(编号:2021YFD1000404)。

作者简介:谭玉鹏(1979—),男,湖南株洲人,硕士,副教授,主要研究方向为农产品贮藏保鲜。E-mail:1428018857@qq.com。

通信作者:赵晓梅,博士,研究员,主要研究方向为农产品贮藏保鲜。

E-mail:zxm2003076@163.com。

株行距为 2 m × 4 m, 每个处理选 10 株样本树。各处理分别于 2021 年 6 月 30 日、7 月 15 日、7 月 30 日各喷施 1 次植物源营养液叶面肥(腐殖酸 - N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O 为 0.6% - 1% - 1% - 2%), 其中, 幼果期将中量元素叶面肥(Ca - Mg - N 为 8% - 6.5% - 10%)与植物源营养液叶面肥混合后进行喷施。膨大期处理组单喷中量元素叶面肥 3 次, 分别在 2021 年 8 月 7 日、17 日、27 日进行喷施, 对照组喷施等体积清水, 具体配方见表 1。

表 1 各处理配方及贮藏处理

处理	幼果期	膨大期	贮藏处理
A	1 袋植物源叶面肥溶于 20 L 水	13.3 mL 中量元素叶面肥溶于 20 L 水	套保鲜袋
B	1 袋植物源叶面肥 + 13.3 mL 中量元素叶面肥溶于 20 L 水	等体积清水	套保鲜袋
CK	等体积清水	等体积清水	套保鲜袋
CK1	等体积清水	等体积清水	不套保鲜袋

将冬枣置转运筐中于 4 ℃ 条件下进行预冷处理后, 挑选无机械损伤的正常果于 48 h 内运回新疆农业科学院园艺作物研究所冷库中, 并套保鲜袋低温 [(0 ± 1) ℃] 贮藏处理, 贮藏 60 d 后取出于 (4 ± 1) ℃ 放置 7 d, 用于货架品质测定, 并设对照, 定时取样检测相关指标, 部分样品用于测定其硬度、可溶性固形物含量, 其余样品经液氮速冻后置于 -80 ℃ 冰箱中保存用于相关理化指标的测定。

1.2 试剂与仪器

氢氧化钠、酚酞、邻苯二甲酸氢钾、草酸、2,6 - 二氯酚、无水乙醇、氯化铝、醋酸钾、碳酸氢钠、磷酸均为分析纯, 抗坏血酸纯度不小于 99.7%, 植物源营养液叶面肥, 由新疆农业科学院园艺作物研究所提供; 宜美盖中量元素叶面肥, 购自意大利比奥齐姆公司。GENESYS180 赛默飞紫外可见分光光度计, 购自美国赛默飞世尔科技公司; 3 - 18KS 高速冷冻离心机, 购自德国 Sigma 实验室离心机有限公司; GY - 4 硬度计, 购自山东莱恩德智能科技有限公司; CR - 10 便携式色差仪, 购自日本柯尼卡美能达控股公司; IS - 25 制冰机, 购自常熟市雪科电器有限公司; PAL - 1 手持糖度计, 购自日本 Atago 公司; Biotek SynergyH1 全功能酶标仪, 购自美国伯腾仪器有限公司。

1.3 冬枣叶片及果实生长发育指标的测定

在冬枣生长期, 选取二次枝第二生长节发育正

常的叶片 50 片测量枣叶片横纵径、厚度、鲜质量、干质量, 选取树冠 4 周发育正常的冬枣果实 50 个, 测定横纵径、果柄的长度和直径。

1.4 冬枣果实贮藏后货架品质测定

失质量率: 分别于贮藏 0、61、62、63、64、65、66、67 d 采用直接测定法测量固定果质量变化, 失质量率以贮藏期间果实质量减失量与贮藏 0 d 果实质量的比值表示。

硬度: 随机取 10 个果实, 削去赤道部位果皮, 采用 GY - 4 型果实硬度计进行测定, 结果取平均值。

色差: 取 10 个果实进行编号, 并选取赤道部位某一固定位置并做标记处理, 用色差仪测定果实固定点的 *L*<sup>\*</sup>、*a*<sup>\*</sup>、*b*<sup>\*</sup> 值<sup>[13]</sup>, 重复测定 3 次, 结果取平均值。

可溶性固性物(TSS)含量: 随机取 10 个果实, 将枣果切碎后滤出汁液使用手持式数显折光仪测定, 每个处理测定 5 次, 结果取平均值。

可滴定酸(TA)含量: 参照曹建康等的方法<sup>[14]</sup>并做适当修改, 采用氢氧化钠滴定法测定, 以蒸馏水作对照, 折算系数以苹果酸计, 可滴定酸含量用质量分数(%)表示, 重复 3 次。

可溶性糖(SS)含量: 参照曹建康等的方法<sup>[14]</sup>并做适当修改。准确称取 0.5 g 样品, 加入 2 mL 蒸馏水置于研磨机中研磨 1 min, 加水至 7 mL 后沸水浴提取 30 min, 待样品冷却后于 4 ℃, 12 000 r/min 离心 10 min, 吸取上清液采用蒽酮比色法测定冬枣果实 SS 含量, 重复 3 次。

维生素 C(AsA)含量: 参照曹建康等的方法<sup>[14]</sup>并做适当修改。准确称取 0.1 g 样品, 加入经预冷的草酸溶液 10 mL 静置提取 10 min, 于 4 ℃, 12 000 r/min 离心 10 min, 取上清液采用 2,6 - 二氯酚滴定法测定 AsA 含量, 重复 3 次。

总酚含量: 参照卜彦花等的方法<sup>[15]</sup>并做适当修改。准确称取 0.1 g 样品, 加入经预冷的 70% 乙醇溶液 10 mL 于 4 ℃ 条件下避光提取 2 h, 于 4 ℃, 12 000 r/min 离心 5 min, 取上清液于 274 nm 测定其吸光度并计算总酚含量, 重复 3 次。

类黄酮含量: 参照董日月等的方法<sup>[16]</sup>并做适当修改。准确称取 1.0 g 样品, 加入 60% 乙醇溶液 80 ℃ 水浴提取 2 h, 于 4 ℃, 12 000 r/min 离心 5 min, 取上清液加显色剂 30 min 待显色稳定后, 于 420 nm 测定其吸光度并计算类黄酮含量, 重复 3 次。

1.5 自由基清除率的测定

参照耿阳等的方法<sup>[17]</sup>, 准确称取 0.1 g 样品,

加入 60% 乙醇溶液 1 mL 于 60 ℃ 条件下静置 20 min,于 4 ℃,12 000 r/min 离心 5 min,取上清液稀释 50 倍,以稀释提取液为底物,测定其对 1,1 - 二苯基 - 2 - 三硝基苯肼 (DPPH)、2,2' - 联氮 - 双 - 3 - 乙基苯并噻唑啉 - 6 - 磺酸 (ABTS) 自由基的清除率,以 Trolox 为标准品制作标准曲线,结果以每克鲜质量所含 Trolox 相对含量换算为样品所对应的清除率表示。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Office 2016 软件进行数据处理和作图,采用 SPSS 22.0 进行显著性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 喷施叶面肥对冬枣采前生长的影响

2.1.1 喷施叶面肥对冬枣叶片和果实生长发育的影响 喷施叶面肥对促进冬枣叶片及果实的生长有益,由于喷施中量元素叶面肥的时间不同使得冬枣叶片、果实生长发育以及营养物质的积累存在一定差异。由表 2 可知,与对照组相比,A、B 处理组冬枣叶片及果实横纵径、叶片厚度、果柄长、果柄粗、单果质量等均表现出显著性差异 ( $P < 0.05$ );最后一次调查结果显示,除果实横径及单果质量外,A、B 处理组间其他指标均差异不显著 ( $P > 0.05$ ),但 B 处理组冬枣叶片及果实各项生长指标均高于 A 处理组。因此,选择在幼果期喷施植物源营养液配施中量元素叶面肥对冬枣生长更有利。

2.1.2 叶面肥处理对冬枣叶片类黄酮含量的影响 类黄酮是一大类广泛存在于植物组织中的天然产物,黄酮类化合物能够反映植物生长情况,能够提高植物抗逆性。由图 1 可知,喷施中量元素叶面肥的时期对冬枣叶片类黄酮含量影响较大,A、B、CK 处理组间冬枣叶片中类黄酮含量差异显著 ( $P < 0.05$ )。A、B、CK 处理组冬枣叶片中类黄酮含量分别为 28.26、32.27、23.66 mg/g。其中,B 处理组最高,A 处理次之,分别较对照组提高 36.39%、19.44%,这与叶面肥处理对冬枣叶片及果实生长的作用结果一致。

2.2 喷施叶面肥对冬枣采后货架品质的影响

2.2.1 叶面肥处理对冬枣硬度和失质量率的影响 硬度、失质量率作为衡量冬枣果实品质的重要指标,其变化程度可体现冬枣果实贮藏期间品质的变化情况。由图 2 - a 可知,冬枣采后贮藏期间果实

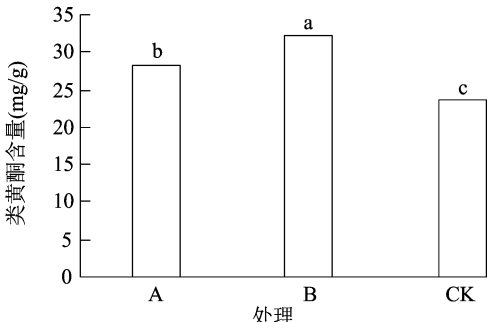
表 2 叶面肥处理对冬枣叶片和果实生长发育的影响

处理 时间	叶片横径 (cm)			果实纵径 (mm)			果实横径 (mm)			果柄长 (mm)		
	叶片横径 (cm)			果实纵径 (mm)			果实横径 (mm)			果柄长 (mm)		
	A	B	CK	A	B	CK	A	B	CK	A	B	CK
7月17日	6.41 ± 0.34a	6.60 ± 0.11a	5.83 ± 0.15b	2.78 ± 0.09a	2.78 ± 0.09a	2.61 ± 0.16a	16.02 ± 0.03a	16.15 ± 0.03a	14.00 ± 0.04b	11.82 ± 0.59a	12.26 ± 0.21a	11.20 ± 0.28a
7月30日	6.47 ± 0.16a	6.65 ± 0.32a	6.10 ± 0.09b	2.85 ± 0.08a	2.87 ± 0.08a	2.62 ± 0.10b	22.15 ± 0.06a	22.31 ± 0.06a	22.10 ± 0.18a	19.01 ± 0.36a	19.13 ± 0.25a	18.67 ± 0.36a
8月12日	6.63 ± 0.12a	6.78 ± 0.16a	6.59 ± 0.19a	2.86 ± 0.07a	2.99 ± 0.07a	2.87 ± 0.11a	25.32 ± 0.02b	27.40 ± 0.02a	24.06 ± 0.29c	24.81 ± 0.44a	25.19 ± 0.77a	22.72 ± 0.28b
8月25日	6.73 ± 0.10a	6.79 ± 0.07a	6.67 ± 0.10a	3.08 ± 0.07a	3.10 ± 0.07a	2.96 ± 0.21a	29.75 ± 0.03a	29.87 ± 0.03a	26.85 ± 0.18b	29.01 ± 0.24a	29.40 ± 0.31a	26.82 ± 0.32b
9月07日	7.07 ± 0.11a	7.18 ± 0.20a	6.71 ± 0.15b	3.11 ± 0.10ab	3.24 ± 0.10a	3.06 ± 0.15b	29.81 ± 0.09a	30.02 ± 0.09a	27.11 ± 0.26b	29.69 ± 0.38a	30.11 ± 0.88a	27.50 ± 0.66b
处理 时间	单果质量 (g)			叶片鲜质量 (g)			叶片干质量 (g)			叶片厚度 (mm)		
	A	B	CK	A	B	CK	A	B	CK	A	B	CK
	1.15 ± 0.07a	1.20 ± 0.12a	1.14 ± 0.13a	1.14 ± 0.20a	1.21 ± 0.28a	0.88 ± 0.21b	0.30 ± 0.02b	0.36 ± 0.01a	0.28 ± 0.01c	0.10 ± 0.01ab	0.11 ± 0.01a	0.10 ± 0.02b
	1.19 ± 0.07a	1.22 ± 0.05a	1.15 ± 0.11a	3.85 ± 0.50a	3.91 ± 0.57a	3.66 ± 0.40a	0.37 ± 0.05a	0.38 ± 0.01a	0.29 ± 0.01b	0.14 ± 0.02a	0.14 ± 0.01a	0.12 ± 0.01b
	1.24 ± 0.05a	1.26 ± 0.08a	1.16 ± 0.06a	7.15 ± 1.09b	8.07 ± 1.02a	6.01 ± 0.81c	0.37 ± 0.01b	0.41 ± 0.01a	0.34 ± 0.03c	0.14 ± 0.00a	0.15 ± 0.01a	0.13 ± 0.01b
	1.33 ± 0.11ab	1.38 ± 0.01a	1.20 ± 0.12b	11.49 ± 1.08b	12.51 ± 1.16a	8.95 ± 1.13c	0.43 ± 0.03a	0.45 ± 0.04a	0.39 ± 0.02b	0.15 ± 0.01ab	0.16 ± 0.01a	0.14 ± 0.02b
9月07日	1.40 ± 0.12b	1.55 ± 0.08a	1.26 ± 0.04c	13.04 ± 1.18a	13.20 ± 1.25a	9.57 ± 1.21b	0.47 ± 0.05ab	0.48 ± 0.03a	0.44 ± 0.02b	0.17 ± 0.01a	0.17 ± 0.01a	0.16 ± 0.01b

注:小写字母不同表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ),下表同。

表 3 叶面肥处理对冬枣货架期色差变化的影响

贮藏 时间	L* 值				a* 值				b* 值			
	A	B	CK	CK1	A	B	CK	CK1	A	B	CK	CK1
0 d	67.10 ± 2.09a	66.40 ± 2.27a	66.00 ± 2.15a	66.04 ± 2.11a	-7.61 ± 0.60a	-7.47 ± 0.68a	-7.45 ± 0.78a	-7.43 ± 1.04a	37.80 ± 1.14a	38.40 ± 3.09a	37.90 ± 1.30a	37.87 ± 2.65a
61 d	47.36 ± 0.94ab	48.92 ± 1.63a	45.13 ± 0.80b	36.94 ± 1.21c	11.76 ± 1.01c	8.01 ± 1.18d	14.76 ± 1.33b	27.17 ± 1.09a	27.31 ± 1.67b	28.25 ± 1.99b	30.37 ± 1.52a	26.21 ± 1.73b
62 d	43.85 ± 1.64a	41.46 ± 1.78ab	38.79 ± 1.80b	35.05 ± 1.25c	15.11 ± 0.82c	13.79 ± 1.16c	18.61 ± 1.34b	27.18 ± 1.65a	25.61 ± 0.55b	27.62 ± 1.77ab	28.89 ± 1.74a	22.79 ± 1.59c
63 d	40.14 ± 1.78a	40.26 ± 1.12a	38.70 ± 1.39a	34.15 ± 1.14b	15.23 ± 1.62c	16.89 ± 1.84bc	18.92 ± 1.26b	27.31 ± 1.75a	24.20 ± 1.47b	25.41 ± 1.92ab	27.46 ± 1.41a	20.13 ± 1.05c
64 d	38.78 ± 1.76a	37.81 ± 1.06a	37.77 ± 1.94a		18.55 ± 2.35b	18.91 ± 2.23b	24.38 ± 1.33a		22.95 ± 1.02a	23.25 ± 1.35a	26.95 ± 1.34a	
65 d	38.58 ± 1.22a	37.74 ± 1.53a	37.52 ± 1.11a		21.85 ± 2.56c	19.28 ± 2.21b	25.47 ± 1.68a		20.98 ± 1.25b	22.19 ± 1.56b	25.81 ± 1.65a	
66 d	38.01 ± 1.49a	37.94 ± 1.59a	35.07 ± 1.07a		20.87 ± 3.07b	20.06 ± 1.84b	25.78 ± 1.44a		20.34 ± 0.99b	22.00 ± 1.56ab	23.75 ± 1.33a	
67 d	37.46 ± 1.26a	37.05 ± 1.50a	34.16 ± 1.06b		21.92 ± 1.24b	20.41 ± 1.26c	25.96 ± 1.57a		20.07 ± 1.38a	19.42 ± 1.96a	21.53 ± 1.91a	



柱上不同小写字母表示处理间差异显著  
图1 叶面肥处理对冬枣叶片类黄酮含量的影响

硬度明显下降,不套袋处理冬枣果实硬度下降率最高,其贮后 61 d 果实硬度为 2.73 kg/cm<sup>2</sup>。货架期间果实硬度下降缓慢,至货架期末,A、B、CK 各处理组果实硬度分别为 3.42、3.55、2.73 kg/cm<sup>2</sup>,A、B 处理组与 CK 差异显著( $P < 0.05$ );CK1 处理组在货架上放置 3 d 严重皱缩,失去商品性,此时其果实硬度为 2.19 kg/cm<sup>2</sup>;A、B、CK、CK1 处理组果实硬度分别较初始值下降 50.32%、50.71%、57.19%、65.70%。由图 2-b 可知,随着贮藏和货架时间延长,冬枣果实失质量率不断升高。未使用保鲜袋贮藏处理的冬枣在贮藏过程中失水严重,贮后 61 d 失质量率为 4.78%;货架期间各处理组冬枣失质量率均表现出显著性差异( $P < 0.05$ );至货架期末,A、B、CK 各处理组冬枣果实失质量率分别为 4.93%、4.73%、5.93%。说明喷施叶面肥处理有助于延缓冬枣果实贮后货架期间硬度的下降及失质量率的升高,其中幼果期喷施植物源营养液配施中量元素叶面肥效果最好。

2.2.2 叶面肥处理对冬枣货架期间色差变化的影响 果皮色度值是判断冬枣果实成熟和贮藏过程中品质变化的最直接因素。 $L^*$  值可反映冬枣果皮亮度,其值越大光泽度越高; $a^*$  值代表果皮红绿程度,正值表示偏红,负值表示偏绿; $b^*$  值表示果皮黄蓝程度,其值升高表示果皮颜色向黄色转变。由表 3 可知,贮藏期间各处理组冬枣果实  $L^*$  值、 $b^*$  值明显下降, $a^*$  值明显升高,表明贮藏过程中冬枣果皮亮度下降、逐渐转红并表现出向蓝色转变的趋势,其中,未使用保鲜袋贮藏处理的冬枣色度值变化大于使用保鲜袋处理各组。货架期间冬枣果实的  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值变化趋势与贮藏期间一致,至货架期末,冬枣果实  $L^*$  值表现为  $A > B > CK$ , $a^*$  值表现为  $CK > A > B$ , $b^*$  值表现为  $CK > A > B$ 。

2.2.3 叶面肥处理对冬枣货架期间 TSS、TA、SS 含量变化的影响 由图 3-a 可知,叶面肥处理对冬枣

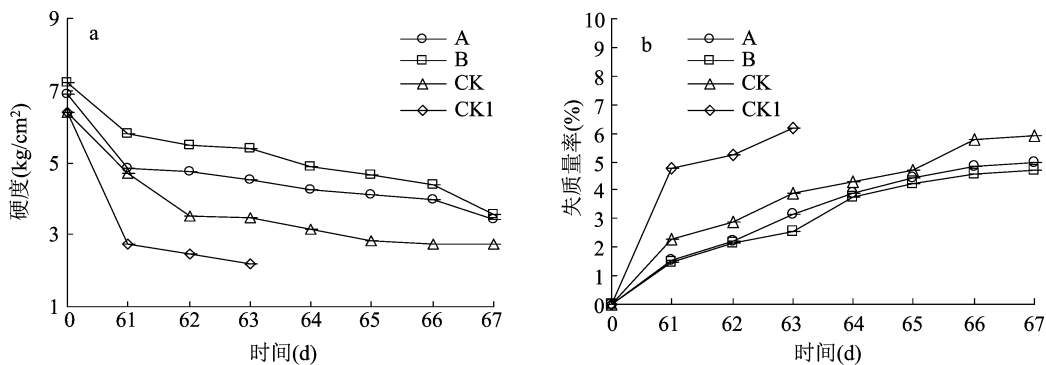


图2 叶面肥处理对冬枣硬度(a)和失质量率(b)的影响

果实中 TSS 积累有益, A、B、CK 处理组 TSS 含量初始值分别为 23.87%、24.87%、21.54%, 并存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。各处理组冬枣果实中的 TSS 含量整体呈先上升后下降的趋势, 未使用保鲜袋处理的冬枣贮藏期间可溶性固形物含量显著升高, 这可能与其贮藏过程中大量失水有关。A、B、CK 处理组果实 TSS 含量峰值分别在贮后货架 4、5、2 d, 货架期末各处理组果实 TSS 含量差异显著 ( $P < 0.05$ ), 结果表明喷施叶面肥处理有利于延缓冬枣贮藏过程中果实中 TSS 含量下降, 在幼果期喷施中量元素叶面肥效果优于在膨大期喷施。

TA 与 SS 含量是评价果实口感风味品质的重要指标。由图 3-b、图 3-c 可知, 喷施叶面肥处理可显著提高冬枣果实中 TA、SS 等营养物质的含量 ( $P < 0.05$ )。整个贮藏期内, 不同处理组冬枣果实中 TA、SS 含量均呈下降趋势, 其中, CK1 处理组果实营养物质下降比例最高。至货架期末, A、B、CK 处理组冬枣果实中 TA 和 SS 的含量分别为 0.30%、0.36%、0.15% 和 13.40%、17.55%、12.96%, 且各处理组间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。提示在幼果期比膨大期喷施中量元素叶面肥更有利于冬枣果实对 TA 和 SS 的积累, 延缓贮藏期间 TA 与 SS 含量下降。

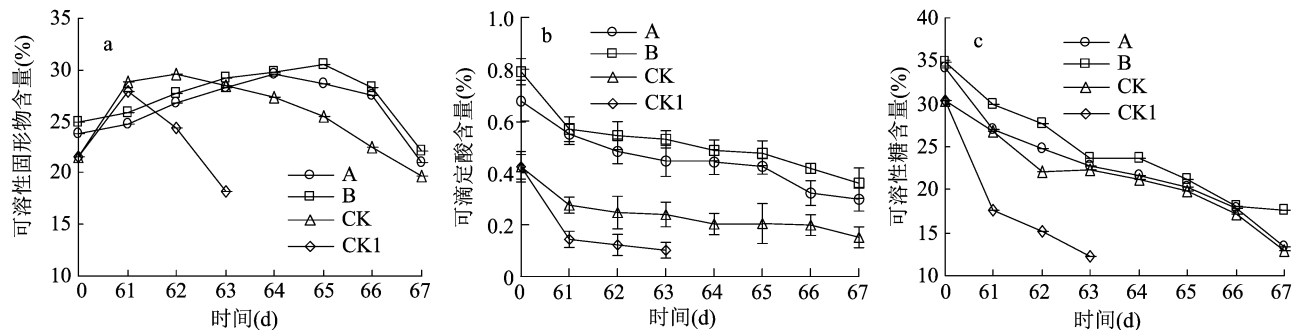


图3 叶面肥处理对冬枣 TSS(a)、TA(b)、SS(c) 含量的影响

**2.2.4 叶面肥处理对冬枣货架期间 AsA、总酚和类黄酮含量变化的影响** AsA、总酚和类黄酮不仅是植物体内重要的营养物质, 在延缓果实氧化衰老方面也发挥了重要作用。由图 4 可知, 冬枣采后果实中 AsA、总酚和类黄酮含量均呈现相似的下降趋势, 这表明在贮藏过程中, 冬枣果实中 AsA、总酚和类黄酮等营养物质含量不断下降。同时, 果实自身也在不断氧化衰老。整体来看, 与冬枣中其他营养物质表现出相似的试验结果, 贮藏过程中未使用保鲜袋处理的冬枣果实贮后品质最差。在使用保鲜袋贮藏处理的 A、B 和 CK 组中各营养物质含量均表现为 B 处理组最高, A 处理组次之, CK 处理组最低。

**2.2.5 叶面肥处理冬枣对 ABTS、DPPH 自由基清除能力的影响** 随着贮藏时间的延长, 冬枣果实氧化衰老程度不断增加, 果实中抗氧化物质含量不断下降。各处理组冬枣乙醇提取物对 DPPH、ABTS 自由基的清除率呈下降趋势, 由图 5 可知, 与 AsA、总酚含量等指标变化趋势一致, 其中, CK1 下降速度最快, 这与其贮藏过程中未使用保鲜袋致使其保鲜效果不佳有关。货架期末, A、B、CK 处理组冬枣乙醇提取物对 DPPH 和 ABTS 自由基的清除率分别为 52.41%、54.21%、51.02% 和 16.07%、19.69%、15.07%, 并存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。提示 A、B 处理组对延缓贮藏后货架期间冬枣果实氧化衰老

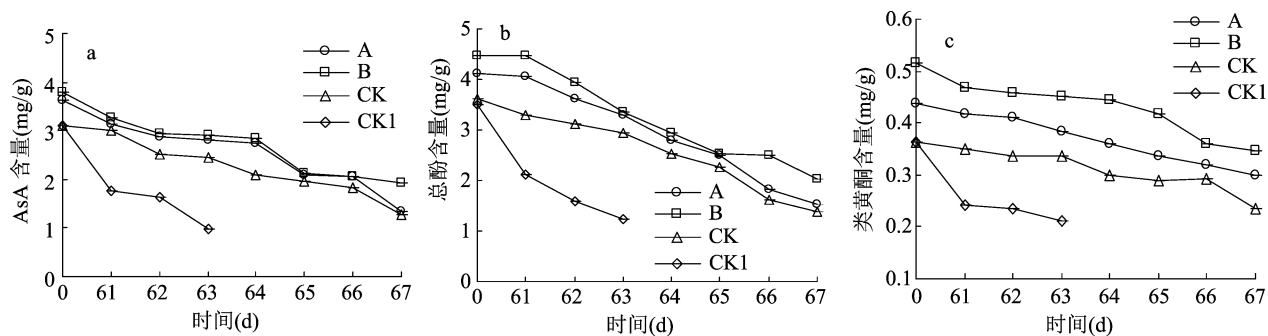


图4 叶面肥处理对冬枣 AsA(a)、总酚(b)和类黄酮(c)含量的影响

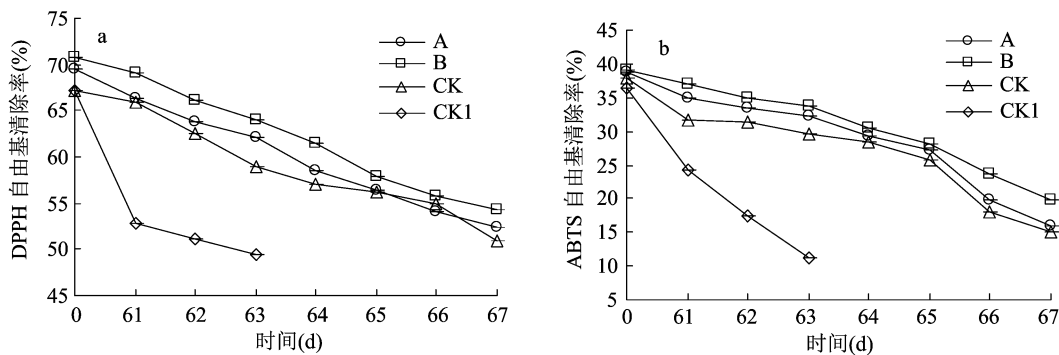


图5 叶面肥处理冬枣对 DPPH(a)、ABTS(b) 自由基清除率的影响

有益,并能够对冬枣起到一定的保鲜效果。

2.3 主成分分析

利用主成分分析(PCA)对不同处理组冬枣贮后货架期间 13 项指标进行多元统计综合分析,13 项指标基于 PCA 自动拟合出 2 个主成分。由表 4 可知,2 个主成分累计方差贡献率达 89.68%,表明这 2 个主成分可反映果实品质的大部分信息。以各因子得分 FAC1、FAC2 所对应的特征值为权数,与该因子得分相乘可得主成分得分(F1、F2),根据主成分得分计算相关性综合得分(F),根据 F 大小进行排名,F 越大,其排名越高,代表其果实品质或保鲜效果越好。由表 5 可知,冬枣品质与 F 呈正相关,随着贮后货架时间的延长,其品质不断下降,各处理组综合得分表现为 B>A>CK,并呈下降趋势,A、B、CK 处理组冬枣分别在贮后 4、5、2 d 出现负值,表明 B 处理组冬枣货架品质最好,这与其贮藏品质变化研究结果一致。

表 4 冷藏期间主成分的特征值及贡献率

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	9.57	73.60	73.60
2	2.09	16.08	89.68

3 讨论

叶片是植物通过光合作用积累营养物质的根外营养器官,正常生长的叶片可为树体及果实生长提供大量营养物质。喷施叶面肥可为叶片生长补充各种营养物质协助根部施肥促进植物生长<sup>[18]</sup>。赵西梅等研究发现,喷施叶面肥处理能够增加冬枣叶片厚度和光合产物的积累,提高果实可溶性固形物含量,提高冬枣风味<sup>[12]</sup>。杨文丽等研究发现,施氨基酸水溶肥能够显著提高灵武长枣单果质量和单株产量<sup>[19]</sup>。本研究中喷施叶面肥处理显著促进冬枣叶片及果实生长,增加了其叶片厚度,提高了叶片中类黄酮含量,果实横纵径、单果质量也明显增加,这与上述的研究结果均一致。

冬枣果实硬度、TSS 含量、TA 含量、AsA 含量、SS 含量等品质指标是影响其口感风味的关键因素,类黄酮、酚类物质变化是反映果实抗氧化作用的重要物质<sup>[20]</sup>。随着贮藏时间的延长,果实含水量降低、商品品质下降,其食用品质及风味均会受到影响<sup>[21]</sup>。周龙等研究发现,喷施叶面生长调节剂可以明显促进柚子 TSS、SS、TA 含量的增加<sup>[11]</sup>。中量元素肥料的施用时间差异也是影响果实品质的重要因素,萧浪涛等认为,对柑橘土壤施钙的时期提早

表 5 冷藏期间主成分得分

指标	处理	分值							
		0 d	61 d	62 d	63 d	64 d	65 d	66 d	67 d
FAC1	A	1.95	0.71	0.38	0.10	-0.17	-0.50	-0.84	-1.31
	B	2.21	1.13	0.72	0.44	0.16	-0.21	-0.57	-0.86
	CK	1.37	0.36	-0.22	-0.35	-0.69	-0.90	-1.21	-1.70
FAC2	A	-1.56	0.46	0.73	0.85	0.83	0.48	-0.01	-1.19
	B	-1.20	0.76	0.95	1.13	1.14	0.83	0.14	-0.84
	CK	-2.25	0.66	0.67	0.31	0.01	-0.31	-0.91	-1.69
F1	A	6.04	2.20	1.18	0.32	-0.53	-1.54	-2.59	-4.04
	B	6.83	3.48	2.22	1.35	0.50	-0.66	-1.77	-2.65
	CK	4.23	1.12	-0.67	-1.09	-2.14	-2.78	-3.74	-5.26
F2	A	-2.27	0.67	1.06	1.23	1.20	0.70	-0.01	-1.73
	B	-1.74	1.10	1.38	1.64	1.65	1.21	0.21	-1.22
	CK	-3.26	0.96	0.97	0.44	0.02	-0.45	-1.32	-2.45
F	A	4.55	1.93	1.16	0.48	-0.22	-1.14	-2.13	-3.63
	B	5.29	3.05	2.07	1.40	0.71	-0.33	-1.42	-2.39
	CK	2.89	1.09	-0.37	-0.82	-1.75	-2.36	-3.31	-4.76
平均值		4.24	2.03	0.95	0.35	-0.42	-1.28	-2.28	-3.59
排名		1	2	3	4	5	6	7	8

到开花期会发挥更好的施肥效果<sup>[22]</sup>。本试验选择在喷施叶面肥处理的前提下分别在冬枣幼果期和膨大期配施中量元素叶面肥,结果显示,在幼果期喷施中量元素叶面肥的效果优于在膨大期喷施。试验结果表明,不同生长期配施中量元素叶面肥处理后均能显著提高冬枣果实品质,这与前人的有关试验结果相符。此外,喷施叶面肥处理能有效延缓冬枣贮后货架期内品质的劣变,其中在冬枣幼果期喷施效果最好。本试验主要考察了喷施叶面肥处理及在冬枣不同生长期配施中量元素叶面肥对冬枣果实品质及贮后货架期的影响,未能全面研究分析其货架期间品质变化相关的内在机制,有待后续进一步深入研究和细化,但本研究将冬枣采前生长调控结合采后贮藏品质的测定及主成分分析方法对冬枣果实品质进行系统性评价,为后人开展相关研究工作提供了新的参考。

4 结论

本试验结果表明,喷施叶面肥处理对冬枣果实和叶片的生长、促进果实中营养物质的积累作用明显,同时,对延缓冬枣果实贮后货架期间品质下降有积极影响。在幼果期喷施中量元素叶面肥处理组的冬枣果实外观及营养品质均优于对照组和膨大期喷施中量元素叶面肥处理组。另外,冬枣果实

在贮藏过程中使用保鲜袋进行保鲜贮藏处理能够有效延缓果实硬度和含水量的下降、降低果实贮藏过程中营养物质的消耗,保持果实品质。

参考文献:

[1] 裘 森,熊中奎,吕梦宇. 大枣多糖的药理作用研究进展[J]. 中国现代医生,2018,56(22):161-164.

[2] 孟伊娜,张 谦,赵晓梅,等. 新疆红枣不同处理贮藏及货架期品质变化规律的研究[J]. 新疆农业科学,2011,48(3):449-457.

[3] 周高峰,王昱超,李碧娴,等. 2 种复合型叶面肥对赣南脐橙营养状况、品质及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(18):146-149.

[4] 邢尚军,刘方春,杜振宇,等. 采前钙处理对冬枣贮藏品质、钙形态及亚细胞分布的影响[J]. 食品科学,2009,30(2):235-239.

[5] Zhao Y T, Zhu X, Hou Y Y, et al. Effects of harvest maturity stage on postharvest quality of winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) fruit during cold storage[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 277:109778.

[6] 李晓龙,田建文. 常用贮藏保鲜技术对鲜枣货架期的影响[J]. 保鲜与加工,2008,8(2):8-10.

[7] 韩齐齐,张娅妮,冯芊芊,等. 冬枣采后生理与气调贮藏关键技术研究[J]. 食品与发酵工业,2021,47(4):33-39.

[8] 刘佰霖,贾晓辉,王 阳,等. 自发气调包装对‘新梨7号’果实品质及耐贮性的影响[J]. 果树学报,2020,37(5):743-753.

[9] 许奇志,陈秀萍,邓朝军,等. 采摘成熟度对‘新白8号’枇杷常温贮藏效果的影响[J]. 果树学报,2019,36(12):1744-1753.

[10] 刘 丽,高登涛,魏志峰,等. 调环酸钙对富士苹果生长及果实品质的影响[J]. 果树学报,2021,38(7):1084-1091.

王 慧,李康顺,蔡 铁,等. 基于约束性多目标优化算法的柑橘黄龙病识别算法[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):159-167.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.023

# 基于约束性多目标优化算法的柑橘黄龙病识别算法

王 慧<sup>1</sup>,李康顺<sup>2</sup>,蔡 铁<sup>1</sup>,王文祥<sup>2</sup>,董纯铨<sup>1</sup>

(1. 深圳信息职业技术学院,广东深圳 518172; 2. 华南农业大学数学与信息学院,广东广州 510642)

**摘要:**为了克服柑橘黄龙病监测和识别难的问题,提出一种基于约束性多目标优化算法的柑橘黄龙病识别算法(CMOA-CHDIA)。将柑橘黄龙病特征最优化转换为约束性多目标优化问题模型,采用基于勒贝格测度约束性多目标粒子群优化算法(LCMOPSO)求解该模型,并获取最优柑橘黄龙病特征;根据获得的最优特征采用近邻分类算法识别柑橘黄龙病。试验结果显示,基于约束性多目标优化算法的柑橘黄龙病识别算法对柑橘黄龙病的识别准确率达到98.55%,较FSMEA、PSO-MOFSA、FSMDEA识别准确率分别增加14.55%、11.55%、12.55%,在提高柑橘黄龙病识别准确度方面效果较好,对柑橘黄龙病防治具有一定的指导意义。

**关键词:**约束性多目标优化算法;近邻分类算法;柑橘黄龙病;病害识别;最优化特征

**中图分类号:**TP391.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)06-0159-09

柑橘类水果是人们最喜爱、世界上产量较大的水果之一,同时也是农业经济中重要的组成部分。但在20世纪初,在我国华南很多地区首次同时发现了柑橘黄龙病(HLB),之后又在其他省区(四川省、

广西壮族自治区、江西省等地方)柑橘生产地相继发现了黄龙病<sup>[1]</sup>。黄龙病的病菌是一种主要通过木虱传播的类细菌病原体<sup>[2-3]</sup>,是世界上影响柑橘种植的最大的病害之一。该病菌的传染性及致病率极高,柑橘树一旦感染黄龙病病菌,将在短时间内失去去果实的能力,这将造成柑橘的生产量急剧下降<sup>[4-5]</sup>。对此,柑橘种植户对柑橘黄龙病已经演变成了“谈黄龙色变”的状态,严重影响了柑橘种植户的经济收入。传统的人工识别农作物病害,不但耗费时间精力,而且有效性低,精确迅速地辨识出农作物病害有助于及时救助,对降低黄龙病病害带来的产量和品质影响具有重大意义。

收稿日期:2022-10-04

基金项目:国家自然科学基金青年基金(编号:62203310);广东省基础与应用基础研究基金(编号:2022A1515011447);深圳市科技计划面上项目(编号:0220820010535001);广东省教育厅特色创新项目(编号:2021KTSCX281)。

作者简介:王 慧(1987—),女,四川南充人,博士,讲师,主要从事约束性多目标优化、智能识别研究。E-mail:hnndwh@sina.com。

通信作者:李康顺,博士,教授,主要从事计算机视觉、智能计算研究。E-mail:278828464@qq.com。

[11]周 龙,汤 利,杨德荣,等. 叶面喷施生物调节剂对水晶柚果实品质的影响[J]. 热带作物学报,2021,42(5):1361-1370.

[12]赵西梅,陈印平,夏江宝,等. 六种叶面肥对冬枣生长发育及果实品质的影响[J]. 分子植物育种,2019,17(16):5530-5537.

[13]赵晓梅,樊国全,吴玉鹏,等. 正交组合对库尔勒香梨贮期病害的影响[J]. 新疆农业科学,2021,58(8):1460-1467.

[14]曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007:40-60.

[15]卜彦花,周娜娜,王春悦,等. 福林酚试剂法和紫外分光光度法测定冬枣多酚含量的比较研究[J]. 中国农学通报,2012,28(1):212-217.

[16]董日月,余炳伟,扶京龙,等. 茄子果实的维生素P含量测定[J]. 分子植物育种,2017,15(8):3237-3243.

[17]耿 阳,赵晓梅,谭玉鹏,等. 采收成熟度对‘京沧1号’枣贮藏品质及抗氧化活性的影响[J/OL]. 食品与发酵工业,(2022-

04-27)[2022-05-03]. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031042.

[18]张玉凤,刘兆辉,田慎重,等. 喷施木醋液与有机水溶肥协同对小麦抗干热风的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(4):234-240.

[19]杨文丽,张浩宇,杨亚丽,等. 定向施肥结合采后低温低压静电场对灵武长枣贮藏保鲜效果的影响及相关性分析[J]. 农业科学,2021,42(1):12-19,46.

[20]兰文忠,冀 利,贺晓芳,等. 冬枣汁与金丝小枣汁总酚、总黄酮含量及抗氧化性能的比较研究[J]. 食品与发酵科技,2021,57(1):90-94.

[21]潘永贵,陈维信. 鲜切加工对果蔬挥发性风味影响[J]. 食品科学,2008,29(10):670-674.

[22]萧浪涛,李合松,黄见良,等. 应用核素示踪法研究柑桔对钙的吸收与运转[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),1996,22(3):249-255.