

叶面肥对黄土高原苹果‘烟富3号’ 果实品质的影响

史光玲,董媛媛,李诗美,曾宝珍,卢世雄,梁国平,陈佰鸿,毛娟

(甘肃农业大学园艺学院,甘肃兰州730070)

摘要:以甘肃庆阳宁县6年生‘烟富3号’苹果为试材,分别设定叶秀美氨基酸酵素液(T1)、流体钙(T2)、糖醇硼(T3)、矿源黄腐酸钾(T4)、有机硅+酵素钙(T5)、叶秀美+流体钙+糖醇硼(T6)、叶秀美+流体钙+糖醇硼+有机硅(T7)、叶秀美+流体钙+糖醇硼+有机硅+矿源黄腐酸钾(T8)、芸苔素(T9)、芸苔素+花芽双促(T10)、乐纯中量元素水溶肥料+有机硅(T11)、复硝酚钠(T12)、胺鲜脂(T13)、复硝酚钠+胺鲜脂(T14)、白砂糖+酵素+尿素(T15)、复硝酚钠+胺鲜脂+乐纯+白砂糖+酵素+尿素(T16)共计16个叶面肥处理,以清水喷施(CK)为对照,测定不同处理果实品质相关的各项指标。结果表明:喷施叶面肥可以增加果实的单果质量、果实纵径和果形指数,其中以T12处理效果最佳,分别为357.21 g、87.17 mm和0.94;T14处理下果实硬度的增加较为明显,为8.60 kg·cm⁻²;T12处理可明显提高果实中可溶性固形物含量,其含量为16.7%;T14处理可溶性糖和可溶性蛋白含量均最高,含量分别为13.90%和0.21 mg·g⁻¹;果糖和蔗糖的含量增长以T11和T12处理最为显著,两处理含量分别为72.52 mg·g⁻¹和56.91 mg·g⁻¹。醛类、酯类、醇类物质为‘烟富3号’果实主要的香气物质类型,其醛类物质中以正己醛和2-己烯醛含量最高,正己醛含量为108.81~304.45 μg·kg⁻¹,2-己烯醛含量为123.07~400.27 μg·kg⁻¹。综上,乙酸己酯、正己醛、2-己烯醛3种物质为果实的特征香气成分;T11、T12、T14处理对于改善黄土高原地区‘烟富3号’苹果的果实品质效果更佳。

关键词:苹果;叶面肥;果实品质;香气成分;黄土高原

中图分类号:S661.1;S606 **文献标志码:**A

Effects of foliar fertilizers on fruit quality of ‘Yanfu 3’ apple on the Loess Plateau

SHI Guangling, DONG Yuanyuan, LI Shimei, ZENG Baozhen, LU Shixiong,
LIANG Guoping, CHEN Baihong, MAO Juan

(College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The 6-year-old ‘Yanfu 3’ apple trees in Ning County, Qingyang, Gansu Province, were used as the test subjects. A total of 16 foliar fertilizer treatments including Yip San Mei amino acid enzyme solution (T1), fluidized calcium (T2), glycolic boron (T3), mineral-source fulvic acid potassium (T4), organosilicon + enzyme calcium (T5), Yip San Mei+fluidized calcium+glycolic boron (T6), Yip San Mei+fluidied calcium + glycolic boron + organosilicon (T7), Yip San Mei + fluidized calcium + glycolic boron + organosilicon + mineral-source fulvic acid potassium (T8), canthaxanthin (T9), canthaxanthin + double promotion of flower buds (T10), Lepure medium-weight elements of water-soluble fertilizers + organosilicon (T11), antibacterial agent (T12), amylopectin (T13), antibacterial agent + amylopectin (T14), white sugar + enzyme + urea (T15), antibacterial agent + amylopectin + Lepure + white sugar + enzyme + urea (T16) were set up with water spray (CK) as the control. The study was to determine the different treatments of fruit quality-related indicators. The results showed that spraying foliar fertilizers increased the quality of single fruit, the longitudinal diameter of the fruit and the fruit shape index, among which the T12 treatment had the best effect, which were 357.21 g, 87.17 mm, and 0.94, respectively. The fruit hardness increased significantly under T14 treatment, which was 8.60 kg·cm⁻², while T12 treatment signifi-

收稿日期:2024-04-16

修回日期:2024-07-05

基金项目:国家重点研发计划(2022YFD1602106)

作者简介:史光玲(2000-),女,甘肃古浪人,硕士研究生,研究方向为果树生物技术与种质创新。E-mail:3250871476@qq.com

通信作者:毛娟(1981-),女,甘肃兰州人,教授,主要从事果树生物技术研究。E-mail:maojuan@gsau.edu.cn

cantly increased the soluble solid content in the fruit, which was 16.7%. T14 treatment had the best effects on soluble sugar content and soluble protein with 13.90% and $0.21 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ respectively. The contents of fructose and sucrose increased most significantly under T11 and T12 treatments, with $72.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and $56.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. Aldehydes, esters, and alcohols were the main types of aroma substances in ‘Yanfu 3’ fruits. Among the aldehydes, n-hexanal and 2-hexenal had the highest content. The content of n-hexanal ranged from 108.81 to $304.45 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, and 2-hexenal content was $123.07 \sim 400.27 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. This study found that hexyl acetate, n-hexanal, and 2-hexenal were the characteristic aroma components of ‘Yanfu 3’ fruits. T11, T12 and T14 treatments were more effective in improving the fruit quality of ‘Yanfu 3’ apples in the Loess Plateau.

Keywords: apple; foliar fertilizer; fruit quality; aroma composition; Loess Plateau

苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 是蔷薇科苹果属植物, 有着“世界四大水果之一”的美誉, 因其味道鲜美、产量高、营养价值高在我国具有广泛的种植和消费市场, 是我国重要的栽培树种之一^[1]。我国苹果产业分布区域已形成环渤海和黄土高原优势区^[2]。甘肃庆阳宁县是全国优质晚熟苹果生产基地, 同时也是我国苹果重点产区之一^[3-4]。近年来, 庆阳苹果业主要以发展‘长富 2 号’、‘长富 6 号’、‘烟富 3 号’、‘烟富 6 号’等晚熟品种为主, 适当发展‘嘎拉优系’、‘元帅优系’、‘华冠’、‘早熟嘎富’等早中熟品种为辅^[5]。该地区生产的苹果具有个大、糖分含量高、甜酸适中、硬度高的特点^[6], 其中‘烟富 3 号’不但易着色、色泽艳丽、结果早、树势健壮、丰产稳, 且适应性较强, 贮藏性良好, 已成为该区域栽培面积较大、市场占有率高的一种优质苹果。因此, 为进一步提升‘烟富 3 号’苹果的果实品质, 研究针对性的果园施肥技术迫在眉睫。

随着农业生产的不断发展, 果园施肥技术也在不断地创新和完善, 在生产中常用的施肥方式主要以土壤施肥为主, 叶面施肥较少。相较于传统的土壤施肥来讲, 叶面施肥具有养分利用率高、肥料用量少、环境污染风险小、肥效好等优点, 其直接作用于作物的叶表面, 能够快速补充作物所需要的各种微量元素^[7-9]。叶面施肥作为一种重要的营养素补充手段, 具有调控果树营养生长, 促进叶内干物质积累和运输, 促进果树生殖生长等功能, 同时增加植株对营养元素的利用, 是一种广泛应用的生长调控手段, 对于提高果实的品质有着重要意义^[10]。有研究表明, 果树喷施叶面肥可以有效地弥补土壤中缺乏的养分, 特别是在干旱年份, 土壤施肥难以发挥作用, 而叶面施肥能够迅速地给果树提供养分, 确保树体的营养积累, 从而改善果实品质^[11]。

目前关于叶面肥对苹果果实品质的影响已有广泛研究, 但关于对‘烟富 3 号’果实品质的影响鲜

有报道。因此, 本研究以甘肃庆阳宁县 6 年生‘烟富 3 号’苹果为试材, 探究喷施不同叶面肥对苹果果实品质的影响, 筛选出最佳的叶面肥组合, 以期为该地区‘烟富 3 号’果实品质的提高提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及研究区概况

供试品种为 6 年生的‘烟富 3 号’嫁接苗, 砧木为 M9T337, 南北行向, 行距 3.5 m, 株距 1.5 m。试验于 2022 年在甘肃省庆阳市宁县生产调度中心苹果园基地进行 ($35^{\circ} 15' \text{ N}$, $107^{\circ} 41' \text{ E}$)。该地区海拔 1 170 m, 年均气温为 8.7°C , 年均降水量为 565.9 mm, 年均蒸发量为 1 442.6 mm, 无霜期为 168.2 d, 年均日照时数为 2 369.1 h。

1.2 试验设计

全园以农作物堆沤后的有机肥 (秸秆、牛粪等) 进行秋施, 施肥量为 $45\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 配施尿素 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 过磷酸钙 $1\ 200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。追肥在土壤解冻后到萌芽前施磷酸二铵, 施肥量为 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 在花芽分化及果实膨大期施氯化钾 $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和磷酸二铵 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 田间管理与常规管理一致。本研究叶面肥喷施时间从果实膨大期开始, 每隔 15 d 喷 1 次, 共喷施 4 次。试验共设 16 个施肥种类处理, 以喷清水为对照 (CK), 每个处理 9 棵果树。喷施叶面肥时叶的正反面均要喷施, 避开高温, 选择早晚时间喷施, 根据树种选择合适浓度, 遵循其说明书剂量使用, 喷施均匀, 以不滴水为准。叶面肥成分及喷施浓度分别见表 1 和表 2。

1.3 测定指标及方法

果实品质的测定方法: 将每棵果树分为上、中、下 3 层, 随机选择不同层、不同方位的 4 个苹果取样, 重复 3 次。用电子天平 (精度为 0.01 g) 称量从各处理中随机抽取的 12 个苹果, 取平均值, 即为平均单果质量; 使用游标卡尺测量果实横径和纵径,

并计算其果形指数。果实表皮色差利用色差仪(CS410)进行测定。果实硬度利用CY-4-J数显硬度计测定。果实相对含水量采用烘干称重法测定。维生素C含量采用二甲苯萃取比色法测定;利用便携式数显糖度计(PAL-1型)测定可溶性固形物含量;可溶性总糖含量采用蒽酮比色法测定;利用酸度计(雷磁,PHS-3E型)测定果实的pH值;可滴定酸采用NaOH中和滴定法测定;总酚含量用福林-

肖卡法测定;花青素和类黄酮利用分光光度法测定;可溶性蛋白含量利用考马斯亮蓝染色法测定。

果糖、蔗糖、山梨糖醇和葡萄糖的测定方法:参考Míguez等^[12]、刘玉莲等^[13]的方法并作修改,称取0.5 g经液氮研磨后的苹果果肉并转入10 mL离心管中,随后加入5 mL 80%乙醇,35℃下超声提取20 min,12 000 r·min⁻¹高速冷冻离心机下离心15 min,吸取上清液。重复提取2次,每次加80%乙醇

表1 供试叶面肥成分

Table 1 Composition of foliar fertilizer in the experiment

序号 Serial number	名称 Name	成分 Component	浓度 Concentration	来源 Source
1	叶秀美 Yip Sau Mei	氨基酸酵素液 Amino acid enzyme liquid	氨基酸 Amino acid 100 g·L ⁻¹ , Cu+Fe+Mn+Zn+B≥20 g·L ⁻¹	青岛千禾春生物科技有限公司 Qingdao Qianhechun Biotechnology Co.
2	流体钙 Fluidized calcium	中量元素水溶肥料 Water-soluble fertilizer with medium elements	Ca≥180 g·L ⁻¹ , 复合糖醇 Compound sugar alcohol≥50 g·L ⁻¹	山东瑞普科技有限公司 Shandong Ruipu Technology Co.
3	糖醇硼 Glycolic boron		B≥160 g·L ⁻¹	山东瑞普科技有限公司 Shandong Ruipu Technology Co.
4	矿源黄腐酸钾 Mineral-source fulvic acid potassium	含腐植酸水溶肥料 Water-soluble fertilizers containing humic acid	可溶性黄腐酸钾 Soluble potassium xanthate≥50%, K ₂ O≥12%, 水不溶物 Water insoluble matter≤0.02%, 有机质 Organic matter≥65%, 水分含量 Moisture content≤3%	山东瑞普科技有限公司 Shandong Ruipu Technology Co.
5	有机硅 Organosilicon	乙氧基聚醚改性三硅氧烷,助剂 Ethoxylated polyether modified trisiloxane, additives		河北强奥生物科技有限公司 Hebei Qiang'ao Biotechnology Co.
6	酵素钙 Calcium enzyme		Ca≥150 g·L ⁻¹ , Mg≥20 g·L ⁻¹ , Zn≥10 g·L ⁻¹	陕西鼎华惠农生物科技有限公司 Shaanxi Dinghua Huinong Biotechnology Co.
7	花芽双促 Double promotion of buds		P ₂ O ₅ ≥520 g·L ⁻¹ , K ₂ O≥340 g·L ⁻¹ , Fe+Zn+B≥2.5 g·L ⁻¹	山东济宁邦而利工贸有限公司 Shandong Jining Bang and Li Industry and Trade Co.
8	乐纯 Lepure	中量元素水溶肥料 Water-soluble fertilizer with medium elements	Ca+Mg≥145 g·L ⁻¹ , N≥100 g·L ⁻¹	意大利比奥齐姆公司 Biozim, Italy
9	复硝酚钠 Antibacterial agent		有效成分 Active ingredient 98%	河南斯诺丁农业科技有限公司 Henan Snodin Agricultural Technology Co.
10	胺鲜脂 Amylopectin		有效成分 Active ingredient 98%	河南斯诺丁农业科技有限公司 Henan Snodin Agricultural Technology Co.
11	羟基芸苔素甾醇 14-Hydroxyrutinosterol		有效成分 Active ingredient 0.0075%	桂林集琦生化有限公司 Guilin Jiqi Biochemical Co.
12	酵素 Enzyme		有效成分 Active ingredient 95%	安琪酵母股份有限公司 Angie's Yeast Co.
13	尿素 Urea		总氮 Total nitrogen≥46.2%	四川泸天化股份有限公司 Sichuan Lutianhua Co.

表 2 试验处理的叶面肥种类及浓度

Table 2 Types and concentrations of foliar fertilizers of experimental treatments

处理 Treatment	名称 Name	喷施浓度 Spray concentration
CK	对照 Contrast	喷施清水 Spraying with fresh water
T1	叶秀美 Yip Sau Mei	稀释 500 倍液 Diluted 500 times
T2	流体钙 Fluidized calcium	稀释 1 500 倍液 Diluted 1 500 times
T3	糖醇硼 Glycolic boron	稀释 2 000 倍液 Diluted 2 000 times
T4	矿源黄腐酸钾 Mineral-source fulvic acid potassium	稀释 2 000 倍液 Diluted 2 000 times
T5	有机硅+酵素钙 Organosilicon + Enzymatic calcium	稀释 1 000 倍液+稀释 1 000 倍液 Dilute 1 000 times+Dilute 1 000 times solution
T6	叶秀美+流体钙+糖醇硼 Yip Sau Mei + Fluidized calcium + Glycolic boron	稀释 500 倍液+稀释 1 500 倍液+稀释 2 000 倍液 Dilute 500 times+Dilute 1 500 times+Dilute 2 000 times solution
T7	叶秀美+流体钙+糖醇硼+有机硅 Yip Sau Mei + Fluidized calcium + Glycolic boron + Organosilicon	稀释 500 倍液+稀释 1 500 倍液+稀释 2 000 倍液+稀释 1 000 倍液 Dilute 500 times+Dilute 1 500 times+Dilute 2 000 times+Dilute 1 000 times solution
T8	叶秀美+流体钙+糖醇硼+有机硅+矿源黄腐酸钾 Yip Sau Mei + Fluidized calcium + Glycolic boron + Organosilicon + Mineral-source fulvic acid potassium	稀释 500 倍液+稀释 1 500 倍液+稀释 2 000 倍液+稀释 1 000 倍液+稀释 2 000 倍液 Dilute 500 times+Dilute 1 500 times+Dilute 2 000 times+Dilute 1 000 times+Dilute 2 000 times solution
T9	芸苔素 Canthaxanthin	稀释 1 500 倍液 Diluted 1 500 times
T10	芸苔素+花芽双促 Canthaxanthin + Double promotion of buds	稀释 1 500 倍液+稀释 750 倍液 Dilute 1 500 times+Dilute 750 times solution
T11	乐纯+有机硅 Lepure + Organosilicon	稀释 1 500 倍液+稀释 1 000 倍液 Dilute 1 500 times+Dilute 1 000 times solution
T12	复硝酚钠 Antibacterial agent	0.013 g · L ⁻¹
T13	胺鲜脂 Amylopectin	0.013 g · L ⁻¹
T14	复硝酚钠+胺鲜脂 Antibacterial agent + Amylopectin	0.013 g · L ⁻¹ +0.013 g · L ⁻¹
T15	白砂糖+酵素+尿素 Sugar + Enzyme + Urea	10 g · L ⁻¹ +0.2 g · L ⁻¹ +0.5 g · L ⁻¹
T16	复硝酚钠+胺鲜脂+乐纯+白砂糖+酵素+尿素 Antibacterial agent + Amylopectin + Lepure + Sugar + Enzyme + Urea	0.013 g · L ⁻¹ +0.013 g · L ⁻¹ +稀释 1 500 倍液+10 g · L ⁻¹ +0.2 g · L ⁻¹ +0.5 g · L ⁻¹ 0.013 g · L ⁻¹ +0.013 g · L ⁻¹ + diluted 1 500 times solution + 10 g · L ⁻¹ +0.2 g · L ⁻¹ +0.5 g · L ⁻¹

2 mL,最后定容至 10 mL。使用真空离心浓缩仪旋转蒸发(60℃)后,用 1 mL 超纯水、1 mL 乙腈复溶,然后过 0.22 μm 有机相微孔滤膜,置棕色进样瓶中待测。配制不同梯度的果糖、蔗糖和葡萄糖标样,进行标准曲线的绘制。

草酸、酒石酸、奎宁酸、苹果酸和柠檬酸的测定方法:参考 Liu 等^[14]和郭燕等^[15]的方法并作改动,称取 1 g 经液氮研磨后的苹果果肉,移至 10 mL 离心管中,并用超纯水(屈臣氏)定容至 5 mL,在 4℃、10 000 r · min⁻¹下离心 10 min,将上清液转移至新的离心管中,过 0.22 μm 水相微孔滤膜后,置棕色进样瓶中待测。

果实香气组分的测定方法:参考倪溢楠^[16]的方法并作修改,苹果果实去除果梗和籽后,各处理将果肉用小型榨汁机打成匀浆,称取(10±0.1)g 匀浆置于 20 mL 进样小瓶中,加入磁力搅拌转子、1.5 g 氯化钠和 15 μL 的 2-辛醇(0.819 mg · mL⁻¹),用石蜡封口膜密封,置于 40℃ 恒温磁力搅拌器平衡 30 min,然后用 DVB/CAR/PDMS 纤维萃取头萃取 30 min,萃取后立即进行 GC-MS 进样分析。计算公式

如下:

$$\text{各香气物质含量} = \frac{\text{各组分峰面积}}{\text{2-辛醇峰面积}} \times \frac{\text{2-辛醇浓度}}{\text{样品量}} \times 15$$

$$\text{香气值} = \frac{\text{某香气成分含量}}{\text{香气阈值}}$$

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据处理,采用 Origin 2022 软件进行绘图,利用 SPSS 22.0 进行相关分析、单因素方差分析,比较不同处理间的差异显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同叶面对‘烟富 3 号’果实外观和内在品质的影响

不同叶面肥处理之间‘烟富 3 号’果实的纵径、横径、单果质量以及果实相对含水量存在不同程度的差异(表 3)。各处理中以 T12 处理的果实纵径最大;T15 处理的果实横径高于其他处理;各处理果形指数介于 0.79~0.94 之间;T12 处理单果质量最大(357.21 g),果形指数最佳(0.94)。综上可知,T12

处理有助于改善‘烟富 3 号’的果实形态。

T2 处理的苹果果实 pH 值最高(图 1A);T14 处理的果实硬度最大,其次是 T3 处理(图 1B)。由图 1C 可知,各处理的可溶性固形物含量表现为 T12>

T5>T14>T7=CK>T15>T10>T4>T1>T13>T11>T16>

T3>T8>T2>T9>T6,以 T12 处理可溶性固形物含量最高。总体来看,T12、T14 处理有助于改善‘烟富 3 号’果实的品质。

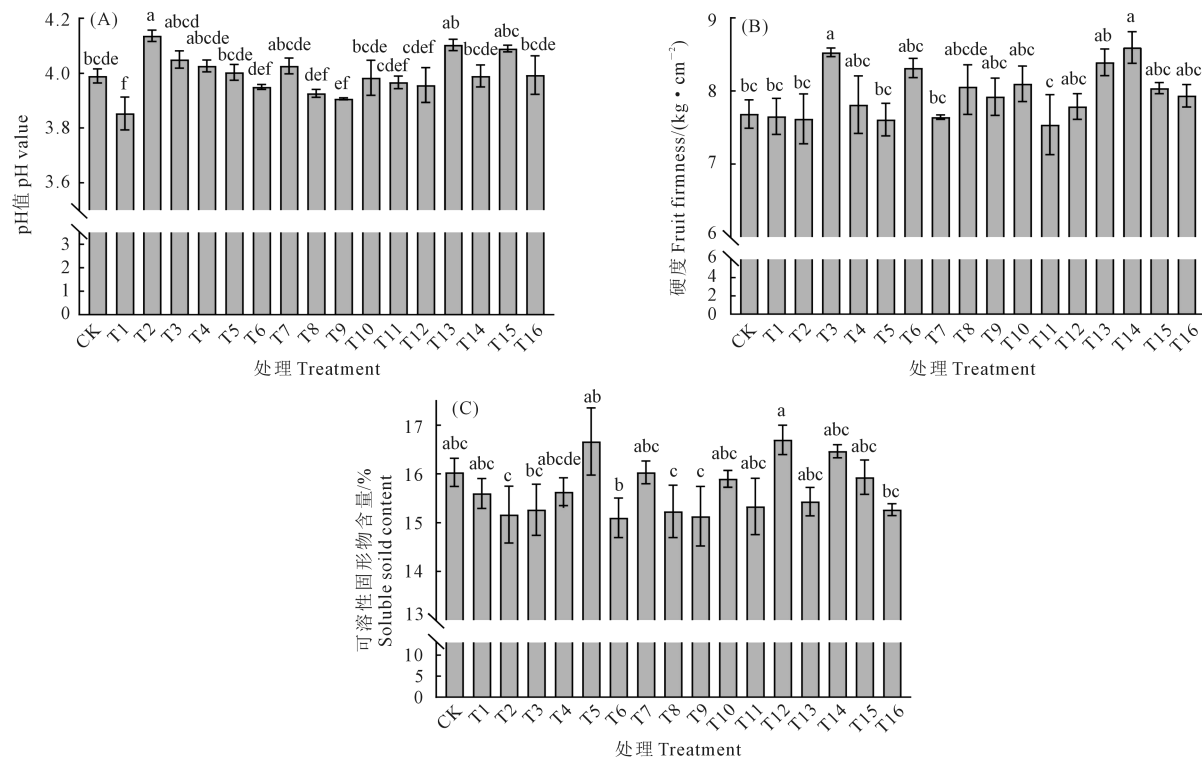
表 3 不同叶面肥对苹果单果质量、纵横径、果形指数及相对含水量的影响

Table 3 Effects of different foliar fertilizers on the quality, longitudinal and transverse meridians, fruit shape index and relative water content of apple single fruit

处理 Treatment	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Transverse diameter	果形指数 Fruit shape index	单果质量/g Single fruit quality	相对含水量/% Relative moisture content
T1	81.47±3.60abc	90.06±1.49abc	0.90±0.03ab	318.24±25.33abc	81.94±0.04bc
T2	76.50±1.74bcd	88.32±2.01bc	0.87±0.03bcd	293.53±5.15cde	83.63±0.08a
T3	77.71±2.14bcd	90.25±2.02abc	0.86±0.04bcd	305.78±16.07bcd	82.99±0.27ab
T4	77.09±2.07bcd	89.22±0.96abc	0.86±0.03bcd	307.20±11.74bcd	83.12±0.18ab
T5	80.52±1.11abc	92.45±0.72ab	0.87±0.01bcd	337.54±9.30abc	82.18±0.08ab
T6	78.39±2.22bcd	91.54±0.77abc	0.86±0.02bcd	313.79±8.84abc	82.32±0.33ab
T7	74.24±0.78cd	86.06±2.41cd	0.86±0.02bcd	265.09±7.18de	80.64±0.18cd
T8	72.73±1.09d	83.08±2.05d	0.88±0.03abc	247.59±9.69e	82.55±0.31ab
T9	73.06±0.53d	91.61±2.22abc	0.80±0.02de	295.61±18.51cd	82.29±0.36ab
T10	78.45±2.22bcd	89.24±1.46abc	0.88±0.01abc	305.51±19.31bcd	82.34±0.07ab
T11	72.15±1.36d	87.49±2.00abc	0.82±0.03bcde	260.85±8.03de	80.32±0.88d
T12	87.17±2.68a	92.32±1.28ab	0.94±0.04a	357.21±4.01a	81.81±0.27bc
T13	72.84±4.30d	92.43±1.91ab	0.79±0.05e	324.67±1.67abc	83.03±0.04ab
T14	76.15±2.61cd	91.18±1.26bcd	0.84±0.03bcde	308.72±12.90bcd	81.79±1.42bc
T15	77.94±1.92bcd	94.09±0.38a	0.83±0.02bcde	340.27±16.92abc	82.94±0.01ab
T16	83.63±1.37abc	92.79±1.90ab	0.90±0.01ab	344.71±27.50ab	82.12±0.17ab
CK	79.21±1.71bcd	88.92±1.32abc	0.89±0.02abc	291.79±12.59cde	82.63±0.17ab

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). The same below.



注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$), the same below.

图 1 不同叶面肥对苹果果实 pH 值、硬度和可溶性固形物含量的影响

Fig.1 Effects of different foliar fertilizers on the pH value, hardness, and soluble solid content of apple fruits

不同叶面肥处理对‘烟富 3 号’果实的着色有不同影响(表 4)。T16 处理的 L 值最高,其次为 T14 处理,表明 T14、T16 处理着色程度更好;CK、T4、T5、T11 和 T15 处理的 a 值高于其他处理,T16 处理下 b 值最高,且显著高于其他处理,表明 T14 和 T16 处理下果实相较于其他处理明亮度较高,CK、T4、T5、T11 和 T15 处理下果实相较于其他处理偏红,T16 处理下果实相较于他处理偏黄。

不同叶面肥处理下‘烟富 3 号’果实维生素 C 含量存在差异,T13 处理果实的维生素 C 含量最高;不同叶面肥处理下各处理果实的花青素含量存在差异,在‘烟富 3 号’果实成熟期,T11 处理的花青素含量最大,T7 处理次之,且两处理均显著高于其他处理。不同处理下‘烟富 3 号’果实的总酚含量介于 $13.86\sim 19.70\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间,其中 T12 处理含量最高(表 5)。总体来看,T12、T11 处理对‘烟富 3 号’果实基本品质的改善效果更好。

由表 6 可知,不同叶面肥对‘烟富 3 号’果实类黄酮含量存在显著差异,其中 T10 处理果实的类黄酮含量最高,T3 处理果实的类黄酮含量最少;T14 处理下‘烟富 3 号’果实可溶性蛋白含量最高;不同叶面肥处理之间可溶性糖含量和可滴定酸含量也有所不同,其中可溶性糖含量的积累以 T14 处理效

果最佳;不同叶面肥处理能够不同程度地提高果实的糖酸比,其中,与 CK 相比,T15 处理下糖酸比的值最大,达到 96.32。总体来看,T14、T11 处理改善‘烟富 3 号’果实基本品质的效果相比其他处理更好。

2.2 不同叶面肥对‘烟富 3 号’果实糖组分的影响

不同叶面肥对‘烟富 3 号’果实糖组分的影响如图 2 所示。由图 2A 可知,T11 处理苹果果实的果糖含量最高,T9 处理果糖含量最低。各处理中以 T13 处理‘烟富 3 号’果实的葡萄糖含量最高,其次为 T6 处理,T10 处理的果实葡萄糖含量最低(图 2B)。各处理‘烟富 3 号’果实的山梨糖醇含量相比,T11 处理最高,且显著高于其他处理(图 2C)。T12 处理蔗糖含量最高,T14、T15 处理的蔗糖含量最低(图 2D)。综上所述,T11、T13 处理对‘烟富 3 号’果实糖组分含量的增加更明显。

2.3 不同叶面肥对‘烟富 3 号’果实酸组分的影响

不同叶面肥对‘烟富 3 号’果实酸组分的影响如图 3 所示。由图 3A 可知,酒石酸含量以 T2 处理最高。T15 处理下果实的奎宁酸含量最高,T13 处理下奎宁酸含量最低(图 3B)。T1、T12、T14 处理下

表 4 不同叶面肥对苹果果实表皮色差的影响

Table 4 Effects of different foliar fertilizers on the color difference of apple fruit epidermis

处理 Treatment	L 值 L -value	a 值 a -value	b 值 b -value
T1	44.45±0.05ab	26.13±0.04abc	19.24±0.01bcd
T2	47.93±0.02ab	22.40±0.02bc	19.93±0.03bcd
T3	43.69±0.01ab	23.03±0.01bc	21.25±0.10bc
T4	41.97±0.02ab	30.11±0.01a	16.90±0.01bcd
T5	41.58±0.01ab	29.05±0.01a	19.95±0.03bcd
T6	41.67±0.01ab	27.94±0.05abc	15.80±0.06cd
T7	43.41±0.03ab	26.52±0.14abc	18.58±0.02bed
T8	43.77±0.02ab	24.70±0.01abc	17.50±0.04bcd
T9	45.59±3.81ab	23.60±2.77abc	17.51±0.45bcd
T10	39.26±4.00b	25.40±3.10abc	20.34±2.58bcd
T11	44.92±1.64ab	30.23±0.84a	16.10±1.51bed
T12	39.89±2.55b	27.04±1.23bc	14.74±0.70d
T13	45.32±2.52ab	25.10±1.01abc	21.48±0.35b
T14	49.35±3.03a	22.87±5.43bc	20.87±2.82bc
T15	39.00±4.51b	28.68±2.15a	14.87±2.21d
T16	50.60±5.24a	18.93±7.97c	28.38±4.31a
CK	45.19±3.99ab	33.53±2.11a	20.32±2.20bcd

注: L 值表示颜色亮度,与果实的着色程度和光洁度有关; a 值表示红绿色度,正值时为红色; b 值表示黄蓝色度,正值时为黄色。

Note: L -value indicates color brightness, which is related to the degree of coloring and finish of the fruit. a -value indicates red-greenness, which is red at positive values. b -value indicates yellow-blueness, which is yellow at positive values.

表 5 不同叶面肥对苹果果实维生素 C、花青素和总酚含量的影响

Table 5 Effects of different foliar fertilizers on vitamin C, anthocyanins and total phenols contents of apple fruits

处理 Treatment	维生素 C Vitamin C $\text{}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	花青素 Anthocyanins $\text{}/(\Delta\text{OD}\cdot\text{g}^{-1})$	总酚 Total phenol $\text{}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$
T1	21.63±3.04cd	0.20±0.03e	13.86±0.35i
T2	19.99±4.07e	0.12±0.06f	14.40±0.58h
T3	21.39±1.05cd	0.21±0.02e	16.10±0.23e
T4	22.14±2.06bc	0.29±0.03d	15.73±0.71f
T5	21.53±3.07cd	0.21±0.19e	17.77±0.86c
T6	20.50±4.08d	0.15±0.04f	18.32±0.65b
T7	22.89±2.04b	0.40±0.02b	17.20±0.95d
T9	22.81±2.02b	0.17±0.01f	15.58±0.45f
T10	19.93±2.04e	0.19±0.00e	16.41±0.53e
T11	21.40±4.01cd	0.51±0.11a	14.82±0.71h
T12	22.49±3.06bc	0.29±0.02d	19.70±0.20a
T13	23.45±5.01a	0.25±0.05e	15.77±0.61f
T14	20.56±5.02d	0.30±0.04d	16.41±0.12e
T15	21.94±1.04c	0.23±0.14e	14.41±0.71h
T16	20.14±4.02de	0.14±0.02f	17.30±0.32d
CK	22.05±3.04bc	0.21±0.09e	15.26±0.69g

表 6 不同叶面肥对苹果果实类黄酮、可溶性蛋白、可溶性糖、可滴定酸及糖酸比的影响

Table 6 Effects of different foliar fertilizers on flavonoids, soluble protein, soluble sugar, titratable acid, and glucosinolate ratio of apple fruits

处理 Treatment	类黄酮/(mg·g ⁻¹) Flavonoids	可溶性蛋白/(mg·g ⁻¹) Soluble protein	可溶性糖/% Soluble sugar	可滴定酸/(mg·g ⁻¹) Titratable acid	糖酸比 Sugar-acid ratio
T1	1.47±0.07f	0.15±0.07bcd	11.07±2.89d	0.50±0.03a	42.06±1.62c
T2	1.21±0.26g	0.16±0.02b	12.24±2.52b	0.40±0.07ab	56.36±5.47bc
T3	0.95±0.06h	0.17±0.08b	11.09±2.59d	0.34±0.13ab	70.94±17.76b
T4	1.79±0.03de	0.15±0.03bcd	11.58±8.04c	0.37±0.03ab	58.92±3.29bc
T5	1.90±0.09de	0.16±0.06b	12.28±4.93b	0.57±0.03a	39.22±1.34c
T6	1.98±0.02d	0.17±0.01b	11.06±1.73d	0.34±0.00ab	62.87±0.03bc
T7	1.54±0.04e	0.13±0.02d	12.09±4.62b	0.54±0.07a	41.64±3.02c
T8	1.50±0.05ef	0.15±0.07cd	11.10±1.16d	0.54±0.00a	39.36±0.02c
T9	1.46±0.01f	0.15±0.18bcd	12.10±4.16b	0.47±0.13ab	49.90±8.60bc
T10	3.52±0.01a	0.17±0.08b	11.04±5.51d	0.44±0.03ab	48.52±2.20bc
T11	3.24±0.33ab	0.20±0.09ab	12.00±3.53b	0.54±0.07a	41.48±3.01c
T12	2.87±0.01b	0.13±0.09d	10.91±6.03d	0.40±0.07ab	53.03±5.23bc
T13	1.64±0.01e	0.18±0.03ab	11.07±3.06d	0.37±0.03ab	57.51±3.06bc
T14	2.29±0.65c	0.21±0.09a	13.90±2.89a	0.40±0.13ab	64.41±13.15bc
T15	2.89±0.01b	0.15±0.09cd	12.26±6.11b	0.23±0.03b	96.32±8.10a
T16	2.82±0.01b	0.15±0.07bcd	11.08±1.73d	0.34±0.13ab	70.90±17.73b
CK	2.52±0.36bc	0.13±0.02d	11.05±3.22d	0.34±0.07ab	64.61±7.66bc

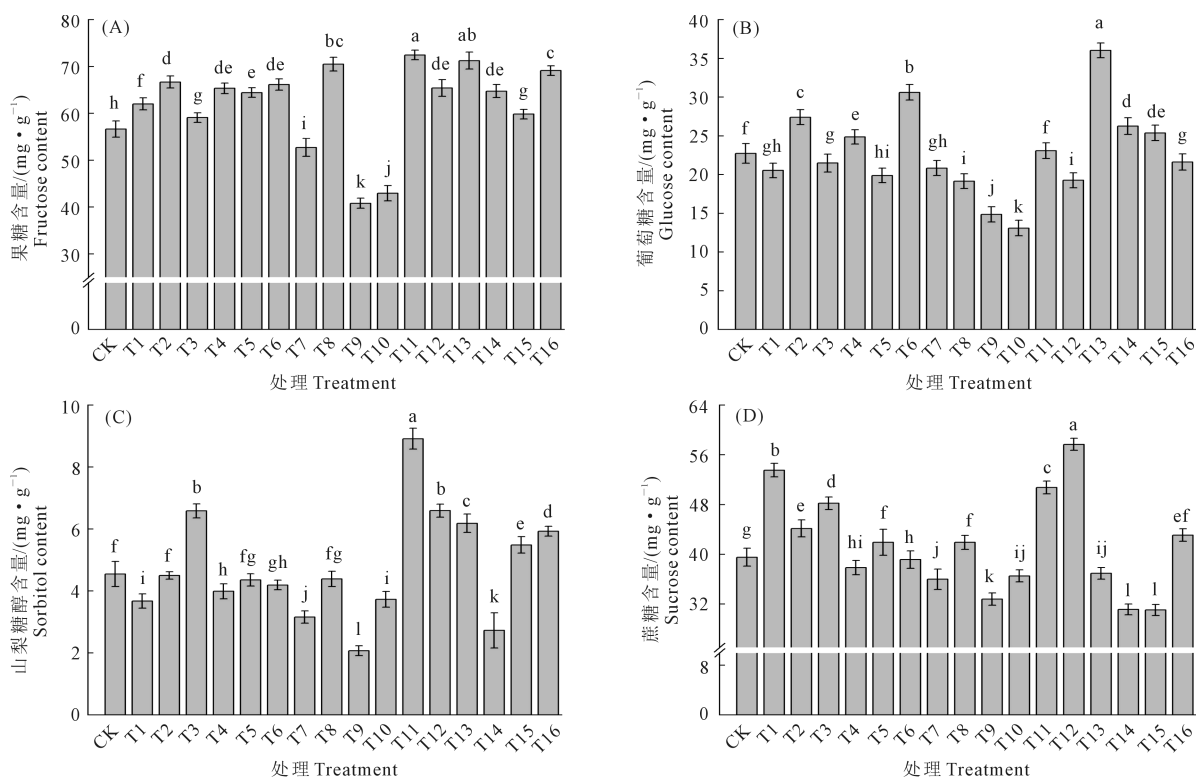


图 2 不同叶面肥处理下果实中糖组分含量

Fig.2 Sugar fraction contents in fruits under different foliar fertilizer treatments

‘烟富 3 号’果实的柠檬酸含量较高, T7 处理果实的柠檬酸含量最低(图 3C)。由图 3D 可知, T1 处理果实的苹果酸含量最高。由图 3E 可以看出, T16 处理苹果果实草酸含量最高, 但处理间差异不显著。综上所述, T2 处理下酒石酸含量最高, T16 处理下草酸含量最高, T15 处理下果实奎宁酸含量最高。

2.4 不同叶面肥对‘烟富 3 号’果实香气组分的影响

分析不同叶面肥对‘烟富 3 号’苹果果实香气组分的影响发现, 果实中含有上百种香气物质, 主要为醛类、酯类、醇类等香气类型。醛类物质中主要包含正己醛、2-己烯醛、正辛醛、(E)-2-庚烯醛、

反式-2-壬烯醛等,其中前三者为所有处理及对照所共有的香气物质,以正己醛和2-己烯醛含量最高(表7)。酯类物质中主要包含乙酸丁酯、2-甲基丁基乙酸酯、乙酸戊酯、乙酸己酯、丁酸己酯,这5种物质在所有处理中都存在。相比其他酯类,乙酸己酯的含量相对较高(表8)。

除未检测到的处理外,所检测到的处理中乙酸己酯、正己醛和2-己烯醛的香气值均大于1(表9),故该3种物质为‘烟富3号’果实的特征香气成分。

2.5 喷施不同叶面肥对‘烟富3号’果实品质影响的综合评价

根据隶属函数公式 $U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$,对影响‘烟富3号’果实品质的21项指标进行计算,得到各个处理的值位于[0,1]区间(表10),‘烟富3号’苹果的综合得分排名表现为 T12>T5>T11>T15>T14>T3>T13>T16>T4>T2>T1>T9>T6>CK>T8>T7>T10,得分越高,处理效果越好,因此T12处理对于改善‘烟富3号’果实品质效果最佳,T5处理次之。

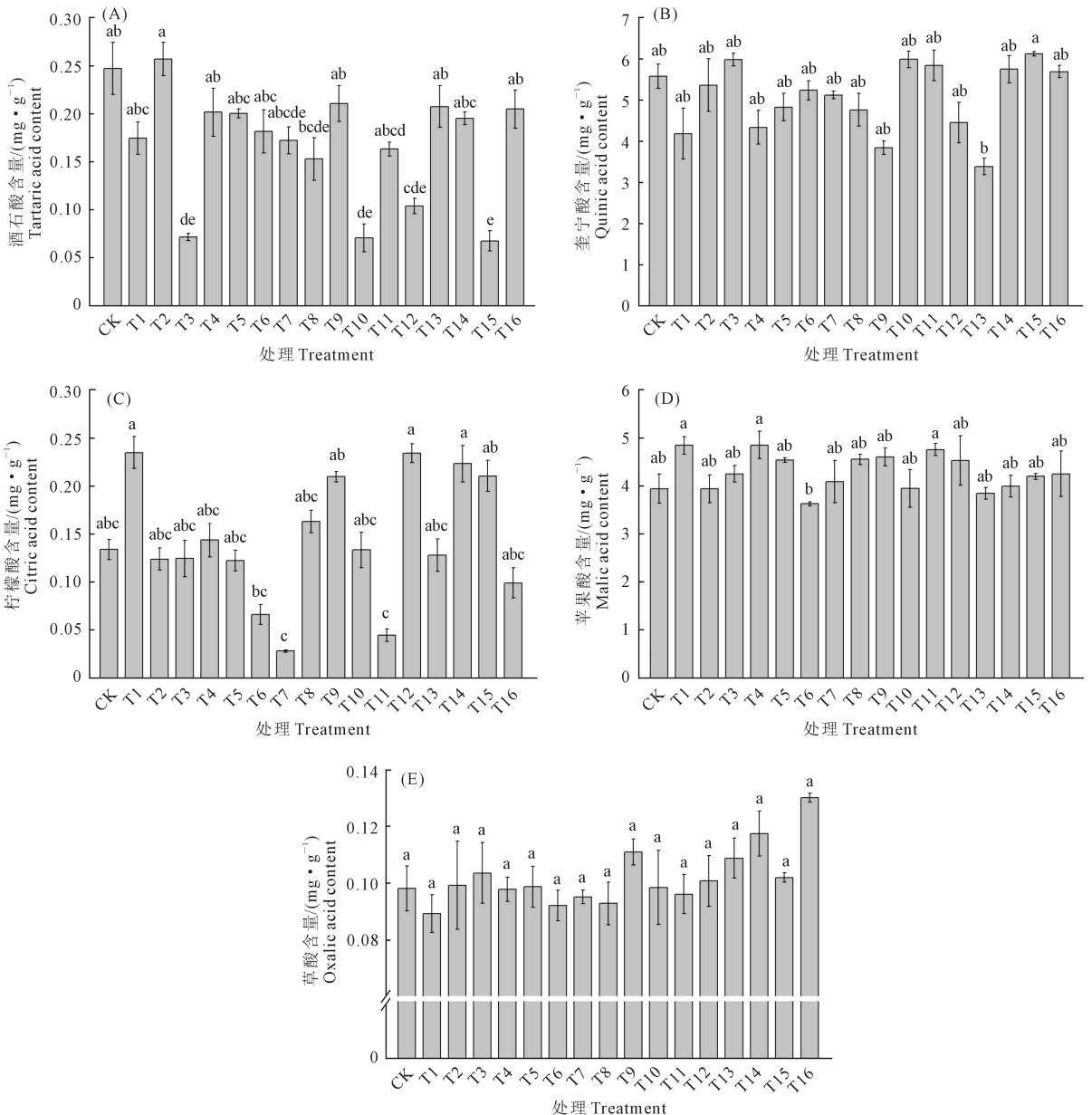


图 3 不同叶面肥处理下果实中酸组分含量

Fig.3 Acid fraction contents in fruits under different foliar fertilizer treatments

表 7 不同叶面肥处理下果实中主要醛类物质含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 7 Major aldehyde contents in fruits under different foliar fertiliser treatments

处理 Treatment	正己醛 Hexanal	正辛醛 Octanal	(E)-2-庚烯醛 (E)-2-heptenal	2-己烯醛 2-hexenal	反式-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal
T1	304.45±0.78a	0.11±0.01de	1.29±0.06b	123.07±1.45h	0.71±0.09a
T2	193.38±3.71d	/	0.58±0.08cd	307.35±6.90bc	0.21±0.03d
T3	110.93±2.72i	/	0.47±0.08d	230.88±9.73g	/
T4	166.95±0.07f	0.39±0.07b	/	315.47±6.31b	0.20±0.02de
T5	129.85±2.61h	/	0.61±0.06c	226.47±6.32g	0.15±0.01def
T6	163.64±7.98f	0.11±0.01de	0.47±0.06d	259.48±11.99ef	/
T7	164.60±0.85f	0.12±0.01 de	/	284.86±4.45d	0.08±0.01f
T8	108.81±5.93i	0.09±0.01 ef	/	251.05±5.72f	0.18±0.03de
T9	207.04±4.19c	0.16±0.01ed	0.25±0.04e	397.49±3.56a	0.18±0.01de
T10	115.96±8.42i	0.13±0.01de	0.49±0.03cd	/	0.12±0.01ef
T11	182.19±8.75e	0.15±0.01cd	0.53±0.02cd	302.81±3.10bc	0.33±0.04c
T12	140.96±4.31g	/	/	306.77±5.99bc	/
T13	220.20±2.55b	0.12±0.01de	1.50±0.14a	400.27±6.69a	/
T14	147.38±6.54g	0.13±0.04cd	/	307.30±5.24bc	0.32±0.04c
T15	200.30±6.65cd	0.05±0.01f	0.57±0.08cd	272.50±6.36de	0.32±0.02c
T16	177.67±3.30e	0.49±0.04a	0.50±0.04cd	271.81±4.52de	0.58±0.07b
CK	201.84±4.48cd	0.20±0.03c	0.11±0.01f	299.35±7.99c	0.71±0.09a

注:“/”表示未检测出。下同。

Note:“/” indicates no detection. The same below.

表 8 不同叶面肥处理下果实中主要酯类物质含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 8 Major ester contents in fruits under different foliar fertiliser treatments

处理 Treatment	乙酸丁酯 Butyl acetate	2-甲基丁基乙酸酯 2-Methylbutyl acetate	乙酸戊酯 Amyl acetate	乙酸己酯 Hexyl acetate	丁酸己酯 Hexyl butyrate
T1	3.98±0.17f	9.49±0.25j	0.29±0.04fg	11.90±0.35cd	2.72±0.39a
T2	3.26±0.34g	34.45±0.98fg	0.78±0.05cdef	9.43±0.33fg	0.95±0.01bede
T3	3.96±0.34f	36.05±1.34f	0.29±0.04fg	4.53±0.81j	0.28±0.04f
T4	4.14±0.23f	34.28±1.39fg	0.36±0.08efg	7.65±0.64h	0.60±0.08ef
T5	2.83±0.11g	19.45±1.20i	0.20±0.03g	6.72±0.68hi	1.17±0.12bed
T6	7.86±0.14b	71.42±0.96b	0.88±0.04bcde	14.39±0.87b	1.28±0.35bc
T7	4.95±0.22e	64.90±1.70c	0.51±0.14efg	12.11±0.32c	1.30±0.18b
T8	4.94±0.23e	31.18±2.86g	0.31±0.04fg	7.34±0.35h	0.60±0.09ef
T9	12.76±0.49a	111.07±5.84a	2.50±0.69a	10.40±0.23ef	0.82±0.07bcde
T10	6.44±0.62d	64.87±1.95c	2.52±0.66a	8.97±0.93g	0.60±0.08ef
T11	4.13±0.15f	48.71±1.52de	0.94±0.08bcd	16.90±0.42a	2.55±0.58a
T12	7.16±0.25c	61.66±0.95c	2.03±0.27a	10.84±0.26de	0.79±0.04cde
T13	5.01±0.28e	48.72±0.83de	0.88±0.04bcde	10.72±0.69de	0.88±0.05bcde
T14	3.02±0.12g	25.01±0.42h	0.30±0.02fg	6.93±0.53hi	0.96±0.01bede
T15	0.96±0.01i	52.15±1.34d	1.46±0.09b	12.77±0.69c	1.27±0.12bcd
T16	1.81±0.11h	37.95±0.36f	1.21±0.18bc	5.87±0.33i	0.78±0.09de
CK	3.88±0.31f	47.07±0.19e	0.89±0.05bcde	6.72±0.56hi	0.97±0.01bede

表 9 ‘烟富 3 号’果实特征香气物质结果分析
Table 9 Analysis of the characteristic aroma substances of ‘Yanfu 3’ fruits

化合物 Compound	香气阈值 OTH Odor threshold $/(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	嗅感描述 Fragrance description	香气值 Aroma value U_o					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
丁酸己酯 Hexyl butyrate	250	甜的,香蕉、菠萝 Sweet,banana, pineapple	0.010	0.004	0.001	0.002	0.004	0.004
乙酸己酯 Hexyl acetate	2	甜的,苹果、梨 Sweet,apple, pear	5.825	4.595	1.980	3.600	3.120	6.885
乙酸戊酯 Amyl acetate	43		0.006	0.017	0.006	0.007	0.004	0.020
乙酸丁酯 Butyl acetate	66	甜的,香蕉、蜜饯 Sweet,banana, candied fruit	0.058	0.046	0.056	0.060	0.042	0.118
正庚醇 Heptan-1-ol	425		/	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
反式-2-己烯-1-醇 Trans-2-hexen-1-ol	8		1.666	0.648	/	0.053	1.014	0.460
2-乙基己醇 2-ethyl hexanol	270		0.014	0.013	0.014	0.020	0.015	0.008
正己醇 N-hexanol	500	青香味 Greenish yellow	0.140	0.069	0.071	0.082	0.081	0.077
正丁醇 N-butanol	500	香蕉,青香味 Banana,greenish yellow	0.011	0.005	0.009	0.005	0.007	0.005
正己醛 Hexanal	10		28.943	18.167	10.748	15.895	12.542	16.122
2-己烯醛 2-hexenal	17	青香、草香味 Greenish yellow,grassy scent	1.357	17.792	13.986	18.819	13.585	15.762

化合物 Compound	香气阈值 OTH Odor threshold $/(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	嗅感描述 Fragrance description	香气值 Aroma value U_o					
			T7	T8	T9	T10	T11	T12
丁酸己酯 Hexyl butyrate	250	甜的,香蕉、菠萝 Sweet,banana, pineapple	0.005	0.002	0.003	0.002	0.009	0.003
乙酸己酯 Hexyl acetate	2	甜的,苹果、梨 Sweet,apple, pear	5.940	3.545	5.120	4.155	8.300	5.325
乙酸戊酯 Amyl acetate	43		0.010	0.007	0.047	0.048	0.020	0.043
乙酸丁酯 Butyl acetate	66	甜的,香蕉、蜜饯 Sweet,banana, candied fruit	0.073	0.072	0.188	0.091	0.061	0.106
正庚醇 Heptan-1-ol	425		0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
反式-2-己烯-1-醇 Trans-2-hexen-1-ol	8		0.343	0.638	/	/	0.723	0.328
2-乙基己醇 2-ethyl hexanol	270		0.014	0.015	0.026	0.014	0.002	0.018
正己醇 N-hexanol	500	青香味 Greenish yellow	0.058	0.087	0.107	0.083	0.073	0.074
正丁醇 N-butanol	500	香蕉,青香味 Banana,greenish yellow	/	0.007	0.012	/	0.004	0.008
正己醛 Hexanal	10		15.733	9.964	19.435	11.610	17.940	13.134
2-己烯醛 2-hexenal	17	青香、草香味 Greenish yellow,grassy scent	16.571	15.005	23.234	/	17.683	17.796

化合物 Compound	香气阈值 OTH Odor threshold $/(\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	嗅感描述 Fragrance description	香气值 Aroma value U_o				
			T13	T14	T15	T16	CK
丁酸己酯 Hexyl butyrate	250	甜的,香蕉、菠萝 Sweet,banana, pineapple	0.003	0.004	0.005	0.003	0.004
乙酸己酯 Hexyl acetate	2	甜的,苹果、梨 Sweet,apple, pear	5.115	3.275	6.140	2.820	3.160
乙酸戊酯 Amyl acetate	43		0.020	0.007	0.032	0.025	0.020
乙酸丁酯 Butyl acetate	66	甜的,香蕉、蜜饯 Sweet,banana, candied fruit	0.073	0.044	0.014	0.026	0.055
正庚醇 Heptan-1-ol	425		/	0.001	0.001	/	/
反式-2-己烯-1-醇 Trans-2-hexen-1-ol	8		0.811	/	0.485	0.399	0.714
2-乙基己醇 2-ethyl hexanol	270		0.024	0.022	0.002	0.002	0.002
正己醇 N-hexanol	500	青香味 Greenish yellow	0.093	0.006	0.004	0.046	0.004
正丁醇 N-butanol	500	香蕉,青香味 Banana,greenish yellow	0.007	0.006	0.004	/	0.004
正己醛 Hexanal	10		20.800	13.595	18.629	16.698	18.921
2-己烯醛 2-hexenal	17	青香、草香味 Greenish yellow,grassy scent	23.267	17.858	15.765	15.801	17.276

表 10 不同叶面肥对‘烟富 3 号’果实品质影响的主成分分析

Table 10 Principal component analysis of the effect of different foliar fertilizers on the fruit quality of ‘Yanfu 3’

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar	可滴定酸 Titratable acid	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	山梨糖醇 Sorbitol	蔗糖 Sucrose	草酸 Oxalic acid	隶属函数 Generating function (Math.)	综合排名 Overall ranking
T1	0.05	0.80	0.67	0.32	0.23	0.84	0.00	0.45	11
T2	0.44	0.50	0.82	0.62	0.36	0.49	0.24	0.47	10
T3	0.06	0.30	0.58	0.37	0.66	0.64	0.35	0.49	6
T4	0.22	0.40	0.78	0.51	0.28	0.26	0.21	0.47	9
T5	0.46	1.00	0.75	0.30	0.33	0.41	0.23	0.56	2
T6	0.05	0.30	0.80	0.76	0.31	0.31	0.07	0.43	13
T7	0.39	0.90	0.38	0.34	0.16	0.19	0.14	0.34	16
T8	0.06	0.90	0.94	0.26	0.34	0.41	0.09	0.39	15
T9	0.40	0.70	0.00	0.08	0.00	0.07	0.53	0.44	12
T10	0.04	0.60	0.07	0.00	0.24	0.21	0.23	0.30	17
T11	0.36	0.90	1.00	0.43	1.00	0.74	0.17	0.55	3
T12	0.00	0.50	0.78	0.27	0.66	1.00	0.28	0.56	1
T13	0.05	0.40	0.96	1.00	0.60	0.22	0.48	0.48	7
T14	1.00	0.50	0.76	0.57	0.10	0.00	0.69	0.50	5
T15	0.45	0.00	0.60	0.54	0.50	0.00	0.31	0.51	4
T16	0.06	0.30	0.89	0.37	0.56	0.45	1.00	0.48	8
CK	0.05	0.30	0.50	0.42	0.36	0.32	0.22	0.41	14

处理 Treatment	酒石酸 Tartaric acid	奎宁酸 Quinic acid	柠檬酸 Citric acid	苹果酸 Malic acid	花青素 Anthocyanins	维生素 C Vitamin C	可溶性蛋白 Soluble protein	隶属函数 Generating function (math.)	综合排名 Overall ranking
T1	0.57	0.29	1.00	1.00	0.20	0.48	0.29	0.4513	11
T2	1.00	0.72	0.46	0.26	0.00	0.02	0.34	0.47	10
T3	0.02	0.95	0.47	0.51	0.24	0.42	0.44	0.49	6
T4	0.71	0.35	0.56	1.00	0.42	0.63	0.30	0.47	9
T5	0.70	0.53	0.46	0.75	0.24	0.45	0.38	0.56	2
T6	0.55	0.68	0.18	0.00	0.08	0.16	0.53	0.430	13
T7	0.50	0.63	0.00	0.38	0.71	0.84	0.07	0.34	16
T8	0.45	0.50	0.65	0.76	0.63	0.66	0.21	0.39	15
T9	0.76	0.17	0.88	0.80	0.13	0.82	0.30	0.44	12
T10	0.02	0.95	0.51	0.26	0.18	0.00	0.52	0.30	17
T11	0.51	0.90	0.08	0.93	1.00	0.42	0.85	0.55	3
T12	0.19	0.39	1.00	0.74	0.44	0.73	0.00	0.56	1
T13	0.74	0.00	0.48	0.18	0.32	1.00	0.64	0.48	7
T14	0.67	0.86	0.94	0.30	0.45	0.18	1.00	0.50	5
T15	0.00	1.00	0.88	0.47	0.28	0.57	0.20	0.51	4
T16	0.73	0.84	0.34	0.51	0.05	0.06	0.28	0.48	8
CK	0.95	0.80	0.51	0.26	0.23	0.60	0.02	0.41	14

处理 Treatment	总酚 Total phenol	可溶性固形物 Soluble solid	固酸比 Solid-acid ratio	糖酸比 Sugar-acid ratio	纵径 Longitudinal diameter	横径 Transverse diameter	单果质量 Single fruit quality	隶属函数 Generating function (math.)	综合排名 Overall ranking
T1	0.22	0.33	0.22	0.05	0.62	0.63	0.65	0.45	11
T2	0.29	0.82	0.91	0.29	0.29	0.48	0.42	0.47	10
T3	0.52	0.71	1.00	0.43	0.37	0.65	0.53	0.49	6
T4	0.47	0.43	0.54	0.35	0.33	0.56	0.54	0.47	9
T5	0.74	1.00	0.71	0.00	0.56	0.85	0.82	0.56	2
T6	0.81	0.50	0.71	0.43	0.42	0.77	0.60	0.43	13
T7	0.67	0.20	0.08	0.04	0.14	0.27	0.16	0.34	16
T8	0.00	0.73	0.54	0.00	0.04	0.00	0.00	0.39	15
T9	0.45	0.87	0.79	0.14	0.06	0.78	0.44	0.44	12
T10	0.56	0.09	0.05	0.17	0.42	0.56	0.53	0.30	17
T11	0.35	0.81	0.61	0.04	0.00	0.40	0.12	0.55	3
T12	1.00	0.32	0.34	0.23	1.00	0.84	1.00	0.56	1
T13	0.48	0.30	0.37	0.32	0.05	0.85	0.70	0.48	7
T14	0.56	0.02	0.00	0.36	0.27	0.74	0.56	0.50	5
T15	0.30	0.41	0.95	1.00	0.39	1.00	0.85	0.51	4
T16	0.68	0.00	0.02	0.43	0.76	0.88	0.89	0.48	8
CK	0.41	0.30	0.44	0.43	0.47	0.53	0.40	0.41	14

3 讨 论

3.1 喷施不同叶面肥对果实外在品质的影响

叶面肥是对农作物叶面补充养分的一种肥料,叶面肥中的营养元素可以促进果树树体及果实的

生长和发育,增加果实的甜度、色泽和风味,特别是对于提高果实品质有积极影响。前人研究表明,喷施不同的叶面肥均能够在一定程度上提高果实品质^[17]。内在品质与外在品质均是衡量果实品质的重要指标,也是影响消费者选择果品的重要依

据^[18]。林建城等^[19]研究发现,果实硬度大有利于枇杷贮运品质的提升,喷施叶面肥能有效提升枇杷的单果质量等果实品质^[20]。本研究发现,除 T7 和 T8 处理外,喷施不同类型的叶面肥可不同程度地增加‘烟富 3 号’果实的单果质量和纵、横径。许阿飞^[21]研究发现,施用复硝酚钠可以提高果实硬度和可溶性固形物含量,降低果肉可滴定酸含量,从而提升果实内在品质和外在品质。本研究发现,T12 处理下‘烟富 3 号’果实可溶性固形物含量最高,T2 处理下果实相对含水量最高,T3 和 T14 处理可明显提升果实硬度,以上研究结果均与前人结果基本一致^[22]。

3.2 喷施不同叶面肥对果实内在品质的影响

果实内在品质的重要指标包括维生素 C、类黄酮、可溶性蛋白、可溶性糖、花青素、总酚及可滴定酸含量等。前人通过施用不同叶面肥发现,氨基酸叶面肥浓度对新嘎拉苹果果实花色苷含量和可溶性糖含量的影响最大,对果形指数和维生素 C 含量的影响也较大^[23]。喷施柑橘专用叶面肥后,柑橘可溶性糖、维生素 C 含量有所增加,可滴定酸含量则降低^[24]。本研究发现,T13 处理可显著提升‘烟富 3 号’果实的维生素 C 含量,T14 处理有利于果实可溶性蛋白含量及可溶性糖含量的增加,T11 处理可显著提高果实中花青素的含量,T15 处理下可滴定酸含量最低。前人研究表明喷施叶面肥可促进葡萄叶片中类黄酮物质的积累^[25]。本研究发现,T10 和 T11 处理均能增加‘烟富 3 号’果实类黄酮的含量,其中 T10 处理效果最佳。

前人研究表明,苹果果实中的糖类主要包括蔗糖、果糖、葡萄糖和山梨醇等^[26]。周小魏等^[27]研究发现,喷施硼肥和钙肥后的‘阿克苏’苹果果实的葡萄糖、果糖、山梨糖醇含量明显升高。本试验中,大部分叶面肥处理下‘烟富 3 号’苹果果实的葡萄糖、果糖、山梨糖醇含量呈增长的趋势,其中 T11 处理下果糖和山梨糖醇含量最高,T12 处理下蔗糖含量最高,T13 处理下葡萄糖含量最高。杨光凯等^[28]以‘富士 2001’和‘红宝石’苹果为材料进行研究发现,在不同处理下‘富士 2001’苹果酸含量高,‘红宝石’苹果中柠檬酸与草酸含量更高、酒石酸含量在花后 155 d 后含量更高。本试验结果表明,不同叶面肥处理对‘烟富 3 号’果实草酸含量影响不显著,T2 处理下果实酒石酸含量最高,大部分叶面肥处理中奎宁酸含量差异不显著,T12、T14 处理下果实的柠檬酸含量较高。

3.3 喷施不同叶面肥对果实香气组分的影响

富士果实中香气的感官特征是由挥发性香气物质的组分、含量与各香气物质间的协同作用所共

同决定的^[29]。当前从富士果实中分离鉴定出的香气物质主要包括酯类、醛类、醇类等^[30]。其中,在苹果香味中起主要作用的是酯类物质,表现为甜香型,是成熟果实中果香气味的主要来源,而醛类、烯炔类及醇类主要表现为青香型^[31]。刘俊灵等^[32]将苹果品种划分为香甜型和青香型;本研究中的‘烟富 3 号’苹果主要为青香型果,不同叶面肥处理对香型的影响并不明显。刘畅^[33]通过研究发现,富士香气物质成分主要以酯类为主,这与本试验研究结果相一致。本试验还发现‘烟富 3 号’果实以酯类物质为主要的香气物质组分,其所检测到的酯类种类最多,其中乙酸己酯在大多数处理中均存在,故乙酸己酯为‘烟富 3 号’果实中酯类物质的特征香气成分。田晓宁^[34]研究 29 份苹果资源后发现,苹果资源果实中均含有的醛类物质反式-2-己烯醛。本试验发现,正己醛和 2-己烯醛含量极高,这与冯帅帅^[35]的研究结果相一致,表明正己醛、2-己烯醛为‘烟富 3 号’果实中醛类物质的特征香气成分。

4 结 论

1) 喷施复硝酚钠(T12)可明显增加果实的单果质量、果形指数和可溶性固形物含量。喷施复硝酚钠+胺鲜脂(T14)和白砂糖+酵素+尿素(T15)处理可分别显著提高可溶性糖和可滴定酸含量,进一步提高了果实中的糖酸比。喷施乐纯中量元素水溶肥料+有机硅(T11)可显著提高‘烟富 3 号’果实中花青素的含量,且 T11 处理下果糖和山梨糖醇含量最高。

2) 醛类、酯类、醇类物质是‘烟富 3 号’主要香气物质。醛类物质中以正己醛和 2-己烯醛含量最高,各处理的正己醛含量为 108.81 ~ 304.45 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,2-己烯醛含量为 123.07 ~ 400.27 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。喷施乐纯中量元素水溶肥料+有机硅(T11)苹果果实的乙酸己酯含量最高,喷施复硝酚钠+胺鲜脂(T14)也可增加醇类与其他类型香气物质含量。乙酸己酯、正己醛、2-己烯醛 3 种物质为‘烟富 3 号’果实的特征香气成分。

3) 综合分析发现,喷施乐纯中量元素水溶肥料+有机硅(T11)、复硝酚钠(T12)、复硝酚钠+胺鲜脂(T14)叶面肥对于改善黄土高原地区‘烟富 3 号’苹果的果实品质效果更佳。

参 考 文 献:

- [1] 李小平,李鸿雁,刘枫.寒富苹果在山西晋北地区引种表现研究[J].果农之友,2022,(12):1-4.
- LI X P, LI H Y, LIU F. Study on the introduction performance of Hanfu apples in the northern Shanxi region[J]. Fruit Growers' Friend, 2022, (12): 1-4.

- [2] 马兴栋, 霍学喜. 苹果标准化生产、规制效果及改进建议——基于山东、陕西、甘肃 3 省 11 县 960 个苹果种植户的调查分析[J]. 农业经济问题, 2019, (3): 37-48.
MA X D, HUO X X. Apple standardized production and improving recommendations; based on Shandong, Shaanxi and Gansu 960 apple growers' field investigation in China [J]. Issues in Agricultural Economy, 2019, (3): 37-48.
- [3] 宋展树, 李金章. 庆阳市苹果全生育期病虫害绿色防控试验示范[J]. 南方农业, 2022, 16(17): 117-119, 135.
SONG Z S, LI J Z. Green prevention and control experiment demonstration of apple pests and diseases throughout the entire growth period in Qingyang City [J]. South China Agriculture, 2022, 16(17): 117-119, 135.
- [4] 郭珊珊. 苹果用地适宜性评价——以甘肃为例[J]. 现代农业研究, 2020, (2): 44-45.
GUO S S. Applicability evaluation of apple land: taking Gansu as an example[J]. Modern Agriculture Research, 2020, (2): 44-45.
- [5] 王荣乐. 庆阳苹果产业发展战略研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
WANG R L. Qingyang apple industry development research [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2011.
- [6] 宋来庆, 李元军, 赵玲玲, 等. 脱毒‘烟富 3 号’苹果品种的主要特点和栽培管理要点[J]. 烟台果树, 2013, (3): 26-27.
SONG L Q, LI Y J, ZHAO L L, et al. The main characteristics and cultivation management points of the virus-free ‘Yanfu 3’ apple variety [J]. Yantai Fruits, 2013, (3): 26-27.
- [7] ARTYSZAK A, GOZDOWSKI D, KUCINSKA K. Impact of foliar fertilization on the content of silicon and macronutrients in sugar beet[J]. Plants (Basel, Switzerland), 2019, 8(5): 136.
- [8] MCGARVEY J A, TRAN T, HAN R, et al. Bacterial population dynamics after foliar fertilization of almond leaves[J]. Journal of Applied Microbiology, 2019, 126(3): 945-953.
- [9] SUMAN M, SANGMA P D, SINGH D. Role of micronutrients (Fe, Zn, B, Cu, Mg, Mn and Mo) in fruit crops[J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2017, 6(6): 3240-3250.
- [10] 王梦园, 杨良哲, 汪丹, 等. 叶面喷施硒肥对水稻吸收累积硒及其他矿质元素的影响[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(6): 150-154.
WANG M Y, YANG L Z, WANG D, et al. Effect of foliar spraying selenium fertilizer on the absorption and accumulation of selenium and other mineral elements in rice[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2024, 52(6): 150-154.
- [11] 刘冰雁, 王亮, 杨林先, 等. 不同配方叶面肥对苹果梨叶绿素·产量及果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(9): 156-158.
LIU B Y, WANG L, YANG L X, et al. Effects of different leaf fertilizers on chlorophyll, yield and fruit quality of Pingguoli [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(9): 156-158.
- [12] MÍGUEZ BERNÁRDEZ M, MONTAÑA MIGUÉLEZ J DE LA, GARCÍA QUEIJEIRO J. HPLC determination of sugars in varieties of chestnut fruits from Galicia (Spain) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2004, 17(1): 63-67.
- [13] 刘玉莲, 车飞, 郭延平, 等. 苹果着色期花青素和糖组分含量变化及关联性[J]. 食品科学, 2013, 34(17): 47-52.
LIU Y L, CHE F, GUO Y P, et al. Correlation between changes in soluble sugars and anthocyanins contents during fruit coloration [J]. Food Science, 2013, 34(17): 47-52.
- [14] LIU Q, TANG G Y, ZHAO C N, et al. Antioxidant activities, phenolic profiles, and organic acid contents of fruit vinegars [J]. Antioxidants (Basel, Switzerland), 2019, 8(4): 78.
- [15] 郭燕, 梁俊, 李敏敏, 等. 高效液相色谱法测定苹果果实中的有机酸[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 227-230.
GUO Y, LIANG J, LI M M, et al. Determination of organic acids in apple fruits by HPLC [J]. Food Science, 2012, 33(2): 227-230.
- [16] 倪溢楠. 草莓果实品质评价及香气资源挖掘[D]. 扬州: 扬州大学, 2021.
NI Y N. Strawberry fruit quality evaluation and aroma resource mining [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.
- [17] 宋远辉, 明家琪, 黄金香, 等. 喷施不同叶面肥对茄子品质和产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(6): 154-158.
SONG Y H, MING J Q, HUANG J X, et al. Effects of spraying different foliar fertilizers on quality and yield of egg-plant [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(6): 154-158.
- [18] 王丽, 孙鲁龙, 李智锋, 等. 不同肥料处理对瑞阳苹果产量和品质的影响[J]. 北方农业学报, 2023, 51(2): 49-55.
WANG L, SUN L L, LI Z F, et al. Effect of different fertilizer treatments on Ruiyang apple yield and quality [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2023, 51(2): 49-55.
- [19] 林建城, 林河通, 黄志明, 等. 福建省 5 个主栽品种枇杷果实品质比较及其与果实耐贮运的关系[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 433-437.
LIN J C, LIN H T, HUANG Z M, et al. Comparison of fruit qualities of five major loquat cultivars in Fujian province and relationship between fruit quality and storability [J]. Food Science, 2008, 29(6): 433-437.
- [20] 蒲靖, 王巧梅, 金雪微, 等. 喷施不同叶面肥对枇杷果实品质的影响[J]. 福建农业学报, 2022, 37(6): 774-780.
PU J, WANG Q M, JIN X W, et al. Effect of foliar fertilizer application on loquat fruit quality [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2022, 37(6): 774-780.
- [21] 许阿飞. 复硝酚钠和胺酯钠对苹果根系和氮素吸收同化的调控作用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
XU A F. Regulatory effects of compound sodium nitrophenolate and diethyl aminoethyl hexanoate on apple root and nitrogen absorption and assimilation [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022.
- [22] 张杨, 马宗桓, 毛娟, 等. 5 种叶面肥对大棚草莓光合特性及品质的影响[J]. 西北植物学报, 2024, 44(4): 562-571.
ZHANG Y, MA Z H, MAO J, et al. Effects of five foliar fertilizers on photosynthetic characteristics and fruit quality of *Fragaria ananassa* in greenhouse [J]. Acta botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(4): 562-571.
- [23] 孟凡丽, 苏晓田, 杨伟, 等. 不同叶面肥对新嘎拉苹果果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2009, (10): 107-109.
MENG F L, SU X T, YANG W, et al. The effect different foliar fertilizer treatment on fruit quality of new gala apples [J]. Northern Horticulture, 2009, (10): 107-109.
- [24] 樊俊, 郑诗樟, 胡红青, 等. 不同专用叶面肥对水稻和柑橘品质影响的初步研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(3): 553-557.
FAN J, ZHENG S Z, HU H Q, et al. Primary study on effect of different special foliar fertilizer application on the quality of rice and citrus [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(3): 553-557.
- [25] SHI P B, SONG C Z, CHEN H J, et al. Foliar applications of iron promote flavonoids accumulation in grape berry of *Vitis vinifera* cv. Merlot grown in the iron deficiency soil [J]. Food Chemistry, 2018, 253: 164-170.
- [26] 贾荣俭, 胡宇, 杨杰, 等. 叶面喷施 K_2SO_4 对‘瑞雪’苹果果实糖代谢的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(2): 88-96, 130.
JIA R J, HU Y, YANG J, et al. Effects of foliar spraying of K_2SO_4 on sugar metabolism of ‘Ruixue’ apple fruit [J]. Arid Zone Agricultural Research, 2024, 42(2): 88-96, 130.

- [27] 周小魏, 姜中武. 硼、钙叶面肥对阿克苏苹果“糖心”形成及内在品质比较[J]. 烟台果树, 2020, (2): 19-24.
ZHOU X W, JIANG Z W. Comparison of boron and calcium foliar fertilizers on the formation and intrinsic quality of “sugar heart” in Aksu apples[J]. Yantai Fruits, 2020, (2): 19-24.
- [28] 杨光凯, 薛诗怡, 李嘉祯, 等. 红宝石苹果果实有机酸组分及苹果酸代谢酶活性分析[J]. 果树学报, 2023, 40(5): 884-892.
YANG G K, XUE S Y, LI J Z, et al. Analysis of organic acid components and malic acid metabolizing enzyme activity in Hongbaoshi apple fruits[J]. Journal of Fruit Tree, 2023, 40(5): 884-892.
- [29] 卢明艳, 刘珩, 孙守文, 等. 3个苹果品种果实香气物质研究[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(10): 1796-1803.
LU M Y, LIU H, SUN S W, et al. Comparison of aroma components in three apple cultivars[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(10): 1796-1803.
- [30] 赵峰, 王少敏, 高华君, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析红富士苹果中的芳香物质[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2006, 37(2): 181-184, 189.
ZHAO F, WANG S M, GAO H J, et al. Determination of aroma compounds of ‘Red Fuji’ apple using headspace solid-phase micro-extraction and GC/MS[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2006, 37(2): 181-184, 189.
- [31] ECHEVERRÍA G, FUENTES T, GRAELL J, et al. Aroma volatile compounds of ‘Fuji’ apples in relation to harvest date and cold storage technology: a comparison of two seasons[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(1): 29-44.
- [32] 刘俊灵, 李红光, 党美乐, 等. 苹果新品种‘瑞雪’及几个常见品种果实香气物质成分差异分析[J]. 果树学报, 2019, 36(5): 590-602.
LIU J L, LI H G, DANG M L, et al. Analysis of aroma components in fruit of the new apple cultivar ‘Ruixue’ and several common cultivars[J]. Journal of fruit science, 2019, 36(5): 590-602.
- [33] 刘畅. 4种小苹果香气物质检测及主成分分析[J]. 中国林副特产, 2020, (3): 17-19.
LIU C. Detection and principal component analysis of 4 kinds of small apple species[J]. Forest by-Product and Speciality in China, 2020, (3): 17-19.
- [34] 田晓宁. 苹果属果实香气物质的初步研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
TIAN X N. A preliminary study on the aroma components of malus mill[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.
- [35] 冯帅帅. ‘瑞雪’苹果香气物质测定及相关基因表达分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
FENG S S. Analysis of aroma substance and related gene expression of ‘RuiXue’ apple (*malus domestica* borkh)[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2020.

(上接第 68 页)

- [19] 张国香, 郭卫冷, 毕铭钰, 等. 紫花苜蓿 *CAX* 基因家族鉴定及其对非生物胁迫的响应分析[J]. 草业学报, 2022, 31(12): 106-117.
ZHANG G X, GUO W L, BI M Y, et al. Identification of *CAX* gene family and expression profile analysis of response to abiotic stress in alfalfa[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(12): 106-117.
- [20] JIANG Z, DU L H, SHEN L, et al. Genome-wide exploration and expression analysis of the CNGC gene family in eggplant (*Solanum melongena* L.) under cold stress, with functional characterization of *SmC-NGC1a* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(17): 13049.
- [21] CHEN C J, CHEN H, ZHANG Y, et al. TBtools: an integrative toolkit developed for interactive analyses of big biological data[J]. Molecular Plant, 2020, 13(8): 1194-1202.
- [22] EPSTEIN B, BURGHARDT L T, HEATH K D, et al. Combining GWAS and population genomic analyses to characterize coevolution in a legume-rhizobia symbiosis [J]. Molecular Ecology, 2023, 32(14): 3798-3811.
- [23] RAO S, YU T, CONG X, et al. Transcriptome, proteome, and metabolome reveal the mechanism of tolerance to selenate toxicity in *Cardamine violifolia*[J]. Journal of Hazardous Materials, 2021, 406: 124283.
- [24] PERTEA M, KIM D, PERTEA G M, et al. Transcript-level expression analysis of RNA-seq experiments with HISAT, StringTie and ballgown [J]. Nature Protocols, 2016, 11(9): 1650-1667.
- [25] LIAO Y, SMYTH G K, SHI W. FeatureCounts: an efficient general purpose program for assigning sequence reads to genomic features [J]. Bioinformatics, 2014, 30(7): 923-930.
- [26] QI J W, LUO Y Z, LU S S, et al. Multi-omics integration analysis reveals the molecular mechanisms of drought adaptation in homologous tetraploid alfalfa (*Medicago sativa* ‘Xinjiang-Daye’) [J]. Physiologia Plantarum, 2024, 176(5): e14476.
- [27] MIN X Y, LIU Z P, WANG Y R, et al. Comparative transcriptomic analysis provides insights into the coordinated mechanisms of leaves and roots response to cold stress in common vetch [J]. Industrial Crops and Products, 2020, 158: 112949.
- [28] YU L X, KOLE C. The alfalfa genome [M]. Cham: Springer, 2021: 111-127.
- [29] CHEN H T, ZENG Y, YANG Y Z, et al. Allele-aware chromosome-level genome assembly and efficient transgene-free genome editing for the autotetraploid cultivated alfalfa [J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 2494.
- [30] MÄSER P, THOMINE S, SCHROEDER J I, et al. Phylogenetic relationships within cation transporter families of *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology, 2001, 126(4): 1646-1667.
- [31] LI Q Q, YANG S Q, REN J, et al. Genome-wide identification and functional analysis of the cyclic nucleotide-gated channel gene family in Chinese cabbage [J]. 3 Biotech, 2019, 9(3): 114.
- [32] JARRATT-BARNHAM E, WANG L M, NING Y Z, et al. The complex story of plant cyclic nucleotide-gated channels [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(2): 874.
- [33] LADWIG F, DAHLKE R I, STÜHRWOLHDT N, et al. Phytosulfo-kine regulates growth in *Arabidopsis* through a response module at the plasma membrane that includes CYCLIC NUCLEOTIDE-GATED CHANNEL17, H⁺-ATPase, and BAK1 [J]. The Plant Cell, 2015, 27(6): 1718-1729.
- [34] SHI J Y, DU X G. Identification, characterization and expression analysis of calmodulin and calmodulin-like proteins in *Solanum pennellii* [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 7474.
- [35] LI Y Y, ZHANG H X, LIANG S B, et al. Identification of *CDPK* gene family in *Solanum habrochaites* and its function analysis under stress [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(8): 4227.