网络出版时间:2025-12-05 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.06.012

乙酸处理对山地苹果树体生长和果实品质的影响

王宜熊[1],于斐[1],朱红珍[1],邹养军[1],马锋旺[1],徐记迪[1],王金鑫[2,1]
(1 西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100;2 河北省农林科学院 石家庄果树研究所,河北 石家庄 050061)

[摘 要] 【目的】探究叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果生长及果实品质的影响,为干旱区苹果抗旱栽培提供理论依据。【方法】以陕西洛川12年生'富士'苹果树为试材,设置清水对照(CK)及50,100,150 mmol/L乙酸处理,于新梢旺盛生长期至果实采收期喷施5次不同浓度乙酸,测定不同处理新梢长度、叶片指标及果实品质。【结果】与CK相比,50 mmol/L乙酸处理可显著提高了新梢长度和百叶鲜质量,但对果实品质及着色总体无显著影响;100 mmol/L乙酸处理显著提高新梢长度、百叶厚度、百叶鲜质量、叶面积、叶绿素含量及果实纵径、硬度、可溶性固形物、花青素含量,增幅分别为22.15%,15.71%,24.04%,16.00%,8.35%,4.88%,5.09%,8.34%,15.91%;能显著降低可滴定酸含量和果皮b^*值;150 mmol/L乙酸虽然提高了果实品质,但叶面积降低了8.25%。【结论】叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果生长和品质有不同影响,其中100 mmol/L乙酸可协同促进山地苹果树体生长与果实品质提升,推荐作为干旱区苹果栽培的优化方案。

[关键词] 山地苹果;乙酸;新梢长度;叶片指标;果实品质
[中图分类号] S661.106+.2 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)06-0118-06

Effects of acetic acid treatment on tree growth and fruit quality of mountain-grown apples

WANG Yixiong[1], YU Fei[1], ZHU Hongzhen[1], ZOU Yangjun[1],
MA Fengwang[1], XU Jidi[1], WANG Jinxin[2,1]
(1 *College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi* 712100, *China*; 2 *Hebei Shijiazhuang Institute of Pomology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei* 050061, *China*)

Abstract: 【Objective】 This research aims to investigate the effects of foliar spraying with different concentrations of acetic acid on the growth and fruit quality of mountain-grown apples, to provide a theoretical basis for drought-resistant cultivation of apples in arid regions. 【Method】 With 12-year-old 'Fuji' apple trees in Luochuan, Shaanxi Province as test materials, four treatments were applied: water control treatment (CK) and acetic acid treatments of 50, 100, and 150 mmol/L. The solutions were sprayed five times from the vigorous shoot growth stage to the fruit harvest stage. Shoot length, leaf indices, and fruit quality were measured under different treatments. 【Result】 Compared with CK, the 50 mmol/L acetic acid treatment significantly increased the shoot length and fresh weight per hundred leaves but had no significant effect on overall fruit quality or coloration. The 100 mmol/L acetic acid treatment significantly increased shoot length, leaf thickness per hundred leaves, fresh

[收稿日期] 2025-03-20 [修回日期] 2025-06-03
[基金项目] 陕西省自然科学研究计划青年项目(2024JC-YBQN-0166);陕西省科技重大专项(2020zdzx03-01-02);河北省农林科学院科技创新专项(2022KJCXZX-SGS-4)
[作者简介] 王宜熊(1999—),男,安徽泾县人,在读硕士,主要从事苹果逆境与生理生态研究。E-mail:wyxiong@nwafu.edu.cn
[通信作者] 王金鑫(1984—),男,河北保定人,助理研究员,博士,主要从事果树结实生理与分子生物学研究。
E-mail:wangjinxin1948@163.com
徐记迪(1988—),男,湖北孝感人,副教授,博士,博士生导师,主要从事果树抗逆及品质调控研究。
E-mail:xujidi@nwafu.edu.cn

weight per hundred leaves, leaf area, chlorophyll content, fruit longitudinal diameter, hardness, soluble solids content, and anthocyanin content by 22.15%, 15.71%, 24.04%, 16.00%, 8.35%, 4.88%, 5.09%, 8.34%, and 15.91%, respectively. It also significantly reduced titratable acid content and peel b^* value. The 150 mmol/L acetic acid treatment improved fruit quality but reduced leaf area by 8.25%.【Conclusion】Foliar spraying with acetic acid of different concentrations differentially affects the growth and quality of mountain-grown apples. Among them, 100 mmol/L acetic acid synergistically promotes both tree growth and fruit quality making it a recommended optimized solution for apple cultivation in arid regions.

Key words: apple; acetic acid; new shoot growth; leaf index; fruit quality

苹果（*Malus domestica* Borkh.）是全球范围内广受欢迎的水果[1]，以其卓越的口感、丰富的营养价值、亲民的价格、良好的耐贮性和便利的运输性而备受消费者青睐[2]。我国是全球最大的苹果生产国，苹果种植面积和产量约占全球的50%，但优果率相对较低，在市场交易中处于不利地位。作为我国苹果主产区之一[3]，陕西苹果主要位于黄土高原地区，但该地区年降水量偏低且分布不均，水分短缺成为限制当地苹果生产的重要因素[4]。

乙酸（acetic acid，HAc）也称醋酸或冰醋酸，化学式为CH_3COOH，作为一种在生物体内普遍存在的简单化合物，成本低廉易于在农业生产中应用[5]。研究表明，乙酸盐能取代光系统Ⅱ（PSⅡ）中的重碳酸盐，有效缓解强光胁迫对光合作用的抑制作用[6]，具有增强光保护的潜在能力[7]。此外，植物中约11%的基因表达时可被乙酸诱导，尤其是与三羧酸循环和乙醛酸循环相关的基因[8]。乙酸在花青素的生物合成中也起着关键作用，对果实品质和着色效果有积极影响[9]。研究表明在植物抗旱生理调控方面，乙酸能够通过激活茉莉酸（jasmonic acid，JA）的生物合成途径[10]，进而调控JA信号转导通路，通过调控气孔开闭、渗透调节物质合成以及抗氧化酶系统等生理过程，从而提高作物的生存能力[11]。

目前，尚未见关于外源乙酸对山地苹果树体生长和果实品质是否有作用的报道。因此，本研究以12年生‘富士’苹果树为试验材料，叶面喷施不同浓度乙酸溶液，测定不同处理苹果树的生长状况和生理指标以及果实品质，以期为乙酸在苹果生产中的应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验在洛川县凤栖镇芦白村洛川苹果试验站（35°47′ N，109°22′ E）进行，海拔1 100～1 200 m。该区土壤主要为黄绵土，土壤体积质量为1.34 g/cm^3，属北温带大陆性湿润易干旱季风气候，年平均降水量622 mm[12]。年均气温11 ℃，年日照时数为2 527.8 h，无霜期167 d。

1.2　试验设计

于2023年选用生长势一致、无病虫害的12年‘富士’苹果树作为试验材料，砧木为M26。设置对照（清水）以及50，100，150 mmol/L乙酸4个处理，分别用CK、A1、A2、A3表示，从5月新梢旺盛生长期开始，于每月2日对不同处理苹果整株进行叶面喷施，喷到叶面滴水为止，至果实采收期前结束，共喷施5次。单株小区，重复5次，小区随机排列，共处理20株树。

1.3　测定项目与方法

1.3.1　*新梢长度*　落叶后，用卷尺测定不同处理苹果的新梢长度，每个重复测定5个新梢。

1.3.2　*叶片指标*　在叶片停止生长期，选取不同处理苹果树冠外围枝梢中部发育良好的功能叶片作为测定样本。每个生物学重复采集10片标准叶片，采用电子天平测定叶片鲜质量，使用数显游标卡尺测定叶片厚度，最后计算百叶鲜质量和百叶厚度；利用YMJ-B型手持式叶面积仪测定叶面积。叶绿素含量测定于8月15日进行，选取处理组枝条中部健康、成熟且完整的叶片，使用SPAD-502叶绿素仪进行测定，每个重复测定10片叶片的SPAD值，取平均值作为该重复的叶绿素含量。

1.3.3　*果实品质*　于10月份采集不同处理苹果果实，每个处理取30个果实。使用千分之一电子天平测定单果质量；采用数显卡尺测量果实纵径和横径，并计算果形指数（纵径/横径）；可溶性固形物含量（soluble solid content，SSC）使用AL-1型数显糖度计测定；可滴定酸含量（titratable acidity content，TAC）采用GMK-855型自动酸度计进行测定，并计算固酸比（SSC/TAC）；果实硬度使用GY-1型数显硬度计测定。

1.3.4　*果实色泽*　于10月份采集不同处理苹果果

实,每个处理取6个果实,果实色泽使用色差仪(MINOLTA CR-400,KONICA,Japan)测量,在果实赤道面测定色泽指数L^*、a^*和b^*。其中L^*值代表果皮的明亮度,数值越大表示果皮越明亮;a^*值代表果皮颜色从绿色到红色的转变,数值越高表示果皮颜色越偏向红色;b^*值代表果皮颜色从蓝色到黄色的转变,数值越高表示果皮颜色越偏向黄色。

1.3.5 果皮花青素含量 于10月份采集不同处理苹果果实,每个处理取6个果实,按照张洁等[13]的方法测定果实花青素含量。

1.4 数据处理与分析

采用GraphPad Prism 8.0软件对数据进行统计分析,处理间比较采用单因素方差分析(ANOVA),多重比较使用Turkey's检验。

2 结果与分析

2.1 乙酸对山地苹果新梢和叶片的影响

叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果叶片指标及新梢长度的影响见表1。

表1 叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果叶片指标及新梢长度的影响

Table 1 Effects of foliar spraying with different concentrations of acetic acid on leaf indexes and length of new shoots in mountain-grown apples

处理 Teratment	新梢长度/cm Shoot growth	百叶厚度/mm Hundred leaves thickness	叶面积/cm^2 Leaf area	百叶鲜质量/g Hundred leaves raw weight	叶绿素含量(SPAD) Chlorophyll content
CK	25.55±3.25 c	3.31±0.32 b	47.54±3.15 b	10.19±0.37 c	54.52±0.87 b
A1	28.31±2.94 b	3.43±0.17 b	50.33±4.53 ab	12.17±1.08 ab	56.43±0.97 ab
A2	31.24±4.05 a	3.83±0.87 a	55.12±3.68 a	12.64±0.40 a	58.90±0.99 a
A3	28.26±3.87 b	3.40±0.22 b	43.62±4.36 c	11.07±0.65 bc	57.97±1.11 a

注:CK. 清水(对照);A1. 50 mmol/L乙酸;A2. 100 mmol/L乙酸;A3. 150 mmol/L乙酸。同列数据后标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: CK. Water (control); A1. 50 mmol/L acetic acid; A2. 100 mmol/L acetic acid; A3. 150 mmol/L acetic acid. Different lowercase letters after data in the same column indicate significant differences among treatments ($P<0.05$). The same below.

由表1可以看出,各浓度乙酸处理苹果新梢长度相比于CK均显著增加,其中A2处理的新梢长度最大,为31.24 cm,较CK增加了22.15%;A1和A3处理分别增加了10.80%和10.61%。各浓度乙酸处理苹果百叶鲜质量较CK明显增加,其中A2处理的百叶鲜质量最高,为12.64 g,比CK显著增加了24.04%;其次是A1处理,为12.17 g;A3处理与CK差异不显著。各浓度乙酸处理苹果百叶厚度比CK均有增加,其中A2处理的百叶厚度为3.83 mm,比CK显著增加了15.71%;A1和A3处理的百叶厚度虽有增加,但与CK差异不显著。A2处理叶面积为55.12 cm^2,比CK显著增加了16.00%;A1处理叶面积虽有增加,但与CK差异不显著;A3处理叶面积相比于CK显著降低了8.25%。A1、A2和A3处理的叶绿素含量(SPAD)相比于CK均明显增加,增幅分别为3.50%,8.35%,6.33%。

2.2 乙酸对山地苹果果实品质的影响

叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果果实品质的影响见表2。

表2 叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果果实品质的影响

Table 2 Effects of foliar spraying with different concentrations of acetic acid on fruit quality of mountain-grown apples

处理 Treatments	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Transverse diameter	果形指数 Fruit Shape Index	单果质量/g Fruit weight
CK	69.69±2.18 c	85.67±2.08 a	0.81±0.03 c	264.91±12.48 a
A1	70.76±2.75 bc	85.89±2.32 a	0.82±0.02 b	265.27±14.09 a
A2	73.10±1.31 ab	86.53±1.54 a	0.84±0.01 ab	277.89±15.13 a
A3	74.80±1.46 a	87.31±1.60 a	0.86±0.02 a	288.77±15.59 a

处理 Treatments	果实硬度/($kg \cdot cm^{-2}$) Hardness	可溶性固形物/% Soluble solid	可滴定酸/% Titratable acidity	固酸比 Solid-acid ratio
CK	7.27±0.19 b	13.31±0.68 b	0.67±0.02 a	20.04±1.70 c
A1	7.45±0.23 ab	13.58±0.48 b	0.61±0.05 ab	22.32±2.11 bc
A2	7.64±0.21 a	14.42±0.26 a	0.57±0.05 b	25.50±2.70 ab
A3	7.73±0.21 a	14.62±0.25 a	0.54±0.05 b	27.27±2.70 a

由表 2 可知，各浓度乙酸处理对苹果果实的横径影响差异不显著。A1、A2、A3 处理的果实纵径相比于 CK 分别增加了 1.58%，4.88%，7.60%。各浓度乙酸处理苹果果实的果形指数较 CK 显著提高，增幅分别为 1.23%，3.70%，6.17%。各浓度乙酸处理果实单果质量相较于 CK 虽都有所提升，但是差异均不显著。各浓度乙酸处理果实硬度较 CK 均有一定程度增加，其中 A3 处理的果实硬度最高，为 7.73 kg/cm^2，比 CK 显著提高了 6.33%；其次为 A2，比 CK 显著提高了 5.09%；A1 虽有所增加，但与 CK 差异不显著。与 CK 相比，各浓度乙酸处理果实的可溶性固形物含量明显增加，其中 A2 及 A3 处理增幅较高，分别为 8.34%，9.84%。各浓度乙酸处理还降低了果实的可滴定酸含量；相比于 CK，A1、A2、A3 处理分别下降了 8.96%，14.93%，19.40%，其中 A2 和 A3 处理与 CK 差异显著。与 CK 相比，各浓度乙酸处理果实的固酸比也都有一定程度的提升，其中 A3、A2 处理与 CK 差异显著，而 A1 处理与 CK 差异不显著。

2.3　乙酸对山地苹果果皮着色及花青素含量的影响

由图 1 可以看出，与 CK 相比，乙酸对果实的着色有着很好的促进作用，随着乙酸浓度的增加，果实着色加深。由表 3 可以看出，与 CK 相比，A2 和 A3 处理苹果果皮 L^* 和 a^* 值均显著增加，其中 A2 处理的 L^* 值最高，A3 处理的 a^* 值最高；A2 和 A3 处理苹果果皮的 b^* 值均显著低于 CK，其中 A3 处理的 b^* 值最低；A1 处理苹果果皮 L^* 和 a^* 值虽有增加，b^* 值虽有降低，但均与 CK 差异不显著。随着乙酸浓度的增高，苹果果皮花青素含量也随之增高，其中 A2 和 A3 处理的花青素含量与 CK 相比均显著增加，增幅分别为 15.91% 和 19.56%。可知乙酸可以促进果实果皮花青素含量提高。



图 1　叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果果实色泽的影响

Fig. 1　Effects of foliar spraying with different concentrations of acetic acid on the fruit color of mountain-grown apples

表 3　叶面喷施不同浓度乙酸对山地苹果果面色泽指数及果皮花青素含量的影响

Table 3　Effects of foliar spraying with different concentrations of acetic acid on color index of fruit surface and anthocyanin content of fruit skin of mountain-grown apples

处理 Treatment	色泽指数 Color index			花青素含量/(mg·g^{-1}) Anthocyanin content
	L^*	a^*	b^*	
CK	51.55±1.35 b	27.04±1.52 c	15.15±0.85 a	0.52±0.04 b
A1	52.00±1.46 b	28.46±1.13 bc	14.25±0.75 ab	0.56±0.05 b
A2	55.38±0.86 a	30.88±1.05 ab	13.72±0.44 b	0.61±0.04 a
A3	54.02±1.15 a	32.01±1.18 a	13.38±0.68 b	0.63±0.05 a

3　讨　论

目前，生产上常通过施加外源物质来提高果树的抗逆性。研究发现，乙酸处理能显著提高柳树枝条长度，促进基径生长[14]。本研究发现，与 CK 相比，乙酸处理显著增加了苹果新梢长度，与前人的研究结果一致。冯红玉等[15]研究发现，乙酸处理能够提高水稻叶片面积，增强了水稻的抗旱性。KONG 等[14]研究发现，乙酸处理柳树平均叶片厚度显著提升。本研究中，与 CK 相比，100 mmol/L 乙酸处理（A2）显著提高了苹果叶片百叶鲜质量、百叶厚度、叶面积及叶绿素含量，这与前人研究结果一致，表明乙酸在苹果植株枝条及叶片生长中发挥了重要作用。

果实品质是苹果生产中的重要评价指标，包括外观品质和内在品质[16]，其中外观品质主要包括果实大小、色泽和形状等，内在品质主要包括果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸和风味等[17]。周芷琪[18]研究发现，外源水杨酸处理可显著提升桃果皮花色苷的含量，从而提升果皮色泽；杨光凯等[19]研究发现，适当浓度外源茉莉酸甲酯可以促进苹果果实着色。本研究中，与 CK 相比，100 和 150 mmol/L

乙酸对苹果果实单果质量和果实横径的影响不显著,但提高了果实纵径,进而显著提高了果形指数;此外,100和150 mmol/L乙酸显著提高了果实果皮花青苷含量,促进果实着色;同时显著提高了苹果的L^*和a^*值,显著降低了苹果的b^*值,使苹果果实变得更红,这表明100和150 mmol/L乙酸可以提高果实的外观品质。在苹果果实生产加工过程中会出现各种机械损伤,会影响果实的商业品质[20],而高硬度果实的机械损伤较小,商业品质更高;可溶性固形物含量不仅影响着苹果的味道和营养[21],也直接影响果实的冰点,进而影响贮藏条件,所以提高果实的硬度及可溶性固形物是提高果实内在品质的关键所在[22]。李丽等[23]发现,外源硒可以显著提高李子果实的可溶性固形物含量,降低总酸度。胡刘[24]发现,外源精氨酸可以提高苹果果实的硬度和可溶性糖含量,显著提高了果实的内在品质。本研究发现,与CK相比,100和150 mmol/L乙酸显著提高了苹果果实硬度和可溶性固形物含量,显著降低可滴定酸含量,从而显著提高了固酸比,这与前人的研究结果一致,表明乙酸能在一定程度上提高富士苹果的果实品质。

研究发现,不同浓度外源物质处理对苹果生长和果实品质影响效果也存在差异,例如吕祚森[25]发现,在苹果新梢旺长期,50~200 μmol/L外源脱落酸能显著降低'长富2号'苹果叶片的蒸腾速率和气孔导度,增强了苹果适应水分干旱的能力,其中200 μmol/L外源脱落酸处理抑制了果树生长,而50 μmol/L外源脱落酸处理对果树生长无抑制作用。本研究发现,与CK相比,100 mmol/L乙酸处理显著提高了苹果新梢长度、百叶鲜质量、叶绿素含量等;50 mmol/L乙酸处理对百叶厚度、叶面积和叶绿素含量影响不显著;而150 mmol/L乙酸处理显著降低了叶面积,且百叶鲜质量和百叶厚度无显著变化。由此可见,100 mmol/L乙酸处理对山地苹果新梢和叶片的影响效果更佳,可显著促进树体的生长。研究发现,在苹果转色期施用400 μmol/L脱落酸可显著提升'长富2号'和'秦冠'苹果的果实品质[25]。本研究中,与CK相比,50 mmol/L乙酸处理对果实品质影响不显著,100和150 mmol/L乙酸处理显著增加了苹果的果实纵径、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、固酸比、花青素含量以及L^*和a^*值,降低了可滴定酸含量和苹果b^*值,显著提升了果实的外观品质和内在品质,提高了果实的商品价值。从乙酸对苹果树体生长和果实品质的影响以及生产成本等多方面考虑,在苹果生产中叶面喷施100 mmol/L乙酸效果最佳,未来如何将乙酸有效整合到果园的水肥一体化管理中,仍需进一步深入研究。

4 结 论

与CK相比,叶面喷施50~150 mmol/L乙酸溶液均可在一定程度上提升山地苹果果树新梢长度、叶片特性及果实品质。其中叶面喷施100 mmol/L乙酸能显著促进苹果生长和果实品质;150 mmol/L乙酸虽可提升果实品质,但可能对叶片的生长发育存在负面影响。综上所述,100 mmol/L乙酸处理在促进树体生长和提高果实品质的同时不会对果树造成负面影响,最适合在田间生产中施用。

[参考文献]

[1] 冯娟. 不同产地富士苹果果实品质分析与比较[D]. 银川:宁夏大学,2013.
FENG J. Analysis and comparison of fruit quality of Fuji apples from different origins[D]. Yinchuan,Ningxia:Ningxia University,2013.

[2] 张强强,霍学喜,刘军弟,等. 世界苹果产销格局及市场动态预测分析[J]. 世界农业,2016(7):147-152,248.
ZHANG Q Q,HUO X X,LIU J D,et al. The analysis and prediction of world apple production pattern and market dynamics[J]. World Agriculture,2016(7):147-152,248

[3] 卢新智. 陕西苹果,大产业大经营[J]. 西北园艺(果树),2019(2):46-48.
LU X Z. Shaanxi apple,big industry and big management[J]. Northwest Horticulture(Fruit Tree),2019(2):46-48.

[4] 乔磊,马悦,陈永霞,等. 山地苹果栽培存在的主要误区及解决对策:以陕北地区为例[J]. 农业开发与装备,2022(5):55-57.
QIAO L,MA Y,CHEN Y X,et al. Main mistakes in apple cultivation in mountainous areas and countermeasures:taking northern Shaanxi as an example[J]. Agricultural Development & Equipments,2022(5):55-57.

[5] KIM J M,TO T K,MATSUI A,et al. Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants[J]. Nature Plants,2017,3:17097.

[6] ROACH T,SEDOUD A,KRIEGER-LISZKAY A. Acetate in mixotrophic growth medium affects photosystem Ⅱ in *Chlamydomonas reinhardtii* and protects against photoinhibition[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics,2013,1827(10):1183-1190.

[7] 程然然. NaCl胁迫下甜菜光合能力和光保护机制的研究[D]. 济南:山东师范大学,2014.
CHENG R R. Study on photosynthetic capacity and photoprotection mechanisms of sugar beet under NaCl stress[D]. Jinan:

Shandong Normal University，2014.

[8] RASHEED S，BASHIR K，KIM J M，et al. The modulation of acetic acid pathway genes in Arabidopsis improves survival under drought stress[J]. Scientific Reports，2018，8(1)：7831.

[9] TANG Y J，WANG L，HUANG C B，et al. MADS-box BSISTER transcription factors up-regulate proanthocyanidin biosynthesis in grapevine[J]. Horticultural Plant Journal，2025，ISSN 2468-0141.

[10] OH M K，ROHLIN L，KAO K C，et al. Global expression profiling of acetate-grown *Escherichia coli*[J]. Journal of Biological Chemistry，2002，277(15)：13175-13183.

[11] SHEN Y，WEI W，ZHOU D X. Histone acetylation enzymes coordinate metabolism and gene expression[J]. Trends in Plant Science，2015，20(10)：614-621.

[12] 赵峰. 不同耕作方式对黄陵苹果园地力影响调查[J]. 西北园艺，2022(10)：57-59.
ZHAO F. Investigation on the influence of different tillage methods on the soil fertility of Huangling apple orchard[J]. Northwest Horticulture，2022(10)：57-59.

[13] 张洁，李东方，郭金丽. 不同果肉颜色欧李果实酚类物质的变化及其抗氧化活性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2024，52(3)：95-104.
ZHANG J，LI D F，GUO J L. Changes and antioxidant activities of phenolic substances in *Cerasus humilis* fruits with three different flesh colors[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2024，52(3)：95-104.

[14] KONG X G，GUO Z A，YAO Y，et al. Acetic acid alters rhizosphere microbes and metabolic composition to improve willows drought resistance[J]. Science of The Total Environment，2022，844：157132.

[15] 冯红玉，张璐璐，陈惠萍. 外源乙酸对水稻幼苗根系干旱胁迫的缓解效应[J]. 植物生理学报，2020，56(2)：209-218.
FENG H Y，ZHANG L L，CHEN H P. Effect of exogenous acetic acid on alleviating drought stress in the roots of rice seedlings[J]. Plant Physiology Journal，2020，56(2)：209-218.

[16] 梁家伟. 外源激素对富士苹果果形影响的研究[D]. 乌鲁木齐：新疆农业大学，2014.
LIANG J W. Effects of exogenous hormones on fruit shape of fuji apple[D]. Urumqi：Xinjiang Agricultural University，2014.

[17] 徐吉花，赵政阳，王雷存，等. 苹果果实品质评价因子的选择研究[J]. 干旱地区农业研究，2011，29(6)：269-274.
XU J H，ZHAO Z Y，WANG L C，et al. Selection of factors for apple fruit quality evaluation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas，2011，29(6)：269-274.

[18] 周芷琪. 水杨酸处理对桃果皮色泽品质的影响及转录机制研究[D]. 沈阳：沈阳农业大学，2023.
ZHOU Z Q. Effect of salicylic acid treatment on color and quality of peach peel and its transcription mechanism[D]. Shenyang：Shenyang Agricultural University，2023.

[19] 杨光凯，武媛丽，高燕，等. 外源茉莉酸甲酯对苹果果实品质的影响[J]. 果树资源学报，2021，2(5)：15-22.
YANG G K，WU Y L，GAO Y，et al. Effects of exogenous methyl jasmonate on the quality of apple[J]. Journal of Fruit Resources，2021，2(5)：15-22.

[20] 左卫芳. 不同苹果品种果肉褐变差异分析及褐变机理[D]. 山东泰安：山东农业大学，2021.
ZUO W F. Analysis of differences in flesh browning among apple varieties and browning mechanisms[D]. Taian，Shandong：Shandong Agricultural University，2021.

[21] 余贤美，聂佩显，薛晓敏，等. 苹果苦痘病对果实可溶性固形物含量的影响[J]. 山东农业科学，2016，48(5)：105-107.
YU X M，NIE P X，XUE X M，et al. Influence of bitter pit disease on soluble solid content of apple fruits[J]. Shandong Agricultural Sciences，2016，48(5)：105-107.

[22] 方媛，赵武奇，张清安，等. ‘红富士’苹果蠕变特性与果实品质的相关分析[J]. 中国农业科学，2016，49(4)：717-726.
FANG Y，ZHAO W Q，ZHANG Q A，et al. The correlation analysis between quality and creep property of ‘Fuji’ apple[J]. Scientia Agricultura Sinica，2016，49(4)：717-726.

[23] 李丽，李辉，向苹苇，等. 外源硒对李子果实品质的影响[J]. 现代园艺，2023(20)：1-2，12.
LI L，LI H，XIANG P W，et al. Effect of exogenous selenium on plum fruit quality[J]. Contemporary Horticulture，2023(20)：1-2，12.

[24] 胡刘. 外源精氨酸对苹果果实品质和抗旱性的影响[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学，2023.
HU L. Effects of exogenous arginine on apple fruit quality and drought resistance[D]. Yangling，Shaanxi：Northwest A&F University，2023.

[25] 吕祚森. 喷施外源脱落酸对苹果生长发育和果实品质的影响[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学，2019.
LÜ Z S. Effects of exogenous abscisic acid application on apple growth and fruit quality[D]. Yangling，Shaanxi：Northwest A&F University，2019.

（责任编辑：李小平）