

透明质酸对苹果果实品质及产量的影响

罗学义¹, 高永新¹, 王延秀², 高思静¹, 钱永波¹, 程建明¹
(1. 天水市麦积区果业发展中心, 甘肃 天水 741020; 2. 甘肃农业大学
园艺学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过探究干旱条件下透明质酸(HA)对苹果果实品质及产量的影响, 为干旱条件下提高苹果品质及产量提供理论依据。以 18 年生富士苹果为试验材料, 设置了 5 个不同浓度 (0、10.0、12.5、20.0、30.0 $\mu\text{mol/L}$) HA 处理, 于幼果期、果实膨大期和转色期在根部追施, 通过测定品质指标来综合分析透明质酸在提高苹果品质中的作用。结果表明, 随着 HA 施用浓度的增加, 单果重、果实硬度、果实有机酸含量、单株产量、折合产量和产值均呈先升后降趋势且差异较大。30.0 $\mu\text{mol/L}$ HA 处理苹果含糖量、可溶性固形物含量和维生素 C 含量均较大。相关性分析表明, 单株产量与含糖量、维生素 C 含量及果实有机酸含量呈负相关, 与单果重、可溶性固形物含量呈显著正相关性, 与果实硬度、产值、折合产量呈极显著正相关性。主成分分析显示, 提取特征值大于 1 的 2 个主成分, 第 1、2 主成分的特征值分别为 6.253、2.077, 方差贡献率分别为 69.474%、23.073%, 累计方差贡献率分别达 69.474%、92.547%, 符合分析要求。综合排名得出, 不同浓度的 HA 对苹果品质及产量的提高能力依次为 HA 浓度 30.0、20.0、12.5、10.0、0 $\mu\text{mol/L}$ 。因此, 30.0 $\mu\text{mol/L}$ 透明质酸对提高干旱条件下苹果的品质与产量的效果最佳。

关键词: 透明质酸; 苹果; 干旱; 产量; 品质

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)08-0741-07

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.08.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2025.08.010)

Effects of Hyaluronic Acid on Apple Fruit Quality and Yield

LUO Xueyi¹, GAO Yongxin¹, WANG Yanxiu², GAO Sijing¹, QIAN Yongbo¹, CHENG Jianming¹
(1. Fruit Industry Development Centre of Maiji District, Tianshui City, Tianshui Gansu 741020, China; 2. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: This study investigates the effect of hyaluronic acid (HA) on apple fruit quality and yield under drought conditions, aiming to provide theoretical support for improving apple quality and yield in arid regions. 18-year-old Fuji apple trees were used as experimental materials, and 5 HA concentrations (0, 10.0, 12.5, 20.0, 30.0 $\mu\text{mol/L}$) were applied to the root zones during the young fruit, fruit expansion, and color change stages. Quality parameters were measured to comprehensively assess the effect of HA on apple quality enhancement. Results showed that with increasing HA concentration, single fruit weight, fruit firmness, organic acid content, yield per plant, average yield, and economic output initially increased and then decreased, with significant differences among treatments. The 30.0 $\mu\text{mol/L}$ HA treatment resulted in the highest contents of sugar, soluble solids, and vitamin C. Correlation analysis indicated that yield per plant was negatively correlated with sugar content, vitamin C, and organic acid contents, but positively correlated with single fruit weight and soluble solids content. It showed a highly significant positive correlation with fruit firmness, economic output, and average yield. Principal component analysis extracted two principal components with eigenvalues greater than 1. The eigenvalues of the first and second components were 6.253 and 2.077, explaining 69.474% and 23.073% of the variance, respectively, with a cumulative variance contribution of 69.474% and 92.547%, respectively, meeting the analysis criteria. Comprehensive ranking showed that the ability of different HA concentrations to improve apple quality and yield followed the order: 30.0, 20.0, 12.5, 10.0, and 0 $\mu\text{mol/L}$. Therefore, 30.0 $\mu\text{mol/L}$ HA was the most effective in improving apple quality and yield under drought conditions.

Key words: Hyaluronic acid; Apple; Drought; Yield; Quality

透明质酸(HA)是一种线性聚糖, 具有很强的吸水保水能力, 可以增强果树在干旱、盐碱等逆境条件下的水分保持并改善果树根系的生态环境^[1]。

在小麦等作物的研究中发现, HA 能与土壤中的钙、镁离子结合, 从而促进作物根系生长, 预防根系腐烂与早衰, 实现增产增收^[2]。HA 可通过清

收稿日期: 2025-04-11; 修订日期: 2025-07-28

基金项目: 甘肃省科技计划项目(区域协同创新发展专项)(25CXQE001)。

作者简介: 罗学义(1980—), 男, 甘肃天水人, 农艺师, 研究方向为果树学。Email: 541472898@qq.com。

除细胞自由基提高抗氧化能力,修复受损组织,激活新生细胞,以实现作物防早衰、促生长^[3]。地处陇东南浅山丘陵区、黄土高原东南边缘的麦积区属于苹果优生地^[4-5],但也存在一些不利于苹果生长的其他生长环境因素,如土地贫乏、缺少营养元素、年降水量偏少等,已成为限制苹果产业高质量发展的重要因素,因此提高该地区苹果种植效率及品质是促进苹果产业可持续发展的核心。喷施 HA 可增加果实的色泽和口感,果实的硬度和耐贮性也有所提高。因此,合理施用 HA 不仅能有效降低土壤水分蒸发,从而增加土壤含水量,提高土壤保水能力,还能有助于果树对养分的吸收与利用,从而促进果树的生长和提高产量及品质。本试验以 18 年生富士苹果为试验材料,在果树根部追施不同浓度的 HA,研究其对于旱条件下苹果果实品质及产量的影响,以期 HA 在旱作山地园区的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在甘肃省麦积区新阳镇赵家庄村岩富 10 号苹果种植地(E 105.53°, N 34.7°),选择土壤理化性质一致,地势平坦,养分均一的种植田开展试验。该试验地为温带大陆性气候特征,气候较为干燥,降水较少,昼夜温差大,平均气温 12 °C,年平均降水量 557 mm,土壤含速效钾 85 mg/kg、有效磷 5.8 mg/kg,容重为 1.4 ~ 1.6 g/cm³,水分灌溉不全,田间管理正常。

1.2 试验材料

供试苹果品种为 18 年生富士苹果。供试透明质酸(HA)主要由重复的D-葡萄糖醛酸和N-乙酰-D-葡萄糖胺二糖单元通过 β -1, 3 和 β -1, 4 糖苷键线性聚合而成的高分子多糖,分子量范围 10 kDa ~ 10 000 kDa,具有强亲水性和阴离子特性,由华熙生物科技股份有限公司提供。

1.3 试验设计

试验共设 5 个不同浓度 HA 处理,分别为处理 T1(浓度为 10.0 μ mol/L)、处理 T2(浓度为 12.5 μ mol/L)、处理 T3(浓度为 20.0 μ mol/L)和处理 T4(浓度为 30.0 μ mol/L)、CK(0 μ mol/L)为对照。试验地面积 100 m²,每个处理 10 株,重复 3 次。在正常施肥管理的基础上,各处理按设计浓度分

别于幼果期、果实膨大期和转色期在果树根部各追施 1 次 HA,每次用量 500 mL/株。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 单果重 使用电子天平对不同处理下苹果重量逐个称重、记录并统计分析。

1.4.2 果实硬度 将不同处理下的果实分别置于布氏硬度计 HB-3000B 的测量台上,在果实表面的上、下、左、右不同部位施加均匀压力,分别读取显示数值,取平均值。

1.4.3 可溶性固形物 将果实洗净、擦干,取可食部分切碎、混匀,称取 100 g 样品置捣碎机中捣成匀浆,将苹果匀浆用滤纸过滤取汁,用折射仪法测定可溶性固形物含量^[6]。

1.4.4 维生素 C 含量 将果实洗净削皮,用滤纸吸干表面的水,称量 100 g 样品,用榨汁器将苹果榨汁,并过滤获得样品汁液。将样品溶液转移至液相色谱仪中,进行定容,保留时间与标准品比较,同时用高效液相色谱仪测定维生素 C 含量^[7-8]。

1.4.5 果实含糖量 将果实样品粉碎后,使用滤纸过滤的方法提取果实的糖分,将提取的糖分溶液通过液相色谱仪进行分离,然后使用检测器检测不同种类的糖分,通过测定峰面积或浓度得出各果实的含量,再根据测定的糖分含量,计算果实含糖量^[9],计算公式如下。

含糖量 = [(样品质量 - 水分质量) / 还原糖质量] $\times$ 100%

1.4.6 果实有机酸含量 用滴定法测定果实有机酸含量,将果实样品磨碎,称取 100 g 样品,加入氢氧化钠中和,当溶液颜色变为浅红色且 0.5 min 不褪色时,记录滴定时使用的氢氧化钠的体积和浓度,根据试样的质量和稀释后的体积计算出试样的体积浓度;根据滴定方程、有机酸和氢氧化钠的化学方程式,得出有机酸的摩尔比,再根据反应中有机酸和氢氧化钠的摩尔比,计算出样品中有机酸的摩尔浓度,最后根据有机酸的摩尔质量和样品质量,计算出样品中有机酸的含量^[10-11]。

1.4.7 产量 在苹果收获季节,对每一棵苹果树进行观察和记录,包括苹果的数量和大小,从每棵树上随机选择一定数量的苹果,将采集的苹果进行称重,计算出每个样品的平均重量,根据采

样的平均重量, 估算出整棵树上所有苹果的总重量。根据果园的种植密度计算苹果树数量, 收获后记录并统计产量。

1.4.8 产值 根据市场价格, 果实横径 80 mm 苹果价格 9.60 元 /kg、75 mm 苹果价格 6.40 元 /kg、70 mm 以下苹果价格 5.20 元 /kg。

1.5 数据处理

用 Microsoft Excel 2010 进行数据整合处理, Origin 2018 制图, SPSS 22.0 分析相关性和主成分, 使用单因素方差分析法(ANOVA)的 LSD 比较差异的显著水平($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 外源 HA 对苹果果实表型的影响

由图 1 可知, 随着 HA 施用浓度的增加, 果实外观商品经济性状逐渐提高。与 CK 相比, T4 处理的果实个大饱满、果面光亮, 说明施用 HA 能有效提高苹果果实外观品质。

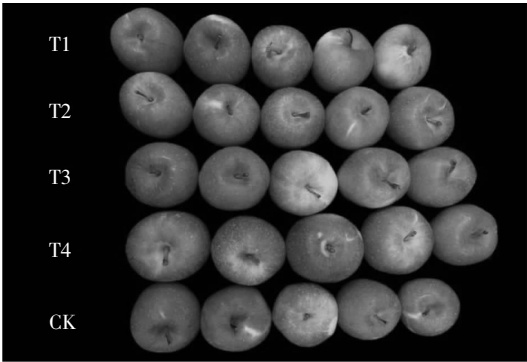


图 1 供试苹果果实状态

2.2 外源 HA 对苹果单果重、果实硬度及含糖量的影响

由图 2 可知, 随着 HA 浓度的增加, 各处理下单果重和果实硬度均呈先上升后下降的趋势。其中单果重以处理 T3 最重, 为 265 g, 较 CK 增加

30.51%, 与处理 T4、T2、T1、CK 差异显著; 其次是处理 T4, 为 253 g, 较 CK 增加 24.63%, 与处理 T2、T1、CK 差异显著。说明在果树土壤根部施用适量 HA 能够提高苹果果实的单果重。果实硬度以处理 T3 最高, 为 8.00 kg/cm², 较 CK 增加 11.11%; 其次是处理 T4, 为 7.91 g, 较 CK 增加 9.86%; 处理 T3、T2、T4 之间差异不显著, 与处理 T1、CK 差异显著, 各处理果实硬度增幅较平缓, 处理间无显著增幅差异。各处理果实含糖量均显著低于 CK(151.0 g/kg), 且随着 HA 浓度的升高, 含糖量呈逐渐升高的趋势。其中, 处理 T4 较高, 为 142.0 g/kg, 与处理 T3、T2、T4 差异显著; 其次是处理 T3, 为 131.0 g/kg, 较 CK 降低13.25%, 与处理 T2 差异不显著, 与处理 T1 差异显著; 处理 T1 最低, 为 115.0 g/kg。

2.3 外源 HA 对可溶性固形物、维生素 C 及果实有机酸含量的影响

由图 3 可知, 随着 HA 施用浓度的增加, 各处理可溶性固形物含量呈上升趋势。其中, 处理 T4 最高, 为 130.0 g/kg, 较 CK 增加 48.57%, 处理间差异显著, 说明 HA 施用量能够提高苹果果实的可溶性固形物含量。随着 HA 施用浓度增加, 各处理维生素 C 含量呈先下降后上升的趋势。其中, 处理 T4 最高, 为 1.24 g/kg, 较 CK 增加 9.73%, 处理间差异显著。说明 HA 的施用增加了果实中维生素 C 含量。随着 HA 施用浓度增加, 各处理果实有机酸含量均低于CK (4.62 g/kg), 随 HA 浓度增大呈先上升后下降的趋势。其中处理 T4 最低, 为 2.58 g/kg; 处理 T1、T2、T3 的果实有机酸含量分别为 3.11、3.42、3.59 g/kg。说明在果树根部施用 HA 可以有效降低果实各处理下果实有机酸含量。

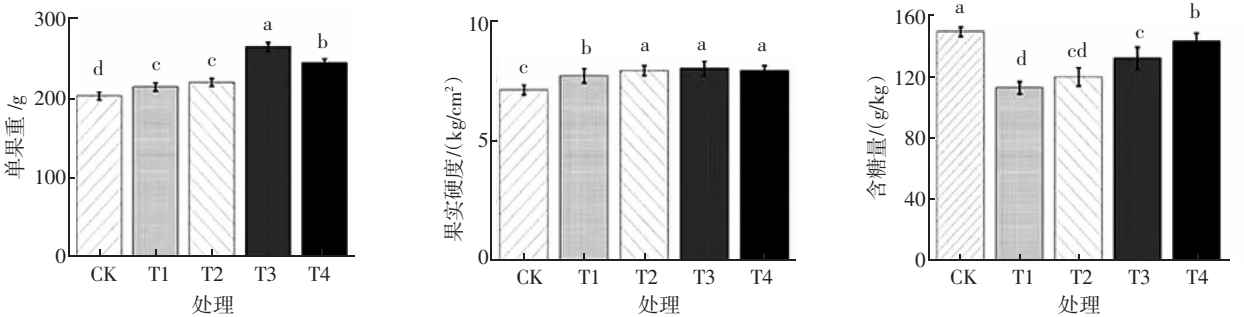


图 2 外源 HA 对苹果单果重、果实硬度及含糖量的影响

2.4 外源 HA 对产量及产值的影响

由图 4 可知,随着 HA 施用量增加,各处理下单株产量、折合产量和产值均呈先上升后下降趋势。其中单株产量以处理 T3 最高,为 49 kg,较 CK 增加 64.98%;其次是处理 T4,为 46 kg,较 CK 增加 54.88%。折合产量以处理 T3 最高,为 54 t/hm²,较 CK 增产 125.00%;其次是处理 T4,为 44 t/hm²,较 CK 增产 83.33%。产值以处理 T3 最高,为 33.45 万元/hm²,较 CK 提高 48.67%;其次是处理 T4,为 31.51 万元/hm²,较 CK 提高 40.04%。说明在果树根部施用 HA 能有效提高苹果的产量和产值。

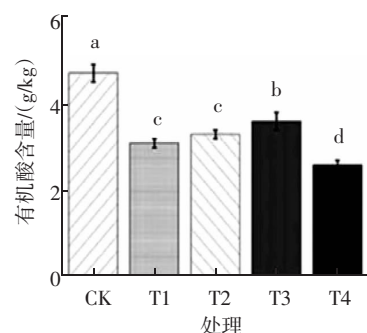
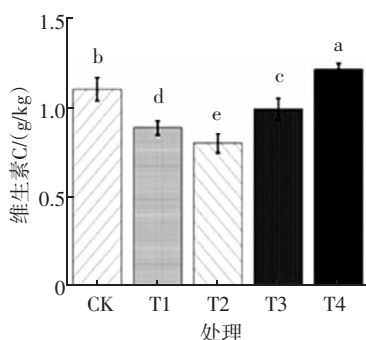
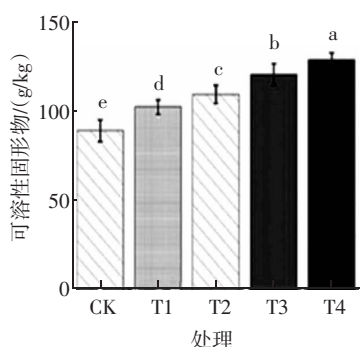


图 3 外源 HA 对苹果可溶性固形物、维生素 C 及有机酸含量的影响

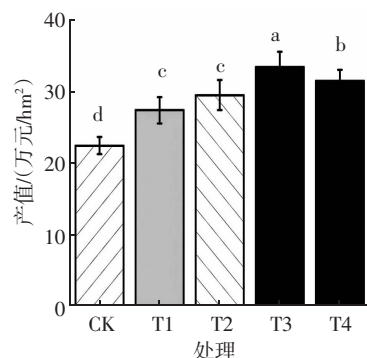
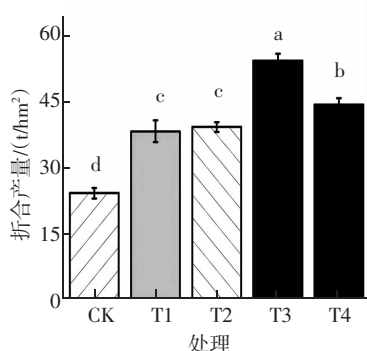
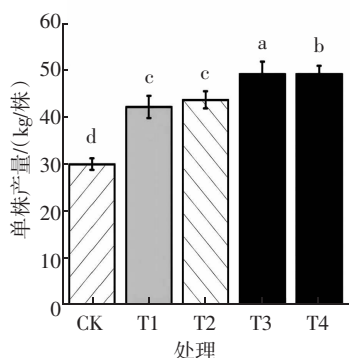


图 4 外源 HA 对苹果单株产量、折合产量及产值的影响

表 1 供试苹果各项指标的相关性分析^①

指标	单株产量	单果重	含糖量	可溶性固形物	果实硬度	维生素C	果实有机酸含量	产值	折合产量
单株产量	1								
单果重	0.923*	1							
含糖量	-0.288	0.079	1						
可溶性固形物	0.856*	0.855	0.011	1					
果实硬度	0.949**	0.844	-0.441	0.860	1				
维生素C	-0.027	0.185	0.892	0.252	-0.255	1			
果实有机酸含量	-0.698	-0.333	0.327	-0.715	-0.516	0.022	1		
产值	0.995**	0.882*	0.221	0.697*	0.641**	-0.059	-0.628	1	
折合产量	0.914**	0.935*	0.185	0.725*	0.593*	-0.017	-0.644	0.987**	1

①* 代表相关性显著($P<0.05$); ** 代表相关性极显著($P<0.01$)。

2.5 综合评价

2.5.1 相关性分析 为了全面评估不同浓度 HA 对苹果品质及产量的影响,用 SPSS 软件对苹果品质相关指标单株产量、单果重、含糖量、可溶性固形物、果实硬度、维生素 C、果实有机酸含量、产值、折合产量进行了相关性分析。获得相关系数矩阵(表 1)。可以看出,单株产量与单果重、可溶性固形物呈显著正相关性($P<0.05$),与果实硬度、产值、折合产量呈极显著正相关性($P<0.01$),与含糖量、维生素 C 含量、果实有机酸含量呈负相关性。产值与单果重、可溶性固形物含量呈显著正相关性($P<0.05$),与果实硬度、折合产量呈

极显著正相关性 ($P<0.01$)。折合产量与单果重、可溶性固形物含量、果实硬度呈显著正相关性($P<0.05$)。

2.5.2 主成分分析 使用 SPSS 对 9 个指标进行主成分分析, 提取特征值 >1 的 2 个主成分, 其特征值分别为 6.253、2.077, 方差贡献率分别达到 69.474%、23.073%, 累计方差贡献率分别为 69.474%、92.547%(表 2)。可以看出, 第 1 主成分(PC1)综合了单株产量、单果重、可溶性固形物含量、果实硬度、产值和折合产量等指标信息, 第 2 主成分(PC2)综合了含糖量、维生素 C 含量等指标信息。说明 PC1 可作为“产量潜力”的综合评价指标, PC2 则适合作为“品质特性”的筛选依据, 这为建立高效的苹果品种综合评价体系奠定了理论基础。

表 2 供试苹果各项指标的主成分分析

指标	载荷(主成分)	
	PC1	PC2
单株产量	0.996	0.011
单果重	0.863	0.361
含糖量	-0.313	0.933
可溶性固形物含量	0.972	0.201
果实硬度	0.945	0.307
维生素 C 含量	-0.043	0.957
果实有机酸含量	-0.797	0.149
产值	0.995	-0.002
折合产量	0.986	0.042
特征值	6.253	2.077
方差贡献率/%	69.474	23.073
累计方差贡献率/%	69.474	92.547

2.5.3 综合评价 由表 3 可知, 在不同处理下的 HA 对苹果品质及产量的影响程度从高到低依次为处理 T4、T3、T2、T1、CK, 综合得分分别为 0.763、0.694、-0.161、-0.322、-0.975。

表 3 综合得分及排名^①

处理	主成分得分		综合得分 (F)	综合得分 排名
	PC1(F1)	PC2(F2)		
CK	-1.626 25	0.671 91	-0.975	5
T1	-0.107 33	-1.071 05	-0.322	4
T2	0.110 24	-1.028 36	-0.161	3
T3	0.895 46	0.310 63	0.694	2
T4	0.727 88	1.116 87	0.763	1

①苹果品质指标综合得分(F)=F1×69.474%+F2×10.893%。

3 讨论与结论

北方苹果种植地区大多地处丘陵、坡地等地

区, 该地区土地贫瘠、干旱且年降水量偏少, 田间管理水平中等, 致使果实产量及品质下降, 因此发展节水保水农业是苹果产业发展的必然趋势^[12-14]。透明质酸(HA)具有高吸水和保水能力, 是一项重要的农艺节水技术, 符合节水农业绿色发展的要求, 在旱地农业中被广泛应用^[15]。研究表明合理施用保水剂能有效促进土壤含水量的提高, 进而提高苹果的品质及产量^[16-20]。

单果重和果实硬度是衡量果实品质的重要指标。本研究发现, 随 HA 施用量的增加, 苹果单果重呈先升后降趋势, 表明通过施用适宜浓度的 HA 可以缓解干旱地区农作物水分蒸发, 从而提高单果重, 增加产量, 这与前人研究结果一致^[21]。不同处理下果实硬度呈先上升后下降的趋势, 但各处理间增幅不显著, 可能是施用不同浓度 HA 造成的。果实含糖量直接决定果实的甜度, 是影响果实口感和风味的关键因素。有报道称果实在生长期遭受一定的水分胁迫, 在后期雨水充足情况下, 果实因水分含量过多导致甜度略有下降^[21-22]。本研究中, 含糖量随 HA 浓度的增加呈上升趋势, 可能是施加 HA 使植物合成高浓度的糖分在细胞内形成渗透调节, 维持了细胞的结构和稳定性。

可溶性固形物涵盖果实中糖分、酸类、维生素、矿物质等多种成分, 是衡量果实品质的重要综合性指标。可溶性固形物含量随 HA 施用量的增加呈上升趋势, 说明施用保水剂能够改善土壤水分条件, 提高果树吸收土壤中各种营养元素的能力, 有利于提高品质, 增加可溶性固形物含量, 这与马有忠^[23]研究结果一致。维生素 C 在植物中的重要作用之一是抗氧化, 有助于对抗氧化应激和细胞损伤。在干旱条件下, 植物经常受到氧化应激的胁迫, 因此维生素 C 含量会因响应干旱胁迫而升高。同时, HA 施用后在一定程度上也增加了果实中维生素 C 含量。本研究显示, 随 HA 施用量的增加, 各处理果实维生素 C 含量呈先降后升趋势, 与席利娟等^[24]施用丙烯酰胺保水剂对清见橘橙果实品质影响的研究结果一致, 表明施用 HA 能有效提高苹果果实维生素 C 的含量。有机酸是衡量果实品质的重要指标之一。孙万金^[25]在聚氨基酸基处理对灰枣品质影响的研究中显示, 灰枣有机酸含量变化呈低-高-低的趋势。本研究中,

各处理下果实有机酸含量随 HA 施用量的增加呈先升后降趋势,且显著低于不施透明质酸的对照,这与孙万金^[25]的研究结果基本一致,表明通过施用 HA 可以有效降低苹果的果实有机酸含量。

产量和产值是农业生产中用于衡量作物生产效益的重要指标。本研究表明,HA 施用后显著提高了苹果单株产量、折合产量与产值。分析认为在植物的生长发育过程中,施用适量浓度的 HA 后提高了产量^[26-28]。此外,在苹果种植中产值(经济收益)的提升不仅依赖于总产量的增加,还与果实大小密切相关,因此大中果比例的增加也会提高产值。本研究还发现,适宜的保水剂浓度会增加作物产量,超过一定浓度,反而会抑制作物生长,这与前人的研究结果一致^[29-31]。

本研究通过系统分析不同浓度 HA 处理对苹果品质及产量的影响,揭示了 HA 在干旱条件下对苹果生理调控的关键作用机制。试验结果表明,HA 的施用显著改善了苹果的综合品质与产量指标,其中 30.0 $\mu\text{mol/L}$ HA 处理表现最为突出。通过主成分分析提取的 2 个主成分,第 1 主成分主要综合了单株产量、单果重、可溶性固形物、果实硬度、产值和折合产量等产量相关指标,而第 2 主成分则主要反映了含糖量、维生素 C 等品质特征指标。第 1、2 主成分的特征值分别为 6.253、2.077,方差贡献率分别为 69.474%、23.073%,累计方差贡献率分别达 69.474%、92.547%,能够有效解释原始变量的绝大部分信息。这一分析结果为建立苹果品质与产量的综合评价体系提供了重要依据。相关性分析显示,单株产量与含糖量、维生素 C 及果实有机酸含量呈负相关,而与单果重、可溶性固形物呈显著正相关,与果实硬度、产值、折合产量呈极显著正相关。这一发现为理解产量与品质性状间的权衡关系提供了新的见解。值得注意的是,随着 HA 施用浓度的增加,单果重、果实硬度、果实有机酸含量、单株产量、折合产量和产值等关键指标均呈现先升高后降低的变化趋势,其中 30.0 $\mu\text{mol/L}$ HA 处理在多个指标上均达到最优值。与对照不施 HA 相比,该处理使苹果含糖量、可溶性固形物和维生素 C 含量提升幅度最大,综合排名结果依次为透明质酸(HA)浓度 30.0、20.0、12.5、10.0、0 $\mu\text{mol/L}$,进一步

证实了 30.0 $\mu\text{mol/L}$ HA 的最佳处理效果。

参考文献:

- [1] 杨泽华,尹晓宁,牛军强,等. 苹果响应水涝胁迫的研究现状与进展[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(11): 981-987.
- [2] WANG H, HUO Q, WANG T, et al. Effects of combination of water-retaining agent and nitrogen fertilizer on soil characteristics and growth of winter wheat under subsoiling tillage in south loess plateau of China[J]. Agronomy, 2024, 14(6): 1287.
- [3] 卢方云,吴瑀婕,黄瑾,等. 透明质酸的制备及其应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 440-447.
- [4] 赵慧,张扬. 天水花牛苹果储藏期主要病害及防治技术[J]. 甘肃科技, 2012, 28(5): 151-152.
- [5] 杨玲娟,杨国辉,杨金凤,等. 天水花牛苹果品质评价指标研究[J]. 中国果树, 2019(5): 29-34.
- [6] 徐娜,李雪,阎瑾,等. 籽瓜果肉品质与质地特性研究[J]. 甘肃科技, 2024, 40(7): 103-109; 114.
- [7] 苏娟娟. 陕北鲜食枣果实品质性状研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [8] 尹欣怡,刘祝银,李桂琛,等. 不同品种对苹果的糖心程度、品质的影响及相关性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(14): 58-70.
- [9] 蒋晓婷,苏琳萍,田丰,等. 山崎营养液 EC 值对高架草莓生产的影响[J]. 青海科技, 2019, 26(3): 28-33.
- [10] 窦宗信,庞勇,王宝春,等. 复配保鲜剂与壳聚糖涂膜对临泽小枣保鲜效果的影响[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(4): 339-343.
- [11] 叶林. 丛枝菌根真菌对西瓜盐碱胁迫的缓解效应及其调控机理[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [12] 马登超,厉广辉,樊宏. 地膜覆盖对春播花生荚果性状及产量形成的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(9): 49-52.
- [13] 戴良香,康涛,张冠初,等. 地膜覆盖方式对花生田土壤含水量、温度及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(8): 72-77.
- [14] 刘自菊. 保水剂在苹果栽培中的应用技术[J]. 甘肃科技, 2012, 28(10): 145-146.
- [15] 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]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [16] 赵鑫,王振,李新民,等. 高吸水性树脂对夏玉米土壤含水量及出苗率的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(3): 31-33.

- [17] 汪淑娟. 兰州市南北两山保水剂造林试验[J]. 甘肃科技, 2006(10): 227-228.
- [18] 顾兴武, 王新芳, 霍建华. 泡泡刺种子萌发对不同土壤含水量的响应[J]. 甘肃科技, 2024, 40(1): 106-110.
- [19] TIAN L, LIU J, ZHANG S, et al. Effects of strip cropping with reducing row spacing and super absorbent polymer on yield and water productivity of oat (*Avena sativa* L.) under drip irrigation in Inner Mongolia, China [J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 11441.
- [20] LIU X G, LI F S, YANG Q L, et al. Effects of alternate drip irrigation and superabsorbent polymers on growth and water use of young coffee tree[J]. Journal of Environmental Biology, 2016, 37(4): 91-93.
- [21] 黄伟, 田迎宇, 张俊花, 等. 保水剂不同用量处理对甜菜生长和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(3): 80-84.
- [22] 陈黎明, 李少卡, 白蓓蓓, 等. 不同浓度噻苯隆对芒果果实品质和有机酸组分的影响[J]. 中国果树, 2024(5): 82-88.
- [23] 马有忠. 寒旱区植被修复保湿增养覆膜造林技术试验[J]. 甘肃科技, 2012, 28(22): 161-162; 116.
- [24] 席利娟, 杨洁, 邱霞, 等. 丙烯酰胺保水剂对清见橘橙根际环境及果实品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(5): 532-538.
- [25] 孙万金. 聚氨基酸基保水剂对灰枣园土壤理化性质、叶绿素含量及果实品质影响研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022.
- [26] 赵锋, 包奇军, 张华瑜, 等. 施用保水剂对于旱胁迫下大麦幼苗生长及光合特性的影响[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(3): 227-230.
- [27] NOUSHIN K D, MANI M, SHAHRAM L, et al. Effect of spraying iron, zinc and using superabsorbent on grain yield and some biochemical properties of maize under drought stress[J]. Journal of Plant Nutrition, 2024, 47(5): 681-689.
- [28] SAEDEDEH K, REZA G F, MAHMOOD G, et al. Effects of regulated deficit irrigation and superabsorbent polymer on fruit yield and quality of ‘Granny Smith’ apple [J]. Agriculturae Conspectus Scientificus, 2019, 84(4): 383-389.
- [29] 李春艳, 汪琴, 赵海涛, 等. 聚天冬氨酸施用量对胡杨幼苗功能性状和生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(11): 17-22.
- [30] 武毅, 孙保平, 张建锋, 等. 保水剂对4种木本植物生长及根系形态的影响[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(1): 96-102.
- [31] 闫文涛, 米兴旺, 李波, 等. 不同保水剂对戈壁日光温室基质栽培番茄生长和产量及品质的影响[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(4): 342-348.