

王浩,安宁,陈燕,等. IAA和脱萘剂处理对库尔勒香梨果实发育过程质地及相关酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(17):149-156.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.17.024

# IAA和脱萘剂处理对库尔勒香梨果实发育过程质地及相关酶活性的影响

王浩<sup>1</sup>,安宁<sup>1</sup>,陈燕<sup>1</sup>,张倩<sup>1</sup>,张天正<sup>1</sup>,李萧婷<sup>1</sup>,陶书田<sup>2</sup>,包建平<sup>1,3</sup>

(1.塔里木大学植物科学学院,新疆阿拉尔 843300; 2.南京农业大学园艺学院,江苏南京 210000;

3.塔里木大学/新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室/

新疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**为研究生产中使用吲哚-3-乙酸(IAA)和脱萘剂对果实质地及口感的影响,以库尔勒香梨为试验材料,于大蕾期分别喷施100 mg/L IAA、100 mg/L脱萘剂,以喷清水处理作为对照,采用质构仪的多面分析功能(TPA,参数包括硬度、破裂力、黏附性、弹性、内聚性、咀嚼性、胶黏性)测定果实不同发育时期的质地,使用分光光度计测定纤维素酶(CX)、淀粉酶(AM)活性,研究果实发育过程中硬度变化与酶活性的关系,并分析之间的相关性。结果表明,花期经过生长调节剂处理的库尔勒香梨果实,各项质构参数及酶活性与对照组相比均有不同程度的差异,IAA会增加库尔勒香梨果实的硬度、破裂力,会轻微降低库尔勒香梨果实的内聚性、胶黏性和咀嚼性;脱萘剂会增加库尔勒香梨果实的黏附性,会降低库尔勒香梨果实的硬度、破裂力、内聚性、胶黏性和咀嚼性;用脱萘剂处理后,8月27日的果实CX活性明显大于其他3种处理,此外用IAA处理后,AM活性在不同发育时期的果实各部位均显著提升。于库尔勒香梨花期使用IAA处理果实,可能会发生果实硬化的现象。此外,多数质构参数之间存在相关性,用脱萘剂处理果实的硬度、破裂力要低于对照宿萘果、脱萘果。AM参与调控库尔勒香梨果实硬度的变化,CX与果实硬度、破裂力无显著相关性。

**关键词:**库尔勒香梨;生长调节剂;质构;酶活性

**中图分类号:**S661.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)17-0149-08

库尔勒香梨(*Pyrus brestschneideri* Rehd.) 因具

有香气浓郁、皮薄肉细、酥脆爽口等特点而被誉为“梨中珍品”“果中王子”<sup>[1]</sup>。近年来,随着库尔勒香梨栽培面积的不断扩大,其管理难度上升,人们为提升库尔勒香梨的产量和果实品质,常常会使用生长素,如吲哚-3-乙酸(IAA)来提升坐果率<sup>[2]</sup>,使用脱萘剂可以提升脱萘率从而优化果形并且可以在一定程度上提升果实的综合品质<sup>[3]</sup>,并进一步提

收稿日期:2021-11-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:31860528,U2003121)。

作者简介:王浩(1993—),男,新疆阿拉尔人,硕士,研究方向为园艺果树栽培生理。E-mail:wang18399226681@163.com。

通信作者:包建平,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为园艺果树栽培生理。E-mail:baobao-xinjiang@126.com。

[17] Safari M, Mousavi - Fard S, Rezaei Nejad A, et al. Exogenous salicylic acid positively affects *Morpha* - physiological and molecular responses of *Impatiens walleriana* plants grown under drought stress[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2022, 19(2): 969 - 984.

[18] 孙晓春, 黄文静, 李 铂. 水杨酸对干旱胁迫下桔梗幼苗生理生化指标及相关基因表达的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(1): 63 - 70.

[19] 黄 程, 文小梅, 唐 殷, 等. 外源水杨酸对盐胁迫下小白菜幼苗生理的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(7): 147 - 151.

[20] 耿志卓, 丁立人, 逯亚玲, 等. 外源水杨酸对不同水分胁迫下分枝期紫花苜蓿生长和生理特性的影响[J]. 草地学报, 2016, 24(2): 369 - 376.

[21] Rekhter D, Lüdke D, Ding Y L, et al. Isochorismate - derived

biosynthesis of the plant stress hormone salicylic acid[J]. Science, 2019, 365(6452): 498 - 502.

[22] 陈亮亮, 黄高宝, 李玲玲, 等. 不同耕作措施对小麦水分利用的影响及机制[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(1): 48 - 53.

[23] 范思静, 王亚男. 外源水杨酸诱导油菜幼苗响应干旱胁迫的生理机制[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(1): 30 - 32.

[24] 朱 丹, 赵宝林, 韩科学, 等. 水分及高温环境胁迫对薄荷幼苗活性氧代谢与总黄酮累积的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(4): 600 - 605.

[25] 罗巧玉, 王彦龙, 陈 志, 等. 水分逆境对发草脯氨酸及其代谢途径的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(5): 75 - 83.

[26] 曾紫君, 曾 钰, 闫 磊, 等. 低硼及高硼胁迫对棉花幼苗生长与脯氨酸代谢的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(8): 1616 - 1623.

升经济效益。李林等通过研究生长调节剂对库尔勒香梨的影响得出,100 mg/L 脱萼剂处理的效果最佳<sup>[4]</sup>;王一静对库尔勒香梨的研究发现,100 mg/L IAA 能够增强库尔勒香梨果树的抗寒性<sup>[5]</sup>。目前生产中常将这2类药剂混合使用,在实际使用中发现,用这些药剂处理后,相比于未处理的库尔勒香梨,可能导致处理过的库尔勒香梨果肉变硬、口感变差,从而影响其经济效益和栽培效益。果实质地和口感是衡量果实商品性的重要指标之一,传统评价果实质地的方法主要通过品尝,但主观性强、评价的误差较大。近年来,越来越多的研究者借助质构分析仪进行果实品质的测定,得益于其能客观、量化、以数据的形式具体化,将果实硬度、咀嚼性、黏附性、弹性、胶黏性等指标精准表现出来<sup>[6]</sup>。前人借助质构分析仪对草莓<sup>[6]</sup>、杨梅<sup>[7]</sup>、猕猴桃<sup>[8]</sup>、石榴<sup>[9]</sup>等果品部分质构参数进行测定,发现不同部位果肉的硬度、弹性、黏附性无显著差异,胴部果肉的肉聚性、咀嚼性显著高于底部。此外,贮藏期果实的硬度、肉聚性、咀嚼性等是灵活反映果肉质地的主要指标。关于枇杷<sup>[10]</sup>、梨<sup>[11]</sup>、苹果<sup>[12]</sup>、枣<sup>[13]</sup>等果品质地性状的研究主要集中在果实的硬度、弹性、黏附性、胶黏性以及咀嚼性等质构指标上。

对山农脆梨<sup>[14]</sup>果实发育期间淀粉酶(AM)、纤维素酶(CX)的相关动态活性进行研究,AM、CX均为调控其硬度质地变化的关键酶。而对京白梨<sup>[15]</sup>、柿<sup>[16]</sup>的研究发现,随着果实成熟后软化,AM活性呈上升趋势,而CX活性呈先上升后下降的趋势,且CX活性在果实软化后期的作用不大。多数研究的对象主要围绕采后、贮藏期的果实,关于发育成熟阶段影响果实质地变化的相关酶活性的研究较少。

本试验以库尔勒香梨为试验材料,通过相同浓度100 mg/L IAA、脱萼剂处理与清水处理的宿萼果与脱萼果进行对比,探求其对不同发育阶段库尔勒香梨果实质地及相关酶活性的影响,并通过绘制相关性热图,对各个质构参数与AM、CX活性的相关性进行分析,旨在揭示果实发育过程中质地的变化规律,从而为库尔勒香梨的生产活动提供参考依据,并且求证生产过程中常用的生长调节剂是否会显著影响库尔勒香梨果实的质地。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与处理

试验地点为新疆阿拉市塔里木大学校园,供试

品种为以杜梨作砧木的香梨,南北行向,灌溉方式为大水漫灌,土壤类型为沙壤土,果园按常规管理,树龄在23年左右,株行距2 m×4 m。于2020年4月1日大蕾期分别喷施100 mg/L IAA、100 mg/L 脱萼剂,以清水处理为对照标记宿萼果、脱萼果,分别于6月1日、7月1日、7月15日和8月27日的10:00—13:00采样,取树冠南侧外围短果枝上的果实,各处理分别采摘30个果实,采样后立即运回实验室内。将样品分为2个部分,一部分用密封袋装好后存放在4℃冰箱中贮藏,用于果实的质构分析;另一部分果实分成3个部分,即果柄果肉、胴部果肉和萼端果肉,切成小块后用液氮速冻,保存于超低温冰箱内,用于酶(CX、AM)活性等指标的测定,果实质构测定重复10次,酶活性的测定重复3次。

### 1.2 测定方法

1.2.1 香梨果实质地参数的测定 参照宋肖琴等的测定方法<sup>[10,17]</sup>并加以改进,将整果置于物性分析仪台面上,参数设置如下:力量感应元量程为25,形变百分量为40%,检测速度为1.5 mm/s,起始力为0.5 N。得到硬度(firmness)、破裂力(fracture)、黏附性(adhesiveness)、弹性(springiness)、肉聚性(cohesiveness)、胶黏性(gumminess)和咀嚼性(chewiness)等表征果肉质地的评价参数。

1.2.2 淀粉酶和纤维素酶活性的测定 淀粉酶酶液的制备参照魏建梅等的方法<sup>[15,18-19]</sup>并略加改进。取5 g样品于冷冻的研钵内,用液氮研磨后加酶提取液[6% NaCl,内含0.6% 乙二胺四乙酸(EDTA)、1% 聚乙烯吡咯烷酮(PVP)],以于3 500 g、4℃离心15 min后的提取液为待测淀粉酶液,试验均重复3次,具体参照《生物化学实验技术原理和方法》<sup>[20]</sup>中的方法。将5 mL酶液加入100 mL容量瓶中定容,取4支试管,分别编号为1、2、3、4,在1、2号试管中分别加入1 mL稀释的酶液和1 mL pH值为5.6的柠檬酸缓冲液;在3、4号试管中加入4.0 mL 4 mol/L NaOH终止酶活性。将4支试管于40℃恒温水浴中保温15 min,再向各管中分别加入2 mL 40℃预热的淀粉液,混匀后即刻放入40℃水浴中保温15 min,取出试管并向各管中迅速加入4 mL 4 mol/L NaOH以终止酶活动。各取2 mL上述4支试管溶液置于25 mL容量瓶中,再加入2 mL二硝基水杨酸试剂,于沸水浴中煮沸5 min,冷却后稀释至刻度,在520 nm处测定吸光度。

纤维素酶活性的测定参照李春燕等的方法<sup>[19]</sup>

并略有改进。在试管中加入 1 mL 酶液,于 37 °C 预热 3 min 后加入 2 mL 1% 羧甲基纤维素钠(CMC),对照加入 2 mL 0.1 mol pH 值为 5.0 的柠檬酸-磷酸体系,40 °C 恒温反应 30 min 后加 1.5 mL 3,5-二硝基水杨酸(DNS)试剂,沸水浴 5 min 后定容至 10 mL,在波长 540 nm 处比色。以葡萄糖为标样绘制标准曲线。

### 1.3 数据分析

试验用 Excel 2020 对数据进行归类制表,用 Graphpad Prism 8 软件进行作图和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实的质构参数变化

**2.1.1 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实发育过程中硬度的变化** 如图 1 所示,在 4 种不同处理下,库尔勒香梨果实发育过程中的果实硬度基本呈先上升后下降的趋势,脱萼剂处理的香梨果实硬度与其他 3 种处理不同,呈下降—上升—下降的趋势,并且其果实硬度在 6 月 1 日达到整个果实发育过程的峰值,为 347.60 N,比宿萼果高 81.02 N,比脱萼果高 102.94 N,比 IAA 处理的果实高 46.28 N。其中宿萼果、脱萼果及 IAA 处理的果实硬度在 7 月 15 日达到峰值,宿萼果、脱萼果和脱萼剂处理的果实硬度在 7 月 15 日后迅速下降,而 IAA 处理的果实硬度则出现平缓的小幅度下降趋势。在 8 月 27 日,对 4 种不同处理的果实硬度进行比较发现,IAA 处理果实硬度最大,为 344.60 N,比宿萼果高 10.99 N,比脱萼果高 53.51 N,脱萼剂处理的果实硬度最小,为 281.66 N。综上所述,IAA 处理与宿萼果相比会增加库尔勒香梨果实的硬度,而脱萼剂与脱萼果相比则降低了库尔勒香梨果实的硬度。

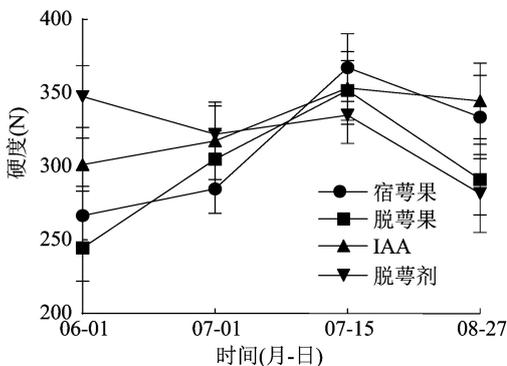


图1 硬度的动态变化

**2.1.2 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实发育过程中破裂力的变化** 如图 2 所示,宿萼果和母梨在发育过程中的破裂力呈先上升后下降的趋势,2 种处理的果实破裂力与 CK 果实相比有明显差异,IAA 处理的果实破裂力呈先下降后上升的趋势,脱萼剂处理的果实则呈逐渐下降的趋势。6 月 1 日,脱萼剂处理的果实破裂力最大,为 323.82 N,明显高于 IAA 处理的 288.49 N,脱萼果处理的 269.79 N、公梨的 256.37 N。8 月 27 日,对 4 种不同处理的库尔勒香梨果实的破裂力进行比较发现,IAA 处理的破裂力为 320.43 N,比脱萼果高 33.43 N,比宿萼果高 45.51 N;脱萼剂处理的果实破裂力最小,为 264.78 N。综上所述,IAA 处理与宿萼果的破裂力变化趋势明显不同,且 IAA 处理的破裂力明显大于其他 3 个处理,脱萼剂与脱萼果处理的破裂力变化趋势同样表现出明显不同,但脱萼剂处理的破裂力小于脱萼果。

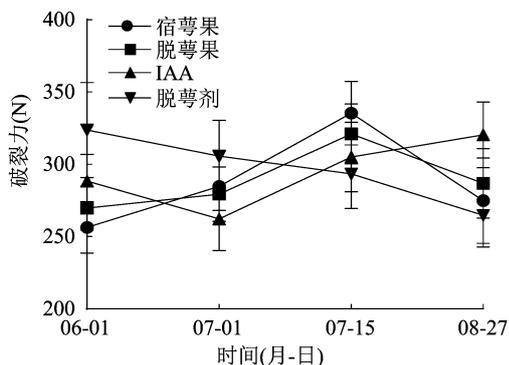


图2 破裂力的动态变化

**2.1.3 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实发育过程中黏附性的变化** 如图 3 所示,6 月 1 日 4 种果实的黏附性出现较大差异,其中 CK 母梨的黏附性最大,为 0.251 N/mm,IAA 处理、脱萼剂处理的果实黏附性分别为 0.222、0.211 N/mm,而宿萼果的黏附性明显低于其他 3 种处理,为 0.136 N/mm。6 月 1 日以后,除脱萼果的黏附性变化趋势表现为先上升后下降再上升的趋势外,其他 3 种处理的黏附性变化趋势基本相同,呈先下降后上升的趋势,其中脱萼果在 7 月 1 日的黏附性达到峰值,为 0.264 N/mm,其他 3 种处理的黏附性均最低,随后开始上升。脱萼果黏附性的最低值出现在 7 月 15 日,为 0.107 N/mm,与其他 3 种处理的最低值相当。8 月 27 日,脱萼剂处理的黏附性最高,为 0.221 N/mm,IAA 处理的黏附性与宿萼果、脱萼果十分接近,为 0.195 N/mm。综上所述,IAA 处理的

黏附性在趋势上与宿萼果十分接近且在采摘期的黏附性无差异,脱萼剂处理与脱萼果的黏附性在趋势上有明显差异,采摘期脱萼剂处理的果实黏附性大于脱萼果。

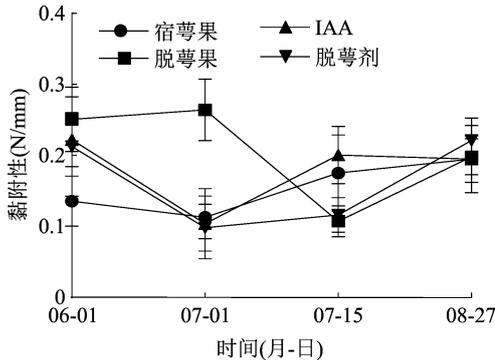


图3 黏附性的动态变化

2.1.4 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实发育过程中内聚性的变化 如图4所示,在4种处理下,库尔勒香梨果实的内聚性变化趋势基本一致,整体呈下降趋势,其中宿萼果的内聚性在6月1日至7月1日与其他3种处理不同,呈平缓上升的趋势,随后又与其他3种处理保持一致,在果实发育过程中,4种处理果实的内聚性变化趋势并无明显差异,在8月27日,4种处理的果实内聚性如下:宿萼果0.120,脱萼果0.130,IAA处理0.112,脱萼剂处理0.112。可以看出,脱萼果的内聚性略大于其他3种果实,IAA处理的果实内聚性最小。综上所述,4个处理的趋势基本一致,IAA、脱萼剂处理会分别降低宿萼果、脱萼果的内聚性。

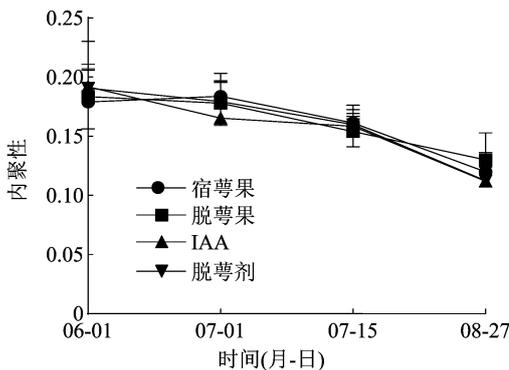


图4 内聚性的动态变化

2.1.5 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实发育过程中弹性的变化 如图5所示,4种处理的弹性变化趋势均呈上升趋势,6月1日至7月15日基本重合,在8月27日出现一定差异,4种处理的果实弹性如下:宿萼果10.79 mm,脱萼果9.66 mm,IAA处理10.20 mm,脱萼剂处理9.92 mm。

综上所述,在4种处理下,果实弹性的变化趋势基本一致,在8月27日采摘期时,IAA处理的果实弹性略微低于宿萼果,而脱萼剂处理的果实弹性略高于脱萼果。

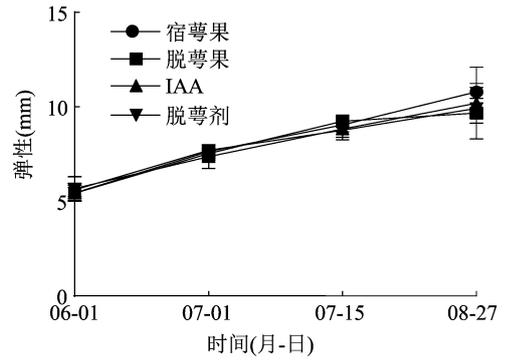


图5 弹性的动态变化

2.1.6 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实发育过程胶黏性的变化 如图6所示,在4种处理下,果实的胶黏性整体呈下降趋势,但是不同种类的果实存在一定差异。其中,脱萼剂处理和IAA处理的果实胶黏性呈持续下降趋势,而宿萼果在6月1日至7月15日呈缓慢上升的趋势,在7月15日至8月27日迅速下降。与之相反,脱萼果的果实胶黏性在6月1日至7月15日表现为先缓慢下降后上升的趋势,在7月15日至8月27日下降。在4种处理下,香梨果实的胶黏性在7月15日至8月27日都出现了迅速下降的趋势。在8月27日时脱萼果的胶黏性最大,为39.76 N,宿萼果的胶黏性为37.95 N,大于IAA处理的30.45 N、脱萼剂处理的33.76 N。综上所述,IAA处理、脱萼剂处理的胶黏性的部分变化趋势与脱萼果、宿萼果有所不同,整体上保持一致,8月27日采摘期的宿萼果胶黏性大于IAA处理,脱萼果的胶黏性大于脱萼剂处理。

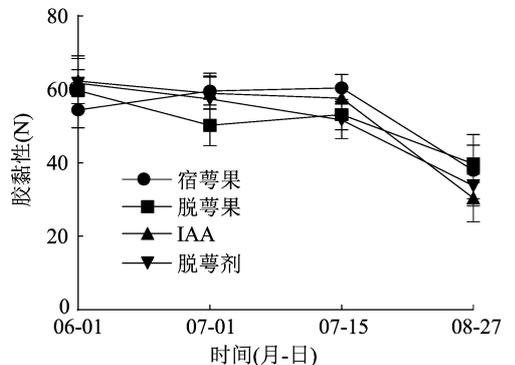


图6 胶黏性的动态变化

2.1.7 花期不同植物生长调节剂处理的库尔勒香梨果实发育过程咀嚼性的变化 如图7所示,4种

处理的库尔勒香梨果实的咀嚼性整体呈先上升后下降的趋势,且在7月15日均达到高峰,在6月1日,IAA处理的果实咀嚼性明显高于其他处理的果实,随后的变化趋势与其他种类果实重合,但是用脱萼剂处理的库尔勒香梨果实在7月15日的咀嚼性明显低于其他3种处理的果实。在8月27日,脱萼果的咀嚼性最好,为382.73,宿萼果的咀嚼性为374.19,优于IAA处理的331.96、脱萼剂处理的346.01。综上可见,在4种处理下,果实咀嚼性的整体变化趋势基本相同,宿萼果的咀嚼性优于IAA处理,脱萼果的咀嚼性同样优于脱萼剂处理。

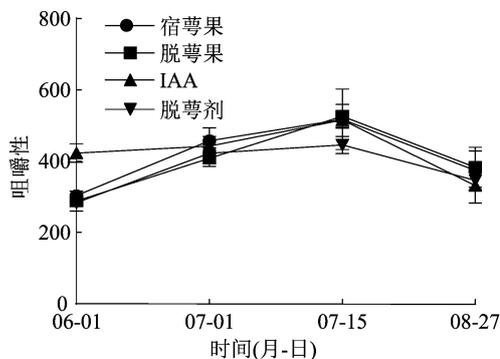
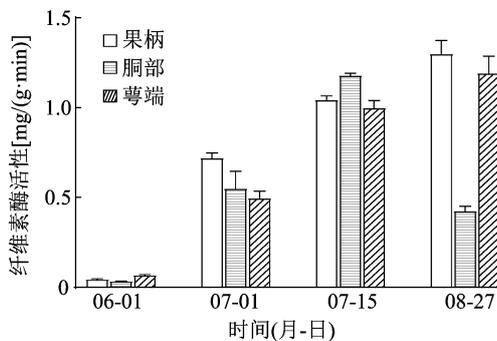
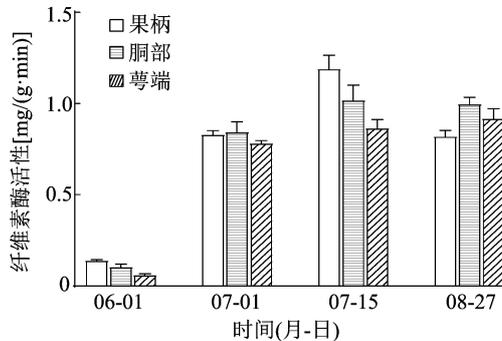


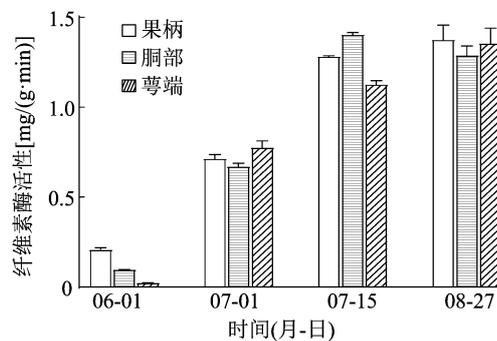
图7 咀嚼性的动态变化



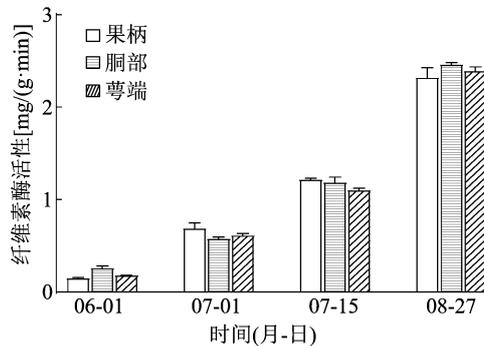
A. 宿萼果



B. 脱萼果



C. IAA



D. 脱萼剂

图8 4种处理不同部位的纤维素酶活性动态变化及比较

2.2.2 淀粉酶活性的变化 如图9所示,4种处理果实的AM活性基本呈先降低后升高的趋势。在6

2.2 花期不同药剂处理的库尔勒香梨果实发育过程相关酶活性的变化

2.2.1 纤维素酶活性的变化 如图8所示,4种处理的果实CX活性基本呈上升趋势,但也有一定差异。6月1日至7月15日,4种处理果实胴部CX活性的变化趋势基本一致,且差异不大,但在8月27日对出现明显差异的胴部CX活性进行比较发现,脱萼剂处理的CX活性[2.462 mg/(g·min)]明显高于宿萼果的CX活性[0.424 mg/(g·min)]和脱萼果的CX活性[0.996 mg/(g·min)]、IAA处理的CX活性[1.288 mg/(g·min)]。对萼端的CX活性进行比较可知,脱萼剂处理[2.392 mg/(g·min)]明显高于宿萼果处理[1.190 mg/(g·min)]、脱萼果[0.917 mg/(g·min)]、IAA处理[1.355 mg/(g·min)]。果柄部与萼端情况相同,但是在8月27日宿萼果出现了萼端和果柄部CX活性极大高于胴部的现象。综上可知,在发育前期,4种处理的CX活性并未出现较大差异,在8月27日,IAA处理、脱萼剂处理的CX活性分别高于宿萼果、脱萼果,而脱萼剂处理相较于脱萼果明显提升了果实各部位的CX活性。

月1日,IAA处理的果柄部、萼端AM活性明显高于其他处理的果实,对果柄部AM活性进行比较发现,

IAA 处理明显高于其他 3 种处理, 宿萼果为  $0.033 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ , 而脱萼剂处理 [ $0.016 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ] 与脱萼果处理的  $0.017 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$  十分接近。6 月 1 日对萼端 AM 活性的比较发现, IAA 处理的酶活性最高, 为  $0.086 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ , 而其他 3 种处理果实无明显差异。胴部 AM 活性则明显低于其他处理的果实, 其中 IAA 处理的胴部 AM 活性 [ $0.014 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ] 明显低于脱萼果 [ $0.117 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ]、宿萼果 [ $0.084 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ] 以及脱萼剂处理 [ $0.144 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ]。7 月 1 日至 7 月 15 日, 4 种处理果实的 AM 活性无明显差异。8 月 27 日对 IAA 处理的胴部 AM 活性进行比较发现, IAA 处理的 AM 活性 [ $0.015 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ] 明显低于宿萼果、脱萼果, 同时也明显低于脱萼剂处理。对萼端 AM 活性的比较发现, IAA 处理的 AM 活性 [ $0.140 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ] 明显高于脱萼果处理的  $0.016 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 、宿萼果处理的  $0.044 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ , 同时也明显高于脱萼剂处理的  $0.065 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。综上可见, IAA 处理在果实发育前期、末期的果柄、萼端 AM 活性都明显高于宿萼果, 但作为主要食用部位的胴部, IAA 处理的 AM 活性则明显低于宿萼果; 脱萼剂处理的 AM 活

性在果实发育前中期与脱萼果间无明显差异, 而脱萼剂处理的 AM 活性在末期胴部、萼端高于脱萼果。

2.2.3 4 种处理库尔勒香梨果实发育过程中不同位置纤维素酶、淀粉酶活性的相关性分析 使用采摘期 8 月 27 日的各项数据, 并以食用价值最高的胴部果肉的 AM、CX 活性与质构参数进行相关性分析, 并绘制 Spearman 相关性热图。由图 10 可以看出, CX 活性与除黏附性外的其他 6 个质构参数均呈负相关, 与破裂力呈负相关 ( $r = -0.29$ ), 与硬度呈负相关 ( $r = -0.63$ ), 与内聚性呈负相关 ( $r = -0.67$ ), 与弹性呈负相关 ( $r = -0.63$ ), 与胶黏性呈负相关 ( $r = -0.47$ ), 与咀嚼性呈负相关 ( $r = 0.70$ ), 仅与黏附性呈正相关 ( $r = 0.24$ ), 与各项质构参数无显著相关性。AM 活性与 5 项质构参数呈负相关, 其中与破裂力呈显著负相关 ( $r = 0.96^*$ ,  $P < 0.05$ ), 与硬度呈负相关 ( $r = -0.48$ ), 与内聚性呈负相关 ( $r = -0.22$ ), 与弹性呈负相关 ( $r = -0.09$ ), 与黏附性呈负相关 ( $r = -0.48$ ), 与胶黏性呈正相关 ( $r = 0.32$ ), 与咀嚼性呈正相关 ( $r = 0.40$ ), 仅与破裂力呈显著负相关。此外, 质构参数之间也存在相关性, 黏附性与胶黏性间呈极显著负相关 ( $r = -0.97^{**}$ ,  $P < 0.01$ ), 硬度和弹性间呈显著负相关 ( $r = -0.91^*$ ,  $P < 0.05$ )。

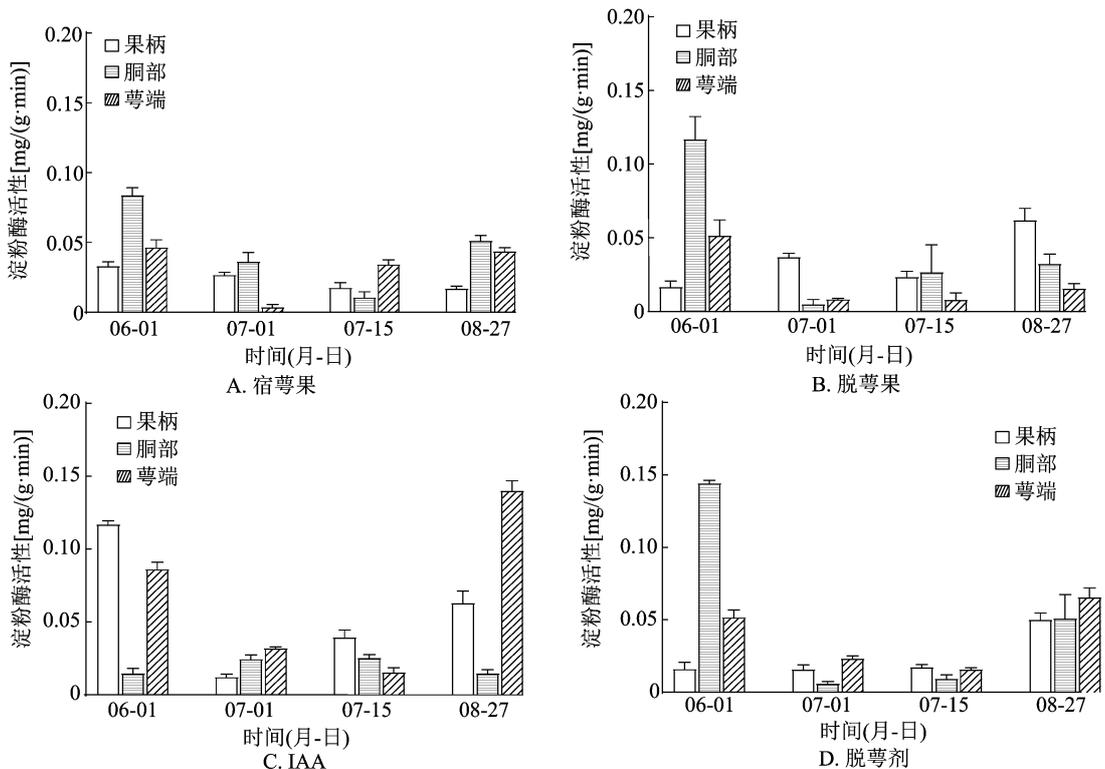


图9 4种处理不同部位的淀粉酶活性动态变化及比较

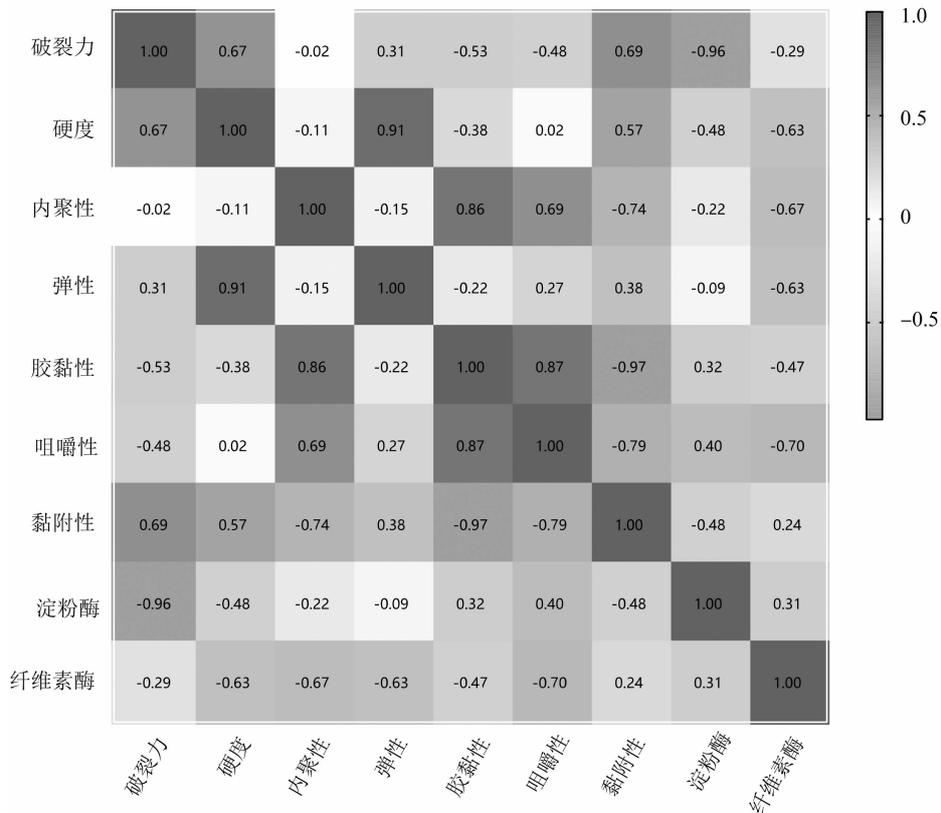


图10 主要质构参数与CX、AM活性的Spearman相关性热图

### 3 讨论

果实质地是果实品质的重要指标。王燕霞等研究发现,质构参数之间同样存在相关性,且硬度、弹性是反映果肉质地的主要参数<sup>[21]</sup>。刘娜娜对草莓的研究发现,IAA处理可以起到保花、保果、提高坐果率的作用,但也会在一定程度上增加果实的硬度<sup>[22]</sup>。陈园园对玉露香梨的研究发现,喷施脱萼剂后,果肉的咀嚼性显著增加,但果肉的硬度、黏附性、弹性均无显著变化<sup>[23]</sup>。杨晓平等对华梨1号的研究发现,盛花期喷施脱萼剂能够降低果实硬度,提高外观品质<sup>[24]</sup>。本研究发现,IAA处理、脱萼剂处理的内聚性和弹性指标与清水处理的宿萼果、脱萼果之间的变化趋势高度重合,说明这2种药剂并未对内聚性、弹性指标产生影响。在咀嚼性、胶黏性指标中,IAA处理、脱萼剂处理与清水处理的宿萼果、脱萼果之间的变化趋势出现了一些不同,而在硬度、破裂力、黏附性指标中的动态变化趋势出现了明显不同,说明硬度、破裂力、黏附性能很好地反映不同药剂处理下库尔勒香梨果实质地的差异,同时进一步说明咀嚼性、胶黏性、硬度、破裂力、黏附性是评判库尔勒香梨果实质地的主要指标。本研究

的观点与王燕霞等的研究结果<sup>[21]</sup>基本一致。由8月27日采摘期的数据可知,IAA处理的香梨果实硬度、破裂力均大于对照宿萼果,本试验结果与前人得出的IAA参与调控草莓果实质地变化的结论<sup>[22]</sup>一致,进而证明IAA会对不同果树果实质地产生一定影响。在本试验中,脱萼剂处理的库尔勒香梨果实质地变化与陈园园对玉露香梨的研究结果<sup>[23]</sup>有所不同,但与杨晓平等对华梨1号的研究结果<sup>[24]</sup>一致,综合分析,可能是因为不同品系果形存在差异,进而导致结果差异。

前人研究发现,淀粉可在AM的催化作用下水解为可溶性糖,使细胞的膨胀力下降,最终导致果实软化<sup>[25-26]</sup>。与此同时,在红树莓果实中,淀粉含量的变化与果实硬度之间呈极显著正相关<sup>[27]</sup>。本试验对比了4种不同处理下库尔勒香梨果实胴部AM活性在各个关键时期的变化,以及在8月27日采摘期时的AM活性,发现在IAA处理下,香梨果实的AM活性普遍低于其他3个处理的果实,而在采摘期AM活性与破裂力呈显著负相关,与其他参数间并无显著相关性,说明AM活性越高,果实的硬度、破裂力越小,进一步论证了前人的结论<sup>[23]</sup>,说明AM主要参与调控香梨果实硬度的质地变化。有研

究发现,随着草莓成熟,CX活性提高了6倍,同时还有研究者对2个草莓品种 CX活性进行了动态观察,发现随着果实成熟,CX活性在不断升高<sup>[27-28]</sup>。另有研究发现,在秋子梨果实后熟软化过程中,CX主要在南果、安梨果实后熟软化中期起作用,而在后期无明显作用<sup>[29]</sup>。本试验通过对比4种不同处理香梨果实在各个关键时期的CX活性发现,IAA、脱萼剂处理的果实CX活性主要呈现上升趋势,进一步论证了前人的结论。在本试验中,采摘期IAA处理果实胴部的CX活性显著高于宿萼果,此外,在脱萼剂处理下,果实各部位的CX活性均明显高于脱萼果,但各个质构参数指标的变化趋势与CX活性的变化趋势并不重合,且Spearman相关性热图分析结果显示,采摘期CX活性与7种质构参数间并无显著相关性。本试验中的相关性主要集中在果实发育后期,与薛炳焯对草莓生长过程CX活性变化与质地的关系<sup>[27]</sup>不相符,而与杨晓龙对秋子梨的研究结果<sup>[29]</sup>基本一致。出现试验结果不同,可能由于不同果实的生长发育过程不一致,或者由于果实结构不同。

#### 4 结论

通过测定香梨果实生长过程主要阶段的部分质构参数和影响果实质地的主要酶活性,并通过Spearman相关性热图得出,CX活性在果实发育期与果实质地变化无显著相关性,而AM活性与破裂力呈显著负相关,说明AM活性参与调控了库尔勒香梨果实质地的变化。使用IAA处理的香梨果实与自然条件下的宿萼果相比会出现一定程度的硬化现象,而脱萼剂处理与自然条件下的脱萼果相比,在质地口感上更佳。

#### 参考文献:

- [1]高启明,李疆,李阳. 库尔勒香梨研究进展[J]. 经济林研究,2005,23(1):79-82.
- [2]罗斌,赵有斌,尹学清,等. 质构仪在果蔬品质评定中应用的研究进展[J]. 食品研究与开发,2019,40(5):209-213.
- [3]毕愿坤,李丽,朱传应,等. 生境、温度及外源激素对花柴花器官发育的影响[J]. 生物技术通报,2021,37(4):28-34.
- [4]李林,苏柳芸,覃伟民,等. 植物生长调节剂对库尔勒香梨果实性状的影响[J]. 山西果树,2008(4):7-9.
- [5]王一静. 不同外源激素处理对库尔勒香梨抗寒性胜利变化的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [6]宋钰兴,邵兴锋,张春丹,等. 测试条件的变化对草莓质地剖面分析结果的影响[J]. 食品科学,2011,32(13):15-18.
- [7]陈青,励建荣. 杨梅果实储存过程中质地变化规律的研究[J]. 中国食品学报,2009,9(1):66-71.
- [8]张维,付复华,罗赛男,等. 湖南红心猕猴桃品种品质评价及综合分析[J]. 食品与发酵工业,2021,47(5):201-210.
- [9]唐贵敏,孙蕾,梁静,等. 不同类型石榴品种果实品质分析与质构特性评价[J]. 北方园艺,2018(16):85-89.
- [10]宋肖琴,张波,徐昌杰,等. 采后枇杷果实的质构变化研究[J]. 果树学报,2010,27(3):379-384.
- [11]张谦益,吴洪华,王香林,等. 穿刺试验测试梨果肉质地的研究[J]. 农产品加工,2006(4):22-24.
- [12]杨玲,丛佩华,王强,等. 不同苹果品种在贮藏过程中果实质构的变化[J]. 果树学报,2016,33(11):1439-1446.
- [13]宋焯,王建中. 不同产地灰枣感官及理化特性评价[J]. 现代食品科技,2021,37(7):148-154,293.
- [14]艾静. ‘山农脆’梨果实硬度及其相关酶活性的初步研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
- [15]魏建梅,马锋旺,关军锋,等. 京白梨果实后熟软化过程中细胞壁代谢及其调控[J]. 中国农业科学,2009,42(8):2987-2996.
- [16]王英超,张桂霞,赵琼琼,等. 柿果软化过程中 $\alpha$ -淀粉酶活性与Cx纤维素酶活性变化研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(28):8815-8816.
- [17]潘秀娟,屠康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报,2005,21(3):166-170.
- [18]胡安生,林蓓芬,任道顺,等. 柑橘果实的脱落 I. 三十烷醇对本地早幼果外植体脱落纤维素酶和果胶酶的作用[J]. 园艺学报,1985,12(2):77-82.
- [19]李春燕,张光伦,曾秀丽,等. 细胞壁酶活性与甜橙果实质地的相关性研究[J]. 四川农业大学学报,2006,24(1):73-76.
- [20]王宪泽,王保莉,冯妍. 生物化学实验技术原理和方法[M]. 北京:北京农业大学出版社,1996:51-53.
- [21]王燕霞,王晓曼,关军锋,等. 梨果肉质地形状分析[J]. 中国农业科学,2014,47(20):4056-4066.
- [22]刘娜娜. 超表达生长素合成基因YUCCA1对草莓果实成熟的影响[J]. 新疆农业大学学报,2018,41(4):267-175.
- [23]陈园园,李凯,宋宇琴,等. PBO对玉露香梨果实脱萼及品质的影响[J]. 中国南方果树,2018,47(5):55-58.
- [24]杨晓平,李荣梅,马连奎,等. “华梨1号”梨不同脱萼处理的脱萼效果及果实品质[J]. 中国南方果树,2021,20(2):141-143.
- [25]Payasi A, Mishra N N, Chaves A L S, et al. Biochemistry of fruit softening: an overview [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2009, 15(2):102-113
- [26]韩絮舟. 氯化钙处理对红树莓果实低温贮藏品质及软化的影响[D]. 锦州:渤海大学,2020.
- [27]薛炳焯,毛志泉,束怀瑞. 草莓果实发育成熟过程中糖苷酶和纤维素酶活性及细胞壁组成变化[J]. 植物生理与分子生物学报,2006,32(3):363-368.
- [28]Abeles F B, Takeda F. Cellulase activity and ethylene in ripening strawberry and apple fruits [J]. Scientia Horticulturae, 1990, 42(4):269-275.
- [29]杨晓龙. 秋子梨不同品种果实软化的生理差异及其调控机理[D]. 北京:中国农业科学院,2017.