

乙烯利对库尔勒香梨果实发育进程和品质的影响

邵白俊杰¹, 田嘉¹, 郝志超¹, 王乾¹, 张峰², 温玥^{1*}

(1 新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2 库尔勒市香梨研究中心, 新疆库尔勒 841000)

摘要:以库尔勒香梨为试材,在大蕾期喷施不同浓度乙烯利,调查库尔勒香梨萼片脱落率,观测果实生长发育进程和落果情况,测定成熟期果实品质,并基于主成分分析法对乙烯利处理下的果实品质进行综合评价,以揭示乙烯利对库尔勒香梨果实生长发育进程和果实品质的影响,为筛选最优乙烯利浓度应用于提高库尔勒香梨果实品质提供理论依据和技术支持。结果表明:(1)2021年自然生长状态下(对照)库尔勒香梨萼片脱落时间为9d,不同浓度乙烯利处理后脱落时间会缩短1~2d,且随着处理浓度梯度的升高,萼片脱落时间和萼片脱落高峰提前。(2)库尔勒香梨果实生长发育期约为130d,乙烯利处理下和自然状态下的果实生长发育均呈“S”型曲线的变化趋势;乙烯利处理明显加快了果实成熟的速度,果实在花后110d左右已达到成熟标准,从而可以确定合理的采收时间,并以300 mg·L⁻¹乙烯利处理下脱萼果和宿萼果的纵横径和单果重增长最大;乙烯利处理下库尔勒香梨在第二次果实膨大期间落果较多,在花后50d和110d左右出现落果高峰,并以200 mg·L⁻¹乙烯利处理对库尔勒香梨果形指数和落果率的影响最明显。(3)300 mg·L⁻¹乙烯利处理对库尔勒香梨果实品质影响最大,宿萼果纵、横径和单果重较对照分别显著增加5.02%、10.90%和11.40%,脱萼果鲜干比重、可溶性固形物含量、VC含量和可溶性糖含量比对照分别显著提高5.67%、12.03%、21.48%和10.22%,脱萼果硬度和可滴定酸含量比对照分别显著降低10.10%和19.75%。(4)主成分分析显示,各浓度乙烯利处理下库尔勒香梨综合品质得分从高到低依次为300 mg·L⁻¹脱萼果、300 mg·L⁻¹宿萼果、200 mg·L⁻¹宿萼果、200 mg·L⁻¹脱萼果、100 mg·L⁻¹脱萼果、100 mg·L⁻¹宿萼果、CK脱萼果和CK宿萼果。研究发现,大蕾期喷施乙烯利促进了库尔勒香梨萼片的脱落,明显加快了果实的生长发育进程,并可有效提高果实品质,且以300 mg·L⁻¹乙烯利处理对库尔勒香梨果实品质改善效果最优。

关键词:乙烯利;库尔勒香梨;果实发育进程;果实品质;主成分分析

中图分类号: Q945.79; S661.2 **文献标志码:** A

Effects of Ethephon on Fruit Developmental Process and Quality of Korla Fragrant Pear

SHAO-BAI Junjie¹, TIAN Jia¹, HAO Zhichao¹, WANG Qian¹, ZHANG Feng², WEN Yue^{1*}

(1 College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830062, China; 2 Korla Fragrant Pear Research Center, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Korla fragrant pear was used as test material, we sprayed different concentrations of ethephon during the large bud stage to investigate the shedding rate of sepals of Korla fragrant pear, observe the fruit growth and development process and fruit drop, determine the fruit quality at the ripening stage, and based on the principal component analysis, we comprehensively evaluated the fruit quality under ethephon treatment to explore the impact of ethephon on the fruit growth and development process and fruit quality,

收稿日期:2022-05-26;修改稿收到日期:2022-11-02

基金项目:国家自然科学基金项目(32160686);中国博士后科学基金(2021M693900);新疆农业大学高层次人才科研培育计划项目

作者简介:邵白俊杰(1998-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为果树学。E-mail:359609890@qq.com

* 通信作者:温玥,副教授,博士,主要研究方向为果树栽培与生理。E-mail:wenyue900701@163.com

which provides theoretical basis and technical support for screening the optimal ethephon concentration to improve the fruit quality. The results showed that: (1) in 2021, the shedding time of sepals of Korla fragrant pear was 9 days in the natural growth state (control), and the shedding time was shortened by 1—2 days after treatment with different concentrations of ethephon, and with the increase of the treatment concentration gradient, the sepal shedding time and sepal shedding peak were earlier. (2) The fruit growth and development period of Korla fragrant pear is about 130 days. The fruit growth and development under ethephon treatment and natural state show a “S” curve change trend. The ethephon treatment significantly accelerated the speed of fruit ripening, and the fruit had reached the ripening standard about 110 days after flowering, so that a reasonable harvest time could be determined. The length and width and single fruit weight of decalyx and persistent calyx fruits increased the most under the treatment of $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ethephon. Under ethephon treatment, Korla fragrant pear dropped more fruits during the second fruit expansion period, and the peak of fruit drop appeared at 50 and 110 days after flowering, and $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ethephon treatment had the most obvious effect on the fruit shape index and fruit drop rate of Korla fragrant pear. (3) Compared with the control, $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ethephon treatment had the greatest impact on the fruit quality of Korla fragrant pear. The vertical and horizontal diameter and single fruit weight of persistent calyx fruits increased by 5.02%, 10.90% and 11.40%, respectively. The fresh weight/dry weight, soluble solids content, VC content and soluble sugar content of calyx free fruits increased by 5.67%, 12.03%, 21.48% and 10.22%, and the hardness and titratable acid content of calyx free fruits decreased by 10.10%, 19.75%, respectively. (4) The results of principal component analysis showed that the comprehensive quality scores of Korla fragrant pears treated with different concentrations of ethephon were ranked as follows: $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ decalyx fruit > $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ persistent calyx fruit > $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ persistent calyx fruit > $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ decalyx fruit > $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ decalyx fruit > $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ persistent calyx fruit > CK decalyx fruit > CK persistent calyx fruit. Spraying ethephon at the big bud stage promoted the detachment of the sepals of Korla fragrant pear, significantly accelerated the growth and development process of fruit, and could effectively improve the fruit quality. To sum up, $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ethephon treatment had the best effect on improving the fruit quality of Korla fragrant pear.

Key words: ethephon; Korla fragrant pear; fruit developmental process; fruit quality; principal component analysis

库尔勒香梨 (*Pyrus bretschneideri* Rehd) 属蔷薇科梨属植物, 原产新疆库尔勒和轮台一带, 为古老的地方品种^[1]。库尔勒香梨香味馥郁, 汁多味甜, 维生素 C 含量丰富, 品质优良, 作为巴州农民实现增收的优势鲜果, 市场潜力大, 是拉动当地经济发展的支柱产业^[2]。库尔勒香梨果实萼片有脱落与宿存两种类型, 在萼片脱落的过程中, 受许多与细胞壁代谢相关基因的诱导和受多种植物激素的调控, 最终成为脱萼果^[3]。相比较于脱萼果, 宿萼果口感不佳, 品质较差^[4], 自然状态下宿萼率高达 70% 左右, 高比例的宿萼果严重降低了库尔勒香梨的商品价值和经济效益, 现已成为制约库尔勒香梨产业发展的重要因素之一。因此, 寻找一种安全有效的植物生长调节剂调控库尔勒香梨果实生长发育并提高果实品质已成为亟待解决的问题。

研究表明, 在果树生产中合理使用植物生长调节剂对提高果实品质具有重要作用^[5]。乙烯利 (ethephon) 是一种人工合成的优质高效植物生长调

节剂, 易溶于水, 进入植物细胞后会释放出乙烯, 具有促进果实成熟的作用^[6], 目前被广泛应用于柑橘^[7]、苹果^[8]、番木瓜^[9]等果树。果实品质是梨生产中最重要经济指标, 也是决定市场竞争力的重要因素之一^[10]。但由于品质性状评价指标较多, 单纯依据某个或几个指标进行评价会导致评价结果不全面。主成分分析法可简化数据结构, 准确了解各性状的综合表现, 是目前果实品质综合评价的一种切实有效的方法^[11-12]。迄今, 研究者在乙烯利促进梨果实成熟及提高果实品质方面做了相关研究, 如张力等^[13]发现乙烯利对早酥梨有明显催熟效果, 随浓度的提高催熟效果越明显; 李三玉等^[14]研究发现乙烯利处理后可降低梨果实硬度和可滴定酸含量, 提高可溶性固形物含量和落果率, 并加快梨果实的成熟; 任莹莹等^[15]和陈燕等^[16]研究表明乙烯利能增加库尔勒香梨脱萼率、单果重、可溶性固形物含量、VC 含量、出汁率和干物质含量, 降低库尔勒香梨石细胞含量、硬度和果形指数。

研究发现,库尔勒香梨果实的生长发育进程与其商品品质密切相关,但是目前乙烯利对调控库尔勒香梨果实生长发育进程的研究较少,且不同浓度乙烯利处理下果实差异较大,在不同指标上也各有优劣,若直接对果实品质进行分析,难以准确、快速地对果实品质进行评定,因此,有必要对果实品质的各项指标进行综合评价,从而筛选出最优浓度。因此,本研究在大蕾期喷施不同浓度乙烯利,调查库尔勒香梨萼片脱落率、果实生长发育进程、落果情况和果实品质,并运用主成分分析法综合评价不同浓度乙烯利处理后的果实品质,探究乙烯利对库尔勒香梨果实生长发育进程和果实品质的影响,旨在为库尔勒香梨栽培过程中乙烯利的合理施用提供参考依据,同时为提高库尔勒香梨果实品质提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验地位于新疆巴音郭楞蒙古自治州库尔勒香梨研究中心试验基地(86°0′39.09″E,41°36′53.86″N,年平均气温 11.4℃,年平均日照数 2 986 h,年平均降水量 58.6 mm)。供试材料为库尔勒香梨,树龄 6 a,栽植株行距 2 m×4 m,树形为疏散分层型,生长势健壮一致。

1.2 方法

1.2.1 乙烯利喷施处理 本试验采用随机区组设计,单株小区,重复 6 次,共选取 24 株库尔勒香梨试验树。于 2021 年 4 月 9 日(大蕾期)对所选试验树进行乙烯利喷施,共设置 3 个浓度的乙烯利处理(100、200、300 mg·L⁻¹)和等量清水处理对照(CK)。喷施时间为晴朗无风的上午,以喷施部位全部湿润且有液珠滴下为宜。乙烯利(85%)购于上海源叶生物科技有限公司(产品编号 S18030,仅提供于科研实验)。

1.2.2 萼片脱落时间调查 本试验在 2021 年库尔勒香梨大蕾期对不同乙烯利处理试验树树冠东、西、南、北不同方向发育程度相似的主枝进行挂牌标记,共 28 个主枝,每个处理 30 个花序,自初花期起每天统计不同浓度处理的主枝脱萼率,至萼片停止脱落为止。脱萼率=标记主枝每日新增脱萼果数量/标记主枝总幼果数量×100%。

1.2.3 果实生长发育进程调查 至萼片停止脱落为止,对不同处理试验树树冠东、西、南、北不同方向发育程度相似的果实进行挂牌标记,每个处理的脱萼果和宿萼果各 20 个,共计 160 个果实,分别于花

后 10、30、50、70、90、110、130 d 对果实纵横径和单果重进行测量,并对落果率进行调查。其中,梨果实的纵径和横径使用电子数显游标卡尺测量;果实单果质量利用电子天平称量;果形指数=纵径/横径;落果率=(上一次平均果数-当次平均果数)/上一次平均果数×100%。

1.2.4 果实品质测定 果实成熟期(花后 130 d)进行样品采集,分别对不同处理试验树树冠外围东、南、西、北 4 个方向采集生长发育状况一致的脱萼果和宿萼果各 2 个,每个处理采集 24 个果,共计 192 个果实,用铝箔纸包裹切取好的果肉,迅速放入液氮罐冷冻保存带回实验室测定相关品质指标。其中,果实硬度在去皮后用 GY-3 硬度计测量;先选取果实称鲜重,然后经真空冷冻干燥后称干重,再计算鲜/干重比^[17];可溶性固形物含量使用手持糖度折光仪测定^[18];VC 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定^[19];可滴定酸含量采用氢氧化钠滴定法测定^[20];可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[21]。

1.2.5 果实品质综合评价 采用主成分分析法进行各处理果实品质综合评价。首先,用隶属函数法对数据进行转化,其中正相关指标(纵径、横径、单果重、果形指数、鲜干重比及可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖含量)依据公式(1),负相关指标(硬度、可滴定酸)依据公式(2)计算;之后,进行主成分分析,根据主分量累积贡献率确定主成分的个数,再根据因子得分,利用式(3)计算出主成分得分(F_i);然后,根据主成分得分,利用式(4)计算出不同处理的综合得分;最后,根据主成分得分和综合得分,对 8 个处理果实品质进行排序。

$$U_{in} = \frac{X_{in} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (1)$$

$$U'_{in} = 1 - \frac{X_{in} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (2)$$

$$F_i = b_i X \quad (i=1,2,3) \quad (3)$$

$$F = \sum_{i=1}^m V_i F_i \quad (i=1,2,3) \quad (4)$$

式中, U_{in} 和 U'_{in} 分别指第 n 个样品第 i 个指标的原始数据经转化后的隶属函数值; X_{in} 指第 n 个样品第 i 个指标的原始测定结果; X_{imax} 和 X_{imin} 分别指样品组中第 i 个指标的最大和最小值; b_i 为因子得分, X 为各主成分的特征值的算术平方根; V_i 为各主成分特征值的贡献率, F_i 为各主成分得分^[22]。

1.3 数据处理

使用 SPSS 25.0 软件对数据进行单因素方差分

析(ANOVA)和 Tukey HSD 事后检验($\alpha=0.05$);采用皮尔森(Pearson)积矩相关系数法进行相关性分析;运用主成分分析计算因子得分,Excel 软件计算主成分得分及综合得分;使用 Origin 2018 进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 乙烯利处理对库尔勒香梨萼片脱落的影响

2021 年自然状态下(对照,CK)库尔勒香梨萼片脱落时间为 9 d,不同浓度乙烯利处理后脱落时间会缩短 1~2 d;同时,随着乙烯利处理浓度的升高,萼片脱落时间和萼片脱落高峰会相应提前(图 1)。其中,与自然状态下相比,300 和 200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理促进效果明显,香梨萼片均于 4 月 19 日开始脱落,脱落高峰均为 4 月 22 日,日最高脱萼率分别为 21.67% 和 20.56%;100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理与自然状态下的萼片脱落开始时间均为 4 月 20 日,脱落高峰分别为 4 月 23 日和 4 月 25 日,日最高脱萼率分别为 13.50% 和 6.11%。库尔勒香梨日最高脱萼率在 100、200、300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理下分别比自然状态下增加 7.39%、14.45%、15.56%。

2.2 乙烯利处理对库尔勒香梨脱萼果和宿萼果生长发育进程的影响

2.2.1 果实大小

库尔勒香梨果实生长发育期约为 130 d,果实生长发育(果实纵、横径与单果重)在乙烯利处理下和自然状态下均呈现出“S”型曲线的

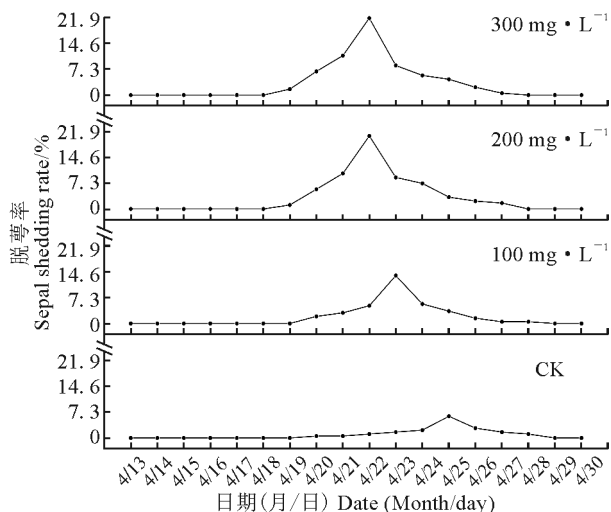


图 1 不同浓度乙烯利处理下库尔勒香梨萼片脱落率日变化

Fig. 1 The shedding rate of Korla fragrant pear sepals under different concentrations of ethephon treatment varies daily

变化趋势(图 2)。综合果实纵横径与单果重的测定结果发现,乙烯利处理明显加快了库尔勒香梨果实成熟的速度,其果实在花后 110 d 左右已经达到成熟标准,相比于自然状态下完熟期(花后 130 d 左右)可以提前 20 d 左右进行采收。

其中,脱萼果和宿萼果的纵横径和单果重增长均在 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理下最大,其次依次是 200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 CK。在相同浓度乙烯利处理下,宿萼果同一时期纵横径和单果重均高于脱萼果。不同浓度乙烯利处理和对照的脱萼果和宿萼果果实大小变化表现出一致的规律性,纵横径随果实生长发育时节的推移逐渐增大,至花后 110 d (果实接近成熟)时增长缓慢,从坐果至花后 130 d, 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理的脱萼果和宿萼果纵径相比对照分别增加 3.74、3.47 mm,横径相比对照分别增加 4.69、5.63 mm(图 2, A-D);单果重随果实生长发育时节的推移逐渐增大,表现出“慢-快-慢”的发育规律,具体为花后 70~110 d 迅速增大,之后增长减缓,至成熟期达到最高值,300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理的脱萼果和宿萼果单果重相比对照分别增加 15.24、15.46 g(图 2, G, H)。

同时,脱萼果和宿萼果的果形指数在不同浓度乙烯利处理与对照之间存在差异,由高到低为 CK、100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,在相同浓度乙烯利处理下又表现为宿萼果果形指数均高于同一时期脱萼果。不同浓度乙烯利处理和对照的脱萼果、宿萼果果形指数均随果实生长发育时节的推移而逐渐减小,即果形由长椭圆形向圆球形转变,至成熟期脱萼果表现为扁圆球形,宿萼果表现为长椭圆形,此时 200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理的脱萼果和宿萼果果形指数分别为 1.123 和 1.146,对照的脱萼果和宿萼果果形指数分别为 1.154 和 1.198(图 2, E, F)。

2.2.2 落果率

乙烯利处理的库尔勒香梨在第二次果实膨大期间落果较多,并分别在花后 50 d 和 110 d 左右出现两次落果高峰。自然状态的脱萼果在花后 10~30 d 果数下降较快,在花后 30~130 d 处于稳定水平;200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理的脱萼果在花后 30~110 d 果数下降较快,期间落果率均高于对照和其他浓度乙烯利处理,至成熟期表现为明显的下降趋势;100 和 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利处理脱萼果在花后 30~130 d 落果率均处于小幅变化的稳定水平(图 3, A)。

与此同时,自然状态下的宿萼果在花后 10~90 d 果数下降较快,之后落果有明显的下降;100 $\text{mg} \cdot$

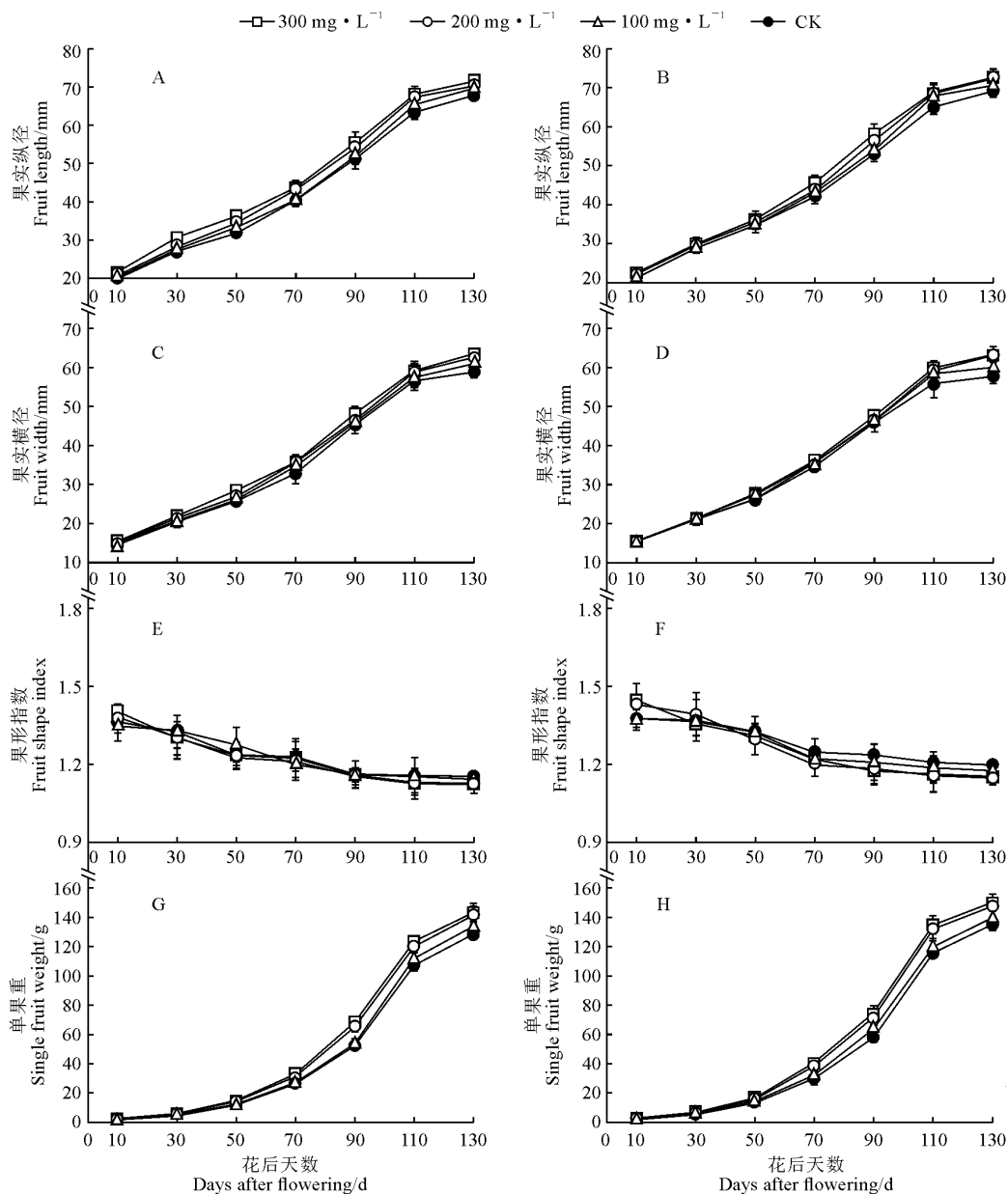


图2 不同浓度乙烯利处理下脱萼果(A,C,E,G)和宿萼果(B,D,F,H)生长发育期间纵径、横径、果形指数和单果重的变化

Fig. 2 Changes in fruit length, fruit width, fruit shape index and single fruit weight of decalyx fruit (A,C,E,G) and persistent calyx fruit (B,D,F,H) during growth and development under different concentrations of ethephon

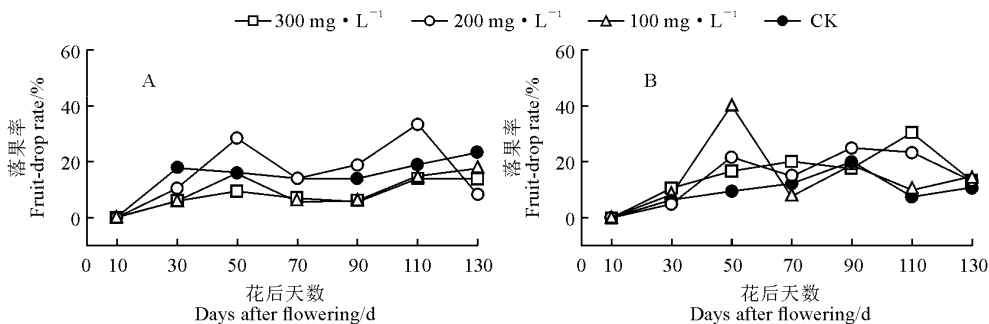


图3 不同浓度乙烯利处理下脱萼果(A)和宿萼果(B)生长发育期间落果率的变化

Fig. 3 Changes in fruit-drop rate of decalyx fruit (A) and persistent calyx fruit (B) during growth and development under different concentrations of ethephon

L⁻¹ 乙烯利处理的宿萼果在花后 30~50 d 落果速度较快且明显高于对照和其他浓度乙烯利处理,在花后 50~70 d 落果明显下降,之后处于小幅度变化;200 和 300 mg·L⁻¹ 乙烯利处理的宿萼果在花后 30~110 d 果数下降明显;各浓度处理与对照的宿萼果落果率在花后 110~130 d 无明显差异(图 3,B)。

2.3 乙烯利处理对库尔勒香梨脱萼果和宿萼果果实品质的影响

2.3.1 外在品质

表 1 显示,乙烯利处理显著促进了库尔勒香梨果实纵径、横径和单果重的生长,并均以 300 mg·L⁻¹ 处理效果最为明显,其脱萼果和宿萼果的纵径分别比相应对照显著增长 5.52% 和 5.02%,果实横径分别比相应对照显著增长 8.56% 和 10.9%,单果重分别比相应对照显著增长 11.90% 和 11.40%;乙烯利处理却显著降低了果形指数和果实硬度,其果形指数和果实硬度分别在 200 和 300 mg·L⁻¹ 乙烯利处理下降低效果最显

著,其脱萼果和宿萼果的果形指数分别比相应对照显著降低了 2.69% 和 4.34%,果实硬度比相应对照分别显著降低 10.10% 和 10.30%。

2.3.2 内在品质

从表 1 可知,乙烯利处理显著提高了果实鲜干重比以及可溶性固形物、维生素 C、可溶性糖含量,并均以 300 mg·L⁻¹ 处理效果最为明显,此时其脱萼果和宿萼果的鲜干重比相比对照分别显著增加 5.67% 和 8.39%,可溶性固形物含量分别显著增加 12.03% 和 13.99%,维生素 C 含量分别显著增加 21.48% 和 21.28%,可溶性糖含量均显著增加 3.55%;乙烯利处理却显著降低了果实可滴定酸含量,仍以 300 mg·L⁻¹ 处理效果最为明显,其脱萼果和宿萼果的可滴定酸含量相比对照均降低 14.74%。

2.4 乙烯利处理下库尔勒香梨果实品质的综合评价

2.4.1 库尔勒香梨果实品质相关性分析

库尔勒香梨果实 10 个品质指标性状的相关性分析结果(表

表 1 不同浓度乙烯利处理下库尔勒香梨果实品质指标

Table 1 The quality index of Korla fragrant pear fruit under different concentrations of ethephon treatment

乙烯利浓度 Ethephon concentration	果实类型 Fruit type	纵径 Length/mm	横径 Width/mm	果形指数 Fruit shape index	单果重 Single fruit weight/g	硬度 Firmness /(kg·cm ⁻²)
对照 CK	宿萼果 Persistent calyx	69.12±1.65ab	57.70±1.74b	1.198±0.010a	135.09±1.93cd	7.17±0.28a
	脱萼果 Decalyx	67.78±1.23b	58.76±1.45ab	1.154±0.010ab	128.49±2.93d	6.97±0.15ab
100 /(mg·L ⁻¹)	宿萼果 Persistent calyx	70.59±2.10ab	59.95±1.86ab	1.177±0.024ab	139.50±3.61bc	6.80±0.46ab
	脱萼果 Decalyx	69.58±1.78ab	60.90±1.48ab	1.143±0.009ab	133.83±4.39cd	6.70±0.30ab
200 /(mg·L ⁻¹)	宿萼果 Persistent calyx	72.31±2.53a	63.08±1.14a	1.146±0.025ab	147.74±2.15ab	6.57±0.39ab
	脱萼果 Decalyx	70.23±1.10ab	62.56±1.69a	1.123±0.034b	141.39±3.84bc	6.38±0.52b
300 /(mg·L ⁻¹)	宿萼果 Persistent calyx	72.59±2.12a	63.99±1.67a	1.154±0.019ab	150.55±3.29a	6.50±0.46ab
	脱萼果 Decalyx	71.52±1.41a	63.79±1.97a	1.128±0.017ab	143.72±3.47ab	6.33±0.35b
平均值 Mean		70.47	61.34	1.153	138.85	6.68
乙烯利浓度 Ethephon concentration	果实类型 Fruit type	鲜重/干重 Fresh weight /dry weight	可溶性固形物含量 Soluble solid content/%	维生素 C 含量 Vitamin C content /(mg·100g ⁻¹)	可滴定酸含量 Titratable acid content /(g·kg ⁻¹)	可溶性糖含量 Soluble sugar content/%
对照 CK	宿萼果 Persistent calyx	6.22±0.22c	11.43±0.59d	2.82±0.03d	0.97±0.04a	9.85±0.04b
	脱萼果 Decalyx	6.53±0.15abc	11.72±0.50cd	2.84±0.04cd	0.95±0.06ab	9.87±0.03b
100 /(mg·L ⁻¹)	宿萼果 Persistent calyx	6.42±0.18bc	12.10±0.40bcd	2.93±0.04bc	0.92±0.10ab	9.94±0.06b
	脱萼果 Decalyx	6.82±0.27a	12.43±0.38abc	2.96±0.03b	0.89±0.05ab	9.95±0.07b
200 /(mg·L ⁻¹)	宿萼果 Persistent calyx	6.67±0.17abc	12.93±0.29ab	3.38±0.05a	0.85±0.06ab	10.17±0.04a
	脱萼果 Decalyx	6.92±0.29a	13.00±0.72a	3.40±0.08a	0.84±0.09ab	10.19±0.06a
300 /(mg·L ⁻¹)	宿萼果 Persistent calyx	6.74±0.22ab	13.03±0.40a	3.42±0.07a	0.83±0.09ab	10.20±0.02a
	脱萼果 Decalyx	6.90±0.14a	13.13±0.31a	3.45±0.07a	0.81±0.09b	10.22±0.07a
平均值 Mean		6.65	12.39	3.15	0.88	10.06

注:表中同列不同小写字母代表处理间在 0.05 水平差异显著(P<0.05),下同

Note: Different lowercase letters within same column in the table represent significant differences among treatments at 0.05 level (P<0.05), the same as below

2)表明,果实纵径与维生素 C 含量、可溶性糖含量呈极显著正相关(0.598** 和 0.609**),与果实横径、可溶性固形物含量呈显著正相关(0.479* 和 0.503*),与可滴定酸含量呈显著负相关(-0.412*);果实横径与鲜干重比呈极显著正相关(0.657**),与硬度和可滴定酸含量分别呈极显著和显著负相关(-0.604** 和 -0.499*);果形指数与鲜干重比、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量均呈极显著负相关(-0.622**、-0.639**、-0.581** 和 -0.517**),与硬度呈显著正相关(0.430*);单果重与果实纵径、果实横径、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量之间均呈极显著正相关(0.774**、0.756**、0.615**、0.756** 和 0.782**),与硬度和可滴定酸含量均呈显著负相关(-0.457* 和 -0.471*);硬度与可滴定酸含量呈显著正相关(0.412*),与维生素 C 含量、可溶性糖含量和可溶性固形物含量均呈显著负相关(-0.576**、-0.583** 和 -0.456*);鲜干重比与可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量呈极显著正相关(0.741**、0.610** 和 0.669**);维生素 C 含量与可滴定酸含量呈极显著负相关(-0.614**);可滴定酸含量与可溶性糖含量呈极显著负相关(-0.595**)。由此可见,乙烯利处理下库尔勒香梨果实品质指标之间联系较为密切,且存在不同程度的相关性。因此,需要对乙烯利处理下的果实品质指标进行降维分析,以提高果实品质评价的客观性和准确性。

2.4.2 库尔勒香梨果实品质的主成分分析 由表 3 可知,前 3 个主成分的累积贡献率为 81.639%,可用这 3 个主成分代表以上 10 个品质指标,从而进行乙烯利处理下库尔勒香梨果实品质的分析和评价。其中,第 1 主成分的代表指标为果实横径、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量,特征值为 6.166,贡献率为 61.659%,是最重要的主成分,反映了库尔勒香梨营养品质和可食用性大小;第 2 主成分的代表指标为果实纵径、果形指数、单果重、鲜干重比,特征值为 1.323,贡献率为 13.225%,反映了库尔勒香梨果实大小和口感;第 3 主成分的代表指标为硬度、可滴定酸含量,特征值为 0.675,贡献率为 6.754%,反映了库尔勒香梨的成熟度和风味。

2.4.3 库尔勒香梨果实品质的综合分析 依据以上 3 个主成分分析的因子得分计算出各主成分得分 F_1 、 F_2 、 F_3 ,进而以每个主成分所对应的贡献率为权重,再依据 F_1 、 F_2 、 F_3 建立乙烯利处理下库尔勒香

梨综合品质得分的数学模型($F_{\text{综合}} = 0.617F_1 + 0.132F_2 + 0.068F_3$),利用该模型计算不同浓度乙烯利处理的库尔勒香梨综合品质得分,并根据各主成分得分及综合品质得分从高到低进行库尔勒香梨品质优良度排序。结果(表 4)表明,不同浓度乙烯利处理下库尔勒香梨果实品质综合得分由高到低(即果实品质由优到差)依次为:300 mg·L⁻¹ 脱萼果、300 mg·L⁻¹ 宿萼果、200 mg·L⁻¹ 宿萼果、200 mg·L⁻¹ 脱萼果、100 mg·L⁻¹ 脱萼果、100 mg·L⁻¹ 宿萼果、CK 脱萼果、CK 宿萼果。在综合得分中,300 mg·L⁻¹ 和 200 mg·L⁻¹ 处理的果实品质指标的综合得分均为正值,100 mg·L⁻¹ 处理和 CK 果实品质指标的综合得分均为负值,根据正负值将其分为较好和相对较差两大类。其中,300 mg·L⁻¹ 处理下的脱萼果综合评分最高,其宿萼果综合评分排序在第二位,依此果实品质的综合评价结果可知,300 mg·L⁻¹ 乙烯利处理下库尔勒香梨的果实品质最优,脱萼果又优于宿萼果。

3 讨 论

库尔勒香梨属于呼吸跃变型果实,在成熟过程中产生的内源乙烯参与调控果实的成熟与衰老,同时外源乙烯能够不同程度地刺激果实内源乙烯的释放,从而加速成熟进程,缩短果实成熟时间^[23-24]。根据实地调查,2021 年 4 月 7 日至 10 日为库尔勒香梨大蕾期,4 月 11 日进入初花期,4 月 15 日进入盛花期,4 月 19 日进入末花期;300 和 200 mg·L⁻¹ 乙烯利处理的库尔勒香梨萼片 4 月 19 日开始脱落,脱落高峰均为 4 月 22 日;100 mg·L⁻¹ 乙烯利处理和自然状态下的萼片脱落开始时间均为 4 月 20 日,脱落高峰分别为 4 月 23 日和 4 月 25 日。本研究结果表明,不同浓度外源乙烯利处理后库尔勒香梨萼片脱落时间会缩短 1~2 d,且萼片脱落时间和萼片脱落高峰随着处理浓度梯度的升高而提前,其中 300 mg·L⁻¹ 乙烯利处理对提高库尔勒香梨脱萼率效果最佳。这可能由于在库尔勒香梨萼片脱落过程中离区关键基因作用于细胞壁降解、叶绿素代谢、类胡萝卜素生物合成、玉米素生物合成和植物激素信号转导^[3,25],加之乙烯利能诱导果实内源乙烯的产生,通过多种途径共同作用,从而影响了萼片的脱落。

库尔勒香梨理应在适宜食用的时间进行采收,需要考虑到果实采后的生理变化、运输、货架期等实际因素,从而确定合理的采收时间。综合果实纵横

表 2 乙烯利处理下库尔勒香梨果实品质相关性分析

Table 2 Correlation analysis of fruit quality of Korla fragrant pear under ethephon treatment

品质指标 Quality index	果实纵径 Fruit length	果实横径 Fruit width	果形指数 Fruit shape index	单果重 Single fruit weight	硬度 Firmness	鲜重/比重 Fresh weight/dry weight	可溶性固形物含量 Soluble solid content	维生素 C 含量 Vitamin C content	可滴定酸含量 Titratable acid content
果实横径 Fruit width	0.479*	1							
果形指数 Fruit shape index	-0.146	-0.424*	1						
单果重 Single fruit weight	0.774**	0.756**	-0.135	1					
硬度 Firmness	-0.390	-0.604**	0.430*	-0.457*	1				
鲜干重比 Fresh weight/dry weight	0.228	0.657**	-0.622**	0.332	-0.399	1			
可溶性固形物含量 Soluble solid content	0.503*	0.695**	-0.639**	0.615**	-0.456*	0.741**	1		
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.598**	0.754**	-0.581**	0.756**	-0.576**	0.610**	0.843**	1	
可滴定酸含量 Titratable acid content	-0.412*	-0.499*	0.344	-0.471*	0.412*	-0.400	-0.418*	-0.614**	1
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.609**	0.802**	-0.517**	0.782**	-0.583**	0.669**	0.807**	0.967**	-0.595**

注: * 表示相关性在 0.05 水平具有显著性,而 ** 表示相关性在 0.01 水平具有显著性

Note: * indicates significant correlation at 0.05 level, while ** indicate significant correlation at 0.01 level

表 3 主成分分析结果

Table 3 Principal component analysis results of the indices

主成分 Component	果实纵径 Fruit length	果实横径 Fruit width	果形指数 Fruit shape index	单果重 Single fruit weight	硬度 Firmness	鲜重/比重 Fresh weight/dry weight	可溶性固形物含量 Soluble solid content	维生素 C 含量 Vitamin C content	可滴定酸含量 Titratable acid content	可溶性糖含量 Soluble sugar content	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
PC1	0.265	0.349	-0.245	0.32	-0.27	0.293	0.351	0.382	-0.265	0.383	6.166	61.659	61.659
PC2	0.496	0.034	0.566	0.463	0.021	-0.425	-0.174	0.014	-0.068	0.04	1.323	13.225	74.885
PC3	0.147	0.009	0.051	0.165	0.644	0.215	0.370	0.060	0.584	0.080	0.675	6.754	81.639

表 4 各主成分得分及优良度排名

Table 4 Scores of each main component and ranking

乙烯利浓度 Ethephon concentration	果实种类 Fruit type	F ₁		F ₂		F ₃		综合评价 Comprehensive score	
		数值 Value	排序 Ranking	数值 Value	排序 Ranking	数值 Value	排序 Ranking	数值 Value	排序 Ranking
CK	宿萼果 Persistent calyx	-9.193	8	1.123	2	0.264	2	-5.502	8
	脱萼果 Decalyx	-7.240	7	-1.244	8	-0.161	6	-4.640	7
100 mg · L ⁻¹	宿萼果 Persistent calyx	-3.856	6	0.916	3	0.023	4	-2.255	6
	脱萼果 Decalyx	-1.811	5	-1.220	7	-0.118	5	-1.286	5
200 mg · L ⁻¹	宿萼果 Persistent calyx	4.691	4	0.802	4	0.269	1	3.017	3
	脱萼果 Decalyx	4.935	3	-1.141	6	-0.258	8	2.874	4
300 mg · L ⁻¹	宿萼果 Persistent calyx	5.863	2	1.145	1	0.236	3	3.783	2
	脱萼果 Decalyx	6.611	1	-0.382	5	-0.256	7	4.009	1

径与单果重表现可知,库尔勒香梨果实生长发育期约为 130 d,乙烯利处理和自然状态下的果实生长发育均呈现出“S”型曲线变化趋势。乙烯利处理明显加快了果实成熟的速度,其果实在花后 110 d 左右已经达到成熟标准,比自然状态下库尔勒香梨提前 20 d。结果表明,可以通过喷施乙烯利错开库尔勒香梨采收期,减轻集中上市的压力,还可以延长果实市场供应时间,从而保障产业链中各环节应得的经济效益^[26]。其中,300 mg · L⁻¹ 乙烯利喷施处理的库尔勒香梨果实最大,分析原因可能是细胞的快速分裂引起果实在幼果期的快速膨大,在果实生长发育后期由于果肉细胞的快速膨大引起果实体积的增长和重量的增加^[27]。200 mg · L⁻¹ 乙烯利喷施处理对库尔勒香梨果形指数和落果率的影响最明显,果形指数的变化呈现为随果实生长发育时节的推移逐渐减小,即果形由长椭圆形向圆球形转变,脱萼果表现为扁圆球形,宿萼果表现为长椭圆形。此外,本研究发现喷施乙烯利对果实脱落有一定的促进作用,乙烯利处理的库尔勒香梨在第二次果实膨大期间落果较多,在花后 50 d 和 110 d 左右出现落果高峰,这与柳颢等^[28]在澳洲坚果上的研究结果一致,在乙烯利处理下较高的落果率可能有助于同化物和养分更好地分配给剩余果实,从而提升果实品质,同时降低人工疏果成本。

外源乙稀利处理明显加速了库尔勒香梨果实的成熟发育进程,势必很大程度上会影响到果实的品质。果实营养物质积累是一个复杂的生理过程,且各生理生化指标受到外部影响程度也大不相同^[29]。任莹莹等^[15]通过在库尔勒香梨初花期、盛花期和末花期喷施不同浓度乙烯利,发现 300 mg · L⁻¹ 乙稀

利处理在初花期脱萼效果较好;陈燕等^[16]报道,在大蕾期对库尔勒香梨进行 200 mg · L⁻¹ 乙稀利喷施可显著增加果实可溶性固形物和 VC 含量,降低硬度和果形指数。在对于乙稀利影响库尔勒香梨果实品质的现有研究中,由于存在不同地区的影响,人们并未得出一个施用乙稀利的最适浓度与时期。因此,综合前人研究结果,本试验选择在大蕾期喷施乙稀利,观测库尔勒香梨脱萼果与宿萼果的生长发育进程和果实品质,从而丰富乙稀利在库尔勒香梨上的研究信息。本研究结果显示,不同浓度乙稀利处理均对库尔勒香梨果实硬度、鲜干重比、可溶性固形物、维生素 C、可滴定酸和可溶性糖含量影响显著,其中 300 mg · L⁻¹ 乙稀利处理对库尔勒香梨果实品质提高效果最佳,可能是由于乙稀利促进内源乙稀的释放加速了库尔勒香梨果实成熟,从而促进有机酸向糖的转化,降低了可滴定酸含量,提高了维生素 C 和可溶性糖含量^[30]。结果与前人研究得出的最佳浓度不同,这可能与不同地区以及所购买的乙稀利产品不同有关。

果实品质是果树品种全面科学评价的基础和前提^[31],但评价果实品质的指标繁多,同一种事物富含不同的属性,并且每一项指标在综合评价果品中的重要性也迥然有别。因此,本试验通过对不同浓度乙稀利处理的 10 个果实品质指标进行主成分分析,共提取到 3 个主成分,累计贡献率为 81.639%,主要区分为营养成分因子、果实质量因子、口感因子、成熟度因子和风味因子等,通过计算主成分的综合得分在客观上反映了不同浓度乙稀利处理下库尔勒香梨果实品质的综合评价情况,其得分高低直接反映了不同浓度乙稀利处理的优劣程度。在本试验

的综合得分中,300 mg · L⁻¹ 乙烯利处理的脱萼果和宿萼果排序靠前,且与实际观测生长发育进程的结果一致。

综上所述,不同浓度乙烯利处理均可促进库尔勒香梨萼片的脱落,加快库尔勒香梨果实生长发育进程,并且提高库尔勒香梨果实品质。其中,以 300 mg · L⁻¹ 乙烯利处理效果最优,有利于制定适宜的栽培管理措施,从而应用于库尔勒香梨高效优质生

产。但是,本试验在乙烯利浓度梯度和测定果实品质指标设置方面还不够完善,若是增加乙烯利处理的浓度梯度和农艺性状,预计得到的库尔勒香梨品质综合评价结果会更合理、更科学,对筛选最优浓度和指导栽培技术也更有意义。在今后的研究中可着重在更细致的浓度梯度条件下测定更丰富的果实品质指标,进而展开系统性的研究,为进一步完善栽培技术措施,提高库尔勒香梨品质提供理论依据。

致谢:本研究在新疆农业大学园艺学院温玥副教授和田嘉副教授的悉心指导下完成,谨致谢意!感谢库尔勒香梨研究中心张峰研究员以及新疆农业大学硕士研究生郝志超和王乾对本试验户外采样的帮助。

参考文献:

- [1] 马建江,张 萍,薛根生. 库尔勒香梨生产现状与发展对策[J]. 北方园艺, 2015,(16): 170-173.
MA J J, ZHANG P, XUE G S. Productive status and developing countermeasure of Korla fragrant pears[J]. *Northern Horticulture*, 2015,(16): 170-173.
- [2] 张 峰,李世强,何子顺. 库尔勒香梨产业发展现状与存在问题[J]. 山西果树, 2014,(5): 40-42.
ZHANG F, LI S Q, HE Z S. Development status and existing problems of Korla fragrant pear industry[J]. *Shanxi Fruits*, 2014,(5): 40-42.
- [3] PEI M S, NIU J X, LI C J, *et al.* Identification and expression analysis of genes related to calyx persistence in Korla fragrant pear[J]. *BMC Genomics*, 2016,**17**(1): 132.
- [4] 玉山·库尔班,齐曼·尤努斯,李 疆,等. 库尔勒香梨脱萼、宿萼正常果和粗皮果的品质比较[J]. 新疆农业科学, 2012,**49**(6): 1 028-1 034.
YUSAN KURBAN, QIMAN YUNUS, LI J, *et al.* Comparison of fruit quality of normal and coarse pear in persistent calyx and dropping calyx of Korla fragrant pear[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2012,**49**(6): 1 028-1 034.
- [5] 穆长安,徐 明. 我国果树生产现状与提高果品质量的关键措施[J]. 农业科技通讯, 2016,(5): 215-217.
MU C A, XU M. Present situation of fruit tree production in China and key measures to improve fruit quality[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2016,(5): 215-217.
- [6] 徐爱东. 乙烯利催熟对番茄果实营养品质影响的研究进展[J]. 北方园艺, 2011,(10): 181-184.
XU A D. Review on affection of tomato fruit nutritional quality from ethylene[J]. *Northern Horticulture*, 2011,(10): 181-184.
- [7] 蒋天梅,殷学仁,王 平,等. 乙烯调控非跃变型果实成熟衰老研究进展[J]. 园艺学报, 2011,**38**(2): 371-378.
JIANG T M, YIN X R, WANG P, *et al.* Research advance in regulation of ethylene during ripening and senescence of non-climacteric fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011,**38**(2): 371-378.
- [8] 王永章,张大鹏. 乙烯对成熟期红星苹果果实碳水化合物代谢的调控[J]. 园艺学报, 2000,**27**(6): 391-395.
WANG Y Z, ZHANG D P. Regulating effects of ethylene on carbohydrate metabolism in 'Starkrimson' apple fruit during the ripening period[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2000,**27**(6): 391-395.
- [9] 邵远志,高毫杰,贾志伟,等. 1-MCP和乙烯利处理对番木瓜果实软化生理的影响[J]. 中国食品学报, 2013,**13**(2): 143-148.
SHAO Y Z, GAO H J, JIA Z W, *et al.* The effects of 1-MCP and ethephon on softening physiology of papaya fruit[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013,**13**(2): 143-148.
- [10] 田 瑞,胡红菊,杨晓平,等. 梨果实品质评价因子的选择[J]. 长江大学学报(自然科学版)农学卷, 2009,**6**(3): 8-11+110.
TIAN R, HU H J, YANG X P, *et al.* Selection of factors for evaluating pear fruit quality[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition) Agricultural Science Volume*, 2009,**6**(3): 8-11+110.
- [11] 沈兵琪,周 凡,邓 浪,等. 云南不同地区野生梨果实品质综合评价[J]. 经济林研究, 2018,**36**(4): 86-92.
SHEN B Q, ZHOU F, DENG L, *et al.* Comprehensive evaluation of wild pear fruit quality in different regions of Yunnan[J]. *Non-Wood Forest Research*, 2018,**36**(4): 86-92.
- [12] 牟红梅,于 强,李庆余,等. 用主成分分析法选择'莱阳旺梨'果实品质的评价因子[J]. 中国果树, 2018,(1): 23-26.
MU H M, YU Q, LI Q Y, *et al.* Evaluation factors of 'Laiyang Chili' quality determined by the principal component analysis[J]. *China Fruits*, 2018,(1): 23-26.
- [13] 张 力,林庆扬,李子臣,等. 乙烯利对早酥梨果实的催熟效果[J]. 辽宁果树, 1986,(4): 15-17.
ZHANG L, LIN Q Y, LI Z C, *et al.* Effect of ethephon on ripening of Zaosu pear fruit[J]. *Northern Fruits*, 1986,(4): 15-17.
- [14] 李三玉,李曙轩. 乙烯利对梨果实的催熟作用[J]. 中国果树, 1980,(2): 23-25.
LI S Y, LI S X. Effect of ethephon on ripening of pear fruit

- [J]. *China Fruits*, 1980,(2): 23-25.
- [15] 任莹莹,李 疆,覃伟铭,等. 库尔勒香梨萼片脱落与宿存特性及其调控的初步研究[J]. 新疆农业大学学报, 2007, **30**(1): 25-29.
REN Y Y, LI J, QIN W M, *et al.* Preliminary studies on characteristic and control of calyx leaving and persistent from fruit of Korla fragrant pear[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2007, **30**(1): 25-29.
- [16] 陈 燕,张 倩,董玉忠,等. 乙烯利对‘库尔勒香梨’和‘新梨7号’脱萼率及果实品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2020, **54**(6): 949-955.
CHEN Y, ZHANG Q, DONG Y Z, *et al.* Effects of ethephon on the rate of calyx-abscission and fruit quality of ‘Korla Fragrant Pear’ and ‘Xinli No. 7’[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2020, **54**(6): 949-955.
- [17] 王 冕,丁羽萱,王 尧,等. 乙烯利对大豆芽菜生长代谢和酚类物质合成的影响[J]. 南京农业大学学报, 2021, **44**(2): 359-365.
WANG M, DING Y X, WANG Y, *et al.* Effect of ethephon on growth and phenolic compounds synthesis of soybean sprouts[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2021, **44**(2): 359-365.
- [18] 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.
- [19] 徐丙容. 直接碘量法和高锰酸钾褪色法测定维生素C含量的探究实验[J]. 生物学教学, 2017, **42**(3): 63-64.
XU B R. Exploration experiment on determination of vitamin C content by direct iodometry and potassium permanganate fading method[J]. *Biology Teaching*, 2017, **42**(3): 63-64.
- [20] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定:GB/T 12456—2008[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China, Standardization Administration of the People’s Republic of China. Determination of total acid in foods: GB/T 12456—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [21] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 食品中蔗糖的测定:GB/T 5009.8—2008[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
Ministry of Health of the People’s Republic of China, Standardization Administration of the People’s Republic of China. Determination of saccharose in foods: GB/T 5009.8—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [22] 王彦花,张 云,王 容,等. 基于主成分分析的茶叶品质综合评价研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, **39**(6): 45-51.
WANG Y H, ZHANG Y, WANG R, *et al.* Research on comprehensive evaluation of *Camellia* oil quality based on principal component analysis[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2019, **39**(6): 45-51.
- [23] 黎春红,张雷刚,罗淑芬,等. 外源乙烯对采后杏鲍菇内源乙烯释放和衰老进程的影响[J]. 食品科学, 2018, **39**(23): 182-191.
LI C H, ZHANG L G, LUO S F, *et al.* Effect of exogenous ethylene treatment on endogenous ethylene production and senescence of postharvest *Pleurotus eryngii*[J]. *Food Science*, 2018, **39**(23): 182-191.
- [24] 胡花丽. 外源乙烯对CA贮藏桃果实风味及其相关生理机制的影响[D]. 陕西杨陵:西北农林科技大学, 2007.
- [25] MA L, ZHOU L, QUAN S, *et al.* Integrated analysis of mRNA-seq and miRNA-seq in calyx abscission zone of Korla fragrant pear involved in calyx persistence[J]. *BMC Plant Biology*, 2019, **19**(1): 192. [PubMed]
- [26] 韩冬梅,郭栋梁,潘学文,等. 不同品种龙眼果实发育进程对其生理落果和熟性的影响[J]. 广东农业科学, 2011, **38**(7): 59-62.
HAN D M, GUO D L, PAN X W, *et al.* Influences of fruit development progress on the physiological abscission and maturity of different varieties of longan[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, **38**(7): 59-62.
- [27] 陈大鹏,杨江山,颀敏华,等. 早酥梨果实品质、呼吸速率及乙烯释放的规律研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, **53**(2): 58-63.
CHEN D P, YANG J S, XIE M H, *et al.* Changes of respiration rate, ethylene release and quality parameters of ‘Zaosu’ pears during fruit development[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2018, **53**(2): 58-63.
- [28] 柳 颀,陈丽兰,倪书邦,等. 喷施乙烯利对‘HAES900’澳洲坚果果实脱落和品质的影响[J]. 热带作物学报, 2017, **38**(2): 194-198.
LIU J, CHEN L L, NI S B, *et al.* The effect of ethephon spraying on the fruit abscission and quality of *Macadamia* cultivar ‘HAES900’ [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, **38**(2): 194-198.
- [29] 李梦雪,夏富娟,杨光映,等. 果实糖代谢中激素调控研究进展[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, **41**(4): 819-831.
LI M X, XIA F X, YANG G Y, *et al.* Advances in research on the progress of hormone regulation of sugar metabolism in fruits[J]. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 2019, **41**(4): 819-831.
- [30] 罗 霄,郑国琦,王 俊. 果实糖代谢及其影响因素的研究进展[J]. 农业科学研究, 2008, **29**(2): 69-74.
LUO X, ZHENG G Q, WANG J. Advances in research on sugar metabolism and its influencing factor in fruits[J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2008, **29**(2): 69-74.
- [31] 牟红梅,于 强,李庆余,等. 基于主成分分析的烟台地区西洋梨果实品质综合评价[J]. 果树学报, 2019, **36**(8): 1 084-1 092.
MU H M, YU Q, LI Q Y, *et al.* Synthetic evaluation of fruit quality of common pears (*Pyrus communis* L.) based on principal component analysis in Yantai areas[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, **36**(8): 1 084-1 092.