



马新院, 薛玉冉, 叶文超, 赵言谕, 图拉妮萨·麦麦提, 夏振雨, 章世奎, 王绍鹏, 牛莹莹. 不同授粉品种对库尔勒香梨果实品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2026, 31(04):122-136.

MA Xinyuan, XUE Yuran, YE Wenchao, ZHAO Yanyu, MAIMAITI·Turanisa, XIA Zhenyu, ZHANG Shikui, WANG Shaopeng, NIU Yingying. Effects of different pollination varieties on fruit quality of Korla fragrant pear[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(04): 122-136.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.04.10

不同授粉品种对库尔勒香梨果实品质的影响

马新院¹ 薛玉冉¹ 叶文超¹ 赵言谕¹ 图拉妮萨·麦麦提¹ 夏振雨¹
章世奎² 王绍鹏² 牛莹莹^{1*}

(1. 新疆农业大学 园艺学院/特色果树研究中心, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆维吾尔自治区农业科学院果蔬研究所(国家果树种质资源轮台果树资源圃), 新疆 轮台 841600)

摘 要 为系统分析‘库尔勒香梨’杂交授粉过程中的生物学特征,重点探讨不同授粉品种对‘库尔勒香梨’果实品质的具体影响,筛选适宜的授粉品种,以10年生‘库尔勒香梨’为试材,比较了5个授粉品种(以自交授粉和自然授粉为对照)花粉生物学特性及果实品质的影响,并基于品质指标进行了相关性分析与综合评价。结果表明:花粉特性方面,‘砭山酥梨’单花花药数量最多,达到28个。‘绿梨’花粉萌发率在培养6 h时达91.35%,坐果率28.40%,显著高于其他组合($P<0.05$)。外在品质方面,自然授粉果实纵横径及单果重显著增加($P<0.05$),‘绿梨’授粉果实单果重及横径次之;‘鸭梨’授粉果实硬度显著增加,达到 6.92 kg/cm^2 ($P<0.05$);‘绿梨’授粉后果实硬度显著降低,为 5.3 kg/cm^2 ($P<0.05$)。内在品质方面,‘库车阿木特’授粉果实可溶性固形物及总糖含量显著增加,分别为14.82%及7.84%($P<0.05$);‘绿梨’授粉果实可滴定酸含量显著降低,为0.24%($P<0.05$);‘阿克苏句句梨’授粉果实维生素C含量显著增加,达到 $565.15\text{ mg}/100\text{ g}$ ($P<0.05$);‘砭山酥梨’授粉可显著提高果实着色度($P<0.05$)。相关性分析显示,果皮 L^* 与果皮 b^* 、果皮 c^* 呈极显著正相关,与果皮 a^* 呈极显著负相关;果皮 a^* 与果肉 a^* 、果肉 b^* 及果肉 c^* 呈显著正相关。果实横径与可溶性糖、果实硬度呈显著负相关,可滴定酸含量与维生素C含量呈显著负相关。综合评价表明,‘绿梨’授粉处理综合得分最高,适宜作为‘库尔勒香梨’的授粉树。研究结果为‘库尔勒香梨’产量与品质的提升提供了理论依据。

关键词 ‘库尔勒香梨’;授粉;果实品质;主成分分析;综合评价

中图分类号 S661.2

文章编号 1007-4333(2026)04-0122-15

文献标志码 A

Effects of different pollination varieties on fruit quality of Korla fragrant pear

MA Xinyuan¹, XUE Yuran¹, YE Wenchao¹, ZHAO Yanyu¹, MAIMAITI·Turanisa¹,
XIA Zhenyu¹, ZHANG Shikui², WANG Shaopeng², NIU Yingying^{1*}

(1. Horticultural College of Xinjiang Agricultural University/Characteristic Fruit Tree Research Center, Urumqi 830052, China;

2. Sinkiang Academy of Agricultural Sciences Fruits and Vegetables Research Institute (National Fruit Germplasm Resources Luntai Fruit Resources Nursery), Luntai 841600, China)

Abstract In order to systematically analyze the biological characteristics of ‘Korla fragrant pear’ in the process of cross pollination, with a focus on the specific effects of different pollination varieties on the fruit quality of ‘Korla fragrant pear’, and screening suitable pollination varieties, 10-year-old ‘Korla fragrant pear’ was used as test

收稿日期: 2025-09-19;接受日期:2026-01-12

基金项目: 自治区高校基本科研业务费项目(XJEDU2022P045)

第一作者: 马新院(ORCID:0009-0008-5260-5489),硕士研究生,E-mail:18658054011@163.com

通讯作者: 牛莹莹(ORCID:0000-0001-6475-3966),讲师,主要从事果树种质资源、果树栽培与生理研究,E-mail:niuyy@xjau.edu.cn

material. The effects of pollen biological characteristics and fruit quality of five pollination varieties (self-pollination and natural pollination as control) were compared, and correlation analysis and comprehensive evaluation were carried out based on quality indicators. The results showed that in terms of pollen characteristics, the number of single flower anthers of 'Dangshansuli' was the highest, reaching 28. The pollen germination rate of 'Lyu' reached 91.35% at 6 h, and the fruit setting rate was 28.40%, which was significantly higher than that of other combinations ($P < 0.05$). In terms of external quality, the vertical diameter and transverse diameters and fruit weight of naturally pollinated fruits increased significantly ($P < 0.05$), followed by the fruit weight and transverse diameter of 'Lyu' pollinated fruits. The hardness of 'Yali' pollinated fruit increased significantly to 6.92 kg/cm² ($P < 0.05$), and the hardness of 'Lyu' pollinated fruit decreased significantly to 5.3 kg/cm² ($P < 0.05$). In terms of internal quality, the contents of soluble solids and total polysaccharide in 'Kucheamute' pollinated fruit significantly increased, reaching 14.82% and 7.84% ($P < 0.05$), respectively. The titratable acid content of 'Lvli' pollinated fruit decreased significantly, which was 0.24% ($P < 0.05$). The vitamin C content of 'Aksujuli' pollinated fruit increased significantly, reaching 565.15 mg/100 g ($P < 0.05$). In addition, 'Dangshansuli' pollination can significantly improve fruit coloration ($P < 0.05$). Correlation analysis showed that peel L^* was significantly positively correlated with peel b^* and peel c^* , and significantly negatively correlated with peel a^* . Peel a^* was significantly positively correlated with flesh a^* , flesh b^* and flesh c^* . Fruit transverse diameter was significantly negatively correlated with soluble sugar content and fruit hardness. There was a significant negative correlation between titratable acid content and vitamin C content. The comprehensive evaluation showed that the 'Lyu' pollination treatment has the highest comprehensive score and is suitable as the pollination tree of Korla fragrant pear. This study provides a theoretical basis for the improvement of yield and quality of 'Korla fragrant pear'.

Keywords 'Korla fragrant pear'; pollination; fruit quality; principal component analysis; comprehensive evaluation

梨(*Pyrus* spp.)属蔷薇科梨亚科梨属植物,在我国已有超过3 000年的种植历史,我国是世界梨属植物的主要起源地之一^[1-2]。'库尔勒香梨'(*Pyrus sinkiangensis* Yü)是新疆原产的优质特色水果,因皮薄肉脆、汁多味甜、口感酥香,且易于储藏和富含营养而闻名中外^[3]。库尔勒市为'库尔勒香梨'主产区,其栽种面积占新疆梨总面积的40%,是当地农业增效和农民增收的主要途径^[1]。随着'库尔勒香梨'种植规模日益扩大,果园管理中存在管理方式粗放、授粉品种单一等问题,影响了果实正常发育及品质。近年来,尽管陆续推广种植'玉露香'、'新梨7号'等品种,但新疆梨产业在品种结构上仍不尽合理,亟需培育品质优良且具有市场竞争力的新品种^[4]。'库尔勒香梨'长期采用'砀山酥梨'、'鸭梨'作为授粉品种,其缺陷逐步显现,亟待筛选适宜的授粉品种以实现品质改良,满足市场需求。'库尔勒香梨'为高度自交不亲和果树^[5],生产中必须配置授粉树或人工授粉以确保高产。曼苏尔·那斯尔等^[6]研究表明,采用'绿梨'授粉,能够显著提升'库尔勒香梨'单果质量,其糖酸比、可溶性固形物和维生素C含量均达到适中水平,适合作为'库尔勒香梨'的授

粉品种。对'翠冠'、'早金酥'的研究结果显示,不同品种授粉可有效提高果实单果重及可溶性糖含量^[7]。此外,'初夏绿'梨采用不同授粉品种后,果实单果重和石细胞含量明显降低,糖酸比与可溶性固形物含量也在一定程度上有所改变^[8]。徐丽珊等^[9]对'玉露香'的研究表明,采用'雪青'授粉显著提高果实纵径、单果重、果皮着色及花色苷含量,同时降低果实木质素及石细胞含量。李皓等^[10]研究表明,使用'爱甘水'对'新梨7号'授粉后可显著影响果实的单果质量、可溶性糖、可滴定酸、黄酮、总酚、可溶性固形物及石细胞含量等品质指标。除此之外,不同授粉品种对果实品质的影响在柚子^[11-13]、板栗^[14-15]、核桃^[16]等物种上广泛研究。目前,'库尔勒香梨'主要授粉品种仍为'鸭梨'、'砀山酥梨'等,在生产上常常出现坐果率不稳定、果形不规整及品质下降等问题。本试验拟通过系统分析'库尔勒香梨'及授粉品种的花药数、花粉量等生物学特性,探讨花粉生活力及不同授粉组合对坐果率的影响,进一步研究不同授粉品种对其果实品质的调控效应,以期优化'库尔勒香梨'授粉树选择、提升果实品质及完善栽培管理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地及材料概况

试验开展年度为2024年3月—10月,试验地位于新疆维吾尔自治区农业科学院果蔬研究所(国家果树种质资源轮台果树资源圃)。该地地势相对平缓,光热资源充沛,平均气温为10.6℃,平均太阳总辐射量达577.6 kJ/cm²,日照时长为2 783 h,年平均降水量为52 mm,年蒸发量达2 072 mm,无霜期在188 d左右,属于暖温带大陆性干旱气候^[6]。

以10年生‘库尔勒香梨’为试材(砧木为‘杜梨’),挑选长势一致、无病虫害的样树进行挂牌标记。分别选择‘鸭梨’‘砀山酥梨’‘绿梨’‘阿克苏句梨’‘库车阿木特’为授粉品种。树形为开心形,水肥管理按当地常规方式进行。在‘库尔勒香梨’大蕾期进行授粉,以自然授粉与自交授粉为对照,各授粉组合授粉1 000枚花朵,于落花后3周统计坐果率。授粉组合如表1所示。

表1 授粉组合
Table 1 Pollination combination

授粉组合 Pollination combination	授粉组合简写 Pollination combination abbreviation
库尔勒香梨×鸭梨 Korla fragrant pear×Yali	KY
库尔勒香梨×绿梨 Korla fragrant pear×Lyu	KL
库尔勒香梨×库车阿木特 Korla fragrant pear×Kucheamut	KK
库尔勒香梨×阿克苏句梨 Korla fragrant pear×Aksujujuli	KA
库尔勒香梨×砀山酥梨 Korla fragrant pear×Dangshansuli	KD
自交授粉 Self-pollination	ZJ
自然授粉 Natural pollination	ZR

1.2 花药数量统计

于大蕾期,随机采集各品种铃铛状大花蕾30朵,揉开花蕾,记录不同品种单朵花蕾的花药数量,并计算每个品种单花花药量平均值^[17]。

1.3 花粉量及花粉生活力调查

1.3.1 花粉量统计

每朵花挑选10枚完整的花药,将其放置于1.5 mL离心管,于室温下阴干处理后观察统计花粉粒数,每处理重复15次^[18]。

每枚花药花粉量(粒/花药)=(每滴溶液中总花粉粒数×1 000)/10 (1)

1.3.2 花粉生活力测定

配制培养基(硼酸0.01%、琼脂1%、蔗糖15%),采用棉签蘸取各品种花粉,均匀弹播于固体培养基表面,于25℃光照培养箱中分别培养2、4和6 h后在光学显微镜下观察。每个处理观察3个视野,以花粉管长度大于花粉粒直径视为萌发,统计萌发数,取平均值计算萌发率^[18]。

萌发率=(已萌发花粉数量/花粉总数量)×100% (2)

1.4 人工授粉

于大蕾期,挑选树体南部主枝上长势和粗细相似的枝条,进行人工去雄后用5种不同的花粉进行人工授粉,授粉后立即包上报纸,并做好标记。设置3次生物学重复,共授粉1 000朵花。于授粉后10 d,将报纸去除,并于落花后3周统计坐果率^[19]。

坐果率=果实数/花朵数×100% (3)

1.5 果实品质测定

分别在授粉后30、60、90、120和150 d,于每株样树的南部主枝中部选取10个长势一致、无病害的杂交果实用于果实外观及内在品质的测定,每处理3次重复。

采用游标卡尺测量果实最大处的横径、纵径,采用电子天平(AL204-IC)称取单果重,采用GY-1型硬度计测定果实硬度,采用CR-400色差仪测定果实赤道线对称的2点果皮L*、a*、b*、c*值,使用数显式糖度计(Atogo, PAL-1)测定可溶性固形物含量,参照GB/T 12456—2021^[20]测定可滴定酸,参照NY/T 2332—2013^[21]蒽酮比色法测定可溶性糖,采用2,6-二氯靛酚滴定法^[22]测定Vc含量。

1.6 数据处理

采用Microsoft Excel 2019进行数据整理,采用SPSS 27.0对数据进行单因素方差分析,用Duncan’s进行多重比较(P<0.05),采用GraphPad Prism 9进行柱状图绘制。采用Activate MATLAB R2024a中的“corr”函数进行相关性分析以及相关性

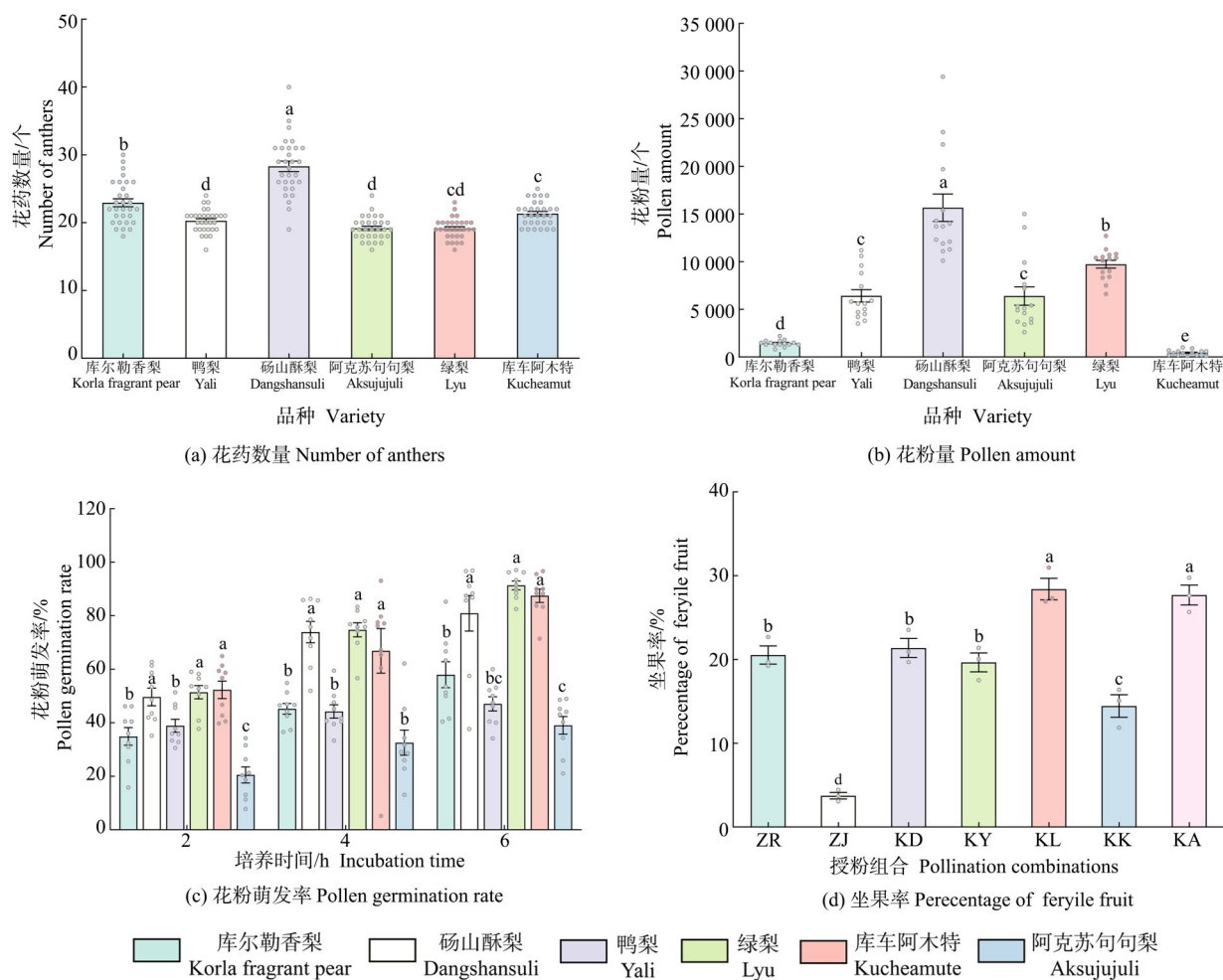
热图绘制,使用 R 4.5.1 中的“stats”程辑包进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同授粉梨品种花粉特性比较

不同梨品种的花药数量存在显著差异 ($P < 0.05$)。‘砀山酥梨’花药数量最高,达到 28 个;‘库尔勒香梨’次之,为 22 个;‘鸭梨’‘阿克苏句句梨’‘绿梨’三者间花药数量无显著差异(图 1(a))。‘砀山酥梨’的花粉量显著高于其他品种,达到 15 660 个;‘绿梨’次之,为 9 727 个;‘鸭梨’‘阿克苏句句梨’花

粉量无明显差异;‘库车阿木特’花粉量最低,仅为 440 个,显著低于其他品种 ($P < 0.05$,图 1(b))。如图 1(c)所示,随着培养时间延长,各品种花粉萌发率均呈上升趋势。‘砀山酥梨’‘绿梨’‘库车阿木特’在培养 2、4 及 6 h 的萌发率均显著高于其他品种 ($P < 0.05$),且三者之间无显著差异。培养 2 h 后,‘阿克苏句句梨’花粉萌发率最低,仅为 20.50%;培养 4 h 萌发率提升至 32.54%,虽仍低于其他组合,但与‘库尔勒香梨’‘鸭梨’无显著差异;培养 6 h 萌发率为 39.03%,显著低于‘库尔勒香梨’ ($P < 0.05$),但与‘鸭梨’无显著差异。采用不同授粉品



ZR: 自然授粉; ZJ: 库尔勒香梨×库尔勒香梨; KD: 库尔勒香梨×砀山酥梨; KY: 库尔勒香梨×鸭梨; KL: 库尔勒香梨×绿梨; KK: 库尔勒香梨×库车阿木特; KA: 库尔勒香梨×阿克苏句句梨。柱状图中散点代表组内每一个具体的数据,样本点的分布的代表组内数据分布情况。不同字母表示不同处理间差异在 0.05 水平上显著 ($P < 0.05$)。下同。

ZR: Natural pollination; ZJ: Korla fragrant pear×Korla fragrant pear; KD: Korla fragrant pear×Dangshansuli; KY: Korla fragrant pear×Yali; KL: Korla fragrant pear×Lyu; KK: Korla fragrant pear×Kucheamut; KA: Korla fragrant pear×Aksujujuli. The scatter points in the histogram represent each specific data in the group, and the distribution of sample points represents the distribution of data in the group. Different letters indicate significant differences between treatments at the 0.05 level ($P < 0.05$). The same below.

图1 不同授粉梨品种花粉特性比较

Fig. 1 Comparison of pollen characteristics of different pollination pear varieties

种对‘库尔勒香梨’进行授粉均显著提高坐果率,且各授粉品种间存在显著差异。‘绿梨’‘阿克苏句句梨’授粉的坐果率分别为28.40%和27.69%,显著高于其他组合($P<0.05$);‘库车阿木特’授粉坐果率最低,仅为14.44%(图1(d))。

2.2 不同品种授粉对‘库尔勒香梨’外在品质的影响

如表2所示,果实发育过程中,不同授粉组合‘库尔勒香梨’单果重均呈上升趋势。花后30 d,各授粉组合间单果重无显著差异。花后60 d,ZR(自然授粉)单果重达16.74 g,显著高于其他组合($P<0.05$);KK(‘库尔勒香梨’×‘库车阿木特’)单果重为11.31 g,较ZR显著下降32.46%($P<0.05$)。花后90 d,KL(‘库尔勒香梨’×‘绿梨’)单果重为68.05 g,较ZR显著增加21.06%,且显著高于其他组合($P<0.05$);KY(‘库尔勒香梨’×‘鸭梨’)单果重为35.61 g,较KL及ZR分别降低47.67%和36.65%,差异显著($P<0.05$)。花后120 d,KA(‘库尔勒香梨’×‘阿克苏句句梨’)单果重为129.65 g,较ZR显著增加29.70%,且显著高于其他组合($P<0.05$);KY单果重为76.46 g,较ZR及KA分别降低23.50%和41.02%;其余组合无显著差异。花后150 d,ZR单果重为184.08 g,显著高于其他组合($P<0.05$);KY单果重较ZR降低27.43%,较KD(‘库尔勒香梨’×‘砀山酥梨’)增加14.07%,差异显著($P<0.05$);KD单果重为114.80 g,较ZR降低37.64%;其余授粉组合间无显著差异。

果实纵径和横径均呈上升趋势,且ZR果实纵径和横径显著大于其他组合($P<0.05$)。花后60及90 d,KD和KY果实纵径显著低于其他组合($P<0.05$);花后150 d,KD果实纵径仍显著低于其他组合($P<0.05$)。花后60、90及120 d,KY和KK果实横径显著小于其他组合($P<0.05$);花后150 d,KD及KY果实横径显著低于其他组合($P<0.05$)。

随着果实生长,果形指数逐渐趋近于1,表明果实趋向圆形。花后150 d,KD和KL果形指数分别为1.08和1.09,显著低于其他组合($P<0.05$),表明以‘砀山酥梨’‘绿梨’授粉可显著降低果形指数,使果实形状更接近圆形。综上,不同授粉品种对‘库尔勒香梨’果实形态特征具有显著影响,且对果实大小及形状的调控作用明显。

果实硬度随生长发育呈下降趋势,花后90 d各

组合间硬度无显著差异。花后120 d,ZR、ZJ(‘库尔勒香梨’×‘库尔勒香梨’)及KL果实硬度显著高于其他组合($P<0.05$),其中ZJ最高,达11.09 kg/cm²;KD硬度最低,仅为8.44 kg/cm²。花后150 d,KY硬度为6.92 kg/cm²,较ZR增加25.36%;KL硬度为5.3 kg/cm²,较ZR下降3.99%。表明以‘鸭梨’为授粉品种可显著提升果实硬度,而‘绿梨’授粉则降低果实硬度。

2.3 不同品种授粉对‘库尔勒香梨’内在品质的影响

表3显示,花后30 d时,KL可溶性固形物含量达到10.98%,较ZR显著提高9.58%;ZJ含量为9.84%,显著低于ZR及KL($P<0.05$)。花后60~90 d,各组合可溶性固形物含量差异不明显。花后120 d时,KA含量为10.92%,显著低于ZR 12.88%($P<0.05$)。花后150 d时,KK含量升至14.82%,显著高于其他组合;KA含量仅为12.28%,显著低于其他组合($P<0.05$)。

花后30 d时,KL可溶性糖含量高于ZR但差异不显著,KA含量显著低于其他组合,仅为6.82%($P<0.05$)。花后60 d时,KA可溶性糖含量为2.79%,较ZR增加了54.90%,显著高于其他组合($P<0.05$)。花后90 d时,各组合间可溶性糖含量无明显差异。花后120~150 d时,KK总糖含量为7.73%,较ZR显著增加3.78%;KA可溶性糖含量为6.81%,较ZR显著降低8.34%($P<0.05$)。

花后30 d时,ZJ和KL可滴定酸含量最高,分别为1.33%和1.34%,随后各组合可滴定酸含量均下降,至150 d时差异减小,KK含量下降至0.48%,与ZR无显著差异;而KL含量进一步降低至0.24%,较ZR显著降低50.35%($P<0.05$)。

花后30和120 d时,KK维生素C含量分别为333.96、547.02 mg/100 g,均显著高于其他组合($P<0.05$);ZR在花后60 d时维生素C含量较低,仅为205.51 mg/100 g。

综上,不同授粉品种对‘库尔勒香梨’果实品质各项指标具有显著影响,KK和KL授粉组合有利于果实糖分和维生素C的积累;而KA授粉组合则表现出较低的可溶性固形物和总糖含量,同时能明显降低果实可滴定酸含量并提升维生素C水平。

2.4 不同品种授粉对‘库尔勒香梨’色泽的影响

如表4所示,花后30 d时,果皮方面,KY组L*值

表 2 不同品种授粉对‘库尔勒香梨’外在品质的影响

Table 2 Effects of different varieties of pollination on the external quality of ‘Korla fragrant pear’

发育周期/d Developmental cycle	授粉组合 Pollination combination	单果重/g Fruit weight	纵径/mm Vertical diameter	横径/mm Transverse diameter	果形指数 Shape index of fruit	硬度/(kg/cm ²) Hardness
30	ZR	4.80±0.13 ab	24.79±0.66 a	18.36±0.39 ab	1.35±0.04 bc	—
	ZJ	4.20±0.10 b	25.98±0.89 a	17.24±0.41 b	1.51±0.03 a	—
	KD	4.79±0.26 ab	25.84±1.41 a	18.66±0.38 a	1.38±0.06 abc	—
	KL	4.57±0.17 ab	24.42±1.18 a	18.56±0.40 a	1.32±0.07 bc	—
	KK	4.96±0.22 a	25.28±0.65 a	18.91±0.34 a	1.34±0.02 bc	—
	KY	4.77±0.20 ab	25.64±0.53 a	18.28±0.52 ab	1.40±0.04 ab	—
	KA	5.17±0.29 a	24.37±0.94 a	19.39±0.42 a	1.25±0.03 c	—
60	ZR	16.74±0.79 a	41.81±2.14 a	28.24±0.61 ab	1.48±0.06 a	—
	ZJ	13.35±1.17 bcd	34.92±1.05 b	26.58±1.03 bcd	1.32±0.03 b	—
	KD	15.83±0.21 ab	32.56±0.62 b	29.40±1.02 a	1.11±0.04 d	—
	KL	14.96±0.16 ab	34.18±0.96 b	28.41±0.32 ab	1.20±0.03 cd	—
	KK	11.31±0.32 d	33.25±1.11 b	25.06±0.47 d	1.33±0.02 b	—
	KY	12.17±0.52 cd	32.20±0.27 b	25.86±0.32 cd	1.25±0.02 bc	—
	KA	13.89±0.69 bc	32.21±0.95 b	27.51±0.67 abc	1.18±0.04 cd	—
90	ZR	56.21±3.54 b	58.29±2.48 a	43.61±1.12 b	1.34±0.04 a	12.27±0.07 b
	ZJ	53.45±5.45 b	54.67±2.58 ab	44.28±1.15 ab	1.23±0.05 abc	12.68±0.07 a
	KD	47.17±2.51 bc	47.28±1.43 c	43.20±0.87 b	1.09±0.03 d	12.51±0.11 ab
	KL	68.05±4.50 a	56.97±2.63 a	47.60±1.16 a	1.20±0.04 bcd	12.63±0.09 a
	KK	37.73±2.81 cd	50.31±1.67 bc	38.75±1.23 c	1.30±0.05 ab	12.45±0.08 ab
	KY	35.61±1.88 d	45.03±1.55 c	38.09±1.31 c	1.18±0.01 cd	12.58±0.07 a
	KA	57.08±3.78 b	48.96±1.87 bc	44.56±1.56 ab	1.10±0.02 d	12.55±0.10 a
120	ZR	99.96±4.28 b	65.11±2.69 a	54.96±1.53 abc	1.18±0.04 a	10.59±0.14 a
	ZJ	104.14±3.34 b	66.64±3.29 a	55.25±1.28 abc	1.20±0.05 a	11.09±0.20 a
	KD	109.21±4.62 b	64.50±2.22 a	57.9±1.33 ab	1.11±0.03 a	8.44±0.22 d
	KL	100.04±11.98 b	62.24±2.89 a	53.92±2.36 bc	1.16±0.04 a	10.63±0.08 a
	KK	92.72±5.73 bc	56.70±7.11 a	53.23±1.65 bc	1.05±0.11 a	9.62±0.26 b
	KY	76.46±5.14 c	56.56±1.52 a	49.97±1.76 c	1.13±0.02 a	9.07±0.19 c
	KA	129.65±8.15 a	68.23±2.72 a	59.92±1.62 a	1.14±0.02 a	8.92±0.15 cd
150	ZR	184.08±2.87 a	83.02±2.40 a	66.87±0.81 a	1.24±0.04 a	5.52±0.23 ab
	ZJ	163.88±5.65 bc	75.67±4.71 ab	63.96±3.24 ab	1.18±0.03 ab	5.73±0.16 ab
	KD	114.80±7.84 e	63.48±1.13 c	58.78±1.28 b	1.08±0.02 c	5.91±0.19 ab
	KL	170.85±9.10 ab	72.48±2.36 b	66.43±0.93 a	1.09±0.03 bc	5.30±0.29 b
	KK	146.31±2.71 cd	74.58±1.02 b	62.15±1.95 ab	1.20±0.03 a	6.16±0.25 b
	KY	133.60±8.49 d	71.69±0.92 b	58.64±1.84 b	1.23±0.04 a	6.92±0.30 a
	KA	148.42±3.63 cd	72.51±4.06 b	61.85±2.03 ab	1.17±0.04 abc	6.14±0.24 b

注：ZR：自然授粉；ZJ：库尔勒香梨×库尔勒香梨；KD：库尔勒香梨×砀山酥梨；KY：库尔勒香梨×鸭梨；KL：库尔勒香梨×绿梨；KK：库尔勒香梨×库车阿木特；KA：库尔勒香梨×阿克苏句句梨。“—”表示该时期果实硬度大于硬度计量程，未得到准确数据。不同字母表示不同处理间差异在 0.05 水平上显著 ($P<0.05$)。下同。

Note: ZR: Natural pollination; ZJ: Korla fragrant pear×Korla fragrant pear; KD: Korla fragrant pear×Dangshansuli; KY: Korla fragrant pear×Yali; KL: Korla fragrant pear×Lyu; KK: Korla fragrant pear×Kucheamute; KA: Korla fragrant pear×Aksujujuli. “—” indicates that the fruit hardness during this period is greater than the hardness measurement range, and accurate data are not obtained. Different letters indicate significant differences between treatments at the 0.05 level ($P<0.05$). The same below.

表3 不同品种授粉对‘库尔勒香梨’内在品质的影响
Table 3 Effect of pollination by different varieties on the internal quality of ‘Korla fragrant pear’

发育周期/d Developmental cycle	授粉组合 Pollination combination	可溶性固形物含量/% Dissolved solid content	可溶性糖含量/% Soluble sugar content	可滴定酸含量/% Titratable acid content	维生素C质量分数/ (mg/100 g) Vitamin C mass fraction
30	ZR	10.02±0.14 cd	1.10±0.12 ab	1.17±0.02 b	287.11±4.00 d
	ZJ	9.84±0.16 d	1.31±0.08 a	1.14±0.03 b	368.71±6.59 b
	KD	9.94±0.26 cd	1.14±0.11 ab	0.95±0.01 c	335.47±5.23 c
	KL	10.98±0.17 a	1.36±0.08 a	1.34±0.02 a	302.22±6.59 d
	KK	10.42±0.17 bc	1.19±0.01 ab	0.88±0.01 d	333.96±8.00 c
	KY	10.60±0.08 ab	0.93±0.05 bc	1.33±0.01 a	234.22±4.00 e
	KA	9.93±0.18 cd	0.83±0.03 c	0.98±0.04 c	456.35±3.02 a
60	ZR	10.93±0.15 a	1.80±0.37 b	0.64±0.01 de	205.51±10.90 d
	ZJ	10.33±0.32 b	1.61±0.06 b	0.76±0.05 c	389.87±5.23 c
	KD	9.63±0.07 c	1.84±0.15 b	0.54±0.02 f	408.00±5.24 c
	KL	10.23±0.15 b	1.86±0.10 b	0.57±0.01 ef	513.78±6.05 b
	KK	10.43±0.17 ab	2.20±0.14 b	1.16±0.03 a	492.62±3.02 b
	KY	10.67±0.11 ab	1.88±0.20 b	0.98±0.04 b	562.14±9.07 a
	KA	10.62±0.16 ab	2.79±0.19 a	0.68±0.01 cd	510.75±3.02 b
90	ZR	10.44±0.34 a	3.46±0.41 a	0.51±0.04 c	281.07±5.23 f
	ZJ	10.38±0.18 a	3.39±0.28 a	0.51±0.06 c	371.73±5.23 de
	KD	10.54±0.12 a	3.80±0.34 a	0.40±0.03 c	377.78±3.02 d
	KL	10.12±0.16 a	3.77±0.19 a	0.49±0.03 c	362.67±5.23 e
	KK	10.66±0.20 a	3.81±0.22 a	0.95±0.03 a	411.02±3.02 c
	KY	10.08±0.11 a	3.72±0.42 a	0.70±0.03 b	453.33±5.23 b
	KA	10.27±0.64 a	4.31±0.11 a	0.46±0.01 c	501.69±3.02 a
120	ZR	12.88±0.38 a	5.76±0.14 abc	0.49±0.03 c	379.29±4.00 e
	ZJ	11.46±0.28 bc	5.78±0.23 abc	0.70±0.04 a	371.73±5.23 e
	KD	12.74±0.22 a	5.35±0.15 c	0.58±0.02 b	568.18±6.05 a
	KL	12.22±0.31 ab	5.46±0.25 bc	0.39±0.01 d	429.16±10.90 d
	KK	11.00±0.25 c	6.23±0.24 ab	0.63±0.03 ab	459.38±3.02 c
	KY	11.24±0.21 c	6.54±0.29 a	0.66±0.01 ab	471.47±10.47 c
	KA	10.83±0.07 c	6.24±0.38 ab	0.42±0.02 d	513.78±3.02 b
150	ZR	13.50±0.36 bc	7.43±0.07 b	0.48±0.01 a	471.47±5.23 e
	ZJ	13.80±0.26 b	6.94±0.11 c	0.42±0.03 ab	456.35±3.02 f
	KD	13.92±0.11 b	7.75±0.01 a	0.48±0.01 a	501.69±3.02 cd
	KL	12.64±0.16 cd	7.48±0.10 b	0.24±0.02 d	507.73±5.23 c
	KK	14.82±0.48 a	7.84±0.10 a	0.31±0.03 cd	547.02±3.02 b
	KY	12.88±0.16 cd	7.73±0.01 a	0.37±0.04 bc	495.65±3.02 d
	KA	12.47±0.15 d	6.81±0.11 c	0.27±0.03 d	565.15±3.02 a

为66.05, b^* 值为28.01, c^* 值为29.60, 均高于其他组合; KD组 a^* 值为-8.66, 显著高于其他组合 ($P < 0.05$)。果肉方面, KY组 L^* 值为64.14, a^* 值为-6.32, b^* 值为26.15, c^* 值为29.60, 均高于其他组合, 表明30 d时KD组果实着色较好。花后60 d时, 果皮方面, KD组 L^* 值为60.48, a^* 值为-9.64, b^* 值为42.89, c^* 值为43.97, 均高于其他组合 ($P < 0.05$); KL组 L^* 值为56.95, b^* 值为39.30, c^* 值为40.40, 显著低于其他组合 ($P < 0.05$)。果肉方面, KD组 L^* 值为68.64, KL组为65.53, KD组果肉明显优于其他组合, 其他色度指标无显著差异, 表明60 d时KD组果实着色依然最佳。花后90 d时, 果皮方面, KD组

L^* 值为66.74, a^* 值为-6.08, b^* 值为31.34, c^* 值为32.09, 均显著高于其他组合 ($P < 0.05$); 果肉方面, ZR组 L^* 值为63.04, a^* 值为-1.09, b^* 值为9.63, c^* 值为9.69, 显著高于其他组合 ($P < 0.05$), 说明90 d时KD组果皮着色最佳, ZR组果肉着色最佳。花后120 d时, 果皮方面, KD组 L^* 值为36.40, a^* 值为-1.49, b^* 值为18.23, c^* 值为18.37, 均显著高于其他组合 ($P < 0.05$); 果肉方面, ZR组 L^* 值为36.47, a^* 值为-1.38, b^* 值为13.03, c^* 值为13.11, 均显著高于其他组合 ($P < 0.05$), 表明120 d时KD组合果皮着色及ZR组合果肉着色均较优。花后150 d时, 果皮方面, KY组 L^* 值为37.30, a^* 值为1.18, b^* 值为19.25,

表4 不同授粉梨品种果实色泽比较

Table 4 Comparison of fruit color of different pollinated pear varieties

发育周期/d Developmental cycle	授粉组合 Pollination combination	果皮 Peel				果肉 Flesh			
		L^*	a^*	b^*	c^*	L^*	a^*	b^*	c^*
30	ZR	64.43± 0.32 b	-10.11± 0.09 b	27.34± 0.19 ab	29.16± 0.17 a	61.00± 0.40 d	-7.11± 0.22 bc	25.19± 0.17 b	26.18± 0.18 bc
	ZJ	64.73± 0.34 ab	-10.02± 0.11 b	27.57± 0.20 a	29.34± 0.18 a	61.85± 0.65 bcd	-6.73± 0.40 ab	25.13± 0.41 b	26.04± 0.47 c
	KA	63.60± 0.34 b	-10.16± 0.10 b	27.47± 0.19 ab	29.29± 0.19 a	61.34± 0.26 cd	-7.59± 0.20 c	26.00± 0.17 a	27.10± 0.18 a
	KK	64.17± 0.50 b	-9.49± 0.16 b	27.59± 0.28 a	29.17± 0.29 a	62.37± 0.43 bc	-6.97± 0.16 abc	25.57± 0.22 ab	26.50± 0.24 abc
	KY	66.05± 0.31 a	-9.55± 0.11 b	28.01± 0.17 a	29.60± 0.17 a	64.14± 0.34 a	-6.32± 0.18 a	26.15± 0.12 a	26.90± 0.14 ab
	KD	64.29± 1.07 b	-8.66± 0.58 a	26.49± 0.72 b	27.92± 0.81 b	63.08± 0.43 ab	-7.02± 0.19 bc	25.68± 0.21 ab	26.64± 0.21 abc
	KL	64.01± 0.43 b	-10.16± 0.13 b	27.44± 0.24 ab	29.26± 0.24 a	61.66± 0.36 cd	-7.30± 0.16 bc	25.63± 0.16 ab	26.65± 0.19 abc
60	ZR	57.71± 0.17 cd	-9.71± 0.18 bc	43.57± 0.26 a	44.64± 0.26 a	65.16± 1.42 b	-7.68± 0.39 a	41.49± 1.32 a	42.21± 1.35 a
	ZJ	59.49± 0.28 b	-9.20± 0.20 a	43.23± 0.28 a	44.20± 0.29 a	66.22± 0.80 ab	-7.74± 0.32 a	41.20± 1.23 a	41.92± 1.26 a
	KA	58.23± 0.41 c	-9.86± 0.05 c	41.21± 0.41 bc	42.37± 0.40 bc	67.20± 0.78 ab	-7.62± 0.46 a	40.14± 0.97 a	40.87± 1.03 a
	KK	58.18± 0.30 c	-9.62± 0.08 abc	41.65± 0.35 b	42.75± 0.34 b	65.76± 1.09 ab	-7.66± 0.20 a	39.89± 0.88 a	40.62± 0.89 a
	KY	59.31± 0.28 b	-9.61± 0.08 abc	40.40± 0.33 c	41.53± 0.32 c	66.19± 0.72 ab	-8.64± 0.29 a	41.35± 0.99 a	42.24± 1.02 a
	KD	60.48± 0.25 a	-9.64± 0.19 abc	42.89± 0.35 a	43.97± 0.34 a	68.64± 0.83 a	-7.75± 0.32 a	38.77± 1.14 a	39.54± 1.18 a
	KL	56.95± 0.32 d	-9.33± 0.13 ab	39.30± 0.40 d	40.40± 0.39 d	65.53± 1.02 b	-7.75± 0.28 a	38.49± 2.16 a	39.35± 2.05 a

表4 (续)

发育周期/d Developmental cycle	授粉组合 Pollination combination	果皮 Peel				果肉 Flesh			
		L^*	a^*	b^*	c^*	L^*	a^*	b^*	c^*
90	ZR	65.68±	−7.50±	30.11±	31.08±	63.04±	−1.09±	9.63±	9.69±
		0.48 ab	0.57 ab	0.44 ab	0.54 ab	0.40 a	0.10 ab	0.41 ab	0.42 ab
	ZJ	66.27±	−8.44±	30.24±	31.40±	61.21±	−1.16±	8.22±	8.31±
		0.37 a	0.16 b	0.21 ab	0.22 ab	0.35 bc	0.09 b	0.24 c	0.24 c
	KA	62.37±	−8.09±	28.42±	29.63±	60.63±	−1.64±	10.25±	10.38±
		0.61 c	0.71 ab	0.49 bc	0.61 bc	0.48 c	0.16 c	0.59 a	0.60 a
	KK	64.13±	−6.52±	29.19±	30.26±	62.01±	−1.61±	9.92±	10.05±
		0.78 bc	1.26 ab	0.88 bc	0.91 abc	0.23 b	0.10 c	0.40 ab	0.41 ab
	KY	63.44±	−5.78±	27.71±	28.64±	61.00±	−1.29±	8.75±	8.85±
		0.73 c	1.17 ab	0.80 c	0.80 c	0.24 bc	0.10 b	0.40 bc	0.41 bc
	KD	66.74±	−6.08±	31.34±	32.09±	61.59±	−1.12±	8.96±	9.03±
		0.54 a	0.90 ab	0.54 a	0.63 a	0.28 bc	0.07 ab	0.38 bc	0.39 bc
	KL	65.75±	−5.44±	29.51±	30.18±	61.68±	−0.83±	8.31±	8.35±
		0.68 ab	0.92 a	0.60 abc	0.70 abc	0.31 b	0.07 a	0.34 c	0.35 c
120	ZR	35.91±	−1.90±	18.02±	18.14±	36.47±	−1.38±	13.03±	13.11±
		0.37 ab	0.25 a	0.30 ab	0.31 ab	0.55 a	0.13 a	0.45 a	0.46 a
	ZJ	36.20±	−1.79±	16.93±	17.04±	36.11±	−1.41±	12.29±	12.38±
		0.48 ab	0.25 a	0.73 b	0.73 b	0.32 ab	0.11 a	0.80 ab	0.79 ab
	KA	36.16±	−2.23±	18.07±	18.22±	34.84±	−1.19±	10.25±	10.34±
		0.26 ab	0.19 a	0.25 a	0.26 a	0.43 c	0.14 a	0.49 c	0.49 c
	KK	36.09±	−2.34±	18.02±	18.19±	36.22±	−1.44±	12.63±	12.72±
		0.31 ab	0.20 a	0.22 ab	0.24 a	0.24 ab	0.10 a	0.30 ab	0.29 ab
	KY	35.62±	−2.14±	17.64±	17.77±	35.79±	−1.47±	11.66±	11.75±
		0.18 ab	0.10 a	0.22 ab	0.22 ab	0.44 abc	0.11 a	0.49 abc	0.49 abc
	KD	36.40±	−1.94±	18.23±	18.37±	35.26±	−1.36±	11.17±	11.25±
		0.26 a	0.31 a	0.26 a	0.27 a	0.26 bc	0.05 a	0.36 bc	0.36 bc
	KL	35.29±	−1.84±	17.12±	17.23±	35.38±	−1.36±	11.85±	11.94±
		0.19 b	0.22 a	0.23 ab	0.23 ab	0.32 abc	0.09 a	0.38 ab	0.38 ab
150	ZR	37.06±	0.11±	19.23±	19.41±	34.17±	0.11±	5.59±	5.59±
		0.65 ab	0.93 ab	0.63 a	0.55 a	0.21 a	0.04 b	0.23 a	0.23 a
	ZJ	36.99±	−1.19±	19.18±	19.25±	32.64±	0.06±	4.98±	4.98±
		0.42 ab	0.41 ab	0.20 a	0.21 a	0.24 b	0.06 ab	0.21 ab	0.21 ab
	KA	38.23±	−1.49±	18.95±	19.01±	32.73±	0.23±	4.56±	4.57±
		0.30 a	0.11 b	0.24 a	0.25 a	0.43 b	0.07 ab	0.15 b	0.15 b
	KK	37.74±	−1.25±	19.24±	19.29±	32.94±	0.22±	4.93±	4.94±
		0.29 ab	0.20 ab	0.39 a	0.39 a	0.30 b	0.04 ab	0.13 ab	0.13 ab
	KY	37.30±	1.18±	19.25±	19.51±	33.34±	0.26±	5.52±	5.53±
		0.57 ab	1.00 a	0.49 a	0.41 a	0.47 ab	0.06 a	0.29 a	0.29 a
	KD	38.18±	−0.21±	19.80±	20.00±	33.59±	0.12±	5.52±	5.53±
		0.56 ab	0.93 ab	0.61 a	0.50 a	0.26 ab	0.05 ab	0.47 a	0.47 a
	KL	36.45±	0.42±	18.41±	18.75±	33.46±	0.10±	5.43±	5.43±
		0.82 ab	1.12 ab	0.78 a	0.51 a	0.24 ab	0.06 ab	0.34 ab	0.34 ab

注: L^* :代表亮度。 a^* :代表颜色的红绿;正值表示颜色趋红,负值表示颜色趋绿。 b^* :代表颜色的黄蓝;正值表示颜色趋黄,负值表示颜色趋蓝。 c^* :代表彩度。

Note: L^* represents lightness. a^* represents the red-green color component; a positive value indicates a shift toward red, while a negative value indicates a shift toward green. b^* represents the yellow-blue color component; a positive value indicates a shift toward yellow, while a negative value indicates a shift toward blue. c^* represents chroma.

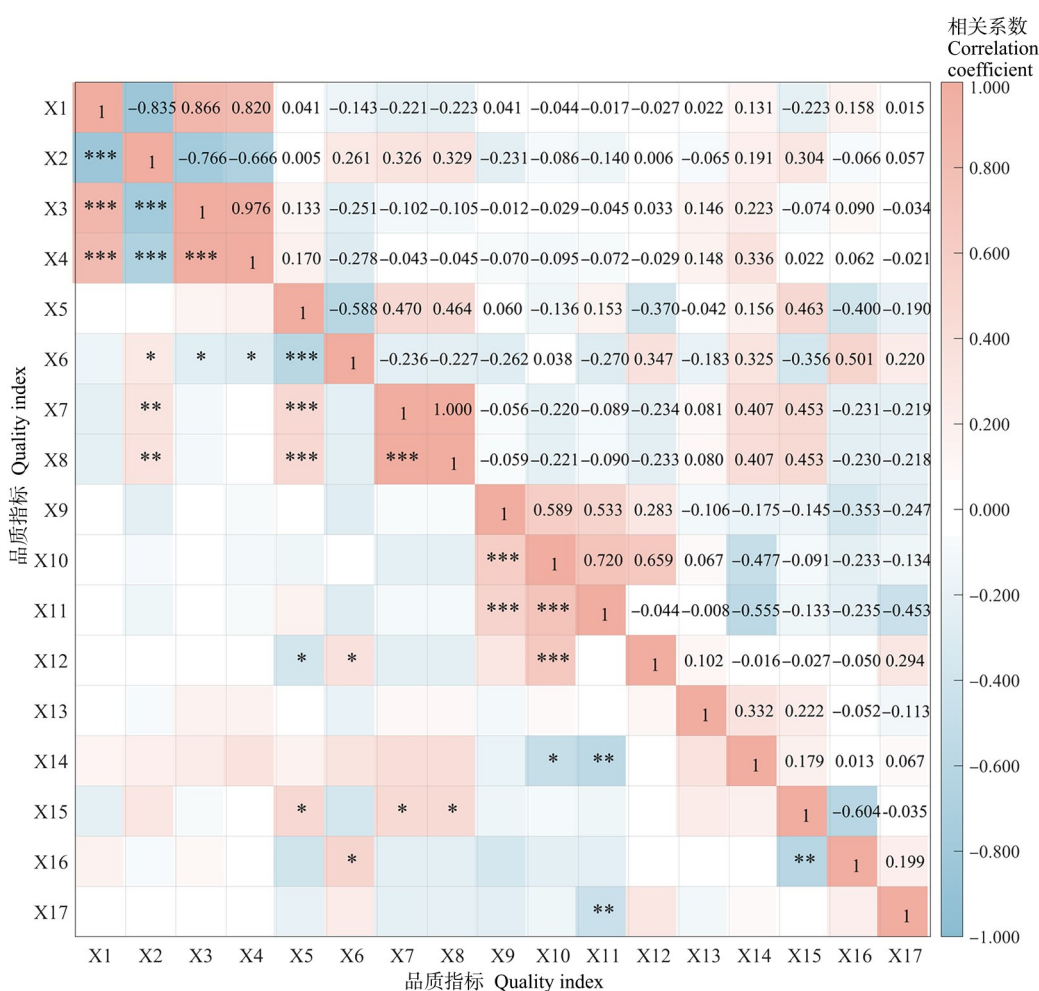
c^* 值为9.51,均高于其他组合($P<0.05$);果肉方面,KY组 L^* 值为33.34, a^* 值为0.26, b^* 值为5.52, c^* 值为5.53,显著高于其他组合($P<0.05$),表明150 d时KY组合果实着色最佳。综上,授粉品种对‘库尔勒香梨’果实着色具有显著影响,‘砀山酥梨’授粉效果最显著。

2.5 果实品质综合评价

2.5.1 相关性分析

基于果实成熟期(150 d)纵径等4个外观品质指标与可溶性固形物、可溶性糖等13个营养品质指

标的相关性分析结果显示(图2),果皮 L^* 与果皮 b^* 、果皮 c^* 呈极显著正相关($P<0.001$),相关系数分别为0.866、0.820;与果皮 a^* 呈极显著负相关($P<0.001$),相关系数为-0.835。果皮 a^* 与果肉 a^* 、果肉 b^* 及果肉 c^* 呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为0.261、0.326及0.329。果实横径与可溶性糖、果实硬度呈极显著负相关($P<0.001$),相关系数为-0.555、-0.453。可滴定酸含量与维生素C含量呈极显著负相关($P<0.01$),相关性系数为-0.604。



X1:果皮 L^* ;X2:果皮 a^* ;X3:果皮 b^* ;X4:果皮 c^* ;X5:果肉 L^* ;X6:果肉 a^* ;X7:果肉 b^* ;X8:果肉 c^* ;X9:单果重;X10:纵径;X11:横径;X12:果形指数;X13:可溶性固形物;X14:总糖;X15:可滴定酸;X16:维生素C;X17:硬度。红色表示正相关,蓝色表示负相关,颜色越深相关性越强,颜色越浅相关性越弱。星号表示显著(* $P<0.05$,** $P<0.01$,*** $P<0.001$)。

X1:Peel coloration L^* ;X2:Peel coloration a^* ;X3:Peel coloration b^* ;X4:Peel coloration c^* ;X5:Flesh coloration L^* ;X6:Flesh coloration a^* ;X7:Flesh coloration b^* ;X8:Flesh coloration c^* ;X9:Fruit weight;X10:Vertical diameter;X11:Transverse diameter;X12:Shape index of fruit;X13:Dissolved solid;X14:Total polysaccharide;X15:Titratable acid;X16:Vitamin C;X17:Hardness. Red indicates positive correlation, the deeper the color, the stronger the correlation, the lighter the color, the weaker the correlation. Asterisks indicated significance (* $P<0.05$,** $P<0.01$,*** $P<0.001$).

图2 不同品种授粉‘库尔勒香梨’品质指标相关性

Fig. 2 Correlation of quality indexes of different varieties pollinated ‘Korla fragrant pear’

2.5.2 综合评价

应用 R 4.5.1 对 7 个不同授粉处理‘库尔勒香梨’果实的 17 个品质指标测定数据进行主成分分析 (PCA, 表 5)。根据特征值大于 1, 筛选出 6 个有效主成分因子 (Principal components, PC), 对应的方

差贡献率依次为 29.08%、19.67%、15.09%、10.37%、7.63% 及 6.50%, 这些主成分累计方差贡献率达 88.35%。因此将 6 个主成分作为评估不同品种授粉对‘库尔勒香梨’果实品质影响的综合指标。

表 5 PC 的特征值、贡献率及累计贡献率

Table 5 The characteristic value, contribution rate and cumulative contribution rate of PC

PC	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
PC1	4.944	29.08	29.08
PC2	3.344	19.67	48.75
PC3	2.566	15.09	63.85
PC4	1.763	10.37	74.22
PC5	1.297	7.63	81.85
PC6	1.105	6.50	88.35
PC7	0.668	3.93	92.27
PC8	0.419	2.47	94.74

采用 6 种主成分 PC 及其对应的特征值占总特征值的比值作为权重, 构建综合评价模型 (表 6)。PC1 贡献率较大的为果皮 a^* 、横径和单果重等, PC2

中纵横比、果皮 a^* 及硬度等贡献率较高, PC3 中以维生素 C、总糖和果肉 a^* 等为主, PC4 贡献率较大的为果肉 L^* 、硬度以及维生素 C 等, PC5 中贡献率较大的

表 6 果实品质指标主成分载荷矩阵

Table 6 Principal component load matrix of fruit quality index

指标 Index	PC					
	1	2	3	4	5	6
果皮 L^* Peel coloration L^*	-0.372	-0.071	0.021	-0.054	0.432	-0.069
果皮 a^* Peel coloration a^*	0.375	-0.040	0.225	-0.081	-0.223	-0.098
果皮 b^* Peel coloration b^*	-0.413	-0.040	-0.168	-0.070	0.138	0.043
果皮 c^* Peel coloration c^*	-0.414	-0.077	-0.155	-0.095	0.047	0.049
果肉 L^* Flesh coloration L^*	0.084	-0.403	-0.179	0.146	0.173	-0.057
果肉 a^* Flesh coloration a^*	0.074	0.267	0.231	-0.369	0.223	-0.323
果肉 b^* Flesh coloration b^*	0.075	-0.483	0.042	-0.164	0.149	-0.189
果肉 c^* Flesh coloration c^*	0.075	-0.483	0.043	-0.165	0.150	-0.190
单果重 Single fruit weight	0.274	0.051	-0.267	-0.328	-0.009	-0.239
纵径 Longitudinal diameter	0.153	0.178	-0.477	-0.250	0.174	0.127
横径 Transverse diameter	0.300	-0.058	-0.349	-0.018	0.151	0.278
纵横比 Aspectratio	-0.103	0.323	-0.271	-0.339	0.068	-0.158
可溶性固形物 Soluble solids	-0.158	0.005	0.186	-0.394	-0.341	0.466
可溶性糖 Soluble sugar	-0.159	-0.143	0.300	-0.473	-0.098	-0.097
可滴定酸 Titratable acid	-0.272	-0.191	-0.256	0.026	-0.359	-0.010
维生素 C Vitamin C	0.041	0.153	0.353	0.087	0.545	0.332
硬度 Hardness	-0.175	0.252	0.014	0.304	-0.088	-0.538

为维生素 C、果皮 L^* 及果皮 a^* 等, PC6 贡献率较大的为可溶性固形物、维生素 C 及横径等。根据各成分的贡献率, 确定不同处理对梨果实品质影响较大的指标分别为纵横径、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、色泽指标、总糖以及硬度。

综合评价模型: $F_{\text{综合}} = PC1 \times 0.291 + PC2 \times 0.197 + PC3 \times 0.151 + PC4 \times 0.104 + PC5 \times 0.076 +$

$PC6 \times 0.065$ 。基于该模型, 计算获得不同授粉组合的综合得分及其排名, 得分越高代表该处理的综合品质越好。在 7 个授粉处理中‘绿梨’授粉处理综合评价得分最高, 为 1.125; 其次是‘阿克苏句句梨’, 得分为 0.882; 常用授粉品种‘鸭梨’‘砀山酥梨’授粉后果实综合品质较差, 得分分别为 -0.387 及 -0.798 (表 7)。

表 7 不同授粉品种果实品质评价得分
Table 7 Fruit quality evaluation scores of different pollinated varieties

授粉组合 Pollination combination	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
KL	4.195	-0.636	0.834	-0.494	-0.181	-0.472	1.125	1
KA	0.829	1.411	0.050	1.912	1.701	0.428	0.882	2
KK	-1.058	1.115	1.498	-1.580	0.167	1.051	0.055	3
ZJ	-0.083	0.616	-1.714	0.916	-1.504	0.361	-0.158	4
KY	-1.547	0.501	0.448	-0.337	0.174	-1.250	-0.387	5
ZR	-0.147	-0.973	-2.410	-1.011	0.144	-0.435	-0.720	6
KD	-2.190	-2.035	1.294	0.595	-0.501	0.317	-0.798	7

3 讨论与结论

3.1 讨论

异花授粉不仅影响植物坐果, 还决定果实的形状、成熟度、大小、颜色、风味和成分^[23]。目前, 异花授粉已在李子、柚子、苹果及梨等果树中得到广泛研究^[9,13,24-27]。果实产量和品质的高低与成功授粉密切相关。花粉量主要受品种遗传特性、树体营养状态及生长环境等多重因素影响^[28]。在对枣、桃、葡萄和苹果等果树进行花粉特性研究时发现, 不同种类及品种之间的花粉量和活力存在显著差异^[17,29-32]。本研究表明, ‘砀山酥梨’的花药数量、花粉量及花粉活力均明显优于其他授粉品种, 表明其具备较强的授粉潜力; 而‘绿梨’授粉组坐果率最高, 表明‘绿梨’花粉与‘库尔勒香梨’具有较强的亲和性, 能够更有效地促进果实坐果。与曼苏尔·那斯尔等^[6]及杜润清^[4]研究结果一致。

不同授粉组合对果实性状的影响主要源于异花授粉产生的花粉直感效应^[33]。本研究结果显示, ‘鸭梨’‘砀山酥梨’授粉显著降低果实单果重、纵径、横径及果形指数, 显著提高果实硬度 ($P < 0.05$), 这与郑云珽等^[34]在‘清香’梨上的研究结果

一致。说明适宜授粉品种对梨果实外观品质形成具有积极作用。同时本研究发现‘绿梨’授粉后可降低果实硬度及可滴定酸含量, ‘阿克苏句句梨’授粉可促进维生素 C 的积累。这与郑浩等^[8]在‘初夏绿’梨及曼苏尔·那斯尔等^[6]在‘库尔勒香梨’的研究结果一致, 授粉品种均能显著提升果形指数和可溶性固形物含量, 表现出明显的花粉直感现象。在果实着色方面, 本研究发现‘砀山酥梨’授粉对果实着色具有一定促进作用, 这与徐丽珊等^[9]在‘玉露香’梨的研究结果一致, 表明果皮色泽等外观性状对花粉响应具有一定普遍性。除此之外, 刘婉君等^[35]在‘鸭梨’上的研究表明, 授粉品种对杂交果实单果重影响不显著, 与本研究结果不一致, 可能是母本品种及生境差异导致的结果。

授粉父本的遗传特性对果实外在品质及内在品质均具有重要影响。本研究结果显示, 授粉后 150 d 时, 不同授粉组合的单果重表现为 $ZR > KL >$ 其他授粉组合, 这与杜润清^[4]的研究结论一致, 表明在单果重性状上存在显著的花粉直感效应。同时, 本研究发现‘绿梨’授粉处理的果实可滴定酸含量最低, 仅为 0.24%; ‘库车阿木特’授粉处理的果实总糖及可溶性固形物含量显著高于其他授粉组合。

上述结果与杜润清^[4]对父本果实的研究结果相符,说明总糖和可溶性固形物含量性状同样存在明显的花粉直感现象。此外,杜润清^[4]研究表明‘阿克苏句句梨’果实可滴定酸含量最高,‘库车阿木特’果实硬度最高。而本研究中,‘阿克苏句句梨’授粉后果实维生素C含量最高,‘鸭梨’授粉后果实硬度最大,这可能是父本遗传特性以及果树栽培环境等多因素共同作用的结果。

果实各项指标是果树品种科学评价的基础和前提^[36]。本研究中,果实各性状间存在显著相关性。果皮 L^* 与果皮 b^* 、果皮 c^* 呈极显著正相关($P<0.001$),与果皮 a^* 呈极显著负相关($P<0.001$);果皮 a^* 与果肉 a^* 、果肉 b^* 及果肉 c^* 呈极显著正相关($P<0.01$);果实横径与总糖及果实硬度呈极显著负相关($P<0.001$);可滴定酸与维生素C含量呈极显著负相关($P<0.01$)。这表明可能通过调控糖类、有机酸合成及着色物质含量,进而影响果实品质^[37]。因此,梨果实品质的评价应多维度综合考量,鉴于指标间的交叉关联,构建基于关键指标的综合评价体系^[38]。本研究通过主成分分析提取出涵盖色度、果形大小、口感及营养物质等方面的8个主成分,累计贡献率达94.74%。综合得分反映授粉品种对果实品质的整体影响,得分最高的5个授粉品种依次为‘绿梨’、‘阿克苏句句梨’、自交、‘鸭梨’、自然授粉及‘砀山酥梨’。

本研究系统揭示了授粉品种对‘库尔勒香梨’果实品质的显著影响,进一步证实了花粉直感效应在梨果实性状形成中的关键作用,为‘库尔勒香梨’授粉品种的合理选配提供了科学依据。未来研究将聚焦于花粉直感效应的分子机制,结合多组学联合分析方法,深入探讨授粉品种与母本间的互作关系。这不仅丰富了梨树生殖生物学理论,也为筛选具强烈花粉直感效应的优良亲本提供支持,促进杂交育种及砧木品种优化,推动优质新品种的培育进程。

3.2 结论

本研究表明,授粉品种显著影响‘库尔勒香梨’的单果重、果形大小、果皮色泽及可溶性固形物等关键品质指标,采用‘绿梨’作为授粉品种时,花粉亲和性较好,所获果实品质较好,明显提升了‘库尔勒香梨’商品价值和口感体验。基于上述结果,建议在‘库尔勒香梨’的生产实践中优先选用‘绿梨’

作为授粉树,以促进果实品质的提升和产量的稳定。

参考文献 References

- [1] 郭慧静,周樱子,程少波,翟顺杰,杨慧.新疆库尔勒香梨产业发展现状及前景展望[J].北方园艺,2025(4):130-136
Guo H J, Zhou Y Z, Cheng S B, Zhai S J, Yang H. Development status and prospect of Korla fragrant pear industry in Xinjiang [J]. *Northern Horticulture*, 2025(4): 130-136 (in Chinese)
- [2] Cai Y P, Li G Q, Nie J Q, Lin Y, Nie F, Zhang J Y, Xu Y L. Study of the structure and biosynthetic pathway of lignin in stone cells of pear[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 125(3): 374-379
- [3] 王春峰,张峰,程嘉宝,关晓媛,秦飞.库尔勒香梨产业发展现状、存在问题与对策建议[J].果树资源学报,2024,5(5):88-91
Wang C F, Zhang F, Cheng J B, Guan X Y, Qin F. Current status, main problems and the suggestions on development of Korla fragrant pear[J]. *Journal of Fruit Resources*, 2024, 5(5): 88-91 (in Chinese)
- [4] 杜润清.若干新疆梨品种开花生物学特性及与库尔勒香梨授粉亲和性研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2018
Du R Q. Study on flowering biological characteristics of several Xinjiang pear varieties and pollination compatibility with Korla fragrant pear[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [5] 刘珠琴,鲍特,郑云斑.不同授粉品种对“翠冠”梨果实品质的影响[J].北方园艺,2015(22):37-39
Liu Z Q, Bao T, Zheng Y T. Effect of different pollination varieties on quality of ‘Cuiguan’ Pear fruit[J]. *Northern Horticulture*, 2015(22): 37-39 (in Chinese)
- [6] 曼苏尔·那斯尔,杜润清,陈湘颖,周伟权,牛莹莹,阿布来克·尼牙孜,廖康.新疆梨品种与‘库尔勒香梨’授粉亲和性及花粉直感[J].果树学报,2019,36(4):447-457
Mansur·Nasir, Du R Q, Chen X Y, Zhou W Q, Niu Y Y, Ablah·Niyaz, Liao K. Pollination compatibility and pollen Xenia of Xinjiang pear cultivars with ‘Kuerlexiangli’ pear[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(4): 447-457 (in Chinese)
- [7] 周晓明,陈慧,费艳,刘志超,於菁洁.不同授粉品种对翠冠梨果实品质的影响[J].现代园艺,2016,39(1):12-14
Zhou X M, Chen H, Fei Y, Liu Z C, Yu J J. Effects of different pollinated varieties on fruit quality of Cuiguan pear[J]. *Xiandai Horticulture*, 2016, 39(1): 12-14 (in Chinese)
- [8] 郑浩,陈至婷,张琼,史梦琪,徐凯.不同授粉品种对“初夏绿”梨果实品质的影响[J].中国南方果树,2019,48(2):102-105,109
Zheng H, Chen Z T, Zhang C, Shi M Q, Xu K. Effects of different pollination varieties on fruit quality of “early summer green” pear[J]. *South China Fruits*, 2019, 48(2): 102-105, 109 (in Chinese)
- [9] 徐丽珊,李政红,刘盼,解静雯,黄祎然,许建锋,王芳芳,赵书岗.授粉品种对玉露香梨果实品质的影响[J].果树学报,2025,42(12):2841-2853
Xu L S, Li Z H, Liu P, Xie J W, Huang Y R, Xu J F, Wang F F, Zhao S G. Effects of pollination cultivars on fruit quality of yuluxiang pear[J]. *Journal of Fruit Science*, 2025, 42(12): 2841-2853 (in Chinese)
- [10] 李皓,李湘钰,吴翠云,蒲小秋,马全会,闫芬芬.花粉直感对‘新梨7号’果实品质的影响[J/OL].西北农林科技大学学报:自然科学版,2025:1-12[2025-07-18].<https://link.cnki.net/doi/10.13207/j.jnwafu.2026.01.005>
Li H, Li X Y, Wu C Y, Pu X Q, Ma Q H, Yan F F. Effect of pollen xenia

- on fruit quality of 'Xinli 7' [J/OL]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2025; 1-12 [2025-07-18]. <https://link.cnki.net/doi/10.13207/j.jnwafu.2026.01.005> (in Chinese)
- [11] 徐祥增, 邓乐晔, 张小娇, 张彩虹, 万子龙, 高世德. 不同品种授粉对东试早柚果实贮藏品质的影响[J/OL]. 中国南方果树, 2025; 1-15 [2025-06-27]. <https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431.2025001>
- Xu X Z, Deng L Y, Zhang X J, Zhang C H, Wan Z L, Gao S D. Effects of different varieties pollination on storage quality of Dongshizaoyou pomelo fruit [J/OL]. *Fruit Trees in Southern China*, 2025; 1-15 [2025-06-27]. <https://link.cnki.net/doi/10.13938/j.issn.1007-1431.20250015> (in Chinese)
- [12] 毕光林, 胡玲, 陈林杨, 杨永智, 李春, 李永慧, 丰国蕊, 李万云, 赵东兴. 异花授粉对青皮红心柚坐果率、果实生长发育及品质的影响[J/OL]. 果树学报, 2025; 1-15 [2025-07-29]. <https://link.cnki.net/doi/10.13925/j.cnki.gsx.20250043>
- Bi G L, Hu L, Chen L Y, Yang Y Z, Li C, Li Y H, Feng G R, Li W Y, Zhao D X. Effect of cross-pollination on fruit setting rate, growth and quality of pomelo with red flesh and green peel[J/OL]. *Journal of Fruit Science*, 2025; 1-15 [2025-07-29]. <https://link.cnki.net/doi/10.13925/j.cnki.gsx.20250043> (in Chinese)
- [13] 徐祥增, 邓乐晔, 张小娇, 王勇方, 高世德. 柚和葡萄柚花粉直感对东试早柚果实生长及品质的影响[J]. 果树学报, 2024, 41(4): 665-678
- Xu X Z, Deng Y Y, Zhang X J, Wang Y F, Gao S D. Effects of grapefruit and pummelo pollens on fruit growth and quality of Dongshizao pummelo[J]. *Journal of Fruit Science*, 2024, 41(4): 665-678 (in Chinese)
- [14] 张武杰, 高洪娜, 汤佳翰, 张帅, 张巍, 刘春光. 花粉直感对黑醋醋栗果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2025(16): 69-78
- Zhang W J, Gao H N, Tang J H, Zhang S, Zhang W, Liu C G. Effects of pollen perception on fruit quality of blackcurrant[J]. *Northern Horticulture*, 2025(16): 69-78 (in Chinese)
- [15] 谢云艳, 孙妍, 王亦航, 赵伊, 张垠, 何佳林. 授粉品种配置对板栗结实性状与品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2025, 40(4): 29-36
- Xie Y Y, Sun Y, Wang Y H, Zhao Y, Zhang Y, He J L. Effect of pollination variety configuration on fruit set traits and quality of Chinese chestnut[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2025, 40(4): 29-36 (in Chinese)
- [16] 章理运, 申明海, 余开慧, 龙达, 周宁宁, 周传涛, 张辉, 高畅, 周亚运. 薄壳山核桃不同品种授粉对‘波尼’坐果及果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2025, 43(1): 161-171
- Zhang L Y, Shen M H, Yu K H, Long D, Zhou N N, Zhou C T, Zhang H, Gao C, Zhou Y Y. Effects of different pollination varieties of *Carya illinoensis* on fruit setting and fruit quality of 'Pawnee'[J]. *Non-wood Forest Research*, 2025, 43(1): 161-171 (in Chinese)
- [17] 葛彤, 齐开杰, 谢智华, 岳冬, 王亚茹, 王鹏, 毛海艳, 张岩, 张绍铃, 吴巨友. 不同梨品种花粉量与活力差异的研究[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(6): 142-149
- Ge T, Qi K J, Xie Z H, Yue D, Wang Y R, Wang P, Mao H Y, Zhang Y, Zhang S L, Wu J Y. Study on differences of pollen quantity and pollen viability of pear varieties[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2024, 52(6): 142-149 (in Chinese)
- [18] 张果, 王世尧, 杨书才, 蒋拴丽, 王瑞华, 赵玉安, 冯建, 杨录军, 王俊. 蝴蝶兰‘大辣椒’花粉活力及柱头可授性探究[J]. 陕西农业科学, 2024, 70(4): 8-10, 16
- Zhang G, Wang S Y, Yang S C, Jiang S L, Wang R H, Zhao Y A, Feng J, Yang L J, Wang J. Pollen viability and stigma receptivity of *Phalaenopsis* 'big chili'[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 70(4): 8-10, 16 (in Chinese)
- [19] 李萧婷. 部分新疆梨品种开花生物学特性及对‘库尔勒香梨’授粉的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022
- Li X T. Biological characteristics of flowering of some Xinjiang pear varieties and their effects on pollination of 'Korla Fragrant Pear'[D]. Ala'er: Tarim University, 2022 (in Chinese)
- [20] GB/T 12456—2021. 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021
- GB/T 12456—2021. Determination of total acid in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021 (in Chinese)
- [21] NY/T 2332—2013. 红参中总糖含量的测定 分光光度法: [S]. 北京: 中国农业出版社, 2013
- NY/T 2332—2013. Determination of total sugars in red ginseng: Spectrophotometry[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013 (in Chinese)
- [22] 徐朝阳. 2,6-二氯酚靛酚滴定法与碘量法测定蔬菜水果中维生素C方法的准确度比较[J]. 食品安全导刊, 2021(25): 100-101
- Xu Z Y. Comparison of the accuracy of 2, 6-dichlorophenol indophenol titration method and iodometric method for the determination of vitamin C in vegetables and fruits[J]. *Food safety guide*, 2021(25): 100-101 (in Chinese)
- [23] Zhang X H, Yuan D Y, Zou F, Fan X M, Tang J, Zhu Z J. A study on the *Xenia* effect in *Castanea henryi*[J]. *Horticultural Plant Journal*, 2016, 2(6): 301-308
- [24] 鲁晓峰, 孙海龙, 刘硕, 张玉萍, 周宗山. 花粉直感对李果实香气成分的影响[J]. 经济林研究, 2024, 42(4): 87-98
- Lu X F, Sun H L, Liu S, Zhang Y P, Zhou Z S. Effect of metaxenia on the aromatic components of plum[J]. *Nonwood Forest Research*, 2024, 42(4): 87-98 (in Chinese)
- [25] 王宝侠, 韩永增, 包教民, 辛亚坤, 刘中奇, 李志军. 授粉品种对‘塞外红’苹果果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2023, 41(4): 22-30, 39
- Wang B X, Han Y Z, Bao A M, Xin Y K, Liu Z Q, Li Z J. Effects of fruit quality of 'Saiwaihong' apple fruit pollinated with different pollination cultivars[J]. *Nonwood Forest Research*, 2023, 41(4): 22-30, 39 (in Chinese)
- [26] 洪俊彦, 黄仁, 黄春颖, 王建华, 徐一帆, 李佩佩, 胡渊渊, 黄坚钦, 李岩. 植物花粉直感的研究进展及展望[J]. 植物生理学报, 2020, 56(2): 151-162
- Hong J Y, Huang R, Huang C Y, Wang J H, Xu Y F, Li P P, Hu Y Y, Huang J Q, Li Y. Research progress and prospects of *Xenia*[J]. *Plant Physiology Journal*, 2020, 56(2): 151-162 (in Chinese)
- [27] Zhao L J, Hu W, Liu Y, Liu D C, Kuang L Q, Song J, Xiong Z H, Liao X J, Wu X, Yang L. Decoding *Xenia* effects on 'Jinsha' pomelo: Insights from physiological, transcriptomics and metabolomics analyses [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2025, 222: 109654
- [28] 杨晓平, 胡红菊, 田瑞, 陈启亮, 张靖国. 23个砂梨栽培品种的花粉量与花粉生活力测定[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2012, 9(1): 8-10, 34, 4
- Yang X P, Hu H J, Tian R, Chen Q L, Zhang J G. Determination on quantity and pollen viability of 23 pear cultivars[J]. *Journal of Yangtze University: Natural Science Edition*, 2012, 9(1): 8-10, 34, 4 (in Chinese)
- [29] 吴硕, 魏薇, 贾彦丽, 智福军. 76个枣品种花粉特性的研究[J]. 河北果树, 2021(1): 7-9
- Wu S, Wei W, Jia Y L, Zhi F J. Studies on pollen characteristics of seventy-six jujube varieties[J]. *Hebei Fruits*, 2021(1): 7-9 (in Chinese)
- [30] 辛董董, 朱自果, 候行行, 连艳会, 闫丹丹, 张洋, 李桂荣. 不同葡萄品种花粉生活力、花粉量及柱头可授性的测定[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 113-116
- Xin D D, Zhu Z G, Hou X X, Lian Y H, Yan D D, Zhang Y, Li G R. Determination of pollen viability, pollen quantity, and stigma receptivity for different grape cultivars[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(4): 113-116 (in Chinese)
- [31] 王燕, 赵鑫鑫, 张志晓, 妙思雨, 张婷, 骆建霞. 六个苹果品种花粉生活力研究[J]. 北方园艺, 2016(13): 17-21
- Wang Y, Zhao X X, Zhang Z X, Miao S Y, Zhang T, Luo J X. Study on

- pollen viability of six apple cultivars[J]. *Northern Horticulture*, 2016(13): 17-21 (in Chinese)
- [32] 叶正文, 杜纪红, 苏明申, 李六林, 张绍铃. 桃92个品种的花粉量及其萌发特性的差异[J]. 园艺学报, 2010, 37(4): 525-531
- Ye Z W, Du J H, Su M S, Li L L, Zhang S L. Cluster analysis for the quantity and germinating characteristics of the pollens from 92 peach cultivars [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(4): 525-531 (in Chinese)
- [33] Liu W J, Zhang Y, Wang L, Ahmad B, Shi X X, Ren Y, Liang C, Zhang X K, Zhang Y X, Du G Q. Integrated transcriptome and metabolome analysis unveiled the mechanisms of *Xenia* effect and the role of different pollens on aroma formation in 'Yali' pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2023, 307: 111503
- [34] 郑云珽, 斯金辉, 刘珠琴. 不同授粉品种对清香梨果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 253-255
- Zheng Y T, Si J H, Liu Z Q. Effects of different pollinated varieties on fruit quality of Qingxiang pear[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(5): 253-255 (in Chinese)
- [35] 刘婉君, 张莹, 张玉星, 杜国强. 18个品种授粉'鸭梨'果实品质和香气成分分析与评价[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 294-302
- Liu W J, Zhang Y, Zhang Y X, Du G Q. Analysis and evaluation of fruit quality and aroma components of 'yali' pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd) pollinated with eighteen pollinizers[J]. *Food Science*, 2022, 43(2): 294-302 (in Chinese)
- [36] 程嘉宝, 薛大虎, 张峰, 王言君, 王春峰, 李养义, 何天明. 基于花序坐果数和果实直感筛选库尔勒香梨适宜的授粉品种[J]. 西北农业学报, 2024, 33(5): 872-881
- Cheng J B, Xue D H, Zhang F, Wang Y J, Wang C F, Li Y Y, He T M. Screening of suitable pollination varieties for 'Korla fragrant pear' based on fruit-setting inflorescence and metaxenia[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2024, 33(5): 872-881 (in Chinese)
- [37] Komatsu A, Moriguchi T, Koyama K, Omura M, Akihama T. Analysis of sucrose synthase genes in Citrus suggests different roles and phylogenetic relationships[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(366): 61-71
- [38] 赵双, 尤伟忠, 黄颖宏, 郑红丽. 基于主成分分析综合评价23个白沙枇杷品种果实品质[J]. 中国南方果树, 2023, 52(6): 114-118
- Zhao S, You W Z, Huang Y H, Qie H L. Comprehensive evaluation of fruit quality of 23 white flesh loquats based on principal component analysis[J]. *South China Fruits*, 2023, 52(6): 114-118 (in Chinese)

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 马新院, 新疆农业大学园艺学院园艺专业硕士研究生。曾参与自治区高校基本科研业务费项目及香梨重要病虫害的监测预警与绿色防控技术研究, 获新疆农业大学2024—2025年学校学业奖学金。



通讯作者简介: 牛莹莹, 博士, 新疆农业大学园艺学院讲师, 硕士生导师, 在站博士后。主要研究方向为果树种质资源、果树栽培与生理。主持自治区重大科技专项子课题1项、自治区高校基本科研业务费科研项目1项, 参与厅局级以上项目6项, 其中国家重点研发计划项目1项、自治区重大科技专项子课题1项、自治区重点研发专项——厅厅联动、厅地联动农业农村领域项目横向课题1项。以第一作者及通讯作者身份发表论文18篇(其中SCI论文3篇); 参与制定技术规程2项, 审定林木良种1项。