果 树 学 报 2025,42(12):2841-2853
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250040

授粉品种对玉露香梨果实品质的影响

徐丽珊[1],李政红[2],刘 盼[1],解静雯[1],黄祎然[1],许建锋[2],王芳芳[3*],赵书岗[1*]

([1]河北农业大学生命科学学院,河北保定 071000;[2]河北农业大学园艺学院,河北保定 071000;[3]衡水学院,河北衡水 053000)

摘 要:【目的】探究授粉品种对玉露香梨果实品质的影响,筛选出玉露香梨适宜授粉品种。**【方法】**以8年生玉露香梨为试材,研究7个授粉品种对玉露香梨果实内在品质、外观品质及挥发性物质的影响,对品质指标数据进行相关性分析,利用主成分分析方法进行综合评价。**【结果】**不同授粉处理对玉露香梨的果实品质存在影响,雪青授粉的果实纵径及单果质量最大,分别为80.80 mm和315.87 g;黄冠授粉处理果实木质素和石细胞含量(*w*,后同)最高,分别为1.80%和8.37%,雪青授粉处理的最低,分别为1.54%和4.17%;雪青授粉处理果实红度值*a**和黄度值*b**最高,果皮着色度优于其他处理;不同授粉处理果实花青苷含量存在显著差异,雪青授粉处理花青苷含量最高,为0.08 mg·kg^{-1},显著高于其他授粉处理。不同授粉处理的果实中共检测出23种挥发性物质,组分和含量均存在显著差异,酥梨授粉处理挥发性物质种类最多为14种,雪青授粉处理挥发性物质含量最高,为3 420.48 ng·g^{-1}。相关性分析表明,可溶性固形物含量与果皮色泽指标*a**和*b**值均呈显著正相关,固酸比、淀粉含量与挥发性物质酯类及烃类含量呈显著负相关。通过对各个品质指标进行比较并结合主成分分析可知,雪青授粉处理综合评价得分最高,其次是面梨授粉处理。**【结论】**综合评价表明,雪青适宜作为玉露香梨的授粉树。

关键词:梨;授粉;果实品质;主成分分析

中图分类号:S661.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2025)12-2841-13

Effects of pollination cultivars on fruit quality of Yuluxiang pear

XU Lishan[1], LI Zhenghong[2], LIU Pan[1], XIE Jingwen[1], HUANG Yiran[1], XU Jianfeng[2], WANG Fangfang[3*], ZHAO Shugang[1*]

([1]College of Life Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China; [2]College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China; [3]Hengshui University, Hengshui 053000, Hebei, China)

Abstract:【Objective】The study aimed to investigate the effects of different pollination cultivars on the fruit quality of Yuluxiang pear (*Pyrus bretschneideri* Rehder) and identify suitable pollinizers for cultivation.【Methods】Eight years old Yuluxiang pear trees were used as test materials, the impacts of seven pollination cultivars on internal quality, external quality, and volatile compounds of the fruits were studied. Correlation analysis was performed on the measured indices, and principal component analysis (PCA) was applied for comprehensive evaluation.【Results】Different pollination cultivars had impact on the external fruit quality of Yuluxiang pear. Among them, fruits pollinated with Xueqing had the largest fruit length and single fruit weight, measuring 80.80 mm and 315.87 g, respectively. Although different pollination combinations affected the sugar-acid content of Yuluxiang fruits, they did not influence the solid-acid ratio. Different pollination cultivars also had a significant impact on the stone cell and lignin content of Yuluxiang fruits. Among these, the fruits resuited from pollination with Huangguan had the highest lignin and stone cell content, 1.80% and 8.37%, respectively, while those from pollination with Xueqing had the lowest content, 1.54% and 4.17%, respectively. The fruits from pollination with Xueqing had the highest *a** redness and *b** yellowness values, showing a higher degree

收稿日期:2025-02-05 **接受日期:**2025-06-22

基金项目:河北省现代农业产业技术体系建设专项(HBCT2024170203);新疆维吾尔自治区重点研发计划(2023B02019-2)

作者简介:徐丽珊,女,在读硕士研究生,研究方向为植物资源利用与活性物质开发。E-mail:1766104280@qq.com

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:hsxy_ff01@163.com;E-mail:zshug@hebau.edu.cn

of coloration compared with the fruits from other pollination cultivars. The fruits from pollination with Suli had lower values than those from other pollinater. The Yuluxiang fruits pollinated with Xueqing and Suli had higher fruit hue angle ($h°$) values (186.79 and 185.54, respectively), while thoae pollinated with Dunzili had the lowest value (176.62). The anthocyanin content of Yuluxiang pear fruits pollinated with Xueqing was highest (0.08 mg · kg^{-1}), while thoase pollinated with Huangguan, Yali, and Dunzili had lower values (0.059 mg · kg^{-1}, 0.061 mg · kg^{-1}, and 0.060 7 mg · kg$^{-1,}$ respectively). The vitamin C (VC) content of Yuluxiang pear fruits pollinated with Xueqing and Mianli was higher (0.32 mg · kg^{-1} and 0.29 mg · kg^{-1}), significantly higher than that of other pollination treatments. A total of 23 volatile substances were detected in the fruits of Yuluxiang pear pollinated with 7 different cultivars, among them the main volatile substances in Yuluxiang pear fruit were hexanal and m-xylene. Principal component analysis (PCA) was used to comprehensively evaluate 25 physiological indicators. The correlation analysis results showed that the longitudinal diameter, transverse diameter, and single fruit weight were significantly and positively correlated with each other. Soluble solids showed a strong positive correlation with the color indices a^* and b^*. Lignin content was highly significantly positively correlated with stone cell content. The ratio of solid acids and starch content showed a significant negative correlation with the ester and olefin volatile substances. Through principal component analysis, 5 principal components were extracted from the 25 quality indicators of the fruits pollinated with 7 pollination cultivars, with a cumulative variance contribution rate of 97.18%.【Conclusion】Through correlation analysis and principal component analysis, the core indicators for evaluating the fruit quality of Yuluxiang pear were selected, including fruit length and diameter, stone cells, lignin, color indicators, starch, and volatile compounds such as ketones and hydrocarbons. Xueqing could be used as the most suitable pollination variety for Yuluxiang pear in Hebei Province dut to beneficial effect on fruits.

Key words: Pear; Pollination; Fruit quality; Principal component analysis

玉露香梨是由山西省果树研究所杂交培育的中晚熟优质梨，具有果个大、皮薄肉脆、甘甜可口等特点，受到广大果农及群众的喜爱。近几年，玉露香梨在河北省及周边地区发展较快，种植面积也在不断增加。在生产过程中，部分地区的玉露香梨因授粉品种混杂，造成品质下降，出现果肉粗糙、含糖量下降、果形不正、果面不平整等问题，成为玉露香梨产业健康发展的瓶颈。

梨为典型的自交不亲和树种，生产中需配置授粉树。然而，授粉品种选择不当，可能导致果实品质下降，从而降低其商品价值，影响市场认可度。花粉直感指父本花粉携带的遗传信息通过受精作用直接作用于母本胚乳或果实组织，导致子代性状呈现父本特征的现象[1-2]。已有研究表明，花粉直感效应影响果实大小[3]、形状[4]、颜色[5]、熟期[6]、内含物[7-9]等性状。研究不同品种授粉对玉露香梨果实品质的影响，不仅可以筛选适宜的授粉品种，也可以明确花粉直感效应对玉露香梨果实内外品质的影响，为改善果实品质提供依据，对指导玉露香梨生产具有重要的理论及实践意义。

1 材料和方法

1.1 试验材料

本试验于2023年在河北省保定市蠡县诺尔康农业科技有限公司进行。试验园地处孝义河故道，地势平坦，壤砂土，温带大陆性气候，玉露香梨树龄9 a（年），圆柱树形，砧木为杜梨，株行距1 m×4 m，常规管理，生长结果良好。

1.2 试验方法

1.2.1 *花粉采集与人工授粉* 选用7个常见品种作为授粉品种，包括雪青、雪花梨、黄冠、鸭梨、酥梨、面梨和砘子梨。于气球期采集花蕾，剥取花药，置于硫酸纸盒，25 ℃自然散粉。将花粉转移至密封玻璃瓶保存（加适量硅胶防潮），−20 ℃下保存备用[10]。采用随机区组设计，选取长势均一、健康良好的植株，每区组5株，3次重复，7个授粉处理共105株。玉露香梨初花期，选取中上部花序，留1~2朵边花，人工点授花粉，随后套硫酸纸袋，挂牌标记，14 d后摘袋。

1.2.2　果实品质测定　于果实采收期，从树体不同方位，各处理分别选取50个果实进行果实品质测定。使用电子天平测量单果质量；使用游标卡尺测量果实纵横径（计算果形指数）；使用GY-4硬度计测定硬度；使用PAL-1型数字测糖仪测定可溶性固形物含量；采用酸碱滴定法测定可滴定酸含量[11]；采用蒽酮法测定可溶性糖含量；采用斐林试剂法测定淀粉含量[12]；采用2,6-二氯靛酚滴定法测定维生素C含量[13]；采用冷冻法测定石细胞含量；采用间苯三酚-HCl法对石细胞团进行染色[14]；采用比色法测定花青苷含量[15]；采用溴乙酰-冰乙酸法测定木质素含量[16]；使用色差仪（CM-700D，Konica Minolta，日本）测定果皮色度值L^*、a^*、b^*和$h°$，将每个果实的赤道面等距分配8个不同点位，以测定果皮色差值。

1.2.3　挥发性物质含量测定　采用气相色谱-质谱联用技术（Agilent7890B-7000C）和顶空-固相微萃取（HS-SPME）测定果实挥发性物质组成。果肉挥发性物质提取方法：称取1 g胴部果肉，冷冻研磨至精细粉末，转移至15 mL样品瓶。加入NaCl饱和溶液1 mL，内标溶液浓度（ρ，后同）为0.04 g·L^{-1}的3-壬酮（色谱级）10 μL以及磁力搅拌转子，橡胶隔片密封。

色谱条件：运行气体为氦气，纯度大于99.999%。使用HP-5MS色谱柱，设定初始温度为40 ℃，设定时间2 min。随后，升温至140 ℃时，恒温维持2 min。再设定为每分钟升温10 ℃的升温速率，升温至250 ℃，恒温维持2 min。扫描范围为35~500 amu。

定性与定量：将不同样品测定化合物与美国国家标准技术研究所质谱库中的化合物进行比对，当匹配度大于80时，对化合物进行保留，并结合保留指数（retention index，RI）进行对比定性，采用内标法进行定量计算。挥发性物质含量（μg·kg^{-1}）=各挥发性物质的峰面积/内标的峰面积×内标浓度（g·L^{-1}）×内标体积×1000/样品量（g）。

1.2.4　数据处理　利用Excel 2020软件对试验数据进行统计，采用SPSS26.0数据分析软件进行差异显著性分析、相关性分析和主成分分析。

2　结果与分析

2.1　不同品种授粉对玉露香梨外观品质的影响

不同品种授粉可显著影响玉露香梨果实外观品质（表1）。雪青授粉处理果实纵径最大，显著高于其他授粉组合，而鸭梨和砘子梨授粉处理果实纵径显著小于其他授粉组合；鸭梨授粉处理果实横径显著小于其他授粉组合，其余授粉处理间无显著差异。不同品种授粉后，玉露香梨果形指数在0.94~1.04之间，其中雪花梨和黄冠授粉后果形指数较大，分别为1.04和1.01，鸭梨授粉后果形指数最小为0.94。砘子梨授粉的果实硬度最大，为6.00 kg·cm^{-2}，鸭梨授粉的果实硬度最小，为5.58 kg·cm^{-2}。不同授粉处理果核直径存在显著差异，雪青授粉后果核直径显著高于其他处理，为31.05 mm，而面梨授粉处理则果核直径最小，为22.87 mm。各授粉处理单果质量依次为雪青＞面梨＞雪花梨＞黄冠＞酥梨＞砘子梨＞鸭梨，雪青授粉处理单果质量最大，为315.87 g，鸭梨授粉处理单果质量最小，为220.64 g。以上结果表明，不同授粉品种对玉露香梨果实大小及果核直径有一定影响。

2.2　不同品种授粉对玉露香梨内在品质的影响

不同品种授粉对玉露香梨糖酸及淀粉含量存在

表1　不同品种授粉对玉露香梨外观品质的影响

Table 1　Effect of pollination by different cultivars on the appearance quality of Yuluxiang pear

授粉品种 Pollinated cultivars	纵径 Longitudinal diameter/mm	横径 Horizontal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index	硬度 Hardness/（kg·cm^{-2}）	果核直径 Core diameter/mm	单果质量 Single fruit mass/g
雪青 Xueqing	80.80±5.48 a	83.81±6.10 a	0.95±0.07 cd	5.88±0.53 ab	31.05±2.05 a	315.87±49.29 a
雪花梨 Xuehuali	78.10±5.33 b	78.10±5.98 a	1.04±0.07 a	5.99±0.55 a	27.02±1.93 bc	264.47±58.28 bc
黄冠 Huangguan	78.53±2.73 b	78.20±5.74 a	1.01±0.08 ab	5.73±0.27 abc	28.47±2.72 b	264.43±52.97 bc
鸭梨 Yali	70.98±4.38 c	74.14±6.69 b	0.94±0.05 d	5.58±0.44 c	27.59±2.51 b	220.64±53.73 d
酥梨 Suli	77.18±3.53 b	78.33±5.43 a	0.99±0.07 abcd	5.61±0.35 bc	25.49±3.27 c	256.38±65.69 bc
面梨 Mianli	78.86±2.87 b	79.80±5.24 a	0.99±0.05 abc	5.91±0.29 a	22.87±2.18 d	289.83±38.34 ab
砘子梨 Dunzili	72.19±4.47 c	74.45±6.37 a	0.96±0.07 bcd	6.00±0.45 a	27.19±1.46 bc	235.86±61.01 cd

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著（P＜0.05）。下同。

Note：Different small letters after the same column of data indicate significant differences (P＜0.05). The same below.

显著影响（表2），各处理果实可溶性固形物含量为11.81%~13.11%，其中，雪青授粉处理最高，为13.11%，黄冠和酥梨处理较低，分别为11.83%和11.81%。雪青、鸭梨和雪花梨授粉处理可溶性糖含量较高，分别为8.20%、7.93%和7.78%，面梨和黄冠授粉处理可溶性糖含量较低，分别为7.07%和7.24%。黄冠授粉处理可滴定酸含量最低，为1.45%，其余授粉处理可滴定酸含量无显著差异。不同授粉处理对玉露香梨固酸比无显著影响。面梨授粉处理淀粉含量显著高于其他处理，为0.24%，其他授粉处理淀粉含量无显著差异。不同品种授粉处理玉露香梨果实维生素C含量存在显著差异，雪青和面梨授粉处理维生素C含量显著高于其他处理，分别为0.30 mg·kg^{-1}和0.29 mg·kg^{-1}，其次是酥梨授粉处理0.26 mg·kg^{-1}，黄冠授粉处理维生素C含量最低。

表2 不同品种授粉对玉露香梨内在品质的影响

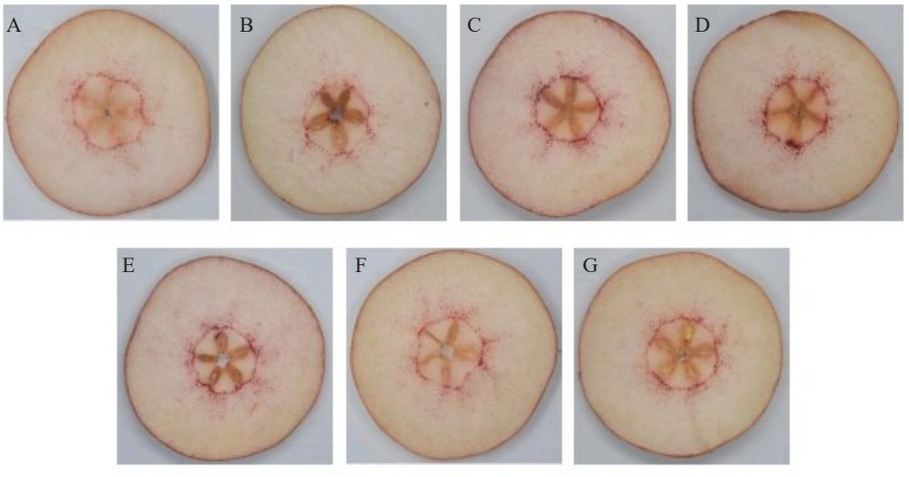
Table 2 Effect of pollination of different cultivars on inner quality of Yuluxiang pear

授粉品种 Pollinated cultivars	*w*（可溶性固形物） Total soluble solid content/%	*w*（可溶性糖） Soluble sugar content/%	*w*（可滴定酸） Titratable acid content/%	固酸比 Solid-acid ratio	*w*（淀粉） Starch content/%	*w*（维生素C） Vitamin C content/（mg·kg^{-1}）
雪青 Xueqing	13.11±0.75 a	8.20±0.20 a	1.70±0.14 a	1.31±0.13 a	0.14±0.02 b	0.30±0.003 a
雪花梨 Xuehuali	12.11±1.06 bc	7.78±0.21 ab	1.60±0.11 ab	1.35±0.19 a	0.13±0.02 b	0.22±0.005 d
黄冠 Huangguan	11.83±1.63 c	7.24±0.26 cd	1.45±0.12 b	1.26±0.30 a	0.13±0.02 b	0.12±0.004 e
鸭梨 Yali	12.39±0.85 abc	7.93±0.12 ab	1.56±0.16 ab	1.27±0.21 a	0.16±0.06 b	0.23±0.005 d
酥梨 Suli	11.81±0.96 c	7.59±0.36 bc	1.64±0.26 a	1.41±0.24 a	0.12±0.04 b	0.26±0.003 b
面梨 Mianli	12.77±1.36 ab	7.07±0.25 d	1.71±0.31 a	1.39±0.36 a	0.24±0.13 a	0.29±0.005 a
砘子梨 Dunzili	12.44±1.23 abc	7.63±0.29 bc	1.56±0.23 ab	1.27±0.29 a	0.14±0.03 b	0.24±0.002 c

2.3 不同品种授粉对玉露香梨木质素和石细胞含量的影响

经过间苯三酚处理后，石细胞团呈现出紫红色，这些细胞团主要存在于果皮及果核部分（图1）。不同授粉处理的玉露香梨果肉石细胞团染色深浅存在差异，雪青和雪花梨授粉处理石细胞团着色较浅（图1-A~B），黄冠和鸭梨授粉处理石细胞团着色较深（图1-C~D），其余品种授粉处理石细胞团着色程度处于两组之间。

如图2所示，不同授粉处理玉露香梨木质素和石细胞含量存在显著差异，7个授粉处理木质素含量范围在1.54%~1.80%之间，黄冠授粉处理果实木质素含量显著高于其他授粉品种，鸭梨次之，雪青最低。不同授粉处理石细胞含量与木质素含量趋势一致，果实石细胞含量范围在4.17%~8.37%之间，其中



A. 玉露香×雪青；B. 玉露香×雪花梨；C. 玉露香×黄冠；D. 玉露香×鸭梨；E. 玉露香×酥梨；F. 玉露香×面梨；G. 玉露香×砘子梨。

A. Yuluxiang×Xueqing; B. Yuluxiang×Xuehuali; C. Yuluxiang×Huangguan; D. Yuluxiang×Yali; E.Yuluxiang×Suli; F. Yuluxiang×Mianli; G.Yuluxiang×Dunzili.

图1 不同品种授粉对玉露香梨果实石细胞的影响

Fig. 1 Effect of cross-pollination between different cultivars on the stone cells of Yuluxiang pear

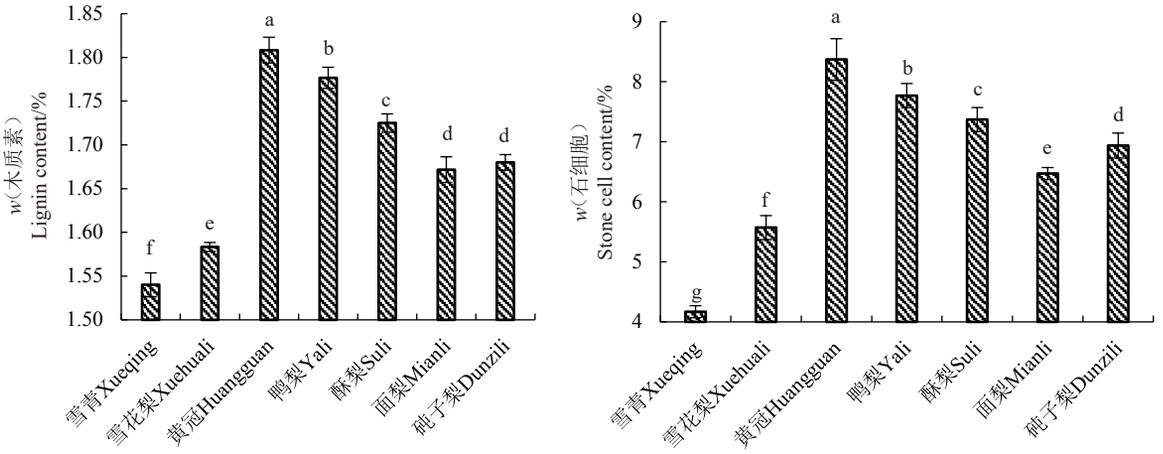


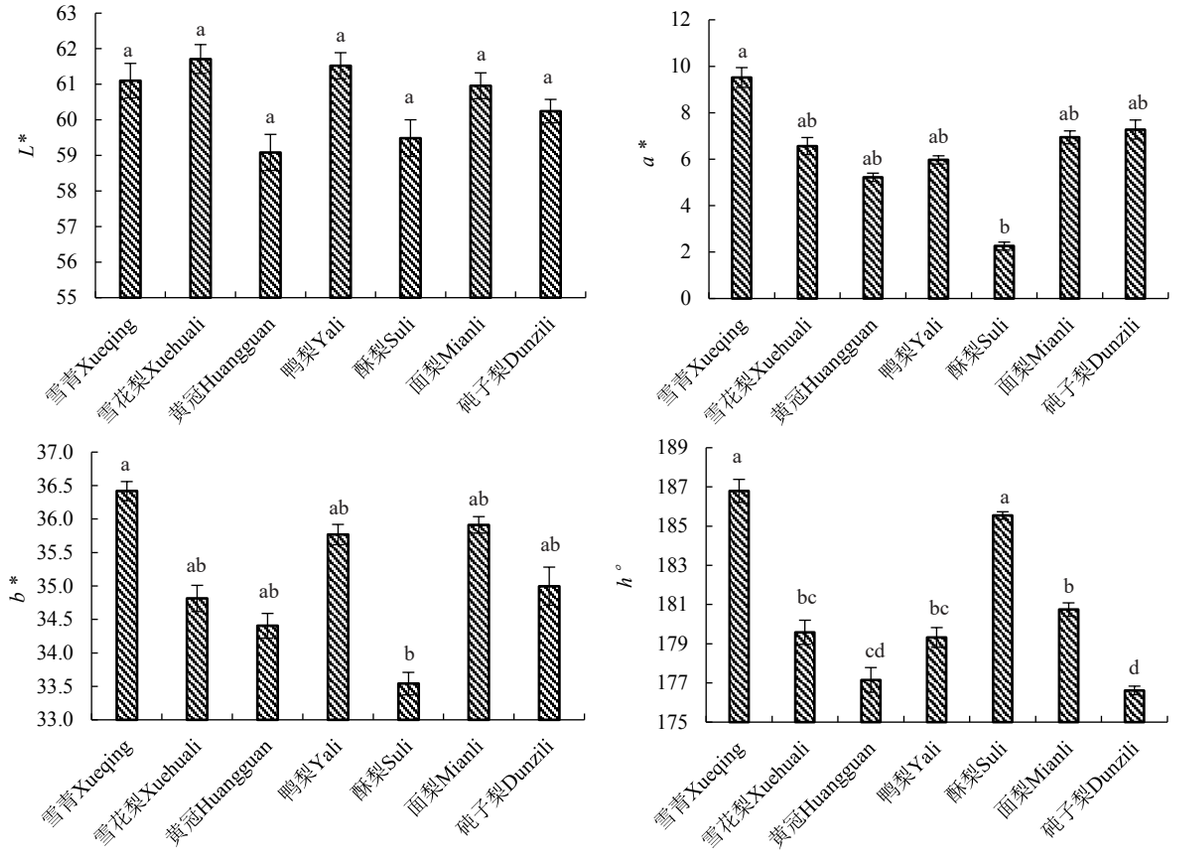
图 2　不同品种授粉对玉露香梨木质素和石细胞含量的影响

Fig. 2　Effects of pollination by different cultivars on lignin and stone cells of Yuluxiang pear

黄冠授粉处理石细胞含量显著高于其他授粉组合，雪青授粉处理石细胞含量最低，为4.17%。

2.4　不同品种授粉对玉露香梨色泽的影响

不同品种授粉影响玉露香梨果实色泽指数（图3），不同授粉处理玉露香梨的亮度值*L**差异不显著；但雪青授粉处理红度值*a**、黄度值*b**最高，果实



*L**值．亮度；*a**值．颜色的红绿；正值表示颜色趋红，负值表示颜色趋绿。*b**值．颜色的黄蓝；正值表示颜色趋黄，负值表示颜色趋蓝。*h*°值．色相描述。

*L** value. The brightness. *a** value. The red-green of the color; a positive value indicates that the color tends to be red, while a negative value indicates that the color tends to be green. *b** value. The yellow-blue of the color. Positive values indicate that the color tends to be yellow, while negative values indicate that the color tends to be blue. *h*° value. The description of the hue.

图 3　不同品种授粉对玉露香梨色泽指数的影响

Fig. 3　Effects of different pollination cultivars on color index of Yuluxiang pear

着色度优于其他授粉处理，酥梨授粉处理均低于其他授粉处理；不同授粉处理果实 $h°$ 值存在显著差异，说明果实的颜色整体存在一定差异。通过对果皮花青苷含量分析表明（图4），雪青授粉处理花青苷含量最高为0.08 mg·kg^{-1}，黄冠、鸭梨、砘子梨授粉处理较低，其他各处理居中。

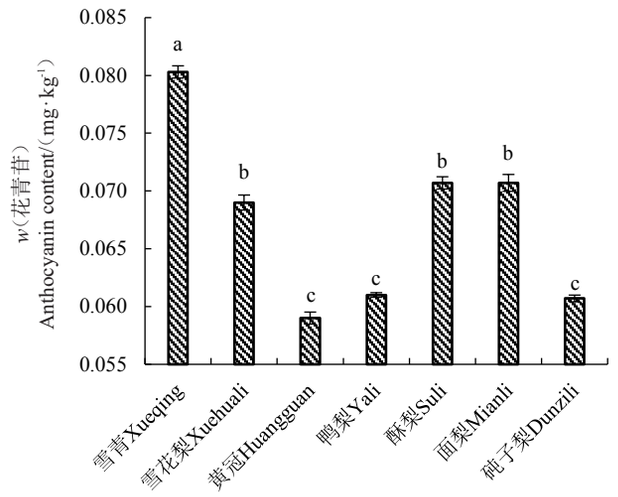


图4 不同品种授粉对玉露香梨花青苷含量的影响

Fig. 4 Effects of different pollination cultivars on anthocyanin content of Yuluxiang pear

2.5 不同品种授粉对玉露香梨果实挥发性物质成分的影响

7个授粉处理的梨果实共检测出挥发性物质23种（表3），包括醛类（2种）、醇类（2种）、酮类（1种）、酯类（3种）、烯烃类（10种）和其他类（5种）。不同授粉处理的果实挥发性物质种类差异较大，其中面梨和雪花梨授粉处理种类较少，分别为8种和9种，酥梨授粉种类最多为14种。

不同类型挥发性物质表现出不同的香型。醛类和醇类物质使果实呈清香味，酯类和烯烃类物质分别使果实呈果香味和花香味，对改善果实香味发挥重要作用。梨不同品种香气物质组成不同，则果实香味不同。试验结果表明，授粉品种的不同也改变了果实香气物质的组成，不同授粉处理果实挥发性物质种类和含量均存在差异，其中醛类占总量的19.49%~66.65%，酯类物质相对含量小于10%（图5）。各处理均检测出己醛和间二甲苯，己醛占挥发性物

表3 不同品种授粉对玉露香梨挥发性物质的影响

Table 3 The influence of cross-pollination by different cultivars on the volatile substances of Yuluxiang pear （ng·g^{-1}）

挥发性物质 Volatile substances		授粉品种 Pollinated cultivars						
		雪青 Xueqing	雪花梨 Xuehuali	黄冠 Huangguan	鸭梨 Yali	酥梨 Suli	面梨 Mianli	砘子梨 Dunzili
醛类 Aldehyde	己醛 Hexanal	1 213.53±39.14	325.85±10.11	362.97±10.23	377.78±22.60	225.75±11.88	899.21±14.17	365.33±14.99
	(*E*)-2-己烯醛 (*E*) 2-hexenal	443.17±14.31	249.76±16.78	ND	ND	131.07±14.61	125.83±1.29	241.41±9.61
醇类 Alcohols	2-乙基环丁醇 2-ethylcyclobutanol	ND	ND	156.07±53.43	ND	ND	ND	ND
	2-环己烯-1-醇 2-cyclohexene-1-ol	264.98±7.77	ND	ND	ND	ND	223.96±8.62	ND
酮类 Ketones	3,4-二甲基-2-己酮 3,4-dimethylhexan-2-one	ND	ND	455.15±7.68	ND	476.67±26.6	ND	ND
酯类 Esters	甲酸己酯 Hexyl formate	ND	ND	21.85±1.13	ND	24.62±3.25	ND	ND
	乙酸己酯 Hexyl acetate	54.31±19.07	ND	111.55±4.97	97.93±7.31	213.21±9.41	ND	112.38±5.48
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	51.87±4.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND
烯烃类 Olefin	*α*-法尼烯 *α*-farnesene	242.20±19.58	135.34±7.94	112.30±7.88	115.83±11.19	102.61±3.11	ND	107.85±5.89
	4-乙酰基-1-甲基-环己烯 4-acetyl-1-methyl-1-cyclohexene	ND	ND	ND	ND	ND	84.13±4.16	72.28±4.70
	1,5-二甲基环己烯 1,5-dimethylcyclohexene	ND	ND	52.43±5.28	ND	ND	ND	49.31±4.79
	三甲基-庚-2-烯 Trimethyl-hept-2-ene	ND	ND	ND	ND	103.06±4.91	ND	ND

注：ND. 未检出。

Note: ND. Not detected.

表3（续）　Table 3　(Continued)

挥发性物质 Volatile substances		授粉品种 Pollinated cultivars						
		雪青 Xueqing	雪花梨 Xuehuali	黄冠 Huangguan	鸭梨 Yali	酥梨 Suli	面梨 Mianli	砘子梨 Dunzili
烯烃类 Olefin	蒎烯 Pinene	71.53±2.46	ND	ND	ND	53.03±7.96	ND	ND
	(+)-柠檬烯 (+) - Limonene	36.05±2.45	29.65±2.20	ND	56.85±3.09	ND	ND	ND
	间二甲苯 Xylene	154.02±9.93	191.98±10.17	199.42±2.21	213.64±10.59	111.31±4.35	64.91±6.60	214.24±11.69
	对二甲苯 *P*-xylene	63.25±1.95	55.20±3.06	88.59±1.99	71.02±3.22	81.13±1.55	ND	88.35±1.83
	邻二甲苯 O-xylene	ND	ND	19.70±1.92	17.37±1.39	21.56±3.49	ND	20.35±2.76
	乙苯 Ethylbenzene	ND	24.93±1.95	ND	ND	ND	34.49±1.39	ND
其他类 Other	甲氧基甲烷 Methoxymethane	782.61±5.75	115.26±2.75	180.46±2.17	67.95±2.33	156.44±4.96	50.41±4.64	67.63±1.91
	2,3-环氧丁烷 2,3-epoxybutane	31.19±0.96	ND	ND	ND	ND	55.52±3.11	ND
	二甲胺 Dimethylamine	ND	ND	101.13±2.98	98.14±0.58	54.21±1.35	ND	100.19±1.99
	2-乙胺 2-Ethylamine	ND	2.61±0.18	ND	70.32±1.58	69.65±1.01	ND	ND
	草酸 Oxalic acid	11.78±0.41	ND	ND	ND	ND	ND	ND
总和 Sum		3 420.48±93.5	1 130.58±45.01	1 861.61±46.86	1 186.5±52.00	1 821.28±82.17	1 538.00±35.92	1 439.31±53.6

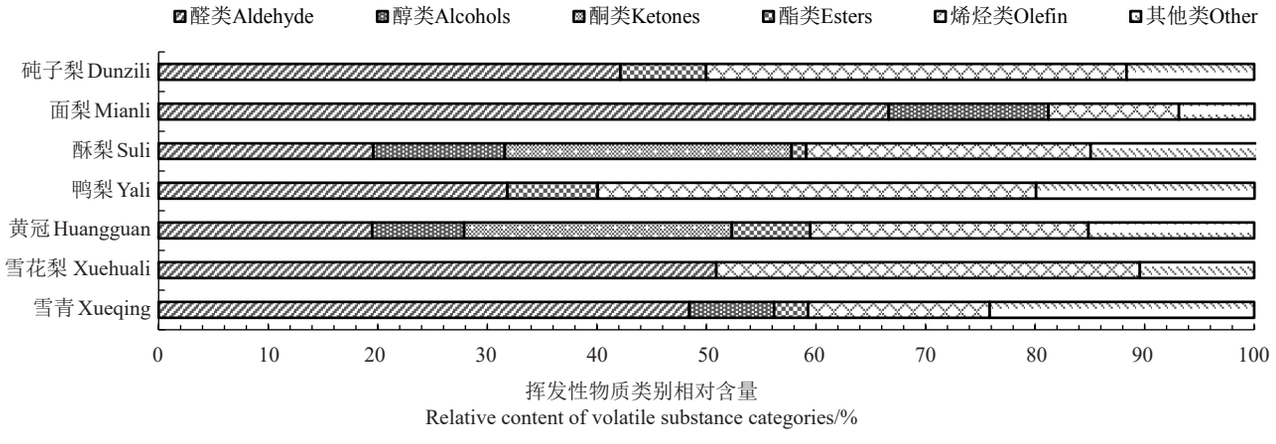


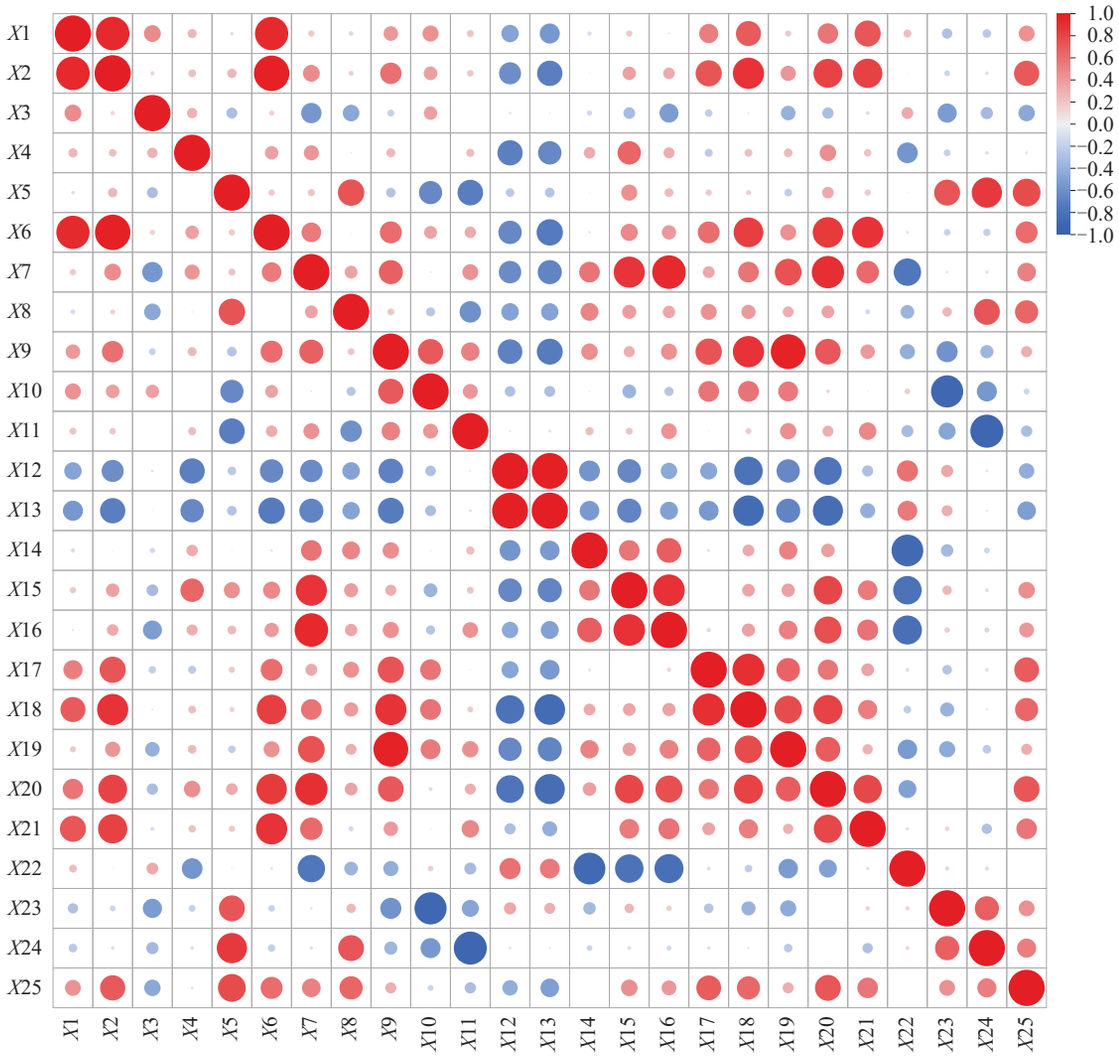
图5　不同品种授粉玉露香梨挥发性物质类别相对含量

Fig. 5　Relative contents of aroma categories of Yuluxiang pear pollinated by different cultivars

质成分总量的12.4%~58.5%，间二甲苯占4.22%~18.01%，为主要挥发性物质成分。本试验共检测出3种酯类挥发性物质，分别为甲酸己酯、乙酸己酯和乙酸乙酯。其中乙酸乙酯香气阈值较低，具有较浓的果香味，仅在雪青处理的果实中检测出，占总挥发性物质成分的1.52%；乙酸己酯具有极低的香气阈值，各授粉处理乙酸己酯占挥发性物质成分总量的百分比由高到低依次为：砘子梨11.7%、鸭梨8.25%、酥梨7.81%、黄冠5.99%、雪青1.59%，其余未检测出。

2.6　果实品质综合评价

2.6.1　相关性分析　本试验选取纵、横径等6个外观品质指标与可溶性固形物、可溶性糖含量等13个营养品质指标以及6类挥发性物质相结合，进行相关性分析（图6）。纵径、横径分别与单果质量呈极显著正相关。可溶性固形物含量与色泽指标a^*值与b^*值均呈极显著正相关，相关系数分别为0.858和0.926。木质素与石细胞含量呈极显著正相关，相关系数为0.991。固酸比与酯类含量呈极显著负相关，相关系数为−0.887。淀粉与烯烃类含量则呈现



*X*1. 纵径；*X*2. 横径；*X*3. 果形指数；*X*4. 硬度；*X*5. 果核直径；*X*6. 单果质量；*X*7. 可溶性固形物含量；*X*8. 可溶性糖含量；*X*9. 可滴定酸含量；*X*10. 固酸比；*X*11. 淀粉含量；*X*12. 木质素含量；*X*13. 石细胞含量；*X*14. *L**；*X*15. *a**；*X*16. *b**；*X*17. *h*°；*X*18. 花青苷含量；*X*19. 维生素 C 含量；*X*20. 醛类含量；*X*21. 醇类含量；*X*22. 酮类含量；*X*23. 酯类含量；*X*24. 烃类含量；*X*25. 其他类含量。红色表示正相关，蓝色表示负相关，颜色越深相关性越强，圆圈越小相关性越弱。

*X*1. Longitudinal diameter; *X*2. Horizontal diameter; *X*3. Fruit shape index; *X*4. Hardness; *X*5. Core diameter; *X*6. Single fruit mass; *X*7. Total soluble solid content; *X*8. Soluble sugar content; *X*9. Titratable acid content; *X*10. solid-acid ratio; *X*11. Starch content; *X*12. Lignin content; *X*13. Stone cell content; *X*14. Coloration *L**; *X*15. Coloration *a**; *X*16. Coloration *b**; *X*17. Coloration *h*°; *X*18. Anthocyanoside content; *X*19. Vitamin C content; *X*20. Aldehydes content; *X*21. Alcohols content; *X*22. Ketones content; *X*23. Esters content; *X*24. Hydrocarbons content; *X*25. Others content.Red indicates positive correlation, blue indicates negative correlation, the darker the color the stronger the correlation, the smaller the circle the weaker the correlation.

图 6 不同品种授粉玉露香梨品质指标相关性

Fig. 6 Correlation of quality indexes of different cultivars of Yuluxiang pear

极显著负相关，相关系数为−0.912。

2.6.2 综合评价 应用SPSS统计软件对7个不同授粉处理玉露香梨果实的25个品质指标测定数据进行主成分分析（PCA）（表4）。根据特征值大于1，筛选出5个有效主成分因子PC，对应的方差贡献率依次为41.291%、20.930%、17.036%、9.727%和8.202%，这些主成分累计方差贡献率达97.186%，因此这5个主成分可作为评估不同品种授粉对玉露香梨果实品质影响的综合指标。

采用5个主成分因子PC（表5）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。PC1贡献率较大的为纵径、横径和果形指数等；

表 4　PC 的特征值、贡献率及累计贡献率

Table 4　Eigenvalues, contributions and cumulative contributions of PC

PC 主成分因子	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative/%
PC1	10.323	41.291	41.291
PC2	5.232	20.930	62.221
PC3	4.259	17.036	79.257
PC4	2.432	9.727	88.984
PC5	2.051	8.202	97.186

PC2 中石细胞和木质素含量，以及色泽指标贡献率较高；PC3 中以淀粉、可滴定酸和可溶性糖含量等为主；PC4 贡献率较大的为挥发性物质酮类含量；PC5 中贡献率较大的为挥发性物质烃类含量。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、石细胞含量、木质素含量、色泽指标、淀粉含量以及挥发性物质酮类和烃类含量。

计算 PC 综合模型：F 综合=0.413×F1＋0.209×F2＋0.170×F3＋0.097×F4＋0.082×F5。基于该模型，计算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。由表 6 可知，在 7 个授粉处理中雪青授粉处理综合评价得分最高，得分为 1.80；其次是面梨授粉，得分为 0.95。

表 5　果实品质指标主成分载荷矩阵

Table 5　Fruit quality indexes principal component loading matrix

指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
纵径 Longitudinal diameter	0.30	0.07	0.04	0.14	0.00
横径 Horizontal diameter	−0.28	−0.02	−0.02	0.14	0.25
果形指数 Fruit shape index	0.28	−0.07	0.15	−0.16	0.06
硬度 Hardness	−0.27	−0.02	0.01	0.18	0.29
果核直径 Core diameter	0.27	0.12	−0.16	0.15	0.11
单果质量 Single fruit mass	0.26	−0.15	−0.06	−0.16	0.19
可溶性固形物含量 Total soluble solid content	0.25	−0.10	0.21	0.19	−0.09
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.25	−0.06	−0.13	−0.19	0.25
可滴定酸含量 Titratable acid content	0.24	−0.08	0.27	0.12	−0.04
固酸比 Solid-acid ratio	0.22	0.15	−0.21	0.22	0.08
淀粉含量 Starch content	0.20	−0.04	0.25	−0.24	0.28
木质素含量 Lignin content	0.19	0.23	0.27	0.04	0.13
石细胞含量 Stone cell content	0.05	0.37	0.22	0.02	−0.14
L^*	−0.04	0.36	0.19	−0.19	−0.09
a^*	0.10	−0.36	0.06	−0.27	0.12
b^*	−0.08	0.36	0.10	0.29	0.06
$h°$	0.12	0.32	0.05	−0.34	0.01
花青苷含量 Anthocyanoside content	0.11	−0.27	−0.24	0.29	0.17
维生素 C 含量 Vitamin C content	−0.17	−0.12	0.37	0.03	0.12
醛类含量 Aldehydes content	−0.18	−0.18	0.34	−0.04	0.03
醇类含量 Alcohols content	0.18	−0.18	0.30	0.15	−0.18
酯类含量 Esters content	0.16	0.07	−0.29	−0.19	−0.10
酮类含量 Ketones content	0.20	−0.04	0.13	0.44	0.07
烃类含量 Hydrocarbons content	0.14	−0.03	−0.16	0.08	−0.51
其他类含量 Others content	−0.07	−0.27	0.11	−0.04	−0.48

表 6　不同授粉品种果实品质评价得分

Table 6　Evaluation scores of quality indexes of different pollinated cultivars

授粉品种 Pollinated cultivars	F1	F2	F3	F4	F5	总分 Totals	排名 Ranking
雪青 Xueqing	3.77	0.89	0.89	−0.18	−0.92	1.80	1
雪花梨 Xuehuali	0.22	−0.56	−0.95	−0.76	−0.15	−0.27	3
黄冠 Huangguan	−1.87	−0.34	−0.96	1.35	1.51	−0.75	6
鸭梨 Yali	−1.58	1.04	0.38	−0.88	−0.5	−0.49	5
酥梨 Suli	−0.05	−0.92	−1.25	0.06	0.75	−0.36	4
面梨 Mianli	1.85	−1.01	1.97	1.03	−0.48	0.95	2
砘子梨 Dunzili	−2.35	0.89	−0.09	−0.63	−0.20	−0.88	7

3 讨 论

一般认为授粉品种差异影响果实的内外品质，主要是由花粉直感效应引起的，授粉后花粉对母体组织产生影响，目前已对椰子、开心果、葡萄、柚子、梨等不同树种及品种开展了相关研究[17-21]。笔者在本研究中选择不同品种授粉后，发现玉露香梨果实的纵径、单果质量、木质素含量、石细胞含量、色泽指数等指标均存在显著差异。研究表明选择大果品种授粉能够显著提高苹果[22]、锥栗[23]、枣[24]和罗汉果[25]的单果质量，而这一现象是由花粉直感效应引起的，在梨[26-29]、荔枝[30]和苹果[31]等研究中得到证实。不同授粉处理玉露香梨单果质量存在显著差异，但并未完全表现趋同父本形状的特征，这与Liu等[18]研究结果一致，说明单果质量的花粉直感效应因树种而异。木质素是石细胞的主要成分[32]，本研究结果表明果实木质素含量与石细胞含量呈极显著正相关，石细胞团染色及木质素含量分析验证了不同授粉处理显著影响玉露香梨果实木质素和石细胞的含量，这与Liu等[18]和Li等[33]的研究结果一致，说明石细胞含量受授粉品种的影响较大。色泽指数是果实外观品质的重要指标之一，不同授粉处理显著影响玉露香梨果实色泽，这与授粉品种不同处理引起李[34]和杏[35]果实颜色差异的研究结果一致。因此，在生产上应优先选择果肉细腻，色泽较好的品种作为玉露香梨授粉树。

挥发性物质是评价果实品质的重要指标之一，主要影响果实的气味。果实挥发性物质成分主要包括酯类、醛类、醇类等[36]，其中酯类是赋予果香和甜香的主要成分[37]。Liu等[18]研究表明，选用南水等品种为鸭梨授粉，改善了鸭梨果实香味；Qiao等[38]证实花粉直感效应可以影响京白梨的风味物质；鲁晓峰等[39]选用不同授粉品种改变李果实中酯类、醛类、酮类和醇类物质的种类与含量，类似现象在苹果[40]和莽山酸柑[41]中亦被发现，表明该效应的跨物种普遍性。本研究结果表明授粉品种显著影响玉露香梨果实挥发性物质种类及含量，特别是特征香气成分与含量。采用雪青等品种授粉显著提高酯类物质如乙酸己酯的相对含量，同时增加3种酯类香气物质，其中甲酸己酯、乙酸己酯和乙酸乙酯均具有较浓的果香味，对果实香气的贡献较大，这与前人研究结果一致。雪青可显著提高玉露香的香味特征，结合综合评价结果以及授粉树的生产性状，可优先选择其作为玉露香梨的授粉树。

果实品质评价指标中，部分理化指标间存在相关性，说明内含物以及挥发性物质之间存在某种关联。张梅等[42]研究表明糖酸代谢抑制酯类合成，李神伟[43]阐明淀粉降解为香气前体物质供能量的代谢路径。通过对品质指标间相关性分析，证实可溶性固形物含量与果皮色泽指数（a^*、b^*值）呈正相关，固酸比及淀粉含量与挥发性酯类、烃类含量呈显著负相关。由于果实的内含物和挥发性物质存在花粉直感效应，该效应可能通过直接调控糖类与有机酸的合成途径，以及改变挥发性物质的代谢积累，最终影响果实风味物质组成。因此，考虑到果实评价指标的关联性，评价梨果实品质需从外观、营养及风味等多维度进行，但因指标间存在交叉关联，需构建基于关键指标的综合评价体系[44]。运用相关性分析和主成分分析进行综合评价可以避免单一指标评价的局限性，减少冗余信息，并能利用主成分的贡献率进行权重分配，更好地反映各指标对综合评价结果的影响[45]。

笔者在本研究中揭示了授粉品种对玉露香梨果实品质的影响，进一步验证了花粉直感效应在梨果实特征中的作用。通过筛选优化授粉组合，可调控石细胞含量、糖酸含量、香气特征等核心品质指标，以达到改善果实品质的目的，为玉露香梨授粉树的选配提供科学依据。深入研究授粉品种对果实品质的影响，对提高果实品质和效益、保障产量与果园稳定性都具有重要意义。后续应进一步从分子水平揭示花粉直感的作用机制，借助多组学联合分析，解析授粉品种与母本的互作机制，一方面为梨树生殖生物学提供理论依据，另一方面筛选具有强花粉直感效应的品种，也为杂交育种或砧木选育提供亲本材料，加速培育优质新品种。

4 结 论

授粉品种可以影响玉露香梨单果质量、石细胞含量、果皮色泽、香气成分等品质指标。建议生产上选用雪青作为玉露香梨的授粉树，其果实色泽、香味、石细胞含量优于其他品种。

参考文献 References:

[1] 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 Xiangzeng，DENG Yueye，ZHANG Xiaojiao，WANG Yongfang，GAO Shide. Effects of grapefruit and pummelo pollens on fruit growth and quality of Dongshizao pummelo[J]. Journal of Fruit Science，2024，41(4)：665-678.

[2] LIU Y S. A novel mechanism for xenia?[J]. HortScience，2008，43(3)：706.

[3] HERBERT S W，WALTON D A，WALLACE H M. Pollen-parent affects fruit，nut and kernel development of *Macadamia*[J]. Scientia Horticulturae，2019，244：406-412.

[4] 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.

[5] 薛辉，曹尚银，牛娟，李好先，张富红，赵弟广 . 花粉直感对‘突尼斯’石榴坐果及果实品质的影响[J]. 果树学报，2016，33(2)：196-201.
XUE Hui，CAO Shangyin，NIU Juan，LI Haoxian，ZHANG Fuhong，ZHAO Diguang. Effects of xenia on fruit setting and quality in ‘Tunisia’ pomegranate[J]. Journal of Fruit Science，2016，33(2)：196-201.

[6] 徐胜利，陈小青，徐崇志，包建平，王江波，杨红，轩振英，姜喜，张娟 . 新疆梨系统品种花粉直感对香梨果萼发育及品质的影响[J]. 山西果树，2014(5)：3-6.
XU Shengli，CHEN Xiaoqing，XU Chongzhi，BAO Jianping，WANG Jiangbo，YANG Hong，XUAN Zhenying，JIANG Xi，ZHANG Juan. Effects of pollen directness on calyx development and quality of fragrant pear in Xinjiang pear[J]. Shanxi Fruits，2014(5)：3-6.

[7] 于立洋，左力辉，张军，杨敏生 . 花粉直感对 4 个新疆野苹果优系果实品质的影响[J]. 分子植物育种，2017，15(9)：3667-3675.
YU Liyang，ZUO Lihui，ZHANG Jun，YANG Minsheng. Effect of xenia on fruit quality of 4 *Malus sieversii* clones[J]. Molecular Plant Breeding，2017，15(9)：3667-3675.

[8] 杨芩，刘雅兰，张婷渟，彭舒，田鑫 . 果树花粉直感效应形成机理研究进展[J]. 经济林研究，2020，38(2)：235-240.
YANG Qin，LIU Yalan，ZHANG Tingting，PENG Shu，TIAN Xin. Research progress on formation mechanism of xenia effect in fruit trees[J]. Non-wood Forest Research，2020，38(2)：235-240.

[9] 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 Junyan，HUANG Ren，HUANG Chunying，WANG Jianhua，XU Yifan，LI Peipei，HU Yuanyuan，HUANG Jianqin，LI Yan. Research progress and prospects of xenia[J]. Plant Physiology Journal，2020，56(2)：151-162.

[10] 滕元文 . 梨属植物系统发育及东方梨品种起源研究进展[J]. 果树学报，2017，34(3)：370-378.
TENG Yuanwen. Advances in the research on phylogeny of the genus *Pyrus* and the origin of pear cultivars native to East Asia[J]. Journal of Fruit Science，2017，34(3)：370-378.

[11] 陈俊伟，陈子敏，钱皆兵，秦巧平，刘晓坤，谢鸣，杨荣曦，张上隆 . 杨梅果实发育进程中的碳水化合物代谢[J]. 植物生理与分子生物学学报，2006，32(4)：438-444.
CHEN Junwei，CHEN Zimin，QIAN Jiebing，QIN Qiaoping，LIU Xiaokun，XIE Ming，YANG Rongxi，ZHANG Shanglong. Carbohydrate metabolism during fruit development of bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.)[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology，2006，32(4)：438-444.

[12] 姚改芳，张绍铃，曹玉芬，刘军，吴俊，袁江，张虎平，肖长城 . 不同栽培种梨果实中可溶性糖组分及含量特征[J]. 中国农业科学，2010，43(20)：4229-4237.
YAO Gaifang，ZHANG Shaoling，CAO Yufen，LIU Jun，WU Jun，YUAN Jiang，ZHANG Huping，XIAO Changcheng. Characteristics of components and contents of soluble sugars in pear fruits from different species[J]. Scientia Agricultura Sinica，2010，43(20)：4229-4237.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 蔡庆生 . 植物生理学实验[M]. 北京：中国农业大学出版社，2013.
CAI Qingsheng. Plant physiology experiment[M]. Beijing：China Agricultural University Press，2013.

[16] SYROS T，YUPSANIS T，ZAFIRIADIS H，ECONOMOU A. Activity and isoforms of peroxidases，lignin and anatomy，during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus cretica* L.[J]. Journal of Plant Physiology，2004，161(1)：69-77.

[17] DENNEY J O. Xenia includes metaxenia[J]. HortScience，1992，27(7)：722-728.

[18] 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.

[19] 毛桑隐，路志浩，张祥，叶俊丽，伊华林，柴利军，邓秀新，吴方方，徐强 . 花粉直感对马家柚果实品质的影响[J]. 果树学报，2023，40(11)：2391-2402.
MAO Sangyin，LU Zhihao，ZHANG Xiang，YE Junli，YI Hualin，CHAI Lijun，DENG Xiuxin，WU Fangfang，XU Qiang. Effect of xenia on fruit quality of Majiayou[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(11)：2391-2402.

[20] 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.

[21] 张华，李宝昌，姜雪婷，张涵 . 不同花粉授粉对‘翠冠’梨果实收获期和冷藏期综合品质的影响[J/OL]. 分子植物育种，2023：1-9. (2023-12-19). https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231219.1312.021.
ZHANG Hua，LI Baochang，JIANG Xueting，ZHANG Han. Effects of different pollen pollination on comprehensive quality of ‘Cuiguan’ pear at harvest date and cold storage period[J/OL]. Molecular Plant Breeding，2023：1-9. (2023-12-19). https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231219.1312.021.

[22] 郑东生，杨荣，聂建文，王荣学，海龙，旭仁花，贺玉娇，白玉娥 . 不同授粉品种对‘苹果梨’果实的花粉直感效应[J]. 北方果树，2025(1)：10-14.
ZHENG Dongsheng，YANG Rong，NIE Jianwen，WANG Rongxue，HAI Long，XU Renhua，HE Yujiao，BAI Yu’e. Xenia effect of different pollination varieties on the fruit of ‘Applepear’[J]. Northern Fruits，2025(1)：10-14.

[23] 张旭辉，袁德义，邹锋，范晓明，唐静，朱周俊 . 锥栗花粉直感效应研究[J]. 园艺学报，2016，43(1)：61-70.
ZHANG Xuhui，YUAN Deyi，ZOU Feng，FAN Xiaoming，TANG Jing，ZHU Zhoujun. Studies on the pollen xenia of *Castanea henryi*[J]. Acta Horticulturae Sinica，2016，43(1)：61-70.

[24] ABDOLRAHMAN I，AZAM J，EBRAHIM S，MOSTAFA S，HEIDAR M. The role of pollen source in improving fruit quality and yield of date palm cv. Piarom[J]. Agriculture Conspectus Scientificus，2024，89(1)：49-57.

[25] 马小军，石磊，莫长明，唐其，赖家业，白隆华，冯世鑫 . 罗汉果主要品质性状的花粉直感效应[J]. 园艺学报，2008，35(11)：1695-1700.
MA Xiaojun，SHI Lei，MO Changming，TANG Qi，LAI Jiaye，BAI Longhua，FENG Shixin. Xenia effect on main qualitative characters of *Siraitia grosvenorii*[J]. Acta Horticulturae Sinica，2008，35(11)：1695-1700.

[26] 徐钰清，田路明，曹玉芬，董星光，张莹，霍宏亮，齐丹，徐家玉，刘超 . 梨果肉质地及香气研究进展[J]. 果树学报，2023，40(4)：757-770.
XU Yuqing，TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao. Research progress in flesh texture and aroma of pears[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(4)：757-770.

[27] 沙海峰，朱元娣，高琪洁，张文 . 花粉直感对京白梨品质的影响[J]. 果树学报，2006，23(2)：287-289.
SHA Haifeng，ZHU Yuandi，GAO Qijie，ZHANG Wen. Effect of xenia on fruit quality of Jingbaili pear cultivar[J]. Journal of Fruit Science，2006，23(2)：287-289.

[28] 周其石 . 花粉直感作用对香梨果实主要性状的影响[J]. 果树科学，1988，5(4)：176-180.
ZHOU Qishi. Effects of direct pollen on main characters of fragrant pear[J]. Journal of Fruit Science，1988，5(4)：176-180.

[29] 张兴旺 . 梨树的授粉树研究[J]. 西北园艺，1999(5)：4-6.
ZHANG Xingwang. Research on pollination tree of pear[J]. Northwest Horticulture，1999(5)：4-6.

[30] 邱燕萍，戴宏芬，李志强，欧良喜，向旭，陈洁珍，王碧雄 . 不同品种授粉对桂味荔枝果实品质的影响[J]. 果树学报，2006，23(5)：703-706.
QIU Yanping，DAI Hongfen，LI Zhiqiang，OU Liangxi，XIANG Xu，CHEN Jiezhen，WANG Bixiong. Effects of pollinator on fruit quality of Guiwei litchi cultivar[J]. Journal of Fruit Science，2006，23(5)：703-706.

[31] 李保国，顾玉红，郭素平，赵胜花，齐国辉，张林平 . 2001 苹果果实若干性状的花粉直感规律研究[J]. 河北农业大学学报，2004，27(6)：34-37.
LI Baoguo，GU Yuhong，GUO Suping，ZHAO Shenghua，QI Guohui，ZHANG Linping. A study on metaxenia roles in trait expression of 2001 Fuji apple fruit[J]. Journal of Agricultural University of Hebei，2004，27(6)：34-37.

[32] 张玉星，田志喜，郗荣庭，高慧敏，曲平 . 水杨酸对鸭梨幼果酚类物质代谢调节作用的研究[J]. 河北农业大学学报，2002，25(3)：33-36.
ZHANG Yuxing，TIAN Zhixi，XI Rongting，GAO Huimin，QU Ping. Effect of SA on phemolics metabolization of Ya pear growing fruits[J]. Journal of Agricultural University of Hebei，2002，25(3)：33-36.

[33] LI S M，SU X Q，JIN Q，LI G H，SUN Y M，ABDULLAH M，CAI Y P，LIN Y. iTRAQ-based identification of proteins related to lignin synthesis in the pear pollinated with pollen from different varieties[J]. Molecules，2018，23(3)：548.

[34] 张静茹，孟照刚，巩文红 . 花粉直感对黑宝石李果实品质的影响[J]. 果树学报，2009，26(6)：836-839.
ZHANG Jingru，MENG Zhaogang，GONG Wenhong. Effect of pollen xenia on fruit quality of Frinar plum cultivar[J]. Journal of Fruit Science，2009，26(6)：836-839.

[35] 杨立峰，姚连芳，周秀梅，杨利红 . 仰韶和贵妃杏花粉直感研究[J]. 果树学报，2002，19(4)：275-277.
YANG Lifeng，YAO Lianfang，ZHOU Xiumei，YANG Lihong. Study on the xinity of Yangshao and Guifei apricot varieties[J]. Journal of Fruit Science，2002，19(4)：275-277.

[36] 徐继忠，王颉，陈海江，郗荣庭，刘新忠 . 套袋对鸭梨果实内挥发性物质的影响(初报)[J]. 园艺学报，1998，25(4)：393-394.
XU Jizhong，WANG Jie，CHEN Haijiang，XI Rongting，LIU Xinzhong. Effect of bagging on the volatile constituents and contents of Yali pear[J]. Acta Horticulturae Sinica，1998，25(4)：393-394.

[37] MOYA-LEÓN M A，VERGARA M，BRAVO C，MONTES M E，MOGGIA C. 1-MCP treatment preserves aroma quality of ‘Packham’s Triumph’ pears during long-term storage[J]. Post-

harvest Biology and Technology，2006，42(2)：185-197.

[38] QIAO Y X，YU W J，LI K J，CAO J Z，ZHU J，WANG Q N，ZHAO J Q，WANG Y P，LUO L P，LI J W，NING F J. Xenia effect on nutritional and flavor components of ‘Jingbaili’ pear[J]. Foods，2025，14(1)：94.

[39] 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 Xiaofeng，SUN Hailong，LIU Shuo，ZHANG Yuping，ZHOU Zongshan. Effect of metaxenia on the aromatic components of plum[J]. Non-wood Forest Research，2024，42(4)：87-98.

[40] 张曼曼，王增辉，毛云飞，柴姗姗，赵晓红，范义昌，倪伟，毛志泉，陈学森，沈向 . 不同授粉组合对‘富士’和‘新红星’苹果品质的影响[J]. 中国农业科学，2018，51(18)：3551-3560.
ZHANG Manman，WANG Zenghui，MAO Yunfei，CHAI Shanshan，ZHAO Xiaohong，FAN Yichang，NI Wei，MAO Zhiquan，CHEN Xuesen，SHEN Xiang. Effects of different pollination combinations on the fruit quality of ‘Fuji’ and ‘Starkrimson’ apple[J]. Scientia Agricultura Sinica，2018，51(18)：3551-3560.

[41] 施要强，张海朋，刘翠华，蒋友武，王振华，谢宗周，曾继吾，徐娟 . 不同发育时期莽山野柑果皮中挥发性物质代谢谱的变化[J]. 华中农业大学学报，2020，39(1)：34-43.
SHI Yaoqiang，ZHANG Haipeng，LIU Cuihua，JIANG Youwu，WANG Zhenhua，XIE Zongzhou，ZENG Jiwu，XU Juan. Changes of volatile profile in Mangshanyegan fruit peels at different development stages[J]. Journal of Huazhong Agricultural University，2020，39(1)：34-43.

[42] 张梅 . 设施桃果实香气组分及相关性研究[D]. 泰安：山东农业大学，2007.
ZHANG Mei. Studies on aroma components and correlation analysis of peach fruit in protected culture[D]. Tai’an：Shandong Agricultural University，2007.

[43] 李神伟 . 不同品种及不同部位的香蕉果实品质与相关基因表达关系研究[D]. 广州：华南农业大学，2021.
LI Shenwei. Relationship between fruit quality and related gene expression in banana of different varieties and different parts[D]. Guangzhou：South China Agricultural University，2021.

[44] 赵双，尤伟忠，黄颖宏，郗红丽 . 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 Shuang，YOU Weizhong，HUANG Yinghong，QIE Hongli. Comprehensive evaluation of fruit quality of 23 white flesh loquats based on principal component analysis[J]. South China Fruits，2023，52(6)：114-118.

[45] LI Q L，TAN W，ZHAO L，LUO H，ZHOU Z D，ZHANG Y W，BI R X，ZHAO L N. A comprehensive evaluation of 45 pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars based on principal component analysis and cluster analysis[J]. International Journal of Fruit Science，2023，23(1)：135-150.