

不同品种水晶梨果实品质特性综合分析

孟千杰^{1,2}, 徐玉娟¹, 吴继军¹, 余元善¹, 胡腾根^{1*}, 温靖^{1*}

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 选取‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’三个品种的梨作为研究对象, 分别对其单果重、出汁率、石细胞数量及分布、质构特性、酶活特性、抗氧化活性等指标进行测定和比较, 以期对梨果储运及加工生产提供一定的实践参考。采用主成分分析法建立了评价体系, 3个品种综合得分由高到低依次为‘翠冠梨’>‘新世纪梨’>‘黄花梨’。‘翠冠梨’中可溶性固形物含量高达12.80%, 游离氨基酸含量为932.79 mg/L, 且具有良好的硬度、脆性等质构特性, 在制汁及贮藏运输方面具有优势。‘新世纪梨’含有丰富的氨基酸, 包括8种人体必需的氨基酸, 和最高的Vc含量(5.45 mg/100 g)、最丰富的黄酮含量(275.05 mg/100 g), 且整体抗氧化活性更优, 果实品质相对较优。‘黄花梨’的单果重达到了355.13 g, 出汁率为76.47%, 且PPO和POD酶活性最低。但硬度和脆性均最低, 不适合储藏和运输。综上所述, 在三个梨品种中, ‘翠冠梨’品质特性综合得分最高, 适用于储运及深加工; ‘新世纪梨’营养价值最高, 适用于健康食品开发。

关键词: 水晶梨; 品质特性; 储运及加工

文章编号: 1673-9078(2025)06-216-225

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.6.0427

Comprehensive Analysis of Fruit Quality Characteristics of Different Varieties of Crystal Pear

MENG Qianjie^{1,2}, XU Yujuan¹, WU Jijun¹, YU Yuanshan¹, HU Tenggen^{1*}, WEN Jing^{1*}

(1. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China) (2. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Three pear cultivars, *Pyrus pyrifolia* (‘Xinshiji’), *Pyrus pyrifolia* (‘Cuiguan’), *Pyrus pyrifolia* (‘Huanghai’), were selected as the research objects, and their indices such as single fruit weight, yield of juice, quantity and distribution of stone cells, texture characteristics, enzyme activities, and antioxidant capacities were measured and compared, in order to provide a certain practical reference for the storage, transportation and processing of pear fruits. An evaluation system was established using principal component analysis, and the comprehensive scores of these three cultivars were calculated

引文格式:

孟千杰, 徐玉娟, 吴继军, 等. 不同品种水晶梨果实品质特性综合分析[J]. 现代食品科技, 2025, 41(6): 216-225.

MENG Qianjie, XU Yujuan, WU Jijun, et al. Comprehensive analysis of fruit quality characteristics of different varieties of crystal pear [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(6): 216-225.

收稿日期: 2024-04-03

基金项目: 广州市科技计划项目(2023E04J1269); 广东省农业科学院金额之光人才项目(R2023PY-JG015); 清远市连州市水晶梨省级现代农业产业园项目

作者简介: 孟千杰(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬保鲜, E-mail: mengqj524@163.com

通讯作者: 胡腾根(1989-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: hu.tenggen@foxmail.com; 共同通讯作者: 温靖(1978-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: jingw988@163.com

and followed the order from high to low: 'Cuiguan' > 'Xinshiji' > 'Huanghua'. The 'Cuiguan' pear had a content of soluble solids up to 12.80% and a free amino acid content of 932.79 mg/L, while possessed good textural texture characteristics (including hardness and brittleness), which exhibited advantages in juice making, storage and transportation. The 'Xinshiji' pear was rich in amino acids, containing eight essential amino acids, the highest Vc content (5.45 mg/100 g) and the most abundant flavonoids (275.05 mg/100 g), thereby exhibiting superior antioxidant capacities and relatively better fruit quality. The 'Huanghua' pear had a single fruit weight up to 355.13 g, juice yield of 76.47%, and lowest PPO and POD activities, though its hardness and brittleness were the lowest (making it unsuitable for storage and transportation). In summary, among the three pear cultivars, the 'Cuiguan' pear displayed the highest comprehensive score of quality characteristics, making it suitable for storage, transportation and deep processing. The 'Xinshiji' pear had the highest nutritional value, making it ideal for the development of healthy foods.

Key words: crystal pear; quality characteristics; storage transportation and processing

几千年来, 中医将梨视为生津、润燥、清热和化痰的优质药材。《本草纲目》中记载: 梨者, 利也。梨果实鲜食清脆甘甜可口, 香气宜人, 风味浓郁, 深受人们的喜爱^[1]。作为我国水果产业的重要组成部分, 我国梨种植面积和产量长期居于世界首位^[2]。连州水晶梨以外观美、丰富的糖含量、良好的口感以及上市早而闻名, 相较于北方, 连州水晶梨果实发育期在 15~20 d 之间, 其果实品质也明显优于其他水晶梨。连州水晶梨不仅被认定为连州的地理标志农副产品, 而且被视作当地农业发展的关键产业。近年来, 连州水晶梨产业发展迅速, 种植面积稳中有增, 产量逐年增加, 已进入供需基本均衡状态, 并呈现出阶段性、季节性相对过剩的新局面。同时, 由于水晶梨含水量高达 80% 以上, 及内含丰富的蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素 C、钙、磷、铁、胡萝卜素等营养物质, 导致其采后在贮藏、运输过程中因发生机械损伤而导致变质, 从而造成极大的损失。经深加工的梨果, 如罐头、果汁、果酒等, 商品价值大大提升, 且解决了梨果贮存时间短, 运输困难, 收获上市期短的通病。因此, 开展水晶梨精深加工意义巨大, 对调整水晶梨产业结构、提高水晶梨产业整体效益、增加农民收入具有重要意义。

随着消费者对健康天然饮品追求意识的不断提高, 享有“健康饮料”的果汁饮料受到越来越多人的关注和青睐^[3], 而我国人均果汁消费量不到欧美发达国家的 1/40, 约为世界平均水平的 1/7^[4], 因此, 我国果汁行业市场前景非常广阔。水晶梨果皮薄汁液丰富, 口味甘甜, 实为鲜食和加工的优质果品, 尤其适合加工果汁类产品, 但梨汁加工过程中不同品种对果汁品质、风味都影响较大, 例如, 夏玉静等^[5]对比鸭梨、砀山酥、黄金、花盖、南果、八月

红等 23 个代表性梨品种的制汁特性, 发现适宜的制汁品种应有良好的风味口感, 较高的出汁率以及较低的褐变度。杜婵媛等^[6]通过对 53 个不同品种的梨果进行感官评价, 分析出汁率、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、总酚含量等理化指标, 进而筛选出‘金二十世纪’、‘冀蜜梨’和‘黄冠梨’是适宜制汁的优良品种。李丽梅等^[7]对比了中国育成梨和日韩梨的品质特性, 发现可溶性固形物含量和可滴定酸含量较高, 更便于消费者接受。但目前关于不同品种水晶梨加工特性的研究报道较少, 因此, 本研究从单果重、出汁率、石细胞数量及分布、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、质构特性、酶活特性、抗氧化能力等 17 个指标, 对 3 种代表性的连州水晶梨的品质进行评价, 为生产高品质连州水晶梨汁提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

三种试验梨均来自于广东清远连州, 每个品种不少于 10 个果。所有水晶梨果实生长正常、无病虫害, 风味品质都已表现出品种应有特点。

1.2 实验方法

1.2.1 品质特性的测定

用电子天平(精度为 0.01 g)称取单果质量。石细胞含量参考陶书田^[8]方法测定, 从梨果内、中、外三个部位分别取 40 g, 在 -20 ℃ 冷冻 24 h, 解冻后打浆 5 min, 匀浆倒入烧杯中, 分两次加入 50 mL 体积分数为 60% 的浓硫酸, 持续搅拌, 用 200 mL 去离子水冲洗, 直至洗至中性, 过滤后得到石细胞。

烘干至恒重,记录质量,由公式(1)计算梨果中石细胞含量。

$$S = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

S ——石细胞含量, %;

m_1 ——石细胞质量, g;

m_2 ——果肉质量, g。

参考闫冲冲^[9]使用的 Wiesner 反应观察法,借助光学显微镜观察石细胞分布特点并记录其数量。取梨果横径最大部位横切面,切片厚度约为 1.0 mm,用质量分数为 1.0% 的间苯三酚溶液和 1.0 mol/L 盐酸溶液对梨果切片染色,染色后拍照并观察石细胞分布。取适量梨果,切成小块后称重,榨汁后,称量果汁质量。根据公式(2)计算出汁率^[10]。使用折光仪直接在室温下测定梨汁中总可溶性固形物含量。用 PB-10 型 pH 计直接测定梨果浆滤液 pH 值。可滴定酸含量由酸碱滴定法测定。参考 Xin 等^[11]的方法,利用高效液相色谱法测定梨浆滤汁样品中维生素 C 含量。参考彭颖等^[12]的方法,使用日立 L-8900 全自动氨基酸分析仪测定梨浆滤汁样品中的各种游离氨基酸含量。

$$J = \frac{m_j}{m_p} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

J ——出汁率, %;

m_j ——果汁质量, g;

m_p ——果肉质量, g。

1.2.2 质构特性的测定

参考潘秀娟^[13]的方法,采用 TPA 对三种梨果质构特性进行测定。将梨果均匀切开分成两部分,使用内径为 15 mm 的打孔器在梨果中央打孔取样,将打孔器截取的圆柱体样品切分为厚度 10 mm 的小圆柱体作为待测样品。设置测前速度,测试速度以及测后上行速度均为 1.0 mm/s,两次压缩期间停顿 10 s,试样受压变形 75%,触发力为 100 g。测试指标主要有硬度、黏着性、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性和回弹性 7 项。

1.2.3 抗氧化活性测定

采用福林酚法^[14]测定样品的总酚含量。以没食子酸为标准样品建立标准曲线,于 760 nm 处测定 OD 值计算酚类物质的含量,结果以每 100 g 样品中含有的没食子酸当量表示。总黄酮含量的测定参考

Msaada 等^[15]的方法。根据芦丁标准曲线计算总黄酮含量,结果以每 100 g 样品中含有的芦丁当量表示。用 ORAC 法、ABTS 法^[16]、DPPH 法^[17]测定梨汁的抗氧化性。参考安景舒等^[18]的方法利用 FRAP 法测定总抗氧化性。取过滤后梨汁,加入 37 °C 的 FRAP (10 mmol/L TPTZ:20 mmol/L FeCl₃:0.3 mmol/L 醋酸体积比=1:1:10) 溶液和去离子水,混合均匀后,37 °C 水浴条件下加热 10 min,于 593 nm 处测定吸光值,结果以每升梨汁中含 FeSO₄ 的毫摩尔数表示 (mmol FeSO₄/L)。

1.2.4 酶活性测定

参考程谦伟等^[19]的方法,测定多酚氧化酶 (PPO) 活性。取 20 μL 的梨汁,加入 2 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液,0.5 mL 质量分数为 0.55% 邻苯二酚溶液,以每分钟 OD₄₂₀ 变化 0.001 表示一个酶活力单位。过氧化物酶 (POD) 活性测定如下:取 50 μL 的梨汁,加入 2.7 mL pH 值为 7.0 的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液,100 μL 体积分数为 0.46% H₂O₂,100 μL 体积分数为 4% 愈创木酚溶液。测定波长在 470 nm 时的吸光值,以每分钟 OD₄₇₀ 变化 0.01 表示一个酶活力单位。

1.3 数据处理

所有实验均重复三次,结果均以平均值表示。利用 IBM SPSS Statistics 26 计算平均值与标准偏差,进行显著性分析、相关性分析和主成分分析。采用 Origin 2024 进行作图处理。

2 结果与讨论

2.1 不同水晶梨的品质特性分析

单果质量是评价果实品质的最基本指标^[20]。由表 1 可知,‘黄花梨’的单果质量为 (355.13±21.38) g,显著高于其他两种梨。出汁率是反映果实加工特性的重要品质指标^[21]。‘新世纪梨’的出汁率与其他两种梨相比有显著性差异 ($P<0.05$)。其中,‘新世纪梨’的出汁率最低 (70.26%)。石细胞是梨果实中所特有的,由大量木质素组成的厚壁细胞^[22-24],是判断梨果实果肉细腻度的重要指标^[25],梨果石细胞含量较少时肉质较细且渣少,口感更佳,因此,石细胞含量与梨果实果肉细腻程度呈现负相关。从表 1 中可以看出,三种梨的石细胞含量均由近果皮部至近果心部逐渐增加,表明梨果近果心处的果肉可食性较差,符合我们的日常认知规律^[26,27]。

Wiesner 试剂染色能够清楚地显现出果肉中高度木质化的石细胞。如图 1 所示，在三个试验品种中，石细胞团不均匀地散布于薄壁组织之间，但是近果心和果皮处较密集。与陶书田^[8]对不同品种梨果的染色情况一致。结合表 1 不同品种梨果的石细胞含量和图 1 中的石细胞染色情况，可以看出，‘黄花梨’石细胞含量相对较少，说明该梨果果肉相对较细，渣少，食用口感较好。

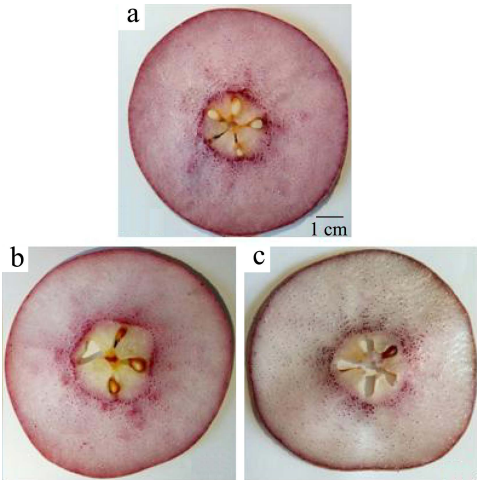


图 1 ‘新世纪梨’（a）、‘翠冠梨’（b）、‘黄花梨’（c）石细胞染色切片

Fig.1 Stone cell stained sections of ‘Xinshiji’ (a), ‘Cuiguan’ (b) and ‘Huanghua’ (c) pear cultivars

可溶性固形物反应了果实中主要营养物质的含量，和糖酸含量一起影响梨果的营养和风味^[28-30]。由表 2 得出的实验结果可以看出，‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’三种梨的果汁中可溶性固形物含量与可滴定酸含量之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。三种梨的可溶性固形物含量在

11%~13% 之间，其中‘翠冠梨’的可溶性固形物含量最高，为 12.80%。可滴定酸是食品品质的重要指标之一，影响果实的风味品质。对于鲜食品种，酸度适中的果实其食用品质更优^[31]。三种梨的可滴定酸含量为 0.30%~0.50% 之间，‘黄花梨’的可滴定酸含量最高，为 0.43%。pH 值可以直观反映梨果汁的酸碱度^[32]。三种梨汁的 pH 值均在 4.5 左右，呈酸性。维生素 C 含量是梨果中较重要的营养指标^[33]。三种梨的维生素 C 含量之间存在显著性差异 ($P<0.05$)，其中，‘新世纪梨’的维生素 C 含量为 5.45 mg/100 g，‘翠冠梨’的维生素 C 含量为 4.88 mg/100 g，‘黄花梨’的维生素 C 含量为 3.45 mg/100 g。

游离氨基酸的含量和组成对食品的口感和风味影响较大^[34]，氨基酸参与了梨风味物质的合成，是非常重要的营养物质^[35]。由表 3 的测定结果可以看出，‘新世纪梨’滤汁中的游离氨基酸总量为 884.45 mg/L，‘翠冠梨’滤汁中的游离氨基酸总量为 932.79 mg/L，‘黄花梨’滤汁中的游离氨基酸总量为 480.70 mg/L。在人体必需氨基酸的种类上，‘新世纪梨’含有全部 8 种，而‘翠冠梨’和‘黄花梨’缺少部分必需氨基酸。其中，‘翠冠梨’缺少色氨酸 (Trp)，‘黄花梨’缺少色氨酸 (Trp) 和苯丙氨酸 (Phe)。在氨基酸的种类上，‘新世纪梨’是最丰富的。在评价食物蛋白质的营养价值时，需从食物中氨基酸的种类与含量和食物中所含必需氨基酸的种类与含量能否满足人体每天对必需氨基酸的需求两个角度出发^[36]。综合以上结果，‘新世纪梨’和‘翠冠梨’较‘黄花梨’而言在游离氨基酸的总量、种类，必需氨基酸含量、种类上具有更大优势，相对来说营养更加丰富，风味更佳。

表 1 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’的单果质量、出汁率及石细胞含量

Table 1 Single fruit weight, juice yield and stone cell content of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghua’ pear cultivars

梨品种	单果质量/g	出汁率/%	石细胞含量/%		
			内	中	外
新世纪梨	241.16 ± 30.50 ^b	70.26 ± 1.14 ^b	0.84 ± 0.07 ^b	0.13 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.01 ^b
翠冠梨	251.99 ± 31.86 ^b	74.14 ± 1.61 ^a	1.23 ± 0.04 ^a	0.13 ± 0.02 ^a	0.11 ± 0.01 ^a
黄花梨	355.13 ± 21.38 ^a	76.47 ± 1.40 ^a	0.43 ± 0.03 ^c	0.11 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.01 ^b

注：同一列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)，相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。表 2、4、5、7 同。

表 2 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’的营养特性

Table 2 Nutritional indexes of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghua’ pear cultivars

梨品种	可溶性固形物含量/%	pH 值	可滴定酸含量/%	维生素 C 含量/(mg/100 g)
新世纪梨	11.63 ± 0.06 ^c	4.88 ± 0.03 ^a	0.30 ± 0.03 ^c	5.45 ± 0.01 ^a
翠冠梨	12.80 ± 0.02 ^a	4.45 ± 0.01 ^c	0.37 ± 0.01 ^b	4.88 ± 0.02 ^b
黄花梨	12.58 ± 0.01 ^b	4.51 ± 0.01 ^b	0.43 ± 0.02 ^a	3.45 ± 0.02 ^c

表 3 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’ 游离氨基酸含量及比例

Table 3 Content and proportion of free amino acids in ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghua’ pear cultivars

氨基酸 名称	新世纪梨		翠冠梨		黄花梨	
	含量/(mg/L)	占总氨基酸的 质量分数/%	含量/(mg/L)	占总氨基酸的 质量分数/%	含量/(mg/L)	占总氨基酸的 质量分数/%
P-Ser	41.84 ± 2.81	4.73	58.23 ± 1.45	6.24	74.16 ± 5.33	15.43
Tau	1.92 ± 0.17	0.22	—	—	—	—
PEA	5.43 ± 0.06	0.61	—	—	—	—
Urea	0.94 ± 0.10	0.11	0.49 ± 0.04	0.05	0.35 ± 0.02	0.07
Asp	293.83 ± 8.80	33.22	263.62 ± 4.46	28.26	181.00 ± 10.33	37.65
Hyp	42.31 ± 5.05	4.78	112.68 ± 6.14	12.08	—	—
Thr*	50.86 ± 1.61	5.75	59.48 ± 1.00	6.38	16.95 ± 1.01	3.53
Ser	100.93 ± 1.65	11.41	92.52 ± 1.36	9.92	75.47 ± 4.69	15.70
Glu	70.75 ± 2.08	8.00	59.15 ± 0.87	6.34	30.12 ± 1.81	6.27
Sar	1.00 ± 0.14	0.11	0.82 ± 0.02	0.09	—	—
a-AAA	—	—	—	—	—	—
Gly	11.79 ± 0.36	1.33	5.17 ± 0.10	0.55	5.82 ± 0.23	1.21
Ala	91.71 ± 2.60	10.37	77.61 ± 1.51	8.32	20.04 ± 1.16	4.17
Cit	—	—	—	—	—	—
a-ABA	4.95 ± 1.23	0.56	5.33 ± 0.12	0.57	—	—
Val*	75.29 ± 3.94	8.51	91.12 ± 1.95	9.77	41.24 ± 2.04	8.58
Cys	—	—	—	—	—	—
Met*	21.55 ± 1.54	2.44	29.32 ± 0.64	3.14	9.59 ± 0.43	2.00
Cysthi	—	—	—	—	—	—
Ile*	33.32 ± 0.95	3.77	48.70 ± 0.89	5.22	13.40 ± 0.76	2.79
Leu*	5.37 ± 0.05	0.61	8.26 ± 0.16	0.89	2.88 ± 0.06	0.60
Trp*	3.01 ± 0.14	0.34	—	—	—	—
Phe*	2.23 ± 0.05	0.25	1.87 ± 0.07	0.20	—	—
b-Ala	—	—	—	—	—	—
b-AiBA	—	—	—	—	—	—
g-ABA	3.34 ± 0.37	0.38	1.65 ± 0.04	0.18	0.94 ± 0.07	0.20
EOH ₂ NH	6.19 ± 0.33	0.70	4.91 ± 0.30	0.53	3.19 ± 0.78	0.66
Hyl	—	—	—	—	—	—
Orn	8.44 ± 0.16	0.95	2.03 ± 0.06	0.22	2.79 ± 0.23	0.58
Lys*	1.76 ± 0.02	0.20	0.50 ± 0.07	0.05	0.34 ± 0.04	0.07
1Mehis	—	—	—	—	—	—
His	5.69 ± 0.02	0.64	9.34 ± 0.36	1.00	2.40 ± 0.52	0.50
3Mehis	—	—	—	—	—	0.00
Ans	—	—	—	—	—	0.00
Car	—	—	—	—	—	0.00
Arg	—	—	—	—	—	0.00
必需氨基酸	188.61	21.33	238.75	25.60	84.07	17.49
非必需氨基酸	695.83	78.67	694.04	74.40	396.63	82.51
氨基酸总量	884.45	100.00	932.79	100.00	480.70	100.00

注：* 必需氨基酸；—未检测出氨基酸。

表 4 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’的质构参数
Table 4 Texture parameters of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghai’ pear cultivars

梨品种	硬度/gf	脆度/gf	黏着性/gf	弹性
新世纪梨	127 445.08 ± 4 698.58 ^a	83 442.70 ± 9 351.57 ^b	-369.94 ± 167.15 ^b	0.49 ± 0.07 ^b
翠冠梨	123 978.28 ± 11 974.69 ^a	96 200.81 ± 3 506.73 ^a	-333.37 ± 208.72 ^b	0.59 ± 0.05 ^a
黄花梨	8 532.83 ± 223.26 ^b	6 490.35 ± 527.80 ^c	-30.98 ± 10.84 ^a	0.63 ± 0.04 ^a

梨品种	胶黏性/gf	咀嚼性/gf	回弹性	凝聚性
新世纪梨	14 744.07 ± 994.69 ^b	7 194.40 ± 864.09 ^b	0.04 ± 0.00 ^a	0.12 ± 0.01 ^a
翠冠梨	14 243.61 ± 2 180.75 ^a	8 447.29 ± 1 410.73 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.12 ± 0.02 ^a
黄花梨	1 069.19 ± 153.20 ^c	668.55 ± 77.86 ^c	0.04 ± 0.00 ^a	0.13 ± 0.02 ^a

注：同一列不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），相同字母表示差异不显著（ $P>0.05$ ）。

2.2 不同水晶梨的质构特性分析

质构是反映食品内部组织结构和口感的重要指标^[37,38]。梨果硬度可以反应出对压力的抵抗能力，梨果硬度值也可以用于判断梨果的成熟程度，对于梨果的采摘、加工、收获储存和出口运输等方面有重要的参考价值。脆度反映力对梨果果肉组织结构的破坏性，通常情况下，脆度越高，梨果的口感越脆爽。咀嚼性能反映梨果在咀嚼过程中的持续抵抗性。由表 4 可知，不同品种梨的质构指标具有一定的差异性。‘黄花梨’的硬度和脆性均最低（8 532.83、6 490.35 gf），弹性和黏着性最大（0.63、-30.98 gf），适合鲜食^[39]。‘新世纪梨’和‘翠冠梨’具有较高的硬度、脆性、咀嚼性和胶黏性，说明梨果的物理性能良好，果实品质相对较优。

2.3 不同水晶梨的抗氧化活性分析

表 5 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’总酚含量、总黄酮含量及比例

Table 5 Content and proportion of total phenolic, flavonoid in ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghai’ pear cultivars

梨品种	总酚含量/(mg/100 g)	总黄酮含量/(mg/100 g)
新世纪梨	149.86 ± 4.28 ^b	275.04 ± 1.76 ^a
翠冠梨	140.00 ± 6.98 ^b	134.81 ± 4.35 ^c
黄花梨	184.96 ± 2.98 ^a	157.75 ± 8.84 ^b

梨果含有丰富的活性物质，主要包括总酚和黄酮，如熊果苷、绿原酸、儿茶素等^[40,41]。总酚和黄酮类物质具有清除自由基、抗脂质氧化、延缓机体衰老、预防心脑血管疾病、防癌等生物活性功能，在食品和医药领域具有广泛应用^[42]。由表 5 可知，

三种梨果中总黄酮含量在 130~280 mg/100 g 之间，‘新世纪梨’中总黄酮含量最高，为 275.04 mg/100 g。三种梨果中总酚含量在 140~190 mg/100 g 之间，‘黄花梨’中总酚含量最高，为 184.96 mg/100 g。

由图 2 可知，FRAP 法测得的总抗氧化能力中，‘新世纪梨’>‘黄花梨’>‘翠冠梨’；ABTS⁺ 自由基清除率测定中，‘新世纪梨’>‘翠冠梨’>‘黄花梨’；ORAC 氧化自由基吸收能力测定中，‘黄花梨’>‘新世纪梨’>‘翠冠梨’；清除 DPPH 自由基能力测定中，‘新世纪梨’>‘翠冠梨’>‘黄花梨’。通过相关性分析发现（表 6），造成上述现象的原因可能是梨果的总黄酮含量与 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力呈显著正相关（ $P<0.05$ ），与 FRAP 及 ORAC 无显著相关性（ $P>0.05$ ）；梨果中的总酚含量与 FRAP 及 ORAC 存在极显著正相关（ $P<0.01$ ），而与 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力呈显著负相关（ $P<0.05$ ）；梨果的维生素 C 含量与 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力呈极显著正相关（ $P<0.01$ ），而与 ORAC 结果呈显著负相关（ $P<0.05$ ）。有文献报道总酚含量与 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力呈显著正相关关系。本研究中，总酚含量与 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力呈显著负相关关系（ $P<0.05$ ）。原因可能是因为梨果中除总酚外，还含有丰富的总黄酮和维生素 C。总黄酮和维生素 C 含量对 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力影响更为显著。如黄花梨中总酚含量较高时，但总黄酮含量和维生素 C 含量较低，表现较低的 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力。因此，总酚含量与 DPPH 及 ABTS⁺ 自由基清除能力呈显著负相关关系（ $P<0.05$ ）。‘新世纪梨’由于总黄酮及维

生素 C 含量最高,总酚含量低,从而导致其 FRAP、ABTS⁺、DPPH 自由基清除活性最高;‘黄花梨’由于总酚含量最高、维生素含量最低导致其 ORAC 活性最高,ABTS⁺、DPPH 自由基清除活性最低。

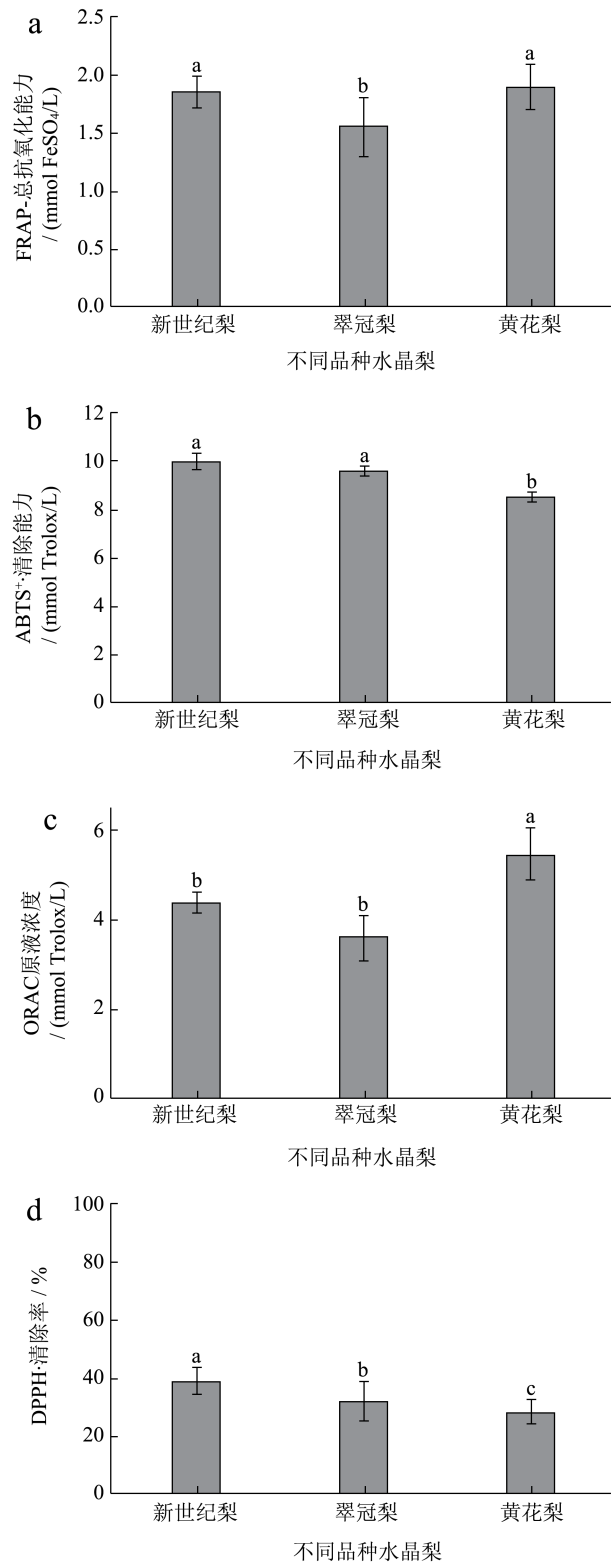


图2 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’抗氧化活性分析
Fig.2 Antioxidant activity analysis of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghua’ pear cultivars

表 6 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’的总酚、总黄酮、维生素C含量与抗氧化指标相关性分析

Table 6 Correlation analysis of total phenolic, total flavonoid, vitamin C content and antioxidant indexes of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghua’ pear cultivars

抗氧化指标	总酚含量	总黄酮含量	维生素 C 含量
FRAP	0.80**	0.27	-0.51
DPPH	-0.71*	0.68*	0.90**
ABTS	-0.71*	0.75*	0.93**
ORAC	0.96**	0.05	-0.77*

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著、极显著相关（双尾检验）。

2.4 不同水晶梨的酶活性分析

多酚氧化酶（PPO 酶）是引起果蔬酶促褐变的主要酶类之一^[43]，多酚氧化酶将梨果中的多酚类物质氧化成黑色或褐色物质从而产生褐变，严重影响梨果的营养、风味以及外观品质^[19]。由表 7 的测定结果可以看出，三个品种的梨的 PPO 酶活性之间存在着一定差异，其中‘新世纪梨’PPO 酶活性最强。但多酚的褐变既与 PPO 酶活性有关，还与底物浓度即多酚含量和种类有关^[44]，因此，判断梨果的褐变程度应综合酶活性与底物浓度和种类以及环境因素等综合考虑^[40]。在梨果发育过程中，过氧化物酶（POD 酶）参与木质素的合成，调控木质素在石细胞细胞壁上的沉积，促进石细胞团的发育^[45]。由表 7 可知，‘翠冠梨’的 POD 酶活性最强，与表 1 中石细胞含量最高情况一致；‘黄花梨’的 POD 酶活性最低，表现出最少的石细胞含量。

表 7 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’PPO酶、POD酶的酶活性

Table 7 The activities of PPO and POD in ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghua’ pear cultivars

梨品种	PPO 酶活/(U/g·min)	POD 酶活/(U/g·min)
新世纪梨	32.82 ± 1.56 ^a	2.48 ± 0.19 ^b
翠冠梨	23.81 ± 0.49 ^b	4.37 ± 0.15 ^a
黄花梨	6.15 ± 0.67 ^c	1.20 ± 0.00 ^c

2.5 不同水晶梨的综合分析

通过主成分分析对梨果的 17 个理化指标进行标准化，计算主要指标的主成分综合得分。结果见表 8。以特征值大于 1.0、累积方差贡献率大于 80% 的原则确定主成分个数。由表 8 知，主成分 1 的特征值为 19.38，累计方差贡献率为 74.54%。主成分 2 的特征值为 6.62，累积方差贡献率为 100%。因此，

选取前 2 个主成分作为不同品种水晶梨品质的综合评价指标。

由不同品种水晶梨果实品质指标的主成分载荷矩阵（表 9）可知，主成分 1 包含原始信息量的 74.54%，主要包括胶黏性、硬度、维生素 C 含量、ABTS 自由基清除率、游离氨基酸含量、PPO 酶活和脆性等代表性指标，反映了梨果的质构和品质特性。主成分 2 包含了原始信息量的 25.46%，主要包括可溶性固形物含量、pH 值、不同部位石细胞含量等代表性指标，反映了梨果的口感。

根据公式（3）分别计算不同品种水晶梨的主成分 1（ y_1 ）、主成分 2（ y_2 ）和综合得分（ y ）。综合得分（见表 10）数值越大，综合品质越佳。3 个梨果品质综合得分为‘翠冠梨’>‘新世纪梨’>‘黄花梨’。因此，根据主成分 1 和主成分 2 包含的主要品质指标，可以得出‘翠冠梨’在制汁加工和贮藏运输方面更具有优势。

$$y_1=\sum_{n=1}^{26}\frac{x_{1n}}{\sqrt{19.38}}\times Zx_{1n}$$
$$y_2=\sum_{n=1}^{26}\frac{x_{2n}}{\sqrt{6.62}}\times Zx_{2n}$$

(3)

$$y=0.7454y_1+0.2546y_2$$

式中：

- x_{1n} ——载荷矩阵中主成分 1 对应的品质指标数值；
- x_{2n} ——载荷矩阵中主成分 2 对应的品质指标数值；
- Zx_{1n} ——主成分 1 标准化后对应的品质指标数值；
- Zx_{2n} ——主成分 2 标准化后对应的品质指标数值；
- y_1 ——主成分 1 得分；
- y_2 ——主成分 1 得分；
- y ——综合得分。

2.6 讨论

出汁率是反映梨果制汁性能的一项重要指标。本实验供试的 3 个梨品种中，其出汁率均超过了 70%，具有较好的制汁性能。梨果的质地和硬度既决定了梨果品质的好坏，也决定了是否耐贮藏和远距离运输。硬度较大、质地紧密的梨果，虽然口感不佳，但可以进行远距离储运并且耐贮藏，可以供应外地和延长供应市场时间。‘翠冠梨’虽然单果重、出汁率在 3 个品种中并不突出，但具有良好的硬度、脆性、咀嚼性和胶黏性等质构特性。因此，‘翠冠梨’适合作为制汁加工的品种。‘新世纪梨’含有较低的石细胞含量，丰富的营养物质，其中维生素 C 含量显著高于其他两种梨果，包含人体所必需

的 8 种氨基酸，硬度和脆性等物理性能良好，制汁特性介于‘翠冠梨’与‘黄花梨’之间。‘黄花梨’含有最低的石细胞含量，食用口感更佳。且其硬度和脆性较低，不适合贮藏和运输。

表 8 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’品质指标主成分分析的特征值及方差贡献率

Table 8 Characteristic values and variance contribution rates of principal component analysis of fruit quality indexes of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghai’ pear cultivars

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
PC1	19.38	74.54	74.54	19.38	74.54	74.54
PC2	6.62	25.46	100%	6.62	25.46	100%

表 9 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’品质指标的主成分载荷矩阵

Table 9 Principal component loading matrix of fruit quality indexes of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghai’ pear cultivars

品质指标	主成分 1	主成分 2
黏着性	-1.00	-0.01
单果重	-1.00	-0.02
胶黏性	0.99	0.07
硬度	0.99	0.08
维生素 C 含量	0.98	-0.17
ABTS ⁺ 自由基清除率	0.98	-0.18
凝聚性	-0.98	-0.19
游离氨基酸含量	0.98	0.20
PPO 酶活	0.97	-0.23
脆性	0.97	0.24
咀嚼性	0.97	0.26
石细胞含量（中）	0.95	0.31
总酚含量	-0.95	-0.32
回弹性	0.92	-0.41
可滴定酸含量	-0.90	0.45
ORAC 值	-0.89	-0.47
DPPH 自由基清除率	0.88	-0.48
出汁率	-0.85	0.53
石细胞含量（内）	0.81	0.58
弹性	-0.79	0.61
POD 酶活	0.74	0.68
可溶性固形物含量	-0.44	0.90
总黄酮含量	0.46	-0.88
pH 值	0.48	-0.88
FRAP 值	-0.48	-0.87
石细胞含量（外）	0.54	0.84

表 10 ‘新世纪梨’、‘翠冠梨’、‘黄花梨’的
主成分分析值与综合得分

Table 10 Principal component analysis and comprehensive
score of ‘Xinshiji’, ‘Cuiguan’ and ‘Huanghua’ pear cultivars

水晶梨品种	主成分分值		综合得分 (y)	排名
	PC1 (y ₁)	PC2 (y ₂)		
新世纪梨	3.00	-2.40	1.62	2
翠冠梨	2.06	2.72	2.22	1
黄花梨	-5.05	-0.32	-3.85	3

3 结论

本研究对比了‘新世纪梨’、‘翠冠梨’和‘黄花梨’三个品种的 17 个理化指标，通过主成分分析法得出：‘翠冠梨’综合得分最高，在制汁加工和贮藏运输方面更具有优势；‘新世纪梨’维生素 C 和氨基酸含量丰富，抗氧化性强，制汁特性介于‘翠冠梨’与‘黄花梨’之间；‘黄花梨’单果质量、营养物质含量高，但质构特性不佳，易发生机械损伤，不利于贮藏和运输。本研究通过评价梨果理化指标，并建立相应的评价体系，为其生产加工提供一定的指导。

参考文献

[1] 张松.梨枸杞复合果汁加工工艺研究[D].泰安:山东农业大学,2019.

[2] 周江涛,赵德英,陈艳辉,等.我国梨生产布局变动分析[J].中国果树,2021,4:92-97.

[3] 董宇豪,陈春,扶雄.桑葚、百香果、柚子及火龙果复合果汁协同抑制 α -葡萄糖苷酶的作用及机制[J].现代食品科技,2022,38(2):87-93.

[4] 曹虹.关键工艺对香梨浓缩汁品质的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

[5] 夏玉静.梨果制汁性能及梨果汁褐变控制研究[D].北京:中国农业科学院,2010.

[6] 杜婵媛,郭伟珍,赵京献,等.鲜榨梨汁品质评价及适宜制汁品种(系)的筛选[J].中国南方果树,2023,52(2):174-184.

[7] 李丽梅,李雪梅,关军锋,等.北方23个梨品种鲜榨梨汁的理化特性分析和感官评价[J].食品与机械,2013,29(2):44-48,53.

[8] 陶书田.梨(Pyrus)果实石细胞的结构成分分析及相关酶基因的克隆[D].南京:南京农业大学,2009.

[9] 闫冲冲.不同品种梨石细胞分布及木质素结构的研究[D].合肥:安徽农业大学,2013.

[10] 刘雪平,张永涛,崔晓梅,等.不同桃品种的品质及加工特性评价分析[J].保鲜与加工,2023,23(6):34-40.

[11] XIN C, CUI J, SONG Z, et al. Content determination of vitamin C in durian endocarp and optimization of extraction process[J]. Journal of Biosciences and Medicines, 2023, 11(8): 208-218.

[12] 彭颖,周如金.不同品种荔枝果汁氨基酸和糖类的测定与分析[J].中国食品添加剂,2017,4:173-177.

[13] 潘秀娟.苹果采后质地变化的破坏与非破坏检测研究[D].南京:南京农业大学,2004.

[14] YU Y, XU Y, WU J, et al. Effect of ultra-high pressure homogenisation processing on phenolic compounds, antioxidant capacity and anti-glucosidase of mulberry juice [J]. Food Chemistry, 2014, 153: 114-120.

[15] MSAADA K, JEMIA M B, SALEM N, et al. Antioxidant activity of methanolic extracts from three coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit varieties [J]. Arabian Journal of Chemistry, 2017, 10: S3176-S3183.

[16] 王彩虹,刘玉洁,朱丽娜,等.黑枸杞梨汁复合饮料研制及其抗氧化效果研究[J].农产品加工(上半月),2021,4:11-15.

[17] LI X, ZHANG J, GAO W, et al. Chemical composition and anti-inflammatory and antioxidant activities of eight pear cultivars [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(35): 8738-8744.

[18] 安景舒,关晔晴,程玉豆,等.5个梨品种果实不同部位的总酚、黄酮含量及其抗氧化能力分析[J].保鲜与加工,2020,20(3):162-166.

[19] 程谦伟,孟陆丽,孙庭广,等.低频超声对丰水梨多酚氧化酶酶活的影响研究[J].食品工业,2018,39(8):151-153.

[20] 赵丹,琚艳君,马雪,等.新疆库尔勒香梨品质分析与评价[J].食品安全质量检测学报,2022,13(20):6637-6644.

[21] 蒙秋霞,张丽珍,李阳,等.不同产地‘玉露香’梨品质及香气物质分析[J].中国果树,2020,3:28-33.

[22] ZHU Y, WANG Y, JIANG H, et al. Transcriptome analysis reveals that PbMYB61 and PbMYB308 are involved in the regulation of lignin biosynthesis in pear fruit stone cells [J]. The Plant Journal, 2023, 116(1): 217-233.

[23] ZHANG L, KAMITAKAHARA H, TAKANO T, et al. Stone cell formation in the pedicel of pears and apples [J]. Planta, 2023, 258: 85.

[24] OLIVEIRA D M. MYB24 in control: Transcriptional activation of lignin and cellulose biosynthesis in pear fruit stone cells [J]. Plant Physiology (Bethesda), 2024, 194(1): 321-323.

[25] 章世奎,李文慧,阿布莱克·尼牙孜,等.15个新疆地方梨品种品质性状及不同部位石细胞含量分析[J].新疆农业科学,2022,59(12):3004-3012.

[26] XIN G. Multi-omics analyses reveal the difference of stone cell distribution in pear fruit [J]. The Plant Journal: for Cell and Molecular Biology, 2022, 113(3): 626-642.

[27] CHOI J, LEE S. Distribution of stone cell in Asian, Chinese, and European pear fruit and its morphological changes [J].

- Journal of Applied Botany and Food Quality, 2013, 86: 185-189.
- [28] 俞露,赵芷,张文欣,等.贵州不同地区刺梨的综合品质对比分析[J].现代食品科技,2021,37(9):169-178.
- [29] ZHAN B. Determination of SSC and TA content of pear by Vis-NIR spectroscopy combined CARS and RF algorithm [J]. International Journal of Wireless and Mobile Computing, 2021, 21(1): 41-51.
- [30] 李婷,宋曙辉,王正荣,等.北京地区不同品种西瓜果实的品质分析[J].食品工业科技,2024,45(9):265-271.
- [31] 曹玉芬,孙希生,姜淑苓,等.梨品种果实制汁性能研究[J].果树学报,2003,20(6):450-454.
- [32] 张素.不同梨品种加工特性及加工品质控制技术研究[D].泰安:山东农业大学,2008.
- [33] 王阳,佟伟,王文辉,等.不同梨品种品质分析[J].中国南方果树,2023,52(5):111-116.
- [34] 刘泽银,许文,陆斌,等.百年蔗红糖营养品质的综合评价分析[J].现代食品科技,2023,39(10):213-224.
- [35] 史星雲,徐珊珊,殷益明,等.黄冠梨果实中氨基酸及矿质元素分析与评价[J].林业科技通讯,2022,2:15-20.
- [36] 何莎莎,周志钦.不同种类柑桔果实氨基酸组成及营养品质评价[J].中国南方果树,2018,47(3):18-22,29.
- [37] 刘宝丽.燕山丘陵不同小产区安梨的果实品质选优[D].秦皇岛:河北科技师范学院,2021.
- [38] 周慧娟,叶正文,李荣华,等.基于聚类和时序分析的砂梨果实耐贮性及贮藏品质分析预测[J].食品与机械,2023,39(7):143-151.
- [39] 刘宝丽,张文静,朱京涛,等.安梨优系在冀东地区的果实品质表现[J].河北林业科技,2020,3:11-14,21.
- [40] 关晔晴,裴颖,安景舒,等.梨果实中酚类物质的研究进展[J].保鲜与加工,2019,19(5):191-195.
- [41] LIN L, HARNLY J M. Phenolic compounds and chromatographic profiles of pear skins (*Pyrus* spp.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(19): 9094-9101.
- [42] 宁豫昌,高俊杰,袁艺萌.复合酶处理对刺梨、苹果混合发酵果汁的影响[J].食品与生物技术学报,2023,42(8):87-94.
- [43] 韩彦辉,钟靖涵,孙雪,等.远红外辐射对山药多酚氧化酶活性及构象的影响[J].食品与机械,2023,39(5):132-138.
- [44] WANG Y, MENG G, CHEN S, et al. Correlation analysis of phenolic contents and antioxidation in yellow-and black-seeded brassica napus [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1815.
- [45] 吕芮宏.环境因子对砀山酥梨品质影响及其石细胞发育相关酶活性分析[D].合肥:安徽农业大学,2014.