

## 18份胡柚种质果实品质分析与综合评价<sup>1</sup>

张慧艺<sup>1</sup>, 汪丽霞<sup>2#</sup>, 吴伊静<sup>3</sup>, 毕旭灿<sup>2</sup>, 王刚<sup>2</sup>, 赵四清<sup>2</sup>, 徐昌杰<sup>1,3\*</sup>, 陈昆松<sup>1,3</sup>

(<sup>1</sup>浙江大学农业与生物技术学院园艺系, 杭州 310058; <sup>2</sup>常山县农业特色产业发展中心, 浙江衢州 324000; <sup>3</sup>全省园艺作物品质调控重点实验室, 杭州 310058)

**摘要:**【目的】分析不同胡柚种质间的果实品质差异, 建立并应用果实评价体系, 筛选优良胡柚种质资源。【方法】以18份胡柚种质为试验材料, 对单果质量、可食率、种子数量、果形指数等果实外在品质指标以及可溶性固形物、可滴定酸等内在品质指标进行测定, 应用感官评定对果实皮色、肉质、剥皮难易等感官指标进行分析, 并利用层次分析法对胡柚果实品质进行综合评价。【结果】不同胡柚种质间果实品质性状存在差异, 变异系数为3.07%~143.57%, 分别以果形指数和种子数为最小和最大。单果质量为184.32~423.20 g; 果实为圆形, 果形指数平均为0.89; 果皮厚度和可食率分别为2.15~9.68 mm和50.33%~83.67%; 可溶性固形物和可滴定酸含量范围分别为9.83~15.40 °Brix和0.90~1.57 mg·g<sup>-1</sup>; 总酚含量为13.83~20.07 mg GAE·g<sup>-1</sup>, 类胡萝卜素总量为2.29~8.66 μg·g<sup>-1</sup>; 果实剥皮难易程度也存在较大差别。采用层次分析法构建了胡柚果实品质综合评价模型, 通过1~9标度法计算得到各品质指标权重, 其中甜酸风味权重最高, 为17.65%; 果形指数最低, 为2.29%。根据果实理化分析和感官评定指标的计分规则计算出18份胡柚种质的各指标得分, 并结合权重计算总得分, 发现01-7b、01-7a、胡柚优株b、胡柚优株a和果5的总得分高, 综合品质优异, 可作为胡柚新品种利用或作为进一步选育的基础。【结论】不同胡柚种质间果实品质差异较大; 建立了胡柚果实品质综合评价体系, 具有指标全覆盖和权重赋分合理等优点; 对18份胡柚种质进行了品质评价, 筛选出5份综合品质优异的种质资源。

**关键词:** 胡柚; 果实品质; 层次分析法; 综合评价

中图分类号: S666.3 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)06-0001-08

## Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 18 huyou (*Citrus changshanensis*) accessions

ZHANG Huiyi<sup>1</sup>, WANG Lixia<sup>2#</sup>, WU Yijing<sup>3</sup>, BI Xucan<sup>2</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>, ZHAO Siqing<sup>2</sup>, XU Changjie<sup>1,3\*</sup>, CHEN Kunsong<sup>1,3</sup>

(<sup>1</sup>Department of Horticulture, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Zhejiang 310058, Hangzhou, China; <sup>2</sup>Changshan Agricultural Characteristic Industry Development Center, Quzhou 324000, Zhejiang, China; <sup>3</sup>Zhejiang Key Laboratory of Horticultural Crop Quality Improvement, Zhejiang 310058, Hangzhou, China)

**Abstract:** 【Objective】Huyou (*Citrus changshanensis* K. S. Chen et C. X. Fu) is a local characteristic

收稿日期: 2024-02-02

接受日期: 2024-04-02

基金项目: 浙江省“三农九方”科技协作计划项目(2022SNJF083); 浙江大学全国农业科技现代化先行县(常山)建设项目(588970-Y12202); 衢州市科技计划项目(2022K25)

作者简介: 张慧艺, 女, 在读硕士生。Tel: 0571-88982223, E-mail: 22116193@zju.edu.cn。#为共同第一作者。

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0571-88982289, E-mail: chjxu@zju.edu.cn

citrus resource in China. The main production area is Changshan County, Quzhou City, Zhejiang Province. Huyou has a history of commercial cultivation for over a hundred years, and now huyou has become a key industry of characteristic agriculture in Changshan County and an important source of income for local fruit growers. The evaluation of fruit quality is an important part of phenotypic characterization of huyou accessions, and also an important basis for screening excellent germplasm accessions. Currently in huyou, no systematic analysis and evaluation of fruit quality differences between different accessions has been carried out, and meanwhile, a comprehensive fruit quality evaluation system has not been developed, which impair the selection and industrial application of excellent accessions. The aim of this study was to comprehensively evaluate the fruit quality of huyou, to establish a fruit quality evaluation system, and to provide a basis for the selection of high quality accessions. **【Methods】** Eighteen huyou accessions, with one typical tree for each accession, were involved in this study. For each tree, fifteen fruit evenly distributed in crown were harvested when fruit were at commercial harvest maturity. A number of quality indicators, including the average fruit weight (AFW), fruit shape index (FSI), edible rate (ER), pericarp thickness, soluble solids content (SSC), titratable acid content (TAC), SSC/TAC ratio, vitamin C (Vc) content, flavanone neohesperidosides (FNs) content, flavanone rutinosides (FRs) content, and the contents of total phenolics, etc., were measured. SPSS and Excel were used for data analysis. Systematic description and sensory evaluation were used to analyze the fruit quality indicators such as peel appearance, flesh texture and peeling ability. The weights of quality indicators were determined by analytic hierarchy process (AHP), and the overall fruit quality of different accessions were evaluated and ranked by comprehensive score. **【Results】** The fruit quality of the 18 huyou accessions varied in different degree, with coefficients of variation ranging from 3.07% to 143.57% for the different quality indicators analysed. Among all indicators, the number of seeds per fruit had the largest variation and the FSI had the smallest. The AFW ranged from 184.32 to 423.20 g, with Hongrou huyou having the largest AFW and Huyou 4 having the smallest. The fruit longitudinal diameter of all accessions was smaller than the transverse diameter, and thus the FSI was less than 1, with an average of 0.89. Pericarp thickness and ER ranged from 2.15 to 9.68 mm and 50.33% to 83.67%, respectively. The number of seeds per fruit varied greatly among the different accessions, with Cuihong having the lowest number, 0.22, while Huyou 16 had the highest number, 22.67. SSC ranged from 9.83 to 15.40 °Brix, with Huyou 4 being highest. TAC ranged from 0.90 to 1.57 mg·g<sup>-1</sup> FW, with Huyou 8 having the highest TAC and Hongrou huyou having the lowest. The SSC/TAC ratio varied widely among accessions, with the highest value of 12.73 for Huyou 18 and the lowest value of 7.91 for Huyou 7. The Vc content ranged from 35.88 to 72.95 mg·100g<sup>-1</sup> FW. Huyou 10 had the highest content of FNs, a class of bitter flavonoids, while Cuihong had the highest content of FRs, a class of non-bitter flavonoids, but non-detectable FNs, in consistent with the bitter flavor feeling of different accessions. The total carotenoids varied greatly among different accessions with contents ranging from 2.29 to 8.66 µg·g<sup>-1</sup> FW, and for the total phenolics, 13.83 to 20.07 mg GAE ·g<sup>-1</sup>DW. The peeling ability of the fruit varied widely with Huyou elite line a, Hongrou huyou, Huyou 2 and Huyou 11 being easiest. A comprehensive evaluation model of fruit quality was constructed by AHP analysis and the weights of each quality

indicator were calculated by 1 to 9 scale method. In this evaluation model, sweetness and sourness was given the highest weight, 17.65%, and fruit shape index was given the lowest, 2.29%. Based on the average value, maximum value and minimum value of each indicator, the variation of each measured indicator was determined, and meanwhile, fruit quality indicators such as peel appearance, flesh texture and peeling ability were scored via systematic description and sensory evaluation. Finally, based on the score and the weight of each indicator, the accessions were evaluated for overall fruit quality. The results showed that 01-7b, 01-7a, Huyou elite line b, Huyou elite line a and Huyou 5 were the top five accessions with excellent overall fruit quality. Moreover, Cuihong is an ideal resource for breeding low bitter huyou while Huyou 10 is favorable to be used as a raw resource for production of traditional Chinese medicine Quzhou Aurantii Fructus (QuZhiQiao). These can satisfy the demand for diversity in consumption. 【Conclusion】 The fruit quality of the analysed 18 different accessions varied greatly. On the basis of the external and internal qualities, an AHP method was used to comprehensively evaluate the fruit quality, and as a result, five accessions with excellent overall quality were selected. The method established in this study improves the accuracy and effectiveness for the comprehensive evaluation of the fruit quality of huyou, and provides a reference for further selection and breeding of elite huyou accessions.

**Keywords:** Huyou, fruit quality, analytic hierarchy process (AHP), comprehensive evaluation

胡柚 (*Citrus changshanensis* K. S. Chen et C. X. Fu) 起源于浙江省常山县, 为柑橘属的一个新种, 系自然杂交而成, 至今已有一百余年的栽培历史, 因其具有耐瘠、耐寒、耐贮等优良品质, 被誉为“中华第一杂柑”<sup>[1-3]</sup>。胡柚果色金黄, 口感酸甜清爽, 风味独特, 富含类黄酮等活性物质, 因而深受广大消费者青睐, 成为浙江省重点开发的名特优农产品。由于胡柚源于天然杂交种的实生后代群体, 且在产业发展早期主要采用实生繁殖, 胡柚个体间差异较大<sup>[4]</sup>, 品质参差不齐。果实品质成为胡柚新品种选育的重要目标之一。

胡柚果实品质指标包括果实剥皮难易程度、单果质量、果皮厚度、果形指数、种子数量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量等。其中苦味作为重要品质性状备受育种学者的关注。目前已知柑橘苦味物质分为两大类, 一类是柠檬苦素类似物, 另一类是黄烷酮化合物<sup>[5]</sup>。黄烷酮是柑橘中含量最丰富的类黄酮, 通常以糖苷形式存在, 可分为黄烷酮新橘皮糖苷 (FNs) 和黄烷酮芸香糖苷 (FRs)。FNs 具有苦味, 主要包括柚皮苷、新橙皮苷、新圣草次苷等, 而 FRs 则不具有苦味, 主要包括芸香柚皮苷、橙皮苷、圣草次苷等<sup>[6-9]</sup>。不同柑橘种质中苦味物质的成分和含量具有特异性<sup>[7-8]</sup>。胡柚果肉中柠檬苦素类物质含量低, 其苦味主要来源于 FN<sup>[10-11]</sup>。

由于品质涉及多项指标, 如何客观、准确、科学地评价胡柚果实品质是急需解决的问题。果实品质评价常用方法有方差分析<sup>[12-13]</sup>、感官评价<sup>[14-15]</sup>等, 但这些方法较为简单粗略, 存在受主观因素影响较大或评价的品质指标众多致使主次难分等问题, 从而使评价结果不稳定, 不同批次间的评价结果可比性差。层次分析法 (AHP) 是一种多准则决策方法, 在医学<sup>[16]</sup>、农业<sup>[17]</sup>和环境<sup>[18]</sup>等多个学科领域均有广泛应用。果实品质评价中涉及多项指标, 应用 AHP 能够解决主次难分的问

题，提高评价结果的客观性和稳定性。其主要思路是将所需解决的问题分解成一个层次结构，最上层为目标层（拟解决的问题），中间一层为准则层（解决该问题需要考虑的指标），最下一层为决策层（综合比较形成的结论），在准则层中，对所涉及的指标进行两两比较，建立判断矩阵并计算权重，从而实现多指标的客观比较和综合评价，有助于快速理解不同果树种质资源之间的品质差异，提高评价结果的可比性和可解释性<sup>[19]</sup>。运用这一方法，刘璇等<sup>[20]</sup>基于 7 个指标对 20 个苹果脆片进行品质综合排名，发现红玉苹果脆片品质最好；沈甜等<sup>[21]</sup>对 10 个无核鲜食葡萄的 14 个基本指标进行观察测定，通过层次分析法得到各品质指标权重并对 10 个无核鲜食葡萄的品质进行综合评价。黄正金等<sup>[22]</sup>对 5 个黑莓杂交品系及其杂交亲本品种的生物学性状和经济学性状进行统计和调查，采用层次分析法对黑莓杂交品系进行综合评价和等级排名。

目前，尚未有对不同胡柚种质资源间的果实品质差异开展系统分析和评价，不利于优良品系和种质资源的开发应用。笔者在本研究中以生产上代表性强的 18 份胡柚为试验材料，对单果质量、果皮厚度、果形指数、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比和维生素 C 含量等指标进行分析，对果实皮色、肉质和剥皮难易等指标进行感官评价，比较不同胡柚种质的果实品质差异。同时，利用层次分析法建立各指标权重。根据各指标得分和权重，对胡柚果实品质进行综合评价，旨在明晰胡柚种质资源间品质差异情况，筛选出综合品质优良的种质资源，为品种选育提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

以浙西柑橘产区的 18 份胡柚种质资源为试材，采自浙江大学（常山）现代发展研究中心试验示范基地和骨干种植户果场（表 1）。果实于商业成熟期采收，当日运至实验室，选择无机械损伤、无病虫害、成熟度一致的完好果实进行分析。每份资源选取典型单株，在树冠东南西北中五个方位均匀采集共 15 个果实，分为 3 个生物学重复，每个重复包含 5 个果实。先就果实外观等指标进行测定，然后将果肉用液氮冰冻后置于-40 °C 保存用于后续果实品质相关物质的化学分析。

表 1 研究应用的 18 份胡柚种质资源信息

Table 1 Information of 18 huyou accessions applied in this study

编号 No.	名称 Name	树龄 Tree age/a	来源 Source
1	01-7a	15	浙江大学（常山）现代发展研究中心试验示范基地 Experimental Station of Zhejiang University (Changshan) Modern Agricultural Research & Development Center
2	01-7b	12	常山县球川镇馒头山村 Mantoushan Village, Qiuchuan Town, Changshan County
3	脆红 Cuihong	15	浙江大学（常山）现代发展研究中心试验示范基地 Experimental Station of Zhejiang University (Changshan) Modern Agricultural Research & Development Center
4	红肉胡柚 Hongrou huyou	15	浙江大学（常山）现代发展研究中心试验示范基地 Experimental Station of Zhejiang University (Changshan) Modern Agricultural Research & Development Center
5	果 2 Huyou2	15	浙江大学（常山）现代发展研究中心试验示范基地 Experimental Station of Zhejiang University (Changshan) Modern Agricultural Research & Development Center
6	果 4 Huyou4	约 30 About 30	常山县青石镇澄潭村 Dengtan Village, Qingshi Town, Changshan County
7	果 5 Huyou5	15	浙江大学（常山）现代发展研究中心试验示范基地 Experimental Station of Zhejiang University (Changshan) Modern Agricultural Research & Development Center
8	果 6 Huyou6	约 30 About 30	常山县球川镇铜背 Tongbei Village, Qiuchuan Town, Changshan County

9	果 7 Huyou7	约 25	常山县同弓乡中和村 Zhonghe Village, Tonggong Town, Changshan County
10	果 8 Huyou8	About 25	常山县白石镇新塘岭村 Xintangling Village, Baishi Town, Changshan County
11	果 9 Huyou9	约 25	常山县大桥镇袁青口村 Yuanqingkou Village, Daqiao Town, Changshan County
12	果 10 Huyou10	About 25	常山县辉埠镇久泰弄村 Jiutainong Village, Huibu Town, Changshan County
13	果 11 Huyou11	16	常山县球川镇馒头山村 Mantoushan Village, Qiuchuan Town, Changshan County
14	果 16 Huyou16	约 30	龙游县横山镇脉元村 Maiyuan Village, Hengshan Town, Longyou County
15	果 17 Huyou17	About 30	兰溪市诸葛镇川塘坞 Chuantangwu Village, Zhuge Town, Lanxi City
16	果 18 Huyou18	15	兰溪市诸葛镇川塘坞 Chuantangwu Village, Zhuge Town, Lanxi City
17	胡柚优株 a Huyou elite line a	12	浙江大学(常山)现代发展研究中心试验示范基地 Experimental Station of Zhejiang University (Changshan) Modern Agricultural Research & Development Center
18	胡柚优株 b Huyou elite line b	15	浙江大学(常山)现代发展研究中心试验示范基地 Experimental Station of Zhejiang University (Changshan) Modern Agricultural Research & Development Center

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 单果质量、果皮厚度和种子数量

用电子天平称量胡柚果实质量，计算平均单果质量。采用数显游标卡尺测定果皮厚度（果实赤道部）。采用人工计数法统计种子数量。

### 1.2.2 果实纵横径、果形指数和可食率

用数显游标卡尺测定果实纵横径，计算果形指数；果形指数=果实纵径/果实横径。采用电子天平测定果皮和种子质量，计算可食率；可食率/%=(单果质量-果皮质量-种子质量)/单果质量。

### 1.2.3 可溶性固形物、可滴定酸含量测定和固酸比计算

可溶性固形物（SSC）含量用便携式手持糖度计 PR-101 $\alpha$ （ATAGO，日本）测定。可滴定酸（TAC）含量使用电位滴定仪（T890，Hanon，中国）用酸碱滴定法分析。固酸比=SSC/TAC。

### 1.2.4 维生素 C 含量测定

用 2,6-二氯酚靛滴定法<sup>[23]</sup>测定。

### 1.2.5 类胡萝卜素总量测定

用分光光度法<sup>[24]</sup>测定。

### 1.2.6 总酚含量测定

采用福林酚法<sup>[25]</sup>测定，结果以没食子酸当量表示为 mg·GAE·g<sup>-1</sup>。

### 1.2.7 黄烷酮组分及含量测定

黄烷酮提取和测定参考 Liu<sup>[26]</sup>的方法。称取 0.1 g 冻干样品粉末，用 1 mL 80%乙醇超声辅助提取 30 min，经 12000 r·min<sup>-1</sup> 离心 10 min 后收集上清液，重复超声提取和离心步骤二次，合并上清液得到样品液。采用 Agilent（安捷伦，美国）HPLC 系统，以 Waters ODS C18 柱（SunFire 5  $\mu$ m，4.6 mm×250 mm）为固定相；以色谱纯乙腈（溶液 A）和含有 0.1%甲酸的超纯水（溶液 B）为流动相，线性梯度洗脱。检测波长：280 nm；柱温：25 °C；进样量：10  $\mu$ L；流速：1 mL·min<sup>-1</sup>。标准品圣草次苷、新圣草次苷、柚皮芸香苷、柚皮苷、橙皮苷、新橙皮苷购于美国 Sigma-Aldrich 公

司。

### 1.2.8 果实感官评价

由 20 位经培训的人员组成评价小组，对供试样品的肉质、果实皮色和剥皮难易程度进行打分评价，评价采用 100 分制进行。肉质评价：根据果肉细腻多汁和质地口感程度按六级赋分，级差 20 分；评价每个样品后，均以清水漱口后再进行下一个样品的评定。果实皮色评价：根据果实整齐度、皮色均匀度、果面光洁度以及斑点或缺陷情况按六级赋分，级差 20 分。剥皮难易程度：根据剥皮难易程度按六级（易、较易、中等、较难、难、极难）赋分，级差 20 分。

## 1.3 数据处理

### 1.3.1 数据记录和统计

利用 Excel 软件对数据进行记录和统计，利用 SPSS 23 统计软件对数据进行统计分析。

### 1.3.2 指标权重计算

由 12 位经培训的人员采用 1~9 比例标度法（即不同指标的重要程度用 1~9 之间的整数表示）就各品质指标给出重要度值，并计算平均值，基于该平均值使用层次分析法软件 yaahp 10.3 建立判断矩阵，通过一致性检验后得出胡柚果实品质指标权重。

### 1.3.3 理化分析指标得分计算

理化指标分析结果按表 2 所述方案计算得分，使数据均一化。根据理化指标类别（趋大指标、趋小指标和趋中指标）采用不同的计算公式。趋大指标是指数值越大越好的指标，包括可食率、可溶性固形物含量、固酸比、维生素 C 含量、类胡萝卜素总量、黄烷酮总量和总酚含量；趋小指标是指数值越小越好的指标，包括种子数量和可滴定酸含量；趋中指标是指适中数值（采取平均值作为适中值）为最佳的指标，包括果实质量、果形指数、新橘皮糖苷含量。

表 2 胡柚果实理化分析指标得分规则

Table 2 Scoring standards for physicochemical indicators of huyou

适用指标 Applicable indicators	得分 Score	
	$X \geq X_{ave}$	$X < X_{ave}$
可食率、可溶性固形物含量、固酸比、维生素 C 含量、类胡萝卜素总量、黄烷酮总量和总酚含量 ER, SSC, SSC/TCA, Vc content, Total carotenoids, Total Flavanones content, Total phenolics content	$=50+50*(X-X_{ave}) / (X_{max}-X_{ave})$	$=50-50*(X-X_{ave}) / (X_{ave}-X_{min})$
种子数量、可滴定酸 Number of seeds per fruit, TCA	$=50-50*(X-X_{ave}) / (X_{max}-X_{ave})$	$=50-50*(X-X_{ave}) / (X_{ave}-X_{min})$
果实质量、果形指数、黄烷酮新橘皮糖苷 AWF, FSI, FNs	$=100-100* (X-X_{ave})  / (X_{max}-X_{ave})$	$=100-100* (X-X_{ave})  / (X_{ave}-X_{min})$

## 2 结果与分析

### 2.1 胡柚果实品质指标权重的计算

由 12 位人员对胡柚果实品质指标给出重要度值，然后计算重要度值的平均值，基于该重要度平均值构建判断矩阵 O-C。判断矩阵中甜酸风味包括可溶性固形物、可滴定酸含量和固酸比；苦味为黄烷酮新橘皮糖苷含量；营养包括类胡萝卜素总量、黄烷酮总量和总酚含量。矩阵中值为 1

时代表两品质指标同样重要，值大于 1 时表明表格中位于横列的品质指标比位于竖列的品质指标更重要，同理，值小于 1 则说明竖列品质指标更重要。对矩阵一致性进行检验，计算结果表明，判断矩阵一致性比率小于 0.1，通过一致性检验，说明所划分权重有效。由表 3 最后一行可知，胡柚果实各品质指标中，甜酸风味最为重要，权重值最高，达 17.65%，果形指数最不important，权重值最小，为 2.29%。

表 3 胡柚果实各品质指标 AHP 分析结果

Table 3 Judgment matrix O-C of each quality parameter of huyou and the calculated results

指标 Index	单果质量 AFW	果形指数 FSI	可食率 ER	种子数量 Number of seeds per fruit	苦味 Bitterness	Vc	甜酸风味 Sweetness and sourness	营养 Nutrition	剥皮难易 Peeling ability	皮色 Peel color	肉质 Flesh texture and succulency
单果质量 AFW	1	2.43	0.57	0.67	0.41	1.06	0.32	0.79	0.67	0.62	0.42
果形指数 FSI	0.41	1	0.23	0.28	0.17	0.44	0.13	0.33	0.28	0.26	0.17
可食率 ER	1.77	4.29	1	1.18	0.72	1.88	0.56	1.40	1.18	1.09	0.74
种子数量 Number of seeds per fruit	1.50	3.64	0.85	1	0.61	1.59	0.47	1.19	1	0.93	0.63
苦味 Bitterness	2.44	5.93	1.38	1.63	1	2.59	0.77	1.93	1.63	1.51	1.03
Vc	0.94	2.29	0.53	0.63	0.39	1	0.30	0.74	0.63	0.58	0.40
甜酸风味 Sweetness and sourness	3.18	7.71	1.80	2.12	1.30	3.38	1	2.51	2.12	1.96	1.33
营养 Nutrition	1.27	3.07	0.72	0.84	0.52	1.34	0.40	1	0.84	0.78	0.53
剥皮难易 Peeling ability	1.50	3.64	0.85	1	0.61	1.59	0.47	1.19	1	0.93	0.63
皮色 Peel color	1.62	3.93	0.92	1.08	0.66	1.72	0.51	1.28	1.08	1	0.68
肉质 Flesh texture and succulency	2.38	5.79	1.35	1.59	0.98	2.53	0.75	1.88	1.59	1.47	1
特征向量 Ti	0.61	0.25	1.08	0.92	1.49	0.58	1.94	0.77	0.92	0.99	1.46
权重 Wi/%	5.56	2.29	9.80	8.33	13.56	5.23	17.65	7.03	8.33	8.99	13.24

CI=0.000 CR=0.000<0.1, 一致性检验通过 Consistency test passed

注：CI 为一致性指标，CR 为一致性比率。

Note: CI is the consistency index; CR is the consistency ratio.

## 2.2 果实外观品质分析

由表 4 可知，18 份胡柚种质果实外观品质指标存在不同程度差异。单果质量分布在 184.32~423.20 g 之间，其中红肉胡柚的单果质量最大，果 4 的单果质量最小。果形指数差异不大，变异系数仅为 3.06%；所有胡柚种质资源的纵径均小于横径，果形指数均小于 1，平均为 0.89，果形为圆形。果皮厚度和可食率分别位于 2.15~9.68 mm 和 50.33%~83.67%之间，其中脆红的果皮最薄，可食率最高。果 16 的果皮最厚，可食率最低。不同胡柚种质间种子数量差异大，脆红的种子数量最少，平均每果种子数为 0.22，而果 16 种子数量最多，达 22.67。

表 4 18 份胡柚种质果实外观品质

**Table 4 External fruit quality of the 18 huyou accessions**

名称 Name	单果质量 AFW/g	果实纵径 Longitudinal diameter/mm	果实横径 Transverse diameter/mm	果形指数 FSI	果皮厚度 Pericarp thickness/mm	可食率 ER/%	种子数量 Number of seeds per fruit
01-7a	295.05 d	78.85 c	86.40 de	0.91 abc	6.34 cd	66.67 de	3.67 def
01-7b	258.98 e	73.97 ef	84.39 ef	0.88 defg	6.26 de	63.67 f	2.67 ef
脆红 Cuihong	203.76 hi	66.59 h	74.00 i	0.90 bcd	2.15 j	83.67 a	0.22 f
红肉胡柚 Hongrou huyou	423.20 a	85.67 a	96.59 a	0.88 def	5.66 def	69.00 cd	20.22 a
果 2 Huyou2	314.22 d	79.58 c	87.57 d	0.91 abc	4.70 fghi	71.67 bc	1.11 ef
果 4 Huyou4	185.80 i	66.62 h	74.54 i	0.89 cde	5.69 def	63.00 f	11.22 b
果 5 Huyou5	368.57 b	84.51 ab	92.38 bc	0.91 abc	5.00 fgh	70.33 bcd	1.89 ef
果 6 Huyou6	339.23 c	84.26 ab	90.51 c	0.93 a	7.33 bc	63.00 ef	5.78 cde
果 7 Huyou7	249.79 ef	71.78 fg	82.62 fg	0.87 fgh	4.92 fgh	68.33 cd	1.22 ef
果 8 Huyou8	243.75 ef	71.23 g	81.90 fg	0.87 efgh	5.70 def	64.33 ef	8.78 bcd
果 9 Huyou9	210.39 h	66.67 h	78.03 h	0.86 gh	4.57 ghi	70.33 bcd	1.67 ef
果 10 Huyou10	184.32 i	62.90 i	74.23 i	0.85 h	4.01 hi	68.67 cd	2.11 ef
果 11 Huyou11	316.17 d	78.34 c	90.58 c	0.86 fgh	7.60 b	64.33 ef	2.67 ef
果 16 Huyou16	236.42 fg	75.79 de	82.42 fg	0.92 ab	9.68 a	50.33 h	22.67 a
果 17 Huyou17	215.06 gh	73.88 ef	80.14 gh	0.92 ab	7.29 bc	56.33 g	10.44 bc
果 18 Huyou18	340.24 c	82.44 b	94.31 ab	0.88 defg	9.39 a	55.33 g	22.44 a
胡柚优株 a Huyou elite line a	307.46 d	77.58 cd	86.25 de	0.90 bcd	3.76 i	73.00 b	0.89 ef
胡柚优株 b Huyou elite line b	380.13 b	84.25 ab	92.55 bc	0.91 abc	5.27 efg	72.00 bc	0.44 ef
平均值 Mean	281.81	75.83	84.97	0.89	5.85	66.22	6.67
标准差 SD	70.95	7.08	7.07	0.03	1.94	0.08	9.58
变异系数 CV/%	25.18	9.34	8.32	3.07	33.23	11.71	143.57

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 letters following values indicate significant difference in the same column ( $p < 0.05$ ). The same below.



### 2.3 果实内在品质分析

由表 5 可知, 不同胡柚种质果实内在品质差异也较大。可溶性固形物含量在 9.83~15.40 °Brix 之间, 果 4 的可溶性固形物含量显著高于其他胡柚。可滴定酸含量范围为 0.90~1.57 mg·g<sup>-1</sup>, 果 8 的可滴定酸含量最高, 红肉胡柚的可滴定酸含量最低。不同胡柚种质资源间的固酸比差异较大, 果 18 固酸比值最高 (达 12.73), 果 7 的固酸比值最低 (为 7.91)。

维生素 C 含量在 35.88~72.95 mg·100 g<sup>-1</sup> 之间, 果 16 的维生素 C 值含量显著高于其他胡柚, 果 2 的维生素 C 值最低。不同胡柚种质资源间果肉类胡萝卜素总量差异高达 3.78 倍; 红肉胡柚果肉橙红, 类胡萝卜素总量达 8.66 μg·g<sup>-1</sup>, 显著高于其他胡柚。总酚含量位于 13.83~20.07 mg GAE·g<sup>-1</sup> 之间, 其中脆红的总酚含量最高。黄烷酮总量范围为 3.71~9.65 mg·g<sup>-1</sup>, 其中脆红的黄烷酮总量最高。不同胡柚种质资源间 FNs (具苦味) 和 FRs (不具苦味) 的变异系数均较大, 分别为 43.18% 和 52.48%; 果 10 的 FNs 含量最高 (5.39 mg·g<sup>-1</sup>), 与品尝感觉的苦味最重一致; 脆红的 FRs 含量最高, 但果实中未检测出 FNs, 与脆红果肉品尝不出苦味相一致。

表 5 18 份胡柚种质果实风味品质和营养品质

Table 5 Flavor and nutritional fruit quality of the 18 huyou accessions

名称 Name	w (可溶性固形物) SSC content / (°Brix)	w (可滴定酸) TA content / (g·100 g <sup>-1</sup> )	固酸比 SSC/T A	w (Vc) Vc content / (mg·100 g <sup>-1</sup> )	w (新橘皮糖苷类) FNs content / (mg·g <sup>-1</sup> )	w (芸香糖苷类) FRs content / (mg·g <sup>-1</sup> )	w (黄烷酮总量) Total flavonone content / (mg·g <sup>-1</sup> )	w (类胡萝卜素总量) Total carotenoid s content / (μg·g <sup>-1</sup> )	w (总酚) Total phenolics content / (mg GAE g <sup>-1</sup> )
01-7a	12.00 e	1.25 d	9.56 efghi	56.60 d	2.78 g	2.65 def	5.44 fghi	3.07 efg	13.83 h
01-7b	13.30 d	1.23 d	10.85 cd	50.03 e	3.12 fg	2.96 cde	6.08 efghi	3.11 efg	14.30 gh
脆红 Cuihong	10.30 ij	1.07 ef	9.64 efgh	37.91 gh	ND h	9.65 a	9.65 a	6.32 b	20.07 a
红肉胡柚 Hongrou huyou	10.60 hi	0.90 g	11.75 b	44.04 f	1.02 h	2.69 def	3.71 j	8.66 a	14.07 fgh
果 2 Huyou2	11.57 f	1.44 bc	8.04 jk	35.88 h	2.74 g	2.54 efg	5.28 ghij	2.97 efg	13.89 h
果 4 Huyou4	15.40 a	1.49 ab	10.35 cde	62.06 c	3.39 efg	3.36 bc	6.75 defgh	3.17 ef	16.41 d
果 5 Huyou5	11.03 g	1.25 d	8.82 hij	47.23 e	3.3 efg	2.57 efg	5.87 efghi	2.71 hi	15.19 defgh
果 6 Huyou6	10.17 jk	1.25 d	8.13 jk	48.09 e	2.71 g	2.15 fg	4.86 ij	2.68 hi	14.81 efgh
果 7 Huyou7	10.00 jk	1.26 d	7.91 k	44.04 f	3.99 cdef	2.92 cde	6.91 cdefg	3.21 e	16.35 de
果 8 Huyou8	13.73 c	1.57 a	8.77 ij	57.67 d	4.73 abcd	2.19 fg	6.91 cdefg	2.83 fghi	16.63 cd
果 9 Huyou9	10.90 gh	1.07 ef	10.21 cdef	39.76 g	4.22 bcde	2.95 cde	7.17 cde	2.95 efg	16.20 def
果 10 Huyou10	13.87 bc	1.38 c	10.04 cdefg	56.82 d	5.39 a	3.11 cde	8.49 abc	4.70 c	16.42 d
果 11 Huyou11	11.10 g	1.11 e	10.02 defg	47.04 ef	4.74 abcd	3.06 cde	7.81 bcd	2.29 j	18.13 bc
果 16 Huyou16	14.27 b	1.54 a	9.28 ghi	72.95 a	3.72 defg	3.28 bcd	7.00 cdef	2.68 hi	18.90 ab
果 17 Huyou17	11.60 ef	1.07 ef	10.87 c	62.73 c	5.22 ab	3.84 b	9.06 ab	3.75 d	19.08 ab
果 18 Huyou18	12.93 d	1.02 f	12.73 a	68.15 b	5.06 abc	3.29 bcd	8.35 abcd	2.60 ij	19.60 ab
胡柚优株 a Huyou elite line a	11.53 f	1.44 bc	8.04 jk	37.56 gh	2.93 fg	2.60 efg	5.53 efghi	2.94 efg	15.05 defgh
胡柚优株 b Huyou elite line b	9.83 k	1.04 ef	9.44 fghi	49.72 e	3.24 efg	1.95 g	5.19 hij	2.78 ghi	15.76 defg
平均值 Mean	11.90	1.24	9.69	51.02	3.46	3.21	6.67	3.52	16.41

标准差 SD	1.63	0.20	1.38	10.76	1.49	1.68	1.78	1.56	2.12
变异系数 CV/%	13.71	16.14	14.27	21.10	43.18	52.48	26.67	44.42	12.91

注：ND. 未检出。

Note: ND means not detected

## 2.4 果实感官评定分析

就果实剥皮难易、皮色、肉质这三项指标进行了感官评价，结果如表 6 所示。不同胡柚种质间果实剥皮难易程度差别大，其中胡柚优株 a、红肉胡柚、果 2 和果 11 剥皮容易，果 8 极难剥皮。果实皮色得分差别也较大，01-7a、脆红和果 7 果实整齐，着色均匀，表面光洁，得分高。果实肉质得分差别不大，红肉胡柚肉质得分最高为 81.47。

## 2.5 果实品质综合评价

胡柚理化指标得分如表 6 所示。其中甜酸风味得分为可溶性固形物含量、可滴定酸含量和固酸比三者得分的平均值；苦味得分为黄烷酮新橘皮糖苷含量得分值；营养指标得分为类胡萝卜素总量、黄烷酮总量和总酚得分的平均值。按表 2 所示的理化指标得分计算原则，各理化指标最高可得 100 分，最低可得 0 分。对于趋中指标，可有两份种质资源得分为 0，如红肉胡柚和果 10 因果个过大和过小在单果质量这个指标上得分均为 0。分析表明，不同胡柚种质资源间果实品质差异大，在不同指标上表现出优异性。

将 18 份胡柚种质资源各品质指标的得分乘以对应权重值（见表 3 最后一行）再相加得出胡柚果实品质综合评价的总得分，计算结果见表 6。01-7b 和 01-7a 总得分居前二，其多项单项品质指标得分也较高，具有果实大小适中、种子数量少和皮色美观等特点，综合性状优，其中 01-7b 在甜酸风味和苦味得分上更胜一筹。胡柚优株 b 和果 5 虽果个偏大导致单果质量得分较低，但具有苦味适中、种子数量少的优点，其综合得分分别列第 3 和第 5。除果实甜酸风味得分和维生素 C 得分外，胡柚优株 a 多项指标得分均靠前，具有果形优美、皮色美观和易剥皮的特点，其综合得分列第 4。脆红综合得分列第 6，其可食率、种子数量和皮色等单项得分高。

表 6 18 份胡柚种质资源果实品质评价得分

Table 6 Fruit quality evaluation scores of the 18 huyou accessions

名称 Name	单果质量 AFW	果形指数 FSI	可食率 ER	种子数量 Number of seeds per fruit	苦味 Bitterness	Vc	甜酸风味 Sweetness and sourness	营养 Nutrition	剥皮难易 Peeling ability	皮色 Peel color	肉质 Flesh texture and succulency	总分 Score
01-7b	76.58	72.00	41.96	81.02	90.20	46.74	63.59	27.49	73.40	77.20	71.55	67.14
01-7a	90.63	52.17	51.27	73.27	80.42	62.3	48.94	20.27	73.40	86.60	73.35	65.22
胡柚优株 b Huyou elite	30.46	52.17	66.56	98.30	93.75	45.2	40.75	27.46	86.60	76.60	68.00	64.95

line b													
胡柚 优株 a	81.86	78.26	69.43	94.81	84.51	5.55	21.50	26.89	100.00	80.40	64.44	62.60	
Huyo u elite line a													
果 5	38.64	52.17	61.78	87.06	95.31	37.49	34.26	26.61	82.20	75.00	65.25	61.73	
Huyo u5													
脆红 Cuih ong	19.94	78.26	100.00	100.00	0.00	6.71	45.72	92.41	91.20	86.00	70.95	60.56	
果 2	77.08	52.17	65.61	93.10	79.04	0.00	21.56	18.40	100.00	82.00	69.85	60.49	
Huyo u2													
果 7	67.16	48.00	56.05	92.25	72.70	26.96	17.32	46.74	91.20	85.40	66.85	59.69	
Huyo u7													
果 4	1.52	96.00	33.57	35.79	97.97	75.18	57.94	45.68	60.00	68.40	68.68	59.42	
Huyo u4													
果 9	26.74	24.00	61.78	88.76	60.57	12.82	53.59	43.70	82.20	75.00	67.47	59.37	
Huyo u9													
果 11	75.70	24.00	44.06	81.02	33.37	36.87	51.89	47.52	100.00	71.20	65.63	58.19	
Huyo u11													
果 18	58.67	72.00	15.73	0.72	16.97	89.06	82.53	61.42	95.60	78.60	71.94	56.91	
Huyo u18													
红肉 胡柚 Hong rou huyo u	0.00	72.00	57.96	7.66	29.57	26.96	67.63	38.96	100.00	84.80	81.47	54.78	
果 17	31.53	26.09	18.88	38.23	8.42	76.70	62.51	76.28	95.60	63.60	68.20	51.68	
Huyo u17													
果 16	53.44	26.09	0.00	0.00	86.60	10.00	42.27	51.78	46.60	74.40	68.37	51.27	
Huyo u16													
果 6	59.39	0.00	39.86	56.92	78.35	40.34	20.71	18.07	68.80	73.00	66.85	50.83	
Huyo u6													
果 10	0.00	0.00	57.01	85.36	0.00	63.23	53.97	64.06	60.00	67.00	66.15	49.86	
Huyo u10													
果 8	60.96	48.00	44.06	43.41	34.29	65.17	33.30	43.01	20.00	84.20	66.15	47.41	
Huyo u8													

### 3 讨论

数理统计方法通过数学原理结合测定理化指标对果实品质进行评价，可减少人为主观因素，使评价更接近客观真实值，数理统计的方法在百香果<sup>[27]</sup>、猕猴桃<sup>[28]</sup>、香梨<sup>[29]</sup>和橄榄<sup>[30]</sup>等果实品质评价上均有应用。目前，用于果实品质综合评价的数理统计方法有多种，如刘磊等<sup>[28]</sup>运用主成分分析法提取猕猴桃果实品质的 3 个主成分，并根据主成分分析结果计算猕猴桃各品种（单株）综合得分。位杰等<sup>[29]</sup>应用“合理-满意度”和多维价值理论的合并规则对不同产地库尔勒香梨果实品质进行综合比较分析。谢倩等<sup>[30]</sup>结合模糊数学感官评价方法、多频脉冲电子舌技术及相关品质理化指标测定，构建橄榄鲜食品质预测模型。对本研究中的 18 份胡柚种质果实品质进行综合评价时，

需考虑胡柚自身特点，用以上方法都存在一定误区，不能全面评估胡柚果实品质，如主成分分析法会导致相关信息指标的丢失，不能保证评价结果的一致性<sup>[31]</sup>。此外，在对果实品质进行综合评价时，品质指标赋权尤为关键。层次分析法是一种指标全覆盖且易操作的果实品质评价方法，它在确定品质指标权重时能将人们主观思维逻辑数字化、严谨化，从而获得客观、科学的结果。目前，该方法已被应用于葡萄<sup>[21]</sup>、黑莓<sup>[22]</sup>、油桃<sup>[32]</sup>和金花梨<sup>[33]</sup>等果实品质评价及影响果实品质和产量的因素分析。因此，笔者在本研究中采用层次分析法，通过 1~9 比例标度法建立判断矩阵来确定不同指标在果实品质综合评价中的权重，并对其进行一致性检验。同时，对于理化分析指标，以各指标的平均值为基准、最大值和最小值为界限，确定各指标得分，既避免指标信息丢失，也考虑数据本身所反映的信息。笔者在本研究中的评价体系有效解决了果实品质评价中涉及多项指标时难以确定主次关系的问题，使果实品质评价更加科学和合理。

胡柚种质资源是胡柚品种改良的重要基础，不同资源之间果实品质性状的差异为育种材料的选择和新产品的开发提供了重要参考依据。笔者在本研究中从外观品质、内部风味品质，营养品质等方面统计胡柚多个品质指标，结果表明 18 份胡柚种质资源的果实甜酸风味、果实大小及种子数量等多个指标存在不同程度差异。通过建立评价体系筛选得出 01-7b、01-7a、胡柚优株 b、胡柚优株 a 和果 5 综合品质优异，具有果实大小适中，皮色美观和甜酸风味适中等优点，可作为胡柚优良品种在产业中直接应用或作为进一步选育的材料。通过对 18 份胡柚种质资源的外观品质进行分析，发现外观品质指标变异系数介于 3.07%~143.57%之间，分别以果形指数和种子数为最小和最大。此外，发现脆红具有可食率高、种子数量少的优点。对内在品质进行分析后发现，果 4 和果 16 的可溶性固形物和可滴定酸含量较高，不适宜用作鲜食品种开发，但可用于制汁等加工专用品种的育种材料。果 17、果 18 和脆红的类黄酮总量和总酚含量均高于其他胡柚种质资源，可作为提高功能性营养成分含量的优良育种材料，满足消费多样性的需求。此外，本研究中的大部分胡柚种质均含有具有苦味的黄烷酮新橘皮糖苷，但脆红中只含有不具苦味的黄烷酮芸香糖苷，可将脆红作为培育不含苦味的胡柚的优良育种材料；果 10 虽苦味最重不利鲜食，但因黄烷酮新橘皮糖苷含量最高，可将果 10 在小青果时采收，用作“衢枳壳”中药材原料。

笔者在本研究中对品种的评价仅关注品质，实际生产还需要考虑丰产性、抗逆性和贮藏性等其他农艺性状。另外，笔者在本研究中采集的胡柚种质资源虽均来自管理水平相对较高的示范园和骨干种植户果园，管理措施基本一致，但 18 份胡柚种质的自然分布位置和自身树龄有所不同，故其品质性状差异并不宜完全归因于遗传特性。目前已针对生产上自然散布的胡柚资源逐步建立资源圃，后续将作进一步系统评价，以期为准筛选优良胡柚品种资源奠定基础。

#### 4 结论

笔者在本研究中采用层次分析法对胡柚果实 11 项品质指标的权重进行赋值，发现甜酸风味权重占比最高，果形指数占比最低。同时，对 18 份胡柚果实的各项理化指标和感官性状进行评价分析，根据理化指标计分规则对各项指标进行赋分，发现不同胡柚种质资源间果实品质差异大，在

不同指标上表现出优异性。根据各指标权重和得分计算得出 18 份胡柚种质果实品质综合得分, 发现 01-7b、01-7a、胡柚优株 b、胡柚优株 a 和果 5 综合得分最高, 可开发为优良鲜食品种; 果 4 和果 16 因高酸而适宜制汁等加工用途; 脆红可作为培育不含苦味的胡柚的优良育种材料; 果 10 适宜用作“衢枳壳”中药材原料。本研究可为胡柚新品种选育及综合利用提供理论依据, 也可与其他果实的品质综合评价提供参考。

#### 参考文献 References:

- [1] 俞日梁, 陈新建, 叶杏元, 杨兴良, 贝增明, 郑国民. 常山胡柚品种起源及栽培研究进展[J]. 浙江林业科技, 2006, 26(3): 83-86.
- YU Riliang, CHEN Xinjian, YE Xingyuan, YANG Xingliang, BEI Zengming, ZHENG Guomin. Study on origin and cultivation of *Citrus Changshan-huyou*[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2006, 26(3): 83-86.
- [2] ZHANG J K, SUN C D, YAN Y Y, CHEN Q J, LUO F L, ZHU X Y, LI X, CHEN K S. Purification of naringin and neohesperidin from Huyou (*Citrus changshanensis*) fruit and their effects on glucose consumption in human HepG2 cells[J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 1471-1478.
- [3] XU C J, BAO L, ZHANG B, BEI Z M, YE X Y, ZHANG S L, CHEN K S. Parentage analysis of Huyou (*Citrus changshanensis*) based on internal transcribed spacer sequences[J]. Plant Breeding, 2006, 125(5): 519-522.
- [4] 龚洁强, 赵建明, 缪天纲, 叶杏元. 胡柚在实生繁殖下的遗传变异调查[J]. 浙江柑桔, 1989, 6(1): 31-32.
- GONG Jieqiang, ZHAO Jianming, MIAO Tiangang, YE Xingyuan. Investigation on genetic variation of huyou under reproduction[J]. Zhejiang Citrus, 1989, 6(1): 31-32.
- [5] 陈嘉景. 柑橘中类黄酮新橘皮糖苷代谢关键基因分离和功能分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- CHEN Jiaping. Isolation and functional analysis of genes governing flavonoid neohesperidoside metabolism in citrus[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [6] FRYDMAN A, WEISSHAUS O, BAR-PELED M, HUHMAN D V, SUMNER L W, MARIN F R, LEWINSOHN E, FLUHR R, GRESSEL J, EYAL Y. *Citrus* fruit bitter flavors: isolation and functional characterization of the gene Cm1, 2RhaT encoding a 1, 2 rhamnosyltransferase, a key enzyme in the biosynthesis of the bitter flavonoids of citrus[J]. The Plant Journal, 2004, 40(1): 88-100.
- [7] 陈嘉景, 彭昭欣, 石梅艳, 徐娟. 柑橘中类黄酮的组成与代谢研究进展[J]. 园艺学报, 2016, 43(2): 384-400.
- CHEN Jiaping, PENG Zhaoxin, SHI Meiyang, XU Juan. Advances in on flavonoid composition and metabolism in citrus[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2016, 43(2): 384-400.
- [8] CHEN J J, LI G, ZHANG H P, YUAN Z Y, LI W Y, PENG Z X, SHI M Y, DING W Y, ZHANG H X, CHENG Y J, YAO J L, XU J. Primary bitter taste of *Citrus* is linked to a functional allele of the 1, 2-rhamnosyltransferase gene originating from *Citrus grandis*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(34): 9869-9882.
- [9] LI W Y, LI G, YUAN Z Y, LI M Y, DENG X X, TAN M L, MA Y H, CHEN J J, XU J. Illustration of the variation in the content of flavanone rutinosides in various citrus germplasms from genetic and enzymatic perspectives[J]. Horticulture Research, 2022, 9: uhab017.
- [10] SUN C D, CHEN K S, CHEN Y, CHEN Q J. Contents and antioxidant capacity of limonin and nomilin in different tissues of citrus fruit of four cultivars during fruit growth and maturation[J]. Food Chemistry, 2005, 93(4): 599-605.
- [11] ABEYSINGHE D, LI X, SUN C, ZHANG W S, ZHOU C H, CHEN K S. Bioactive compounds and antioxidant

- capacities in different edible tissues of citrus fruit of four species[J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1338-1344.
- [12] 吴婧, 龚倩, 丘赛, 王华. 杨凌地区四个欧美鲜食葡萄品种综合性状比较[J]. 北方园艺, 2012(18): 48-50.  
WU Jing, GONG Qian, QIU Sai, WANG Hua. Comparison of comprehensive characters of four table grape varieties in Yangling area[J]. Northern Horticulture, 2012(18): 48-50.
- [13] 龚倩, 王华. 陕西关中地区鲜食葡萄引种观察[J]. 北方园艺, 2012(15): 21-25.  
GONG Qian, WANG Hua. Primary reports on introduction of table-grape in Guanzhong area of Shaanxi Province[J]. Northern Horticulture, 2012(15): 21-25.
- [14] 张群, 付复华, 吴跃辉, 朱玲凤, 单杨. 湖南杂柑品种外观品质与营养品质及感官评价之间的相关性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 100-106.  
ZHANG Qun, FU Fuhua, WU Yuehui, ZHU Lingfeng, SHAN Yang. Study on the correlation among appearance quality, nutritional quality and sensory evaluation of hybrid citrus varieties in Hunan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(23): 100-106.
- [15] 申素云, 王周倩, 张琦, 杨洁, 韩飞, 钟彩虹, 王传华, 黄文俊. 36份猕猴桃种质资源的果实品质与感官评价分析[J]. 植物科学学报, 2023, 41(4): 540-551.  
SHEN Suyun, WANG Zhouqian, ZHANG Qi, YANG Jie, HAN Fei, ZHONG Caihong, WANG Chuanhua, HUANG Wenjun. Analysis of fruit quality and sensory evaluation of 36 kiwifruit (*Actinidia*) germplasm accessions[J]. Plant Science Journal, 2023, 41(4): 540-551.
- [16] CANCELA J, FICO G, ARREDONDO WALDMEYER M T. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to understand the most important factors to design and evaluate a telehealth system for Parkinson's disease[J]. BMC Medical Informatics and Decision Making, 2015, 15(Suppl 3): S7.
- [17] AKINCI H, ÖZALP A Y, TURGUT B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 97: 71-82.
- [18] XU S B, XU D S, LIU L L. Construction of regional informatization ecological environment based on the entropy weight modified AHP hierarchy model[J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2019, 22: 26-31.
- [19] 秦吉, 张翼鹏. 现代统计信息分析技术在安全工程方面的应用: 层次分析法原理[J]. 工业安全与防尘, 1999, 25(5): 44-48.  
QIN Ji, ZHANG Yipeng. Application of contemporary statistical information analysis method in safety engineering: The principle of AHP[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 1999, 25(5): 44-48.
- [20] 刘璇, 王沛, 毕金峰, 王轩, 杨爱金, 吕健. 基于层次分析法的晚熟品种苹果脆片品质评价[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 46-50.  
LIU Xuan, WANG Pei, BI Jinfeng, WANG Xuan, YANG Aijin, LV Jian. Quality evaluation of late maturity apple chips based on analytic hierarchy process[J]. Food & Machinery, 2012, 28(5): 46-50.
- [21] 沈甜, 牛锐敏, 黄小晶, 许泽华, 陈卫平. 基于层次-关联度和主成分分析的无核鲜食葡萄品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 53-60.  
SHEN Tian, NIU Ruimin, HUANG Xiaojing, XU Zehua, CHEN Weiping. Quality assessment of seedless table grapes based on hierarchy-relation and principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 53-60.
- [22] 黄正金, 卫云丽, 张春红, 阎连飞, 李维林, 吴文龙. 基于层次分析法的5个黑莓杂交品系综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(1): 135-140.  
HUANG Zhengjin, WEI Yunli, ZHANG Chunhong, LÜ Lianfei, LI Weilin, WU Wenlong. Comprehensive evaluation of five blackberry hybrid strains by analytic hierarchy process (AHP)[J]. Journal of Nanjing Forestry University

- (Natural Sciences Edition), 2019, 43(1): 135-140.
- [23] 王传芬, 韩玉, 王英博, 王梦洁, 王小君, 马文皎. 果蔬中维生素 C 含量的测定及比较[J]. 农业与技术, 2020, 40(18): 44-46.
- WANG Chuanfen, HAN Yu, WANG Yingbo, WANG Mengjie, WANG Xiaojun, MA Wenjiao. Determination and comparison of vitamin C content in fruits and vegetables[J]. Agriculture and Technology, 2020, 40(18): 44-46.
- [24] FADEEL A A. Location and properties of chloroplasts and pigment determination in roots[J]. Physiologia Plantarum, 1962, 15(1): 130-146.
- [25] 李巨秀, 王柏玉. 福林一酚比色法测定桑椹中总多酚[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 292-295.
- LI Juxiu, WANG Baiyu. Folin-ciocalteu colorimetric determination of total polyphenols in mulberry fruits[J]. Food Science, 2009, 30(18): 292-295.
- [26] LIU X J, ZHAO C N, GONG Q, WANG Y, CAO J P, LI X, GRIERSON D, SUN C D. Characterization of a caffeoyl-CoA O-methyltransferase-like enzyme involved in biosynthesis of polymethoxylated flavones in *Citrus reticulata*[J]. Journal of Experimental Botany, 2020, 71(10): 3066-3079.
- [27] 马文霞, 倪玉洁, 谢倩, 何淑敏, 叶清华, 叶俊, 陈清西. 鲜食百香果果实品质综合评价模型的建立及应用[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 53-60.
- MA Wenxia, NI Yujie, XIE Qian, HE Shumin, YE Qinghua, YE Jun, CHEN Qingxi. Establishment and application of comprehensive evaluation model for quality of fresh passion fruit[J]. Food Science, 2020, 41(13): 53-60.
- [28] 刘磊, 李争艳, 雷华, 高本旺, 赵佳, 李薇. 30 个猕猴桃品种 (单株) 主要果实品质特征的综合评价[J]. 果树学报, 2021, 38(4): 530-537.
- LIU Lei, LI Zhengyan, LEI Hua, GAO Benwang, ZHAO Jia, LI Wei. Comprehensive evaluation of main fruit quality characteristics with 30 kiwifruit cultivars (strains)[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(4): 530-537.
- [29] 位杰, 马建江, 陈久红, 王小兵, 任晓燕. 不同产地库尔勒香梨果实品质差异及综合评价[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 87-91.
- WEI Jie, MA Jianjiang, CHEN Jiuhong, WANG Xiaobing, REN Xiaoyan. Quality differences and comprehensive evaluation of Korla fragrant pear from different habitats[J]. Food Science, 2017, 38(19): 87-91.
- [30] 谢倩, 李易易, 张诗艳, 束燕萍, 王威, 陈清西. 基于模糊数学感官评价、理化特性与电子舌的橄榄鲜食品质分析[J]. 食品科学, 2023, 44(3): 69-78.
- XIE Qian, LI Yiyi, ZHANG Shiyan, SHU Yanping, WANG Wei, CHEN Qingxi. Quality analysis of table *Cauarium album* L. based on fuzzy mathematics sensory evaluation, physicochemical properties and electronic tongue[J]. Food Science, 2023, 44(3): 69-78.
- [31] 叶明确, 杨亚娟. 主成分综合评价法的误区识别及其改进[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(10): 142-153.
- YE Mingque, YANG Yajuan. Erroneous zone identification and improvement of synthesis evaluation based on principal component analysis[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2016, 33(10): 142-153.
- [32] 焦艺, 刘璇, 毕金峰, 陈芹芹, 吴昕焯, 阮卫红. 基于灰色关联度和层次分析法的油桃果汁品质评价[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 154-163.
- JIAO Yi, LIU Xuan, BI Jinfeng, CHEN Qinqin, WU Xinye, RUAN Weihong. Quality evaluation of nectarine juice based on grey interconnect degree analysis and analytic hierarchy process[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 154-163.
- [33] 刘遵春, 包东娥, 廖明安. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2006, 34(8): 125-128.
- LIU Zunchun, BAO Donge, LIAO Ming'an. Application of analytic hierarchy process in evaluating Jinhua pear quality[J].

