

温锦丽, 曹炜玉, 王月, 等. 基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(1): 247–257.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020245

WEN Jinli, CAO Weiyu, WANG Yue, et al. Comprehensive Evaluation of Fruit Quality of *Actinidia arguta* Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(1): 247–257. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020245

· 分析检测 ·

基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价

温锦丽¹, 曹炜玉¹, 王月¹, 何艳丽¹, 孙怡宁¹, 原鹏强¹, 孙博位^{1,2}, 路文鹏^{1,*}

(1. 中国农业科学院特产研究所, 吉林长春 130112;

2. 延边大学农学院, 吉林延边 133002)

摘要: 为科学评价不同软枣猕猴桃品种果实品质, 建立软枣猕猴桃果实品质评价体系, 以 10 个软枣猕猴桃品种为试验材料, 在可食条件对其果实外观品质与营养品质等指标进行测定和比较, 并运用相关性分析、主成分分析和聚类分析对软枣猕猴桃果实品质进行综合评价。结果表明, 不同品种软枣猕猴桃果实品质指标存在差异性和相关性, 其中维生素 C 含量差异最大, 变异系数为 53.08%; 果实色泽亮度 (L^* 值) 差异最小, 变异系数为 6.04%。通过主成分分析将 18 个品质指标简化为 6 个主成分, 其累计方差贡献率达 90.571%, 能够反映原品质指标的大部分信息。10 个软枣猕猴桃品种品质指标综合得分从高到低依次为‘龙城 2 号’、‘魁绿’、‘佳绿’、‘婉绿’、‘甜心宝’、‘绿宝’、‘馨绿’、‘翠玉’、‘丰绿’、‘革绿’。根据聚类分析将 10 个软枣猕猴桃品种分为五类, 其中第 I 类的‘龙城 2 号’与‘魁绿’果实综合品质最优。该研究为软枣猕猴桃品种选育、种植推广及合理加工利用提供了参考。

关键词: 软枣猕猴桃, 果实品质, 主成分分析, 聚类分析, 综合评价

中图分类号: S663.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)01-0247-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020245

本文网刊:



Comprehensive Evaluation of Fruit Quality of *Actinidia arguta* Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

WEN Jinli¹, CAO Weiyu¹, WANG Yue¹, HE Yanli¹, SUN Yining¹, YUAN Pengqiang¹, SUN Bowei^{1,2},
LU Wenpeng^{1,*}

(1. Institute of Special Wild Economic Animal and Plant Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences,
Changchun 130112, China;

2. Agricultural College, Yanbian University, Yanbian 133002, China)

Abstract: In order to scientifically evaluate the fruit quality of different *Actinidia arguta* varieties and establish the quality evaluation system, 10 *Actinidia arguta* varieties were used as experimental materials, and the indexes of fruit appearance quality and nutritional quality were measured and compared under edible conditions. The fruit quality of *Actinidia arguta* was comprehensively evaluated by correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that the quality indexes of different varieties of *Actinidia arguta* were different and correlated. The difference of the content of Vitamin C was largest, and the coefficient of variation was 53.08%. The difference of fruit color brightness (L^* value) was the smallest, and the coefficient of variation was 6.04%. By principal component analysis, 18 quality indicators were simplified into 6 principal components, and the cumulative variance contribution rate was 90.571%, which could reflect most of the information of the original quality indexes. The comprehensive scores of quality indexes of 10 *Actinidia arguta* varieties were ranked as ‘Longcheng No.2’, ‘Kuili’, ‘Jialu’, ‘Wanlu’, ‘Tianxinbao’, ‘Lubao’, ‘Xinlu’, ‘Cuiyu’,

收稿日期: 2023-02-23

基金项目: 吉林省科技发展规划项目 (20200402085NC)。

作者简介: 温锦丽 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果树资源评价, E-mail: 2275823692@qq.com。

* 通信作者: 路文鹏 (1969-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 果树遗传育种, E-mail: 182104074@qq.com。

‘Fenglü’ and ‘Pinglü’. According to cluster analysis, 10 *Actinidia arguta* varieties were divided into five categories, among which ‘Longcheng No.2’ and ‘Kuili’ in the first category had better comprehensive quality traits. The study provided a reference for the variety breeding, planting, extension and rational processing and utilization of *Actinidia arguta*.

Key words: *Actinidia arguta*; fruit quality; principal component analysis; cluster analysis; comprehensive assessment

软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta*(Sieb. et Zucc) Planch.ex Miq.) 又称软枣子、奇异莓、藤瓜, 为猕猴桃科猕猴桃属藤本植物^[1], 是一种原产于我国的特色浆果资源, 主要分布于我国东北、西北、华北等地区, 在俄罗斯、日本、朝鲜、美国、新西兰等地区也有分布^[2-3]。软枣猕猴桃果实酸甜可口、清香鲜美, 富含多种维生素、氨基酸、蛋白质和矿物质等营养成分, 此外还具有黄酮类、多糖类挥发油类等生物活性成分^[4], 有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、提高免疫力等多种保健功效, 被誉为“健康之果”^[4-6], 因此深受消费者喜爱。

果实的品质主要由自身基因和栽培地环境因素等决定, 主要分为外观品质和内在品质, 外观品质主要包括单果质量、果形、果形指数、色泽等, 内在品质主要包括可滴定酸、可溶性固形物、维生素 C 含量、总酚含量等指标^[7-9], 各品质指标间没有明显主次之分, 故仅凭单个指标或几个相关联的指标评价果实品质并不科学, 通过主成分分析、聚类分析、灰色关联分析、模糊综合评判等统计分析方法可以全面评价果实的品质^[10]。近年来, 利用主成分分析和聚类分析相结合的综合评价分析方法在猕猴桃^[11-12]、芒果^[13]、葡萄^[14]、梨^[15]等多种果实品质评价方面成为热点。仇占南等^[7]、马云等^[8]、秦红艳等^[9]也对软枣猕猴桃果实品质进行了主成分分析, 筛选出适宜不同用途的优良品种, 但尚无基于主成分分析结合聚类分析对其品质的综合评价的报道。因此, 本研究以 10 个软枣猕猴桃品种为试材, 通过对其果实的外观品质和营养品质进行检测分析, 并利用相关性分析、主成分分析和聚类分析建立一套综合评价软枣猕猴桃果实品质的方法, 明确各软枣猕猴桃品种果实品质的差异, 筛选出品质较佳的软枣猕猴桃品种, 以期软枣猕猴桃果实品质的科学评价以及进一步品种的选育、栽培和加工利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

软枣猕猴桃样本(表 1) 2022 年 9 月采于中国农业科学院特产所软枣猕猴桃资源圃。园地为山间缓坡地, 暗棕森林土, T 形架栽培, 行株距 3.5 m×2.0 m, 雌雄株配置比例为 8:1, 全园采用常规的肥水管理模式; 氢氧化钠、无水碳酸钠、硫酸、磷酸、盐酸 北京化工厂; 蒽酮、九水硝酸铝、氯化钾、甲醇、无水乙醇、酚酞 国药集团化学试剂有限公司; 醋酸钠、无水葡萄糖 西陇化工股份有限公司; 鞣酸、没食子酸 天津市光复精细化工研究所; Folin-Denis 美国 Sigma 公司; 磷酸氢二钠 天津福晨化学试剂厂; 芦丁标准品 上海泰坦科技股份有限公司; 牛血清蛋白、考马斯亮蓝、福林酚 北京索莱宝科技有限公司; 试验所用试剂均为分析纯。

YP6001N 电子天平 上海精密科学仪器有限公司; BSA 224S-CW 万分之一天平 赛多利斯集团; DL91150 数显式游标卡尺 上海世达工具有限公司; PAL-1 型便携式速显糖度计 日本 ATAGO 公司; Lambda 365 紫外分光光度计 珀金埃尔默企业管理(上海)有限公司; KQ-300E 型超声波清洗仪器 昆山市超声仪器有限公司; FW40 雪花制冰机 北京长流科学仪器有限公司; HWS24 型电热恒温水浴锅 上海一恒科学仪器有限公司; CJJ-931 型二连磁力加热搅拌器 江苏金坛市金城国胜实验仪器厂; XH-D 漩涡混合器 无锡沃信仪器有限公司; FE20 实验室 pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; Allegra™ 64R Centrifuge 高速冷冻离心机 广州深华生物技术有限公司; NH310 高品质便携式电脑色差仪 深圳市三恩时科技有限公司; JJ-2 组织捣碎匀浆机 常州润华电器有限公司; CY-4-J 数显示水果硬度计 浙江托普仪器有限公司。

表 1 软枣猕猴桃样本信息

Table 1 Sample information of *Actinidia arguta*

序号	品种	选育时间、地点	选育方式	采样时间
1	‘魁绿’	1980年选自吉林省集安县复兴林场的野生资源(代号8025)	无性繁殖	2022年9月6日
2	‘丰绿’	1980年选自吉林省集安县复兴林场的野生资源(代号8007)	无性繁殖	2022年9月6日
3	‘佳绿’	1984年选自辽宁桓仁的野生资源(代号8401)	无性繁殖	2022年9月6日
4	‘婉绿’	1997年选自吉林市左家镇的野生资源(代号9701)	无性繁殖	2022年9月13日
5	‘馨绿’	1968年选自吉林市左家镇的野生资源(品系号63-8)	无性繁殖	2022年9月6日
6	‘苹绿’	1981年选自吉林省集安县榆林公社的野生资源(代号8134)	无性繁殖	2022年9月6日
7	‘绿宝’	1981年在吉林敦化马号寒葱沟搜集发现得野生优良单株(代号8114)	无性繁殖	2022年9月6日
8	‘翠玉’	1980年从吉林省集安县凉水公社外岔沟搜集的野生资源(原代号为8022)	无性繁殖	2022年9月6日
9	‘甜心宝’	选自吉林市左家镇24份种质资源混合实生后代中筛选出	实生繁殖	2022年9月6日
10	‘龙城2号’	2002年选自丹宁宽甸县野生资源	无性繁殖	2022年9月13日

1.2 实验方法

1.2.1 样品采收与处理 采样时随机选取资源圃内长势良好、树势中等的果树,选择受光程度相同、大小均匀、硬度相近、无病虫害的软枣猕猴桃果实,每个品种随机选取 200 个果实,取下的样品装入采样袋,置于保温箱中运回实验室,于室温下放置,待果实自然熟至可食用时测定软枣猕猴桃各品质指标。

1.2.2 果实外观品质的测定 参照《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南猕猴桃属》等^[16-17]方法对软枣猕猴桃果实外观、果肉及果心进行描述;单果质量:采用电子天平(精度为 0.01 g),每个品种随机选取 30 个果实,重复称量 3 次,求出每个品种果实的平均果重(g);果形指数:采用游标卡尺测量软枣猕猴桃果实的横径和纵径(cm),每个品种果实重复测量 3 次,果形指数=果实纵径/果实横径^[12];出汁率:随机挑选 30 个果实,分成 3 份,每份 10 个,用电子天平测其重量记为 m_1 (g),用无菌纱布榨取果汁,测其重量记为 m_2 (g),出汁率(%)= $m_2/m_1 \times 100$;果实硬度:采用数显式水果硬度计。

果实色泽:采用 NH310 高品质便携式电脑色差仪对软枣猕猴桃果实进行色泽测定,白板校正。将软枣猕猴桃果实样品切开后对果肉色泽参数 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 、 h 进行测定,每组 5 个软枣猕猴桃样品,取平均值。 L^* (亮度)、 a^* (红绿色差)、 b^* (黄蓝色差)、 C (色泽饱和度)、 h (色调角),计算出软枣猕猴桃果实色泽指数(color index of red grape, CIRG), $CIRG=(180-h)/(L^*+C)$ 。果实色泽标准: $CIRG < 2$ 为黄绿色, $2 < CIRG < 4$ 为粉红色, $4 < CIRG < 5$ 为红色, $5 < CIRG < 6$ 为深红色, $6 < CIRG$ 为蓝黑色^[18]。

1.2.3 甲醇提取液制备 参照焦中高等^[19]研究并稍作改动,将软枣猕猴桃果实用 JJ-2 组织捣碎匀浆机打成匀浆,准确称取软枣猕猴桃果浆 2 g,加入含 0.1% 甲酸甲醇溶液 8 mL,室温条件下,49 kHz 超声辅助提取 10 min,在 4 °C, 9000 r/min 条件下离心 10 min,吸取上清液,剩余残渣用 0.1% 甲酸甲醇溶液重复提取 2 次,合并上清液,定容后于 -80 °C 冰箱中保存,用于总酚含量、总黄酮含量、总花色苷含量的测定。

1.2.4 果实营养品质测定 可溶性固形物含量:取数滴测量出汁率时榨取的果汁,用便携式速显糖度计测定可溶性固形物含量;可溶性蛋白含量、总酸含量、维生素 C 含量分别参照《果蔬采后生理生化实验指导》中的考马斯亮蓝染色法、氢氧化钠溶液滴定法和 2,6-二氯酚酚滴定法^[20];固酸比=可溶性固形物/总酸; pH: 取测量出汁率时榨取的果汁,用 pH 计测定软枣猕猴桃果汁的 pH;总糖含量:采用硫酸蒽酮比色法^[21];单宁含量:参照杨欢^[21]的研究并稍作修改,采用 Folin-Denis 法绘制单宁标准曲线为 $y=3.0967x+0.1321$ ($R^2=0.9987$);总酚含量:参照王华等^[22]研究并稍作修改,采用 Folin-Ciocalteu 比色法绘制没食子酸

标准曲线为 $y=0.0032x+0.0443$ ($R^2=0.9993$);总黄酮含量:参照王华等^[22]研究并稍作修改,采用氯化铝显色法绘制芦丁标准曲线为 $y=7.6843x+0.0487$ ($R^2=0.9991$);总花色苷含量:采用 pH 示差法^[21],吸取 1 mL 软枣猕猴桃甲醇提取液,分别加入 9 mL pH1.0 缓冲液和 pH4.5 缓冲液,充分摇匀后,静置 2 h,分别测定 510、700 nm 处吸光值,对照组用蒸馏水替代提取液。

花色苷含量 (mg/mL) = $(A \times MW \times DF \times V) / (\varepsilon \times m \times L)$

式中: $A=(A_{510}-A_{700})_{pH1.0}-(A_{510}-A_{700})_{pH4.5}$; MW 为失车菊素-3-葡萄糖苷的质量分数 449.2 g/mol; DF 为稀释因子; V 为提取液体积 (mL); ε 为失车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数 26900 L/(mol·cm); m 为样品质量 (g); L 为比色皿光程 (1 cm)。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据统计整理; SPSS 27.0 进行描述性分析、单因素方差分析 (ANOVA)、相关性分析、主成分分析和聚类分析; OriginPro 2021 进行作图。其中,描述性分析计算不同软枣猕猴桃果实各指标的平均值、标准差及变异系数等;单因素方差分析和邓肯多区间检验确定样本间差异的显著性, $P < 0.05$ 时为显著;为消除不同指标量纲和数量级差异,在进行主成分分析和聚类分析前先采用零均值和归一化标准差法对数据进行标准化处理;聚类分析采用系统聚类分析法,样本之间的距离采用平方欧式距离。每组实验重复 3 次,所有数据均以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 软枣猕猴桃果实性状的观察结果

10 个品种软枣猕猴桃果实外观形态与内部形态的观察结果如表 2 所示。软枣猕猴桃果实外观形态一般从果形、果皮光滑度、果皮色泽等进行外部区分,从果肉颜色、果心、果心柱等内部特征进行品种鉴别^[20,23]。从表 2 可以看出,软枣猕猴桃果形差异明显,有长卵圆形、卵球形、圆柱形、圆形、椭圆形、方形等,可以明显区分。果实表皮无毛,有的光滑无棱如‘魁绿’‘馨绿’‘苹绿’‘绿宝’‘翠玉’‘甜心宝’,有的略有浅竖棱纹如‘丰绿’‘佳绿’‘婉绿’‘龙城 2 号’。果皮色泽通常为绿色,而‘丰绿’为浅绿色,‘翠玉’为亮浅绿色,‘绿宝’为深绿色。果实外观形态的观察结果与秦红艳等^[9]研究基本一致。从果实内部形态看,果肉色泽主要是绿色和深绿色,果心柱主要有椭圆形、细长型和近圆形,软枣猕猴桃果籽均在果心柱周围呈放射状分布,果心柱形状与美味猕猴桃相似,果籽分布状态与中华猕猴桃果实相似均呈放射状分布^[11]。

2.2 外观品质分析

单果质量、横径、纵径及果形指数是反映果实外观品质的重要指标。由表 3 可知,本研究中 10 个软枣猕猴桃品种单果质量存在较大差异,变异系数为 42.43%,变化范围为 7.35~23.25 g,其中‘龙城 2 号’单果质量最大,与‘佳绿’之间无显著差异 ($P > 0.05$),

表 2 10 个软枣猕猴桃品种果实性状的观察结果

Table 2 Observation results on fruit characters of 10 *Actinidia arguta* varieties

品种	外观形态			内部形态(横切面)		
	果形	果皮光滑度	果皮色泽	果肉颜色	果心柱	果心
魁绿	长卵圆形	光滑无毛	绿色	绿色	椭圆形	放射状暗黄色
丰绿	卵球形	略有浅竖棱纹, 无毛	浅绿色	绿色	细长型	放射状暗黄色
佳绿	圆柱形	略有浅竖棱纹, 无毛	绿色	深绿色	近圆形	放射状暗黄色
婉绿	扁椭圆形	略有浅竖棱纹, 无毛	绿色	绿色	细长型	放射状暗黄色
馨绿	倒卵形	光滑无毛	绿色	深绿色	椭圆形	放射状浅黄色
苹绿	圆形	光滑无毛	绿色	深绿色	椭圆形	放射状浅黄色
绿宝	椭圆形	光滑无毛	深绿色	深绿色	细长型	放射状暗黄色
翠玉	方形	光滑无毛	亮浅绿色	绿色	细长型	放射状浅黄色
甜心宝	方形	光滑无毛	绿色	绿色	椭圆形	放射状浅黄色
龙城2号	长卵圆形	有少许条状隆起, 光滑无毛	绿色, 阳光充足处果皮红晕	绿色	椭圆形	放射状浅黄色

表 3 10 个软枣猕猴桃品种果实的外观品质

Table 3 Fruit appearance quality of 10 *Actinidia arguta* varieties

品种	单果质量(g)	横径(mm)	纵径(mm)	果形指数	出汁率(%)	硬度(kg/cm ²)
魁绿	18.75±0.32 ^b	30.15±0.29 ^{bc}	43.44±1.62 ^c	1.44±0.06 ^b	37.55±1.45 ^{cd}	1.15±0.04 ^{ab}
丰绿	7.35±0.25 ^f	22.54±1.00 ^d	21.84±1.07 ^g	0.96±0.05 ^e	40.28±1.84 ^{bc}	0.97±0.04 ^c
佳绿	22.59±0.19 ^a	32.18±0.10 ^{ab}	47.02±1.17 ^b	1.46±0.04 ^b	33.33±1.35 ^e	1.19±0.03 ^a
婉绿	17.79±0.45 ^b	33.00±1.55 ^a	37.22±0.81 ^d	1.00±0.01 ^e	34.55±1.09 ^{de}	1.13±0.04 ^{ab}
馨绿	13.75±0.67 ^c	27.67±0.47 ^c	32.15±0.35 ^e	1.13±0.04 ^d	42.58±0.64 ^a	1.13±0.02 ^{ab}
苹绿	10.33±0.45 ^d	28.52±0.61 ^e	28.48±0.44 ^f	1.16±0.03 ^d	37.53±1.27 ^{cd}	1.02±0.03 ^{bc}
绿宝	9.16±0.20 ^{de}	24.55±0.74 ^d	31.59±0.33 ^e	1.29±0.05 ^c	34.02±0.75 ^{de}	1.16±0.03 ^{ab}
翠玉	9.24±0.17 ^{de}	28.20±0.95 ^c	27.63±0.73 ^f	0.98±0.01 ^e	40.19±0.58 ^{bc}	1.02±0.01 ^{bc}
甜心宝	7.78±0.37 ^{ef}	24.36±0.79 ^d	28.84±0.99 ^f	1.18±0.02 ^d	22.60±1.40 ^f	1.18±0.02 ^a
龙城2号	23.25±1.03 ^a	30.03±1.10 ^{bc}	54.22±0.83 ^a	1.63±0.05 ^a	37.56±0.64 ^{cd}	1.20±0.04 ^a
平均值	14.00	28.12	35.24	1.24	36.02	1.12
标准差	5.94	3.54	9.83	0.26	5.63	0.09
变异系数(%)	42.43	12.59	27.89	20.97	15.63	8.04

注: 各指标为果实自然后熟至可食用时测定; 同列不同字母表示差异达到显著水平($P<0.05$); 表4~表5同。

与其他 8 个品种差异显著($P<0.05$)。果实横径和纵径的变异系数分别为 12.59% 与 27.89%; 果实横径变化范围为 22.54~33.00 mm, 其中横径较大的软枣猕猴桃品种有‘婉绿’、‘佳绿’、‘魁绿’、‘龙城 2 号’; 纵径变化范围为 21.84~54.22 mm, 其中纵径较大的软枣猕猴桃品种有‘龙城 2 号’、‘佳绿’、‘魁绿’。果形指数的变异系数为 20.97%, 变化范围为 0.96~1.63, ‘龙城 2 号’最大, 显著高于其他 8 个品种($P<0.05$), ‘丰绿’最小。秦红艳等^[9]对 70 份软枣猕猴桃资源果实品质进行分析, 发现软枣猕猴桃果实单果质量为 3.42~21.34 g, 果实横径变化范围 20.50~44.20 mm, 果实纵径变化范围为 20.40~48.00 mm, 果形指数变化范围为 0.94~1.18, 与本研究相比略有差异, 该结果可能与软枣猕猴桃果实品种(资源)等不同有关。

出汁率是软枣猕猴桃加工成果汁、果酒等产品工业化生产的重要衡量指标之一。因其果实富含果胶物质, 在制作软枣猕猴桃饮料、果酒等产品时, 需要添加果胶酶, 以提高出汁率、出酒率^[24]。由表 3 可知, 10 个品种软枣猕猴桃果实出汁率变化范围在 22.60%~42.58% 之间, 其中‘馨绿’出汁率最大, 显著

高于其他 9 个品种($P<0.05$), 适合加工果汁、果酒等产品。

果实硬度是衡量果实成熟度和贮藏品质的重要指标之一, 在果实成熟过程中, 果实硬度逐渐降低^[25]。由表 3 可知, 硬度变异系数为 8.04%, 是较为稳定的指标; 软枣猕猴桃果实硬度在 0.97~1.20 kg/cm² 之间, 其中‘龙城 2 号’硬度最大, ‘丰绿’硬度最小。

2.3 果实色泽分析

色泽是评价水果品质优劣的重要指标之一^[20]。由表 4 可知, 10 个软枣猕猴桃品种在 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 C 值、CIRG 等果实色泽参数上存在显著性差异($P<0.05$), 说明各品种色泽各有不同。 L^* 值代表果实色泽的亮度, L^* 值越大果实亮度越大。本研究中 L^* 值变异系数为 6.04%, 是较为稳定的指标; L^* 值变化范围为 32.95~40.13, L^* 值最大的品种是‘佳绿’, 显著高于其他 9 个品种($P<0.05$), 说明其果实颜色最亮, 具有有较好的光泽, 其次是‘翠玉’, L^* 值最小的为‘魁绿’, 较其他品种来说颜色最暗。 a^* 值代表红绿色差, a^* 为正值时表示红色度, 为负值时为绿色度。 a^* 值变异系数为 13.91%, 变化范围为-3.32~2.12,

表 4 10 个软枣猕猴桃品种果实色泽
Table 4 Fruit color of 10 *Actinidia arguta* varieties

品种	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>C</i>	CIRG
魁绿	32.95±0.01 ⁱ	-2.95±0.03 ^d	5.14±0.04 ^j	5.93±0.01 ^j	1.71±0.00 ^d
丰绿	37.02±0.01 ^c	-2.63±0.01 ^b	11.09±0.03 ^b	11.44±0.01 ^b	1.55±0.00 ^h
佳绿	40.13±0.01 ^a	-3.25±0.03 ^{ef}	13.46±0.02 ^a	13.87±0.01 ^a	1.41±0.00 ^j
婉绿	34.21±0.01 ^g	-2.75±0.03 ^c	8.65±0.15 ^g	9.07±0.01 ^g	1.76±0.00 ^b
馨绿	36.81±0.00 ^d	-3.32±0.03 ^f	9.76±0.01 ^c	10.34±0.02 ^c	1.51±0.00 ^j
苹绿	36.80±0.02 ^d	-3.21±0.08 ^e	9.46±0.02 ^d	9.94±0.01 ^d	1.56±0.00 ^g
绿宝	33.21±0.01 ^h	-3.24±0.03 ^{ef}	6.47±0.01 ⁱ	7.37±0.01 ^h	1.98±0.00 ^a
翠玉	37.42±0.01 ^b	-2.20±0.03 ^a	8.93±0.02 ^f	9.17±0.01 ^f	1.64±0.00 ^e
甜心宝	34.42±0.00 ^f	-2.12±0.02 ^a	6.82±0.01 ^h	7.13±0.01 ⁱ	1.74±0.00 ^c
龙城2号	34.92±0.00 ^e	-3.02±0.02 ^d	9.16±0.01 ^e	9.66±0.02 ^c	1.61±0.00 ^f
平均值	35.79	-3.02	8.99	9.39	1.65
标准差	2.16	0.42	2.18	2.20	0.15
变异系数(%)	6.04	13.91	24.25	23.43	9.09

所有果实 *a*^{*}值均为负值,表明软枣猕猴桃果实为绿色偏向,其中‘甜心宝’*a*^{*}值最大显著高于其他 9 个品种(*P*<0.05),*a*^{*}较小的品种有‘馨绿’、‘佳绿’、‘绿宝’和‘苹绿’,*a*^{*}值越小说明果实的绿色越深。*b*^{*}值代表黄蓝色差,*b*^{*}为正值时为黄色度,为负值时为蓝色度。*b*^{*}值变异系数为 24.25%,变化范围为 5.14~13.46,所有果实 *b*^{*}值均为正值,表明软枣猕猴桃果实为黄色偏向,其中 *b*^{*}值最大的品种是‘佳绿’,显著高于其他 9 个品种(*P*<0.05),*b*^{*}值越大说明果实的黄色越深。*C* 值表示果实的色彩饱和程度,*C* 值变化范围为 5.93~13.87,其变异系数为 23.43%,其中‘佳绿’色泽饱和度最大,说明其果实颜色最纯正,显著高于其他 9 个品种(*P*<0.05),其次是‘丰绿’、‘馨绿’,*C* 值最小是‘魁绿’。果实色泽指数 CIRG 变异系数为 9.09%,且所有果实 CIRG 都小于 2,表明软枣猕猴桃果实为黄绿色,与马云等^[8]所测的软枣猕猴桃果实色泽指标 CIRG 相比略低,可能与软枣猕猴桃果实品种、生长环境等有关。

2.4 营养品质分析

可溶性固形物含量是评价软枣猕猴桃品质的重要指标,其含量的多少直接影响软枣猕猴桃的风味口感和营养价值。由表 5 可知,本研究中软枣猕猴桃果实可溶性固形物含量为 10.97%~18.57%,变异系数为 14.61%,存在品种间差异。其中‘甜心宝’可溶性固形物含量最高,显著高于其他 9 个品种(*P*<0.05),其次是‘绿宝’、‘丰绿’和‘魁绿’,含量最低的是‘翠玉’。

可溶性蛋白是评价果蔬的品质与营养的重要指标之一^[20]。不同品种的软枣猕猴桃可溶性蛋白含量在 0.42~0.71 mg/g 之间,变异系数为 14.55%,存在品种间差异。可溶性蛋白含量较高的品种有‘甜心宝’和‘绿宝’,显著高于其他 8 个品种(*P*<0.05)。

软枣猕猴桃属于酸甜口味水果,适当的酸度也是影响果实风味的重要因素。软枣猕猴桃果实 pH 变化范围为 3.76~5.90,变异系数为 12.37%。总酸含量变化范围为 4.22~12.99 g/L,变异系数为 30.51%,

品种间存在较大差异。一般来说总酸含量较小的软枣猕猴桃其口感风味较好,但当总酸含量过低时,会使其风味变淡^[26]。其中,总酸含量最高的软枣猕猴桃品种是‘丰绿’、总酸含量最低的是‘苹绿’。本实验结果与 Horak 等^[27]、孙阳等^[28]所测的可滴定酸含量相比,略有差异,可能与软枣猕猴桃果实品种、产地、采摘期等不同有关。

可溶性总糖也是决定软枣猕猴桃果实口感的重要因素^[29]。本实验 10 种软枣猕猴桃果实总糖含量变化范围为 52.55~89.90 g/L,变异系数为 17.18%,总糖含量最高的是‘龙城 2 号’,显著高于其他 9 个品种(*P*<0.05),其次是‘丰绿’、‘甜心宝’,最低的是‘翠玉’。此结果与刘延吉等^[30]研究结果相近。

固酸比是判断食品风味的重要指标,固酸比越高,水果越甜,其中‘甜心宝’的固酸比最高,为 2.95,‘翠玉’的固酸比最低,为 1.12。固酸比变异系数为 35.91%。

维生素 C 是人体必须的化合物,人体不能自身合成,只能从食物中摄取。软枣猕猴桃富含维生素 C,其维生素 C 含量是苹果和梨的 80~100 倍^[31],是极好的补充维生素 C 的水果。实验测得 10 种软枣猕猴桃果实维生素 C 含量在 33.09~202.39 mg/100 g,变异系数为 53.08%,品种间存在较大差异。维生素 C 含量最高的品种是‘魁绿’,显著高于其他 9 个品种(*P*<0.05),其次是‘龙城 2 号’、‘甜心宝’、‘丰绿’,含量最低的是‘馨绿’。本实验维生素 C 含量的测定结果与秦红艳等^[9]、孙阳等^[28]、刘延吉等^[30]研究结果相比,略有差异,这可能与软枣猕猴桃果实品种、产地等不同有关。

酚类化合物具有抗肿瘤、抗氧化、血脂调节等作用,果蔬中的酚类化合物是天然存在的^[32-33]。Zhang 等^[34]研究证明软枣猕猴桃(尤其果皮)含丰富的酚类化合物,是天然抗氧化剂的良好来源,具有很高的营养价值。试样中‘佳绿’单宁含量最高,为 0.62 g/L,‘苹绿’单宁含量最低,为 0.21 g/L;本实验单宁含量略

表 5 10 个软枣猕猴桃品种果实营养品质

Table 5 Fruit nutritional quality of 10 *Actinidia arguta* varieties

品种	可溶性固形物质量分数(%)	可溶性蛋白含量(mg/g)	pH	总酸含量(g/L)	总糖含量(g/L)	固酸比
魁绿	15.03±0.19 ^c	0.51±0.00 ^b	4.53±0.01 ^g	11.92±0.05 ^b	75.96±0.83 ^c	1.26±0.02 ^f
丰绿	16.07±0.26 ^b	0.42±0.00 ^d	4.94±0.02 ^d	12.99±0.06 ^a	83.46±1.15 ^b	1.24±0.02 ^f
佳绿	13.47±0.19 ^d	0.54±0.00 ^{bc}	5.14±0.02 ^c	7.19±0.13 ^g	58.76±0.24 ^e	1.88±0.04 ^e
婉绿	13.53±0.07 ^d	0.53±0.01 ^{bc}	3.97±0.01 ^h	6.47±0.06 ^h	73.49±0.42 ^{cd}	2.09±0.03 ^b
馨绿	13.76±0.33 ^d	0.54±0.01 ^{bc}	4.65±0.01 ^f	8.95±0.08 ^f	70.02±1.46 ^d	1.54±0.05 ^e
苹绿	12.40±0.21 ^e	0.52±0.01 ^{bc}	5.90±0.03 ^a	4.22±0.06 ⁱ	59.88±2.19 ^e	2.94±0.01 ^a
绿宝	16.40±0.35 ^b	0.69±0.01 ^a	4.91±0.03 ^d	9.31±0.05 ^e	63.58±0.70 ^e	1.76±0.05 ^d
翠玉	10.97±0.22 ^f	0.55±0.01 ^b	4.74±0.01 ^e	9.75±0.07 ^d	52.55±0.78 ^f	1.12±0.03 ^g
甜心宝	18.57±0.18 ^a	0.71±0.01 ^a	5.18±0.01 ^b	6.30±0.06 ^h	76.85±2.89 ^e	2.95±0.04 ^a
龙城2号	14.93±0.09 ^c	0.52±0.01 ^{bc}	3.76±0.01 ⁱ	11.36±0.12 ^c	89.90±0.39 ^a	1.31±0.01 ^f
平均值	14.51	0.55	4.77	8.85	71.32	1.81
标准差	2.12	0.08	0.59	2.70	12.25	0.65
变异系数(%)	14.61	14.55	12.37	30.51	17.18	35.91

品种	V _C 含量(mg/100 g)	单宁含量(g/L)	总酚含量(mg/g)	总黄酮含量(mg/g)	总花色苷含量(mg/100 g)
魁绿	202.39±1.40 ^a	0.29±0.06 ^{bc}	1.59±0.01 ^d	0.84±0.03 ^d	0.52±0.02 ^{cde}
丰绿	146.91±0.15 ^d	0.55±0.11 ^a	1.77±0.02 ^c	3.85±0.03 ^a	0.50±0.01 ^{de}
佳绿	81.89±0.19 ^g	0.62±0.06 ^a	1.88±0.00 ^a	2.29±0.03 ^{bc}	0.63±0.01 ^b
婉绿	106.58±0.22 ^e	0.60±0.07 ^a	1.38±0.01 ^e	0.71±0.03 ^d	0.76±0.01 ^a
馨绿	33.09±0.29 ⁱ	0.50±0.07 ^{ab}	1.06±0.01 ^g	2.77±0.03 ^b	0.51±0.01 ^{de}
苹绿	51.41±0.78 ^h	0.21±0.07 ^c	0.77±0.01 ⁱ	3.85±0.03 ^a	0.54±0.01 ^{cd}
绿宝	85.71±0.94 ^f	0.26±0.04 ^c	1.82±0.02 ^b	3.64±0.03 ^a	0.56±0.01 ^c
翠玉	52.86±0.28 ^h	0.50±0.14 ^{ab}	1.21±0.01 ^f	1.65±0.03 ^e	0.64±0.01 ^b
甜心宝	167.38±0.18 ^e	0.25±0.02 ^c	0.85±0.00 ^h	2.43±0.03 ^{bc}	0.49±0.01 ^e
龙城2号	194.93±0.38 ^b	0.25±0.01 ^c	1.23±0.01 ^f	1.93±0.03 ^c	0.56±0.01 ^c
平均值	112.32	0.40	1.36	2.39	0.57
标准差	59.62	0.19	0.39	1.17	0.08
变异系数(%)	53.08	47.50	28.68	48.95	14.04

高于漆媛等^[35]的研究结果,产生差异的原因可能是软枣猕猴桃品种、生长地环境及测定方法等不同。总酚含量最高的品种是‘佳绿’,为 1.88 mg/g,显著高于其他 9 个品种($P<0.05$),其次是‘绿宝’、‘丰绿’,总酚含量最低品种是‘苹绿’,仅为 0.77 mg/g。总黄酮含量较高的品种有‘丰绿’、‘苹绿’、‘绿宝’,分别为 3.85、3.85、3.64 mg/g,3 个品种间总黄酮含量无显著差异($P>0.05$);‘魁绿’、‘婉绿’总黄酮含量较低,分别为 0.84、0.71 mg/g。仇占南等^[7]对北京野生软枣猕猴桃果实品质进行评价,测得总酚含量为 1.63~2.93 mg/g,总黄酮含量为 3.82~11.43 mg/g,与本研究有所差异,该结果可能与软枣猕猴桃果实品种、产地、样品处理和提取方式等不同有关。总花色苷含量最高的品种是‘婉绿’,为 0.76 mg/100 g,含量最低的品种是‘甜心宝’,仅为 0.49 mg/100 g,与刘佩等^[36]所测的软枣猕猴桃花色苷含量相比略高,可能与软枣猕猴桃品种、产地、采摘期及样品处理等有关。

2.5 相关性分析

每个指标在不同程度上反映软枣猕猴桃果实品质的同时,彼此之间还存在一定的相关性。采用 Pearson 相关系数分析软枣猕猴桃 18 个品质指标间的相关性,结果见表 6。结果表明,单果质量与横径、

纵径、果形指数、硬度呈极显著正相关($P<0.01$),与 pH、总黄酮呈极显著负相关($P<0.01$);横径与纵径、总花色苷呈极显著正相关($P<0.01$),与可溶性固形物、总黄酮呈极显著负相关($P<0.01$);纵径与果形指数、硬度呈极显著正相关($P<0.01$),与 pH、总黄酮呈极显著负相关($P<0.01$),与维生素 C 呈显著正相关($P<0.05$);果形指数与硬度、维生素 C 呈极显著正相关($P<0.01$),与 pH 呈极显著负相关($P<0.01$),与总糖呈显著正相关($P<0.05$);pH 与固酸比、总黄酮呈极显著正相关($P<0.01$),与总酸、总糖呈极显著负相关($P<0.01$),与维生素 C、总花色苷呈显著负相关($P<0.05$);出汁率与硬度、可溶性固形物、可溶性蛋白、固酸比呈极显著负相关($P<0.01$),与总酸呈显著正相关($P<0.05$);硬度与可溶性蛋白呈极显著正相关($P<0.01$),与总黄酮呈显著负相关($P<0.05$);果实色泽指数 CIRG 与可溶性固形物呈极显著正相关($P<0.01$),与可溶性蛋白呈显著正相关($P<0.05$),与单宁呈显著负相关($P<0.05$);可溶性固形物与总糖、维生素 C 呈极显著正相关($P<0.01$),与总花色苷呈极显著负相关($P<0.01$),与可溶性蛋白呈显著正相关($P<0.05$);可溶性蛋白与固酸比呈极显著正相关($P<0.01$),与总酸、单宁呈显著负相关($P<0.05$);总酸与

表 6 10 个软枣猕猴桃品种果实品质指标的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of fruit quality indexes of 10 *Actinidia arguta* varieties

品质指标	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀	H ₁₁	H ₁₂	H ₁₃	H ₁₄	H ₁₅	H ₁₆	H ₁₇	H ₁₈
H ₁	1																	
H ₂	0.771**	1																
H ₃	0.940**	0.678**	1															
H ₄	0.782**	0.335	0.917**	1														
H ₅	-0.553**	-0.361	-0.551**	-0.520**	1													
H ₆	0.101	0.156	-0.034	-0.148	-0.187	1												
H ₇	0.520**	0.270	0.652**	0.703**	-0.332	-0.493**	1											
H ₈	-0.319	-0.252	-0.151	-0.005	-0.184	-0.347	0.172	1										
H ₉	-0.213	-0.524**	-0.060	0.210	-0.014	-0.579**	0.335	0.423*	1									
H ₁₀	-0.259	-0.224	-0.062	0.095	0.157	-0.706**	0.469**	0.629**	0.449*	1								
H ₁₁	0.085	-0.264	0.126	0.275	-0.491**	0.439*	-0.118	0.024	0.183	-0.397*	1							
H ₁₂	0.222	-0.169	0.274	0.426*	-0.538**	-0.083	0.206	0.050	0.588**	-0.209	0.485**	1						
H ₁₃	-0.250	-0.032	-0.221	-0.244	0.572**	-0.632**	0.119	0.100	0.237	0.463**	-0.878**	-0.170	1					
H ₁₄	0.250	0.026	0.207	0.229	-0.202	0.141	0.076	0.098	0.117	-0.182	0.517**	0.012	-0.549**	1				
H ₁₅	-0.551**	-0.578**	-0.494**	-0.332	0.631**	0.107	-0.381*	-0.075	0.186	0.025	-0.083	-0.105	0.239	-0.016	1			
H ₁₆	0.159	0.156	-0.098	-0.242	-0.181	0.219	-0.123	-0.369*	-0.308	-0.377*	0.073	-0.144	-0.298	0.366*	-0.234	1		
H ₁₇	0.290	-0.055	0.410*	0.542**	-0.426*	-0.323	0.289	0.207	0.608**	-0.044	0.488**	0.778**	-0.151	0.160	-0.327	-0.287	1	
H ₁₈	0.357	0.641**	0.224	-0.044	-0.381*	0.028	0.042	0.072	-0.532**	-0.085	-0.295	-0.319	-0.052	0.185	-0.492**	0.463**	-0.275	1

注: H₁: 单果质量, H₂: 横径, H₃: 纵径, H₄: 果形指数, H₅: pH, H₆: 出汁率, H₇: 硬度, H₈: 果实色泽指数 CIRG, H₉: 可溶性固形物, H₁₀: 可溶性蛋白, H₁₁: 总酸, H₁₂: 总糖, H₁₃: 固酸比, H₁₄: 总酚, H₁₅: 总黄酮, H₁₆: 单宁, H₁₇: 维生素 C, H₁₈: 总花色苷; 表 7~表 8 同; *表示在 0.05 水平上呈显著相关(双尾), **表示在 0.01 水平上呈极显著相关(双尾)。

总糖、总酚、维生素 C 呈极显著正相关($P<0.01$), 与固酸比呈极显著负相关($P<0.01$); 总糖与维生素 C 呈极显著正相关($P<0.01$); 固酸比与总酚呈极显著负相关($P<0.01$); 总酚与单宁呈显著正相关($P<0.05$); 总黄酮与总花色苷呈极显著负相关($P<0.01$); 单宁与总花色苷呈极显著正相关($P<0.01$)。相关性分析结果表明, 软枣猕猴桃 18 个品质指标存在普遍的相关性, 进一步利用主成分分析法对 18 项品质指标分类与简化, 以提高软枣猕猴桃果实品质评价的分析效率。

2.6 主成分分析

2.6.1 数据标准化 由于软枣猕猴桃果实的 18 个品质指标(单果质量、横径、纵径、果形指数、pH、出汁

率、硬度、果实色泽指数 CIRG、可溶性固形物、可溶性蛋白、总酸、总糖、固酸比、总酚、总黄酮、单宁、维生素 C、总花色苷)间单位量纲不同, 因此需对 18 个品质指标的原始数据进行标准化处理。如仇占南等^[7]采用隶属函数值法对原始数据做标准化处理; 刘科鹏等^[37]在研究‘金魁’猕猴桃果实品质时采用隶属函数值和反隶属函数值法对原始数据做标准化处理; 本研究采用零均值和归一化标准差法对数据进行标准化处理, 处理后数据见表 7。

2.6.2 主成分分析 将标准化的数据通过主成分分析, 根据特征值大于 1 进行提取, 结果见表 8。由表 8 可知, 特征值大于 1 的主成分共 6 个, 累计方差贡献

表 7 18 项品质指标的标准化数据

Table 7 The standardized date for 18 quality evaluation indexes

品质指标	魁绿	丰绿	佳绿	婉绿	馨绿	苹绿	绿宝	翠玉	甜心宝	龙城2号
H ₁	0.80	-1.12	1.45	0.64	-0.04	-0.62	-0.82	-0.80	-1.05	1.56
H ₂	0.57	-1.58	1.15	1.38	-0.13	0.11	-1.01	0.02	-1.06	0.54
H ₃	0.83	-1.36	1.20	0.20	-0.31	-0.69	-0.37	-0.77	-0.65	1.93
H ₄	0.76	-1.05	0.84	-0.43	-0.31	-0.93	0.18	-1.00	-0.22	2.17
H ₅	-0.41	0.28	0.62	-1.35	-0.21	1.91	0.24	-0.04	0.70	-1.72
H ₆	0.27	0.76	-0.48	-0.26	1.16	0.27	-0.35	0.74	-2.38	0.27
H ₇	0.35	-1.59	0.87	0.18	0.16	-1.01	0.45	-1.07	0.76	0.91
H ₈	0.39	-0.63	-1.52	0.72	-0.88	-0.56	2.18	-0.06	0.62	-0.24
H ₉	0.25	0.73	-0.49	-0.46	-0.35	-1.00	0.89	-1.67	1.91	0.20
H ₁₀	-0.49	-1.61	-0.14	-0.23	-0.15	-0.43	1.65	-0.06	1.85	-0.38
H ₁₁	1.14	1.54	-0.61	-0.88	0.04	-1.71	0.17	0.34	-0.94	0.93
H ₁₂	0.48	1.13	1.01	0.26	-0.03	-0.92	0.60	1.55	0.56	1.69
H ₁₃	-0.84	-0.88	0.10	0.44	-0.42	1.73	-0.07	-1.05	1.75	-0.76
H ₁₄	0.59	1.08	1.36	0.07	-0.76	-1.51	1.20	-0.38	-1.31	-0.34
H ₁₅	-1.33	1.24	-0.09	-1.44	0.32	1.24	1.06	-0.64	0.03	-0.40
H ₁₆	-0.58	0.78	1.15	1.04	0.52	-1.03	-0.74	0.49	-0.83	-0.79
H ₁₇	1.51	0.58	-0.51	-0.10	-1.33	-1.02	-0.45	-1.00	0.92	1.39
H ₁₈	-0.12	-0.24	0.68	1.61	-0.16	0.04	0.16	0.77	-0.32	0.16

率达到 90.571%, 说明所提取的这 6 个主成分已反映软枣猕猴桃果实品质性状的绝大部分信息, 综合反映 10 个软枣猕猴桃品种的果实品质特性, 可以作为软枣猕猴桃选优、评价的综合指标。

表 8 6 个主成分的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率及成分载荷矩阵

Table 8 Eigenvalue, variance contribution rate, cumulative contribution rate and rotated component matrix of 6 PCAs

品质指标	主成分					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
H ₁	0.889	-0.130	0.290	-0.242	0.131	0.067
H ₂	0.594	-0.395	0.588	-0.117	-0.081	-0.082
H ₃	0.888	0.111	0.280	-0.250	0.193	-0.102
H ₄	0.809	0.379	0.076	-0.231	0.283	-0.129
H ₅	-0.812	-0.003	0.145	-0.302	0.333	0.124
H ₆	0.114	-0.735	-0.448	-0.160	0.009	-0.358
H ₇	0.529	0.523	0.422	0.024	0.268	0.070
H ₈	-0.094	0.539	0.026	0.670	-0.094	-0.392
H ₉	-0.037	0.873	-0.292	0.083	0.038	0.281
H ₁₀	-0.252	0.668	0.445	0.354	0.192	-0.189
H ₁₁	0.431	-0.018	-0.862	0.140	0.070	-0.122
H ₁₂	0.451	0.477	-0.490	-0.206	-0.386	0.215
H ₁₃	-0.518	0.387	0.627	-0.245	-0.146	0.220
H ₁₄	0.371	-0.131	-0.351	0.448	0.594	0.225
H ₁₅	-0.664	0.068	-0.312	-0.291	0.403	-0.020
H ₁₆	0.141	-0.594	-0.028	0.347	0.030	0.641
H ₁₇	0.530	0.603	-0.349	-0.081	-0.260	0.141
H ₁₈	0.307	-0.481	0.527	0.490	-0.167	0.071
特征值	5.246	3.989	3.196	1.661	1.159	1.052
方差贡献率(%)	29.142	22.162	17.758	9.229	6.436	5.844
累计方差贡献率(%)	29.142	51.304	69.062	78.290	84.726	90.571

第 1 主成分的特征值为 5.246, 方差贡献率为 29.142%, 说明主成分 1 在分析评价中起主导作用。其中, 单果质量、横径、纵径、果形指数有较高的载荷值, 其值分别为 0.889、0.594、0.888、0.809, 且这 4 个指标对主成分 1 产生正向影响, pH、固酸比、总黄酮含量负向载荷权数较大, 其值分别为 -0.812、-0.518、-0.664, 正向作用远大于负向作用, 表明了果实单果质量、横径、纵径和果形指数对第 1 主成分起决定作用, 因此第 1 主成分主要反映了果实外观品质。第 2 主成分的特征值为 3.989, 方差贡献率为 22.162%, 其中可溶性固形物含量、可溶性蛋白含量、维生素 C 含量正向载荷权数较大, 其值为 0.873、0.668、0.603, 出汁率、单宁含量负向载荷权数较大, 其值为 -0.735、-0.594, 正向作用品质指标远多于负向作用品质指标数, 因此, 第 2 主成分主要反映软枣猕猴桃果实的营养品质。第 3 主成分的特征值 3.196, 方差贡献率为 17.758%, 固酸比和横径正向向载荷权数较大, 总酸负向载荷权数较大。主成分 3 主要反映软枣猕猴桃果实的风味品质。第 4 主成分的特征值为 1.661, 方差贡献率为 9.229%, 与果实色泽指数 CIRG 呈很大正相关。因此, 主成分 4 主

要反映果实的外观色泽。第 5 主成分的特征值为 1.159, 方差贡献率为 6.436%, 与总酚含量呈很大正相关。第 6 主成分的特征值为 1.052, 方差贡献率为 5.844%, 与单宁含量呈很大正相关。综上分析可知, 单果质量、果实横纵径、果形指数、可溶性蛋白含量、总糖含量、可溶性固形物含量、固酸比、总酸含量、维生素 C 含量、果实色泽指数 CIRG、总花色苷含量、总酚含量和单宁含量等是评价软枣猕猴桃果实品质的重要指标。

2.7 综合评价

由于各主成分方差贡献率不同, 因此在进行综合评价时, 结合主成分方差贡献率, 协调好各主成分之间的侧重关系。利用主成分荷载矩阵(表 8)中各指标数据除以主成分相对应的特征值开平方根, 得到 6 个主成分中各指标所对应的系数(特征向量), 以特征向量为权重构建 6 个主成分的得分表达式:

$$F_1 = 0.388H_1 + 0.259H_2 + 0.388H_3 + 0.353H_4 - 0.355H_5 + 0.050H_6 + 0.231H_7 - 0.041H_8 - 0.016H_9 - 0.110H_{10} + 0.188H_{11} + 0.197H_{12} - 0.227H_{13} + 0.162H_{14} - 0.290H_{15} + 0.062H_{16} + 0.231H_{17} + 0.134H_{18}$$

$$F_2 = -0.065H_1 - 0.198H_2 + 0.055H_3 + 0.190H_4 - 0.001H_5 - 0.368H_6 + 0.262H_7 + 0.270H_8 + 0.437H_9 - 0.335H_{10} - 0.009H_{11} + 0.239H_{12} + 0.194H_{13} - 0.065H_{14} + 0.034H_{15} - 0.297H_{16} + 0.302H_{17} - 0.241H_{18}$$

$$F_3 = 0.162H_1 + 0.329H_2 + 0.157H_3 + 0.042H_4 + 0.081H_5 - 0.251H_6 + 0.236H_7 + 0.015H_8 - 0.163H_9 + 0.249H_{10} - 0.482H_{11} - 0.274H_{12} + 0.351H_{13} - 0.196H_{14} - 0.175H_{15} - 0.016H_{16} - 0.195H_{17} + 0.295H_{18}$$

$$F_4 = -0.188H_1 - 0.0091H_2 - 0.194H_3 - 0.179H_4 - 0.234H_5 - 0.124H_6 + 0.019H_7 + 0.520H_8 + 0.064H_9 + 0.275H_{10} + 0.109H_{11} - 0.160H_{12} - 0.190H_{13} + 0.347H_{14} - 0.226H_{15} + 0.269H_{16} - 0.063H_{17} + 0.380H_{18}$$

$$F_5 = 0.122H_1 - 0.075H_2 + 0.179H_3 + 0.263H_4 + 0.310H_5 + 0.008H_6 + 0.249H_7 - 0.087H_8 + 0.035H_9 + 0.178H_{10} + 0.065H_{11} - 0.358H_{12} - 0.136H_{13} + 0.552H_{14} + 0.375H_{15} + 0.027H_{16} - 0.241H_{17} - 0.155H_{18}$$

$$F_6 = 0.066H_1 - 0.080H_2 - 0.099H_3 - 0.126H_4 + 0.121H_5 - 0.349H_6 + 0.068H_7 - 0.382H_8 + 0.274H_9 - 0.185H_{10} - 0.119H_{11} + 0.210H_{12} + 0.214H_{13} + 0.219H_{14} - 0.019H_{15} + 0.625H_{16} + 0.137H_{17} + 0.070H_{18}$$

以 6 个主成分所对应的方差贡献率为权重, 构建软枣猕猴桃果实品质综合评价模型:

$$F = 29.142\%F_1 + 22.162\%F_2 + 17.758\%F_3 + 9.229\%F_4 + 6.436\%F_5 + 5.844\%F_6$$

利用该模型计算各品种的综合得分并进行排序, 结果如表 9 所示, 不同软枣猕猴桃品种果实综合品质排序为: ‘龙城 2 号’>‘魁绿’>‘佳绿’>‘婉绿’>‘甜心宝’>‘绿宝’>‘馨绿’>‘翠玉’>‘丰绿’>‘苹绿’。

2.8 聚类分析

根据软枣猕猴桃 18 项品质指标数据标准化处理结果, 采用组间联接法进行系统聚类分析, 以平方

表 9 10 个软枣猕猴桃品种果实品质的各主成分得分、综合得分及优良度排序

Table 9 Principal component scores, comprehensive scores and ranking of fruit quality of 10 *Actinidia arguta* varieties

品种	F ₁	排序	F ₂	排序	F ₃	排序	F ₄	排序	F ₅	排序	F ₆	排序	F	综合排序
魁绿	2.60	2	0.91	3	-0.88	9	0.12	4	-0.27	5	-0.50	6	0.77	2
丰绿	-1.30	8	0.16	5	-4.02	10	0.09	5	-0.26	4	1.35	2	-0.99	9
佳绿	1.62	3	-1.24	8	1.87	1	-0.43	7	2.10	1	1.43	1	0.71	3
婉绿	1.51	4	-0.80	7	1.82	2	1.57	2	-1.50	10	0.59	4	0.67	4
馨绿	-0.47	5	-1.32	9	-0.24	7	-0.57	8	0.01	3	-0.22	5	-0.54	7
苹绿	-3.41	10	-0.75	6	1.67	3	-1.93	10	-0.35	6	-0.53	7	-1.09	10
绿宝	-1.26	7	0.78	4	-0.22	6	2.04	1	1.64	2	-1.10	10	0.00	6
翠玉	-1.09	6	-2.67	10	0.02	5	1.21	3	-0.44	7	-1.05	9	-0.88	8
甜心宝	-2.03	9	2.83	1	1.27	4	0.08	6	-0.88	9	0.92	3	0.26	5
龙城2号	4.18	1	1.47	1	-0.55	8	-1.18	9	-0.44	8	-0.71	8	1.27	1

欧式距离为度量标准,对 10 个软枣猕猴桃品种进行聚类分析,得到聚类谱系图,结果见图 1。当平方欧式距离为 15 时,可将 10 种软枣猕猴桃分为五大类,其中,‘魁绿’和‘龙城 2 号’聚为第Ⅰ类,‘馨绿’、‘翠玉’、‘佳绿’和‘婉绿’聚为第Ⅱ类,‘丰绿’为第Ⅲ类,‘绿宝’和‘甜心宝’聚为第Ⅳ类,‘苹绿’为第Ⅴ类。

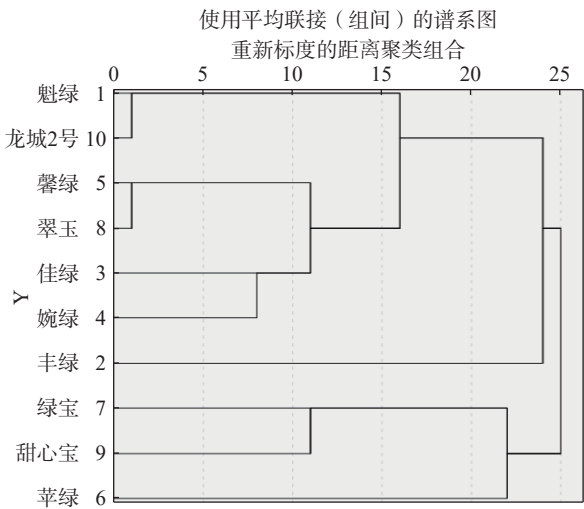


图 1 10 个软枣猕猴桃品种系统聚类谱系图
Fig.1 Cluster pedigree diagram of 10 *Actinidia arguta*

结合果实外观、营养品质测定结果及主成分综合得分可知,第Ⅰ类聚集了维生素 C 含量高的大果类型品种,聚集的 2 个品种综合得分 $F \geq 0.77$,排在第 1~2 位,综合品质最佳。第Ⅱ类主要聚集了单宁含量较高,维生素 C、可溶性固形物、总酸含量较低的品种;第Ⅱ类聚集的 4 个品种中,当平方欧式距离为 10 时,‘馨绿’和‘翠玉’可聚为一类,‘佳绿’和‘婉绿’可聚为一类,‘馨绿’综合得分 $F=-0.54$,排在第 7 位,‘翠玉’排在第 8 位,这两个品种排名靠后,综合品质相对较差;‘佳绿’和‘婉绿’排在第 3~4 位,综合品质相对较好。第Ⅲ类聚集的品种‘丰绿’单果质量、横径、纵径、果形指数和色泽指数 CIRG 偏小,但单宁、总黄酮含量最高,可溶性固形物、总糖、维生素 C 和总酚含量均较高,该类群软枣猕猴桃果实外观品质较差,但营养品质较高,果实适合加工高营养的保健产品。第Ⅳ类聚集的品种综合排名居中,聚集了可溶性

蛋白含量最高,果实可溶性固形物、色泽指数 CIRG、固酸比、总黄酮含量较高的小果类型品种。第Ⅴ类聚集的品种‘苹绿’固酸比、总黄酮含量较高,综合得分最低,品质较差。由主成分分析中选出的 2 个综合品质最高的软枣猕猴桃品种,在此聚为一类,与主成分分析结果基本一致,可信度较高。

3 结论

果实品质是引种、选育及加工利用的关键因素,其综合品质是多个品质指标共同作用的结果。本研究对 10 个软枣猕猴桃品种果实单果质量、横纵径、出汁率、硬度、色泽、可溶性固形物、可溶性蛋白、总糖、总酸、维生素 C 及酚类物质等指标进行测定与分析,结果表明 10 个软枣猕猴桃品种果实品质存在一定的差异性,其中维生素 C 含量差异较大,变异系数为 53.08%;果实色泽亮度指数(L^* 值)差异最小,变异系数为 6.04%。通过指标间相关性分析,得到软枣猕猴桃果实各品质指标间存在不同程度的相关性。通过主成分分析得到 10 个软枣猕猴桃果实综合品质从高到低依此为‘龙城 2 号’、‘魁绿’、‘佳绿’、‘婉绿’、‘甜心宝’、‘绿宝’、‘馨绿’、‘翠玉’、‘丰绿’、‘苹绿’;根据聚类分析将 10 个软枣猕猴桃品种分为五类,其中第Ⅰ类的‘龙城 2 号’与‘魁绿’果实综合品质最优。

基于现有试验条件以及现有的品质指标试验数据,本研究对 10 个软枣猕猴桃品种果实品质进行综合评价,为今后软枣猕猴桃品质评价体系的建立以及品种选育、种植推广和加工利用提供了参考。但本研究只对软枣猕猴桃果实基本的外观和营养品质指标作了分析,还有果实的矿物质含量、氨基酸含量、有机酸含量和果实香气等指标未测定,以及品种的抗病性、高产性、适应性和贮藏性等方面都未考虑。因此,在今后的工作中应继续研究,才能筛选出外观美、营养丰富、风味佳、适应性强和耐贮运的优良品种,促进软枣猕猴桃产业健康可持续发展。

参考文献

[1] 卢立媛,刘振盼,孙阳等.软枣猕猴桃研究进展[J].特产研究,2020,4(5):89-93. [LU L Y, LIU Z P, SUN Y. Research progress of kiwiberry[J]. Special Wild Economic Animal and Plant

Research, 2020, 4(5): 89–93.]

[2] 张敏, 王贺新, 姜鑫, 等. 世界软枣猕猴桃品种资源特点及育种趋势[J]. 生态学报, 2017, 36(11): 3289–3297. [ZHANG M, WANG H X, LOU X, et al. The development status and breeding trend of hardy kiwifruit cultivars in the world[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(11): 3289–3297.]

[3] HALE I L, CONNOLLY B A. *Actinidia arguta*: A new record of a naturalized introduction in connecticut[J]. Rhodora, 2014, 116(967): 352–355.

[4] 刘青, 贾东峰, 黄春辉, 等. 软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)种质资源研究进展[J]. 北方园艺, 2020, 469(22): 132–137. [LIU Q, JIA D F, HUANG C H, et al. Research progress on germplasm resources of *Actinidia arguta*[J]. Northern Horticulture, 2020, 469(22): 132–137.]

[5] 牛强, 申健, 刘悦, 等. 软枣猕猴桃主要活性成分及药理活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 333–338, 344. [NIU Q, SHEN J, LIU Y, et al. Research progress on main active constituents and pharmacological activities of *Actinidia arguta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 333–338, 344.]

[6] 史彩虹, 李大伟, 赵余庆. 软枣猕猴桃的化学成分和药理活性研究进展[J]. 现代药物与临床, 2011, 26(3): 203–207. [SHI C H, LI D W, ZHAO Y Q. Advances in research on chemical constituents of *Actinidia arguta* and their pharmacological activities[J]. Drugs & Clinic, 2011, 26(3): 203–207.]

[7] 仇占南, 张茹阳, 彭明朗, 等. 北京野生软枣猕猴桃果实品质综合评价体系[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2): 45–53. [QIU Z N, ZHANG R Y, PENG M L, et al. Comprehensive evaluation system of the fruit quality of wild *Actinidia arguta* in Beijing[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(2): 45–53.]

[8] 马云, 王笑成, 穆易君, 等. 不同品种软枣猕猴桃品质指标的主成分分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 233–238. [MA Y, WANG X C, MU Y J, et al. Principal component analysis of quality indexes of different varieties of *Actinidia arguta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(5): 233–238.]

[9] 秦红艳, 许培磊, 艾军, 等. 软枣猕猴桃种质资源果实品质、表型性状多样性及主成分分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(1): 160–165. [QIN H Y, XU P L, AI J, et al. Diversity of fruit quality and phenotypic traits of *Actinidia arguta* planch germplasm resources and their principal component analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(1): 160–165.]

[10] 姜雪, 刘楠, 孙永, 等. 统计分析方法在食品品质评价中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(1): 13–19. [JIANG X, LIU N, SUN Y, et al. Application of statistical analysis methods in food quality evaluation[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(1): 13–19.]

[11] 王丹, 梁锦, 黄天姿, 等. 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃鲜食品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 1–8. [WANG D, LIANG J, HUANG T Z, et al. Fresh food quality evaluation of kiwifruit based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(7): 1–8.]

[12] 张维, 付复华, 罗赛男, 等. 湖南红心猕猴桃品种品质评价及综合分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(5): 201–210. [ZHANG W, FU F H, LUO S N, et al. Quality analysis and evaluation of Hunan red kiwifruit varieties[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(5): 201–210.]

[13] 代涛, 万嘉欣, 黎洁华, 等. 基于主成分与聚类分析综合评价芒果种质资源果实糖酸品质[J]. 果树学报, 2022, 39(12): 2253–2263. [DAI T, WAN J X, LI J H, et al. Comprehensive evaluation of fruit sugar and acid quality of mango germplasm based on principal component and cluster analysis[J]. Journal of Fruit Sci-

ence, 2022, 39(12): 2253–2263.]

[14] 林蝉蝉, 何舟阳, 单文龙, 等. 基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质[J]. 果树学报, 2020, 37(4): 520–532. [LIN C C, HE Z Y, SHAN W L, et al. Comprehensive evaluation of fruit quality of 12 red table grape cultivars cultivated in Yangling area based on principal component and cluster analyses[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(4): 520–532.]

[15] 牟红梅, 于强, 李庆余, 等. 基于主成分分析的烟台地区西洋梨果实品质综合评价[J]. 果树学报, 2019, 36(8): 1084–1092. [MU H M, YU Q, LI Q Y, et al. Synthetic evaluation of fruit quality of common pears (*Pyrus communis* L.) based on principal component analysis in Yantai areas[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(8): 1084–1092.]

[16] 农业部科技教育司. NY/T 2351-2013 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 猕猴桃属[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [Epartment of Science, NY/T 2351-2013 Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability Actinidia (*Actinidia* L.)[S]. Beijing: China Standard Press, 2013.]

[17] 付勋, 张海彬, 聂青玉, 等. 猕猴桃品质指标差异分析及 GC-IMS 分析果汁中挥发性物质[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 247–254. [FU X, ZHANG H B, NIE Q Y, et al. Different varieties of kiwifruit: Analysis of differences in quality indexes and volatile components in juice by gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Science, 2022, 43(10): 247–254.]

[18] 史星雲, 王莉, 金勤, 等. 不同葡萄品种果实品质差异性分析与评价[J]. 中国南方果树, 2022, 51(4): 140–145, 150. [SHI X Y, WANG L, JIN Q, et al. Analysis and evaluation of fruit quality differences among different grape varieties[J]. South China Fruits, 2022, 51(4): 140–145, 150.]

[19] 焦中高, 胡丽娜, 张春岭, 等. 采后 UV-C 处理对软枣猕猴桃果实酚类物质及抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(11): 177–183. [JIAO Z G, HU L N, ZHANG C L, et al. Effects of ultraviolet-c irradiation on phenolic compounds and antioxidant activity of postharvest *Actinidia arguta* fruit[J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(11): 177–183.]

[20] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007. [CAO J K, JIANG E B, ZHAO Y M. Experiment guidance of postharvest physiological and biochemical of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.]

[21] 杨欢. 吉林省不同地区主栽山葡萄品种的品质及酿酒特性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016. [YANG H. Study on The quality of the main cultivated vitis amurensis varieties in different regions of Jilin province[D]. Changchun: Jinlin Agriculture University, 2016.]

[22] 王华, 曹婧, 翟丽娟, 等. 猕猴桃果肉提取物抗氧化活性研究[J]. 华北农学报, 2013, 28(2): 144–149. [WANG H, CAO J, ZHAI L J, et al. Investigation on the anti-oxidative activity of kiwifruits pulp extracts[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2013, 28(2): 144–149.]

[23] 宋梦婷. 不同软枣猕猴桃种质资源营养、风味和贮藏品质的评价[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2022. [SUN M T. Evaluation of *Actinidia arguta* germplasm based on the nutrition, taste and storage quality[D]. Shenyang: Shenyang Agriculture University, 2022.]

[24] 刘宇欣, 王梦泽, 温福田, 等. 软枣猕猴桃发酵酒酶解工艺优化及指标分析[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(4): 107–113. [LIU Y X, WANG M Z, WEN F T, et al. Enzymatic hydrolysis process optimization and index analysis of *Actinidia arguta* fermented wine[J]. Food Research and Development, 2023, 44(4): 107–113.]

[25] 千春录, 林晨, 殷健东, 等. 1-MCP 和自发气调对猕猴桃果实贮藏品质和色素的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(13): 189–192. [QIAN C L, LIN C, YIN J D, et al. Impacts of 1-MCP and self-modified atmosphere on quality and pigment of kiwifruit during

- storage[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(13): 189-192.]
- [26] 吴旻丹, 陈瑜, 金邦荃. 储藏期猕猴桃质构变化的研究及人工咀嚼的建立[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(12): 146-148, 152. [WU M D, CHEN Y, JIN B Q. Detection of texture properties of kiwi fruits by texture profile analysis and simulation of manual chewing[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(12): 146-148, 152.]
- [27] HORAK M, SNURKOVIC P, ONDRASEK I, et al. Comparison of some physico-chemical parameters of kiwiberry (*Actinidia arguta*) cultivars from a cold climate[J]. *Folia Horticulturae*, 2019, 31(2): 375-383.]
- [28] 孙阳, 慈志娟, 刘振盼, 等. 不同软枣猕猴桃品种果实品质和香气成分差异分析[J]. *中国果树*, 2021, 211(5): 52-55, 60. [SUN Y, CI Z J, LIU Z P, et al. Analysis of fruit quality and aroma components of different *Actinidia arguta* cultivars[J]. *China Fruits*, 2021, 211(5): 52-55, 60.]
- [29] 黄文俊, 冉欣雨, 王周倩, 等. 不同贮藏温度对软枣猕猴桃‘猕枣 1 号’果实品质和贮藏性的影响[J]. *植物科学学报*, 2022, 40(5): 695-704. [HUANG W J, RAN X Y, WANG Z Q, et al. Effects of different storage temperature on fruit quality and storability of *Actinidia arguta* (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. ‘Mizao 1’[J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(5): 695-704.]
- [30] 刘延吉, 朱雪妮, 田晓艳. 辽宁地区软枣猕猴桃果实性状次生物质鉴定及营养分析[J]. *沈阳农业大学学报*, 2010, 41(2): 228-230. [LIU Y J, ZHU X T, TIAN X Y, et al. *Actinidia arguta* fruit character, secondary substance identification and nutritional analysis in Liaoning[J]. *Journal of Shenyang Agriculture University*, 2010, 41(2): 228-230.]
- [31] 孙宏莱, 毕云杰, 时得友, 等. 软枣猕猴桃果品加工与贮藏保鲜研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(11): 315-320. [SUN H L, BI Y J, SHI D Y, et al. Research process on processing and storage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(11): 315-320.]
- [32] 李瑞娟, 梁锦, 王丹, 等. 不同品种猕猴桃汁抗氧化成分及体外抗氧化活性比较[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 311-318. [LI R J, LIANG J, WANG D, et al. Comparative analysis of antioxidant compounds and antioxidant activities *in vitro* of different kiwifruit juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 311-318.]
- [33] 赵楠, 柴军红, 何婷婷, 等. 软枣猕猴桃植物化学成分及生物活性研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(2): 211-215. [ZHAO N, CHAI J H, HE T T, et al. Research progress on chemical constituents and biological activities of *Actinidia arguta*[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(2): 211-215.]
- [34] ZHANG J, GAO N, SHU C, et al. Phenolics profile and antioxidant activity analysis of kiwi berry (*Actinidia arguta*) flesh and peel extracts from four regions in China[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 689038.]
- [35] 漆媛, 张桂霞, 王定国, 等. 天津蓟县软枣猕猴桃营养品质分析[J]. *天津农业科学*, 2016, 22(12): 50-52. [QI Y, ZHANG G X, WANG D G, et al. Analysis on nutrient quality of *Actinidia arguta* in Jixian of Tianjin[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2016, 22(12): 50-52.]
- [36] 刘佩, 谢佳璇, 秦栋, 等. 五种寒地果树果实的多酚含量、抗氧化活性及抗 α 淀粉酶活性分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(4): 282-288. [LIU P, XIE J X, QING D, et al. Analysis of polyphenolic content, antioxidant capacity and α -amylase inhibitory activity of five fruits[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(4): 282-288.]
- [37] 刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 等. ‘金魁’猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价[J]. *果树学报*, 2012, 29(5): 867-871. [LIU K P, HUANG C H, LENG J H, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of ‘Jinkui’ kiwifruit[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(5): 867-871.]