

不同鲜枣品种蜜枣加工适宜性评价

李文涛^{1,2}, 陈芹芹², 刘海瀛², 林泳鸿², 刘格格², 毕金峰^{1,2*}

(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太谷 030801) (2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工与贮藏重点实验室, 北京 100193)

摘要: 为探究不同鲜枣品种加工蜜枣的适宜性, 对9种白熟期鲜枣与蜜枣进行理化、感官与营养成分测定分析, 结合主成分和相关性分析对蜜枣品质进行综合评价。结果表明: 鲜枣与蜜枣的理化与营养指标都具有显著性差异 ($P<0.05$), 鲜枣各指标的变异系数范围为 1.89% (b^* 值) ~68.83% (蔗糖含量); 加工成蜜枣后, 所有指标变异系数均在 10% 上, 除总糖和蔗糖外, 其余指标变异系数均升高。其中总糖变异系数最低 (10.09%), 硬度变异系数最高 (80.10%)。采用主成分分析, 将指标降为 4 个因子, 累计贡献率 86.83%, 蜜枣得分排名: 无核枣 > 新疆灰枣 > 赞皇大枣 > 阜平大枣 > 泰安梨枣 > 金丝大枣 > 金丝小枣 > 山西木枣 > 献王枣。通过鲜枣与蜜枣指标相关性分析, 明确水分、果糖、总酚含量是筛选适合蜜枣加工的关键指标。进一步通过主成分与感官评价得分 (排名: 泰安梨枣 > 无核枣 > 阜平大枣 > 金丝大枣 > 赞皇大枣 > 献王枣 = 新疆灰枣 > 山西木枣 > 金丝小枣) 的综合分析, 最终筛选得到适宜加工蜜枣的鲜枣品种为泰安梨枣、赞皇大枣、阜平大枣和金丝大枣, 为蜜枣加工的专用性原料选择提供了一定的参考依据。

关键词: 白熟期; 蜜枣; 主成分分析; 相关性分析

文章编号: 1673-9078(2025)09-199-209

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.9.0872

Suitability Evaluation of Different Varieties of Fresh Jujube for Candied Jujubes Processing

LI Wentao^{1,2}, CHEN Qinqin², LIU Haiying², LIN Yonghong², LIU Gege², BI Jinfeng^{1,2*}

(1.College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

(2.Key Laboratory of Agricultural Product Processing and Storage, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: To explore the suitability of different varieties of fresh jujubes for candied jujubes processing, physicochemical, sensory, and nutritional analyses of nine varieties of fresh jujubes at the white ripe stage were conducted. Comprehensive evaluation was conducted through combining principal component analysis (PCA) and correlation analysis (CA). The results showed that there were significant differences ($P<0.05$) in physicochemical and nutritional indexes between the fresh jujubes and candied jujubes, with the coefficient of variation (CV) of fresh jujube indexes ranging from 1.89% (b^* value) to 68.83% (sucrose content); The CV values of all the indexes of candied jujube were all above 10%. Except for

引文格式:

李文涛,陈芹芹,刘海瀛,等.不同鲜枣品种蜜枣加工适宜性评价[J].现代食品科技,2025,41(9):199-209.

LI Wentao, CHEN Qinqin, LIU Haiying, et al. Suitability evaluation of different varieties of fresh jujube for candied jujubes processing [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(9): 199-209.

收稿日期: 2024-06-19; 修回日期: 2024-09-29; 接受日期: 2024-10-09

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFD1600403)

作者简介: 李文涛 (1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: lwt0052928@163.com

通讯作者: 毕金峰 (1970-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬食品制造与营养健康理论及技术研究, E-mail: bijinfeng2010@163.com

total sugar and sucrose, the CV values of other indexes all increased. Among which, the CV of total sugar was the lowest (10.09%) and the CV value of hardness was the highest (80.10%). By using PCA, the indexes were reduced to four factors, with a cumulative contribution ratio of 86.83%. The ranking scores of candied jujube was as follows: “Wuhezao”>“Xinjianghuizao”>“Zanhuangdazao”>“Fupingdazao”> “Taianlizao”>“Jinsidazao”>“Jinsixiaozao”>“Shanximuzao”>“Xianwangzao”. Through the CA of the indexes of fresh jujubes and candied jujubes, it was determined that moisture, fructose, and total phenolic content were the key indicators for screening suitable varieties for candied jujube processing. Further through the PCA and sensory evaluation, the scores of the comprehensive analysis were ranked: “Taianlizao”>“Wuhezao”>“Fupingdazao”>“Jinsidazao”>“Zanhuangdazao”>“Xianwangzao”=“Xinjianghuizao”>“Shanximuzao”>“Jinsixiaozao”). The final screening revealed the suitable fresh jujube varieties for processing candied jujube as “Taianlizao”, “Zanhuangdazao”, “Fupingdazao” and “Jinsidazao”, which provides a reference for the selection of specialized raw materials for candied jujube processing.

Key words: white maturity; candied jujubes; principal component analysis; correlation analysis

枣 (*Zizyphus jujuba* Mill) 是鼠李科枣属植物枣树的果实, 是我国特有的果树资源和独具特色的优势品种^[1]。枣果实中的营养物质与生物活性成分极其丰富, 大量研究表明枣具有抗衰老、养颜美容、增强免疫力等食疗作用, 同时具有抗癌、养肝、补血补气、抗过敏、预防心血管疾病、降压、镇静安神等药用价值^[2,3]。

蜜枣是我国传统的枣加工产品, 作为红枣的主流出口产品之一, 占有稳定的国际市场。白熟期的枣经过预处理、糖制、浸泡、烘干、包装等工艺加工而成蜜枣, 可有效降低其采后损失并延长产业链。目前对蜜枣的研究多集中在加工工艺及优化等方面, 如秦垦等^[4]和艾启俊等^[5]分别对干枣及鲜枣的枣脯真空渗糖工艺进行了研究; 许静等^[6]对枣脯的变温压差膨化干燥工艺进行了优化; 还有学者针对低糖或者无添加糖的枣脯工艺进行了优化^[7,8]; 钟佳敏等^[9]研究了接种乳酸菌、酵母菌、乳酸菌与酵母菌混合菌发酵及自然发酵 4 种发酵方式对骏枣果脯的品质影响, 混合菌发酵枣脯总糖含量最低、总酚含量最高、品质最优。在蜜枣的生产中, 优质的加工产品离不开适宜的原料, 不同品种原料的品质会直接影响产品质量, 因此探究不同品种原料的加工适宜性十分必要。目前有关不同品种鲜枣加工冻干脆片^[10]、枣酒^[11]的研究已有报道, 还未见关于蜜枣加工适宜性的研究。

本研究针对河北、新疆、山西、山东等主产区的 9 种鲜枣原料及其蜜枣产品的品质指标进行测定和分析, 采用主成分分析和相关性分析对不同品种蜜枣的品质进行综合评价, 筛选出适宜加工蜜枣的白熟期枣品种, 为优选加工蜜枣原料品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

9 个鲜枣品种的具体信息如表 1 所示。白熟期采摘后或邮寄到达当天放于 -40 ℃冷库, 实验备用。

表 1 不同品种鲜枣样品信息

Table 1 Sample information for different varieties of fresh jujubes

样品品种	来源
阜平大枣	河北省保定市阜平县
金丝大枣	河北省沧州市沧县
金丝小枣	河北省沧州市沧县
无核枣	河北省沧州市沧县
山西木枣	山西省吕梁市
献王枣	河北省沧州市沧县
新疆灰枣	新疆维吾尔自治区图木舒克市
泰安梨枣	山东省泰安市
赞皇大枣	河北省石家庄市赞皇县

福林酚、2,6-二氯酚酞酚钠 (分析纯), 西格玛奥德里奇贸易有限公司; 苯酚、硫酸、L (+) - 抗坏血酸标准品 (纯度≥99%)、无水碳酸钠、氢氧化钠、碳酸氢钠、没食子酸、偏磷酸、盐酸 (分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 白砂糖 (食品级), 市售。

DHG-9123A 电热恒温鼓风箱, 上海精宏实验设备有限公司; JP-150 高速多功能粉碎机, 永康久品工贸有限公司; Varioskan Flash 酶标仪, 美国 Thermo Scientific; Digieye 电子眼, 法国 Alpha MOS 公司; PEN3.5 电子鼻, 德国 AIRSENSE 公司; 精密阿贝折射仪, 上海仪电精密仪器有限公司; TA.HDplus 物性测试仪, 英国 Stable Micro System

公司; Metrohm 907 Titrand 自动电位滴定仪, 瑞士 Metrohm 公司; 离子交换色谱仪, DIONEX ICS-3000 美国戴安公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蜜枣的加工方法

(1) 工艺流程:

白熟期枣→清洗去核→预煮→糖煮→渗糖→干燥→蜜枣

(2) 操作要点: 挑选大小一致的鲜枣, 清洗去核。采用煮沸-冷却交替进行的方法, 先将纯水煮沸, 然后加入鲜枣预煮 5 min, 使其周身软化, 颜色泛红。之后进行糖煮, 初始糖液浓度 60 °Brix, 料液比为 1:4 (g/g), 煮至糖液浓度 70~75 °Brix^[12]。糖煮后将糖液与枣一同倒入烧杯中继续渗透 16 h。渗糖完成后, 用水冲洗枣表面糖液, 沥干平铺在托盘中, 放入 60 °C 热风干燥箱中干燥 12 h。干燥期间每 4 h 进行翻盘, 使其干燥均匀。

1.2.2 水分的测定

水分含量参考 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》^[13]中直接干燥法测定。

1.2.3 硬度的测定

鲜枣及蜜枣硬度采用物性测试仪测定^[14]。采用剪切试验, 测定条件: 测试前探头速率为 2 mm/s, 测试过程速率为 1 mm/s, 测试后速率为 2 mm/s, 测试的压缩变形为 40 mm, 触发值为 10 g。根据力-位移曲线图可得到表示果实的最大硬度, 单位为 kg。

1.2.4 色泽的测定

采用电子眼 (Digieye, Alpha MOS 公司, 法国) 对鲜枣及蜜枣的 L^* 、 a^* 、 b^* 进行测定, L^* 值表示亮度变量; a^* 表示红绿变量; b^* 表示黄蓝变量。

1.2.5 总酚的测定

总酚含量测定采用福林酚法, 参考张星等^[15]的方法, 精确称取 0.5 g 样品, 溶于 10 mL 体积分数为 80% 的甲醇溶液中, 室温下超声提取 2 h, 经 10 000 r/min 离心 10 min 后, 取上清液。取提取液 1 mL, 加入 1 mL 80% 甲醇溶液、1 mL 体积分数为 10% 福林酚溶液, 摇匀静置 5 min, 加入 0.8 mL 质量分数为 7.5% Na_2CO_3 溶液混匀, 避光室温静 30 min, 定容 10 mL 容量瓶, 再取 1 mL 定容液稀释 100 倍, 以 0 mL 没食子酸溶液作对照。使用紫外可见分光光度计在 765 nm 波长测吸光度。以没食子酸为标准品绘制标准曲线, 以没食子酸当量

(GAE) 来表示。

1.2.6 可溶性固形物的测定

鲜枣原料及加工蜜枣可溶性固形物含量采用折光仪 (精密阿贝折射仪, 上海仪电精密仪器有限公司, 中国) 测定, 单位为 °Brix。

1.2.7 总糖的测定

总糖的测定采用苯酚-硫酸法^[16], 精确称取 0.5 g 样品, 加入 2 mL 6 mol/L 的 HCl 溶液, 加入 20~25 mL 蒸馏水, 震荡摇匀, 在 96 °C 的水浴锅中水浴 2 h, 冷却后加入 2 mL 质量分数为 6 mol/L 的 NaOH 溶液, 震荡摇匀, 然后 10 000 r/min 离心 15 min, 取上清液定容至 50 mL。之后再取 1 mL 定容液稀释 100 倍定容至 100 mL 容量瓶中。取定容液 1 mL, 然后加入 1 mL 质量分数为 5% 的苯酚溶液及 5 mL 质量分数为 98% 的浓硫酸, 立刻摇匀, 冷却至室温, 放置 20 min, 在 490 nm 波长下测吸光度, 以葡萄糖为标准品绘制标准曲线确定总糖含量。

1.2.8 可滴定酸的测定

可滴定酸的测定采用电位滴定法^[17]。鲜枣称取 250 g, 放入高速组织捣碎机内, 加入等量水, 捣碎 1~2 min。称取匀浆 50 g, 用 100 mL 水洗入 250 mL 容器瓶, 置水浴上加热 30 min, 取出冷却, 定容过滤。蜜枣称取 50 g, 加 450 g 水, 捣碎 2~3 min。称取试样匀浆 50 g, 按上一步骤水浴浸提, 定容过滤。按公式 (1) 计算可滴定酸含量。

$$B = \frac{c \times V_1}{V_0} \times \frac{250}{m(v)} \times 100 \quad (1)$$

式中:

B ——可滴定酸 (TA) 含量, mmol/100 g;

c ——氢氧化钠标准溶液摩尔浓度;

V_1 ——滴定时所消耗的氢氧化钠标准溶液体积, mL;

V_0 ——吸取滴定用的样液体积, mL;

$m(v)$ ——试样质量, g;

250——试样浸提后定容体积, mL。

1.2.9 抗坏血酸的测定

抗坏血酸的测定采用 GB 5009.86-2016^[18] 中 2,6-二氯酚酚滴定法。

1.2.10 葡萄糖、果糖、蔗糖的测定

准确称取 5 g 样品, 置于 40 mL 去离子水中以 40 kHz 超声处理 30 min, 再以 10 000 r/min 离心 20 min 后将上清液定容至 50 mL, 鲜枣梯度稀释 500 倍, 蜜枣梯度稀释 1 000 倍后过 0.22 μm 膜,

使用阴离子交换色谱仪检测。检测方法参考杨忻瑞等^[19]的方法。

1.2.11 电子鼻测定

采用 PEN3.5 型电子鼻对蜜枣的香气轮廓进行测定, 电子鼻由 10 根金属氧化传感器组成, 每根传感器对应一类或几类敏感性物质, 如表 2 所示。参考 Liu 等^[20]的方法, 准确称取 2 g 样品于 20 mL 顶空瓶中, 用聚四氟乙烯硅塞密封, 25 ℃放置 30 min 后进行分析。样品测定间隔时间 1 s, 传感器冲洗持续 180 s, 自动调零持续 10 s, 预采样时间 5 s, 样品测试时间 60 s, 载气流量、进样流量均为 300 mL/min。

表 2 PEN3.5 电子鼻传感器性能描述
Table 2 PEN3.5 electronic nose sensor performance description

阵列序号	传感器	性能描述
R1	W1C	对芳香物质灵敏
R2	W5S	对氮氧化合物灵敏
R3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
R4	W6S	对氢气灵敏
R5	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏
R6	W1S	对甲烷类灵敏
R7	W1W	对有机硫化物灵敏
R8	W2S	对醇类灵敏
R9	W2W	对硫氯化物灵敏
R10	W3S	对甲烷类、烷烃灵敏

1.2.12 感官评价

选择组织形态、色泽、口感、气味和风味 5 个指标作为感官评价指标^[21], 挑选 15 名食品专业且受过感官评价训练的同学对蜜枣产品进行感官评价, 评分标准见表 3。

1.3 数据处理

所有指标平行测试 3 次, 数据以平均值 ± 标准偏差表示。使用 SPSS 27.0 对数据进行统计分析, 使用单因素 (ANOVA) 检验进行显著性和差异性检验, 使用 Origin 2019b 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同品种鲜枣原料品质指标分析

2.1.1 不同品种鲜枣原料理化营养品质指标分析

不同品种鲜枣原料基础品质指标分析见表 4, 由表可知, 水分含量、 L^* 、 b^* 的变异系数均小于 10%, 表明各品种间差异较小。其中, 水分含量在

75.50~85.65 g/100 g 之间, 平均含量为 82.12 g/100 g, 水分最低的为金丝小枣, 最高的为泰安梨枣; L^* 的范围在 52.56~67.84, 平均值为 63.60, 山西木枣 L^* 最高, 说明外表最光亮; b^* 的范围在 36.88~48.98, 平均值为 40.22, 赞皇大枣 b^* 最高, 说明最偏黄。硬度、 a^* 、可滴定酸、抗坏血酸的变异系数大于 20%, 说明各品种之间的差异较大。鲜枣硬度值在 5.26~10.49 kg 之间, 平均值为 7.97 kg, 各品种具有显著性差异 ($P<0.05$)。九种鲜枣原料 a^* 的范围在 -6.31~-2.79, 平均值为 -4.53, 说明九种鲜枣均呈绿色, 其中新疆灰枣 a^* 最低, 颜色最绿; 可滴定酸含量范围在 2.48~4.94 mmol/100 g, 平均值为 3.86 mmol/L, 最高的为沧州金丝小枣, 最低的为新疆灰枣; 抗坏血酸含量范围在 126.92~310 mg/100 g, 平均值为 203.69 mg/100 g, 最高的为赞皇大枣, 最低的为山西木枣。张自强等^[22]研究白熟期枣果 Vc 含量在 185 mg/100 g。

表 3 蜜枣感官评价评分标准
Table 3 Sensory evaluation and scoring criteria for candied jujubes

项目	评价标准	评分
组织形态 (20 分)	果实完整, 无明显凹陷, 不流糖	16~20
	果实稍有破损, 部分明显凹陷, 稍有流糖	11~15
	果实破损, 明显凹陷, 流糖	6~10
	果实破损严重, 凹陷严重, 流糖严重	1~5
色泽 (20 分)	色泽诱人, 颜色光亮	16~20
	色泽舒适, 颜色较透亮	11~15
	色泽较差, 颜色暗淡不够透亮	6~10
	色泽极差, 颜色不透亮	1~5
口感 (20 分)	口感细腻, 软硬适中, 不黏牙	16~20
	口感略糙, 稍软稍硬, 略黏牙	11~15
	口感粗糙, 过软过硬, 黏牙	6~10
	口感很差, 特别软或硬, 特别黏牙	1~5
气味 (20 分)	枣香浓郁, 气味香甜, 无异味	16~20
	有枣香, 气味稍甜, 无异味	11~15
	无明显枣香, 气味过甜, 无异味	6~10
	毫无枣香, 甜味刺鼻, 无异味	1~5
滋味 (20 分)	甜度可口, 有枣滋味	16~20
	甜度适中, 有明显枣的滋味	11~15
	甜度尚可, 略有枣的滋味	6~10
	有不适甜度, 无枣的滋味	1~5

表 4 不同品种鲜枣原料理化营养指标

Table 4 Physicochemical and nutritional indexes of different fresh jujubes									
品种	水分 (g/100 g)	硬度 /kg	L*	a*	b*	总酚 (mg/100 g)	可溶性固形物 (°Brix)	可滴定酸/ (mmol/100 g)	抗坏血酸 (mg/100 g)
阜平大枣	84.47±0.65 ^a ^b	7.16 ± 0.21 ^{bc}	61.78 ± 2.42 ^{bc}	-4.23 ± 0.69 ^{bc}	38.63 ± 1.61 ^d	66.60 ± 0.68 ^a	9.75 ± 0.50 ^c	3.94 ± 0.32 ^{cd}	181.06 ± 1.30 ^f
金丝大枣	82.16±2.48 ^{bcd}	10.49 ± 0.83 ^a	64.68 ± 4.18 ^{ab}	-5.27 ± 0.79 ^d	41.29 ± 2.28 ^c	65.83 ± 0.41 ^a	9.00 ± 0.00 ^d	4.62 ± 0.05 ^{ab}	241.76 ± 1.31 ^c
金丝小枣	75.50±1.24 ^e	5.26 ± 0.31 ^d	66.30 ± 3.51 ^a	-3.54 ± 0.53 ^{ab}	37.80 ± 1.92 ^d	50.76 ± 0.69 ^c	12.50 ± 0.58 ^a	4.94 ± 0.10 ^a	179.02 ± 3.78 ^f
无核枣	79.82±3.09 ^{cd}	6.27 ± 0.38 ^{cd}	67.61 ± 2.81 ^a	-5.37 ± 0.39 ^d	37.63 ± 2.56 ^d	66.92 ± 0.91 ^a	10.50 ± 0.58 ^b	4.28 ± 0.08 ^{bc}	200.27 ± 1.74 ^d
山西木枣	82.47±1.06 ^{bc}	9.78 ± 0.80 ^a	67.84 ± 2.99 ^a	-4.78 ± 0.60 ^{cd}	37.54 ± 1.11 ^d	51.47 ± 1.34 ^c	9.50 ± 0.58 ^{cd}	4.21 ± 0.36 ^{bc}	126.92 ± 0.83 ^b
献王枣	84.56±0.37 ^{ab}	8.10 ± 0.35 ^b	65.89 ± 2.08 ^a	-4.06 ± 0.76 ^{bc}	36.88 ± 3.40 ^d	51.73 ± 0.84 ^c	7.75 ± 0.50 ^e	3.70 ± 0.16 ^d	249.18 ± 4.19 ^b
新疆灰枣	79.34±1.84 ^d	6.28 ± 0.10 ^{cd}	66.05 ± 1.98 ^a	-6.31 ± 0.24 ^e	37.15 ± 2.07 ^d	66.89 ± 1.08 ^a	12.75 ± 0.50 ^a	2.48 ± 0.12 ^e	154.38 ± 2.69 ^g
泰安梨枣	85.65±0.42 ^a	7.90 ± 0.30 ^b	52.56 ± 2.29 ^d	-2.79 ± 1.35 ^a	46.10 ± 3.42 ^b	63.49 ± 0.71 ^b	10.00 ± 0.00 ^{bc}	3.70 ± 0.16 ^d	190.65 ± 1.45 ^c
赞皇大枣	85.09±0.37 ^{ab}	10.48 ± 1.14 ^a	59.73 ± 4.80 ^c	-4.39 ± 1.6 ^{bc}	48.98 ± 2.15 ^a	66.69 ± 0.35 ^a	9.90 ± 0.08 ^{bc}	2.88 ± 0.11 ^e	310.00 ± 0.43 ^a
平均值	82.12	7.97	63.60	-4.53	40.22	61.15	10.18	3.86	203.69
变异系数/%	4.08	24.18	7.74	23.20	1.89	12.19	15.58	20.40	27.14

注：不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

表 5 不同品种鲜枣总糖及小分子糖含量

Table 5 Total and small molecule sugar contents in fresh jujubes of different varieties

品种	总糖/(g/100 g)	葡萄糖/(mg/g)	蔗糖/(mg/g)	果糖/(mg/g)
阜平大枣	17.17 ± 0.52 ^a	23.99 ± 0.81 ^{cd}	20.62 ± 1.70 ^c	27.05 ± 1.15 ^{bc}
金丝大枣	10.09 ± 0.59 ^{de}	30.61 ± 1.45 ^{ab}	10.45 ± 0.38 ^d	34.68 ± 2.19 ^a
金丝小枣	8.25 ± 1.4 ^e	13.08 ± 0.71 ^e	42.78 ± 1.93 ^a	15.26 ± 0.40 ^d
无核枣	9.10 ± 0.20 ^e	23.36 ± 4.50 ^{cd}	27.50 ± 5.91 ^b	24.86 ± 5.43 ^c
山西木枣	14.33 ± 0.22 ^{bc}	20.76 ± 0.48 ^d	17.93 ± 0.93 ^c	25.57 ± 0.19 ^c
献王枣	15.38 ± 2.14 ^{ab}	21.56 ± 3.47 ^d	5.87 ± 0.75 ^{de}	23.80 ± 4.06 ^c
新疆灰枣	12.39 ± 1.23 ^{cd}	34.81 ± 3.23 ^a	37.81 ± 1.11 ^a	35.08 ± 3.16 ^a
泰安梨枣	8.36 ± 1.65 ^e	24.86 ± 1.75 ^{cd}	16.56 ± 1.12 ^c	25.63 ± 2.04 ^c
赞皇大枣	12.32 ± 0.92 ^{cd}	28.34 ± 0.01 ^{bc}	1.66 ± 0.10 ^e	32.79 ± 0.25 ^{ab}
平均值	11.85	24.60	20.13	27.19
变异系数 /%	27.17	25.43	68.83	23.04

可溶性固形物含量在 7.75~12.75 °Brix 之间, 变异系数为 15.58%, 平均值为 10.18 °Brix。其中含量最高的为新疆灰枣, 含量最低的为沧州献王枣。总酚含量的变异系数 12.19%, 平均值为 61.15 mg/100 g, 其中沧州献王枣、金丝小枣、山西木枣的总酚含量相对其他六种鲜枣总酚含量相对较低。念红丽等^[23]在成熟期对冬枣多酚含量及抗氧化活性的研究中发现, 半红期冬枣果肉总酚含量 0.50 mg/100 g 左右, 本研究鲜枣总酚含量在 50.76~66.92 mg/100 g, 估计与品种及成熟度不同有关。

2.1.2 不同品种鲜枣原料糖组分分析

由表 5 可知, 九种鲜枣总糖含量在 8.25~17.17 g/100 g 之间, 变异系数为 27.17%, 平均值为 11.85 g/100 g, 最高的为阜平大枣, 最低的为沧州金丝小枣。研究表明枣中小分子糖主要组成是葡萄糖、蔗糖、果糖^[24], 九种鲜枣的葡萄糖、蔗糖、果糖的变异系数在 23.04%~68.83% 之间, 表明小分子糖对各品种鲜枣影响显著。葡萄糖含量范围为 13.08~34.81 mg/g, 平均值为 24.60 mg/100 g, 果糖含量范围为 15.26~35.08 mg/g, 平均值为 27.19 mg/100 g, 二者含量最低的均为金丝小枣, 含量最高的均为新疆灰枣, 与可滴定酸含量结果相反; 蔗糖含量范围为 1.66~42.78 mg/g, 平均值为 20.13 mg/100 g, 含量最低的为赞皇大枣, 含量最高的为金丝小枣, 史彦江等^[25]研究中测得新疆种植的赞皇大枣蔗糖含量 2.00 mg/g, 本研究赞皇大枣蔗糖含 1.66 mg/g, 表明相同品种的蔗糖含量无明显差异。

2.2 不同品种蜜枣品质指标分析

2.2.1 不同品种蜜枣理化营养品质指标分析

不同品种蜜枣基础品质指标分析见表 6, 由表可知所有蜜枣品质指标变异系数均大于 10%。九种蜜枣水分含量在 18.05~27.72 g/100 g, 平均值为 21.54 g/100 g, 相比鲜枣降低 73.77%, 山西木枣蜜枣含量最低, 泰安梨枣含量最高, 田文妮等^[26]研究中金丝蜜枣水分含量为 26.63 g/100 g。九种蜜枣硬度的变异系数为 80.10%, 说明各品种间具有强显著性差异, 平均值为 4.26 kg, 相比鲜枣降低 46.55%, 其中献王枣硬度最高 (12.51 kg), 其余蜜枣硬度在 1.62~6.70 kg 之间, 表明献王枣不适合蜜枣加工。

蜜枣色泽与鲜枣相比发生显著变化, 由黄绿色转变为红黄色。其中 L^* 显著降低 (25.80~50.96), 平均值为 36.72, 相比鲜枣降低 42.26%, 金丝小枣最高, 金丝大枣最低; 蜜枣 a^* 显著增加 (8.43~18.35), 平均值为 13.58, 这与加工过程中热作用下的美拉德反应有关, 其中山西木枣的 a^* 最大, 无核枣的 a^* 最小。 b^* 的变异系数为 61.86%, 平均值为 22.67, 相比鲜枣降低 43.64%, 说明黄色降低, 金丝小枣的 b^* 最高, 无核枣和金丝大枣的 b^* 低。徐栋焱^[27]在低糖杏脯加工关键技术及适宜性评价研究中测得 18 个品种杏脯的 L^* (35.01~53.69), a^* (6.75~34.63), b^* (11.51~64.11), 不同品类果脯的颜色比较接近。

表 6 不同品种加工蜜枣理化营养指标

Table 6 Physicochemical and nutritional indexes of candied jujubes									
品种	水分/(g/100 g)	硬度/kg	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	总酚 (mg/100 g)	可溶性固形物 (°Brix)	可滴定酸 (mmol/100 g)	抗坏血酸 (mg/100 g)
阜平大枣蜜枣	25.12 ± 0.71 ^{ab}	2.95 ± 0.71 ^{cd}	37.04 ± 3.38 ^c	17.23 ± 2.84 ^{ab}	26.74 ± 4.72 ^c	11.70 ± 3.98 ^{ab}	64.80 ± 1.10 ^b	1.25 ± 0.0029 ^e	105.08 ± 1.59 ^b
金丝大枣蜜枣	19.58 ± 0.52d ^e	3.30 ± 0.25 ^{cd}	25.80 ± 4.84 ^d	10.17 ± 2.97 ^{de}	8.04 ± 4.96 ^f	16.23 ± 3.64 ^a	68.00 ± 1.41 ^a	1.89 ± 0.0689 ^c	52.65 ± 6.44 ^f
金丝小枣蜜枣	19.75 ± 1.32 ^{de}	3.47 ± 0.63 ^c	50.96 ± 5.53 ^a	15.11 ± 2.25 ^{bc}	43.19 ± 5.72 ^a	11.57 ± 6.10 ^{ab}	62.40 ± 0.89 ^{cd}	2.80 ± 0.0685 ^a	87.96 ± 2.21 ^d
无核枣蜜枣	23.98 ± 1.45 ^{bc}	1.62 ± 0.20 ^e	37.50 ± 4.07 ^c	18.35 ± 4.50 ^a	20.26 ± 3.08 ^d	14.47 ± 5.36 ^a	52.00 ± 0.00 ^e	1.53 ± 0.0031 ^d	41.00 ± 1.06 ^g
山西木枣蜜枣	18.64 ± 2.73 ^{de}	6.69 ± 1.57 ^b	44.97 ± 3.34 ^b	13.78 ± 1.86 ^c	37.23 ± 5.77 ^b	11.83 ± 1.78 ^{ab}	67.60 ± 0.89 ^a	1.25 ± 0.0029 ^e	98.20 ± 1.06 ^c
献王枣蜜枣	19.40 ± 0.54 ^{de}	12.51 ± 0.91 ^a	26.46 ± 4.30 ^d	8.43 ± 3.91 ^e	7.17 ± 3.83 ^f	11.57 ± 6.10 ^{ab}	63.60 ± 2.19 ^{bc}	2.10 ± 0.0892 ^b	191.95 ± 1.59 ^a
新疆灰枣蜜枣	18.05 ± 4.14 ^e	2.04 ± 0.05 ^{de}	29.73 ± 4.20 ^d	10.30 ± 2.63 ^{de}	10.67 ± 3.52 ^{ef}	7.17 ± 3.22 ^b	61.60 ± 1.67 ^d	1.31 ± 0.0605 ^e	95.37 ± 3.72 ^c
泰安梨枣蜜枣	27.72 ± 0.36 ^a	3.07 ± 0.07 ^{cd}	48.88 ± 3.28 ^a	15.92 ± 4.02 ^{abc}	37.70 ± 4.46 ^b	6.29 ± 2.40 ^b	52.40 ± 0.89 ^e	2.69 ± 0.1027 ^a	64.83 ± 1.59 ^e
赞皇大枣蜜枣	21.66 ± 1.42 ^{cd}	2.68 ± 0.289 ^{cde}	29.12 ± 2.22 ^d	12.96 ± 2.59 ^{cd}	13.02 ± 2.2 ^e	14.09 ± 0.79 ^a	65.20 ± 1.10 ^b	1.48 ± 0.0531 ^d	95.73 ± 3.06 ^c
平均值	21.54	4.26	36.72	13.58	22.67	11.66	61.96	1.81	92.53
变异系数/%	15.50	80.10	26.38	25.13	61.86	27.75	9.56	33.30	47.00

表 7 不同品种加工蜜枣总糖及小分子糖含量

Table 7 Total and small molecule sugar content in different candied jujubes

品种	总糖 /(g/100 g)	葡萄糖 /(mg/g)	蔗糖 /(mg/g)	果糖 (mg/g)
阜平大枣蜜枣	70.46 ± 10.39 ^{ab}	19.83 ± 5.17 ^{cde}	179.90 ± 36.73 ^b	20.53 ± 8.07 ^{bcd}
金丝大枣蜜枣	66.63 ± 3.88 ^{abc}	42.45 ± 2.66 ^a	116.54 ± 6.88 ^{bcd}	30.02 ± 2.82 ^{ab}
金丝小枣蜜枣	63.75 ± 1.80 ^{bc}	11.17 ± 0.04 ^{de}	153.56 ± 6.16 ^{bc}	10.34 ± 0.21 ^{de}
无核枣蜜枣	59.78 ± 3.53 ^{bc}	18.50 ± 7.16 ^{de}	68.08 ± 27.18 ^d	15.81 ± 5.75 ^{cde}
山西木枣蜜枣	75.78 ± 4.85 ^a	8.80 ± 2.93 ^e	140.85 ± 15.30 ^{bc}	9.12 ± 3.05 ^e
献王枣蜜枣	68.08 ± 3.99 ^{abc}	21.55 ± 5.77 ^{cd}	102.67 ± 23.64 ^{cd}	18.53 ± 5.15 ^{cde}
新疆灰枣蜜枣	57.21 ± 6.43 ^c	29.95 ± 3.91 ^{bc}	130.60 ± 26.29 ^{bcd}	26.27 ± 3.15 ^{adc}
泰安梨枣蜜枣	58.73 ± 3.46 ^c	32.91 ± 6.86 ^{ab}	153.11 ± 31.94 ^{bc}	29.57 ± 4.48 ^{ab}
赞皇大枣蜜枣	57.63 ± 7.19 ^c	39.06 ± 2.27 ^{ab}	274.77 ± 45.98 ^a	33.33 ± 1.25 ^a
平均值	64.23	24.91	146.67	21.50
变异系数 /%	10.09	47.58	39.55	40.95

蜜枣经加工后可溶性固形物含量显著提升，达 52~68 °Brix，平均值为 61.96 °Brix，相比鲜枣增长 5.09 倍，其中较高的为金丝大枣和山西木枣，分别为 68.00 °Brix 与 67.60 °Brix。而总酚、抗坏血酸及可滴定酸含量显著下降，含量范围分别为 6.29~16.23 mg/100 g、41.00~191.95 mg/100 g、1.25~2.80 mmol/100 g，平均值分别为 11.66 mg/100 g、92.53 mg/100 g、1.81 mmol/100 g，相比鲜枣分别降低 80.93%、54.57%、53.11%。其中总酚含量最高的为金丝大枣，最低的为泰安梨枣；可滴定酸含量最高的是沧州金丝小枣；献王枣抗坏血酸含量最高，无核枣含量最低。

2.2.2 不同品种蜜枣糖组分分析

由表 7 可得九种蜜枣总糖、葡萄糖、蔗糖、果糖的变异系数均在 10% 以上。总糖含量范围在 57.21~75.78 g/100 g，平均值为 64.23 g/100 g，相比鲜枣增长 4.42 倍，显著高于草莓果脯的总糖含量 (40%~60%)^[28]。其中总糖含量最高的为山西木枣蜜枣，含量最低的为新疆灰枣蜜枣。九种蜜枣葡萄糖和果糖含量范围分别为 8.80~42.45 mg/g、9.12~33.33 mg/g，平均值分别为 24.91 mg/100 g、21.50 mg/100 g，含量最低的均为山西木枣蜜枣；蔗糖含量显著提高，其范围在 68.08~274.77 mg/g，平均值为 146.67 mg/100 g，相比鲜枣增长 6.29 倍，含量最低的为无核枣蜜枣，含量最高的为赞皇大枣蜜枣，说明赞皇大枣的渗糖能力最高。

2.2.3 九种蜜枣电子鼻分析

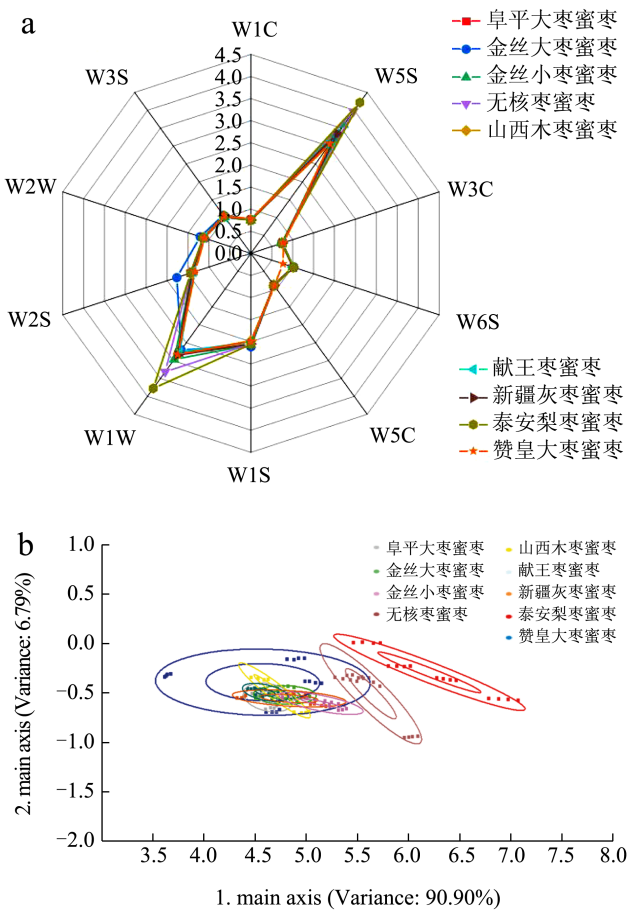


图 1 九种蜜枣电子鼻雷达图 (a) 与 PCA 图 (b)

Fig.1 Electronic nose radar map (a) and PCA map (b) of nine candied jujubes

电子鼻又称气味扫描仪，具有快速检测分析样品的特定气味的传感器列阵，在生产实践中得到了广泛的应用。根据电子鼻传感器响应值，进行雷达图绘制。由图 1a 可以得出，在九种蜜枣电子鼻传感器中，W5S（3.06~4.22）与 W1W（2.70~3.78）在所有品种中的响应值较高。其中泰安梨枣蜜枣对两个传感器的响应值相对较高，金丝大枣蜜枣对传感器 W5S 的响应值相对较高。基于电子鼻不同传感器响应值结果进一步进行 PCA（图 1b），PC1 和 PC2 贡献率分别为 90.90% 和 6.79%，累计贡献率达到 97.69%，可以反映出九种蜜枣之间总体香气的差异^[29]。泰安梨枣蜜枣与其他八种蜜枣没有重叠，说明香气物质存在一定差异性；其余八种蜜枣有重叠，说明其在香气物质上有一定的相似性。

2.2.4 九种蜜枣感官评价

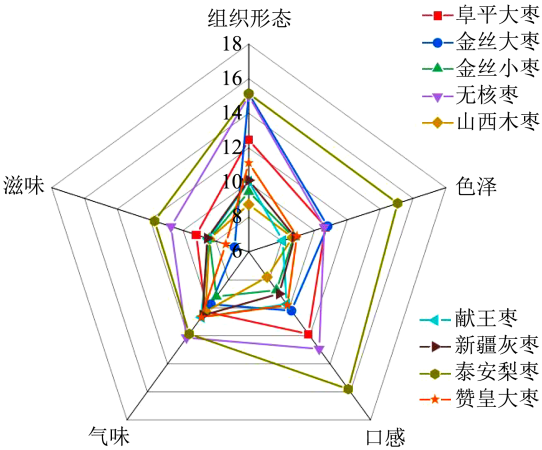


图 2 九种蜜枣感官评价雷达图

Fig.2 Radar map of sensory evaluation of nine candied jujubes

九种蜜枣感官评价的雷达图，如图 2 所示。九种蜜枣在组织形态、色泽、口感、气味、滋味五个方面存在显著性差异。泰安梨枣蜜枣水分含量最高、 L^* 较高、糖酸比为 19.48，在组织形态（15.13）、色泽（15.07）、口感（15.80）、滋味（11.73）方面分数均为最高；无核枣蜜枣电子鼻香气轮廓与其他蜜枣有显著差异，气味方面分数最高（12.13）；山西木枣蜜枣水分含量低、硬度较大、返砂严重，在组织形态（8.73）、口感方面（7.80）分数最低；献王枣蜜枣 L^* 较低、 a^* 和 b^* 均为最低，色泽分数最低（8.07）。蜜枣感官评价综合得分，泰安梨枣>无核枣>阜平大枣>金丝大枣>赞皇大枣>献王枣=新疆灰枣>山西木枣>金丝小枣。

2.3 基于主成分分析的蜜枣加工适宜性评价研究

对九种蜜枣的 13 项品质指标与电子鼻响应值（W5S、W1W）、感官评价得分的原始数据进行 Z 标准化处理后，再进行主成分提取分析，结果见表 8，成分载荷矩阵见表 9。按照特征值大于 1 的原则，共提取出 4 个主成分，累计方差贡献率达到 86.830%，能代表蜜枣品质指标的绝大部分信息^[30]。由表 8 和表 9 可知，第一主成分的方差贡献率为 45.572%，以蜜枣 W5S、W1W、感官得分的影响为主，第一主成分主要反映了蜜枣气味和感官指标；第二主成分的方差贡献率为 19.342%，主要综合了葡萄糖、果糖、 b^* 的信息，反映了蜜枣的小分子糖和色泽指标；第三主成分的方差贡献率为 12.735%，决定其大小的指标主要是硬度和抗坏血酸；第四主成分的方差贡献率为 9.181%，以总糖的影响为主。

表 8 主成分特征值及方差贡献率

Table 8 Characteristic values of principal components and variance contribution ratio

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 /%
1	7.292	45.572	45.572	7.292	45.572	45.572
2	3.095	19.342	64.914	3.095	19.342	64.914
3	2.038	12.735	77.649	2.038	12.735	77.649
4	1.469	9.181	86.830	1.469	9.181	86.830

表 9 成分载荷矩阵

Table 9 Component load matrix

品质指标	主成分			
	1	2	3	4
总糖	-0.338	0.610	0.095	0.658
可滴定酸	0.501	0.290	0.398	-0.430
总酚	-0.444	-0.137	-0.496	0.298
可溶性固形物	-0.780	0.503	-0.211	0.063
抗坏血酸	-0.585	0.144	0.730	0.099
硬度	-0.481	0.241	0.774	0.191
L^*	0.749	0.553	-0.020	0.112
a^*	0.712	-0.073	0.412	0.328
b^*	0.670	0.643	-0.068	0.190
葡萄糖	0.515	0.757	-0.193	-0.311
果糖	0.515	0.751	-0.178	-0.164
蔗糖	0.761	0.072	0.412	0.328
水分	0.769	-0.329	0.086	0.369
W5S	0.914	-0.246	0.101	-0.146
W1W	0.929	-0.204	0.209	-0.079
感官得分	0.793	-0.460	0.112	0.159

根据标准化后的各指标与因子载荷矩阵计算各主成分得分，公式如下：

$$Y1=-0.125X1+0.186X2-0.164X3-0.289X4-0.217X5-178.148X6+0.277X7+0.264X8+0.248X9+0.191X10+0.191X11+0.282X12+0.285X13+0.339X14+0.344X15+0.294X16$$
 (2)

$$Y2=0.347X1+0.165X2-0.078X3+0.286X4+0.082X5+0.137X6+0.314X7-0.042X8+0.366X9+0.430X10+0.427X11+0.041X12-0.187X13-0.140X14-0.116X15-0.262X16$$
 (3)

$$Y3=0.067X1+0.279X2-0.347X3-0.148X4+0.511X5+0.542X6-0.014X7+0.289X8-0.048X9-0.135X10-0.125X11+0.289X12+0.060X13+0.071X14+0.146X15+0.078X16$$
 (4)

$$Y4=0.543X1-0.355X2+0.246X3+0.052X4+0.082X5+0.158X6+0.092X7+0.271X8+0.157X9-0.257X10-0.135X11+0.271X12+0.304X13-0.120X14-0.065X15+0.131X16$$
 (5)

式中 X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11、X12、X13、X14、X15 和 X16 分别为总糖、可滴定酸、总酚、可溶性固形物、抗坏血酸、硬度、L*、a*、b*、葡萄糖、果糖、蔗糖、水分、W5S、W1W 和感官得分的标准化值；Y1、Y2、Y3 和 Y4 分别为九种蜜枣主成分 1、主成分 2、主成分 3 和主成分 4 的得分值。

表 10 九种蜜枣主成分得分及排名
Table 10 Principal components scores and ranking of nine candied jujubes

品种	Y1	Y2	Y3	Y4	综合得分 Y	排名
阜平大枣蜜枣	67.99	0.29	-0.12	1.67	31.17	4
金丝大枣蜜枣	48.52	-0.16	-1.46	-0.09	21.89	6
金丝小枣蜜枣	42.82	1.94	0.38	-0.55	19.89	7
无核枣蜜枣	139.74	-2.38	-0.71	0.16	63.15	1
山西木枣蜜枣	-127.82	2.44	0.02	1.52	-57.63	8
献王枣蜜枣	-434.00	-0.03	1.82	-0.19	-197.56	9
新疆灰枣蜜枣	114.50	-1.04	-0.50	-1.44	51.78	2
泰安梨枣蜜枣	67.72	0.37	1.47	-0.88	31.04	5
赞皇大枣蜜枣	80.52	-1.44	-0.89	-0.20	36.28	3

通过主成分分析，计算前 4 个主成分的得分，以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分的特征值之和的比例为权重，主成分的得分与相应权重乘积的累加建立蜜枣品质综合得分 (Y) 的数学模型：

$$Y=0.4557*Y1+0.1934*Y2+0.1274*Y3+0.0918*Y4$$
 (6)

九种蜜枣主成分得分及排名见表 10，综合得分越高，说明蜜枣综合品质越好。九种蜜枣综合得分情况：无核枣>新疆灰枣>赞皇大枣>阜平大枣>泰安梨枣>金丝大枣>金丝小枣>山西木枣>献王枣。

2.4 鲜枣与蜜枣品质相关性分析

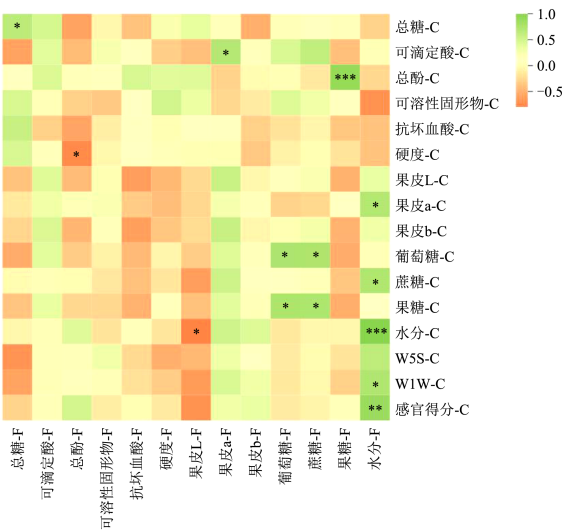


图 3 鲜枣蜜枣指标相关性分析
Fig.3 Correlation analysis of evaluation indexes between candied jujubes and fresh jujubes

鲜枣与蜜枣品质相关性分析如图 3 所示。鲜枣果糖含量与蜜枣总酚含量呈极显著正相关 ($r=0.909$)，蜜枣加工过程主要发生非酶褐变，其中以果糖等还原糖参与的美拉德反应为主，酚类物质氧化缩合反应影响较小^[31]，因此鲜枣中果糖含量高的原料有利于蜜枣中酚类物质的保留；鲜枣总酚含量与蜜枣硬度呈显著负相关 ($r=-0.709$)；鲜枣果皮 a* 与蜜枣可滴定酸含量呈显著正相关 ($r=0.718$)；鲜枣的葡萄糖与蜜枣的葡萄糖和果糖含量呈显著正相关 ($r=0.764$ 、 $r=0.769$)；鲜枣蔗糖含量与蜜枣的葡萄糖和果糖含量也呈显著正相关 ($r=0.766$ 、 $r=0.752$)，这可能与渗透过程中蔗糖组分可转化为葡萄糖与果糖^[32]有关；鲜枣总糖含量与蜜枣总糖含量呈显著正相关 ($r=0.678$)；鲜枣水分含量与蜜枣果皮 a*、蔗糖、W1W 呈显著正相关 ($r>0.712$)，与蜜枣感官得分、水分含量呈极显著正相关 ($r>0.886$)。根据相关性分析，认为水分含量、果糖含量、总酚含量是影响蜜枣加工的关键指标。

水分含量、果糖含量、总酚含量排名靠前的品种为泰安梨枣、赞皇大枣、献王枣、阜平大枣、新

疆灰枣、金丝大枣、无核枣。其中, 献王枣主成分分析排名最后, 且硬度远超其他蜜枣, 感官评价得分较低; 新疆灰枣的感官评价得分也较低; 无核枣体型较小, 经济效益低不适合批量生产。因此综合主成分、感官评价及相关性分析, 筛选适宜蜜枣加工的品种为泰安梨枣、赞皇大枣、阜平大枣、金丝大枣。

3 结论

本研究采用主成分分析及相关性分析系统研究了不同鲜枣品种加工蜜枣的适宜性。结果表明不同鲜枣及加工蜜枣的感官、理化与营养品质之间均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。其中感官评价综合得分排名为泰安梨枣 > 无核枣 > 阜平大枣 > 金丝大枣 > 赞皇大枣 > 献王枣 = 新疆灰枣 > 山西木枣 > 金丝小枣; 主成分分析综合排名为无核枣 > 新疆灰枣 > 赞皇大枣 > 阜平大枣 > 泰安梨枣 > 金丝大枣 > 金丝小枣 > 山西木枣 > 献王枣。通过鲜枣与蜜枣品质相关性分析可知, 水分含量、果糖含量、总酚含量是筛选适合蜜枣加工的三个关键指标。综合相关性分析、主成分分析与感官评价, 最终筛选得到适宜加工蜜枣的鲜枣品种为泰安梨枣、赞皇大枣、阜平大枣和金丝大枣, 本研究为蜜枣加工行业的专用性原料选择提供了一定的参考依据。

参考文献

- [1] CUI N B, DU T S, KANG S Z, et al. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujubes trees [J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(4): 489-497.
- [2] 王金玺, 刘慧瑾. 红枣的营养保健功能及开发利用研究进展[J]. *价值工程*, 2012, 31(23): 290-292.
- [3] 刘润平. 红枣的营养价值及其保健作用[J]. *中国食物与营养*, 2009, 12: 50-52.
- [4] 秦垦, 吴荣书. 干骏枣制作枣脯的真空渗糖技术研究[J]. *食品与发酵科技*, 2011, 47(4): 20-23.
- [5] 艾启俊, 刘晨庚. 鲜枣脯真空渗糖技术影响因素的研究[J]. *中国农学通报*, 2003, 6: 40-42.
- [6] 许静, 吴波, 李玉瑶, 等. 枣脯的变温压差膨化干燥工艺的优化[J]. *新疆农业大学学报*, 2018, 41(2): 138-144.
- [7] 张军合, 刘俊红, 黄丽. 低糖果汁型酸甜无核糖枣的生产工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(35): 15693-15695.
- [8] 马姝雯, 许雪松. 无添加糖青枣果脯的工艺研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2012(11): 115-118, 142.
- [9] 钟佳敏, 张汉禹, 郝海, 等. 不同发酵方式对骏枣果脯品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(16): 48-52.
- [10] 叶峥, 杨春, 张江宁, 等. 基于判别分析方法评价鲜枣冻干脆片加工适宜性[J]. *中国调味品*, 2023, 48(3): 38-42, 62.
- [11] 林静雅, 刘邻渭, 严隄兵, 等. 原料品种和制浆方法对枣酒多酚含量和感官品质的影响[J]. *中国酿造*, 2012, 31(1): 196-200.
- [12] 张强, 邓酥萍, 张娜英, 等. 微波-热风联合干燥在芒果果脯加工中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(14): 104-109.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 胡翔, 李洛欣, 冯建国, 等. 不同渗糖工艺对蓝莓果脯品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(10): 254-260.
- [15] 张星, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 蓝莓-蓝靛果复合冻干粉贮藏期品质及加工特性[J]. *食品科学*, 2022, 43(17): 240-247.
- [16] ZHU L N, LU Y, SUN Z, et al. The application of an aqueous two-phase system combined with ultrasonic cell disruption extraction and HPLC in the simultaneous separation and analysis of solanine and polysaccharide from unripe fruit [J]. *Food Chemistry*, 2020, 304(30): 125383.
- [17] MEI Z, LI Z, LU X, et al. Supplementation of natural light duration promotes accumulation of sugar and anthocyanins in apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2023, 205: 105133.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [19] 杨忻瑞, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 无定形态小分子糖对枣粉水分吸附及玻璃化转变的影响[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(11): 65-76.
- [20] LIU G G, CHEN Q Q, GOU M, et al. Formation of key aroma-active and off-flavor components in concentrated peach puree [J]. *Food Chemistry*, 2024, 439: 138105.
- [21] 皮晓娟, 陈金辉, 杨敏, 等. 低糖柠檬蜜饯制作工艺研究[J]. *农产品加工*, 2022, 10: 53-56.
- [22] 张自强, 王森, 胡琼, 等. 南方鲜食枣正常果与裂果不同时期内含物含量的比较[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(1): 37-42.
- [23] 念红丽, 曹建康, 薛自萍, 等. 成熟期对冬枣多酚含量及其抗氧化活性的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(11): 65-67, 71.
- [24] 高京草, 哈力娜·哈麦拉, 韩刚, 等. 不同枣品种果实中主要糖分及其含量特征[J]. *北方园艺*, 2017, 16: 31-36.
- [25] 史彦江, 宋锋惠, 张萍, 等. 新疆沙雅县3个枣品种果实品质比较分析[J]. *西北农业学报*, 2011, 20(5): 135-138.
- [26] 田文妮, 肖更生, 温靖, 等. 超声辅助渗糖技术制备低糖金丝蜜枣及其营养品质评价[J]. *中国果菜*, 2022, 42(8): 42-50.
- [27] 徐栋焱. 低糖杏脯加工关键技术及适宜性评价[D]. 太原: 山西农业大学, 2022.
- [28] 胡丽丽. 草莓果脯加工及贮藏过程中品质变化研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2022.
- [29] YIN X, ZHANG M, WANG S, et al. Characterization and discrimination of the taste and aroma of Tibetan Qingke baijiu using electronic tongue, electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Chemistry: X*, 2024, 22: 101443.
- [30] ŠAMEC D, MARETIĆ M, LUGARIĆ I, et al. Assessment of the differences in the physical, chemical and phytochemical properties of four strawberry cultivars using principal component analysis [J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 828-834.
- [31] 那广宁, 丁昊, 唐霜, 等. 南果梨果汁非酶促褐变反应机制研究[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(21): 23-30.
- [32] 王锐, 牛丽影, 李大婧, 等. 草莓糖酸及花青素在液态和固态渗透过程中的含量变化[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(15): 228-235.