DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250929004
引用格式: 张芳, 易昊, 吾拉力森·赛力克哈孜, 等. 兰州软儿梨梨膏加工工艺优化及对其活性成分与品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(6): 118–127.
ZHANG F, YI H, WULALISEN SLKHZ, *et al*. Optimization of processing technology for Lanzhou *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste and its effects on active components and quality [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(6): 118–127. (in Chinese with English abstract).

兰州软儿梨梨膏加工工艺优化及对其活性成分与品质的影响

张 芳[1], 易 昊[2], 吾拉力森·赛力克哈孜[2], 李明泽[1], 周媛媛[1], 孙霞芝[1], 黄玉龙[1*]
(1. 甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 兰州 730070; 2. 西北师范大学生命科学学院, 兰州 730070)

摘 要: 目的 探究不同工艺处理对兰州软儿梨膏抗氧化活性和可溶性固形物的影响, 以及软儿梨梨膏制备的最佳工艺条件。**方法** 以兰州软儿梨为原料, 采用先单因素后正交试验设计的方法, 通过研究不同后熟期、浓缩时间、浓缩温度、加水量、*D*-异抗坏血酸钠添加量对制备的梨膏中可溶性固形物、总黄酮及总酚及感官评价等指标的影响, 分析上述各因素对各评价指标的影响次序, 确定最优梨膏制备工艺条件。**结果** 上述工艺因素对梨膏的总酚和总黄酮含量影响显著。通过优化确定最佳制备工艺条件为: 后熟时间 30 d、浓缩时间 35 min、浓缩温度 65 ℃、加水量 20%、*D*-异抗坏血酸钠添加量 0.70%。经验证, 该工艺下所得梨膏的可溶性固形物含量为 87%, 总黄酮和总酚含量分别为 682.00 mg/kg、484.67 mg/kg, 表明其活性成分保留良好, 抗氧化特性显著, 感官品质评分平均评分 81.5 分。**结论** 本研究优化得到了兰州软儿梨梨膏的最佳制备工艺, 该工艺能有效保留总黄酮、总酚等活性成分, 显著提升产品可溶性固形物含量与感官品质, 为兰州软儿梨梨膏的标准化生产提供了可靠的理论依据与工艺参考。

关键词: 兰州软儿梨; 梨膏; 工艺优化; 总酚; 总黄酮; 可溶性固形物; 感官品质

Optimization of processing technology for Lanzhou *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste and its effects on active components and quality

ZHANG Fang[1], YI Hao[2], WULALISEN Sai-Li-Ke-Ha-Zi[2], LI Ming-Ze[1], ZHOU Yuan-Yuan[1], SUN Xia-Zhi[1], HUANG Yu-Long[1*]
(1. *Institute of Agricultural Product Storage and Processing*, *Gansu Academy of Agricultural Sciences*, *Lanzhou* 730070, *China*; 2. *College of Life Science*, *Northwest Normal Universi*ty, *Lanzhou* 730070, *China*)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of different processing techniques on the antioxidant activity and soluble solids content of Lanzhou *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste, and determine its optimal processing

收稿日期: 2025-09-29
基金项目: 2025 年度甘肃省重点研发计划(25YFNA006); 2025 年度甘肃省国有资本经营预算支持省属企业科研项目(2025GZ027); 兰州市科技局科技计划(2021-1-175); 甘肃省农业科学院科技成果转化项目(2026CGZH05)
第一作者: 张芳(1977—), 女, 研究员, 主要研究方向为果蔬干燥机理及果蔬精深加工技术。E-mail: 513505089@qq.com
***通信作者:** 黄玉龙(1980—), 男, 副研究员, 主要研究方向为特色食药资源开发。E-mail: huangyulong@gsagr.cn

conditions. **Methods**　Fresh Lanzhou *Pyrus ussuriensis* Ruan'er were used as the raw material. A combination of single-factor experiments and an orthogonal test design was employed. The study examined the effects of post-ripening duration, concentration time, concentration temperature, amount of water added and the dosage of *D*-sodium erythorbate on key indicators, including soluble solids content, total flavonoids content, total phenols content and sensory evaluation scores of the prepared pear paste. The influence hierarchy of these factors on the evaluation indicators was analyzed to identify the optimal preparation parameters. **Results**　The processing factors mentioned above significantly affected the total phenols and total flavonoids content in the pear paste. The optimized preparation conditions were determined as follows: A post-ripening time of 30 d, a concentration time of 35 min, a concentration temperature of 65 ℃, a water addition level of 20%, and a *D*-sodium erythorbate addition amount of 0.70%. Verification tests confirmed that the pear paste produced under these optimal conditions achieved a soluble solids content of 87%, with total flavonoids and total phenols content reaching 682.00 mg/kg and 484.67 mg/kg, respectively. This demonstrated effective retention of bioactive compounds and significant antioxidant properties. Average sensory quality score was 81.5 points. **Conclusion**　This study successfully optimizes the preparation process for Lanzhou *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste. The optimized process effectively retains active components such as total flavonoids and total phenols, significantly enhances soluble solids content and sensory quality, thereby providing a reliable theoretical foundation and practical reference for the standardized industrial production of Lanzhou *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste.

KEY WORDS: Lanzhou *Pyrus ussuriensis* Ruan'er; pear paste; processing optimization; total phenols; total flavonoids; soluble solids; sensory quality

0　引　言

兰州软儿梨(*Pyrus ussuriensis* Ruan'er)是源自中国西北地区的一种特色秋子梨, 其果实后熟冻藏后风味与营养俱佳, 富含多种生物活性成分, 具有润肺、消痰等传统药用价值[1−2]。以梨为原料加工的梨膏是一种具有润肺止咳、清热镇静等功效的传统食品, 其中以秋子梨为原料制成的秋梨膏功效尤为显著[3]。研究表明, 梨膏的健康益处, 如抗氧化、抗炎及平喘止咳等[4−6], 与其所含的多酚类物质密切相关; 这些物质, 特别是总酚和总黄酮, 是发挥抗氧化作用的关键活性成分[7−8]。

梨膏的加工工艺对其最终品质, 尤其是生物活性物质的保留至关重要。浓缩是梨膏加工的核心环节, 不同的浓缩方式(如常压浓缩与真空浓缩)及工艺参数(如温度、时间)会显著影响热敏性成分(如总酚、总黄酮)的稳定性与产品的抗氧化活性。此外, 原料的前处理(如后熟)及辅料添加也是工艺研究的重要内容。例如, 海力茜·陶尔大洪等[9]的研究表明, 添加药食同源类药材浸提液可提升梨膏的抗氧化物质含量。然而, 现有研究多集中于安梨、鸭梨等品种, 或侧重于外源性添加物对品质的改良[9−10], 针对兰州软儿梨这一特色资源, 系统研究其梨膏在核心加工环节(特别是浓缩工艺)中, 如何通过工艺参数优化来使梨膏最大化保留其自身活性成分的研究仍有探索空间。

基于此, 本研究采用真空减压浓缩技术, 系统考察了后熟时间、浓缩温度、浓缩时间、加水量及抗氧化剂添加量等关键工艺参数对梨膏可溶性固形物、总酚、总黄酮含量等核心品质指标的影响。通过系统优化工艺技术参数, 旨在确立一套能够在获得标准梨膏产品的同时, 最大限度地保留软儿梨本身所具有的生物活性物质(总酚、总黄酮)并保持其高抗氧化活性的最优工艺, 以期为兰州软儿梨梨膏的标准化、高品质工业化生产提供可靠的理论依据与工艺参考。

1　材料与方法

1.1　材料、试剂与仪器

试验用兰州软儿梨于 2024 年 9 月 28 日采摘于兰州市什川镇上坡村梨园。果实成熟度为 8 成熟, 成熟度一致、无病虫害、无损伤、大小均匀, 可溶性固形物为 12.0%±0.5%, 可滴定酸为 7.5 g/kg(以苹果酸计)。采收当天运回置 4 ℃冷库贮存备用。

甲醇、福林酚试剂、碳酸钠(Na_2CO_3)、硝酸钠($NaNO_2$)、氢氧化钠(NaOH)(分析纯)、没食子酸标准品(纯度 96.1%)、儿茶素标准品(纯度 98.1%)、植物总酚、总黄酮检测试剂盒、*D*-异抗坏血酸钠、柠檬酸、果胶(食品级)(北京盒子生工科技有限公司); $AlCl_3 \cdot 6H_2O$(纯度 99%, 四川库利南科技有限公司)。

RE-52AA 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂); WYT 型手持测糖仪(成都豪创光电仪器有限公司); UV-4802 紫外分光光度计[尤尼柯(上海)仪器有限公司]; PHS-3C 型 pH 计(上海仪分科学仪器有限公司); EPOCH 2 型酶标仪(美国 BioTek Instruments 公司); TGL-16 型离心机[湖南湘仪实验

室仪器开发有限公司]; PX85ZH 型电子天平[精度 0.1 mg, 奥豪斯仪器(常州)有限公司]; JXFSTPRP-CL-48L 低温组织研磨仪(上海净信实验科技公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

软儿梨梨膏生产工艺流程: 新鲜软儿梨→原料后熟→冷冻处理→解冻→去核去杂→酶解处理→过滤→真空浓缩(浓缩温度、浓缩时间、加水量等)→梨膏。

1.2.2 基础软儿梨梨膏工艺条件

选取软儿梨果浆 600 g(可溶性固形物为 11.5%±0.5%)、加水量 20%、柠檬酸添加量 0.10%、果胶添加量 0.1%、真空浓缩温度 65 ℃, 浓缩时间 30 min。浓缩设备为真空旋转蒸发仪, 浓缩温度为 65 ℃, 真空度 0.07~0.08 MPa。在上述检查工艺条件试验的基础上进行软儿梨梨膏单因素及正交工艺优化试验。

主要研究内容: 为考察不同软儿梨后熟期(0、10、20、30、40 d)、浓缩时间(5~35 min)、浓缩温度(50~75 ℃)、加水量(10%~50%)、*D*-异抗坏血酸钠添加量(0.1%~0.9%)等因素对软儿梨梨膏感官及抗氧化性等指标的影响, 进行单因素及正交优化试验, 试验时每次只变动一个因素, 其他条件相同。

1.2.3 生物活性物质测定

按上述工艺在果实完成不同后熟时间、浓缩时间、浓缩温度、加水量、*D*-异抗坏血酸钠添加量等工艺处理后, 对软儿梨梨膏中总黄酮和总酚类生物活性物质含量进行测定。

(1)酚类物质的提取

酚类物质的提取参照侯文翼等[11]、李静等[12]、李晓英等[13]的方法进行, 略有改动。即取软儿梨梨膏 5 g, 加入 70% 乙醇 5 mL, 40 kHz 超声波提取 10 min, 12000 r/min 离心 20 min 后, 取上清液, 所得酚类提取液于 4 ℃冰箱保存备用。

(2)总酚含量的测定

总酚含量测定采用福林酚法, 参照赵珊等[14]和胥玲花等[15]研究方法, 略有改动。即首先移取 0.4 mL 制备好的软儿梨梨膏待测溶液, 然后加入 2 mL 福林酚试剂, 搅拌均匀后室温静置 5 min, 随后立即加入 1.8 mL 10% (*m*:*V*) Na_2CO_3 溶液, 避光反应 1 h, 用分光光度计在 765 nm 下测定其吸光度, 整个试验过程以 125 μL 甲醇作为空白对照。标准曲线的制作以没食子酸作为标准品, 方程为 Y=2.808X+0.0012, r^2=0.9994, 样品总酚含量以没食子酸当量计, 定义为每千克梨膏样品中所含没食子酸的毫克数(mg/kg)。吸光值越大则说明样品的抗氧化性越强。

(3)总黄酮含量的测定

总黄酮含量的测定采用三氯化铝比色法, 参照 OPRIS 等[16]、袁雪等[17]、聂继云等[18]研究方法, 略有改动, 使用 1.2.3(1)中的提取液。即取待测酚类提取液 30 μL 至 1.5 mL 蒸馏水中, 并加入 90 μL 5% (*m*:*V*) $NaNO_2$ 溶液, 搅拌均匀后置于室温下静置 5 min。再将 0.18 mL 10% (*m*:*V*) $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 加入其中, 搅拌均匀后再次置于室温下静置 6 min, 随后加入 0.33 mL 蒸馏水和 0.6 mL 1 mol/L NaOH 溶液, 混合均匀后使用分光光度计在 510 nm 下测定其吸光度, 整个试验过程以 0.3 mL 甲醇作为空白对照。标准曲线的制作以儿茶素作为标准品, 方程为 Y=2.0939X+0.0183, r^2=0.9991, 样品总黄酮含量定义为每千克梨膏样品中儿茶素当量的毫克数(mg/kg)。

(4)软儿梨果膏的感官评价

将不同后熟期(0、10、20、30、40 d)、浓缩时间(10、15、20、25、30、35 min)、浓缩温度(60、65、70、75、85 ℃)、加水量(10%、20%、30%、40%、50%)、*D*-异抗坏血酸钠添加量(0.3%、0.5%、0.7%、0.9%、1.1%)工艺制作获得的软儿梨梨膏做感官评价。提前准备好面包、矿泉水等物品, 由 10 名专业人员参考王阳等[19]市售梨膏产品感官评价方法, 分别从色泽、组织状态、口感、香气 4 项指标对梨膏进行评分, 以 10 人的平均分作为最终得分, 评分指标及标准见表 1。

表 1 梨膏感官评价指标及标准

Table 1 Sensory evaluation indicators and standards of pear paste

项目	特征	评分标准(满分为 100 分)
色泽(25 分)	呈亮黄色, 有光泽	21~25
	呈棕黄色, 稍光泽	11~20
	呈暗黄色, 无光泽	0~10
组织状态(25 分)	呈半流体状态, 黏稠	21~25
	呈半流体状态, 比较黏稠	11~20
	呈流动态或固态	0~10
口感(25 分)	酸甜可口	21~25
	偏酸偏甜	11~20
	过酸或过甜	0~10
香气(25 分)	有明显梨香味	21~25
	有较淡梨香味	11~20
	无梨香味或有异味	0~10

1.3 单因素及正交试验设计

1.3.1 单因素试验水平

分别为因素 *A*: 不同软儿梨后熟期为 0、10、20、30、40 d; 因素 *B*: 浓缩时间为 15、20、25、30、35 min; 因素 *C*: 浓缩温度为 60、65、70、75、80 ℃; 因素 *D*: 加水量为 10%、20%、30%、40%、50%; 因素 *E*: *D*-异抗坏血酸钠添加量为 0.30%、0.50%、0.70%、0.90%、1.10%。各因素的固定水平分别为后熟时间 30 d、浓缩时间为 35 min、浓缩温度 65 ℃、加水量 20%、*D*-异抗坏血酸钠添加量 0.70%。

1.3.2 正交优化试验设计

基于上述单因素试验结果, 确定了正交优化试验的因素与水平, 如表 2 所示。

表 2　试验因素水平表

Table 2　Table of experimental factor level

水平因素	*A*(不同软儿梨后熟期)/d	*B*(浓缩时间)/min	*C*(浓缩温度)/℃	*D*(加水量)/%	*E* (*D*-异抗坏血酸钠添加量)/%
1	0	20	65	10	0.50
2	10	25	70	20	0.70
3	20	30	75	30	0.90
4	30	35	80	40	1.10

1.4　数据处理

所有试验均设3个重复, 结果取平均值, 采用SPSS 8.0软件进行数据分析, 采用 Origin 2022 软件进行绘图。

2　结果与分析

2.1　单因素试验结果分析

2.1.1　不同工艺条件对兰州软儿梨梨膏中总黄酮的影响

图 1 显示了不同加工工艺对软儿梨梨膏中总黄酮含量的影响。从结果可以看出, 随着后熟时间的延长, 梨膏中总黄酮含量呈现先上升后下降的趋势, 在后熟时间为 30 d 时达到最高值 512.75 mg/kg。这是因为适度的后熟过程促进了果实内部淀粉向糖的转化、细胞壁结构的软化解体以及一系列酶促反应, 从而更有利于酚类、黄酮类等次生代谢产物的溶出与转化[20]。然而, 后熟时间延长至 40 d 时, 活性成分含量出现下降, 可能源于果实过度后熟导致的衰败启动及部分酚类物质的氧化损失[20]。浓缩时间对总黄酮含量也具有类似的影响规律, 在浓缩 35 min 时含量最高, 为 573.00 mg/kg。江丹等[21]在提取黑花生黄酮的研究中也报道了类似趋势, 即在适宜提取时间(1.5 h)内黄酮溶出量最

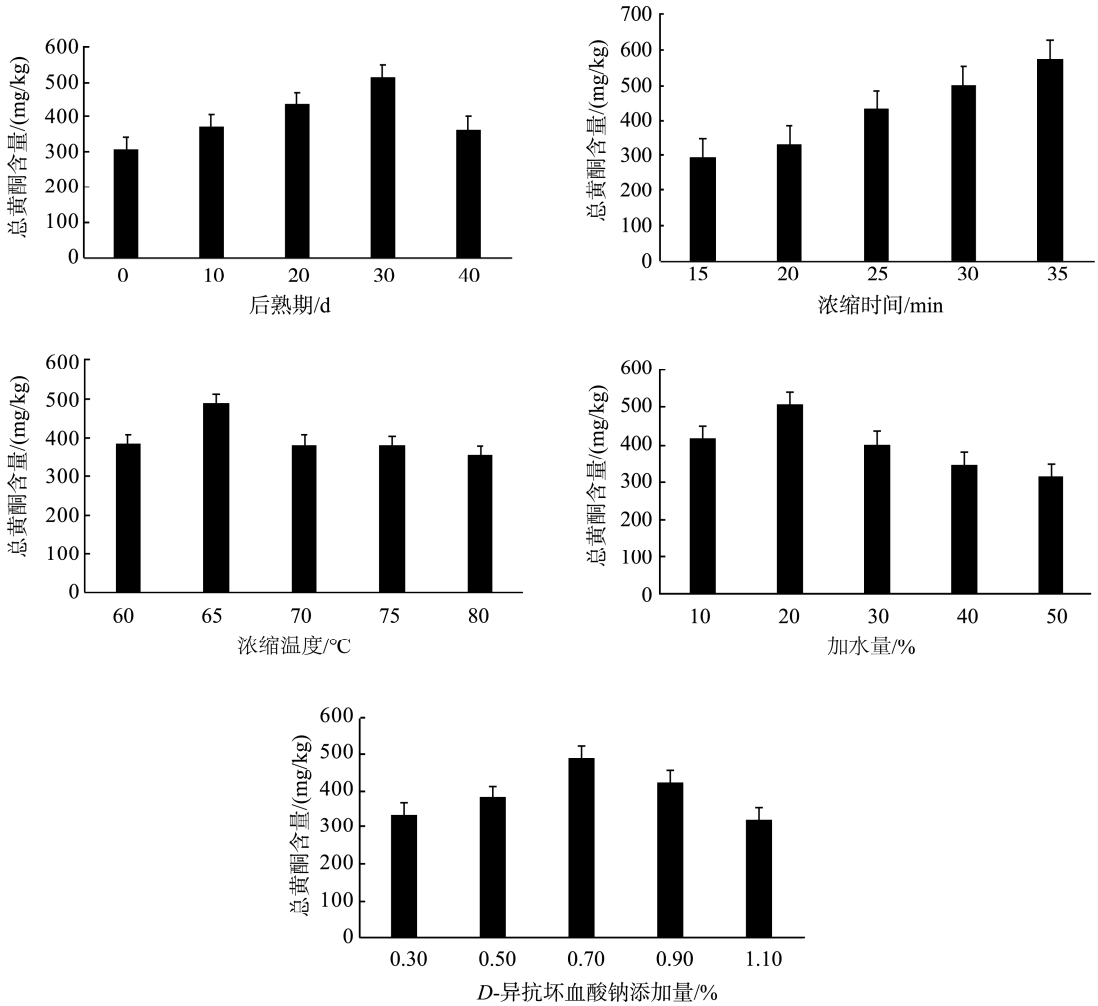


图 1　不同工艺条件对软儿梨梨膏中总黄酮的影响

Fig.1　Effects of different processing conditions on total flavonoids in *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste

高，继续延长时间则因热效应导致含量下降，表明适度的浓缩时间有利于黄酮溶出，而持续加热会引起损失。浓缩温度的升高则导致总黄酮含量逐渐降低，在 65 ℃时含量为 481.75 mg/kg，这证实了黄酮类化合物对热不稳定，高温会加剧其降解与异构化，因此要适当控制温度有助于黄酮类物质的溶出与稳定[21]。加水量的增加同样对总黄酮含量产生不利影响，加水量为 20%时含量最高，达到 507.00 mg/kg，说明适量的水分有利于提取效率，但过多水分反而会因延长浓缩时间而导致黄酮损失。此外，*D*-异抗坏血酸钠的添加量也对总黄酮含量表现出明显影响。随着添加量的增加，总黄酮含量先升高后降低，在添加量为 0.70%时达到峰值 488.75 mg/kg，超过该比例后含量明显下降，因此在后续正交试验中未再采用 0.30%的低添加水平。

2.1.2 不同工艺条件对软儿梨梨膏中总酚的影响

总酚含量变化规律与总黄酮有相似之处，但也存在特性(图 2)。后熟时间为 30 d 时，总酚含量最高(339.33 mg/kg)，这主要与后熟过程中相关酶活性上升促进酚类底物的水解与转化有关[20−22]。浓缩时间延长，总酚含量呈上升，说明长时间的加热是导致酚类物质氧化聚合的主要原因之一，35 min 时达 379.14。浓缩温度同样呈现负相关，65 ℃下含量最高(281.01 mg/kg)，进一步验证了低温对酚类物质保留的优越性，该结果也与段瑞君等[23]在软儿梨冻藏研究中观察到的低温有利于酚类物质积累的结论相一致。加水量为 20%时总酚含量最高(353.31 mg/kg)，这与梨膏黄酮结果一致，再次印证了适宜的低加水量有利于在较短的浓缩周期内保留热敏成分。*D*-异抗坏血酸钠在 0.70%添加量下显示出最佳的酚类保护效果(289.35 mg/kg)，其机制在于竞争性抑

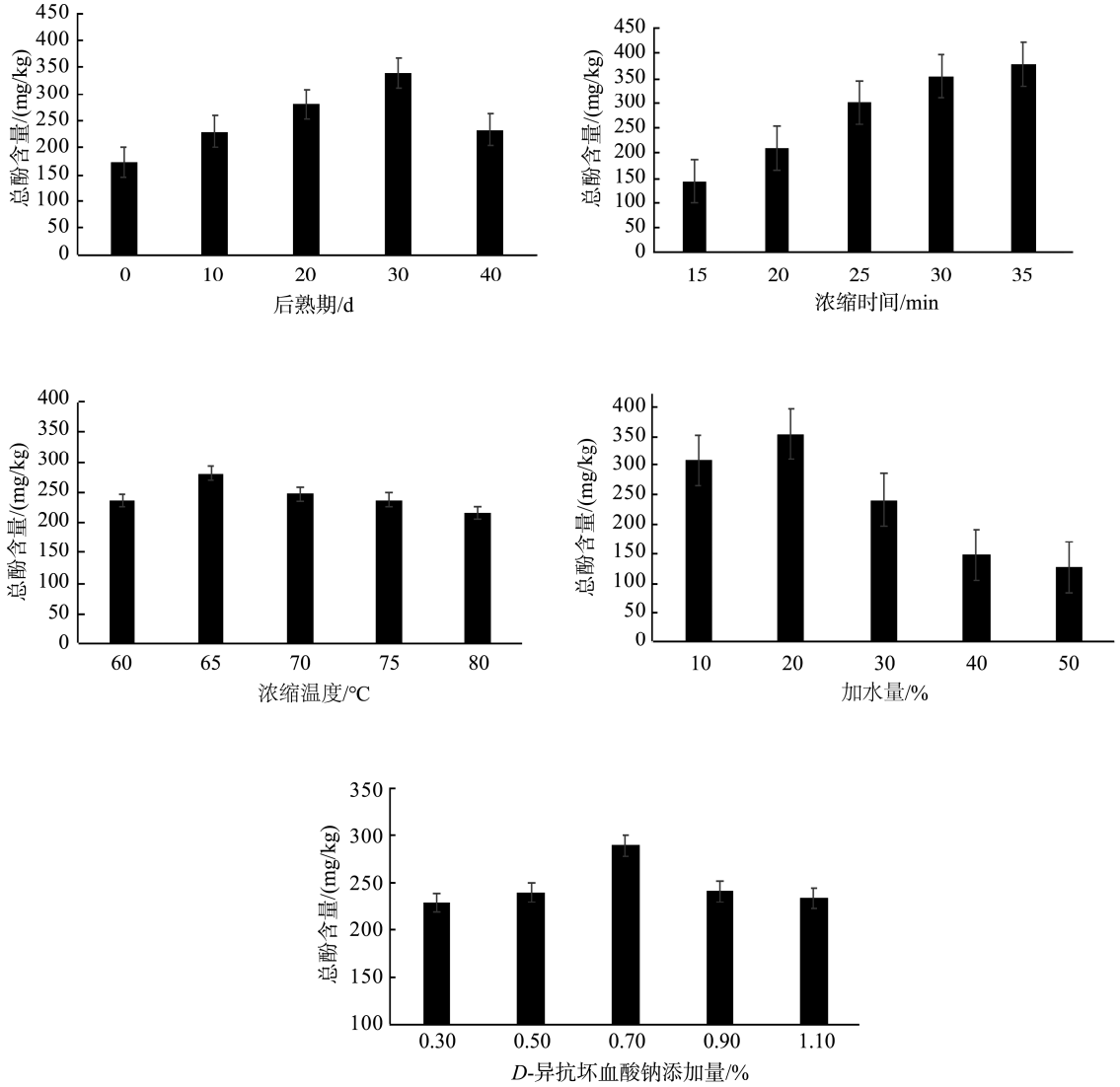


图 2 不同工艺条件对软儿梨梨膏中总酚的影响

Fig.2 Effects of different processing conditions on total phenols in *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste

制多酚氧化酶活性和清除自由基, 从而阻断酚类的酶促褐变与非酶氧化链式反应[23]。

2.1.3　不同工艺条件对软儿梨梨膏中可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物含量是衡量梨膏浓度与货架稳定性的关键物理指标(图 3)。后熟 30 d 的原料所得产品含量最高(81.5%), 这可能源于后熟过程促使果实内淀粉等多糖转化为可溶性糖[24]。浓缩时间 35 min 与浓缩温度 65 ℃均能使可溶性固形物含量分别达到约 78.5%和 78.7%, 表明提高温度或延长时间均可有效提升脱水效率, 但结合活性成分数据, 高温路径的代价更大。加水量显著影响最终浓度, 20%的加水量可获得 78.5%含量, 而加水量超过 30%后, 要达到同等浓度需要更多的能量与时间成本。*D*-异抗坏血酸钠添加量为 0.70%时, 可溶性固形物含量也达到峰值(79.75%), 这可能间接得益于其抗氧化作用减少了糖类物质在高温下的美拉德反应损耗, 从而更好地保留了可溶性固形物[25]。

2.1.4　不同工艺条件对软儿梨梨膏的感官评价指标的影响

感官评价综合反映了产品的外观、质地、风味与香气(图 4)。后熟 30 d 的样品评分最高(79.50 分), 其香气浓郁、口感协调, 证实后熟对风味物质形成的关键作用[26]。浓缩时间 35 min、温度 65 ℃的样品在黏稠度、色泽和风味上平衡最佳, 评分较高分别为(78.50 分和 79.00 分); 而 75 ℃以上温度导致浓度增加、产生焦糊味, 评分下降。加水量 20%的样品在口感稠度与风味强度上取得最优平衡, 评分(76.75)优于加水量过低(可能过于黏稠)或过高(风味寡淡)的样品。*D*-异抗坏血酸钠添加量 0.70%的样品因色泽亮黄、无异味而获得最高感官评分(78.50 分), 过量添加则可能引入不愉悦的化学味感, 导致评分降低。这些感官结果与上述理化指标高度关联, 表明优良的感官品质建立在活性成分有效保留和理化状态稳定的基础之上。

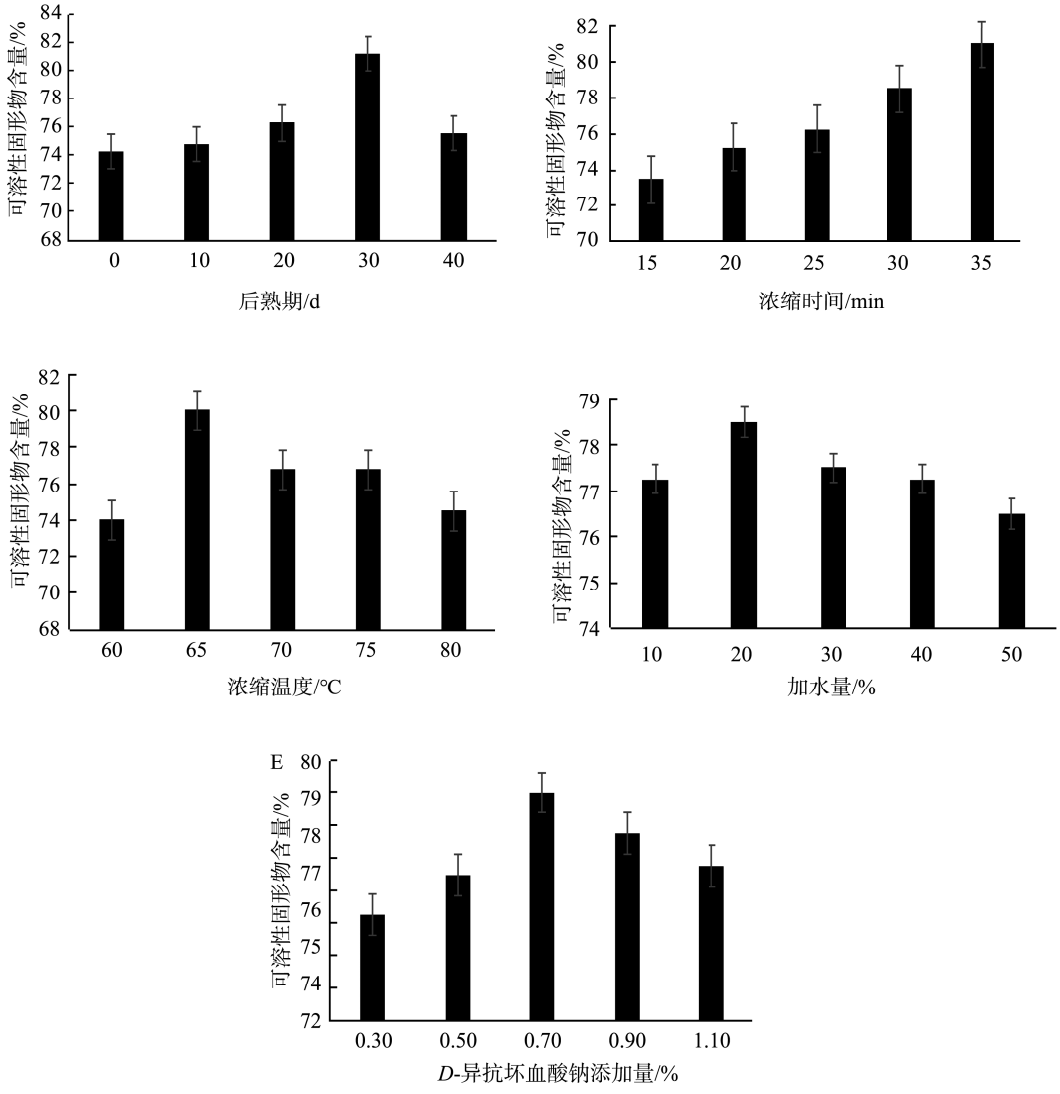


图 3　不同工艺条件对软儿梨梨膏中可溶性固形物的影响

Fig.3　Effects of different processing conditions on soluble solids in *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste

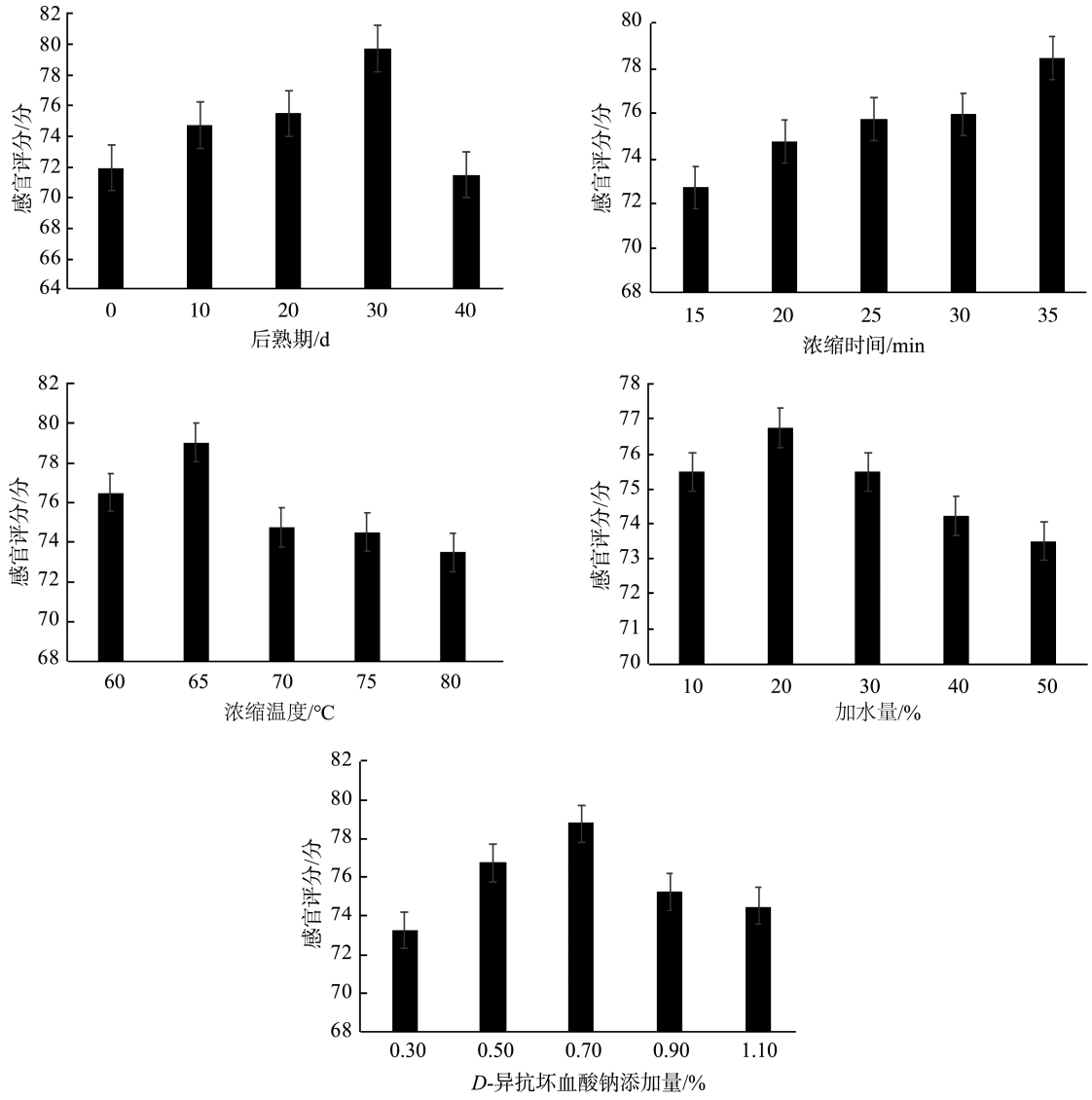


图 4 不同工艺条件对软儿梨梨膏的感官评价的影响

Fig.4 Effects of different processing conditions on sensory assessment in *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste

2.2 正交优化试验结果

基于单因素筛选的水平范围[后熟期 0、10、20、30 d(因后熟 40 d 梨果开始衰败故舍弃此水平); 浓缩时间 20、25、30、35 min(因 15 min 可溶性固形物达不到标准要求故舍弃此水平); 浓缩温度 65、70、75、80 ℃(因 60 ℃浓缩效率过低, 无法满足产业化生产故淘汰此水平); 加水量 10%、20%、30%、40%(因 50%加水量无法满足可溶性固形物含量要求, 故淘汰此水平); *D*-异抗坏血酸钠 0.5%、0.7%、0.9%、1.1%(因 0.3%的添加量效果不明显故舍弃此水平)], 设计 $L_{16}(4^5)$正交试验, 结果如表 3、表 4 所示: 极差分析见表 3 所示: 总黄酮与总酚的优水平均为 $A_4B_4C_1D_2E_2$(后熟 30 d、浓缩 35 min、65 ℃、加水量 20%、*D*-异抗坏血酸钠 0.70%), 因低温(65 ℃)可减少酚类降解; 可溶性固形物与感官评分优水平为 $A_4B_4C_4D_2E_2$(浓缩温度 80 ℃), 但 80 ℃时总酚(267.23 mg/kg)含量较 65 ℃ (281.04 mg/kg)下降 5.9%, 综合活性成分优先原则, 确定浓缩温度为 65 ℃。

方差分析见表 4 所示: 浓缩时间(偏差平方和 1157.544, F=7.939)和加水量(偏差平方和 647.557, F=3.292)显著影响梨膏品质(P<0.05), 后熟期、浓缩温度、*D*-异抗坏血酸钠为非显著因素(P>0.05), 各因素影响主次为: 浓缩时间>加水量>后熟时间>*D*-异抗坏血酸钠添加量>浓缩温度。

2.3 最优工艺验证试验

通过基于正交试验分析结果, 软儿梨梨膏的最优工艺参数组合确定为 $A_4B_4C_1D_2E_2$。该组合在所有考察指标(总黄酮、总酚、可溶性固形物及感官评价)上均表现出最优水平, 表明其具有最佳的综合品质。其中, 因素 *B* 和 *D* 对活性成分含量的影响最为显著, 而因素 *A* 对可溶性固形物和感官品质起主导作用。此工艺参数组合为软儿梨梨膏

的标准化生产提供了明确、可靠的技术依据。根据表 4 方差分析结果可知, 在软儿梨梨膏制备工艺的各因素中, 浓缩时间和加水量对产品质量具有显著影响, 而后熟时间、浓缩温度及 *D*-异抗坏血酸钠添加量则未表现出显著性影响。这表明在工艺优化过程中, 应重点控制浓缩时间与加水量这两个关键参数, 以有效提升产品综合品质。

表 3　软儿梨梨膏工艺优化 $L_{16}(4^5)$正交试验结果

Table 3　Results of $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment for processing optimization of *Pyrus ussuriensis* Ruan'er pear paste

试验号	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	总黄酮/(mg/kg)	总酚/(mg/kg)	可溶性固形物/%	感官评价
1	1	1	1	1	1	266	84.05	70	68
2	1	2	2	2	2	395	211.60	75	73
3	1	3	3	3	3	274	200.95	79	71
4	1	4	4	4	4	299	196.15	80	76
5	2	1	2	3	4	252	115.50	72	70
6	2	2	1	4	3	186	85.75	76	76
7	2	3	4	1	2	519	423.30	77	80
8	2	4	3	2	1	538	441.40	75	73
9	3	1	3	4	2	215	89.80	80	78
10	3	2	4	3	1	256	166.05	79	77
11	3	3	1	2	4	649	473.85	80	78
12	3	4	2	1	3	623	395.50	83	81
13	4	1	4	2	3	446	283.40	84	83
14	4	2	3	1	4	498	371.80	79	77
15	4	3	2	4	1	281	221.60	77	75
16	4	4	1	3	2	653	480.50	85	84
K_1	308.500	294.750	481.750	476.500	335.250				
K_2	373.750	333.750	387.750	507.000	488.750				
K_3	435.750	430.750	381.250	402.000	382.250				
K_4	512.750	571.500	380.000	245.250	424.500				
极差	204.250	276.750	101.750	261.750	153.500				
优水平	A_4	B_4	C_1	D_2	E_2				
K_1	173.188	143.188	281.038	318.663	229.025				
K_2	267.237	208.800	236.050	353.313	301.300				
K_3	281.300	329.925	276.737	240.750	241.400				
K_4	339.325	379.137	267.225	148.325	289.325				
极差	166.137	235.949	44.988	204.988	72.275				
优水平	A_4	B_4	C_1	D_2	E_2				
K_1	74.500	76.500	78.000	77.250	75.250				
K_2	75.000	77.250	76.750	78.500	79.500				
K_3	80.500	76.250	76.750	77.500	79.000				
K_4	81.500	81.000	80.000	78.250	77.750				
极差	7.000	4.500	3.250	1.250	4.250				
优水平	A_4	B_4	C_4	D_2	E_2				
K_1	72.000	74.750	76.500	76.500	73.250				
K_2	74.750	75.750	74.750	76.750	78.750				
K_3	78.500	76.000	74.750	75.500	77.750				
K_4	79.750	78.500	79.000	76.250	75.250				
极差	7.750	3.750	4.250	1.250	5.500				
优水平	A_4	B_4	C_4	D_2	E_2				

表 4 方差显著性分析
Table 4 Analysis of variance significance

水平	因素				
	偏差平方和	自由度	*F*	*F* 临界值	显著性
A	175.446	3	1.761	3.290	
B	1157.544	3	7.939	3.290	*
C	118.675	3	0.807	3.290	
D	647.557	3	3.292	3.290	*
E	186.417	3	1.268	3.290	
误差	294.12	6			

注: *表示差异显著(P<0.05)。

对 $A_4B_4C_1D_2E_2$ 工艺组合进行 3 次重复验证, 结果如表 5 验证试验结果显示: 该工艺下梨膏可溶性固形物 87%(高于 16 组正交试验均值 76.8%), 总黄酮 682.00 mg/kg、总酚 484.67 mg/kg, 与正交理论值(总黄酮 653.00 mg/kg、总酚 480.00 mg/kg)差值均小于 5%, 感官评分 81.5 分(色泽亮黄、口感酸甜、梨香浓郁), 且 3 次重复试验变异系数(variable coefficient, CV)小于 2%, 稳定性良好; 理化特性: 可溶性固形物平均值为 87% (CV=1.2%), 高于 16 组正交试验均值(76.8%), 且符合 GB/T 22474—2008《食品安全国家标准 果酱》中“可溶性固形物≥65%”的要求; 感官品质评分分别为: 81.5、80.5、82.5 分, 平均评分 81.5 分(CV=1.1%), 无批次差异, 表明该工艺稳定性良好, 可满足产业化生产需求; 需特别说明的是, 验证试验中可溶性固形物(87%)高于正交试验均值(76.8%), 原因在于最优工艺下水分蒸发效率与糖保留率的协同提升—65 ℃低温浓缩减少了挥发性糖损失, 而 20%的加水量避免了过度稀释, 这一结果满足 GB/T 22474—2008 中“可溶性固形物≥65%”的要求, 且活性成分含量显著高于市售普通梨膏(总酚均值约 30 mg/g)[27]。总酚与总黄酮是梨膏中重要的生物活性物质, 具有抗氧化、抗炎及潜在的润肺保健功能, 其含量的显著提高进一步表明本优化工艺在保留功能性成分方面具有明显优势, 为开发高品质、高附加值的软儿梨深加工产品提供了技术依据[28–30]。

表 5 验证试验结果
Table 5 Results of verification experiment

结果	总黄酮 /(mg/kg)	总酚 /(mg/kg)	可溶性固形物/%	感官评分 (100 分)
重复 1	681.00	485.00	88	81.5
重复 2	682.00	486.00	87	80.5
重复 3	683.00	483.00	86	82.5
平均值	682.00	484.67	87	81.5

本研究仍存在两点可拓展之处: (1)未探究不同冷冻温度(如 0 ℃、–18 ℃常规冻藏、–80 ℃深冻)对后熟过程中活性成分的影响, 后续可结合代谢组学分析酚类物质的具体变化路径; (2)仅评价了梨膏的体外抗氧化活性(总酚、总黄酮含量), 缺乏体内功能验证(如镇咳、润肺等传统功效的现代药理学证据), 需进一步通过动物试验或人群试食试验完善功能评价体系。

3 结 论

根据单因素及正交试验结果, 并结合验证试验确认, 兰州软儿梨梨膏的最佳制备工艺确定为软儿梨果实后熟 30 d, 浓缩时间 35 min, 浓缩温度控制在 65 ℃, 加水量为 20%, 同时添加 0.70%的 *D*-异抗坏血酸钠。在此工艺条件下, 所得梨膏的可溶性固形物含量达到 87%, 总黄酮含量为 682.00 mg/kg, 总酚含量为 484.67 mg/kg, 感官品质评分平均评分 81.5 分(CV=1.1%), 感官品质表现优异, 具体体现为色泽亮黄、口感酸甜协调且梨香浓郁。

该工艺的核心价值在于, 通过精确控制后熟与浓缩等关键工序, 有效兼顾了活性成分的保留、可溶性固形物的积累以及感官风味的优化, 成功克服了传统加工方式中常见的活性成分损失大和产品质量不稳定等问题。此研究成果可为兰州软儿梨深加工产业实现标准化生产提供可靠的理论支持与实践指导。

参考文献

[1] 中国农业科学院郑州果树研究所. 中国梨树志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese pear chronicle [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.

[2] 陕西省果树所. 西北的梨[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1980.
Shaanxi Provincial Institute of Fruit Tree Research. Pears of the Northwest [M]. Xi’an: Shaanxi Science and Technology Press, 1980.

[3] 李晨妍. 梨膏中 Amadori 化合物的检测、调控及功能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2024.
LI CY. Detection, regulation and functional study of Amadori compounds in pear syrup [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2024.

[4] BORCHANI M, MASMOUDI M, BEN AA, *et al*. Effect of enzymatic treatment and concentration method on chemical, rheological, microstructure and thermal properties of prickly pear syrup [J]. LWT-Food Science & Technology, 2019, 113: 108314.

[5] SANTHKUMAR AB, BATTINO M, ALVAREZ-SUAREZ JM. Dietary polyphenols: Structures, bioavailability and protective effects against atherosclerosis [J]. Food & Chemical Toxicology, 2018, 113: 49–65.

[6] DU B, CHENG C, CHEN Y, *et al*. Phenolic profiles and antioxidant activities of exocarp, endocarp, and hypanthium of three pear cultivars grown in China [J]. Journal of Food Bioactives, 2021, 14: 75–80.

[7] 杨冰峰. 安梨膏工艺优化及其渣粉理化特性研究[D]. 秦皇岛. 河北科技师范学院, 2017.
YANG BF. Research on process optimisation of anli syrup and physicochemical properties of its residue powder [D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science and Technology, 2017.

[8] 孟然. 南果梨膏加工工艺及其镇咳功效的初步研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
MENG R. Preliminary study on the processing technology and cough-suppressing efficacy of nanguo pear syrup [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.

[9] 海力茜·陶尔大洪, 叶宗鑫, 苑义瑾, 等. 库尔勒香梨复合固体饮料的研制、质量评价及抗氧化性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025,

16(22): 73–82.
HAILIQIAN TERDH, YE ZX, WAN YJ, *et al*. Study on development, quality appraisement and antioxidant property analysis of *Pyrus sinkiangensis* Yu. mixed solid beverage development, quality evaluation and antioxidant analysis of a compound solid beverage from Korla fragrant pears [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(22): 73–82.

[10] 安景舒, 关晔晴, 程玉豆, 等. 5 个梨品种果实不同部位的总酚、黄酮含量及其抗氧化能力分析[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(3): 162–166.
AN JS, GUAN YQ, CHENG YD, *et al*. Total phenolic and flavonoid content and antioxidant capacity analysis in different parts of five pear cultivars [J]. Storage and Process, 2020, 20(3): 162–166.

[11] 侯文翼, 段振华, 易弋. 微波干燥对月柿果片酚类含量及色泽的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(10): 259–269.
HOU WY, DUAN ZH, YI Y. Effect of microwave drying on polyphenol content and colour of moon persimmon fruit slices [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(10): 259–269.

[12] 李静, 聂继云, 李海飞, 等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. 果树学报, 2008, 25(1): 126–131.
LI J, NIE JY, LI HF, *et al*. Conditions for determining total polyphenol content in fruits and their products using the folin-caius method [J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(1): 126–131.

[13] 李晓英, 薛梅, 樊汶樵, 等. 不同生长期蓝莓叶多酚物质含量及抗氧化活性研究[J]. 经济林研究, 2018, 34(4): 40–46.
LI XY, XUE M, FAN WQ, *et al*. Study on polyphenol content and antioxidant activity in blueberry leaves at different growth stages [J]. Non-wood Forest Research, 2018, 34(4): 40–46.

[14] 赵珊, 仲伶俐, 秦琳, 等. 不同肉色甘薯块根中总酚和总黄酮含量及其相关性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(21): 21–28.
ZHAO S, ZHONG LG, QIN L, *et al*. Analysis of total phenolic and total flavonoid content and their correlation in sweet potato tubers of different flesh colours [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(21): 21–28.

[15] 胥玲花, 李新林. 核桃油贮藏过程中功能性成分的变化[J]. 经济林研究, 2023, 41(1): 71–85.
XU LH, LI XL. Changes in functional components during walnut oil storage [J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(1): 71–85.

[16] OPRIS O, LUNG I, SORAN ML, *et al*. Efficient extraction of total polyphenols from apple and investigation of its SPF properties [J]. Molecules, 2022, 27(5): 1679.

[17] 袁雪, 刘昕玥, 米云冲, 等. 非典型热加工处理对三七中活性成分含量和抗氧化活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(19): 277–287.
YUAN X, LIU XY, MI YC, *et al*. Effects of non-conventional heat treatment on the content of active components and antioxidant activity in panax notoginseng [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(19): 277–287.

[18] 聂继云, 吕德国, 李静, 等. 分光光度法测定苹果果实总黄酮含量的条件优化[J]. 果树学报, 2010, 27(3): 466–470.
NIE JY, LV DG, LI J, *et al*. Optimisation of conditions for spectrophotometric determination of total flavonoid content in apple fruit [J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(3): 466–470.

[19] 王阳, 佟伟, 王文辉, 等. 市售梨膏产品调研及品质分析[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(11): 69–75.
WANG Y, TONG W, WANG WH, *et al*. Market research and quality analysis of commercially available pear syrups [J]. Storage and Process, 2022, 22(11): 69–75.

[20] 张忠, 马朝玲, 丁若珺, 等. 采后乙烯利处理对软儿梨果实后熟期生理及品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 252–258.
ZHANG Z, MA CL, DING RJ, *et al*. Effects of ethrel treatment post-harvest on physiological characteristics and quality of soft-fleshed pear fruit during ripening [J]. Food Science, 2017, 38(21): 252–258.

[21] 江丹, 余策, 陈阳, 等. 黑花生中黄酮和多糖类物质的提取方法研究[J]. 农产品加工, 2021(24): 46–49.
JIANG D, YU C, CHEN Y, *et al*. Study on the extraction methods of flavonoids and polysaccharides from black peanuts [J]. Agricultural Products Processing, 2021(24): 46–49.

[22] 何婉莹, 赵良忠, 黄展锐, 等. 基于代谢组学分析粉碎方式对蓝莓汁品质特性及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(24): 1–11.
HE WY, ZHAO LZ, HUANG ZR, *et al.* Effects of pulping methods on quality characteristics and antioxidant activity of blueberry juice based on metabolomic analysis [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(24): 1–11.

[23] 段瑞君, 郑淑霞, 王振辉, 等. 软儿梨冷冻贮藏过程酚类物质与多酚氧化酶的区域化分布[J]. 中国农学通报, 2015, 31(32): 72–75.
DUAN RJ, ZHENG SX, WANG ZH, *et al*. Regional distribution of phenolic compounds and polyphenol oxidase during frozen storage of soft-fleshed pears [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(32): 72–75.

[24] 赵鹏广, 刘伟, 尚俊杰, 等. 护色与浓缩工艺对梨膏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(13): 138–144.
ZHAO PG, LIU W, SHANG JJ, *et al.* Effect of color protection and concentration process on the quality of pear paste [J]. Food Research and Development, 2019, 40(13): 138–144.

[25] 罗其琪, 唐洪涛, 李咏富. 响应面法优化刺梨多酚的超声提取工艺及其抗氧化性研究[J]. 中国食物与营养, 2022, 28(9): 27–34.
LUO QQ, TANG HT, LI YF. Optimization of ultrasoud-assisted extraction of phenolic compounds from rosa roxburghii by response surface methodology and its antiodant activity [J]. Food and Nutrition in China, 2022, 28(9): 27–34.

[26] 孟千杰, 徐玉娟, 吴继军, 等. 不同品种水晶梨果实品质特性综合分析[J]. 现代食品科技, 2024, 41(6): 1–10.
MENG QJ, XU YJ, WU JJ, *et al.* Comprehensive analysis of fruit quality characteristics in different varieties of crystal pear [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 41(6): 1–10.

[27] 张桐, 肖更生, 刘东杰, 等. 贡柑皮多甲氧基黄酮的提取优化及其油脂抗氧化稳定性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(5): 220–229.
ZHANG T, XIAO GS, LIU DJ, *et al*. Optimization of extraction of polymethoxyflavones from citrus reticulata ‘Gonggan’ peel and study on their antioxidant stability in oils [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(5): 220–229.

[28] 蔡沙, 施建斌, 隋勇, 等. 不同干燥方式对甘薯叶理化特性和抗氧化能力的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(11): 78–86.
CAI S, SHI JB, SUI Y, *et al*. Effects of different drying methods on the physicochemical properties and antioxidant capacity of sweet potato leaves [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(11): 78–86.

[29] 娄解南, 谭书明, 谢国芳, 等. 刺梨多酚对丙烯酰胺致肝脏氧化损伤的保护作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(17): 122–128.
LOU JN, TAN SM, XIE GF, *et al.* Protective effect of rosa roxburghii polyphenols against acrylamide-induced hepatic oxidative damage [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(17): 122–128.

[30] 魏旭, 王芳, 韩文玉, 等. 不同处理工艺对玫瑰花中抗氧化物质含量及抗氧化活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(12): 66–73.
WEI X, WANG F, HAN WY, *et al*. Effects of different processing technologies on the content of antioxidant substances and antioxidant activity in *Rosa rugosa* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(12): 66–73.

(责任编辑: 安香玉　韩晓红)