

温度对真空浓缩梨汁品质的影响及其品质评价模型构建

尹子迎, 赵江丽, 刘金龙, 赵国群, 关军锋

Effects of Temperature on the Quality of Vacuum Concentrated Pear Juice and Construction of Quality Evaluation Model

YIN Ziying, ZHAO Jiangli, LIU Jinlong, ZHAO Guoqun, and GUAN Junfeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023040199>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于主成分分析法对冷冻滩羊肉品质评价模型的构建

Modeling for quality evaluation of frozen lamb based on principal component analysis

食品工业科技. 2017(09): 300-303 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.09.049>

低温等离子体杀菌工艺的优化及其对梨汁品质和抗氧化活性的影响

Optimization of processing parameters of low temperature plasma sterilization and its effect on quality and oxidation resistance of pear juice

食品工业科技. 2018, 39(9): 212-216,221 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.09.037>

慈姑浓缩汁流变学特性研究

Rheological Properties of Concentrated Arrowhead Juice

食品工业科技. 2018, 39(14): 34-38 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.14.007>

沙棘原浆冷冻浓缩工艺的响应面优化

Optimization of sea buckthorn juice freeze concentration process

食品工业科技. 2018, 39(1): 143-148,155 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.01.027>

基于主成分分析的芹菜品质评价

Quality Evaluation of Celery Based on Principal Component Analysis

食品工业科技. 2020, 41(3): 308-314,320 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.051>

肉桂醛对乳清浓缩蛋白微胶囊品质的影响

Effect of Cinnamaldehyde on the Quality of Whey Protein Concentrate Microcapsules

食品工业科技. 2021, 42(15): 33-42 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110124>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

尹子迎, 赵江丽, 刘金龙, 等. 温度对真空浓缩梨汁品质的影响及其品质评价模型构建 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(6): 234–241.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040199

YIN Ziyong, ZHAO Jiangli, LIU Jinlong, et al. Effects of Temperature on the Quality of Vacuum Concentrated Pear Juice and Construction of Quality Evaluation Model[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(6): 234–241. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040199

· 分析检测 ·

温度对真空浓缩梨汁品质的影响及其品质评价模型构建

尹子迎^{1,2}, 赵江丽², 刘金龙¹, 赵国群¹, 关军锋^{2,*}

(1. 河北科技大学食品与生物学院, 河北石家庄 050081;

2. 河北省农林科学院生物技术与食品科学研究所, 河北石家庄 050051)

摘要:目的: 比较不同温度下真空浓缩梨汁的品质, 构建浓缩梨汁品质评价方法。方法: 以鲜榨雪花梨汁为材料, 分别在 50、60、70、80 °C 下进行真空 (真空度 0.005 MPa) 浓缩, 考察温度对浓缩梨汁的褐变度、pH、总酚含量、总黄酮含量、Fe³⁺还原力、可溶性糖、有机酸以及挥发性成分的影响, 构建品质评价模型。结果: 温度升高会显著 ($P < 0.05$) 降低浓缩梨汁 pH、酒石酸和富马酸含量, 升高褐变度、总酚含量、总黄酮含量、Fe³⁺还原力、奎宁酸、苹果酸、柠檬酸。醇类物质在 50 °C 浓缩梨汁中含量最高, 为 4.753 μg/mL; 酯类物质在 70 °C 浓缩梨汁中含量最高, 为 2.808 μg/mL; 醛酮类物质在 70 °C 浓缩梨汁中含量最高, 为 12.478 μg/mL。本研究得到了浓缩梨汁品质评价的模型, 发现 70 °C 是真空浓缩梨汁的最适温度。结论: 温度对浓缩梨汁品质有明显影响, 品质评价模型能较好区分, 可为浓缩梨汁品质控制提供参考。

关键词: 真空加热浓缩, 浓缩温度, 浓缩梨汁, 品质, 主成分分析

中图分类号: TS225.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)06-0234-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040199



本文网刊:

Effects of Temperature on the Quality of Vacuum Concentrated Pear Juice and Construction of Quality Evaluation Model

YIN Ziyong^{1,2}, ZHAO Jiangli², LIU Jinlong¹, ZHAO Guoqun¹, GUAN Junfeng^{2,*}

(1. College of Food and Biology, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050081, China;

2. Institute of Biotechnology and Food Science, Hebei Academy of Agriculture and Forestry, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Objective: To compare the quality of vacuum concentrated pear juice at different temperatures and construct a quality evaluation method for concentrated pear juice. Method: Fresh pear juice was concentrated under decompression condition (vacuum degree 0.005 MPa) at concentration temperatures of 50, 60, 70 and 80 °C, respectively. The evaluation model of concentrated pear juice was constructed based on the browning degree, pH, total phenolic content, total flavonoid content, Fe³⁺reducing power, soluble sugar, organic acid and volatile components of the concentrated pear juice. Results: The content of tartaric acid, fumaric acid and pH decreased significantly with the increasing temperature, while the browning degree, total phenolic content, total flavonoid content, Fe³⁺reducing power, quinic acid, malic acid, citric acid increased significantly. The content of alcohols was the highest in concentrated pear juice of 50 °C (4.753 μg/mL), the esters was the highest in concentrated pear juice of 70 °C (2.808 μg/mL), the aldehydes and ketones were the highest in concentrated pear juice of 70 °C (12.478 μg/mL). This study obtained a model for evaluating the quality of concentrated pear juice and found that 70 °C was best vacuum concentration temperature for pear juice. Conclusion: The vacuum concentration temperature could affect the quality of concentrated pear juice, which could be well distinguished by the

收稿日期: 2023-04-21

基金项目: 国家财政部、农业农村部, 现代农业产业 (梨) 技术体系资助项目 (CARS-28-23); 河北省国际科技合作基地建设专项资金。

作者简介: 尹子迎 (1995-), 女, 硕士, 研究方向: 酿造工艺与工程, E-mail: yzyin19961006@163.com。

* 通信作者: 关军锋 (1966-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果实贮藏加工, E-mail: junfeng-guan@263.net。

quality evaluation model. This study would provide references for the quality control of vacuum concentrated pear juice.

Key words: vacuum concentration; concentration temperature; concentrated pear juice; quality; principal component analysis

真空加热浓缩是通过提高环境真空度降低水分沸点,使汁液中水分在低于 100 °C 的温度下蒸发,从而提高汁液中可溶性固形物含量的浓缩技术^[1],具有成本低^[2]、操作易控制、浓缩比高^[3]、风味及营养物质在适宜温度下保留率较高^[4]的优势,常用于果蔬汁浓缩^[5]。褐变、营养物质损失和香气逸散是真空浓缩过程中较为常见的问题,浓缩温度是主要影响因素^[6-7]。如赵尔民等^[8]探究了 70~80 °C 对真空浓缩枇杷汁的影响,发现随温度升高会显著影响透光率和浊度,降低感官质量;李靖靖等^[9]考察了 40~80 °C 对浓缩苹果汁抗氧化成分的影响,发现其维生素 C 含量、超氧化物歧化酶含量和过氧化氢酶含量随温度的升高而降低;曹培杰等^[6]研究了真空热浓缩温度对桑葚汁抗氧化能力的影响,发现随温度升高其羟自由基抑制能力先增加后减小,抗超氧阴离子自由基抑制能力提高,对 DPPH 自由基清除力无明显影响;朱金艳等^[10]研究了 50~70 °C 对真空热浓缩蓝莓汁的影响,发现随温度的升高,其总酚和总黄酮含量逐渐减少,DPPH 自由基清除力逐渐提高。梨汁贮藏加工过程中普遍存非酶促褐变、香气逸散、营养成分损失等不良因素^[11],不仅影响其外在品质,同时还会降低其营养品质,最终影响梨加工品的市场价值。但是,目前关于真空热浓缩对梨汁的影响却鲜有研究报道。

主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)是一种可以消除评价指标间的相互影响,保留绝大部分信息,压缩变量代替原指标进行分析的统计方法,广泛应用于食品品质评价^[12]。因子分析是用少数几个因子去描述多指标或因素之间的联系,将相关比较密切的几个变量归在同一类中,每一类变量就成为一个因子,以较少的几个因子反映原资料的大部分信息,可以方便地找出主要影响因素以及它们的影响力。巴特利特球体检验和 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)检验^[13]是判断变量是否适合用于做因子分析的常用检验方法。

本研究以雪花梨鲜榨汁为材料,测定不同温度下制备真空浓缩梨汁的褐变度、pH、总酚含量、总黄酮含量、Fe³⁺还原力、还原糖、有机酸以及挥发性成分,通过主成分分析和因子分析进行统计分析,构建浓缩梨汁品质评价模型,以期对浓缩梨汁质量控制提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜雪花梨 购自河北省赵县,采收时间为 9 月份;没食子酸 分析纯,北京百灵威科技有限公司;福林酚 优级纯,北京博奥拓达科技有限公司;山

梨醇、果糖、碳酸钠、亚硝酸钠、三氯乙酸 分析纯,天津市大茂化学试剂厂;芦丁、硝酸铝 分析纯,上海生工生物工程有限公司;氢氧化钠 分析纯,天津市大陆化学试剂厂;磷酸氢二钾、无水乙醇 分析纯,天津市永大化学试剂有限公司;葡萄糖 分析纯,上海易恩化学技术有限公司;2,2-联苯基-1-苦基肼基(DPPH) 分析纯,北京酷来搏科技有限公司;铁氰化钾、氯化铁 分析纯,北京索莱宝科技有限公司。

STX1202ZH 型电子天平 北京赛多利斯科学仪器有限公司;PAL-1 型折光仪 广州市爱宕科学仪器有限公司;HU24FR3L 型多功能榨汁机 韩国惠人电子有限公司;UV2700 型紫外分光光度计、TQ8040 型气相色谱质谱联用仪 日本岛津公司;RE-52AA 型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;SHB-III 型循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司;DK-98-II 型电热恒温水浴锅 天津市泰斯特仪器有限公司;1260 型高效液相色谱仪 安捷伦科技有限公司;L-2130 型高效液相色谱仪 株式会社日立制作所社。

1.2 实验方法

1.2.1 浓缩梨汁的制备 挑选无病虫害的新鲜雪花梨果实,用流水洗净;将梨除梗、除核,切成适宜大小块状,使用榨汁机破碎取汁。取 500 mL 梨汁装入 1 L 蒸馏瓶中真空旋转蒸发浓缩至可溶性固形物含量到(20±1)°Brix。浓缩条件:真空度为 0.005 MPa,转速 60 r/min,加热温度分别为 50、60、70、80 °C。

1.2.2 褐变度和 pH 的测定 可溶性固形物含量(°Brix):采用手持型折光仪测定;褐变度:测定样品于波长 420 nm 处的吸光度(水为参比);pH:采用 pH 计测定。

1.2.3 葡萄糖和果糖含量的测定 样品处理:取浓缩汁 10 mL 置于离心管中,加入超纯水 10 mL,10000 r/min 离心 10 min,取上清液过 0.22 μm 微孔滤膜,得滤液为待测溶液。

色谱条件:色谱柱 NH₂ UG80(250 mm×4.6 mm×5 μm),柱温 35 °C,进样量 20 μL,流速 1 mL/min。流动相:乙腈溶液(85%),分析时间 25 min。以各标准品峰面积和浓度进行线性回归,得标准曲线回归方程:葡萄糖:Y=133.66X-12.697,线性范围 0.25~30 mg/mL,r=0.9999;果糖:Y=161.91X-1.6475,线性范围 0.25~30 mg/mL,r=0.9997。

1.2.4 有机酸含量的测定 分析条件:色谱柱 ADME HR(250 mm×4.6 mm×5 μm),柱温 30 °C,流速 0.8 mL/min,流动相:20 mmol/L 硫酸二氢铵溶液(磷酸调节 pH=2.7),分析时间 17 min。以各标准品

峰面积和浓度进行线性回归,结果见表1。

表1 8种有机酸的线性方程、线性范围及相关系数
Table 1 Equation, linear range and correlation coefficient of eight organic acids

名称	线性方程	线性范围(mg/mL)	相关系数 r
草酸	$Y=1E+07X-19152$	0.125~2	0.9989
酒石酸	$Y=2E+06X+10811$	0.001~2	0.9969
奎宁酸	$Y=1E+06X+5233.4$	0.0125~2	0.9780
苹果酸	$Y=1E+06X+4530.1$	0.125~2	0.9655
乳酸	$Y=633940X+2946.7$	0.0125~2	0.9730
乙酸	$Y=419143X+3021.5$	0.0125~2	0.9764
柠檬酸	$Y=953894X+6074.5$	0.125~2	0.9701
富马酸	$Y=1E+08X+226317$	0.0125~0.2	0.9995

1.2.5 挥发性成分的分析 样品处理:取浓缩汁 5.0 mL 于 20.0 mL 样品瓶中,加入 NaCl 2.0 g,加入 1 $\mu\text{g/mL}$ 的 3-壬酮 200 μL 。

GC-MS 条件:GC:采用 SP2380 毛细管柱 (30.0 mm \times 0.25 mm \times 0.20 μm);升温程序:40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min,以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 100 $^{\circ}\text{C}$,以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 190 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min;进样口 250 $^{\circ}\text{C}$,载气为高纯氮,柱流量 1 mL/min,采用不分流进样。

MS:电子电离源,电子能量 70 eV,接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$,质量扫描范围为 45~500 m/z,采集方式 Q3Scan。

AOC 自动进样条件:萃取头温度 250 $^{\circ}\text{C}$,萃取头调节时间 10 min,样品孵化温度 35 $^{\circ}\text{C}$,孵化时间 15 min,搅拌器振摇速度 450 r/min,脱附时间 3 min,程序周期 65.5 min。

GC-MS 检测的结果通过 NIST17 标准物质质谱数据库检索处理,根据保留指数,筛选出匹配度不低于 85% 的挥发性成分,利用内标法确定其含量,内标物质为 3-壬酮。

1.2.6 总酚、总黄酮和抗氧化能力的测定 总酚含量(以没食子酸计, mg/mL)采用福林-酚比色法^[14]:取 0.5 mL 样品于 25 mL 比色管中,加入 1 mL 福林-酚显色剂,混匀静置 30 s 后加入 4% 碳酸钠溶液 18 mL,用去离子水定容至刻度线,40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴反应 20 min 后,以水体系为参比,于波长 736 nm 处测定吸光度。

总黄酮含量(以芦丁计, mg/mL)采用硝酸铝比色法^[15]:取 1 mL 样品于试管中加入 5% 亚硝酸钠溶液 0.3 mL,摇匀静置 6 min,再加入 10% 硝酸铝溶液 0.3 mL,摇匀静置 6 min,加入 1 mol/L 氢氧化钠溶液 4 mL,再加入 0.4 mL 去离子水,摇匀静置 10 min,以水体系为参比,于波长 510 nm 处测定吸光度。

Fe^{3+} 还原力测定:取 1 mL 样品加入 2 mL 磷酸盐缓冲液(pH 约 6.7)和 1% 铁氰化钾溶液 2 mL 混匀,于 50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 20 min。加入 10% 三氯乙酸溶液 2 mL 后 5000 r/min 离心 10 min,取上清液 2 mL 加

入 2 mL 超纯水和 0.1% 氯化铁溶液 0.4 mL,暗反应 30 min 后在 700 nm 处测定其吸光度。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 软件进行数据统计和绘图,数据采用平均值 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,SPSS 22.0 进行数据处理,显著性分析采用方差分析, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。GENESCLOUD 和 Origin 2021 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 温度对浓缩梨汁褐变度和 pH 的影响

温度对浓缩梨汁褐变度和 pH 的影响见图 1。由图 1A 可以看出,浓缩梨汁的褐变度随温度的升高整体呈先升高后降低再升高的趋势,其中,50 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩梨汁的褐变度最低(1.288);80 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩梨汁的褐变度最高(1.650)。这可能是由于梨汁的美拉德反应和焦糖化反应随温度的升高逐渐剧烈,这与魏金凤^[16]的研究结果一致。70 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩梨汁的褐变度(1.417)高于 50 $^{\circ}\text{C}$,但低于 60 $^{\circ}\text{C}$ 和 80 $^{\circ}\text{C}$ 。这可能是由于 70 $^{\circ}\text{C}$ 对梨汁中氧化酶有较好钝化效果,对酶促褐变起到了较大的抑制作用,这与熊思瑞等^[17]的研究结果一致。由图 1B 可以看出,浓缩梨汁的 pH 随温度的升高呈降低趋势,其中,50 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩梨汁的 pH 最高(5.34),80 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩梨汁的 pH 最低(5.27)。

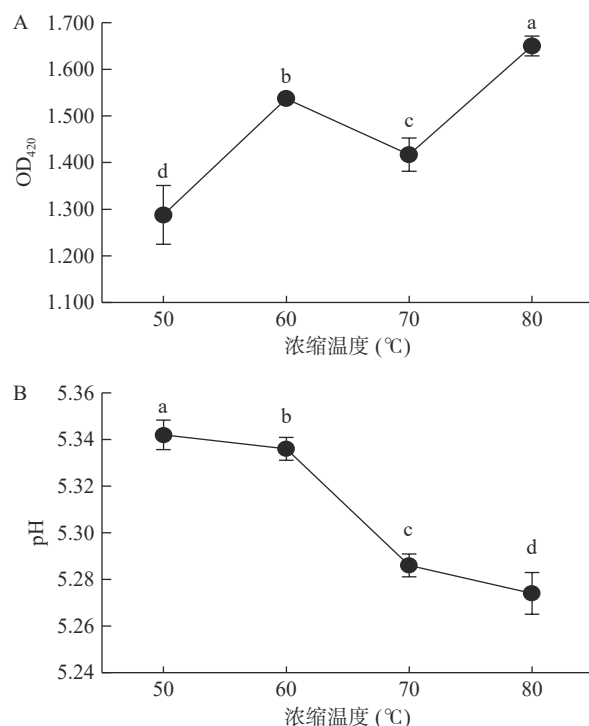


图1 不同温度对浓缩梨汁褐变度(A)和 pH(B)的影响
Fig.1 Effects of different temperature on browning degree (A) and pH (B) of the concentrated pear juice
注:同一图字母不同,表示该指标在不同处理间存在显著差异($P<0.05$);图2、图4同。

2.2 温度对浓缩梨汁葡萄糖和果糖含量的影响

还原糖含量影响着梨汁的感官品质和对微生物

的抑制作用^[18-19]。不同温度对浓缩梨汁还原糖的影响见图 2。由图 2 可知, 温度对浓缩梨汁中葡萄糖和果糖的影响不显著($P>0.05$)。果汁中的还原糖含量会因为蔗糖裂解而升高^[20], 也会因为参与美拉德反应而被消耗^[21]。随温度升高, 蔗糖裂解和美拉德反应均加剧。在达到一定温度后, 梨汁中的还原糖含量几乎不受温度影响。

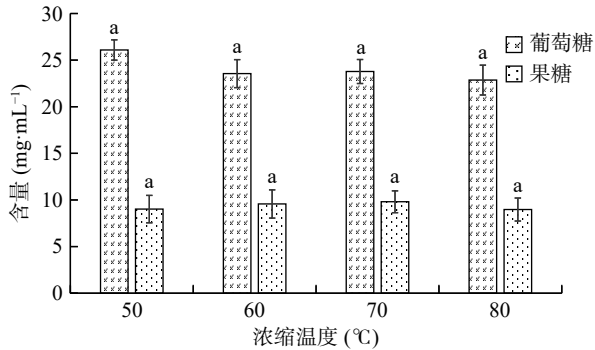


图 2 不同温度对浓缩梨汁还原糖的影响

Fig.2 Effects of different temperature on the reducing sugar content of the concentrated pear juice

2.3 温度对浓缩梨汁有机酸的影响

有机酸是果汁重要的呈味物质, 也是酯化形成各种酯类等香味成分的前体物质^[22]。不同温度对浓缩梨汁有机酸的影响见表 2。由表 2 可知, 浓缩梨汁中主要有有机酸为苹果酸、柠檬酸、草酸、乳酸。浓缩梨汁的总有机酸含量呈现随温度升高而升高的趋势, 由高到低依次为: 80 °C>70 °C>60 °C>50 °C。其中, 80 °C 浓缩梨汁的有机酸总含量为 3.271 mg/mL, 50 °C 浓缩梨汁的有机酸总含量为 2.423 mg/mL。此外, 在 70 °C 浓缩梨汁和 80 °C 浓缩梨汁中未检出酒石酸和乙酸。这可能是由于酒石酸受热发生脱水反应, 生成了较稳定的酸酐; 乙酸易挥发, 加热会促进其挥发。

表 2 不同温度对浓缩梨汁有机酸含量的影响

Table 2 Effects of different temperatures on organic acids content of the concentrated pear juice

有机酸含量 (mg/mL)	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
草酸	0.378±0.0009 ^a	0.3670±0.0005 ^a	0.374±0.0010 ^a	0.375±0.0016 ^a
酒石酸	0.013±0.0024 ^a	0.002±0.0012 ^b	-	-
奎宁酸	0.022±0.0008 ^b	0.020±0.0003 ^b	0.128±0.0751 ^a	0.125±0.0695 ^a
苹果酸	1.051±0.0167 ^b	1.137±0.0140 ^b	1.370±0.2324 ^{ab}	1.560±0.2261 ^a
乳酸	0.095±0.0050 ^a	0.092±0.0038 ^a	0.092±0.0078 ^a	0.096±0.0103 ^a
乙酸	0.083±0.0147 ^b	0.133±0.0068 ^a	-	-
柠檬酸	0.758±0.1926 ^b	1.017±0.0588 ^{ab}	1.209±0.0233 ^a	1.100±0.2440 ^{ab}
富马酸	0.024±0.0003 ^b	0.026±0.00003 ^a	0.016±0.0002 ^c	0.015±0.0002 ^d

注: 同一行字母不同, 表示该指标在不同处理间存在显著差异($P<0.05$)。

2.4 温度对浓缩梨汁挥发性成分的影响

不同温度浓缩梨汁的挥发性成分热图见图 3。由图 3 可以看出, 不同温度浓缩的梨汁经聚类分析

后可分为 2 类, 50、60 和 80 °C 浓缩梨汁为一类, 70 °C 浓缩梨汁单独分为一类。此外, 70 °C 浓缩梨汁的挥发性成分含量最高, 为 21.860 μg/mL, 种类最多, 有 39 种; 60 °C 浓缩梨汁的挥发性成分含量最低, 为 10.323 μg/mL, 种类最少, 有 31 种。

醇类和酯类是果汁香气的主要成分^[23]。醇类物质既是芳香物质又是呈味物质, 还能衬托酯香^[24]。醇类物质在 50 °C 浓缩梨汁中含量最高, 为 4.753 μg/mL; 在 60 °C 浓缩梨汁中含量最低, 为 0.916 μg/mL。不同温度浓缩梨汁中均含有 1-辛醇和顺-4-癸烯-1-醇, 其中, 1-辛醇具有香茅油味^[25], 顺-4-癸烯-1-醇具有玫瑰、橙味。1,5-戊二醇、正己醇、反式-2-己烯-1-醇为 50 °C 浓缩梨汁特有, 其中, 正己醇具有果香、醇香、甜香和脂香^[26], 反式-2-己烯-1-醇具有特殊香味; 苯乙醇、三十烷醇为 60 °C 浓缩梨汁特有, 其中, 苯乙醇具有玫瑰香。

酯赋予果汁花香味, 呈现出令人愉悦的果香^[27]。酯类物质在 70 °C 浓缩梨汁中含量最高, 为 2.808 μg/mL; 在 60 °C 浓缩梨汁中含量最低, 为 1.836 μg/mL。不同温度浓缩梨汁中均含有戊酸甲酯、壬酸甲酯、2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯、己二酸二(2-甲基丙基)酯、邻苯二甲酸乙酯环六烷乙醇酯、1,2-苯二甲酸双(2-甲基丙基)酯、邻苯二甲酸二丁酯, 其中, 戊酸甲酯具有刺鼻的青果气味, 似苹果、菠萝的香气^[28]; 壬酸甲酯具有愉快果香气味; 邻苯二甲酸乙酯环六烷乙醇酯微具有芳香性。邻苯二甲酸异丁酯为 60 °C 浓缩梨汁特有; 戊二酸异己酯-2-烯-十二醇酯、7,10-十八烷二烯酸甲酯、11,14-二十二烯酸甲酯为 70 °C 和 80 °C 浓缩梨汁特有。

果实中的直链醛、酮多数是由脂肪酸氧化和氨基酸代谢而来^[28]。醛酮类物质在 70 °C 浓缩梨汁中含量最高, 为 12.478 μg/mL; 在 50 °C 浓缩梨汁中含量最低, 为 4.280 μg/mL。其中, 乙酰白桦酯醛为 70 °C 和 80 °C 浓缩梨汁特有; 3,5,7,10-四羟基-1,1,9-三甲基-2H-苯并茈-2,6(1H)-二酮和 2,6-二叔丁基-4-羟基-4-甲基环己基-2,5-二烯-1-酮为 70 °C 浓缩梨汁特有。其中, 2,6-二叔丁基-4-羟基-4-甲基环己基-2,5-二烯-1-酮具有霉香、酮香, 并有牛奶、乳酪、蘑菇的气味。1-苯基-2-己酮为 80 °C 浓缩梨汁特有。

2.5 温度对浓缩梨汁总酚、总黄酮和抗氧化能力的影响

不同温度对浓缩梨汁总酚含量、总黄酮含量、 Fe^{3+} 还原力的影响见图 4A~图 4C。由图 4A 和图 4B 可以看出, 浓缩梨汁的总酚含量和总黄酮含量变化规律相似, 整体均随温度的升高呈现先略有降低后明显升高再降低的趋势, 含量由多到少依次: 70 °C>80 °C>50 °C>60 °C, 其中, 70 °C 浓缩梨汁的总酚含量(362.03 μg/mL)和总黄酮含量(357.1 μg/mL)最高, 60 °C 浓缩梨汁的总酚含量(324.00 μg/mL)和总黄酮含量(299.95 μg/mL)最低。这可能是由于高温有助

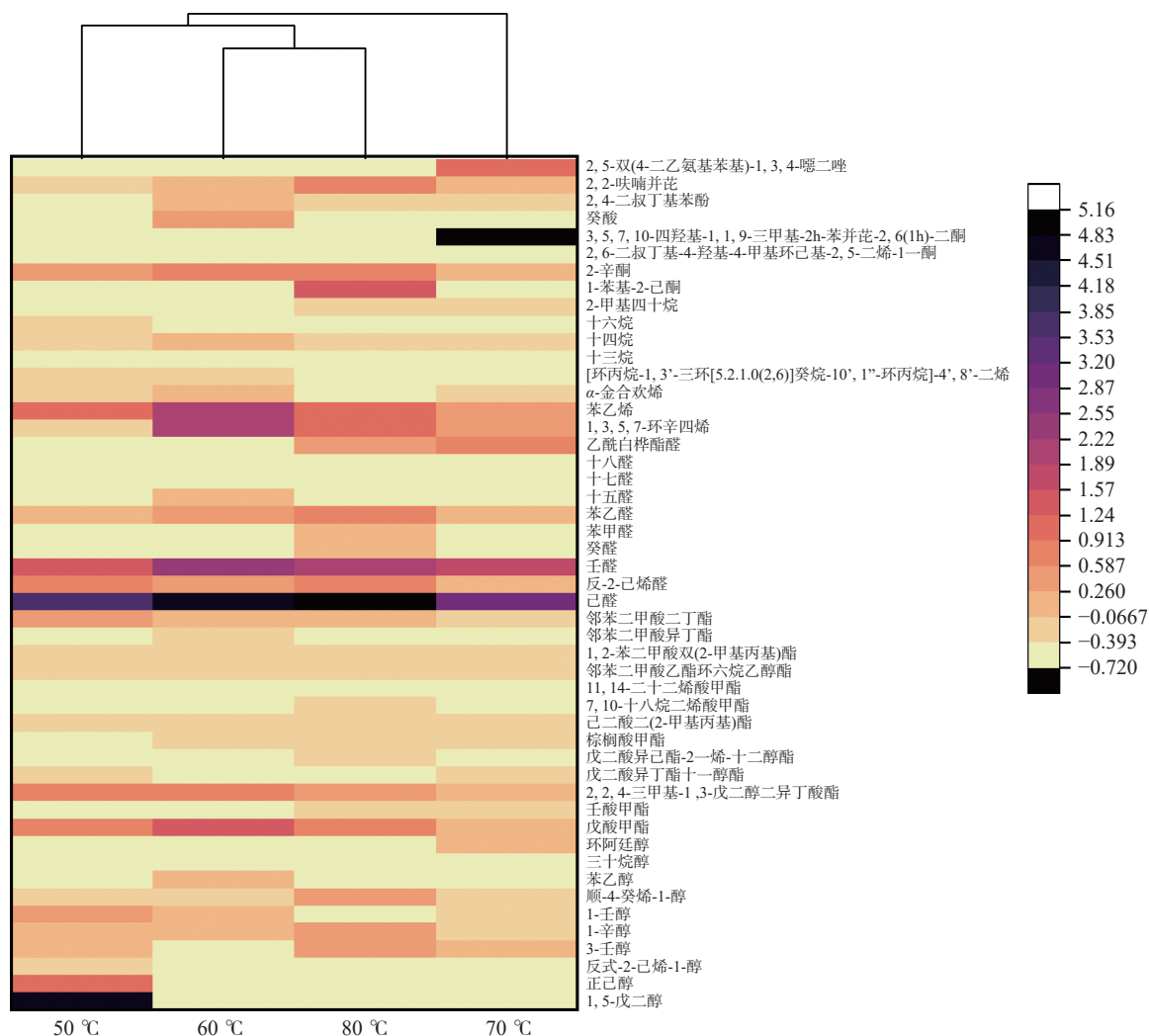


图3 不同温度浓缩梨汁的挥发性成分热图

Fig.3 Heat map of volatile components in concentrated pear juice at different temperatures

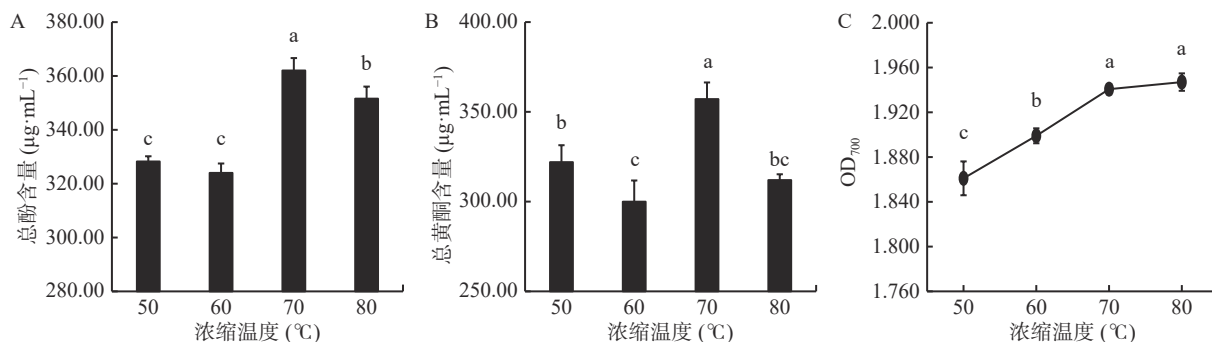


图4 不同温度对浓缩梨汁总酚含量(A)、总黄酮含量(B)和 Fe^{3+} 还原力(C)的影响

Fig.4 Effects of different temperatures on the content of the total phenol(A), total flavonoids (B), and the Fe^{3+} reducing power (C) of the concentrated pear juice

于酚类物质和黄酮类物质的溶出^[29-30],但由于黄酮、多酚具有热不稳定性,过高温促使其分解从而导致含量降低^[31]。由图4C可以看出,浓缩梨汁的 Fe^{3+} 还原力随温度的升高而升高,其中,80 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩梨汁的 Fe^{3+} 还原力最高(1.947),50 $^{\circ}\text{C}$ 浓缩梨汁的 Fe^{3+} 还原力最低(1.861)。这可能是由于,在温度逐渐升高的情况下,浓缩梨汁中多酚类物质的溶出率升高^[18],其氧化酶活性的钝化效果也增强,致使其抗氧化能力

提高。

2.6 统计分析和品质评价模型构建

综上所述分析结果,选取温度对其有显著性影响的指标进行因子分析和主成分分析,即:褐变度、pH、总酚含量、总黄酮含量、 Fe^{3+} 还原力、奎宁酸含量、苹果酸含量、柠檬酸含量、富马酸含量、挥发性成分含量、挥发性成分种类。对数据进行 KMO 检验和巴特利特球体检验。当 KMO 检验系数 > 0.5, (巴特利

特球体检验的统计值×2 的显著性概率) P 值 <0.05 时^[13], 才能进行因子分析。检验结果: KMO 检验系数为 $0.691 > 0.5$, P 值为 $0 < 0.05$, 证明可以进行因子分析。主成分分析特征值及方差贡献率见表 3。由表 3 可知, 第 1~3 主成分所含信息占总体信息的 $83.295\% > 80\%$, 完全符合分析要求, 并且第 1~3 个主成分特征值均 >1 。

表 3 主成分特征值及方差贡献率
Table 3 Principal component eigenvalues and variance contribution rate

成分	特征值 λ	方差贡献率(%)	累计方差贡献率(%)
1	6.061	55.099	55.099
2	2.033	18.483	73.583
3	1.068	9.712	83.295
4	0.713	6.484	89.779
5	0.358	3.252	93.031
6	0.302	2.747	95.778
7	0.232	2.106	97.884
8	0.133	1.205	99.089
9	0.074	0.673	99.761
10	0.022	0.203	99.964
11	0.004	0.036	100

主成分分析载荷矩阵见表 4。将表 4 中指标的各主成分载荷除以各主成分特征值的平方根作为特征向量, 以特征向量为权重构建 3 个主成分的表达式:

表 4 主成分分析载荷矩阵
Table 4 Principal component analysis load matrix

指标	PC1	PC2	PC3
总酚含量	0.902	0.16	-0.347
pH	-0.863	0.24	0.282
富马酸含量	-0.85	0.164	-0.131
Fe ³⁺ 还原力	0.843	-0.359	0.151
挥发性成分种类	0.84	0.407	-0.283
挥发性成分含量	0.744	0.618	-0.195
奎宁酸含量	0.741	-0.109	0.48
苹果酸含量	0.679	-0.382	0.071
柠檬酸含量	0.65	-0.161	0.501
褐变度	0.282	-0.781	-0.44
总黄酮含量	0.546	0.673	0.173

$$Y_1 = 0.366382225X_1 - 0.350540865X_2 - 0.345260411X_3 + 0.34241709X_4 + 0.341198524X_5 + 0.302204407X_6 + 0.300985841X_7 + 0.27580214X_8 + 0.264022668X_9 + 0.114545219X_{10} + 0.221779041X_{11};$$

$$Y_2 = 0.112215098X_1 + 0.168322647X_2 + 0.115020476X_3 - 0.251782626X_4 + 0.285447156X_5 + 0.433430816X_6 - 0.076446536X_7 - 0.267913547X_8 - 0.112916442X_9 - 0.547749947X_{10} + 0.472004756X_{11};$$

$$Y_3 = -0.335771514X_1 + 0.272874832X_2 - 0.126761004X_3 + 0.146113829X_4 - 0.273842474X_5 - 0.188690044X_6 + 0.4644678X_7 + 0.068702529X_8 + 0.484788266X_9 - 0.42576215X_{10} + 0.167401936X_{11}.$$

式中, $Y_1 \sim Y_3$ 分别表示主成分 1~3, $X_1 \sim X_{11}$ 分别表示总酚含量、pH、富马酸含量、Fe³⁺还原力、挥发性成分种类、挥发性成分含量、奎宁酸含量、苹果酸含量、柠檬酸含量、褐变度、总黄酮含量。

以各主成分的方差贡献率为权重, 得到梨汁品质评价的模型: $F = 0.55099Y_1 + 0.18438Y_2 + 0.09712Y_3$, 即: $F = 0.255X_1 - 0.136X_2 - 0.181X_3 + 0.156X_4 + 0.214X_5 + 0.156X_6 + 0.197X_7 + 0.109X_8 + 0.172X_9 - 0.079X_{10} + 0.225X_{11}$, (式中, $X_1 \sim X_{11}$ 分别表示总酚含量、pH、富马酸含量、Fe³⁺还原力、挥发性成分种类、挥发性成分含量、奎宁酸含量、苹果酸含量、柠檬酸含量、褐变度、总黄酮含量)。将各指标数值进行标准化处理, 带入评价函数, 计算出 4 种浓缩温度浓缩梨汁的综合得分与排名, 结果见表 5。由表 5 可知, 不同浓缩温度下浓缩梨汁品质由高到低为: $70\text{ }^\circ\text{C} > 80\text{ }^\circ\text{C} > 50\text{ }^\circ\text{C} > 60\text{ }^\circ\text{C}$ 。

表 5 不同加热温度浓缩梨汁的品质得分与排名
Table 5 Quality scores and ranking of concentrated pear juice at different heating temperatures

温度(°C)	Y1	Y2	Y3	F	排名
50	-2.63	1.23	-0.12	-1.24	3
60	-2.25	-0.84	-0.05	-1.40	4
70	2.92	1.31	0.30	1.88	1
80	1.97	-1.70	-0.12	0.76	2

3 结论

本文研究不同温度下真空浓缩梨汁的品质, 发现 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 是真空浓缩梨汁的最适温度, 在 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 下得到的浓缩梨汁具有以下特点: 总酚含量 $362.03\text{ }\mu\text{g/mL}$ 和总黄酮含量 $357.1\text{ }\mu\text{g/mL}$ 为最高, 挥发性成分含量最高 ($21.860\text{ }\mu\text{g/mL}$), 种类最多 (39 种)。得到了浓缩梨汁品质评价模型: $F = 0.255 \times \text{总酚含量} - 0.136 \times \text{pH} - 0.181 \times \text{富马酸含量} + 0.156 \times \text{Fe}^{3+} \text{还原力} + 0.214 \times \text{挥发性成分种类} + 0.156 \times \text{挥发性成分含量} + 0.197 \times \text{奎宁酸含量} + 0.109 \times \text{苹果酸含量} + 0.172 \times \text{柠檬酸含量} - 0.079 \times \text{褐变度} + 0.225 \times \text{总黄酮含量}$ 。因此, 利用主成分分析和因子分析方法可从多维度研究浓缩温度对梨汁品质的影响, 筛选出最适浓缩温度, 也可为浓缩果汁品质评价体系的构建提供参考依据。此外, 该评价模型是否适用于其他浓缩果汁的品质评价仍有待研究。

参考文献

[1] 思邈, 陈建明, 王爱廉, 等. 正渗透技术浓缩苹果汁过程中反向溶质扩散的研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(24): 172-180.
[SI M, CHEN J M, WANG A L, et al. Study of reverse solute flux in apple juice concentration by forward osmosis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(24): 172-180.]
[2] 魏娜, 晏梦溪, 吴佳, 等. 常压和真空浓缩鸡汤的微冻贮藏特性[J]. 肉类研究, 2020, 34(12): 75-80. [WEI N, YAN M X, WU J, et al. Quality changes of chicken soup concentrated under atmospheric and vacuum conditions during superchilling storage[J]. Meat Research 2020, 34(12): 75-80.]

- [3] DING Z X, FRANK G. F. Q, YUAN J J, et al. Concentration of apple juice with an intelligent freeze concentrator[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 256: 61-72.
- [4] 朱丽, 李林强, 鱼喆喆, 等. 真空结合加热、冷冻浓缩羊奶理化品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(15): 243-248. [ZHU L, LI L Q, YU Z Z, et al. Physicochemical quality of goat milk concentrated by vacuum combined with heating and freezing[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(15): 243-248.]
- [5] 何靖柳, 张秋霞, 刘杨, 等. 浓缩果汁浓缩方法的研究现状及展望[J]. 南方农机, 2021, 52(24): 20-22. [HE J L, ZHANG Q X, LIU Y, et al. Research status and prospects of concentrated fruit juice concentration methods[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2021, 52(24): 20-22.]
- [6] 曹培杰, 马艳弘, 崔晋, 等. 桑葚浓缩汁的制备工艺优化及其抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(17): 204-209. [CAO P J, MA Y H, CUI J, et al. Optimization of preparation process and antioxidant activity of mulberry concentrated juice[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(17): 204-209.]
- [7] 高欣月, 万金庆, 厉建国, 等. 两种浓缩工艺对苹果浊汁贮藏期品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 114-120, 135. [GAO X Y, WAN J Q, LI J G, et al. Effect of different concentration processes on quality and antioxidant activity of apple turbid juice[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 114-120, 135.]
- [8] 赵尔民, 王学连, 张民. 浓缩枇杷清汁的加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2020(22): 51-55, 59. [ZHAO E M, WANG X L, ZHANG M. Study on the processing technology of concentrated loquat juice[J]. Farm Products Processing, 2020(22): 51-55, 59.]
- [9] 李靖靖, 李红梅. 温度对浓缩加工苹果汁过程中抗氧化成分的影响[J]. 农产品加工, 2018(14): 42-44. [LI J J, LI H M. Effect of temperature on antioxidant content in the process of concentrated processing of apple juice[J]. Farm Products Processing, 2018(14): 42-44.]
- [10] 朱金艳, 李莉, 张建丽. 浓缩工艺对蓝莓汁营养成分的影响[J]. 新农业, 2017(11): 6-7. [ZHU J Y, LI L, ZHANG J L. Effect of concentration process on the nutritional components of blueberry juice[J]. Modern Agriculture, 2017(11): 6-7.]
- [11] 袁江, 李甲明, 张绍铃等. 不同品种梨汁贮藏过程中美拉德反应特性[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 939-945. [YUAN J, LI M J, ZHANG J L, et al. Study on non-enzymatic browning of pear juice of different cultivars in storage[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5): 939-945.]
- [12] 闫春晓, 周聪, 王德华, 等. 基于主成分分析玫瑰露酒感官特征与偏好性关系[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(1): 83-88. [YAN C X, ZHOU C, WANG D H, et al. Relationship between sensory characteristics and preference of rose lujiu based on principal component analysis[J]. Food Research and Development, 2023, 44(1): 83-88.]
- [13] 范声浓, 李华东, 王烁衡, 等. 基于IDW和因子分析的海南省火龙果园土壤养分空间分布预测[J]. 西南农业学报, 2023, 36(3): 602-611. [FAN S N, LI H D, WANG S H, et al. Prediction of spatial distribution of soil nutrients in pitaya orchards in Hainan province based on IDW and factor analysis[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(3): 602-611.]
- [14] 张娅, 石方剑, 杨有仙. 福林-酚比色法测定葡萄酒中总多酚含量的研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(10): 163-166. [ZHANG Y, SHI F J, YANG Y X. Determination of the total polyphenols content in grape spirits by Folin-ciocalteu colorimetry method[J]. China Brewing, 2017, 36(10): 163-166.]
- [15] 杨彩媚, 林泽燕, 邹毅辉. 凤柜斗草发酵液总黄酮含量与抗氧化活性研究[J]. 包头医学院学报, 2018, 34(12): 72-74. [YANG C M, YANG Z Y, ZOU Y H. Total flavonoid contents and antioxidant activities of fermented *Sarcopyramis nepalensis* Wall[J]. Journal of Baotou Medical College, 2018, 34(12): 72-74.]
- [16] 魏金凤, 张亚娟, 王学标, 等. 三种果蔬褐变机制及其防止初探[J]. 河南大学学报(医学版), 2016, 35(4): 240-243, 282. [WEI J F, ZHANG Y X, WANG X B, et al. A study on the mechanism and prevention of browning of three fruits and vegetables[J]. Journal of Henan University (Medical Edition), 2016, 35(4): 240-243, 282.]
- [17] 熊思瑞, 郭玉媛, 张智勇, 等. 抑制苹果梨汁酶促褐变的研究[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 165-169, 188. [XIONG S R, GUO Y Y, ZHANG Z Y, et al. Study on inhibiting enzymatic browning of apple-pear juice[J]. Journal of Yanbian University (Natural Science Edition), 2021, 47(2): 165-169, 188.]
- [18] 徐红雨, 鞠葛金悦, 肖更生, 等. 浓缩方式对枸杞汁品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(24): 50-58. [XU H Y, JUGE J Y, XIAO G S, et al. Effect of concentration methods on the quality of *Lycium barbarum* L. juice[J]. Food Research and Development, 2021, 42(24): 50-58.]
- [19] 李慧琳, 高伟, 姚淑敏, 等. 制干温度对“果汁杏干”品质的影响[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2022, 48(1): 100-105. [LI H L, GAO W, YAO S M, et al. Effect of dehydration temperature on the quality of “juice dried apricot”[J]. Journal of Qufu Normal University (Natural Science), 2022, 48(1): 100-105.]
- [20] 曹少谦, 刘亮, 潘思轶. 血橙果汁贮藏过程中品质变化研究[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 297-301. [CAO S Q, LIU L, PAN S Y. Quality changes of blood orange juice during storage[J]. Food Science, 2011, 32(2): 297-301.]
- [21] 崔芸芸, 陈哲洪, 谢娟等. 野木瓜果汁非酶褐变析因研究[J]. 食品科技, 2017, 42(12): 99-102. [CUI L Y, CHEN Z H, XIE J, et al. Factors analysis on non-enzymatic browning of *Stauntonia chinensis* juice during storage[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(12): 99-102.]
- [22] 苏永平, 倪斌, 杨阳, 等. 有机酸对酒醅中挥发性风味物质组成的影响研究[J]. 中国测试, 2022, 48(S1): 102-107. [SU Y P, NI B, YANG Y, et al. Effect of different organic acids on volatile flavor components in fermented grains[J]. China Measurement & Test, 2022, 48(S1): 102-107.]
- [23] 李莉峰, 叶春苗, 韩艳秋. 南果梨酒发酵工艺优化及其主要香气成分变化分析[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(1): 64-70. [LI L F, YE C M, HAN Y Q. Optimization of fermentation technology and analysis of the changes of main aroma components of Nanguo pear wine[J]. Storage and Process, 2018, 18(1): 64-70.]
- [24] 宋欣莹, 李洁春, 杨学山, 等. 不同复配比例对早酥梨-猕猴桃复合果酒香气化合物的影响[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(4): 39-50. [SONG X W, LI J C, YANG X S, et al. Effects of different blended ratios on aroma compounds of Zaosu pear-kiwi mixed fruit wine[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2021, 57(4): 39-50.]
- [25] 陈颖, 李凯, 杨丽维, 等. ‘雪花’梨香气成分研究[J]. 中国果树, 2017(6): 15-19. [CHEN Y, LI K, YANG L W, et al. Study on aroma components of ‘Xuehua’ pear[J]. China Fruits, 2017(6): 15-19.]
- [26] 孟宏昌. 蒸煮工艺对碭山梨汁香气组成的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(4): 142-145. [MENG H C. Research of the effect of cooking technology on aromatic composition of Dangshan pear juice[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(4): 142-

145.]

[27] KANG W H, LI Y, XU Y, et al. Characterization of aroma compounds in Chinese bayberry (*Myrica rubra sieb. et Zucc.*) by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) and olfactometry (GC-O)[J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(10): C1030–C1035.

[28] 李婷婷, 黄名正, 唐维媛, 等. 刺梨汁中挥发性成分测定及其呈香贡献分析[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 237–246. [LI T T, HUANG M Z, TANG W Y, et al. Determination of volatile components in *Rosa roxburghii* Tratt juice and the analysis of its contribution for aroma[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 237–246.]

[29] LIN J T, LIU S C, HU C C, et al. Effects of roasting temperature and duration on fatty acid composition, phenolic composition,

Maillard reaction degree and antioxidant attribute of almond (*Prunus dulcis*) kernel[J]. *Food Chemistry*, 2016, 190: 520–528.

[30] 白宇皓, 李超, 杨志国, 等. 梨多酚氧化酶特性与酶促褐变抑制研究进展[J]. *食品科技*, 2022, 47(2): 75–81. [BAI Y H, LI C, YANG Z G, et al. Advances in polyphenol oxidase properties and enzymatic browning inhibition of pear[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(2): 75–81.]

[31] 李靖, 王嘉祥, 陈欢, 等. 超高压与热杀菌对刺梨汁贮藏期品质影响的比较[J]. *食品科学*, 2022(15): 101–108. [LI J, WANG J X, CHEN H, et al. Comparison of the effects of ultra-high pressure and thermal processing on quality changes of *rosa roxburghii* juice during storage[J]. *Food Science*, 2022(15): 101–108.]