

胡雨晴, 牛秀梅, 王美美, 等. 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料配方优化及贮藏品质研究 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 234–242.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050154

HU Yuqing, NIU Xiumei, WANG Meimei, et al. Optimization of Formula of *Aronia melanocarpa* and *Rubusidaeus* L. Compound Beverage and Its Storage Quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 234–242. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050154

• 工艺技术 •

黑果腺肋花楸红树莓复合饮料配方优化及贮藏品质研究

胡雨晴¹, 牛秀梅², 王美美¹, 刘 静¹, 张 瑞¹, 高惠颖¹, 马志恒¹, 吕长鑫^{1,*}

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省食品安全重点实验室,
生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013;
2.锦州市检验检测认证中心, 辽宁锦州 121013)

摘 要: 制备黑果腺肋花楸红树莓复合饮料并研究 25 ℃ 贮藏期 28 d 品质变化规律。以感官评价为指标, 通过正交试验法确定最佳工艺与配方; 通过电子鼻、激光粒度分布仪、折光仪和流变仪技术分析贮藏期品质变化, 判断复合饮料流体类型。结果表明, 最佳配方为: 黑果腺肋花楸汁 55.0%、红树莓汁 20.0%、蔗糖 9.0%、柠檬酸 0.2%、饮用水 15.8%, 应用此配方, 产品感官得分为 79.30 分。贮藏期间可溶性固形物含量从 16.10% 增加至 16.57%, 略有变化; 沉淀率从 1.86% 增加至 2.79%; 花青素含量 357.30 mg/L 降至 316.77 mg/L; 抗氧化能力也呈现下降趋势; 色差变化不明显; 粒径分析 7 d 内粒径分布变化明显, 7~28 d 粒径变化分布不明显; 电子鼻能较好地识别黑果腺肋花楸和红树莓特征物质气味变化情况; 流变仪分析出其符合假塑性流体特征。黑果腺肋花楸红树莓复合饮料风味独特, 果香突出, 色泽亮丽, 口感酸甜适中, 贮藏期 28 d 内无明显变化, 品质稳定。

关键词: 黑果腺肋花楸, 红树莓, 感官评价, 贮藏品质, 流变类型

中图分类号: TS275

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)04-0234-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050154

本文网刊:



Optimization of Formula of *Aronia melanocarpa* and *Rubusidaeus* L. Compound Beverage and Its Storage Quality

HU Yuqing¹, NIU Xiumei², WANG Meimei¹, LIU Jing¹, ZHANG Rui¹, GAO Huiying¹, MA Zhiheng¹,
LÜ Changxin^{1,*}

(1.Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China;

2.Inspection, Testing and Certification Center, Jinzhou 121013, China)

Abstract: To prepare *Aronia melanocarpa* and *Rubusidaeus* L. compound beverage and to study the quality change law of 25 ℃ storage for 28 days. The best process and formula were determined by orthogonal test with sensory evaluation as index. The electronic nose, laser particle size distributor, refractometer and rheometer were used to analyze the quality change during storage and determine the fluid type of compound beverage. Results showed that, the optimum formulation of juice was: *Aronia melanocarpa* juice 55.0%, *Rubusidaeus* L. juice 20.0%, sucrose 9.0%, citric acid 0.2% and drinking water 15.8%, with this formula, the sensory score of the product was 79.30. During storage, the soluble solid content increased from 16.10% to 16.57% with a slight change. The precipitation rate increased from 1.86% to 2.79%, the anthocyanin content decreased from 357.30 mg/L to 316.77 mg/L, and the antioxidant capacity also showed a downward trend with little chromatic aberration change. The obvious change of particle size distribution within 7 d, but little change of

收稿日期: 2022-05-17

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划专项 (2017YFD0400704); 辽宁省民生科技计划项目 (2021JH2/10200018)。

作者简介: 胡雨晴 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工安全, E-mail: yuqinghu0408@163.com。

* 通信作者: 吕长鑫 (1965-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 果蔬贮藏加工与食品资源开发, E-mail: lvchangxin6666@163.com。

particle size from 7 d to 28 d. The electronic nose could identify the odor changes of characteristic substances of *Aronia melanocarpa* and *Rubusidaeus* L.. The rheometer analysis showed that, it accorded with the characteristics of pseudoplastic fluid. Therefore, the *Aronia melanocarpa* and *Rubusidaeus* L. compound beverage had unique flavor, outstanding fruit flavor, bright color, moderate sour and sweet taste, accompanying little change within 28 days of storage and stable quality.

Key words: *Aronia melanocarpa*; *Rubusidaeus* L.; sensory evaluation; storage quality; rheological type

黑果腺肋花楸(*Aronia melanocarpa*)为蔷薇科腺肋花楸属浆果,又名野樱莓、不老莓,在我国辽宁省和吉林省广泛种植^[1]。果实呈紫黑色,口感酸涩,富含花青素和黄酮等多种成分,具有抗氧化、提高免疫力和降低胆固醇等活性功能^[2-3]。因机械性能较差,目前常将其加工成果酒和果汁^[4-5]。红树莓(*Rubusidaeus* L.)为蔷薇科悬钩子属浆果,果肉饱满、口感酸甜,被誉为“浆果之王”^[6-8],具有消炎、降血脂和降血糖等生理活性功能,因其果皮薄不易贮运,所以通常把红树莓加工成果汁产品。

近年来,复合饮料逐步被民众接受,尤其是复合功能性饮料逐渐进入人们的视野,如黑果腺肋花楸紫胡萝卜复合饮料^[9],红树莓柚子复合果汁^[10]等,但因为黑果腺肋花楸果实中含有大量单宁,所以此类复合饮料的研究较少,而将其与红树莓复配研制饮料还未有报道,且红树莓的酸甜可以缓和本产品黑果腺肋花楸所带来的酸涩口感,容易被大众接受。

因此,本文选用黑果腺肋花楸和红树莓为主要原料,研制出一种特色复合饮料且二者均具有较高的营养价值,满足广大消费者对营养价值和保健作用的追求。但因食用口感、温度和运输条件等原因,东北特色小浆果类果实不易在全国范围内销售,因此复合饮料的出现,不仅解决了浆果资源浪费问题,还可以使其中的营养与活性成分得到充分发挥和利用^[11]。本文优化黑果腺肋花楸红树莓复合饮料配方,分析贮藏期理化指标的变化规律及复合饮料的流体类型,为其深加工提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黑果腺肋花楸(水分 51.67%,可溶性固形物 8.23%,花青素 596.37 mg/L) 辽宁省海城市 and 凌海市;红树莓(水分 71.36%,可溶性固形物 810.87%,花青素 167.27 mg/L) 锦州市义县;氯化钾、盐酸、无水乙酸钠、无水乙醇、水杨酸、硫酸铁、过氧化氢、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍 分析纯,天津市大茂化学试剂厂;果胶酶(30000 U/g)、纤维素酶(100000 U/g)、无水柠檬酸 食品级,英博生物科技有限公司;饮用水 食品级,康师傅包装饮用水。

DiscoveryHR-1 流变仪 美国 TA 流变仪公司;CR-400 色差仪 柯尼达美能达公司;UV-2700 紫外可见分光光度计 日本 SHIMADZU 公司;5804R 冷冻离心机 德国艾本德公司;LH-120LATC 手持折光仪 杭州万通五金有限公司;BT-9300ST 激光粒度分布仪 上海甄明科学仪器有限公司;PEN3 电

子鼻 德国 AIRSENSE 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料工艺流程 复合饮料工业流程如下。

红树莓冻果 → 解冻 → 打浆 → 酶解 → 灭酶 → 过滤
黑果腺肋花楸冻果 → 解冻 → 挑选 → 打浆 → 酶解 → 灭酶 → 过滤 → 调配 → 灌装 → 排气 → 密封 → 杀菌 → 冷却 → 成品

1.2.2 操作要点 黑果腺肋花楸汁制备:解冻黑果腺肋花楸冻果,挑选优质果实打浆,加入 0.1% 果胶酶(30000 U/g)和 0.1% 纤维素酶(100000 U/g),50 ℃ 酶解 2 h 后过滤备用。

红树莓汁制备:解冻红树莓冻果,挑选优质果实打浆,加入 0.1% 果胶酶(30000 U/g)和 0.1% 纤维素酶(100000 U/g),50 ℃ 酶解 2 h 后过滤备用。

复合饮料制备:将黑果腺肋花楸汁和红树莓汁按比例混合,加入蔗糖、柠檬酸和饮用水进行调配灌装,75 ℃ 排气 10 min 密封后杀菌 90 ℃、5 min,冷却后即得黑果腺肋花楸红树莓复合饮料。

1.2.3 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料配方优化

1.2.3.1 配方单因素实验 基于预实验结果,分别考察黑果腺肋花楸汁、红树莓汁、蔗糖和柠檬酸添加量对复合饮料的感官评分影响。固定红树莓汁 15%、蔗糖 8%、柠檬酸 0.15%,考察黑果腺肋花楸汁添加量(45%、50%、55%、60%、65%)对感官评分的影响;固定黑果腺肋花楸汁 50%、蔗糖 8%、柠檬酸 0.15%,考察红树莓汁添加量(5%、10%、15%、20%、25%)对感官评分的影响;固定黑果腺肋花楸汁 50%、红树莓汁 15%、柠檬酸 0.15%,考察蔗糖添加量(6%、7%、8%、9%、10%)对感官评分的影响;固定黑果腺肋花楸汁 50%、红树莓汁 15%、蔗糖 8%,考察柠檬酸添加量(0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%)对感官评分的影响。

1.2.3.2 正交实验优化配方 在单因素实验的基础上,以黑果腺肋花楸汁、红树莓汁、蔗糖添加量为考察因素,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验确定最佳配方,具体如下表 1 所示。

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Factor level of orthogonal experiment

水平	因素		
	A黑果腺肋花楸汁(%)	B红树莓汁(%)	C蔗糖(%)
1	45	10	7
2	50	15	8
3	55	20	9

1.2.3.3 感官评定标准 以口感、香气、组织状态和色泽为评价指标,制定以黑果腺肋花楸红树莓复合饮料评价标准如表2所示。选择10位具有饮料感官评价经验的人员分别进行感官评价,所得平均分即为本款饮料感官得分^[12]。

1.2.4 理化指标及测定方法

1.2.4.1 可溶性固形物含量 用折光仪测定可溶性固形物含量。

1.2.4.2 沉淀率 称取30 g样品于离心管中,将其在5000 r/min下离心15 min取沉淀,烘干后测定其沉淀率。公式如(1)所示^[13]:

$$\text{沉淀率}(\%) = \frac{\text{沉淀物质量}}{30} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.4.3 花青素含量 pH示差法测定花青素含量,公式如(2)所示^[14-16]:

$$\text{花青素含量}(\text{mg/L}) = \frac{\Delta A \times n \times M}{\varepsilon} \times 1000 \quad \text{式(2)}$$

式中: $\Delta A = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}}) \text{ pH}1.0 - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}}) \text{ pH}4.5$; n 表示稀释倍数; M 表示矢车菊素-3-葡萄糖苷分子量(449.2 mg/mol); ε 表示矢车菊素-3-葡萄糖苷摩尔消光系数,26900。

1.2.4.4 DPPH 自由基清除能力 准确称取0.0050 g DPPH粉末,无水乙醇溶解定容至50 mL,向试管内加入3 mL DPPH乙醇溶液和0.1 mL样品混匀,无光条件下反应30 min。 A_1 : 517 nm处测量吸光度; A_2 : 无水乙醇代替样液测量吸光度; A_3 : 无水乙醇代替DPPH乙醇溶液测量吸光度^[17-18]。公式见(3):

$$\text{DPPH自由基清除率} = \left(1 - \frac{A_1 - A_3}{A_2}\right) \times 100 \quad \text{式(3)}$$

1.2.4.5 羟自由基清除能力 采用1 mL 20 mmol/L的 FeSO_4 溶液、1 mL 20 mmol/L的水杨酸溶液、1 mL样液和1 mL 17.6 mmol/L的 H_2O_2 溶液于37℃无光条件下反应30 min。 A_1 : 517 nm处测量吸光度; A_2 : 无水乙醇代替样液测量吸光度; A_3 : 无水乙醇代替DPPH乙醇溶液测量吸光度^[19-20]。公式见(4):

$$\text{羟自由基清除率} = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100 \quad \text{式(4)}$$

1.2.4.6 色差测定 用色差仪测定贮藏期 L^* 、 a^* 、 b^* 值进行,每个样品平行测定三次^[21]。 ΔE 计算见公式(5):

$$\Delta E = \left[(L_s - L_0)^2 + (a_s - a_0)^2 + (b_s - b_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{式(5)}$$

式中: L_s 、 a_s 和 b_s 表示样品测定值; L_0 、 a_0 和 b_0 表示空白对照测定值。

1.2.4.7 粒径测定 采用BT-9300ST型激光粒度分布仪测定贮藏期内复合饮料粒径变化情况^[22]。

1.2.4.8 电子鼻测定 采用PEN3电子鼻对复合饮料贮藏期内香气成分进行测定,贮藏期后绘制雷达图对数据进行分析并进行主成分分析^[23-24]。

1.2.5 流变类型测定 设定剪切速率范围为10~600 s^{-1} ,分别测定复合饮料在25、35、45、55和65℃不同温度下剪切应力(Pa)变化情况。为了验证由图直观所得出的结论,采用幂律方程对流变特性曲线进行拟合^[25-26],方程如公式(6):

$$\tau = K D^n \quad \text{式(6)}$$

式中: τ 为剪切应力,Pa; K 为黏度系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; D 为剪切速率, s^{-1} ; n 为流动指数。

1.3 数据处理

每个实验重复3次,以“平均值±标准差”表示。使用Origin2018软件进行绘图,采用SPSS19.0统计软件进行显著性分析,显著性水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 黑果腺肋花楸汁添加量对复合饮料感官评分的影响 黑果腺肋花楸汁添加量对复合饮料感官评分的影响至关重要,同时也影响着本产品的营养价值。由图1可知,添加量为45%时,感官评分为62.77,此时红树莓汁的酸甜味突出,掩盖住花楸本身独有香味;当添加量为50%时,感官评分最高为66.77。此

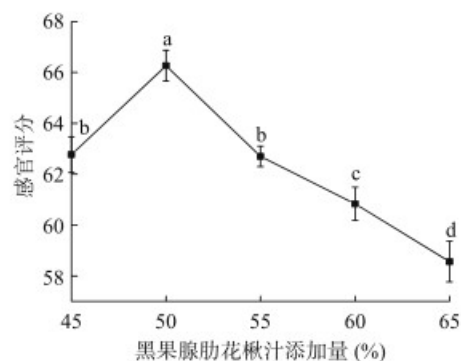


图1 黑果腺肋花楸汁添加量对感官评分的影响

Fig.1 Effect of supplemental amount aronia melanocarpa juice on sensory score

注:不同小写字母表示感官评分差异显著,相同小写字母表示感官评分差异不显著($P < 0.05$);图2~图4同。

表2 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standard of raspberry compound beverage of aronia melanocarpa

口感30分	香气30分	组织状态20分	色泽20分
酸甜适中,无涩味20~30	香气协调,有花楸香气20~30	均匀无分层15~20	紫红色15~20
酸甜比例不合适,稍涩10~19	香气协调不柔和10~19	有些许分层7~14	鲜红色7~14
酸甜比例严重失调,口感过涩<10	香气不协调,有异味<10	分层严重<7	浅红色<7

时,口感达到最佳,酸甜适中无苦涩味,呈色明亮,说明在添加量为 45%~50% 范围内,花楸的苦涩味逐渐被红树莓覆盖使产品具有的独特花楸口感逐渐显现出来,并在 50% 时达到最易接受的状态。随着花楸添加量上升,在 55% 时感官评分降至 62.70,在 65% 时达到最低值 58.57,此时复合饮料色泽过深,口感失调,产品因花楸产生的涩味过于浓郁。这与王赟等^[27]研究的刺梨红茶复合饮料中刺梨添加量对感官评分影响趋势一致;添加量过大,花楸或者刺梨的酸涩味严重影响产品感官评分。因此,后续优化实验中选取黑果腺肋花楸汁添加量为 50%。

2.1.2 红树莓汁添加量对复合饮料感官评分的影响

红树莓汁添加量直接影响了复合饮料口感和色泽,对感官评分产生较大影响。由图 2 可知,红树莓汁添加量为 5% 时,感官评分仅为 66.20,产品表现出颜色过深,涩味过重,口感不佳。当添加量在 5%~15% 范围内,感官评分逐渐升高,说明产品颜色因为红树莓汁比例的增加被逐渐改善,产品口感也有所提升。当添加量为 15% 时,该复合饮料表现为紫红色,颜色明亮,酸甜适中。此时感官评分达到最大值为 70.40。当添加量继续增加至 15%~25% 范围内,感官评分呈现下降趋势,25% 时降至最低分 61.30,说明红树莓汁添加量不断提升并不会持续改善产品感官品质,相反,添加量过多会使产品色泽越来越浅,花楸的特有口感被逐渐淹没,饮料口感过于酸甜。因此,后续优化实验中红树莓汁添加量选用 15% 为宜。

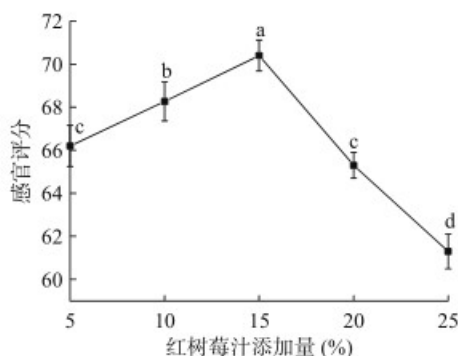


图 2 红树莓汁添加量对感官评分的影响

Fig.2 Effect of supplemental amount of raspberry juice on sensory score

2.1.3 蔗糖添加量对复合饮料感官评分的影响 蔗糖作为甜味剂可以很好地改善产品的风味,中和产品口感,直接影响酸甜度。由图 3 可知,添加量为 6%~7% 范围内,感官评分较低且差异不显著,此时甜味偏淡;当其增加至 8% 时,该复合饮料感官评分最高为 66.27,此时蔗糖与花楸和红树莓中的甜味物质共同作用使饮料酸甜适中^[28];当添加量为 8%~10% 范围内,甜味逐渐变重,使得产品感官评分逐渐下降,直至降为最低分 58.27。因此,后续实验中蔗糖添加量选用 8%。

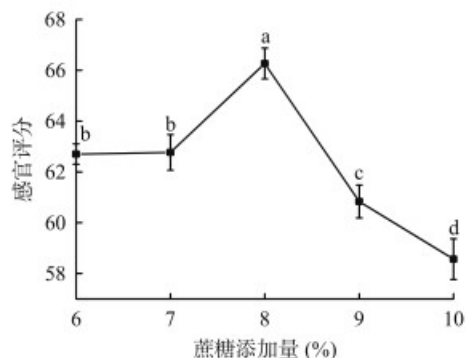


图 3 蔗糖添加量对感官评分的影响

Fig.3 Effect of supplemental amount of saccharose on sensory score

2.1.4 柠檬酸添加量对复合饮料感官评分的影响

柠檬酸作为一种常用的食品酸味剂,具有温和的口感,普遍用于饮料工业中,可以有效改善产品风味^[29]。由图 4 可知,柠檬酸添加量在 0.05%~0.20% 范围内,产品感官评分逐渐上升,由最低分 60.83 升至最高分 66.27,这阶段复合饮料酸味逐渐增多,酸甜逐渐适中,0.20% 时达到感官评分最大值,此时柠檬酸的酸味与产品的甜味中和,口感达到最佳状态;当柠檬酸添加量继续升至 0.25% 时,产品感官评分降为 58.57,此时酸味过重掩盖住产品的甜味和花楸特有的涩味。此外,四种单因素对感官评分考察实验中,柠檬酸感官评分极差最低,对感官品质影响最小,所以后续优化实验中未选用柠檬酸作为水平因素。

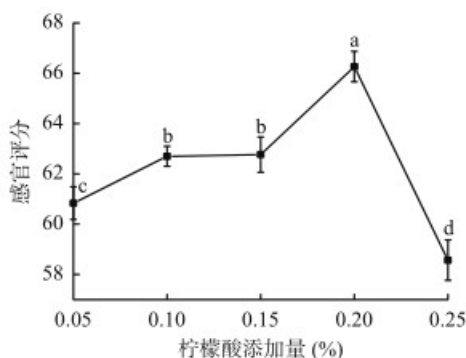


图 4 柠檬酸添加量对感官评分的影响

Fig.4 Effect of supplemental amount of citric acid on sensory score

2.2 正交试验结果分析

正交试验 $L_9(3^4)$ 结果如表 3 所示,影响复合饮料感官评分的因素主次顺序为 $A>B>C$;又可知配方最佳组合为 $A_3B_3C_3$,即黑果腺肋花楸汁添加量为 55.00%,红树莓汁添加量为 20.00%、蔗糖添加量为 9.00%,柠檬酸添加量为 0.20%,饮用水 15.80%。此时正交最优试验结果与单因素最优结果不同,这与代文清^[30]正交优化苹果梨黑果腺肋花楸果汁配方结果相一致,属于正常现象。应用此配方进行 3 组验证试验,产品平均感官得分为 79.30 分。由表 4 方差分析结果可知,黑果腺肋花楸汁添加量和红树莓汁添加

表3 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料配方正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal test of raspberry compound beverage of aronia melanocarpa

实验号	因素水平				感官评分
	A-黑果腺肋花楸汁(%)	B-红树莓汁(%)	C-蔗糖(%)	D-空列	
1	1	1	1	1	73.40
2	1	2	2	2	75.30
3	1	3	3	3	77.60
4	2	1	2	3	75.30
5	2	2	3	1	76.90
6	2	3	1	2	75.80
7	3	1	3	2	77.30
8	3	2	1	3	76.80
9	3	3	2	1	79.10
k ₁	75.43	75.33	75.33	76.47	
k ₂	76.00	76.33	76.57	76.13	
k ₃	77.73	77.50	77.27	76.57	
R	2.30	2.17	1.93	0.33	

量对感官品质均有显著影响($P<0.05$),蔗糖添加量对感官品质影响极显著($P<0.01$)。

表4 正交实验结果的方差分析

Table 4 Analysis of variance of orthogonal experiment results

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F值
A	8.6156	2	4.3078	27.8921*
B	7.0556	2	3.5278	22.8417*
C	5.7489	2	2.8744	18.6115**
D(误差)	0.3089	2	0.1544	
总和	22	8		

注: *表示显著相关($P<0.05$); **表示极显著相关($P<0.01$)。

2.3 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料贮藏期品质变化分析

2.3.1 复合饮料贮藏期可溶性固形物含量变化 可溶性固形物含量为监控饮料贮藏期品质变化的一个常用技术参数,主要指的是可溶性糖类物质。由表5可知,本产品贮藏期内可溶性固形物含量变化不大,维持在16.10%~16.57%之间,随着时间延长,可溶性固形物含量略有增加,说明其在贮藏期较稳定。范金波等^[13]研究NFC复合梨汁贮藏品质变化规律,结果显示可溶性固形物含量没有显著变化,产品性质稳定,说明原料本身可溶性固形物含量较稳定^[31],其他复合果汁研究中也得出相同理论^[32]。

表5 复合饮料贮藏期指标

Table 5 Indexes of compound beverage during storage

时间(d)	可溶性固形物含量(%)	沉淀率(%)	花青素含量(mg/L)
0	16.10 ^a	1.86 ^c	357.30 ^a
7	16.13 ^c	2.61 ^d	342.66 ^b
14	16.17 ^c	2.64 ^c	339.55 ^c
21	16.37 ^b	2.69 ^b	329.30 ^d
28	16.57 ^a	2.79 ^a	316.77 ^e

注:同一列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);表6同。

2.3.2 复合饮料贮藏期沉淀率变化 复合饮料贮藏期沉淀率这一指标可体现出产品稳定性问题,是监控产品贮藏期品质变化的重要参数。由表5可以看出,黑果腺肋花楸红树莓复合饮料沉淀率呈增加趋势,0~7 d初期,增加速度较快,由1.86%增加至2.61%;7~21 d,增加趋势相对稳定,28 d时沉淀率达到最大值2.79%。这一阶段呈现此趋势原因为破壁机搅拌不均匀导致部分果肉在贮藏初期由于重力作用而沉降,后期逐渐趋于稳定。此外,引起复合饮料沉淀增多的原因除上述外,原料果实中蛋白质与多酚物质相互作用也是引起饮料沉淀增多的重要原因^[33]。本实验沉淀率较高,因此后续可开展复合饮料稳定剂实验来改善产品品质。

2.3.3 复合饮料贮藏期花青素含量变化 花青素是我们日常食物中所含有的一种成分,具有抗氧化和清除体内自由基等功效,而黑果腺肋花楸和红树莓均属于含花青素较多的浆果,故探讨复合饮料产品贮藏中花青素含量变化情况十分必要。由表5可知,28 d贮藏期内花青素含量显著($P<0.05$)降低,由357.30 mg/L降至316.77 mg/L,造成花青素含量下降的原因有温度、pH和光照等因素,本实验中复合饮料在室温贮藏,温度变化对于花青素含量影响较小且红树莓含酸较多,配方实验时又添加柠檬酸的因素,使得产品偏向酸性(pH4.5),此条件下适合花青素贮藏^[34]。因此对本产品中花青素含量影响较大的因素来自于光照,随贮藏时间延长,产品长期暴露在实验环境中,故其含量逐渐降低^[35]。但结合表5可以看出,与同类型复合饮料相比较^[36],本产品仍具有较高的花青素含量。

2.3.4 复合饮料贮藏期抗氧化能力变化分析 由图5所示,复合饮料贮藏期内抗氧化能力变化DPPH和羟自由基清除率均呈下降趋势。DPPH清除率由0 d的96.99%下降到80.85%,羟自由基清除率由0 d的92.62%下降到71.91%,且DPPH清除率在贮藏期间明显高于羟自由基清除率。抗氧化能力变弱的原因与贮藏期间的一些活性物质的损失有关,导致对自由基清除能力减小,也可能是酚类物质化合物结构被破坏,在饮料中发生氧化反应,其次,产品虽然是

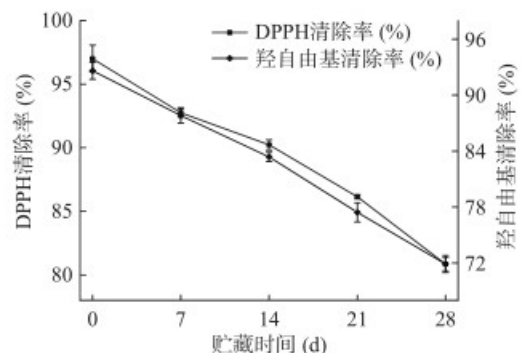


图5 贮藏期抗氧化能力变化

Fig.5 Changes in antioxidant capacity during storage

在室温条件下贮藏, 但长期贮藏也会引起花青素发生降解反应, 从而抗氧化能力下降^[30]。

2.3.5 复合饮料贮藏期色泽变化 色泽是评价复合饮料贮藏期品质变化一个比较明显的因素, 直观感觉和数据分析结合起来评价色泽变化。黑果腺肋花楸红树莓复合饮料贮藏时间与色度及 ΔE 的关系如表 6 所示。 L^* 值随着贮藏时间延长, 从 17.26 降低至 16.82, 呈现出减小趋势, 说明贮藏期间发生了一定褐变导致颜色变暗, 但下降趋势相较于同系列产品来说变化较小^[13], 因产品本身色泽较深, 不易观察; a^* 值与 b^* 值均随着贮藏时间延长而显著 ($P<0.05$) 变大, L^* 、 a^* 与 b^* 在贮藏期均有显著 ($P<0.05$) 变化, 尤以 a^* 变化最大。综上并结合 ΔE 可以看出, 贮藏期内复合饮料颜色变化明显, 是因为出现了轻微褐变以及环境因素引起的颜色变化而致^[37]。

表 6 复合饮料贮藏期色泽变化				
Table 6 Variation of chromatic aberration during storage of compound beverage				
贮藏时间(d)	L^*	a^*	b^*	ΔE
0(对照)	17.26±0.01 ^a	6.21±0.01 ^e	1.10±0.04 ^e	0.00
7	17.23±0.01 ^b	6.62±0.03 ^d	1.19±0.01 ^d	0.42±0.01 ^d
14	16.89±0.01 ^d	6.73±0.10 ^e	1.45±0.02 ^c	0.73±0.01 ^c
21	17.05±0.01 ^c	7.04±0.02 ^b	1.59±0.01 ^b	0.99±0.01 ^b
28	16.82±0.02 ^e	7.45±0.03 ^a	1.64±0.04 ^a	1.41±0.03 ^a

2.3.6 复合饮料贮藏期粒径变化 复合饮料贮藏期内粒径变化如图 6 所示, 随着贮藏期延长粒径分布发生了变化, D_{50} 从 0 d 的 74.33 μm 增加到 28 d 的 83.38 μm , 变化范围不大, 7 d 内复合饮料粒径分布变化明显, 7~28 d 粒径分布无明显变化。本产品粒径与相关文献相比^[38], 粒径偏大, 制作流程中无离心工艺可能是导致数据偏大的原因, 另外复合饮料制作过程中无高压均质处理, 后续可参考崔燕等^[39] 方法, 进行均质处理改善产品品质, 提高产品稳定性。

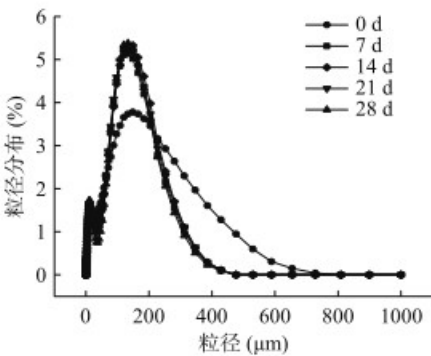


图 6 贮藏期粒径变化
Fig.6 Grain size changes during storage

2.3.7 复合饮料贮藏期香气变化 电子鼻主要是模拟人嗅觉系统, 利用 10 个金属传感器对不同气味的敏感程度来识别挥发性气味^[40]。从图 7 可以看出, 复合饮料的风味在不同贮藏时间存在差异, 随着时间

延长, 风味会越来越不突出。贮藏期间传感器 W5S、W1S 和 W2S 的响应值在复合饮料中较大, 尤其是 W5S, 这说明样品中含有较多的氮氧化合物, 其次是 W1S 和 W2S 的响应值较高, 是因为样品中含有较多的甲基化合物、醇类和醛酮类, 这与文献 [41-43] 对黑果腺肋花楸和红树莓的 GC-MS 分析数据一致。此外, 图 7 中各传感器在贮藏前期对风味敏感程度更为突出, 随贮藏期延长, 敏感程度大多呈下降趋势, 其次, 复合饮料气味淡, 导致其他传感器变化规律不明显。

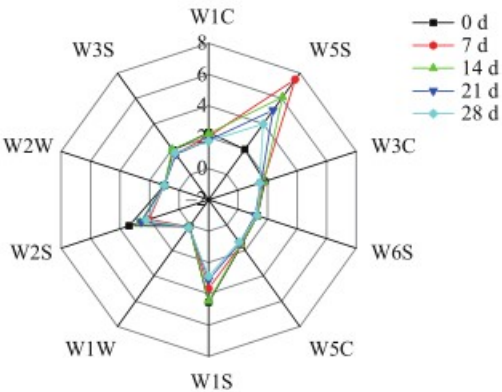


图 7 贮藏期电子鼻雷达图
Fig.7 Electronic nose radar map during storage

2.4 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料流体类型

分别在 25、35、45、55 和 65 $^{\circ}\text{C}$ 下, 作曲线图如图 8 所示, 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料在不同温度条件下, 剪切应力随着剪切速率的增大而增大, 各温度条件下, 流变曲线呈一条向上凸的曲线, 符合假塑性流体特征。为了验证由图直观得出的流体类型结论, 通过幂律方程对复合饮料流变特性曲线进行拟合, 结果见表 7, K 表示粘度系数, n 表示流动指数, $0<n<1$, 对应与剪切稀化为假塑性流体^[44], R^2 表示拟合精度, 其值越高说明拟合效果越好, 具有较高水平^[45-46]。

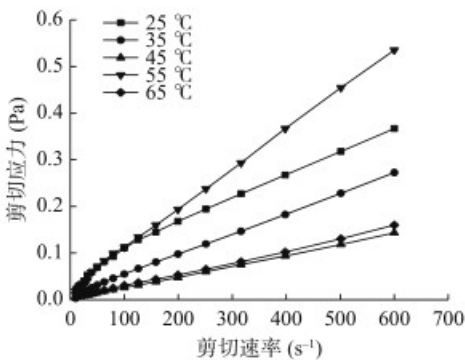


图 8 复合饮料流体类型
Fig.8 Compound beverage fluid type

2.5 黑果腺肋花楸红树莓复合饮料贮藏期各指标相关性分析

贮藏期内各指标之间相关性分析如表 8 所示。

表7 不同贮藏时间下流体特征性参数

Table 7 Fluid characteristic parameters at different storage times

温度(℃)	K(Pa·s)	n	R ²
25	0.0017	0.85	0.9800
35	0.0008	0.91	0.9987
45	0.0003	0.96	0.9980
55	0.0012	0.96	0.9970
65	0.0005	0.89	0.9923

可溶性固形物含量与沉淀率呈正相关,但不显著,说明贮藏期间这两个指标之间不存在互相影响关系,而可溶性固形物含量与花青素含量、DPPH 自由基清除率和羟自由基清除率均呈现显著负相关($P<0.05$ 或 $P<0.01$),相关系数达到-0.9以上,其中与DPPH 自由基清除率相关性极显著($P<0.01$),沉淀率与花青素含量、DPPH 自由基清除率和羟自由基清除率也呈现负相关,但不显著。而花青素含量与DPPH 自由基清除率和羟自由基清除率之间呈现正相关关系且相关性极显著($P<0.01$),相关系数达到0.98以上,这说明花青素这一物质对抗氧化能力起到较高的贡献作用^[47],DPPH 自由基清除率和羟自由基清除率两因素之间相关性极显著($P<0.01$)。

表8 不同贮藏时间下各指标相关性分析

Table 8 Correlation analysis of each index under different storage time

指标	可溶性固形物含量	沉淀率	花青素含量	DPPH 清除率	羟自由基清除率
可溶性固形物含量	1				
沉淀率	0.623	1			
花青素含量	-0.939*	-0.853	1		
DPPH清除率	-0.960**	-0.807	0.994**	1	
羟自由基清除率	-0.954*	-0.800	0.987**	0.997**	1

注:**表示非常显著,即 $P<0.01$ 水平显著;*表示显著,即 $P<0.05$ 水平显著。

3 结论

本研究以黑果腺肋花楸和红树莓为主要原料,制得复合饮料,通过单因实验与正交优化确定该复合饮料最优配方为:黑果腺肋花楸汁 55.0%、红树莓汁 20.0%、蔗糖 9.0%、柠檬酸 0.2%、饮用水 15.8%。所得感官评分为 79.30 分,此时具有独特原料果香,色泽均匀,口感酸甜适中。研究贮藏期复合饮料品质变化规律得出,可溶性固形物含量和沉淀率显著($P<0.05$)增加,花青素含量和抗氧化能力随贮藏时间延长逐渐下降,色差变化显著($P<0.05$),粒径分布 7~28 d 内,仅 7 d 内变化明显,此外,电子鼻能较好地反应复合饮料贮藏风味,并利用流变仪对复合饮料流体类型进行分析为假塑性流体。本文将黑果腺肋花楸和红树莓复配饮品,提升了浆果类原料附加值,从而为相关复合饮料开发提供新思路。

参考文献

[1] 殷夏伟,王储炎,杨柳青,等.黑果腺肋花楸果的活性成分、生

理功能及应用[J].食品与机械,2021,37(3):213-220. [YIN X W, WANG C Y, YANG L Q, et al. The active components, physiological function and application of the fruit of *Liriodendron melanocarpa* [J]. Food Mach, 2021, 37(3): 213-220.]

[2] KADIER T, SUN G, HUANG Y. Chemical composition of *Aronia melanocarpa* [J]. Chemistry of Natural Compounds, 2021, 57(2): 364-366.

[3] SIDOR A, DROZDZYNSKA A, GRAMZA-MICHALOWSKA A. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and its products as potential health-promoting factors-An overview [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 89: 45-60.

[4] 王子涵,向敏,徐茂,等.响应面优化黑果腺肋花楸汁澄清工艺及其抗氧化活性评价[J].食品与发酵工业,2021,47(8):189-196. [WANG Z H, XIANG M, XU M, et al. Response surface optimization of clarifying process and antioxidant activity evaluation of Sorrowan juice [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(8): 189-196.]

[5] EFENBERGER-SZMECHTYK M, GALAZKA-CZAMECKA I, OTLEWSKA A, et al. *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot, *Chaenomeles superba* Lindl. and *Cornus mas* L. leaf extracts as natural preservatives for pork meat products [J]. Molecules, 2021, 26(10): 3009-3028.

[6] 张雪梅,尹俊涛,刘艳怀,等.蓝莓红树莓复合果汁的配方优化及稳定性研究[J].农产品加工,2021(4):13-16,23. [ZHANG X M, YIN J T, LIU Y H, et al. Study on formulation optimization and stability of blueberry and red raspberry compound juice [J]. Farm Prod Process, 2021(4): 13-16,23.]

[7] ZHANG H, MILES C, GHIMIRE S, et al. Polyethylene and biodegradable plastic mulches improve growth, yield, and weed management in florican red raspberry [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 250: 371-379.

[8] QUINTANILLA A, ZHANG H, POWERS J, et al. Developing baking-stable red raspberries with improved mechanical properties and reduced syneresis [J]. Food and Bioprocess Technology, 2021, 14(5): 804-816.

[9] 刘畅,冯建文,旷慧,等.红树莓柚子复合果汁配方优化[J].食品工业科技,2018,39(3):143-147,152. [LIU C, FENG J W, KUANG H, et al. Optimization of red raspberry and grapefruit compound juice formula [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(3): 143-147,152.]

[10] 张雪梅,尹俊涛,刘艳怀,等.黑果腺肋花楸紫胡萝卜复合果汁的工艺研究[J].农产品加工,2021,10(19):41-45. [ZHANG X M, YIN J T, LIU Y H, et al. Study on the technology of purple carrot compound juice of *Sorbus rubus* [J]. Farm Prod Process, 2021, 10(19): 41-45.]

[11] 王思博,朱丹,宁志雪,等.黑果腺肋花楸果汁饮料研制及其品质与抗氧化性评价[J].食品工业科技,2021,42(20):86-93. [WANG S P, ZHU D, NING Z X, et al. Preparation and evaluation of quality and antioxidant activity of fruit juice beverage of *Sorbus nigricans* [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(20): 86-93.]

[12] 段腊梅,黄威,纪秀凤,等.NFC南果梨黄秋葵复合汁配方优化及杀菌方式对其品质的影响[J].食品工业科技,2021,42(12):145-150. [DUAN L M, HUANG W, JI X F, et al. Optimization of NFC Nguo pear okra compound juice and effect of ger-

- micidal methods on its quality[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(12): 145–150.]
- [13] 范金波, 安佳鑫, 王雨, 等. NFC 复合梨汁的配方筛选及贮藏品质变化研究[J]. *包装与食品机械*, 2020, 38(1): 8–13. [FAN J B, AN J X, WANG Y, et al. Study on formula selection and storage quality change of NFC compound pear juice[J]. *Packag Food Process*, 2020, 38(1): 8–13.]
- [14] 纪秀凤. 红树莓籽中低聚原花青素纯化鉴定及其微胶囊化研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019. [JI X F. Purification, identification and microencapsulation of mligomorphie proanthocyanidins from red raspberry seeds[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.]
- [15] BENNETT C, SOOKWONG P, JAKMUNEE J, et al. Smartphone digital image colorimetric determination of the total monomeric anthocyanin content in black rice via the pH differential method[J]. *Analytical Methods*, 2021, 13(30): 3348–3358.
- [16] LI L, YANG G, REN M, et al. Co-regulation of auxin and cytokinin in anthocyanin accumulation during natural development of purple wheat grains[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2021, 40(5): 1881–1893.
- [17] HAO J, LI J, ZHAO D. Effect of slightly acidic electrolysed water on functional components, antioxidant and α -glucosidase inhibitory ability of buckwheat sprouts[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(7): 3463–3473.
- [18] SHAHIDI F, ZHONG Y. Measurement of antioxidant activity[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 18: 757–781.
- [19] 苏龙, 吴小梅, 陈玉菲, 等. 响应面优化柚子百香果酒发酵工艺及其抗氧化性[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(15): 5161–5168. [SU L, WU X M, CHEN Y F, et al. Optimization of fermentation technology and antioxidant activity of grapefruit passion fruit wine by response surface[J]. *Food Saf Qual*, 2019, 10(15): 5161–5168.]
- [20] 吴国美, 张秀玲, 高诗涵, 等. 蓝靛果的酶解工艺优化及抗氧化特性研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(23): 124–130. [WU G M, ZHANG X L, GAO S H, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis technology and study on antioxidant properties of indigo fruit[J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(23): 124–130.]
- [21] 韩晶, 邵子吟, 王洁洁, 等. 板栗黄茶冲调粉的配方优化及品质分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(13): 4358–4363. [HAN J, SHAO Z H, WANG J J, et al. Formulation optimization and quality analysis of Chinese chestnut yellow tea powder[J]. *Food Saf Qual*, 2020, 11(13): 4358–4363.]
- [22] 曹雪慧, 赵东宇, 赵宇婷, 等. 食用胶对皇冠梨油汁稳定性的影响[J]. *包装与食品机械*, 2019, 37(5): 1–6. [CAO X H, ZHAO D Y, ZHAO Y T, et al. Effect of edible gum on stability of crown pear turbidized juice[J]. *Packag Food Process*, 2019, 37(5): 1–6.]
- [23] 石晨晖, 沈晓溪, 张一鸣, 等. 葡萄桑葚复合果醋工艺优化和不同发酵时期的风味成分检测[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(20): 164–172. [SHI C H, SHEN X X, ZHANG Y M, et al. Optimization of grape and mulberry complex fruit vinegar and detection of flavor components in different fermentation stages[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(20): 164–172.]
- [24] MOTA I, TEIXEIRA-SANTOS R, RUFO J C. Detection and identification of fungal species by electronic nose technology: A systematic review[J]. *Fungal Biology Reviews*, 2021, 37: 59–70.
- [25] 王新明, 吕长鑫, 纪秀凤, 等. 红树莓桑葚复合饮料工艺优化及其流变特性研究[J]. *渤海大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(2): 127–134. [WANG X M, LÜ C X, JI X F, et al. Study on process optimization and rheological properties of red raspberry mulberry compound beverage[J]. *Journal of Bohai University (Natural Science Edition)*, 2019, 40(2): 127–134.]
- [26] UZAY M, OZTURK H I, BUZUL S, et al. A study on rheological properties, sensory evaluation and shelf life of ayran–shalgam mixtures[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58(7): 2479–2486.
- [27] 王赞, 肖祥云, 刘云, 等. 无子刺梨红茶复合饮料配方研究及其香气成分分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(11): 3660–3667. [WANG Y, XIAO X Y, LIU Y, et al. Study on the formula of Roxburgh rose black tea and analysis of its aroma components[J]. *Food Saf Qual*, 2022, 13(11): 3660–3667.]
- [28] 傅金凤, 黄美娜, 朱培渤, 等. 响应面法优化发芽糙米酒茶复合饮料制备工艺[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(15): 193–201. [FU J F, HAUNG M N, ZHU P B, et al. Optimization of preparation process of germinated brown rice wine tea beverage by response surface methodology[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(15): 193–201.]
- [29] OBOH F O, IMAFIDON J. Antioxidant and sensory properties of new beverage formulations composed of palm sugar, *Aframomum melegueta*, and citric acid[J]. *Beverages*, 2018, 4(3): 59.
- [30] 代文清. 苹果梨黑果腺肋花楸汁贮藏品质变化及体外模拟胃肠消化[D]. 锦州: 渤海大学, 2021. [DAI W Q. Changes of storage quality and *in vitro* simulated gastrointestinal digestion of Sorbus japonicus juice[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021.]
- [31] 黄周群, 毛丙永, 崔树茂, 等. 富含共轭脂肪酸的发酵核桃乳的稳定性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(1): 131–138. [HUANG Z Q, MAO B Y, CUI S M, et al. Study on stability of fermented walnut milk rich in conjugated fatty acids[J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(1): 131–138.]
- [32] KC Y, SUBBA R, SHIWAKOTI L D, et al. Utilizing coffee pulp and mucilage for producing alcohol-based beverage[J]. *Fermentation*, 2021, 7(2): 53–66.
- [33] 马鹏利, 张馨予, 冬子众. 超高压和热处理对混合果蔬汁品质影响的比较研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(20): 51–57. [MA P L, ZHANG X Y, DONG Z Z. Comparative study on the effects of ultrahigh pressure and heat treatment on the quality of mixed fruit and vegetable juice[J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(20): 51–57.]
- [34] TOTAD M G, SHARMA R R, SETHI S, et al. Effect of edible coatings on 'Misty' blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruits stored at low temperature[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2019, 41(12): 1–7.
- [35] 彭洁, 吴菲菲, 李化强, 等. 超声辅助酸性乙醇提取紫甘薯花青素的响应面法优化工艺[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(7): 2773–2781. [PENG J, WU F F, LI H Q, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from purple sweet potato by acid ethanol using response surface methodology[J]. *Food Saf Qual*, 2021, 12(7): 2773–2781.]
- [36] 王亚男. 寒地桑葚山葡萄复合饮料的制备及花青素的分离

- [D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2020. [WANG Y N. Preparation and separation of anthocyanins of compound beverage of Mulberry and grape in cold region[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2020.]
- [37] 陈金华, 王英姿, 黄建安. 不同贮藏温度对茶饮料品质的影响研究[J]. 中国茶叶加工, 2020(4): 60–68. [CHEN J H, WANG Y Z, HAUNG J A. Study on the effect of different storage temperature on the quality of tea beverage[J]. China Tea Process, 2020(4): 60–68.]
- [38] 齐兵, 赵慧博, 赵慧敏, 等. 均质条件对核桃乳稳定性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 201–207. [QING B, ZHAO H B, ZHAO H M, et al. Effects of homogenization conditions on the stability of walnut milk[J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(7): 201–207.]
- [39] 崔燕, 郭加艳, 宣晓婷, 等. 高压均质对 NFC 水蜜桃浊汁稳定性及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 322–330. [CUI Y, GUO J Y, XUAN X T, et al. Effect of high pressure homogenization on stability and quality of NFC peach turbid juice[J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(18): 322–330.]
- [40] GORSKA-HORCZYK E, ZALEWSKA M, WIERZBICKA A. Chromatographic fingerprint application possibilities in food authentication[J]. European Food Research and Technology, 2022, 248(4): 1163–1177.
- [41] 毛建利, 李艳. 黑果腺肋花楸酒与赤霞珠葡萄酒香气物质对比分析[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 270–276. [MAO J L, LI Y. Comparative analysis of aroma substances between cabernet sauvignon and liriodendron melanocarpa Wine[J]. Food Sci, 2019, 40(22): 270–276.]
- [42] 巴俊文. 红树莓-蓝莓复合果酒工艺研究及其香气成分分析[D]. 锦州: 渤海大学, 2019. [BA J W. Study on the technology of red raspberry-blueberry compound fruit wine and analysis of aroma components[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.]
- [43] 沈雨思, 朱丹实, 潘越, 等. NFC 苹果浊汁褐变与品质相关性研究[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(5): 156–164. [SHEN Y S, ZHU D S, PAN Y, et al. Study on correlation between Browning and quality of NFC apple juice[J]. Food Sci Technol, 2021, 39(5): 156–164.]
- [44] 李鑫. 复合型黑蒜通便功能饮料的研究与开发[D]. 天津: 天津科技大学, 2015. [LI X. Research and development of black garlic laxative energy drink[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015.]
- [45] 周启萍, 张兆云, 袁翔, 等. 啤特果果汁流变学特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 76–81. [ZHAO Q P, ZHANG Z Y, YUAN X, et al. Study on rheological properties of beer fruit juice[J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(8): 76–81.]
- [46] 程煥, 姚舒婷, 周声怡, 等. 樱桃番茄果脯加工糖煮液中果胶和微颗粒对其流变特性的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(2): 144–151. [CHENG H, YAO S T, ZHOU S Y, et al. Effect of pectin and microparticles on the rheological properties of cherry tomato preserved fruit[J]. Chin Inst Food Sci Technol, 2021, 21(2): 144–151.]
- [47] 王妍惠. 红树莓叶多酚提取纯化及其抗氧化活性研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021. [WANG Y H. Study on extraction, purification and antioxidant activity of polyphenols from red raspberry leaves[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021.]