

发酵蓝靛果果汁澄清工艺及贮藏稳定性研究

王鑫^{1,2}, 修伟业², 毕海鑫², 遇世友², 黎晨晨², 那治国^{1,2}, 韩春然²

(1.黑龙江省林业科学院 哈尔滨 150081; 2. 哈尔滨商业大学 a.黑龙江省谷物食品与
谷物资源综合加工重点实验室 b.食品工程学院 哈尔滨 150028)

摘要: **目的** 解决发酵蓝靛果果汁在加工过程中易产生浑浊、降低果汁品质的问题。**方法** 将聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)与果胶酶复配后得到复合澄清剂,采用单因素试验及响应面实验进行优化,并评价贮藏稳定性。**结果** 得到了最佳澄清工艺参数,澄清温度为34℃,澄清时间为40 h,复合澄清剂的添加量为3 g/L。在该条件下果汁的透光率为94.92%。与未澄清的果汁相比,澄清后果汁的涩度降低、澄清度提高、亮度增强、呈淡紫红色,有效提升了果汁的品质。在4℃条件下贮存28 d后,经澄清处理后蓝靛果果汁的pH、总酸含量和可溶性固形物含量的波动范围较小,感官品质保持良好。**结论** 采用此方法可以有效澄清发酵蓝靛果果汁,使果汁保持良好的贮藏稳定性,为延长发酵蓝靛果果汁货架期提供了新思路。

关键词: 蓝靛果; 发酵果汁; 澄清; 贮藏稳定性

中图分类号: TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)11-0087-12

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.11.010

Clarification Process and Storage Stability of Fermented *Lonicerna Caerulea* Juice

WANG Xin^{1,2}, XIU Wei-ye², BI Hai-xin², YU Shi-you², LI Chen-chen², NA Zhi-guo^{1,2}, HAN Chun-ran²

(1. Heilongjiang Academy of Forestry, Harbin 150081, China; 2. a. Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Cereal and Comprehensive Processing of Cereal Resources b. School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem that fermented *Lonicerna Caerulea* juice is easy to produce turbidity which reduces the juice quality during processing. The composite clarifier was obtained by compounding PVPP and pectinase, optimized by a single-factor test and response surface experiment to evaluate its storage stability. The clarification process was obtained as follows: clarification temperature of 34 °C, clarification time of 40 h, and compound clarifier addition of 3 g/L. The light transmission rate of juice under this condition was 94.92%. Compared with the unclarified one, the astringency value of the clarified juice was reduced, the clarity was improved, the brightness was enhanced. The juice was pale violet red. The juice quality was effectively improved. The fluctuation range of pH, total acid, and soluble solids of clarified fermented *Lonicerna Caerulea* juice was small after 28 d of storage at 4 °C. The sensory quality was maintained well. This method can effectively clarify the fermented *Lonicerna Caerulea* juice while maintaining good storage stability, which provides a new idea for extending the shelf life of fermented *Lonicerna Caerulea* juice.

KEY WORDS: *Lonicerna Caerulea*; fermented juice; clarification; storage stability

收稿日期: 2022-07-16

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发计划(GA20B301)

作者简介: 王鑫(1984—),女,博士,高级工程师,主要研究方向为农林产品加工及利用。

通信作者: 韩春然(1970—),女,博士,教授,主要研究方向为天然产物加工及利用。

蓝靛果 (*Lonicera caerulea* L) 属茜草目忍冬科忍冬属, 常见名称有山茄子、黑瞎子果等, 是东方国家的知名植物^[1]。蓝靛果具有较高的抗氧化活性, 源于蓝靛果中存在花青素、黄酮、酚酸、维生素、黄酮醇和矿物质等多种生物活性物质, 这些活性成分也影响着果实的品质和性状^[2]。此外, 与其他浆果相比, 蓝靛果富含更多的维生素 C, 因此被誉为“超级水果”^[3]。

采用生物发酵技术可制备兼具特殊营养和感官品质的浆果饮品, 其中, 以酵母菌发酵的低酒精度饮品的接受度较高^[4]。在榨汁、发酵、澄清、杀菌等操作过程中, 浆果果汁的一些化学物质和大分子胶体 (如溶解度大的盐类、蛋白质、果胶、色素及单宁等) 容易引起物理、化学及生物学变化, 使果汁产生沉淀物, 进而影响其品质和观感, 这是浆果类发酵产业的一项技术难题。常见的澄清方法包括自然法、超滤法、机械法和澄清剂法^[5], 上述方法常应用于树莓等浆果果汁的澄清中^[6]。目前, 有关发酵蓝靛果果汁澄清工艺的研究报道较少。这里针对发酵蓝靛果果汁澄清工艺, 通过单因素及响应面实验进行探究, 测定澄清前后理化指标的变化情况, 同时在冷藏和常温 2 种贮藏条件下澄清后, 测定发酵蓝靛果果汁的微生物、理化和感官指标, 评估其贮藏稳定性, 以期发酵蓝靛果果汁产业化提供理论基础。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 蓝靛果, “蓓蕾”品种, 产自黑龙江省勃利县, 鲜果采摘于 6—7 月份, 采用冷冻保藏; 果酒酵母菌种, La Delicieuse (LA-DE), 产自烟台帝伯仕自酿机有限公司, 在 4 °C 下保藏; 明胶、果胶酶 (15 000 U/g)、蛋清粉、硅藻土、聚乙烯吡咯烷酮 (PVPP), 均为国产食品级; 其余试剂, 均为国产分析纯。

主要仪器: JS39D-250 型料理机, 浙江苏泊尔有限公司; ZHWY-2102C 型恒温摇床培养箱, 上海智诚仪器有限公司; HD-920 型无菌超净台, 北京东联哈尔仪器有限公司; TD5A 型台式高速离心机, 湖南凯达仪器有限公司; UV-5200 型紫外分光光度计, 上海元析仪器有限公司; CR-400 型色差仪, 日本 Konica Minolta 公司; SHZ-B 型恒温水浴振荡器, 上海博迅医疗设备厂; 手持糖度计, 力辰科技有限公司; HWS-26 型数显 pH 计, 上海一恒仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 发酵蓝靛果汁的制备

将蓝靛果于室温下自然解冻, 去除残留的枝叶,

挑选成熟、完好无损的果实清洗后, 通过榨汁机搅拌打浆, 使果实充分压榨破碎。将榨汁后的蓝靛果浆采用四层无菌纱布过滤除杂, 并于 4 000 r/min 条件下离心 5 min, 然后再于 121 °C 下灭菌 20 min, 冷却至室温后, 得到蓝靛果果汁。按质量分数 1% 的添加量接种活化好的 LA-DE 酵母菌 (活化后菌液的浓度为 10^7 CFU/mL), 于 18 °C 条件下发酵 8 d。将澄清后的果汁离心, 采用热处理方式在 80 °C 条件下保持 8 min, 将酵母菌灭活, 并杀菌, 冷却后即得到发酵蓝靛果果汁澄清前样品, 备用。测定其相关品质参数^[7]。

1.2.2 单因素试验

1.2.2.1 透光率的测定

在 4 000 r/min 条件下, 将蓝靛果果汁离心 10 min, 去沉淀, 留上清液。将 5 mL 果汁上清液置于烧杯中, 稀释 50 倍。以蒸馏水为对照, 测定 500~800 nm 内的吸光度。计算果汁透光率, 确定澄清果汁的最佳测定波长, 并在此波长下测定吸光值^[8-9]。

1.2.2.2 澄清剂的筛选

将 50 mL 蓝靛果果汁置于 100 mL 锥形瓶中, 分别加入不同浓度的明胶溶液 (1 g 明胶溶于 100 mL 水中)、果胶酶溶液 (1 g 果胶酶溶于 100 mL 水中)、蛋清粉溶液 (10 g 蛋清粉溶于 100 mL 水中)、PVPP 溶液 (1 g PVPP 溶于 100 mL 水中)、硅藻土溶液 (10 g 硅藻土溶于 100 mL 水中), 在 30 °C 下恒温水浴振荡 3 min, 以使果汁与澄清剂充分混合, 在 25 °C 下静置 24 h, 于 4 000 r/min 条件下离心 10 min, 取 5 mL 上清液, 稀释 50 倍至 250 mL, 于波长 700 nm 下测定透光率。

1.2.2.3 复合澄清剂澄清工艺的单因素试验

根据澄清剂筛选实验结果, 将果胶酶和 PVPP 以质量比 1:1 的比例进行复合, 考察复合澄清剂添加量 (2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5 g/L)、澄清温度 (20、25、30、35、40 °C) 和澄清时间 (12、24、36、48、60 h) 对蓝靛果果汁澄清效果的影响。

1.2.3 响应面优化试验

利用 Box-Behnken 设计-响应面分析法, 以透光率为响应值进行各因素间的交互作用分析, 研究复合澄清剂添加量、澄清温度和澄清时间对蓝靛果果汁澄清效果的影响。设计因素和水平见表 1。

表 1 试验设计因素水平
Tab.1 Factors levels and coding of experiments design

水平	因素		
	复合添加量 $A/(g \cdot L^{-1})$	澄清温度 $B/^{\circ}C$	澄清时间 C/h
-1	2.50	30	24
0	3.00	35	36
1	3.50	40	48

1.2.4 澄清后理化指标测定

澄清前后果汁中残糖、总酸、酒精度的测定参照 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》进行, 涩度参考包赛依娜等^[10]的方法进行, 色泽采用色差仪测定, 花色苷采用 pH 示差法测定, 可溶性固形物含量采用手持糖度计法测定。

1.2.5 贮藏稳定性的测定

经澄清处理后, 将果汁分为 2 组, 分别置于 4℃ 和 24℃ 下贮藏, 检测各组果汁在 0、4、8、12、16、20、24、28 d 时的理化指标和感官指标, 观察贮藏期间果汁品质的变化^[11]。

1.2.5.1 理化指标的测定

pH 采用 pH 计测定, 可溶性固形物含量采用手持糖度计法测定, 总酸含量参照 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》测定。将蓝靛果果汁于波长 700 nm 下测定其透光率。色泽指标采用色差仪测定, 总色差 ΔE 的计算^[12-13]见式(1)。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$
 (1)

式中: ΔL 为处理组 L^* (明度值) 与对照组 L^* 之差; Δa 为处理组 a^* (红绿值) 与对照组 a^* 之差; Δb 为处理组 b^* (黄蓝值) 与对照组 b^* 之差。

1.2.5.2 感官指标的测定

评价小组由 10 人 (男女各半, 均进行了感官培训) 组成。从色泽、香气和状态 3 个方面对发酵蓝靛果果汁进行评定, 评分标准如表 2 所示。

表 2 感官评分标准
Tab.2 Sensory evaluation standard

指标	描述	评价/分	占比/%
香气	果香和发酵香醇厚, 无异味	8~10	35
	果香和发酵香寡淡, 略有异味	5~7	
	无果香和发酵香, 有异味	0~4	
状态	质地均匀, 澄清、无悬浮物	8~10	35
	略有浑浊及沉淀物	5~7	
	分层明显, 浑浊、悬浮物较多	0~4	
色泽	颜色协调, 光泽度良好	8~10	30
	颜色存在偏差, 略有光泽	5~7	
	颜色异常或褪色, 光泽度差	0~4	

1.3 数据处理

所有实验平行测定 3 次, 结果以均数±标准差表示。采用 SPSS 22.0、Origin 2018 等软件对数据进行处理, 并作图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 澄清剂筛选结果

由图 1a 可知, 在波长为 700 nm 处, 蓝靛果果汁的透光率为 90% 以上, 并逐渐平稳, 因此确定 700 nm 为蓝靛果果汁透光率的最适测定波长。

5 种澄清剂对发酵蓝靛果果汁均有一定的澄清效果, 但澄清效果差异明显。明胶溶液 (图 1b) 和硅藻土溶液 (图 1f) 的澄清度较低, 且过量使用后明胶出现下胶现象^[14]。蛋清粉溶液 (图 1d) 的澄清效果适中, 但其成本较高。果胶酶溶液 (图 1c) 和 PVPP 溶液 (图 1e) 在单独使用时对果汁的澄清效果最好, 且相对稳定。当果胶酶和 PVPP 溶液的添加量分别为 1.80、1.00 g/L 时, 发酵蓝靛果果汁的最佳透光率分别达到 (91.58±0.31)% 和 (91.25±0.27)%。果胶酶能够水解发酵蓝靛果果汁中的果胶, 使果汁中的不溶性大分子和果肉等微粒失去胶体的保护作用^[15], 发生共聚沉淀现象, 使得果汁澄清。PVPP 是一种具有吸附性且易流动的合成下胶剂, 其作用条件较温和^[16]。将 PCPP 作为澄清剂加入果汁中, 它能够与果汁中的多酚类物质通过羰基作用形成氢键络合物^[17]。当 PVPP 的添加量足够且适度时, 该络合物可以吸附果汁中的多酚和蛋白质等物质, 在保持果汁原有新鲜感和果香的同时, 减弱了苦涩味道, 获得了澄清度较高的蓝靛果果汁。结合实际、材料、经济等多方面因素, 选择果胶酶和 PVPP 作为复合澄清剂进行后续实验。

2.1.2 复合澄清剂添加量对澄清效果的影响

由图 2a 可知, 当添加 2~3 g/L 的复合澄清剂时, 透光率呈直线上升趋势; 当添加量达到 3 g/L 时, 透光率最高, 为 (91.72±0.22)%。通过视觉可以看出, 果汁的颜色变浅, 且透明度有所提升, 澄清后在试管底部产生了沉淀物, 澄清效果明显, 透明度得到改善。继续增加果胶酶和 PVPP 的用量时, 透光率有所降低。这是因为果胶酶与 PVPP 混合时, PVPP 能够吸附果汁中对透光率影响显著的物质 (如单宁), 果胶酶能够将果汁中的果胶等悬浮物有效分解。当二者过量时, 不但未能达到澄清目的, 反而使多余的复合物溶解于果汁中, 导致浑浊。由此, 选择复合澄清剂的添加量为 2.50~3.50 g/L 进行后续响应面实验。

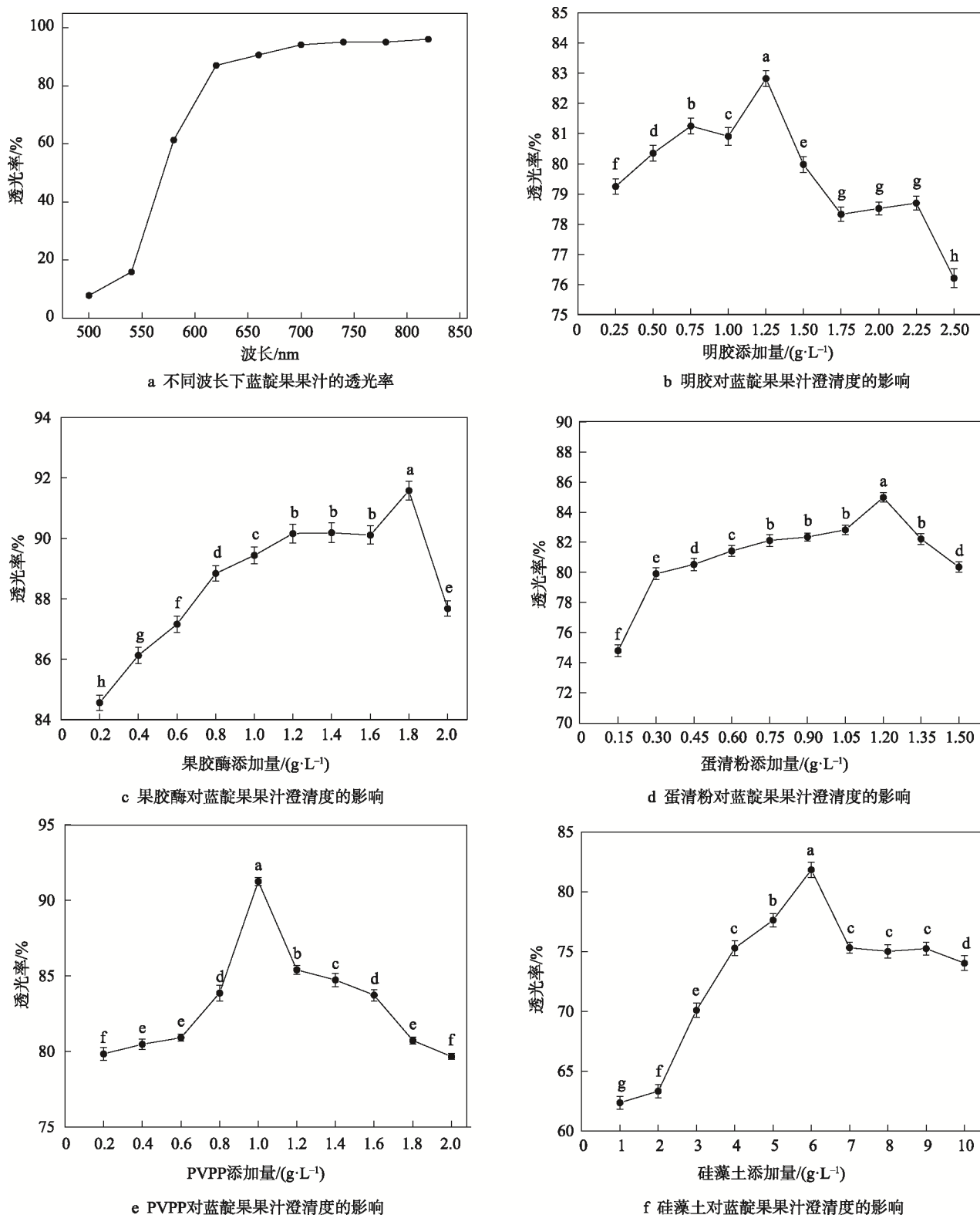


图1 单一澄清剂筛选结果
Fig.1 Single clarifier screening results

2.1.3 澄清温度对澄清效果的影响

由图2b可知,当澄清温度为20~35℃时,果汁的透光率呈明显上升趋势;当澄清温度为35℃时,透光率最高,达到(92.28±0.23)%,果汁的色泽和

透明度均得到改善;当温度继续升高时,透光率显著下降。这是由于酶活性直接受到温度的影响,在低温时能抑制酶活性,在高温时酶的结构易遭到破坏,甚至失活,且花色苷、黄酮等有效活性成分可能被分解,

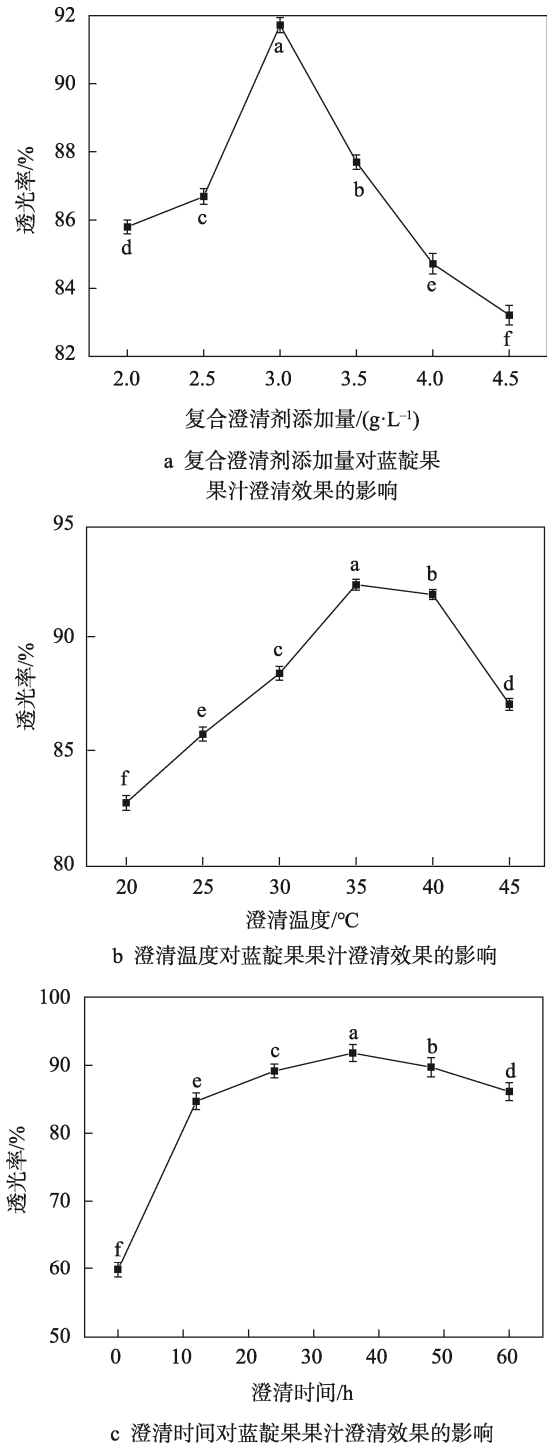


图 2 单因素实验结果
Fig.2 Single-factor experimental results

从而影响了果汁的澄清度^[18]。这也说明合适的温度对果汁中分子运动速率有着积极作用,能够有效地将果胶酶与 PVPP 结合,形成稳定的热力学结构,使复合澄清剂充分发挥效果。由此,选择澄清温度为 30~40℃进行后续响应面实验。

2.1.4 澄清时间对蓝靛果果汁澄清效果的影响

由图 2c 可知,在澄清时间为 0~60 h 时,透光率呈先增加后下降的趋势;在澄清时间为 0~36 h 时,

透光率由 (59.83±1.10)% 增至 (91.84±1.25)%, 增加幅度较大,且澄清时间为 36 h 时透光率达到最高值,此后开始下降。这是因为过短的澄清时间导致澄清剂与悬浮物未完全结合,过长的澄清时间则使部分沉淀物重新与果汁融合,对果汁的澄清无促进作用,且影响果汁品质。可见适宜的澄清时间会使果汁中的正负电荷微粒之间产生静电作用,通过离心及加热灭酶可将悬浮于果汁中的物质依附于澄清剂,并发生絮凝沉降^[19],达到最佳的澄清效果。由此,选择澄清时间 24~48 h 为宜。

2.2 澄清工艺响应面优化实验

以单因素试验为基础,进行响应面回归试验,考察复合澄清剂添加量、澄清温度、澄清时间 3 个因素及各因素之间的交互作用对蓝靛果果汁透光率的影响。采用 Design Expert 8.0 软件对试验数据进行拟合分析,确定发酵蓝靛果果汁的最优澄清条件,试验设计及结果见表 3。

表 3 响应面设计模型及结果
Tab.3 Response surface design model and results

试验号	复合添加量 A/(g·L ⁻¹)	澄清温 度 B/°C	澄清时 间 C/h	透光率 Y/%
1	-1 (2.50)	-1 (30)	0 (36)	85.91
2	1 (3.50)	-1	0	91.86
3	-1	1 (40)	0	87.87
4	1	1	0	88.92
5	-1	0 (35)	-1 (24)	83.37
6	1	0	-1	87.54
7	-1	0	1 (48)	86.13
8	1	0	1	87.85
9	0 (3.00)	-1	-1	90.78
10	0	1	-1	85.33
11	0	-1	1	87.58
12	0	1	1	92.32
13	0	0	0	94.74
14	0	0	0	94.46
15	0	0	0	93.33
16	0	0	0	93.64
17	0	0	0	94.53

对表 3 中的数据进行回归拟合,得到发酵蓝靛果果汁透光率的二次多项回归方程: $Y=94.14+1.61A-0.21B+0.86C-1.22AB-0.61AC+2.55BC-4.14A^2-1.36B^2-3.78C^2$ 。方差分析及回归模型系数显著性的结果见表 4。根据表 4 可知,模型中 $P<0.0001$ (极显著),失拟项 $P=0.8915>0.05$ (不显著),方程拟合度和相关性较好,误差较小,总决定系数 $R^2=0.9919$,能预测 99.19% 的数据,精确可信。校正系数 $R^2_{Adj}=0.9815$,说

明预测值与实际值高度一致^[20],模型可用来预测未知条件下复合澄清剂添加量、澄清时间和澄清温度对果汁透光率的影响。由此,采用该模型分析和预测发酵蓝靛果果汁的透光率,可有效反映真实值。

分析表4中的 F 值,确定影响蓝靛果果汁透光率的因素依次为澄清温度(B)<澄清时间(C)<澄清剂复合添加量(A)。由方差分析可知, A 、 C 、 AB 、 BC 、 A^2 、 B^2 、 C^2 项影响极显著($P<0.01$), AC 项影响显著($P<0.05$)。

响应面法是用以优化研究的统计方法,以响应面图的陡峭程度、等高线图的形状及排列密集程度为依据,判断不同因素交互作用的强度,形状越近似于椭圆,则交互作用越强;形状接近于圆形,说明交互作用不明显。

由图3可知,复合澄清剂添加量与澄清温度,澄清温度与澄清时间的交互作用的响应面图极为陡峭,形状呈拱形,说明这2个因素的交互作用对果汁透光率的影响较大,当这2个因素变化时,响应值也随之变化;等高线图均为椭圆,排列程度密集,说明复合澄清剂添加量与澄清温度(AB),澄清温度与澄清时间(BC)之间的交互作用十分显著。由图3b可知,等高线图近似于椭圆,说明澄清剂复合添加量与澄清温度之间的交互作用显著,与方差分析 P 的结果相符。

采用软件对数据进行响应面结果分析,预测发酵果汁的最佳澄清条件为:复合澄清剂添加量为3.13 g/L,澄清温度为34.18℃,澄清时间为40.42 h。在此条件下果汁的透光率预计可达到94.75%。

2.3 验证实验结果

考虑到实际的可操作性且能准确验证预测值的合理性,实际操作验证选取复合澄清剂添加量为3 g/L、澄清温度为34℃、澄清时间为40 h,在该条件下进行3次试验,取平均值,得到发酵蓝靛果果汁的透光率为 $(94.92\pm 0.27)\%$,与预测值的误差较小。说明所建模型有效可行,可以对发酵蓝靛果果汁澄清工艺进行优化、分析和预测。

2.4 发酵蓝靛果果汁澄清前后理化指标分析

在最优澄清工艺条件下,对发酵蓝靛果果汁进行澄清处理。由表5可知,与未澄清的果汁相比,总酸、残糖、酒精度在澄清前后的差异性不大($P>0.05$),说明澄清处理对以上指标无显著影响。可溶性固形物含量、涩度、色泽和花色苷变化显著($P<0.05$),可溶性固形物含量降低了21.19%,涩度降低了55.56%,说明果汁涩感减少,口感得到有效提升。色泽是影响发酵蓝靛果果汁品质的关键指标, L^* 和 b^* 明显增加, a^* 降低,说明果汁的亮度和黄度升高、红度降低,红色变淡且更加有光泽感,果汁呈淡紫红色。澄清后果汁的花色苷含量降低了3.79%,其含量仍然保持较高水平,说明在复合澄清剂的作用下,除蛋白质、果胶等成分外,酚类物质也可改善沉淀物的重力,使其沉降性能增强,从而达到澄清目的。澄清后果汁的透光率显著($P<0.05$)提高,由52.65%提高至95.11%,提高了80.65%,果汁的清晰度得到大幅提升,获得了澄清度、风味和着色等品质更佳的发酵蓝靛果果汁。

表4 回归模型方差分析结果
Tab.4 ANOVA result of regression model

方差来源	平方和	自由度	平均方差	F	P	显著性
模型	213.76	9	23.75	95.08	<0.000 1	**
A	20.77	1	20.77	83.15	<0.000 1	**
B	0.36	1	0.36	1.43	0.270 8	—
C	5.88	1	5.88	23.55	0.001 9	**
AB	6.00	1	6.00	24.03	0.001 7	**
AC	1.50	1	1.50	6.01	0.044 0	*
BC	25.96	1	25.96	103.92	<0.000 1	**
A^2	72.17	1	72.17	288.91	<0.000 1	**
B^2	7.79	1	7.79	31.18	0.000 8	**
C^2	60.08	1	60.08	240.53	<0.000 1	**
残差	1.75	7	0.25			
失拟项	0.23	3	0.076	0.20	0.891 5	—
纯误差	1.52	4	0.38			
总离差	215.51	16				

注:**表示差异极显著($P<0.01$);*表示差异显著($P<0.05$);—表示差异不显著($P>0.05$)。

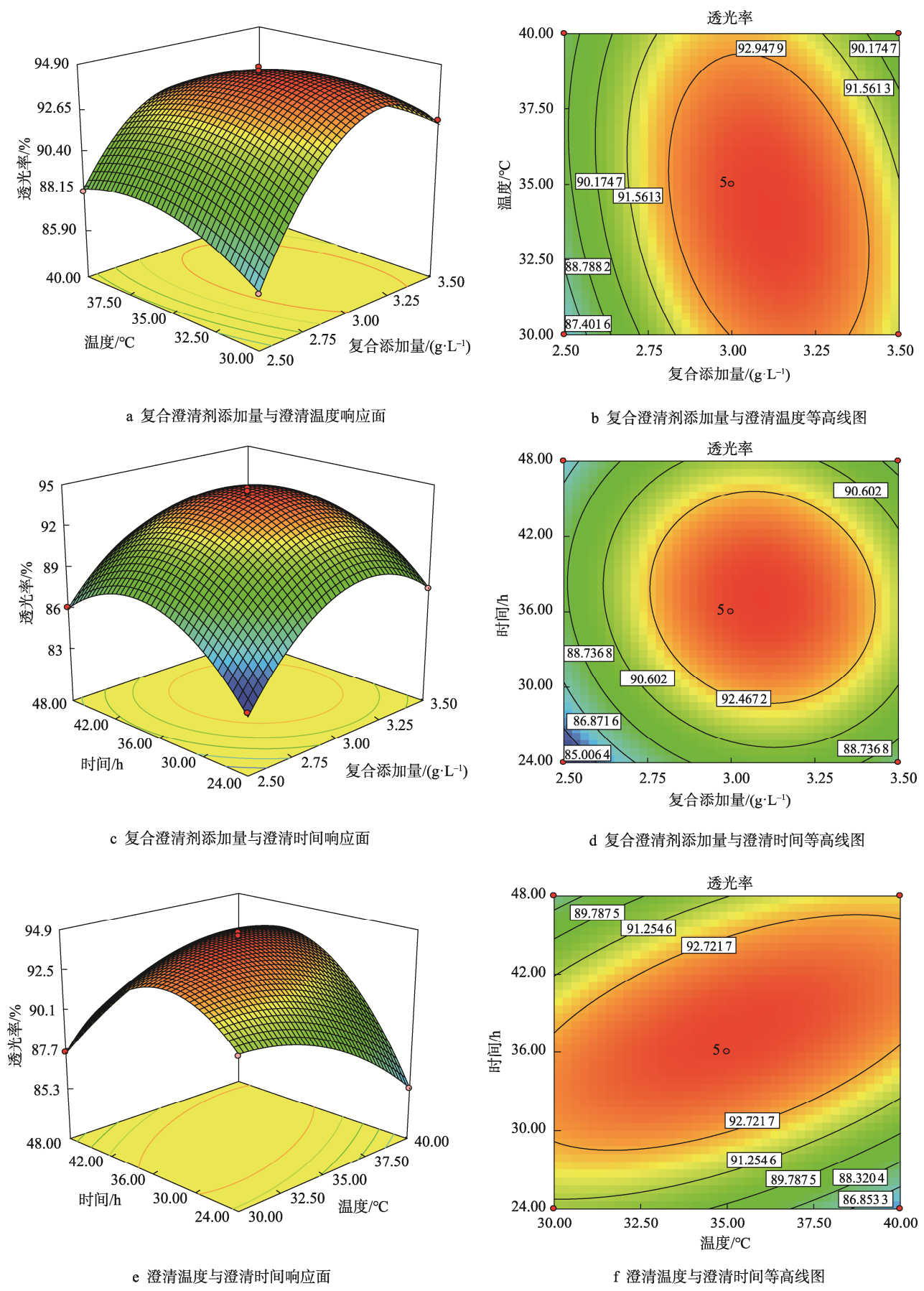


图 3 各因素交互作用的响应面及等高线图
Fig.3 Response surface and contour lines of factor interaction

2.5 蓝靛果果汁的贮藏稳定性

2.5.1 pH 的变化

由表 6 可知,在 4℃下贮藏期间,果汁的 pH 无明显变化 ($P>0.05$)。这可能是因蓝靛果果汁中富含的有机酸与钾盐等作用,生成了缓冲物质^[21],使得 pH 值变化不显著。说明有效的杀菌处理对提升果汁品质的效果良好。当贮藏温度为 24℃时,果汁的 pH 稍降低,且在贮藏前期变化缓慢。此现象可能是因贮藏后期发生了微生物产酸现象。

2.5.2 可溶性固形物含量、总酸含量和透光率的变化

可溶性固形物含量是评价蓝靛果果汁在贮藏期间品质变化的关键指标,可溶性固形物由能溶于水的可溶性糖、酸、维生素及矿物质等组成^[22]。从图 4a 可以看出,在贮藏温度为 4℃时,果汁的可溶性固形物含量(均用质量分数表示)为 9.42%~9.82%;在贮藏温度为 24℃时,果汁的可溶性固形物含量为 9.31%~9.82%;在贮藏终点,虽然可溶性固形物含量在 24℃条件下比在 4℃下有所减少,但依然保持在 9%以上的较高水平。结果表明,在 2 种不同贮藏温度下,果汁的可溶性固形物含量均处于均衡状态,含量变化相对稳定。这可能是因杀菌处理将果汁中与水解有关的酶或果胶酶钝化,使得可溶性固形物含量的波动范围较小。

总酸含量为果汁体系中酸性物质的含量,它会影响果汁的风味、口感、颜色和稳定性。由图 4b 可知,在贮藏 0 d 时,果汁的总酸含量均为 12.33 g/L;在 4℃下贮藏结束时,果汁的总酸含量为 12.42 g/L,表明在贮藏期间其总酸含量的变化基本无差异;在 24℃下贮藏结束时,果汁的总酸含量略微升至 12.55 g/L,主要体现在第 16 天至第 28 天阶段。整体来看,在 2 种贮藏条件下,果汁总酸含量的差异不明显。说明在蓝靛果果汁贮藏过程中,其总酸含量处于相对稳定状态。

透光率是表征果汁澄清的主要指标。由图 4c 可知,蓝靛果果汁的透光率受到贮藏温度的影响显著。随着贮藏时间的延长,果汁的透光率逐渐降低。在贮藏温度 4℃下,果汁透光率的下降幅度较小,在贮藏前期到中后期果汁透光率的下降频率迟缓,在贮藏终点时果汁的透光率降至 93.12%,仍然保持在 90%以上。在贮藏温度 24℃下,果汁透光率的下降幅度较大,从贮藏期开始至结束均表现出明显的下降趋势,最终降至 90.58%。这一变化表明,果汁中的胶体物质(如果胶、半纤维素、蛋白质和有色化合物等)更易在较高温度下被沉淀的离子吸附,从而发生絮凝,由此产生的悬浮颗粒和杂质在重力作用下随着贮藏期的延长不断沉降^[23-24]。由此可见,在 4℃下贮藏对维持蓝靛果果汁体系的稳定更加有利。

表 5 发酵蓝靛果果汁澄清前后理化指标的变化情况
Tab.5 Changes of physical and chemical indexes of fermented *Lonicerna Caerulea* juice before and after clarification

处理	总酸含量/ (g·L ⁻¹)	残糖含量/ (g·L ⁻¹)	酒精度(体 积分数)/%	可溶性固形物 质量分数/%	涩度	亮度 (L [*])	红绿值 (a [*])	黄蓝值 (b [*])	花色苷含量/ (mg·L ⁻¹)	透光率/%
澄清前	12.75± 0.09 ^a	4.34± 0.14 ^a	1.2 ^a	12.32± 1.12 ^a	0.045± 0.13 ^a	17.13± 1.11 ^a	27.24± 0.43 ^a	3.93± 0.53 ^a	475± 0.02 ^a	52.65± 0.27 ^a
澄清后	12.42± 0.11 ^a	4.45± 0.07 ^a	1.2 ^a	9.71± 1.05 ^b	0.020± 0.22 ^b	28.66± 0.78 ^b	22.77± 1.01 ^b	5.29± 0.67 ^b	457± 0.08 ^b	95.11± 0.15 ^b

注:同行数据小写字母不同代表差异显著 ($P<0.05$)。

表 6 蓝靛果果汁贮藏期间 pH 的变化
Tab.6 Changes of pH of *Lonicerna Caerulea* juice during storage

理化 指标	贮藏 温度/℃	贮藏时间/d							
		0	4	8	12	16	20	24	28
pH	4	3.27± 0.02 ^a	3.27± 0.01 ^a	3.26± 0.02 ^a	3.25± 0.02 ^a	3.26± 0.01 ^a	3.25± 0.02 ^a	3.24± 0.01 ^a	3.24± 0.02 ^a
	24	3.27± 0.02 ^a	3.26± 0.01 ^a	3.25± 0.02 ^a	3.25± 0.01 ^a	3.23± 0.02 ^a	3.21± 0.02 ^a	3.20± 0.01 ^a	3.21± 0.02 ^a

注:同行数据小写字母不同代表差异显著 ($P<0.05$)。

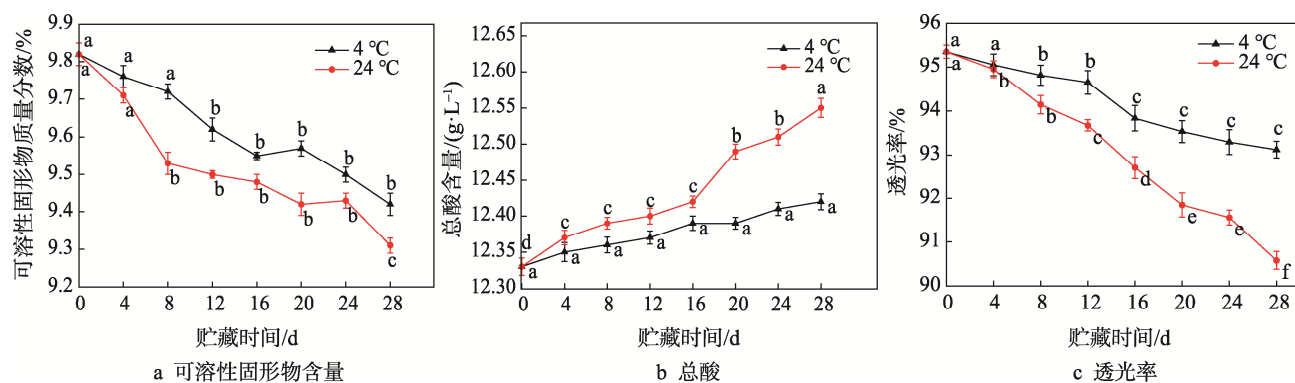


图 4 蓝靛果果汁在贮藏期间可溶性固形物含量、总酸及透光率的变化

Fig.4 Changes of soluble solids, total acidity and light transmittance of *Lonicera Caerulea* juice during storage

2.5.3 色泽的变化

色泽是以直观方式反映蓝靛果果汁品质的特征指标,直接影响果汁产品的价值^[25]。由图 5a—c 可知,在贮藏温度 4 °C 和 24 °C 下,随着贮藏时间的延长,果汁的 L^* 和 b^* 均呈波动下降趋势,表明在贮藏期间果汁会在一定程度上发生褐变,且颜色变暗;果汁的 a^* 均呈增大趋势,说明果汁的红色色调加深。在 4 °C 下贮藏时,果汁的 L^* 、 a^* 和 b^* 在中后期变化明显。在 24 °C 下贮藏时,果汁的颜色从贮藏初期开始明显变化 ($P < 0.05$),并且 a^* 的变化幅度较大。这是由于果汁的红色色调受到蓝靛果中高含量花色苷的影响,花色苷

随着果汁体系酸碱度变化,使得果汁的颜色发生改变。通常在酸性环境中,果汁的颜色更趋近于红色^[26]。

总色差 ΔE 可以衡量蓝靛果果汁在贮藏期间颜色的总体变化情况。由图 5d 可知,在 4 °C 条件下贮藏 8 d 内,果汁的 ΔE 均小于 0.5,颜色变化不明显;直到贮藏期结束时, ΔE 为 (3.34 ± 0.11),果汁红色明显加深;在 24 °C 条件下,果汁的颜色在贮藏初期就呈现明显变化,在贮藏第 20 天时 ΔE 为 (4.00 ± 0.08),贮藏结束时 ΔE 为 (4.59 ± 0.09) ($\Delta E > 3.0$)。在此期间,果汁的颜色通过肉眼清晰可见。总体来看,在 4 °C 下贮藏,可以延缓蓝靛果果汁颜色的变化。

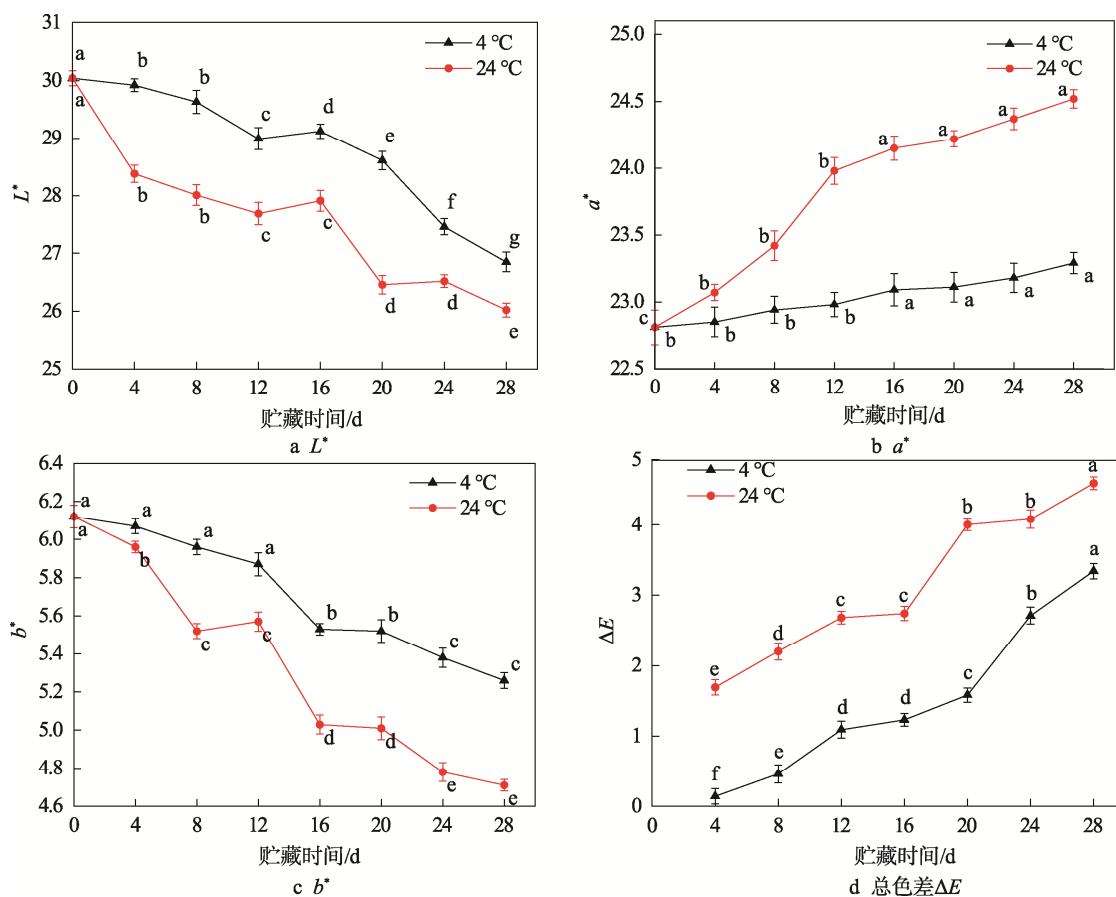


图 5 蓝靛果果汁在贮藏期间色泽的变化情况

Fig.5 Changes of color indexes of *Lonicera Caerulea* juice during storage

2.5.4 蓝靛果果汁贮藏期间感官指标的变化

感官评价是预估食品感官保质期的直观评价方式^[27]。从图6可以看出,在4℃和24℃贮藏条件下,果汁的感官评分均呈持续下降趋势。在贮藏温度24℃下,果汁出现异常气味、质地不均匀,感官评分的下降速度较快,在贮藏结束时其感官指标仅为7.3分。在贮藏温度4℃下,果汁品质的变化相对迟缓,在贮藏末期依然保持着果汁本身特有的香气及醇厚的发酵香,质地状态较佳,感官指标高达8.8分。

2.5.5 蓝靛果果汁感官评分与理化指标的相关性分析

为了探究蓝靛果果汁在贮藏期间感官品质的变化与理化指标之间的相关性,将主观与客观有效结合,进一步判断各项指标对果汁感官评分的影响。由表7可知,在2种贮藏条件下,蓝靛果果汁的感官评分与可溶性固形物含量、透光率、 L^* 和 b^* 均呈极显著正相关,与总酸含量和 a^* 均呈极显著负相关,与pH值在0.05水平(双尾)均呈显著正相关。同时,在贮藏温度为4℃时,感官评分与可溶性固形物含量、

透光率、总酸含量和色泽指标的相关性更高;在贮藏温度为24℃时,感官评分与总酸含量的关系更大。综合分析表明,4℃的贮藏条件更有利于蓝靛果果汁各项品质的保持,果汁能够达到优质水平。

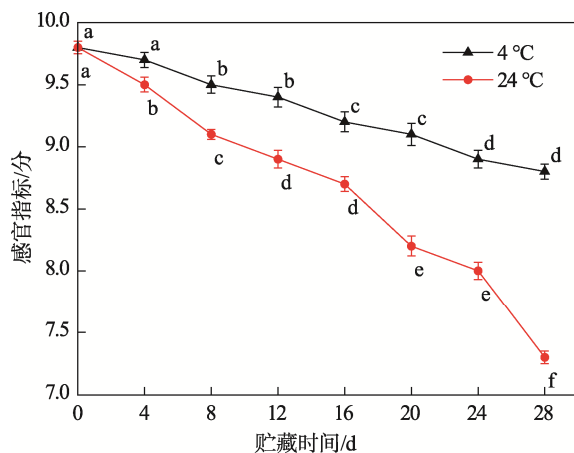


图6 蓝靛果果汁在贮藏期间感官指标的变化
Fig.6 Changes of sensory indexes of *Lonicera Caerulea* juice during storage

表7 蓝靛果果汁感官评分与理化指标的相关性分析

Tab.7 Correlation analysis between sensory scores and physical and chemical indexes of *Lonicera Caerulea* juice

温度/℃	相关性分析	pH	可溶性固形物含量	总酸含量	透光率	L^*	a^*	b^*
4	Pearson 相关性	0.923*	0.981**	-0.992**	0.980**	0.950**	-0.994**	0.987**
	显著性(双尾)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	Pearson 相关性	0.924*	0.936**	-0.988**	0.965**	0.940**	-0.929**	0.946**
	显著性(双尾)	0.021	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000

注: *表示相关性显著($P < 0.05$), **表示相关性极显著($P < 0.01$)。

3 结语

将果胶酶与PVPP以1:1的质量比混合,作为发酵蓝靛果果汁的复合澄清剂。通过单因素和响应面优化实验,确定了复合澄清剂的最佳澄清条件:澄清温度34℃、澄清时间40h、复合澄清剂添加量3g/L。在该条件下,发酵蓝靛果果汁的透光率为(94.92±0.27)%。对澄清前后的理化指标进行分析可知,与未澄清果汁相比,澄清后果汁的可溶性固形物含量降低了21.19%,涩度降低了55.56%,涩感物质明显减少,花色苷含量降低了3.79%,澄清度提高了80.65%,果汁的颜色更加有光泽,品质得到有效提升。将澄清并杀菌后的果汁置于4℃和24℃条件下贮藏,结果表明,在贮藏期内蓝靛果果汁均保持了较好的稳定性,由相关性分析可知,贮藏温度4℃对蓝靛果果汁的香气、色泽、质地状态等品质的保持更加有利。此结果为蓝靛果发酵果汁深度加工及贮藏提

供了一定的理论参考。

参考文献:

- [1] CELLI G B, GHANEM A, BROOKS M S L. Haskap Berries (*Lonicera Caerulea* L)—A Critical Review of Antioxidant Capacity and Health-Related Studies for Potential Value-Added Products[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(6): 1541-1554.
- [2] DE SILVA A B K H, VASANTHA RUPASINGHE H P. Polyphenols Composition and Anti-Diabetic Properties in Vitro of Haskap (*Lonicera Caerulea* L) Berries in Relation to Cultivar and Harvesting Date[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 88: 103402.
- [3] VASANTHA RUPASINGHE H P, ARUMUGGAM N, AMARARATHNA M, et al. The Potential Health Benefits of Haskap (*Lonicera Caerulea* L): Role of Cyani-

- din-3-*O*-Glucoside[J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 44: 24-39.
- [4] VOIDAROU C, ANTONIADOU M, ROZOS G, et al. Fermentative Foods: Microbiology, Biochemistry, Potential Human Health Benefits and Public Health Issues[J]. *Foods*, 2020, 10(1): 69.
- [5] 张兆国. 苹果冰酒生产工艺流程研究及澄清试验[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019: 12-13.
- ZHANG Zhao-guo. Apple Ice Cider Production Process Research and Clarification Test[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2019: 12-13.
- [6] 师聪, 李哲, 张建萍, 等. 超声波辅助酶法澄清树莓果汁的工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(1): 132-137.
- SHI Cong, LI Zhe, ZHANG Jian-ping, et al. Optimization of Ultrasonic Assisted Enzyme Method Clarification Technique on Raspberry Juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(1): 132-137.
- [7] 韩春然, 毕海鑫, 王鑫. 发酵蓝靛果果汁酵母菌的筛选及香气成分分析[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(7): 199-206.
- HAN Chun-ran, BI Hai-xin, WANG Xin. Screening of a Yeast for Fermenting Blue Honeysuckle(*Lonicera Edulis*) Fruit Juice and Analysis of Aroma Components[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(7): 199-206.
- [8] PERREAULT V, GOUIN N, BÉRUBÉ A, et al. Effect of Pectinolytic Enzyme Pretreatment on the Clarification of Cranberry Juice by Ultrafiltration[J]. *Membranes*, 2021, 11(1): 55.
- [9] 饶炎炎, 冯建文, 公丽凤, 等. 红树莓果汁澄清剂的选择及澄清工艺的优化[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(24): 209-215.
- RAO Yan-yan, FENG Jian-wen, GONG Li-feng, et al. Selection of Red Raspberry Juice Clarifier and Optimization of Its Clarification Process[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(24): 209-215.
- [10] 包赛依娜, 李顺琪, 兰义宾, 等. 葡萄酒涩感定量评价方法的建立[J]. *中国酿造*, 2015, 34(5): 152-156.
- BAO Sai-yi-na, LI Shun-qi, LAN Yi-bin, et al. Quantitative Evaluation Method for Wine Astringency[J]. *China Brewing*, 2015, 34(5): 152-156.
- [11] 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, 43(15): 101-108.
- LI Jing, WANG Jia-xiang, CHEN Huan, 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, 43(15): 101-108.
- [12] SHEN Yu-si, ZHU Dan-shi, XI Pu-shun, et al. Effects of Temperature-Controlled Ultrasound Treatment on Sensory Properties, Physical Characteristics and Antioxidant Activity of Cloudy Apple Juice[J]. *LWT*, 2021, 142: 111030.
- [13] YI Jun-jie, KEBEDE B T, HAI DANG D N, et al. Quality Change during High Pressure Processing and Thermal Processing of Cloudy Apple Juice[J]. *LWT*, 2017, 75: 85-92.
- [14] 夏其乐, 陈剑兵, 郜海燕, 等. 杨梅露酒澄清工艺及其品质研究[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(9): 99-107.
- XIA Qi-le, CHEN Jian-bing, GAO Hai-yan, et al. Studies on Clarification and the Quality of Bayberry Integrated Alcoholic Beverage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(9): 99-107.
- [15] 王美洪, 陈善敏, 许洋, 等. 响应面法优化复合澄清剂澄清山药醋工艺[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(1): 138-143.
- WANG Mei-hong, CHEN Shan-min, XU Yang, et al. Optimization of the Compound Clarifying Agent to Clarify Yam Vinegar by Response Surface Methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(1): 138-143.
- [16] YAMMINE S, SEABROOK A, MASSOT A, et al. Winemaking: Managing Phenolics: A Molecular Breakdown of PVPP Interactions with Polyphenolic Compounds[J]. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*, 2019, 669: 53-56.
- [17] HE Bo, ZHANG Ling-li, YUE Xue-yang, et al. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds and Anthocyanins from Blueberry (*Vaccinium Ashei*) Wine Pomace[J]. *Food Chemistry*, 2016, 204: 70-76.
- [18] FU Yong, HUANG Yue, HU Jian-she, et al. Preparation of Chitosan/Amine Modified Diatomite Composites and Adsorption Properties of Hg(II) Ions[J]. *Water Science and Technology*, 2018, 77(5): 1363-1371.
- [19] 顾晓雨, 李雨蒙, 陈玺之, 等. 响应面法优化蓝靛果果汁脱涩工艺[J]. *包装工程*, 2022, 43(1): 115-123.
- GU Xiao-yu, LI Yu-meng, CHEN Xi-zhi, et al. Optimization of Deastringency Process of *Lonicera Edulis* Juice by Response Surface Methodology[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(1): 115-123.
- [20] XUE Heng-yue, LI Jing-ru, LIU Yan-geng, et al. Optimization of the Ultrafiltration-Assisted Extraction of Chinese Yam Polysaccharide Using Response Surface Methodology and Its Biological Activity[J]. *Interna-*

- tional Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 1186-1193.
- [21] 朱香滢. 超高压技术在西番莲果汁饮料中的应用研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2018: 49-51.
ZHU Xiang-hao. Application of Ultra High Pressure Technology in Passion Fruit Juice Beverage[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018: 49-51.
- [22] 王寅. 超高压处理对蓝莓汁的品质影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013: 30-31.
WANG Yin. The Effect of Ultra High Pressure on the Quality of Blueberry Juice[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013: 30-31.
- [23] LAKSAMEETHANASANA P, SOMLA N, JANPREM S, et al. Clarification of Sugarcane Juice for Syrup Production[J]. Procedia Engineering, 2012, 32: 141-147.
- [24] 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 Jin-bo, AN Jia-xin, WANG Yu, et al. Preparation of NFC Compound Fruit and Vegetable Juice and Its Quality Change during Storage[J]. Packaging and Food Machinery, 2020, 38(1): 8-13.
- [25] BHAT R, GOH K M. Sonication Treatment Convalesce the Overall Quality of Hand-Pressed Strawberry Juice[J]. Food Chemistry, 2017, 215: 470-476.
- [26] 张海平. 植物乳杆菌 C8-1 发酵对黑果腺肋花楸果汁品质的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2018: 23-25.
ZHANG Hai-ping. Effect of Fermentation of Lactobacillus Plantarum C8-1 on the Quality of Aronia Melanocarpa Juice[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018: 23-25.
- [27] 李雨浩, 张楠, 向珊珊, 等. 黑果腺肋花楸花色苷的提取工艺优化及其稳定性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 120-126.
LI Yu-hao, ZHANG Nan, XIANG Shan-shan, et al. Optimization of Extraction Process and Stability of Anthocyanins from Aronia Melanocarpa[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 120-126.

责任编辑: 彭颀