

黑糯玉米花青素饮料的研制

王欣雨¹, 范娜^{2,3,4*}, 周永春¹, 王大伟¹, 陈佳瑶¹, 邱虹月¹, 戴佳锐⁵

¹商洛学院健康管理学院, 陕西 商洛

²商洛学院生物医药与食品工程学院, 陕西 商洛

³商洛市秦岭植物良种繁育中心, 陕西 商洛

⁴商洛市粮食工程技术研究中心, 陕西 商洛

⁵陕西省生物农业研究所, 陕西 西安

收稿日期: 2025年5月11日; 录用日期: 2025年6月10日; 发布日期: 2025年6月20日

摘要

本研究以黑糯玉米芯为原料, 通过提取、冻干工艺制备花青素提取物粉末, 并以此为功能性基料开发具有花青素的特色饮料。采用单因素试验结合响应面法优化配方, 构建数学模型确定最佳配方。结果表明: 当黑糯玉米花青素提取物添加量0.067%、柠檬酸1.5 g/L、木糖醇12%、CMC-Na 0.3%时, 制得的饮料呈现紫红色澄清液体, 酸甜适口, 感官品质最佳。通过贮藏试验发现, 4℃低温条件下花青素保存率最高, 35 d时花青素保留率为85.2% ± 1.53%, 衰减速率比25℃时减缓23.5%、比37℃时减缓59.5%。低温较其他条件更有利于维持饮料理化稳定性及功能成分活性。

关键词

黑糯玉米, 花青素, 饮料, 响应面分析

Development of *Zea mays* L. Anthocyanin Beverage

Xinyu Wang¹, Na Fan^{2,3,4*}, Yongchun Zhou¹, Dawei Wang¹, Jiayao Chen¹, Hongyue Qiu¹, Jiakun Dai⁵

¹College of Health Management, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

²College of Biopharmaceutical and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

³Qinling Plant Breeding Center of Shangluo, Shangluo Shaanxi

⁴Shangluo Grain Engineering Technology Research Center, Shangluo Shaanxi

⁵Shaanxi Institute of Biological Agriculture, Xi'an Shaanxi

Received: May 11th, 2025; accepted: Jun. 10th, 2025; published: Jun. 20th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王欣雨, 范娜, 周永春, 王大伟, 陈佳瑶, 邱虹月, 戴佳锐. 黑糯玉米花青素饮料的研制[J]. 农业科学, 2025, 15(6): 801-811. DOI: 10.12677/hjas.2025.156099

Abstract

This study utilized *Zea mays* L. cob as raw material to prepare anthocyanin extract powder through extraction and freeze-drying processes, subsequently developing a characteristic anthocyanin-rich beverage using this powder as a functional base. Single-factor experiments combined with response surface methodology were employed to optimize the formulation, establishing a mathematical model to determine the optimal recipe. The results demonstrated that when adding 0.067% *Zea mays* L. anthocyanin extract, 1.5 g/L citric acid, 12% xylitol, and 0.3% CMC-Na, the beverage presented as a purplish-red clarified liquid with pleasant sweet-sour taste and optimal sensory quality. Storage experiments revealed that anthocyanin preservation reached maximum efficiency at 4°C, showing $85.2\% \pm 1.53\%$ retention after 35 days. The degradation rate was reduced by 23.5% compared with 25°C storage and 59.5% compared with 37°C storage. Low-temperature storage demonstrated superior capability in maintaining physicochemical stability and functional component activity compared to other conditions.

Keywords

Zea mays L., Anthocyanin, Beverage, Response Surface Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黑糯玉米(*Zea mays* L. var. *ceratina*)因其籽粒呈乌黑、紫黑色和蓝黑色而得名[1], 其籽粒与芯部均含有丰富的花青素、类黄酮及多酚类化合物[2]。其中, 花青素作为一种水溶性天然色素, 具有抗氧化、抗炎、降血糖、改善视力等多种生理活性功能, 已被广泛应用于食品、医药和化妆品领域[3]。然而, 目前对黑糯玉米的研究多集中于籽粒的深加工利用, 而占其生物量 30%~40%的玉米芯常被视为农业废弃物, 资源利用率极低。

近年来, 随着社会发展、消费升级和人们健康意识的逐步增强, 富含天然活性成分、低糖、低热量的饮品成为消费新宠。黑糯玉米芯部花青素含量极高, 可达籽粒的 60%~70%, 含有矢车菊素-3-葡萄糖苷、天葵色素-3-葡萄糖苷、芍药色素-3-葡萄糖苷等多种花青素核心功能成分[4]。本研究以黑糯玉米芯为原料, 通过提取与冻干技术制备花青素提取物粉末, 并以此为功能基料, 辅以柠檬酸、木糖醇、羧甲基纤维素钠(CMC-Na), 开发一款特色花青素饮料, 旨在为黑糯玉米全产业链产品开发和农业废弃物的高值化利用提供了新思路。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

黑糯玉米芯, 由陕西省生物农业研究所提供。食品级柠檬酸, 购自郑州侯庄工业区; 食品级木糖醇, 购自山东福田药业有限公司; 羧甲基纤维素钠(CMC-Na), 重庆力宏精细化工有限公司; 其余化学试剂均为分析纯试剂。

2.2. 仪器与设备

EYG-1000W 超声仪；冻干机；TY2019001575 电子天平；HH-S4 恒温水浴锅；高速万能粉碎机；鼓风干燥箱；紫外可见分光光度计；pH 计。

2.3. 试验方法

2.3.1. 黑糯玉米芯花青素提取物的制备

采用超声醇提法制备黑糯玉米芯花青素提取物，具体方法：以黑糯玉米芯与 pH 4 的 60%乙醇溶液按料液比 1:16 (g/mL)，40℃、超声功率 350 W，超声辅助提取 40 min，提取 2 次，合并滤液，2800 r/min 离心 5 min，取上清液，减压浓缩后冻干制成黑糯玉米芯花青素提取物，4℃保藏备用[5] [6]。

2.3.2. 黑糯米花青素饮料的制备

将冻干获得的黑糯玉米芯花青素提取物按照其浓度配比与柠檬酸、木糖醇、CMC-Na 进行调配，充分溶解后过滤，设定压力 20 MPa、20℃~25℃条件下均质脱气。将均质脱气后的饮料进行灌装，密封，高温瞬时杀菌，即得到黑糯米花青素饮料。

2.3.3. 黑糯玉米花青素饮料配方优化的单因素试验

以黑糯玉米芯花青素提取物的添加量(0.2%、0.1%、0.067%、0.05%、0.04%)、柠檬酸的浓度(0.5 g/L、1.0 g/L、1.5 g/L、2.0 g/L、2.5 g/L)、木糖醇的添加量(4%、8%、12%、16%、20%)、CMC-Na 的添加量(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%)分别为单因素，饮料的感官评分为评价指标，进行单因素试验，确定各因素的适宜添加量。

2.3.4. 响应面试验设计

根据单因素实验结果，选取花青素提取物(A)、柠檬酸添加量(B)、木糖醇添加量(C)这三个对花青素饮料感官评分影响较大的因素，利用 Design-Expert 12 软件进行三因素三水平的 Box-Behnken 设计试验，试验设计如表 1 所示。每组重复 3 次。

Table 1. Factors and levels of the Box-Behnken test
表 1. Box-Behnken 试验因素与水平

水平	因素		
	A 花青素提取物添加量(%)	B 柠檬酸添加量(g/L)	C 木糖醇添加量(%)
-1	0.077	1.3	8
0	0.067	1.5	12
1	0.057	1.7	16

2.3.5. 黑糯玉米花青素饮料的感官评价标准

基于黑糯玉米花青素饮料独特的感官特性，制定了感官评分表。由 10 名经过专业培训的感官评价人员依据表 2 的评分标准，从色泽、气味、滋味、组织状态 4 个方面进行评价，并以所有评价人员的平均分作为最终结果。感官评分标准详见表 2 [7] [8]。

2.3.6. 花青素含量的测定

精密称取样品 150~200 mg (精确至 0.0001 mg)，置于烧瓶中，加入 25 mL 2%盐酸 - 甲醇溶液(m/V)，在 60℃超声水浴中水解 20 min 后冷却至室温，用 2%盐酸 - 甲醇溶液(m/V)转移并定容至 50 mL，摇匀得试液 A。

Table 2. Sensory evaluation criteria for *Zea mays* L. anthocyanin beverage
表 2. 黑糯玉米花青素饮料的感官评分标准

评价项目	评定标准	分值
色泽 (20 分)	光亮淡紫红色	16~20
	深紫红色	11~15
	暗深紫色	<10
气味 (30 分)	淡酸味, 无异味	21~30
	味道淡酸, 无异味	11~20
	味道不酸有苦味	<10
滋味 (30 分)	无涩味, 口感细腻	21~30
	涩味淡, 口感细腻	11~20
	涩味重, 口感粗糙	<10
组织状态 (20 分)	澄清、透亮, 无沉淀	16~20
	澄清、透亮, 稍有沉淀物	11~15
	澄清、透亮, 有较多沉淀	<10

根据试液 A 的浓度和颜色确定稀释倍数, 摇匀后得待测试液 B, 溶液应澄清透明。若混浊, 则用滤纸过滤, 弃去初始滤液约 10 mL, 后续滤液用于检测。样品中花青素的含量以飞燕草素的质量分数 W3 计, 数值以%表示, 按下式计算[9]:

$$W3 = \frac{A \times 0.5 \times f}{1020 \times m} \times 100\%$$

式中:

A-供试品溶液 B 在吸收波长 540 nm 下的吸光度;

f-供试品溶液 A 至试液 B 的稀释倍数;

m-供试品质量, g;

1020-飞燕草素的百分吸光系数($E_{1\text{cm}}^{1\%}$), 即在 540 nm 吸收波长下, 飞燕草素的溶液浓度为 1 g/100 mL、比色杯厚度为 1 cm 时, 溶液的吸光度;

0.5-百分吸光系数($E_{1\text{cm}}^{1\%}$)定义规定的, 在 50 mL 溶液中溶解溶质的质量, g。

2.3.7. 黑糯玉米花青素饮料贮藏期品质变化的研究

将杀菌后的饮料分别储存于 4℃冰箱、25℃避光室温环境以及 37℃光照环境下, 每隔 7 天分别检测饮料中花青素的含量, 并计算不同贮藏条件下饮料中花青素的保留率。

3. 结果与分析

3.1. 单因素试验

3.1.1. 黑糯玉米芯花青素提取物添加量对饮料感官品质的影响

黑糯玉米芯花青素提取物不同添加量对饮料感官品质的影响结果如图 1 所示。当花青素提取物的添加量为 0.2%时, 饮料的感官评分较低, 其色泽为很深的紫红色, 口感涩味较重; 随着添加量的减少, 饮料的感官评分先上升后下降; 当花青素提取物的添加量为 0.067%时, 饮料的感官评分, 获得最高值, 为 75。这与花青素独特的颜色表现和酚类物质原本的苦涩味有很大关系。因此, 综合考虑黑糯玉米芯花青素提取物的最佳添加量为 0.067%。

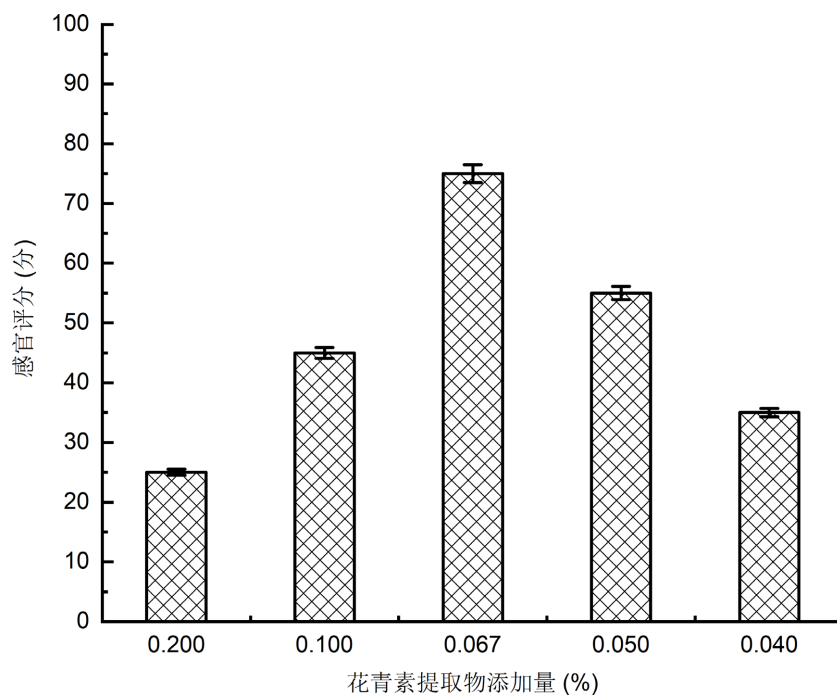


Figure 1. Impact of *Zea mays* L. anthocyanin extract dosage on beverage sensory evaluation

图 1. 黑糯玉米芯花青素提取物不同添加量对饮料感官评分的影响

3.1.2. 柠檬酸浓度对饮料感官品质的影响

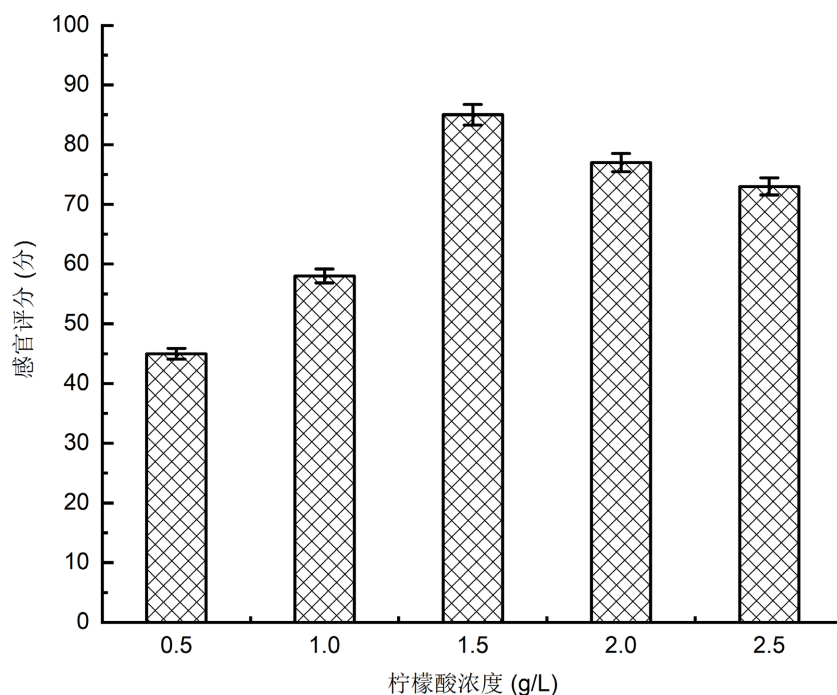


Figure 2. Impact of citric acid concentration on beverage sensory evaluation

图 2. 不同浓度柠檬酸对饮料感官评分的影响

在花青素提取物添加量确定的条件下，不同浓度柠檬酸对黑糯玉米花青素饮料感官评分的影响如图

2 所示。随着柠檬酸浓度的增加, 饮料感官评分呈现先增加后降低的趋势, 柠檬酸浓度 1.5 g/L 时获得最高评分, 为 85 分。花青素是一类 pH 敏感性水溶性天然植物色素。柠檬酸的添加在改善饮料风味口感的同时也会改变饮料的颜色, 添加量太少或者太多都会影响饮料的整体感官, 导致产品感官评分降低。因此, 柠檬酸的最适浓度为 1.5 g/L。

3.1.3. 木糖醇添加量对饮料感官品质的影响

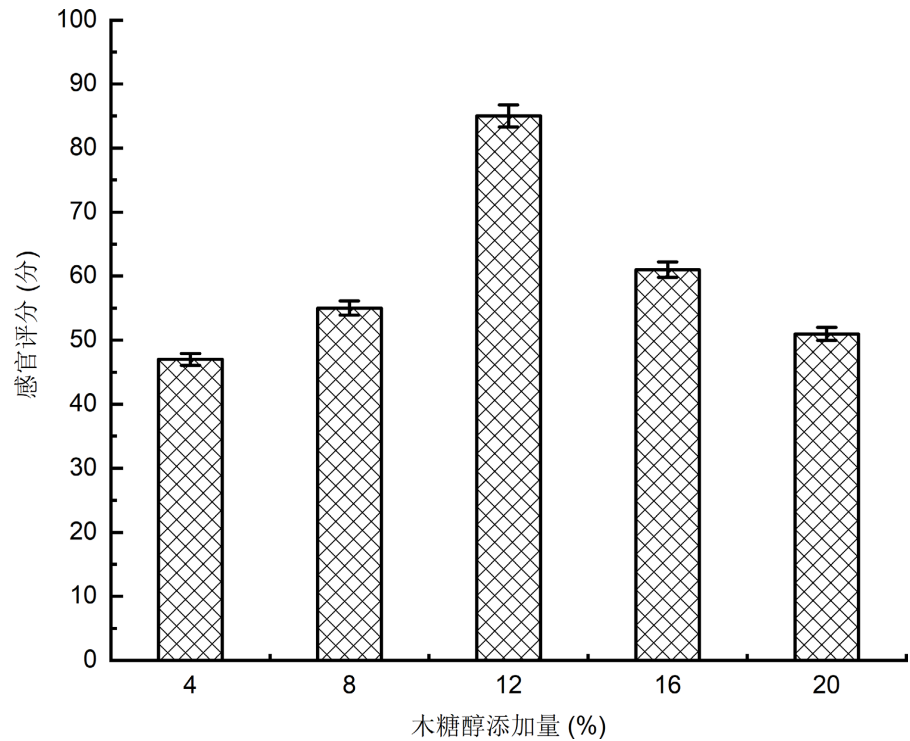


Figure 3. Impact of xylitol dosage on beverage sensory evaluation
图 3. 木糖醇添加量对饮料感官评分的影响

木糖醇添加量对黑糯玉米花青素饮料感官品质的影响如图 3 所示。随着木糖醇添加量的增加, 饮料感官评分先增加后下降, 木糖醇添加量为 12% 时, 所制备的花青素饮料具有最高感官评分, 为 85 分。木糖醇添加量较少时, 制备的饮料口感较酸, 不适合饮用; 添加过多时, 饮料口感太甜, 清凉感增强, 后味略显苦味。因此, 木糖醇的最佳添加量为 12%。

3.1.4. CMC-Na 添加量对饮料感官品质的影响

CMC-Na 添加量对黑糯玉米花青素饮料感官品质的影响如图 4 所示。随着 CMC-Na 添加量的不断提高, 花青素饮料的感官评分先增加后降低, CMC-Na 的添加量在 0.3% 时, 其组织状态均一、色泽明艳透亮、口感醇厚, 感官品质最佳, 感官评分整体较高。因此, CMC-Na 的最佳添加量为 0.3%。

3.2. 响应面试验结果分析

3.2.1. 响应面试验设计结果

根据单因素试验结果, 选取花青素提取物、柠檬酸、木糖醇的添加量为自变量, 以感官评分为响应值, 利用 Design-Expert 软件设计三因素三水平试验, 共包括 17 个试验点, 其中 12 个为析因点, 5 个为零点以估计误差[10] [11]。试验结果见表 3。

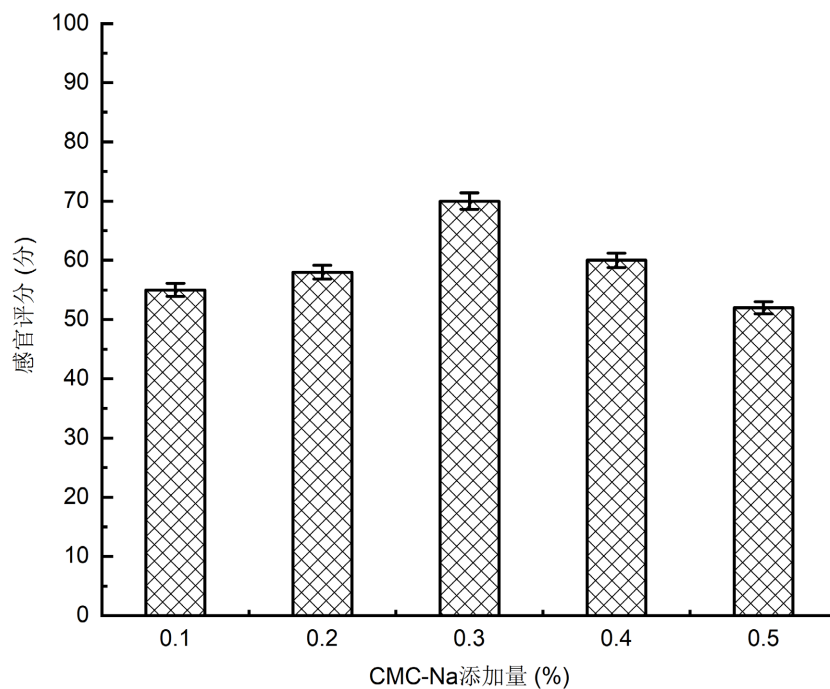


Figure 4. Impact of CMC-Na dosage on beverage sensory evaluation
图 4. CMC-Na 添加量对饮料感官评分的影响

Table 3. Box-Behnken test design and results
表 3. Box-Behnken 试验设计及结果

试验号	A 花青素提取物添加量(%)	B 柠檬酸添加量(g/L)	C 木糖醇添加量(%)	Y 感官评分
1	1	1	0	89
2	-1	0	1	60
3	-1	0	-1	62
4	1	-1	0	88
5	0	0	0	86
6	0	-1	1	68
7	1	0	1	91
8	0	0	0	86
9	0	-1	-1	67
10	-1	1	0	71
11	0	1	1	75
12	0	0	0	86
13	0	0	0	86
14	0	0	0	87
15	-1	-1	0	69
16	0	1	-1	72
17	1	0	-1	80

3.2.2. 回归模型的建立与显著性分析

使用 Design-Expert 12 软件对结果进行分析, 拟合得到三个因素与感官评分之间的二次回归方程如下:

$$Y = 86.20 + 10.75A + 1.87B + 1.63C - 0.2500AB + 3.25AC + 0.5000BC - 2.10A^2 - 4.85B^2 - 10.85C^2。$$

对回归模型进行方差分析和显著性检验, 结果见表 4。模型 $P < 0.0001$, 表明该模型具有极高的显著性。试验中的决定系数 $R^2 = 0.9812$, $R^2_{adj} = 0.9571$, 说明回归模型与试验值拟合良好, 预测值与实测值之间具有较高的相关性, 表明该方程具备良好的可靠性, 可用于黑糯玉米花青素饮料感官评分的理论推测与分析。

Table 4. ANOVA for the quadratic model

表 4. 二次模型的方差分析

来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	显著性
模型	1674.42	9	186.05	40.63	<0.0001	***
A	924.50	1	924.50	201.92	<0.0001	***
B	28.13	1	28.13	6.14	0.0423	*
C	21.13	1	21.13	4.61	0.0688	
AB	0.2500	1	0.2500	0.0546	0.8219	
AC	42.25	1	42.25	9.23	0.0012	**
BC	1.00	1	1.00	0.2184	0.0189	*
A ²	18.57	1	18.57	4.06	0.0839	
B ²	99.04	1	99.04	21.63	0.0023	**
C ²	495.67	1	495.67	108.26	<0.0001	***
残差	32.05	7	4.58			
失拟项	31.25	3	10.42	52.08	0.6545	
纯误差	0.8000	4	0.2000			
总和	1706.47	16				

注: *差异显著($P < 0.05$); **差异显著($P < 0.01$); ***差异极显著($P < 0.001$)。

由表 4 中各因素的 P 值可知, 花青素提取物添加量以及木糖醇添加量的内部相互作用对花青素饮料的感官评价影响极其显著。花青素提取物添加量与木糖醇添加量、柠檬酸浓度与木糖醇添加量这两组因素间的交互作用和柠檬酸的添加量对响应值影响显著。此外, 四个因素对黑糯玉米代餐粉感官评价的影响程度依次为: 花青素提取物添加量 > 柠檬酸浓度 > 木糖醇添加量。

3.2.3. 交互作用对花青素饮料感官评分的影响

利用 Design-Expert 软件进一步分析了花青素饮料的二次回归模型, 绘制了响应面分析立体图和等高线图, 如图 5 所示。

响应曲线能够直观反映各因素对响应值的影响, 等高线呈椭圆形、偏离圆中心越远, 表示两因素交互作用越显著[12]。图 5 展示了在两种因素水平为 0 时, 其余两因素对花青素饮料感官评分的交互作用。图 5(e)和图 5(f)的等高线呈椭圆形, 图 5(b)、图 5(c)的 3D 曲面坡度最大, 表明花青素提取物添加量与木糖醇添加量的交互作用和柠檬酸浓度与木糖醇添加量的交互作用均对花青素饮料的感官评分影响显著。

而花青素提取物添加量与柠檬酸浓度的交互作用对感官评分影响不显著。

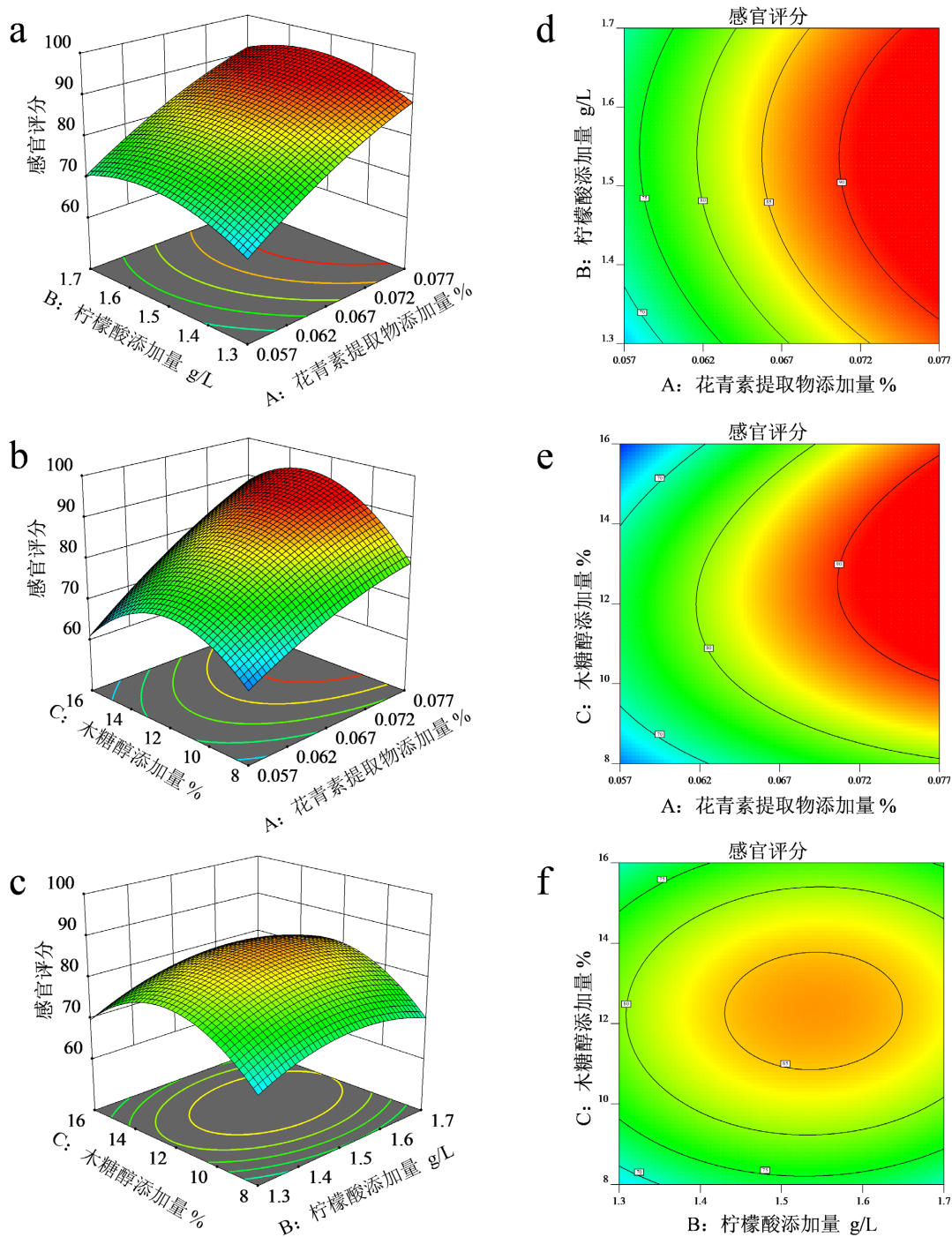


Figure 5. Interaction effects of different factors on the sensory score of *Zea mays* L. anthocyanin beverage (a)~(c) Response surface plots; (d)~(f) Corresponding contour plots

图 5. 各因素交互作用对黑糯玉米花青素饮料感官评分的影响(a)~(c)为响应面图，(d)~(f)为对应等高线图

3.2.4. 验证试验结果

通过对试验模型的分析，得出黑糯玉米花青素饮料最佳口感的配方为：花青素提取物添加量为

0.067%，柠檬酸浓度为 1.5 g/L，木糖醇添加量为 12%，CMC-Na 添加量为 0.3%。重复五次该配方，值得的花青素饮料的感官评分为 91.3 ± 0.5 ，与理论值 90.21 分相比，误差为 1.21%。说明通过响应面优化得到的回归方程与实际情况拟合较好，花青素饮料配方具有良好的重复性，可作为黑糯玉米花青素饮料的最佳配方，并具有一定的参考价值。

3.3. 黑糯玉米花青素饮料贮藏稳定性

依据上述最佳配方，制备的黑糯玉米花青素饮料在不同贮藏温度下花青素随储藏时间的变化如图 6 所示。随着贮藏温度的上升，饮料中花青素的保存率呈现明显降低的趋势。37℃贮存 35 d 时，黑糯玉米花青素饮料的保存率仅为 25.7%，其所含花青素降解十分显著；4℃贮存时，花青素的保存率最高，35 d 时花青素保存率为 $85.2\% \pm 1.53\%$ ，衰减速率比 25℃时减缓 23.5%、比 37℃时减缓 59.5%。这表明，低温可以延缓花青素的降解，较好地保留花青素。因此，建议该饮料的贮藏条件为低温避光，以尽可能保留饮料中的花青素。

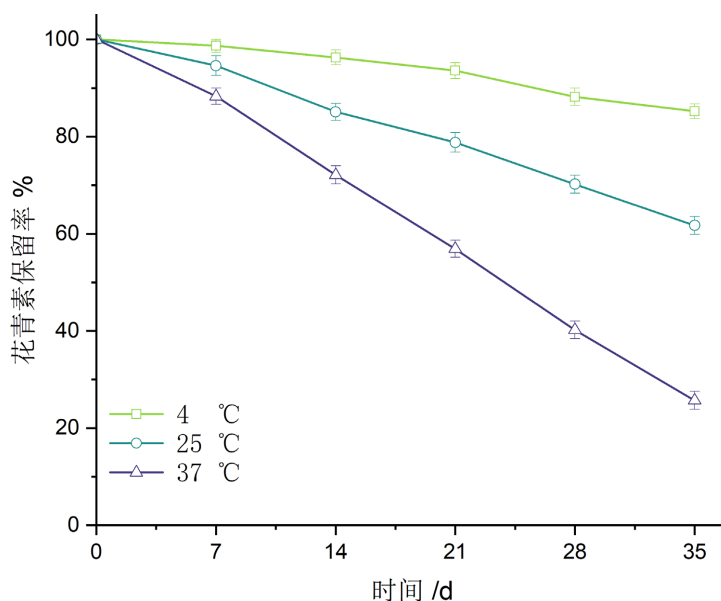


Figure 6. Degradation of anthocyanins in beverages during storage at different temperatures

图 6. 不同贮藏温度时饮料中花青素含量的变化

4. 结论

本研究以黑糯玉米芯为主要原料，通过提取、冻干等工艺获得黑糯玉米花青素提取物的干燥粉末，再以该冻干粉为核心成分，辅以柠檬酸、木糖醇、CMC-Na 开发出一款含有花青素的特色风味饮料。对单因素试验以及响应面优化试验数据进行统计分析并建立预测模型，得出该饮料的最佳配方为：黑糯玉米芯花青素提取物的添加量为 0.067%，柠檬酸浓度为 1.5 g/L，木糖醇添加量为 12%，CMC-Na 添加量为 0.3%。在此配方下制备的花青素饮料呈现明亮的紫红色，色泽澄清透亮，酸甜爽口，风味极佳。在试验的贮藏条件下，4℃贮存时可显著提升花青素保存率，较其他条件更有利于维持饮料理化稳定性及功能成分活性，为黑糯玉米资源的高值化利用及功能性饮料开发提供了技术支撑和理论依据。

基金项目

陕西省大学生创新创业训练计划项目(S202211396058)。

参考文献

- [1] 项雅科, 杨梦蝶, 孙海澜, 等. 2 种鲜食黑糯玉米营养组分及香气的比较[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(1): 196-203.
- [2] 孙梦洋, 张灿, 陈亚淑, 等. 黑糯玉米芯花色苷提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 307-312+330.
- [3] 范瑞, 陈永欣, 董立红, 等. 黑果皮糯玉米的营养保健功能及食品开发利用[J]. 农产品加工, 2020(13): 66-68+72.
- [4] 孙梦洋. 黑糯玉米芯花色苷提取鉴定及黑糯玉米乳酸菌发酵饮料的研制[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [5] 刘晓娜, 康健, 赵俊岭. 响应面超声波提取黑糯玉米原花青素的工艺研究[J]. 食品工业, 2016, 37(5): 128-131.
- [6] 刘晓娜, 康健, 赵俊岭. 响应面优化微波提取黑糯玉米中原花青素的工艺研究[J]. 食品科技, 2015, 40(12): 170-173.
- [7] 张嘉莉, 梁智铭, 徐幸炜, 等. 花青素复合饮料的研制及其抗氧化性评价[J]. 农产品加工, 2023(22): 25-28.
- [8] 张丽明, 汪楠, 马雅鸽, 等. 宾川葡萄籽原花青素的抗氧化活性研究及饮料制备[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 115-122.
- [9] 闫家荫. 黑玉米花青素的提取、纯化及降脂作用研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2021.
- [10] 姜加良, 王雪丽, 韩颖, 等. 响应面法优化石榴皮百香果果皮复合饮料发酵工艺及抗疲劳功能评价[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(3): 220-228.
- [11] 许粟, 刘宇泽, 史大娟, 等. 果汁型刺梨碳酸饮料工艺优化及其稳定性[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(6): 142-148.
- [12] 陈静, 丁洁, 沙芮, 等. 响应面法优化黑小米代餐粉配方[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 182-186.