

苦荞陈皮醋淋醋工艺优化及抗氧化活性研究

王晓婧 文旭洋 李思雨

(山西工商学院健康管理学院, 山西 太原 030006)

摘要: [目的] 以传统工艺酿制的苦荞熏醋为原料, 采用陈皮浸提液进行淋制而制得苦荞陈皮醋, 并优化其淋醋工艺。[方法] 以总酸、黄酮、多酚含量为指标, 通过淋醋料液比、淋醋温度、浸醋时间 3 个单因素及响应面优化试验确定最佳淋醋工艺, 并分析其抗氧化性能。[结果] 苦荞陈皮醋的最佳淋醋工艺为料液比 1:1.5 (g/mL), 浸醋时间 4 h、浸醋温度 80 °C, 在此条件下制得的苦荞陈皮总酸含量为 3.72 g/100 mL, 黄酮含量为 706.4 mg/100 g, 多酚含量为 741.5 mg/100 g, 1.2 mL 的抗氧化能力与 0.2% 维生素 C 的相当。[结论] 最佳淋醋工艺条件下制得的苦荞陈皮醋可以最大限度提高其总酸、黄酮含量, 且具有良好的抗氧化活性。

关键词: 苦荞陈皮醋; 总酸; 黄酮; 多酚; 抗氧化

Leaching process optimization of Tartary buckwheat tangerine peel vinegar and its antioxidant activity

WANG Xiaojing WEN Xuyang LI Siyu

(School of Healthy Management, Shanxi Technology and Business University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract: [Objective] To prepare Tartary buckwheat tangerine peel vinegar from the Tartary buckwheat fumigation obtained by traditional process, and to optimize the vinegar leaching process. [Methods] With the total acid, flavonoid, and polyphenol content as indices, the optimal vinegar leaching process is determined by three single-factor experiments (vinegar to liquid ratio, vinegar leaching temperature, and soaking time) and the response surface optimization experiments. Then, the antioxidant activity of the vinegar is analyzed. [Results] The optimal leaching process of Tartary buckwheat tangerine peel vinegar is as follows: solid-liquid ratio 1:1.5 (g/mL), and soaking for 4 hours at 80 °C. Under these conditions, the total acid, flavonoid, and polyphenol content of Tartary buckwheat peel vinegar are 3.72 g/100 mL, 706.4 mg/100 g, and 741.5 mg/100 g, respectively. The antioxidant capacity of 1.2 mL vinegar is comparable to 0.2% V_C. [Conclusion] The Tartary Buckwheat tangerine peel vinegar prepared under the optimal vinegar leaching process can maximize the total acid and flavonoid content, while exhibiting ideal antioxidant activity.

Keywords: Tartary buckwheat tangerine peel vinegar; total acid; flavonoid; polyphenol; antioxidant

苦荞作为一种药食同源传统作物, 含有丰富的蛋白质、维生素和黄酮类物质, 具有较强的抗氧化能力^[1-3]。以苦荞为原料, 采用传统酿制方式酿制的苦荞醋, 具有醋和苦荞的双重功效^[4-6]。陈旭峰等^[7]将山楂与苦荞酶解后进行发酵酿醋, 研究了发酵过程总多酚、总黄酮、挥发性香气物质与抗氧化活性的相关性; 陈景等^[8]以苦荞粉、百合精粉为原料, 采用液态发酵酿造了苦荞百合保健醋

饮料; 李孟昊等^[9]以紫苏叶为原料, 采用醋浴浸提法制备了紫苏风味醋。同样作为药食同源药材, 陈皮中的芸香柚皮苷、橙皮苷等多种黄酮类物质具有抗氧化活性^[10-13], 二者同时使用, 具有很好的食用价值。

目前, 有关苦荞陈皮醋的研究较少, 尤其是采用有效物质淋醋的研究更少。以苦荞为主要原料, 采用传统山西老陈醋制作工艺, 在淋醋环节改变传统加水淋制步骤,

基金项目: 山西省教育科学“十四五”规划课题 (编号: GH-230391); 山西工商学院案例研发校级重点团队项目 (编号: 2024A1005)

通信作者: 王晓婧 (1991—), 女, 山西工商学院讲师, 硕士。E-mail: 375418434@qq.com

收稿日期: 2024-12-04 **改回日期:** 2025-07-22

引用格式: 王晓婧, 文旭洋, 李思雨. 苦荞陈皮醋淋醋工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(8): 172-179.

Citation: WANG Xiaojing, WEN Xuyang, LI Siyu. Leaching process optimization of Tartary buckwheat tangerine peel vinegar and its antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2025, 41(8): 172-179.

采用陈皮浸提液淋醋而制得苦荞陈皮醋,有助于提高黄酮类物质含量,也有助于增强抗氧化能力,对于药食同源醋的开发具有一定的参考价值。

研究拟以传统酿造工艺生产的苦荞熏醋为原料,以黄酮、多酚含量为指标,确定最优的陈皮浸提液的获取方式,以苦荞熏醋和浸提液的料液比、浸醋温度、浸醋时间为因素,进行三因素三水平响应面优化试验,确定最佳淋醋条件,旨在为苦荞陈皮醋的生产工艺优化提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

苦荞熏醋、大曲:山西工商学院醋健康产业学院;

陈皮:山西省运城市新绛县药材公司;

芦丁、没食子酸标准品:纯度 $\geq 95\%$,北京百奥莱博科技有限公司;

氢氧化钠、无水乙醇、乙醇(95%)、亚硝酸钠、硝酸铝、福林酚、碳酸钠、过硫酸钾、酚酞:分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;

ABTS、DPPH、硫酸亚铁、过氧化氢、水杨酸:分析纯,合肥博美生物科技有限责任公司。

1.2 仪器与设备

粉碎机:9FC-21型,四川省旭东机械制造有限公司;

蒸锅:80×1000×122型,山东鑫诚智能工程有限公司;

电熏池:1600×600×600型,山东鑫诚智能工程有限公司;

淋池:1200×1000×750型,山东鑫诚智能工程有限公司;

电热板:Mini 40A Plus型,北京莱伯泰科仪器股份有限公司;

恒温水浴箱:HH-T600型,常州市双舜仪器设备有限公司;

电子天平:JM-B20002型,上海菁海仪器有限公司;

分光光度计:721手动型,上海菁华科技仪器有限公司;

总酸计:PHS-3C型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

磁力搅拌器:7HMS-203D型,上海沪析实业有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 陈皮浸提液制备方式的确定 固定料液比($m_{\text{陈皮}}:V_{\text{蒸馏水}}$)为1:10(g/mL),分别通过直接加热提取(电热板加热)、水浴加热提取(90℃)和超声提取3种方式对陈皮进行浸提^[14],通过不同的提取时间(10, 20, 30, 40, 50 min)浸提后,用蒸馏水补齐至初始体积,以提取液中黄酮、多酚含量为指标,确定陈皮浸提液的最佳制备方式。

1.3.2 苦荞陈皮醋的制备工艺及操作要点

原料苦荞验收→原料粉碎→加水润料→蒸煮糊化→拌大曲→酒精发酵→拌稻壳、麸皮→醋酸发酵→熏醋→淋醋→灭菌→成品

(1) 原料粉碎:采用粉碎机对苦荞粒进行粉碎处理,将颗粒破碎成6~8瓣,无明显完整颗粒^[15]。

(2) 加水润料:加水量为55%~60%,润料时间8 h。

(3) 蒸煮糊化:蒸煮2 h,确保苦荞完全熟化,既熟透又不粘手,且无生硬感。关火并静置约30 min,将焖制好的苦荞均匀地铺在凉场,加入2倍苦荞质量的80℃以上热水,浸焖至呈稀粥状^[16]。

(4) 拌大曲:加入苦荞质量65%的大曲,将大曲与已蒸熟的苦荞混匀。

(5) 酒精发酵:拌匀后入缸进行酒精发酵,入缸温度为24℃左右。前期为有氧发酵,每天早晚翻缸一次,确保酒醪内部氧气充足,第3天品温上升至32℃,第4天有氧发酵基本完成。随后用塑料薄膜密封缸口,为其提供无氧发酵环境,保持温度和湿度均适宜酒精发酵。整个过程大约需要10~15 d^[17-18]。

(6) 醋酸发酵:发酵好的酒醪拌入麸皮一稻壳(质量比1:1)中,搅拌均匀后于浅缸内进行醋酸发酵。每天翻缸手搓一次,确保氧气充足,同时盖上草帘以保持发酵环境的恒温,保持适宜的温度和湿度,醋酸发酵15 d^[19-20]。

(7) 熏醋:当醋醅经过充分的发酵成熟后,转移至熏醋池中,采用电熏的方式进行熏醋。熏醋池内温度严格控制在120℃,间歇性加热熏制5 d,每天大约9~11 h^[21]。

(8) 淋醋:采用循环套淋法进行淋醋操作。将熏醋平均分为4份,依次进行陈皮浸提液浸泡和淋醋,以充分提取醋液,获得头醋。

(9) 灭菌:煮沸15~30 min。

1.3.3 单因素试验

(1) 料液比:采用陈皮浸提液进行淋醋,固定浸醋温度80℃,浸醋时间4 h,考察料液比[1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3(g/mL)]对头醋中总酸、黄酮和多酚含量的影响。

(2) 浸醋温度:固定料液比1:2(g/mL),浸醋时间4 h,考察浸醋温度(60, 70, 80, 90, 100℃)对头醋中总酸、黄酮和多酚含量的影响。

(3) 浸醋时间:固定料液比1:2(g/mL),淋醋温度80℃,考察浸醋时间(2, 4, 6, 8, 10 h)对头醋中总酸、黄酮和多酚含量的影响。

1.3.4 响应面试验 根据单因素试验结果,选取头醋中总酸和黄酮含量为响应值,采用Box-Behnken法设计试验,对淋醋料液比、浸醋温度和浸醋时间进行三因素三水平响应面优化试验。

1.4 检测方法

1.4.1 黄酮含量测定 参照李二冬^[22]的方法。

1.4.2 多酚含量测定 参照盛钊君等^[23]的方法。

1.4.3 总酸含量测定 参照GB 12456—2021。

1.4.4 抗氧化性测定 参照程宏桢等^[24]的方法测定DPPH自由基、ABTS⁺自由基、羟自由基清除率,以0.2%维生素C溶液为阳性对照。

1.5 数据处理

所有试验重复3次,采用Origin 9.5和Design-Expert 8.0.6软件作图和响应面试验分析。

2 结果与分析

2.1 陈皮浸提液制备方式的确定

由图 1 可知,随着提取时间的延长,3 种提取方式对陈皮浸提液中黄酮、多酚含量的影响趋势一致。当提取时间 <30 min 时,随着提取时间的延长,3 种提取方式均会使黄酮和多酚含量增加,说明黄酮、多酚类物质的溶出需要适当的提取时间。提取时间为 20~30 min 时,直接加热方式下黄酮和多酚含量迅速增加;水浴加热方式下黄酮和多酚含量的增加比较缓和,主要是因为直接加热方式热源与容器直接接触,热能直接传导给容器和内部的溶

液,热损失少,体系升温迅速,因此黄酮、多酚含量的变化更加明显。两种加热方式随着提取时间的延长,黄酮、多酚类物质含量又会降低,说明长时间的加热可能会使已溶出的黄酮、多酚类物质因降解或转化而减少,从而导致黄酮、多酚含量降低。而超声提取方式随着超声波的振动作用导致陈皮细胞壁破裂,黄酮、多酚类物质从细胞内释放出来,导致其含量增加,但长时间的超声提取也可能导致黄酮、多酚等物质发生降解或转化反应,使其含量降低。总体来看,直接加热提取 30 min 时,黄酮、多酚含量最高,分别为 441,472 mg/100 g。

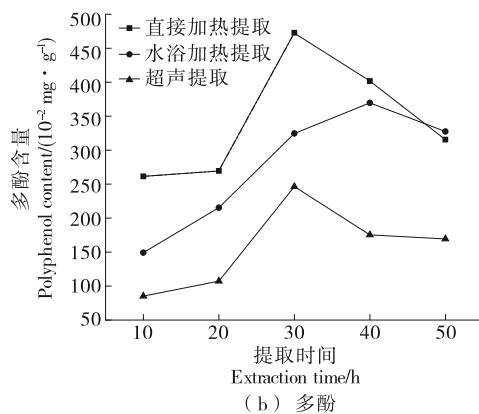
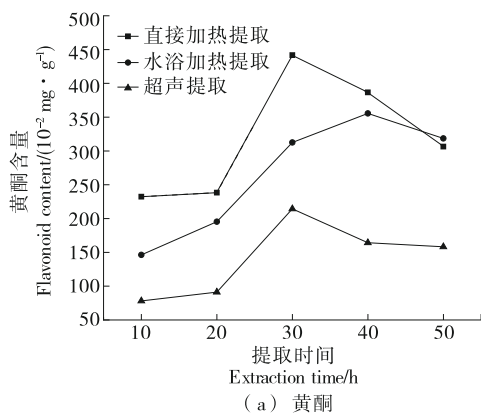


图 1 提取方式和时间对陈皮浸提液中黄酮、多酚含量的影响

Figure 1 Effects of extraction methods and time on the flavonoid and polyphenol content in the tangerine peel extracts

2.2 单因素试验

2.2.1 料液比 由图 2 可知,苦荞陈皮醋中总酸含量随着料液比的增加而降低,加入陈皮浸提液后,醋酸和其他有益成分会溶解在水中,形成醋液。随着料液比的增加,醋液会被显著稀释,淋醋前醋酸发酵已完成,所以醋酸含量是一定的,随着陈皮浸提液的增加,总酸含量降低。当料液比为 1:1 (g/mL) 时,总酸含量最高为 4.48 g/100 mL,考虑出醋率及材料成本,根据 GB/T 18187—2000,总酸含量

≥3.50 g/100 mL 即可达到规定要求,即料液比为 1:1.5 (g/mL) 时,总酸含量符合标准。

由图 3 可知,苦荞陈皮醋中黄酮、多酚含量随着料液比的增加而降低,虽然在淋醋环节中会有苦荞醋醋中的黄酮、多酚等物质溶出,但溶出的量相比于陈皮浸提液中的水溶剂来说,含量较少。因此,黄酮、多酚含量总体上降低,故料液比确定为 1:1.5 (g/mL)。

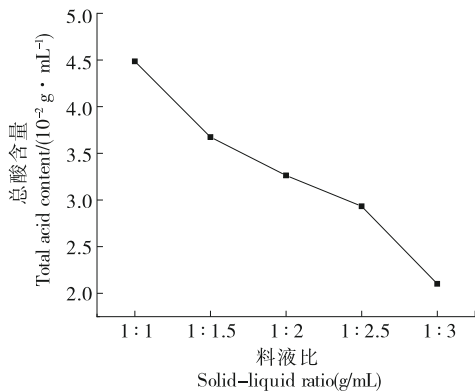


图 2 料液比对苦荞陈皮醋中总酸含量的影响

Figure 2 Effects of solid-liquid ratio on total acid content of Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

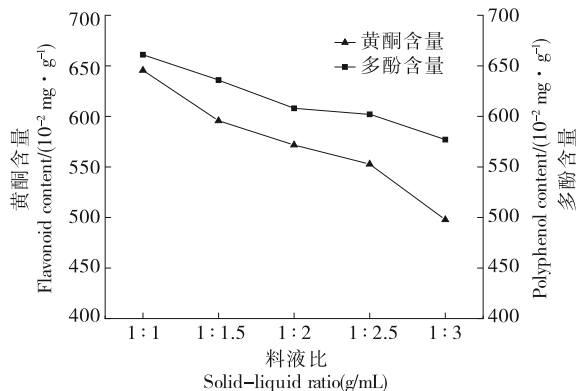


图 3 料液比对苦荞陈皮醋中黄酮、多酚含量的影响

Figure 3 Effects of solid-liquid ratio on flavonoid and polyphenol content in Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

2.2.2 浸醋温度 由图4可知,当浸醋温度为20~80℃时,随着浸醋温度的升高,淋醋后的醋液中总酸含量增加,因为温度升高可以提高醋醅中醋酸分子的热运动速度,有利于醋酸分子从醋醅中溶解到浸提液中。当浸醋温度>80℃时,醋酸的溶出速度会进一步加快,但过高的浸醋温度也可能导致醋酸等挥发性成分快速挥发,使总酸含量降低。因此,当浸醋温度为80℃时,总酸含量达到最大值,为3.31 g/100 mL。

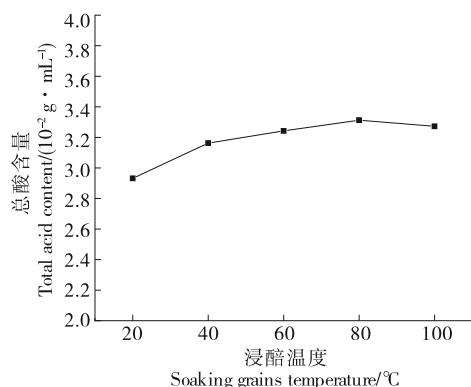


图4 浸醋温度对苦荞陈皮醋中总酸含量的影响

Figure 4 Effects of soaking temperature on total acid content in Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

由图5可知,当浸醋温度为20~80℃时,黄酮和多酚含量随着浸醋温度的升高更容易溶出,含量增加;当浸醋温度>80℃时,黄酮、多酚的溶出速度加快,但过高的浸醋温度也可能导致黄酮、多酚等活性成分的降解或破坏,从而降低其溶出量。当浸醋温度为80℃时,黄酮、多酚含量均达到最大值,分别为611,644 mg/100 g。

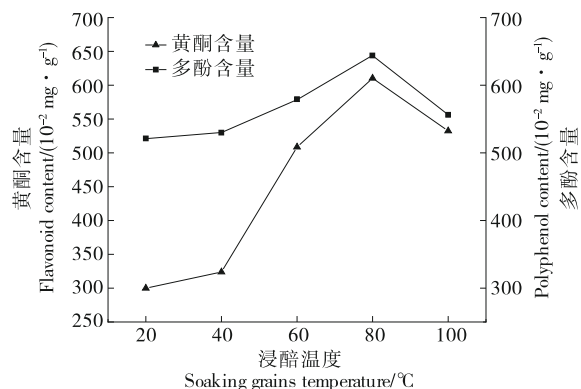


图5 浸醋温度对苦荞陈皮醋中黄酮和多酚含量的影响

Figure 5 Effects of soaking temperature on flavonoid and polyphenol content in Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

综上,当浸醋温度为80℃时,总酸、黄酮和多酚含量均达最大值。

2.2.3 浸醋时间 由图6可知,当浸醋时间为2~4 h时,醋

液中总酸含量随着浸醋时间的延长而增加,说明醋醅中的醋酸等有效成分需要一定的时间才能充分溶解到浸泡液中;当浸泡时间>4 h时,随着浸醋时间的延长总酸含量反而降低,过长的浸泡可能导致浸泡液中的醋酸等有效成分过度稀释,降低淋醋后的总酸含量。当浸醋时间为4 h时,总酸含量最高,为3.35 g/100 mL。

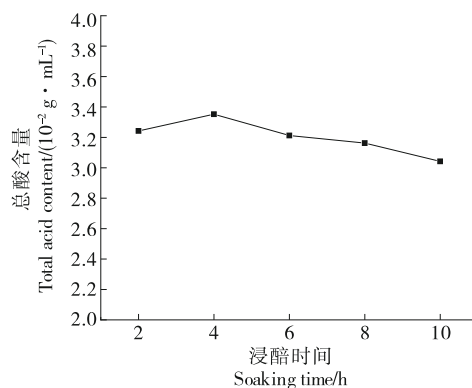


图6 浸醋时间对苦荞陈皮醋中总酸含量的影响

Figure 6 Effects of soaking time on total acid content in Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

由图7可知,当浸醋时间为2~4 h时,醋液中黄酮、多酚含量随着浸醋时间的延长而增加,说明黄酮、多酚等充分地溶出浸泡液中需要一定的时间。当浸醋时间为4~10 h时,黄酮、多酚含量随着浸醋时间的延长而降低,可能是长时间高温导致黄酮和多酚分解。当浸醋时间为4 h时,黄酮、多酚含量均达到最大值,分别为626,637 mg/100 g。

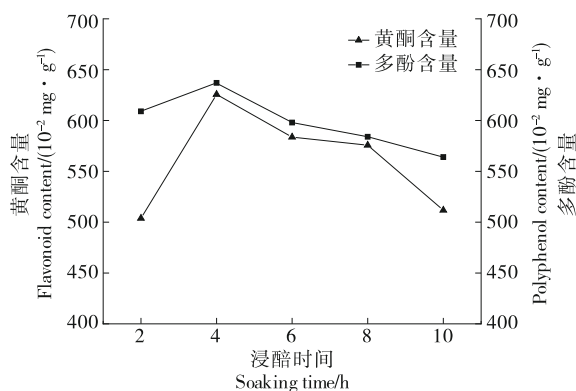


图7 浸醋时间对苦荞陈皮醋中黄酮和多酚含量的影响

Figure 7 Effects of soaking time on flavonoid and polyphenol content in Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

综上,当苦荞陈皮醋淋醋时的浸醋时间为4 h时,总酸、黄酮和多酚含量均达到最大值。

2.3 响应面实验

2.3.1 试验模型构建 由于黄酮和多酚含量趋势一致,选择黄酮和总酸含量作为响应面值。根据 Box-Behnken

中心组合试验设计原理,进行三因素三水平试验,试验因素水平见表 1,试验设计及结果见表 2^[25-26]。

对试验结果进行分析,得到苦荞陈皮醋中黄酮、总酸含量与试验因素之间的拟合二次方程分别为:

$$Y_1=708.20+0.25A+3.25B-1.50C-1.75AB-0.25AC+2.25BC-5.48A^2-7.48B^2-5.47C^2,$$
 (1)

$$Y_2=3.74-0.011\ 2A+0.003\ 8B+0.001C-0.007\ 5AB+0.02AC+0.01BC-0.035\ 8A^2-0.035\ 8B^2-0.013\ 2C^2。$$
 (2)

表 1 响应面试验设计因素表

Table 1 Factors and levels of response surface experimental design

水平	A 淋醋料液比(g/mL)	B 浸醋温度/℃	C 浸醋时间/h
−1	1:1.2	70	3
0	1:1.5	80	4
1	1:1.8	90	5

表 2 响应面试验设计及结果

Table 2 Design and results of response surface experiments

试验号	A	B	C	Y ₁ 黄酮含量/ (10 ^{−2} mg·g ^{−1})	Y ₂ 总酸含量/ (10 ^{−2} g·mL ^{−1})
1	−1	−1	0	690	3.69
2	1	−1	0	691	3.65
3	−1	1	0	703	3.71
4	1	1	0	697	3.64
5	−1	0	−1	697	3.67
6	1	0	−1	701	3.72
7	−1	0	1	694	3.71
8	1	0	1	697	3.68
9	0	−1	−1	697	3.70
10	0	1	−1	696	3.69
11	0	−1	1	690	3.68
12	0	1	1	698	3.71
13	0	0	0	708	3.73
14	0	0	0	706	3.74
15	0	0	0	708	3.76
16	0	0	0	709	3.75
17	0	0	0	710	3.74

2.3.2 黄酮含量分析 由表 3 可知,模型 P 值为 0.001 9,极显著,失拟项 $P>0.05$,不显著,表示该模型构建成功。 A^2 、 B^2 、 C^2 、 B 对黄酮含量影响显著($P<0.05$),各因素对苦荞陈皮醋中黄酮含量影响的主次顺序为浸醋温度>浸醋时间>料液比。

由图 8 可知,料液比与浸醋温度以及浸醋温度与浸醋时间的交互作用对黄酮含量虽有一定影响,但等高线图呈近椭圆形,说明这种影响不显著;料液比与浸醋时间的交互作用等高线图呈圆形,表明这种交互作用对黄酮含量的影响相对较弱,与方差分析结果相吻合。

2.3.3 总酸含量分析 由表 4 可知,模型 P 值为 0.026 8,

表 3 黄酮含量响应面优化方差分析[†]

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) for response surface optimization of flavonoid content

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	678.94	9	75.44	11.66	0.001 9	**
A	0.50	1	0.50	0.08	0.789 1	
B	84.50	1	84.50	13.06	0.008 6	**
C	18.00	1	18.00	2.78	0.139 3	
AB	12.25	1	12.25	1.89	0.211 3	
AC	0.25	1	0.25	0.04	0.849 8	
BC	20.25	1	20.25	3.13	0.120 2	
A^2	126.21	1	126.21	19.50	0.003 1	**
B^2	235.27	1	235.27	36.35	0.000 5	**
C^2	126.21	1	126.21	19.50	0.003 1	**
残差	45.30	7	6.47			
失拟项	36.50	3	12.17	5.53	0.066 0	不显著
绝对误差	8.80	4	2.20			
总和	724.24	16				

[†] “*”表示影响显著($0.01<P<0.05$);“**”表示影响极显著($P<0.01$)。

显著,失拟项 $P>0.05$,不显著,表示该模型构建成功。 A^2 、 B^2 对苦荞陈皮醋中总酸含量影响显著,各因素对苦荞陈皮醋中总酸含量影响的主次顺序为料液比>浸醋温度>浸醋时间。

由图 9 可知,料液比与浸醋时间以及浸醋温度与浸醋时间的交互作用呈近似椭圆形的等高线,说明两组因素的交

表 4 总酸含量响应面优化方差分析[†]

Table 4 Analysis of variance (ANOVA) for response surface optimization of total acid content

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.016 0	9	0.001 8	4.70	0.026 8	*
A	0.001 0	1	0.001 0	2.68	0.145 7	
B	0.000 1	1	0.000 1	0.30	0.602 3	
C	0.000 0	1	0.000 0	0.00	1.000 0	
AB	0.000 2	1	0.000 2	0.60	0.465 6	
AC	0.001 6	1	0.001 6	4.23	0.078 6	
BC	0.000 4	1	0.000 4	1.06	0.337 8	
A^2	0.005 4	1	0.005 4	14.24	0.006 9	**
B^2	0.005 4	1	0.005 4	14.24	0.006 9	**
C^2	0.000 7	1	0.000 7	1.96	0.204 6	
残差	0.002 6	7	0.000 4			
失拟项	0.002 1	3	0.000 7	5.45	0.067 5	不显著
绝对误差	0.000 5	4	0.000 1			
总和	0.018 6	16				

[†] “*”表示影响显著($0.01<P<0.05$),“**”表示影响极显著($P<0.01$)。

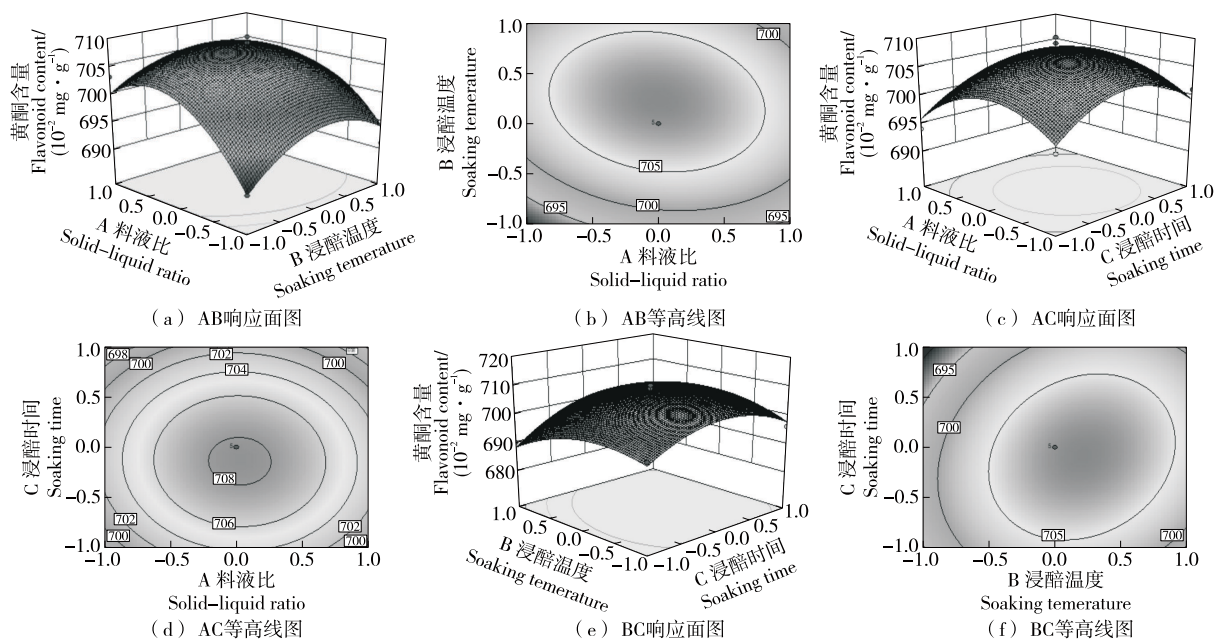


图8 各因素交互作用对苦荞陈皮醋中黄酮含量的影响

Figure 8 Effects of interaction between different factors on flavonoid content in Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

互作用对苦荞陈皮醋中总酸含量有一定影响,但不显著;料液比与浸醋温度的交互作用呈圆形等高线,表明其交互作用对总酸含量的影响相对较弱,与方差分析结果一致。

通过 Design-Expert 软件对 Box-Behnken 试验设计结果进行分析,预测出苦荞陈皮醋的最佳淋醋条件为浸醋时间 3.962 74 h、浸醋温度 81.456 1 °C、料液比 1:1.473 9 (g/mL),此条件下预测的黄酮含量为 708.509 mg/100 g,总酸含量为 3.745 g/100 mL。

2.3.4 验证实验 考虑到试验条件的可行性,将淋醋条件修正为浸醋时间 4 h,浸醋温度 80 °C,料液比 1:1.5 (g/mL)。经验证,苦荞陈皮醋中黄酮、总酸含量分别为 706.4 mg/100 g 和 3.72 g/100 mL,与预测值接近,说明试验建立的响应面模型得到的苦荞陈皮醋最佳淋醋工艺条件可靠。

2.4 抗氧化活性

由图 10 可知,苦荞陈皮醋的 DPPH 自由基、ABTS⁺自

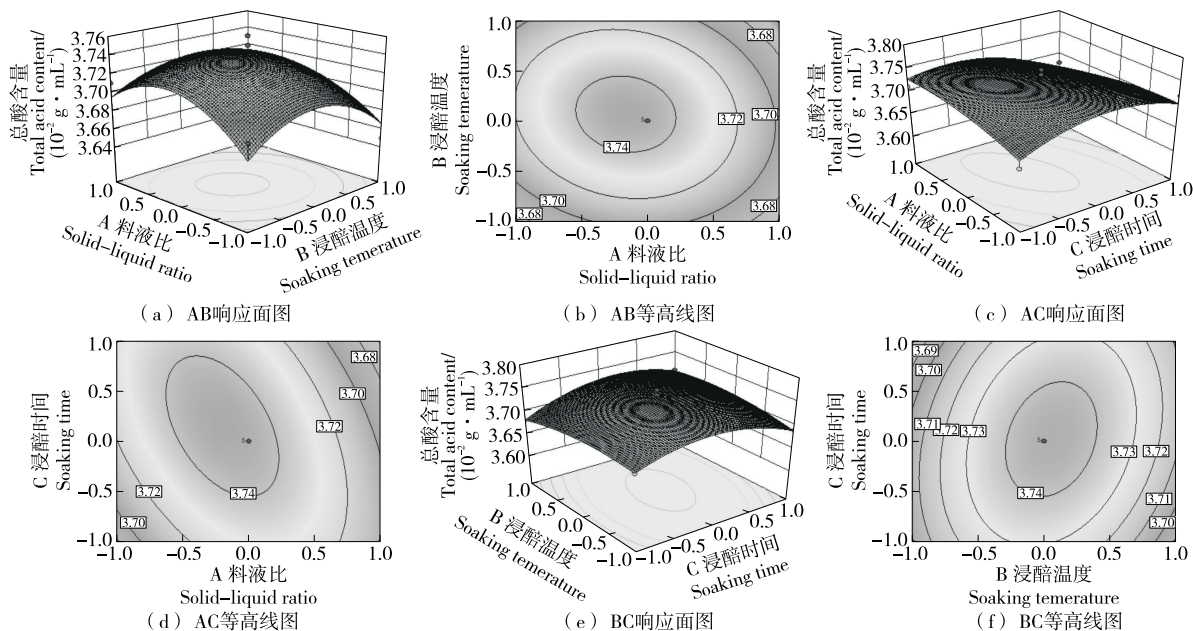


图9 各因素交互作用对苦荞陈皮醋中总酸含量的影响

Figure 9 Effects of interaction between different factors on total acid content in Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

由基、羟自由基清除能力均随着样品用量的增加而增加,当苦荞陈皮醋取样量为 1.2 mL 时,DPPH 自由基和羟自由基清除能力与 0.2% 维生素 C 的基本接近,ABTS⁺ 自由基清除能力略低于 0.2% 维生素 C 的,说明苦荞陈皮醋具有一定的抗氧化活性。

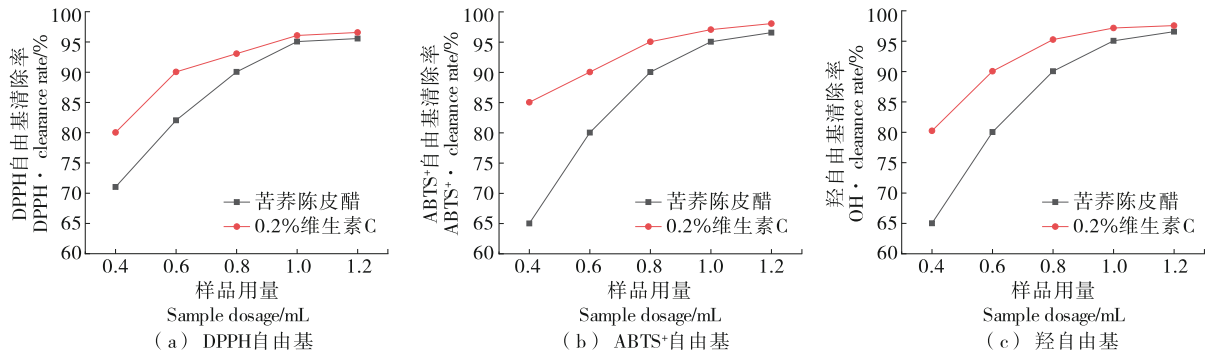


图 10 苦荞陈皮醋的抗氧化活性

Figure 10 Antioxidant activity of Tartary buckwheat tangerine peel vinegar

表 5 苦荞陈皮醋与苦荞醋的指标对比
Table 5 Comparison of indices between Tartary buckwheat tangerine peel vinegar and Tartary buckwheat vinegar

指标	单位	苦荞醋	苦荞陈皮醋
总酸	g/100 mL	3.70	3.72
黄酮含量	mg/100 g	420.5	706.4
多酚含量	mg/100 g	460.3	741.5
1.2 mL 样品 DPPH 自由基清除率	%	88.1	95.5
1.2 mL 样品 ABTS ⁺ 自由基清除率	%	90.5	96.5
1.2 mL 样品羟自由基清除率	%	92.1	96.5

3 结论

苦荞陈皮醋的最佳淋醋工艺条件为浸醋时间 4 h、浸醋温度 80 ℃,料液比 1:1.5 (g/mL),该条件所制备的苦荞陈皮醋中总酸含量为 3.72 g/100 mL,黄酮含量为 706.4 mg/100 g,多酚含量为 741.5 mg/100 g,1.2 mL 样品的抗氧化能力与 0.2% 维生素 C 的相当。综上,苦荞陈皮醋中富含大量黄酮类化合物并具有一定的抗氧化能力。后续可进一步对淋醋工艺的普适性、功能验证方面进行深化,推动从实验室到产业化的衔接。

参考文献

[1] 赵佳伟,郑佳,李茂,等.苦荞酒酒糟中酚类化合物成分分析及体外抗氧化活性[J].食品与机械,2024,40(2):146-151.
ZHAO J W, ZHENG J, LI M, et al. Phenolic compositions and in vitro antioxidant activities of tartary buckwheat wine lees[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 146-151.
[2] 张素云,李谦,秦礼康,等.液态苦荞醋酿造过程中糖化及醋

2.5 苦荞陈皮醋与苦荞醋的指标对比

由表 5 可知,苦荞陈皮醋中总酸含量相对于苦荞醋变化较小,说明用陈皮浸提液淋醋对苦荞醋中醋酸影响不大,但其黄酮和多酚含量显著增加,抗氧化能力增强,说明开发苦荞陈皮醋有更明显的保健作用。

化工艺优化[J].食品工业科技,2015,36(8):222-225,244.
ZHANG S Y, LI Q, QIN L K, et al. Technological optimization of saccharification and acetification in the brewing process of liquid buckwheat vinegar[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(8): 222-225, 244.
[3] 卜京,石云,林燕,等.滨海白首乌发酵片工艺优化及抗氧化活性研究[J].食品与机械,2024,40(2):204-212.
BU J, SHI Y, LIN Y, et al. Study on process optimization and antioxidant activity of fermentative *Cynanchum auriculatum* tablet[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 204-212.
[4] 张馨月,马挺军.苦荞醋保健功能及研究进展[J].食品与发酵科技,2023,59(4):132-136.
ZHANG X Y, MA T J. Health function and research progress of tartary buckwheat vinegar[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2023, 59(4): 132-136.
[5] 阳飞,张华山.食醋及其营养保健功能研究进展[J].中国调味品,2017,42(5):171-175.
YANG F, ZHANG H S. Research progress on nutrition and health care function of vinegar[J]. China Condiment, 2017, 42 (5): 171-175.
[6] 孙宝山,孙玲玲,张冰莹,等.山西老陈醋难挥发性成分及研究进展[J].中国调味品,2024,49(3):193-196,220.
SUN B S, SUN L L, ZHANG B Y, et al. Non-volatile components and research progress of Shanxi aged vinegar[J]. China Condiment, 2024, 49(3): 193-196, 220.
[7] 陈旭峰,王超宇,魏莎莎,等.山楂苦荞醋发酵过程中活性成分及风味物质与抗氧化活性的相关性[J].中国酿造,2022,41(10):36-41.
CHEN X F, WANG C Y, WEI S S, et al. Correlation of active constituent and flavor compounds with antioxidant activity in the fermentation process of hawthorn tartary buckwheat vinegar [J]. China Brewing, 2022, 41(10): 36-41.

- [8] 陈景, 黄群, 傅伟昌, 等. 苦荞百合保健醋饮料酿造工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 467-470.
CHEN J, HUANG Q, FU W C, et al. An optimized technique for brewing healthy vinegar beverage from bitter buckwheat and lily[J]. Food Science, 2009, 30(20): 467-470.
- [9] 李孟昊, 赵亚娜, 李会珍, 等. 紫苏风味醋的制备及抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(4): 29-36.
LI M H, ZHAO Y N, LI H Z, et al. Study on preparation and antioxidant activity of perilla flavor vinegar[J]. China Condiment, 2023, 48(4): 29-36.
- [10] 雷昌, 朱玲凤, 朱丽君, 等. 陈皮复合固体饮料制备工艺及其对急性酒精性肝损伤小鼠的保护作用[J]. 食品与机械, 2024, 40(7): 132-140.
LEI C, ZHU L F, ZHU L J, et al. Preparation technology of tangerine peel composite solid beverage and its protective effect on mice with acute alcoholic liver injury[J]. Food & Machinery, 2024, 40(7): 132-140.
- [11] ZHOU L, WU B, LIU X M, et al. Fungal community analysis of two edible herbs: *Citri reticulatae* pericarpium and polygalae radix[J]. Journal of Agriculture and Food Research, 2024, 16: 101055.
- [12] 钱敏, 李焱鑫, 梁杰强, 等. 陈皮牛肉预制菜品质的研究[J]. 中国调味品, 2024, 49(6): 135-142.
QIAN M, LI Y X, LIANG J Q, et al. Study on quality of prepared beef with tangerine peel[J]. China Condiment, 2024, 49(6): 135-142.
- [13] CHEN L H, XIAO G S, XU Y J, et al. Effects of aging on the bioactive flavonoids and fungal diversity of *Pericarpium Citri Reticulatae* (*Citrus reticulata* 'Chachi') [J]. LWT-Food Science and Technology, 2024, 200: 116135.
- [14] 黎艳玲, 刘英菊, 邓婷, 等. 陈皮的提取方法及其在烟草业的应用进展[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(4): 19-22, 66.
LI Y L, LIU Y J, DENG T, et al. Research progress on extraction method of tangerine peel and its application progress in the tobacco industry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2025, 53(4): 19-22, 66.
- [15] 郎繁繁, 夏瑶瑶, 申瑾, 等. 不同酿造工艺对山西老陈醋乙偶姻及川芎嗪含量的影响[J]. 中国酿造, 2024, 43(6): 128-132.
LANG F F, XIA Y Y, SHEN J, et al. Effects of different brewing techniques on the contents of acetoin and ligustrazine in Shanxi aged vinegar[J]. China Brewing, 2024, 43(6): 128-132.
- [16] 赵红年, 赵芳, 林汲, 等. 葛根高粱复合酿造山西老陈醋的工艺优化[J]. 中国调味品, 2020, 45(6): 134-138.
ZHAO H N, ZHAO F, LIN J, et al. Process optimization of Shanxi aged vinegar brewed with pueraria Lobata and sorghum [J]. China Condiment, 2020, 45(6): 134-138.
- [17] 谢锦明. 苦荞醋醋酸发酵工艺及生物活性初探[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2020.
XIE J M. Study preliminary study on acetic acid fermentation technology and biological activity of tartary buckwheat vinegar [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2020.
- [18] 王超宇. 山西老陈醋源优良醋酸菌的分离筛选及在山楂苦荞醋中的应用[D]. 太谷: 山西农业大学, 2019.
WANG C Y. Separation and screening of acetic acid bacteria from Shanxi aged vinegar source and its application in hawthorn buckwheat vinegar[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [19] 孙瑶, 张美玲, 鄢家豪, 等. 响应面法优化苦荞麦复合醋的发酵工艺[J]. 广东化工, 2023, 50(9): 51-55.
SUN Y, ZHANG M L, YAN J H, et al. Optimization of fermentation process of tartary buckwheat compound vinegar by response surface methodology[J]. Guangdong Chemical Industry, 2023, 50(9): 51-55.
- [20] 李孟昊. 紫苏风味保健醋制备及生物活性研究[D]. 太原: 中北大学, 2023.
LI M H. Preparation and biological activity study of *Perilla frutescens* flavored health vinegar[D]. Taiyuan: North University of China, 2023.
- [21] 韩凯, 杜将, 纪薇. 山西老陈醋熏醅过程中吡嗪类生成规律分析[J]. 中国酿造, 2023, 42(8): 84-89.
HAN K, DU J, JI W. Formation rules of pyrazines in the fumigation process of Shanxi aged vinegar[J]. China Brewing, 2023, 42(8): 84-89.
- [22] 李二冬. 两款市售苦荞醋沉淀中黄酮含量的测定[J]. 农产品加工, 2023(10): 44-46.
LI E D. Determination of flavonoids in precipitates of two commercially available Tartary buckwheat vinegar[J]. Farm Products Processing, 2023(10): 44-46.
- [23] 盛钊君, 谭永权, 葛思媛, 等. 新会柑胎仔和青皮、陈皮提取物的多酚含量及抗氧化活性比较研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 78-82.
SHENG Z J, TAN Y Q, GE S Y, et al. Quantitative determination of polyphenol contents comparison of antioxidant activities of extracts of Xinhui tangerine buds, green tangerine peel and tangerine peel[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 39(1): 78-82.
- [24] 程宏桢, 蔡志鹏, 王静, 等. 百香果全果酒发酵工艺优化及体外抗氧化性比较分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 91-97.
CHENG H Z, CAI Z P, WANG J, et al. Optimization of fermentation process for whole passion fruit wine and comparative analysis of antioxidant activity *in vitro*[J]. China Brewing, 2020, 39(4): 91-97.
- [25] 刘明宇, 陈李敏, 王思丹, 等. 紫薯苦荞复合醋饮料的研制及其风味物质分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 178-182.
LIU M Y, CHEN L M, WANG S D, et al. Development and flavor substances analysis of purple sweet potato and bitter buckwheat combined vinegar beverage[J]. Food & Machinery, 2016, 32(11): 178-182.
- [26] 卜京, 石云, 林燕, 等. 滨海白首乌发酵片工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(2): 204-212.
BU J, SHI Y, LIN Y, et al. Study on process optimization and antioxidant activity of fermentative *Cynanchum auriculatum* tablet[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 204-212.