

## 黄芪荞麦蒸馏酒发酵条件优化及其品质分析

马云啸<sup>1</sup>,周文喜<sup>2</sup>,冀照君<sup>1</sup>,倪娜<sup>1</sup>,王华<sup>1\*</sup>

(1.内蒙古民族大学 生命科学与食品学院,内蒙古 通辽 028043;2.通辽市农牧科学研究院,内蒙古 通辽 028000)

**摘要:**该研究以荞麦、黄芪为原料,接种酒曲固态发酵、蒸馏制备黄芪荞麦蒸馏酒,通过单因素试验及响应面法优化其发酵条件,并采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术测定蒸馏酒的挥发性风味物质。结果表明,黄芪荞麦蒸馏酒最佳发酵条件为:发酵温度31℃、初始pH值5.5、酒曲添加量1%、发酵时间17 d。在此优化条件下,黄芪荞麦蒸馏酒的酒精度、总黄酮、总糖、总酸、甲醇含量分别为33.06%vol、68.46 mg/L、8.60 g/L、4.20 g/L、0.2 g/L,理化指标均符合相关国标要求。黄芪荞麦蒸馏酒样品中共检出42种挥发性风味物质,包括酯类24种、醇类5种、酸类6种、烷烃类4种、酮类3种。其中,主要挥发性风味物质为醇类、酯类,其相对含量分别为48.30%、38.49%。

**关键词:**黄芪荞麦蒸馏酒;发酵条件优化;响应面法;挥发性风味物质;品质分析

中图分类号:TS262.3

文章编号:0254-5071(2025)11-0198-07

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.11.029

引文格式:马云啸,周文喜,倪娜,等.黄芪荞麦蒸馏酒发酵条件优化及其品质分析[J].中国酿造,2025,44(11):198-204.

## Optimization of fermentation conditions of *Astragalus* and buckwheat distilled liquor and its quality analysis

MA Yunxiao<sup>1</sup>, ZHOU Wenxi<sup>2</sup>, JI Zhaojun<sup>1</sup>, NI Na<sup>1</sup>, WANG Hua<sup>1\*</sup>

(1.College of Life Sciences and Food Science, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao 028043, China;

2.Tongliao Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Tongliao 028000, China)

**Abstract:**In this study, using buckwheat and *Astragalus* as raw materials, the *Astragalus* and buckwheat distilled liquor was prepared by solid-state fermentation with *Jiuqu* and distillation, the fermentation conditions were optimized by single factor tests and response surface tests, and the volatile flavor compounds in the distilled liquor were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the optimal fermentation conditions of the *Astragalus* and buckwheat distilled liquor were as follows: fermentation temperature 31 °C, initial pH 5.5, *Jiuqu* addition 1%, and fermentation time 17 d. Under these optimal conditions, the alcohol content, total flavonoids, total sugar, total acid, and methanol contents of *Astragalus* and buckwheat distilled liquor were 33.06%vol, 68.46 mg/L, 8.60 g/L, 4.20 g/L, and 0.2 g/L, respectively, and all physicochemical indicators met the requirements of relevant national standards. A total of 42 volatile flavor compounds, including 24 esters, 5 alcohols, 6 acids, 4 alkanes and 3 ketones, were detected in *Astragalus* and buckwheat distilled liquor sample. Among them, the main volatile flavor substances were alcohols and esters, and the relative contents were 48.30% and 38.49%, respectively.

**Key words:***Astragalus* and buckwheat distilled liquor; fermentation conditions optimization; response surface tests; volatile flavor compounds; quality analysis

荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench)属于蓼科荞麦属,富含膳食纤维、微量元素等多种营养成分及黄酮、糖醇及D-手性肌醇等高活性药用成分<sup>[1-2]</sup>。黄芪(*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge)是豆科黄芪属植物,其根经过干燥后属于药食同源物质<sup>[3]</sup>。黄芪含有多种生物活性成分,包括黄酮类、多糖、皂苷类化合物等,对调节血糖、血压,保护心肌、提高人体免疫力等方面具有良好的功效<sup>[4-5]</sup>。目前,以药食同源为原料酿造的发酵酒包括人参酒、枸杞酒、桑葚酒和大枣酒等<sup>[6]</sup>。由于酒精度较低、营养丰富、口感清爽且风味独特,受到人们广泛的欢迎,并迅速发展。

目前,以药食同源黄芪为原料制备发酵酒的研究已有

报道,姜莹等<sup>[7]</sup>以甜荞与苦荞为原料,优化了发酵罐发酵荞麦酒工艺条件,其酒精度、总黄酮含量分别为10.1%vol、103.30 μg/mL。尉杰等<sup>[8]</sup>优化了荞麦发芽种子液态发酵荞麦酒的工艺条件,提高了酒精度和总黄酮含量。目前,鲜见关于荞麦黄芪酒工艺条件及品质分析的研究报道。

本研究以荞麦和黄芪为原料,采用固态发酵法酿造荞麦黄芪蒸馏酒,以酒精度和总黄酮含量为评价指标,采用单因素试验及响应面法优化荞麦黄芪蒸馏酒发酵条件,并采用顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)-气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术分析其挥发性风味物质,

收稿日期:2025-01-21

修回日期:2025-05-19

基金项目:内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目(GXKY25Z048);内蒙古自然科学基金研究项目(2024MS03060)

作者简介:马云啸(1999-),男,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全。

\*通讯作者:王华(1981-),女,教授,博士,研究方向为功能性食品与生物反应器。

以期丰富药食同源发酵酒种类,为荞麦酒的开发利用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黄芪、荞麦:通辽市农牧科学研究所;白酒酒曲、金香霸酒曲:安琪酒曲股份有限公司。

三氯化铝、乙酸钾、芦丁、蒽酮、醋酸铅、草酸钠(纯度均>98%):上海麦克林生化科技股份有限公司;乙醚(分析纯):天津市富宇精细化工有限公司;盐酸、氯化钠(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

FA604B电子天平:苏州威尔有限公司;DH250A电热恒温培养箱:北京科伟有限公司;RE-5210A大型旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;铜制酒精计:北京万成北增精密仪器有限公司;HP-5MS色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm)、7890A 5975C气相色谱-质谱联用仪:安捷伦科技(中国)有限公司;固相微萃取头(50/30 μmPDMS/DVB/CAR)、Stableflex萃取头:美国SPELCO公司;MASS-6036ASH多样品自动固相微萃取仪:上海新拓分析仪器科技有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 黄芪荞麦蒸馏酒制备工艺流程及操作要点

荞麦、黄芪→蒸粮→摊凉→糖化→发酵→蒸馏→原酒

操作要点:

荞麦前处理:荞麦于120℃的烘箱中干燥2 h后,按荞麦与水的质量比为1:2加水,室温浸泡4 h左右使荞麦吸水饱和直至用手轻轻捏即成粉状<sup>[9]</sup>。

黄芪前处理:挑选无虫蚀、无霉变的黄芪洗净,晾干后备用。

蒸粮:经前处理后的荞麦和黄芪在100℃条件下蒸25 min后,洒入70℃左右温水继续蒸10 min。其目的是使原料的淀粉颗粒细胞壁破裂,淀粉糊化,便于酒曲中的糖化微生物作用,糖化发酵。

摊凉:将蒸制糊化后的荞麦与黄芪混合物均匀撒入70℃的水,翻拌至松散状态,并于洁净操作台上摊晾,控制料温降至35℃左右,备用。

糖化、发酵:以荞麦及黄芪质量比为2:1混合,向摊凉好的发酵物料中拌入0.2%金香霸酒曲(以荞麦及黄芪质量为基准),31℃条件下糖化20 h,糖化后的物料(pH值5.5)中添加1%白酒酒曲,31℃下发酵16 d左右,当24 h内质量损失<0.5 g/100 g物料(以干基计)发酵结束<sup>[10]</sup>。

蒸馏:将固态发酵料放入蒸馏设备中,严格控制蒸馏温度与时间,采用单次连续蒸馏方式。根据蒸馏过程中酒液的流出顺序分为酒头、酒身、酒尾,蒸馏过程中每部分单独收集,截取酒头(约占总出酒量的1%~5%),其酒精度范围为50%vol~60%vol;完成酒头的截取后,继续蒸馏,

获得蒸馏过程中酒精浓度最高的酒身(通常占总出酒量的70%~85%),其酒精度>25%vol<sup>[11]</sup>;当酒液的酒精度开始下降,获得酒尾(约占总出酒量的10%~20%),其酒精度<20%vol<sup>[12]</sup>,即得黄芪荞麦蒸馏酒。

#### 1.3.2 黄芪荞麦蒸馏酒发酵条件优化

##### (1) 单因素试验

在每个单因素条件基础上,在固定的蒸馏条件下进行蒸馏,取酒身。以酒身的酒精度和总黄酮含量为评价指标,分别考察发酵温度(26℃、29℃、32℃、35℃、38℃)、初始pH值(5.0、5.5、6.0、6.5、7.0)、酒曲添加量(0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%)、发酵时间(12 d、14 d、16 d、18 d、20 d)对荞麦黄芪蒸馏酒品质的影响。

##### (2) 响应面试验

根据单因素试验的结果,以发酵温度(A)、初始pH值(B)、酒曲添加量(C)、发酵时间(D)为自变量,以酒精度(Y)为评价指标、总黄酮含量为参考指标<sup>[12]</sup>,采用Box-Behnken响应面试验对黄芪荞麦蒸馏酒的发酵条件进行优化,Box-Behnken试验设计因素与水平见表1。

表1 发酵条件优化Box-Behnken试验因素与水平  
Table 1 Factors and levels of Box-Behnken tests for fermentation conditions optimization

水平	A 发酵温度/℃	B 初始pH值	C 酒曲添加量/%	D 发酵时间/d
-1	29	5.5	0.6	14
0	32	6.0	0.8	16
1	35	6.5	1.0	18

#### 1.3.3 分析检测

##### (1) 理化指标检测

可溶性固形物测定:采用手持糖量计;酒精度测定:采用酒精计;甲醇、氰化物测定:参照国标GB/T 5009.48—2003《蒸馏酒与配制酒卫生标准的分析方法》<sup>[13]</sup>;酸度、总糖测定:参照国标GB 12696—2016《发酵酒及其配制酒生产卫生规范》<sup>[14]</sup>中的直接滴定法和指示剂法。总黄酮测定:采用硝酸铝显色法<sup>[15]</sup>,以吸光度值(x)为横坐标,芦丁标准品质量浓度(y)为纵坐标绘制标准曲线,根据标准曲线回归方程 $y=2.5386x-0.0001$ (相关系数 $R^2=0.9983$ ),计算总黄酮含量(以芦丁计)。

##### (2) 挥发性风味物质检测

采用顶空固相微萃取-气相色谱-串联质谱(HS-SPME-GC-MS)法对荞麦黄芪蒸馏酒进行挥发性风味成分检测。

HS-SPME条件:萃取头老化温度250℃,老化时间300 s,样品放进20 mL顶空瓶中预加热温度40℃,萃取温度60℃,萃取时间2 400 s,解吸温度270℃,解吸时间300 s。

GC条件:HP-5MS色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);程序升温条件为初始温度40℃保持5 min,以2℃/min升至70℃,保持2 min,以3℃/min升至120℃,以5℃/min升至

150℃,以10℃/min升至230℃,保持2min;流速1.4 mL/min;质量选择检测器(mass selective detector,MSD);载气为高纯氦气(He)(纯度99.999%),流量40 mL/min;分流进样(分流比为10:1);隔垫吹扫流量3 mL/min;进样口温度270℃。

MS条件:采用电子电离(electronic ionization,EI)源,电子能量70 eV;离子源温度230℃;四极杆温度150℃;传输线温度280℃;选择离子监测(selected ion monitoring,SIM)模式;质量扫描范围为35~550 m/z;溶剂延迟1.0 min。

定性定量分析:通过美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology,NIST)02质谱数据库进行定性分析,选取相似度>80%的化合物,并通过峰面积归一化法进行相对定量。

### 1.3.4 数据统计与分析

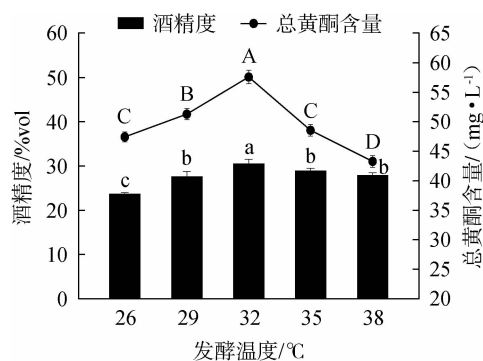
采用GraphPad Prism 9.5.0进行数据处理、图像绘制,利用SPSS24.0软件进行显著性分析,采用Design-Expert 13.0对响应面试验的数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵条件优化单因素试验结果

#### 2.1.1 发酵温度的确定

合适的发酵温度能够促进酵母的活性,保证发酵速率<sup>[6]</sup>。发酵温度对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响见图1。由图1可知,随着发酵温度在26~38℃范围内的增加,黄芪荞麦酒的酒精度、总黄酮含量均呈先升高后降低的趋势,当发酵温度为32℃时,酒精度及总黄酮含量均达到最高值,分别为30.3%vol、57.57 mg/L。过低的温度酵母活性较低,过高的温度不仅会影响酒曲中微生物的生长,导致酒精度下降,还会导致原料过度软化或降解,从而影响黄酮类化合物的释放<sup>[7]</sup>。因此,确定最佳发酵温度为32℃。



不同小写字母表示酒精度差异显著( $P<0.05$ )。不同大写字母表示总黄酮含量差异显著( $P<0.05$ )。下同。

图1 发酵温度对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响

Fig. 1 Effect of fermentation temperature on the alcohol content and total flavonoid content of *Astragalus* and buckwheat distilled liquor

#### 2.1.2 初始pH值的确定

适当的初始pH值能够促进酵母活性、提高酒精产量,

并有助于荞麦和黄芪中黄酮类功能成分释放<sup>[18]</sup>。初始pH值对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响见图2。由图2可知,随着初始pH值在5.0~7.0范围内的增加,黄芪荞麦蒸馏酒的酒精度及总黄酮含量均呈先升高后下降的趋势,当发酵料初始pH值为6.0时,总黄酮含量、酒精度均最高,分别为57.20 mg/L、29.8%vol。因此,确定最佳初始pH值为6.0。

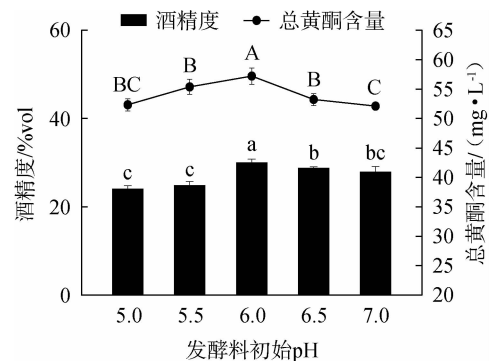


图2 初始pH值对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响

Fig. 2 Effect of initial pH on the alcohol content and total flavonoid content of *Astragalus* and buckwheat distilled liquor

#### 2.1.3 酒曲添加量的确定

酒曲添加量过少时,原料与酵母的混合不足,会导致发酵过程不完全,直接影响最终的酒精度。当酒曲添加量过多时,酵母会过度繁殖,不仅消耗掉部分还原糖,还可能产生一些不利的代谢副产物,从而影响发酵进程<sup>[9]</sup>。酒曲添加量对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响见图3。由图3可知,随着酒曲添加量在0.4%~1.2%范围内的增加,黄芪荞麦蒸馏酒酒精度和总黄酮含量均呈先升高后下降的趋势,当酒曲添加量分别为0.8%、1.0%时,酒精度、总黄酮含量均达到最高,分别为30.23%vol、60.25 mg/L。白酒酒曲中的微生物可以分泌酶,酶能够促催化植物细胞壁的分解,从而释放出原本被包裹的黄酮类化合物<sup>[20]</sup>。因此,确定最佳酒曲添加量为0.8%。

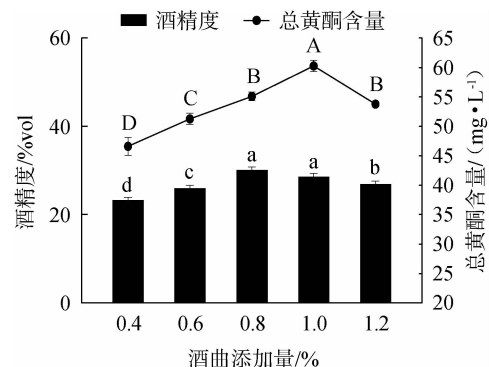


图3 酒曲添加量对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响

Fig. 3 Effect of *Jiuqu* addition on the alcohol content and total flavonoid content of *Astragalus* and buckwheat distilled liquor

2.1.4 发酵时间的确定

发酵时间对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响见图4。由图4可知,随着发酵时间在12~20 d范围内的增加,黄芪荞麦蒸馏酒的酒精度、总黄酮含量均呈先升高后下降的趋势,当发酵时间为16 d时,酒精度及总黄酮含量均最高,分别为31.2%vol、63.10 mg/L。当发酵时间较长时,某些代谢副产物(如醇类、酸类)积累,这些物质可能与黄酮类化合物发生化学反应,影响其稳定性或溶出,从而影响总黄酮含量<sup>[21]</sup>。因此,确定最佳发酵时间为16 d。

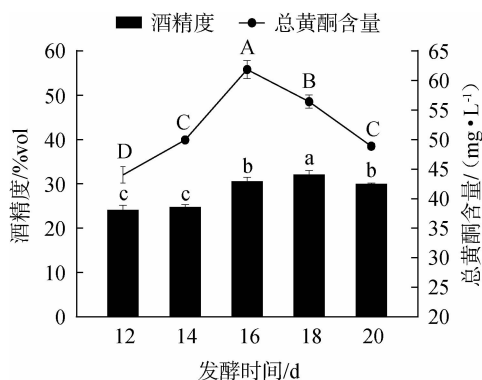


图4 发酵时间对黄芪荞麦蒸馏酒酒精度及总黄酮含量的影响

Fig. 4 Effect of fermentation time on the alcohol content and total flavonoid content of *Astragalus* and buckwheat distilled liquor

2.2 发酵条件优化响应面试验结果与分析

在单因素试验结果的基础上,分别以发酵温度(A)、初始pH值(B)、酒曲添加量(C)、发酵时间(D)为自变量,以酒精度(Y<sub>1</sub>)为响应值,总黄酮含量(Y<sub>2</sub>)为参考值,通过Design Expert 13.0软件进行Box-Behnken响应面试验,响应面试验设计及结果见表2,以酒精度为响应值的回归模型方差分析结果见表3。

表2 发酵条件优化Box-Behnken试验设计及结果

Table 2 Design and results of Box-Behnken tests for fermentation conditions optimization

试验号	A	B	C	D	Y <sub>1</sub> 酒精度/%vol	Y <sub>2</sub> 总黄酮含量/(mg·L <sup>-1</sup> )
1	-1	-1	0	0	26.8	35.53
2	1	-1	0	0	25.3	36.83
3	-1	1	0	0	25.6	34.72
4	1	1	0	0	28.3	42.68
5	0	0	-1	-1	25.3	39.40
6	0	0	1	-1	24.8	47.86
7	0	0	-1	1	29.2	50.23
8	0	0	1	1	28.9	45.52
9	-1	0	0	-1	24.3	36.77
10	1	0	0	-1	24.0	39.83
11	-1	0	0	1	27.6	43.29
12	1	0	0	1	28.5	46.58

续表

试验号	A	B	C	D	Y <sub>1</sub> 酒精度/%vol	Y <sub>2</sub> 总黄酮含量/(mg·L <sup>-1</sup> )
13	0	-1	-1	0	28.2	49.98
14	0	1	-1	0	28.0	44.52
15	0	-1	1	0	27.0	38.86
16	0	1	1	0	27.9	49.68
17	-1	0	-1	0	25.4	42.28
18	1	0	-1	0	27.3	50.36
19	-1	0	1	0	26.2	43.25
20	1	0	1	0	25.2	40.52
21	0	-1	0	-1	25.4	37.88
22	0	1	0	-1	25.6	38.72
23	0	-1	0	1	29.0	43.29
24	0	1	0	1	29.8	47.53
25	0	0	0	0	30.7	63.32
26	0	0	0	0	30.9	65.25
27	0	0	0	0	31.4	64.18
28	0	0	0	0	32.0	62.18
29	0	0	0	0	32.6	65.55

表3 以酒精度为响应值的回归模型方差分析

Table 3 Variance analysis of regression model with alcohol content as the response value

源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	148.25	14	10.59	118.81	<0.000 1	**
A	0.607 5	1	0.607 5	6.82	0.020 5	*
B	1.02	1	1.02	11.45	0.004 5	**
C	0.963 3	1	0.963 3	10.81	0.005 4	**
D	46.41	1	46.41	520.73	<0.000 1	**
AB	4.41	1	4.41	49.48	<0.0001	**
AC	2.10	1	2.10	23.59	0.000 3	**
AD	0.360 0	1	0.360 0	4.04	0.064 1	
BC	0.302 5	1	0.302 5	3.39	0.086 7	
BD	0.090 0	1	0.090 0	1.01	0.332 0	
CD	0.010 0	1	0.010 0	0.1122	0.742 6	
A <sup>2</sup>	63.72	1	63.72	714.87	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	16.28	1	16.28	182.63	<0.000 1	**
C <sup>2</sup>	26.51	1	26.51	297.44	<0.000 1	**
D <sup>2</sup>	29.89	1	29.89	335.36	<0.000 1	**
残差	1.25	14	0.089 1			
失拟项	0.435 8	10	0.043 6	0.214 7	0.977 9	
纯误差	0.812 0	4	0.203 0			
总和	149.50	28				

注:“\*”表示对结果影响显著(P<0.05);“\*\*”表示对结果影响极显著(P<0.01)。

通过Design-Expert 13.0软件对表2中的数据进行多元二次回归拟合,建立以酒精度(Y<sub>1</sub>)为响应值的二次多项式

回归模型,得到 $Y_1$ 与发酵温度(A)、初始pH值(B)、酒曲添加量(C)、发酵时间(D)4个因素的多元二次回归方程:

$$Y_1=31.52+0.225\ 0A+0.291\ 7B-0.283\ 3C+1.97D+1.05AB-0.725AC+0.300AD+0.275BC+0.150BD+0.050CD-3.26A^2-1.71B^2-2.15C^2-2.28D^2$$

由表3可知,该回归模型极显著( $P<0.000\ 1$ ),失拟项不显著( $P>0.05$ ),模型变异系数(coefficient of variation, CV)值为1.08%,表明该模型可靠性高,可充分的反映试验情况<sup>[22-23]</sup>。模型决定系数 $R^2_{adj}=0.991\ 7$ ,调整决定系数 $R^2_{adj}=\$

0.983\ 3,说明该模型能解释99%的响应值变化,表明试验模型拟合度良好,误差较小。由 $P$ 值可知,一次项A对结果影响显著( $P<0.05$ ),一次项B、C、D,交互项AB、AC及二次项 $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 和 $D^2$ 对结果影响极显著( $P<0.01$ ),其他项对结果影响不显著( $P>0.05$ )。由 $F$ 值可知,对酒精度影响较大的因素排序为发酵时间(D)>初始pH值(B)>酒曲添加量(C)>发酵温度(A)。

各因素间交互作用对酒精度影响的响应曲面及等高线见图5。

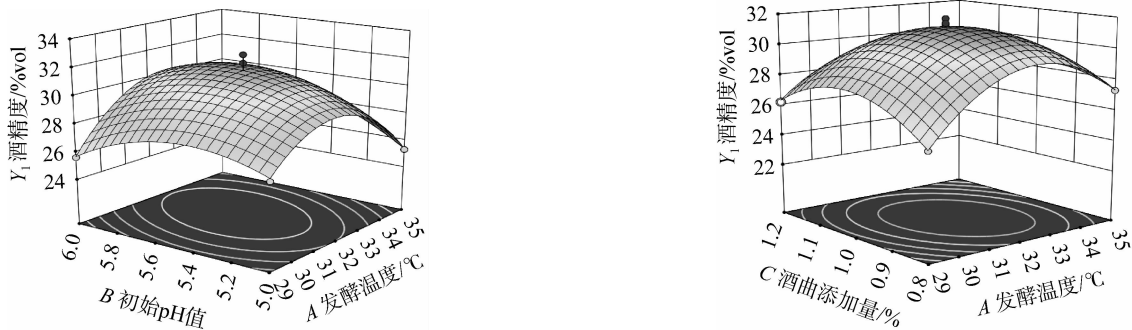


图5 各因素间交互作用对酒精度影响的响应曲面及等高线

Fig. 5 Response surface plots and contour lines of effect of interaction between various factors on alcohol content

响应曲面坡度陡峭且等高线呈椭圆形表明各因素之间的相互作用越显著<sup>[24-25]</sup>。由图5可知,AB、AC的响应曲面图较陡峭,等高线呈椭圆形,表明发酵温度(A)与初始pH值(B)之间、发酵温度(A)与酒曲添加量(C)之间的相互作用极显著。这与方差分析结果一致。

通过Design-Expert 13.0软件对回归模型进行最优求解,得到黄芪荞麦蒸馏酒的最佳发酵条件为:发酵温度30.98℃、初始pH值5.50、酒曲添加量0.99%、发酵时间16.55 d。在此优化条件下,黄芪荞麦蒸馏酒的酒精度预测值为33.17%vol,总黄酮含量预测值为65.36 mg/L。考虑到实际操作情况,将最佳的发酵条件调修正为:发酵温度31℃、初始pH值5.5、

酒曲添加量1%、发酵时间17 d。在此条件下,酒精度实际平均值为33.06%vol,总黄酮含量实际平均值为64.46 mg/L。实际值与预测值接近,表明该模型可靠,可用于黄芪荞麦蒸馏酒发酵条件优化。

### 2.3 黄芪荞麦蒸馏酒理化指标检测结果

黄芪荞麦蒸馏酒总糖(以葡萄糖计)含量为8.60 g/L,总酸(以酒石酸计)含量为4.20 g/L,甲醇含量为0.2 g/L,符合国标GB 2757—2012《食品安全国家标准 蒸馏酒及其配制酒》<sup>[26]</sup>要求。

### 2.4 黄芪荞麦蒸馏酒挥发性风味物质分析

黄芪荞麦蒸馏酒挥发性风味物质检测结果见表4。

表4 黄芪荞麦蒸馏酒挥发性风味物质检测结果

Table 4 Detection results of volatile flavor compounds of Astragalus and buckwheat distilled liquor

序号	种类	化合物	保留时间/min	相对含量/%	风味特征 <sup>[27-30]</sup>
1		丁酸乙酯	5.458	0.83	强烈的菠萝、香蕉果香
2		戊酸乙酯	6.228	0.36	浆果清香
3		己酸乙酯	9.635	10.59	苹果-菠萝果甜香
4		乙酸异戊酯	6.589	3.19	强烈香蕉-梨果香
5		2-异氰酞丙酸乙酯	7.484	0.59	辛辣的塑料味
6	酯类	庚酸乙酯	9.485	0.54	葡萄、椰子淡果香
7		乳酸乙酯	9.701	1.62	奶油味
8		辛酸乙酯	11.451	1.61	柑橘、梨皮果香
9		苯甲酰基异硫氰酸酯	13.182	0.18	辛辣芥子味
10		硝基乙酸甲酯	14.443	0.62	-
11		癸酸乙酯	15.978	0.29	椰子、白脱油脂香

续表

序号	种类	化合物	保留时间/min	相对含量/%	风味特征 <sup>[27-30]</sup>
12		苯甲酸乙酯	16.709	0.71	冬青、樱桃甜香
13		丁二酸二乙酯	16.905	3.17	淡果酒味
14		苯乙酸乙酯	19.382	0.37	蜂蜜、玫瑰甜
15		2,2-二甲基-3-羟基丙酸	19.794	0.32	微弱果甜
16		甲酸己酯	9.837	1.66	苹果、李子混合果香
17		乙酸苯乙酯	20.049	0.15	玫瑰、桃子花香
18		丙位壬内酯	24.620	0.73	浓椰子、桃子奶香,热带水果香
19		壬二酸二乙酯	28.171	0.29	淡花香、油脂味
20		棕榈酸乙酯	28.946	3.01	蜡质、淡脂香
21		反油酸乙酯	32.997	1.62	油脂、蜡味
22		亚油酸乙酯	33.823	1.07	坚果味
23		2,1,3-苯并噻二唑-4-异硫氰酸酯	34.978	1.61	-
24		双(2-羟乙基)邻苯二甲酸酯	36.998	1.68	微甜树脂味
1	酸类	丁酸	15.812	0.51	黄油、奶香
2		己酸	20.741	4.98	白酒窖泥味
3		乙酸	11.564	4.12	醋味
4		丙酸	18.323	0.36	奶酪味
5		戊酸	17.239	0.19	奶酪味
6		异辛酸	33.006	0.32	金属味
1	烷烃类	正十七烷	31.987	0.04	无味、微蜡感
2		正二十烷	32.028	0.02	蜡味
3		正十九烷	32.677	0.03	蜡质烃味
4		1-碘十三烷	33.394	0.08	碘仿味
1	醇类	异丁醇	18.323	2.59	带苦的酒味
2		乙醇	23.356	39.22	酒精
3		苏合香醇	22.323	5.60	淡花香、杏仁甜
4		2,3丁二醇	20.368	0.63	微甜奶油、黄油味
5		苯乙醇	21.193	0.26	玫瑰蜂蜜香
1	酮类	2-甲基-3-庚酮	9.635	1.75	青苹果、金属酮香
2		2-壬酮	17.701	0.09	奶酪、蜡质果味
3		十七烷酮	19.368	0.67	蜡、麝香样淡味

由表4可知,黄芪荞麦蒸馏酒共检出42种挥发性风味物质,其中酯类24种、醇类5种、酸类6种、烷烃类4种、酮类3种。酯类物质和醇类物质为主要的挥发性风味物质。醇类、酯类、酸类物质相对含量分别为48.30%、38.49%、10.48%,其他挥发性风味物质含量为2.73%。醇类物质中乙醇相对含量最高,可作为溶剂来溶解和携带其他香气,苏合香醇可赋予白酒淡花香,2,3丁二醇、苯乙醇呈奶油味、玫瑰蜂蜜香,增加了酒体的复杂性<sup>[31]</sup>。酯类物质中己酸乙酯和乙酸异戊酯相对含量(分别为10.59%、3.19%)较高,己酸乙酯可为黄芪荞麦蒸馏酒提供柔和的苹果-菠萝果甜香,使整体香气更协调、口感更柔和<sup>[32-34]</sup>、乙酸异戊酯可使酒体更加丰满和协调,显著提升黄芪荞麦蒸馏酒的风味和复杂度<sup>[35]</sup>。酸类物质中己酸、乙酸相对含量较高(分别为4.98%、4.12%),

乙酸是一种挥发性酸,在较低浓度下可以为酒带来清新、清爽的口感,但过量则会产生酸味,降低酒的品质<sup>[6]</sup>。己酸是一种长链脂肪酸,可以作为其他风味化合物的前体物质,参与形成更复杂的香气和风味<sup>[37]</sup>。烷烃类、酮类物质中2-甲基-3-庚酮相对含量较高(1.75%),可赋予酒体青苹果味,增加酒的层次感及复杂性<sup>[38]</sup>。

### 3 结论

本研究以荞麦、黄芪为原料,接种酒曲固态发酵、蒸馏制备黄芪荞麦蒸馏酒。采用单因素试验及响应面法优化得到其最佳发酵条件为:发酵温度31℃、初始pH值5.5、酒曲添加量1%、发酵时间17d。在此优化条件下,黄芪荞麦蒸馏酒的酒精度和总黄酮含量分别为33.06%vol、68.46 mg/L;总糖、总酸含量分别为8.60 g/L、4.20 g/L,甲醇含量为0.2 g/L,

理化指标均符合相关国标要求。黄芪荞麦蒸馏酒样品中共检出42种挥发性风味物质,包括酯类24种、醇类5种、酸类6种、烷烃类4种、酮类3种。其中,黄芪荞麦酒主要挥发性风味物质为醇类、酯类物质。本研究可黄芪荞麦蒸馏酒的开发利用提供技术支撑。

### 参考文献:

- [1] 朱嘉文, 仵华君, 申瑞玲, 等. 营养型抗老化荞麦碗托的研发[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(6): 111-116.
- [2] 李春花, 加央多拉, 吴晗, 等. 46份荞麦粒种质萌发期耐盐资源评价与筛选[J]. 种子, 2024, 43(5): 1-6, 98.
- [3] 胡妮娜, 张晓娟. 黄芪的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中医药信息, 2021, 38(1): 76-82.
- [4] LIN Q Y, YU F, CHEN J H, et al. Efficacy of *Astragalus* combined with renin-angiotensin-aldosterone system blockers in the treatment of stage III diabetic nephropathy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Renal Failure*, 2024, 46(2): 2359033.
- [5] HAI Y, REN K, HOU Q W, et al. Hypoglycemic TCM formulas (*Huangqi*-*Gegen* drug pair) have the potential as an Alzheimer's disease[J]. *Phytomedicine*, 2024, 130: 155723.
- [6] XIONG Z, CHEN X, WU Q, et al. Fermentation of buckwheat rice wine based on a new mixed *Jiuqu* and its quality evaluation[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2025, 215: 117255.
- [7] 姜莹, 周文美. 发酵罐发酵荞麦酒工艺研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(1): 83-87.
- [8] 尉杰, 陈庆富, 郭菊卉. 普通荞麦发芽种子的液态发酵荞麦酒工艺研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(8): 43-46.
- [9] 曹冉, 钟继仁, 张晓龙, 等. 荞麦酿造酒中黄酮类物质含量变化的初步研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(7): 78-82.
- [10] 韩北忠, 王家槐. 固态发酵中生物量的评估和测定[J]. 中国酿造, 2001(3): 6-7, 10.
- [11] 王林. 蒸馏酒中风险成分的预防以及控制方法的研究[J]. 酿酒, 2024, 51(6): 100-102.
- [12] 曹冉. 荞麦酿造酒及后处理过程中黄酮类物质变化规律的研究[J]. 石家庄: 河北科技大学, 2019.
- [13] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.48—2003 蒸馏酒与配制酒卫生标准的分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [14] 张梦瑞, 冉旭, 曾里, 等. 赶黄草叶茶总黄酮、游离氨基酸及槲皮素浸出动力学分析[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 125-131.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 12696—2016 食品安全国家标准 发酵酒及其配制酒生产卫生规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 陈中道, 刘雅, 王海. 小曲酒固态发酵工艺的优化研究[J]. 酿酒科技, 2024(2): 30-34.
- [17] 盛风云, 徐俊敏, 宋科峰, 等. 发酵温度对黄酒酿造及风味物质形成影响研究[J]. 酿酒科技, 2021(5): 56-61.
- [18] 陈楠, 陈庆富. 荞麦酒糖化及酿制工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(1): 195-198.
- [19] 胡琴, 曹新志, 张楷正, 等. 半固态发酵法酿造苦荞小曲酒糖化工艺优化[J]. 中国酿造, 2021, 40(4): 61-65.
- [20] 曹珍, 刘晓媛, 赵淑培, 等. 葛根-姜酒的发酵工艺优化及抗氧化活性测定[J]. 发酵科技通讯, 2024, 53(1): 13-20.
- [21] SHUANG L, GREENHUT V I, PATRICK E H, et al. Bacterial community dynamics during distilled spirit fermentation: influence of mash recipes and fermentation processes[J]. *Microbiol Spectrum*, 2023, e0162423.
- [22] 周瑶, 徐怀德, 米林峰, 等. 响应面法优化黄芪酒发酵工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 293-296.
- [23] YUAN H, SUN Q, WANG L, et al. Optimization of high-density fermentation conditions for *Saccharomycopsis fibuligera* Y1402 through response surface analysis[J]. *Foods*, 2024, 13(10): 1546.
- [24] GAO Y, LI X, XU H, et al. Optimization of fermentation culture medium for *Sanghuangporus alpinus* using response-surface methodology[J]. *Horticulturae*, 2024, 10(5): 474.
- [25] 李伟民, 王毓岚, 余小娜. 响应面法优化板栗酥性饼干配方研究[J]. 粮食加工, 2024, 49(3): 60-65.
- [26] 中华人民共和国卫生部. GB 2757—2012 蒸馏酒及其配制酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [27] 石金琴, 刘新宇, 海超, 等. 非酿酒酵母混合发酵对果酒增香的研究进展[J]. 中国酿造, 2025, 44(7): 20-25.
- [28] 李俊杰, 刘智颖, 赵丽娜, 等. 基于固相萃取结合气相色谱-质谱联用技术分析苦荞啤酒中关键香气物质[J]. 中国酿造, 2025, 44(7): 139-147.
- [29] 姜莹. 发酵罐生产荞麦酒及酒中风味成分的研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [30] 孔祥锦, 陈春霞, 梁玉浩, 等. 超高压、微波和超声波处理对黄芪配制酒品质的影响分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(16): 96-102.
- [31] 王丽花, 郑福平, 高晓娟, 等. 白酒风味成分与感官评价的研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(8): 7-12.
- [32] 陈艳, 王孝彦, 刘冲, 等. GC-MS/MS法同时测定年份酱香型白酒中19种吡嗪类和呋喃类化合物[J]. 中国酿造, 2024, 43(9): 241-248.
- [33] 肖冬光. 白酒酿造过程中酯类物质形成机理探讨[J]. 酿酒科技, 2022(9): 17-24.
- [34] 汪江波, 薛超越, 朱嘉璐, 等. 板枣酒发酵过程中的香气变化规律及特征香气分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(10): 198-207.
- [35] 王金龙, 朱晓春, 尤小龙, 等. 酱香型白酒微量挥发性香气成分检测方法建立的建立及应用[J]. 中国酿造, 2025, 44(4): 267-275.
- [36] 汪江波, 薛超越, 朱嘉璐, 等. 板枣酒发酵过程中的香气变化规律及特征香气分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(10): 198-207.
- [37] 刘国华, 姚依林, 黄明泉, 等. 不同蓝莓品种发酵酒香气物质的检测分析研究[J]. 酿酒科技, 2022(8): 118-124, 130.
- [38] 胥佳, 廖丽, 邹永芳, 等. 气相色谱法检测浓香型白酒中53种挥发性风味成分[J]. 中国酿造, 2025, 44(4): 276-284.