

基于北虫草废弃培养料及葛根蒸馏酒发酵工艺优化和品质分析

张紫薇^{1,2}, 林童², 刘磊², 石若琳², 乔梦莹², 解春艳², 侍朋宝^{1*}

(1.河北科技师范学院 食品科技学院, 河北 秦皇岛 066600; 2.廊坊师范学院 生命科学学院, 河北 廊坊 065000)

摘要:该研究以高粱、葛根、北虫草废弃培养料及稻壳为原料发酵制备一款蒸馏酒,以感官评分为响应值,采用单因素及响应面法优化其发酵工艺条件,并对其品质指标进行检测。结果表明,基于北虫草废弃培养料及葛根蒸馏酒的最佳发酵工艺为:原料总质量450 g(高粱添加量20%、葛根添加量13%、稻壳添加量41%、北虫草废弃培养料添加量26%),酵母接种量0.5%,水添加量300 mL。在此优化条件下得到的蒸馏酒香味浓郁、口感醇厚、风味独特,其感官评分为86.87分,酒精度为47%vol,总酯含量为2.47 g/L,总酸含量为0.47 g/L, pH值为4.20,甲醇含量为0.58 g/L,其各项指标均符合相关标准要求。此款蒸馏酒为实现北虫草废弃培养料的多元利用、丰富酒类市场提供了理论依据。

关键词:葛根;北虫草废弃培养料;响应面法;蒸馏酒;感官评分;理化指标

中图分类号:TS262.4

文章编号:0254-5071(2025)09-0198-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.09.030

引文格式:张紫薇,林童,刘磊,等.基于北虫草废弃培养料及葛根蒸馏酒发酵工艺优化和品质分析[J].中国酿造,2025,44(9):198-202.

Optimization of fermentation process technology and quality analysis of distilled spirits based on *Cordyceps militaris* spent substrate and *Pueraria lobata*

ZHANG Ziwei^{1,2}, LIN Tong², LIU Lei², SHI Ruolin², QIAO Mengying², XIE Chunyan², SHI Pengbao^{1*}

(1.College of Food Science and Technology, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao 066600, China;

2.College of Life Science, Langfang Normal University, Langfang 065000, China)

Abstract: In this research, the distilled spirits were prepared using sorghum, *Pueraria lobata*, *Cordyceps militaris* spent substrate and rice husk as raw materials. The fermentation process was optimized using single-factor and response surface methodology with sensory evaluation as the response value, and the quality indexes of the product were analyzed. The results showed that the optimal fermentation conditions for the distilled spirits with *C. militaris* spent substrate and *P. lobata* were as follows: total raw material mass 450 g (sorghum addition 20%, *P. lobata* addition 13%, rice husk addition 41%, *C. militaris* spent substrate addition 26%), yeast inoculum 0.5%, and water addition 300 ml. Under these optimized conditions, the distilled spirits exhibited rich aroma, mellow taste, and distinctive flavor, with the sensory score of 86.87, the alcohol content 47%vol, total ester content 2.47 g/L, total acid content 0.47 g/L, pH value 4.20, and methanol content 0.58 g/L. All the indicators met the relevant standard requirements. The distilled spirits provided a theoretical foundation for the diversified utilization of *C. militaris* spent substrate and the enrichment of the alcoholic beverage market.

Key words: *Pueraria lobata*; *Cordyceps militaris* spent substrate; response surface methodology; distilled spirits; sensory score; physicochemical index

北虫草(*Cordyceps militaris* (L.ex Fr.) Link)又名北冬虫夏草,含有丰富的虫草多糖、虫草酸等多种活性物质^[1-3],是一种药食两用真菌,具有抗氧化、抗炎症、抗肿瘤、免疫调节和保护肾脏等功效^[4-7]。近年来,北虫草种植面积不断扩大,伴随产生了大量北虫草废弃培养料,对环境造成极大污染^[8]。研究表明,北虫草废弃培养料中富含蛋白质、微量元素、虫草多糖、虫草素等有效成分^[9-14]。2015年,YANG R G等^[15]在米酒酿造过程中加入了北虫草废弃培养料,通过优化米酒的酿造条件,使得利用其废弃物酿酒成为可能。

葛根(*Pueraria lobata*)为豆科植物,其主要营养成分是淀粉和膳食纤维,此外还含有少量的蛋白质、脂肪、生物碱、多种必需氨基酸、多种矿物质和微量元素^[16]以及多种生物

活性成分(黄酮类、葛根苷类、三萜类化合物、香豆素类化合物及葛根多糖等)^[17-18],具有极高的食用和保健价值^[19]。葛根具有降低癌症风险的作用,已被列为抗动脉粥样硬化、高血压及糖尿病的补充药物,被用于各种形式的药物制剂中^[20-24]。此外,葛根在食品和保健品行业应用广泛,是新型保健食品开发的优质天然材料,在国内外市场都具有巨大潜力。

为提高北虫草废弃培养料的附加值,延长北虫草产业链发展,同时减轻环境压力,本研究以高粱、葛根、北虫草废弃培养料及稻壳为原料,研制一款蒸馏酒。以感官评分为响应值,采用单因素和响应面法优化发酵工艺,并分析其理化指标。以期丰富市场蒸馏酒的种类,也为食用菌

收稿日期:2024-12-09

修回日期:2025-05-10

基金项目:河北省现代农业技术研究体系食用菌创新团队专项资金(HBCT2023090208);大学生创新创业训练项目(S202410100013)

作者简介:张紫薇(1999-),女,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全。

*通讯作者:侍朋宝(1979-),男,副教授,博士,研究方向为发酵微生物与果酒酿造。

废弃培养料的综合利用提供方向。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

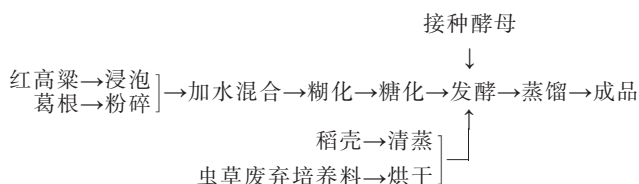
红高粱:柒东家农家食品企业店;葛根:中国北京同仁堂(集团)责任有限公司;北虫草废弃培养料[总糖含量为 (51.24 ± 1.44) mg/g,虫草素含量为 (2.57 ± 0.09) mg/g,虫草酸含量为 (0.86 ± 0.08) mg/g,蛋白质含量为 (3.58 ± 0.07) mg/g,黄酮含量为 (2.29 ± 0.08) mg/g];东北高阳虫草种植基地;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*):英联马利食品销售有限公司; α 淀粉酶(10 000 U/g):沧州夏盛酶生物技术有限公司;糖化酶(100 000 U/g):山东隆科特酶制剂有限公司;浓硫酸、氢氧化钠、无水乙醇(均为分析纯):天津市致远化学试剂有限公司;甲醇(分析纯):国药集团化学试剂有限公司。其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

SQP电子分析天平:赛多利斯科学仪器有限公司;HH-4数显恒温水浴锅:上海力辰邦西仪器科技有限公司;10 L开口酿酒设备:平顶山亿兴佳酿商贸有限公司;2 L发酵罐:淄博路豫商贸有限公司;NB-FSJ-500高速万能粉碎机:南北仪器有限公司;PAL-36S酒精计:衡水创纪仪器仪表有限公司;7890A-5975C型气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)仪:美国安捷伦公司。

1.3 方法

1.3.1 基于北虫草废弃培养料的葛根蒸馏酒工艺流程及操作要点



操作要点:

原料预处理:选取外观优质、完整、干燥、颜色均匀、无虫蛀或霉变迹象的高粱,清洗、浸泡1~2 d后沥干水分,备用。将葛根置于粉碎机中粉碎至均匀粉状,备用。将北虫草废弃培养料置于50℃烘箱中烘干至恒质量,备用。将稻壳置于50℃温水中浸泡1 h后放置于蒸锅中清蒸30 min。

混合及糊化:将葛根粉与高粱混合均匀,加入2倍高粱和葛根混合物质量的水,搅拌均匀后置于75℃恒温水浴锅中糊化1 h。

糖化:向糊化好的高粱和葛根中加入其总质量2%的糖化酶,充分搅拌后置于60℃恒温水浴锅中糖化6 h,冷却至室温。

稻壳及北虫草废弃料添加:向糖化液中添加北虫草废弃培养料及稻壳,北虫草废弃培养料与稻壳添加总质量为高粱与葛根总质量的2倍。

接种及发酵:称取一定质量的酵母干粉,置于20 mL

37℃温水中,充分搅拌,静置活化10 min,接种至糖化液中,搅拌均匀,27℃条件下发酵7 d,此时主发酵结束,无气泡产生,在主发酵阶段,每24 h进行一次搅拌以促进发酵散热。

蒸馏及去除酒头酒尾^[25]:待发酵完成后,将酒料放入开口式酿酒设备中蒸馏,采用二次蒸馏法,根据所得蒸馏酒体积,去除酒头6%、酒尾30%,得到蒸馏酒。

1.3.2 发酵工艺优化单因素试验

设置原料总质量为450 g,其中葛根和高粱总质量固定150 g,北虫草废弃培养料和稻壳总质量固定300 g,以未添加葛根和北虫草废弃培养料为基础配方接种0.5%酵母进行单因素试验,分别考察葛根添加量(7%、10%、13%、16%)、北虫草废弃培养料添加量(14%、20%、26%、32%)、酵母接种量(0.4%、0.5%、0.6%、0.7%)对蒸馏酒感官评分及酒精度的影响。

1.3.3 发酵工艺优化响应面试验

在单因素试验结果基础上,以葛根添加量(A)、北虫草废弃培养料添加量(B)、酵母接种量(C)为考察指标、以感官评分(Y)为响应值,依据Box-Behnken中心组合试验原理设计3因素3水平的响应面试验。

1.3.4 感官评价

选取10名具有一定蒸馏酒品尝经验的人员,对基于北虫草废弃培养料及葛根研制的蒸馏酒的外观、香气、滋味、风格4个方面进行感官评价,满分100分,具体评分标准见表1^[26]。

表1 蒸馏酒感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards of distilled spirits

指标	评分标准	评分/分
外观 (10分)	淡黄色,酒液澄清透亮,无沉淀物,有光泽	7~10
	淡黄色,酒液澄清透亮,有细微沉淀漂浮物	4~7
	颜色变深,酒液浑浊,悬浮物较多,无光泽	0~4
香气 (30分)	酒香浓郁,细腻纯正,无焦苦味	20~30
	酒香单薄,但无焦苦味	10~20
	酒香不足,有些许焦苦味	0~10
滋味 (40分)	酒体回味绵延,醇厚协调,无苦涩味	30~40
	酒体协调,回味短	20~30
	口味不纯正,有一定的苦涩味	0~20
风格 (20分)	典型完美,风味独特,无可挑剔	14~20
	典型明确,良好复合酒风味	5~14
	无典型性	0~5

1.3.5 分析检测

酒精度:参照国标GB 5009.225—2023《食品安全国家标准 酒和食用酒精中乙醇浓度的测定》中的酒精计法测定^[27];总酯含量:参照国标GB 10345—2022《食品安全国家标准 白酒分析方法》测定^[28];总酸含量:参考国标GB 12456—

2021《食品中总酸的测定》^[29]测定;pH值:采用pH计直接测定;甲醇含量:参考国标GB/T 5009.48—2003《蒸馏酒与配制酒卫生标准的分析方法》^[30]测定。

1.3.6 数据处理

每个试验重复3次,采用Excel 2013软件处理数据,结果用“平均值±标准差”表示。采用Origin 2021软件制图,采用Design-Expert 13.0软件进行响应面试验设计及结果分析。

2 结果与分析

2.1 葛根添加量对蒸馏酒品质的影响

葛根添加量对蒸馏酒酒精度及感官评分的影响见图1。由图1可知,随着葛根添加量的增加,感官评分与酒精度均呈先升高后降低的趋势。当葛根添加量为13%时,感官评分与酒精度均达到最高值,分别为(82.30±0.85)分、(47.00±0.76)%vol,此时酒液澄清透亮,酒香浓郁。分析原因可能是由于葛根中含有异黄酮类活性成分^[31],葛根添加量过高会导致复合酒产生“甘”味,影响感官品质。因此,选择最佳的葛根添加量为13%。

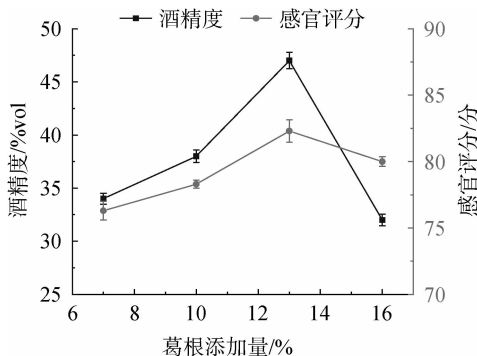


图1 葛根添加量对蒸馏酒品质的影响

Fig. 1 Effect of *Pueraria lobata* addition on the quality of the distilled spirits

2.2 北虫草废弃培养料添加量对蒸馏酒品质的影响

北虫草废弃培养料添加量对蒸馏酒酒精度及感官评分的影响见图2。

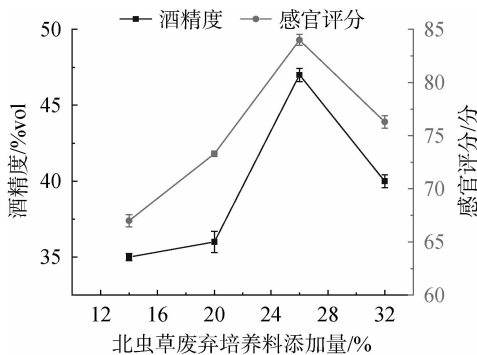


图2 北虫草废弃培养料添加量对蒸馏酒品质的影响

Fig. 2 Effect of *Cordyceps militaris* spent substrate addition on the quality of the distilled spirits

由图2可知,随着北虫草废弃培养料添加量的升高,感官评分及酒精度呈先升高后下降的趋势。当北虫草废弃培养料添加量为26%时,感官评分与酒精度均达到最高值,分别为(84.50±0.52)分、(47.20±0.44)%vol,此时,酒液呈微黄色,澄清透明,酒香醇厚,典型性强。分析原因可能是由于北虫草废弃培养料中纤维素含量较高^[32],纤维素在发酵过程中由于微生物作用发生降解,其降解产物过多导致焦苦味感官特性过强,同时会导致蒸馏酒颜色加深,酒液浑浊,从而降低其感官质量。因此,选择最佳的北虫草废弃培养料添加量为26%。

2.3 酵母接种量对蒸馏酒品质的影响

酵母接种量对蒸馏酒酒精度及感官评分的影响见图3。由图3可知,随着酵母接种量的增加,感官评分与酒精度均呈先上升后下降的趋势。当酵母接种量为0.5%时,感官评分与酒精度均达到最高值,分别为(85.70±0.76)分、(48.40±0.71)%vol。分析原因可能是由于发酵体系中提供酵母的营养基质含量是一定的,酵母接种量增加导致营养物质被快速耗尽,当酵母接种量过多时,酒精快速发酵会导致产酒率降低,并产生其他风味物质,酒体口感变差^[33],产生苦味,降低蒸馏酒的感官质量。因此,选择最佳的酵母接种量为0.5%。

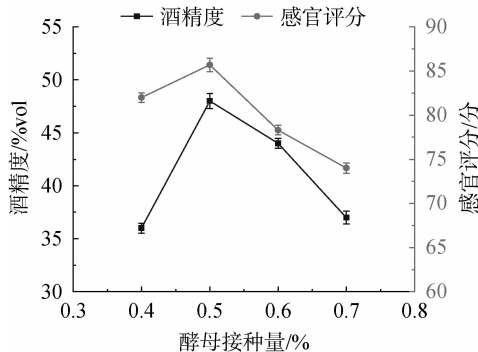


图3 酵母接种量对蒸馏酒品质的影响

Fig. 3 Effect of yeast inoculum on the quality of the distilled spirits

2.4 发酵工艺优化响应面试验

基于单因素试验结果,以葛根添加量(A)、北虫草废弃培养料添加量(B)、酵母接种量(C)为自变量,以感官评分(Y)为响应值,采用Design-Expert 13.0软件设计3因素3水平的响应面试验,试验设计及结果见表2,方差分析结果见表3。

采用Design Expert 13.0软件对表2中的数据进行多元二次回归拟合分析,得到二次多项式回归方程: $Y=86.840+0.900A+1.010B+0.0625C+2.420AB+0.425AC-0.800BC-11.420A^2-6.450B^2-4.890C^2$

由表3可知,回归模型极显著($P<0.01$),失拟项不显著($P=0.0647>0.05$),说明模型可靠。决定系数 R^2 为0.9953,校正决定系数 R^2_{Adj} 为0.9894,说明98.94%的响应变异性可

以被模型解释,表明该模型可靠,拟合程度良好。由 P 值可知,一次项 B 、交互项 AB 及二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对结果影响极显著($P<0.01$),一次项 A 对结果影响显著($P<0.05$),其余项对结果影响不显著($P>0.05$)。由 F 值可知,对蒸馏酒感官评分影响的因素主次顺序为:北虫草废弃培养料添加量>葛根添加量>酵母接种量。各因素间交互作用对蒸馏酒感官评分影响的响应面曲面及等高线见图4。

表2 发酵工艺优化响应面试验设计及结果

Table 2 Design and results of response surface tests for fermentation process optimization

试验号	A 葛根添加量/%	B 北虫草废弃培养料添加量/%	C 酵母接种量/%	感官评分/分
1	10	26	0.6	68.9
2	13	20	0.4	74.2
3	16	26	0.6	72.4
4	13	20	0.6	75.8
5	13	26	0.5	87.2
6	10	26	0.4	69.5
7	13	26	0.5	86.2
8	13	32	0.6	75.2
9	13	26	0.5	87.2
10	13	26	0.5	87.1
11	16	32	0.5	73.4
12	16	26	0.4	71.3
13	13	32	0.4	76.8
14	10	20	0.5	69.4
15	13	26	0.5	86.5
16	16	20	0.5	65.5
17	10	32	0.5	67.6

表3 回归模型方差分析

Table 3 Variance analysis of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	947.070	9	105.230	166.300	<0.000 1	**
A	6.480	1	6.480	10.240	0.015 1	*
B	8.200	1	8.200	12.960	0.008 7	**
C	0.031	1	0.031	0.049	0.830 5	
AB	23.520	1	23.520	37.170	0.000 5	**
AC	0.723	1	0.723	1.140	0.320 7	
BC	2.560	1	2.560	4.050	0.084 2	
A ²	549.120	1	549.120	867.780	<0.000 1	**
B ²	174.900	1	174.900	276.390	<0.000 1	**
C ²	100.890	1	100.890	159.440	<0.000 1	**
残差	4.430	7	0.633			
失拟项	3.580	3	1.190	5.600	0.064 7	
纯误差	0.852	4	0.213			
总离差	951.500	16				

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

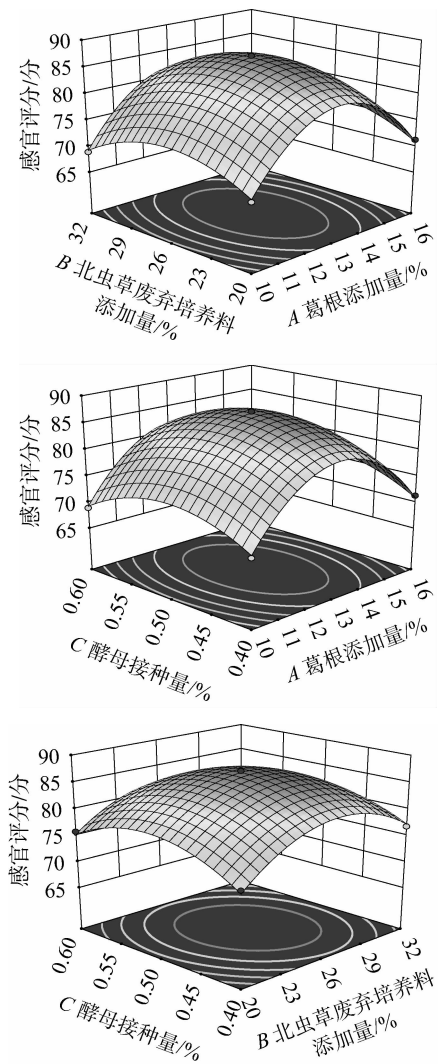


图4 各因素间交互作用对蒸馏酒感官评分影响的响应面及等高线

Fig. 4 Response surface plots and contour lines of effect of interaction between various factors on sensory evaluation score of the distilled spirits

响应面开口向下,表明该响应面模型具有极大值;响应面曲面坡度越陡,等高线越趋于椭圆形,交互作用越显著^[34]。由图4可知, AB 间的交互曲面陡峭,坡度明显,且存在顶点,同时等高线密集且形状为椭圆形,说明对感官评分影响较大, AC 间交互曲面略陡且等高线近似于圆形,说明交互作用不明显, BC 间交互曲面较平缓,等高线更接近圆形,说明交互作用不明显。这与表3方差分析结果一致。

通过Design Expert 13.0软件对回归方程进行最优求解,得到蒸馏酒的最佳发酵工艺为:葛根添加量13.15%,北虫草废弃培养料添加量26.53%,酵母接种量0.5%,此条件下该蒸馏酒的感官评分理论值为86.91分。为便于实际操作,将发酵工艺条件调整为:葛根添加量13%,北虫草废弃培养料添加量26%,酵母接种量0.5%,在此条件下进行3组验证试验,得到蒸馏酒的感官评分实际值为(86.87±1.21)分,与理论值接近,说明该模型可靠,可对蒸馏酒的发酵工艺

条件进行预测。

2.5 蒸馏酒的理化指标

在最佳工艺条件下制备蒸馏酒,经测定,其酒精度为47%vol,总酯含量为2.47 g/L,总酸含量为0.47 g/L,pH值为4.20,甲醇含量为0.58 g/L,各理化指标均符合国标GB/T 5009.48—2003《蒸馏酒与配制酒卫生标准的分析方法》^[30]的要求。

3 结论

本研究以高粱、葛根、北虫草废弃培养料及稻壳为原料发酵制备得到一款蒸馏酒,以感官评分为响应值,采用单因素及响应面试验优化得到基于北虫草废弃培养料及葛根蒸馏酒的最佳发酵工艺条件为:原料总质量450 g(高粱添加量20%、葛根添加量13%、稻壳添加量41%、北虫草废弃培养料添加量26%),酵母接种量0.5%,水添加量300 mL。在此优化条件下,所得基于北虫草废弃培养料及葛根蒸馏酒香味浓郁、口感醇厚、风味独特,感官评分为86.87分,酒精度为47%vol,总酯含量为2.47 g/L,总酸含量为0.47 g/L,pH值为4.20,甲醇含量为0.58 g/L,其各项指标均符合相关标准要求。本研究丰富了市场上蒸馏酒的种类,同时也为北虫草废弃培养料资源的高值利用奠定了理论基础。

参考文献:

[1] 李陈雪,刘雅芳. 蛹虫草的化学成分与药理作用研究进展[J]. 化学工程师, 2019, 33(10): 55-57.

[2] 崔琳琳,韩丹,王莹,等. 虫草素药理作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 335-338.

[3] 赵璇,田雨航,庞道然,等. 蛹虫草的化学成分、药理作用及产业化研究进展[J]. 中草药, 2024, 55(7): 2413-2422.

[4] ZHOU X, CAI G, HE Y I, et al. Separation of cordycepin from *Cordyceps militaris* fermentation supernatant using preparative HPLC and evaluation of its antibacterial activity as an NAD⁺-dependent DNA ligase inhibitor [J]. **Exp Therap Med**, 2016, 12(3): 1812-1816.

[5] DAI K, WANG R, MU L, et al. Structural characteristics and anti-tumor activity of alcohol-precipitated polysaccharides from *Cordyceps militaris* under different ethanol concentrations[J]. **Int J Biol Macromol**, 2024, 278(2): 134784.

[6] 芦叶,李丽,刘舒欣,等. 蛹虫草有效成分提取及活性分析[J]. 食用菌, 2024, 46(1): 71-76.

[7] 任蜀豫,赵春燕,宋慧一,等. 北虫草废弃培养料多糖提取条件优化研究 [J]. 中药材, 2008, 31(3): 342-343.

[8] 于海洋,王延锋,史磊,等. 食用菌菌渣综合利用研究综述[J]. 食用菌, 2024, 46(4): 6-9.

[9] YOON S Y, PARK S J, PARK Y J. The anticancer properties of cordycepin and their underlying mechanisms[J]. **Int J Mol Sci**, 2018, 19(10): 3027.

[10] PINTATHONG P, CHOMNUNTI P, SANGTHONG S, et al. The feasibility of utilizing cultured *Cordyceps militaris* residues in cosmetics: Biological activity assessment of their crude extracts[J]. **J Fungi**, 2021, 7(11): 973.

[11] 彭志苹,张景艳,郭志廷,等. 蛹虫草培养残基中虫草素的水热回流提取及含量测定[J]. 中国畜牧兽医, 2022, 49(9): 3333-3342.

[12] 李靖靖,郭林. 蛹虫草培养残基中虫草多糖的提取[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(5): 49-54.

[13] 雷燕妮,张小斌,陈书存,等. 蛹虫草菌渣中虫草素、多糖、多肽综合提取分离的工艺研究[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(9): 32-37.

[14] NI H, ZHOU X H, LI H H, et al. Column chromatographic extraction and preparation of cordycepin from *Cordyceps militaris* waster medium [J]. **J Chromatogr B**, 2009, 877(22): 2135-2141.

[15] YANG R G, GU D, GU Z, et al. *Cordyceps* rice wine: A novel brewing process[J]. **J Food Process Eng**, 2016, 39(6): 581-590.

[16] LIU D M, MA L, ZHOU Z, et al. Starch and mineral element accumulation during root tuber expansion period of *Pueraria thomsonii* Benth[J]. **Food Chem**, 2021, 343: 128445.

[17] 邓敏. 葛根在食品中的应用研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2023(4): 1-3.

[18] 史晨旭,杜佳蓉,吴威,等. 葛根化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国现代中药, 2021, 23(12): 2177-2195.

[19] 廉伟伟,吕双双,王春燕,等. 超声辅助低共熔溶剂葛根多糖提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 工业微生物, 2024, 54(4): 43-47.

[20] XUAN T, LIU Y, LIU R, et al. Advances in extraction, purification, and analysis techniques of the main components of Kudzu root: A comprehensive review[J]. **Molecules**, 2023, 28(18): 6577.

[21] 苏菲,张媛媛,关晓文,等. 葛根苓连汤治疗2型糖尿病研究进展[J]. 河南中医, 2023, 43(11): 1629-1634.

[22] LI Y T, LI X N, ZHENG M, et al. Puerarin inhibits HDAC1-induced oxidative stress disorder by activating JNK pathway and alleviates acrolein-induced atherosclerosis[J]. **Clinics**, 2024, 79: 100413.

[23] WANG W, LIU Y, LIU D, et al. Profiling of antidiabetic bioactive flavonoid compounds from an edible plant Kudzu (*Pueraria lobata*) [J]. **J Agr Food Chem**, 2024, 72(28): 15704-15714.

[24] KAVTARADZE N S, ALANIYA M D, GETIA M Z, et al. Isoflavonoids from roots of *Pueraria hirsuta* distributed in georgia and their hepatoprotective activity[J]. **Chem Nat Compd**, 2022, 58(1): 27-31.

[25] 邵永明,王舒伟,董荣,等. 新疆产区白玉霓白兰地的工艺优化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 222-230.

[26] 赵敏,陈环,唐婉莹,等. 7种酵母酿造摩尔多瓦葡萄酒的发酵特性比较 [J]. 中国酿造, 2020, 39(8): 102-106.

[27] 国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. GB 5009.225—2023 食品安全国家标准酒和食用酒精中乙醇浓度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

[28] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. GB/T 10345—2022 白酒分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

[29] 国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. GB 12456—2021 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.

[30] 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.

[31] 张彩琴,张晓希,胡雨欣,等. 基于响应面设计的葛根豆渣海绵蛋糕配方优化[J]. 中外食品工业, 2025(1): 10-12.

[32] 李方向,王涛,常小箭,等. 复合微生物腐解菌剂的制备及其菌渣堆肥性能[J]. 西安工程大学学报, 2023, 37(3): 59-65.

[33] 沈袁媛,王保忠,郑太极,等. 梅花蛹虫草发酵酒工艺优化及抗氧化能力研究[J]. 酿酒科技, 2025(2): 121-126.

[34] 陈勇权,唐雄民,李仲涛. 基于响应曲面中心组合设计的介质阻挡负载特征参数分析与优化[J]. 电气技术, 2024, 25(1): 17-22.