

天麻醋发酵工艺优化及成分分析

张弛, 贺阳, 姜禹辰, 贾元隆, 张薇, 文连奎*

(吉林农业大学 食品科学与工程学院, 吉林 长春 130118)

摘要: 以天麻为原料, 利用单因素结合响应面法优化天麻醋液态发酵工艺, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 分析天麻醋香气成分。结果表明: 在发酵温度 32.6 ℃、醋酸菌接种量 0.56%、初始 pH4.6 条件下天麻醋的醋酸含量可达到 4.23 g/100 mL。天麻醋中共鉴定出 32 种香气成分, 其中酸类物质 4 种(27.46%)、酯类物质 9 种(18.29%)、醇类物质 6 种(14.82%)、酚类物质 5 种(13.26%)、醛酮类物质 5 种(5.37%)、杂环类物质 1 种(0.18%)、其他类物质 2 种(0.18%)。制得的天麻醋色泽清亮, 兼具天麻独有气味与浓郁醋香, 酸度适宜口感柔和。

关键词: 天麻; 醋; 发酵工艺; 香气; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱

Optimization of Fermentation Process and Composition Analysis of *Gastrodia elata* Vinegar

ZHANG Chi, HE Yang, JIANG Yu-chen, JIA Yuan-long, ZHANG Wei, WEN Lian-kui*

(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China)

Abstract: The single-factor experiments combined with response surface methodology were employed to optimize the liquid fermentation process of vinegar prepared from *Gastrodia elata*, and the headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was used to analyze the aroma components of *G. elata* vinegar. The results showed that the acetic acid content of *G. elata* vinegar reached 4.23 g/100 mL under the following optimized conditions: fermentation temperature of 32.6 ℃, acetic bacteria inoculum amount of 0.56%, and initial pH4.6. Thirty-two types of aroma components were identified in *G. elata* vinegar, including four types of acids (27.46%), nine types of esters (18.29%), six types of alcohols (14.82%), five types of phenols (13.26%), five types of aldehydes and ketones (5.37%), one type of heterocyclic substance (0.18%), and two types of other substances (0.18%). The obtained *G. elata* vinegar was clear in color and possessed both the unique smell of *G. elata* and the rich vinegar aroma, with suitable acidity and soft taste.

Key words: *Gastrodia elata*; vinegar; fermentation process; aroma; headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

引文格式:

张弛, 贺阳, 姜禹辰, 等. 天麻醋发酵工艺优化及成分分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 154-161.

ZHANG Chi, HE Yang, JIANG Yuchen, et al. Optimization of Fermentation Process and Composition Analysis of *Gastrodia elata* Vinegar[J]. Food Research and Development, 2022, 43(21): 154-161.

天麻(*Gastrodia elata*)为兰科(Orchidaceae)植物的干燥块茎, 是我国名贵的中药材之一^[1]。研究表明, 天麻中含有多对对人体有益的化学成分, 如天麻素、天麻多糖、4-羟基苯甲醇、巴利森苷等^[2-3], 这些成分具有抗氧化、抗衰老、降血压、降血糖、神经保护等功效^[4-7], 对

人体有很好的营养价值和功效作用。2020 年国家卫健委将天麻列入药食两用名单^[8], 为天麻深入开发提供了良好的机遇。目前在天麻食品方面已开发出天麻米酒、天麻可乐、天麻面条、天麻蛋糕等新产品^[9-12], 而以天麻为原料的发酵醋研究鲜见报道。

作者简介: 张弛(1998—), 男(满), 硕士研究生, 研究方向: 长白山野生植物资源开发利用。

* 通信作者: 文连奎(1962—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 食品新资源与新技术应用。

醋是以淀粉或糖含量较高的物质经过酒精发酵、醋酸发酵后的酸味液态调味品,具有增进食欲、抑菌杀菌、活血化瘀等作用,多用于烹饪^[13],原料一般为粮食及水果等。近年来,以药食同源原料开发的保健醋市场需求越来越大。殷路萍^[14]以新鲜的五味子果实为主要原料,经榨汁、酒精发酵、醋酸发酵(液态深层发酵法)制得五味子醋。吕欢^[15]以葛根和高粱为主要原料,对葛根醋的酶解、糖化、酒精发酵、醋酸发酵等阶段的工艺参数进行了优化,确定了葛根醋酿造的最佳工艺流程。谢锦明^[16]以苦荞为原料发酵酿造食醋,制得的苦荞醋不仅拥有传统的食醋功能,还兼具苦荞的营养成分。

本文以天麻为原料,通过液化、糖化、酒精发酵、醋酸发酵制得天麻醋,并经单因素及响应面试验优化发酵工艺条件,采取顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)对天麻醋的香气成分进行分析,以期为天麻醋品质的提高提供参考,促进天麻醋产业化发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

乌美天麻:吉林省辉南县喜霞有机农业有限公司;

α -淀粉酶(40 000 U/mL)、糖化酶(100 000 U/mL):Aladdin 试剂(上海)有限公司;安琪酿酒高活性酵母:安琪酵母股份有限公司;沪酿 1.01 醋酸菌种、醋酸菌培养基:北京生物保藏中心;酵母膏:广东环凯微生物科技有限公司;蔗糖(食品级):山东乔邦化工有限公司;柠檬酸(食品级):江苏瑞多生物工程有限公司;碳酸氢钠(食品级):济南坤丰化学有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

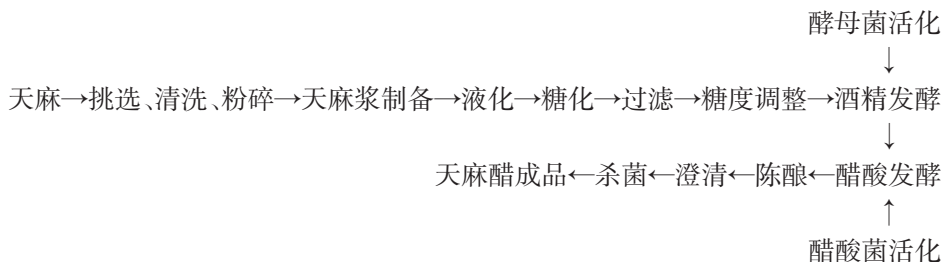
1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅(HH-4A):北京市光明医疗仪器厂;pH计(pH-3C):上海佑科仪器仪表有限公司;双人净化工作台(SW-CJ-2D):浙江苏净净化设备有限公司;振荡培养箱(SPX-250B-D)、生化培养箱(SPX-250B-Z)、压力蒸汽灭菌锅(LS-3D):上海博迅实业有限公司;大容量多孔离心机(LXJ-II B):上海安亭科学仪器厂;萃取头(50/30 μ m DVB/CAR/PDMS):上海安谱实验科技股份有限公司;气质联用仪(TSQ9000):赛默飞世尔科技(中国)有限公司;高效液相色谱(1200):美国 Agilent 公司。

1.3 方法

1.3.1 天麻醋酿造工艺流程及操作要点

1.3.1.1 天麻醋酿造工艺流程



1.3.1.2 操作要点

挑选、清洗、粉碎:挑选无腐烂、无虫害的优质干天麻。将干天麻清洗干净,鼓风干燥箱 65 $^{\circ}$ C 烘干后利用粉碎机将其粉碎,过 100 目筛,装袋避光保存。

天麻浆制备:按料液比 1:10 (g/mL),向天麻粉中加水得到天麻浆液,加水量过高或过低都不利于后期酒精发酵、醋酸发酵。

液化:天麻浆液中加入天麻粉质量 0.4% α -淀粉酶,搅拌均匀后 88 $^{\circ}$ C 水浴 40 min 获得液化醪。

糖化:将降至 25 $^{\circ}$ C 后的液化醪加入天麻粉质量 5% 糖化酶,搅拌均匀后 54 $^{\circ}$ C 水浴 40 min,获得糖化醪。

过滤:200 目滤布过滤天麻糖化醪,滤除天麻残渣。

糖度调整:用蔗糖将天麻糖化醪糖度调整至 10%。

酵母菌活化:准确称取所需安琪酵母,加入 2% 糖水中,酵母与水的体积比为 1:20,搅拌均匀,至 35 $^{\circ}$ C~

38 $^{\circ}$ C 水浴锅中活化 30 min。

酒精发酵:将酵母活化液接种至糖化醪,按酵母用量接种量为 0.8 g/L,30 $^{\circ}$ C 酒精发酵 8 d,得到酒精度为 5.2% vol 和 pH4.5 的天麻酒醪。

醋酸菌活化:将醋酸菌按照 1:100 的体积比接入醋酸发酵培养基中,温度 30 $^{\circ}$ C、120 r/min 振荡培养 48 h^[17]。

醋酸发酵:在天麻酒醪中按试验设计的发酵温度、醋酸菌接种量(醋酸菌经平板计数为 1.04×10^9 个/mL)、初始 pH 值(采用柠檬酸与碳酸氢钠缓冲液调整 pH 值)进行醋酸发酵,得到天麻原醋。

陈酿:发酵制得的天麻原醋风味刺鼻,口感柔和度欠佳,将天麻原醋在 25 $^{\circ}$ C 条件下陈酿 60 d 调和风味口感。

澄清:天麻原醋在转速 4 000 r/min 条件下,离心

20 min。

杀菌:离心后的天麻原醋上清液装瓶,巴氏杀菌后得到天麻醋成品。

1.3.2 天麻醋发酵单因素试验设计

1.3.2.1 发酵温度对醋酸发酵的影响

根据齐海丽等^[18]的方法稍作修改,调整天麻发酵酒醪为初始 pH4.5,醋酸菌接种量为 0.6%,分别置于 28、30、32、34、36 ℃培养 12 d,每隔 2 d 取样测定醋酸含量,以醋酸含量为评价指标确定最佳发酵温度。

1.3.2.2 醋酸菌接种量对醋酸发酵的影响

根据黄艳丽等^[19]的方法稍作修改,调整天麻发酵酒醪为初始 pH4.5,分别接入扩培后的醋酸菌 0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%,醋酸菌经平板计数为 1.04×10^9 个/mL,置于 32 ℃培养 12 d,每隔 2 d 取样测定醋酸含量,以醋酸含量为评价指标确定最佳醋酸菌接种量。

1.3.2.3 初始 pH 值对醋酸发酵的影响

根据张丽丽^[20]的方法稍作修改,调整天麻发酵酒醪初始 pH 值为 3.5、4.0、4.5、5.0、5.5,醋酸菌接种量为 0.6%,置于 32 ℃培养 12 d,每隔 2 d 取样测定醋酸含量,以醋酸含量为评价指标确定最佳初始 pH 值。

1.3.3 天麻醋发酵响应面优化试验设计

在单因素试验的基础上,采用 Box-Behnken 设计天麻醋试验模型,响应值 R 为醋酸含量,选择发酵温度(A)、醋酸菌接种量(B)、初始 pH 值(C)3 个因素为自变量,设计三因素三水平共 17 个试验点响应面试验,因素水平见表 1。

表 1 响应面优化天麻醋发酵工艺的因素和水平

Table 1 Factors and levels for optimizing the fermentation process of *Gastrodia elata* vinegar by response surface methodology

水平	因素		
	A 发酵温度/℃	B 醋酸菌接种量/%	C 初始 pH 值
-1	30	0.5	4.0
0	32	0.6	4.5
1	34	0.7	5.0

1.3.4 天麻醋香气成分分析

1.3.4.1 顶空固相微萃取条件

取 5 mL 巴氏杀菌后的天麻醋样于 20 mL 顶空瓶中,添加 1.0 g NaCl,于 50 ℃加热平衡 30 min,将 DVB/CAR/PDMS 萃取头插入顶空瓶中,使之与醋液面保持 1 cm 距离,萃取 30 min,磁力搅拌速度为 800 r/min,热解析时间 30 s,热解析温度 250 ℃^[21]。

1.3.4.2 气相色谱-质谱条件

色谱条件:色谱柱为 HP-INNOWAX(长 30 m、内

径 0.25 mm、液膜厚度 0.25 μ m)。载气为高纯氮气,流速为 1 mL/min。固相微萃取采用自动进样,不分流模式。柱温箱升温程序为 45 ℃保持 3 min,然后以 5 ℃/min 的速度升温至 100 ℃保持 1 min,再以 10 ℃/min 的速度升温至 240 ℃保持 12 min。

质谱条件:电子轰击离子源,离子能量 70 eV,质谱传输线温度为 250 ℃,离子源温度为 230 ℃,扫描范围为 20 U~550 U^[22]。峰表对照 NIST 谱库进行检验分析。

1.3.5 天麻醋指标测定方法

1.3.5.1 理化指标测定

醋酸含量的测定方法:取 20 mL 醋样与 20 mL 蒸馏水,混匀后加入蒸馏装置,吸取 1 mL 馏出液加入 10 mL 蒸馏水,胶头滴管吸取酚酞 2 滴加入待测液,用 NaOH 标准溶液滴定至有微红色出现,30 s 内不褪色为终点^[23],参考 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的方法计算醋酸含量,以醋酸计;可溶性固形物含量采用手持折光计法;还原糖含量参考 GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》中直接滴定法;天麻素含量参考《中华人民共和国药典》中天麻素的测定方法^[24];天麻多糖含量参考程立君等^[25]的苯酚硫酸法。

1.3.5.2 微生物指标测定

致病菌的测定参考 GB 29921—2021《食品安全国家标准 预包装食品中致病菌限量》;菌落总数、大肠菌群的测定参考 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》。

1.3.5.3 感官评价

感官评价参考 GB 2719—2018《食品安全国家标准 食醋》进行评价。

1.4 数据处理

所有数据测定 3 次,取平均值;采用 Origin 2018 64 Bit、Design Expert 8.0 软件进行图片绘制和数据处理。

2 结果与分析

2.1 天麻醋发酵单因素试验结果

2.1.1 发酵温度对醋酸发酵的影响

发酵温度对醋酸含量的影响见图 1。

由图 1 可知,当发酵温度在 32 ℃、发酵时间 12 d 时醋酸含量最高,达到了 3.92 g/100 mL。发酵温度过低,菌数生长速率缓慢,醋酸发酵不完全,醋酸含量较低。发酵温度过高,乙醇脱氢酶与乙醛脱氢酶在高温环境下受到抑制,乙醇氧化成醋酸的速率降低,从而醋酸含量下降^[26]。因此选择 30、32、34 ℃作为响应面试验水平。

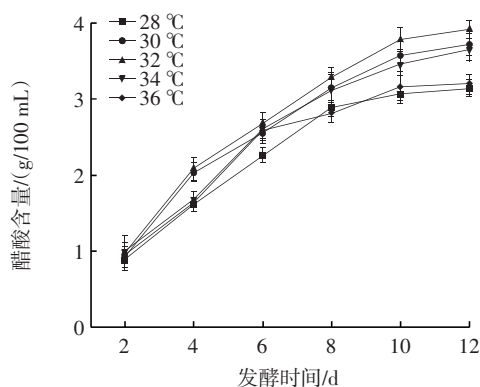


图1 发酵温度对醋酸发酵的影响

Fig.1 The effect of fermentation temperature on acetic acid fermentation

2.1.2 醋酸菌接种量对醋酸发酵的影响

醋酸菌接种量对醋酸发酵的影响见图2。

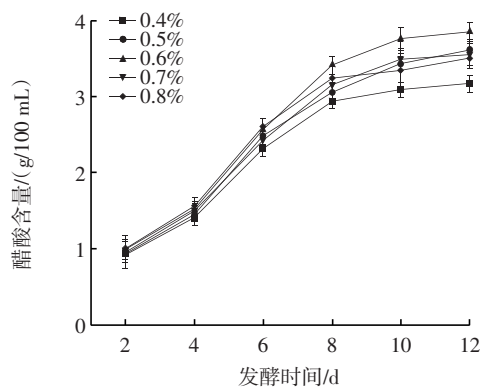


图2 醋酸菌接种量对醋酸发酵的影响

Fig.2 Effect of acetobacter inoculum on acetic acid fermentation

由图2可知,当醋酸菌接种量在0.6%、发酵时间12 d时,醋酸含量最高,达到3.86 g/100 mL;醋酸菌接种量为0.4%时醋酸含量最小,仅有3.08 g/100 mL;在醋酸菌接种量超过0.6%时,醋酸含量随着醋酸菌接种量的增大而减小。结果表明,适当增加醋酸菌接种量,醋酸发酵速率会随之增快,但当接入过量的醋酸菌醋酸含量不再增大,这是因为过量的醋酸菌生长繁殖所需的营养物质也增多,醋酸发酵过程被抑制,导致醋酸含量下降^[27]。因此选择0.5%、0.6%、0.7%作为响应面试验水平。

2.1.3 初始pH值对醋酸发酵的影响

初始pH值对醋酸发酵的影响见图3。

由图3可知,在初始pH3.5~4.5时,醋酸含量随着pH值的增大而增加。在初始pH4.5,发酵时间12 d时,醋酸含量达到了最大值3.74 g/100 mL,之后随着pH值的增加,醋酸含量随之降低,这可能是由于醋酸菌适宜生长于偏酸性条件中。pH值大小能够改变醋酸菌代

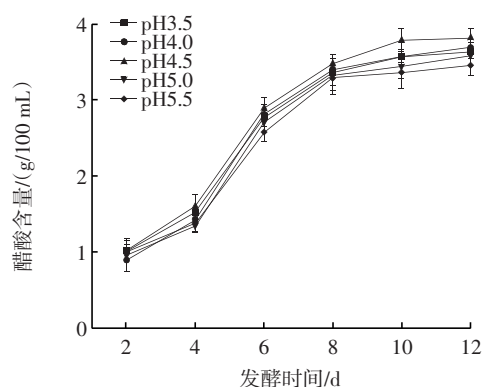


图3 初始pH值对醋酸发酵的影响

Fig.3 Effect of initial pH on acetic acid fermentation

谢行为,影响醋酸产量^[28]。因此选择pH4.0、4.5、5.0作为响应面试验水平。

2.2 天麻醋发酵响应面优化试验结果

2.2.1 响应面试验结果与分析

响应面设计与结果见表2。

表2 Box-Behnken 试验设计模型及其响应值

Table 2 Box-Behnken experimental design model and its response values

编号	A 发酵温度/°C	B 醋酸菌接种量/%	C 初始pH值	R 醋酸含量/(g/100 mL)
1	32	0.7	5.0	3.64
2	32	0.5	4.0	3.60
3	32	0.7	4.0	3.15
4	32	0.6	4.5	4.19
5	30	0.6	4.0	3.04
6	30	0.6	5.0	3.32
7	30	0.5	4.5	3.51
8	34	0.6	5.0	3.48
9	32	0.6	4.5	4.07
10	34	0.5	4.5	3.98
11	32	0.6	4.5	4.20
12	32	0.6	4.5	4.00
13	34	0.7	4.5	3.66
14	34	0.6	5.0	3.73
15	32	0.6	4.5	4.09
16	32	0.5	5.0	3.92
17	30	0.7	4.5	3.24

醋酸含量是检验醋品质评价的重要指标,本试验以醋酸含量作为响应值R,按表2进行回归分析,醋酸含量R的回归方程如下。

$$R=41.42+2.18A-1.65B+1.68C-0.13AB-0.075AC+0.42BC-3.65A^2-1.80B^2-3.85C^2$$

方差分析结果见表3。

表3 方差分析结果

Table 3 Analysis of variance results

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	228.55	9	25.39	22.24	0.000 2	**
A	37.85	1	37.85	33.14	0.000 7	**
B	21.78	1	21.78	19.07	0.003 3	**
C	22.45	1	22.45	19.66	0.003 0	**
AB	0.063	1	0.063	0.055	0.821 7	
AC	0.023	1	0.023	0.020	0.892 3	
BC	0.72	1	0.72	0.63	0.452 5	
A ²	56.02	1	56.02	49.06	0.000 2	**
B ²	13.60	1	13.60	11.91	0.010 7	*
C ²	62.33	1	62.33	54.59	0.000 2	**
残差	7.99	1	1.14			
失拟	1.25	3	0.42	0.25	0.860 7	不显著
纯误差		5	1.69			
总和		16				

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

由表3可知,模型 P 值为0.000 2($P<0.01$)差异极显著;失拟项 P 值为0.860 7($P>0.05$)差异不显著,表明该模型在试验参数范围内可行。方程决定系数 $R^2=0.966 2$,模型的校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.922 8$,说明模型拟合度较好,能够解释响应值变化。

根据 F 值大小可知,3个因素对醋酸含量的影响顺序为发酵温度(A)>初始pH值(C)>醋酸菌接种量(B)。二次项 B^2 ($P<0.05$),表明对醋酸含量有显著影响;一次项 A 、 B 、 C ,二次项 A^2 、 C^2 ,对醋酸含量有极显著影响($P<0.01$);其他因素组合对醋酸含量无显著影响($P>0.05$)。

2.2.2 响应面模型分析

响应面见图4~图6。

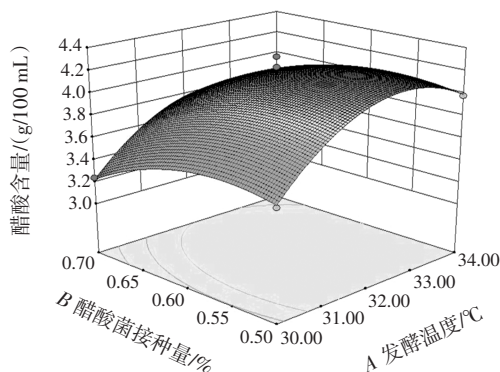


图4 发酵温度与醋酸菌接种量交互作用对醋酸发酵的影响

Fig.4 The effect of the interaction between fermentation temperature and acetic acid bacteria inoculum on acetic fermentation

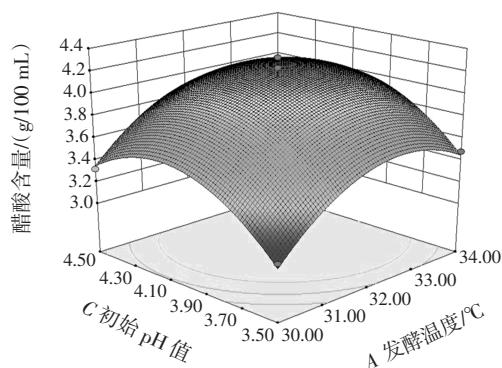


图5 发酵温度与初始pH值交互作用对醋酸发酵的影响

Fig.5 Effect of interaction between fermentation temperature and initial pH on acetic fermentation

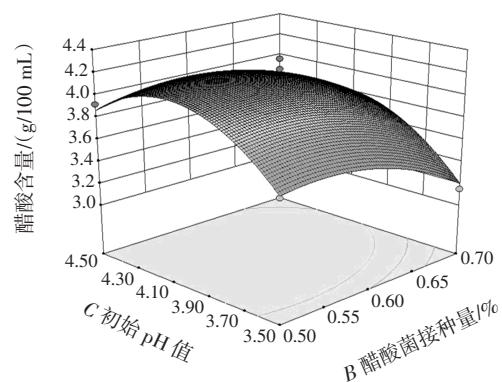


图6 醋酸菌接种量与初始pH值交互作用对醋酸发酵的影响

Fig.6 The effect of the interaction between acetic acid bacteria inoculum and initial pH on acetic fermentation

由图4~图6可知,发酵温度与醋酸菌接种量(AB)、发酵温度与初始pH值(AC)、醋酸菌接种量与初始pH值(BC)响应面图坡度平缓, AB 、 AC 、 BC 间交互影响不显著,这与方差分析结果一致。

2.2.3 响应面优化试验验证

根据 Design Expert 8.0 软件优化得到醋酸发酵最佳条件为发酵温度 32.61 °C、接种量 0.56%、初始 pH4.59。为方便进行试验操作,试验条件调整为 32.6 °C、醋酸菌接种量 0.56%、初始 pH4.6。经过 3 次重复试验,总酸含量为 4.23 g/100 mL,与模型预测值相差不大,误差为 $\pm 0.15\%$ 。该模型可以用于预测醋酸发酵条件与醋酸含量之间的关系。

2.3 天麻醋香气成分分析

采用 HS-SPME-GC-MS 对天麻醋进行测定,峰表对照 NIST 谱库进行检索。天麻醋中挥发性化合物的组成及相对含量见表4。

如表4所示,天麻醋中共鉴定出 32 种香气成分,包括酸类、酯类、醇类、酚类、醛酮类、杂环类及其他类,各物质相对含量总和占总含量的 74.19%。其中酸类物

表 4 天麻醋挥发性化合物的组成及相对含量
Table 4 Composition and relative content of volatile compounds in
Gastrodia elata vinegar

类别	序号	保留 时间/min	化合物名称	相对 含量/%
酸类	1	10.931 3	乙酸	22.31
	2	12.700 0	异丁酸	0.35
	3	13.929 6	异戊酸	1.98
	4	16.980 5	异辛酸	2.82
酯类	5	2.166 4	乙酸乙酯	0.08
	6	3.961 4	乙酸异丁酯	0.31
	7	4.388 8	丁酸乙酯	0.09
	8	5.874 8	乙酸异戊酯	0.61
	9	7.696 2	己酸乙酯	6.72
	10	10.260 6	1-甲基乙酸己酯	0.09
	11	15.639 2	乙酸苯乙酯	7.30
	12	16.307 3	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇 二异丁酸酯	2.93
醇类	13	23.812 3	邻苯二甲酸二丁酯	0.16
	14	5.651 3	异丁醇	0.22
	15	11.634 8	2-乙基己醇	0.07
	16	12.377 8	芳樟醇	0.09
	17	13.252 3	四氢熏衣草醇	0.11
	18	13.863 8	2-丙基-1-庚醇	1.42
	19	16.671 5	苯乙醇	12.91
	20	17.131 8	2-甲氧基-5-甲基苯酚	2.02
酚类	21	17.624 9	苯酚	0.07
	22	18.354 8	对甲酚	10.49
	23	20.419 4	2,4-二叔丁基苯酚	0.32
	24	22.457 8	4-(乙氧基甲基)苯酚	0.36
醛酮类	25	3.455 1	2,3-丁二酮	0.11
	26	9.017 8	3-羟基-2-丁酮	2.39
	27	12.193 7	苯甲醛	2.54
	28	15.757 5	对苯二甲醛	0.22
	29	17.999 7	椰子醛	0.11
杂环类	30	14.889 6	奥甘菊环	0.18
其他类	31	8.695 6	3,5-二羟基苯甲酰胺	0.08
	32	19.255 6	2-ethylphenol, isopropyl ether	0.10

质共有 4 种,相对含量为 27.46%;酯类物质共有 9 种,相对含量为 18.29%;醇类物质共有 6 种,相对含量为 14.82%;酚类物质共有 5 种,相对含量为 13.26%;醛酮类物质共有 5 种,相对含量为 5.37%;杂环类物质共有 1 种,相对含量为 0.18%;其他类物质共有 2 种,相对含量为 0.18%。

酸类物质大多由酯类物质降解生成,一般具有刺鼻气味^[29]。天麻醋中乙酸相对含量最高,为 22.31%,是天麻醋风味的主要来源。异丁酸、异戊酸、异辛酸对天

麻醋风味起辅助作用,相对含量分别为 0.35%、1.98%、2.82%。

有机酸与醇脱水缩合的酯化反应,是酯类物质的主要来源。酯类物质大多具有鲜果香以及花香。天麻醋中主要酯类物质有乙酸苯乙酯、己酸乙酯、2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯,相对含量分别为 7.30%、6.72%、2.93%。乙酸苯乙酯具有玫瑰花香,己酸乙酯具有菠萝香气,是天麻醋中甜香与果香的主要风味来源。

酵母代谢以及糖苷与酯类物质代谢是醇的主要生成途径。天麻醋中的主体醇类物质苯乙醇就是由酵母菌有机合成与生物转化得来的,相对含量为 12.91%。苯乙醇具有玫瑰花香,赋予了天麻醋清甜香味。

酚类物质中相对含量最高的是对甲酚,为 10.49%,对甲酚具有烟熏、药香味。单纯的酚类物质呈味简单,与其他挥发性化合物共同作用后效果更佳。酚类物质虽相对含量较低,但由于其香味阈值较高,所以对天麻醋的香气成分贡献较大。

醛酮类物质、杂环类化合物及其他类化合物三种成分含量较低,所以它们对天麻醋风味的贡献较小。

2.4 天麻醋指标分析结果

2.4.1 理化指标测定结果

天麻醋中可溶性固形物含量为 3.9%,还原糖含量为 2.2 mg/mL,醋酸含量为 4.23 g/100 mL,天麻素含量为 0.72 mg/mL,天麻多糖含量为 0.396 mg/mL,符合国标中食醋质量标准。

2.4.2 微生物指标测定结果

天麻醋中菌落总数≤100 个/100 mL,大肠菌群与致病菌未检出,符合国标中食醋微生物限量标准。

2.4.3 感官评价结果

天麻醋为棕褐色,醋品色泽清亮、质地均匀无沉淀,兼具天麻独有气味与浓郁醋香,酸度适宜口感柔和,能够满足消费者需求。

3 讨论与结论

天麻经醋酸发酵后与自身香气成分有很大区别,鲜天麻中的主体香气成分为醇类与酚类^[30],而天麻醋主体香气成分为酸类与酯类,且相同种类中的挥发性化合物也几乎不同,这可能是由于酵母菌与醋酸菌作用后导致的成分变化。乙酸为天麻醋中的主体酸类物质,这与周钰欣等^[31]所测定的 5 种发酵醋结果一致,但天麻醋中的酯类物质相对含量低于岐山醋,高于其他 4 种发酵醋。

本试验以天麻为原料,在单因素试验基础上进行响应面试验对醋酸发酵工艺参数进行优化,结果表

明,优化后最佳发酵工艺为发酵温度 32.6℃、醋酸菌接种量 0.56%、初始 pH4.6,得到的天麻醋醋酸含量为 4.23 g/100 mL。采取顶空固相微萃取-气相色谱-质谱对天麻醋进行香气成分分析,共鉴定出 32 种香气成分,其中酸类 4 种(27.46%)、酯类 9 种(18.29%)、醇类 6 种(14.82%)、酚类 5 种(13.26%)、醛酮类 5 种(5.37%)、杂环类 1 种(0.18%)、其他类物质 2 种(0.18%)。综上所述,天麻醋独特的香气风味并不是由一种或一类挥发性化合物提供,而是由不同种类挥发性化合物提供。

参考文献:

- [1] 魏富芹,黄蓉,何海艳,等.天麻的药理作用及应用研究进展[J].中国民族民间医药,2021,30(11):72-76.
WEI Fuqin, HUANG Rong, HE Haiyan, et al. Research progress on pharmacological action and application of *Gastrodia elata* bl[J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2021, 30(11): 72-76.
- [2] 田孟华,袁天军,周瑞,等.不同产地及变型天麻有效成分差异性分析[J].中成药,2020,42(7):1824-1829.
TIAN Menghua, YUAN Tianjun, ZHOU Rui, et al. Difference analysis of effective constituents in different growing areas and varieties of *Gastrodia elata*[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2020, 42(7): 1824-1829.
- [3] LIU Y, HUANG G L. The chemical composition, pharmacological effects, clinical applications and market analysis of *Gastrodia elata*[J]. Pharmaceutical Chemistry Journal, 2017, 51(3): 211-215.
- [4] HE J Z, LI X, YANG S P, et al. Gastrodin extends the lifespan and protects against neurodegeneration in the *Drosophila* PINK₁ model of Parkinson's disease[J]. Food & Function, 2021, 12(17): 7816-7824.
- [5] DUAN X H, WANG W L, LIU X Q, et al. Neuroprotective effect of ethyl acetate extract from *Gastrodia elata* against transient focal cerebral ischemia in rats induced by middle cerebral artery occlusion[J]. Journal of Traditional Chinese Medicine, 2015, 35(6): 671-678.
- [6] DONG Z, BIAN L, WANG Y L, et al. Gastrodin protects against high glucose-induced cardiomyocyte toxicity via GSK-3 β -mediated nuclear translocation of Nrf2[J]. Human & Experimental Toxicology, 2021, 40(9): 1584-1597.
- [7] FAROOQ U, PAN Y J, LIN Y F, et al. Structure characterization and action mechanism of an antiaging new compound from *Gastrodia elata* blume[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2019, 2019: 5459862.
- [8] 唐志龙,高晴,毕保良,等.微酸性电解水凝胶对天麻鲜切片贮藏品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2022,13(8):2625-2632.
TANG Zhilong, GAO Qing, BI Baoliang, et al. Effect of slightly acidic electrolytic hydrogel on the storage quality of fresh slices of *Gastrodia elata*[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2022, 13(8): 2625-2632.
- [9] 李刚凤,刘健,杨娟,等.天麻米酒发酵工艺优化[J].食品研究与开发,2019,40(19):118-122.
LI Gangfeng, LIU Jian, YANG Juan, et al. Processing optimization of fermentation with *Gastrodia elata* rice wine[J]. Food Research and Development, 2019, 40(19): 118-122.
- [10] 李刚凤,康明,朱苗,等.天麻可乐加工工艺研究[J].食品工业,2017,38(3):145-148.
LI Gangfeng, KANG Ming, ZHU Miao, et al. Study on processing technology of *Rhizoma gastrodiae* cola[J]. The Food Industry, 2017, 38(3): 145-148.
- [11] 李刚凤,关来印,吕真真,等.天麻鲜湿面条的研制[J].食品工业,2018,39(11):77-81.
LI Gangfeng, GUAN Laiyin, LÜ Zhenzhen, et al. Development of *Gastrodia elata* fresh wet noodles[J]. The Food Industry, 2018, 39(11): 77-81.
- [12] 周强英,李刚凤,谢勇,等.天麻蛋糕加工工艺的优化[J].铜仁学院学报,2017,19(12):11-15.
ZHOU Qiangying, LI Gangfeng, XIE Yong, et al. Optimization of processing technology of *Rhizoma gastrodiae* cake[J]. Journal of Tongren University, 2017, 19(12): 11-15.
- [13] 郑吴伟,王超,付诗鸣,等.食醋的功效成分和有害物质[J].中国调味品,2020,45(8):183-186.
ZHENG Wuwei, WANG Chao, FU Shiming, et al. Functional components and harmful substances of vinegar[J]. China Condiment, 2020, 45(8): 183-186.
- [14] 殷路萍.五味子酒、醋功能特性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.
YIN Luping. Study on functional properties of schisandrae wine and vinegar[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2013.
- [15] 吕欢.葛根醋酿造工艺研究[D].晋中:山西农业大学,2019.
LÜ Huan. Study on the brewing technology of *Pueraria* vinegar[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [16] 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 Jinming. Study preliminary study on acetic acid fermentation technology and biological activity of Tartary buckwheat vinegar[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2020.
- [17] HUANG H, WANG X F, HU Y H, et al. Research on comprehensive utilization and fruit vinegar fermentation technology of pineapple bran[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 657(1): 012038.
- [18] 齐海丽,吕云皓,杨双铭,等.黑枸杞果醋发酵工艺条件优化[J].中国酿造,2021,40(12):204-210.
QI Haili, LY Yunhao, YANG Shuangming, et al. Optimization of fermentation technology conditions of *Lycium ruthenicum* vinegar[J]. China Brewing, 2021, 40(12): 204-210.
- [19] 黄艳丽,李成华,杨永林,等.多依果醋发酵工艺优化及品质分析[J].食品研究与开发,2021,42(22):97-103.
HUANG Yanli, LI Chenghua, YANG Yonglin, et al. Fermentation process optimization and quality analysis of *Dodonaea delavayi* fruit vinegar[J]. Food Research and Development, 2021, 42(22): 97-103.

- [20] 张丽丽. 紫薯醋发酵工艺的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
ZHANG Lili. Research on fermentation technology of purple sweet potato vinegar[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2014
- [21] 潘伟杰, 林捷, 郑华, 等. 荔枝蜂蜜醋发酵工艺优化与挥发性成分分析[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 81–86.
PAN Weijie, LIN Jie, ZHENG Hua, et al. Optimization of fermentation technology of lychee honey vinegar and analysis of its volatile components[J]. The Food Industry, 2021, 42(12): 81–86.
- [22] 刘志刚, 韩琳, 谢晓林, 等. 顶空固相微萃取 GC-MS 法分析 8 种猕猴桃果酒成分[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(21): 121–127.
LIU Zhigang, HAN Lin, XIE Xiaolin, et al. Aromatic components in eight kiwi fruit wines by headspace solid-phase microextraction and GC-MS[J]. Food Research and Development, 2021, 42(21): 121–127.
- [23] 杨馨悦, 杨宇驰, 周秀娟, 等. 柑橘果醋发酵条件的优化及其成分分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(10): 75–79.
YANG Xinyue, YANG Yuchi, ZHOU Xiujuan, et al. Optimization of fermentation conditions of *Citrus* fruit vinegar and analysis of its components[J]. China Condiment, 2020, 45(10): 75–79.
- [24] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2010.
- [25] 程立君, 彭佳华, 胡志芳, 等. 昭通天麻多糖含量测定及超声辅助提取条件优化[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(S1): 28–29, 40.
CHENG Lijun, PENG Jiahua, HU Zhifang, et al. Determination of polysaccharide content of *Gastrodia elata* in Zhaotong and optimization of ultrasound-assisted extraction technology[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2019, 25(S1): 28–29, 40.
- [26] 曹桢, 陈善敏, 黄小雨, 等. 紫薯醋发酵工艺优化及品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 195–201.
CAO Zhen, CHEN Shanmin, HUANG Xiaoyu, et al. Fermentation process optimization and quality analysis of purple sweet potato vinegar[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(4): 195–201.
- [27] 熊亚, 李敏杰. 红心火龙果柚子复合果醋发酵工艺条件优化[J]. 中国调味品, 2019, 44(6): 134–139.
XIONG Ya, LI Minjie. Optimization of fermentation technology of red pitaya and pomelo compound vinegar[J]. China Condiment, 2019, 44(6): 134–139.
- [28] 陈曦, 李国林, 陈梦玉, 等. 响应面法优化发酵蓝莓果醋发酵工艺条件[J]. 中国酿造, 2018, 37(9): 67–71.
CHEN Xi, LI Guolin, CHEN Mengyu, et al. Optimization of blueberry vinegar fermentation process by response surface methodology[J]. China Brewing, 2018, 37(9): 67–71.
- [29] 许德富, 陈晓明, 张良, 等. 解析精华原浆酒的窖藏模式[J]. 酿酒, 2015, 42(3): 64–66.
XU Defu, CHEN Xiaoming, ZHANG Liang, et al. Analysis of the cellaring mode of essence puree liquor[J]. Winemaking, 2015, 42(3): 64–66.
- [30] 曹森, 赵成飞, 马凤伟, 等. 基于电子鼻和 GC-MS 评价不同采收期天麻的芳香品质[J]. 北方园艺, 2019(19): 87–94.
CAO Sen, ZHAO Chengfei, MA Fengwei, et al. Aroma quality of different harvesting period *Gastrodia elata* by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Northern Horticulture, 2019(19): 87–94.
- [31] 周钰欣, 张建新, 许彦腾. 5 种固态发酵食醋香味物质的 GC-MS 分析[J]. 西北农业学报, 2014, 23(2): 143–149.
ZHOU Yuxin, ZHANG Jianxin, XU Yanteng. GC-MS analysis of aroma components of five solid fermented vinegars[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2014, 23(2): 143–149.

加工编辑: 姚骏

收稿日期: 2022-02-08