

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.02.017

# 葛根复合植物饮料的开发及挥发性风味成分分析

李晓, 孙汉巨\*, 贾涤非, 刘淑芸, 高玲艳, 裴慧, 何辛洲, 顾荣荧  
(合肥工业大学 食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 以葛根为主要原料, 芡实、黄精等为辅料, 开发一款葛根复合植物饮料。通过单因素及  $L_9(3^4)$  正交试验, 确定葛根复合植物饮料最佳配方, 使用电子鼻及气相色谱-质谱联用技术对饮料中挥发性风味成分进行分析。结果表明, 葛根复合植物饮料的最佳酶解工艺为酶解 pH6.5、 $\alpha$ -淀粉酶添加量 0.30%, 酶解时间 3.0 h、酶解温度 60 °C; 产品的配方为葛根复合汁(葛根 10 g, 枸杞 3 g, 芡实 3 g, 茯苓 3 g, 黄精 0.5 g, 山药 0.5 g)添加量 25%、麦芽糖醇添加量 7.0%、柠檬酸添加量 0.5%、蓝莓汁添加量 0.75%。电子鼻结果表明, 添加葛根与不添加葛根两种样品间香气差异主要为醇、醚、醛、酮等芳香化合物。气相色谱-质谱结果表明, 添加葛根的复合植物饮料挥发性风味成分明显增多。  
**关键词:** 葛根; 植物饮料; 电子鼻; 气相色谱-质谱法; 挥发性风味成分

## A *Puerariae Lobatae Radix*-Based Plant Beverage: Development and Characterization of Volatile Flavor Components

LI Xiao, SUN Hanju\*, JIA Difei, LIU Shuyun, GAO Lingyan, PEI Hui, HE Xinzhou, GU Yingying

(School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China)

**Abstract:** With *Puerariae Lobatae Radix* as the main raw material and Euryales Semen and Polygonati Rhizoma as auxiliary materials, a compound *Puerariae Lobatae Radix*-based plant beverage was developed. The formula of this beverage was optimized by single factor and  $L_9(3^4)$  orthogonal tests. The volatile flavor components in the beverage were analyzed by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry. The optimum enzymolysis conditions for production of the beverage were as follows: Enzymolysis at pH6.5,  $\alpha$ -amylase addition of 0.30%, and enzymolysis at 60 °C for 3.0 h. The formula of the product was optimized as 25% *Puerariae Lobatae Radix*-based compound juice (10 g *Puerariae Lobatae Radix*, 3 g Lycii Fructus, 3 g Euryales Semen, 3 g Poria, 0.5 g Polygonati Rhizoma, and 0.5 g Dioscoreae Rhizoma), 7.0% maltitol, 0.5% citric acid, and 0.75% blueberry juice. The results of electronic nose showed that the aroma difference between the two products with and without *Puerariae Lobatae Radix* was mainly attributed to the different content of aromatic compounds including alcohols, ethers, aldehydes, and ketones. The results of gas chromatography-mass spectrometry showed that the volatile flavor components of the compound plant beverage prepared with *Puerariae Lobatae Radix* increased significantly.

**Key words:** *Puerariae Lobatae Radix*; plant beverage; electronic nose; gas chromatography-mass spectrometry; volatile flavor components

引文格式:

李晓, 孙汉巨, 贾涤非, 等. 葛根复合植物饮料的开发及挥发性风味成分分析[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(2): 129-135.

LI Xiao, SUN Hanju, JIA Difei, et al. A *Puerariae Lobatae Radix*-Based Plant Beverage: Development and Characterization of Volatile Flavor Components[J]. Food Research and Development, 2025, 46(2): 129-135.

基金项目: 皖江新兴产业技术发展中心科技项目(W2023JSKF0370)

作者简介: 李晓(1998—), 男(汉), 在读硕士研究生, 研究方向: 食品科学。

\*通信作者: 孙汉巨(1966—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 农产品的综合利用。

在自然界中,植物种类丰富、分布广泛且价格低廉,此外还富含对健康有益的生物活性成分。植物中所含的生物活性物质包括多酚、多糖、黄酮类化合物、芳香族、脂肪族、萜类等,在植物基饮料中具有丰富的活性功能和应用潜力<sup>[1-2]</sup>。

葛根为豆科植物葛或甘葛的根<sup>[3]</sup>,在我国分布十分广泛,以贵州、云南、广东、广西、湖南、湖北、江西及安徽等地分布最为集中。葛根含有淀粉、膳食纤维、蛋白质、维生素和矿物质等营养成分<sup>[4]</sup>。此外,葛根还有许多活性成分,如异黄酮、葛根素、皂苷和多糖等。药理学研究表明,葛根具有抗氧化、抗炎、降血糖、减肥、降血压、解酒护肝等多种功效<sup>[5-7]</sup>。葛根是药食同源植物,已被开发为药物和食品。近年来国内外陆续出现了葛根系列产品的开发<sup>[8-9]</sup>。

本研究将葛根与其他药食同源成分混合打浆后进行酶解,酶解液经过滤、超滤后获得上清液,上清液与蓝莓汁、柠檬酸、麦芽糖醇等物质进行复配获得葛根复合植物饮料,并对其挥发性风味成分进行测定,以期增加葛根的加工利用途径,并且为开发新型葛根产品提供参考依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

葛根:安徽益百生物科技有限公司;茯苓:桐乡市海泰菊业有限公司;芡实:亳州市何欢堂实力供应商;枸杞:广东尊润生物科技有限公司;山药:温县豫农禾园农产品有限公司;黄精:陕西天玺尚品商贸有限公司; $\alpha$ -淀粉酶(2 000 U/g):河南万邦化工科技有限公司;麦芽糖醇、柠檬酸(均为食品级):浙江一诺生物科技有限公司;蓝莓汁:伊春市瀚巢食品有限公司。

### 1.2 仪器与设备

电热恒温鼓风干燥箱(9140A):江苏天翎仪器有限公司;台式高速离心机(TG16G):盐城市凯特实验仪器有限公司;电子鼻(PEN3):德国 AIRSENSE 公司;气相色谱-质谱联用仪(8890-5977B):美国安捷伦科技公司;中药粉碎机(HX-300):浙江永康西安机械有限公司;破壁机(MJ-CBL1096):美的集团股份有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 操作要点

1)葛根粗汁的制备:将原料清洗干净后于电热恒温鼓风干燥箱中 60 °C 干燥 8 h,使用中药粉碎机粉碎,过 80 目筛网备用。在预试验基础上,称取葛根 10 g、枸杞 3 g、芡实 3 g、茯苓 3 g、黄精 0.5 g、山药 0.5 g,以料液比 1:4 (g/mL)与去离子水混合,将复合物放入破壁机中破碎、打浆。

2)酶解、灭酶:将  $\alpha$ -淀粉酶添加入葛根粗汁中,加入柠檬酸或小苏打调整 pH 值至酶液 pH 值为 6.5。将

复合粗汁放入水浴锅中,在 60 °C 下酶解后取出。将酶解后的产物进行过滤,取上清液进行煮沸灭酶。

3)超滤:采用离心机(4 500 r/min, 15 min)去除颗粒状杂质,获得的液体进一步用超滤膜过滤,去除大分子杂质及悬浮物等。

4)调配:将超滤后获得的复合汁与蓝莓汁、柠檬酸、麦芽糖醇及去离子水按一定比例混合(总体积为 100 mL),搅拌均匀。

5)灌装、杀菌:以上物料经调配后,装入玻璃饮料瓶中在 90 °C 下杀菌 30 min。然后将饮料冷却至室温,即可得到葛根复合植物饮料。

#### 1.3.2 酶解工艺单因素试验

在预试验的基础上,以酶解液出汁率为指标,进行酶解工艺单因素试验,探究葛根复合酶解液的最佳条件。控制因素和水平分别为  $\alpha$ -淀粉酶添加量(0.20%、0.25%、0.30%、0.35%、0.40%)、酶解 pH 值(5.0、5.5、6.0、6.5、7.0)、酶解温度(30、40、50、60、70 °C)、酶解时间(2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 h)。出汁率计算公式如下。

$$J = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

式中: $J$  为出汁率,%; $M_1$  为酶解后上清液质量,g; $M_2$  为葛根浆汁总质量,g。

#### 1.3.3 原辅料配比单因素试验

1)葛根复合汁添加量对葛根复合植物饮料感官品质影响

以感官品质为评价指标,固定添加麦芽糖醇 7.0%、蓝莓汁 1.00%、柠檬酸 0.5%,探究不同葛根复合汁添加量(20%、25%、30%、35%、40%)对葛根复合植物饮料感官品质的影响。

2)麦芽糖醇添加量对葛根复合植物饮料感官品质影响

以感官品质为评价指标,固定添加葛根复合汁 30%、蓝莓汁 1.00%、柠檬酸 0.5%,探究不同麦芽糖醇添加量(4.0%、5.0%、6.0%、7.0%、8.0%)对葛根复合植物饮料感官品质的影响。

3)蓝莓汁添加量对葛根复合植物饮料感官品质影响

以感官品质为评价指标,固定添加葛根复合汁 30%、麦芽糖醇 7.0%、柠檬酸 0.5%,探究不同蓝莓汁添加量(0.50%、0.75%、1.00%、1.25%、1.50%)对葛根复合植物饮料感官品质的影响。

4)柠檬酸添加量对葛根复合植物饮料感官品质影响

以感官品质为评价指标,固定添加葛根复合汁 30%、麦芽糖醇 7.0%、蓝莓汁 1.0%,探究不同柠檬酸添加量(0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9%)对葛根复合植物饮料感官品质的影响。

## 1.3.4 饮料配方的正交试验

在单因素试验结果的基础上,以色泽外观、气味、组织形态、口感为评价指标,对葛根复合汁添加量、麦芽糖醇添加量、蓝莓汁添加量、柠檬酸添加量4种因素进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,确定葛根复合植物饮料的最佳配方。正交试验因素水平见表1。

表1 正交试验因素及水平

Table 1 Factors and levels of the orthogonal test

水平	因素			
	A 葛根复合汁 添加量/%	B 麦芽糖醇 添加量/%	C 柠檬酸 添加量/%	D 蓝莓汁 添加量/%
1	25	6.0	0.3	0.75
2	30	7.0	0.5	1.00
3	35	8.0	0.7	1.25

## 1.3.5 感官评价

选取8名具有食品专业知识背景的感官评价人员,对葛根复合植物饮料进行评价。本次评分采用百分制,最终取平均值,具体评分标准见表2<sup>[10]</sup>。

表2 葛根复合植物饮料感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standards of the *Puerariae Lobatae Radix*-based compound plant beverage

评价指标	评价标准	评分
色泽外观	色泽均匀,无杂色	20~25
	色泽局部不均匀,略有杂色	15~<20
	色泽不均匀,有杂色	10~<15
气味	香味协调,具有葛根特有的清香味,无异味	20~25
	香味一般,能闻到葛根香气,无异味	15~<20
	葛根香气不明显,有异味	10~<15
组织形态	均匀的溶液,无分层现象	20~25
	较均匀的溶液,有少量沉淀	15~<20
	沉淀较多,分层现象严重	10~<15
口感	酸甜适中,口感细腻	20~25
	微酸或微甜,口味尚可	15~<20
	滋味偏涩,酸甜不当	10~<15

## 1.3.6 电子鼻对葛根复合植物饮料的风味分析

电子鼻测定参考张新振等<sup>[11]</sup>的方法,并略作修改。以不加葛根作为对照,分别取对照和样品葛根复合饮料5 mL于顶空瓶内,瓶盖封住瓶口于50℃富集10 min后使用,采用顶空上样法对葛根复合饮料进行电子鼻分析检测。电子鼻检测的具体参数为顶空预进样时间5 s、自动归零时间10 s、测试时间120 s、清洗时间120 s、传感器仓流量300 mL/min、初始注射流量300 mL/min。各传感器对不同物质的响应类型如表3所示。

## 1.3.7 葛根复合植物饮料的挥发性风味物质分析

顶空条件:分别取5 mL对照及样品于20 mL样品瓶中,加盖密封,将老化10 min的萃取头插入样品瓶中,40℃吸附40 min。随后,插入气相色谱-质谱联用仪的进样口,250℃解吸5 min。

气相色谱条件:参考Mayr等<sup>[12]</sup>的方法,并略作修

表3 电子鼻传感器性能描述

Table 3 Performance description of electronic nose sensors

陈列序号	传感器名称	传感物质
1	W1C	芳香族化合物
2	W5S	氮氧化物
3	W3C	氨和芳香族化合物
4	W6S	氢化物
5	W5C	碳氧化物、芳香族化合物
6	W1S	甲烷等短链烷烃
7	W1W	硫化物、吡嗪、许多萜烯如柠檬烯
8	W2S	乙醇、一些芳香族化合物
9	W2W	芳香族成分、硫化物
10	W3S	甲烷和一些高浓度化合物

改。载气为氦气(99.99%),流速为1 mL/min,压力为112.0 kPa,分流比为5:1。进样口温度250℃,升温程序:初始温度为40℃,保温3 min;以2℃/min的速率升温至160℃,在160℃保温1 min;以5℃/min的速率升温至200℃,在200℃下保温2 min;以8℃/min的速度升温至240℃,保留3 min。

质谱条件:电离方式为70 eV的电子轰击源(electron impact ion source, EI),离子源温度为240℃,溶剂延迟1 min,然后在质荷比(m/z)35~500时采用全扫描模式。挥发性化合物采用NIST质谱数据库进行定性分析。当匹配值大于75%时,结果被接受。

定量分析:采用峰面积归一化法,计算相对百分含量。

## 1.4 数据处理

使用Origin Pro 2021软件绘制获得的数据。试验至少重复3次,数值以平均值±标准差表示。当 $P < 0.05$ 时显著, $P < 0.01$ 时极显著。

## 2 结果与分析

## 2.1 pH值对葛根淀粉酶解的影响

淀粉是葛根中的主要食用部分,占葛根干质量的53.24%~69.28%<sup>[13]</sup>,因此使用 $\alpha$ -淀粉酶将葛根酶解,提高原料的出汁率,让更多水溶性成分进入饮料中。pH值对葛根淀粉酶解的影响如图1所示。

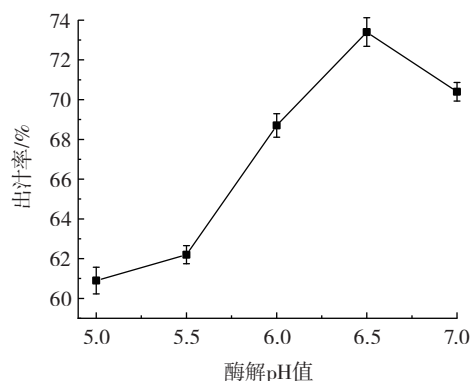


图1 酶解pH值对葛根淀粉酶解的影响

Fig.1 Effect of pH on amylose hydrolysis of *Puerariae Lobatae Radix*

由图1可知,随着酶解pH值的增加,出汁率不断上升;当pH值为6.5时,出汁率达到极值(73.4%);随着酶解pH值的进一步增加,出汁率出现下降趋势。可能是由于pH5.0~6.5时淀粉酶活性逐渐升高,但葛根淀粉酶解并不充分;pH6.5时 $\alpha$ -淀粉酶活性最高,底物反应充分,出汁率最高;pH值过高导致 $\alpha$ -淀粉酶活性受到一定抑制,出汁率降低。因此,选择pH6.5作为酶解条件进行进一步的酶解条件优化。

## 2.2 $\alpha$ -淀粉酶添加量对葛根出汁率的影响

$\alpha$ -淀粉酶添加量对葛根出汁率的影响如图2所示。

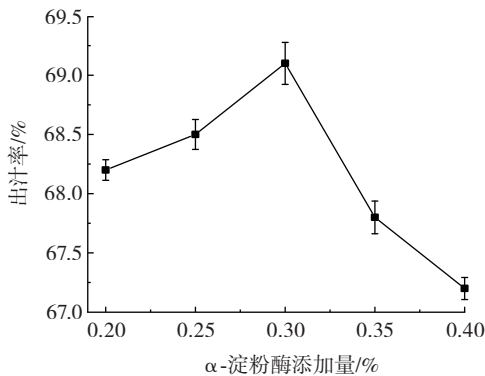


图2  $\alpha$ -淀粉酶添加量对葛根出汁率的影响

Fig.2 Effect of  $\alpha$ -amylase addition on the yield of *Puerariae Lobatae Radix* juice

由图2可知,随着 $\alpha$ -淀粉酶添加量的增加,出汁率不断上升; $\alpha$ -淀粉酶添加量为0.30%时,出汁率达到极值(69.1%);之后随着淀粉酶添加量的进一步增加,出汁率开始下降。酶添加量较低时,葛根淀粉分解不充分,出汁率较低;随着酶添加量逐渐增加,葛根淀粉逐渐被分解,但是酶添加量过多时酶蛋白可能会与底物中的多糖、多酚等相互作用<sup>[14]</sup>,降低出汁率。因此,选择淀粉酶添加量0.30%作为酶解条件进行进一步的酶解条件优化。

## 2.3 酶解时间对葛根出汁率的影响

酶解时间对葛根出汁率的影响如图3所示。

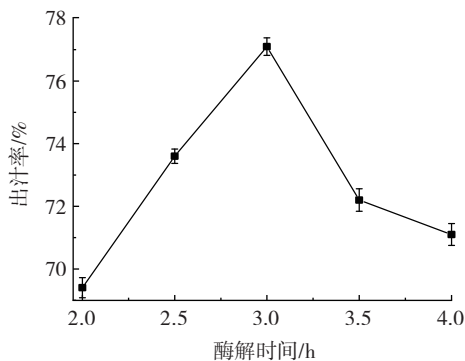


图3 酶解时间对葛根出汁率的影响

Fig.3 Effect of enzymolysis time on the yield of *Puerariae Lobatae Radix* juice

由图3可知,随着酶解时间的延长,出汁率不断上升;酶解时间为3.0h时,出汁率达到极值(77.1%);之后,随着酶解时间的进一步延长,出汁率开始下降。由于酶解需要一定的时间,时间过短,反应没有完全进行,出汁率较低;底物随着酶解反应迅速分解,当底物浓度相对不足时,酶解速率也会降低。考虑加工成本控制,选择酶解时间3.0h作为进行进一步的酶解条件优化。

## 2.4 酶解温度对葛根出汁率的影响

酶解温度对葛根出汁率的影响如图4所示。

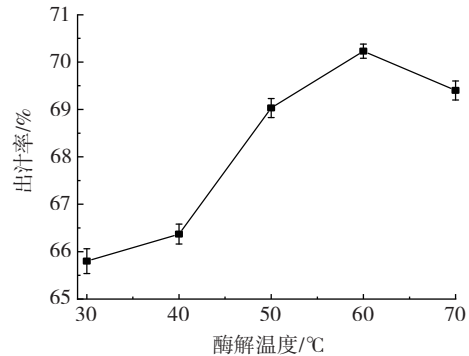


图4 酶解温度对葛根出汁率的影响

Fig.4 Effect of enzymolysis temperature on the yield of *Puerariae Lobatae Radix* juice

由图4可知,随着酶解温度的升高,出汁率不断上升;酶解温度为60°C时,出汁率达到极值(70.2%);之后,随着酶解温度的进一步升高,出汁率开始下降。这是因为随着酶解温度升高, $\alpha$ -淀粉酶与底物反应速度加快,但是温度过高时 $\alpha$ -淀粉酶天然构象被破坏,反应活性降低<sup>[15]</sup>。因此,选择酶解温度60°C作为酶解条件。

综上所述,最佳酶解条件为在葛根粗汁pH值调至6.5后加入0.30% $\alpha$ -淀粉酶,在温度为60°C的条件下进行酶解3.0h。

## 2.5 葛根复合汁添加量对葛根复合植物饮料感官品质的影响

葛根复合汁添加量对饮料感官品质的影响如图5所示。

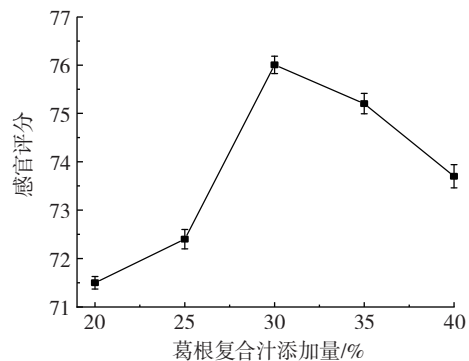


图5 葛根复合汁添加量对感官品质的影响

Fig.5 Effect of *Puerariae Lobatae Radix* compound juice addition on sensory quality

由图5可知,随着葛根复合汁添加量的增加,感官评分不断上升;葛根复合汁添加量为30%时,感官评分最高;之后,随着葛根复合汁添加量的进一步增加,感官评分下降。葛根复合汁添加量过多会导致饮料颜色浑浊,影响感官品质。因此,选择葛根复合汁添加量为25%、30%、35%进行后续正交试验。

2.6 蓝莓汁添加量对葛根复合植物饮料感官品质的影响  
蓝莓汁添加量对饮料感官品质的影响如图6所示。

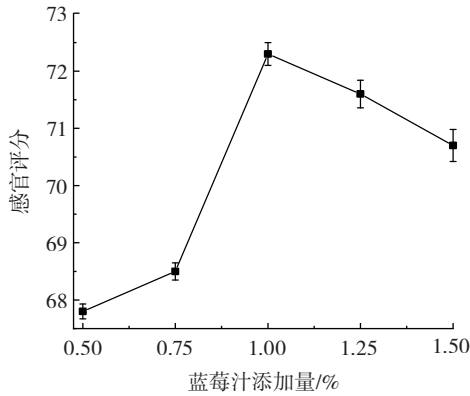


图6 蓝莓汁添加量对感官品质的影响  
Fig.6 Effect of blueberry juice addition on sensory quality

由图6可知,随着蓝莓汁添加量的增加,感官评分不断上升;蓝莓汁添加量为1.00%时,感官评分最高。蓝莓汁添加量过低或过高时,会导致饮料无味或酸味过重。因此,选择蓝莓汁添加量为0.75%、1.00%、1.25%进行后续正交试验。

2.7 麦芽糖醇添加量对葛根复合植物饮料感官品质影响

麦芽糖醇甜度高、热量低、安全性好,常被用于饮料生产加工。麦芽糖醇添加量对饮料感官品质的影响如图7所示。

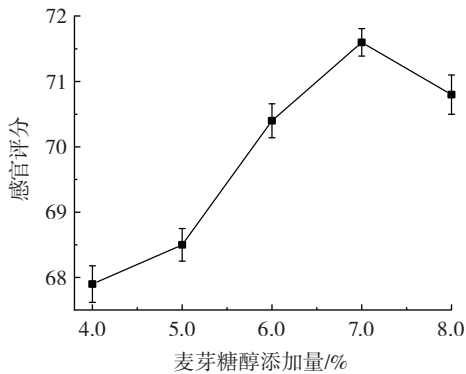


图7 麦芽糖醇添加量对感官品质的影响  
Fig.7 Effect of maltitol addition on sensory quality

由图7中可知,麦芽糖醇添加量为7.0%时复合饮料感官评分最高。麦芽糖醇添加过多时,葛根复合植物饮料过于甜腻,影响口感。选择麦芽糖醇添加量为6.0%、7.0%、8.0%进行后续正交试验。

2.8 柠檬酸添加量对葛根复合植物饮料感官品质影响  
柠檬酸添加量对饮料感官品质的影响如图8所示。

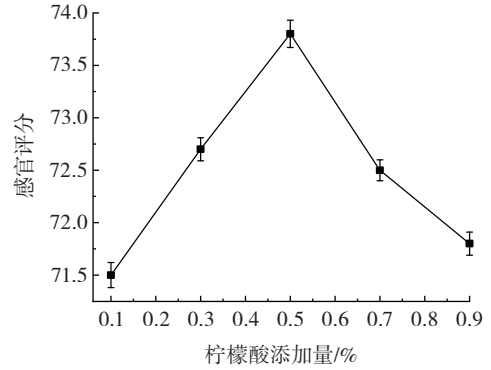


图8 柠檬酸添加量对感官品质的影响  
Fig.8 Effect of citric acid addition on sensory quality

由图8可知,当柠檬酸添加量小于0.5%时,葛根复合植物饮料的感官评分随柠檬酸添加量的增加逐渐上升,在0.5%达到最大值(73.8),当柠檬酸添加量大于0.5%时,酸味逐渐提高,风味下降,综合评价质量逐渐下降。添加柠檬酸主要对葛根复合植物饮料的口感产生较大影响,在组织形态、色泽及气味方面的差异性不大。因此,选择柠檬酸添加量为0.3%、0.5%、0.7%进行后续试验。

2.9 饮料配方的正交试验结果

在单因素试验结果基础上,采用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验对产品配方进行优化。正交试验结果如表4所示。

表4 正交试验结果  
Table 4 Orthogonal test results

试验号	A 葛根复合汁添加量	B 麦芽糖醇添加量	C 柠檬酸添加量	D 蓝莓汁添加量	感官评分
1	1	1	1	1	84.9
2	1	2	2	2	85.7
3	1	3	3	3	84.5
4	2	1	2	3	83.9
5	2	2	3	1	84.4
6	2	3	1	2	84.2
7	3	1	3	2	81.8
8	3	2	1	3	82.6
9	3	3	2	1	82.5
K <sub>1</sub>	255.10	250.60	251.70	251.80	
K <sub>2</sub>	252.50	252.70	252.10	251.70	
K <sub>3</sub>	246.90	251.20	250.70	251.00	
k <sub>1</sub>	85.03	83.53	83.90	83.93	
k <sub>2</sub>	84.17	84.23	84.03	83.90	
k <sub>3</sub>	82.30	83.73	83.57	83.67	
R	1.87	0.70	0.13	0.23	

由表4可知,各因素对饮料感官品质影响的顺序为A>B>D>C,影响饮料品质的主要因素为A(葛根复合汁添加量),其次为B(麦芽糖醇添加量)。综合k值和R值,以及直观比较,得出最优组合为A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>,但该组合并未在9组试验中出现,9组试验中感官评分

最高的是  $A_1B_2C_2D_2$ , 因此对  $A_1B_2C_2D_1$  和  $A_1B_2C_2D_2$  2 组进行验证试验, 得到  $A_1B_2C_2D_1$  感官评分为 86.2,  $A_1B_2C_2D_2$  感官评分为 85.7,  $A_1B_2C_2D_1$  感官评分高于  $A_1B_2C_2D_2$ , 因此确定  $A_1B_2C_2D_1$  为最佳配方组合, 即葛根复合汁添加量为 25%, 麦芽糖醇添加量为 7.0%, 柠檬酸添加量为 0.5%, 蓝莓汁添加量为 0.75%。

### 2.10 葛根复合植物饮料电子鼻测定结果

电子鼻是一种模仿人类嗅觉系统的分析仪器, 其检测过程简单快捷<sup>[16]</sup>。加葛根的植物饮料与对照的电子鼻结果如图 9 所示, 主成分分析如图 10 所示。

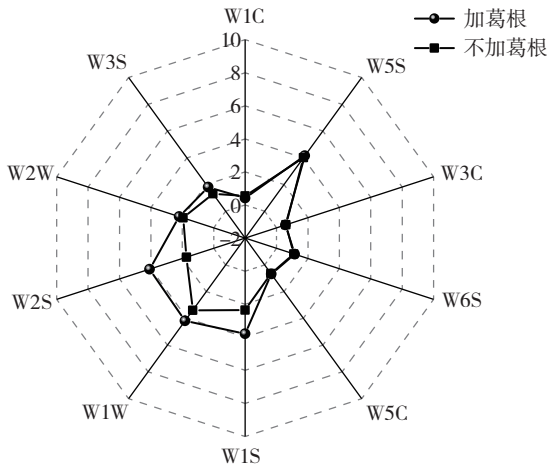


图 9 不同植物饮料的电子鼻雷达图

Fig.9 Electronic nose radar diagram of different plant beverages

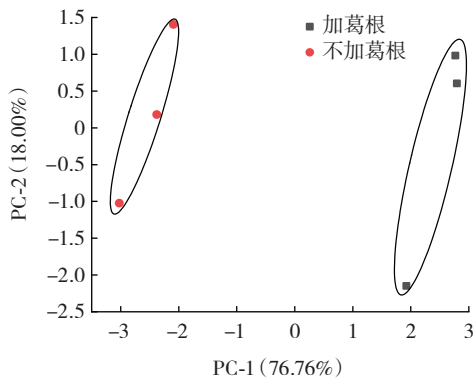


图 10 不同植物饮料的主成分分析

Fig.10 Principal component analysis of different plant beverages

由图 9 可知, 添加葛根与对照的电子鼻雷达图相似, 但在 W1S、W2S 处差异明显。W1S、W2S 分别对应于烷烃和醇、醚、醛、酮等芳香化合物。郑敏<sup>[17]</sup>的研究表明葛根固体饮料中主要挥发性风味物质为酯类、酚类、烃类物质, 因此添加葛根后可以使葛根复合植物饮料香气物质增多。

由图 10 可知, 第 1 主成分贡献率为 76.76%, 第 2 主成分的贡献率为 18.00%, 二者总贡献率为 94.76%, 说明该结果能够准确反映出样品的主要信息, 可很好地表征各样品间的差异性。而图形的距离远近代表着

不同样品挥发性气味的差异大小<sup>[18]</sup>, 未添加葛根的复合饮料与葛根复合饮料相距较远, 原因可能是葛根经过酶解后, 其风味物质增多。

### 2.11 葛根复合植物饮料的风味物质分析

葛根复合植物饮料挥发性成分的组成和相对含量如表 5 所示。

表 5 葛根复合植物饮料挥发性成分的组成和相对含量

Table 5 Composition and relative content of volatile components in the *Puerariae Lobatae Radix*-based compound plant beverage

化合物名称	化学式	匹配因子	相对含量/%	
			添加葛根	不添加葛根
<b>醇类物质</b>				
环己醇	$C_6H_{12}O$	96.141 3	1.75±0.02	-
2-乙基己醇	$C_8H_{18}O$	94.045 6	0.62±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.01 <sup>b</sup>
DL-异薄荷醇	$C_{10}H_{20}O$	90.062 7	0.94±0.04	-
正戊醇	$C_5H_{12}O$	86.134 5	-	0.74±0.02
芳樟醇	$C_{10}H_{18}O$	84.723 8	4.45±0.03 <sup>a</sup>	0.63±0.01 <sup>b</sup>
壬醇	$C_9H_{20}O$	81.782 6	0.11±0.02	-
<b>酯类物质</b>				
乙酸丁酯	$C_6H_{12}O_2$	95.785 0	3.45±0.01 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>b</sup>
丙二醇甲醚醋酸酯	$C_6H_{12}O_3$	94.833 9	5.77±0.02	-
正己酸乙酯	$C_8H_{16}O_2$	92.392 8	0.37±0.01 <sup>b</sup>	1.77±0.04 <sup>a</sup>
丙烯酸丁酯	$C_7H_{12}O_2$	92.247 4	4.56±0.02 <sup>a</sup>	1.39±0.01 <sup>b</sup>
邻苯二甲酸二异丁酯	$C_{16}H_{22}O_4$	90.567 6	7.39±0.01 <sup>a</sup>	0.67±0.02 <sup>b</sup>
<b>醛类物质</b>				
壬醛	$C_9H_{18}O$	98.275 9	0.55±0.02 <sup>a</sup>	0.58±0.01 <sup>a</sup>
癸醛	$C_{10}H_{20}O$	96.576 4	0.95±0.03 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>b</sup>
正己醛	$C_6H_{12}O$	93.401 3	-	1.34±0.01
正辛醛	$C_8H_{16}O$	90.531 3	0.47±0.01 <sup>b</sup>	1.15±0.02 <sup>a</sup>
庚醛	$C_7H_{14}O$	90.147 1	1.75±0.02 <sup>a</sup>	0.59±0.01 <sup>b</sup>
苯甲醛	$C_7H_6O$	89.339 0	0.45±0.02 <sup>b</sup>	1.38±0.01 <sup>a</sup>
糠醛	$C_5H_4O_2$	83.546 3	0.88±0.03 <sup>a</sup>	0.51±0.02 <sup>b</sup>
丙烯醛	$C_3H_4O$	82.484 1	1.89±0.02	-
<b>烯烃类化合物</b>				
1,2-环氧十八烷	$C_{18}H_{36}O$	82.800 0	2.36±0.01	-
十四烷	$C_{14}H_{30}$	93.544 0	0.63±0.02 <sup>b</sup>	1.56±0.05 <sup>a</sup>
十二烷	$C_{12}H_{26}$	90.387 3	2.55±0.01 <sup>a</sup>	0.58±0.04 <sup>b</sup>
4-甲基辛烷	$C_9H_{20}$	90.124 9	-	0.98±0.01
(+)-柠檬烯	$C_{10}H_{16}$	92.488 6	1.45±0.02 <sup>a</sup>	0.63±0.03 <sup>b</sup>
苯乙烯	$C_8H_8$	80.363 1	0.92±0.01	-
<b>酮类物质</b>				
6-甲基-5-庚烯-2-酮	$C_8H_{14}O$	88.750 7	1.24±0.01	-
5-甲基-1-苯基己烷-1-酮	$C_{13}H_{18}O$	86.335 3	0.12±0.03 <sup>b</sup>	0.23±0.01 <sup>a</sup>
<b>其他物质</b>				
茴香脑	$C_{10}H_{12}O$	93.266 6	0.57±0.02	-
薄荷脑	$C_{10}H_{20}O$	89.747 1	0.12±0.01	-
戊醛	$C_{10}H_{22}O$	82.981 6	-	0.28±0.03

注: 同一物质不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); - 表示未检出。

由表5可知,添加葛根复合植物饮料主要挥发性风味物质为醇类(7.87%)、酯类(21.54%)、醛类(6.94%)及烯炔类(7.91%);含量较高的几种物质为邻苯二甲酸二异丁酯(7.39%)、丙二醇甲醚醋酸酯(5.77%)及芳樟醇(4.45%)。不添加葛根的对照中主要挥发性风味物质为醇类(1.42%)、酯类(3.94%)、醛类(5.72%)及烯炔类(3.75%);主要风味成分为正己酸乙酯(1.77%)、十四烷(1.56%)及丙烯酸丁酯(1.39%)。与对照相比,除正己酸乙酯外,添加葛根的植物饮料酯类化合物显著增多。其中,芳樟醇是一种无环单萜叔醇,有相关研究表明芳樟醇具有抗炎、抗癌、抗高脂血症等生物活性<sup>[19-20]</sup>。

### 3 结论

本文以葛根为主要原料,开发了一款葛根复合植物饮料。通过单因素及正交试验,优化了酶解条件及原辅料配比,确定了葛根复合植物饮料的最佳生产工艺为酶解 pH6.5、淀粉酶添加量 0.30%、酶解时间 3.0 h、酶解温度 60 °C,在此条件下复合汁有最高的出汁率;饮料的最佳配方为葛根复合汁(葛根 10 g,枸杞 3 g,芡实 3 g,茯苓 3 g,黄精 0.5 g,山药 0.5 g)添加量 25%、麦芽糖醇添加量 7.0%、柠檬酸添加量 0.5%、蓝莓汁添加量 0.75%。电子鼻及气相色谱-质谱联用结果表明,与未添加葛根的复合植物饮料相比,添加葛根的植物饮料中挥发性风味物质除正己酸乙酯外,均显著增多,特别是酯类化合物。

### 参考文献:

- [1] WU T, ZHU W Y, CHEN L Y, et al. A review of natural plant extracts in beverages: Extraction process, nutritional function, and safety evaluation[J]. Food Research International, 2023, 172: 113185.
- [2] XIE A J, DONG Y S, LIU Z F, et al. A review of plant-based drinks addressing nutrients, flavor, and processing technologies[J]. Foods, 2023, 12(21): 3952.
- [3] ZENG F, LI T, ZHAO H, et al. Effect of debranching and temperature-cycled crystallization on the physicochemical properties of kudzu (*Pueraria lobata*) resistant starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 129: 1148-1154.
- [4] LIU D M, MA L Y, ZHOU Z J, et al. Starch and mineral element accumulation during root tuber expansion period of *Pueraria thomsonii* Benth[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128445.
- [5] DUAN X T, GUAN Y M, DONG H H, et al. Study on structural characteristics and physicochemical properties of starches extracted from three varieties of kudzu root (*Pueraria lobata* starch) [J]. Journal of Food Science, 2023, 88(3): 1048-1059.
- [6] XU X, GUO Y, CHEN S Q, et al. The positive influence of polyphenols extracted from *Pueraria lobata* root on the gut microbiota and its antioxidant capability[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 868188.
- [7] SON E, YOON J M, AN B J, et al. Comparison among activities and isoflavonoids from *Pueraria thunbergiana* aerial parts and root[J]. Molecules, 2019, 24(5): 912.
- [8] 范春华, 常磊. 葛根的化学成分、生物活性及加工利用研究进展[J]. 中国果菜, 2022, 42(10): 36-40, 84.
- [9] FAN Chunhua, CHANG Lei. Research progress on chemical constituents, biological activities and processing and utilization of *Puerariae lobatae Radix*[J]. China Fruit & Vegetable, 2022, 42(10): 36-40, 84.
- [9] 郑敏, 苏福联, 黄东海, 等. 葛根固体饮料的配方优化及体外模拟消化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(2): 287-296.
- [10] ZHENG Min, SU Fulian, HUANG Donghai, et al. Formulation optimization and simulation digestion *in vitro* of *Radix puerariae solid beverage*[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(2): 287-296.
- [10] 刘国华, 李永霞, 祝婷, 等. 酸汤-蓝莓饮料发酵工艺优化及品质测定[J]. 包装与食品机械, 2023, 41(6): 53-59.
- [11] LIU Guohua, LI Yongxia, ZHU Ting, et al. Optimization of fermentation process and quality determination of sour soup - blueberry beverage[J]. Packaging and Food Machinery, 2023, 41(6): 53-59.
- [11] 张新振, 梁进, 李雪玲, 等. 蓝莓渣复合粘米冲调粉的配方优化及品质分析[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(9): 35-41.
- [12] ZHANG Xinzhen, LIANG Jin, LI Xueling, et al. Formulation optimization and quality analysis of blueberry residue composite indica rice blending powder[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(9): 35-41.
- [12] MAYR C M, CAPONE D L, PARDON K H, et al. Quantitative analysis by GC-MS/MS of 18 aroma compounds related to oxidative off-flavor in wines[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(13): 3394-3401.
- [13] 施建斌, 隋勇, 熊添, 等. 葛根全粉挤压膨化棒工艺优化及其品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 250-258.
- [14] SHI Jianbin, SUI Yong, XIONG Tian, et al. Process optimization and quality analysis of *Pueraria* raw puffed stick by extrusion[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(16): 250-258.
- [14] 程永霞, 赵若琪, 马燕, 等. 酶处理对红枣汁加工及营养性能的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(13): 141-146.
- [15] CHENG Yongxia, ZHAO Ruqi, MA Yan, et al. Effect of enzymolysis on the processing and nutritional properties of jujube juice[J]. Food Research and Development, 2023, 44(13): 141-146.
- [15] 刘聪, 尹乐斌, 罗鑫阳, 等. 响应面法优化辣椒籽抗氧化肽的酶解制备工艺[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(2): 111-115.
- [16] LIU Cong, YIN Lebin, LUO Xinyang, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis of antioxidant peptides from *Capsicum annuum* seeds by response surface method[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(2): 111-115.
- [16] ZHU D S, REN X J, WEI L W, et al. Collaborative analysis on difference of apple fruits flavour using electronic nose and electronic tongue[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 260: 108879.
- [17] 郑敏. 葛根固体饮料的制备及货架期预测研究[D]. 恩施: 湖北民族大学, 2023.
- [18] ZHENG Min. Study on the preparation process, quality standard and storage conditions of *pueraria montana solid beverage*[D]. Enshi: Hubei Minzu University, 2023.
- [18] 孙莹, 孟宁. 基于电子鼻检测技术分析不同马铃薯粉添加量对面包品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 100-105, 140.
- [19] SUN Ying, MENG Ning. Analysis of the effect of different potato flour additions on bread quality based on electronic nose detection technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(4): 100-105, 140.
- [19] PEREIRA I, SEVERINO P, SANTOS A C, et al. Linalool bioactive properties and potential applicability in drug delivery systems[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2018, 171: 566-578.
- [20] AN Q, REN J N, LI X, et al. Recent updates on bioactive properties of linalool[J]. Food & Function, 2021, 12(21): 10370-10389.