

兰茂牛肝菌酶解产物调味油美拉德反应增香工艺优化及电子鼻分析

杨宁, 张沙沙, 周镔, 罗晓莉, 孙达锋, 张微思

Optimization of Maillard Reaction for Flavor Enhancement and Electronic Nose Analysis of *Lanmaoa asiatica* Enzymatic Hydrolysate Seasoning Oil

YANG Ning, ZHANG Shasha, ZHOU Pei, LUO Xiaoli, SUN Dafeng, and ZHANG Weisi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023050013>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

电子鼻结合气相-离子迁移谱联用技术分析兰茂牛肝菌气调贮藏期间挥发性风味物质的变化

Changes in Volatile Compounds of *Lanmaoa asiatica* during Controlled Atmosphere Storage Using Electronic Nose Combined with Gas Chromatography-Ion Mobility Spectroscopy

食品工业科技. 2021, 42(21): 111-117 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070297>

虾蟹漂烫汁酶解液美拉德反应工艺优化及其挥发性物质分析

Optimization of Maillard Reaction Process for Enzymatic Hydrolysate from Shrimp and Crab Boiled Juice and Analysis of Its Volatile Flavor Components

食品工业科技. 2020, 41(16): 140-149 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.16.023>

梅鱼内脏酶解液美拉德反应工艺优化及挥发性物质分析

Optimization of Maillard Reaction Process and Analysis of Volatile Compounds in Enzymatic Hydrolysate of Bighead Croaker Viscera

食品工业科技. 2019, 40(10): 11-17 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.10.003>

膜分离鸡骨素酶解液美拉德反应产物的初步研究

Preliminary Study on Maillard Reaction Products of Chicken Bone Extract Hydrolysate by Membrane Separation

食品工业科技. 2018, 39(20): 72-78,150 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.20.013>

pH对墨鱼酶解物美拉德反应产物风味的影响

Effect of pH on Flavor of Maillard Reaction Products from Cuttlefish Hydrolysate

食品工业科技. 2018, 39(15): 274-280 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.048>

枫槭叶酶解液美拉德反应及其挥发性成分分析

Maillard Reaction and Volatile Components Analysis of Enzymatic Hydrolysate of Maple Leaves

食品工业科技. 2021, 42(3): 222-229 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020020187>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

杨宁, 张沙沙, 周镔, 等. 兰茂牛肝菌酶解产物调味油美拉德反应增香工艺优化及电子鼻分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 177-186. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050013

YANG Ning, ZHANG Shasha, ZHOU Pei, et al. Optimization of Maillard Reaction for Flavor Enhancement and Electronic Nose Analysis of *Lanmaoa asiatica* Enzymatic Hydrolysate Seasoning Oil[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(5): 177-186. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050013

· 工艺技术 ·

兰茂牛肝菌酶解产物调味油美拉德反应增香 工艺优化及电子鼻分析

杨宁¹, 张沙沙², 周镔², 罗晓莉², 孙达锋^{1,2}, 张微思^{1,*}

(1. 云南省食用菌产业发展研究院, 云南昆明 650221;
2. 中华全国供销合作总社昆明食用菌研究所, 云南昆明 650221)

摘要: 本文以兰茂牛肝菌酶解产物冻干粉为主要原料, 通过优化美拉德增香反应条件, 得到了兰茂牛肝菌调味油的最佳制备工艺。以电子鼻传感器响应值及感官评价得分为评价指标, 通过单因素实验和正交试验优化了兰茂牛肝菌调味油的制备工艺参数。结果表明: 最佳制备工艺为: 兰茂牛肝菌酶解产物冻干粉与玉米油混合比例为 1:40 (w/w), 葡萄糖添加量为 5%、L-谷氨酸添加量为 3%、美拉德反应时间 40 min、反应温度 140 °C。在该条件下制备的兰茂牛肝菌调味油香气浓郁、协调, 具有兰茂牛肝菌特有风味, 经电子鼻分析香气组分发现硫化物、氮氧化物、醛类、醇酮类为主要香气组分。经品质检测, 该调味油各项理化指标均符合国家标准, 且含有能量 3693 kJ/100 g、脂肪 99.8 g/100 g。

关键词: 兰茂牛肝菌, 酶解产物, 调味油, 美拉德反应, 增香, 电子鼻, 感官评价

中图分类号: TS205

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2024)05-0177-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050013

本文网刊:



Optimization of Maillard Reaction for Flavor Enhancement and Electronic Nose Analysis of *Lanmaoa asiatica* Enzymatic Hydrolysate Seasoning Oil

YANG Ning¹, ZHANG Shasha², ZHOU Pei², LUO Xiaoli², SUN Dafeng^{1,2}, ZHANG Weisi^{1,*}

(1. Yunnan Academy of Edible Fungi Industry Development, Kunming 650221, China;

2. Kunming Edible Fungi Institute of All China Federation of Supply and Marketing Cooperatives,
Kunming 650221, China)

Abstract: In this study, the freeze-dried powder of *Lanmaoa asiatica* enzymatic hydrolysates was used as the main material, and the optimal preparation process of *Lanmaoa asiatica* seasoning oil was obtained by optimizing the Maillard reaction conditions. The response values of the electronic nose sensor and the sensory evaluation scores were used as evaluation indicators. Single-factorial and orthogonal experiments were used to optimize the preparation process parameters of *Lanmaoa asiatica* seasoning oil. The results showed that the optimal preparation process was as follows: Mixing the freeze-dried powder of *Lanmaoa asiatica* enzymatic hydrolysates with corn oil in a ratio of 1:40 (w/w), adding 5% glucose and 3% L-glutamic acid, and conducting the Maillard reaction at 140 °C for 40 min. The seasoning oil prepared under these conditions had a rich and harmonious aroma with a unique flavor of *Lanmaoa asiatica*. Electronic nose analysis identified sulfur compounds, nitrogen oxides, aldehydes, and ketones as the main aroma components. Quality testing showed that the seasoning oil met national standards, containing 3693 kJ/100 g of energy and 99.8 g/100 g of fat.

收稿日期: 2023-05-05

基金项目: 云南省技术创新人才 (2019HB072)。

作者简介: 杨宁 (1995-), 女, 硕士, 研究实习生, 研究方向: 食用菌加工, E-mail: y1096291583@163.com。

* 通信作者: 张微思 (1982-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 食用菌, E-mail: zws82@126.com。

Key words: *Lanmaoa asiatica*; enzymatic hydrolysate; seasoning oil; Maillard reaction; aromatize; electronic nose; sensory evaluation

兰茂牛肝菌(*Lanmaoa asiatica*)是一种著名野生食用菌,主要分布于中国云南,属于牛肝菌科^[1]。在原产地因其醇厚浓郁的香气和鲜美脆嫩的口感而广受欢迎^[2]。然而,兰茂牛肝菌是野生食用菌,不能人工栽培,且保藏困难。对兰茂牛肝菌进行加工处理,可以延长保藏时间,提高附加值。牛肝菌调味油是当前市场较为常见的一种食用菌调味油。食用菌调味油是指以食用菌为主要原料,根据不同需求加入调味料,再用食用油熬制的一种鲜香调味品,其原理是将食用菌中的呈鲜呈味物质溶解在植物油中,让植物油具有食用菌的特有风味^[3]。目前,市售食用菌调味油主要利用新鲜或干制食用菌,通过油炸、浸提或者二者结合的方法加工而成,但部分产品存在着质量不高、技术含量低、产品同质化等问题。

酶解法可以提高食用菌风味物质释放率,且具有效率高、污染小等优点,已经成为了食用菌研究的热点之一。但大部分研究主要集中在酶解工艺的优化^[4]、酶解产物的功能特性研究^[5]、调味基料的研究等方面^[6]。这些研究中仅有酶解上清液得到充分利用,酶解沉淀往往作为副产物被丢弃。然而酶解沉淀也含有大量风味物质,直接丢弃会造成食用菌资源的浪费。

美拉德反应指反应体系中存在的氨基酸及其化合物与具有羰基的化合物之间所发生的羰-氨反应^[7]。美拉德反应是食品加工过程中一种有效的增香手段,反应产物会影响食品的感官特性、稳定性以及营养和健康价值^[8-9]。利用美拉德反应制备浓香植物油的研究非常丰富,刘晓春等^[10]研究发现利用美拉德反应制备的浓香芝麻油具有较好的芝麻香味及香味持久性,感官评价综合得分较高且品质参数达国家一级芝麻油标准。邹凤等^[11]利用花生粕酶解液发生美拉德反应制备浓香花生油,生产出的花生油风味物质香味浓郁。但目前还没有利用酶解产物作为生香源进行美拉德反应制备食用菌调味油的研究报道。兰茂牛肝菌因其独特的风味而广受欢迎,是适合开发食用菌调味品的野生食用菌之一。以兰茂牛肝菌酶解产物为生香源,通过美拉德反应可以重新利用酶解沉淀中的风味物质,进而加工出风味浓郁的兰茂牛肝菌调味油,可以提高兰茂牛肝菌利用率。

因此,本研究以兰茂牛肝菌酶解产物及植物油为原料,通过外源添加还原糖和氨基酸以发生美拉德反应来增加兰茂牛肝菌调味油的风味。以电子鼻传感器响应值为指标,结合感官评价分数对兰茂牛肝菌调味油的加工工艺进行优化。以期提供一种新的利用酶解产物制备食用菌油的加工工艺,丰富食用菌加工方式并避免食用菌资源的浪费。也为电子鼻技术结合感官评价对产品加工工艺的应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

兰茂牛肝菌干品 购于昆明木水花野生菌交易市场;中性蛋白酶(5×10^4 U/g)、木瓜蛋白酶(3×10^4 U/g) 南宁庞博生物工程有限公司;风味蛋白酶(5×10^4 U/g) 沧州夏盛酶生物技术有限公司;葡萄糖、木糖、L-谷氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸 河北华阳生物科技有限公司;食用白醋 千禾味业食品股份有限公司;食用碱 安琪酵母股份有限公司;大豆油、玉米油 益海嘉里食品营销有限公司;花生油 莱阳鲁花浓香花生油有限公司;橄榄油 品渥食品股份有限公司;葵花籽油 佳格投资有限公司。

WGLL-625BE 电热鼓风恒温干燥箱 天津泰斯特仪器有限公司;FiveEasy Plus FE28 pH计、EasyPlus Titrator ET18 自动电位滴定仪 梅特勒-托利多仪器有限公司;HH-6 恒温水浴锅 上海立辰科技有限公司;HR/T20MM 台式大容量高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂;TYM-30L 超微粉碎机 济南天宇专用设备有限公司;FD5-5 真空冷冻干燥机

SIM(美国)国际集团有限公司;5HG-2AK 果蔬烘干机 云南种业集团有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 兰茂牛肝菌酶解产物制备 兰茂牛肝菌使用果蔬烘干机提前干燥(水分含量 $<12\%$),使用超微粉碎机粉碎 25 min 至超微粉,称取一定量兰茂牛肝菌超微粉,根据实验室前期研究确定的兰茂牛肝菌复合酶解工艺,添加 0.60%(w/w)中性蛋白酶,0.90%(w/w)风味蛋白酶,0.47%(w/w)木瓜蛋白酶,料液比为 1:20(w/v),调节 pH 为 7.0,在 50 °C 条件下酶解 1.5 h。酶解结束后沸水浴灭酶 10 min,冷却至 60 °C 时得到兰茂牛肝菌酶解液,之后进行离心(4000 r/min、15 min),分离上清液及酶解沉淀,真空冷冻干燥后粉碎备用。

1.2.2 反应底物水添加量筛选 取等量酶解产物冻干粉(酶解沉淀冻干粉和酶解上清液冻干粉各 0.5 g 混合备用),分别加入 0、1、1.5、2.0、2.5、3.0 mL 超纯水搅拌均匀,添加 2.5% L-谷氨酸(以油质量计算, w/w), 5.0% 葡萄糖(以油质量计算, w/w),酶解产物冻干粉与植物油混合比例(以下简称料油比) 1:40(w/w),在 150 °C 下反应 60 min,冷却、过滤后进行电子鼻检测及感官评价。

1.2.3 植物油种类筛选 取等量酶解产物冻干粉(酶解沉淀冻干粉和酶解上清液冻干粉各 0.5 g 混合备用),添加 2.5% L-谷氨酸, 5.0% 葡萄糖,料油比 1:40(w/w),分别加入大豆油、花生油、葵花籽油、玉米油、橄榄油,在 150 °C 下反应 60 min,冷却、过滤

后进行电子鼻检测及感官评价。

1.2.4 美拉德增香反应参数筛选

1.2.4.1 单因素实验 在确定水添加量及植物油的基础上,取等量酶解产物冻干粉(酶解沉淀冻干粉和酶解上清液冻干粉各 0.5 g 与 1 mL 超纯水混合备用),固定氨基酸为 2.5%L-谷氨酸(以油质量计算, w/w),还原糖添加量为 5%(以油质量计算, w/w),料油比为 1:40(w/w),植物油为玉米油,反应温度为 150 ℃,反应时间 60 min,考察还原糖种类(木糖、葡萄糖,木糖:葡萄糖比例为: 1:3、1:1、3:1)对电子鼻传感器及感官指标的影响;固定还原糖为葡萄糖,氨基酸为 2.5%的 L-谷氨酸,料油比为 1:40(w/w),植物油为玉米油,反应温度为 150 ℃,反应时间 60 min,考察还原糖添加量(3%、4%、5%、6%、7%)对电子鼻传感器及感官指标的影响;固定氨基酸添加量为 2.5%,还原糖为 5% 葡萄糖,料油比为 1:40(w/w),植物油为玉米油,反应温度为 150 ℃,反应时间 60 min,考察氨基酸种类(赖氨酸、精氨酸、组氨酸, L-谷氨酸)对电子鼻传感器及感官指标的影响;固定氨基酸为 L-谷氨酸,还原糖为 5% 葡萄糖,料油比为 1:40(w/w),植物油为玉米油,反应温度为 150 ℃,反应时间 60 min,考察氨基酸添加量(1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%)对电子鼻传感器及感官指标的影响;固定氨基酸为 2.5%L-谷氨酸,还原糖为 5% 葡萄糖,料油比为 1:40(w/w),植物油为玉米油,反应温度 150 ℃,考察不同反应时间(30、40、50、60、70 min)对电子鼻传感器及感官指标的影响。

1.2.4.2 正交优化试验 在单因素实验基础上,选取还原糖添加量、氨基酸添加量、反应温度、反应时间四个因素设计 $L_9(3^4)$ 正交试验,以综合得分为评价指标,确定最佳工艺。正交试验设计表见表 1。

表 1 正交试验因素水平设计
Table 1 Orthogonal test factor level design

水平	因素			
	还原糖添加量 (%)	氨基酸添加量 (%)	反应温度 (°C)	反应时间 (min)
1	4.5	2.0	135	40
2	5.0	2.5	140	50
3	5.5	3.0	145	60

1.2.5 电子鼻检测

1.2.5.1 香气收集 调味油:在样品瓶中取样 30 mL,温度 60 ℃,保温 30 min;兰茂牛肝菌酶解产物:称取酶解产物冻干粉各 2 g,加入 40 mL 60 ℃ 的水,保温 30 min。每个样品重复 3 次。

1.2.5.2 检测条件 采用单样,传感器清洗时间 60 s,

样品制备时间 5 s,样品检测时间 120 s,样品流入流量 400 mL/min。传感器的响应特性如表 2 所示,本研究中仅选择了传感器响应值差异较大的 R2 (W5S)、R6(W1S)、R7(W1W)、R8(W2S)、R9 (W2W)进行分析。

表 2 电子鼻传感器类型及性能
Table 2 Electronic nose sensor types and performance

序号	传感器名称	性能描述
R1	W1C	芳香成分
R2	W5S	对氮氧化物敏感
R3	W3C	对芳香成分敏感
R4	W6S	对氢气有选择性
R5	W5C	烷烃芳香成分
R6	W1S	对甲烷灵敏
R7	W1W	对硫化物灵敏
R8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
R9	W2W	芳香成分,对有机硫化物灵敏
R10	W3S	对烷烃灵敏

1.2.6 氨基酸态氮测定 参照 GB 5009.235-2016《食品中氨基酸态氮的测定》,采用自动电位滴定仪分别对兰茂牛肝菌酶解上清液、酶解沉淀及未离心的酶解液进行测定。

1.2.7 感官评价 感官评价包含气味、滋味、色泽、透明度四项,分值分别为:30、30、20、20分,共计 100 分。具体评分标准及分数如表 3 所示。由 10 名感官评价员对调味油的四项指标进行评分,最后统计各项得分及计算综合得分(综合得分为四项指标评分之和),结果取平均值。

表 3 感官评价指标及评分
Table 3 Sensory evaluation indicators and scores

感官指标	感官评分 (100)	评定标准	分数
气味	30	香气浓郁,有兰茂牛肝菌特有香气,无焦糊味、酸味或其他异味	16~30
		香气较淡,兰茂牛肝菌特有香气不突出,有焦糊味、酸味或浓郁的其他植物油气味	1~15
滋味	30	有兰茂牛肝菌特有滋味,无苦味或其他异味	16~30
		兰茂牛肝菌特有滋味浅淡,有苦味或其他植物油滋味及其他异味	1~15
色泽	20	呈深棕黄色、有光泽、油体颜色鲜亮	11~20
		呈浅棕黄色、光泽度差、油体颜色暗淡	1~10
透明度	20	澄清透明,无明显杂质,透光度好	11~20
		油体微浊,有少量杂质,透明度差	1~10

1.2.8 理化指标检测 溶剂残留量测定参照 GB 5009.262-2016《食品安全国家标准 食品中溶剂残留量的测定》;酸价测定参照 GB 5009.229-2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值测定参照 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;水分及挥发物测定参照 GB 5009.236-2016《食品安全国家标准 动植物油脂水分及挥发物的测定》;苯并芘测定参照 GB 5009.27-2016《食

品安全国家标准 食品中苯并芘的测定》; 铅的测定参照 GB 5009.12-2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定第一法》; 镉的测定参照 GB 5009.15-2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》; 黄曲霉毒素 B₁ 测定参照 GB 5009.22-2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定 第三法》。

1.2.9 营养成分检测 蛋白质测定参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》; 脂肪测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》; 能量及碳水化合物测定参照 GB 28050-2011《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》; 钠测定参照 GB 5009.91-2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 处理, GraphPad prism5 做差异性分析及作图。结合使用 PEN3 电子鼻自带软件 Winmuster 对响应值数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 反应底物风味物质分析

2.1.1 反应底物中香气成分比较 食用菌中的风味物质包括非挥发性风味物质和挥发性风味物质^[12]。挥发性风味物质是食用菌香味的主要组成物质, 包括八碳化合物、醛类、酮类、硫类等多种化合物, 这些化合物相互协调, 使食用菌具有特殊风味^[13-15]。由图 1 可知, 兰茂牛肝菌经过酶解处理后, 酶解上清中的各类香气组分含量高于酶解沉淀, 但酶解沉淀中仍然有香气物质残留, 且响应值不低。说明酶解沉淀作为酶解副产物仍然保留着部分风味物质可以再次被利用。

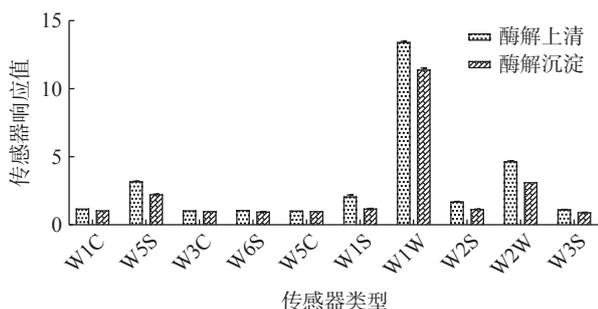


图 1 兰茂牛肝菌酶解产物电子鼻传感器响应值比较
Fig.1 Comparison of response values of electronic nose sensors for enzymatic hydrolysis products of *Lanmaoa asiatica*

2.1.2 反应底物中氨基酸态氮比较 食用菌的滋味主要与非挥发性滋味物质有关, 非挥发性的滋味物质包括游离氨基酸、核苷酸、可溶性糖、有机酸等物质^[16]。氨基酸态氮包含游离氨基酸、多肽类等, 均是较为重要的呈味物质^[17]。氨基酸态氮含量是酱油等调味品品质分级的依据, 也是表征酶解程度的重要指标。由图 2 可知, 兰茂牛肝菌经过酶解、分离得到的酶解上清液中氨基酸态氮含量显著低于酶解沉淀 ($P<0.05$), 说明经过酶解后氨基酸态氮能够释放出

来, 但无法进行彻底分离, 酶解沉淀中仍然含有大量的氨基酸态氮, 进一步说明在酶解沉淀中仍然含有部分非挥发性滋味物质。

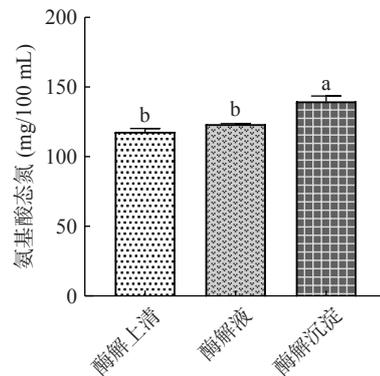


图 2 兰茂牛肝菌酶解产物氨基酸态氮含量比较
Fig.2 Comparison of amino acid nitrogen content of enzymatic hydrolysis products of *Lanmaoa asiatica*
注: 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 反应底物水添加量及植物油筛选结果

2.2.1 反应底物水添加量对电子鼻传感器响应值及感官指标的影响 美拉德反应易受水分含量影响, 一定的水分含量能够促进氨基化合物和羰基化合物的运动, 促进美拉德反应进程^[18]。水分含量对电子传感器响应值的影响如表 4 所示, 对调味油的感官评价影响如图 3 所示。从表 4 可知, 随着水分含量的增加 6 个传感器的响应值均呈现先升高后降低, 加入 1 mL 水溶解反应底物后进行美拉德反应, 该条件下所得产物进行电子鼻分析, 传感器响应值均显著高于其他试验组 ($P<0.05$)。说明加水量过少或过高均会影响美拉德反应, 进而影响产物的香气。从图 3 可知, 水分含量对调味油感官评价综合得分的影响也呈先增加后减少的趋势, 加水量为 1 mL 时, 感官评价综合得分较高, 主要表现为气味、滋味两项得分较高。这是因为含水量过高会降低底物浓度, 影响美拉德反应速率; 但在无水条件下, 氨基化合物和羰基化合物分子无法运动, 美拉德反应也无法发生^[19]。因此加水量选择 1 mL。

表 4 反应底物水分含量对电子鼻传感器响应值的影响
Table 4 Effect of response substrate moisture content on response values of electronic nose sensors

水添加量 (mL)	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
0	25.23±0.24 ^e	8.00±0.04 ^d	81.43±0.26 ^d	5.27±0.01 ^d	37.06±0.14 ^f
1	44.08±0.54 ^a	12.54±0.08 ^a	111.40±0.68 ^a	7.88±0.06 ^a	51.54±0.20 ^a
1.5	28.21±0.23 ^b	10.10±0.04 ^b	96.97±0.74 ^b	6.19±0.02 ^b	42.39±0.17 ^b
2.0	25.56±0.30 ^c	8.50±0.01 ^c	87.16±0.93 ^c	5.47±0.02 ^c	38.77±0.21 ^c
2.5	17.35±0.21 ^d	6.61±0.03 ^c	77.73±0.98 ^c	4.17±0.01 ^c	33.83±0.22 ^c
3.0	10.85±0.05 ^e	5.78±0.01 ^f	55.09±0.18 ^f	3.58±0.01 ^f	26.22±0.08 ^f

注: 同列数据标注不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 表 5~表 11 同。

2.2.2 植物油筛选 大豆油、花生油、葵花籽油、玉米油, 橄榄油属于不饱和脂肪酸含量较高的植物油,

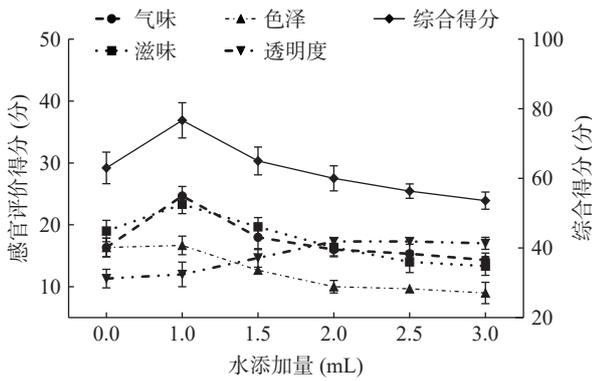


图 3 反应底物水分含量对调味油感官评分的影响

Fig.3 Effect of moisture content of reaction substrate on sensory score of flavored oils

但不同的植物油具有不同的特征风味, 5 种植物油对电子鼻传感器响应值的影响如表 5 所示, 对调味油感官评价影响如图 4 所示。从表 5 可知, 不同种类的植物油制备的调味油, 其传感器响应值也各不相同。其中, 玉米油和橄榄油的响应值较高。但从图 4 可知, 感官评价综合得分橄榄油最低, 因为橄榄油具有特殊气味且气味较重, 利用橄榄油制备的调味油特征风味不突出, 因此评分较低。大豆油、花生油也因自身的特殊气味导致调味油香气较弱, 综合得分也较低。因此, 植物油选择玉米油。

表 5 植物油种类对电子鼻传感器响应值的影响

Table 5 Effect of vegetable oil type on the response value of the electronic nose sensor

植物油	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
大豆油	18.25±0.02 ^d	9.25±0.03 ^d	72.73±0.31 ^c	4.21±0.01 ^c	31.89±0.05 ^d
花生油	20.87±0.04 ^c	10.61±0.04 ^c	79.98±0.24 ^b	5.14±0.01 ^c	36.26±0.06 ^c
玉米油	32.89±0.04 ^a	13.72±0.07 ^b	104.80±1.23 ^a	6.22±0.01 ^b	46.54±0.77 ^a
橄榄油	28.66±0.13 ^b	14.67±0.07 ^a	103.54±0.55 ^a	6.37±0.02 ^a	45.52±0.12 ^b
葵花籽油	20.44±0.34 ^c	10.65±0.23 ^c	79.83±1.07 ^b	5.01±0.07 ^d	37.23±0.28 ^c

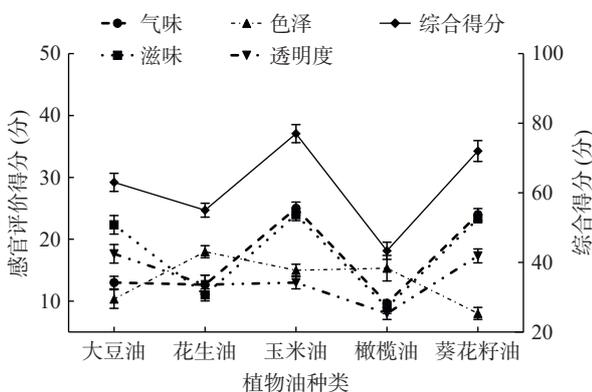


图 4 植物油种类对调味油感官评分的影响

Fig.4 Effect of vegetable oil types on sensory scores of flavored oils

2.3 单因素实验结果

2.3.1 还原糖种类 糖是美拉德反应中必不可少的一类物质, 食用菌中的多糖无法参与美拉德反应, 因此需要添加还原糖来促进美拉德反应的发生。美拉

德反应中常用的还原糖包括: 木糖、核糖、葡萄糖、果糖、麦芽糖等, 木糖、果糖、葡萄糖反应活性较好, 而木糖及葡萄糖因为其价格低廉且具有较好的反应活性, 在实验中较为常用。木糖和葡萄糖参与反应的调味油对电子鼻传感器响应值的影响如表 6 所示, 对调味油感官评价影响如图 5 所示。从表 6 可知, 添加葡萄糖进行美拉德反应, 其传感器响应值均显著高于其他四个实验组 ($P<0.05$), 而添加木糖进行美拉德反应, 传感器响应值较低, 且随着木糖添加比例的增加, 传感器响应值逐渐下降。从图 5 可知, 调味油感官评价综合得分变化趋势与电子鼻传感器响应值一致, 随着木糖添加量的增加, 感官评价综合得分逐渐降低。有研究表明, 在美拉德反应过程中, 葡萄糖反应活性小于木糖, 但美拉德反应是一个复杂的反应体系, 糖类的分子结构和反应中间体构型会直接影响香味成分的产生^[20-21], 美拉德反应产物的香气成分总量与还原糖的反应活性也并不总是呈正相关^[22]。因此, 选择添加葡萄糖参与美拉德反应。

表 6 还原糖种类对电子鼻传感器响应值的影响

Table 6 Effect of reducing sugar species on response values of electronic nose sensors

还原糖	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
木糖	5.21±0.01 ^e	4.15±0.01 ^e	46.06±0.24 ^d	2.44±0.01 ^e	17.26±0.06 ^d
葡萄糖	26.93±0.01 ^a	11.71±0.16 ^a	106.68±1.03 ^a	5.60±0.05 ^a	46.39±0.06 ^a
木糖:葡萄糖 (1:3)	17.06±0.30 ^b	9.62±0.01 ^b	76.06±1.09 ^b	4.67±0.02 ^b	35.65±0.32 ^b
木糖:葡萄糖 (1:1)	8.96±0.05 ^c	6.95±0.04 ^c	53.64±0.37 ^c	3.66±0.01 ^c	24.38±0.11 ^c
木糖:葡萄糖 (3:1)	5.62±0.01 ^d	4.72±0.04 ^d	39.01±0.04 ^c	2.63±0.01 ^d	16.51±0.02 ^e

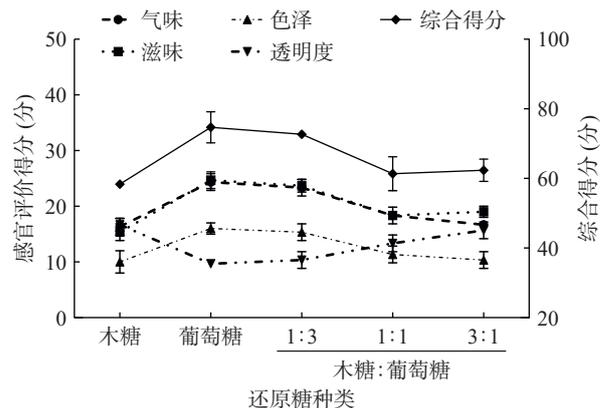


图 5 还原糖种类对调味油感官评分的影响

Fig.5 Effect of reducing sugar types on sensory scores of flavored oils

2.3.2 还原糖添加量 还原糖添加量不仅影响美拉德反应速率, 也会影响终产物的风味。还原糖添加量对电子鼻传感器响应值的影响如表 7 所示, 对调味油感官评价影响如图 6 所示。由表 7 可知, 随着还原糖添加量的增加, 传感器响应值先升高后下降, 还原糖添加量为 5% 时, 各个传感器响应值均为最高, 且显著高于其他试验组 ($P<0.05$) (W2S 除外)。由

图6可知,随着还原糖添加量的增加感官评价的综合得分变化趋势与传感器响应值变化趋势一致,添加量为6%、7%时,综合得分降低。主要是因为,当还原糖添加量达到一定程度时,会出现焦糊味,进而影响调味油品质。

表7 还原糖添加量对电子鼻传感器响应值的影响

Table 7 Effect of reducing sugar addition on response values of electronic nose sensors

添加量 (%)	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
3	30.86±0.22 ^c	10.97±0.15 ^b	96.96±0.47 ^b	5.84±0.04 ^b	45.86±0.21 ^c
4	33.65±0.40 ^b	10.76±0.03 ^c	99.12±1.11 ^b	5.95±0.02 ^a	47.61±0.34 ^b
5	38.58±0.68 ^a	11.90±0.03 ^a	135.27±1.81 ^a	5.96±0.03 ^a	56.14±0.49 ^a
6	29.94±0.37 ^c	10.10±0.07 ^d	99.68±0.83 ^b	5.47±0.01 ^b	46.57±0.31 ^c
7	23.85±0.49 ^d	9.12±0.02 ^e	99.58±0.61 ^b	4.62±0.04 ^c	44.11±0.47 ^d

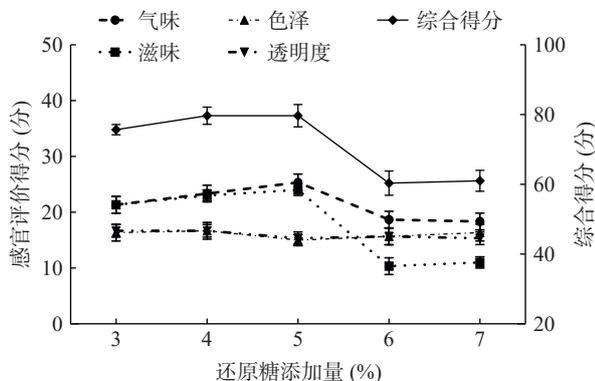


图6 还原糖添加量对调味油感官评分的影响

Fig.6 Effect of reducing sugar addition on sensory scores of flavored oils

2.3.3 氨基酸种类 氨基酸是美拉德反应的重要反应底物,氨基酸的种类和浓度均会影响美拉德反应的进程,氨基酸不同,美拉德反应产物也不同。一般来说,美拉德反应中氨基酸反应活性为碱性氨基酸>中性氨基酸>酸性氨基酸,本研究选择的赖氨酸、精氨酸、组氨酸均为碱性氨基酸,具有较高的反应活性。由表8可知,添加L-谷氨酸电子鼻W5S、W1W、W2W三个传感器的响应值显著高于赖氨酸、精氨酸、组氨酸($P<0.05$),而传感器W1S、W2S则显著低于其他三类氨基酸($P<0.05$),说明不同种类的氨基酸经过美拉德反应会产生不同的风味物质,赋予调味油不同的香气。由图7可知,添加赖氨酸的感官综合得分最低,添加L-谷氨酸的感官综合得分最高,主要表现为

表8 氨基酸种类对电子鼻传感器响应值的影响

Table 8 Effect of amino acid type on response values of electronic nose sensors

氨基酸	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
赖氨酸	10.63±0.04 ^d	13.05±0.12 ^b	39.70±0.31 ^d	5.64±0.01 ^b	25.61±0.02 ^d
精氨酸	16.60±0.04 ^c	15.15±0.12 ^a	54.05±0.27 ^c	6.39±0.03 ^a	32.52±0.02 ^c
组氨酸	18.50±0.23 ^b	11.66±0.10 ^c	70.80±1.00 ^b	5.28±0.01 ^c	36.11±0.23 ^b
L-谷氨酸	19.58±0.39 ^a	8.60±0.02 ^d	94.84±1.29 ^a	4.16±0.01 ^d	42.26±0.40 ^a

添加L-谷氨酸的气味、滋味及色泽优于其他三种氨基酸。L-谷氨酸是一种常用的食品风味增强剂,参与美拉德反应能产生坚果味与烘烤味^[23-24]。多项基于美拉德反应利用食用菌制备调味基料的研究表明,L-谷氨酸具有较好的反应活性并且能改善风味及增加鲜味^[25]。因此,选择L-谷氨酸为美拉德反应的外源氨基酸。

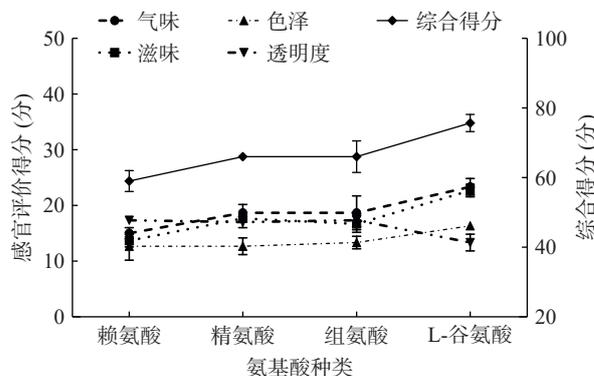


图7 氨基酸种类对调味油感官评分的影响

Fig.7 Effect of amino acid types on sensory score of flavored oils

2.3.4 氨基酸添加量 氨基酸添加量对电子鼻传感器响应值的影响如表9所示,对调味油感官评价影响如图8所示。由表9可知,随着氨基酸添加量的增加,传感器响应值先增加后降低,但氨基酸添加量为3.0%时W2S(对醇类、醛酮类化合物敏感)的响应值最高,其他均为氨基酸添加量为2.5%时响应值最高。感官评价得分如图8所示,随着氨基酸添加

表9 氨基酸添加量对电子鼻传感器响应值的影响

Table 9 Effect of amino acid addition on response values of electronic nose sensors

添加量 (%)	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
1.0	25.48±0.32 ^e	10.90±0.02 ^d	75.26±0.64 ^d	5.39±0.01 ^d	41.22±0.20 ^e
1.5	31.64±0.05 ^d	12.53±0.09 ^c	85.36±0.17 ^c	5.94±0.02 ^c	45.97±0.05 ^d
2.0	36.61±0.29 ^b	13.11±0.01 ^b	87.21±0.63 ^c	6.71±0.01 ^b	47.24±0.15 ^c
2.5	49.59±0.60 ^a	15.46±0.19 ^a	98.94±0.83 ^a	5.94±0.01 ^c	64.16±0.34 ^a
3.0	33.14±0.34 ^c	13.26±0.03 ^b	91.31±1.02 ^b	7.03±0.03 ^a	48.11±0.19 ^b

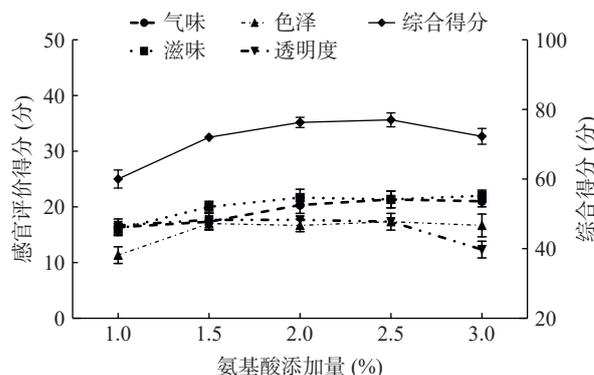


图8 氨基酸添加量对调味油感官评分的影响

Fig.8 Effect of amino acid addition on sensory score of flavored oils

量的增加,感官评价得分先增加后趋于平缓,氨基酸添加量为 2.5% 时,感官评价得分最高。感官评分的降低主要表现为透明度得分降低,而传感器响应值的变化,可能是因为当氨基酸添加量过多时,没有足够的还原糖与其反应,在高温过程中氨基酸发生变化,产生的新物质抑制了调味油的香气,导致传感器响应值下降。

2.3.5 反应温度 美拉德反应通常在在 25~35 ℃ 时就会发生^[26]。在相同条件下,温度越高,反应越快。当温度低于 80 ℃ 时颜色反应不明显,温度超过 100 ℃ 反应会明显加快,且高温条件有利于大多数风味物质的形成,特别是一些低分子量的杂环化合物,但温度过高时又会产生致癌物质,影响产物风味及油的品质^[27-28]。反应温度对电子鼻传感器响应值的影响如表 10 所示,对调味油感官评价影响如图 9 所示。由表 10 可知,随着反应温度的升高,传感器响应值基本先升高后下降,反应温度为 140 ℃ 时,传感器响应值最高,温度升高至 160 ℃ 时,传感器响应值最低。由图 9 可知,随着温度的升高,感官评价综合得分变化趋势与电子鼻传感器响应值变化趋势一致,140 ℃ 时,综合得分最高,但调味油的色泽随着温度的升高得分不断增加。这是因为反应温度过高或过低均会影响油脂的风味、色泽等,高温条件下美拉德反应速率会加快,生成更多的类黑精,会加深产物颜色。

表 10 反应温度对电子鼻传感器响应值的影响
Table 10 Effect of response temperature on response values of electronic nose sensors

温度 (℃)	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
120	63.41±0.25 ^a	13.76±0.10 ^c	110.92±0.84 ^b	7.42±0.03 ^c	59.85±0.13 ^a
130	59.91±1.12 ^b	14.07±0.01 ^b	111.31±1.21 ^b	7.66±0.04 ^b	59.42±0.55 ^a
140	64.15±0.24 ^a	15.27±0.11 ^a	115.57±0.92 ^a	8.51±0.04 ^a	60.19±0.15 ^a
150	43.34±0.69 ^c	12.55±0.03 ^d	95.00±0.72 ^c	6.69±0.04 ^d	48.68±0.42 ^b
160	29.88±0.34 ^d	10.21±0.05 ^e	81.01±0.49 ^d	5.60±0.01 ^e	36.90±0.33 ^c

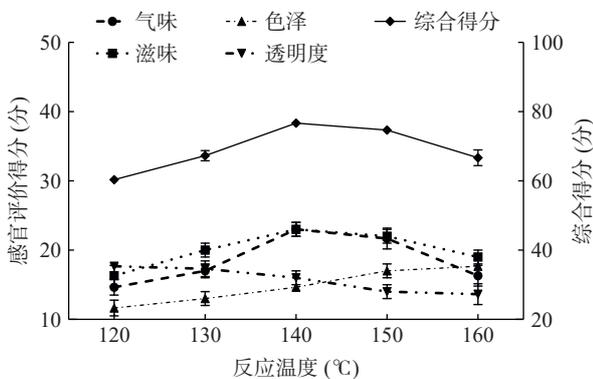


图 9 反应温度对调味油感官评分的影响

Fig.9 Effect of reaction temperature on sensory score of flavored oils

2.3.6 反应时间 美拉德反应时间过长或者过短都会影响产物的风味及反应速率。反应时间的长、短

对样品的风味品质变化有重要影响,若反应时间过短,则反应中间物质还没有充分转化为风味化合物;而反应时间过长,则反应物可能会出现焦糊味,且色泽较深^[29]。反应时间对电子鼻传感器响应值的影响如表 11 所示,对调味油感官评价影响如图 10 所示。由表 11 可知,随着反应时间的延长,电子鼻传感器响应值除 W1S 外,均先升高后降低,反应时间为 50 min 时,传感器响应值最高。由图 10 可知,感官评价综合得分变化趋势与传感器响应值变化趋势一致,反应时间为 40、50、60 min 时,变化趋于平缓,但 50 min 时,感官评价综合得分最高。因为反应时间过长,调味油会出现焦糊味及苦味,导致气味、滋味评分较低。

表 11 反应时间对电子鼻传感器响应值的影响
Table 11 Effect of response time on the response value of the electronic nose sensor

时间 (min)	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
30	44.54±0.32 ^b	11.24±0.05 ^a	99.78±1.06 ^c	6.03±0.02 ^b	53.32±0.19 ^b
40	43.38±0.18 ^c	10.70±0.14 ^b	105.46±0.77 ^b	6.07±0.05 ^b	50.35±0.17 ^c
50	52.60±0.47 ^a	10.73±0.02 ^b	138.70±0.93 ^a	6.26±0.01 ^a	60.89±0.21 ^a
60	36.95±0.21 ^c	10.73±0.19 ^b	94.78±0.88 ^d	5.74±0.04 ^c	48.41±0.17 ^d
70	36.96±0.32 ^c	8.38±0.04 ^c	92.71±1.13 ^d	5.52±0.01 ^d	45.54±0.18 ^e

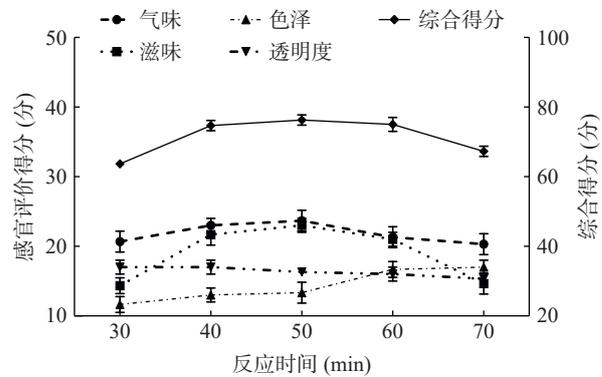


图 10 反应时间对调味油感官评分的影响

Fig.10 Effect of reaction time on sensory score of flavored oils

2.4 正交试验优化结果

在单因素实验基础上,选取氨基酸添加量、还原糖添加量、反应时间、反应温度四个因素进行正交优化试验,试验结果如表 12 所示。由表 12 可知,氨基酸添加量、还原糖添加量、反应时间、反应温度四个因素对电子鼻传感器响应值的影响顺序为反应时间>还原糖添加量>反应温度>氨基酸添加量,最佳工艺组合为 A₂B₃C₂D₁,即还原糖添加量为 5%、氨基酸添加量为 3%、反应时间为 40 min、反应温度为 140 ℃。由于该工艺条件不在正交优化实验的 9 个组合中,因此,在该条件下进行三次验证试验,传感器响应值为 190.72,与正交优化实验差异值为±1.59,差异较小,且还原糖添加量更少。

表 12 正交优化试验结果

Table 12 Orthogonal optimization test results

试验号	A 还原糖添加量	B 氨基酸添加量	C 反应时间	D 反应温度	传感器响应值
1	1	1	1	1	160.94
2	1	2	2	2	152.65
3	1	3	3	3	125.74
4	2	1	2	3	172.32
5	2	2	3	1	171.36
6	2	3	1	2	169.07
7	3	1	3	2	144.76
8	3	2	1	3	157.23
9	3	3	2	1	192.97
K1	146.443	159.340	162.413	175.090	
K2	170.917	160.413	172.647	155.493	
K3	164.987	162.593	147.287	151.763	$A_2B_3C_2D_1$
R	24.474	3.253	25.360	23.327	

注: 传感器响应值为W5S、W1S、W1W、W2S、W2W五个传感器响应值总和。

2.5 电子鼻分析

2.5.1 电子鼻传感器响应值比较 经电子鼻分析后, 传感器响应值如图 11 所示(选取响应值较高的 6 个传感器进行作图及差异性分析)。由图 11 可知, W1C、W5S、W1S、W1W、W2S 的响应值均为样品 D 最高, 且与其他样品有显著性差异($P < 0.05$)。说明样品 D 中氮氧化合物、甲烷类、硫化物、醇类、醛酮类这些香气组分为主要香气成分。此外, 样品 C 中各传感器响应值也较高, 说明该样品中主要香气组分与样品 D 类似。前期研究表明, 兰茂牛肝菌酶解上清液的香气组分对 W5S、W2W、W1W 三个传感器较为敏感^[30]。此外, 孙达锋等^[31]利用电子鼻测定新鲜兰茂牛肝菌香气轮廓, 同样发现新鲜兰茂牛肝菌中 W5S、W2S 等传感器响应值较高。而样品 D 中 W5S、W1W、W2W 传感器响应值较高, 说明利用兰茂牛肝菌酶解产物制备的调味油仍保留着兰茂牛肝菌的特征香气。

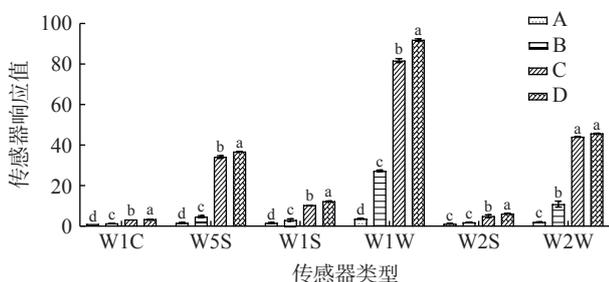


图 11 传感器响应值比较分析

Fig. 11 Comparative analysis of sensor response values

注: 不同小写字母表示不同样品间差异显著 $P < 0.05$; A 表示玉米油, B 表示只添加还原糖及氨基酸与玉米油发生共热进行美拉德反应, C 表示只加入兰茂牛肝菌酶解产物与玉米油共热, D 表示兰茂牛肝菌调味油, 图 12 同。

2.5.2 电子鼻分析的主成分分析 如图 12 所示, 第一主成分(PC-1)贡献率为 99.27%, 第二主成分(PC-2)贡献率为 0.48%, 第一主成分发挥着主要作用。样品 C 与样品 D 距离较近, 表明这两个样品间香气成

分接近, 风味差异较小, 但样品间并未重叠, 进一步说明美拉德反应能够干预样品 C 的香气成分。总而言之, 主成分分析表明四个样品间存在风味差异, 且具有较好的区分度, 该分析结果与 2.5.1 电子鼻传感器响应值结果一致。

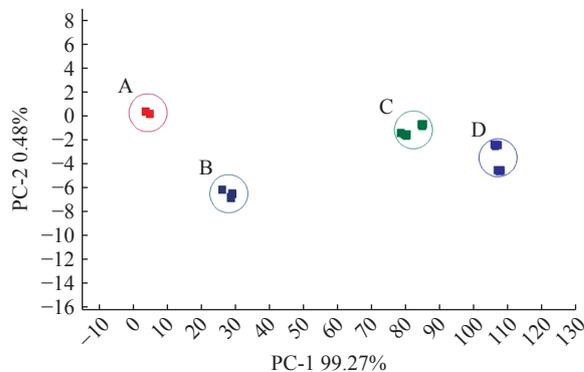


图 12 PCA 分析结果

Fig. 12 PCA analysis results

2.6 兰茂牛肝菌调味油理化指标及营养成分分析

由表 13 可知, 在最优工艺条件下生产的兰茂牛肝菌调味油各项理化指标均符合食品安全国家标准, 证明此方法生产的兰茂牛肝菌调味油安全可靠。此外, 该调味油能量为 3693 kJ/100 g, 脂肪含量为 99.8 g/100 g。

表 13 兰茂牛肝菌调味油理化指标及营养成分测定结果

Table 13 Physicochemical indicators and nutrient determination results

	指标	检测结果	标准限值
理化指标	溶剂残留量(mg/kg)	未检出	<20
	酸价(mg/g)	0.21	<3
	过氧化值(g/100 g)	0.03	<0.25
	水分及其挥发物(g/100 g)	0.05	
	苯并芘($\mu\text{g}/\text{kg}$)	8.8	<10
	铅(mg/kg)	未检出	<0.1
	镉(mg/kg)	0.0057	<0.5
	黄曲霉毒素 B_1 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	未检出	<100
营养成分	能量(kJ/100 g)	3693	
	蛋白质(g/100 g)	0	
	脂肪(g/100 g)	99.8	
	碳水化合物(g/100 g)	0	
	钠(g/100 g)	0	

3 结论

本研究以兰茂牛肝菌酶解产物为原料, 外源添加 L-谷氨酸及葡萄糖通过美拉德反应制备兰茂牛肝菌调味油。以电子鼻传感器响应值及感官评价为依据, 探究兰茂牛肝菌最佳加工工艺。研究表明, 最佳加工工艺为: 酶解沉淀与酶解上清添加比例为 1:1, 料油比为 1:40, 选用玉米油, 添加 3% 的 L-谷氨酸、5% 葡萄糖、反应时间 40 min、反应温度 140 $^{\circ}\text{C}$ 。在该条件下制备的兰茂牛肝菌香气浓郁协调, 具有兰茂牛肝菌的特有香气。电子鼻分析结果表明, 调味油香

气组分主要为氮氧化合物、甲烷类、硫化物、醇类、醛酮类。主成分分析表明,通过上述工艺制备的兰茂牛肝菌调味油与其他样品具有较好的区分度,风味差异较大。经品质检测,所制备的兰茂牛肝菌调味油理化指标均符合达到国家品质标准,含有能量 3693 kJ/100 g,脂肪 99.8 g/100 g。综上所述,本研究使用食用菌酶解产物制备调味油为食用菌调味油的加工提供了新的加工工艺,也丰富了食用菌资源的利用方式,并为电子鼻技术结合感官评价对产品加工工艺的应用提供了参考依据。

参考文献

- [1] 苏璐,苏冀彦,李丹,等. 兰茂牛肝菌含药血清对小鼠脾淋巴细胞的影响[J]. 食用菌学报, 2018, 25(2): 113-120. [SU L, SU Y, LI D, et al. Effects of *Lanmaoa asiatica* extracts administered mice serum on mice splenocytes[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2018, 25(2): 113-120.]
- [2] 郭磊,华燕,王军民. 牛肝菌生物活性成分研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(19): 220-224. [GUO L, HUA Y, WANG J M. Advances in the study of bioactive components of porcini mushrooms[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(19): 220-224.]
- [3] 杨宁,罗晓莉,张微思,等. 食用菌调味油加工技术研究进展[J]. 中国食用菌, 2022, 41(8): 71-75. [YANG N, LUO X L, ZHANG W S, et al. Research progress of edible mushroom seasoning oil processing technology[J]. *Chinese Edible Mushrooms*, 2022, 41(8): 71-75.]
- [4] ZHU Y Y, ZHANG M, LAW C L, et al. Optimization of ultrasonic-assisted enzymatic hydrolysis to extract soluble substances from edible fungi by-products[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2022, 16(1): 167-184.
- [5] 王耀冉,赵妍,陈明杰,等. 8种食用菌蛋白及其酶解产物抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2022, 38(9): 134-138. [WANG Y R, ZHAO Y, CHEN M J, et al. Study on antioxidant activity of eight edible mushroom proteins and their enzymatic hydrolysis products[J]. *Food and Machinery*, 2022, 38(9): 134-138.]
- [6] ZHU Y Y, ZHANG M, ZHANG L H, et al. Preparation of enzymatic hydrolysate using edible fungi by-products of soup seasoning: Effect of different enzymes on enzymatic hydrolysis[J]. *Food Bioscience*, 2022, 49: 101844.
- [7] 李琳,魏长庆. 美拉德反应机理及其在植物油中应用的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(9): 7-9. [LI L, WEI C Q. Research progress on the mechanism of the Maillard reaction and its application in vegetable oils[J]. *Grain and Fats*, 2019, 32(9): 7-9.]
- [8] SERIGO P B, JOSE-ANGEL R H, SILVIA P. Effect of home cooking on the antioxidant capacity of vegetables: Relationship with Maillard reaction indicators[J]. *Food Research International*, 2019, 121: 514-523.
- [9] SHAKOOR A, ZHANG C P, XIE J C, et al. Maillard reaction chemistry in formation of critical intermediates and flavour compounds and their antioxidant properties. [J]. *Food Chemistry*, 2022, 393: 133416.
- [10] 刘春晓,王斌,高盼,等. 美拉德生香源反应制备浓香芝麻油工艺优化[J]. 中国油脂, 2022, 47(2): 28-33. [LIU C X, WANG B, GAO P, et al. Optimization of the process for the preparation of concentrated sesame oil by Meladogen reaction[J]. *China Fats and Oils*, 2022, 47(2): 28-33.]
- [11] 邹凤,于烜,金青哲,等. 花生粕蛋白酶解液与还原糖共热发

- 生美拉德反应产生浓香花生油风味物的工艺研究[J]. 粮油加工, 2010(12): 24-28. [ZOU F, YU J, JIN Q Z, et al. Process study on the production of peanut oil flavors from the co-heating of peanut meal proteolytic solution and reducing sugar in a millard reaction [J]. *Grain and Oil Processing*, 2010(12): 24-28.]
- [12] 刘培基,崔文甲,王文亮,等. 食用菌风味物质及其在美拉德反应中的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 188-193. [LIU P J, CUI W J, WANG W L, et al. Progress of edible mushroom flavoring substances and their research in the millard reaction [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(15): 188-193.]
- [13] 殷朝敏,范秀芝,史德芳,等. HS-SPME-GC-MS 结合 HPLC 分析 5 种食用菌鲜品中的风味成分[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 254-260. [YIN C M, FAN, X Z, SHI D F, et al. HS-SPME-GC-MS combined with HPLC analysis of flavor components in five edible mushroom fresh products[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(3): 254-260.]
- [14] PAVEL K. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review[J]. *Food Chemistry*, 2008, 113(1): 9-16.
- [15] ZHU R Y, WEN Y X, WU W H, et al. The flavors of edible mushrooms: A comprehensive review of volatile organic compounds and their analytical methods. [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 11-15.
- [16] 谷镇,杨焱. 食用菌呈香呈味物质研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 363-367. [GU Z, YANG Y. Research progress on aroma and taste substances of edible mushrooms[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(5): 363-367.]
- [17] 丁奇,马立利,郎爽,等. 不同调味品中氨基酸态氮、总酸含量的分析及比较研究[J]. 分析仪器, 2021(3): 70-74. [DING Q, MA L L, LANG S, et al. Analysis and comparative study of amino acid nitrogen and total acid content in different condiments[J]. *Analytical Instruments*, 2021(3): 70-74.]
- [18] 宫瑞泽,霍晓慧,张磊,等. 美拉德反应对中药品质的影响及调控研究进展[J]. 中草药, 2019, 50(1): 243-251. [GONG R Z, HUO X H, ZHANG L, et al. Research progress on the effect of millard reaction on the quality of traditional Chinese medicine and its regulation[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2019, 50(1): 243-251.]
- [19] 王璐,杨海晴,任晨刚,等. 蒸谷米褐变机理及脱色工艺研究进展[J]. 现代食品, 2020(16): 27-31. [WANG L, YANG H Q, REN C G, et al. Research progress on browning mechanism and decolorization process of steamed grain rice[J]. *Modern Food*, 2020(16): 27-31.]
- [20] 朱龙杰,张华,吴洋,等. 碱性体系下美拉德反应产物中关键香味成分的种类及质量分数[J]. 烟草科技, 2020, 53(6): 41-47. [ZHU L J, ZHANG H, WU Y, et al. Types and mass fractions of key aroma components in the products of millard reaction under alkaline system[J]. *Tobacco Science and Technology*, 2020, 53(6): 41-47.]
- [21] WEENEN H. Reactive intermediates and carbohydrate fragmentation in Maillard chemistry[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 393-401.
- [22] 董焯,张益奇,张晓颀,等. 鳙鱼皮水解物美拉德反应产物抗氧化活性研究[J]. 核农学报, 2022, 36(11): 2199-2209. [DONG Y, ZHANG Y Q, ZHANG X D, et al. Antioxidant activity of hydrolysate products from bighead carp skin[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2022, 36(11): 2199-2209.]
- [23] MOON J H, CHOI I W, CHOI H D, et al. Flavor pattern and sensory properties of meat flavor based on maillard reaction prod-

- ucts with supercritical fluid extracted lard fractions[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2012, 32(5): 644-651.
- [24] ZHOU Y Y, LI Y, YU A N. The effects of reactants ratios, reaction temperatures and times on Maillard reaction products of the L-ascorbic acid/L-glutamic acid system[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 36: 268-274.
- [25] 徐慢, 孙福犁, 崔和平, 等. 谷氨酸—木糖美拉德中间体的水相制备及其在桃酥中的应用[J]. *食品与机械*, 2019, 35(4): 7-13. [XU M, SUN F L, CUI H P, et al. Aqueous-phase preparation of glutamate-xylose millard intermediates and their application in peach crisp[J]. *Food and Machinery*, 2019, 35(4): 7-13.]
- [26] 戚繁. 美拉德反应在食品工业中的研究进展[J]. *现代食品*, 2020(19): 44-46. [QI F. Research progress of the Maillard reaction in the food industry[J]. *Modern Food*, 2020(19): 44-46.]
- [27] 李永生, 杨敏, 杜宣利, 等. 富硒菜籽加工工艺的研究[J]. *现代食品*, 2019(24): 84-86. [LI Y S, YANG M, DU X L, et al. Study on the processing of selenium-rich canola[J]. *Modern Food*, 2019(24): 84-86.]
- [28] 秦佳斌, 沈阳, 冯年捷, 等. 酒精体系下美拉德反应的研究进展[J]. *酿酒*, 2020, 47(1): 33-39. [QIN J B, SHEN Y, FENG N J, et al. Progress in the study of the Maillard reaction under alcoholic system[J]. *Brewing*, 2020, 47(1): 33-39.]
- [29] 吴靖娜, 靳艳芬, 陈晓婷, 等. 鲍鱼蒸煮液美拉德反应制备海鲜调味基料工艺优化[J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 69-76. [WU J N, JIN Y F, CHEN X T, et al. Process optimization of seafood flavoring base prepared by Maillard reaction of abalone steaming liquid[J]. *Food Science*, 2016, 37(22): 69-76.]
- [30] YANG N, ZHANG S S, ZHOU P, et al. Analysis of volatile flavor substances in the enzymatic hydrolysate of *Lanmaoa asiatica* mushroom and its Maillard reaction products based on E-Nose and GC-IMS[J]. *Foods*, 2022, 11(24): 4056.
- [31] 孙达锋, 胡小松, 张沙沙. 电子鼻结合气相-离子迁移谱联用技术分析兰茂牛肝菌气调贮藏期间挥发性风味物质的变化[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(21): 111-117. [SUN D F, HU X S, ZHANG S S. Analysis of changes in volatile flavor substances of porcini mushrooms from *Lanmaoa asiatica* during aeration storage by electron nose combined with gas-ion mobility spectrometry[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(21): 111-117.]