

于梓芃, 李宁阳, 弓志青, 等. 食用菌呈味物质及其检测技术、应用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 373–379. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020269

YU Zipeng, LI Ningyang, GONG Zhiqing, et al. Research Progress on Edible Fungus Flavor Substances and Their Detection Technology and Application[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(2): 373–379. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020269

· 专题综述 ·

食用菌呈味物质及其检测技术、应用的研究进展

于梓芃^{1,2}, 李宁阳², 弓志青¹, 王文亮¹, 贾凤娟¹, 崔文甲¹, 徐宗海³, 宋莎莎^{1,*}, 李永生¹
(1. 山东省农业科学院农产品加工与营养研究所, 农业农村部新食品资源加工重点实验室, 山东省农产品精深加工技术重点实验室, 山东济南 250100;
2. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东泰安 271000;
3. 泰安市永乐食用菌科技有限公司, 山东泰安 271000)

摘要: 食用菌味道鲜美、营养丰富, 近年来, 作为一种健康营养类食品, 食用菌越来越受欢迎。食用菌富含丰富的风味物质, 挥发性风味物质和非挥发性风味物质是构成其风味体系的主要呈味组成部分。本文综述了近年来食用菌中主要呈鲜甜风味的非挥发性呈味物质, 包括游离氨基酸、可溶性糖、呈味核苷酸等, 以及挥发性风味物质, 包括呈蘑菇风味的含硫化合物及醇、酮类化合物, 呈清香风味的醛类、酯类等的研究现状, 并对电子鼻、电子舌、气相色谱联用技术等检测方法进行了归纳总结, 并综述了食用菌在风味物质方向的应用研究进展, 旨在为更好的研究食用菌风味物质提供参考。

关键词: 食用菌, 呈味物质, 风味特性, 检测技术

中图分类号: S646

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)02-0373-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020269



本文网刊:

Research Progress on Edible Fungus Flavor Substances and Their Detection Technology and Application

YU Zipeng^{1,2}, LI Ningyang², GONG Zhiqing¹, WANG Wenliang¹, JIA Fengjuan¹,
CUI Wenjia¹, XU Zonghai³, SONG Shasha^{1,*}, LI Yongsheng¹

(1. Institute of Agricultural Products Processing and Nutrition, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of New Food Resources Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Intensive Processing Technology of Agricultural Products, Jinan 250100, China;
2. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China;
3. Tai'an Yongle Edible Mushroom Technology Co., Ltd., Tai'an 271000, China)

Abstract: As a healthy and nutritious food, edible fungi are becoming increasingly popular, characterized by delicious taste in recent years. Edible fungi are rich in flavor substances. Volatile flavor substances and non-volatile flavor substances are the main flavor components that constitute their flavor system. In this paper, the research status of non-volatile flavor substances with fresh and sweet flavors, including free amino acids, soluble sugars, flavored nucleotides, etc. As well as volatile flavor substances, including sulfur-containing compounds, alcohols and ketones with mushroom flavor, and aldehydes and esters with clear flavor are reviewed in recent years, and the detection methods such as electronic nose,

收稿日期: 2023-02-24

基金项目: 山东省重点研发计划 (2022TZX00024); 山东省重点研发计划 (2022TZX00025); 山东省农业科学院农业科技创新工程项目 (CXGC2022A36); 2022 年度山东省重点扶持区域引进急需紧缺人才项目“食用菌主食及休闲食品加工关键技术研发及产业化示范项目”; 山东省食用菌创新团队产后加工岗位专家项目 (SDAIT-07-09)。

作者简介: 于梓芃 (1998-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 903296295@qq.com。

*** 通信作者:** 宋莎莎 (1988-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食用菌精深加工, E-mail: songshasha125@163.com。

electronic tongue and gas chromatography technology are summarized, and the application research progress of edible fungi in the field of flavor substances is reviewed, aiming to provide a guidance for better research on edible fungus flavor substances.

Key words: edible fungi; flavoring substances; flavor characteristics; detection technology

食用菌是一类大型真菌,常见的食用菌有香菇、平菇、木耳、银耳等。食用菌种类繁多,全世界能分辨出 12 万左右的菌种,其中有 2000 多种是可以食用的^[1];中国记录在册的上千种食用菌中,有小部分可以大面积大规模的人工栽培^[2]。食用菌含有丰富的营养成分,如氨基酸、蛋白质、多糖、多肽、维生素等,这些营养物质使食用菌具有增强免疫力、抗过敏、抗氧化、降血压、降血糖、抗肿瘤、抗癌等功效^[3]。除营养物质外,食用菌还富含氨基酸等多种呈味物质,使其具有独特的浓郁鲜香的滋味特征。食用菌的呈味物质分为两种,分别是呈气味的挥发性风味物质和呈滋味的非挥发性风味物质,这两类物质构成整个食用菌的风味体系^[4]。滋味是非挥发性风味物质对味觉系统(舌头)的刺激,产生鲜味、甜味、苦味等味道;香味是挥发性风味物质对嗅觉系统(鼻子)的刺激产生不同的气息和味感^[5]。随着人们生活水平的提高和对物质需求的增加,食品的感官品质要求也在不断提升,食品的风味成为影响消费者选择和偏好的重要因素。文章系统地综述了食用菌的呈味物质、检测技术及食用菌应用研究进展,以期发掘食用菌加工潜力,促进食用菌风味领域的研究与相关加工产品开发。

1 食用菌风味物质成分

风味是指由摄入口腔的食物对人的感觉器官(包括味觉、嗅觉、痛觉及触觉等)产生的综合生理效应。影响食用菌滋味的主要因素是非挥发性滋味物质。食用菌主要的非挥发性滋味物质包括游离氨基酸、可溶性糖、呈味核苷酸等,为食用菌带来鲜甜浓郁的滋味^[6]。主要挥发性风味物质包括八碳化合物、醇类、酯类、醛类、酮类、含硫化合物、酸类衍生物等,种类繁多,含量也很高^[7]。食用菌所含的挥发性风味物质种类和含量受食用菌产地、品种、生长部位和发育阶段的影响^[8]。食用菌主要风味物质成分见表 1。

1.1 食用菌非挥发性滋味成分

1.1.1 游离氨基酸 游离氨基酸是非挥发性风味物质中重要的呈味物质,是使得食用菌味道鲜美的重要原因之一。Yang 等^[18]将氨基酸分为鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸及无味氨基酸,并首次将食用菌中鲜味氨基酸的含量等级划分为高、中、低三组,以便于更好地客观评价食用菌中鲜味氨基酸,其中含量大于 20 mg/g 为高组,5~20 mg/g 为中组,小于 5 mg/g 鲜味氨基酸量属于低组。食用菌中的鲜味氨基酸和甜味氨基酸在整个氨基酸组成中占有较高的比重,因此鲜味和甜味成为食用菌中氨基酸的主要呈味基调。Yamaguchi 等^[19]研究发现,代表鲜味氨基酸的谷氨酸、天门冬氨酸与味精有着同样的鲜味效果,其味道鲜甜可口,具有典型的蘑菇风味。谷镇等^[20]对国内外食用菌中游离氨基酸的呈味组分的含量进行了总结,从中得出鸡枞菌的呈鲜核苷酸是牛肝菌的 5 倍、姬松茸的两倍。

1.1.2 可溶性糖 可溶性糖除了被看作是食用菌药用价值的有效成分^[21],其在食用菌中还是主要产生甜味的呈味物质。吉田博等^[10]研究食用菌中可溶性糖的主要成分,测定了 31 种菇类中的可溶性糖,结果发现食用菌中可溶性糖的主要成分为海藻糖和甘露醇。Litchfield 等^[22]通过研究也发现食用菌中主要的可溶性糖为海藻糖和甘露醇,同甘露糖、果糖和核糖等其他几种食用菌中常见的可溶性糖醇共同起到增甜的作用。不同食用菌品种在不同生长阶段其可溶性糖的种类和含量也有所不同,其差异是食用菌独特滋味区别的重要因素^[23]。

1.1.3 呈味核苷酸 食用菌中除了游离氨基酸、可溶性糖为食用菌带来浓郁鲜甜的滋味外,呈味核苷酸是非挥发性滋味成分的一种。研究得出,某些氨基酸和核苷酸之间有着显著的相乘作用,例如谷氨酸等呈鲜氨基酸,这类氨基酸与其他呈味核苷酸有协同作

表 1 食用菌主要风味物质

Table 1 Main flavor substance of edible fungi

类别	风味物质成分	风味贡献	参考文献
非挥发性滋味成分	游离氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸等)	鲜味、甜味、苦味、蘑菇滋味等	段静怡等 ^[9]
	可溶性糖(海藻糖、甘露醇等)	甜味	吉田博等 ^[10]
	呈味核苷酸(5'核苷酸等)	鲜味、甜味	何忻等 ^[11]
	其他物质(干物质、灰分等)	鲜味等	陈发兴等 ^[12]
	醇类化合物(1-辛烯-3-醇、2-辛烯-1-醇等)	蘑菇风味	李小林等 ^[13]
挥发性风味物质	含硫化合物(1,2,4-三硫杂环化合物等)	蘑菇风味	Nie等 ^[14]
	醛类化合物(壬醛、庚醛、戊醛等)	醇香、水果香	王婷婷等 ^[15]
	酮类化合物(1-辛烯-3-酮等)	蘑菇香、柠檬香等清香	Phat等 ^[16]
	酯类化合物(丁酸甲酯等)	水果香等香甜味	杨芳等 ^[17]

用, 两者同时作用更能激发食用菌的鲜味。呈味核苷酸除了呈鲜味外, 还可以使甜味感知更加明显, 酸味、苦味、涩味等滋味感知削减^[24]。邹耀洪^[25]对香菇中 5'-核苷酸进行了分析, 通过高效液相色谱串联质谱法测定了香菇中的 5'-核苷酸含量, 结果表明香菇中四种 5'-核苷酸的含量分别为 5'-鸟苷酸 7.05%、5'-肌苷酸 2.82%、5'-腺苷酸 6.51% 和 5'-尿苷酸 4.25%。

1.1.4 其他呈味物质 除上述呈味物质外, 食用菌中有机酸、干物质、灰分、碳水化合物、总还原糖、粗蛋白、粗脂肪、无机离子等也都直接或间接地影响着食用菌的滋味。有机酸参与生物生长发育过程中氨基酸、酯类的代谢等多种重要的反应, 因此有机酸的种类和含量的不同影响着风味特征。干物质、灰分、碳水化合物、总还原糖、粗蛋白、粗脂肪、无机离子等物质间接影响食用菌的风味, 例如碳水化合物是构成食用菌细胞结构物质和能源物质的骨架; 还原糖在加热过程中与氨基酸发生美拉德反应产生醇醛酮类等化合物。另外, 无机离子如 Na^+ 可与谷氨酸或琥珀酸形成谷氨酸钠盐或琥珀酸钠盐, 谷氨酸钠与琥珀酸钠均为重要的鲜味调节剂^[26]。大量研究表明, 有机酸、干物质等其它呈味物质对食用菌独特风味有不同程度的贡献, 是研究食用菌风味物质必不可少的几个因素。

1.2 食用菌挥发性风味成分

在食用菌挥发性风味物质中使食用菌产生香味的最重要、最主要的是八碳化合物, 包括 1-辛醇、3-辛醇、3-辛酮、1-辛烯-3-醇、2-辛烯-1-醇、1-辛烯-3-酮等^[27-28]。其中食用菌最具代表性的香气是辛醇类物质中的 1-辛烯-3-醇产生的, 其因为具有浓郁的蘑菇香气又被称为“蘑菇醇”, 蘑菇醇热稳定性较差, 故干燥方式对其风味有一定的影响, 例如其在鲜香菇中的风味比干香菇更好。1-辛烯-3-醇的含量多少也会影响它的气味差异, 其风味阈值为 0.1 mg/L, 如 1-辛烯-3-醇在水中的浓度达到 10 mg/L 时会有明显的略带金属味的浓郁蘑菇味; 而当在水中的浓度达到 1 mg/L 时蘑菇风味呈现的较弱^[29]。

除 1-辛烯-3-醇外, 其他化合物也对食用菌起到一定的呈味作用。含硫化合物和醛类化合物在食用菌中的含量也比较丰富。含硫化合物又以含硫杂环化合物, 如 1,2,3,5,6-五硫杂环庚烷为主, 这些化合物统称为香菇精。刘杨珉等^[30]利用蒸馏萃取结合气相色谱-质谱联用技术鉴定了 91 种香菇的挥发性风味成分, 检测出含硫化合物 30 种, 主要呈香物质为香菇精和 1,2,4-三硫杂环化合物。醛类化合物的香气有很多种, 大多为清香和水果香, 其特点是使整个香味体系变得醇厚。邢增涛等^[31]为研究姬松茸子实体和固体发酵菌丝体的挥发性风味物质, 利用顶空气相色谱-质谱联用技术进行了分析, 结果表明在子实体中检测出了以苯甲醛和苯甲醇为主的 7 种主要的挥发性风味物质; 在菌丝体中检测出苯甲醛等 16 种主

要的挥发性风味物质, 最终得出苯甲醛和苯甲醇是影响姬松茸风味的主要物质。

此外, 酮类、酯类等化合物也通过在数量上互相平衡来为食用菌补充风味, 同样不可或缺。酮类化合物可以散发特殊的清香, 例如丙酮具有薄荷风味、2-十一烷酮可以散发柠檬的香气; 酯类化合物为低饱和脂肪酸与醇类的化合物, 有类似果香味的浓郁的甜味。

2 食用菌风味物质评价及检测技术

随着科技的进步和人们生活水平的提高, 人们对食品不再只是探究其营养和功效, 还对食品风味的研究越来越重视。食用菌风味物质的评价中最普遍的是感官评价。除主观评价外, 用于检测食用菌风味物质的方法有很多种, 例如用于检测挥发性风味物质的电子鼻、气相色谱-质谱联用技术 (gas chromatograph-mass spectrometer, GC-MS)、气相色谱-离子迁移谱技术 (gas chromatograph-ion mobility spectrometry, GC-IMS) 等; 用于检测非挥发性风味物质的电子舌、高效液相色谱法 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) 等 (见表 2), 以下对各检测方法进行了综述。

2.1 感官评价技术

食用菌感官评价是利用专业的感官评价员, 对其培训后对食用菌通过品尝/嗅闻等方式进行评价打分, 其主要的作用是在主观角度综合全面的评价食用菌的风味, 更具直观性。

2.2 电子鼻检测技术

电子鼻又称气味扫描仪, 是通过模拟动物嗅觉器官以特定传感器识别被测样品的整体信息。电子鼻可以对挥发性风味物质进行识别, 对简单和复杂的气味进行区分, 能够得到与人的感官品评相一致的结果。电子鼻技术响应时间短, 检测速度快, 可以检测各种不同类的食品。但电子鼻的缺点是无法对具体的挥发性风味物质种类进行检出, 只能区分、辨识不同的样本, 进行气味差异检测。Pei 等^[33]采用冷冻干燥和微波真空干燥联合脱水方法对蘑菇片进行脱水, 并采用顶空 GC-MS 和电子鼻 (E-nose) 对挥发性成分的变化进行了研究和比较, 研究结果显示 E-nose 可以清楚地区分不同干燥时间的纽扣蘑菇样品, 与 GC-MS 相比, E-nose 获得的结果显示出良好的识别性。Fujioka 等^[40]利用电子鼻对新鲜蘑菇的挥发性风味物质进行了统计及标准化, 展示了三种减少传感器值变化的技术, 并成功的利用电子鼻区分了白蘑菇与人造蘑菇 (如香菇和松露)。

2.3 电子舌检测技术

电子舌是模拟人的舌头, 通过人工植脂末传感器产生特征响应信号对样品进行定性定量分析的一种检测技术。邴芳玲等^[41]为验证电子舌对食用菌鲜味味觉指标的定性定量分析与感官评价的一致性, 对 5 种不同食用菌的鲜味物质进行电子舌测定及感

表 2 食用菌风味物质检测技术

Table 2 Detection technology of edible fungus flavor substances

检测技术	检测原理	检测内容	参考文献/检测食用菌种
感官评价技术	评价员进行嗅闻、品尝等	对滋味、风味的主观感受	Geronti等 ^[32] ; Onouzo
电子鼻检测技术	传感器进行电传感	传感器识别整体信息	Pei等 ^[33] ; Button mushroom
电子舌检测技术	人工植脂末传感器产生特征响应信号	对酸甜苦咸鲜的定性分析	Phat等 ^[34] ; <i>Agaricus bisporus</i> , <i>Amanita virgineoides</i> 等
气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS)	测量离子电荷比	对挥发性有机化合物进行定性定量分析	Livia等 ^[35] ; Shiitake mushroom
气相色谱-离子迁移谱联用技术 (GC-IMS)	快速分离气相色谱仪和高灵敏度离子 迁移谱仪相结合	对挥发性有机化合物进行定性定量分析	Xun等 ^[36] ; <i>Tuber aestivum</i> , <i>Cantharellus cibarius</i> 等
气相色谱-火焰离子化检测技术 (GC-FID)	载气分离分析样品	对挥发性有机化合物进行定性定量分析	Maggi等 ^[37] ; <i>Melittis melissophyllum</i>
气相色谱-嗅闻-质谱技术 (GC-O-MS)	将气相色谱-质谱技术与嗅闻技术联合使用	结合嗅闻系统对挥发性风味物质进行 定性定量检测	Song等 ^[38] ; Mushroom
高效液相色谱技术(HPLC)	色谱柱分离分析	对呈味氨基酸进行定量检测	俞明君等 ^[39] ; 香菇, 杏鲍菇等

官评价,结果表明电子舌能够很好的对食用菌鲜味进行区分,在一定程度上能够检测食用菌的鲜味感官值。Phat 等^[16]对韩国市售 17 种食用菌中的鲜味化合物进行了分析,利用电子舌评估食用菌的特征鲜味,结果显示金针菇在电子舌鲜味测量中获得最高分。

2.4 气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS)

GC-MS 技术是指气相色谱-质谱联用技术,这是一种通过测量离子荷质比的方式对挥发性风味物质进行定量定性检测的分析仪器。GC-MS 具有高分辨率、高灵敏度、强鉴别能力,可以同时完成待测组分的分离、鉴定和定量。但 GC-MS 不能分析强极性、难挥发、热稳定性差的化合物。Livia 等^[35]采用固相微萃取法提取了新鲜香菇子实体的挥发性化合物,并采用 GC-MS 进行分析,结果得出醇和硫化物是香菇中最丰富的挥发性风味化合物,以硫化物(二甲基五硫醚、s-四硫烷)为主。兰蓉等^[42]利用了超临界 CO₂ 的方法萃取白灵菇中的挥发性风味物质,探究不同的因素变量对白灵菇挥发性风味成分萃取率的影响,通过气相色谱-质谱联用技术分析萃取物,鉴定出白灵菇中 16 种主要挥发性风味成分。

2.5 气相色谱离子迁移谱联用技术 (GC-IMS)

GC-IMS 技术是指气相色谱离子迁移谱联用技术,是将快速分离气相色谱仪(GC)和高灵敏度离子迁移谱仪(IMS)相结合使用的技术,经常用于食品中挥发性有机化合物检测、食品质量和稳定性检测等方面。董浩然等^[43]采用 GC-IMS 技术对两个香菇品种不同菌龄的挥发性风味物质进行了研究,发现 2 个香菇品种分别鉴定出包括单体和二聚体在内的 17 种和 12 种挥发性物质,且不同菌龄和不同品种的香菇中挥发性有机物质均有一定差异。Xun 等^[36]以四种食用菌为实验材料,对其进行汤料的烹饪,然后对汤料的风味进行研究,采用气相色谱-离子迁移率光谱法结合多元统计分析鉴定出 41 种挥发性化合物,其中 4 种汤料中挥发性化合物的谱型差异较为明显,因而每一种汤料都有其独特的味道。

2.6 气相色谱-火焰离子化检测技术 (GC-FID)

气相色谱-火焰离子化检测技术(gas chromatography-flame ionization detection, GC-FID)是另一种将 GC 与 FID 相结合的强大分析方法。色谱柱首先在载气存在下分离收集的样品,再将其馈送到 FID 检测器中进行检测,从而对挥发性有机化合物进行有效分析。GC-FID 对几乎所有有机化合物都有反应,并对碳氢化合物具有高敏感性,故非常适合挥发性有机化合物的分析^[44]。Maggi 等^[45]利用 GC-FID 对亚种梅利蒂斯梅利索叶菌进行挥发性风味物质的检测,表征其风味。Rosaria 等^[46]将在意大利南部收集的十种野生蘑菇物种进行有效评估,通过 GC-FID 的方法对其贮藏期间挥发性有机化合物的成分变化进行检测。

2.7 气相色谱-嗅闻-质谱技术 (GC-O-MS)

气相色谱-嗅闻-质谱技术(Gas chromatography-olfactometry-mass spectrometer, GC-O-MS)是将气相色谱-质谱技术(GC-MS)与嗅闻技术(O)联合使用,可将气相色谱的高效分离能力与人类的嗅觉能力结合,从而将食品中挥发性物质的呈香特性的成分进行定性与定量的分析,对不同食品香气成分的研究都有贡献作用^[38]。曹蓓^[47]利用气相色谱-嗅闻-质谱技术对美味牛肝菌干品的风味成分进行分析鉴定,得到结果:在 53 种已定性的美味牛肝菌挥发性成分中,有 29 种化合物对其风味有贡献,贡献较大的主要有己醛(青草味)、甲基吡嗪(坚果香味)、3-甲硫基丙醛(焦香)、2,6-二甲基吡嗪(烤肉香)、1-辛烯-3-醇(蘑菇味)、2-戊基呋喃(豆香)、2-乙基-6-甲基吡嗪(烤香)、3-辛烯-2-酮(蘑菇味)、苯乙醛(花香)等化合物。

2.8 高效液相色谱技术 (HPLC)

高效液相色谱技术(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)是以液体为流动相高压泵入色谱柱,各成分在柱内被分离后,进入检测器进行检测,达到对样品的分析的一种技术,通常用来检测食品的呈味氨基酸。俞明君等^[39]建立了 HPLC 法测定食用菌中麦角甾醇含量方法,并通过建立的方法

对8种食用菌中麦角甾醇含量进行了测定,结果显示香菇麦角甾醇含量最高,可达2.128 mg/g;其次是杏鲍菇0.857 mg/g;猴头菇、金针菇、银耳、平菇、黑木耳的麦角甾醇含量在0.498~0.282 mg/g之间。殷朝敏等^[48]通过HS-SPME-GC-MS法及HPLC等方法对5种食用菌鲜品中的风味物质进行分析,HPLC法测定结果显示:5种食用菌中总游离氨基酸含量为2.72~3.65 mg/g,总呈味核苷酸含量为154.40~1013.60 μ g/g,不同品种间总游离氨基酸和呈味核苷酸含量差别较大。

对食品进行风味的分析,使用一种检测方法过于局限,故现在大部分研究都根据不同的需求和目的将上述检测方法科学联用,利用各项检测结果综合分析,科学评估,得出更加有意义的实验结果。

3 食用菌呈味物质的应用进展

食用菌在加工应用方面研究起步较晚,但随着我国食品加工业的迅速发展,食用菌在风味领域的应用越来越多,加之食用菌营养丰富,故其风味产品的开发常常兼顾健康保健与食用菌独特风味的发挥。

随着食品制作工艺的发展成熟,越来越多的食用菌进入到深加工领域中,食用菌饮料、食用菌饼干、食用菌面包、食用菌挂面等等层出不穷。目前市场上已销售的香菇保健饮料、灵芝保健饮料等,有增强免疫力、有助于恢复身体健康的保健功效,虽价格偏高但疗效明显^[49]。梁永海等^[50]将金针菇进行破碎、发酵,以金针菇为主要原料制备了具有金针菇特殊香气的金针菇发酵酒,酒香独特、营养丰富。王谦等^[51]用猴头菇发酵液复配药食同源的大枣、枸杞、麦芽等,制备了一种猴头菇发酵饮料,并进行果蝇实验,结果显示发酵复合物组果蝇的最高寿命和平均寿命及多糖含量均多于普通培养组。钟亚东等^[52]针对茯苓-山药米稀及猴头菇饼干进行了大鼠功能性消化不良的改善实验,证实了茯苓-山药米稀及猴头菇饼干两种新型健康功能产品可以缓解食欲不振、改善胃肠道功能,为新型食用菌功能食品的开发提供数据支持。何佳等^[53]研发了一种金针菇挂面,以面粉和金针菇为主要原料,制成的挂面赖氨酸、精氨酸、锌和硒的含量均高于普通挂面,有特殊菇香味,在提高面条口味的同时,长期食用还可以增强记忆力提高免疫力。王秋果^[54]对松茸挥发油提取副产物松茸提取液进行精深加工,研发了一款松茸风味雪糕,极大地保留了松茸的挥发性风味,奶香十足,细腻爽口。

4 结论与展望

食用菌具有独特的鲜香蘑菇风味,富含挥发性风味物质和非挥发性滋味成分。其中非挥发性滋味成分包括游离氨基酸、可溶性糖、呈味核苷酸等,为食用菌的鲜甜滋味做出主要贡献;挥发性风味成分主要包括1-辛醇、3-辛醇、3-辛酮、1-辛烯-3-醇等八碳化合物,除此之外,含硫化合物、醛类、酮类、酯类等化合物也影响着食用菌的风味。这些化合物为食用

菌提供蘑菇香、肉香、奶香等风味。另外,随着食品工业科技的发展,食用菌风味物质的检测方法也层出不穷。现有的感官评价、电子舌、电子鼻、气相色谱-质谱联用技术、气相色谱离子迁移谱联用技术、气相色谱-火焰离子化检测技术、气相色谱-嗅闻-质谱技术、高效液相色谱技术等方法利用不同原理对食用菌的不同风味物质进行定性定量检测,极大的发挥了食用菌的风味潜能,为食用菌风味物质的检测与评价提供科学有利的方法。

目前食用菌在初加工食品领域应用甚广,在风味食品中有一定的应用,但是对其呈香呈味物质的深入研究以及其风味物质在其它领域的应用还有一定的局限性,因此在食用菌风味产业的多元化应用方面有广阔的发展前景。通过对食用菌呈味物质种类及检测技术的进一步了解和探究,结合现代食用菌应用研究,将食用菌的风味潜能尽可能的发挥出来,利用食用菌特殊的蘑菇风味进行开拓、探究,提高经济效益、减少资源浪费、加强推广,是现代食用菌产业的主要目标。

参考文献

- [1] 刘颖.我国食用菌产业发展存在的问题及对策研究[D].北京:中国农业大学,2005. [LIU Ying. Research on the problems and countermeasures in the development of edible fungus industry in China[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.]
- [2] 庄海宁,张劲松,冯涛,等.我国食用菌保健食品的发展现状与政策建议[J].食用菌学报,2015,22(3):85-90. [ZHUANG Haining, ZHANG Jinsong, FENG Tao, et al. Development status and policy suggestions of edible fungus health food in China[J]. Journal of Edible Mycology, 2015, 22(3): 85-90.]
- [3] BORCHERS A T, KEEN C L, GERSHWIN M E. Mushrooms, tumors, and immunity: An update[J]. Exp Biol Med (Maywood), 2004, 229(5): 393-406.
- [4] 张璐,弓志青,王文亮,等.7种大宗食用菌的呈味物质分析及鲜味评价[J].食品科技,2017,42(3):274-278,283. [ZHANG Lu, GONG Zhiqing, WANG Wenliang, et al. Analysis of flavor substances and umami evaluation of seven bulk edible fungi[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(3): 274-278, 283.]
- [5] LUO D S, WU J H, MA Z, et al. Production of high sensory quality Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) by pulsed air-impingement jet drying (AID) technique[J]. Food Chemistry, 2021, 341(30): 128290.
- [6] KABASA N I, NAKALEMBE I. Fatty and amino acids composition of selected wild edible mushrooms of Bunyoro Sub-region, Uganda[J]. African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development, 2013, 13: 7225-7241.
- [7] MLECZEK M, SIWULSKI M, BUDKA A, et al. Toxicological risks and nutritional value of wild edible mushroom species - a half-century monitoring study[J]. Chemosphere, 2021, 263: 128095.
- [8] 温泉,王锡昌.食用菌风味成分的研究及应用进展[J].长江大学学报:自然版,2003(7):37. [WEN Quan, WANG Xichang. Research and application progress of flavor components of edible fungi[J]. Journal of Yangtze University: Nature Edition, 2003(7): 37.]
- [9] 段静怡,李自燕,李建,等.基于游离氨基酸的组分及特征比较四种食用菌与四种果蔬的营养与风味特征[J].菌物学报,

- 2020, 39(6): 1077–1089. [DUAN Jingyi, LI Ziyang, LI Jian, et al. Comparison of nutritional and flavor characteristics of four edible fungi and four fruits and vegetables based on the components and characteristics of free amino acids[J]. *Mycosystema*, 2020, 39(6): 1077–1089.]
- [10] 吉田博, 陶明勋. 三十一种菇类游离糖醇和有机酸的含量[J]. 中国食用菌, 1983(4): 12–14. [JI T B, TAO M X. Content of free sugar alcohols and organic acids in 31 mushrooms[J]. *Chinese Edible Fungi*, 1983(4): 12–14.]
- [11] 何灼, 杨荣华. 鲜味物质及其在水产调味品中的应用[J]. 中国调味品, 2005(4): 3–8, 37. [HE Qiong, YANG Ronghua. Umami substances and their application in aquatic condiments[J]. *China Condiments*, 2005(4): 3–8, 37.]
- [12] 陈发兴, 刘星辉, 陈立松. 果实有机酸代谢研究进展[J]. 果树学报, 2005, 22(5): 526–531. [CHEN Faxing, LIU Xinghui, CHEN Lisong. Research progress on organic acid metabolism in fruits[J]. *Journal of Fruit Science*, 2005, 22(5): 526–531.]
- [13] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析4种野生食用菌干品的挥发性香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174–180. [LI Xiaolin, CHEN Cheng, HUANG Yujia, et al. Analysis of volatile aroma components of four dried wild edible fungi by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass chromatography[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2015, 41(9): 174–180.]
- [14] NIE Y. Y. YU M J. ZHOU H Y, et al. Effect of boiling time on nutritional characteristics and antioxidant activities of *Lentinus edodes* and its broth[J]. *CyTA - Journal of Food*, 2020, 18(1): 543–550.
- [15] 王婷婷, 严明, 邓雅元, 等. 干燥对食用菌挥发性风味物质影响研究进展[J]. 科技创新导报, 2019, 16(33): 94–97. [WANG Tingting, YAN Ming, DENG Yayuan, et al. Research progress on the effect of drying on volatile flavor substances of edible fungi[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2019, 16(33): 94–97.]
- [16] PHAT C, MOON B, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. *Food Chemistry*, 2016, 192: 1068–1077.
- [17] 杨芳, 范成梦, 贾洪锋, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱对不同产地羊肚菌风味化合物的分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 207–213. [YANG Fang, FAN Chengmeng, JIA Hongfeng, et al. Analysis of morels flavor compounds of different origins based on gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(10): 207–213.]
- [18] YANG J H, LIN H C, MAU J L, et al. Volatile taste components of several commercial mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2001, 72(4): 465–471.
- [19] YAMAGUCHI S, YOSHIKAWA T, IKEDA S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some α -amino acid and 5'-nucleotides[J]. *Journal of Food Science*, 1991, 36(6): 846–849.
- [20] 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 Zhen, YANG Yan. Research progress on aromatic substances of edible fungi[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(5): 363–367.]
- [21] FANG J, LI C Q, KE L X, et al. Polysaccharides from edible fungi[J]. *Microbiology*, 2008, 28(2): 57–60.
- [22] LITCHFIELD J H. Morel mushroom mycelium as a food flavoring material[J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1967(9): 289–304.
- [23] 王文亮, 宋莎莎, 宋康, 等. 食用菌呈鲜呈味物质提取工艺研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(7): 237–240. [WANG Wenliang, SONG Shasha, SONG Kang, et al. Research progress on extraction process of edible fungi with umami flavor[J]. *Food Industry*, 2015, 36(7): 237–240.]
- [24] 刘汉灵, 黄月桂, 陆燕宁. 核酸酶提高酵母抽提物呈味核苷酸含量的应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2008(S1): 194–197. [LIU Hanling, HUANG Yuegui, LU Yanning. Application of nucleases to increase the content of flavored nucleotides in yeast extract[J]. *China Food Additives*, 2008(S1): 194–197.]
- [25] 邹耀洪. 香菇中 5'-核苷酸的高效液相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2005, 26(1): 196–198. [ZOU Yaohong. High performance liquid chromatography-mass spectrometry analysis of 5'-nucleotides in shiitake mushrooms[J]. *Food Science*, 2005, 26(1): 196–198.]
- [26] 山下市二. 香菇保鲜技术[J]. 国外农学: 国外食用菌, 1991(2): 20–21. [SHANXIA S E. Fresh-keeping technology of shiitake mushrooms[J]. *Foreign Agronomy: Foreign Edible Mushrooms*, 1991(2): 20–21.]
- [27] RENATA Z, WOJTASIAK O. Purity of (R)-(-)-octen-3-ol in the aroma of various species of edible mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2004, 86(1): 113–188.
- [28] MAU J L, ROBERT B, GREGORY R Z. 1-octen-3-ol in the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*[J]. *Food Sci*, 1992, 57(3): 704–706.
- [29] WASOWICZ E. Identification of the volatile flavor compounds in mushrooms *Agaricus bisporus*[J]. *Bulletin de Academic Polonaise des Sciences*, 1974, 22(3): 143–151.
- [30] 刘杨岷, 王林祥, 袁身淑, 等. 中国香菇风味成分的分离与鉴定[J]. 质谱学报, 1992, 13(1): 31–35. [LIU Yangmin, WANG Linxiang, YUAN Shenshu, et al. Separation and identification of flavor components of Chinese shiitake mushroom[J]. *Journal of Mass Spectrometry*, 1992, 13(1): 31–35.]
- [31] 邢增涛, 郭倩, 冯志勇, 等. 姬松茸中挥发性风味物质的 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2003(11): 789–791. [XING Zengtao, GUO Q, FENG Z Y, et al. GC-MS analysis of volatile flavor substances in *Agaricus blazei*[J]. *Chinese Medicinal Materials*, 2003(11): 789–791.]
- [32] GERONTI A, SPILIOTIS C, LIADAKIS G N et al. Effect of distillation process factors on ouzo flavor examined by sensory evaluation[J]. *Developments in Food Science*, 1998, 40: 219–226.
- [33] PEI F, YANG W J, MA N, et al. Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 72: 343–350.
- [34] PHAT C, MOON B, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system[J]. *Food Chemistry*, 2016, 192(1): 1068–1077.
- [35] LÍVIA M A S C, MAIARA A DE C S, THIAGO P S, et al. HS-SPME/GC-MS assisted analysis of volatile constituents in different strains of shiitake culinary-medicinal mushroom, *Lentinus edodes* (Agaricomycetes)[J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2019, 21(7): 693–702.
- [36] XUN W, WANG G Y, ZHANG Y J, et al. Analysis of flavor-related compounds in four edible wild mushroom soups[J]. *Microchemical Journal*, 2020, 159: 105548.
- [37] MAGGI F, PAPA R, CRISTALLI R, et al. Characterisation of the mushroom-like flavour of *Melittis melissophyllum* L. subsp. *melissophyllum* by headspace solid-phase microextraction (HS-

- SPME) coupled with gas chromatography (GC-FID) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)[J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(4): 983–992.
- [38] SONG H, LIU J. GC-O-MS technique and its applications in food flavor analysis[J]. *Food Research International*, 2018, 114: 187–198.
- [39] 俞明君, 聂远洋, 杨伟等. HPLC 法测定食用菌中的麦角甾醇含量[J]. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 2019, 47(5): 18–21.
- [YU Mingjun, NIE Yuanyang, YANG Wei, et al. Determination of ergosterol content in edible fungi by HPLC method[J]. *Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2019, 47(5): 18–21.]
- [40] FUJIOKA K, SHIMIZU N, MANOME Y, et al. Discrimination method of the volatiles from fresh mushrooms by an electronic nose using a trapping system and statistical standardization to reduce sensor value variation[J]. *Sensors*, 2013, 13(11): 15532–15548.
- [41] 邴芳玲, 冯涛, 杨焱, 等. 食用菌鲜味觉定性定量方法的电子舌研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(8): 317–321. [BING Fangling, FENG Tao, YANG Yan, et al. Electronic tongue study on qualitative and quantitative method of umami taste of edible fungi[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(8): 317–321.]
- [42] 兰蓉, 危晴, 马越, 等. 白灵菇风味成分的超临界 CO₂ 萃取研究及 GC-MS 分析[J]. *食品科技*, 2012, 37(3): 283–286. [LAN Rong, WEI Qing, MA Yue, et al. Study on supercritical CO₂ extraction and GC-MS analysis of flavor components of Bailing mushroom[J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(3): 283–286.]
- [43] 董浩然, 陆欢, 姜宁, 等. GC-IMS 分析不同菌龄香菇挥发性有机物的差异[J]. *菌物学报*, 2023, 42(6): 1330–1344. [DONG Haoran, LU Huan, JIANG Ning, et al. GC-IMS analysis of differences in volatile organic compounds of shiitake mushrooms of different ages[J]. *Mycosystema*, 2023, 42(6): 1330–1344.]
- [44] VERMA D K, SRIVASTAV P P. A paradigm of volatile aroma compounds in rice and their product with extraction and identification methods: A comprehensive review[J]. *Food Research International (Ottawa, ON)*, 2019, 130: 108924.
- [45] MAGGI F, PAPA R, CRISTALLI R, et al. Characterisation of the mushroom-like flavour of *Melittis melissophyllum* L. subsp. *melissophyllum* by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography (GC-FID) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)[J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(4): 983–992.
- [46] ROSARIA C, SELENIA D G, ELISA G, et al. Headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography as analytical methodology for the determination of volatiles in wild mushrooms and evaluation of modifications occurring during storage[J]. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2015, 2015: 951748.
- [47] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2013. [CAO Bei. Study on volatile flavor substances of delicious porcini mushroom[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2013.]
- [48] 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 Chaomin, FAN Xiuzhi, SHI Defang, et al. HS-SPME-GC-MS combined with HPLC to analyze flavor components in five edible fungi fresh products[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(3): 254–260.]
- [49] LILLIAN B, PAULA B, DANIELA M C, et al. Ferreira effects of conservation treatment and cooking on the chemical composition and antioxidant activity of portuguese wild edible mushrooms[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(12): 4781–4788.
- [50] 梁永海, 李凤林, 张丽丽, 等. 金针菇发酵酒生产工艺的探讨[J]. *食品研究与开发*, 2006(6): 89–91. [LIANG Yonghai, LI Fenglin, ZHANG Lili, et al. Study on the production technology of *Flammulina velutipes*(curt. fr.) fermented wine[J]. *Food Research and Development*, 2006(6): 89–91.]
- [51] 王谦, 冯东东, 黄紫飘, 等. 一种新型猴头发酵饮料的制备及其相关检测[J]. *食品科技*, 2017, 42(4): 101–104. [WANG Qian, FENG Dongdong, HUANG Zipiao, et al. Preparation and related detection of a new monkey head fermented beverage[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(4): 101–104.]
- [52] 钟亚东, 潘猛, 徐德昌, 等. 茯苓-山药复配米稀和猴头菇饼干对功能性消化不良大鼠的改善作用[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(22): 355–362. [ZHONG Yadong, PAN Meng, XU Dechang, et al. Improvement effect of poria-yam compound rice dilute and lion's mane biscuits on rats with functional dyspepsia[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(22): 355–362.]
- [53] 何佳, 赵启美, 赵顺才. 金针菇挂面的研制[J]. *食品科技*, 2004(9): 73–74, 83. [HE Jia, ZHAO Qimei, ZHAO Shuncai. Preparation of noodle of *Flammulina velutipes*[J]. *Food Science and Technology*, 2004(9): 73–74, 83.]
- [54] 王秋果. 野生松茸有效成分活性研究及风味产品的研制[D]. 成都: 成都大学, 2020. [WANG Qiuguo. Research on active ingredients of wild matsutake mushrooms and development of flavor products[D]. Chengdu: Chengdu University, 2020.]