

## 干制双孢蘑菇香气化合物分析及其对咸味感知的增强作用

王文倩, 高雅, 王子强, 章慧莺\*, 陈海涛, 王书奇  
(北京工商大学轻工科学技术学院 北京市食品风味化学重点实验室 北京 100048)

**摘要** 气味诱导的味觉增强作用被认为是提升低盐食品咸味感知的一种有效途径。本研究通过溶剂辅助蒸发萃取、气相色谱-质谱、气相色谱-嗅闻、香气提取物稀释分析、气味活度值计算等方法对干制双孢蘑菇中的香气化合物进行鉴定,使用气相色谱-嗅闻关联滋味分析对其中与咸味感知相关的化合物进行筛选,进一步通过成对比较检验、气味诱导咸感增强值计算等感官评价方法探究香气化合物对咸味感知的增强作用。结果表明,从干制双孢蘑菇中共检出 47 种香气化合物,其中气味活度值大于 1 的物质有 18 种,被认为是干制双孢蘑菇的关键香气化合物。结合气相色谱-嗅闻关联滋味分析结果,初步筛选得到干制双孢蘑菇关键香气成分中与咸味感知相关的化合物有 6 种。感官评价结果表明:一定浓度的对甲基苯酚、2-甲基四氢咪喃-3-酮、1-戊醇及 1-辛烯-3-醇可以显著增强 0.3%NaCl 溶液的咸味感知。本研究可为基于香气-味觉相互作用提升低盐食品咸味感知提供参考。

**关键词** 干制双孢蘑菇; 关键香气化合物; 气味诱导咸感增强; 气相色谱-嗅闻关联滋味分析; 气味活度值  
**文章编号** 1009-7848(2024)04-0315-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.04.030

近年来,高钠饮食已成为引起健康问题的重要原因之一,过量摄入钠盐会诱发高血压、中风、癌症等多种疾病,通过降低人群食盐摄入量来预防和控制慢性病的发生,在国际上已经得到广泛认可<sup>[1-2]</sup>。食盐在食品加工中发挥着重要作用,是形成加工食品风味品质和组织结构的重要成分。直接降低食盐用量必将对产品的感官品质造成不利影响,进而影响消费者对产品的喜好程度。如何在保持食品风味品质的前提下减少食盐用量,是食品工业亟需解决的问题。近年来,跨模态气味-味觉交互作用,即气味诱导的味觉增强作用被认为是提升低盐食品咸味感知的一种有效方法<sup>[3]</sup>。Syarifuddin 等<sup>[4]</sup>研究表明,培根气味能够有效增强 NaCl 水溶液的咸感强度。Lawrence 等<sup>[5]</sup>研究也表明,奶酪和沙丁鱼气味显著增强了咸味感知,而胡萝卜气味则不具有咸感增强效果。研究不同香气类型和香气成分对味觉感知的影响,对于改善低盐食品的风味品质具有重要意义。

双孢蘑菇是世界上消费量最大的食用菌之一,营养成分丰富,风味价值极高,常被认为是一种理想的“天然风味增强剂”。干制作为食用菌的

常见加工方式之一,不仅能提高双孢蘑菇的保藏性能,同时对于双孢蘑菇独特“咸香”的形成也具有重要作用。Misharina 等<sup>[6]</sup>采用气相色谱-质谱联用方法(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对干制后的双孢蘑菇样品进行分析,认为含有 8 个碳原子的不饱和醇、酮类物质形成样品“蘑菇香”的风味特征,含硫、含氮、含氧杂环类化合物则形成样品干制后不同于新鲜样品的独特风味。Pei 等<sup>[7]</sup>采用冷冻干燥及冷冻-微波真空联合干燥的方式对双孢蘑菇进行干制,GC-MS 和电子鼻分析表明不同干制方式的样品香气轮廓和挥发性组分都存在明显差异。这些研究仅对干制双孢蘑菇中挥发性化合物的组成做了初步研究,而干制双孢蘑菇中的关键香气成分及其与咸味感知的关系尚未见报道。

在香气分析中,通过 GC-MS、气相色谱-嗅闻(Gas chromatography-olfactometry, GC-O)、香气萃取物稀释分析(Aroma extract dilution analysis, AEDA)、气味活度值(Odor activity value, OAV)等方法对关键香气活性化合物进行分析,已得到广泛应用<sup>[8-10]</sup>。气相色谱-嗅闻关联滋味分析(Gas chromatography-olfactometry/associated taste, GC-O/AT)是一种新颖、高效且可选择与特定味觉感知相关香气物质的新方法,在 GC-O/AT 分析过程中,评价员对嗅闻时所感知到的香气物质进行滋

收稿日期: 2023-06-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(32001823)

第一作者: 王文倩,女,硕士生

通信作者: 章慧莺 E-mail: zhanghuiying@btbu.edu.cn

味属性(酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味)描述,采用频率检测法进行数据处理,当大于40%的感官评价员认为某香气具有同样的滋味属性时,则认为香气和味觉之间存在显著的相关性。该方法能够初步筛选与味觉感知相关的气味化合物,后续可通过感官评价进一步验证其味感增强特性<sup>[11-13]</sup>。

本研究通过溶剂辅助蒸发萃取(Solvent-assisted flavor extraction, SAFE)、气相色谱-质谱联用、气相色谱-嗅闻、气味活度值计算等方法鉴定干制双孢蘑菇中的关键香气化合物,使用气相色谱-嗅闻关联滋味分析对其中与咸味感知相关的香气化合物进行筛选,结合成对比较检验和气味诱导咸感增强值(Odor-induced saltiness enhancement, OISE)计算,进一步验证样品中香气物质对低盐溶液咸味感知的增强效果。研究结果旨在为我国低盐食品开发提供新的思路及数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

干制双孢蘑菇,河北省蔚县嘉福农产品商贸有限公司;纯净水,杭州娃哈哈集团有限公司;食盐,中国盐业集团有限公司;二氯甲烷、无水硫酸钠(均为分析纯),国药集团化学试剂有限公司;2-甲基-3-庚酮(色谱纯)、正构烷烃(C6~C26,色谱纯),美国Sigma-Aldrich公司;苯甲醇、1-丁醇、1-辛烯-3-醇、壬醛、糠醛、对甲基苯酚、戊酸、肉豆蔻酸异丙酯、 $\gamma$ -丁内酯、呋喃酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮、3-羟基-2-丁酮、2-乙酰基吡咯、苯酚(均为色谱纯),北京百灵威科技有限公司;苯甲醛、1-戊醇、己酸甲酯、乙酸(均为色谱纯),北京伊诺凯科技有限公司;2,3-丁二醇、2-甲基-1-丙醇、3-辛醇、苯乙醇(均为色谱纯),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;2,4-二叔丁基苯酚、2-乙基-1-己醇(均为色谱纯),北京华威锐科化工有限公司;2-甲基丙酸、3-甲基-1-丁醇(均为色谱纯),北京迈瑞达科技有限公司;糠醛、对甲基苯酚、2-甲基四氢呋喃-3-酮、1-戊醇、苯甲醛、1-辛烯-3-醇(均为食品级),上海美馨化学科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

TRACE 1310/ISQ 气相色谱-质谱联用仪,美

国 Thermo Fisher Scientific 公司;ODP3 嗅闻检测器,德国 Gerstel 公司;SL-N 电子天平,上海民桥精密科学仪器有限公司;BG-150 高速多功能粉碎机,杭州拜杰科技有限公司;溶剂辅助蒸发萃取装置,莘县京兴玻璃器皿有限公司;垂直振荡器,北京国环高科自动化技术研究院;SHB-III 循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司;DLSB-5-30 低温冷却循环泵,上海百典仪器设备有限公司;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;DKB-501A 超级恒温水槽,上海森信实验仪器有限公司;XDS5 复合涡轮分子泵,英国 Edwards 公司;B-012701-10 韦氏分馏柱,上海禾气玻璃仪器有限公司;BF2000 氮气吹干仪,北京八方世纪科技有限公司。

### 1.3 方法

1.3.1 溶剂辅助蒸发萃取 将干制双孢蘑菇(10 g)研磨成粉,过45目筛,加入100  $\mu$ L 2-甲基-3-庚酮(81.60 mg/L,溶于二氯甲烷中)作为内标,与100 mL 二氯甲烷混合。将混合物置于垂直振荡器中,在室温下振荡10 min。共使用300 mL 二氯甲烷等量萃取3次,萃取液合并后进行溶剂辅助蒸发处理。溶剂辅助蒸发装置及操作参照 Gao 等<sup>[12]</sup>的方法,保持SAFE蒸馏头夹层循环水温度45  $^{\circ}$ C,系统真空度 $10^{-5}$  Pa。在1 h内将萃取液由滴液漏斗缓慢均匀滴入蒸馏瓶中,滴加结束后继续蒸发30 min,使挥发性化合物完全萃取。萃取结束后,在收集瓶中加入无水硫酸钠,静置过夜。使用韦氏蒸馏柱将馏出液浓缩至1.50 mL,氮吹至1.00 mL,置于-40  $^{\circ}$ C冰箱中冷冻保存,待进一步分析。

1.3.2 气相色谱-嗅闻分析 气相色谱-嗅闻系统由TRACE 1310气相色谱仪和ODP3嗅闻检测器组成。色谱柱为TG-WAX色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu$ m);初始柱温40  $^{\circ}$ C,保持2 min,以6  $^{\circ}$ C/min升温至120  $^{\circ}$ C,保持1 min,随后以3  $^{\circ}$ C/min升温至180  $^{\circ}$ C,保持1 min,最终以6  $^{\circ}$ C/min升温至220  $^{\circ}$ C,保持6 min;进样口温度250  $^{\circ}$ C;进样量3  $\mu$ L,不分流进样;载气为氦气,流速1.60 mL/min;色谱柱流出物进入气相检测器和嗅闻端口的比例为1:1,嗅觉检测器温度250  $^{\circ}$ C,在嗅觉端口通入湿润空气,以避免评价人员鼻黏膜干燥。

1.3.3 气相色谱-嗅闻/关联滋味分析 气相色谱

谱-嗅闻/关联滋味分析由10名经验丰富的感官评价小组成员(4名男性和6名女性,年龄在22~25岁之间),在正式试验前,评价小组成员接受了GC-O/AT程序的培训。分析过程分为2个阶段:阶段1为常规GC-O分析,评价员采用时间强度法,记录嗅闻到的香气的气味特征、保留时间和香气强度;在阶段2中,评价员按照滋味属性(酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味)描述嗅闻到的香气物质。使用检测频率(Detection frequency, DF)表示特定香气化合物的相关滋味属性,即在嗅闻到该香气化合物的感官人员中,描述其为某滋味的感官人员所占的比例。其中,如果某滋味属性的DF%最高,则该滋味为主要相关滋味,剩余的滋味属性为其它相关滋味。

**1.3.4 香气萃取物稀释分析** 香气萃取物稀释分析由3名经验丰富的感官评价小组成员进行,用二氯甲烷将香气萃取物按照体积比1:2<sup>n</sup>(n=1~11)稀释,每次稀释后的样品分别进行GC-O分析,对于未稀释样品,每名评价员每个样品重复嗅闻3次,对于稀释样品,每名评价员每个样品嗅闻1次。嗅闻条件同1.3.2节所述。

**1.3.5 气相色谱-质谱分析** 色谱条件:TG-WAX色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);柱温箱升温程序同1.3.2节所述;载气(He)流速1.00 mL/min;进样口温度250℃;分流比为20:1;进样体积1 μL。

质谱条件:EI电离源,电子能量70 eV,质量扫描范围45~450 *m/z*,离子源温度250℃,传输线温度230℃,溶剂延迟时间5 min。

**定性分析:**通过仪器系统自带的Xcalibur软件进行分析,采用NIST14数据库检索结果进行初步定性。在相同色谱条件下,以C6~C26正构烷烃的混合物为标准品,计算比较挥发性化合物的保留指数(Retention index, RI)进行进一步定性。部分香气化合物通过和标准品保留指数、碎片离子及香气特征对比进行准确定性。

**定量分析:**采用标准曲线法进行定量分析,2-甲基-3-庚酮(81.60 mg/L)作为内标,加入到一系列不同质量浓度的香气物质溶液中,以标准品与内标物的峰面积比为横坐标*X*,浓度比为纵坐标*Y*得到标准曲线方程。将目标组分与内标物的峰面积比代入标准曲线方程,计算得到香气化合物

浓度。试验重复3次。

**1.3.6 气味活性值 OAV** 利用标准曲线定量方法获得的香气成分质量浓度除以香气成分的阈值来计算。计算公式如下:

$$OAV = \frac{C}{T} \quad (1)$$

式中,*C*——某种香气成分的质量浓度,μg/kg;*T*——该香气成分的阈值,μg/kg。

### 1.3.7 感官评价

**1.3.7.1 感官人员培训** 感官评价小组由12名评价员组成,包括5名男性,7名女性,年龄范围为23~29岁。研究方案经北京工商大学伦理委员会批准(伦审2023第67号),所有小组成员在参加试验之前都提供了书面知情同意书。正式试验前,小组成员进行了差异测试的培训:(1)刺激强度区分测试。将不同质量分数的NaCl溶液(0.3%, 0.5%, 0.8%)提供给小组成员,要求小组成员啜饮10 s后,按照咸味强度从弱到强进行排序;(2)香气化合物影响咸味感知针对性培训:2,5-二甲基吡嗪(1 708 μg/L)已被报道具有增强咸味感知的作用,将其用于本试验研究中进行小组成员培训。配制加入2,5-二甲基吡嗪的0.3%NaCl溶液和未加入香气化合物的0.3%NaCl溶液各10 mL,啜饮10 s后,由小组成员在戴鼻夹和不戴鼻夹2种方式下选择咸感更强的一种样品<sup>[14]</sup>。

**1.3.7.2 成对比较法** 使用成对比较法(ISO 5495:2005, GB/T 12310-2012)比较含和不含香气物质的NaCl溶液之间的咸感强度差异,试验重复2次。成对比较法是指以随机顺序同时出示2个样品给评价员,要求评价员对这2个样品进行比较,判断2个样品间是否存在某种差异(差异识别)及其差异方向(如某些特征强度的顺序)的一种评定方法。参照Gao等<sup>[12]</sup>的方法通过三角检验法确定香气化合物最小检测浓度(Minimum detectable concentration, MDC),每种香气物质在0.3%NaCl溶液中以MDC、0.1 MDC和10 MDC共3种浓度制备。使用二项式检验对成对比较试验结果进行统计分析( $P < 0.05$ ,最小正确数为17; $P < 0.01$ ,最小正确数为19),观察样本之间是否存在显著性差异<sup>[15-16]</sup>。

**1.3.7.3 OISE值计算** 感官评价小组由12名评

价员组成(5名男性和7名女性,年龄范围为23~29岁),添加香气物质到0.3%NaCl溶液中,以探究不同香气物质增强咸味感知的能力。所有样品随机编码。在评估期间,要求评价员将10 mL样品倒入嘴内并啜饮10 s,随后吐出,将咸感强度与0.3%NaCl、0.8%NaCl溶液进行比较(0.3%NaCl溶液定义为5分,0.8%NaCl溶液定义为10分),采用10 cm标度法对样品咸感强度进行打分。每个样品间隔20~30 s。试验重复2次。

根据感官结果计算 OISE,该值表示含有香气的 NaCl 溶液的咸味感知强度与仅含有等量 NaCl 溶液的咸味感知强度之间的差异<sup>[17-18]</sup>。OISE 计算公式如下:

$$\text{OISE} = S_i - S_0 \quad (2)$$

式中, $S_i$ ——含有某种香气物质的 NaCl 溶液的咸味感知强度; $S_0$ ——不含有香气物质的 NaCl 溶液的咸味感知强度。

#### 1.4 数据处理

采用 SPSS 26.0 进行方差分析, $P < 0.05$  时,存在显著性差异;采用 Origin Pro 2021 进行图形绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 基于 GC/O-AT 筛选干制双孢蘑菇中与咸味感知相关的香气化合物

通过 GC-O 和 GC-O/AT 分析干制双孢蘑菇中与味觉感知相关的香气化合物,结果如表 1 所示。由表 1 可知,从干制双孢蘑菇中共鉴定出 47 种香气化合物,其中与咸味感知相关的有 12 种,与甜味感知相关的有 19 种,与酸味感知相关的有 7 种,与鲜味感知相关的有 3 种,与苦味感知相关的有 6 种。其香气描述主要是甜香、烤香、油脂香、青香、刺激性气味,这与 Chun 等<sup>[19]</sup>构建的双孢蘑菇风味感官词典中干制双孢蘑菇的主要香气描述词“甜香、烤香、肉味、霉味、泥土气味、苦味”等具有一致性。

12 种与咸味感知相关的香气物质中,包括酮类、醇类各 4 种,醛类 2 种以及酯类、酚类各 1 种。其中,对甲基苯酚的咸味描述频率最高,80%的感官评价人员将其描述为咸味,认为其具有显著的“烟熏”气味。超过 60%的评价员认为 1-戊烯-3-

酮、1-辛烯-3-酮、1-戊醇、3-辛醇、1-辛烯-3-醇与咸味感知具有显著的相关性。这些化合物是蘑菇中的典型香气物质<sup>[20-23]</sup>,常被描述为“蘑菇味,油脂香”。糠醛具有“烤土豆”香气,Guichard 等<sup>[24]</sup>研究表明,该类香气与咸味感知存在显著的正相关性。2-甲基四氢呋喃-3-酮被称为面包酮,具有“坚果香、烤香”香气,50%的评价员认为其与咸味感知有关。此外,2,3-丁二醇(坚果香、奶香)、3-辛酮(油脂香、青香)、苯甲醛(杏仁香)和己酸甲酯(果香、油脂香)也被认为与咸味相关。在 1-辛烯-3-酮、2-甲基四氢呋喃-3-酮、3-辛酮、3-辛醇、1-辛烯-3-醇和苯甲醛的滋味属性描述中,超过 30%感官评价员认为其与鲜味相关。研究表明,咸味与鲜味具有相互协同作用,这可能是部分评价员将这些物质描述为鲜味的原因<sup>[25]</sup>。

与甜味相关的化合物数量占干制双孢蘑菇所鉴定香气物质数量的比重最大,包括 8 种醇类、4 种酯类、2 种酮类、3 种醛类和 2 种酸类物质。其香气描述大致可分为 4 类,包括“果香”、“奶香”、“花香”和“焦糖香”。醇类物质中的 1-丁醇、3-甲基-1-丁醇、1-己醇、1-十一醇,酯类物质中的乙酸苜酯、水杨酸-2-乙基己基酯,醛类物质中的壬醛和酸类物质中的的乙酰丙酸均具有显著的果香特征。1-十二醇、 $\gamma$ -丁内酯、肉豆蔻酸异丙酯、3-羟基-2-丁酮、顺式-4-庚烯醛、2-甲基戊酸是样品中被认为与甜味感知相关的具有显著奶香的成分,其香气描述大都是“奶香”、“奶油香”和“油脂香”香气。2-乙基-1-己醇、苯甲醇、苯乙醇、苯乙醛香气则通常被描述为“花香”和“蜂蜜”香气。呋喃酮则具有典型的“焦糖香”。由于这些香气类型与甜味感知存在极高的一致性,因此通常被描述为“甜味”。

在与酸味感知相关的化合物中,100%的评价员将乙酸描述为酸,认为它有明显的刺激性酸味。此外,大部分评价员将 2-甲基丙酸、3-甲基丁酸、戊酸、癸酸、棕榈酸描述为“酸”、“酸臭”或“刺激性”气味。

在与鲜味相关的化合物中,3-甲基丁醛、2,3-戊二酮、羟基丙酮具有“坚果、奶香”等香气特征。Kitajima 等<sup>[26]</sup>研究表明,3-甲基丁醛化合物具有较好的增强鲜味感知作用。

表1 基于气相色谱-嗅闻关联滋味和香气萃取物稀释法分析干制双孢蘑菇中的香气化合物  
Table 1 Analysis of aroma compounds in dried *Agaricus bisporus* by gas chromatography-olfactometry-associated taste and aroma extract dilution analysis

序号	分类	化合物	滋味描述	香气描述	RI <sub>1</sub>	RI <sub>2</sub>	FD	鉴定方法
与咸味相关的香气化合物								
1	酮类	1-戊烯-3-酮	咸 60% 苦 40%	刺激性气味	1 057	1 051	8	RI/MS/O
2		2-甲基四氢呋喃-3-酮	咸 50% 鲜 30% 酸 10% 甜 10%	坚果香、烤香	1 268	1 270	32	RI/MS/O/S
3		1-辛烯-3-酮	咸 60% 鲜 40%	蘑菇味、油脂香	1 285	1 285	8	RI/MS/O
4		3-辛酮	咸 40% 鲜 40% 甜 20%	油脂香、青香	1 240	1 238	4	RI/MS/O
5	醇类	1-戊醇	咸 60% 鲜 20% 苦 20%	辛辣气味、青香	1 248	1 250	32	RI/MS/O/S
6		3-辛醇	咸 60% 鲜 30% 甜 10%	蘑菇味、油脂香	1 384	1 387	16	RI/MS/O/S
7		1-辛烯-3-醇	咸 60% 鲜 30% 甜 10%	蘑菇味、油脂香	1 445	1 436	32	RI/MS/O/S
8		2,3-丁二醇	咸 50% 甜 40% 甜 10%	坚果香、奶香	1 542	1 536	128	RI/MS/O/S
9	醛类	糠醛	咸 60% 苦 20% 鲜 20%	烤土豆香气	1 460	1 458	256	RI/MS/O/S
10		苯甲醛	咸 40% 苦 30% 鲜 30%	杏仁香	1 511	1 516	256	RI/MS/O/S
11	酯类	己酸甲酯	咸 40% 酸 30% 甜 30%	果香、油脂香	1 176	1 184	256	RI/MS/O/S
12	酚类	对甲基苯酚	咸 80% 甜 20%	烟熏味、刺激性气味	2 078	2 071	512	RI/MS/O/S
与甜味相关的香气化合物								
1	醇类	1-丁醇	甜 60% 鲜 40%	酒香、果香	1 148	1 143	128	RI/MS/O/S
2		3-甲基-1-丁醇	甜 60% 苦 20% 咸 20%	果香、刺激性气味	1 203	1 207	128	RI/MS/O/S
3		1-己醇	甜 50% 鲜 50%	果香、青香	1 357	1 353	8	RI/MS/O
4		2-乙基-1-己醇	甜 50% 鲜 30% 苦 20%	花香、甜香	1 483	1 489	32	RI/MS/O/S
5		1-十一醇	甜 60% 咸 20% 苦 10% 酸 10%	果香、青香	-	1 814	4	RI/MS/O
6		苯甲醇	甜 50% 咸 30% 苦 20%	花香	1 866	1 868	1024	RI/MS/O/S
7		苯乙醇	甜 70% 咸 30%	蜂蜜香、玫瑰香	1 912	1 902	128	RI/MS/O/S
8		1-十二醇	甜 60% 苦 30% 咸 10%	油脂香、奶香	1 977	1 966	4	RI/MS/O
9	酯类	$\gamma$ -丁内酯	甜 50% 苦 25% 咸 25%	奶香	1 607	1 618	128	RI/MS/O/S
10		乙酸苄酯	甜 60% 苦 40%	果香	1 711	1 722	8	RI/MS/O
11		肉豆蔻酸异丙酯	甜 70% 咸 30%	奶油香、甜香	2 037	2 033	512	RI/MS/O/S
12		水杨酸-2-乙基己酯	甜 80% 鲜 10% 咸 10%	果香、甜香	-	2 282	8	RI/MS/O

(续表 1)

序号	分类	化合物	滋味描述	香气描述	RI <sub>1</sub>	RI <sub>2</sub>	FD	鉴定方法
13	酮类	3-羟基-2-丁酮	甜 70% 咸 30%	奶香、油腻味	1 280	1 279	1 024	RI/MS/O/S
14		呋喃酮	甜 80% 咸 20%	焦糖香	2 024	2 026	256	RI/MS/O/S
15	醛类	顺式-4-庚烯醛	甜 60% 咸 40%	奶油香、青香	1 236	1 244	8	RI/MS/O
16		壬醛	甜 70% 咸 30%	果香、油脂香	1 390	1 391	32	RI/MS/O/S
17		苯乙醛	甜 80% 咸 20%	蜂蜜香	1 648	1 639	4	RI/MS/O
18	酸类	2-甲基戊酸	甜 50% 酸 25% 咸 25%	奶香	1 746	1 740	8	RI/MS/O
19		乙酰丙酸	甜 60% 苦 40%	果香	2 325	2 340	8	RI/MS/O
与酸味相关的香气化合物								
1	酸类	乙酸	酸 100%	刺激性气味、醋味	1 448	1 444	256	RI/MS/O/S
2		2-甲基丙酸	酸 60% 苦 30% 咸 10%	酸臭味、刺激性气味	1 563	1 588	128	RI/MS/O/S
3		3-甲基丁酸	酸 60% 苦 30% 甜 10%	酸臭味、刺激性气味	1 667	1 676	8	RI/MS/O
4		戊酸	酸 80% 苦 20%	酸味、刺激性气味	1 720	1 725	512	RI/MS/O/S
5		庚酸	酸 30% 苦 25% 甜 25% 鲜 20%	酸味	1 915	1 907	8	RI/MS/O
6		癸酸	酸 40% 苦 40% 甜 20%	刺激性气味、酸味	2 264	2 251	8	RI/MS/O
7		棕榈酸	酸 45% 苦 35% 甜 20%	刺激性气味	2 857	-	8	RI/MS/O
与鲜味相关的香气化合物								
1	醛类	3-甲基丁醛	鲜 50% 咸 30% 酸 20%	坚果香	941	-	4	RI/MS/O
2	酮类	2,3-戊二酮	鲜 40% 咸 40% 甜 20%	坚果香、奶香	1 093	1 094	8	RI/MS/O
3		羟基丙酮	鲜 60% 咸 20% 苦 20%	青香、奶香	1 307	1 312	8	RI/MS/O
与苦味相关的香气化合物								
1	醛类	己醛	苦 50% 甜 30% 咸 20%	青香、油脂香	1 097	1 077	8	RI/MS/O
2	酚类	苯酚	苦 60% 鲜 40%	皮质味、生青味	1 992	1 995	256	RI/MS/O/S
3		2,4-二叔丁基苯酚	苦 50% 甜 40% 鲜 10%	焦糊味、药味	2 318	2 309	512	RI/MS/O/S
4	酸类	苯甲酸	苦 40% 酸 30% 鲜 30%	辛辣味、焦苦味	2 428	2 438	4	RI/MS/O
5	醇类	2-甲基-1-丙醇	苦 70% 甜 30%	可可味、青香	1 086	1 089	16	RI/MS/O/S
6	其它	2-乙酰基吡咯	苦 60% 甜 40%	可可味、烤香	1 949	1 959	256	RI/MS/O/S

注:RI<sub>1</sub>为化合物在NIST谱库文献中的保留指数;RI<sub>2</sub>是以C6-C26正构烷烃为标准品在TC-WAX色谱柱上计算得到的保留指数;FD(Flavor dilution)表示香气稀释因子。

与苦味相关的香气物质有6种,包括己醛、苯酚、2,4-二叔丁基苯酚、苯甲酸、2-甲基-1-丙醇和2-乙酰基吡咯。这些化合物按其香气类型可大致分为“生青味”“药味”“焦苦味”及“可可味”4类。Caporale等<sup>[27]</sup>研究表明,具有生青味的化合物可以显著增强橄榄油中的苦味感知。

## 2.2 干制双孢蘑菇中关键香气成分分析

采用GC-O、AEDA、GC-MS分析干制双孢蘑菇中的香气物质,结果如表1所示。由表1可以看出,通过AEDA分析,结合GC-MS鉴定结果,干制双孢蘑菇中香气稀释因子(Flavor dilution, FD)≥16的香气物质有26种,包括醇类10种,醛类3种,酚类3种,酸类3种,酯类3种,酮类3种以及其它1种。

采用标准曲线法分别对AEDA结果中FD≥16的化合物进行定量分析,定量结果如表2所示。从表2可以看出,样品中含量最高的化合物是乙酸,其含量高达59 779.95 μg/kg。苯甲醇的含量仅次于乙酸,是干制双孢蘑菇的重要香气物质,这与王霆等<sup>[28]</sup>研究具有一致性。γ-丁内酯、2,3-丁二醇、2-甲基四氢呋喃-3-酮、呋喃酮、苯乙醇、2,4-二叔丁基苯酚等香气物质的含量较高。与其它干制双孢蘑菇香气成分研究文献对比发现,样品香气成分中并未发现吡嗪类化合物,这可能与干制双孢蘑菇的加工工艺有关,研究表明,较高温度有利于吡嗪类物质的生成,而低温干制或自然风干的样品则通常难以检出吡嗪类物质。此外,(E)-2-辛烯-1-醇、(E)-2-辛烯醛、辛酸甲酯、1-辛醇

表2 干制双孢蘑菇关键香气物质含量及香气活度值

Table 2 Concentration and odor activity values of key aroma compounds in dried *Agaricus bisporus*

序号	化合物种类	名称	含量/μg·kg <sup>-1</sup>	阈值/μg·kg <sup>-1</sup>	香气活度值
1	醇类	苯甲醇	34 913.39 ± 5 083.18	2 550	13.69
2		2-甲基-1-丙醇	179.61 ± 29.57	33	5.44
3		1-丁醇	182.21 ± 12.30	150	1.21
4		苯乙醇	1 492.66 ± 89.20	15	99.51
5		2,3-丁二醇	4 792.90 ± 489.60	20 000	0.24
6		2-乙基-1-己醇	177.04 ± 30.23	400	0.44
7		3-辛醇	1.03 ± 0.37	18	0.06
8		1-戊醇	340.52 ± 29.32	100	3.41
9		3-甲基-1-丁醇	308.95 ± 7.42	100	3.09
10		1-辛烯-3-醇	412.35 ± 79.80	1	412.35
1	醛类	壬醛	169.47 ± 16.48	2.6	65.18
2		苯甲醛	699.75 ± 22.68	180	3.89
3		糠醛	22.24 ± 2.80	8	2.78
1	酚类	苯酚	44.50 ± 1.68	17.2	2.59
2		对甲基苯酚	69.14 ± 13.49	2.7	25.61
3		2,4-二叔丁基苯酚	1 308.76 ± 90.65	500	2.62
1	酸类	乙酸	59 779.95 ± 7 289.91	500	119.56
2		戊酸	662.64 ± 112.73	25	26.51
3		2-甲基丙酸	2.34 ± 0.3	190	0.01
1	酯类	肉豆蔻酸异丙酯	47.74 ± 11.26	-	-
2		γ-丁内酯	13 764.19 ± 2 104.85	1 000	13.76
3		己酸甲酯	3.55 ± 0.60	10	0.35
1	酮类	呋喃酮	2 915.65 ± 408.97	26	112.14
2		2-甲基四氢呋喃-3-酮	3 931.45 ± 185.86	40	98.29
3		3-羟基-2-丁酮	249.95 ± 27.39	8 800	0.03
1	其它	2-乙酰基吡咯	783.74 ± 70.66	2 000	0.39

注:“-”表示未找到该物质在文献中的阈值。

等蘑菇中通常存在的香气物质也未被检出,这可能与干制加工过程中挥发性化合物受热降解等因素有关<sup>[29]</sup>。

为进一步确定干制双孢蘑菇中的关键香气化合物,在 AEDA 分析与定量分析的基础上,通过定量数据结合气味阈值计算化合物的 OAV,结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,在 26 种干制双孢蘑菇香气物质中,共检出 18 种化合物的浓度大于其气味阈值。其中 OAV 最高的是 1-辛烯-3-醇,其次为乙酸、呋喃酮、苯乙醇、壬醛、戊酸、对甲基苯酚、 $\gamma$ -丁内酯和苯甲醇。这些化合物共同构成了干制双孢蘑菇独特的香气。1-辛烯-3-醇又称“蘑菇醇”,具有强烈的“蘑菇香”,是干制双孢蘑菇特殊风味的重要贡献组分<sup>[30]</sup>。壬醛具有“果香、油脂香”的气味特征,对甲基苯酚则具有显著的烟熏味,由于 OAV 是由香气物质的含量和阈值共同决定的,虽然这些香气成分在样品中检出的含量不高,但其具有极低的阈值,因此它们的 OAV 较高,是构成干制双孢蘑菇整体香气的重要组成部分,赋予干制双孢蘑菇令人愉悦的香气。

### 2.3 香气化合物对 NaCl 溶液咸味感知的增强作用

综合 GC-O/AT 与 OAV 分析结果,在 OAV>1 的关键香气化合物中,与咸味感知存在相关性的化合物共有 6 种,包括糠醛、对甲基苯酚、2-甲基四氢呋喃-3-酮、1-戊醇、苯甲醛和 1-辛烯-3-醇,这些化合物可能是构成干制双孢蘑菇咸香属性的主要化合物。为确定香气化合物增强咸味感知的效果,进一步通过感官研究进行验证。

香气化合物种类、浓度如表 3 所示。从表 3 的成对比较检验结果可以看出,对甲基苯酚、2-甲基四氢呋喃-3-酮、1-戊醇和 1-辛烯-3-醇在较低质量浓度下可以显著增强 0.3%NaCl 溶液的咸味强度。当对甲基苯酚的质量浓度为 2  $\mu\text{g/L}$  时,在不戴鼻夹的情况下,添加了香气物质的 0.3%NaCl 溶液咸味感知强度显著高于没有添加香气物质的 NaCl 溶液( $P<0.01$ ),由此可见将 2  $\mu\text{g/L}$  的对甲基苯酚添加到低盐溶液(0.3%NaCl)中可以显著增强低盐溶液的咸味感知。这与 Lopez 等<sup>[17]</sup>研究发现对甲基苯酚可以提高低钠鸡汤的咸度感知具有一致性。

1-辛烯-3-醇作为典型的具有蘑菇特征香气的物质,当其添加量为 10  $\mu\text{g/L}$  时,0.3%NaCl 溶液的咸味感知显著增强( $P<0.05$ )。Zhou 等<sup>[31]</sup>在分析酱油中与咸味感知相关的关键香气物质时也对该物质进行感官验证,表明该物质可以显著增强 NaCl 溶液的咸感强度。当香气物质与味觉感知相一致时,通过添加该类香气物质可以实现味觉感知的增强。由于“辛辣气味”、“坚果香”等气味与咸味具有一致性,因此带有“辛辣气味”的 1-戊醇和“坚果香”的 2-甲基四氢呋喃-3-酮在一定浓度下可以达到增强咸味感知的效果。如表 3 所示,添加 5  $\mu\text{g/L}$  两种香气物质的低盐溶液,在不戴鼻夹的条件下咸味感知显著增强( $P<0.05$ )。香气成分通过鼻前和鼻后 2 种途径被人体感知,当气味分子通过鼻前途径被感知时,被称为鼻前嗅觉。当香气物质通过口腔进入后鼻腔和嗅觉受体结合时,则被称为鼻后嗅觉。一般情况下,香气的鼻后阈值低于鼻前阈值。因此,当这些气味物质通过鼻后途径被人体感知时,可以在较低浓度下实现增强咸味感知的效果。此外,在 GC-O/AT 中,糠醛和苯甲醛都被认为与咸味有关,然而感官验证结果表明它们无法改善低盐溶液咸味感知强度。这表明通过 GC-O/AT 可以选择样品中与相应滋味感知相关的化合物,然而并不是与滋味感知相关的香气物质都能引起相应滋味感知的增强,仍然需要进行感官验证,从而进一步分析该香气物质实际诱导滋味感知增强的能力。

为进一步验证香气物质增强咸味感知的能力,通过计算香气物质的 OISE 值进行进一步评估。在该组感官评价试验中,12 位评价员分别对添加香气物质的 0.3%NaCl 溶液以及未添加香气物质 0.3%NaCl 溶液进行咸味感知强度打分,通过前者和后者的差值计算每种香气物质的 OISE 值,结果如图 1 所示。从图 1 可以看出,对甲基苯酚、1-辛烯-3-醇、2-甲基四氢呋喃-3-酮和 1-戊醇均可以显著增强 0.3%NaCl 溶液的咸味感知。不同香气化合物增强咸感的能力不尽相同,其中,对甲基苯酚对于咸感增强的效果最为显著。因此,在对具有咸感增强作用的香气化合物筛选过程中,香气类型和气味浓度均是需要考虑的重要因素。

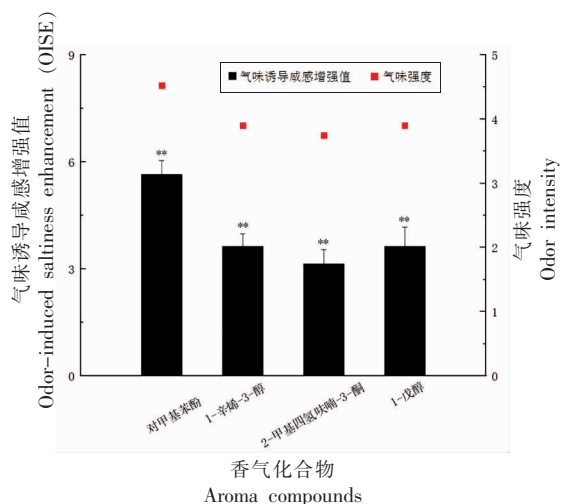


表 3 添加和不添加香气成分的 NaCl 溶液的咸味感知感官评价(成对比较法)

Table 3 Sensory assessment of saltiness perception in NaCl solution with and without odorants (paired comparison test)

香气化合物	香气化合物 物质浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	不戴鼻夹评估次数( $n=24$ )		显著性	戴鼻夹评估次数( $n=24$ )		显著性
		有香气化 合物盐溶液	无香气化 合物盐溶液		有香气化 合物盐溶液	无香气化 合物盐溶液	
糠醛	0.035	12	12	NS	14	10	NS
	0.35	13	12	NS	12	12	NS
	3.5	11	13	NS	14	10	NS
对甲基苯酚	0.02	11	13	NS	12	12	NS
	0.2	16	8	NS	6	18	*
	2	20	4	**	11	13	NS
2-甲基四氢呋喃-3-酮	0.05	12	12	NS	13	11	NS
	0.5	13	11	NS	13	11	NS
	5	17	7	*	13	11	NS
1-戊醇	0.05	15	9	NS	12	12	NS
	0.5	11	13	NS	14	10	NS
	5	18	6	*	16	8	NS
苯甲醛	0.015	14	10	NS	11	13	NS
	0.15	14	10	NS	12	12	NS
	1.5	15	9	NS	13	11	NS
1-辛烯-3-醇	0.1	11	13	NS	11	13	NS
	1	13	11	NS	11	13	NS
	10	17	7	*	18	6	*

注：“NS”表示样品间无显著差异， $P>0.05$  ( $n<17$ )；“\*”表示样品间存在显著差异， $P\leq 0.05$  ( $n\geq 17$ )；“\*\*”表示样品间存在极显著差异， $P\leq 0.01$  ( $n\geq 19$ )。



注：“\*\*\*”表示平均咸感强度显著高于参考值(0.3%NaCl溶液)， $P<0.01$ ；误差棒表示平均值的标准误差。

图 1 添加香气化合物的 0.3%NaCl 溶液的  
气味诱导咸感增强均值

Fig.1 Mean value of odor-induced saltiness enhancement (OISE) in 0.3% NaCl solution with aroma compounds

### 3 结论

通过溶剂辅助蒸发萃取、气相色谱-质谱、气相色谱-嗅闻、香气萃取物稀释分析、气味活度值等对干制双孢蘑菇关键香气物质进行分析，共鉴定出 47 种香气物质，其中 OAV 大于 1 的有 18 种，被认为是干制双孢蘑菇中的关键香气化合物。结合气相色谱-嗅闻关联滋味分析结果初步筛选得到干制双孢蘑菇关键香气成分中与咸味感知相关的化合物 6 种。其中一定质量浓度的对甲基苯酚、2-甲基四氢呋喃-3-酮、1-戊醇及 1-辛烯-3-醇可以显著提升 0.3%NaCl 溶液的咸味感知强度。本研究提供了一种利用食用菌中天然存在的香气成分增强低盐溶液咸味感知的有效方法，为低盐食品开发提供了新思路。

### 参 考 文 献

- [1] GRILLO A, SALVI L, CORUZZI P, et al. Sodium intake and hypertension[J]. Nutrients, 2019, 11

- (9): 1970.
- [2] HE F J, MACGREGOR G A. A comprehensive review on salt and health and current experience of worldwide salt reduction programmes[J]. *Journal of Human Hypertension*, 2009, 23(6): 363–384.
- [3] 田怀香, 郑国茂, 于海燕, 等. 气味与滋味间相互作用对食品风味感知影响研究进展[J]. *食品科学*, 2023, 44(9): 259–269.
- TIAN H X, ZHENG G M, YU H Y, et al. Research progress on the effect of the interaction between odor and taste on food flavor perception[J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 259–269.
- [4] SYARIFUDDIN A, SEPTIER C, SALLES C, et al. Reducing salt and fat while maintaining taste: An approach on a model food system[J]. *Food Quality and Preference*, 2016, 48: 59–69.
- [5] LAWRENCE G, SALLES C, PALICKI O, et al. Using cross-modal interactions to counterbalance salt reduction in solid foods[J]. *International Dairy Journal*, 2011, 21(2): 103–110.
- [6] MISHARINA T A, MUHUTDINOVA S M, ZHARIKOVA G G, et al. Formation of flavor of dry champignons (*Agaricus bisporus* L.)[J]. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2010, 46(1): 108–113.
- [7] 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.
- [8] 柏霜, 尤丽琴, 罗瑞明, 等. 中式炒制滩羊肉香气活性物质分析[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(5): 311–321.
- BAI S, YOU L Q, LUO R M, et al. Analysis of aroma active compounds in Chinese stir-fried Tan mutton[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(5): 311–321.
- [9] 肖作兵, 周璇, 牛云蔚, 等. GC-O 结合 OAV 分析樱桃酒的特征香气成分[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(8): 246–254.
- XIAO Z B, ZHOU X, NIU Y W, et al. The analysis of the characteristic aroma components of cherry wine by gas chromatography-olfactometry (GC-O) and odor activity values (OAV)[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(8): 246–254.
- [10] 郑翠银, 龚丽婷, 黄志清, 等. 甜型红曲黄酒中关键挥发性香气成分分析[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(5): 209–217.
- ZHENG C Y, GONG L T, HUANG Z Q, et al. Analysis of the key volatile aroma compounds in sweet Hongqu glutinous rice wine[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(5): 209–217.
- [11] BARBA C, BENO N, GUICHARD E, et al. Selecting odorant compounds to enhance sweet flavor perception by gas chromatography/olfactometry-associated taste (GC/O-AT)[J]. *Food Chemistry*, 2018, 257: 172–181.
- [12] GAO Y, WANG W Q, ZHANG H Y, et al. The enhancement of the perception of saltiness by odorants selected from Chinese Douchi in salt solution[J]. *Foods*, 2022, 11(15): 2260.
- [13] XIAO Z B, ZHANG S H, ZHU J C, et al. Identification of key aromas of grapefruit juice and study of their contributions to the enhancement of sweetness perception [J]. *European Food Research and Technology*, 2023, 249(2): 537–551.
- [14] INOUE Y, KATO S, SAIKUSA M, et al. Analysis of the cooked aroma and odorants that contribute to umami aftertaste of soy miso (Japanese soybean paste)[J]. *Food Chemistry*, 2016, 213: 521–528.
- [15] LIU J, WAN P, XIE C F, et al. Key aroma-active compounds in brown sugar and their influence on sweetness[J]. *Food Chemistry*, 2021, 345: 128826.
- [16] WAN P, LIU J, CHEN D W. Analysis of aroma-active compounds in bighead carp head soup and their influence on umami of a model soup[J]. *Microchemical Journal*, 2021, 168: 106436.
- [17] LOPEZ J, KERLEY T, JENKINSON L, et al. Odorants from the thermal treatment of hydrolyzed mushroom protein and cysteine enhance saltiness perception [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(41): 11444–11453.
- [18] XIAO Z B, CHEN H, NIU Y W, et al. Characterization of the aroma-active compounds in banana (*Musa AAA Red Green*) and their contributions to the enhancement of sweetness perception[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(50): 15301–15313.
- [19] CHUN S, CHAMBERS E, HAN I. Development of a sensory flavor lexicon for mushrooms and subsequent characterization of fresh and dried mushrooms

- [J]. *Foods*, 2020, 9(8): 980.
- [20] AISALA H, MANNINEN H, LAAKSONEN T, et al. Linking volatile and non-volatile compounds to sensory profiles and consumer liking of wild edible Nordic mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2020, 304: 125403.
- [21] SUN L B, ZHANG Z Y, XIN G, et al. Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 96: 176-187.
- [22] 李娜, 吕爽, 董建国, 等. 常见食用菌营养成分及风味物质分析[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(18): 441-448.
- LI N, LÜ S, DONG J G, et al. Analysis of nutritional components and volatile flavor compounds in common edible fungi[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(18): 441-448.
- [23] 张玉玉, 陈怡颖, 孙颖, 等. 牛肝菌及其酶解液挥发性风味成分的对比分析[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(11): 233-239.
- ZHANG Y Y, CHEN Y Y, SUN Y, et al. Comparison of volatile compounds in *Boletus edulis* and enzymatic hydrolysate[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(11): 233-239.
- [24] GUICHARD E, BARBA C, THOMAS-DANGUIN T, et al. Multivariate statistical analysis and odor-taste network to reveal odor-taste associations[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(38): 10318-10328.
- [25] UGAWA T, KURIHARA K. Enhancement of canine taste responses to umami substances by salts[J]. *The American Journal of Physiology*, 1994, 266 (3 Pt 2): R944-R949.
- [26] KITAJIMA S, MARUYAMA Y, KURODA M, et al. Volatile short-chain aliphatic aldehydes act as taste modulators through the orally expressed calcium-sensing receptor CaSR[J]. *Molecules*, 2023, 28(12): 4585.
- [27] CAPORALE G, POLICASTRO S, MONTELEONE E. Bitterness enhancement induced by cut grass odorant (cis-3-hexen-1-ol) in a model olive oil[J]. *Food Quality and Preference*, 2004, 15(3): 219-227.
- [28] 王霆, 负建民, 毕阳, 等. 双孢蘑菇采后品质劣变过程中风味物质的变化规律[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(6): 39-45.
- WANG T, YUN J M, BI Y, et al. Study on the variation of flavor substances during the quality deterioration of *Agaricus bisporus*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(6): 39-45.
- [29] 李琴, 朱科学, 周惠明. 利用电子鼻分析熬制时间对3种食用菌汤风味的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(16): 151-155.
- LI Q, ZHU K X, ZHOU H M. Electric nose analysis of the effect of cooking time on the flavor of three species of edible mushroom soups[J]. *Food Science*, 2010, 31(16): 151-155.
- [30] LIU Z Q, ZHOU J H, ZENG Y L, et al. The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor[J]. *Journal of Food Engineering*, 2004, 65(3): 391-396.
- [31] ZHOU T, FENG Y Z, THOMAS-DANGUIN T, et al. Enhancement of saltiness perception by odorants selected from Chinese soy sauce: A gas chromatography/olfactometry-associated taste study[J]. *Food Chemistry*, 2021, 335: 127664.

### Characterization of the Key Aroma Compounds in Dry *Agaricus bisporus* and Their Effects on Saltiness Perception Enhancement

Wang Wenqian, Gao Ya, Wang Ziqiang, Zhang Huiying\*, Chen Haitao, Wang Shuqi  
(Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry, School of Light Industry,  
Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

**Abstract** Odor-induced taste enhancement is considered to be an effective way to enhance the perception of saltiness in low-salt food system. In this study, the key aroma compounds in dry *Agaricus bisporus* were characterized by solvent-assisted flavor extraction, gas chromatography-mass spectrometry, gas chromatography-olfactometry, aroma extract dilution analysis and odor activity value (OAV) calculation. The odorants associated with saltiness perception were selected using

gas chromatography-olfactometry/associated taste (GC-O/AT), and their potential effects on perceived salty taste were verified by sensory analyses of 2-alternative forced-choice and odor-induced saltiness enhancement value. The results showed that a total of 47 aroma compounds were identified in the mushroom sample, 18 of which were characterized as key aroma compounds with OAV greater than 1. By GC-O/AT, 6 compounds related to saltiness perception were preliminarily screened from the key aroma-active compounds in dry *Agaricus bisporus*. Sensory experiments suggested that odorants including p-cresol, 2-methyltetrahydrofuran-3-one, 1-pentanol, and 1-octen-3-ol of certain concentrations could enhance the saltiness perception significantly. The research could provide a reference for increasing saltiness perception of low-salt foods by aroma-taste interaction.

**Keywords** dry *Agaricus bisporus*; key aroma compounds; odor-induced saltiness enhancement; gas chromatography-olfactometry/associated taste; odor activity value