

鸡脂和美拉德反应对松蘑菌汤风味的影响

孙艺飞, 崔文甲, 王文亮, 宋莎莎, 唐晓珍

Effect of Chicken Fat and Maillard Reaction on Flavor of *Tricholoma matsutake* Soup

SUN Yifei, CUI Wenjia, WANG Wenliang, SONG Shasha, and TANG Xiaozhen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021120322>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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 Hydrolyzate

食品工业科技. 2018, 39(15): 274-280

发酵及添加鸡脂肪对鹿肉干营养特性和风味的影响

Effect of Fermentation and Adding Chicken Fat on the Nutritional Properties and Flavor of Venison Jerky

食品工业科技. 2021, 42(9): 60-69

酶解对鸡骨素美拉德反应挥发性风味成分的影响

Effects of Enzymatic Hydrolysis on the Volatile Components of Maillard Reaction from Chicken Bone Extracts

食品工业科技. 2018, 39(16): 236-242

基于GC-IMS技术分析炖煮过程中大鲵头汤挥发性风味物质

Volatile Flavor Compounds of Giant Salamander (*Andrias davidianus*) Head Soup during Stewing based on GC-IMS Technology

食品工业科技. 2021, 42(19): 307-313

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

美拉德反应法制备腊肉香精的工艺优化

Optimization of Maillard Reaction Method for Preparation of Bacon Flavor

食品工业科技. 2018, 39(23): 227-233



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孙艺飞, 崔文甲, 王文亮, 等. 鸡脂和美拉德反应对松蘑菌汤风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(19): 98-107. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120322

SUN Yifei, CUI Wenjia, WANG Wenliang, et al. Effect of Chicken Fat and Maillard Reaction on Flavor of *Tricholoma matsutake* Soup[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(19): 98-107. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120322

· 研究与探讨 ·

鸡脂和美拉德反应对松蘑菌汤风味的影响

孙艺飞^{1,2,3}, 崔文甲^{1,3,*}, 王文亮^{1,3}, 宋莎莎^{1,3}, 唐晓珍²

(1. 山东省农业科学院, 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 271018;

3. 农业部新食品资源加工重点实验室, 山东济南 250100)

摘要:以松蘑为原料在热反应条件下制备松蘑菌汤, 采用高效液相色谱 (high performance liquid chromatography, HPLC)、味觉分析系统 (电子舌)、气相-离子迁移色谱 (gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS) 及电子鼻研究了添加鸡脂和美拉德反应对松蘑菌汤风味的影响。HPLC 检测结果显示, 松蘑菌汤主要有 16 种游离氨基酸; 加入鸡脂后, 蛋氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、赖氨酸、酪氨酸等苦味氨基酸含量减少; 美拉德反应后谷氨酸、天冬氨酸、丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸等甜味、鲜味氨基酸含量明显增高。GC-IMS 检测出挥发性风味物质 46 种, 美拉德反应后反-2-庚烯醛、反-2-辛烯醛、(E,E)-2,4-辛二烯醛等脂肪醛含量增加, 为汤料提供肉香、脂香味。电子鼻对挥发性物质检测与 GC-IMS 基本相似。总体而言, 美拉德反应体系对松蘑鸡脂菌汤风味具有增加脂香、提升鲜甜味的作用。即加入鸡脂使松蘑菌汤风味层次丰富, 美拉德反应对松蘑菌汤整体风味有较大提升。

关键词:松蘑, 鸡脂, 美拉德反应, 风味, 汤

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)19-0098-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120322



本文网刊:

Effect of Chicken Fat and Maillard Reaction on Flavor of *Tricholoma matsutake* Soup

SUN Yifei^{1,2,3}, CUI Wenjia^{1,3,*}, WANG Wenliang^{1,3}, SONG Shasha^{1,3}, TANG Xiaozhen²

(1. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;

2. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China;

3. Key Laboratory of New Food Resources Processing, Ministry of Agriculture, Jinan 250100, China)

Abstract: *Tricholoma matsutake* soup was prepared with *Tricholoma matsutake* as raw material under thermal reaction conditions. The effects of chicken fat and Maillard reaction on the flavor of *Tricholoma matsutake* soup were analyzed and compared by high performance liquid chromatography (HPLC), taste analysis system (electric tongue), gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS) and electric nose. The results showed that 16 free amino acids were detected by HPLC. After the addition of chicken fat, the content of bitter amino acids such as methionine, isoleucine, phenylalanine, valine, lysine, and tyrosine was reduced; After the Maillard reaction, the content of sweet and umami amino acids such as glutamic acid, aspartic acid, alanine, glycine and serine increased significantly. A total of 46 flavor compounds were identified by GC-IMS, (E)-2-heptenal, (E)-2-octene, (E,E)-2,4-octadienal and other fatty aldehydes were increased after Maillard reaction. It provided the soup with meaty and fatty aroma. The detection of the electronic nose was basically similar to that of GC-IMS. In conclusion, Maillard reaction has a beneficial effect on the flavor of *Tricholoma matsutake* and chicken fat soup.

收稿日期: 2021-12-30

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系 (SDAIT-07-09); 山东省重大科技创新工程项目 (2019JZZY020607): 调味蔬菜精深加工与资源高效利用关键技术研发及产业示范。

作者简介: 孙艺飞 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 18854803010@163.com。

* 通信作者: 崔文甲 (1984-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品化学, E-mail: clementpost@126.com。

Key words: *Tricholoma matsutake*; chicken fat; Maillard reaction; flavor; soup

松蘑 (*Tricholoma matsutake*) 又名松蕈、松菇、松口蘑等, 松蘑营养丰富, 含有氨基酸、脂肪、蛋白质等营养物质, 其多糖含量及活性较高, 有良好的抗氧化作用^[1]; 除此之外, 松蘑因其独特的甜香味、奶香味, 成为我国的传统烹饪炖鸡食材中的绝佳配菜, 松蘑鸡汤味道鲜美, 深受消费者喜爱。然而目前国内外对松蘑的研究及开发利用很少, 其加工产品主要以干制品为主, 松蘑的特征风味物质及其加工过程中风味的变化尚不明确。

近年来, 随着国民生活水平日益提升, 人们对食品品质的追求不断提高。为适应现代市场需求, 相关研究者应从开发利用风味单一的调味基料逐渐转为研发营养全面、风味层次感强的复合型调味汤料^[2]。借鉴传统烹饪手法, 利用美拉德反应将畜禽肉脂与食用菌共同加工, 具有菌香、肉香的复合调味品将成为调味产品发展的新方向。美拉德反应是以氨基酸与还原糖等物质为反应底物的一类非酶反应, 在国内外食品加工中常用这类反应来为相应产品增香增色^[3]。安攀宇等^[4]利用美拉德反应来制备鸡肉风味调味品; 郑美华等^[5]利用美拉德反应提高虾蟹漂烫汁的风味及产品价值; Zhu 等^[6]研究了以葡萄糖与组氨酸、赖氨酸为主导的美拉德反应对金华火腿风味的影响。在美拉德反应中温度、时间及 pH 等反应因素会对美拉德反应的进程及结果产生影响, Wang 等^[7]确定了乳清蛋白进行美拉德反应时的初始 pH、反应温度等条件。鸡脂的氧化降解是形成脂香、肉香味的关键, 许雪萍^[8]研究了不同加工方式使猪肉脂肪氧化后的风味变化; 于静洋^[9]研究了脂肪醛((E,E)-2,4-辛二烯醛、己醛等)对美拉德反应体系的风味作用。

现阶段虽已有研究人员对复合型的食用菌调味汤料进行研发, 但均对复合调味料的风味物质成分研究不足, 因此本实验欲将鸡脂与松蘑共同烹调, 借助美拉德反应使鸡脂的肉香、脂香与松蘑的鲜香、甜香能够结合, 并对其形成风味的挥发性及非挥发性物质分析研究。气相-离子迁移色谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)是一种常用于食品挥发性风味物质定量、定性检测的技术手段, 也在检测食品掺假、鉴别不同种食品风味方面发挥作用^[10-11]; 电子鼻能精准客观的对不同样品风味做出描述判断, 为食品的风味做出有效评估。李官丽^[12]、田怀香^[13]、薛友林等^[14]分别用电子鼻对不同品种荸

荠、鸡精调味品、蓝莓的风味成分做出对比分析。本研究通过构建松蘑鸡脂美拉德反应体系, 采用高效液相色谱 (high performance liquid chromatography, HPLC)、电子舌、GC-IMS 及电子鼻等手段来系统分析松蘑菌汤风味物质的变化规律。以期探讨鸡脂、美拉德反应对松蘑菌汤风味影响机理, 为松蘑天然复合调味料的研发提供数据与理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

松蘑 济南华联超市; 鸡脂 金锣肉制品有限公司; 果糖 河南万邦实业有限公司; 氨基酸及其他标准品 均为国产分析纯。

1260 液相色谱仪 Agilent 公司; SA-402B 味觉分析系统(电子舌) 日本 INSENT 公司; Flavour Spec®风味分析仪 济南海能仪器有限公司; PEN3 电子鼻 德国 AIRSENSE 公司; 恒温电热套 SHT 型 山东华鲁电热仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 松蘑鸡脂汤的制备 称取 3 份 10 g 松蘑干样进行预处理(25 °C 清水中泡发 10 min, 洗去杂质), 于恒温电热套中进行反应, 对 A1 松蘑样品加入 2 g 鸡脂进行美拉德反应, 使用食品级乙酸钠缓冲剂调节 pH; A2 样品加入 2 g 鸡脂进行传统烹调; A3 样品为对照组, 经过传统烹调形成松蘑菌汤, 具体条件如表 1 所示。烹调后得到的三种菌汤用纱布滤去熬煮后的松蘑固体及浮渣得到三种松蘑菌汤反应液。

1.2.2 游离氨基酸含量检测 称取 2 mL 的 A1、A2、A3 反应液置于 10 mL 容量瓶内, 使用 8 mL 盐酸溶液(0.02 mol/L)定容。利用超声仪(25 °C, 4000 Hz)进行 25 min 的超声处理, 在 5000 r/min 的离心机中离心 6 min 后取上清液备用。

用 5 mL 蒸馏水和甲醇(色谱纯)溶液对 C₁₈ 柱冲洗活化, 加入 2.5 mL 样品, 再加 1.5 mL 0.02 mol/L 盐酸, 过柱后的样品准确取 100 μL 于 15 mL 离心管中, 放入真空干燥箱中, 60 °C 干燥 2 h(将溶剂全部烘干), 离心管中充氮, 准确加入 50 μL 衍生试剂: 乙醇: 异硫氰酸苯酯: 水: 三乙胺=7: 1: 1: 1(现用现配, 配制时充氮), 常温下衍生 30 min, 加入流动相 A 0.45 mL, 混匀, 过 0.45 μm 有机膜上机。

本次试验进样量为 10 μL; 色谱柱型号为 C₁₈

表 1 三种松蘑菌汤反应液制备条件

Table 1 Preparation conditions of three reaction solutions of *Tricholoma matsutake* soup

编号	样品名称	原料	制备条件
A1	松蘑鸡脂美拉德反应液	松蘑、鸡脂	T: 100 °C, t: 40 min, pH: 7.0、果糖: 2.0 g
A2	松蘑鸡脂传统烹调反应液	松蘑、鸡脂	T: 100 °C, t: 40 min
A3	松蘑菌汤反应液	松蘑	T: 100 °C, t: 40 min

注: T为温度, t为时间。

SHISEIDO(规格为 4.6 mm×250 mm×5 μm);柱温与波长分别是 40 °C、254 nm;流动性 A 为乙腈:无水乙酸钠=3:97(0.1 mol/L);流动相 B 为水:乙腈=20:80;流动相 A:流动相 B=85:15,流速为 1.0 mL/min;将上述流动相混合均匀并调节 pH 至 6.5(乙酸钠 pH 缓冲剂)。

$$\text{氨基酸含量的计算公式为: } W = \frac{(C - C_0) \times V \times N}{m}$$

式中:W-样品中目标物含量,mg/L;C-样品测定液中目标物浓度,mg/mL;C₀-空白对照中目标物浓度,mg/mL;V-定容体积,mL;N-稀释倍数;m-样品取样量,L。

1.2.3 电子舌检测 前处理准备:向味觉传感器及陶瓷参比电极加入内部液,使用基准液活化 24 h,将活化完成的传感器及参比电极以此连接于主机上。将三种松蘑反应液加热至 60 °C 备用。

检测条件:取三份 50 mL 反应液分别置于 90 mL 烧杯中,按顺序放入自动进样器中。通过电脑设置测试方法,选择四次循环检测法,待仪器自检无误后即开始样品检测。

1.2.4 挥发性物质指纹图谱检测 分别称取 A1、A2、A3 样品 2 mL。将三份样品置入 20 mL 顶空瓶中,在 60 °C 环境下预热 15 min 后开始进样。本实验采用 GC-IMS 技术并利用 FlavourSpec[®]风味分析仪对三份样品的挥发性物质进行检测分析。气相-离子迁移谱单元:分析时间为 25 min;色谱柱类型为 MXT-5,柱长为 15 m,膜厚为 1 μm;IMS 温度为 45 °C;漂移气/载气为 N₂。自动顶空进样单元:进样体积为 500 μL;孵育时间为 15 min;孵育温度为 60 °C;进样针温度为 85 °C;孵化转速为 500 r/min。

1.2.5 挥发性物质电子鼻检测 利用 PEN3 电子鼻对松蘑汤样品的挥发性风味物质检测,该电子鼻含有 10 个不同的金属氧化物传感器,组成传感器阵列。各传感器灵敏源如下:W5S-氮氧化物、W3C-芳香类化合物及氨类化合物、W1S-短链烷烃类化合物、W1W-无机硫化物、W2W-有机硫化物及芳香性成分、W3S-长链烷烃类化合物、W1C-苯类及芳香类化合物、W2S-醇醚醛酮类成分、W5C-烷烃类芳香成分、W6S-氢气。

吸取 10 mL 样品置于 100 mL 的烧杯中,双层保鲜膜封口。加热装置设置 60 °C,将装有样品的烧杯放于加热装置中加热 2 min 后上机测试。

采用直接顶空吸气法,直接将进样针头插入含样品的密封烧杯中(整个测试过程中烧杯始终在加热装置中),电子鼻进行测定。测定条件:采样时间为 1 s/组;传感器自清洗时间为 120 s;传感器归零时间为 5 s;样品准备时间为 5 s;进样流量为 400 mL/min;分析采样时间为 80 s。

1.2.6 感官评价 参照 ISO 11035 感官评价国际标准^[15]选取 9 位来自不同地区且有明显饮食差异的志

愿者作为本次感官评价小组的成员,对他们进行不同感官属性的培训。参照舒垚^[16]、沈文凤^[17]的风味评价定义焦香(焦糖糖浆,参照物,下同)、奶香(60 °C 牛奶)、甜香(蔗糖糖浆)、菇香(松蘑)、肉香(熟鸡肉)、甜味(蔗糖糖浆)、鲜味(谷氨酸钠)等感官属性。将 3 种松蘑汤样品保持 60 °C,置于感官评价杯中,对多种感官属性进行评分。采用九分制评分方式:1~3 分,似有似无,风味弱;4~6 分,风味中等;7~9 分,风味浓烈。

1.3 数据处理

实验使用液相色谱仪测得游离氨基酸含量,设置 3 次重复实验,利用 SPSS 软件对样品呈味氨基酸进行显著性分析;检索 NIST、IMS 数据库通过归一化法对三种样品的挥发性风味物质进行定性分析;利用 WinMuster 软件对风味物质成分进行判别函数分析(linear discriminant analysis, LDA)与主成分分析(principal component analysis, PCA);采用 Excel 软件制作分析图表。

2 结果与分析

2.1 非挥发性风味物质分析

2.1.1 游离氨基酸含量组成分析 如表 2 所示,向松蘑菌汤中加入鸡脂后,传统烹饪方式汤中的游离氨基酸含量均有所下降。这有可能是因为本实验检测的均为水溶性氨基酸,部分氨基酸被脂肪包裹,脂溶性氨基酸未被检测。A2 中苦味氨基酸(精氨酸、组氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、赖氨酸、酪氨酸)含量降低,使松蘑汤苦味减少。总体而言,加入鸡脂后松蘑汤的味觉醇厚感增加,松蘑汤口感丰富度提升。

表 2 三种松蘑菌汤反应液游离氨基酸含量对比

Table 2 Comparison of free amino acid contents in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup reaction solution

分类	氨基酸名称	A1(mg/L)	A2(mg/L)	A3(mg/L)
鲜味氨基酸	谷氨酸(Glu)	59.70 ^a	40.76 ^b	57.99 ^a
	天冬氨酸(Asp)	7.01 ^a	3.00 ^b	4.31 ^b
	丙氨酸(Ala)	9.14 ^a	4.91 ^b	8.55 ^a
	甘氨酸(Gly)	4.46 ^a	3.18 ^b	4.44 ^a
	甜味氨基酸	苏氨酸(Thr)	8.96 ^b	7.45 ^c
苦味氨基酸	丝氨酸(Ser)	12.39 ^a	9.07 ^b	12.40 ^a
	脯氨酸(Pro)	9.11 ^a	6.12 ^b	9.53 ^a
	精氨酸(Arg)	24.00 ^a	10.87 ^c	14.48 ^b
	组氨酸(His)	14.91 ^a	12.94 ^b	13.02 ^b
	蛋氨酸(Met)	1.63 ^b	1.17 ^c	2.38 ^a
	异亮氨酸(Ile)	6.07 ^b	1.87 ^c	7.48 ^a
	苯丙氨酸(Phe)	未检出	未检出	7.05
	缬氨酸(Val)	11.09 ^a	6.09 ^b	11.30 ^a
	亮氨酸(Leu)	22.76 ^a	3.89 ^c	14.63 ^b
	赖氨酸(Lys)	5.35 ^b	4.19 ^c	6.39 ^a
酪氨酸(Tyr)	7.02 ^a	3.45 ^b	7.28 ^a	
氨基酸总含量		203.6	118.96	191.11

注:表中同列小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

当松蘑鸡脂汤进行美拉德反应后, 各呈味氨基酸含量有明显增高。其中甜味氨基酸(丙氨酸、甘氨酸)、鲜味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸)含量较 A2 与 A3 均有明显增加, 美拉德反应将松鸡汤中呈味氨基酸大量释放出来, 使菌汤味感更加甜鲜; 苦味氨基酸总量与 A2 相比稍有增加, 蛋氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、酪氨酸及赖氨酸等苦味氨基酸含量升高。与 A3 相比, A1、A2 的苯丙氨酸含量明显降低, Kim 等^[18]发现当苯丙氨酸小于风味检测值时会对其他鲜味、甜味氨基酸有协同作用。说明上述几种苦味氨基酸可能与果糖发生美拉德反应, 在松蘑鸡脂汤中产生其他风味物质减少汤中苦味。

2.1.2 电子舌分析 三种松蘑菌汤反应液电子舌 PCA 分析结果如图 1 所示, PC1 贡献率为 78.61%, PC2 贡献率为 21.30%, 总贡献率累计高达 99.91%, 即样品 PCA 分析有一定代表性。A3 与 A1 反应液在 PC1 上的投影距离相近, 即二者在味觉方面有高度相似性; 与 A2 的距离较远, 说明 A1、A3 与 A2 中

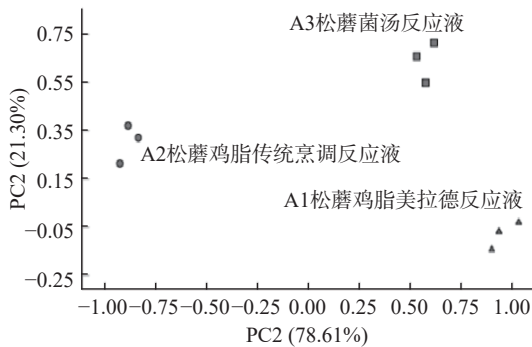


图 1 三种松蘑菌汤反应液电子舌 PCA 图

Fig.1 PCA plots of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup by electronic tongue

物质差异较大, 这与 HPLC 检测结果一致。A2 与 A1 反应液在 PC1、PC2 的投影距离较远, 说明美拉德反应对松蘑鸡脂汤非挥发性物质的改变具有明显影响。

2.2 挥发性物质组成分析

2.2.1 挥发性物质指纹图谱分析 图 2 是由风味分析仪采用 GC-IMS 技术经检测制得的二维谱图。图中红色点状物代表样品所含风味物质, 从图中可知三种样品所含挥发性风味物质有一定差异, A1 反应液中挥发性风味物质种类及含量明显多于 A2 与 A3。

以 A1 为参比, 剩余两幅谱图扣除 A1 中的信号峰, 得到白色背景下的差异谱图, 即图 3。蓝色点状代表本样品的挥发性物质含量低于参比 A1, 如图 3 中蓝色方框部分; 红色点状表示样品中挥发性物质含量高于参比样品 A1, 如红色方框部分。由差异图发现: A3 与 A2 中大部分挥发性物质含量均低于 A1, 但 A3 中也有少量挥发性风味物质含量高于 A1 反应液, 其中具体差异成分有待研究。

通过图 4 指纹图谱可清晰对比三份松蘑菌汤样品风味物质差异所在。图谱中每一行代表一个样品选取信号峰的数量, 即风味物质种类, 每一列则代表同一挥发性有机物在不同样品中的信号峰大小, 即风味物质的含量, 红色点状越明显则样品中含该风味物质的含量越高。如图 4 所示, A1 反应液挥发性风味物质含量远高于 A2 与 A3, 即图中椭圆框内风味物质在 A1 中的含量明显高于 A2、A3。

对比 A3, A1、A2 在加入鸡脂、完成美拉德反应后, 松蘑菌汤中(E)-2-庚烯醛与(E)-2-辛烯醛含量增加, (E)-2-庚烯醛与(E)-2-辛烯醛是典型的鸡脂降解后的脂肪产物, 具有浓烈油脂香气^[19]。此外, 一些具有代表性的风味物质经过美拉德反应后也有所增加,

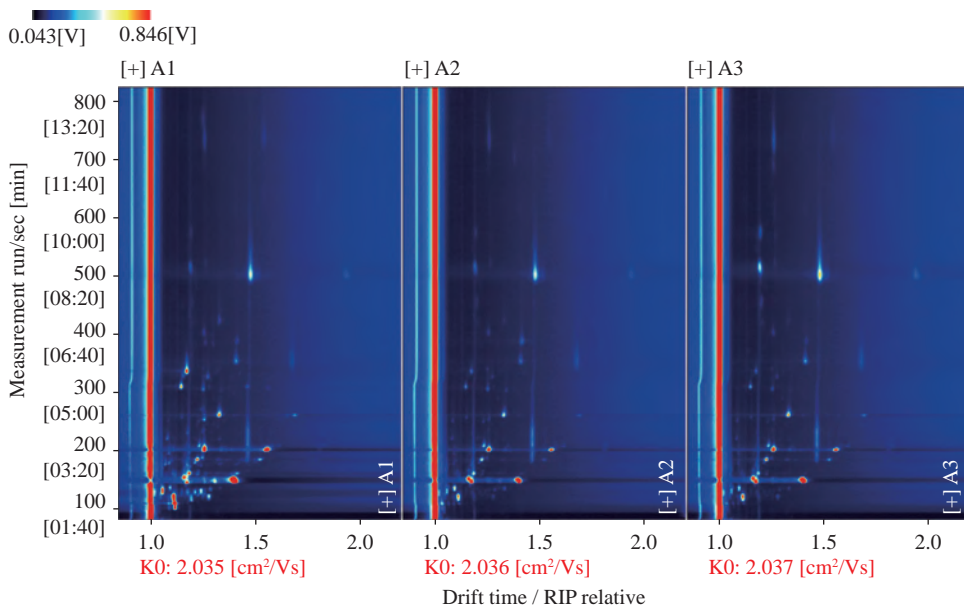


图 2 三种松蘑菌汤反应液 GC-IMS 二维谱图

Fig.2 GC-IMS two-dimensional spectra of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup

注: A1 为松蘑鸡脂美拉德反应液; A2 为松蘑鸡脂传统烹调反应液; A3 为松蘑菌汤反应液。

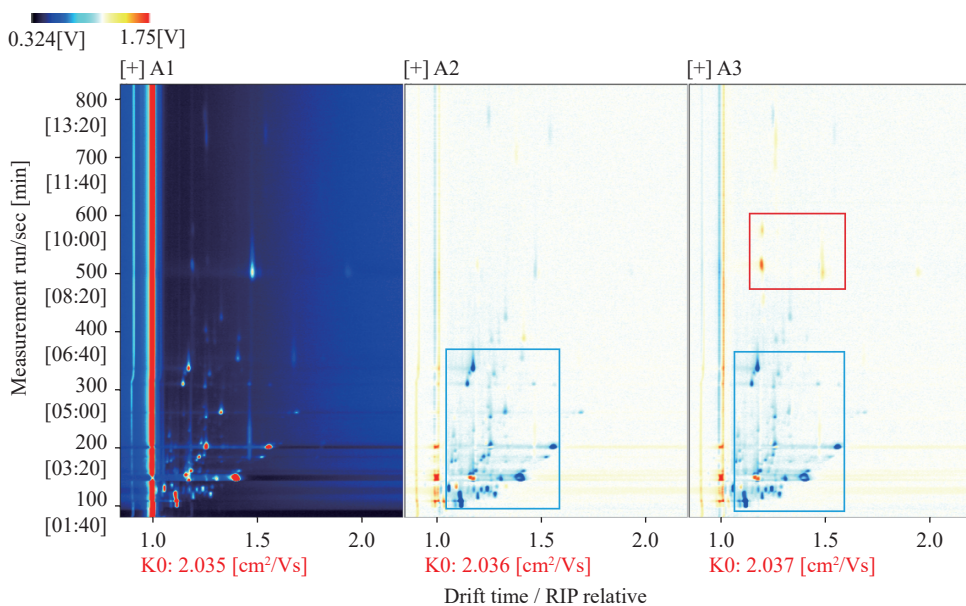


图3 三种松蘑菌汤反应液 GC-IMS 二维差异图

Fig.3 Two-dimensional difference diagram of GC-IMS of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup

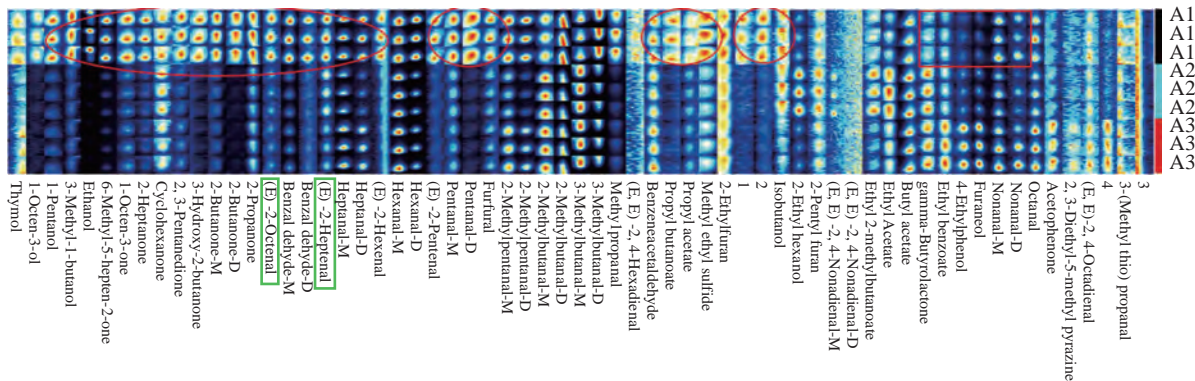


图4 三种松蘑菌汤反应液 GC-IMS 指纹图谱

Fig.4 GC-IMS fingerprint of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup

如百里香酚、1-辛烯-3-醇、乙醇、甲基庚烯酮、2-庚酮、3-羟基-2-丁酮、2-丁酮、2,3-戊二酮、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、苯甲醛、丁酸丙酯、乙酸丙酯、糠醛、戊醛等。这些风味物质为松蘑汤提供果香味、甜香味、焦糖味及奶香味^[20-21]。

图4也可发现加入鸡脂、进行美拉德反应后,松蘑菌汤中的部分风味物质含量减少(红色方框部分),这也与图2的红色点状的分布情况相对应,主要包括4-乙基苯酚、呋喃酮、苯乙酮等物质。这类物质主要呈焦香风味,有可能属于松蘑的独特气味,也有可能是松蘑在干燥过程中形成的风味。鸡脂氧化降解与美拉德反应的相互作用有可能是这类物质减少的主要原因^[22]。

主成分分析是一种通过降维方式将多变量换为少变量的一种简化原始数据的统计分析方法^[23]。对三种样品进行主成分聚类分析,得到三种样品之间的相似程度。分析结果如图5所示,PC1与PC2的总贡献率达到99%,即数据有一定代表性。图5对美拉德前后及加入鸡脂前后的松蘑汤做出区分,说明三者之间的风味存在差异。A1、A2、A3在PC2轴上

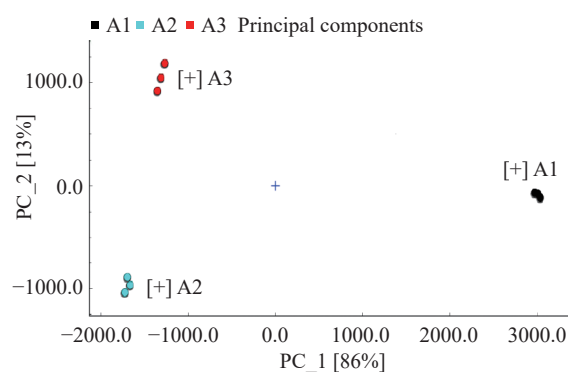


图5 三种松蘑菌汤反应液基于 GC-IMS 的 PCA 图
Fig.5 PCA plots of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup by GC-IMS

分布有明显差异; A2、A3 在 PC1 轴上投影距离相近,二者与 A1 在 PC1 上投影距离相差大,说明美拉德反应后松蘑鸡脂汤的风味有明显变化,与松蘑鸡脂、松蘑原汤风味差异大。

三种松蘑反应液挥发性风味成分分析如表3所示,从三种样品中均检测出46种挥发性物质,其中包括醇类6种、醛类18种、酮类10种、酯类6种、

表 3 基于 GC-IMS 的松蘑菌汤挥发性风味成分分析
Table 3 Volatile components of *Tricholoma matsutake* soup identified by GC-IMS

化合物种类	中文名称	编号CAS	分子式	气味描述
醇类	1-辛烯-3-醇	C3391864	C ₈ H ₁₆ O	蘑菇气味
	2-乙基己醇	C104767	C ₈ H ₁₈ O	特殊气味
	正戊醇	C71410	C ₅ H ₁₂ O	特殊气味
	异戊醇	C123513	C ₅ H ₁₂ O	辛辣味
	异丁醇	C78831	C ₄ H ₁₀ O	特殊气味
	乙醇	C64175	C ₂ H ₆ O	特殊香气
	壬醛	C124196	C ₉ H ₁₈ O	甜橙味、油脂味
	反-2-辛烯醛	C2548870	C ₈ H ₁₄ O	鸡肉香味
	苯乙醛	C122781	C ₈ H ₈ O	鲜花味、水果味
	正辛醛	C124130	C ₈ H ₁₆ O	强烈果香味
醛类	苯甲醛	C100527	C ₇ H ₆ O	杏仁味
	反-2-庚烯醛	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	油脂香
	庚醛	C111717	C ₇ H ₁₄ O	果香味、清香味
	反-2-己烯醛	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	青叶子气味
	糠醛	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	烧烤味、焦糖味
	正己醛	C66251	C ₆ H ₁₂ O	青草味、葡萄酒
	2-甲基戊醛	C123159	C ₆ H ₁₂ O	果香味
	反-2-戊醛	C1576870	C ₅ H ₈ O	—
	戊醛	C110623	C ₅ H ₁₀ O	杏仁味
	2-甲基丁醛	C96173	C ₅ H ₁₀ O	可可香味、果香味
	3-甲基丁醛	C590863	C ₅ H ₁₀ O	果香味
	反,反-2,4-己二烯醛	C142836	C ₆ H ₈ O	油脂味
	反,反-2,4-壬二烯醛	C5910872	C ₉ H ₁₄ O	油脂味
	反,反-2,4-辛二烯醛	C30361285	C ₈ H ₁₂ O	油脂味
	呋喃酮	C3658773	C ₆ H ₈ O ₃	果香味、焦糖味
	甲基庚烯酮	C110930	C ₈ H ₁₄ O	果香、清香味
	酮类	1-辛烯-3-酮	C4312996	C ₈ H ₁₄ O
2-庚酮		C110430	C ₇ H ₁₄ O	水果香味
3-羟基-2-丁酮		C513860	C ₄ H ₈ O ₂	奶香味
2-丁酮		C78933	C ₄ H ₈ O	水果味
2-丙酮		C67641	C ₃ H ₆ O	辛辣甜味
环己酮		C108941	C ₆ H ₁₀ O	刺激性臭味
2,3-戊二酮		C600146	C ₅ H ₈ O ₂	奶油、焦糖香气
苯乙酮		C98862	C ₈ H ₈ O	果香味
酯类	苯甲酸乙酯	C93890	C ₉ H ₁₀ O ₂	果香、甜香味
	乙酸丁酯	C123864	C ₆ H ₁₂ O ₂	果香味
	乙酸乙酯	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	水果味、甜味
	γ-丁内酯	C96480	C ₄ H ₆ O ₂	芳香气味
	2-甲基丁酸乙酯	C7452791	C ₇ H ₁₄ O ₂	果香味
	乙酸丙酯	C109604	C ₅ H ₁₀ O ₂	果香味
	百里酚	C89838	C ₁₀ H ₁₄ O	麝香草味
	4-乙基苯酚	C123079	C ₈ H ₁₀ O	焦香味
其他化合物	甲基乙基硫醚	C624895	C ₃ H ₈ S	—
	2-乙基呋喃	C3208160	C ₆ H ₈ O	烤香味
	2,3-二乙基-5-甲基吡嗪	C18138040	C ₉ H ₁₄ N ₂	—
	2-戊基呋喃	C3777693	C ₉ H ₁₄ O	果蔬香、泥土味

注: —为未检出。

其他类化合物 6 种。结合图 3 指纹图谱可对反应样液进行分析,三者挥发性物质含量各有不同。在松蘑菌汤中主要由 1-辛烯-3-醇、苯乙醛、甲基庚烯酮、苯甲醛、庚醛、正戊醇、2-甲基戊醛、2-丁酮、γ-丁内酯、苯乙酮提供果香、花香味;由 4-乙基苯酚、呋喃

酮、糠醛、2-甲基丁醛提供焦香、烤香味;由苯甲酸乙酯提供独特甜香味;由 3-羟基-2-丁酮、2,3-戊二酮提供独特奶香风味^[24]。

向松蘑菌汤中加入鸡脂进行传统烹调,油脂在热反应过程中发生氧化降解,形成短链酮类、酯类、

醛类等二级氧化产物,这些化合物对松蘑汤的风味产生重要影响^[25]。加入鸡脂进行热反应后,壬醛、反-2-辛烯醛、反-2-庚烯醛、正辛醛、反,反-2,4-己二烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、反,反-2,4-辛二烯醛等典型脂肪降解类化合物含量增高,为松蘑菌汤提供肉香味、脂香味。异戊醇、丙酮等具有刺激性气味的物质含量下降,说明加入鸡脂对松蘑汤的整体风味有增益作用。

松蘑鸡脂汤进行美拉德反应时,松蘑鸡脂汤中的总挥发性成分含量较反应前明显增高,其中壬醛、甲基庚烯酮、1-辛烯-3-酮、1-辛烯-3-醇、百里酚、2-庚酮、正己醛、正戊醇、3-羟基-2-丁酮、戊醛、2-甲基丁醛、乙醇、2,3-戊二酮等化合物含量倍增,由鸡脂氧化形成的醇类、呋喃类化合物总含量也增加明显^[26]。但美拉德反应后 γ -丁内酯、2-甲基丁酸乙酯、苯乙酮、3-甲基丁醛等物质含量下降。张哲奇^[27]在分析亚油酸对美拉德反应影响时发现脂类氧化在一定程度上会减少美拉德反应产物的生成;肖作兵等^[28]在研究鸡脂对肉味香精的影响时发现添加鸡脂后,部分含硫化合物减少,烷基化合物增加。因此实验中某些化合物含量下降可能是由美拉德反应与鸡脂氧化降解反应相互作用所致^[29]。

2.2.2 电子鼻分析 电子鼻现已应用于食品质量检测、风味评价及新鲜度检测等领域,该项检测主要通过模拟人嗅觉来分辨食品中的复杂气味。图 6 是三种松蘑汤样品在标准化处理后呈现的电子鼻 70S 响应值曲线图,检测显示三种松蘑汤反应液在 W5S、W2W、W1W、W1S 与 W2S 传感器的响应值有明显差异,说明三种反应液成分在氮氧化合物、有机硫化物、短链烷烃化合物、无机硫化物及醇醚醛酮类化合物方面差异明显。从单个样品来看,A1 在 W2W、W5S 传感器的响应值极高,且 A1 整体的风味呈现度明显优于其他两种样品,即美拉德反应对松蘑鸡脂汤料风味有突出改善作用;对比加入鸡脂前后的反应液 A3、A2 能够发现:加入鸡脂后松蘑汤的 W2W、W5S、W1W、W1S 传感器的响应值较原汤增大,说

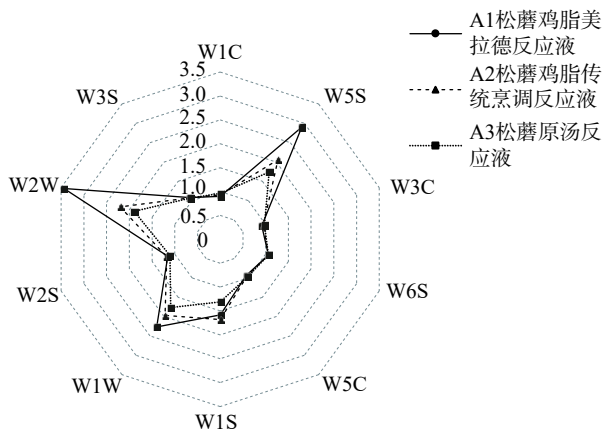


图 6 三种松蘑菌汤反应液电子鼻雷达图

Fig.6 Electronic nose radar profiles of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup

明鸡脂对松蘑原汤的风味有增益作用。电子鼻的检测结果显示与 GC-IMS 检测结果基本一致。

利用电子鼻配套的处理软件可以对三种反应液进行 PCA 和 LDA 分析。PC1 与 PC2 主成分贡献率分别为 96.16%、2.81%,总贡献率高达 98.97%,即三种不同松蘑反应液在 PCA 中可以被明显区分。由图 7A 知三种松蘑反应液之间区分度高,A3 和 A2 分布在第一主成分接近零点的位置,且二者在第一主成分的投影有部分重叠,可见二者气味具有一定程度的相似性。A3 松蘑原汤反应液在 PC1、PC2 上的贡献率最低,A1 反应液在 PC1 上的贡献率最高,说明在松蘑中加入鸡脂并进行美拉德反应可以提高其在主成分中的贡献率,即美拉德反应与鸡脂氧化的相互作用能够提升松蘑汤料的风味。从个体来看,反应液的挥发性成分有一定共性,A2、A3 反应液在 PC1 上不能完全区分,故需要采用 LDA 统计学方法进行进一步分析。

LDA、PCA 都是能够反映不同处理组数据差异的统计学方法,但与 PCA 相比,LDA 能将各组内的数据差异降至最小,而使组间差异(重心距离)最大化^[30]。由图 7B 可知:LDA1 贡献率是 87.97%,LDA2 贡献率是 7.75%,累计贡献率达到 95.72%。三种样品在 LDA 图中变化趋势及分布状态差异明显,可以对不同样品风味区分。与 PCA 相比,LDA 减小组间差异将松蘑原汤、美拉德反应前松蘑鸡脂汤的风味差异突显出来。观察三种反应液在 PC1 的投影可知,松蘑原汤与美拉德反应前的松蘑鸡脂汤风味差异较小,二者与美拉德反应后松蘑鸡脂汤风味差异大,

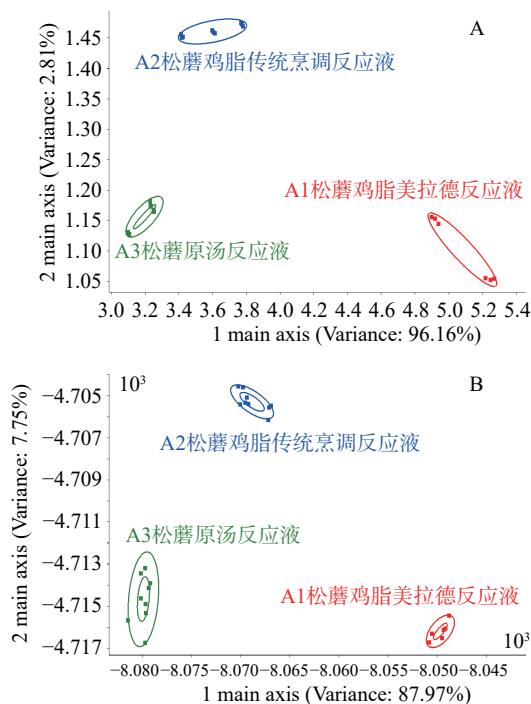


图 7 三种松蘑菌汤反应液电子鼻的 PCA(A)与 LDA(B)分析

Fig.7 PCA (A) and LDA (B) plots of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup by electric tongue

表 4 三种松蘑菌汤反应液感官评价结果

Table 4 Sensory evaluation results of reaction solution in three kinds of *Tricholoma matsutake* soup

名称	感官评分(分)				
	奶香、甜香	菇香	焦香、肉香	甜味、鲜味	醇厚味
松蘑菌汤反应液	6.97±0.31	7.60±0.09	5.80±0.54	7.87±0.25	5.63±0.12
松蘑鸡脂传统烹调反应液	6.80±0.10	6.73±0.17	7.40±0.18	6.23±0.67	7.37±0.21
松蘑鸡脂美拉德反应液	8.27±0.35	8.10±0.33	8.07±0.21	7.57±0.24	8.33±0.45

这与电子鼻雷达图的分析结果相同。

通过使用电子鼻对三种反应液的挥发性风味物质检测,并用 PCA、LDA 对成分进行分析能够发现:PCA 可以反映 A1 与其他两种样品的风味差异,但不能对 A2、A3 反应液的挥发性成分进行良好区分,而 LDA 可以对三种反应液挥发性成分进行区分,即 LDA 是分辨三种松蘑反应液挥发性成分的有效手段。

2.3 松蘑-鸡脂美拉德体系风味特性及风味物质贡献

对三种不同松蘑汤样品进行奶香、甜香、菇香、焦香、肉香、甜味、鲜味、醇厚味等感官属性评分^[31],得分结果如表 4 所示。与传统烹饪方式相比,松蘑菌汤的特征性香味(奶香、甜香、菇香)及甜香味评分相对较高;加入鸡脂后,松蘑汤中甜鲜味及特征性香味降低,肉香及汤体醇厚感上升;进行美拉德反应后菌汤特征性香味得分最高,这说明加入鸡脂及进行美拉德反应对松蘑汤整体风味特性有所改变。从整体来看,松蘑鸡脂美拉德反应液得分最高,说明美拉德反应对松蘑鸡脂汤的风味有明显增益作用。

为规范松蘑菌汤的特征性风味描述,为后期松蘑类产品开发做准备,结合上述检测结果及人工感官评价参照猪骨汤^[32]、红茶^[33]、朗姆酒^[34]的风味轮构建,为松蘑鸡脂汤绘制风味轮。如图 8 所示,风味轮分为嗅觉、味觉两大主类,其中味觉分为鲜味、甜味、醇厚味 3 种;嗅觉分为奶香、甜香、肉香、焦香、菇香 5 种。加入鸡脂后,在反-2-庚烯醛、反,反-2,4-

壬二烯醛等脂肪醛作用下,松蘑汤肉香突出、醇厚感提升;在美拉德反应作用下,所有感官属性的感官得分都明显提升。

3 结论

本实验对三种不同加工方式松蘑样品的非挥发性物质和挥发性物质进行比较分析,了解了松蘑加入鸡脂及美拉德反应后松蘑汤的风味变化。HPLC、电子舌清晰反映出松蘑菌汤、传统烹调松蘑鸡脂汤、美拉德反应松蘑鸡脂汤的味感差异。从非挥发性风味物质来看,加入鸡脂苦味氨基酸含量下降,进行美拉德反应后呈味氨基酸总量增加,松蘑鸡脂汤甜鲜味感增强;从挥发性风味物质来看,加入鸡脂后反-2-辛烯醛、反-2-庚烯醛等典型脂肪醛含量大幅提高,使松蘑汤中肉香味浓郁。美拉德反应后,汤中总挥发性风味物质含量增高。从总体来看,加入鸡脂使松蘑汤风味层次丰富,美拉德反应对松蘑汤整体风味有较大贡献作用。

实验分析了松蘑鸡脂汤奶香、肉香、甜味、鲜味等特征性风味,研究了鸡脂与美拉德反应对松蘑菌汤的风味助益作用,为下一步开发具有我国传统饮食风味的松蘑鸡脂调味汤料奠定理论基础。但本实验尚未对鸡脂氧化与美拉德反应间的相互作用进行深入研究,下一步可对二者相互作用机理进行理论性研究。

参考文献

[1] 金志民, 柴军红, 何婷婷, 等. 东北红松蘑多糖提取及抗氧化活性研究[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(1): 123-125, 134. [JIN Z M, CHAI J H, HE T T, et al. Study on extraction and antioxidant activity of polysaccharide from Northeast Korean pine mushroom[J]. *Hubei Agricultural Science*, 2020, 59(1): 123-125, 134.]

[2] 赵丹, 韩清华, 周海军, 等. 菌菇汤冻调味料制备与工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(3): 196-201. [ZHAO D, HAN Q H, ZHOU H J, et al. Preparation and process optimization of frozen seasoning for mushroom soup[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2017, 38(3): 196-201.]

[3] CELINE J, CELINE N L, PHILIPPE J, et al. Effects of Maillard reaction products on sensory and nutritional qualities of the traditional French baguette[J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83(10): 2424-2431.

[4] 安攀宇, 李燮昕, 李艳梅, 等. 美拉德反应制备鸡肉风味基料的工艺条件优化[J]. *核农学报*, 2021, 35(10): 2328-2340. [AN P Y, LI X X, LI Y M, et al. Optimization of technological conditions for preparing chicken flavor base by Maillard reaction[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2021, 35(10): 2328-2340.]

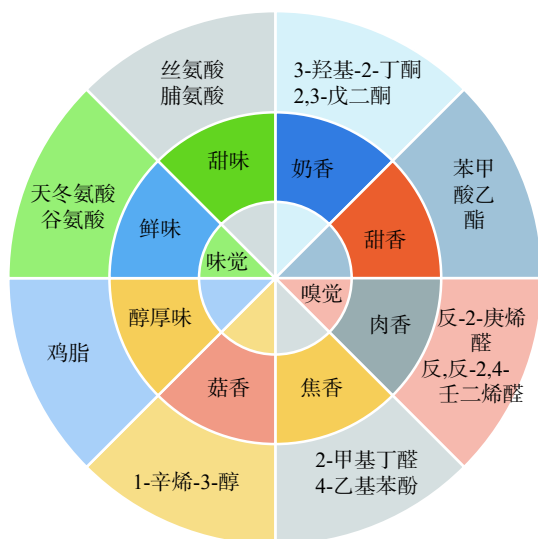


图 8 松蘑鸡脂汤风味轮

Fig.8 Flavor wheel of *Tricholoma matsutake* and chicken fat soup

- [5] 郑美华, 高然, 李玉霜, 等. 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[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(16): 140-149. [ZHENG M H, GAO R, LI Y S, et al. Optimization of Maillard reaction process and analysis of volatile substances in enzymatic hydrolysate of shrimp and crab blanching juice[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2020, 41(16): 140-149.]
- [6] ZHU C Z, ZHAO J L, TIAN W, et al. Contribution of Histidine and Lysine to the generation of volatile compounds in Jinhua ham exposed to ripening conditions via Maillard reaction[J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83(1): 13996.
- [7] WANG W Q, YUAN P P, ZHOU J Y, et al. Effect of temperature and pH on the gelation, rheology, texture, and structural properties of whey protein and sugar gels based on Maillard reaction[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(4): 1228-1242.
- [8] 许雪萍. 不同加工方式处理对猪肉中脂质的影响研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018. [XU X P. Effects of different processing methods on lipids in pork[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.]
- [9] 于静洋, 陈皇女, 夏书芹, 等. 制备鸡肉香精用的鸡脂酶解—温和氧化条件研究[J]. *食品与机械*, 2018, 34(8): 33-38. [YU J Y, CHENG H N, XIA S Q, et al. Study on chicken fat hydrolysis and mild oxidation conditions for preparing chicken flavor[J]. *Food and Machinery*, 2018, 34(8): 33-38.]
- [10] LI H, LIU J M, WANG Z Z, et al. Process optimization of chili flavor beef tallow and analysis of its volatile compounds by GC-IMS[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2021, 17: 7.
- [11] 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.
- [12] 李官丽, 聂辉, 苏可珍, 等. 基于感官评价和电子鼻分析不同蒸煮时间荸荠挥发性风味物质[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(15): 1-7, 14. [LI G L, NIE H, SU K Z, et al. Analysis of volatile flavor compounds of water chestnut at different cooking times based on sensory evaluation and electronic nose[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2020, 41(15): 1-7, 14.]
- [13] 田怀香, 张雅敬, 吴譞, 等. 气相色谱-质谱联用和电子鼻用于鉴别鸡精调味品香气成分[J]. *食品科学*, 2017, 38(2): 191-197. [TIAN H X, ZHANG Y J, WU C, et al. Identification of aroma components of chicken essence seasoning by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. *Food Science*, 2017, 38(2): 191-197.]
- [14] 薛友林, 董立超, 张鹏, 等. 电子鼻结合 GC-MS 分析不同处理蓝莓货架期间果实的挥发性成分[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(19): 297-303, 320. [XUE Y L, DONG L C, ZHANG P, et al. Analysis of volatile components of blueberry fruits during shelf life by electronic nose combined with GC-MS[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2020, 41(19): 297-303, 320.]
- [15] International Organization for Standardization. ISO 11035: Sensory analysis-identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach[S]. National Standard Information Public Service Platform, 1994.
- [16] 舒焱, 刘玉兰, 姜元荣, 等. 鲜花生仁烘烤温度对花生酱风味和综合品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(11): 28-35. [SHU Y, LIU Y L, JIANG Y R, et al. Effects of baking temperature of fresh flower kernel on flavor and comprehensive quality of peanut butter[J]. *Food Science*, 2020, 41(11): 28-35.]
- [17] 沈文凤. 香菇酶解工艺研究及调味料开发山东农业大学[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017. [SHEN W F. Research on enzymatic hydrolysis technology of *Lentinus edodes* and development of seasoning[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017.]
- [18] KIM D S, KIM H S, LEE J, et al. Comprehensive changes in volatile/nonvolatile compounds and flavor and physicochemical characteristics in *Angelica gigas* Nakai roots by thermal processing [J]. *Food Biochem*, 2019, 43: 12842.
- [19] 赵健, 范梦蝶, 甄大卫, 等. “氧化鸡脂-谷胱甘肽-葡萄糖”反应体系风味物质鉴定及形成机制[J]. *食品科学*, 2017, 38(22): 149-155. [ZHAO J, FAN M D, ZHEN D W, et al. Identification and formation mechanism of flavor substances in "oxidized chicken fat glutathione glucose" reaction system[J]. *Food Science*, 2017, 38(22): 149-155.]
- [20] 刘培基. 香菇柄酶解液美拉德反应引起的风味及抗氧化性变化的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020. [LIU P J. Study on the changes of flavor and antioxidation caused by Maillard reaction of enzymatic hydrolysate of *Lentinus edodes*[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2020.]
- [21] 李雪. 蟹味菇风味物质研究及其呈味肽的提取鉴定[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2020. [LI X. Study on flavor compounds of crab mushroom and extraction and identification of flavor peptides[D]. Shanghai: Shanghai University of Applied Technology, 2020.]
- [22] 张玲, 甄大卫, 范梦蝶, 等. 氧化及未氧化鸡脂对热反应肉味香精风味形成的影响[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(8): 229-238. [ZHANG L, ZHEN D W, FAN M D, et al. Effects of oxidized and non oxidized chicken fat on flavor formation of heat responsive meat flavor[J]. *Chinese Journal of Food*, 2017, 17(8): 229-238.]
- [23] 蓬桂华, 李文馨, 殷勇, 等. 电子鼻和电子舌在分析桑果汁风味上的应用[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(12): 234-237, 244. [PENG G H, LI W X, YIN Y, et al. Application of electronic nose and electronic tongue in analyzing the flavor of mulberry juice[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2020, 41(12): 234-237, 244.]
- [24] 刘玉兰, 舒焱, 孙国昊, 等. 花生品种对花生酱风味及综合品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(9): 15-21. [LIU Y L, SHU Y, SUN G H, et al. Effects of peanut varieties on flavor and comprehensive quality of peanut butter[J]. *Food Science*, 2021, 42(9): 15-21.]
- [25] 姚云平, 杜乐, 宋洁, 等. 高温条件下亚麻籽油二次氧化产物的动态变化[J]. *中国油脂*, 2019, 44(8): 77-81. [YAO Y P, DU L, SONG J, et al. Dynamic changes of secondary oxidation products of linseed oil at high temperature[J]. *China Grease*, 2019, 44(8): 77-81.]
- [26] YANG Z, XIE J C, ZHANG L, et al. Aromatic effect of fat and oxidized fat on a meat-like model reaction system of cysteine and glucose[J]. *Flavour Fragrance Journal*, 2015, 30(4): 320-329.
- [27] 张哲奇, 臧明伍, 张凯华, 等. GC-MS 结合电子鼻分析复热

- 对亚油酸-木糖-半胱氨酸体系挥发性风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(12): 166-172. [ZHANG Z Q, ZANG M W, ZHANG K H, et al. GC-MS combined with electronic nose to analyze the effect of reheating on volatile flavor compounds in linoleic acid xylose cysteine system[J]. *Food Science*, 2020, 41(12): 166-172.]
- [28] 肖作兵, 吴旻玲, 牛云蔚. 温控氧化鸡脂对脂肪酸组成及鸡肉香基风味的影响[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(9): 144-150. [XIAO Z B, WU M L, NIU Y W. Effects of temperature controlled oxidized chicken fat on fatty acid composition and chicken flavor[J]. *Chinese Journal of Food*, 2016, 16(9): 144-150.]
- [29] 谢建春, 孙宝国, 刘晶鑫. 氧化及未氧化脂肪对半胱氨酸-核糖体系热反应肉香味形成的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(3): 1-5. [XIE J C, SUN B G, LIU J X. Effects of oxidized and non oxidized fats on meat flavor formation in thermal reaction of cysteine ribose system[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2009, 35(3): 1-5.]
- [30] 王玉, 赵延宁, 薛勇, 等. 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析咸鲛鱼加工过程挥发性风味成分变化[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(24): 266-272. [WANG Y, ZHAO Y N, XUE Y, et al. Analysis of volatile flavor components of salted Spanish mackerel during processing based on electronic nose and SPME-GC-MS[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2018, 39(24): 266-272.]
- [31] LIAO R Y, XIA Q, ZHOU C Y, et al. LC-MS/MS-based metabolomics and sensory evaluation characterize metabolites and texture of normal and spoiled dry-cured hams[J]. *Food Chemistry*, 2022: 371.
- [32] 段秋虹, 刘菊燕, 张容霞. 猪骨汤感官分析及风味轮的构建[J]. *中国调味品*, 2018, 43(9): 140-143. [DUAN Q H, LIU J Y, ZHANG R X. Sensory analysis of Zhugu decoction and construction of flavor wheel[J]. *Chinese Condiments*, 2018, 43(9): 140-143.]
- [33] 安会敏, 熊一帆, 张杨波, 等. 临沧工夫红茶季节判定模型及风味轮的构建[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(23): 199-206. [AN H M, XIONG Y F, ZHANG Y B, et al. Lincang Gongfu black tea season judgment model and construction of flavor wheel[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2019, 40(23): 199-206.]
- [34] ICKES C M, CADDWALLADER K R. Characterization of sensory differences in mixing and premium rums through the use of descriptive sensory analysis[J]. *Journal of Food Science*, 2017: 13936.