

电子舌和气相色谱-离子迁移谱技术分析炖煮时间 对松茸鸡汤风味的影响

李 想^{1,2,4}, 邓 静³, 易宇文³, 关 雎³, 唐英明⁴, 张振宇⁴, 张 浩^{3,4*}

¹四川旅游学院预制菜产业学院 成都 610100

²川菜人工智能重点实验室 成都 610100

³四川旅游学院 烹饪科学四川省高等学校重点实验室 成都 610100

⁴四川旅游学院烹饪学院 成都 610100

摘要 以雅江鲜松茸为试验材料,采用电子舌和气相色谱-离子迁移谱技术,使用主成分、正交偏最小二乘法判别分析,结合相对气味活度值分析炖煮时间对松茸鸡汤风味的影响。结果表明:鲜松茸对鸡汤滋味贡献很大,电子舌鲜味强度值从 2.1 提高到 8.0。采用 GC-IMS 方法共检出 45 种化合物,加入松茸后醛类含量从 47.88% 下降到 21.13%,由 ROAV 值(128.08)确认 3-甲基-1-丁醇是松茸鸡汤的关键化合物。其中,伞花炔、3-辛醇、正辛醇是松茸鸡汤的特征化合物,使松茸鸡汤呈现独特的汽油味、苔藓清香、坚果香味、蘑菇气味和金属气味。炖煮 5 min 后,鸡汤中松茸特征风味最明显,达到最佳食用效果。研究结果为雅江松茸鸡汤风味特征研究提供参考。

关键词 雅江松茸; 炖煮时间; 电子舌; 气相色谱-离子迁移谱; 风味特征; 滋味特征

文章编号 1009-7848(2024)01-0336-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.01.033

四川省甘孜藏族自治州雅江县位于川西高原,被誉为“中国松茸之乡”^[1]。雅江松茸生长在海拔 3 500~4 200 m,黄背栎、高山松、高山栎(青冈树)3 种高山混交林下^[2],每年 7~9 月成熟。松茸香气宜人、菌肉鲜美、口感滑嫩、滋味爽口^[3],最为常见的做法是炖汤。先使用土鸡炖煮好鸡汤,再加入新鲜松茸一起炖煮,是一道当地特色美食,将松茸特殊风味和鸡汤鲜美的滋味完美融合在一起。新鲜松茸的保质期一般只有 72 h,松茸大量上市时间正好是雅江县的雨季,对外交通受天气影响,很大程度限制了鲜松茸外运销售^[4]。目前,每年雅江松茸量产季节通过快递运输、销售松茸,常将其晾晒成松茸干片或低温冷冻销售,这对松茸的风味

和品质有很大影响。在每年松茸量产季节,如果将鲜松茸制成松茸鸡汤预制菜品,可以弥补松茸保鲜的难点。预制松茸鸡汤可以实现产业化、标准化生产,以保证其品质与风味,而研究鲜松茸最佳炖煮时间及风味特征变化,对提高松茸鸡汤品质有很大的帮助。

目前国内外对松茸的研究很多,主要集中在干燥加工^[5]、营养物质^[6]、贮藏保鲜^[7]。近年来逐步转向松茸深加工和医药应用研究方向^[8-9]。王慧清等^[10]研究松茸菌汤时发现熬制过程中的料液比、熬制时间、熬制温度等因素都会对松茸营养成分释放造成影响。尤梦晨等^[11]研究了 10 种食用菌对高汤风味品质的影响,主要是氨基酸和风味分析,未涉及炖煮时间对菌汤风味的影响。刘常园等^[12]利用电子鼻和 GC-IMS 技术对蒸汽复热和微波复热的香菇菌汤风味化合物组成及品质进行分析,结果发现电子鼻可以分析食用菌滋味和气味轮廓。电子舌可辨别食品滋味,对酸、咸、鲜能够直接识别滋味强度^[13]。GC-IMS 技术适用于食品风味特征辨别,能检出小分子、低含量化合物^[14],结合相对气味活性值可以确定对风味有影响的化合物。松茸炖煮时间对鲜松茸的风味、品质以及口感影响很大。采用电子舌、GC-IMS 结合相对气味活度

收稿日期: 2023-12-12

基金项目: 四川省社科联(SC22ZDXTX08);四川省科技厅(2020YFN0151);川菜工业化四川省高等学校工程研究中心重点研究课题(GCZX22-21);特色园艺生物资源开发与利用四川省高校重点实验室项目(2023TSYY-08);四川省科技计划项目(2020YJ0403);雅江松茸烹饪工艺开发与技术支持项目(HT20230445);

第一作者: 李想,男,本科,教授

通信作者: 张浩 E-mail: 283184500@qq.com

值可以明晰松茸特征风味。

本研究以雅江鲜松茸为试验材料,在鸡汤中分别炖煮 5,10,15,20,25 min 后,采用电子舌、GC-IMS 技术检测松茸鸡汤滋味强度值和风味化合物。运用 PCA 分析、OPLS-DA 分析,结合 ROAV 呈味阈值分析炖煮时间对松茸鸡汤风味化合物的影响,再对结果进行定量描述分析(Quantitative descriptive analysis,QDA),以期为预制松茸鸡汤品质调控提供技术指导,为雅江松茸风味特征研究提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

雅江鲜松茸,S 级,3~5 cm,四川甘孜州雅江县文旅局提供,试验当天采收,无虫害,苔藓包裹后,15℃恒温运输到实验室;三黄鸡、老姜、大葱、食盐等均为市售。

正酮(C₄~C₉,色谱纯),国药集团化学试剂(北京)有限公司。

1.2 仪器与设备

α-ASTREE 型电子舌,法国 Alpha MOS 公司;Flavour Spec[®]气相色谱-离子迁移谱联用仪,德国 GAS 公司;MC-HX2227 电磁炉,美的集团有限公司;L18-P132 破壁机,广东九阳电器;WP-UP-UV-20 型去离子水机,四川沃特尔公司;BT423S 型电子天平(精确到 0.01 g),德国赛多利斯公司;S20 mL 顶空瓶,北京谱朋科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备 熬制鸡汤:三黄鸡清洗干净,将鸡肉分割成 3 cm×3 cm×3 cm 的小块,随机、均匀称量 1 500 g 鸡肉,5 000 mL 水,15 g 老姜,15 g 大葱,3 g 食盐,放入锅中,1 800 W 电磁炉烧开,撇去表面浮沫,关小火 300 W 电磁炉继续熬制 90 min,过滤后,鸡汤备用。

炖煮松茸:将鲜松茸切掉底部泥沙,用湿厨用纸擦拭干净表面,手撕为细丝,备用。取鸡汤 400 mL 加入 50 g 松茸丝在 300 W 电磁炉上炖煮 5,10,15,20,25 min(根据多次预试验,最优效果设置),趁热将其用破壁机(35 000 r/min)在 30 s 内,打碎成汤汁(模拟人们食用松茸鸡汤的习惯:鸡汤

和炖煮后的鲜松茸一起品尝),使样品均一性效果更佳,分别编号为样品 B~F,待测;另取一组不加松茸,为鸡汤风味对照组(样品 A)。

1.3.2 电子舌分析 样品处理:每组取 150 g 汤汁,用细纱布过滤,取滤液用中性滤纸过滤,最后取 80 mL 滤液至电子舌专用烧杯编号待检。

分析条件:自动进样,数据采集时间 120 s,采集周期为 1.0 s,采集延迟 10 s,搅拌速度 1 r/s,样品平行检测 5 次,样品间隔 80 mL 去离子水清洗感应器。取传感器在 120 s 时 3 个相对稳定数据进行分析。

1.3.3 气相色谱-离子迁移谱(GC-IMS) 参考杜佳馨等^[15]方法略作修改,每组称量 5.00 g 汤汁,置于 20 mL 顶空瓶中,编号待检;每个样品平行 3 次。

进样条件:孵育温度 80℃,孵育时间 15 min;进样针温度 80℃,顶空自动进样 500 μL,转速 500 r/min。

分析条件:使用 MXT-5 金属毛细管气相色谱柱(15 m×0.53 mm×1 μm),色谱柱温度 60℃。载气为 N₂(纯度≥99.999%)。载气程序:初始流速 2 mL/min,保持 2 min,18 min 内流速匀速升至 100 mL/min,保持 100 mL/min 至 30 min。漂移气流速保持 150 mL/min。IMS 温度 45℃。

数据分析:利用 Flavor Spec 风味分析仪,基于保留指数(RI)和相对迁移时间(Dt),与内置的 GC×IMS Library Search 软件里的 NIST 数据库和 IMS 数据库对化合物定性分析^[16],采用检测峰颜色和面积(即峰信号值强度)和 quantification 功能进行半定量分析。

1.3.4 相对气味活度值(ROAV) 相对气味活度值(ROAV)是在 OAV 基础上进一步量化评价香气成分对食品香气体系的相对贡献度,是有效表征食品香气体系关键香气成分的重要手段^[17],是结合阈值判定化合物重要性的方法,其原理及计算方法见文献[18]。按公式(1)计算。

$$\text{ROAV}_i \approx \frac{C_{ni}}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T_{ni}} \quad (1)$$

式中, C_{ni} ——某个化合物相对含量(%); C_{stan} ——最大化合物的相对含量(%); T_{stan} ——最大化合物阈值(μg/kg); T_{ni} ——某个化合物阈值(μg/

kg)。当ROAV值 >1 时,表示其对风味有贡献,定义为影响风味的关键化合物;当ROAV值 <1 时,表示对风味起辅助、修饰作用。

1.3.5 定量描述分析(QDA) 以试验结果得到的松茸鸡汤化合物特征,结合已知化合物呈现风味作为描述标准品的风味,设定感官描述词:蘑菇香味、鲜味、坚果风味、酸味、苔藓清香、金属气味、汽油味。参考卢云浩等^[9]的方法稍作修改,进行感官定量描述分析。选取10位经过感官评价培训的烹饪从业人员,对不同炖煮时间的松茸鸡汤进行风味评价:包含嗅闻气味和品尝滋味,每个样品采用1,3,5,7,9分进行强度评判,定量描述分析结果取平均值。

1.4 数据统计与分析

采用Excel 2016进行数据统计;采用Origin 21做柱状图、QDA风味描述图、Metabo Analyst.ca (V5.0)做PCA、热图;采用GC-IMS配套Gallery Plot绘制指纹图谱;采用SIMCA Version 14.1进行OPLS-DA判别分析。

2 结果与分析

2.1 不同炖煮时间松茸鸡汤的电子舌检测结果

2.1.1 传感器味觉强度值分析 ASTREE型电子舌的AHS-Sourness、CTS-Saltiness、NMS-umami传感器可以直接用相对味道强度值来描述样品的酸、咸、鲜滋味^[20],结果如图1所示。样品酸味强度值(AHS-Sourness)由2.6升高至8.7,表明随着炖煮时间的延长,松茸中富含的酸性氨基酸溶解会产生相对酸味,B样品由于炖煮时间最短,其酸度最低;样品中鲜味强度(NMS-umami)原本很低,加入松茸炖煮后鲜味强度值从2.1提高到8.0,说明鲜松茸对鸡汤滋味的贡献非常大;样品中咸味强度值(CTS-Saltiness)从对照组的7.0,到达加入松茸后最高值8.1,随后随炖煮时间延长逐步降低至2.2。有研究表明,菌类无机离子状态盐与谷氨酸形成谷氨酸钠盐,而谷氨酸钠是重要的鲜味调节剂^[21]。加入松茸后咸味强度值逐步降低,初步分析是松茸里甘氨酸溶解形成调味的功能,缓和酸、咸味^[22],需要进一步结合GC-IMS数据进行验证分析。

2.1.2 电子舌PCA分析 PCA是一种无监督统

计分析方法,可用于概述成分的差异并评估样品的规律性和差异性^[23]。不同炖煮时间的松茸鸡汤的电子舌结果如图2所示。PC1贡献率为94.0%,PC2贡献率为5.5%,表明大量有效信息在PC1,电子舌可以区分松茸鸡汤所有样品;样品B、C、D、E、F相对聚集,说明滋味相似,其中B、C、D相近,滋味差异较小,样品A的滋味明显区别于所有样品。

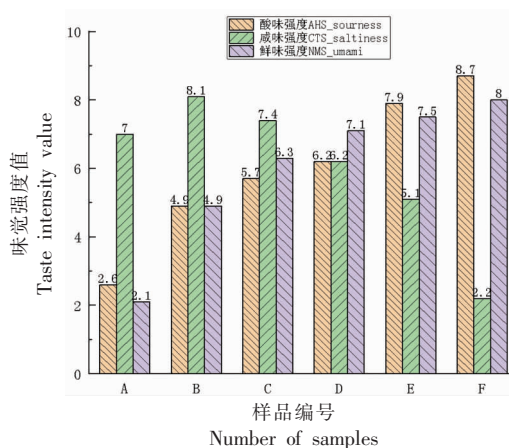


图1 电子舌传感器味觉强度值

Fig.1 Taste intensity value of electronic tongue sensor

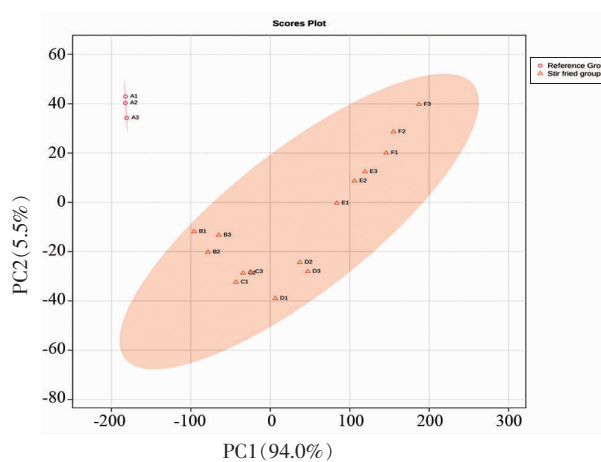


图2 电子舌主成分图

Fig.2 Principal component diagram of electronic tongue

2.2 不同炖煮时间松茸鸡汤的GC-IMS结果

为进一步探寻不同炖煮时间对松茸鸡汤风味特征的影响,利用GC-IMS分析检测,其检测结果的二维图、差异对比图,如图3所示,从左至右分别是样品A~F,化合物保留时间在200~1200s之

间,漂移时间在 0.5~1.5 ms 之间。图 3 明显可见样品 A 化合物浓度在红色圆圈处与其它样品差异较大,样品 B、E、F 在橘红色方框内浓度相似,数量

较多,而样品 F 在 1 000~1 200 s 保留时间段明显化合物浓度降低减少。

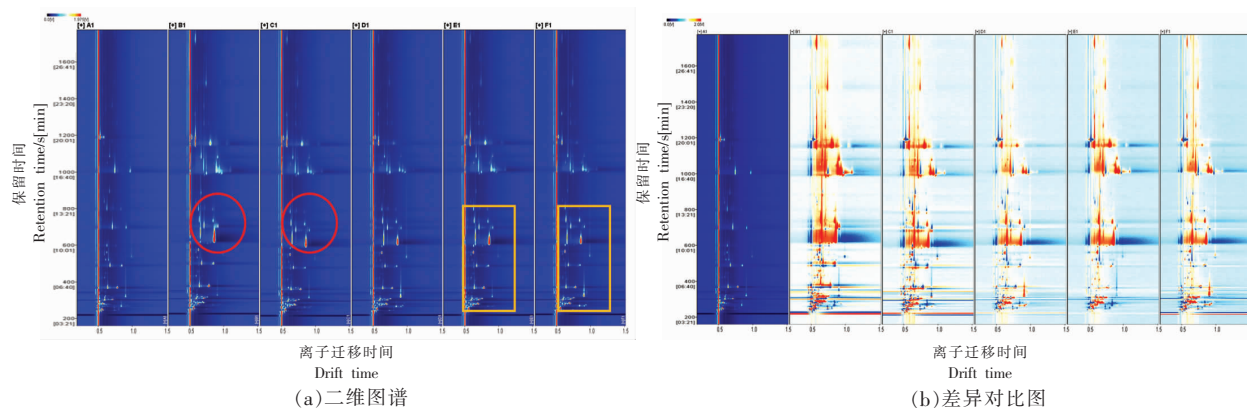


图 3 不同炖煮时间松茸鸡汤 GC-IMS 二维、差异对比图

Fig.3 Two dimensional and differential comparison of GC-IMS for different stewing times

采用仪器自带的 Gallery Plot 插件生成可视化指纹图谱^[24],通过其具体化合物浓度含量信息,可以进一步看出炖煮时间对松茸鸡汤挥发性化合物的影响和差异。由图 4 可知,松茸鸡汤中共检出 45 种化合物(单体或二聚体),包含:醛类 12 种,醇类 10 种,烯炔类 4 种,酮类 3 种,酸类 1 种,酯类 1 种,含硫化合物 1 种;由于 GC-IMS 数据库不完备,有几种目前未能识别。

A 区化合物包括:丁醛、庚醛、己醛、辛醛、(E)-2-己烯醛(M)、醋酸、双戊烯(M)、(E)-2-庚烯醛(M)、2-乙基己醇、(E)-2-庚烯醛(D)、正戊醇、正

丁醇、2-甲基吡嗪,所有样品化合物浓度相似,表明这些化合物是松茸炖鸡汤的共有化合物。

B 区明显可见:3-辛醇(M)、伞花烃(M)、3-辛醇(D)、1-辛稀-3-醇(D)、正戊醛、伞花烃(D)、乙酸冰片酯、1-辛稀-3-醇(M)、正辛醇、2-庚酮、苯甲醛、环戊酮、3-甲基-1-丁醇、辛醛(D)、庚醛,这些化合物浓度区别于其它样品。

C 区可见:2-庚酮、苯甲醛、环戊酮、3-甲基-1-丁醇、辛醛(D)、庚醛,以及 6 种未能识别的化合物浓度含量较高。

总的来说,对照组与加入松茸后的其它样品

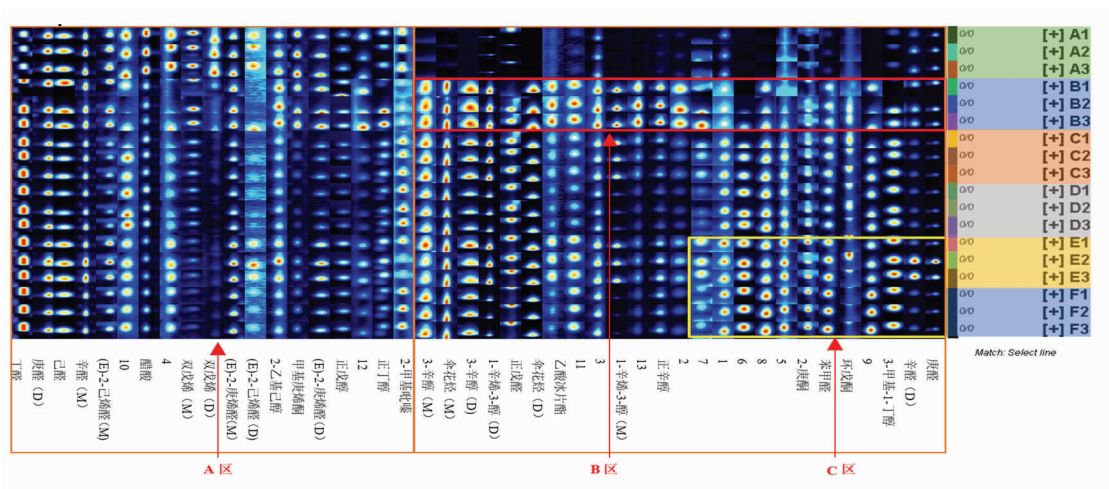


图 4 不同炖煮时间松茸鸡汤的 GC-IMS 指纹图谱

Fig.4 GC-IMS fingerprint of matsutake chicken soup with different stewing times

化合物有显著差异,充分说明加入雅江松茸对鸡汤风味影响显著;B样品的挥发性化合物浓度较高,区别于其它样品,然而对于风味的具体影响,需要进一步结合化合物 ROAV 呈味阈值分析,以明确风味特征。

2.3 不同炖煮时间松茸鸡汤化合物浓度变化分析

为明确不同炖煮时间对松茸鸡汤化合物的影响,利用 GC-IMS 半定量报告,采用峰面积归一法计算相对化合物浓度,其结果如图 5 所示。松茸鸡汤中化合物含量较高的是醛类占比 21.13%~27.95%,醇类占比 24.33%~32.99%,烯炔类占比 26.53%~31.69%。鸡汤中主要的化合物是醛类,来自炖煮过程中脂肪的氧化和降解^[25],相关研究表明:加入菌类炖煮会大幅降低鸡汤中的己醛、辛醛、(E,E)-2,4-壬二烯醛、戊醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛的含量,对鸡汤的腥味有一定的掩蔽效果^[26]。炖煮 0~5 min 松茸鸡汤中醛类含量从的 47.88%显著下降到 21.13%,特别是辛醛、庚醛、己醛、(E)-2-庚烯醛降幅显著,这些物质是具有腥味的化合物^[27-28],表明添加松茸对鸡汤起到掩蔽腥味的作用。1-辛烯-3-醇具有蘑菇香气,鸡汤加入松茸炖煮后,1-辛烯-3-醇(D)的浓度增加了 1 倍,表明松茸会使鸡汤呈现浓郁的蘑菇风味。

本研究发现加入雅江松茸后,化合物相对浓度变化最大的是伞花烃(具有溶剂、汽油味),其浓度增加了 15 倍,这应该是大多数人食用松茸时感

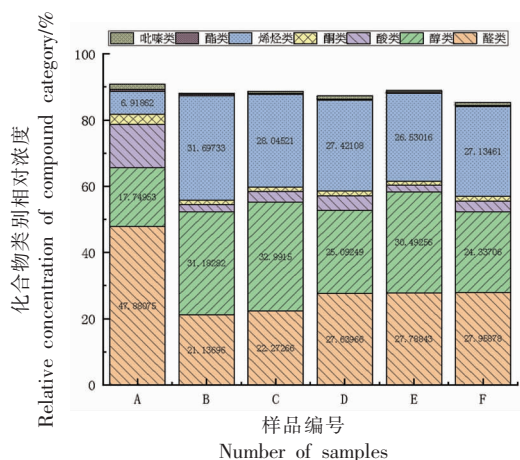


图 5 不同炖煮时间化合物类别相对浓度百分比图

Fig.5 Relative concentration percentage of compound categories at different stewing times

觉带有浓郁的汽、柴油滋味的主要原因。雅江松茸生长在高山松与青冈木混生林下,形成的枯枝层,也许是伞花烃风味浓度很大的一个原因。相关研究表明,伞花烃被认为是湿地松树挥发性油的一个代表化合物^[29]。黄小菲等^[30]对西南地区不同产地松茸挥发性成分分析中也发现,雅江松茸因生长环境的共生植被和高海拔因素,导致挥发性成分区别于其它地区。研究中还发现 3-辛醇(具有苔藓、坚果、蘑菇气味)的浓度增加了 9.5 倍,正辛醇(具有化学药品、金属气味)的浓度增加 1.6 倍,这些不饱和醇及长链醇具有独特的蘑菇和金属气味^[31],这应该也是雅江松茸有别于其它地区松茸的主要风味特征。

研究结果表明,雅江松茸对鸡汤中一些醛类产生的腥味有很好的抑制作用,可以使松茸鸡汤风味更加清新,而伞花烃、3-辛醇、正辛醇可以确认是雅江松茸的特征化合物,使松茸呈现独特的汽油味、苔藓清香、坚果风味、蘑菇气味和金属气味,而被广泛研究报道的 1-辛烯-3-醇呈现的仅仅是蘑菇香味^[32],也许并不能代表松茸的特殊风味。

2.4 不同炖煮时间松茸鸡汤的 ROAV 阈值分析

食品中的挥发性风味成分的贡献度可以解决化合物香气成分对体系香气贡献度的问题^[17]。为进一步研究炖煮时间对松茸鸡汤风味的影响,明确炖煮时间对化合物浓度变化的影响,需结合 ROAV 阈值分析呈味特征,其结果如表 1 所示。所有样品加入松茸炖煮后,3-甲基-1-丁醇呈现逐步升高的趋势,最高达 128.08,应该是炖煮过程中支链氨基酸中的亮氨酸水解后,经过 Strecker 降解,经转氨、脱羧、还原形成大量 3-甲基-1-丁醇^[33],能给松茸鸡汤赋予浓郁麦芽香,时间越久味道越浓郁,这与电子舌鲜味强度值得到的结果相似。其次,醋酸在对照组中的 ROAV 值为 243.44,加入松茸炖煮后样品 B 呈味阈值降低到 40.30,鸡汤相对酸度降低,表明风味更佳;1-辛烯-3-醇(D)从对照组鸡汤的 34.25,加入松茸炖煮后呈味阈值显著增加,最高的是样品 C(74.88),表明加入松茸后鸡汤的蘑菇鲜味明显增强;3-辛醇(D)呈味阈值从对照组鸡汤的 2.19,增加到 19.68,增长 9 倍,能给松茸鸡汤带来苔藓、坚果和蘑菇气味;正辛醇在样

表 1 松茸鸡汤 GC-IMS 化合物浓度与 ROAV 阈值结果

化合物名称	CAS#	样品						ROAV 值						风味描述	
		GC-IMS compound concentration and ROAV threshold results of matsutake chicken soup						ROAV 值							
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F		
正辛醛 (M)	124-13-0	10.39	3.86	4.02	5.11	4.99	4.90	0.0170	171.21	63.56	66.20	84.27	82.17	80.80	青草、脂肪、肥皂气味
正辛醛 (D)	124-13-0	3.90	2.24	1.28	1.58	3.38	1.61	0.0170	64.31	36.90	21.15	26.07	55.68	26.48	青草、脂肪、肥皂气味
庚醛 (M)	111-71-7	4.20	1.91	1.29	1.70	2.92	1.72	0.2600	4.52	2.05	1.39	1.84	3.14	1.85	柑橘、脂肪气味
庚醛 (D)	111-71-7	5.87	2.05	1.99	2.61	2.50	2.55	0.2600	6.33	2.21	2.15	2.81	2.69	2.74	柑橘、脂肪气味
己醛	66-25-1	5.97	2.56	2.00	2.16	2.73	2.86	0.2300	7.27	3.11	2.43	2.63	3.33	3.48	青草、牛油气味
丁醛	123-72-8	8.29	4.26	6.82	8.78	6.21	8.31	0.1000	23.23	11.94	19.09	24.58	17.39	23.28	刺鼻的气味
(E)-2-庚烯醛 (M)	18829-55-5	5.07	1.81	1.76	2.06	2.00	2.56	2.4000	0.59	0.21	0.21	0.24	0.23	0.30	杏仁、肥皂气味
(E)-2-庚烯醛 (D)	18829-55-5	1.25	0.47	0.34	0.42	0.53	0.52	2.4000	0.15	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06	杏仁、肥皂气味
(E)-2-己烯醛 (M)	6728-26-3	1.34	0.49	0.50	0.61	0.59	0.67	0.7900	0.47	0.17	0.18	0.22	0.21	0.24	苹果香气、青草香气
苯甲醛	100-52-7	0.49	0.64	0.85	0.84	0.80	1.05	0.0850	1.63	2.11	2.79	2.75	2.65	3.45	杏仁、蔗糖气味
正戊醛	110-62-3	0.97	0.82	1.36	1.69	1.07	1.15	0.8500	0.32	0.27	0.45	0.56	0.35	0.38	杏仁、麦芽气味
(E)-2-己烯醛 (D)	6728-26-3	0.14	0.04	0.07	0.07	0.08	0.06	0.7900	0.05	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	苹果香气、青草香气
正辛醇	111-87-5	1.32	2.15	1.52	1.28	1.74	2.08	0.0230	16.05	26.20	18.46	15.58	21.15	25.33	化学、金属气味
1-辛烯-3-醇 (M)	3391-86-4	2.98	6.43	6.24	2.66	5.50	1.55	0.0480	17.41	37.55	36.44	15.50	32.11	9.07	蘑菇风味
1-辛烯-3-醇 (D)	3391-86-4	5.87	10.97	12.83	8.59	10.73	5.48	0.0480	34.25	64.02	74.88	50.14	62.63	32.01	蘑菇风味
2-乙基乙醇	104-76-7	1.37	0.61	0.61	0.74	0.66	0.74	0.4000	0.96	0.43	0.43	0.52	0.47	0.52	玫瑰花、青草气味
正戊醇 (M)	71-41-0	1.98	0.97	1.00	1.09	1.09	1.23	0.3600	1.54	0.75	0.78	0.85	0.85	0.95	香醋气味
3-甲基-1-丁醇	123-51-3	1.10	0.86	1.99	2.64	2.33	2.79	0.0061	50.30	39.62	91.29	121.48	106.79	128.08	麦芽香气
正戊醇 (D)	71-41-0	0.29	0.17	0.23	0.21	0.29	0.21	0.3600	0.23	0.13	0.18	0.17	0.23	0.16	香醋气味
正丁醇	71-36-3	0.56	0.26	0.28	0.28	0.31	0.32	0.4800	0.33	0.15	0.17	0.17	0.18	0.19	药品、水果气味
3-辛醇 (M)	589-98-0	1.68	3.28	4.21	4.37	3.45	5.22	0.0780	6.04	11.78	15.11	15.69	12.40	18.75	苔藓、坚果、蘑菇气味
3-辛醇 (D)	589-98-0	0.61	5.48	4.09	3.22	4.40	4.71	0.0780	2.19	19.68	14.69	11.57	15.79	16.92	苔藓、坚果、蘑菇气味
醋酸	64-19-7	13.03	2.16	3.09	4.33	2.02	3.28	0.0150	243.44	40.30	57.78	80.91	37.69	61.34	酸味
甲基庚烯酮	110-93-0	1.60	0.46	0.32	0.33	0.32	0.39	0.3000	1.50	0.43	0.30	0.30	0.30	0.37	胡椒、蘑菇气味
环戊酮	120-92-3	0.31	0.16	0.22	0.24	0.18	0.19	31.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2-庚酮	110-43-0	1.20	0.63	0.80	0.96	0.78	0.87	0.0230	14.57	7.70	9.79	11.70	9.51	10.62	肥皂气味
双戊烯 (M)	138-86-3	1.29	0.39	0.39	0.42	0.29	0.33	0.2000	1.80	0.55	0.54	0.59	0.40	0.47	柠檬、橙子香气
双戊烯 (D)	138-86-3	2.12	0.35	0.19	0.19	0.21	0.22	0.2000	2.98	0.48	0.27	0.27	0.30	0.31	柠檬、橙子香气
伞花烃 (M)	99-87-6	1.83	5.25	6.24	6.91	5.70	7.05	7.2000	0.07	0.20	0.24	0.27	0.22	0.27	溶剂、汽油、柑橘气味
伞花烃 (D)	99-87-6	1.68	25.70	21.23	19.90	20.33	19.53	7.2000	0.07	1.00	0.83	0.77	0.79	0.76	溶剂、汽油、柑橘气味
乙酸冰片酯	76-49-3	0.50	0.37	0.34	0.37	0.35	0.31	0.4400	0.32	0.24	0.21	0.23	0.22	0.20	松木气味
2-甲基吡嗪	109-08-0	1.72	0.29	0.63	0.90	0.52	0.82	1.9000	0.25	0.04	0.09	0.13	0.08	0.12	爆米花香气

注:风味描述来源于: <http://www.flavornet.org/compound/roavnet.html>; 阈值来源于《化合物嗅觉阈值汇编》第2版; M表示单聚体, D表示二聚体。

品 B 中呈味阈值是对照组鸡汤的近 1 倍, 远高于其它样品, 使松茸鸡汤呈现特殊的化学药品、金属气味; 伞花烃(D)呈味阈值从对照组鸡汤的 0.07, 升高到 1.00, 增加 14 倍, 对香味具有重大贡献, 给松茸鸡汤带来溶剂和汽油气味, 成为松茸特征化合物。

总的来看, ROAV 值 > 1, 对风味有影响的化合物是: 3-甲基-1-丁醇、醋酸、正辛醛(M)、1-辛烯-3-醇(D)、辛醛(D)、1-辛烯-3-醇(M)、3-辛醇(D)、正辛醇、丁醛、3-辛醇(M)、2-庚酮、庚醛(M)、己醛、苯甲醛、庚醛(D)、伞花烃(D)、双戊烯(D)、双戊烯(M)等 18 种, 影响最大的是 3-甲基-1-丁醇, 可以确定其是松茸鸡汤的关键化合物; 具有雅江鲜松茸代表特征, 对呈味阈值影响较大的化合物包括: 1-辛烯-3-醇(D)、正辛醇、3-辛醇(D)、伞花烃(D), 可以确定是雅江松茸鸡汤的主要风味特征化合物, 使雅江松茸鸡汤具有麦芽香气、蘑菇香味、苔藓气味、坚果风味、金属气味、汽油味。

2.5 不同炖煮时间松茸鸡汤 OPLS-DA 判断分析

采用 SIMCA 14.1 软件将 GC-IMS 化合物浓度相对含量设为自变量 X 与 ROAV 值设为因变量 Y 进行 OPLS-DA 判断^[34], 相对于传统的 PCA

无监督的分析方法, OPLS-DA 是有监督的判别分析方法, 通过对大量数据进行降维处理, 实现数据可视化及判别分析, 分析更加简单、便捷, 其结果如图 6b 图所示。 $R^2X=0.871$, $R^2Y=0.992$, $Q^2=0.987$, 当 R^2 和 Q^2 在 0.5~1.0 之间时, 说明新建模型具有较好的解释和预测力^[35], 可以用于区分化合物差异, 再进行 200 次置换对新建模型进行检验, R^2 模型 = (0.0, 0.287), $Q^2=(0.0, -0.716)$, 一共 3 组模型进行拟合验证, R^2 数值均位于横轴 0 的上方, Q^2 回归线是负数, 说明该模型可靠, 不存在过拟合现象, 模型相关性较好。

图 6a 是主成分得分图, 明显可见样品 A 与样品 B、C、D、E、F 化合物相对浓度差异较大, 加入松茸的样品显著靠近伞花烃(D)、正戊醛, 位于 75% 置信区; 化合物呈味阈值明显可见样品 B、C、D、E、F 相近, 呈味风味相似, 显著靠近 3-甲基-1-丁醇、辛醛(M)、1-辛烯-3-醇(D)、3-辛醇(D)、正辛醇、3-辛醇(M), 均带有浓郁的蘑菇香气、苔藓、坚果、金属气味; 只有对照组样品 A 位于 100% 置信区, 显著靠近鸡汤常见的腥味醛类, 包括: 庚醛、己醛、2-乙基己醇、双戊烯和醋酸, 还会呈现一定的酸味; 得分图可以明显区别对照组鸡汤样品 A, 其余样品数据基本无重叠, 距离相近, 风味均呈现相似特征, 仅有细微差异。

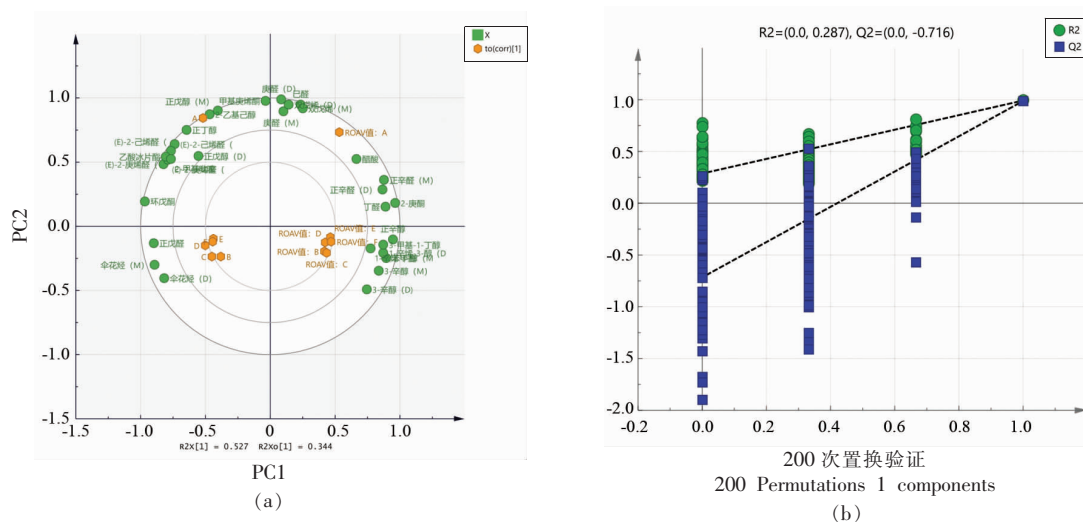


图 6 不同炖煮时间松茸鸡汤的 OPLS-DA 得分图 (a) 和置换验证图 (b)

Fig.6 OPLS-DA score chart (a) and substitution validation chart (b) of Matsutake chicken soup with different stewing times

从 OPLS-DA 模型中得到变量重要性 (Variable important for the projection, VIP 值), 可用于衡量影响强度和解释能力, VIP 值 > 1 为差异化合物筛选标准^[36]。图 7 可见, VIP 值 > 1 的关键化合物有 19 种, 分别是: 环戊酮、2-庚酮、正辛醇、伞花烃(M)、正辛醛(M)、苯甲醛、正戊醛、丁醛、正辛醛(D)、1-辛烯-3-醇(D)、(E)-2-庚烯醛(D)、3-甲基-1-丁醇、乙酸冰片酯、3-辛醇(M)、伞花烃(D)、(E)-2-庚烯醛(M)、(E)-2-己烯醛(D)、(E)-2-己烯醛(M)、2-甲基吡嗪, 这些化合物是松茸鸡汤风味

的关键化合物。

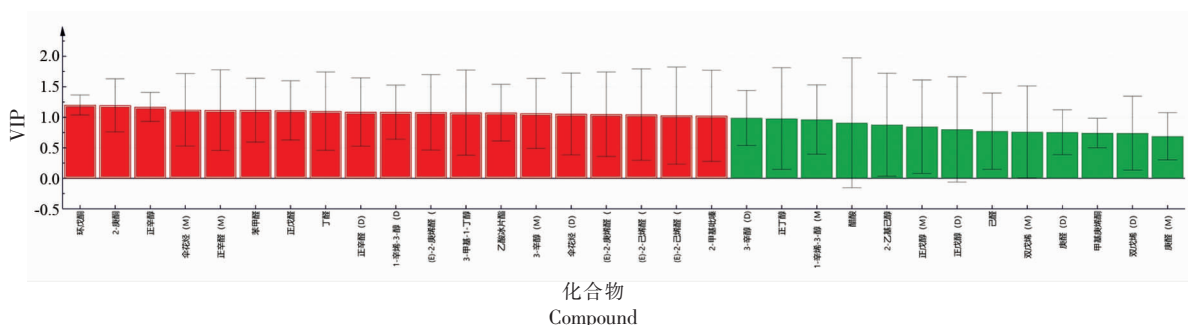


图 7 不同炖煮时间松茸炖鸡汤变量重要性值

Fig.7 Importance values of variables in matsutake stewed chicken soup at different stewing times

2.6 ROAV 值>1 的关键化合物 PCA 分析

将 ROAV 值 > 1 的 18 种化合物做主成分分析, 其结果如图 8 所示。PC1 贡献率为 66.54%, PC2 贡献率为 21.70%, 每个样品能很好的区分开, 无重叠, 第 1, 2 主成分之和大于 80%, 说明降维后的主成分能代表大多数的信息。李琴等^[37]利用电子鼻研究认为利用 PCA 不能很好区分不同熬制时间的菌汤风味, 因为熬制 15 min 后香菇汤风味有部分重叠, 风味物质有一定的共性。本研究利用 GC-IMS 数据结合 ROAV 值结果, 进行 PCA

分析可以清楚的分辨不同炖煮时间下松茸鸡汤风味差异, 说明分析方法可行且更加有效。由图 8 可知, 样品 B、C、E 位于负第三象限, 远离对照组样品 A。有研究证明, 当样品在 2 个 PCA 方向呈负相关, 表明产生更多风味前体物质, 对风味影响显著^[25], 且样品 B、C、E 显著靠近伞花烃(D)、3-辛醇(D)、正辛醇、1-辛烯-3-醇(M、D) 这些能给松茸鸡汤带来特殊风味特征的化合物, 表明样品 B、C、E 具有松茸鸡汤特征; 样品 B 显著靠近 1-辛烯-3-醇(M、D), 表明呈现蘑菇风味更佳; 样品 D、F 显著靠近 3-甲基-1-丁醇、苯甲醛、3-辛醇(M), 表明样品呈现麦芽香、杏仁香、苔藓清香, 松茸鸡汤鲜味应该更佳。

2.7 不同炖煮时间松茸鸡汤化合物浓度含量与化合物阈值热图分析

由于 OPLS-DA 判别仅有细节差异, 且 ROAV 阈值差异不大, 可以进一步结合热图聚类分析判断。聚类分析可以有效降低数据集的复杂性, 判断不同样品之间化合物的差异性^[38]。采用不同炖煮时间的松茸鸡汤化合物相对浓度值与化合物 ROAV 阈值为 X 轴对比样品, GC-IMS 鉴定出的化合物为 Y 轴, 做热图聚类分析, 其结果如图 9 所示。化合物聚类显示, 样品 C、D 聚为一类, 样品 E、F 聚为一类, 样品 B 与样品 C、D、E、F 聚类; 聚类

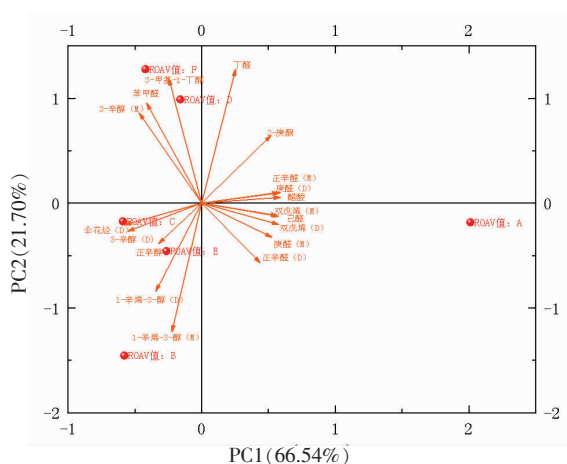


图 8 松茸鸡汤 ROAV 值>1 的关键化合物主成分分析图

Fig.8 Principal component analysis of key compounds with ROAV values > 1 in matsutake chicken soup

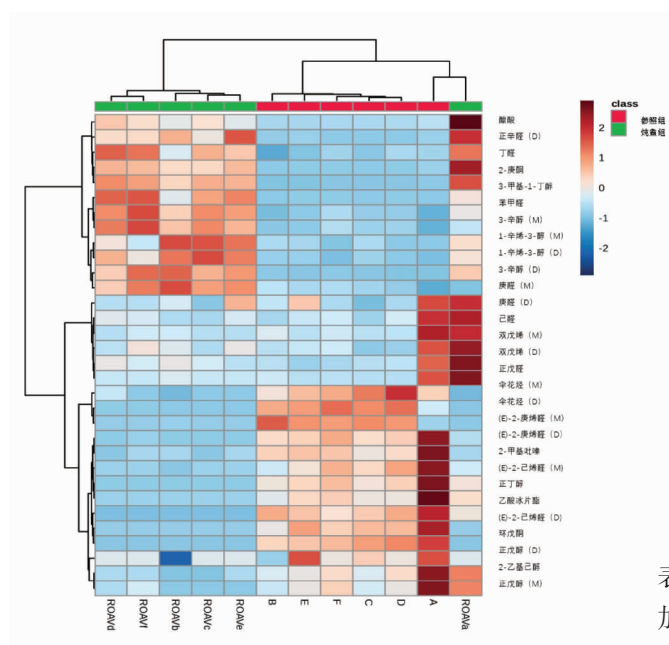


图9 松茸鸡汤 GC-IMS 化合物浓度与化合物阈值热图
Fig.9 Thermogram of GC-IMS compound concentration and compound threshold in matsutake chicken soup

热图化合物明显可见,伞花烃(M)、伞花烃(D)、环戊酮、2-甲基吡嗪、(E)-2-庚烯醛(M)、(E)-2-庚烯醛(D)聚为一类,使松茸鸡汤具有溶剂、汽油、蘑菇风味,并微带金属气味;正戊醛、1-辛烯-3-醇(M)、1-辛烯-3-醇(D)、3-甲基-1-丁醇、苯甲醛、1-辛醇、3-辛醇(M)、正辛醇、正戊醇、3-辛醇(D)聚为一类,能为松茸鸡汤带来苔藓、坚果风味;其余部分是松茸鸡汤风味特征化合物聚类区域。

2.8 不同炖煮时间松茸鸡汤的 QDA 结果

食品感官定量描述是基于滋味化合物分析的鉴定方法,感官人员需要提前熟悉香气特征对应标准品的香气^[39],对松茸这类风味特征大多数人都不是很熟悉的食品,感官风味描述词的确认有一定的难度,且主观性强。本研究进行反向推断鉴别食品滋味,以上述试验结果得到的松茸特征风味和滋味化合物呈现风味作为感官描述的标准,去定量描述松茸的特征风味强度,结果如图10所示。明显可见炖煮5 min后,样品除酸味值,其它各种风味呈现较高的强度值,表明这时松茸鸡汤的风味最佳。随着炖煮时间延长强度值明显减弱,炖煮20 min的酸味值增强,继续炖煮25 min后鲜味、酸味强度值显著升高,其它特征值明显减弱,

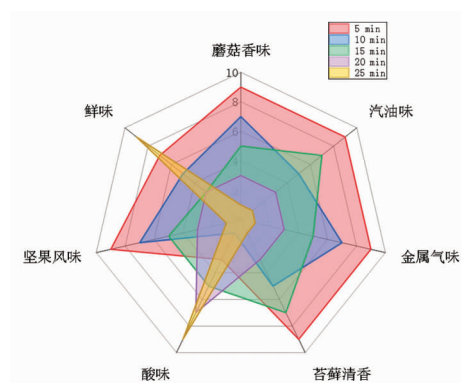


图10 松茸鸡汤风味感官描述图
Fig.10 Sensory description of the flavor of matsutake chicken soup

表明持续炖煮会使鲜松茸风味特征降低,鲜味增加。相关研究也发现熬汤原料中的鲜味成分(如呈味核苷酸、氨基酸、有机酸等)会在熬制过程中扩散到汤中,这些鲜味成分和其它风味物质相互作用,使汤鲜味更佳醇厚^[40]。由QDA分析结果可知,炖煮5 min后松茸特征最明显,随炖煮时间延长松茸的特征风味降低,松茸特征化合物融入鸡汤中。

3 结论

本研究采用电子舌、GC-IMS技术检测松茸鸡汤的滋味强度值和风味化合物,运用PCA分析、OPLS-DA分析,结合ROAV呈味阈值分析炖煮时间对松茸鸡汤风味化合物的影响和变化。电子舌传感器强度值分析结果表明,鲜松茸对鸡汤滋味影响很大,鲜味强度值从2.1提高到8.0。GC-IMS分析结果表明,3-甲基-1-丁醇是松茸鸡汤的关键化合物,VIP值>1的关键化合物分别是环戊酮、2-庚酮、正辛醇、伞花烃(M)、正辛醛(M)、苯甲醛、正戊醛、丁醛、正辛醛(D)、1-辛烯-3-醇(D)、(E)-2-庚烯醛(M)、3-甲基-1-丁醇、乙酸冰片酯、3-辛醇(M)、伞花烃(D)、(E)-2-庚烯醛(D)、(E)-2-己烯醛(D)、(E)-2-己烯醛(M)、2-甲基吡嗪,这些化合物是影响松茸鸡汤风味的关键化合物。QDA分析结果显示炖煮5 min后松茸特征最明显,随炖煮时间延长松茸特征风味降低,综合考虑食用松茸的喜爱程度,建议炖煮5 min,可以更好的品尝松茸炖鸡汤的特色。研究表明,伞花烃、3-辛醇、

正辛醇浓度变化较突出,可能是由于雅江松茸生长在高山松与青冈木混生林下,形成的枯枝层,会使松茸呈现独特的汽油味、苔藓清香、坚果风味、蘑菇气味和金属气味。利用GC-IMS数据结合ROAV值结果,进行PCA分析可以清楚的分辨不同炖煮时间下松茸鸡汤风味差异,说明研究方法可行,研究结果可以为雅江松茸鸡汤品质调控提供技术指导,为雅江松茸风味特征研究提供数据支撑。

参 考 文 献

- [1] 陈晨, 陈勇, 吴波. 四川省食用菌加工产业的现状及发展对策探讨[J]. 食药菌, 2022, 30(3): 183-186.
CHEN C, CHEN Y, WU B. Exploration of the current situation and development strategies of the edible fungi processing industry in Sichuan Province [J]. Edible and Medicinal Fungi, 2022, 30(3): 183-186.
- [2] 谭伟, 郑林用, 彭卫红, 等. 四川松茸资源分布及开发利用[J]. 西南农业学报, 2000(1): 118-121.
TAN W, ZHENG L Y, PENG W H, et al. Distribution and development of matsutake resources in Sichuan[J]. Southwest Agricultural Journal, 2000(1): 118-121.
- [3] 周宇, 徐春梅, 刘苏琴, 等. 松茸水解蛋白肽制备及其抗氧化活性的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2947-2955.
ZHOU Y, XU C M, LIU S Q, et al. Preparation of matsutake hydrolyzed protein peptides and their antioxidant activities[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(9): 2947-2955.
- [4] 唐友华, 次仁央章. 甘孜藏区雅江县松茸产业发展现状分析[J]. 四川农业科技, 2020(6): 64-66.
TANG Y H, CI R Y Z. Analysis of the development status of matsutake industry in Yajiang County, Graze Tibetan Region [J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2020(6): 64-66.
- [5] 石芳, 李瑶, 杨雅轩, 等. 不同干燥方式对松茸品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 141-147.
SHI F, LI Y, YANG Y X, et al. The effect of different drying methods on the quality of matsutake [J]. Food Science, 2018, 39(5): 141-147.
- [6] 李翔, 王秋果. 甘孜州沙德松茸的营养风味物质与安全性分析[J]. 中国食用菌, 2019, 38(9): 59-63.
LI X, WANG Q G. Analysis of nutrient flavor substances and safety of Sande matsutake in Graze Prefecture[J]. Chinese Edible Fungi, 2019, 38(9): 59-63.
- [7] 张沙沙, 罗晓莉, 曹晶晶, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析松茸减压贮藏过程中挥发性风味成分变化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 243-248.
ZHANG S S, LUO X L, CAO J J, et al. Analysis of changes in volatile flavor components of matsutake during vacuum storage using electronic nose combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 243-248.
- [8] 胡昕, 李荣辉, 胡强, 等. 基于模糊数学感官评价法优化松茸酱加工工艺的研究[J]. 食品科技, 2023, 48(6): 267-274.
HU X, LI R H, HU Q, et al. Research on optimizing the processing technology of matsutake sauce based on fuzzy mathematical sensory evaluation method[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(6): 267-274.
- [9] 葛麒, 朱春燕, 陈湖南, 等. 松茸蛋白抗氧化肽制备及构效关系研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(9): 9-17.
GE Q, ZHU C Y, CHEN H N, et al. Preparation and structure-activity relationship of matsutake protein antioxidant peptides[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2023, 14(9): 9-17.
- [10] 王慧清, 马栋, 吴素蕊, 等. 松茸菌汤熬制工艺参数优化及风味成分分析[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 25-30.
WANG H Q, MA D, WU S R, et al. Optimization of brewing process parameters and analysis of flavor components in matsutake mushroom soup[J]. Food Science, 2015, 36(16): 25-30.
- [11] 尤梦晨, 徐欣如, 薛丹丹, 等. 10种食用菌对高汤风味品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(14): 282-287.
YOU M C, XU X R, XUE D D, et al. The influence of 10 types of edible mushrooms on the flavor and quality of high soup [J]. Food Science, 2018, 39(14): 282-287.

- [12] 刘常园, 方东路, 汤静, 等. 基于电子鼻和 GC-IMS 分析复热对香菇汤挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(4): 46-53.
LIU C Y, FANG D L, TANG J, et al. Effects of reheating on volatile flavor compounds in shiitake mushroom soup based on electronic nose and GC-IMS analysis[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(4): 46-53.
- [13] 王丹丹, 凌霞, 王念, 等. 基于电子舌技术对市售生抽酱油滋味品质的评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 244-249.
WANG D D, LING X, WANG N, et al. Evaluation of the taste and quality of commercially available soy sauce based on electronic tongue technology[J]. Food and Fermentation Industry, 2017, 43(6): 244-249.
- [14] WANG S, CHEN H, SUN B. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126158.
- [15] 杜佳馨, 席嘉佩, 方东路, 等. 猪肚菌不同部位的营养评价及风味特征分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(6): 743-756.
DU J X, XI J P, FANG D L, et al. Nutritional evaluation and flavor characteristics analysis of different parts of pork belly mushroom[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Science Edition), 2021, 47(6): 743-756.
- [16] 倪瑞洁, 詹萍, 田洪磊. 基于 GC-IMS 结合多元统计方法分析炸制时间对花椒调味油挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(6): 279-286.
NI R J, ZHAN P, TIAN H L. Analysis of the effect of frying time on volatile compounds in Sichuan pepper seasoning oil based on GC-IMS combined with multivariate statistical methods[J]. Food Science, 2022, 43(6): 279-286.
- [17] 陈芝飞, 蔡莉莉, 郝辉, 等. 香气活力值在食品关键香气成分表征中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 329-335.
CHEN Z F, CAI L L, HAO H, et al. Research progress on the application of aroma vitality values in the characterization of key aroma components in food[J]. Food Science, 2018, 39(19): 329-335.
- [18] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法:"ROAV"法[J]. 食品科学, 2008(7): 370-374.
LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. A new method for identifying key flavor compounds in food: "ROAV" method[J]. Food Science, 2008(7): 370-374.
- [19] 卢云浩, 何强. 郫县豆瓣特征挥发性物质演变及其香型特性研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(4): 326-335.
LU Y H, HE Q. Evolution of volatile compounds and their aroma characteristics in Pi Xian Douban[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(4): 326-335.
- [20] 袁灿, 何莲, 胡金祥, 等. 基于电子舌和电子鼻结合氨基酸分析鱼香肉丝调料风味的差异[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 48-55.
YUAN C, HE L, HU J X, et al. Differences in flavor of fish flavored shredded meat seasonings based on electronic tongue and electronic nose combined with amino acid analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 48-55.
- [21] 山下市二. 香菇保鲜技术[J]. 国外农学: 国外食用菌, 1991(2): 20-21.
YAMASHITA II. Mushroom preservation technology[J]. Foreign Agronomy: Foreign Edible Fungi, 1991(2): 20-21.
- [22] 周秀琴. 氨基酸的调味功能[J]. 发酵科技通讯, 1999(2): 40-41.
ZHOU X Q. The seasoning function of amino acids[J]. Fermentation Technology Communication, 1999(2): 40-41.
- [23] LI M Q, YANG R W, ZHANG H, et al. Development of a flavor fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for volatile compounds of trichotomy matsutake singer[J]. Food Chemistry, 2019, 290: 32-39.
- [24] 张浩, 易宇文, 朱开宪, 等. 基于 GC-IMS 结合化学计量法分析烧烤过程中温度对牦牛肉风味物质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(22): 337-344.
ZHANG H, YI Y W, ZHU K X, et al. Analysis of the influence of temperature on flavor compounds in yak meat during barbecue process based on GC-IMS combined with chemical stoichiometry[J]. Food Science, 2023, 44(22): 337-344.
- [25] 来静, 冯翠萍, 王莹, 等. 食用菌添加对鸡汤品质和风味的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(12): 274-282.
LAI J, FENG C P, WANG Y, et al. The effect of adding edible mushrooms on the quality and flavor

- of chicken soup[J]. Food Science, 2022, 43(12): 274-282.
- [26] 杨仁军, 张秀萍, 金怀慷, 等. 3种云南野生食用菌对鸡汤滋味和挥发性风味的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(17): 150-159.
- YANG R J, ZHANG X P, JIN H K, et al. The effects of three wild edible mushrooms from Yunnan on the taste and volatile flavor of chicken soup[J]. Food Research and Development, 2022, 43(17): 150-159.
- [27] 王西汐, 曹金诺, 李赫, 等. 氯化钙复合脂肪酶处理工艺对鸡汤腥味的的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 131-136.
- WANG X X, CAO J N, LI H, et al. The effect of calcium chloride composite lipase treatment process on the fishy taste of chicken soup[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 131-136.
- [28] 辛茜, 陈德经, 陈小华, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析大鲵不同部位挥发性成分[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 249-254.
- XIN Q, CHEN D J, CHEN X H, et al. Analysis of volatile components in different parts of Chinese giant salamander by headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2019, 40(20): 249-254.
- [29] 徐丽珊, 张姚杰, 林颖, 等. 黄山松松针挥发油提取、GC-MS分析及与湿地松挥发油的比较[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2016, 39(2): 187-192.
- XU L S, ZHANG Y J, LIN Y, et al. Extraction, GC-MS analysis and comparison with *Pinus elliptica* var. Mount Huangshan pine needle volatile oil[J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Science Edition), 2016, 39(2): 187-192.
- [30] 黄小菲, 罗强, 丁祥, 等. 西南地区不同产地松茸挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 171-175.
- HUANG X F, LUO Q, DING X, et al. Analysis of volatile components in trichotomy matsutake from different regions in Southwest China[J]. Food Science, 2011, 32(18): 171-175.
- [31] 李婷婷, 任丽琨, 刘楠, 等. GC-MS结合电子鼻分析不同生物保鲜剂对黑鱼片挥发性气味的的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(10): 286-299.
- LI T T, REN L K, LIU N, et al. GC-MS combined with electronic nose analysis of the effects of different biological preservatives on the volatile odor of black fish fillets[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(10): 286-299.
- [32] ZAWIRSKA-WOJTASIAK R. Optical purity of (R)-(-)-1-octen-3-ol in the aroma of various species of edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2003, 86(1): 113-118.
- [33] 林佳卫, 焦昱玮, 刘敏, 等. 蒙古族木桶发酵奶酪成熟阶段风味变化研究[J]. 中国乳品工业, 2023, 51(9): 21-26.
- LIN J W, JIAO Y W, LIU M, et al. Study on flavor changes during the maturation stage of Mongolian barrel fermented cheese[J]. China Dairy Industry, 2023, 51(9): 21-26.
- [34] 尹洪旭, 杨艳芹, 姚月凤, 等. 基于气相色谱-质谱技术与多元统计分析对不同栗香特征绿茶判别分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 192-198.
- YIN H X, YANG Y C, YAO Y F, et al. Discriminant analysis of green tea with different chestnut aroma characteristics based on gas chromatography-mass spectrometry technology and multivariate statistical analysis[J]. Food Science, 2019, 40(4): 192-198.
- [35] 赵天娇, 王鹏, 徐幸莲. 消费者喜好度与市售冷鲜鸡品质关系的偏最小二乘回归分析[J]. 南京农业大学学报, 2020, 43(5): 950-958.
- ZHAO T J, WANG P, XU X L. Partial least squares regression analysis of the relationship between consumer preference and the quality of commercially available cold and fresh chicken[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2020, 43(5): 950-958.
- [36] BRADLEY W, ROBERT P. Multivariate analysis in metabolomics[J]. Current Metabolomics, 2013, 1(1): 92-107.
- [37] 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. Using electronic nose to analyze the effect of cooking time on the flavor of three types of edible mushroom soups[J]. Food Science, 2010, 31(16): 151-155.
- [38] TUNE H P, ANDERS A, CLAUS H, et al. The validation and assessment of machine learning: A game of prediction from high-dimensional data[J].

- PloS One, 2009, 4(8): e6287.
- [39] 冯云子, 周婷, 吴伟宇, 等. 酱油风味与功能性成分研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(4): 14–28.
- FENG Y Z, ZHOU T, WU W Y, et al. Research progress on soy sauce flavor and functional components[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(4): 14–28.
- [40] 王英, 朱科学, 周惠明. 香菇菌汤熬制工艺参数的优化[J]. 食品科学, 2010, 31(10): 336–340.
- WANG Y, ZHU K X, ZHOU H M. Optimization of process parameters for boiling mushroom soup [J]. Food Science, 2010, 31(10): 336–340.

Analysis of the Effect of Stewed Time on the Flavor of Fresh Matsutake Chicken Soup Using Electronic Tongue and Gas Chromatography–Ion Mobility Spectrometry Techniques

Li Xiang^{1,2,4}, Deng Jing³, Yi Yuwen³, Guan Ju³, Tang Yinming⁴, Zhang Zhenyu⁴, Zhang Hao^{3,4*}

¹*Prefabricated Food Industry College, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100*

²*Key Laboratory of Artificial Intelligence for Sichuan Cuisine, Chengdu 610100*

³*Culinary Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100*

⁴*Culinary College, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100*

Abstract In order to reveal the effect of stewing time on the flavor of Matsutake chicken soup, and to find the optimal stewing duration. Using fresh Matsutake from Yajiang was taken as a sample. Combined with molecular sensory techniques such as the technologies of electronic tongue (E-tongue) and gas chromatography–ion mobility spectrometry (GC–IMS), the analytical methods of principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least squares–discriminant analysis (OPLS–DA) to analyze the flavor characteristics of the braised chicken with matsutake shreds by adopting the computational formula of relative odor activity values (ROAV). The results of research have showed that the date analysis of electronic tongue indicates that fresh matsutakes has a significant effect on the taste of the chicken soup. The umami value has increased from 2.1 to between 4.9 and 8.0 for different stewed time period sand by E-tongue, there are 45 compounds detected by GC–IMS in total, the concentration of aldehydes decreased from 47.88% to 21.13%. The ROAV value (128.08) confirmed that 3–methyl–1–butanol is the key compound of chicken soup with matsutake mushrooms. Among them, M–cymene, 3–octanol, and n–octanol were the characteristic compounds of the matsutake chicken soup, which gave the matsutake chicken soup a distinctive gasoline flavor, mossy fresh aroma, nutty flavor, mushroom odor, and metallic odor. The characteristic flavor of matsutake in chicken soup was most obvious after 5 min of simmering for optimal consumption. The results of this study provide a reference for the study of the flavor characteristics of Yajiang matsutake chicken soup.

Keywords Yajiang matsutake; stewed time; electronic tongue; gas chromatography–ion mobility spectroscopy; flavor characteristics; taste profile