

付瑞青,王娟,郭衍银,等.基于GC-MS和氨基酸分析的羊肚菌汤适宜煮制时间研究[J].食品工业科技,2022,43(16):290-297.
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2021110099

FU Ruiqing, WANG Juan, GUO Yanyin, et al. Suitable Cooking Time of *Morchella* Soup Based on GC-MS and Amino Acid Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 290-297. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110099

· 分析检测 ·

基于 GC-MS 和氨基酸分析的羊肚菌汤适宜煮制时间研究

付瑞青¹,王娟¹,郭衍银^{1*},王玉江²,黄雪¹

(1.山东理工大学农业工程与食品科学学院,山东淄博 255049;

2.淄博市数字农业农村发展中心,山东淄博 255000)

摘要:为确定羊肚菌汤适宜的煮制时间,本文对煮制 20、40、60 和 120 min 的羊肚菌汤的感官指标、挥发性风味物质及氨基酸进行量化分析。结果表明:羊肚菌汤在煮制 40 min 时色泽、气味和滋味最好,评分显著高于其他煮制时间 ($P<0.05$);煮制过程中共检测出 49 种挥发性风味物质,在煮制 20、40、60 和 120 min 的羊肚菌汤分别鉴定出 22 种、35 种、31 种、27 种,醛类、酸类、酯类和烃类物质的总量在煮制 40 min 时显著高于其他煮制时间 ($P<0.05$),分别达到 171.93、163.5、245.89 和 34.35 mg/g;鲜味氨基酸总含量在煮制 40 min 时显著高于其他煮制时间 ($P<0.05$),为 21.54 mg/g,总氨基酸含量在煮制 40 min 时最高,为 70.20 mg/g,表明煮制 40 min 是氨基酸溶出的高峰时期。羊肚菌汤的感官指标评分、挥发性风味物质种类及总量和氨基酸均含量及溶出在煮制 0~40 min 上升时期,在煮制 40~60 min 时开始逐渐下降,煮制 60 min 之后急剧下降。煮制时间过短或过长均不利于挥发性风味物质和各种氨基酸的呈现。本实验条件下,羊肚菌汤的煮制时间以 40 min 为宜,建议不要超过 60 min。本文为羊肚菌汤的煮制时间提供了理论依据。

关键词:煮制,菌汤,时间,气相色谱-质谱法 (GC-MS),氨基酸分析

中图分类号:TS219

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2022)16-0290-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110099

本文网刊:



Suitable Cooking Time of *Morchella* Soup Based on GC-MS and Amino Acid Analysis

FU Ruiqing¹, WANG Juan¹, GUO Yanyin^{1*}, WANG Yujiang², HUANG Xue¹

(1.School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;

2.Zibo City Digital Agriculture and Rural Development Center, Shandong, Zibo 255000, China)

Abstract: In order to determine the suitable cooking time of *Morchella* soup, the sensory indexes, volatile flavor substances and amino acids of *Morchella* soup boiled for 20, 40, 60 and 120 min were quantitatively analyzed. The results show that the color, smell and taste of *Morchella* soup were the best and the score was the highest when boiled for 40 min, and the score was significantly higher than that of other cooking time ($P<0.05$). A total of 49 volatile flavor compounds were detected in the cooking process. 22, 35, 31 and 27 kinds were identified in the *Morchella* soup cooked for 20, 40, 60 and 120 min respectively. The total quality of aldehydes, acids, esters and hydrocarbons reached the highest at 40 min ($P<0.05$), reaching 171.93, 163.5, 245.89 and 34.35 mg/g respectively. The total content of fresh amino acids was the highest at 40 min, which was 21.54 mg/g. The content of total amino acids was the highest at 70.20 mg/g after 40 min of cooking, indicating that 40 min of cooking was the peak period of amino acid dissolution. The sensory index score, the kinds and total volatile flavor substances, and the contents and dissolution of amino acids in morchella soup increased during 0~40 min of cooking, decreased gradually during 40~60 min of cooking, and decreased sharply after 60 min of cooking. Too short or too long cooking time was not conducive to the presentation of volatile flavor substances and various amino acids. Under the experimental conditions, the cooking time of *Morchella* soup should be 40 min, and it was recommended not to

收稿日期:2021-11-10

作者简介:付瑞青(1998-),男,硕士研究生,研究方向:农产品贮藏与加工,E-mail:1589759151@qq.com。

*通信作者:郭衍银(1976-),男,博士,教授,研究方向:农产品贮藏与加工,E-mail:guoyy@sdu.edu.cn。

exceed 60 min. This paper would provide a theoretical basis for the cooking time of *Morchella* soup.

Key words: cooking; mushroom soup; time; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); amino acid analysis

羊肚菌(*Morchella*)隶属于子囊菌门(Ascomycota)、盘菌纲(Pezizomycetes)、盘菌目(Pezizales)、羊肚菌科(Morchellaceae)^[1], 是一种珍稀名贵的食、药用菌, 因其菌盖表面凹凸不平、菌伞褶皱形似羊肚而得名^[2-3]。羊肚菌味道鲜美, 不仅含有丰富的蛋白质、维生素和矿质元素, 而且具有保肝、降血脂、增强免疫力、抗肿瘤、消食、抗疲劳、抗菌、抗氧化等保健功能^[4-7], 受到广大消费者青睐。

煲汤在我国具有悠久的历史, 中国古代南北朝时期的《食珍录》一书中, 记载“谢传有汤法”^[8]。人们一般认为, 煲汤时间越长越好, 使汤呈现浓郁、粘稠状态, 且营养丰富^[9]。是否煲汤时间越长越好, 不同学者依不同原料具有不同看法。武苏苏等^[10]认为煮制卤制鸡肉的挥发性风味物质在 90 min 之后趋于稳定, 在 120 min 时有下降趋势; 郭磊等^[11]研究发现, 随着煮制时间的延长牛肝菌汤中谷氨酸和天门冬氨酸含量不断减少, 说明煮制时间过长对牛肝菌汤的营养风味不利。

作为一种新兴且主要作为汤料的食材, 目前对羊肚菌风味研究不多, 仅兰秀华^[12]通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法研究了羊肚菌的主要成分。但羊肚菌在煮制过程中其营养物质溶出规律如何, 其作为煲汤材料时适宜煮制时间如何确定, 尚未见报道。本实验通过感官评价、气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)和氨基酸自动分析仪对不同煮制时间的羊肚菌菌汤进行分析, 确定了不同煮制时间对羊肚菌菌汤的感官、挥发性风味物质及游离氨基酸的影响, 以期对羊肚菌制汤及适宜时间的确定提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

羊肚菌(干品) 由山东和生菌业科技有限公司提供; 2-辛醇 色谱纯, 上海源叶生物科技有限公司; 17 种混合氨基酸标准溶液 质量分数 ≥ 99%, Sigma 公司; 水合茚三酮、苯酚、氢氧化钠、柠檬酸钠 分析纯, 国药集团试剂公司。

5977B 型气相色谱-质谱联用仪(GC-MS) 美国 Agilent 公司; 65 μm PDMS/DVB 萃取纤维头 美国 Supelco 公司; LA8080 高速氨基酸分析仪 日本日立公司; 电磁炉 九阳股份有限公司; GL-20G-2 台式高速冷冻离心机 上海安亭仪器制造厂; AL-1D4 精密分析天平 梅特勒-托利多仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计及样品制备 将干品羊肚菌分为 4 组, 每组 10 g。对于每组羊肚菌, 用少量蒸馏水浸泡清洗后, 放入到盛有 800 g 蒸馏水的锅中, 然后将锅置于电炉上加热至沸腾, 沸腾后调节电磁炉功率至 300 W 使汤呈微沸状态并计时。参考郭磊等^[11]

的研究, 将 4 组的微沸时间分别设为 20、40、60 和 120 min, 到达时间后立即对汤进行称重并取样用于相应指标分析和测定。

1.2.2 感官评价 采用感官评价的方法对汤样进行感官评价并给出分数, 由接受过感官评价培训且具有感官评价能力的 13 人组成测评小组, 对不同汤样进行整体的感官评价, 取平均分。感官评价的内容及得分标准见表 1。

表 1 感官评价的评分标准
Table 1 Scoring criteria for sensory evaluation

指标(总分)	评分标准	分值(分)
色泽(30)	颜色透亮金黄、诱人	21~30
	颜色稍微浑浊	11~20
	颜色浑浊、暗淡	0~10
气味(30)	羊肚菌香味香气扑鼻	21~30
	能闻到羊肚菌香味	11~20
	基本没有羊肚菌香味	0~10
滋味(40)	有浓郁的羊肚菌鲜味	27~40
	羊肚菌鲜味稍淡薄	14~26
	羊肚菌鲜味很淡或没有	0~13

1.2.3 挥发性风味物质的测定

1.2.3.1 固相微萃取条件 取 5 mL 煮好的羊肚菌汤加入样品瓶中, 并加入质量浓度为 100 mg/L 的 2-辛醇溶液 5 μL 作为内标物, 拧紧瓶盖。将老化后的萃取头插入样品瓶顶空部分, 放于水浴锅中 60 ℃ 吸附 30 min, 将吸附后的萃取头取出并插入气相色谱进样口, 于 250 ℃ 解吸 3 min, 用于 GC-MS 分析检测。

1.2.3.2 GC-MS 检测条件 参照 Tietel^[13] 的实验条件进行。

色谱条件: 色谱柱: HP-5MS 毛细色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm, J&W Scientific, Folsom, CA, USA); 程序升温: 初始温度 40 ℃, 保持 2 min, 以 4 ℃/min 的速率升至 70 ℃, 保持 1 min, 以 7 ℃/min 升至 120 ℃, 以 13 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 1 min; 载气: 纯度大于 99.99% 的氦气(He), 流量: 1.0 mL/min; 进样口温度: 250 ℃; 不分流进样。

质谱条件: 离子源温度为 230 ℃; 四级杆温度为 180 ℃; 电子能量 70 eV; 扫描方式为全扫描; 扫描质量范围为 35~350 m/z。

1.2.3.3 定性与定量方法 利用安捷伦 GC-MS 软件标准谱库 NIST17.L 对得到的谱图数据进行串连检索和人工解析^[14], 选择筛选匹配度大于 80% 的物质。采用内标法和面积归一法进行定量分析。

根据内标物和各物质间的峰面积求出各挥发性物质的含量, 羊肚菌汤中各挥发性风味物质总量按照羊肚菌单位质量计算。

1.2.4 游离氨基酸检测 取 10 mL 羊肚菌汤进行

4000 r/min 离心 10 min。按照 GB/T5009.124-2003《食品中氨基酸的测定》^[15]的方法用氨基酸分析仪进行测定,平行测定三次。羊肚菌汤中各氨基酸总量按照羊肚菌单位质量计算。

1.3 数据处理

每组实验重复 3 次,采用 Excel 和 SPSS 25.0 软件进行数据处理,采用 Origin 2021 软件进行作图,采用邓肯法进行显著性分析, $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同煮制时间羊肚菌汤的感官评价结果

由表 2 可知,在煮制 40 min 时,羊肚菌汤的色泽、气味、滋味得分分别为 27.31、27.85 和 38.23,总分为 93.39,均显著高于其他处理($P<0.05$)。随着煮制时间的进一步延长,羊肚菌汤的感官评价得分反而

降低,煮制时间 60 和 120 min 的评价总分仅为 78.23 和 65.45。这与蒋方国等^[16]的研究结果一致。

表 2 不同煮制时间的羊肚菌汤的感官评价分数
Table 2 Sensory evaluation scores of *Morchella* soup at different cooking time

煮制时间(min)	20	40	60	120
色泽	25.69±1.32 ^b	27.31±1.18 ^a	22.23±1.01 ^c	18.84±1.34 ^d
气味	25.15±0.99 ^b	27.85±1.21 ^a	23.08±1.50 ^c	18.23±1.59 ^d
滋味	36.23±1.83 ^b	38.23±0.93 ^a	33.92±1.12 ^c	28.38±1.12 ^d
总分	87.08±2.10 ^b	93.39±1.71 ^a	78.23±3.06 ^c	65.45±1.81 ^d

注: 同列不同字母表示存在显著差异($P<0.05$), 表3~表4同。

2.2 不同煮制时间对挥发性风味物质变化的影响

2.2.1 挥发性风味物质的成分变化 不同煮制时间羊肚菌汤样的 GC-MS 的图谱如图 1 所示。根据

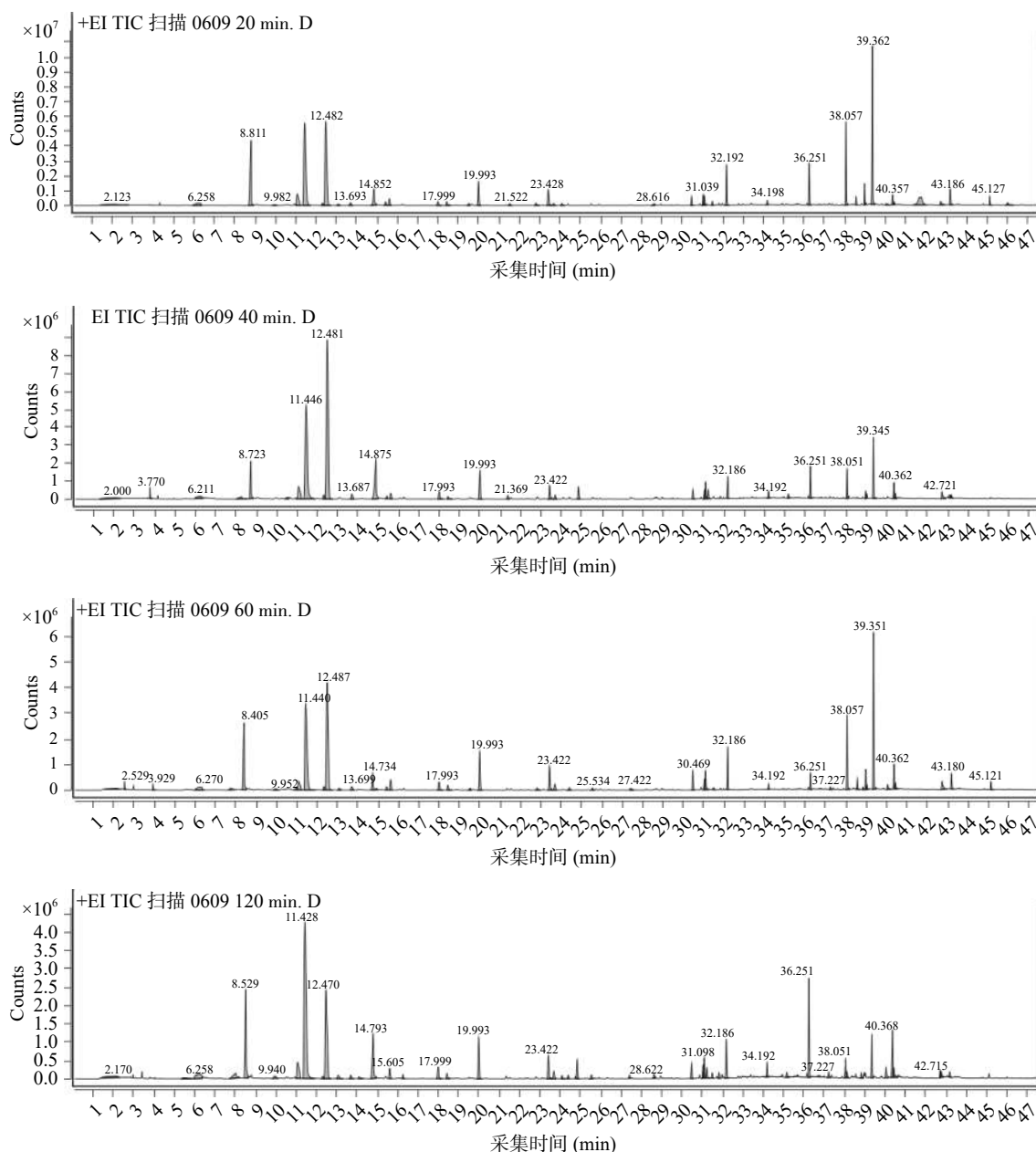


图 1 不同煮制时间羊肚菌汤挥发性风味物质 GC-MS 谱图

Fig.1 GC-MS spectra of volatile flavor compounds in *Morchella* soup at different cooking time

GC-MS 定性软件鉴定分析,并剔除一些含硅氧烷类等柱流失物质^[17],得到不同煮制时间羊肚菌汤的挥发性风味物质成分及含量(如表 3 所示)。

如表 3 所示,羊肚菌汤样中共鉴定出 49 种挥发性风味物质,包括 17 种酯类、6 种醛类、5 种烃类、4 种酸类、4 种唑类、2 种酮类、2 种醇类、2 种叠氮类、2 种环氧类、2 种噻吩类、3 种其他类物质。其中煮制 20、40、60 和 120 min 的羊肚菌汤分别鉴定出

表 3 不同煮制时间羊肚菌汤中挥发性物质成分及含量

Table 3 Volatile flavor components and content of *Morchella* soup at different cooking time

种类	化学物名称	化学方程式	CAS号	不同煮制时间物质相对含量			
				20 min	40 min	60 min	120 min
内标	2-辛醇(内标物)	$C_8H_{18}O$	123-96-6	100	100	100	100
	3-丙二氮-2-二氮唑-3-铵-5-酸酯	$C_5H_8N_2O_2$	6939-17-9	—	—	0.64±0.12	—
	乙酸苏合香酯	$C_{10}H_{12}O_2$	93-92-5	0.83±0.11 ^b	1.21±0.17 ^a	1.25±0.14 ^a	—
	碳酸壬基乙烯基酯	$C_{12}H_{22}O_3$	1000383-25-6	1.24±0.14 ^a	0.86±0.08 ^b	0.62±0.05 ^c	1.17±0.16 ^a
	碳酸丙-1-烯-2-基十一烷基酯	$C_{15}H_{28}O_3$	1000382-90-6	0.57±0.04 ^b	0.91±0.07 ^a	0.86±0.06 ^a	—
	Z-10-十四烯-1-乙酸酯	$C_{16}H_{30}O_2$	1000130-99-3	—	0.62±0.09	—	—
	丁酸癸酯	$C_{14}H_{28}O_2$	5454-09-1	—	—	—	0.59±0.06
	草酸-6-乙基辛-3-基丙酯	$C_{15}H_{28}O_4$	1000309-34-0	—	—	—	1.21±0.12
	三氯乙酸十一酯	$C_{13}H_{23}Cl_3O_2$	74339-49-4	—	4.60±0.14 ^a	—	4.67±0.16 ^a
	三氯乙酸十一烯基酯	$C_{13}H_{21}Cl_3O_2$	1000299-26-1	—	0.57±0.08	—	—
	甲基膦酸二环己酯	$C_{13}H_{25}O_3P$	7040-53-1	—	1.97±0.15 ^a	1.34±0.17 ^b	—
	亚硫酸-2-丙基十三酯	$C_{16}H_{34}O_3S$	1000309-12-4	—	0.60±0.08 ^{bc}	0.78±0.09 ^a	0.69±0.07 ^{ab}
	3,7,11,15-四甲基十六烷-6,10,14-四烯-1-甲酸酯	$C_{21}H_{34}O_2$	125456-635	—	2.67±0.17 ^a	—	0.71±0.07 ^b
	双(1,3-二甲基丁基)甲基膦酸酯	$C_{13}H_{29}O_3P$	1000298-37-3	10.23±1.12 ^c	16.43±1.09 ^b	18.53±1.17 ^a	—
	环戊基-甲基亚膦酸,2-异丙基-5-甲基环己基酯	$C_{16}H_{31}O_2P$	1000194-56-2	1.93±0.18 ^a	3.62±0.39 ^b	3.16±0.41 ^b	4.07±0.38 ^a
酯类	十一酸十一酯	$C_{22}H_{40}O_2$	1000406-16-4	—	—	—	0.71±0.08
	壬-2,3-二烯酸乙酯	$C_{11}H_{18}O_2$	1000187-19-2	—	—	—	2.05±0.27
	12,13-十四碳二烯酸甲酯	$C_{15}H_{26}O_2$	1000336-33-7	2.72±0.14 ^c	4.24±0.43 ^b	5.58±0.47 ^a	1.47±0.17 ^d
	己醛	$C_6H_{12}O$	66-25-1	—	—	—	1.91±0.31
	壬醛	$C_9H_{18}O$	124-19-6	1.55±0.16 ^d	4.63±0.51 ^b	6.64±0.76 ^a	3.69±0.43 ^c
	癸醛	$C_{10}H_{20}O$	112-31-2	14.41±0.78 ^b	14.45±0.86 ^b	20.93±1.48 ^a	12.32±0.53 ^b
	柠檬醛	$C_{10}H_{16}O$	5392-40-5	1.79±0.46 ^a	1.32±0.41 ^b	0.60±0.13 ^c	—
	十二醛	$C_{12}H_{24}O$	112-54-9	—	0.85±0.27 ^a	0.87±0.21 ^a	0.73±0.14 ^b
	2-丁基-2-乙基-5-甲基己-3,4-二烯7醛	$C_{13}H_{22}O$	23739-80-2	—	5.53±0.78	—	—
	6,6-二甲基-2-乙烯基双环[3.1.1]庚烷	$C_{11}H_{16}$	39021-75-5	—	0.73±0.09	—	—
烃类	十九烷	$C_{19}H_{40}$	629-92-5	0.87±0.07 ^b	0.95±0.09 ^b	0.73±0.08 ^c	1.27±0.14 ^a
	2,4-二甲基-2,3-庚二烯-5-炔	C_9H_{12}	41898-89-9	—	—	0.66±0.07	—
	邻异丙基甲苯	$C_{10}H_{14}$	527-84-4	1.83±0.12 ^c	2.47±0.18 ^b	2.75±0.15 ^a	1.08±0.09 ^d
	环庚三烯	C_7H_8	544-25-2	1.19±0.17 ^b	1.20±0.13 ^b	1.78±0.16 ^a	1.86±0.19 ^a
	肉豆蔻酸	$C_{14}H_{28}O_2$	544-63-8	—	—	1.49±0.21	—
酸类	十五酸	$C_{15}H_{30}O_2$	1002-84-2	—	—	—	1.25±0.19
	棕榈酸	$C_{16}H_{32}O_2$	57-10-3	4.19±0.37 ^c	6.09±0.71 ^b	10.46±1.12 ^a	11.18±1.09 ^a
	5,9,13,17-四甲基4,8,12,16-十八四烯酸	$C_{22}H_{36}O_2$	1000432-37-9	—	19.38±1.81	—	—
唑类	N-苄基-1H-四唑-5-胺	$C_8H_9N_5$	14832-58-7	—	—	—	0.54±0.06
	3,5-甲基环戊二烯唑,3,3a,4,5,6,6a-六氢-3a,4,4a-三甲基	$C_{10}H_{16}N_2$	87143-58-6	4.03±0.38 ^a	3.82±0.41 ^a	2.81±0.31 ^b	1.58±0.19 ^c
	1-苄基-5-氨基四唑	$C_8H_9N_5$	31694-90-3	—	—	0.83±0.09	—
	2-苯基苯并咪唑-N-氧化物	$C_{13}H_{10}N_2O$	7436-57-9	1.05±0.07 ^c	1.27±0.14 ^b	1.65±0.19 ^a	0.74±0.06 ^d
酮类	6-甲基-5-庚烯-2-酮	$C_8H_{14}O$	110-93-0	—	0.95±0.23 ^b	2.10±0.56 ^a	—
	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	$C_{13}H_{22}O$	689-67-8	3.63±0.53 ^c	4.84±0.86 ^b	8.33±1.35 ^a	3.60±0.51 ^c
醇类	2,4-十一二烯-1-醇	$C_{11}H_{20}O$	77657-78-4	—	—	—	0.71±0.14
	反-2-十二烯-1-醇	$C_{12}H_{24}O$	69064-37-5	0.70±0.13 ^c	1.08±0.25 ^b	1.61±0.28 ^a	1.08±0.27 ^b
叠氮类	1-叠氮辛烷	$C_8H_{17}N_3$	7438-05-3	4.49±0.53 ^a	0.86±0.12 ^b	0.78±0.11 ^b	—
	2-叠氮甲基-1,3,3-三甲基环己烯	$C_{10}H_{17}N_3$	90073-44-2	2.34±0.27	—	—	—
环氧类	1,2-环氧癸烷	$C_{10}H_{20}O$	2404-44-6	1.58±0.14 ^d	2.99±0.21 ^b	3.33±0.23 ^a	1.95±0.18 ^c
	环氧化长叶蒎烯	$C_{15}H_{24}O$	142792-93-6	—	—	0.79±0.08	—
含硫类	1,1-二氧化-3-羟基-四氢噻吩	$C_4H_8O_3S$	13031-76-0	6.78±0.61 ^a	4.13±0.43 ^c	3.76±0.43 ^c	5.06±0.49 ^b
	1,2-氧杂噻烷-6-十二烷基-2,2-二氧化物	$C_{16}H_{32}O_3S$	15224-88-1	6.35±0.73 ^b	8.96±0.87 ^a	—	—

续表 3

种类	化学物名称	化学方程式	CAS号	不同煮制时间物质相对含量			
				20 min	40 min	60 min	120 min
其他类	2,3-二氮杂双环[2.2.1]hept-2-烯-5-乙基-4,7,7-三甲基	$C_{10}H_{16}N_2$	1000221-84-7	—	2.37 ± 0.19^b	3.42 ± 0.37^a	—
	3-丙酰氧基十三烷	$C_{16}H_{32}O_2$	1000245-62-5	—	1.11 ± 0.23	—	—
	2,6-二甲基-4-氨基吡啶	$C_7H_{10}N_2O$	3512-82-1	—	7.16 ± 0.74^a	6.03 ± 0.45^b	—

注: —为未检出, 所有数据均保留小数点后两位。

22 种、35 种、31 种、27 种。煮制 40 min 时挥发性物质最多, 再增加煮制时间反而减少, 消失的物质包括柠檬醛、2-丁基-2-乙基-5-甲基-3,4-二烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、乙酸苏合香酯、碳酸丙-1-烯-2-基十一烷基酯、三氯乙酸十一烯基酯、6,6-二甲基-2-乙烯基双环 [3.1.1] 庚烷、1-叠氮辛烷、2,3-二氮杂双环 [2.2.1]hept-2-烯-5-乙基-4,7,7-三甲基、1,2-氧杂噻烷-6-十二烷基-2,2-二氧化物、3-丙酰氧基十三烷、2,6-二甲基-4-氨基吡啶, 这可能与挥发性物质的挥发、沉淀或分解有关^[18-19]。

2.2.2 不同煮制时间对羊肚菌汤挥发性风味成分总量的影响 不同煮制时间羊肚菌汤中 00 不同种类物质的总量如图 2 所示, 醛类、酸类、酯类和烃类物质的总量随着煮制时间的延长先增加后减少, 煮制 40 min 时显著高于其他煮制时间 ($P < 0.05$), 分别达到 171.93、163.52、245.89 和 34.35 mg/g; 醇类、酮类和环氧类物质的总量随着煮制时间的延长先增加后减少, 煮制 60 min 时显著高于其他煮制时间, 分别达到 9.10、58.93 和 23.28 mg/g; 而含氮类、含硫类和唑类物质的总量随着煮制时间的延长而减少, 在煮制 20 min 时显著高于其他煮制时间 ($P < 0.05$), 分别达到 49.72、95.59 和 36.98 mg/g。

醛类、酮类、醇类物质是由于不饱和脂肪酸的热氧化、氨基酸降解或美拉德反应产生的^[20], 酯类物质主要由醇类物质和游离脂肪酸反应生成^[21], 这也是煮制过程中这些物质产生的主要原因。但是, 这些物质一般具有挥发性^[22], 长时间煮制极易导致其从汤中挥发出去, 进而含量减少乃至消失。Li、贡慧等^[23-24]研究结果表明, 长时间加热会导致低级醛类物质进一步氧化成酮类物质, 酮类物质与其他物质进一步反应产生沉淀, 这可能是煮制时间过长致使羊肚菌汤中挥发性物质减少的主要原因。

酯类物质总量多, 种类多但单种物质含量低且都是长链酯类物质对整体风味其协同作用, 赋予果香味^[25]。壬醛和癸醛的阈值很低^[26], 且各组分的含量高, 赋予香味能力强, 有着脂肪的香气, 是主要的特征风味。酮类种类少且阈值较高^[27], 对整体风味其增强作用。

各样品中均没有检测出 1-辛烯-3-醇等普遍存在食用菌中的挥发性八碳化合物 ($C_8H_{16}O$)^[28], 这可能该类化合物稳定性较差, 在羊肚菌干制和煮制过程中导致破坏过多, 使得该类物质没有检出, 这与谢丽源等^[29] 检出结果一致。与兰秀华等^[12] 的研究结果不

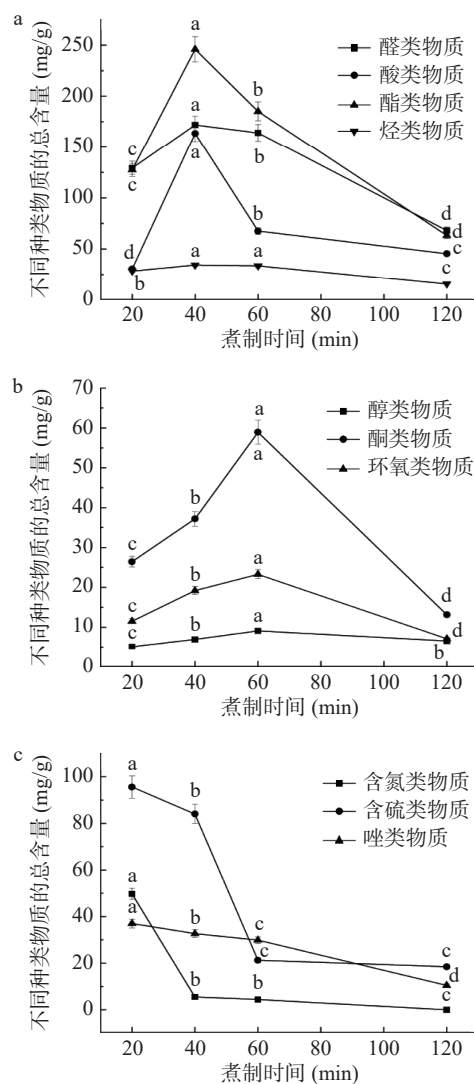


图 2 不同煮制时间对羊肚菌汤中不同种类物质的总量变化

Fig.2 Changes of the total mass of different substances in *Morchella* soup at different cooking times

注: 图中单位 mg/g 表示汤中每克羊肚菌中含有的挥发性风味物质总量; 不同字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

同的是, 羊肚菌中含量最多的挥发性物质不是醇类、醛类和酮类物质, 而是酸类和酯类物质, 可能是煮制过程发生了反应, 生成了更多的酯类物质, 使羊肚菌汤的风味更加丰富。

2.3 不同煮制时间对羊肚菌汤各种氨基酸含量及总量的影响

2.3.1 不同煮制时间对羊肚菌汤氨基酸组成及含量的影响 氨基酸不仅是参与人体新陈代谢的重要物质, 且对食品呈味具有重大贡献^[30]。如表 4 所示, 煮

表 4 不同煮制时间羊肚菌汤中各种氨基酸含量
Table 4 Amino acid content of *Morchella* soup at different cooking time

氨基酸种类	呈味特征	氨基酸含量(mg/g)			
		20 min	40 min	60 min	120 min
天冬氨酸Asp	鲜	3.679±0.034 ^b	3.852±0.029 ^a	1.982±0.026 ^d	2.353±0.017 ^c
谷氨酸Glu	鲜	13.353±0.176 ^b	17.748±0.187 ^a	9.007±0.160 ^c	8.041±0.044 ^d
苏氨酸Thr*	甜	1.991±0.028 ^a	1.834±0.026 ^a	0.942±0.011 ^b	1.010±0.015 ^b
丝氨酸Ser	甜	2.526±0.031 ^a	2.625±0.030 ^a	1.398±0.012 ^c	1.579±0.014 ^b
甘氨酸Gly	甜	1.832±0.013 ^a	1.883±0.024 ^a	1.045±0.013 ^b	1.184±0.013 ^b
丙氨酸Ala	甜	4.098±0.036 ^a	3.952±0.028 ^a	2.533±0.029 ^b	2.466±0.027 ^b
脯氨酸Pro	甜	12.351±0.109 ^b	15.118±0.135 ^a	8.976±0.097 ^c	7.103±0.086 ^d
缬氨酸Val*	苦	2.653±0.036 ^a	2.436±0.032 ^b	1.150±0.014 ^d	1.361±0.020 ^c
甲硫氨酸Met*	苦	1.552±0.021 ^a	1.203±0.016 ^b	—	—
异亮氨酸Ile*	苦	—	0.669±0.009 ^a	—	0.353±0.006 ^b
亮氨酸Leu*	苦	1.034±0.024 ^b	1.503±0.041 ^a	0.548±0.004 ^d	0.886±0.011 ^c
苯丙氨酸Phe*	苦	1.669±0.027 ^a	1.506±0.053 ^{ab}	1.104±0.010 ^c	1.434±0.021 ^b
赖氨酸Lys*	苦	1.928±0.029 ^b	2.332±0.074 ^a	1.211±0.016 ^c	1.246±0.018 ^c
组氨酸His	苦	0.981±0.011 ^b	1.891±0.069 ^a	0.752±0.008 ^c	0.788±0.007 ^c
精氨酸Arg	苦	9.249±0.098 ^b	9.501±0.104 ^a	4.823±0.051 ^d	5.272±0.044 ^c
酪氨酸Tyr	不呈味	—	0.670±0.008 ^a	—	0.456±0.003 ^b
半胱氨酸Cys	不呈味	1.588±0.025 ^a	1.574±0.017 ^a	1.120±0.014 ^b	0.825±0.07 ^c

注: *为人体必须氨基酸;—为未检出;所有数据均保留小数点后三位。

制 40 min 时氨基酸种类最多,煮制 40 min 时检测出 17 种氨基酸,包括呈鲜味的天冬氨酸和谷氨酸,呈甜味的苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸和脯氨酸,呈苦味的缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸和精氨酸,不呈味的酪氨酸和半胱氨酸;煮制 20 min 时检测出 15 种氨基酸,未检出异亮氨酸和酪氨酸;煮制 60 min 时检测出 14 种氨基酸,未检出酪氨酸、异亮氨酸和甲硫氨酸。

由表 4 所示,不同煮制时间所得的羊肚菌汤样中氨基酸比例差距不大,谷氨酸最高,脯氨酸和精氨酸含量次之,这与 Gao 等^[31]的研究结果一致,而高含量的谷氨酸可有效提高羊肚菌汤鲜味^[32]。呈鲜味氨基酸的含量占比在煮制 40 min 时显著高于其他煮制时间($P<0.05$),达到 31.43%;呈甜味氨基酸的含量占比在煮制 60 min 时显著高于其他煮制时间($P<0.05$),达到 40.56%;而呈苦味氨基酸的含量占比在 60 min 时最少,为 26.28%,之后迅速增加。

2.3.2 不同煮制时间对羊肚菌汤各类氨基酸总量的影响 由图 3a 所示,呈鲜味氨基酸和呈甜味氨基酸的总量随着煮制时间的延长先增加后降低然后趋于稳定,在煮制 40 min 时总量显著高于其他煮制时间($P<0.05$),分别达到 21.54 和 25.40 mg/g;呈苦味氨基酸的总量在 40 min 显著高于其他煮制时间($P<0.05$),之后迅速降低,最高总量达到 21.03 mg/g,60 min 降低了 54.43%,但 120 min 稍有升高。说明煮制 40 min 是氨基酸溶出的高峰时期。

由图 3b 可见,总氨基酸量、必需氨基酸和非必需氨基酸总量随着煮制时间的延长先增加后减少然后趋于稳定,在煮制 40 min 时总量显著高于其他煮

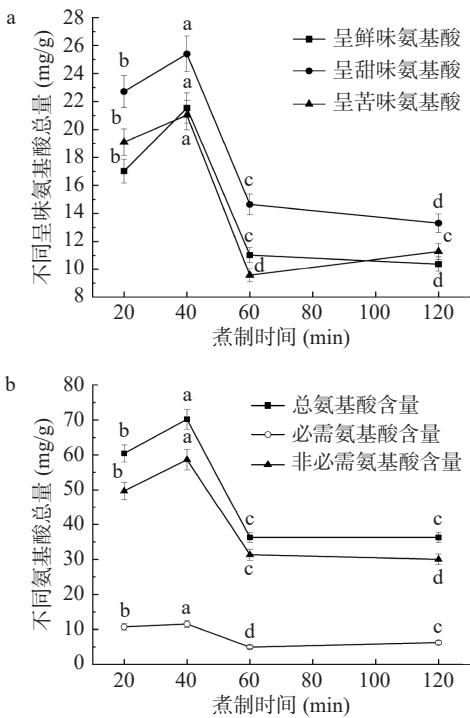


图 3 不同煮制时间羊肚菌汤中各类氨基酸总量和呈味氨基酸总量

Fig.3 Changes of the total mass of flavored amino acids and total mass of various amino acids in *Morchella* soup at different cooking time

注: a 为呈味氨基酸总量, b 为呈味氨基酸总量; 不同字母表示具有显著性差异 ($P<0.05$)。

制时间($P<0.05$), 分别达到 70.20、11.54 和 1.66 mg/g, 煮制 60~120 min 氨基酸总量趋于稳定。产生这种先升高后降低的原因是, 煮制过程中, 蛋白质与多肽热解反应和美拉德反应使汤中产生大量游离氨基

酸^[33-34]。但是,随着煮制时间的延长,热解反应和美拉德反应速率下降^[35],同时伴随着游离氨基酸脱氢,脱羧等氧化反应转化为醛、胺等挥发性物质^[36],使羊肚菌汤中游离氨基酸含量降低。

3 讨论与结论

中国煮汤有个习惯认识,认为煮汤时间越长营养越丰富^[37]。但根据本实验结果,羊肚菌汤微沸煮制 40 min 时挥发性风味物质种类(35 种)最多,氨基酸分析也表明,总氨基酸(70.20 mg/g)、鲜味(21.54 mg/g)和甜味氨基酸(25.40 mg/g)最高总量也出现在 40 min,因此,就羊肚菌煮汤而言,并非煮制时间越长越好,以微沸后煮制 40 min 为宜。

中药对煎制时间有着很严格的要求,徐宏伟^[38]以八味地黄汤为研究对象,以其煎煮时间为变量,对汤剂的质量进行有效检测,并分析其药汁与药渣成分,结果表明:不同的煎煮时间所产生的药汁、药渣中物质的种类和含量均有不同。因此,根据本实验微沸煮制 40 min 羊肚菌汤品质最好的研究结果,如果想要获得具有最佳羊肚菌风味的鸡、鱼等汤,建议在煮制结束前 40 min 添加羊肚菌为宜。

总之,本实验对不同煮制时间羊肚菌汤的感官、挥发性风味物质和氨基酸含量进行了分析,发现在煮制 40 min 时羊肚菌汤的感官评分最高,挥发性风味物质和氨基酸种类及含量也最高,随着煮制时间的延长,羊肚菌汤的各种指标呈下降趋势。因此,在使用羊肚菌煮汤时,应以沸腾后微沸煮制 40 min 为宜,不宜超过 60 min。本研究确定了不同煮制时间对羊肚菌汤的感官、挥发性风味物质及游离氨基酸的影响,以期对羊肚菌汤调味料的研究提供一定的理论基础,为羊肚菌汤工业化生产提供科学依据。此外,针对羊肚菌在煮制过程中游离氨基酸与挥发性风味物质间转化的内在机理及食盐对羊肚菌游离氨基酸和挥发性风味物质释放的影响还值得深入探讨。

参考文献

- [1] 卯晓兰. 中国蕈菌[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 750-777. [MAO X L. Chinese mushroom[M]. Beijing: Science Press, 2009: 750-777.]
- [2] 李建英, 刘绍雄, 罗孝坤, 等. 羊肚菌人工栽培及其伴生菌研究现状[J]. 农产品加工, 2017(19): 69-70, 72. [LI J Y, LIU S X, LUO X K, et al. Search status of *Morchella* cultivation and its associated microorganism[J]. Farm Products Processing, 2017(19): 69-70, 72.]
- [3] DU X H, ZHAO Q, XIA E H, et al. Mixed-reproductive strategies, competitive mating-type distribution and life cycle of fourteen black morel species[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 1493-1503.
- [4] LEE S R, ROH H S, LEE S, et al. Bioactivity-guided isolation and chemical characterization of antiproliferative constituents from morel mushroom (*Morchella esculenta*) in human lung adenocarcinoma cells[J]. *Journal of Functional Foods*, 2018, 40: 249-260.
- [5] GUI H L, CHEN Y, WANG S S, et al. Isolation, partial characterisation and immunomodulatory activities of polysaccharide from *Morchella esculenta*[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2011, 91(12): 2180-2185.
- [6] 刘菁, 宫美凤, 张立臣, 等. 羊肚菌药理活性对缓解运动应急性疲劳的应用[J]. 中国食用菌, 2019, 38(2): 46-48. [LIU J, GONG M F, ZHANG L C, et al. Application of morphological activity of *Morchella* to alleviate exercise emergency fatigue[J]. *Edible Fungi of China*, 2019, 38(2): 46-48.]
- [7] CAI Z N, LI W, MEHMOOD S, et al. Structural characterization, *in vitro* and *in vivo* antioxidant activities of a heteropolysaccharide from the fruiting bodies of *Morchella esculenta*[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 195(1): 29-38.
- [8] 王秀霞. 古代的饮食文化专著-《食珍录》和《食经》[J]. 食品与健康, 2003(1): 39. [WANG X X. Ancient food culture monographs-Shi Zhen Lu and Shi Jing[J]. *Food and Health*, 2003(1): 39.]
- [9] 陆路, 金振涛, 马勇, 等. 中华传统肉食煲汤的基本营养成分[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(1): 187-190. [LU L, JIN Z T, MA Y, et al. The study on primary nutrient content of China traditional soup[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2010, 36(1): 187-190.]
- [10] 武苏苏, 赵改名, 柳艳霞, 等. 基于主成分分析法的煮制时间对卤制鸡肉风味的影响分析[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(10): 194-199. [SU W W, ZHAO G M, LIU Y X, et al. Effects of cooking time on volatile flavor compounds of stewed chicken by principal components analysis method[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(10): 194-199.]
- [11] 郭磊, 郭娟, 范方宇, 等. 不同熬制工艺对美味牛肝菌汤中氨基酸成分的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(2): 17-19. [GUO L, GUO J, FAN F Y, et al. Effect of different boiling methods on amino acid composition of *Boletus edulis* soup[J]. *The Food Industry*, 2017, 38(2): 17-19.]
- [12] 兰秀华, 谢丽源, 许瀛引, 等. 羊肚菌挥发性物质综合评价和品质差异分析[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 270-275. [LAN X H, XIE L Y, XU Y Y, et al. Comprehensive evaluation of volatile substances and quality differences of *Morchella importuna* samples[J]. *Food Science*, 2019, 40(14): 270-275.]
- [13] TIETEL Z, MASAPHY S. Aroma-volatile profile of black morel (*Morchella importuna*) grown in Israel[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(1): 346-353.
- [14] 殷朝敏, 范秀芝, 史德芳, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 HPLC 分析 5 种食用菌鲜品中的风味成分[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 254-260. [YIN C M, FAN X Z, SHI D F, et al. Flavor compounds analysis of 5 fresh mushrooms using HS-SPME-GC-MS and HPLC[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(3): 254-260.]
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.124-2016 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [The state health and family planning commission of the People's Republic of China, the state food and drug administration. GB 5009.124-2016 National Standard for Food Safety-determination of amino acids in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

- [16] 蒋方国,凌云坤,徐宏,等. 响应面法优化羊肚菌鸡脯汤料包工艺[J]. *中国调味品*, 2021, 46(3): 91-94,99. [JIANG F G, LING Y K, XU H, et al. Optimization of the technology of *morchella* and chicken breast soup package by response surface methodology[J]. *China Condiment*, 2021, 46(3): 91-94,99.]
- [17] 李小林,陈诚,清源,等. 会东县不同品种块菌挥发性香气成分的 GC-MS 分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(18): 132-136. [LI X L, CHEN C, QING Y, et al. Analysis of volatile aroma components in different species of truffle in Huidong county by GC-MS[J]. *Food Science*, 2015, 36(18): 132-136.]
- [18] FRANK D C, KACZMARSKA K T, PATERSON J L, et al. Effect of marbling on volatile generation, oral breakdown and in mouth flavor release of grilled beef[J]. *Meat Science*, 2017, 13: 61-68.
- [19] 单启梅,赵晓策,罗瑞明,等. 滩羊肌肉在煮制过程中可挥发性化合物的变化[J]. *食品科学*, 2021, 42(8): 165-171. [SHAN Q M, ZHAO X C, LUO R M, et al. Change of volatile flavor compounds in Tan sheep muscle during cooking[J]. *Food Science*, 2021, 42(8): 165-171.]
- [20] YIN C M, FAN X Z, FAN Z, et al. Comparison of non-volatile and volatile flavor compounds in six *Pleurotus* mushrooms[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 99(4): 1691-1699.
- [21] DICKSCHAT, JEROEN S. Fungal volatiles-a survey from edible mushrooms to moulds[J]. *Natural Product Reports*, 2017, 34(3): 310-328.
- [22] 李翔,钟方友,凌云坤,等. HS/SPME-GC/MS 法比较分析野生与人工栽培羊肚菌挥发性成分[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(17): 225-228,234. [LI X, ZHONG F Y, LING Y K, et al. Comparative analysis of the volatile component from wild and cultivated *Morchella* by HS/SPME-GC/MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(17): 225-228,234.]
- [23] LI M, YANG R, ZHANG H, et al. Development of a flavor fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for volatile compounds of *Tricholoma matsutake* Singer[J]. *Food Chemistry*, 2019, 290: 32-39.
- [24] 贡慧,杨震,史智佳,等. 不同熬煮时间对北京酱牛肉挥发性风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(10): 183-190. [GONG H, YANG Z, SHI Z Z, et al. Effect of different cooking times on volatile flavor components in Beijing spiced beef[J]. *Food Science*, 2017, 38(10): 183-190.]
- [25] 李泽林,王秋婷,郭其洪,等. 鸡骨液酶解工艺优化及其酶解前后风味物质分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(10): 206-215. [LI Z L, WANG Q T, GUO Q H, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis process of chicken bone homogenate and its flavor components analysis before and after enzymatic hydrolysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(10): 206-215.]
- [26] 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 F, FAN C M, JIA H F, et al. Analysis of flavor compounds of *Morchella* spp. from different habitats based on gas chromatography-ion mobility spectrum[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(10): 207-213.]
- [27] GARCIA C, J J BERDAGUÉ, ANTEQUERA T, et al. Volatile components of dry cured Iberian ham[J]. *Food Chemistry*, 1991, 41(1): 23-32.
- [28] TU X, TANG L, XIE G, et al. Chemical composition of aromas and lipophilic extracts from black morel (*Morchella importuna*) grown in China[J]. *Mycobiology*, 2020(5): 1-11.
- [29] 谢丽源,兰秀华,唐杰,等. 不同品种羊肚菌挥发性物质分析及综合评价[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(15): 227-233. [XIE L L, LAN X H, TANG J, et al. Analysis and comprehensive evaluation of volatile substances in different varieties of *Morchella* spp.[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(15): 227-233.]
- [30] ZHAO B, SUN B, WANG S, et al. Effect of different cooking water on flavor characteristics of mutton soup[J]. *Food Science & Nutrition*, 2021, 9(11): 6047-6059.
- [31] GAO J, FANG D L, KIMATU B M, et al. Analysis of umami taste substances of morel mushroom (*Morchella sextelata*) hydrolysates derived from different enzymatic systems[J]. *Food Chemistry*, 2021, 362(15): 130-192.
- [32] MARSOL-VALL A, LAAKSONEN O, YANG B. Effects of processing and storage conditions on volatile composition and odor characteristics of blackcurrant (*Ribes nigrum*) juices[J]. *Food Chemistry*, 2019, 293(30): 151-160.
- [33] LIU Y, HUANG, YANG H, et al. Effects of preservation methods on amino acids and 5'-nucleotides of *Agaricus bisporus* mushrooms[J]. *Food Chemistry*, 2014, 149: 221-225.
- [34] 李琴. 双孢蘑菇汤特征风味物质的鉴定及熬制过程风味物质释放规律研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011. [LI Q. Identification of characteristic flavour compounds in mushroom (*Agaricus bisporus* (Lange) Sing) soup and flavour release during cooking process[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.]
- [35] 包秀婧,刘新宇,辛广,等. 变温压差膨化干燥对秀珍菇鲜香味的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(22): 243-248. [BAO X J, LIU X Y, XIN G, et al. Effects of variable-temperature variable-pressure puffing on umami and aroma components of *Pleurotus geesteranus*[J]. *Food Science*, 2019, 40(22): 243-248.]
- [36] 卢忆,杜新,戴瑞彤. 欧姆加热与水浴加热对羊肉糜滋味物质及游离脂肪酸的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(12): 362-369,405. [LU Y, DU X, DAI R T, et al. Effect of ohmic and water bath heating on flavor compounds and free fatty acids of ground lamb longissimus dorsi muscles[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(12): 362-369,405.]
- [37] 刘亚,蓝玉雪. 不同煮制时间的近江牡蛎煮制液的风味分析与评价[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(3): 83-88. [LIU Y, LAN Y X. Flavor analysis and evaluation of *Ostrea rivularis* soup at different boiling time[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2013, 39(3): 83-88.]
- [38] 徐宏伟. 中药汤剂煎煮及服用方法对药效的影响研究[J]. *亚太传统医药*, 2014, 10(14): 25-26. [XU H W. Effect of decocting and taking methods of traditional Chinese medicine decoction on its efficacy[J]. *Asia-Pacific Traditional Medicine*, 2014, 10(14): 25-26.]