

虎掌菌的酶解工艺优化及酶解前后 风味成分的对比较分析

王秋婷, 李泽林*, 桂海佳, 谷大海, 王雪峰, 肖智超, 王桂瑛, 普岳红, 范江平*

(云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201)

摘要: 研究了虎掌菌酶解前后产物的风味差异及其酶解工艺; 在单因素的基础上, 采用响应面设计优化虎掌菌酶解工艺, 采用氨基酸自动分析仪与顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)结合味觉活性值(taste activity value, TAV)和香气活性值(odor activity value, OAV)检测并筛选出对其滋味和香气有关键贡献的游离氨基酸和挥发性香气化合物。结果表明, 得到最优工艺为: 料液比 1:15 (*m/V*)、时间 4.40 h、酶添加量 0.40%、酶比例(木瓜蛋白酶:风味酶) 1:1, 水解度 57.82%。共有 11 个游离氨基酸的 TAV 大于 1, 其中酶解使谷氨酸和甘氨酸含量分别增加了 14.68 和 14.45 倍, 增加了虎掌菌的鲜甜滋味; 共鉴定出挥发性化合物 103 种, 酶解前 55 种, 酶解后 71 种, 其中 OAV ≥ 1 的酶解前 13 种、酶解后 22 种, 包括芳樟醇、2-辛烯醇、1-辛烯-3-醇、愈创木酚和庚醛等; 酶解前后的虎掌菌均以水果味、花香味、肥皂味、脂肪味、瓜香为主体, 但是酶解产生了 1-辛烯-3-醇(OAV=1726)增强了蘑菇香气。该研究为虎掌菌的风味研究提供了前期基础。

关键词: 虎掌菌; 酶解; 风味; 味觉活性值; 香气活性值

文章编号: 1673-9078(2022)09-308-320

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1248

Optimization of Enzymolysis of *Sarcodon aspratus* and Comparative

Analysis of Its Flavor Components before and after Enzymatic Hydrolysis

WANG Qiuting, LI Zelin*, GUI Haijia, GU Dahai, WANG Xuefeng, XIAO Zhichao, WANG Guiying, PU Yuehong, FAN Jiangping*

(College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: The process of enzymatic hydrolysis of *Sarcodon aspratus* and the difference in flavor before and after the process were studied. The enzymatic hydrolysis of *S. aspratus* was optimized using response surface design experiments based on single-factor tests. The key free amino acids and volatile aromatic compounds that contribute to the flavor of *S. aspratus* were detected and selected using an amino acid automatic analyzer and headspace solid-phase microextraction gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) combined with the taste activity value (TAV) and odor activity value (OAV). The results showed that the optimal conditions were as follows: a solid-liquid ratio of 1:15 (*m/V*), an enzymolysis time of 4.4 h, an enzyme addition amount of 0.4%, an enzyme ratio (papain: flavor enzyme) of 1: 1, and a hydrolysis degree of 57.82%. A total of 11 free amino acids with a TAV greater than 1 were obtained. The contents of glutamic acid and glycine increased by 14.68 and 14.45 times, respectively, after enzymolysis, and the fresh and sweet taste was enhanced. A total of 108 volatile compounds were identified, including 55 before and 71 after enzymatic hydrolysis. Among them, 13 and 22 volatile compounds had an OAV ≥ 1 before and after enzymatic hydrolysis, respectively. These included linalool, 2-octenol, 1-octene-3-ol, guaiacol, and heptanal. Before and after enzymatic hydrolysis, the main flavor components of *S. aspratus* were flavors of fruits, flowers, soap, and fat, and

引文格式:

王秋婷,李泽林,桂海佳,等.虎掌菌的酶解工艺优化及酶解前后风味成分的对比较分析[J].现代食品科技,2022,38(9):308-320

WANG Qiuting, LI Zelin, GUI Haijia, et al. Optimization of enzymolysis of sarcodon aspratus and comparative analysis of its flavor components before and after enzymatic hydrolysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 308-320

收稿日期: 2021-11-07

基金项目: 云南省院士专家工作站(202005AF150016)

作者简介: 王秋婷(1994-),女,硕士,研究方向:食品科学, E-mail: 1258298167@qq.com

通讯作者: 李泽林(1995-),男,博士研究生,研究方向:食品科学与工程, E-mail: 1054994094@qq.com; 共同通讯作者: 范江平(1972-),男,博士,教授,

研究方向:食品科学与功能性食品, E-mail: 1993033@ynau.edu.cn

it primarily had a melon-like aroma. However, 1-octene-3-ol (OAV=1726) produced after enzymatic hydrolysis enhanced the mushroom aroma. This study provides a preliminary basis for future flavor research on *S. aspratus*.

Key words: *Sarcodon aspratus*; enzymatic hydrolysis; flavor; taste activity value; odor activity value

虎掌菌又叫枣翅鳞肉齿菌[*Sarcodon imbricatus* (L.) P. Karst.], 是担子菌纲多孔菌科多孔菌属的一类真菌, 因菌盖有块状鳞片, 形状尤像虎爪而得名, 呈黑褐色, 主要分布在我国甘肃、西藏、四川和云南等地^[1,2]。中医认为虎掌菌性平味甘、温热, 食用后可抗寒气、活络胫骨、转阳补肾之功效, 还可对关节炎、腰背酸痛和风湿等有明显预防和缓解作用^[3]。现有研究表明, 虎掌菌的胞外多糖, 可以辅助治疗癌症、肿瘤和肝硬化等疾病, 并且具有增强人体免疫细胞活性, 提高人体自身免疫力的作用, 此外还可以用于夏季驱蚊和防止米面生虫^[4]。

除了优良的药用价值外, 虎掌菌菌肉味道鲜香浓脆, 具有较高的食用、经济价值, 而且其丰富的矿质元素、高蛋白含量、低脂肪以及含有多种人体必需氨基酸与非必需氨基酸比例适宜, 并含有一定浓度的呈味氨基酸^[5]。王婷婷等^[6]研究了云南黑虎掌菌的挥发性成分, 发现醛类、烃类、醇类、酮类化合物对其风味具有重要贡献。Alasalvar 等^[7]研究了人工养殖与野生虎掌菌在冷藏过程中挥发性化合物变化有差异。然而, 在加工过程中如: 蛋白质、氨基酸、风味前体物和多糖等难以被充分分解和反应, 导致风味和活性物质释放不彻底, 口感不及预期, 使得经济效益达不到应有的价值, 所以在加工前增加酶解工艺促进风味相关物质分解释放或者进行其他相关促进风味的预处理可以很大程度上解决以上问题。但是, 目前还尚未见到酶解虎掌菌以及酶解前后风味差异的研究报道, 对其深入研究可增加虎掌菌风味释放的方案, 促进虎掌菌产业的发展。

因此, 拟选取木瓜蛋白酶和风味蛋白酶两种被验证可以释放风味的蛋白酶酶解虎掌菌, 并在单因素的基础上, 采用响应面设计优化虎掌菌双酶解工艺, 使用氨基酸自动分析仪与顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)结合味觉活性值(TAV)和香气活性值(OAV)检测其酶解前后的游离氨基酸及挥发性成分差异, 并筛选关键的化合物。旨在为虎掌菌的开发利用以及其风味的深入研究提供实验基础和理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

虎掌菌: 新鲜无病虫害及瑕疵, 购于云南省易门

县, 鼓风干燥箱烘干, 打粉机粉碎放置干燥器备用。

木瓜蛋白酶(食品级, 1×10^5 U/g)和风味蛋白酶(食品级, 5×10^4 U/g), 宁夏和氏璧生物技术有限公司; C₇-C₃₀ 正构烷烃标准品和 3-辛醇标准品, 美国 Sigma 公司; 硫酸, 天津市风船化学试剂科技有限公司。

1.2 设备

PL303 型分析天平, 梅特勒-托利多仪器有限公司; PHS-3C 型雷磁 pH 计, 上海仪电科学仪器股份有限公司; S-433 (D) 型氨基酸自动分析仪, 德国 sykam 公司; SCION SQ 456-GC 型气质联用仪, 美国力可有限公司; DB-WAX 型色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm), DB-WAX 型色谱柱。

1.3 酶解工艺优化

以水解度为指标, 分别选取酶解温度(45、50、55、60 °C), 酶解时间(3、4、5、6 h)、木瓜蛋白酶与风味酶复合比例(1:2、1:3、1:1、3:1, m/m)、木瓜蛋白酶和风味蛋白酶复合添加量(0.20%、0.30%、0.40%、0.50%)、酶解液 pH 值(6.00、6.50、7.00、7.50)进行单因素试验。

然后根据单因素试验结果, 选取对酶解影响比较大的三个因素进行三因素三水平响应面设计, 因素水平见表 1。

表 1 响应面设计因素水平表

Table 1 Response surface design factor level table

因素	编码值	水平		
		-1	0	1
酶解时间/h	A	4.00	4.50	5.00
酶添加量/%	B	0.30	0.40	0.50
酶比例(木瓜酶:风味酶, m/m)	C	1:2	1:1	3:1

1.4 水解度测定

氨基酸态氮的测定: 根据 GB 5009.235-2016《食品中氨基酸态氮的测定》的方法进行测定; 总氮的测定: 根据 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》的方法进行测定。按照公式(1)计算水解度:

$$D = \frac{H_1}{H_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

D——水解度, %;

H_1 —样品中氨基酸态氮含量, mg/kg;

H_2 —总氮含量, mg/kg。

1.5 游离氨基酸测定

虎掌菌游离氨基酸的测定: 根据 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》的方法使用氨基酸自动分析仪进行检测。

1.6 味觉活性值计算

参考 Zhou 等^[8]的方法, 利用味觉活性值 (taste activity value, TAV) 评价各呈味氨基酸对虎掌菌滋味的影响。按以下公式 (2) 计算 TAV:

$$TAV = \frac{C_1}{Z_1} \quad (2)$$

式中:

C_1 —样品含量, mg/kg;

Z_1 —味觉阈值, mg/kg。

1.7 顶空固相微萃取-GC-MS

样品处理方法: 取酶解前后虎掌菌液体样品 6 mL 于顶空瓶 (20 mL) 中, 插入萃取头萃取 30 min (60 °C) 后取出, 再插入气相色谱进样口解吸 3 min (250 °C)。

GC 条件: 色谱柱: DB-WAX 石英毛细柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 柱流量: 恒流的模式进样 (0.8 mL/min); 载气: 高纯度氦气; 起始温度 40 °C (3 min), 第一阶段 5 °C/min 升至 90 °C, 第二阶段 10 °C/min 升至 250 °C (6 min)。进样口的温度为 250 °C。

MS 条件: 离子源: EI; 离子源温度 200 °C; 电压 70 eV; 色谱-质谱接口温度 250 °C。

1.8 挥发性化合物定性、定量

定性分析: 参考 Colin 等^[9]的方法, 将质谱得到的化合物数据, 包括质核比 (m/z) 和保留时间及峰面积等数据信息矩阵与软件内置的 National Institute of Standards and Technology 14 (NIST 14) 气相保留指数数据库进行比对得到化合物的信息。定量分析: 根据对虎掌菌中挥发性化合物进行分离鉴定时添加 3-辛醇为内标物, 以内标物的峰面积与气味活性化合物的峰面积比值计算各物质的含量。

1.9 香气活性值计算

参考 Tian 等^[10]的方法, 利用香气活性值 (Odor Activity Value, OAV) 评价各挥发性化合物对虎掌菌

酶解前后香气轮廓的影响。按以下公式 (3) 计算 OAV:

$$OAV = \frac{C_2}{Z_2} \quad (3)$$

式中:

C_2 —挥发性化合物含量, mg/kg;

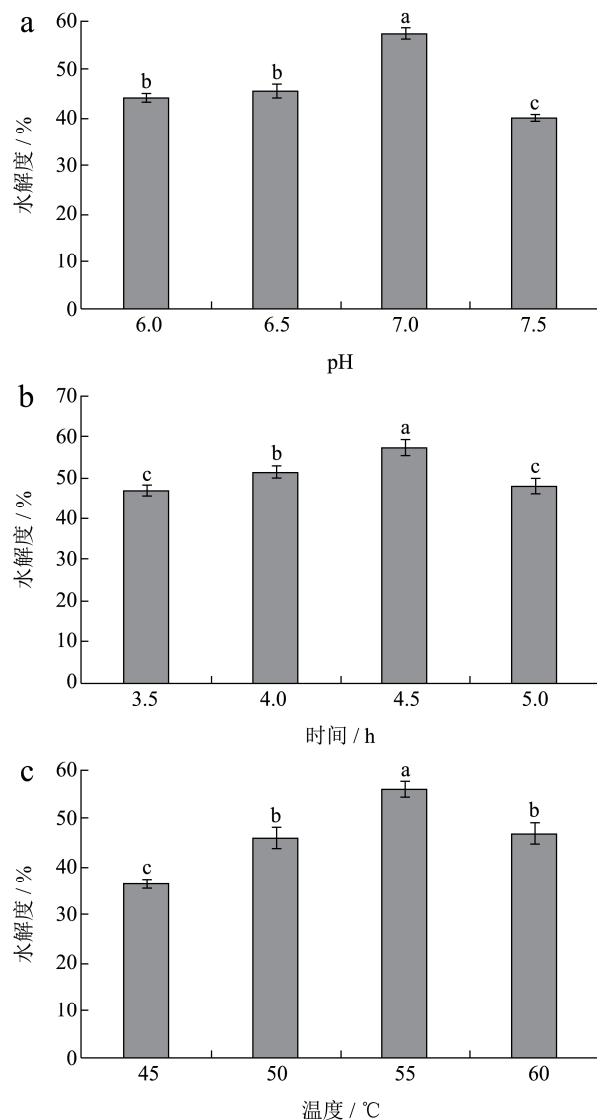
Z_2 —气味阈值, mg/kg。

1.10 数据处理

使用设计专家设计响应面正交试验, Graphpad Prism 9 制作热图及条形图, Origin 2020 制作雷达图。使用 SPSS 21.0 软件分析显著性差异, 当 $p < 0.05$ 时认为具有显著的统计学差异, 当 $p < 0.01$ 时认为极显著。

2 结果与分析

2.1 单因素结果分析



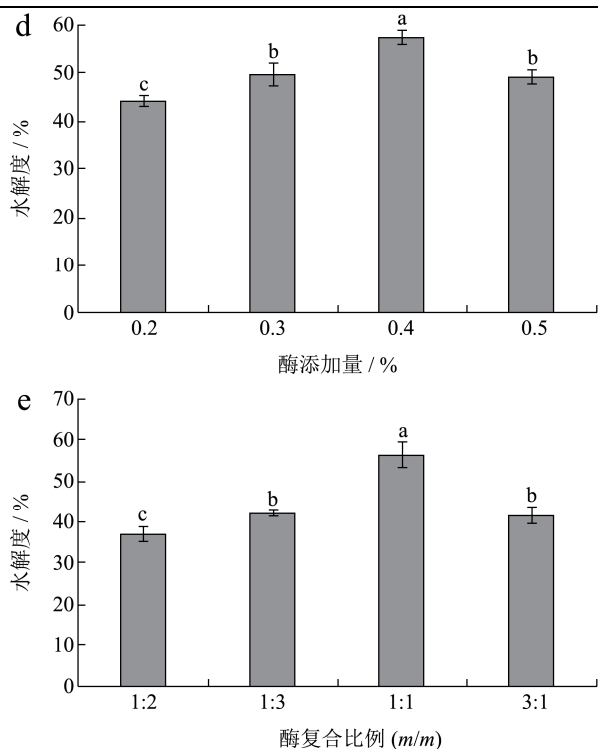


图1 单因素试验结果

Fig.1 Single factor test results

注: 图中柱上的字母不相同表示差异显著 ($p < 0.05$)。

酶解过程中其效果的强弱可以由水解度来反映, 水解度越高酶解效果越好, 释放的化合物越多, 因此选择水解度为酶解效果的指标。由图 1a~1e 所示, 在所有五组单因素试验中虎掌菌的水解度呈随着各个变量值先增大后减小的趋势, 各个单因素条件下分别在 pH 值 7、时间 4.5 h、温度 55 °C、酶添加量 0.4%和复合酶的比例为 1:1 时达到最大值, 且最大值时的水解度显著 ($p < 0.05$) 高于其他值。图 1a 中, 当 pH 值为 7 时样品水解度达到最大 56.95%, 说明两种酶的最适 pH 值为 7; 酶解时间和温度是影响水解度较大的两个因素, 当条件相同时两者水解度随着数值增加而增加, 但由于酶活性以及底物量的影响, 最大的水解度分别在 4.5 h 和 55 °C 时出现 (图 1b、1c); 酶添加量和复合酶的比例是酶活性的关键, 随着酶添加量的增加和木瓜蛋白酶: 风味蛋白酶比例增加其活性增强, 水解度都出现了显著 ($p < 0.05$) 增加的趋势, 但是再往上增加时由于反应底物有限以及可能酶活已达到最大, 此时水解度出现下降趋势 (图 1d、1e)。

2.2 响应面结果分析

根据单因素的试验结果, 在 pH 值为 7.0、温度为 55 °C 的条件下, 通过响应面试验进一步优化酶解工艺, 结果如表 2 所示。

对表 2 数据进行回归分析, 结果得到二次多项回

归方程为: $Y = 57.39 - 2.63A + 1.48B - 2.05C + 4.21AB + 2.35AC + 3.34BC - 7A^2 - 9.51B^2 - 8.87C^2$ 。

表 2 响应面设计及结果

Table 2 Response surface design and results

编号	酶解时间 A/h	酶添加量 B/%	酶比例 C/(m/m)	水解度 Y/%
1	-1	0	-1	47.22
2	1	0	1	40.54
3	0	1	-1	41.11
4	1	-1	0	33.31
5	0	0	0	58.58
6	0	-1	1	30.25
7	0	0	0	56.78
8	0	-1	-1	41.36
9	0	1	1	43.36
10	0	0	0	54.24
11	1	0	-1	39.61
12	0	0	0	57.78
13	-1	-1	0	49.15
14	1	1	0	41.04
15	0	0	0	59.59
16	-1	1	0	40.22
17	-1	0	1	38.75

表 3 回归模型方差分析及模型显著性检验

Table 3 Regression model analysis of variance and model significance test

方差来源	平方和	自由度	均方差	F 值	p 值	显著性
模型	1267.22	9.00	140.80	18.95	0.000 4	**
A	55.18	1.00	55.18	7.43	0.029 5	*
B	17.49	1.00	17.49	2.35	0.168 8	
C	33.62	1.00	33.62	4.52	0.071 0	
AB	70.81	1.00	70.81	9.53	0.017 6	*
AC	22.09	1.00	22.09	2.97	0.128 3	
BC	44.62	1.00	44.62	6.01	0.044 1	*
A ²	206.21	1.00	206.21	27.75	0.001 2	*
B ²	380.66	1.00	380.66	51.23	0.000 2	**
C ²	330.95	1.00	329.44	44.54	0.000 3	**
残差	52.01	7.00	7.43			
失拟项	35.31	3.00	11.77	2.82	0.171 2	不显著
纯误差	16.70	4.00	4.18			
$R^2 = 0.96$						
$R^2_{Adj} = 0.91$						

注: **表示极显著 ($p < 0.01$); *表示显著 ($p < 0.05$)。

由表 3 可知, 模型 $p < 0.01$ 、失拟项 $p = 0.17 > 0.05$ 拟合度好, 回归模型的绝对系数 $R^2 = 0.9$, $R^2_{Adj} = 0.91$,

说明此模型可以用来描述该酶解工艺。由方差分析结果表明, 一次项 A, 交互项 AB 和 BC, 二次项中 A² 对水解度的影响显著 ($p < 0.05$), 二次项中 B²、C² 对水解度的影响极显著 ($p < 0.001$)。根据 F 值大小可以判断, 影响顺序依次为时间 > 酶比例 > 酶添加量。

2.3 交互作用分析及模型验证

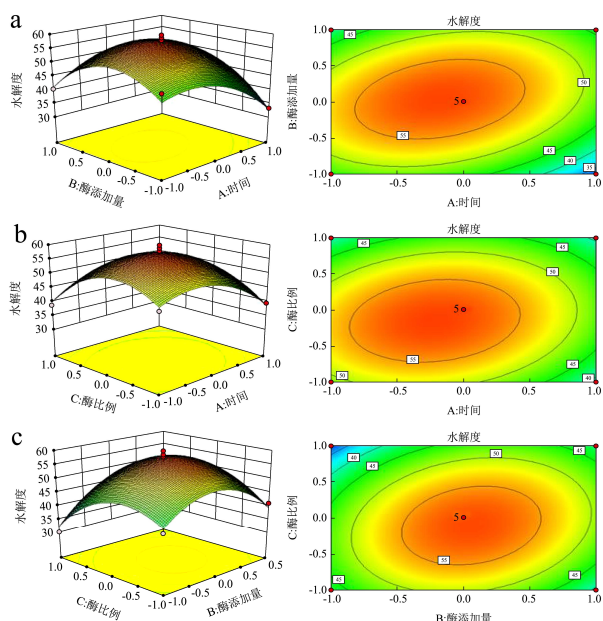


图2 各因素交互作用响应曲面及等高线图

Fig.2 Response surface and contour plot of interaction of various factors

注: 左边: 立体图; 右边: 等高线图。

由图 2a 立体图中可以看出水解度在合适的酶解时间和酶添加量下具有极大值; 等高线图可以看出两因素交互的等高线接近椭圆形。由图 2b 可知, 增加酶解时间和酶比例可以提高水解度, 但是结果不显著。由图 2c 可以看出, 酶添加量和酶比例的增加, 水解度呈现先上升后下降的趋势, 说明水解度在适当的酶添加量和酶比例下具有极大值, 且在最适范围内酶才能发挥最优效果。在试验模型和结果分析中, 酶添加量与酶比例的交互作用对水解度的影响显著 ($p < 0.05$)。

通过模型得到的最优结果为: 料液比 (虎掌菌: 水) 1:15、时间 4.4 h、酶添加量 0.4%、酶比例 1:1,

水解度 57.82%。以此工艺条件进行 3 组重复试验, 得水解度为 56.24%, 与理论值无显著差异, 说明该工艺具有可行性。

2.4 酶解对虎掌菌游离氨基酸的影响

虎掌菌含有接近 18.9%的总氨基酸含量, 仅次于总蛋白含量 (24.9%), 对虎掌菌的滋味贡献较大^[11]; 而酶解会使破坏虎掌菌细胞壁放更多的游离氨基酸和滋味物质。由表 4 可知, 酶解前呈鲜味的谷氨酸 (Glu) 和呈甜味的甘氨酸 (Gly) 含量分别是所有游离氨基酸的最大值 4 067.33 mg/kg 和 806.64 mg/kg, 没有检测到酪氨酸 (Tyr); 酶解后由于大量蛋白质释放游离氨基酸得 17 种氨基酸的含量均显著 ($p < 0.01$) 增加, 特别呈鲜味的谷氨酸 (Glu) 和呈甜味的甘氨酸 (Gly) 含量增加到了 63 791.23 mg/kg 和 12 464.51 mg/kg, 分别增加了 14.68 和 14.45 倍, 说明酶解可增强虎掌菌的鲜甜口感, 与黄世群等^[12]研究的野生黑虎掌菌总氨基酸含量占 23.5%的结果类似。酶解后苦味氨基酸显著 ($p < 0.01$) 含量增加, 但是有研究报道苦味氨基酸不具味觉活性, 可被其他呈味氨基酸的味道掩盖^[13], 最终使虎掌菌呈鲜甜滋味。

TAV 是食物中呈味物质对其整体滋味贡献程度的一个重要的指标, 大于 1 时认为该物质具有强烈的滋味活性, 对食物的整体滋味轮廓贡献较大^[15]。酶解后, 除了半胱氨酸 (Cys)、组氨酸 (His)、脯氨酸 (Pro)、酪氨酸 (Tyr) 和组氨酸 (His) 外其余所有氨基酸的 TAV 均大于 1, 而且呈鲜味的天门冬氨酸 (38.41) 和谷氨酸 (2 126.38) 和总的呈甜味的氨基酸 (155.72) TAV 大于呈苦味的氨基酸。此外, 有研究表明在精氨酸与谷氨酸协同作用下可呈现令人愉快的味道^[4], 本研究酶解后的虎掌菌中也检测到了含量 1 276.98 mg/kg 的精氨酸, 且 TAV 为 25.54 大于 1, 对其滋味贡献较大。这些结果表明 TAV 大于 20 的天门冬氨酸 (38.41)、谷氨酸 (2 126.38)、甘氨酸 (95.88)、丙氨酸 (23.79)、蛋氨酸 (24.76) 和赖氨酸 (53.52) 对虎掌菌滋味贡献极大, 而且酶解释放了更多的游离氨基酸。酶解前后 TAV 大于 1 的呈味氨基酸含量变化如图 3 所示。

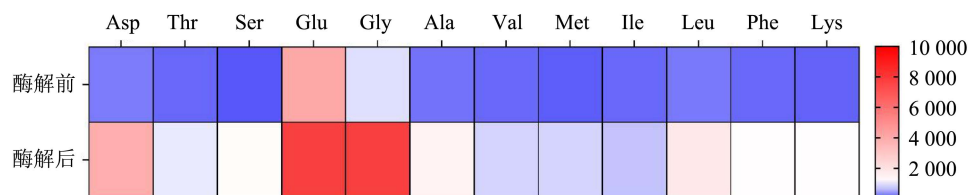


图3 虎掌菌酶解前后游离氨基酸含量变化热图

Fig.3 Heat map of *Sarcodon aspratus* of free amino acid content before and after enzymatic hydrolysis

注: 蓝色→红色: 游离氨基酸含量逐渐增加。

表4 虎掌菌酶解前后游离氨基酸含量、阈值、呈味特性及TAV值

Table 4 The contents, thresholds in water, taste contribution and TVA value of free amino acids in before and after enzymolysis of

Sarcodon aspratus							
编号	名称	滋味阈值 (mg/kg) ^[14]	浓度/(mg/kg)		TAV值		呈味
			酶解前	酶解后	酶解前	酶解后	
1	天门冬氨酸 (Asp)	100.00	216.81±8.46	3 841.33±20.53**	2.17	38.41	鲜味
2	苏氨酸 (Thr)	260.00	100.63±2.38	875.25±10.46**	0.39	3.37	甜味
3	丝氨酸 (Ser)	150.00	14.65±1.89	1 070.91±5.91**	0.10	7.14	甜味
4	谷氨酸 (Glu)	30.00	4 067.33±15.33	6 3791.23±21.42**	135.58	2 126.38	鲜味
5	甘氨酸 (Gly)	130.00	806.64±6.84	12 464.51±5.75**	6.20	95.88	甜味
6	丙氨酸 (Ala)	60.00	164.99±1.19	1 427.29±3.24**	2.75	23.79	甜味
7	半胱氨酸 (Cys)	-	18.38±0.89	464.06±8.42**	-	-	无味
8	缬氨酸 (Val)	40.00	107.80±10.63	739.48±4.75**	2.70	18.49	苦味
9	蛋氨酸 (Met)	30.00	44.99±3.50	742.91±14.61**	1.50	24.76	苦味
10	异亮氨酸 (Ile)	90.00	107.72±0.99	635.39±7.69**	1.20	7.06	苦味
11	亮氨酸 (Leu)	190.00	207.48±5.83	1 795.61±17.31**	1.09	9.45	苦味
12	酪氨酸 (Tyr)	-	25.33±1.84	679.26±5.54**	-	-	苦味
13	苯丙氨酸 (Phe)	90.00	106.71±4.37	1 057.24±14.88**	1.19	11.75	苦味
14	组氨酸 (His)	-	171.50±1.43	2 249.57±7.96**	-	-	无味
15	赖氨酸 (Lys)	20.00	76.33±8.34	1 070.47±6.56**	3.82	53.52	苦味
16	精氨酸 (Arg)	50.00	-	1 276.98±6.80	-	25.54	甜味
17	脯氨酸 (Pro)	-	121.80±1.77	381.54±3.51**	-	-	无味
	游离氨基酸总量		6 249.5	94 581.0	-	-	-
	Σ鲜味氨基酸		4 284.14	67 632.56	137.75	2 164.79	鲜味
	Σ甜味氨基酸		1 086.91	17 114.94	9.44	155.72	甜味
	Σ苦味氨基酸		676.36	6 720.36	11.5	125.03	苦味

注：“-”未检测到；** $p < 0.01$ vs 酶解前。

2.5 酶解前后虎掌菌挥发性风味物质的变化分析

酶解前后虎掌菌样品在正、负离子模式下的总离子流如图4所示，反映了样品中特定质荷比的保留时间。

由表5和图5可知，共鉴定出挥发性化合物103种，酶解前55种，酶解后71种；其中包含20个醇、14个酮、8个酸、6个酯、18个烯烃、6个酚、7个杂环、23个醛和1个醚类化合物。酶解后的化合物数量增多，以醛、酮、醇类化合物增加最多，酶解后醇类化合物的含量增加了12 467.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，比酶解前增加了5.35倍；酮、酚、醛和烯烃类化合物含量变化次之。张玉玉等^[16]研究发现与牛肝菌粉样品相比，虽然酶解没有增加挥发性成分的总数量，但是酶解增加了酸类挥发性成分。周超等^[17]研究发现酶解可以使茶褐牛肝

菌的挥发性成分增加(44种)，比没有酶解的微波和热风干燥的茶褐牛肝菌的挥发性成分多(分别为19种和18种)。然而，这些挥发性化合物并不一定都来自于蛋白质的分解，脂类受热会分解成脂肪酸，脂肪酸进一步被氧化会分解又能产生醛、酮、酸、内酯、醇、短链脂肪酸酯和烃类等小分子化合物^[18]；而且，室温下脂类的自氧化也会产生醛、酮、酸等复杂的挥发性化合物，比如亚油酸可自动氧化生成2-辛烯醛、己醛、乙醛、2-丁烯醛和反式-2-甲基-2-丁烯醛等；脂质自动氧化会生成乙烯酮、3-甲基-2-丁酮、甲基辛基甲酮等脂肪酮；脂质自动氧化也可生成正己醇等醇类^[19,20]。本研究酶解后的样品中也检测到了2-丁烯醛、反式-2-甲基-2-丁烯醛、3-甲基-2-丁酮、甲基辛基甲酮和正己醇等挥发性化合物。因此，说明酶解后增加的这些挥发性化合物有部分来自于虎掌菌酶解过程中脂类物质的分解。

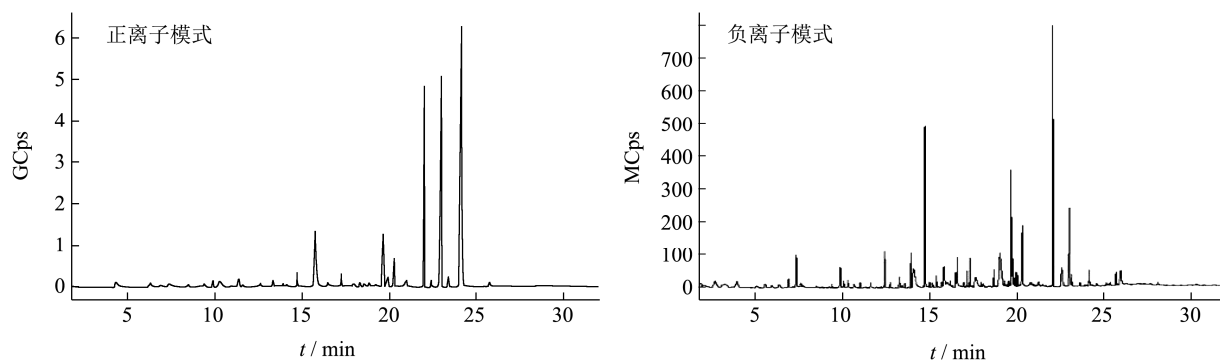


图4 样品的总离子流图

Fig.4 Total ion flow diagram of the samples

表5 虎掌菌酶解前后挥发性成分比较

Table 5 Comparison of volatile components of *Sarcodon aspratus* before and after enzymatic hydrolysis

编号	化合物名称	t/min	CAS	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
				酶解前	酶解后
醇类					
1	乙醇	4.32	64-17-5	1 169.76	-
2	2,7-二甲基-1-辛醇	9.04	15250-22-3	52.13	-
3	2-十六醇	13.263	544-76-3	84.34	-
4	2-丁基辛醇	15.61	3913-2-8	22.38	-
5	芳樟醇	17.25	78-70-6	599.72	1 373.35
6	糠醇	18.85	98-00-0	217.69	-
7	α -松油醇	19.33	98-55-5	68.14	-
8	4-萜烯醇	18.09	562-74-3	112.22	-
9	反-2-壬烯-1-醇	13.72	15250-22-3	-	52.41
10	正己醇	14.02	111-27-3	-	4 544.24
11	反式-2-癸烯醇	14.82	18409-18-2	-	16.27
12	1-辛烯-3-醇	15.75	3391-86-4	-	1 725.51
13	正辛醇	17.58	111-87-5	-	2 300.42
14	(1S,2S,3S,5R)-(+)-异松蒎醇	17.79	27779-29-9	-	12.00
15	橙花醇	17.82	106-25-2	-	16.86
16	反式-2-辛烯-1-醇	18.33	18409-17-1	-	214.84
17	正壬醇	18.95	143-08-8	-	858.13
18	月桂醇	22.49	112-53-8	-	2 907.22
19	橙花叔醇	23.06	7212-44-4	-	623.75
20	β -桉叶醇	25.05	473-15-4	-	148.26
酮类					
21	2,3-丁二酮	5.04	431-03-8	8.35	-
22	甲基庚烯酮	13.59	110-93-0	74.94	286.31
23	3,5-庚二烯-2-酮, (3E,5E)-(9CI)	16.15	2216-32-2	45.93	-
24	2-十一酮	18.00	112-12-9	76.33	205.28
25	香叶基丙酮	21.16	689-67-8	-	176.84
26	2-己酮	2.68	591-78-6	-	1 789.60
27	3-甲基-2-丁酮	5.03	563-80-4	-	328.51
28	3-辛酮	11.57	106-68-3	-	283.20

续表 5

编号	化合物名称	t/min	CAS	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
				酶解前	酶解后
29	仲辛酮	12.31	111-13-7	-	95.41
30	1-辛烯-3-酮	12.69	4312-99-6	-	364.72
31	2,3-辛二酮	13.22	585-25-1	-	901.47
32	2-壬酮	14.59	821-55-6	-	1 160.09
33	3-辛烯-2-酮	14.94	1669-44-9	-	320.44
34	甲基辛基甲酮	16.43	693-54-9	-	744.90
酸类					
35	乙酸	15.66	64-19-7	715.68	-
36	丁酸	18.34	107-92-6	268.13	-
37	己酸	20.99	142-62-1	316.46	-
38	正辛酸	23.24	124-07-2	127.24	-
39	山梨酸	23.45	110-44-1	213.60	963.18
40	乙酰丙酸	25.75	123-76-2	24.30	-
41	棕榈酸	25.86	57-10-3	-	1 938.07
42	正庚酸	23.54	111-14-8	34.18	-
酯类					
43	三醋精	23.38	102-76-1	43.71	-
44	2-氨基苯甲酸-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇酯	17.40	7149-26-0	123.33	-
45	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇丙酸酯	19.32	144-39-8	-	106.64
46	乙酸苏合香酯	19.36	93-92-5	-	124.65
47	异硫氰酸苜酯	23.77	622-78-6	-	76.48
48	邻苯二甲酸二异丁酯	28.00	1000309-04-5	-	161.90
烯烴类					
49	茨烯	6.88	79-92-5	171.61	710.50
50	双戊烯	10.20	138-86-3	269.24	-
51	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	10.42	555-10-2	54.66	548.79
52	萜品油烯	12.28	586-62-9	51.40	101.51
53	(-)- α -蒎烯	16.47	3856-25-5	244.34	-
54	β -榄香烯	17.92	515-13-9	108.10	251.59
55	(+)-香橙烯	18.73	489-39-4	90.81	83.35
56	右旋大根香叶烯	19.54	23986-74-5	105.62	-
57	γ -杜松烯	19.66	39029-41-9	17.30	-
58	β -甜没药烯	0.77	495-61-4	765.34	1 609.1
59	β -瑟林烯	0.18	17066-67-0	183.08	444.54
60	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳-四烯	0.44	502-61-4	43.90	63.51
61	β -倍半水芹烯	0.86	20307-83-9	85.57	199.62
62	α -姜黄烯	1.41	644-30-4	141.40	361.07
63	2-蒎烯	5.90	80-56-8	-	35.42
64	桉烯	7.71	2009-00-9	-	67.48
65	(-)-柠檬烯	10.04	644-30-4	-	48.70
66	1,3-己二烯	15.11	592-48-3	-	28.84

续表 5

编号	化合物名称	t/min	CAS	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
				酶解前	酶解后
酚类					
67	愈创木酚	21.22	90-05-1	6.36	-
68	6-姜烯酚	19.60	555-66-8	-	6 101.33
69	苯酚	22.74	108-95-2	8.44	-
70	丁香酚	24.38	97-53-0	24.20	-
71	2,4-二叔丁基苯酚	25.59	96-76-4	48.81	62.43
72	乙基麦芽酚	22.93	4940-11-8	-	470.06
杂环类					
73	2-(氯甲基)-1-甲基-1H-咪唑盐酸盐	9.46	1002-43-3	10.23	-
74	吡啶	9.86	110-86-1	73.80	-
75	2-乙酰基咪喃	16.61	1192-62-7	5.28	-
76	2-甲基-3-羟基-4-吡喃酮	22.40	118-71-8	37.55	-
77	2-乙基-3-羟基-4-吡喃酮	22.98	4940-11-8	227.14	-
78	2-甲基咪喃	9.46	534-22-5	-	374.31
79	2-正戊基咪喃	10.97	3777-69-3	-	33.60
醛类					
80	正己醛	7.34	66-25-1	69.92	297.84
81	反式-2-戊烯醛	8.46	1576-87-0	3.53	-
82	正辛醛	12.43	124-13-0	23.61	218.32
83	壬醛	14.66	124-19-6	78.00	915.64
84	2-辛烯醛	15.35	2363-89-5	9.50	68.66
85	正癸醛	16.52	112-31-2	22.70	200.58
86	苯甲醛	16.90	100-52-7	11.77	24.84
87	反式-2-壬烯醛	17.09	18829-56-6	13.90	-
88	苯乙醛	18.58	122-78-1	174.31	485.14
89	反式-2-癸烯醛	18.61	3913-81-3	61.24	1 026.32
90	2,4-癸二烯醛	20.68	2363-88-4	14.18	-
91	异戊醛	3.91	590-86-3	-	153.57
92	2-丁烯醛	6.32	4170-30-3	-	619.49
93	反式-2-甲基-2-丁烯醛	7.58	497-03-0	-	45.80
94	庚醛	9.83	111-71-7	-	165.11
95	顺-6-壬烯醛	17.08	2277-19-2	-	78.72
96	十一醛	18.06	112-44-7	-	180.12
97	十二醛	19.44	112-54-9	-	309.34
98	柠檬醛	19.73	5392-40-5	-	159.81
99	2-十一烯醛	19.97	2463-77-6	-	53.70
100	2,5-二甲基苯甲醛	20.74	5779-94-2	-	16.92
101	2,4,5-三甲基苯甲醛	21.41	5779-72-6	-	10.91
102	十四醛	24.02	124-25-4	-	25.28
醚类					
103	茴香脑	20.86	104-46-1	-	67.01

注：“-”未检测到；“RT/min”保留时间（min）；“CAS”化学文摘社编号。

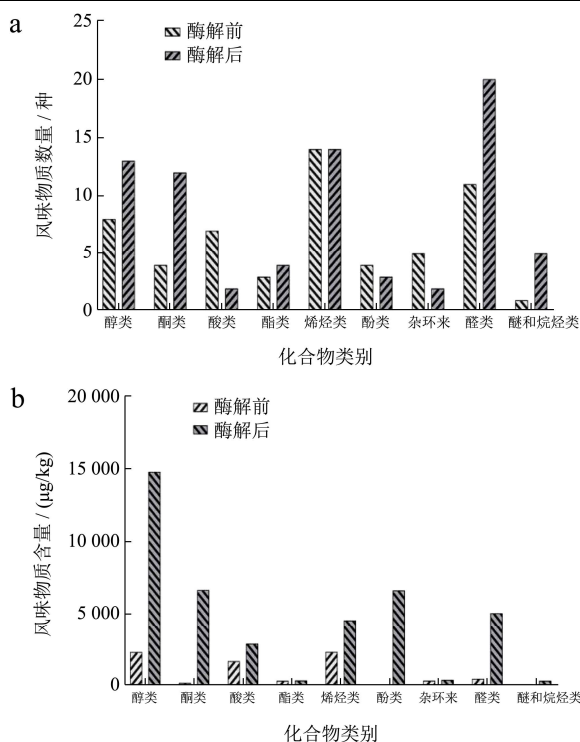


图5 虎掌菌酶解前后挥发性风味物质种类 (a) 及含量 (b)
Fig.5 Kinds (a) and contents (b) of volatile flavor substances of *Sarcodon aspratus* before and after enzymatic hydrolysis

醇类主要是赋予食物芳香、花香、甜味、水果味和蘑菇味来增加食物的风味，而且短链醇主要由糖酵解产生，长链醇由氨基酸代谢产生^[21,22]。本研究检测到的乙醇、蘑菇醇、糠醇、芳樟醇等主要针对虎掌菌的醇香、蘑菇香、甜香和花香等有贡献^[23]。醛类主要来源于食物中脂肪酸的氧化和蛋白质的 Strecker 降解反应，气味阈值较低，因此它们对香气的贡献很大^[24]。2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、苯甲醛、苯乙醛、呋喃酮等醛、酮类挥发性化合物具有麦芽味、青草味、甜味、烤面包香、焦糖香和咖啡香等^[25]。本研究也鉴定出了苯甲醛、苯乙醛、2-乙酰基呋喃、2,3-丁二酮和香叶基丙酮等，说明虎掌菌含有甜香、花香、咖啡香以及焦糖香等香气。不饱和烯炔如 α -白菖考烯、反-菖蒲烯、D-柠檬烯和香叶烯等会呈现特殊的果香和花香^[26]，本研究检测到了 β -榄香烯、(+)-香橙烯、右旋大根香叶烯和(-)-柠檬烯等烯炔化合物对果香和花香有重要贡献。此外，酸、酯、酚和杂环类物质也被检测到，它们对整体的香气轮廓具有烟熏味、水果香、花香以及奶油香等贡献。

2.6 关键挥发性香气成分及其香气轮廓分析

OAV 是评价挥发性化合物对食品香气轮廓贡献

度的重要指标，其值大于或等于 1 的挥发性风味物质为样品的气味活性化合物，对整体风味有直接影响，且 OAV 越大该化合物对整体香气的贡献就越大^[27,28]。

由表 6 可知，样品解前后 OAV ≥ 1 的风味物质共有 25 种，其中酶解前 13 种、酶解后 22 种，包括醇类 6 种、酮类 2 种、烯炔类 2 种、酚类 1 种、呋喃类 2 种、醛类 11 种、醚类 1 种，酶解后的关键香气化合物增多，香气更加丰富。与文献报道一致，本研究中低阈值的醛类对香气是贡献也是最大的，主要贡献青草、脂肪、肥皂、水果香、花香、瓜香、柠檬香等香气；其次是醇类化合物，主要贡献花香、果香、蘑菇香、青草味等，且醛类和醇类物质是样品的风味的主体。相比于酶解前，酶解后所有 OAV ≥ 1 的醇类物质含量均大幅度增加，增强了虎掌菌花香、果香等香气；此外，2-十一酮、香叶基丙酮酶解后 OAV ≥ 100 ，对水果味和花香贡献极强，正辛醛、苯乙醛、反式-2-癸烯醛和反式-2-壬烯醛 OAV 也大于 100，对青草味、脂肪味以及蜡味、瓜果味香气贡献大。

样品酶解前后的挥发性香气包含了水果香、花香、脂肪香、瓜香、草味、烘烤香、肉香、肥皂味、蘑菇、樟脑和柠檬味。根据风味特征，参照香气轮中的模块分类并将 OAV ≥ 1 的化合物绘制香气轮廓图^[36]。如图 6 所示，酶解前以水果味、肥皂味、脂肪味、瓜香为主，其次是青草味并配合其他微弱的香气；酶解后所有香气成分含量均增加，使香气轮廓特征更为明显，而且酶解过程产生了 1-辛烯-3-醇 (OAV=1726) 增强了蘑菇香气，此外酶解还释放了更多的呈花香类挥发性化合物 (OAV 增加了 112.34 倍) 使脂肪、肥皂等不愉快的气味强度减弱。

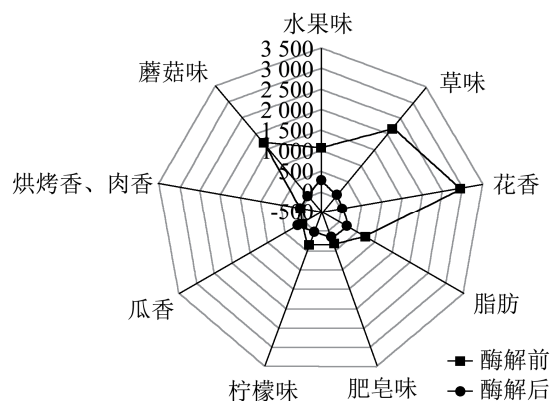


图6 虎掌菌酶解前后风味轮廓

Fig.6 Flavor profile of *Sarcodon aspratus* before and after enzymatic hydrolysis

表6 虎掌菌酶解前后挥发性风味物质的 OAV

Table 6 OAV of volatile flavor compounds of *Sarcodon aspratus* before and after enzymatic hydrolysis

编号	化合物名称	水中阈值 /($\mu\text{g}/\text{kg}$) ^[29-32]	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)		OAV		香气 ^[33-35]
			酶解前	酶解后	酶解前	酶解后	
1	芳樟醇	25.00	599.72	1 373.35	23.99	54.93	花香、薰衣草香
2	1-辛烯-3-醇	1.00	-	1 725.51	-	1 725.51	蘑菇、薰衣草、玫瑰和乾草香气
3	正辛醇	800.00	-	2 300.42	-	2.88	茉莉、柠檬
4	正壬醇	5.00	-	858.13	-	171.63	橙子、蔷薇香
5	月桂醇	1 000.00	-	2 907.22	-	2.91	月下、紫罗兰香
6	橙花叔醇	70.00	-	623.75	-	8.91	苹果、玫瑰、木香
7	2-十一酮	1.67	76.33	205.28	45.71	122.92	水果味
8	香叶基丙酮	0.17	-	176.84	-	1 040.24	花香
9	苜烯	150.00	171.61	710.50	1.14	4.74	类似樟脑香气
10	(-)-柠檬烯	10.00	-	48.70	-	4.87	柠檬香气
11	愈创木酚	3.00	6.36	-	2.12	-	芳香气味
12	2-乙酰基呋喃	2.00	5.28	-	2.64	-	苦杏仁味
13	2-正戊基呋喃	6.00	-	33.60	-	5.60	烘烤香
14	正己醛	4.50	69.92	297.84	15.54	66.18	青草气、苹果香
15	正辛醛	0.70	23.61	218.32	33.73	331.89	脂肪、肥皂、柠檬、青草味
16	壬醛	15.00	78.00	915.64	5.20	61.04	青草味
17	2-辛烯醛	3.00	9.50	68.66	3.17	22.89	黄瓜、鸡肉香味
18	苯甲醛	3.50	11.77	24.84	3.36	7.09	果香
19	反式-2-壬烯醛	0.08	13.90	-	173.75	-	脂肪香、青香、蜡香、黄瓜香、甜瓜香
20	苯乙醛	0.75	174.31	485.14	232.41	646.85	果香
21	反式-2-癸烯醛	3.00	61.24	1 026.32	20.41	324.11	动物油脂
22	庚醛	3.00	-	165.11	-	55.04	脂肪、柑橘、酸败
23	十一醛	12.50	-	180.12	-	14.41	脂蜡气、甜橙、玫瑰花香
24	柠檬醛	40.00	-	159.81	-	40.00	柠檬
25	茴香脑	16.00	-	67.01	-	4.19	甘草味、茴香味

注：“-”未检测到。

3 结论

虎掌菌菌体粗壮肥大、肉质细嫩、风味优良且富含大量的营养物质，是著名的出口食用菌之一，具有良好的食用和营养价值。本研究通过响应面优化设计试验优化了虎掌菌的酶解工艺，得到最优工艺为：料液比 1:15 (m/V)、时间 4.4 h、酶比例（木瓜蛋白酶:风味酶）1:1、酶添加量 0.4%，水解度 57.82%，经验证得其水解度为 56.24%与预测值接近。然后，检测到共有 11 个游离氨基酸的 TAV 大于 1，其中天门冬氨酸 (38.41)、谷氨酸 (2126.38)、甘氨酸 (95.88)、丙氨酸 (23.79)、蛋氨酸 (24.76) 和赖氨酸 (53.52) 大于 20，对虎掌菌滋味贡献极大；共鉴定出挥发性化合物 108 种，酶解前 55 种，酶解后 71 种，其中 OAV \geq 1 酶解前 13 种、酶解后 22 种，样品酶解前后均有水果味、花香味、肥皂味、

脂肪味和瓜香的主体香气，酶解后香气全面增强，生成了 1-辛烯-3-醇 (OAV=1726) 使蘑菇香气更明显，且呈花香类化合物 OAV 增加了 112.34 倍。为了进一步验证虎掌菌的风味，后续试验应该增加滋味和香气稀释试验以及相应的香气缺失和香气重组试验等。

参考文献

- [1] 王婷婷,邓雅元,杨璐敏,等.热加工方式对黑虎掌菌挥发性风味物质的影响[J].中国调味品,2021,46(7):76-79
WANG Tingting, DENG Yayuan, YANG Lumin, et al. Effects of thermal processing methods on volatile flavor compounds of *Sarcodon aspratus* [J]. China Condiment, 2021, 46(7): 76-79
- [2] 徐盼菊,杨东生,滕利荣,等.黑虎掌菌化学成分及药理作用研究进展[J].山东医药,2015,23:99-101

- XU Panju, YANG Dongsheng, TENG Lirong, et al. Advances in the study of chemical constituents and pharmacological effects of *Sarcodon aspratus* [J]. Shandong Medical Journal, 2015, 23: 99-101
- [3] 刘玲玲.虎掌菌粗多糖对运动疲劳的抗氧化作用[J].中国食用菌,2020,39(7):188-190
- LIU Lingling. Antioxidative effect of *Sarcodon aspratus* polysaccharide on exercise fatigue [J]. Edible Fungi of China, 2020, 39(7): 188-190
- [4] 苗笑雨,谷大海,程志斌,等.野生虎掌菌食药价值研究进展[J].食品安全质量检测学报,2016,7(10):3960-3965
- MIAO Xiaoyu, GU Dahai, CHENG Zhibin, et al. Research advances on nutritional and medicinal value of *Sarcodon imbricatus* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(10): 3960-3965
- [5] 赵雨霁,王琦.翘鳞肉齿菌化学成分和药理活性研究概况[J].食用菌学报,2014,3:77-82
- ZHAO Yuji, WANG Qi. Progress of research on the chemical composition and pharmacological activity of *Sarcodon imbricatus* [J]. Acta Edulis Fungi, 2014, 3: 77-82
- [6] 王婷婷,严明,邓雅元,等.云南黑虎掌菌挥发性成分分析[J].中国食用菌,2020,39(6):17-20
- WANG Tingting, YAN Ming, DENG Yayuan, et al. Analysis on volatile flavor substance of *Sarcodon imbricatus* in Yunnan [J]. Edible Fungi of China, 2020, 39(6): 17-20
- [7] Alasalvar C, Taylor K D A, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616-2622
- [8] Zhou F, Wang X C. Effect of heat extraction on water-soluble taste substances in processing products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(12): 3863-3872
- [9] Smith C A, Want E J, O'Maille G, et al. XCMS: processing mass spectrometry data for metabolite profiling using nonlinear peak alignment, matching, and identification [J]. Analytical Chemistry, 2006, 78(3): 779-787
- [10] Tian P, Zhan P, Tian H, et al. Analysis of volatile compound changes in fried shallot (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) oil at different frying temperatures by GC-MS, OAV, and multivariate analysis [J]. Food Chemistry, 2021, 345: 128748
- [11] 董会彬.黑虎掌菌多糖改善胃溃疡作用及机制研究[D].合肥:安徽大学,2020
- DONG Huibin. Study on the effect and mechanism of polysaccharide SAFP from *Sarcodon imbricatus* in ameliorating gastric ulcer [D]. Hefei: Anhui University, 2020
- [12] 黄世群,秦琳,仲伶俐,等.野生黑虎掌菌与羊肚菌营养成分测定及分析比较[J].山西农业科学,2019,47(12):2098-2102
- HUANG Shiqun, QIN Lin, ZHONG Lingli, et al. Nutrients determination and comparison between wild *Sarcodon aspratus* and *Morchella esculenta* [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(12): 2098-2102
- [13] Chen D, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205
- [14] 魏光强,李子怡,黄艾祥,等.基于游离氨基酸、挥发性组分和感官评价的两种酸化技术加工乳饼的滋味特征差异分析[J].食品科学,2021,42(1):1-14
- WEI Guangqiang, LI Ziyi, HUANG Aixiang, et al. Differential taste characteristics of rubbing cheese made by two acidification methods revealed by freeamino acids, volitaile compounds and sensory evaluation [J]. Food Science, 2021, 42(1): 1-14
- [15] Zhang Q, Jing R, Wang B, et al. Fast mode decision based on gradient information in 3D-HEVC [J]. IEEE Access, 2019, 7: 135448-135456
- [16] 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如分析[J].中国食品学报,2016,16(11):234-239
- ZHANG Yuyu, CHEN Yiyang, SUN Ying, 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): 234-239
- [17] 周超,黄裕怡,胡旭佳.不同干燥方式和酶解对茶褐牛肝菌挥发性风味成分的影响[J].食品工业科技,2017,38(23):203-209
- ZHOU Chao, HUANG Yuyi, HU Xujia, et al. Effects of different drying methods and enzymolysis on volatile flavor compounds in *Neoboletus bruneissimus* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(23): 203-209
- [18] 史笑娜,黄峰,张良,等.红烧肉加工过程中脂肪降解、氧化和挥发性风味物质的变化研究[J].现代食品科技,2017,33(3): 257-265
- SHI Xiaona, HUANG Feng, ZHANG Liang, et al. Changes in lipolysis, lipid oxidation, and volatile flavor compounds during the processing of red braised pork [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(3): 257-265
- [19] 付梦.不同品牌香瓜子关键呈香化合物及哈败过程中挥发性成分分析[D].合肥:安徽农业大学,2018
- FU Meng. Analysis of key volatile compounds in different brands of aromatic sunflower seeds and rancid volatile

- compounds in roasted sunflower seeds [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018
- [20] 文志勇,孙宝国,梁梦兰,等.脂质氧化产生香味物质[J].中国油脂,2004,29(9):41-44
WEN Zhiyong, SUN Baoguo, LIANG Menglan, et al. Flavour compounds from lipid oxidation [J]. China Oils and Fats, 2004, 29(9): 41-44
- [21] Tokpohozin S E, Fischer S, Becker T. Selection of a new *Saccharomyces yeast* to enhance relevant sorghum beer aroma components, higher alcohols and esters [J]. Food Microbiology, 2019, 1(83): 181-186
- [22] Katsi P, Kosma I S, Michailidou S, et al. Characterization of artisanal spontaneous sourdough wheat bread from central Greece: evaluation of physico-chemical, microbiological, and sensory properties in relation to conventional yeast leavened wheat bread [J]. Foods, 2021, 10(3): 635
- [23] 王道君,孟琦,宋焕禄.基于Mono Trap方法对酱油气味活性成分的分析[J].食品科学技术学报,2021,39(2):1-10
WANG Xiaojun, MENG Qi, SONG Huanlu. Analysis of odor-active compounds of soy sauce by monolithic material sorptive extraction [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(2): 1-10
- [24] Rannou C, Texier F, Moreau M, et al. Odour quality of spray-dried hens' egg powders: The influence of composition, processing and storage conditions [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2-3): 905-914
- [25] Lee S M, Seo B C, Kim Y. Volatile compounds in fermented and acid-hydrolyzed soy sauces [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(3): C146-C156
- [26] 姚芳,赵延胜,王海蓝,等.银杏果酶解发酵前后风味成分的变化及主成分分析[J].现代食品科技,2021,37(6):251-265
YAO Fang, ZHAO Yansheng, WANG Hailan, et al. Changes and principal component analysis of flavor components in ginkgo seed before and after enzymolysis and fermentation [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 251-265
- [27] 张凯华,臧明伍,张哲奇,等.微波复热时间对预制猪肉饼过熟味、脂肪氧化和水分分布特性的影响[J].食品科学,2020,41(9):50-56
ZHANG Kaihua, ZANG Mingwu, ZHANG Zheqi, et al. Effect of microwave reheating time on warmed-over flavor, lipid oxidation and water distribution in precooked pork patties [J]. Food Science, 2020, 41(9): 50-56
- [28] Wang Y, Song H, Zhang Y, et al. Determination of aroma compounds in pork broth produced by different processing methods [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2016, 31(4): 319-328
- [29] 贾哲,陈晓婷,潘南,等.双斑东方鲀在冷藏保鲜过程中挥发性风味物质的变化[J].食品科学,2020,41(7):1-14
JIA Zhe, CHEN Xiaoting, PAN Nan, et al. Changes of the volatile flavor compounds in *Takifugu bimaculatus* during refrigeration process [J]. Food Science, 2020, 41(7): 1-14
- [30] 李红娟,孔维府,周新明,等.蛇龙珠新品系葡萄酒香气成分分析及评价[J].中国酿造,2020,39(12):164-170
LI Hongjuan, KONG Weifu, ZHOU Xinming, et al. Analysis and evaluation of aroma components in wine brewed with new variety of Cabernet Gernischt [J]. China Brewing, 2020, 39(12): 164-170
- [31] 刘光宪,李雪,王丽,等.江西地方品牌酱鸭游离脂肪酸和风味特性分析[J].食品与机械,2021,37(1):53-60,65
LIU Guangxian, LI Xue, WANG Li, et al. Analysis of free fatty acids and flavor characteristics of sauce duck from Jiangxi local brand [J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 53-60, 65
- [32] 周慧敏,赵冰,吴倩蓉,等.黑白胡椒腊肠贮藏期中气味活性物质演变及异味分析[J].食品科学,2020,41(24):162-171
ZHOU Huimin, ZHAO Bing, WU Qianrong, et al. Changes in odor-active compounds and analysis of off-flavor compounds in Chinese sausage added with black and white pepper during storage [J]. Food Science, 2020, 41(24): 162-171
- [33] 周慧敏,张顺亮,郝艳芳,等.HS-SPME-GC-MS-O结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J].食品科学,2021,42(2):218-226
ZHOU Huimin, ZHANG Shunliang, HAO Yanfang, et al. Analysis of major flavor components of Tuotuo pork, a traditional meat product in Liangshan, southwest China's Sichuan, by HS-SPME-GC-MS-O combined with electronic nose [J]. Food Science, 2021, 42(2): 218-226
- [34] 庞雪莉,胡小松,廖小军,等.FD-GC-O和OAV方法鉴定哈密瓜香气活性成分研究[J].中国食品学报,2012,12(6):174-182
PANG Xueli, HU Xiaosong, LIAO Xiaojun, et al. Study on two evaluation methods of odor-active compounds in hami melon: frequency detection-gas chromatography-olfactometry method and odor activity value analysis [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(6): 174-182
- [35] Wu S, Yang J, Dong H, et al. Key aroma compounds of Chinese dry-cured Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) and their potential metabolic mechanisms [J]. Food Chemistry, 2020, 342(3): 128381
- [36] Capone S, Tufariello M, Siciliano P. Analytical characterisation of Negroamaro red wines by "Aroma Wheels" [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2906-2915