

酶解与发酵联合处理对牛蒡根风味的影响

马凯迪^{1,2}, 许璐靖², 李莹^{1,2*}, 刘元法³, 崔莉², 马恺扬², 赵轩², 宋欣欣^{1,2}

(¹南京农业大学食品科技学院 南京 210095

²江苏省农业科学院农产品加工研究所 南京 210014

³白马未来食品研究院 江苏溧水 211225)

摘要 用酶解和发酵联合处理新鲜牛蒡根,在活性多糖充分溶出的基础上,通过乳酸菌发酵改善牛蒡根的不良风味。以牛蒡酶解液中多糖含量和风味评分为指标,通过正交试验确定酶解最佳条件为:纤维素酶添加量 4%,料液比 1:6,温度 55℃,酶解时间 1.5 h,超声功率 200 W。气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析显示,醛类及萜烯类化合物例如苯乙醛、B-蒎烯、A-姜黄烯是引起牛蒡不良风味的主要来源,在酶解、发酵过程中会转化为具有愉悦风味的酮类和醇类。主成分分析和聚类分析结果表明,经不同方式处理的牛蒡液中挥发性风味物质苯乙醛、B-蒎烯、A-姜黄烯存在较大差异,酶解与发酵联合处理可有效改善牛蒡根不良风味。

关键词 牛蒡根; 酶解; 发酵; 联合处理; 风味

文章编号 1009-7848(2024)06-0190-14 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.06.017

牛蒡(*Arctium lappa* L.)是一种菊科大型草本植物,有“蔬菜之王”的美誉,其作为传统的药食同源植物,在我国资源丰富^[1]。牛蒡的主要可食部分是牛蒡根,富含糖类、黄酮类、蛋白质及氨基酸等活性成分,具有极高的营养和药用价值^[2]。其中,牛蒡多糖是极为重要的一种,具有显著的降血糖、降脂、抗氧化和改善肠道菌群等功效^[3]。目前牛蒡多糖主要通过酶解法等方法提取获得^[4]。

牛蒡的营养和食用价值得到人们的重视,然而其自身气味不佳^[5],无法大规模应用与发展。目前,通过与其它材料复配来掩盖牛蒡气味是一种最常用的解决方法。成明月等^[6]用牛蒡、枣芽和蜂蜜复配研发了一款风味良好的复合茶饮料。新鲜大麦叶^[7]、玉米须^[8]等也被用于复配来改善牛蒡气味。另外,发酵法可用于改善牛蒡风味,乳酸菌是发酵用最多的菌种之一,可以生成许多有益的发酵产物^[9],被证明可提高活性成分的生物利用率以及功能性^[10]。然而,这些加工方式多基于未经酶解的新鲜或风干牛蒡,未能充分利用其中的活性成分。

收稿日期: 2023-06-27

基金项目: 江苏省创新支撑计划乡村振兴项目(FX202201);2022 年度国家外国专家项目(个人类)计划(G2022014078L)

第一作者: 马凯迪,女,硕士生

通信作者: 李莹 E-mail: hijoly@163.com

本试验通过酶解和发酵联合处理,充分释放牛蒡根中的活性多糖,并利用乳酸菌发酵去除牛蒡不良风味。分析酶解、发酵过程中牛蒡风味的变化情况,以为牛蒡的深加工提供技术参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

鲜牛蒡,江苏省徐州市山崎农产品公司;魏斯氏菌 ZJ-5(*Weissella cibaria* ZJ-5)和肠膜明串珠菌 ZN-G(*Leuconostoc mesenteroides* ZN-G),本实验室分离筛选自传统泡菜。

纤维素酶,上海源叶生物科技有限公司;苯酚(纯度 99%),上海麦克林生化科技有限公司;无水葡萄糖(纯度 99%),国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

气相色谱-串联质谱分析仪-ZX-08,美国安捷伦公司;数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;电热恒温培养箱,常州市普天仪器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品液制备

1) 牛蒡液 挑选生长状况良好的新鲜牛蒡根,将牛蒡根清洗干净后去皮,切成大小均一的小块,加水制成匀浆液。

2) 牛蒡酶解液 在牛蒡液中添加适量的纤

纤维素酶,待酶解结束后进行灭酶处理,离心取上清液。

3) 牛蒡发酵液 在牛蒡液中接入 1%乳酸菌复合菌液(魏斯氏菌:肠膜明串珠菌 2.5:3.5),在 37 ℃条件下恒温发酵 46 h,过滤。

4) 牛蒡联合处理液 在牛蒡酶解液中接入 1% 乳酸菌复合菌液(魏斯氏菌:肠膜明串珠菌 2.5:3.5),在 37 ℃条件下恒温发酵 46 h,过滤。

1.3.2 牛蒡酶解条件优化

1.3.2.1 单因素实验 以牛蒡酶解液中多糖含量和气味评分作为综合评判指标。在加酶量为 4%, pH 值为 5.5, 酶解时间 2 h, 料液比 1:9, 酶解温度

为 50 ℃, 超声功率为 240 W 的固定条件下, 分别优化料液比(1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9 g/mL)、pH 值(4.5, 5, 5.5, 6, 6.5)、纤维素酶添加量(2%, 4%, 6%, 8%, 10%)、酶解时间(1, 1.5, 2, 2.5, 3 h)、酶解温度(40, 45, 50, 55, 60 ℃)以及超声功率(160, 200, 240, 280, 320 W)六大因素。

1.3.2.2 正交试验 如表 1 所示, 在单因素实验的基础上选择因素范围, 每个因素选择 3 个水平, 进行正交试验。通过正交设计助手设计六因素三水平正交试验, 以多糖含量和风味评分为评价指标^[11], 确定最佳酶解组合。

表 1 正交试验因素与水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

	酶解时间/h	酶解温度/℃	料液比/(g/mL)	超声功率/W	pH 值	加酶量/%
1	1.5	45	1:6	200	5	4
2	2	50	1:7	240	5.5	6
3	2.5	55	1:8	280	6	8

1.3.3 牛蒡多糖含量测定 多糖含量的测定参考王文洁等^[12]的苯酚硫酸法。准确称取 1.0000 g 葡萄糖, 加 50%乙醇定容到 100 mL, 并稀释至不同浓度, 再加入 6%苯酚溶液 1.0 mL, 混匀后加浓硫酸 6.0 mL, 充分混合, 放置 30 min 冷却至室温, 以 50%乙醇为空白对照, 在 490 nm 处测吸光值。以葡萄糖浓度为横坐标, 吸光值为纵坐标, 绘制标准曲线。将待测液适当稀释。吸取 1 mL 样品液于试

管中。其它按标准溶液测定方法操作, 测定吸光度, 重复试验 3 次。

1.3.4 风味评价 风味评价小组由 8 名食品相关专业人员组成, 风味评价之前进行相关风味培训, 以确保风味评价结果的准确性。参考《食品感官评价》, 根据综合评价的原理, 采用 10 分制对牛蒡酶解液的风味进行评价。

表 2 牛蒡酶解液风味评分表

Table 2 Grade table for burdock enzymatic hydrolysate flavor

项目	1~3 分	3~6 分	6~10 分
风味	牛蒡气味重, 不协调	牛蒡气味较轻, 香气较协调	牛蒡气味适宜, 香气协调

1.3.5 GC-MS 检测风味 参考 Wang 等^[13]GC-MS 方法并稍做改动。

色谱柱: TG-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm) 弹性石英毛细管柱; 载气为高纯氦气; 载气流速为 1.2 mL/min; 采用不分流进样; 进样口温度为 250 ℃; 程序升温: 初始温度 40 ℃保持 2 min, 然后以 6 ℃/min 升到 280 ℃, 保持 4 min。

质谱条件: 离子源为 EI 源, 传输线温度: 280 ℃; 离子源温度: 300 ℃; 电子能量: 70 eV; 扫描范

围(*m/z*): 33~500 amu, 采用全扫描采集模式。

1.4 数据处理

试验数据用 Microsoft office Excel 2010 软件进行数据分析, 主成分分析使用 SPSS23.0, 聚类绘图使用 R studio, 其它绘图使用 origin 2022 绘制。

2 结果与分析

2.1 牛蒡酶解单因素实验结果

2.1.1 pH 值对牛蒡综合指标的影响 如图 1 所

示,随着 pH 值的升高,牛蒡酶解液中的多糖含量先升高后逐渐降低并保持稳定。在 pH 值为 5.0 时多糖含量达到峰值,此时纤维素酶活性最大,酶解效率最高;随着 pH 值的继续升高,酶活性降低,多糖含量有所下降^[14]。风味评分变化与之相反,呈先下降后上升的趋势。这可能是因为随着酶解的进行,低级醛类化合物增多,带来不愉悦的牛蒡土腥味,而随后风味评分上升。综上,选择 pH 值 5.0, 5.5 和 6.0 为后续正交实验水平范围。

2.1.2 超声功率对牛蒡综合指标的影响 由图 2 所示,当超声功率为 160 W 时,牛蒡酶解液的多糖含量和风味评分均较低;随着超声功率的增加,两大指标均有所上升,这是因为超声处理可破坏牛蒡结构,并提高纤维素酶的活性,增加了酶与底物反应速率^[15],从而加速多糖溶出。当超声功率过高时,纤维素酶的活性反而受到抑制,而且可能会使多糖降解成小分子化合物,导致牛蒡酶解液中的多糖含量略有降低^[16]。综上,选择超声功率 200, 240 和 280 W 为后续正交实验水平范围。

2.1.3 酶解时间对牛蒡综合指标的影响 如图 3 所示,随着酶解时间的增加,牛蒡酶解液中的多糖含量先升高后降低,在酶解时间为 1.5 h 时达到峰值。可能是当酶解时间过低时,酶和底物反应不完全,多糖溶出较为困难。随着酶解时间的增加,酶和底物充分反应,多糖溶出较为顺利,酶解液中多糖含量升高。当酶解时间过高时,酶活力的下降导致多糖含量出现明显下降^[17]。风味评分始终保持上升趋势,可能是纤维素酶解产物葡萄糖的增多掩盖了牛蒡苦味。综上,选择酶解时间 1.5, 2, 2.5 h 为后续正交试验水平范围。

2.1.4 料液比对牛蒡综合指标的影响 如图 4 所示,随着料液比增加,牛蒡酶解液中的多糖含量先升高后降低并保持稳定,料液比为 1:6 时多糖含量最高。当料液比较低时,体系黏稠度大,不利于酶和底物的充分接触和反应;料液比过高而多糖已充分溶出则会造成浓度降低及资源浪费^[16,18]。风味评分也呈现先升高后降低的趋势,可能是在前期反应体系较为黏稠牛蒡气味浓郁风味评分低,随着料液比增加牛蒡气味减弱风味评分随之增加。综上,选择料液比 1:6, 1:7 和 1:8 为后续正交试验水平范围。

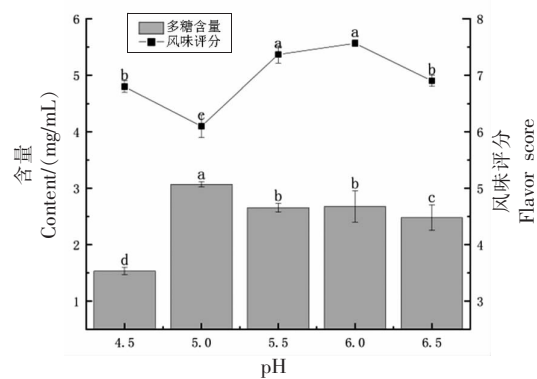


图 1 pH 值对牛蒡综合指标的影响

Fig.1 Effect of pH value on the integrated indexes of burdock

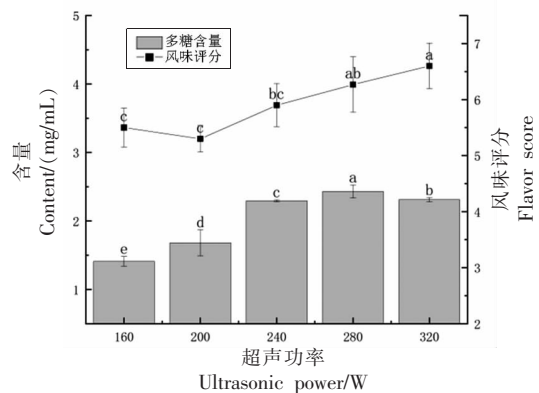


图 2 超声功率对牛蒡综合指标的影响

Fig.2 Effect of ultrasonic power on the integrated indexes of burdock

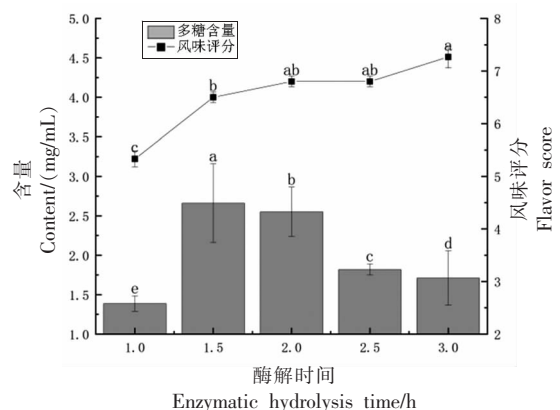


图 3 酶解时间对牛蒡综合指标的影响

Fig.3 Effect of enzymatic hydrolysis time on the integrated indexes of burdock

2.1.5 酶解温度对牛蒡综合指标的影响 如图 5 所示,随着酶解温度的增加,牛蒡酶解液中的多糖

含量先升高后降低,风味评分变化趋势与之相同。当温度从 40 ℃ 上升至 55 ℃ 时, 逐渐达到纤维素酶的最适温度, 酶与底物反应的效率逐渐升高, 多糖含量持续升高^[7]; 温度继续升高超过酶的最适温度时, 酶活性下降, 导致多糖溶出减少, 且温度过高会使多糖发生部分降解^[9]。综上, 选择酶解温度 45, 50, 55 ℃ 为后续正交实验水平范围。

2.1.6 纤维素酶添加量对牛蒡综合指标的影响

如图 6 所示, 随着纤维素酶添加量的升高, 牛蒡酶解液中的多糖含量持续升高。这是因为酶添加量的增多使得底物与酶解接触更为充分, 反应更加完全; 当酶添加量从 8% 上升至 10% 时, 多糖含量无明显上升, 表明此时酶量过剩, 需避免造成资源浪费^[7]。风味评分则出现波动现象, 后期评分下降可能是杂环化合物增加导致风味不佳, 而评分上升可能是高级脂肪醛类的生成产生了愉悦气味。综上, 选择酶添加量 4%, 6%, 8% 为后续正交实验水平范围。

2.2 牛蒡酶解正交试验结果

正交试验结果如表 3 所示, 根据极差值可以看出六大因素对牛蒡酶解液中多糖含量和风味评分的影响顺序为 $E(\text{pH}) > A(\text{时间}) > B(\text{温度}) > C(\text{料液比}) > D(\text{超声功率}) > F(\text{加酶量})$ 。根据 K 值大小选择最佳酶解条件为 $A_1B_3C_1D_1E_3F_1$, 即酶解时间 1.5 h、酶解温度 55 ℃、料液比 1:6、超声功率 200 W、pH 6、加酶量 4% 为最佳提取工艺组合, 此时多糖含量为 2.86 mg/mL, 风味评分为 7.2, 综合得分为 5.03。

2.3 酶法与发酵联合处理对牛蒡风味的影响

2.3.1 经不同方式处理的牛蒡挥发性风味化合物组成分析 如图 7 所示, 牛蒡液中共鉴定出 9 大类, 52 种挥发性化合物, 其中包含醇类 6 种, 醛类 11 种, 烯炔类 5 种, 萜烯类 21 种, 酸类 2 种, 烷烃类 2 种, 酯类 2 种, 杂环化合物 2 种以及酮类 1 种, 萜烯类、烯炔类及醛类化合物相对含量较高, 占总挥发性化合物的 65.65%。经酶解、发酵及联合处理后的牛蒡液中挥发性化合物的含量和种类均发生了一定的变化。牛蒡酶解液中醛类、酯类以及杂环化合物的相对含量和种类均有增加, 烯炔类和萜烯类化合物大幅下降。牛蒡发酵液中挥发性化合物种类最少, 可能具有不良风味的醛类、萜

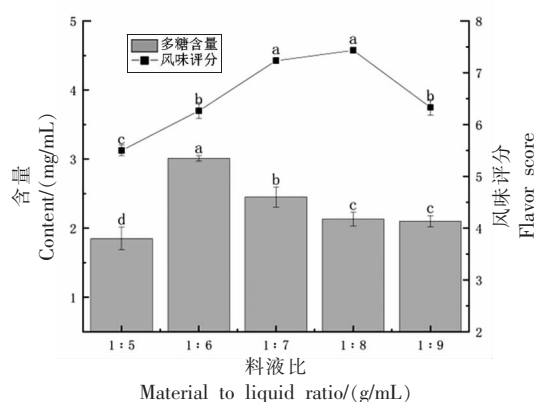


图 4 料液比对牛蒡综合指标的影响

Fig.4 Effect of material to liquid ratio on the integrated indexes of burdock

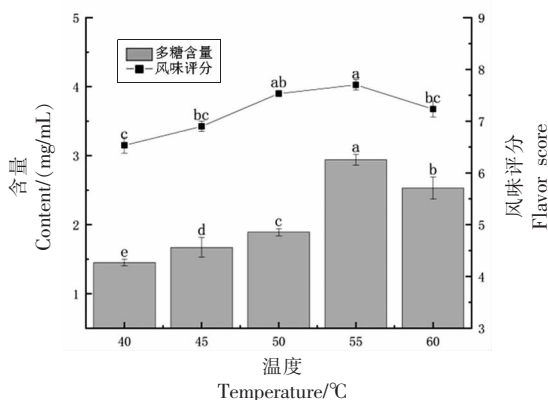


图 5 酶解温度对牛蒡综合指标的影响

Fig.5 Effect of enzymatic hydrolysis temperature on the integrated indexes of burdock

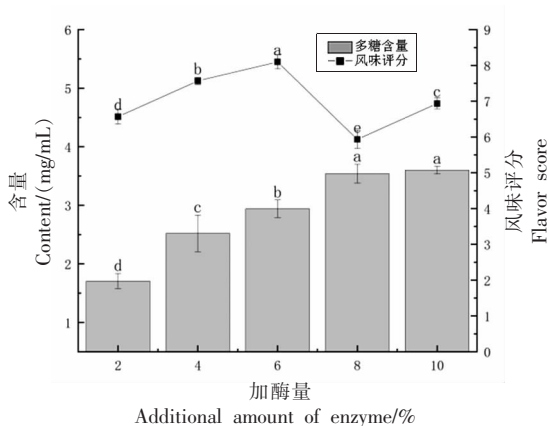


图 6 酶添加量对牛蒡综合指标的影响

Fig.6 Effect of additional amount of enzyme on the integrated indexes of burdock

烯类及杂环类化合物均有下降。同时, 乳酸菌的活动使得醇类、酮类以及酸类化合物含量有大幅上

表3 牛蒡酶解正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal experiment of burdock enzymatic hydrolysis

试验号	A(时间)	B(温度)	C(料液比)	D(超声功率)	E(pH)	F(加酶量)	多糖含量	风味评分	综合得分
1	1	1	1	1	1	1	2.38	6.2	4.29
2	1	2	2	2	2	2	1.32	6.5	3.91
3	1	3	3	3	3	3	2.68	6	4.34
4	2	1	1	2	2	3	2	5.5	3.75
5	2	2	2	3	3	1	1.9	6.8	4.35
6	2	3	3	1	1	2	2.26	5.2	3.73
7	3	1	2	1	3	2	1.6	5	3.3
8	3	2	3	2	1	3	1.88	4.3	3.09
9	3	3	1	3	2	1	2.84	5.4	4.12
10	1	1	3	3	2	2	2.12	7.5	4.81
11	1	2	1	1	3	3	1.9	8.1	5
12	1	3	2	2	1	1	1.7	6.5	4.1
13	2	1	2	3	1	3	1.9	4.9	3.4
14	2	2	3	1	2	1	1.62	6	3.81
15	2	3	1	2	3	2	1.88	7.6	4.74
16	3	1	3	2	3	1	2.3	5.7	4
17	3	2	1	3	1	2	1.76	5.2	3.48
18	3	3	2	1	2	3	2.56	7.5	5.03
K_1	4.408	3.925	4.230	4.193	3.682	4.112			
K_2	3.963	3.940	4.015	3.932	4.238	3.995			
K_3	3.837	4.343	3.963	4.083	4.288	4.102			
R	0.571	0.418	0.276	0.261	0.606	0.117			

升,其中醇类7种,相对含量为80.07%,酮类2种,相对含量为5.36%,酸类2种,相对含量为4.35%。与之相比,牛蒡联合处理液中醇类和酸类

化合物相对含量下降,配比更为恰当,有助于风味的提升。由此可见,酶解与发酵联合处理对提升牛蒡液风味的效果最大。

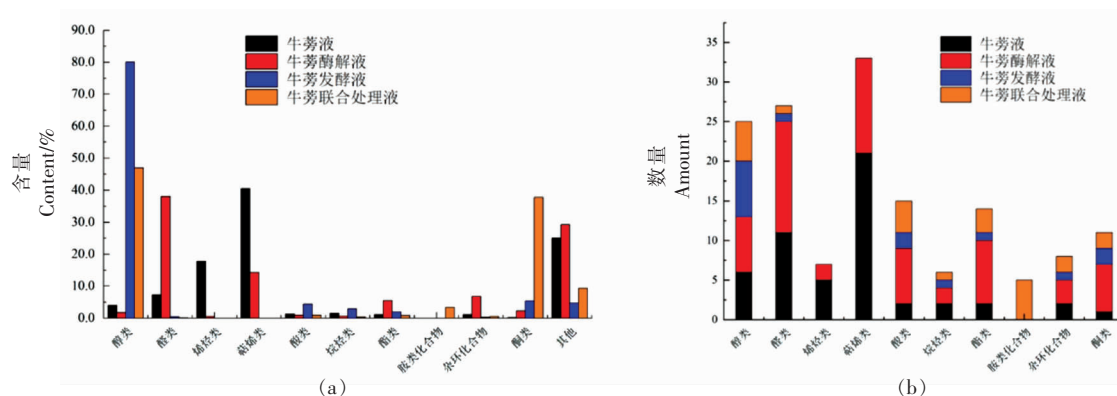


图7 不同方式处理的牛蒡液中挥发性化合物含量(a)及种类数量(b)

Fig.7 Contents (a) and types (b) of volatile substances in burdock samples with different processing methods

2.3.2 不同处理方式对牛蒡挥发性风味化合物的影响 从图8和表4中可以看出,经过不同方式

处理的牛蒡,其挥发性单体物质的种类和含量都发生了一定的变化。醛类化合物主要通过蛋白质

Strecker 途径降解或脂肪酸氧化并进一步分解产生^[20], 阈值较低且呈现的气味特征与浓度有关^[21]。据报道, 水产品中的泥土味、腥臭味等不良风味主要来源于直链饱和醛^[22], 这也可能是牛蒡具有土腥味的原由。不同方式处理的牛蒡液中醛类化合物相对含量和种类差异较大, 经酶解后, 醛类化合物的相对含量从 7.28% 上升至 38.05%, 其中, 饱和醛如壬醛、癸醛为油酸的氧化产物, 己醛是亚油酸的氧化产物, 具有油脂味、青草味等不良风味^[23], 但同时具有花香味的苯乙醛含量也有所上升。在发酵过程中, 醛类在微生物作用下, 会被还原为醇

或氧化为酮或酸^[24], 含量降低, 牛蒡发酵液和牛蒡联合处理液中分别仅含 0.4% 和 0.13% 的反-2-己烯醛, 该不饱和醛可能是由多不饱和脂肪酸氧化降解形成的^[25]。

萜烯类化合物在植物中含量较多且种类广泛, 以异戊二烯为基本结构单位, 阈值普遍较低, 对牛蒡风味贡献作用不容忽视。牛蒡中的萜烯类化合物主要是倍半萜及其含氧衍生物。除了单萜和少量倍半萜外, 大多数萜烯类都具有一定的苦味^[26], 这可能是牛蒡产生苦味的主要原因。牛蒡液中的萜烯类化合物相对含量为 40.61%, B-蒎烯和

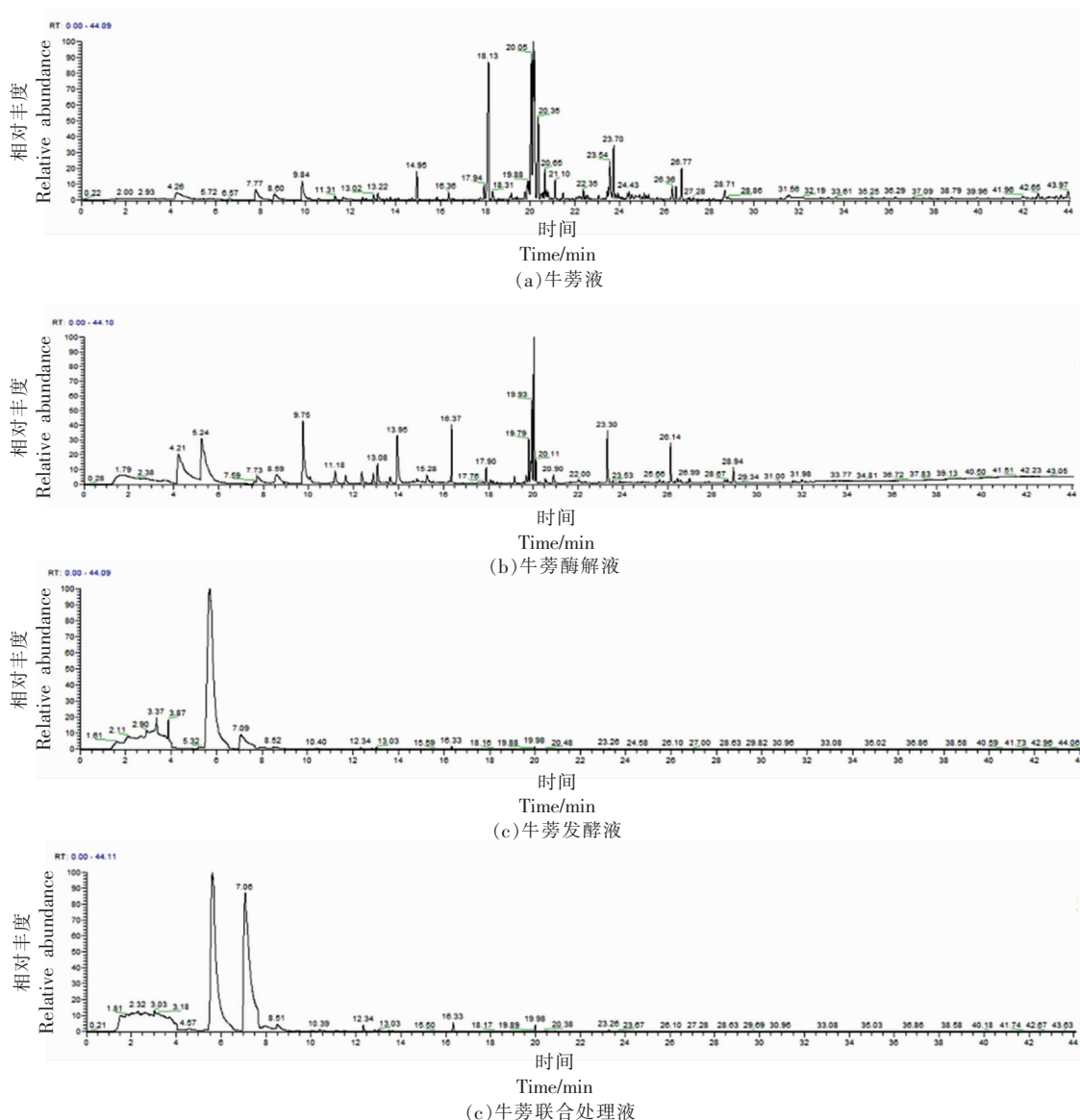


图 8 牛蒡挥发性化合物离子色谱图

Fig.8 Ion chromatography of volatile compounds of burdock

A-姜黄烯为主要组分,可占萜烯类化合物总含量的55.75%。酶解过程中,萜烯类化合物在高温下发生异构化,含量有所下降^[27]。发酵处理有利于去除萜烯类化合物,提供更良好的风味。

牛蒡液中的杂环化合物多为吡嗪类化合物,这类化合物是氨基酸、蛋白质、肽等含氧杂环化合物与羰基化合物在一定温度下经美拉德反应形成的^[27],阈值较低。据报道,当吡嗪含量较低时呈坚果味等优良风味,而含量过高则可能会呈现“霉味、泥土味”等不良风味^[28]。牛蒡液经酶解后杂环化合物的相对含量升高,发酵后降低。

醇类化合物相对含量在酶解后有所降低(1.75%),但在发酵后显示出明显的增加(80.07%),这是因为氨基酸在发酵过程中发生脱氨、脱羧反应,并降解成各种醇类^[29],同时,乳酸菌发酵生成醇类代谢产物。牛蒡发酵液和牛蒡联合处理液中的醇类化合物为3-甲基-1-戊醇,具有一定的微香,虽然醇类风味整体较为愉悦,但是醇类含量较多口感容易发涩^[26]。联合处理后牛蒡整体风味愉

悦,接受程度高。

酯类化合物通常由酸类化合物和醇类化合物经酯化生成,大多数酯类化合物呈花果香味^[30]。牛蒡酶解液中酯类化合物相对含量提高了3.9倍,主要包括十六酸乙酯、豆蔻酸异丙酯等8种,发酵后酯类化合物多为短链脂肪酸酯,在常温下易挥发,具有较大的风味贡献潜力。牛蒡发酵液中具有果味的乙酸乙酯的相对含量为1.91%,联合处理后牛蒡液中酯类化合物含量下降。

酮类化合物来源于醛类化合物的进一步氧化、氨基酸分解或微生物氧化,阈值较高,对风味的贡献不大^[31]。经不同方式处理的牛蒡液中酮类化合物含量均有上升,发酵处理后酮类化合物含量变化与醛类呈负相关,其主要为具有果香的丁基异丙基酮。烃类包括烷烃、烯烃、炔烃等,阈值一般较高,对风味的贡献较小。酸类化合物主要来源于乳酸菌的发酵,总体含量不高,适量的酸类化合物可以掩盖牛蒡异味,有助于样品的呈香。

表4 不同方式处理的牛蒡中挥发性风味化合物相对含量

Table 4 Changes of volatile flavor substances in burdock after enzymatic hydrolysis and fermentation

序号	挥发性化合物	分子式	相对含量/%			
			牛蒡液 (A)	牛蒡酶 解液(B)	牛蒡发 酵液(C)	牛蒡联 合处理 液(D)
醇类						
1	1-己醇	C ₆ H ₁₄ O	0.23	—	0.11	—
2	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	0.44	—	—	—
3	异番薄荷醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.11	—	—	—
4	13-十七炔-1-醇	C ₁₇ H ₃₂ O	0.18	—	—	—
5	3-异丙基-6,7-三环二甲基[4.4.0.0(2,8)]癸烷-9,10-二醇	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	0.31	—	—	—
6	1,7-二甲基-4 α -异丙烯基-双环[4.4.0]十二-6-烯基-9 β -醇	C ₁₇ H ₂₆ O ₂	2.78	—	—	—
7	乙醇	C ₂ H ₆ O	—	—	2.27	0.5
8	3-甲氧基-1,2-丙烷二醇	C ₄ H ₁₀ O ₃	—	—	0.11	—
9	1,2,4-丁三醇	C ₄ H ₁₀ O ₃	—	—	2.37	1.27
10	3-甲基-1-戊醇	C ₆ H ₁₄ O	—	—	74.49	42
11	4-甲基-1-戊醇	C ₆ H ₁₄ O	—	—	0.42	—
12	2-壬烯-1-醇	C ₉ H ₁₈ O	—	—	0.3	—
13	2-硝基乙醇	C ₂ H ₅ NO ₃	—	—	—	2.88
14	(S)-3,4-二甲基戊醇	C ₇ H ₁₆ O	—	—	—	0.26
15	2-甲基-4-(2,6,6-三甲基环己烯)2-丁烯醇	C ₁₄ H ₂₄ O	—	0.09	—	—
16	亚甲基-6,8,8-三甲基-三环[5.2.2.0(1,6)]十一碳-3-醇	C ₁₅ H ₂₄ O	—	0.67	—	—

(续表4)

序号	挥发性化合物	分子式	相对含量/%			
			牛蒡液 (A)	牛蒡酶 解液(B)	牛蒡发 酵液(C)	牛蒡联 合处理 液(D)
17	6-[7-硝基苯并呋喃-4-氨基-吗啡喃-4,5-环氧-3,6-二元醇	C ₂₆ H ₂₇ N ₅ O ₆	—	0.15	—	—
18	2-(十八氧基)乙醇	C ₂₀ H ₄₂ O ₂	—	0.13	—	—
19	1-三十七烷醇	C ₃₇ H ₇₆ O	—	0.45	—	—
20	1,7-二甲基-4 α -异丙烯-二环[4.4.0]6-癸烯-9 β -醇	C ₁₇ H ₂₆ O ₂	—	0.23	—	—
21	1,1a,2,3,4,4a,5,6,7,10,11,11a-dodecahydro-1,1,3,6,9五甲基-1,2,4,7,10,7aH-环戊二烯并[a]环丙[f]cycloundecene-2,4,7,7a,10,11-肌醇 醛类	C ₃₀ H ₄₄ O ₁₁	—	0.03	—	—
22	正己醛	C ₆ H ₁₂ O	1.54	8.31	—	—
23	(E,E)-2,4-己二烯醛	C ₆ H ₈ O	0.11	—	—	—
24	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	1.61	1.51	—	—
25	(E,E)-2,4-庚二烯醛	C ₇ H ₁₀ O	0.12	0.26	—	—
26	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	2.27	9.22	—	—
27	反-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	0.10	—	—	—
28	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	0.43	1.41	—	—
29	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.21	0.71	—	—
30	反,反-2,4-壬二烯醛	C ₉ H ₁₄ O	0.12	—	—	—
31	反,反-2,4-癸二烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.23	—	—	—
32	(E,E)-2,4-十二碳二烯醛	C ₁₂ H ₂₀ O	0.54	0.33	—	—
33	反-2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	—	8.66	0.4	0.13
34	3-甲基-1-戊醛	C ₆ H ₁₂ O	—	0.01	—	—
35	2-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	—	0.31	—	—
36	(Z)-2-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	—	0.16	—	—
37	2,4-二甲基苯甲醛	C ₉ H ₁₀ O	—	5.98	—	—
38	4-丙基苯甲醛	C ₁₀ H ₁₂ O	—	1.04	—	—
39	2-[4-甲基-6-(2,6,6-三甲基环己-1-烯基)环己-1,3,5-三己烯基]环己-1-烯-1-甲醛 烯烃类	C ₂₃ H ₃₂ O	—	0.14	—	—
40	1,2-环氧基-5-环癸烯	C ₁₀ H ₁₆ O	1.76	—	—	—
41	反式-4,5-环氧-2(E)-癸烯	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	0.13	—	—	—
42	10-二十一(碳)烯	C ₂₁ H ₄₂	10.47	—	—	—
43	双环[10.1.0]十三-1-烯	C ₁₃ H ₂₂	1.57	—	—	—
44	(Z,Z,Z)-十七-1,8,11,14-四烯	C ₁₇ H ₂₈	3.83	—	—	—
45	二氧化乙烯基环己烯	C ₈ H ₁₂ O ₂	—	0.22	—	—
46	Z,Z,Z-4,6,9-十九碳三烯 萜烯类	C ₁₉ H ₃₄	—	0.25	—	—
47	β -榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	0.94	1.19	—	—
48	A-姜黄烯	C ₁₅ H ₂₂	11.04	2.65	—	—
49	莎草烯	C ₁₅ H ₂₄	0.75	0.25	—	—
50	(-)-异喇叭烯	C ₁₅ H ₂₄	0.13	—	—	—
51	β -愈创木烯	C ₁₅ H ₂₄	0.17	0.08	—	—
52	β -金合欢烯	C ₁₅ H ₂₄	0.17	—	—	—
53	(4S,4aR,6R)-4,4a-二甲基-6-异丙烯-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢化萜	C ₁₅ H ₂₄	—	0.17	—	—
54	4a,8-二甲基-2-异丙烯-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢化萜	C ₁₅ H ₂₄	—	0.61	—	—

(续表 4)

序号	挥发性化合物	分子式	相对含量/%			
			牛蒡液 (A)	牛蒡酶 解液(B)	牛蒡发 酵液(C)	牛蒡联 合处理 液(D)
55	亚甲基-6,8,8-三甲基-三环[5.2.2.0(1,6)]十一碳-3-醇	C ₁₅ H ₂₄ O	—	0.67	—	—
56	(4R,4aS,6S)-4,4a-二甲基-6-(丙-1-烯-2-基)-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢化萘	C ₁₅ H ₂₄	0.57	—	—	—
57	4a,8-二甲基-2-(丙-1-烯-2-基)-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢化萘	C ₁₅ H ₂₄	1.73	—	—	—
58	B-瑟林烯	C ₁₅ H ₂₄	11.60	6.28	—	—
59	甲位瑟琳烯	C ₁₅ H ₂₄	5.16	1.57	—	—
60	(R)-1-甲基-1-4-(6-甲基-5-庚烯-2-基)环己烷,1,4-二烯	C ₁₅ H ₂₄	0.50	—	—	—
61	q-橄榄烯	C ₁₅ H ₂₄	0.46	—	—	—
62	衣兰烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.13	—	—
63	(1R,3aR,5aR,9aS)-1,4,4,7-四甲基-1,2,3,3a,4,5a,8,9-八氢环戊烷[c]苯并呋喃	C ₁₅ H ₂₄ O	1.13	0.55	—	—
64	II-葎草烯醇	C ₁₅ H ₂₄ O	0.37	—	—	—
65	1-氧化双环外雪松烯	C ₁₅ H ₂₄ O	0.39	—	—	—
66	香橙烯氧化物	C ₁₅ H ₂₄ O	0.48	—	—	—
67	异香橙烯环氧化物	C ₁₅ H ₂₄ O	0.87	0.16	—	—
68	斯巴醇	C ₁₅ H ₂₄ O	3.00	—	—	—
69	桉油烯醇	C ₁₅ H ₂₄ O	0.33	—	—	—
70	马兜铃烯环氧化物	C ₁₅ H ₂₄ O	0.39	—	—	—
71	反-Z-α-环氧化红没药烯酮类	C ₁₅ H ₂₄ O	0.43	—	—	—
72	丁基异丙基酮	C ₈ H ₁₆ O	—	—	4.71	35.86
73	2,5-二甲基-3-己酮	C ₈ H ₁₆ O	—	—	0.65	1.93
74	异佛尔酮	C ₉ H ₁₄ O	—	1.04	—	—
75	1b,5,5,6a-四甲基-八氢-1-乙二酸-环丙二氢-6-酮	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	—	0.45	—	—
76	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮	C ₁₃ H ₂₂ O	—	0.63	—	—
77	6β-氢氧基-甲萘酮	C ₂₀ H ₂₇ ClO ₃	—	0.02	—	—
78	氟羟甲基萘九酮	C ₂₀ H ₂₉ FO ₃	—	0.1	—	—
79	二羟基苯醌	C ₂₀ H ₂₈ O ₆	—	0.03	—	—
80	2,2-二羟基苯乙酮酯类	C ₈ H ₈ O ₃	0.16	—	—	—
81	2,5-十八碳二烯酸甲酯	C ₁₉ H ₃₀ O ₂	0.41	0.18	—	—
82	2-己基-1,1-双环丙烷-2-辛酸甲酯	C ₂₁ H ₃₈ O ₂	—	0.18	—	—
83	2-辛基环丙烷十二碳酸甲酯	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	—	0.2	—	—
84	4,7,10,13-十六碳四烯酸甲酯	C ₁₇ H ₂₆ O ₂	—	0.07	—	—
85	邻苯二甲酸正丁异辛酯	C ₂₀ H ₃₀ O ₄	—	0.7	—	—
86	四氟苯菊酯	C ₁₅ H ₁₂ Cl ₂ F ₄ O ₂	—	0.11	—	—
87	十六酸乙酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	—	1.24	—	—
88	豆蔻酸异丙酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	—	2.84	—	—
89	反式醋酸戊烯酯	C ₁₇ H ₂₆ O ₂	0.71	—	—	—
90	乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂	—	—	1.91	—
91	乙酸甲酯	C ₃ H ₄ O ₃	—	—	—	0.62
92	水杨酸甲酯	C ₈ H ₈ O ₃	—	—	—	0.12
93	戊酸异丁酯	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	—	—	—	0.1

(续表 4)

序号	挥发性化合物	分子式	相对含量/%			牛蒡联合处理液(D)
			牛蒡液(A)	牛蒡酶解液(B)	牛蒡发酵液(C)	
杂环化合物						
94	2-异丁基-3-甲氧基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂ O	—	—	0.28	—
95	2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂ O	0.45	0.97	—	0.21
96	2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂ O	0.64	—	—	0.25
97	2-甲氧基-3-(2-甲基丙基)吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂ O	—	1.9	—	—
98	1-甲酰-3-乙基-6-β-d-核呋喃糖基-吡唑[4,5-b]咪唑	C ₁₂ H ₁₆ N ₄ O ₅	—	3.93	—	—
胺类化合物						
99	异丙醇胺	C ₃ H ₉ NO	—	—	—	0.67
100	2-丙氧基乙胺	C ₅ H ₁₃ NO	—	—	—	0.19
101	N-甲硫基甲酰胺	C ₂ H ₅ NS	—	—	—	0.65
102	青霉胺	C ₅ H ₁₁ NO ₂ S	—	—	—	0.77
103	L-青霉胺	C ₅ H ₁₁ NO ₂ S	—	—	—	1.02
烷烃类						
104	1,2-环氧环辛烷	C ₈ H ₁₄ O	0.90	—	—	—
105	1-(1,5-二甲基-4-己烯)-4-亚甲基双环[3.1.0]己烷	C ₁₅ H ₂₄	0.63	—	—	—
106	2-氯-2-硝基丙烷	C ₃ H ₆ ClNO ₂	—	—	2.92	—
107	(2-甲基丁基)环氧乙烷	C ₇ H ₁₄ O	—	—	—	0.35
108	1,9-二氯壬烷	C ₉ H ₁₈ Cl ₂	—	0.37	—	—
109	3-乙基-5-(2-乙基丁基)-十八烷	C ₂₆ H ₅₄	—	0.26	—	—
酸类						
110	2-氨基-咪唑-5-羧酸	C ₄ H ₅ N ₃ O ₂	0.20	—	—	—
111	n-十六酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1.11	—	—	—
112	甘氨酸	C ₂ H ₅ NO ₂	—	—	0.73	0.29
113	甘油酸	C ₃ H ₆ O ₄	—	—	3.62	0.37
114	环丙乙酸	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	—	—	—	0.12
115	苯甲酸	C ₁₅ H ₁₃ BO ₄	—	—	—	0.13
116	叶酸	C ₁₉ H ₁₉ N ₇ O ₆	—	0.01	—	—
117	4-环丙基十三碳酸	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	—	0.19	—	—
118	顺式-8,11,14-二十碳三烯酸	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	—	0.2	—	—
119	间苯二磺酸	C ₁₅ H ₂₆ O	—	0.07	—	—
120	花生五烯酸	C ₂₀ H ₃₀ O ₂	—	0.02	—	—
121	2,4,6-癸三烯酸	C ₃₀ H ₄₀ O ₆	—	0.22	—	—
122	2-环丙烷丁酸	C ₂₅ H ₄₂ O ₂	—	0.2	—	—

注:—表示未检出。

2.3.3 聚类热图分析 聚类热图分析可更直观地反映出经不同方式处理的牛蒡液中挥发性化合物的组成含量及整体差异性。如图 9 所示,聚类热图中红色表示挥发性化合物的相对含量高,蓝色表示相对含量低。122 种化合物可聚为 4 大类,差异显著性从高到低依次为: I 类>II 类>III 类>IV 类, I、II 类主要集中于醇类、胺类化合物,还包括甘油酸、丁基异丙基酮及乙酸乙酯等。牛蒡液与牛蒡酶解液首先在最小距离水平聚类,经发酵处理的两种牛蒡液也发生聚类,表明牛蒡液与牛蒡酶解

液、牛蒡发酵液与牛蒡联合处理液的组成与相对含量相似,且发酵处理对风味的改善作用强于酶解处理。

2.3.4 主成分分析 作为一种无监督统计模型,主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)是一种利用主成分进行数据重构和降维的方法,将较多数据降维成几个少数综合指标,从而全面的解释数据。由图 10 可以看出主成分 1 和主成分 2 的累计贡献率为 87.4%,能较好地解释原始变量信息^[32]。4 种牛蒡液分布在不同区域且互不重叠,

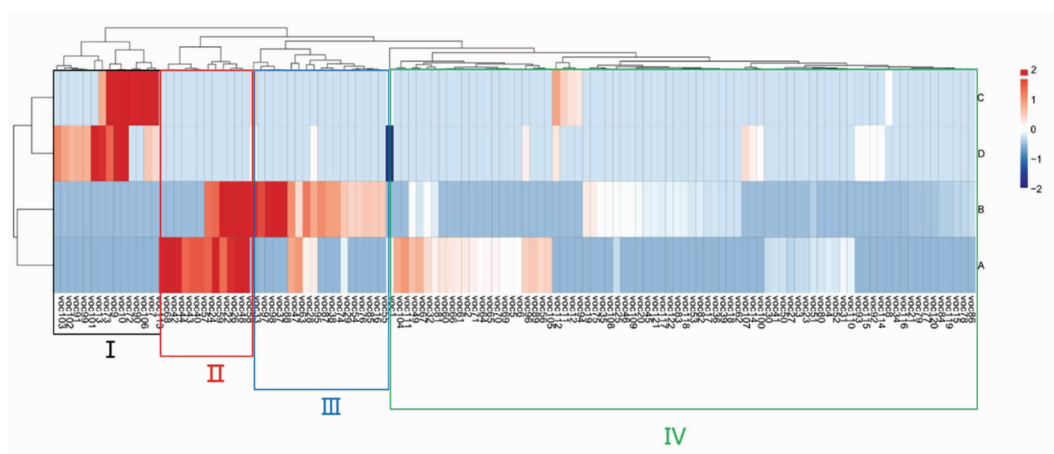


图9 不同方式处理的牛蒡中挥发性物质聚类热图

Fig.9 Heat map of variation of volatile flavor substances in burdock under different treatments

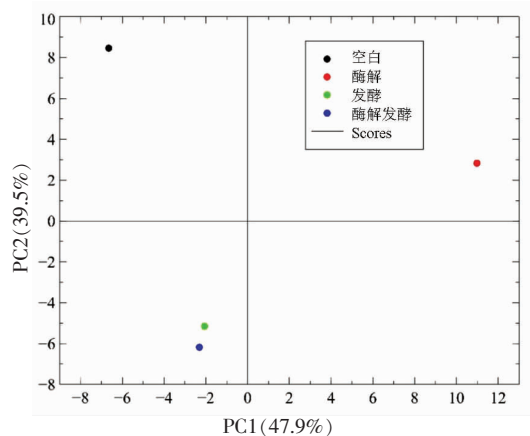


图10 不同方式处理的牛蒡中挥发性物质主成分分析

Fig.10 Principal component analysis of volatile compounds in burdock under different treatments

说明酶解、发酵处理对牛蒡风味起到显著改善作用。

3 结论

本研究用酶解和发酵联合处理新鲜牛蒡,以期改善牛蒡不良风味。以多糖含量和风味评分为综合指标,确定纤维素酶添加量4%,料液比1:6,温度55℃,酶解时间1.5h,超声功率200W为最佳酶解条件,此时多糖含量可达2.86 mg/mL,风味评分为7.2。采用GC-MS对牛蒡液中挥发性物质进行分析,共鉴定出10大类122种化合物,牛蒡中的不良风味主要由醛类及萜烯类化合物引起,经过酶解发酵可以消除并生成具有愉悦风味的酮

类和醇类。主成分分析和聚类分析表明经不同方式处理的牛蒡液中风味成分存在明显差异,酶解与发酵联合处理可使牛蒡风味得到改善。

参 考 文 献

- [1] 苏新民. 牛蒡[J]. 湖南中医杂志, 2017, 33(6): 49.
SU X M. Burdock[J]. Hunan Journal of Traditional Chinese Medicine, 2017, 33(6): 49.
- [2] 尤文雅, 张亚昆, 赵逍遥, 等. 中药牛蒡子主要活性成分微生物转化研究进展[J]. 药学进展, 2020, 44(2): 112-118.
YOU W Y, ZHANG Y K, ZHAO X Y, et al. Advances in microbial transformation of main active ingredients of *Arctium arctium lappa* L.[J]. Advances in Pharmacy, 2020, 44(2): 112-118.
- [3] 陆秋含, 郝乘仪. 牛蒡多糖提取及生物活性研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2022, 43(3): 206-208.
LU Q H, HAO C Y. Research progress on extraction and bioactivity of polysaccharide from *Arctium lappa* L.[J]. Journal of Jilin University of Medicine, 2022, 43(3): 206-208.
- [4] 张晓晓, 柴智, 冯进, 等. 牛蒡多糖的提取及生物活性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(6): 280-288.
ZHANG X X, CHAI Z, FENG J, et al. Research progress on extraction and bioactivity of polysaccharide from *Arctium lappa* L.[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(6): 280-288.
- [5] GRANDY J D. Burdock blood bitters [J]. Can Med

- Assoc J, 1937, 37(1): 86.
- [6] 成明月, 冯哲, 邹熙, 等. 枣芽牛蒡复合茶饮料的研制[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(15): 160-162, 167.
CHENG M Y, FENG Z, ZOU X. Development of Burdock compound tea beverage with jujube sprout [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2021, 27(15): 160-162, 167.
- [7] 张艳明, 胡传银. 青汁牛蒡植物饮料的研制[J]. 饮料工业, 2022, 25(1): 51-54.
ZHANG Y M, HU C Y. Development of burdock plant beverage with green juice[J]. Beverage Industry, 2022, 25(1): 51-54.
- [8] 芮怀瑾, 刘郁, 白云, 等. 玉米须牛蒡复合饮料的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(21): 129-136.
RUI H J, LIU Y, BAI Y, et al. Study on the process of burdock compound beverage with corn beard[J]. Food Research and Development, 2020, 41(21): 129-136.
- [9] HU Y, ZHANG L, WEN R, et al. Role of lactic acid bacteria in flavor development in traditional Chinese fermented foods: A review[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2022, 62(10): 2741-2755.
- [10] 石媛媛, 胡萍, 张珺, 等. 乳酸菌强化发酵对刺梨果醋风味品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(2): 22-30.
SHI Y Y, HU P, ZHANG J, et al. Effect of enhanced fermentation by lactic acid bacteria on flavor quality of Roxburgh fruit vinegar[J]. Food and Fermentation Technology, 2022, 58(2): 22-30.
- [11] 周超. 茶褐牛肝菌中风味成分的分析与分离研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2017: 52-57.
ZHOU C. Study on analysis and separation of flavor components from Porcini in tea brown[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2017: 52-57.
- [12] 王文洁, 唐炜, 俞玲娜, 等. 蒽酮-硫酸法与苯酚-硫酸法测定凉粉草多糖的比较[J]. 食品科技, 2017, 42(9): 274-279.
WANG W J, TANG W, YU L N, et al. Comparison of anthrone-sulfuric acid method and phenol-sulfuric acid method for the determination of polysaccharide from *Vermicaria chinense*[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(9): 274-279.
- [13] WANG J, HANG Y, YAN T, et al. Qualitative analysis of flavors and fragrances added to tea by using GC-MS[J]. Journal of Separation Science, 2018, 41(3): 648-656.
- [14] 董宇, 林翰清, 缪松, 等. 酶法提取多糖的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 351-358.
DONG Y, LIN H Q, MIAO S, et al. Research progress of enzymatic extraction of polysaccharides [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 351-358.
- [15] 胡芳, 董旭, 史长伟, 等. 超声波对纤维素酶活性影响的研究进展[J]. 纤维素科学与技术, 2021, 29(1): 51-58.
HU F, DONG X, SHI C W, et al. Research progress of the effect of ultrasonic wave on cellulase activity[J]. Cellulose Science and Technology, 2021, 29(1): 51-58.
- [16] 李玉娥, 马玲, 陈振家. 超声辅助常温水浴提取长山药多糖的工艺研究[J]. 农产品加工, 2021(22): 32-34, 45.
LI Y E, MA L, CHEN Z J. Study on ultrasonic assisted extraction technology of polysaccharides from *Rhizoma sinicata* by room temperature water bath [J]. Agricultural Products Processing, 2021(22): 32-34, 45.
- [17] 赵阳, 刘娜, 王园, 等. 蒲公英多糖酶解辅助提取工艺优化及其单糖组成分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 199-206.
ZHAO Y, LIU N, WANG Y, et al. Optimization of enzymolysis assisted extraction of polysaccharides from dandelion and analysis of monosaccharide composition[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 199-206.
- [18] 周晓红, 陈洁冰, 罗智, 等. 纤维素酶辅助提取茶多糖的工艺研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2022, 31(1): 67-71.
ZHOU X H, CHEN J B, LUO Z, et al. Study on extraction technology of tea polysaccharide assisted by cellulase[J]. Journal of Hunan City University (Natural Science Edition), 2022, 31(1): 67-71.
- [19] 于中玉, 黄佳琪, 宇鹏. 响应曲面法优化超声波辅助提取螺旋藻硒多糖工艺[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(11): 107-112.
YU Z Y, HUANG J Q, YU P. Optimization of ultrasound-assisted extraction of selenium polysaccharide from *Spirulina* by response surface method[J]. China Food Additives, 2021, 32(11): 107-112.

- [20] 尹含靓, 肖何, 邓高文, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析风味鱼仔加工过程中风味物质的变化[J]. 中国调味品, 2022, 47(3): 8-13.
YIN H L, XIAO H, DENG G W, et al. Analysis of changes of flavor Substances during processing of flavored fish larvae based on HS-SPME-GC-MS[J]. China Condiments, 2022, 47(3): 8-13.
- [21] 王毅, 徐艳群, 徐坤, 等. HS-SPME-GC-MS 技术分析不同加工阶段的甲鱼腥味成分变化[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(12): 189-193.
WNAG Y, XU Y Q, XU K, et al. HS-SPME-GC-MS technique for analysis of the composition of turtle odor in different processing stages[J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(12): 189-193.
- [22] 冉云, 张思嘉, 陈蓉, 等. 海水暂养过程中缢蛭挥发性成分变化[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 206-213.
RAN Y, ZHANG S J, CHEN R, et al. Changes of volatile components of *Sinonovacula constricta* during temporary cultivation of seawater[J]. Food Science, 2019, 40(10): 206-213.
- [23] 吉艳莉, 李瑞英, 郭萌, 等. 不同发酵菌种及发酵时间对蛋酪风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(2): 214-221.
JI Y L, LI R Y, GUO M, et al. Effects of different fermentation strains and fermentation time on flavor components of egg cheese[J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(2): 214-221.
- [24] RAFFAELLA D C, ROSSANA C, MARIA D A, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation[J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 1-10.
- [25] 林恒宗, 梁志源, 秦小明, 等. 基于 GC-MS 鉴别活体太平洋牡蛎不同流通阶段气味特征变化[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 279-287.
LIN H Z, LIANG Z Y, QIN X M, et al. Identification of odor characteristics of living Pacific oysters at different circulation stages based on GC-MS[J]. Food Science, 2023, 44(2): 279-287.
- [26] 车富红, 冯声宝, 李善文, 等. 不同青稞品种与高粱中结合态风味成分和萜烯类物质的对比研究[J]. 酿酒科技, 2019(12): 119-125, 129.
CHE F H, FENG S B, LI S W, et al. Comparative study on binding flavor components and terpenes in different highland barley varieties and sorghum[J]. Wine Science and Technology, 2019(12): 119-125, 129.
- [27] 王芙蓉, 范家琪, 沈海亮, 等. 葵花籽油中吡嗪类风味化合物形成机理的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 330-335, 344.
WNAG F R, FAN J Q, SHEN H L, et al. Research progress on the formation mechanism of pyrazine flavor compounds in sunflower oil[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(2): 330-335, 344.
- [28] CERNY C. The aroma side of the Maillard reaction[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2008, 1126: 66-71.
- [29] 刘超, 毕玉平, 马德源, 等. 乳酸菌与酵母菌共发酵芦笋汁工艺优化及其风味成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(9): 128-134.
LIU C, BI Y P, MA D Y, et al. Process optimization and flavor composition analysis of asparagus juice co-fermented by lactic acid bacteria and yeast [J/OL]. Food and Fermentation Industry: 2023, 49(9): 128-134.
- [30] MARTÍ M P, MESTRES, M SALA C, et al. Solid-phase microextraction and gas chromatography olfactometry analysis of successively diluted samples. A new approach of the aroma extract dilution analysis applied to the characterization of wine aroma[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(27): 7861-7865.
- [31] 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 F, ZHAO Y S, WANG H L, et al. Changes of flavor components and principal component analysis of ginkgo fruit before and after enzymatic hydrolysis fermentation[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 251-265.
- [32] 王振东, 王彦清, 周瑞铮, 等. 基于主成分分析法的羊肉特征性风味强度评价模型的构建[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 162-168.
WANG Z D, WANG Y Q, ZHOU R Z, et al. Construction of mutton characteristic flavor intensity evaluation model based on principal component analysis[J]. Food Science, 2017, 38(22): 162-168.

Effect of Combined Treatment of Enzymolysis and Fermentation on the Flavor of Burdock Root

Ma Kaidi^{1,2}, Xu Lujing², Li Ying^{1,2*}, Liu Yuanfa³, Cui Li², Ma Kaiyang², Zhao Xuan², Song Xinxin^{1,2}

(¹School of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095

²Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014

³White Horse Future Food Research Institute, Lishui 211225, Jiangsu)

Abstract In this study, the fresh burdock root was treated with enzymolysis and fermentation, so as to improve the unpleasant flavor of burdock root through lactic acid bacteria fermentation on the basis of adequate dissolution of active polysaccharides. Taking polysaccharides content and flavor scores as indicators, the optimal enzymolysis conditions were determined by orthogonal experiment as follows: cellulase addition 4%, solid-liquid ratio 1:6, temperature 55 °C, enzymolysis time 1.5 h, ultrasonic power 200 W. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis showed that aldehydes and terpene compounds, such as phenylacetaldehyde, B-serinene, A-curcumene, are the main sources of bad flavor of burdock, which can be converted into pleasant flavor ketones and alcohols during enzymatic hydrolysis and fermentation. The results of principal component analysis and cluster analysis showed that the volatile flavor substances phenacetaldehyde, B-serinene and A-curcumene in the liquid of burdock treated by different methods were significantly different. The combined treatment of enzymatic hydrolysis and fermentation could effectively improve the bad flavor of burdock root.

Keywords burdock root; enzymolysis; fermentation; combined treatment; flavor