



刘莹莹,范莹莹,石佳宁,等. 香辛料对莲藕泡菜挥发性风味成分和理化性质的影响[J]. 轻工学报,2021,36(5):34-41.

LIU Y Y, FAN Y Y, SHI J N, et al. Effects of spices on the volatile flavor components and physical and chemical properties of lotus root kimchi[J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(5):34-41.

DOI:10.12187/2021.05.005

中图分类号:TS213.2;O657.63 文献标识码:A 文章编号:2096-1553(2021)05-0034-08

香辛料对莲藕泡菜挥发性风味成分和理化性质的影响

Effects of spices on the volatile flavor components and physical and chemical properties of lotus root kimchi

刘莹莹, 范莹莹, 石佳宁, 王轩轩, 李瑜

LIU Yingying, FAN Yingying, SHI Jianing, WANG Xuanxuan, LI Yu

河南农业大学 食品科学技术学院, 河南 郑州 450002

School of Food Science and Technology, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

关键词:

气相色谱-质谱联用;
顶空固相微萃取;
莲藕泡菜; 挥发性风味成分

Key words:

gas chromatography-mass spectrometry; headspace solid phase microextraction; lotus root kimchi; volatile flavor component

摘要:以添加不同香辛料的莲藕泡菜为研究对象,采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用(HS-SPME/GC-MS)技术研究其挥发性风味成分,并检测其硬度、色度等理化性质.结果表明:空白对照组共检测出45种挥发性风味成分,主要为醇类、酯类和烷烃类;添加丁香组共检测出65种挥发性风味成分,主要为酯类、烯炔类、醇类和酚类;添加八角组共检测出55种挥发性风味成分,主要为醚类、烯炔类和酯类;添加生姜组共检测出60种挥发性风味成分,主要为醇类、烯炔类和酯类;添加3种香辛料组共检测出72种挥发性风味成分,主要为烯炔类、酯类、醚类和醇类;相较于空白对照组,添加3种香辛料的莲藕泡菜中烯炔类和醚类的种类和相对百分含量均有明显增加,且莲藕泡菜的硬度、色度L*值均增加,盐度降低(保持在1.371%左右),能较好地保持硬度,延缓褐变,且符合低盐泡菜的健康需求.

收稿日期:2021-05-20

基金项目:国家自然科学基金项目(31972135)

作者简介:刘莹莹(1998—),女,河南省周口市人,河南农业大学硕士研究生,主要研究方向为果蔬贮藏与加工.

通信作者:李瑜(1976—),女,河南省商丘市人,河南农业大学副教授,博士,主要研究方向为果蔬贮藏保鲜与深加工.

Abstract: Taking lotus root kimchi with different spices as the research object, the headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME/GC-MS) technology was used to study the volatile flavor components, and tested the physical and chemical properties such as hardness and chromaticity. The results showed that 45 kinds of volatile flavor components had been detected in the blank control group, and the main flavor compounds were alcohols, esters; 65 kinds of volatile flavor components had been detected in the lotus root kimchi sample with clove, the main flavor components were esters, alkenes, alcohols; 55 kinds of volatile flavor components were detected in the lotus root kimchi samples with star anise, and the main flavor components were ethers, olefins and esters; 60 kinds of volatile flavor components were detected in the lotus root kimchi sample with ginger, and the main flavor components were alcohols, olefins and esters; 72 kinds of volatile flavor components were detected in lotus root kimchi samples with three spices, and the main flavor components were olefins, esters, ethers and alcohols; compared with the blank control group, the types and relative percentages of olefins and ether compounds had increased significantly. In addition, the hardness and L^* value of lotus root kimchi with three spices increased, and the salinity decreased (maintained at about 1.371%), which could better maintain the hardness, delay browning, and meet the requirements of low-salt kimchi.

0 引言

莲藕又名英渠、玉藕、白茎、玉笋等^[1],属睡莲科,其根状茎颜色亮白、清甜爽脆,是我国重要的水生蔬菜之一^[2]。莲藕泡菜是在以乳酸菌为主的菌群作用下经厌氧发酵制成,具有鲜味独特、口感脆嫩等特点,深受消费者喜爱。目前,已有许多关于莲藕泡菜发酵过程中的主要发酵菌^[3]、最佳发酵工艺的探索^[4]、包装与贮藏过程对发酵莲藕泡菜品质影响等的研究^[3],但工业化生产仍沿用传统的发酵工艺,未将现代生物制剂应用于果蔬发酵并形成一定规模,且各企业的发酵工艺都有自己的“独门秘方”,导致生产出的莲藕泡菜风味存在差异且难以统一标准^[5]。香辛料具有调和滋味、增进食欲、延长食品保质期等功效,是日常烹调中不可或缺的部分^[6]。徐清萍等^[7]研究发现,丁香、八角、生姜等香辛料不仅能赋予泡菜特殊的风味,增进食欲,还能抑制其他杂菌生长。

顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用(Headspace Solid-phase Microextraction/Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-SPME/GC-MS)技术是一种快速分析检测食品挥发性风味成分的常用方法^[8-9]。例如,付勋等^[10]利用 HS-SPME/

GC-MS 技术测定了玫瑰香橙果汁的挥发性风味成分;何培新等^[11]利用 HS-SPME/GC-MS 技术测定了浓香型白酒窖泥中可培养 *Clostridium* spp. 挥发性代谢物成分;李静等^[12]利用 HS-SPME/GC-MS 技术测定了两种大麦幼苗中挥发性物质以区别两种大麦幼苗。目前,关于香辛料对莲藕泡菜风味影响的研究暂未见报道。基于此,本文拟采用 HS-SPME/GC-MS 技术研究添加不同香辛料的莲藕泡菜的风味差异,并检测莲藕泡菜的硬度、色度等理化性质,以期为莲藕泡菜的工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要实验材料

九孔莲藕、丁香、八角、生姜、食盐、白砂糖、味精,购于家辉生鲜水果超市;柠檬酸(食品级),上海鑫泰实业有限公司产;L-抗坏血酸(食品级),石药集团维生药业(石家庄)有限公司产;氯化钙(食品级),浙江一诺生物科技有限公司产;铬酸钾(分析纯),天津市科密欧化学试剂有限公司产;硝酸银(分析纯),天津东聚隆化工技术开发有限公司产;泡菜乳酸菌发酵粉(含植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌、鼠李糖乳杆菌),北京川秀科技有限公司产。

1.2 主要仪器与设备

20 mL 顶空瓶、HH-S24 型恒温水浴锅,北京思普特科技有限公司产;SPME 手动进样器、50/30 μm DVB-CAR-PDMS 萃取头,美国 Supelco 公司产;7890A GC-5975C MSD 型气相色谱-质谱联用仪,安捷伦科技(中国)有限公司产;JJ-2 型组织捣碎机,常州亿通分析仪器制造有限公司产;DHG-9143BS-III 型电热恒温鼓风干燥箱,上海新苗医疗器械制造有限公司产;FA2004A 型电子天平,上海精天电子仪器有限公司产;TA.XA PLUS 质构仪,美国 Stable MicroSystem 公司产;CM-5 型全自动分光测色仪,南京柯立配电子科技有限公司产。

1.3 实验方法

1.3.1 莲藕泡菜的制作工艺

1) 添加丁香组. 挑选无损伤的莲藕,清洗、去皮,切分成 5 mm 左右的薄片,烫漂 60 s,冷却后于 20% (如无特殊说明,百分数均指质量分数) 盐水中预盐渍 30 min;冲洗盐水后,将莲藕薄片置于配制好的发酵液中(以 100 mL 水为基准,加入 3% 食盐、7.5% 白砂糖、0.2% 味精、0.7% 柠檬酸、0.3% L-抗坏血酸、0.1% 氯化钙;以 100 g 莲藕为基准,加入 0.05% 泡菜乳酸菌发酵粉,莲藕与水总重 0.05% 的山梨酸钾),并加入 0.04% 丁香辅料,于室温条件下发酵 7 d;真空包装后,于 700 W 条件下微波灭菌 4 min,即得添加丁香的莲藕泡菜成品。

2) 添加八角组. 样品制作过程同上,在发酵液中添加 0.1% 八角辅料进行莲藕泡菜发酵。

3) 添加生姜组. 样品制作过程同上,在发酵液中添加 0.9% 生姜辅料进行莲藕泡菜发酵。

4) 添加 3 种香辛料组. 样品制作同上,在发酵液中添加 0.04% 丁香辅料、0.1% 八角辅料、0.9% 生姜辅料进行莲藕泡菜发酵。

5) 空白对照组. 样品制作过程同上,不添加任何香辛料。

1.3.2 取样方法

从泡菜发酵瓶的上、中、下三部分分别取样 30 g 后,与 30 mL 蒸馏水混合,置于破碎机中充分粉碎为泡菜浆,再对泡菜浆样品进行各指标测定。

1.3.3 HS-SPME/GC-MS 技术测定

HS-SPME 方法:取 10 g 泡菜浆置于 20 mL 顶空瓶中,密封后置于 40 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅中平衡 0.5 h;将萃取头插入顶空瓶中,并将萃取头中的纤维伸出,吸附萃取 40 min;萃取完成后,将萃取头中的纤维缩回并拔出,再将萃取头插入 GC 进样口,解析 5 min,并老化萃取头 20 min。

GC 条件:DB-5 毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.5 μm);载气为 He;柱流速 1.0 mL/min;不分流进样;进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;升温程序为初始温度 35 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,7 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 150 $^{\circ}\text{C}$,5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min。

MS 条件:离子源温度为 250 $^{\circ}\text{C}$;接口温度为 230 $^{\circ}\text{C}$;电离方式为 EI;电子能量为 70 eV;质量扫描范围为 40~550 amu。

1.3.4 质构测定

采用质构仪测定藕片中心无空部位的质构^[3]。质构仪参数设定如下:探头为 P/6;实验模式为 TPA;测前、测中速度均为 1.0 mm/s;测后速度为 5.0 mm/s;压缩比为 30%;触发力为 0.5 N。

1.3.5 色度测定

测定藕片的 L^* 值, L^* 值反映了藕片颜色的深浅程度,100 表示白色,0 表示黑色, L^* 值下降表示褐变程度加深。

1.3.6 盐度测定

参照 GB/T 5009.54—2003^[13] 测定样品的盐度。

1.4 数据处理

每组样品均进行 3 次平行实验,结果取平均值,采用 Excel 2016 对实验数据进行分析并作图。经过 GC-MS 检测得到的图谱,通过计算机在标准谱库(NIST 08.LIB)中进行检索,保留匹配度 > 600 的结果,确定挥发性风味成分,采

用峰面积归一法计算各成分的峰面积. 本文各成分的峰面积与总峰面积之比用相对百分含量表示.

2 结果与分析

2.1 莲藕泡菜挥发性风味成分 GC-MS 分析

经 GC-MS 分析得到的莲藕泡菜总离子流色谱图如图 1 所示. 由图 1 可以看出, HS-SPME/GC-MS 技术对莲藕泡菜样品中的挥发性风味成分吸附解析效果较好, 基本能在 10~35 min 内区分样品中的挥发性风味成分, 且出峰数目较多, 峰面积也相对较大, 表明 HS-SPME/GC-MS 技术适用于莲藕泡菜挥发性风味成分的萃取和分析.

空白对照组中共检测出 45 种挥发性风味成分, 占总峰面积的 91.36%, 其中, 醇类、酯类和烷烃类占比较大, 分别为 29.55%、22.67% 和 12.31%, 累计占比 64.53%; 添加丁香组中共检测出 65 种挥发性风味成分, 占总峰面积的 96.07%, 其中, 酯类、烷烃类、醇类和酚类占比较大, 分别为 28.80%、21.06%、14.83% 和 13.45%, 累计占比 78.14%; 添加八角组中共检测出 55 种挥发性风味成分, 占总峰面积的 94.50%, 其中, 醚类、烷烃类和酯类占比较大,

分别为 43.98%、18.74% 和 10.86%, 累计占比 73.58%; 添加生姜组中共检测出 60 种挥发性风味成分, 占总峰面积的 95.83%, 其中, 醇类、烯炔类和酯类占比较大, 分别为 36.92%、25.21% 和 11.19%, 累计占比 73.32%; 同时添加 3 种香辛料组中共检测出 72 种挥发性风味成分, 占总峰面积的 96.63%, 其中, 烯炔类、酯类、醚类和醇类占比较大, 分别为 27.02%、18.68%、17.49%、15.97%, 累计占比 79.16%. 即空白对照组的挥发性风味成分种类较少, 其中醇类、酯类占比较多, 其次为烷烃类和酸类; 添加香辛料后, 莲藕泡菜烯炔类和醚类的种类及占比均有明显增加.

2.2 莲藕泡菜主要挥发性风味成分分析

添加不同香辛料的莲藕泡菜主要挥发性风味成分及相对百分含量见表 1. 由表 1 可知, 在微生物的作用下, 酯类是由醇类和酸类发生酯化反应生成, 在莲藕泡菜的挥发性风味成分中占有较重要的地位. 莲藕泡菜样品中共有的酯类主要有苯甲酸乙酯和乙酸乙酯, 其中, 苯甲酸乙酯带有轻微的水果气味^[14], 乙酸乙酯具有水果香味^[11]. 添加丁香组中相对百分含量最多的物质为乙酸丁香酚酯, 另外, 还生成了辛酸乙酯, 该物质具有酒香^[15]; 添加八角组中生成了

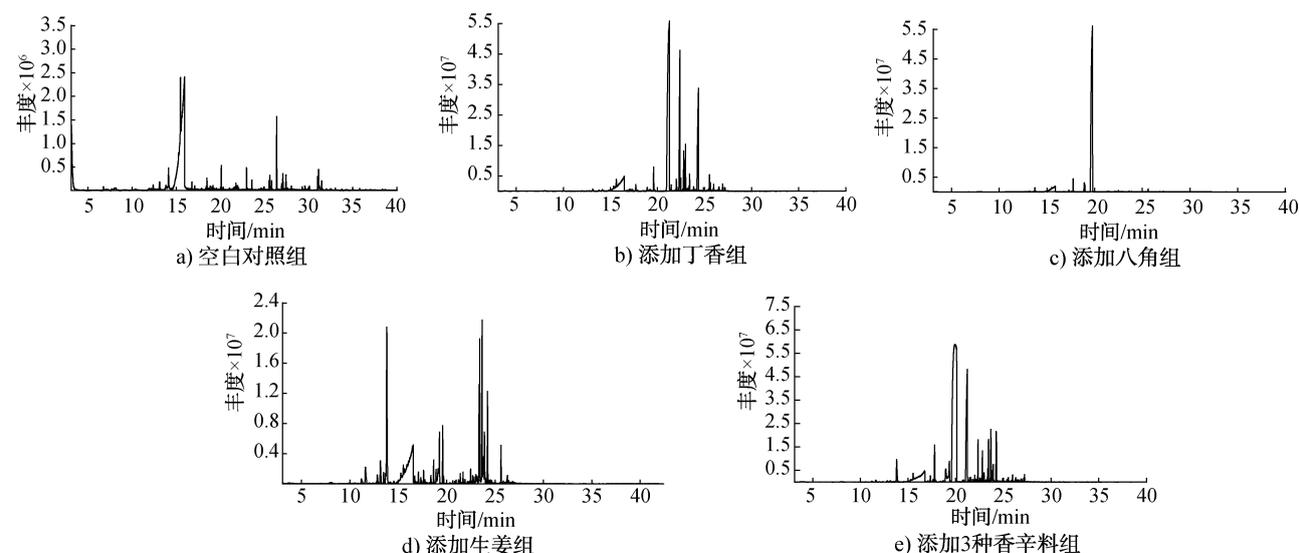


图 1 莲藕泡菜总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion flow chart of lotus root kimchi

表1 添加不同香辛料的莲藕泡菜主要挥发性风味成分及其相对百分含量

Table 1 The main volatile flavor components and their relative percentages of

lotus root kimchi with different spices

%

类别	挥发性风味成分	A	B	C	D	E
酯类	苯甲酸乙酯	18.27	4.10	0.36	0.18	6.29
	乙酸乙酯	3.26	2.49	2.09	4.68	1.93
	辛酸乙酯	0.03	2.06	—	—	—
	乙酸松油酯	—	—	6.60	—	2.46
	苯甲酸苄酯	—	—	—	0.93	0.13
	乙酸丁香酚酯	—	18.74	—	—	5.10
醇类	正己醇	8.79	1.89	2.51	2.70	4.67
	芳樟醇	—	—	—	5.33	1.00
	3-甲基-6-(1-甲基乙基)-反式-2-环己烯-1-醇	—	—	—	1.94	0.43
	香叶醇	—	—	1.05	—	0.37
醛类	2-十三烯醛	0.51	—	—	—	—
	4-甲氧基-苯甲醛	—	—	0.35	—	0.2
	3,7-二甲基-6-辛二烯醛	—	—	—	1.83	—
	香叶醛	—	0.83	—	—	0.41
酸类	己二烯酸	6.12	3.86	3.04	2.33	5.71
	乙二酸	2.63	2.16	2.86	4.74	1.05
	2,4,6-三甲苯甲酸	0.06	—	0.11	—	—
	正十六酸	0.21	—	1.17	—	—
	17-十八碳炔酸	0.29	0.03	—	—	0.16
	4-(叔丁氧基)苯甲酸	—	0.21	0.09	0.62	—
烯烃类	雪松烯	—	—	0.03	0.18	—
	α -衣兰烯	—	2.94	—	1.07	0.32
	蒎烯	—	0.37	1.83	0.24	1.15
	石竹烯	—	11.02	—	—	7.20
	D-柠檬烯	—	—	8.72	—	2.61
	(+)- α -柏木萜烯	—	1.42	0.67	—	0.51
烷烃类	5-甲基-1,2,3,4-四噁烷	0.77	—	—	—	—
	对聚伞花素	—	0.22	—	—	0.03
	5,8-二乙基十二烷	7.65	—	—	1.31	0.09
	2-乙酰氧十二烷	—	0.03	—	—	0.54
酮类	2-庚酮	1.94	0.70	0.18	—	—
	甲基庚烯酮	0.05	0.07	—	—	0.72
	长松香酮	—	0.11	—	—	—
醚类	顺式茴香醚	—	—	7.53	—	0.02
	茴香脑	—	—	36.45	—	15.31
	4-烯丙基苯甲醚	—	—	—	1.60	1.94
酚类	丁香油酚	—	4.47	—	—	0.56
	丁香酚	—	7.28	—	—	—

注:A代表空白对照组,B代表添加丁香组,C代表添加八角组,D代表添加生姜组,E代表添加3种香辛料组;—表示未检测到或者相对百分含量少于0.01%。

乙酸松油酯,该物质具有甜清新香;添加生姜组中生成了苯甲酸苄酯,该物质具有清淡的杏仁香气,微辣^[16];不添加香辛料时,酯类的种类较少,添加香辛料后,酯类的种类增加,对泡菜风味贡献较大,即添加适量的香辛料可使泡菜具有更丰富、适宜的口感^[17]。

莲藕泡菜中,醇类的相对百分含量较大,但其风味阈值也较大^[18],故对莲藕泡菜的风味影响较小。莲藕泡菜中的主要醇类物质为正己

醇,具有淡青嫩叶气息,略带酒香、果香和脂肪气息^[19]。各实验组醇类的相对百分含量差异较大,其中添加生姜组中含有较多的芳樟醇;相较于空白对照组,添加香辛料后,除添加生姜组外,其他实验组的醇类相对百分含量均有一定程度的降低,这可能是因为醇类物质与其他物质发生了反应,生成了酯类或酮类等物质。

烯烃类阈值较低,气味浓厚,在莲藕泡菜的挥发性风味成分中也有较大的贡献。添加香辛

料组中烯烴类的相对百分含量相较空白对照组均有大幅的增长,这可能是因为乳酸菌和香辛料的共同作用下,莲藕泡菜中的烷烴类转化为烯烴类,为莲藕泡菜提供了特殊的风味.当添加3种香辛料时,烯烴类的种类增加较多,且相对百分含量增加明显.其中, α -衣兰烯具有愉快的甜香味^[20],蒎烯具有树脂和松脂的香气^[21],而这些高级芳香型烯烴类可为莲藕泡菜带来独特的口感.

烷烴类具有较高的阈值,主要来自烷氧自由基的分解^[22].添加丁香发酵的莲藕泡菜样品中,丁香的添加引入了对聚伞花素,该物质具有一定的芳香气味^[23],可为莲藕泡菜带来更好的口感.

酮类大多具有清香味和果香味^[24],在微生物的作用下,可由醇类或酯类降解产生,而乳酸或其他酸类同样可以反应生成酮类^[25].相较于未添加香辛料的空白对照组,添加香辛料组中含有少量甲基庚烯酮、长松香酮等,这些物质可为泡菜带来更好的口感^[26].

醚类在添加八角组和添加生姜组中均有出现,尤其在添加八角组中,茴香脑的占比较高,该物质具有茴香特有的甜香口感^[27];在添加3种香辛料组中,茴香脑保留,但占比降低,表明其他挥发性风味成分可将其部分平衡.

2.3 莲藕泡菜在发酵过程中的理化性质变化分析

在挥发性风味成分的研究基础上,继续对添加3种香辛料组和空白对照组发酵过程中部分理化指标的动态监测结果进行分析.

2.3.1 硬度变化分析 莲藕泡菜的硬度变化如图2所示.由图2可以看出,莲藕泡菜的硬度随发酵天数的增加呈持续下降的趋势,但添加香辛料组在发酵第3d才开始出现较明显的硬度降低,空白对照组则在发酵第2d和第4d出现了两次较明显的硬度降低,且在发酵完成

时,添加香辛料组和空白对照组的硬度相差2.54 N ($P < 0.05$),表明在莲藕泡菜中添加香辛料可使产品保持较好的硬度,提升其口感.

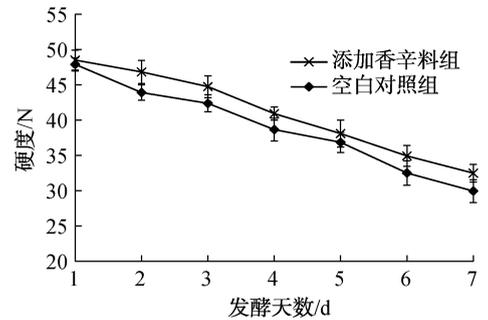


图2 莲藕泡菜的硬度变化

Fig. 2 The hardness change of lotus root kimchi

2.3.2 色度变化分析 莲藕泡菜的色度变化如图3所示.由图3可以看出,莲藕泡菜的色度 L^* 值随发酵天数的增加呈持续下降的趋势,在发酵的不同时期,添加香辛料组的色度 L^* 值均高于空白对照组,且当发酵完成时,添加香辛料组的色度 L^* 值比空白对照组高4.4 ($P < 0.01$),表明添加香辛料可起到一定的护色作用,对莲藕发酵过程中的色泽有极显著影响.这可能是因为丁香中含有具有抗氧化作用的黄酮、类黄酮物质,八角中的茴香脑、茴香醛是典型的天然植物抗氧化物质^[28],而生姜中含有的姜酮、姜醇、姜酚等均具有较好的抗氧化作用,适当地添加香辛料可有效延缓及降低泡菜类产品的褐变.

2.3.3 盐度变化分析 莲藕泡菜盐度的变化

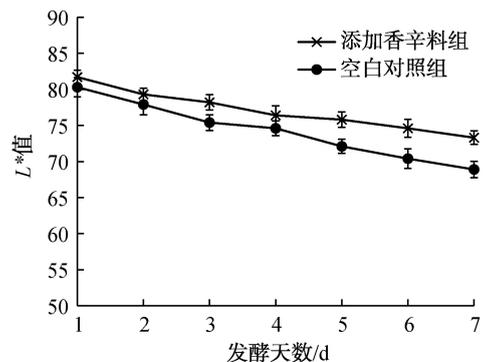


图3 莲藕泡菜的色度变化

Fig. 3 The chromaticity change of lotus root kimchi

如图4所示。由图4可以看出,莲藕泡菜的盐度随发酵天数的增加先升高后逐渐趋于稳定,这可能是因为发酵液中的盐分逐渐渗透进入藕片使藕片的盐度逐渐增加。在发酵前期,添加香辛料组和空白对照组的变化趋势基本一致,在第4d时,添加香辛料组的盐度基本开始趋于稳定,但空白对照组仍缓慢上升。香辛料对莲藕泡菜盐度有较显著影响($P < 0.05$),发酵完成后,渗透作用达到平衡,添加香辛料组盐度(保持在1.371%左右)比空白对照组低0.038%,也比现有普通泡菜(盐度约15%)低,符合人们对低盐健康食品的需求。

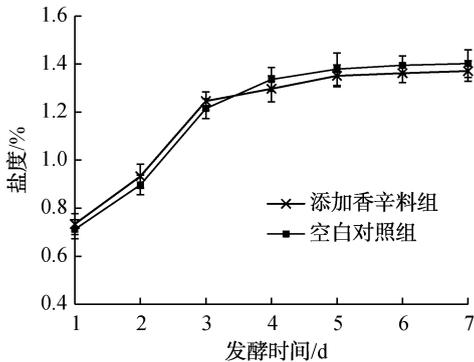


图4 莲藕泡菜盐度的变化

Fig. 4 The salinity change of lotus root kimchi

3 结论

本研究在莲藕泡菜发酵时加入丁香、八角和生姜3种香辛料,利用HS-SPME/GC-MS技术测定了莲藕泡菜中挥发性风味成分的种类和相对百分含量,并研究了莲藕泡菜的硬度、色度等理化性质。结果表明,空白对照组共检测出45种挥发性风味成分,主要为醇类、酯类和烷烃类,且相对百分含量最多的物质为苯甲酸乙酯;添加丁香组共检测出65种挥发性风味成分,主要为酯类、烯烃类、醇类和酚类,且相对百分含量最多的物质为乙酸丁香酚酯;添加八角组共检测出55种挥发性风味成分,主要为醚类、烯烃类和酯类,且相对百分含量最多的物质为茴香脑;添加生姜组共检测出60种挥发性风

味成分,主要为醇类、烯烃类和酯类,且相对百分含量最多的物质为茴香脑;添加3种香辛料组共检测出72种挥发性风味成分,主要为烯烃类、酯类、醚类和醇类,且相对百分含量最多的物质为茴香脑。相较于空白对照组,添加香辛料后的莲藕泡菜中烯烃类和醚类的种类和相对百分含量均明显增加,且添加3种香辛料的莲藕泡菜的硬度、色度 L^* 值均增加,盐度降低(保持在1.371%左右),能较好地保持硬度,有效延缓褐变,且符合人们对低盐健康食品的需求。本研究将3种香辛料加入莲藕泡菜发酵液,在乳酸菌等的作用下产生了许多新的挥发性风味成分,为莲藕泡菜提供了更好、更丰富的口感,也为工业化生产高品质的莲藕泡菜提供了理论依据和参考。

参考文献:

- [1] 王炎文. 荷文化资源旅游开发研究[D]. 南京:南京农业大学,2018.
- [2] 徐金晶,王凌云,郑寨生,等. 18份藕莲品种资源特征特性与品质研究[J]. 现代农业科技, 2015(17):115.
- [3] 赵莹. 泡菜发酵菌株筛选及莲藕泡菜的加工[D]. 扬州:扬州大学,2013.
- [4] 王毓宁,李鹏霞,胡花丽,等. 风味莲藕泡菜的加工工艺[J]. 江苏农业科学, 2013,41(11):279.
- [5] 沈菲儿. 乳酸菌发酵对莲藕泡菜质构和风味影响的研究[D]. 扬州:扬州大学,2016.
- [6] 单恬恬,代钰,徐筱莹,等. 14种香辛料提取物的多酚、黄酮含量及抗氧化活性比较研究[J]. 中国调味品, 2019,44(4):80.
- [7] 徐清萍,刘杨,胡丽亚,等. 十一种香辛料对乳酸菌生长及抑菌性的影响[J]. 中国调味品, 2020,45(6):58.
- [8] 杨菲菲,麻志宁,王祎,等. 不同菌株组成饮用型酸奶发酵剂指纹图谱的构建[J/OL]. 食品与

- 发酵工业. [2021-04-28]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027033>.
- [9] 万娟,关则恩,应玲红.顶空固相微萃取-气质联用分析优质稻谷储藏前后挥发性成分[J].粮食加工,2021,46(2):37.
- [10] 付勋,聂青玉,李翔,等.HS-SPME/GC-MS测定玫瑰香橙果汁挥发性成分[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2021,39(4):70.
- [11] 何培新,李聪聪,胡晓龙,等.基于HS-SPME/GC-MS的浓香型白酒窖泥中可培养 *Clostridium* spp. 挥发性代谢物成分分析[J].轻工学报,2017,32(6):1.
- [12] 李静,张述伟,周龙华,等.基于HS-SPME/GC-MS法分析大麦幼苗中的挥发性成分[J].食品研究与开发,2021,42(10):148.
- [13] 中国国家标准化管理委员会.酱腌菜卫生标准的分析方法:GB/T 5009.54—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [14] 高夏洁,高海燕,赵镭,等.SPME/GC-MS结合OAV分析不同产区花椒炸花椒油的关键香气物质[J/OL].食品科学.[2021-05-25].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20210224.1823.010.html>.
- [15] 胡琴,曹新志,张楷正,等.半固态发酵法酿造苦荞小曲酒糖化工艺优化[J].中国酿造,2021,40(4):61.
- [16] 张艳荣,吕呈蔚,刘通,等.不同干燥方式对姬松茸挥发性风味成分分析[J].食品科学,2016,37(10):116.
- [17] 王秋霞,路建东,金玲,等.乳酸菌菌种差异对泡菜发酵风味的影响[J].粮食与食品工业,2016,23(1):41.
- [18] 侯爱香,王一淇,黄晴,等.自然发酵与人工接种发酵湖南芥菜的挥发性风味组分和品质分析[J].食品科学,2018,39(6):237.
- [19] 卢静茹,林向阳,张如,等.HS-SPME/GC-MS联用分析美国巴旦木香气成分[J].食品科学,2015,36(2):120.
- [20] 赵梦瑶,李鹏冲,张立攀,等.HS-SPME/GC-MS结合自动解卷积分技术分析山茱萸果实挥发性成分[J].中国食品添加剂,2020,31(1):128.
- [21] 郭向阳.香樟花挥发性成分分析[J].植物资源与环境学报,2020,29(6):69.
- [22] 徐丹萍,蒲彪,刘书亮,等.不同发酵方式的泡菜挥发性成分分析[J].食品科学,2015,36(16):94.
- [23] 高歌,庞雪莉,刘海华,等.基于GC-MS-O香气成分分析和多元统计分析的柚子品种鉴别[J].中国食品学报,2020,20(5):283.
- [24] ANUPAM G, KAZUFUMI O, AKIRA O, et al. Olfactometric characterization of aroma active compounds in fermented fish paste in comparison with fish sauce fermented soy paste and sauce products[J]. Food Research International, 2010, 43: 1027.
- [25] CALKINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat favor[J]. Meat Science, 2007, 77(1):63.
- [26] 徐丹萍.结球甘蓝泡菜发酵过程中挥发性成分分析[D].雅安:四川农业大学,2015.
- [27] 欧蜀云,欧永春.八角香油提取及茴香脑含量测定[J].粮食与油脂,2021,34(4):45.
- [28] 孟君,彭秀丽,张峻松,等.3种香辛料提取物抑菌及挥发性成分的研究[J].中国调味品,2019,44(1):40.