

不同发酵剂对浅渍发酵豇豆风味成分和滋味的影响

王英¹, 张会¹, 刘小莉¹, 施亚萍², 夏秀东¹, 周剑忠¹

(1.江苏省农业科学研究院 农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.南京市脆而爽蔬菜食品有限公司, 江苏 南京 211225)

摘要:采用固相微萃取(SPME)-气相色谱-质谱联用(GC-MS)和电子舌技术分析接种不同发酵剂浅渍发酵豇豆的挥发性风味成分及滋味特征,并对结果进行主成分分析(PCA)。结果表明,植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*) SD-7和植物乳杆菌 FM-LP-9单独发酵豇豆中都检测出47种风味物质,菌株SD-7与FM-LP-9混菌(1:1)发酵和自然发酵豇豆中分别检测出59种和44种风味物质,表明混菌发酵有利于增加发酵产品风味种类;通过主成分分析,可将酸类、酯类等8类风味成分对豇豆风味品质的影响分为4种,且在该主成分评价模型下可区分接种发酵和自然发酵。电子舌分析结果显示,自然发酵豇豆的酸味、苦味和涩味影响值高于接种发酵。综上,混合接种发酵可提高豇豆发酵产品的风味组分和改善产品的滋味。

关键词:浅渍发酵;豇豆;发酵剂;气质联用;电子舌;风味;滋味

中图分类号:TS255.54

文章编号:0254-5071(2022)11-0089-07

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2022.11.016

引文格式:王英,张会,刘小莉,等.不同发酵剂对浅渍发酵豇豆风味成分和滋味的影响[J].中国酿造,2022,41(11):89-95.

Effect of different starters on the flavor components and taste of low-salt curing cowpea

WANG Ying¹, ZHANG Hui¹, LIU Xiaoli¹, SHI Yaping², XIA Xiudong¹, ZHOU Jianzhong¹

(1. Institute Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2. Nanjing Cuishuang Vegetables Food Co., Ltd., Nanjing 211225, China)

Abstract: The volatile flavor components and taste characteristics of low-salt curing cowpea fermented with different starters were analyzed by solid phase microextraction (SPME)-GC-MS and electronic tongue technology, and the results were analyzed by principal component analysis (PCA). The results showed that a total of 47 flavor compounds were detected in low-salt curing cowpea fermented by *Lactobacillus plantarum* SD-7 and *L. plantarum* FM-LP-9 alone. There were 59 and 44 volatile compounds detected in low-salt curing cowpea by mixed-strain SD-7 and FM-LP-9 (1:1) fermentation and natural fermentation, respectively. The results showed that the mixed fermentation was beneficial to increase the flavor types of fermented products. In addition, through PCA, the 8 classes of components such as acids and esters that contributed to the overall flavor quality of low-salt curing cowpea could be divided into 4 categories, and the low-salt curing cowpea samples by the mixed-strain fermentation and the natural fermentation could be distinguished under the principal component evaluation model. The results of electronic tongue analysis showed that the acidity, bitterness and astringency of low-salt curing cowpea by the natural fermentation were higher than those of it by the mixed-strain fermentation. In summary, the mixed-strain fermentation could improve the flavor components and taste of low-salt curing cowpea.

Key words: low-salt curing fermentation; cowpea; starter; GC-MS; electronic tongue; flavor; taste

豇豆适应性广,是广泛栽培的大众化蔬菜之一,其产量高达22 500~45 000 kg/hm²。对鲜食期短的豇豆进行加工可提高豇豆种植产业的经济效益。豇豆的加工方式主要包括腌制、脱水和制备饮料,经过腌制的豇豆具有多种营养和保健作用^[1-3]。传统腌制蔬菜一般是利用高含量(>10%)食盐腌制,再经脱盐、脱水、调味等一系列工序制成。但是,高食盐含量给食用者的心脏、肾脏等带来负面影响,易引起心脏病、高血压等心脑血管疾病,不利于人体的健康^[4-5]。为顺应饮食低盐化需求,利用浅渍发酵法(盐含量<10%,发酵时间<10 d)制备的发酵蔬菜^[6],既能一定程度上保留蔬菜的新鲜度,又具备经发酵等生化反应产生的与新鲜蔬菜不同的特殊风味,同时不会因高盐摄入而有害健康。

发酵剂对发酵食品口感和风味有着重要的影响。王玉玮等^[7]对雪莲菌发酵豇豆的工艺及其挥发性风味进行分析,结果表明,接种雪莲菌发酵豇豆能够增加挥发性物质种类和含量,且感官评分也增加。陈凤等^[8]对不同发酵方式对泡豇豆品质影响的研究结果表明,自然发酵及直投式发酵三种发酵方式对豇豆品质影响不同,其中直投式发酵剂发酵豇豆的品质较好。李雨萌等^[9]对老坛水和两种接种发酵方式对豇豆的挥发性成分进行研究,结果表明,两种发酵剂中的菌组成不同,其发酵豇豆中的风味物质种类和组成存在明显差异。蔬菜、奶、肉等发酵制品因其特殊的发酵风味和营养受到消费者的喜爱,发酵剂对风味的影响也是研究热点,固相微萃取(solid phase microextraction,

收稿日期:2022-04-19

修回日期:2022-06-20

基金项目:江苏省科技支撑项目(BE2019307)

作者简介:王英(1978-),女,副研究员,博士,研究方向为食品生物技术研究。

SPME) 结合气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS) 技术是检测发酵食品挥发性成分的主要分析方法^[10-12]。电子舌技术具有检测时间短、操作简单、灵敏度高、可靠性强等特点,被广泛应用于食品和饮料领域^[13-14]。刘建林等^[15]利用GC-MS结合电子舌技术分析发酵羊肉干的风味成分,共检测出主要贡献物质有27种,但不同发酵品种的主要风味物质组成不同。潘晓倩等^[16]综合利用 GC-MS 技术和电子鼻/电子舌技术分析不同微生物发酵剂对风干香肠风味形成及滋味的影响,结果显示不同微生物发酵剂可以明显区分香肠。本研究接种不同发酵剂浅渍发酵豇豆,利用 GC-MS 和电子舌分析技术分析其挥发性风味成分及滋味特征,并通过主成分分析 (principal component analysis, PCA) 解析不同发酵剂对浅渍豇豆的风味成分和滋味的影响,为浅渍豇豆发酵制品接种发酵剂工业化生产提供依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌株及原料

植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*) SD-7、FM-LP-9 冻干菌粉:江苏省农业科学院农产品加工研究所食品生物工程研究室;豇豆、泡菜盐、八角、冰糖、花椒、辣椒:市售。

1.1.2 化学试剂

氯化钙 (分析纯):潍坊海之源化工有限公司;柠檬酸、抗坏血酸 (均为分析纯):郑州天润食品添加剂有限公司;NaCl (分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.1.3 培养基

MRS液体 (固体) 培养基:青岛海博生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

SW-CJ-1C型净化工作台:苏州净化设备有限公司;TSQ 8000 EVO气相色谱-质谱 (GC-MS) 分析仪:美国热电公司;SA402B电子舌:日本INSENT公司;固相微萃取纤维 DVB/CAR/PDMS:美国Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 浅渍豇豆发酵工艺流程及操作要点

豇豆挑选清洗→晾晒→浅渍液制备 (按照配方加入泡菜盐、辣椒等调味料)→接种发酵→杀菌→冷却→浅渍豇豆

操作要点:1 L水加入45 g泡菜盐、2 g花椒、1 g八角、30 g冰糖和30 g蔗糖,煮沸后保温10 min,降至室温作为浅渍液,接种发酵前加入0.015%的氯化钙作为保脆剂,同时加入0.05%的柠檬酸和0.03%的抗坏血酸作为复合护色剂。按照浅渍液和豇豆的质量比为4:3加入晾晒完毕的豇豆,采用单独接种植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum* SD-7、菌株FM-LP-9冻干菌粉、菌株SD-7与FM-LP-9混菌 (1:1) 发酵和自然发酵4种方式,接种量为5%,在25℃的条件下发酵至pH值为3.5左右时结束发酵^[17],杀菌 (65℃、30 min) 后冷却至室温,即得浅渍豇豆成品。

1.3.2 电子舌分析

取发酵结束的200 g豇豆和发酵液按照质量比1:1打浆后,浆液于5 000 r/min 条件下离心5 min,收集上清液进行电子舌分析。

ISENSO 电子舌系统可对酸、甜、苦、咸、鲜等基本味或复合味进行客观测定。使用前先将检测电极和参比电极进行活化24 h,参比溶液为氯化钾和酒石酸的混合溶液。再用洁净的蒸馏水清洗2~3 min,每次测样前都需清洗,将样品倒入电子舌的专用烧杯,定量体积为50 mL,采样时间为180 s,为减小测量误差,每个样品平行测定5次,取3次相似测数值作为一个样本数据进行数据分析^[18-19]。

1.3.3 香气成分测定方法

SPME方法:取发酵结束的100 g豇豆和发酵液按照质量比1:1打浆后,取10 g浆液于20 mL样品瓶中,加入0.15 g NaCl,磁力搅拌,60℃恒温水浴20 min,固相微萃取纤维 DVB/CAR/PDMS萃取50 min,于230℃脱附3 min进样。

GC条件:DB-5 石英毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.1 μm),载气为氦气 (He) (99.99%),流速1.0 mL/min。进样口温度230℃,不分流进样。程序升温:初温35℃保持5 min,以5℃/min升至50℃,保持5 min,以5℃/min升至230℃,保持5 min。

MS条件:电子电离 (electronic ionization, EI) 源,电子能量70 eV,气相色谱-质谱接口温度280℃,离子源温度230℃,四极杆温度150℃,质量扫描范围30~550 m/z^[20-21]。

定性定量方法:按上述分析条件对香气成分进行气相色谱-质谱分析,将各色谱峰对应的质谱图利用美国国家标准技术研究所 (national institute of standards and technology, NIST) 及 WILEY两个谱库,对质谱图进行串连检索,与有关文献进行核对,并结合人工解析,综合保留时间、质谱、实际成分和保留指数等参数对组分进行定性。采用峰面积归一化法定量,得到各组分的相对含量。

1.3.4 主成分分析

采用 Z-score 标准化法进行原始数据无量纲化处理,利用主成分分析提取因子,计算各发酵豇豆样品风味物质分类数据的特征值以及方差贡献率。采用因子所对应的方差贡献率为权重,最后将因子得分和对应的权重系数进行加权求和,计算得到各发酵豇豆样品的综合得分。

1.3.5 数据分析

采用SPSS 18.0进行数据分析和主成分分析 (PCA),利用Excel 2016进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同发酵剂浅渍发酵豇豆的挥发性风味成分分析

不同发酵剂浅渍发酵豇豆通过 GC-MS 分析后,挥发性风味物质种类和相对含量检测结果见表1。由表1可知,4组发酵豇豆中共检测出主要挥发性风味物质76种,主要包括酸类5种,醛类8种,酯类15种,醇类26种,酮类9种,

烯类物质2种,醚类4种和其他类7种,浅渍豇豆中主要挥发性风物质为醇类、酯类、酮类、醛类和酸类物质,其中醇类和醚类两类风味物质总相对含量占总量的50%以上,在醇类物质中,3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇为主要成分,尤其是在接种发酵的豇豆中,相对含量>17%。醚类物质中的对丙烯基茴香醚是主要风味物质,该物质可能主要来自于浅渍液中的八角。由表1亦可知,自然发酵豇豆中检测出44种风味物质,其中醇类12种,醚类3种,酸类2种,酮类6种,酯类9种,烯类1种,醛类5种和其他类6种,占总风味物质相对含量的83.36%。接种植物乳杆菌SD-7和FM-LP-9单菌发酵的豇豆的风味物质均检测出47种风味物质,其中酯类分别为9种和10种,醛类分别为7种和6种,酮类均为6种,烯类均为2种,醇类分别为16种和17种,醚类均为3种,酸类均为1种和其他类分别为3和2种,但风味物质组成不同,其中,菌株SD-7发酵豇豆风味物质中占总风味物质相对含量5%以上的有以下几种:醇类物质、醚类物质、酮类物质、醛类物质和酯类物质,占总风味物质相对含量的94.71%。菌株FM-LP-9发酵豇豆风味物质中占总风味物质相对含量5%以上的有以下几种:醇类物质、醚类物质和烯类物质,

占总风味物质相对含量的84.17%。两菌混合(1:1)接种浅渍发酵的豇豆中检测出59种,其中酯类13种,醛类8种,烯类1种,酮类8种,醇类19种、醚类3种、酸类4种和其他类3种,比自然发酵和单菌发酵的豇豆中风味物质分别增加了15和12种。组合接种发酵豇豆风味物质中占总风味物质相对含量5%以上的有以下几种:醇类物质、醚类物质、酮类物质、醛类物质、酯类物质和烯类物质,占总风味物质相对含量的98.19%。结果表明,不同发酵剂对浅渍豇豆的风味影响不同,复合接种可以提高发酵豇豆的风味物质的种类。目前发酵剂主要有单一菌种和复合菌种两种形式,其中复合菌制剂是将两种或两种以上的菌株混合制成,具有更加全面的发酵效果^[22]。王聪等^[23]利用复合菌种协同发酵制备鸡肉香精,结果显示在相同的工艺条件下,复合发酵制备的产品感官评分更高,且氨基酸态氮含量最大。SUN Q等^[24]利用复合菌制剂发酵香肠,结果显示复合菌制剂能够充分利用原料,提高产品的营养价值、改善产品的风味品质。综上,接种不同的发酵剂,豇豆的风味物质组成和含量均存在不同程度的差异,且复合发酵可提高发酵豇豆中风味物质的种类。

表1 不同发酵剂浅渍发酵豇豆中挥发性风味物质种类和含量GC-MS分析结果

Table 1 Result of types and contents of volatile flavor substances in low-salt curing cowpea analysis by GC-MS

序号	保留时间/ min	化合物	相对含量/%			
			菌株SD-7	菌株FM-LP-9	混合(1:1)发酵	自然发酵
酯类						
1	12.31	13-十四炔酸甲酯		0.31±0.00a	0.35±0.00a	
2	13.71	异戊酸香叶酯	1.26±0.01a	1.16±0.01a	1.18±0.02a	2.13±0.08b
3	16.89	柠檬烯-6-醇特戊酸酯			0.09±0.00	
4	17.08	1,3,3-三甲基-2-氧杂双环[2.2.2]乙酸辛酯			0.15±0.00	
5	17.24	3-环己烯-1-甲醇, $\alpha,\alpha,4$ -三甲基-乙酸酯	0.71±0.01b	0.55±0.00a	0.45±0.01a	
6	17.55	苯甲酸己烯-2-酯				0.61±0.01
7	17.95	(R)-二氢乙酸香芹酯	0.19±0.00b	0.12±0.00a	0.13±0.00a	
8	18.18	癸酸乙酯	0.44±0.01a	0.40±0.00a	0.59±0.01b	0.67±0.01b
9	18.22	3,7-二甲基-2,6-辛二烯酸甲酯		0.09±0.00		
10	19.79	10-十八碳炔酸甲酯	0.85±0.01b	0.83±0.02b	0.59±0.01a	2.14±0.11c
11	25.95	十六酸甲酯			0.09±0.00a	0.48±0.02b
12	28.12	七烷酸甲酯	0.22±0.00ab	0.17±0.01a	0.20±0.00a	0.25±0.01b
13	29.21	七烷酸乙酯	1.32±0.03b	1.01±0.01a	1.22±0.01ab	1.32±0.02b
14	31.80	亚油酸乙酯	0.15±0.00a	0.15±0.00a	0.16±0.01a	0.15±0.00a
15	31.91	9,12,15-十八碳三烯酸甲酯	0.18±0.00a		0.16±0.01a	0.18±0.00a
总计			5.31±0.24b	4.74±0.31a	5.36±0.12b	7.91±0.43c
醛类						
16	6.99	苯甲醛	1.05±0.01b		1.55±0.12c	0.09±0.00a
17	7.78	2-庚醛	3.44±0.15b	1.45±0.01a	1.44±0.11a	
18	9.14	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.32±0.01a		0.87±0.03b	
19	10.29	2-辛烯醛	2.87±0.11c	1.34±0.07b	1.30±0.01b	0.37±0.02a
20	13.12	(E)-2-癸烯醛	0.32±0.00	0.19±0.01	0.19±0.01	0.43±0.01
21	13.89	癸醛	0.39±0.01a	0.50±0.01b	2.15±0.14d	0.76±0.02c

续表

序号	保留时间/ min	化合物	相对含量/%			
			菌株SD-7	菌株FM-LP-9	混合(1:1)发酵	自然发酵
22	14.20	2,4-二甲基苯甲醛		0.18±0.01b	0.03±0.00a	
23	17.51	反-2-十二烯醛	0.97±0.04c	0.61±0.0b1	0.52±0.00a	0.50±0.01a
总计			9.35±0.58d	4.26±0.27b	8.01±0.46c	2.15±0.21a
		酮类				
24	8.52	3-辛酮	3.79±0.31a		5.07±0.14b	
25	10.68	苯乙酮				0.32±0.01
26	11.13	2-壬酮	1.93±0.11b	2.43±0.15c	2.05±0.12b	0.78±0.04a
27	13.93	2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己酮			0.96±0.01	
28	14.86	香芹酮	0.36±0.01a	0.64±0.02c	0.40±0.01a	0.48±0.03b
29	18.04	(E)-1-(2,6,6-三甲基-1,3-环己二烯-1-基)-2-丁烯-1-酮		0.21±0.01b	0.18±0.00a	
30	19.42	香叶基丙酮	0.71±0.03c	0.76±0.01c	0.60±0.01b	0.45±0.01a
31	20.18	3-甲基-4-(2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	0.27±0.00b	0.19±0.00a	0.18±0.00a	0.16±0.00a
32	20.96	新莰术二酮	0.19±0.00b	0.16±0.00a	0.15±0.00a	0.29±0.01c
总计			7.25±0.31c	4.38±0.15b	9.58±0.87d	2.47±0.13a
		醇类				
33	8.15	反式-2-庚烯-1-醇	0.36±0.01			
34	8.38	2-(基)-葵醇	2.10±0.08b	1.19±0.03a	1.18±0.05a	
35	8.52	3-辛酮		2.37±0.00		
36	8.78	8-羟基薄荷醇	2.27±0.13b		0.33±0.01a	
37	9.45	3-乙基-4-甲基戊烷-1-醇; 3-乙基-4-甲基-1-庚醇	0.79±0.01a	1.09±0.08c	0.90±0.01b	
38	9.61	桉叶油醇	4.37±0.21a	6.16±0.24b	4.21±0.14a	
39	10.68	2-十烯-1-醇	1.55±0.06b	1.61±0.07b	1.68±0.11b	0.52±0.02a
40	11.43	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	21.19±0.84c	20.90±1.45c	17.95±1.16b	8.25±0.64a
41	11.65	顺式-薄荷基-2,8-二烯-1-醇			0.07±0.00	
42	11.78	苯乙醇	0.94±0.02b	0.50±0.01a	0.81±0.03b	
43	11.90	反式-薄荷基-2,8-二烯-1-醇			0.18±0.00	
44	12.79	2,6-二甲基-2,6-辛二烯-1,8-二醇		0.03±0.00		
45	13.29	4-萜烯醇	3.10±0.21b	3.55±0.27b	3.48±0.21b	0.74±0.02a
46	13.62	α-松油醇	3.32±0.08b	3.33±0.31b	4.15±0.32c	2.43±0.21a
47	14.30	2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-醇	0.58±0.02b	0.53±0.02b	0.71±0.01c	0.26±0.02a
48	14.50	5-甲基-2-异丙烯基-环己醇	0.68±0.01a	1.13±0.05c	0.89±0.01b	
49	14.58	(1S,4S)-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)-环己-2-烯-1-醇			0.36±0.01	
50	15.54	13-十七烯-1-醇			0.28±0.01	
51	16.12	2-十一醇	0.87±0.02d	0.76±0.01c	0.61±0.00b	0.52±0.02a
52	18.47	6-表莰蒲醇		0.29±0.01a		1.28±0.05b
53	20.42	2-十六醇	0.33±0.01a	0.28±0.01a	0.26±0.00a	0.83±0.04c
54	22.08	桉油烯醇	0.05±0.00a	0.04±0.00a	0.05±0.00a	
55	22.45	特十六硫醇				1.25±0.01
56	22.58	E,E,Z-1,3,12-十九碳三烯-5,14-二醇	0.03±0.00a	0.04±0.00a	0.06±0.00b	0.73±0.02c
57	23.77	二十二醇				9.55±0.51
58	30.75	2,6-二叔丁基-4-甲基环己醇				0.98±0.03
总计			40.52±2.32bc	43.79±2.37c	38.14±2.05b	27.24±1.05a
		烯类				
59	9.56	D-柠檬烯	2.52±0.00a	6.63±0.00c	6.47±0.00c	4.11±0.18b
60	10.04	菊三烯	0.31±0.00b	0.19±0.00a		
总计			2.83±0.16a	6.81±1.07c	6.47±0.24c	4.11±0.24b

续表

序号	保留时间/ min	化合物	相对含量/%			
			菌株SD-7	菌株FM-LP-9	混合(1:1) 发酵	自然发酵
醚类						
61	13.78	爱草醚	0.82±0.02a	0.81±0.03a	2.23±0.15c	1.56±0.04b
62	14.50	乙烯基醚				0.64±0.04
63	15.74	甲基壬基醚	0.36±0.01a	0.35±0.00a	0.38±0.00a	
64	15.92	对丙烯基茴香醚	31.08±1.57b	33.42±2.14c	28.02±1.65a	29.17±2.24ab
总计			32.28±2.35ab	34.57±3.36b	30.63±2.64a	31.36±2.31a
酸类						
65	12.31	2-乙基己酸				0.41±0.01
66	13.46	辛酸			0.55±0.02	
67	15.34	2-氨基吡啶-4-4-羧苯基-丙酸			0.14±0.00	
68	17.71	癸酸			0.10±0.00	
69	23.16	赤式-9,10二羟基十八碳酸	0.10±0.00a	0.11±0.00a	0.25±0.00b	10.01±0.78c
总计			0.10±0.00a	0.11±0.00a	1.04±0.09b	10.40±0.57c
其他类						
70	7.90	2-羟丙酰胺				0.13±0.01
71	12.69	3,6-二氢-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃	1.40±0.05b		0.09±0.00a	
72	14.50	苯并噻唑(有毒)				0.64±0.01
73	22.29	十九烷	0.89±0.03b	1.26±0.09c	0.60±0.01a	7.81±0.38d
74	23.06	4-十八烷基吗啉				1.59±0.11
75	24.17	2,6-二叔丁基对苯二酚	0.07±0.00a	0.08±0.00a	0.11±0.01b	2.76±0.15c
76	27.77	2,6,10-三甲基十四烷				1.44±0.10
总计			2.36±0.09c	1.34±0.07b	0.81±0.03a	14.36±0.74d

注:同行肩不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 不同发酵剂浅渍豇豆的主要挥发性风味物质的主成分分析

发酵食品中风味物质种类和含量数据繁多,利用SPSS 18.0将风味物质重新组合一组新的相互无关的几个综合变量,从中抽取几个较少的综合变量尽可能多地反映原来变量信息的统计方法,可以获得对风味影响的主成分及其贡献率^[25-27]。本研究中4种浅渍豇豆的风味物质经SPSS 18.0软件分析,获得的主成分特征值及方差贡献率,结果见表2。

表2 主成分的特征值以及方差贡献率
Table 2 Eigenvalues and variance contribution rates of principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	5.180	64.748	64.748
2	1.911	23.885	88.632
3	0.909	11.368	100.000
4	5.258E-016	6.572E-015	100.000
5	1.689E-016	2.111E-015	100.000
6	-3.525E-017	-4.406E-016	100.000
7	-1.254E-016	-1.567E-015	100.000
8	-1.782E-016	-2.228E-015	100.000

由表2可知,第1主成分和第2主成分的特征值依次为5.180和1.911,其累计方差贡献率达88.632%,能够较好地代表原始数据所反映的信息^[28]。第1主成分(PC1)的方差贡献率为64.748%,主要反映醚类、酮类、醛类、酯类、酸类和其他物质的变异信息,第2主成分(PC2)的方差贡献率为22.885%,主要反映醇类、醚类、酮类、醛类、酯类、烯类和酸类物质的变异信息。

载荷值可以反映各变量与主成分之间的相关系数^[29],第1和第2主成分的特征向量与载荷矩阵见表3。

表3 主成分的特征向量与载荷矩阵
Table 3 Eigenvectors and loading matrices of principal components

特征风味成分	第1主成分		第2主成分	
	特征向量	载荷	特征向量	载荷
醇类	0.082	0.671	0.220	0.727
醚类	-0.177	-0.154	0.424	0.920
酮类	0.291	0.951	-0.214	-0.173
醛类	0.293	0.963	-0.211	-0.163
酯类	-0.115	-0.753	-0.178	-0.658
烯类	-0.071	0.059	0.255	0.603
酸类	-0.158	-0.840	-0.111	-0.533
其他类	-0.167	-0.860	-0.096	-0.505

由表3可知,第1主成分与酮类、醛类和醇类呈现正相关,与醚类、酯类、酸类和其他类呈负相关。第2主成分与醇类、醚类、烯类物质呈正相关,与酮类、醛类、酯类、酸类和其他物质呈负相关。

根据浅渍豇豆中的8类特征风味成分在PC1、PC2中的得分和载荷,绘制主成分因子得分图和载荷图见图1。由图1A可知,PC1方差贡献率大于PC2,说明4种浅渍豇豆的风味在PC1成分上反映明显。PC1主成分中4种发酵方式分成2组,接种发酵和自然发酵可以完全区分开,并且接种SD-7发酵和接种SD-7和FM-LP-9混菌发酵在PC1和PC2都完全聚为一类,表明两者的发酵风味特征类似,另外也表明发酵剂SD-7对豇豆的发酵风味特征起主导作用。由图1B可知,PC1中的8类风味成分在得分投影图中聚为4簇,酯类、酸类和其他类聚为一簇;醚类和烯类物质聚为一簇;酮类和醛类聚为一簇;说明PC1的8类风味成分对浅渍豇豆的整体风味品质的影响作用可分为4种,并且酯类、酸类、其他类物质和醇类物质对风味贡献大。PC2中的8类风味成分对浅渍豇豆的整体风味品质也存在3种影响,酯类、酸类和其他类物质聚为一类,酮类和醛类物质聚为一类,醚类一类,且醚类、酮类和醛类物质对风味贡献较大。

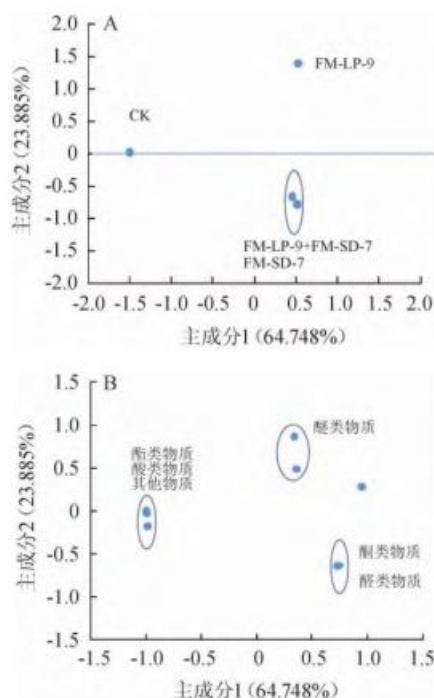


图1 不同发酵剂浅渍发酵豇豆风味物质主成分分析因子得分图(A)和载荷图(B)

Fig. 1 Factor score diagram (A) and loading diagram (B) of principal component analysis of flavor substances of low-salt curing cowpea fermented with different starters

2.3 不同发酵剂浅渍豇豆滋味的电子舌分析

根据4组浅渍豇豆在电子舌的5个(酸味、鲜味、咸味、

苦味和涩味)传感器上的响应值绘制出雷达图2。由图2可知,咸味传感器对各组发酵豇豆样品的响应值最大,鲜味、丰富度(鲜的回味)、涩味和涩回味传感器的响应值基本一致。在酸味、涩味、苦味和苦回味的响应值上存在差异,自然发酵豇豆的酸味、涩味和苦味响应值较接种发酵的响应值大。综上,接种发酵可以降低豇豆发酵产品的苦味、涩味和涩回味,最终提升发酵豇豆的滋味。

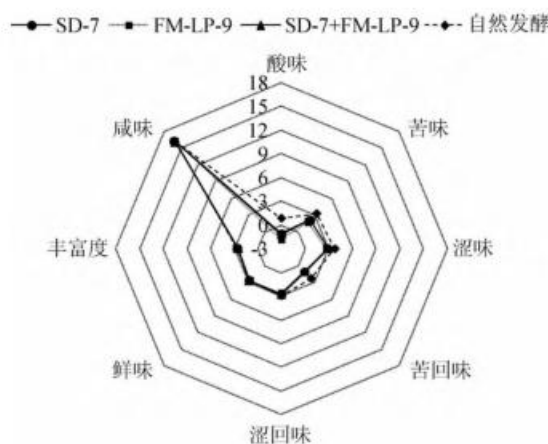


图2 不同发酵剂浅渍发酵豇豆滋味电子舌分析雷达图

Fig. 2 Radar map of taste of low-salt curing cowpea fermented with different starters by electronic tongue analysis

3 结论

本研究以豇豆为原料,采用单独接种植物乳杆菌SD-7和FM-LP-9、两菌按1:1比例混合接种和自然发酵4种方式在相同发酵条件下发酵豇豆,分析不同发酵剂对浅渍豇豆风味物质和滋味的影响。GC-MS共检测出浅渍豇豆风味贡献物质76种,且各种风味物质的相对含量存在很大差异,其中混合接种发酵豇豆中检测出59种,单独接种2株菌的豇豆都检测出47种,而自然发酵豇豆中检测出44种,表明混合接种可以提高豇豆的风味物质种类。电子舌分析结果显示,自然发酵豇豆的酸味、苦味和涩味影响值高于接种发酵,混菌发酵可提升豇豆滋味。结果表明,混菌发酵可以增加豇豆的风味物质组成并且能够改善滋味,可为混菌接种浅渍发酵豇豆工业化应用提供理论依据。

参考文献:

- [1] 王英,张会,范琳琳,等. 浅渍豇豆复合功能发酵剂制备关键技术[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 173-180.
- [2] 徐柯,成林林,袁美,等. 泡豇豆发酵过程中有机酸变化及对亚硝酸盐降解的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(17): 60-66.
- [3] KOÇ Ş, BAYSAL S S. Salt, hypertension, and the lens[J]. *Metabol Syndr Related Disorders*, 2019, 17(3): 173-181.
- [4] 王青海,李师承,张珈豪,等. 盐摄入量与老年难治性高血压的相关性及机制研究[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2019, 21(9): 953-958.
- [5] 林东昕,吴月娇,徐蕴芹,等. 胃癌危险性不同人群膳食硝酸盐、亚硝酸

- 盐及维生素C摄入量[J]. 营养学报, 1988(3): 234-239.
- [6] 居媛悦. “浅渍”竹笋热烫工艺参数及腌制过程中品质劣变的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [7] 王玉玮, 袁亚宏, 岳田利. 雪莲菌发酵豇豆工艺优化及其挥发性风味成分分析[J]. 食品机械, 2021, 37(5): 176-183.
- [8] 陈凤, 游玉明, 张冬梅, 等. 发酵方式对泡豇豆品质的影响[J]. 中国调味品, 2018, 43(12): 44-49.
- [9] 李雨萌, 曾里, 吴正云. 老坛水发酵与接种发酵过程中细菌菌落与挥发性成分差异研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(12): 73-78.
- [10] 杨艳, 潘亨琴, 贺银菊, 等. 气质联用技术在发酵食品风味分析中的研究进展[J]. 广州化工, 2019, 47(9): 30-31, 50.
- [11] 蒋鹏飞, 罗强, 施宝珠, 等. 不同酵母发酵葛根酒的抗氧化活性及香气成分分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 230-239.
- [12] 赵凤, 许萍, 曾诗雨, 等. 鲟鱼传统发酵过程中挥发性风味物质的分析评价[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 236-242.
- [13] HWANG Y H, ISMAIL I, JOO S T. Identification of umami taste in sous-vide beef by chemical analyses, equivalent umami concentration, and electronic tongue system[J]. *Foods*, 2020, 9(3): 251-261.
- [14] YANG Z W, WANG Z Q, YUAN W H, et al. Classification of wolfberry from different geographical origins by using electronic tongue and deep learning algorithm[J]. *IFAC-Papers On Line*, 2019, 52(30): 397-402.
- [15] 刘建林, 孙学颖, 张晓蓉, 等. GC-MS 结合电子鼻/电子舌分析发酵羊肉干的风味成分[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 348-354.
- [16] 潘晓倩, 成晓瑜, 张顺亮, 等. 不同发酵剂对北方风干香肠色泽和风味品质的改良作用[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 81-86.
- [17] 汪立平, 汪欣, 艾连中, 等. 纯种植物乳杆菌发酵低盐萝卜泡菜的研究[J]. 食品科学, 2013, 34(17): 182-186.
- [18] 张璟琳, 黄明泉, 孙宝国, 等. 电子舌技术在食醋口感评价中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(11): 220-221.
- [19] DANG Y, HAO L, ZHOU T, et al. Establishment of new assessment method for the synergistic effect between umami peptides and monosodium glutamate using electronic tongue[J]. *Food Res Int*, 2019, 121(7): 20-27.
- [20] PARASKEVOPOULON A, CHRYSANTHOU A, KOUTIDOU M. Characterisation of volatile compounds of lupin protein isolate-enriched wheat flour bread[J]. *Food Res Int*, 2012, 48(2): 568-577.
- [21] PLESSAS S, ALEXOPOULOS A, BEKATOROU A, et al. Examination of freshness degradation of sourdough bread made with kefir through monitoring the aroma volatile composition during storage[J]. *Food Chem*, 2011, 124(2): 627-633.
- [22] 李亚新. 两种复合菌制剂及酶制剂发酵四种中草药药渣的效果研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [23] 王聪, 马浩然, 李佩佩, 等. 复合菌种协同发酵制备鸡肉香精前体物工艺的研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(9): 18-24.
- [24] SUN Q, SUN F, ZHENG D, et al. Complex starter culture combined with vacuum packaging reduces biogenic amine formation and delays the quality deterioration of dry sausage during storage[J]. *Food Control*, 2019, 100, 5: 8-66.
- [25] CHENG H, QIN Z H, GUO X F, et al. Geographical origin identification of propolis using GC-MS and electronic nose combined with principal component analysis[J]. *Food Res Int*, 2013, 51(2): 813-822.
- [26] 丁晔, 刘敦华, 雷建刚, 等. 不同处理羊羔肉挥发性风味物质的比较及主成分分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 16-20.
- [27] WHITLARK D, DUNTEMAN G H. Principal components analysis[J]. *J Market Res*, 1990, 27(2): 242-243.
- [28] 王斌, 杨大伟, 李宗军. 2种槟榔干果风味品质的比较[J]. 食品科学, 2019, 40(12): 245-252.
- [29] 陈恺, 李琼, 周彤, 等. 不同干制方式对新疆哈密大枣香气成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 158-163.