

雪莲菌发酵豇豆工艺优化及其挥发性风味成分分析

Process optimization of fermented cowpea by kefir grains and analysis of volatile flavor components

王玉玮 袁亚宏 岳田利

WANG Yu-wei YUAN Ya-hong YUE Tian-li

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 咸阳 712100)

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Xianyang, Shaanxi 712100, China)

摘要:利用雪莲菌对豇豆进行发酵,以感官评分和总酸含量为评价指标,采用单因素和正交试验对发酵工艺进行优化;并采用高效液相色谱(HPLC)法和气相色谱—质谱联用(GC-MS)分析发酵前后风味物质的变化。结果表明,最佳发酵工艺条件为盐添加量 4%,雪莲菌接种量 1.5%,发酵温度 25℃,发酵时间 4 d,此条件下感官评分为 87 分,总酸含量为 3.40 g/kg。雪莲菌发酵后共检出 72 种挥发性风味物质,与原料相比,新产生了 56 种挥发性风味物质。除醛类物质外,其他挥发性风味物质相对含量均增加,且醇类和酯类含量较高。与自然发酵相比,雪莲菌发酵后的挥发性物质种类和含量也较高。

关键词:雪莲菌;豇豆;发酵;总酸;风味;感官评分

Abstract: Cowpea was fermented by kefir grains. The sensory score and total acid content were used as evaluation indicators. Single factor test and orthogonal test were used to optimize the fermentation process. And the changes of flavor substances before and after fermentation were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the best fermentation process conditions of cowpea by kefir grains were as follows: salt concentration 4%, kefir grains inoculation amount 1.5%, fermentation temperature 25℃, fermentation time 4 d. Under these conditions, the sensory score was 87 points, and the total acid content was 3.40 g/kg. A total of 72 volatile flavor substances were detected in cowpea fermented by kefir grains. Compared with the raw material, 56 new volatile flavor compounds were produced after fermentation. Except for aldehydes, the relative contents of other volatile flavor compounds increased, and

the contents of alcohols and esters were higher. Compared with natural fermentation, the types and contents of volatiles were also higher after kefir grains fermentation.

Keywords: kefir grains; cowpea; total acid; flavor; sensory score

雪莲菌又称藏灵菇、西藏雪莲、开菲尔粒,是一种乳白色或浅黄色的胶质状颗粒,形状无规律像蒸熟的米粒,具有弹性及黏稠感^[1-2];富含乳酸菌、乙酸细菌和酵母菌^[3],被认为是一种益生菌资源,这主要是因为除了自身的营养价值外,其代谢产物还能提供各种健康益处,包括抗诱变、抗结肠炎、抗菌和抗氧化等^[4],所发酵的产品也具有独特的风味。豇豆富含蛋白质、维生素和微量元素,利用乳酸菌发酵的酸豆角,清爽解腻、酸香可口,可以促进人体消化,备受大众喜爱。因此利用雪莲菌发酵豇豆,开发风味较好的功能性泡菜具有重要意义。

雪莲菌发酵的产品风味独特,如发酵的酸奶有着特有的酸味和香味,并且具有起泡性和醇香味^[5];生产的干酪表面有光泽,不仅具有干酪特有的风味,还具有适宜醇香^[6];发酵面包,面包在贮藏过程中挥发性的香气能够保持更加持久^[7]。当前,泡菜主要是通过自然发酵或纯种乳酸菌发酵产生,发酵过程中微生物代谢贯穿整个代谢过程,其中包含了复杂的物理变化和生物化学反应^[8]。研究^{[9-11][12]20-58}发现,发酵条件的不同会影响酸菜的品质和风味特征。张郁松^[13]通过单因素和正交试验确定了接种乳酸菌发酵泡菜的最佳工艺;黄慧福等^[14-16]研究发现与自然发酵相比,接种发酵有利于改善泡菜的品质和风味。目前关于雪莲菌发酵泡菜的研究较少^[17],而关于雪莲菌发酵蔬菜工艺优化及发酵后泡菜的风味研究尚未见报道。

研究拟利用雪莲菌发酵豇豆,以感官评分和总酸含量为评价指标,研究盐添加量、雪莲菌接种量、发酵温度、发酵时间对雪莲菌发酵豇豆品质的影响。在最优发酵工

基金项目:国家“十三五”重点研发计划项目(编号:2019YFC1606703)

作者简介:王玉玮,女,西北农林科技大学在读硕士研究生。

通信作者:岳田利(1965—),男,西北农林科技大学教授,博士生导师,博士。E-mail: yuetl@nwfau.edu.cn

收稿日期:2021-04-02

艺下对豇豆进行发酵,并采用高效液相色谱(HPLC)法和气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析发酵前后风味物质的变化,旨在为开发营养、健康风味良好的功能型泡菜提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

雪莲菌:取自甘南牧民家中,保存于西北农林科技大学健康食品制造与安全控制实验室;

发酵袋:常德市临澧县德特实验用品经营部;

豇豆、食盐:市售;

氢氧化钠:分析纯,西安化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪:120150-T230 型,日本岛津公司;

生化培养箱:ZXDP-B1160 型,上海智诚分析仪器制造有限公司;

自动固相微萃取进样器:50/30 μm PDMS/DVB,美国 SUPELCO 公司。

1.3 方法

1.3.1 泡菜的制备 将新鲜豇豆除去不可食用部分,再经清洗、沥干和切分后,称取 200 g 装入 1 000 mL 的厌氧发酵袋中,加入 400 mL 盐水,加入雪莲菌,密封后放入恒温培养箱中进行发酵。自然发酵组不接种雪莲菌。

1.3.2 雪莲菌的准备 将雪莲菌从牛奶中滤除,用已灭菌的生理盐水洗净备用。

1.3.3 感官评分 根据文献[12]²⁰,由 10 人组成的评判小组(5 男 5 女,包括 2 名专家),按照泡菜感官评分原则对泡菜的色泽、香气、滋味和脆性 4 个方面进行评分。

1.3.4 总酸含量测定 按 GB/T 12456—2008 执行。

1.3.5 挥发性物质测定 参照 Wei 等^[18]的方法。利用 GC-MS 自带软件,通过与 NIST14 比对对挥发性化合物进行鉴定,物质浓度用内标进行半定量。

1.3.6 雪莲菌发酵豇豆单因素试验

(1) 盐添加量:固定雪莲菌接种量 1.5%,发酵温度 25 $^{\circ}\text{C}$,发酵时间 4 d,考察盐添加量(2%,3%,4%,5%,6%)对豇豆感官评分和总酸含量的影响。

(2) 雪莲菌接种量:固定盐添加量 4%,发酵温度 25 $^{\circ}\text{C}$,发酵时间 4 d,考察雪莲菌接种量(0.5%,1.0%,1.5%,2.0%,2.5%)对豇豆感官评分和总酸含量的影响。

(3) 发酵时间:固定盐添加量 4%,雪莲菌接种量 1.5%,发酵温度 25 $^{\circ}\text{C}$,考察发酵时间(2,3,4,5,6 d)对豇豆感官评分和总酸含量的影响。

(4) 发酵温度:固定盐添加量 4%,雪莲菌接种量 1.5%,发酵时间 4 d,考察发酵温度(15,20,25,30,35 $^{\circ}\text{C}$)对豇豆感官评分和总酸含量的影响。

1.3.7 雪莲菌发酵豇豆正交优化试验 在单因素的基础上,以盐添加量、雪莲菌接种量、发酵温度和发酵时间为因素,对豇豆进行感官评分并测定总酸含量,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验。

1.4 数据处理

试验结果表示为平均值 $\pm$ 标准偏差,采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析和 Duncan 多重比较($P < 0.05$),使用 Excel 2019 软件作图。

2 结果与分析

2.1 各因素对雪莲菌豇豆发酵品质的影响

2.1.1 盐添加量 由图 1 可知,随着盐添加量的增加,总酸含量下降,是因为发酵过程中乳酸菌活性受到了盐的抑制,盐添加量越高对乳酸菌活性的抑制作用越明显。随着盐添加量的增加,感官评分存在显著性差异($P < 0.05$),当盐添加量为 4% 时,感官评分最高为 91.5 分。综上,选择盐添加量为 3%,4%,5% 为正交试验中的 3 个水平。

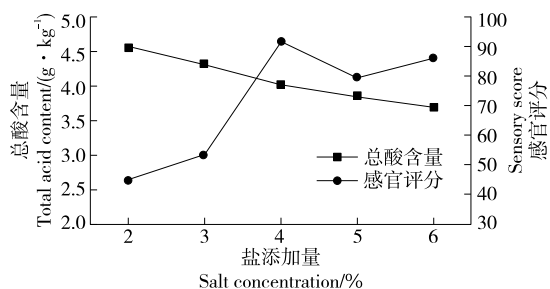


图 1 盐添加量对豇豆发酵品质的影响

Figure 1 Effect of salt concentration on the fermentation quality of cowpea

2.1.2 雪莲菌接种量 由图 2 可知,随着雪莲菌接种量的增加,总酸含量不断增加;感官评分则先升高后下降,可能是雪莲菌接种量过低,短时间内没有形成较适的发酵环境,容易产生污染,影响风味;雪莲菌接种量过高,发酵速度快致使细胞衰老,出现自溶,影响风味^[19]。当雪莲菌接种量为 1.5% 时,感官评分最高。故选择雪莲菌接种量 1.0%,1.5%,2.0% 3 个水平进行正交优化试验。

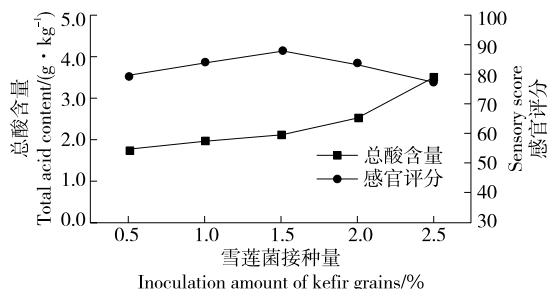


图 2 雪莲菌接种量对豇豆发酵品质的影响

Figure 2 Effect of inoculation amount of kefir grains on the fermentation quality of cowpea

2.1.3 发酵时间 由图 3 可知,随着发酵时间的延长,总酸含量不断上升,主要是因为乳酸菌生长代谢所致。随着酸的积累,泡菜的风味逐渐增强,感官评分也升高,第 4 天时感官评分最高为 82 分,总酸含量为 3.64 g/kg;但发酵时间过长,酸积累过量会使得豇豆变黏变软,感官评分下降。尚英等^[16]研究发现,接种湿法发酵酸豆角总酸含量为 0.35%时达到发酵终点,此时酸豆角品质较高,且酸度符合消费者的口感。因此,选择发酵时间 3,4,5 d 进行正交试验。

2.1.4 发酵温度 由图 4 可知,总酸含量随发酵温度的升高而升高;感官评分随发酵温度的升高先升高后降低,当发酵温度为 25 ℃时感官评分最高,为 85 分,总酸含量为 3.40 g/kg。从感官评分上看,25 ℃时的感官评分与其他发酵温度时的差异显著($P<0.05$),可能是因为发酵温度较低时,乳酸菌生长代谢均较慢,产酸积累较少,且杂

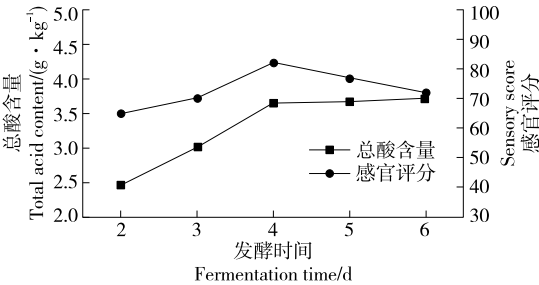


图 3 发酵时间对豇豆发酵品质的影响
Figure 3 Effect of fermentation days on the fermentation quality of cowpea

菌容易生长繁殖,最终影响成品的整体风味^[20]。综上,选择发酵温度 20,25,30 ℃进行正交优化试验。

2.2 雪莲菌发酵豇豆正交优化试验

在单因素试验基础上,以感官评分、总酸含量为考察指标,对盐添加量、雪莲菌接种量、发酵时间、发酵温度进行正交试验以确定最优的豇豆发酵条件。正交试验因素水平见表 1,试验设计及结果见表 2。

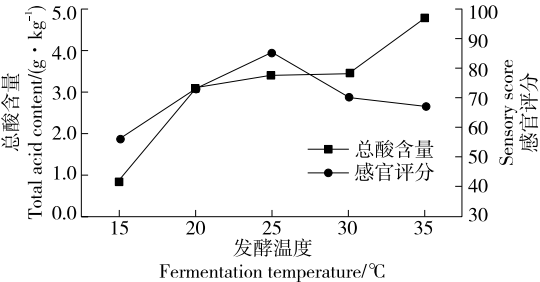


图 4 发酵温度对豇豆发酵品质的影响
Figure 4 Effect of fermentation temperature on the fermentation quality of cowpea

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Orthogonal test design

水平	A 盐添加量/ %	B 雪莲菌接 种量/%	C 发酵时 间/d	D 发酵温 度/℃
1	3	1.0	3	20
2	4	1.5	4	25
3	5	2.0	5	30

表 2 正交试验设计及结果
Table 2 Orthogonal test design and results

试验号	A	B	C	D	感官评分	总酸含量/(g · kg ⁻¹)
1	1	1	1	1	55	1.78
2	1	2	2	2	84	3.54
3	1	3	3	3	69	2.46
4	2	1	2	3	66	3.79
5	2	2	3	1	70	2.77
6	2	3	1	2	76	2.17
7	3	1	3	2	65	3.41
8	3	2	1	3	49	3.15
9	3	3	2	1	61	2.14
感官 评分	k ₁	69.33	62.00	60.00	62.00	
	k ₂	70.67	67.67	70.33	75.00	
	k ₃	58.33	68.67	68.00	61.33	
	R	12.34	6.67	10.33	13.67	
总酸 含量	k ₁	2.59	2.99	2.37	2.23	
	k ₂	2.91	3.15	3.66	3.04	
	k ₃	2.90	2.26	2.88	3.13	
	R	0.32	0.89	0.79	0.90	

由表 2 可知,感官评分的最优方案为 A₂B₃C₂D₂,即盐添加量 4%、雪莲菌接种量 2.0%、发酵时间 4 d、发酵温度 25 ℃,各因素对感官评分影响大小依次为 D>A>C>B。总酸含量的最优方案为 A₂B₂C₂D₃,即盐添加量 4%、雪莲菌接种量 1.5%、发酵时间 4 d、发酵温度 30 ℃,各因素对总酸含量影响大小依次为 D>B>C>A。由表 3 可知,各因素对总酸含量影响均为极显著(P<0.01);除雪莲菌接种量对感官评分影响为显著外(P<0.05),其他 3 个因素对感官评分影响均为极显著(P<0.01)。综合考

虑,确定豇豆发酵最佳工艺条件为盐添加量 4%,雪莲菌接种量 1.5%,发酵温度 25 ℃,发酵时间 4 d。此条件下发酵豇豆的感官评分为 87 分,总酸含量为 3.40 g/kg(*n*=3),且发酵后的豇豆色泽均匀呈金黄色,脆性较好,香气纯正扑鼻,酸咸适口,滋味鲜美。

2.3 发酵前后豇豆风味变化

泡菜的风味可以通过乳酸菌发酵进行改善^[21-22]。利用 HS-SPME-GC-MS 检测发酵前后挥发性物质含量的变化见表 4。由表 4 可知,豇豆原料中共检测出 26 种挥

表 3 正交试验方差分析表[†]
Table 3 Variance analysis

来源	平方和		自由度	方差		F 值		P 值	
	感官评分	总酸含量		感官评分	总酸含量	感官评分	总酸含量	感官评分	总酸含量
A	824.70	0.58	2	412.33	0.29	21.45	7.92	0.000	0.003
B	232.70	4.13	2	116.33	2.06	6.05	56.63	0.010	0.000
C	528.70	2.92	2	264.33	1.46	13.75	40.06	0.000	0.000
D	1 068.70	4.48	2	534.33	2.24	27.80	61.48	0.000	0.000
误差	346.00	0.66	18	19.22	0.04				
校正总计	3 000.70	12.76	26						

[†] P<0.01 代表极显著水平,P<0.05 代表显著水平。

表 4 豇豆发酵前后挥发性物质含量变化[†]

Table 4 Changes of volatile compounds content in cowpea before and after fermentation

		mg/kg		
种类	化合物	新鲜豇豆	雪莲菌发酵	自然发酵
酯类	乙酸甲酯	ND	1.42±0.04	ND
	乙酸乙酯	0.62±0.001 ^c	19.92±2.44 ^a	15.81±3.11 ^b
	丙酸乙酯	ND	0.32±0.01	ND
	二乙酸伪山梨醇酯	ND	0.07±0.02	ND
	苯乙酸庚酯	0.17±0.07	ND	ND
	异戊酸甲酯	ND	ND	0.05±0.03
	丁酸乙酯	ND	0.18±0.03	0.06±0.01
	乳酸甲酯	ND	0.63±0.15	ND
	乙酸异戊酯	ND	3.04±0.78	1.76±0.12
	乙酸-2-甲基-1-丁醇酯	ND	0.15±0.03	0.11±0.07
	2-甲氧基苯甲酸甲酯	0.14±0.02 ^a	0.08±0.00 ^b	0.07±0.00 ^b
	庚酸-2-甲基丁基酯	ND	0.16±0.01	ND
	己酸甲酯	0.06±0.002	0.52±0.16	ND
	乙酸-3-己烯-1-醇酯	ND	ND	0.79±0.06
	乙酸己酯	0.16±0.04	ND	ND
	2-甲基-1-乙烯基-1,5-二甲基-4-己烯醇丙酸酯	ND	0.13±0.08	ND
	环丙烷甲酸壬酯	ND	ND	1.41±0.14
	庚酸乙酯	ND	0.05±0.01	ND
	辛酸甲酯	ND	1.92±0.27	ND
	辛酸乙酯	ND	0.49±0.07	0.14±0.09
	壬酸甲酯	ND	0.10±0.01	0.06±0.02

续表 4

种类	化合物	新鲜豇豆	雪莲菌发酵	自然发酵
酯类	醋酸苯乙酯	ND	0.15±0.03	0.10±0.06
	癸酸甲酯	ND	0.39±0.04	0.11±0.06
	月桂酸乙酯	ND	0.16±0.02	ND
	棕榈酸甲酯	ND	ND	0.22±0.06
	总酯含量	1.15±0.06 ^c	29.88±1.86 ^a	20.69±12.10 ^b
	乙醇	ND	20.43±0.04	18.61±1.10
	异戊醇	ND	0.29±0.02	0.06±0.01
	2-甲基丁醇	ND	0.09±0.02	ND
	1-戊烯-3-醇	0.14±0.01	0.10±0.01	ND
	3-戊醇	ND	0.22±0.05	ND
醛类	异戊醇	ND	12.13±1.03	5.82±3.52
	2-甲基丁醇	ND	4.39±0.34	1.67±0.20
	3-己烯醇	9.79±0.69 ^a	1.33±0.65 ^b	1.30±0.98 ^b
	α -呋喃甲醇	ND	0.18±0.03	0.21±0.11
	正己醇	7.10±1.01 ^a	0.87±0.03 ^b	0.94±0.35 ^b
	1-庚醇	ND	0.35±0.07	ND
	1-辛烯-3-醇	ND	7.74±0.73	12.77±2.66
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	ND	0.06±0.01	0.08±0.004
	3-乙基-4-甲基戊基-1-醇	1.85±0.91 ^b	3.55±0.26 ^a	3.79±1.06 ^a
	异辛醇	0.19±0.08 ^a	0.22±0.01 ^a	0.18±0.02 ^a
	10-十二烷基-1-醇	ND	0.13±0.04	ND
	3-乙基-3-十一烷醇	0.75±0.03	1.41±0.03	ND
	辛烷硫醇	ND	0.45±0.03	0.70±0.19
	2-辛烯-1-醇	0.20±0.09 ^b	0.43±0.09 ^a	0.42±0.15 ^a
	芳樟醇	ND	2.45±0.33	2.07±0.93
	3-壬-1-醇	ND	0.42±0.04	0.41±0.03
	壬醇	ND	0.34±0.02	0.22±0.04
	总醇含量	20.02±10.57 ^c	57.57±5.96 ^a	49.27±31.25 ^b
	3-己烯醛	2.57±0.78	0.48±0.01	ND
	己醛	21.90±0.36 ^a	0.70±0.08 ^b	0.53±0.09 ^b
醛类	2-己烯醛	0.31±0.02	ND	ND
	庚醛	ND	0.18±0.03	0.15±0.09
	<i>E</i> -2-庚烯醛	ND	4.06±1.18	3.24±0.98
	苯甲醛	0.16±0.01	ND	ND
	2,4-庚二烯醛	ND	0.38±0.02	0.34±0.03
	苯乙醛	ND	0.14±0.05	ND
	壬醛	0.44±0.17	ND	ND
	(<i>E,Z</i>)-2,6-壬二烯醛	0.27±0.02	ND	ND
	壬烯醛	0.74±0.09	ND	ND
	3,5-二甲基苯甲醛	0.26±0.04	ND	ND
	4-乙基苯甲醛	ND	ND	0.14±0.01
	2-癸烯醛	ND	0.14±0.03	0.06±0.03
	总醛含量	26.64±4.36 ^a	6.09±1.35 ^b	4.46±1.22 ^c

续表 4

种类	化合物	新鲜豇豆	雪莲菌发酵	自然发酵
酮类	1-戊烯-3-酮	ND	0.14±0.02	0.10±0.05
	2-庚酮	ND	0.22±0.03	0.53±0.03
	1-辛烯-3-酮	1.33±0.73 ^b	2.13±0.23 ^a	2.29±0.67 ^a
	2,5-辛二酮	ND	0.34±0.06	ND
	2-辛酮	1.63±0.14	ND	ND
	苯乙酮	0.11±0.02	ND	ND
	2-壬酮	ND	0.17±0.02	0.30±0.02
	香叶基丙酮	ND	0.13±0.09	0.12±0.07
	总酮含量	3.07±1.18 ^c	3.30±0.72 ^b	3.35±1.56 ^a
酸类	异丁酸	ND	0.23±0.02	ND
	己酸	ND	0.11±0.03	ND
	异戊酸	ND	0.78±0.13	0.47±0.18
	辛酸	ND	0.48±0.07	ND
	总酸含量	ND	1.59±0.27	0.47±0.28
酚类	4-乙基苯酚	ND	2.22±0.85	1.10±0.91
	4-乙基愈创木酚	ND	0.57±0.05	ND
	2,4-二叔丁基苯酚	1.15±0.47 ^a	1.03±0.11 ^a	0.93±0.08 ^a
	总酚含量	1.15±0.47 ^c	3.80±0.98 ^a	2.03±0.88 ^b
烷类	戊烷	ND	0.46±0.03	0.24±0.01
	溴代十八烷	ND	0.12±0.02	0.06±0.01
	十二烷	0.10±0.01 ^b	0.21±0.03 ^a	0.17±0.04 ^a
	十四烷	0.20±0.03 ^b	0.35±0.05 ^a	0.20±0.07 ^b
	总烷含量	0.30±0.03 ^c	1.14±0.28 ^a	0.67±0.24 ^b
烯类	1,3-辛二烯	ND	0.05±0.02	0.06±0.03
	2,3-二甲基-2-己烯	ND	0.06±0.01	ND
	总烯含量	ND	0.11±0.02	0.06±0.01

† 小写字母不同表示差异显著(P < 0.05),ND表示未检测到。

发性物质,醛类和醇类是新鲜豇豆中的主要挥发性物质,与刘洪^{[12]55}的研究结果一致。发酵后共检测到挥发性物质 72 种,其中酯类、醇类、醛类、酮类、酸类、酚类、烷烃类、烯烃类分别为 23,22,8,6,4,3,4,2 种。产生的 56 种新物质中醇类和酯类最多,约占总挥发性物质的 85%,使泡菜香气更加丰富;其次是酮类和醛类。Park 等^[23]研究发现,发酵条件不同使得发酵后样品中挥发性化合物的种类和含量不同。雪莲菌发酵后各类物质的含量与自然发酵相比均较高,有 24 种物质在自然发酵中未检测到,主要是因为发酵体系中菌种不同,其代谢速率不同,致使代谢产物积累的量不同。雪莲菌发酵后挥发性物质的种类和含量更加丰富^[24-26],可为泡菜提供浓郁的香气。

豇豆发酵后醇类含量较高,主要是因为葡萄糖降解和氨基酸分解代谢所致^[27]。大多数醇类都具有明显的花果香味^[28]。其中乙醇含量最高,分别为 20.43,18.61 mg/kg。由于乙醇具有中性香气,会直接影响泡菜的整体风味,也

会影响其他风味化合物的保留^[29]。此外,异戊醇和 1-辛烯-3-醇含量较高,为泡菜香气提供重要贡献^[30]。醇类与有机酸之间相互作用生成酯类物质,其风味阈值较低,对泡菜的风味有较大的贡献。酯类中乙酸乙酯(具有香蕉和苹果香味)^[31]的含量较高,雪莲菌发酵后其含量为 19.92 mg/kg。

新鲜豇豆中的醛类含量较高,为 26.64 mg/kg,尤其是己醛。发酵后,泡菜中的醛类含量减少,但高于自然发酵的,尤其是 E-2-庚烯醛含量较高。醛类物质不稳定,易被氧化为酸或还原为醇,且浓度较高会产生异味^[32]。所以在泡菜的挥发性物质中,醛类物质含量较低。醛类的微量存在同样对泡菜的风味产生重要影响,是构成泡菜独特风味的重要成分^[20]。

酮类化合物在低浓度下仍会表现出强烈的风味^[21]。发酵后,酮类含量上升,其中 2-庚酮、1-戊烯-3-酮、香叶基丙酮和 2-壬酮具有水果、花香等香气^[33],仅在发酵后产

生,其浓度低于阈值,但仍可以协同促进泡菜的香气。

发酵后,酸类、酚类、烷类和烯类含量升高,且种类和含量高于自然发酵的,其中异戊酸、辛酸、4-乙基苯酚、2,4-二叔丁基苯酚含量较高,对泡菜香气有重要贡献。

3 结论

通过单因素试验和正交试验,得到了雪莲菌发酵豇豆的最佳工艺条件,即盐添加量 4%,雪莲菌接种量 1.5%,发酵温度 25℃,发酵时间 4 d,此条件下发酵豇豆感官评分为 87 分,总酸含量为 3.40 g/kg。经气相色谱—质谱联用检测分析,雪莲菌发酵豇豆后鉴定出 72 种挥发性物质,除醛类外,其他物质含量均升高,说明发酵后泡菜的挥发性物质较丰富。与自然发酵相比,雪莲菌发酵后的泡菜挥发性物质种类与含量均较高,其中有 24 种物质在自然发酵中未检测到,这些物质为泡菜的香气提供了重要的贡献。综上,雪莲菌发酵蔬菜具有可行性,可以改善泡菜的风味,使得发酵后的泡菜香气浓郁。泡菜发酵的特征风味不仅与风味物质的种类和含量有关,也取决于各物质的阈值,以及各物质对总体香气的贡献,后续可以通过气相色谱—嗅闻—质谱联用法,确定雪莲菌发酵豇豆的特征风味。

参考文献

- [1] 高洁,俞丹,陈岷,等.传统发酵乳开菲尔的研究进展[J].中国食品学报,2016,16(4): 204-210.
- [2] 马宇骥,李健,刘鲁蜀,等.藏灵菇研究现状及分析[J].食品工业,2016,37(16): 201-204.
- [3] GAROFALO C, OSIMANI A, MILANOVIC V, et al. Bacteria and yeast microbiota in milk kefir grains from different Italian regions[J]. Food Microbiology, 2015, 49: 123-133.
- [4] LAURA L, DAVA M, FRANCK C. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health[J]. Advances in Food & Nutrition Research, 2019, 9(1): 1-39.
- [5] 王若宇,杜丽平,刘非,等. PCR-DGGE 分析西藏雪莲菌细菌多样性[J]. 现代食品科技, 2017, 33(2): 89-94.
- [6] 陈旭峰,史改玲,樊伟鑫,等. 开菲尔直投式发酵剂在益生菌干酪生产中的应用研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(7): 35-41.
- [7] 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 Chemistry, 2010, 124(2): 627-633.
- [8] 梁莉,杜阿如娜,马涛,等. 低盐豇豆泡菜预处理工艺优化及贮藏特性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 246-251.
- [9] 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.
- [10] YANG Xiao-zhe, HU Wen-zhong, XIU Ai-li, et al. Effect of salt concentration on microbial communities, physicochemical properties and metabolite profile during spontaneous fermentation of Chinese northeast sauerkraut [J]. Journal of Applied

Microbiology, 2020, 129: 1 458-1 471.

- [11] PARK S E, SEO S H, KIM E J, et al. Effects of different fermentation temperatures on metabolites of Kimchi[J]. Food Bioscience, 2018, 23: 100-106.
- [12] 刘洪. 自然发酵与人工接种泡菜发酵过程中品质变化规律的动态研究[D]. 成都: 西华大学, 2012.
- [13] 张郁松. 接种乳酸菌发酵泡辣椒工艺研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 101-104.
- [14] 黄慧福,肖玉雪. 乳酸菌发酵对富源酸菜品质及安全性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 197-200.
- [15] 李俊健,高杰贤,林锦铭,等. 不同发酵方式对柚皮泡菜理化特性和风味的影响[J/OL]. 食品与发酵工业. (2021-04-22) [2021-05-18]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027289>.
- [16] 尚英,杜晓宏,熊荣园,等. 不同方法发酵的酸豆角品质对比分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 245-250.
- [17] 阮晖,纪晓焱,吴渊,等. 一种发酵蔬菜及其制备方法: CN102697010[P]. 2014-01-29.
- [18] WEI Jian-ping, ZHANG Yu-xiang, YUAN Ya-hong, et al. Characteristic fruit wine production via reciprocal selection of juice and non-Saccharomyces species [J]. Food Microbiology, 2019, 79: 66-74.
- [19] 陈树俊,罗佳. 开菲尔发酵复合果蔬固体饮品的制备及体外功能研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 196-201.
- [20] 洪冰,曾许珍,蒋和体. 接种发酵和自然发酵大头菜挥发性成分比较[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 75-80.
- [21] PENG Wan-ying, MENG Diao-qin, YUE Tian-li, et al. Effect of the apple cultivar on cloudy apple juice fermented by a mixture of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, and *Lactobacillus fermentum*[J]. Food Chemistry, 2021, 340: 127922.
- [22] XIONG Tao, GUAN Qian-qian, SONG Su-hua, et al. Dynamic changes of lactic acid bacteria flora during Chinese sauerkraut fermentation[J]. Food Control, 2012, 26(1): 178-181.
- [23] PARK S E, SEO S H, KIM E J, et al. Changes of microbial community and metabolite in kimchi inoculated with different microbial community starters[J]. Food Chemistry, 2019, 274: 558-565.
- [24] CHOI Y J, YONG S, LEE M J, et al. Changes in volatile and non-volatile compounds of model kimchi through fermentation by lactic acid bacteria[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 105: 118-126.
- [25] LIANG Hui-peng, HE Zhen, WANG Xin-yi, et al. Bacterial profiles and volatile flavor compounds in commercial suancai with varying salt concentration from Northeastern China[J]. Food Research International, 2020, 137: 369-384.
- [26] 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): 94-100.
- [27] CHEN Chen-lu, LU Yan-qing, YU Hai-yan, et al. Influence of 4 lactic acid bacteria on the flavor profile of fermented apple juice[J]. Food Bioscience, 2019, 27: 30-36.
- [28] 屠梦婷. 发酵黄瓜中酵母的分离鉴定及其对发酵黄瓜风味的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018: 43-53.

(下转第 232 页)

定。结果表明,黑木耳产区对 13 种营养成分含量的影响顺序为锌>铁>钙>粗脂肪>粗多糖>总糖>膳食纤维>不饱和脂肪酸>总脂肪酸>必需氨基酸>粗蛋白>总氨基酸>灰分。主成分分析表明,从 13 种营养成分中提取出 4 个主成分,其累计贡献率达 81.52%,可较好反映出市售 15 个产区黑木耳营养品质的综合信息。铁、锌、总脂肪酸、粗多糖和灰分含量可以作为市售 15 个产区黑木耳营养综合评价的指标。根据各产区黑木耳品质综合评价 D 值可知,新疆、黑龙江、河北和江西的黑木耳品质较好,其 D 值分别为 0.68,0.67,0.66,0.66,四川和甘肃的黑木耳品质较差,其 D 值分别为 0.16,0.15。聚类分析将市售 15 个产区黑木耳营养品质划分为四大类,其品质依次降低。第 I 类包括新疆、黑龙江、河北和江西;第 II 类包括,吉林、内蒙古、辽宁、西藏和浙江;第 III 类包括湖北、陕西、贵州和云南;第 IV 类包括四川和甘肃。

参考文献

- [1] 杨波, 杨浪, 周建波. 黑木耳的生理活性及加工产品的研究进展[J]. 现代食品, 2020(8): 78-81.
- [2] 徐安然, 付永平, 王延锋, 等. 黑木耳部分种质资源 SSR 分子身份证的构建[J]. 农业生物技术学报, 2017, 25(12): 1 930-1 939.
- [3] 李江宇, 迟蔚, 刘斌, 等. 我国黑木耳产业经济发展现状及生产效益对比分析[J]. 食用菌, 2019, 41(6): 6-8, 10.
- [4] 冯小飞, 赵宁. 不同产地黑木耳总膳食纤维及油脂含量分析[J]. 黑龙江农业科学, 2016(2): 122-125.
- [5] YUAN Zuo-min, HE Pu-ming, CUI Jian-hui, et al. Hypoglycemic effect of water soluble polysaccharide from *Auricularia auricula-judae* Quel on genetically diabetic KK-Ay mice[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 1998, 62(10): 1 898-1 903.
- [6] 赵玉红, 林洋, 张智, 等. 碱溶酸沉法提取黑木耳蛋白质研究[J].

食品研究与开发, 2016, 37(16): 32-36.

- [7] XU Shu-qin, XU Xiao-juan, ZHANG Li-na. Branching structure and chain conformation of water soluble glucan extracted from *Auricularia auricula-judae*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(13): 3 498-3 506.
- [8] 刘文贺, 苏玲, 王琦. 不同产区黑木耳中营养成分比较分析[J]. 北方园艺, 2020(5): 121-128.
- [9] 王军鹏, 曹丽玲. 猪肉和牛肉中铁锌含量的研究[J]. 医学动物防制, 2011, 27(5): 488-490.
- [10] 王鹏, 郭丽, 姜喆, 等. 黑木耳中多糖和类黄酮的隔氧提取及其协同抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 54-58, 63.
- [11] 郭智高, 郑琪. 近年来黑木耳生理活性的研究进展[J]. 广东化工, 2018, 45(5): 167-168.
- [12] 赵玉红, 林洋, 张立钢, 等. 黑木耳多糖高剪切分散乳化法与酶法提取的比较研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 181-186.
- [13] 郭嘉贵, 石树磊, 谢滔, 等. 基于主成分分析的黑龙江省不同来源地黑木耳营养品质评价[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(6): 94-100.
- [14] 王丽艳, 唐金敏, 郑桂萍, 等. 水稻萌发期和幼苗期耐低温指标体系构建及综合评价[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(10): 58-65.
- [15] 荆瑞勇, 王丽艳, 郑桂萍, 等. 水稻萌发期和幼苗期耐盐性鉴定指标筛选及综合评价[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2019, 31(6): 1-6, 19.
- [16] 王丽艳, 荆瑞勇, 郭永霞, 等. 基于氨基酸含量的市售 14 种食用蘑菇的综合评价[J]. 食品科学. (2020-04-27) [2021-01-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200427.1626.026.html>.
- [17] 荆瑞勇, 卫佳琪, 王丽艳, 等. 基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 179-184.
- [18] 丁倩, 石玉, 甄润英. 不同授粉品种绿宝苹果主要营养品质及主成分分析[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 54-57.

(上接第 52 页)

- [23] OKAFOR A C, NWOGUH T O. A study of viscosity and thermal conductivity of vegetable oils as base cutting fluids for minimum quantity lubrication machining of difficult-to-cut metals[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 106(3/4): 1 121-1 131.
- [24] 陈奇, 何理旭, 陈贤龙, 等. 一种基于 SVM 的新型地沟油检测

方法及检测装置: CN109871887A[P]. 2019-06-11.

- [25] GE Fen, WU Ning, XIAO Hao, et al. Compact convolutional neural network accelerator for IoT endpoint SoC[J]. Electronics, 2019, 8(5): 497-511.
- [26] CROCIONI G, PAU D, DELORME J M, et al. Li-Ion batteries parameter estimation with tiny neural networks embedded on intelligent IoT microcontrollers[J]. IEEE Access, 2020, 8: 122 135-122 146.

(上接第 182 页)

- [29] 李俊, 卢扬, 赵刚, 等. 苦荞芽苗茶饮料发酵前后营养、风味及抗氧化活性的变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 187-192.
- [30] QIN Zi-han, PETERSEN M A, BREDIE W L P. Flavor profiling of apple ciders from the UK and Scandinavian region[J]. Food Research International, 2018, 105: 713-723.
- [31] 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: 36-44.

- [32] DI C R, FILANNINO P, GOBBETTI M. Lactic acid fermentation drives the optimal volatile flavor-aroma profile of pomegranate Juice[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 248: 56-62.
- [33] 雷文平, 周辉, 周杏荣, 等. SPME-GC-MS 结合组学技术分析发酵椰奶特征风味与风味物质相关性[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 42-47.