

金枪鱼鱼白的植物乳杆菌发酵脱腥增香作用研究

黄忠白¹ 明庭红¹ 董丽莎¹ 韩姣姣¹ 孙婷婷¹ 何珊¹
张迪骏¹ 黄健² 周君¹ 李晔¹ 苏秀榕^{1*}

(¹ 宁波大学海洋学院 浙江宁波 315211

² 北京普析通用仪器有限责任公司 北京 101200)

摘要 目的:利用植物乳杆菌发酵金枪鱼鱼白来改善其风味,研究脱腥增香的效果,为水产品加工提供参考。方法:利用主成分分析(PCA)和特征风味雷达图来确定新鲜鱼白和发酵不同时间的鱼白及其发酵液的挥发性物质变化趋势,采用顶空固相微萃取与气-质联用仪(HS-SPME-GC-MS)对这个过程中的挥发性风味成分进行分析,结合感觉阈值,相对气味活度值(ROAV)确定发酵鱼白的主体风味成分。结果:PCA和雷达图显示新鲜鱼白与发酵鱼白的气味差异明显,发酵液的气味变化相对较小,较稳定。通过GC-MS在新鲜鱼白、种子发酵液、发酵12h、24h、36h和48h的鱼白及其发酵液中分别检测出22,13,12,23,35,34,11,13,15,17种挥发性物质。经过发酵的鱼白中庚醛、己醛、1-辛烯-3-醇等具有腥味的物质减少,具有奶香气味的己酸、2,3-丁二酮、乙偶姻等物质含量增加。这些物质是发酵鱼白中的主体风味物质。结论:植物乳杆菌发酵鱼白24h后,其风味得到改善,脱腥增香的效果非常明显。

关键词 金枪鱼鱼白;植物乳杆菌;固相微萃取;气-质联用仪;相对气味活度值
文章编号 1009-7848(2019)02-0147-08 doi: 10.16429/j.1009-7848.2019.02.019

金枪鱼类是硬骨鱼纲、鲈形目、鲭科鱼类中具有胸甲的几个属鱼类的总称,又称鲭鱼、吞拿鱼,是一种生活在海洋的中上层水域的高度洄游性鱼类。近年来,全世界每年金枪鱼消费量在300万t以上,我国每年20万t左右,而且逐年上升^[1]。众所周知,金枪鱼的营养价值高,富含蛋白质、脂肪、维生素A、D和微量元素,含有大量的二十二碳六烯酸(DHA)。目前,金枪鱼肉用来做罐装食品,其加工过程会产生大量的精巢(鱼白),富含鱼精蛋白,具有一定的利用价值。因鱼白的腥味极大,故难以得到有效的利用。尝试对其风味进行改良,便于后续加工利用。

植物乳杆菌属于人体益生菌,能够去除水产品的腥味和异味,产生特殊的香味,能够提高发酵

肉的感官品质^[2-3]。裘迪红等^[4]利用植物乳杆菌发酵草鱼肉,在整个发酵过程中,有土腥味的己醛、庚醛等醛类物质逐渐减少,后期产生了有薄荷香味的丙酮,以及有奶油香味的乙偶姻等增香成分。蔡敬敬等^[5]利用乳酸菌发酵鲢鱼,以此改善鲢鱼的风味。本试验利用植物乳杆菌来发酵金枪鱼鱼白,结合电子鼻和顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, SPME)-气-质联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术来探究发酵过程中腥味物质和香味成分的变化情况。结合感觉阈值,通过计算相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)确定发酵条件,为金枪鱼鱼白进一步加工利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

金枪鱼鱼白取自宁波今日食品有限公司。植物乳杆菌从泡菜中分离鉴定获得,其鉴定号为JX025073.1。蒙牛纯牛奶(全脂灭菌乳),购于宁波大学农贸加贝超市。

PEN3型电子鼻,德国Airsense公司;GC-MS

收稿日期:2018-02-10

基金项目:海洋经济创新发展区域示范项目(2013710);宁波市科技局农业与社发重大科技项目(2010C10040);宁波市教育局重点学科资助项目(szx11070)。

作者简介:黄忠白,男,1992年出生,硕士生

通讯作者:苏秀榕 E-mail: suxiurong@nbu.edu.cn.

联用仪(7890/M7-80),美国 Agilent 公司、北京普析通用仪器有限责任公司;萃取头(65 μ m PDMS),美国 Supelco 公司。

1.2 方法

1.2.1 种子发酵液的制备 取 1 mL 保存于液体培养基的植物乳杆菌于全脂灭菌乳中,37 $^{\circ}$ C 摇床培养 24 h,制得种子发酵液。

1.2.2 样品制备 取 4 个锥形瓶,每瓶中加入 20 g 金枪鱼鱼白。在无菌条件下,往锥形瓶中加入 20 mL 的种子发酵液,将瓶口密封,置于 37 $^{\circ}$ C 恒温培养箱中分别发酵 12,24,36 h 和 48 h。

在无菌条件下从 4 个锥形瓶中分别取出 0.2 g 鱼白和 0.5 mL 发酵液放入样品瓶中,每个样品重复取样 5 组,同时取 0.2 g 新鲜鱼白、0.5 mL 种子发酵液,重复取样 5 组,用于电子鼻的检测。

在同样条件下取样,置于 15 mL SPME 顶空瓶中,密封 30 min 后,将经老化处理的 65 μ m PDMS 萃取头插入顶空瓶中,60 $^{\circ}$ C 顶空微萃取 30 min 后移入气-质联用仪进样口,于 250 $^{\circ}$ C 解吸 2 min,进行 GC-MS 分析。

1.2.3 电子鼻检测 样品进样流量 300 mL/min,载气流量 300 mL/min,测量时间 200 s,清洗时间 500 s。

1.2.4 GC-MS 分析 色谱条件:DB-5 毛细管色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 2.5 μ m);载气:He,流速 0.3 mL/min;不分流模式进样,恒压 35 kPa;进样口温度与接口温度均为 220 $^{\circ}$ C;程序升温:起始柱温 50 $^{\circ}$ C,以 5 $^{\circ}$ C/min 升至 200 $^{\circ}$ C,保留 5 min,再以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 250 $^{\circ}$ C,保持 2 min。

质谱条件:离子源:电子轰击源(EI);电子能量:70 eV;离子源温度:230 $^{\circ}$ C;扫描质量范围:45~500 u。

1.2.5 数据分析 运用电子鼻配套的 WinMuster 软件进行分析。电子鼻数据信号采集时间为 200s,取稳定后的第 199~200 秒进行主成分分析,通过 Origin9.0 软件绘制雷达图,分析传感器的响应值差异^[6]。

气-质谱检测所得数据采用计算机检索谱库 WILEY 及 NIST 处理,并参考有关文献来确定检出成分,最后通过面积归一化法确定各挥发性物质的相对质量分数。

1.2.6 主体风味成分的评价方法 参照刘登勇等^[7-8]评价方法,采用相对气味活度值的方法评价各化合物对样品总体风味的贡献。对样品总体风味贡献最大的组分定义为:ROAV_{stan}=100,对其它挥发性风味成分的 ROAV 计算公式:

$$ROAV_i \approx 100 \times \frac{C_{ri}}{C_{rstan}} \times \frac{T_{stan}}{T_i}$$

式中, C_{ri} 、 T_i ——分别是各挥发性风味物质的相对含量(%)和相应的感觉阈值(μ g/kg); C_{rstan} 、 T_{stan} ——分别是对样品总体风味贡献最大(OAV 值最高)组分的相对含量(%)和相应的感觉阈值(μ g/kg)。定义 ROAV \geq 1 的挥发性风味成分为主体风味成分,对样品总体风味起关键作用。

2 结果与讨论

2.1 金枪鱼鱼白及其发酵液的气味变化

图 1a 为植物乳杆菌发酵金枪鱼鱼白的电子鼻 PCA 分析图。图中每个图形代表发酵不同时间后鱼白的数据采集点。经分析可知,PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 96.05%和 2.41%,总贡献为 98.46%,表明 PCA 可用于区分不同发酵时间鱼白的主要气味特征。发酵鱼白与新鲜鱼白的气味差异很大,说明鱼白的气味经过发酵产生明显变化。发酵 12,24,36 h 的鱼白样品分布发生部分重叠,而发酵 48 h 的鱼白样品没有重叠,说明发酵前期鱼白的气味变化小,较相近;发酵后期鱼白出现变化。

图 1b 为不同传感器对发酵鱼白的响应值雷达图。可以看出,发酵鱼白和新鲜鱼白的整体轮廓存在显著差异。W3C、W6S 和 W3S 传感器的响应值基本无差异;W1C、W1S 和 W2S 传感器的响应值差异较明显,且发酵鱼白的响应值都低于新鲜鱼白。W1C、W1S 和 W2S 传感器分别对芳香类、甲烷类和醇类物质敏感,表明植物乳杆菌发酵鱼白产生这 3 类物质。W1W 传感器主要对硫化物敏感,新鲜鱼白和发酵前期鱼白的响应值基本无变化;发酵后期后期响应值大幅度增加,可能是由于发酵时间过长,硫化物含量增加。

由发酵液的 PCA 分析图(图 1c)可知,第 1 主成分的贡献率为 77.34%,第 2 主成分的贡献率为 7.86%,总贡献率为 85.20%。种子发酵液没有和其

它发酵液发生重叠,说明种子发酵液和其它发酵液之间存在差异。由于发酵液的总贡献率偏低,说明原发酵液和其它发酵液的差异较小。图 1d 为不同传感器对发酵液的响应值雷达图。种子发酵液和其它发酵液的整体轮廓较为相似,差异不显著,

与 PCA 分析结果一致。其微小差异主要存在于 W1C 和 W2S 传感器的响应值。经 12,24,36 h 和 48 h 发酵,发酵液中的芳香类和醇类物质增加。用发酵液浸泡鱼白,两者相互作用,使得发酵液的成分发生变化。

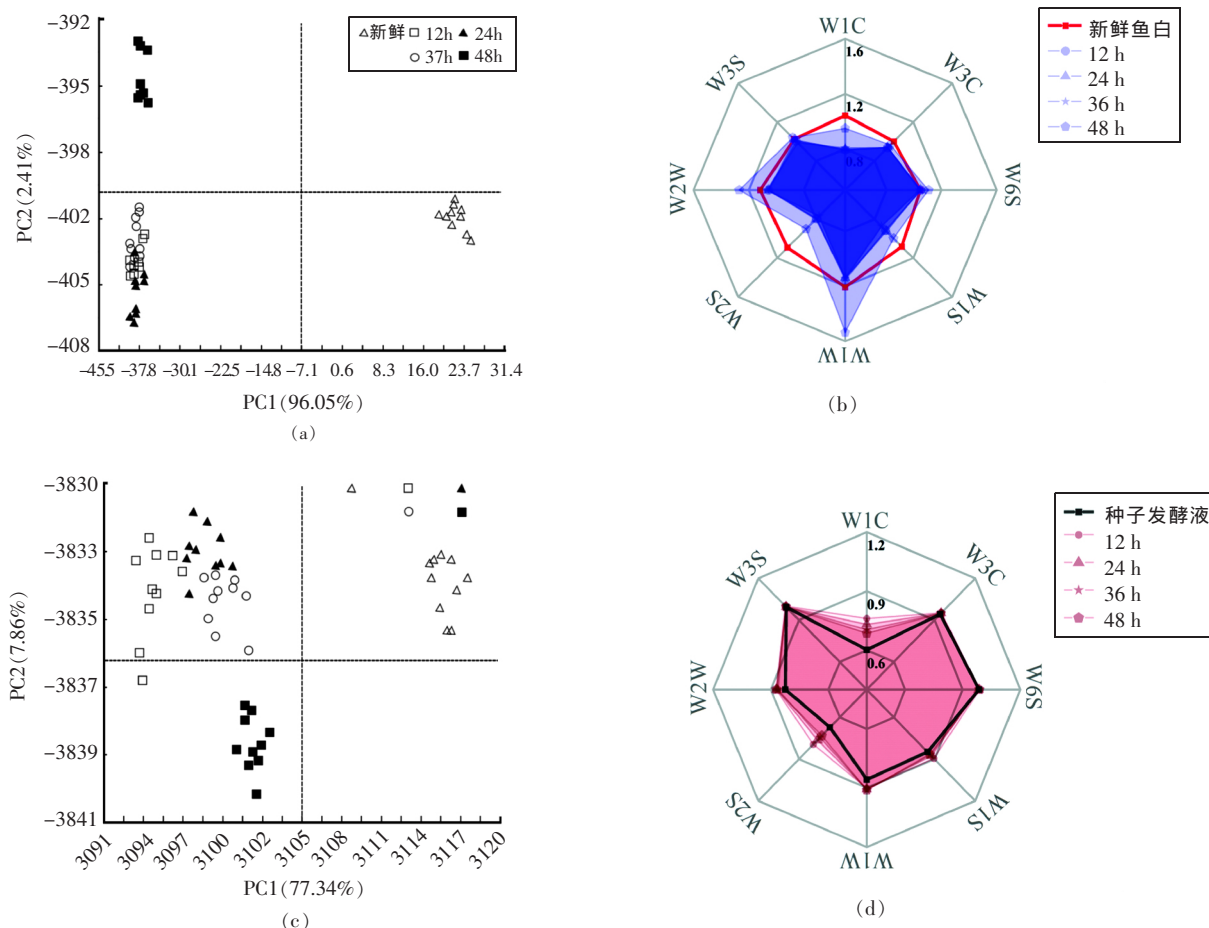


图 1 金枪鱼鱼白及其发酵液的气味变化

Fig.1 The change of smell in milt of Tuna and its fermented liquid

2.2 金枪鱼鱼白及其发酵液中的挥发性物质

由 GC-MS 分析新鲜鱼白以及发酵 12,24,36 h 和 48 h 的鱼白,分别从中鉴定出 22,12,23,35 和 34 种挥发性物质。种子发酵液以及经 12,24,36 h 和 48 h 的发酵液中分别鉴定出 13,11,13,15,17 种挥发性物质,其中主要包括醛类、醇类、酮类、酸类和烃类等化合物。

发酵不同阶段的鱼白及其发酵液的挥发性成分变化如图 2 和表 1 所示。新鲜的鱼白中烃类物

质占主要部分(55.19%),其次含量较高是醇类物质(30.15%)和醛类物质(11.41%),未检出酸类物质。经植物乳杆菌发酵 24 h 后,鱼白中的酸类物质占主要成分,达到 64.64%。醇类、醛类和烃类物质都明显减少,酮类物质从 2.23%增加到 34.07%。随着发酵时间的延长,醛类、醇类和呋喃类物质含量增加,酸类和酮类物质含量减少。

种子发酵液中的物质较单一,主要是酸和酮两大类物质,分别占 35.15%,57.49%。经发酵后,

发酵液中的主导成分未发生变化,只是酸类物质、醇类及一些硫化物等代谢物质出现。含量有所增加,酮类物质含量减少;同时醛类、烃

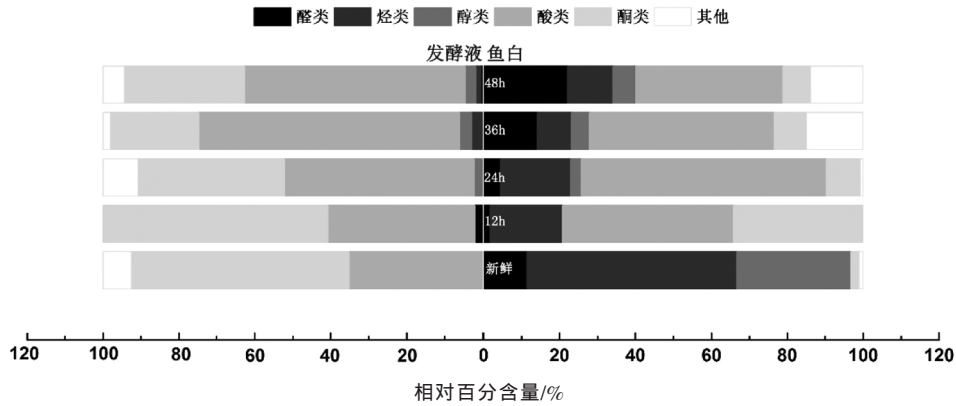


图2 不同发酵时间的鱼白及其发酵液的挥发性物质变化

Fig.2 The change of volatile compounds in milt and its fermented liquid during different fermentation time

表1 鱼白及其发酵液中挥发性成分的相对含量和感觉阈值

Table 1 Relative content of volatile compounds and sensory threshold in milt and its fermented liquid during different fermentation time

化合物名称	感觉阈值/ g·kg ⁻¹	新鲜 鱼白	不同阶段的鱼白				种子 发酵液	不同阶段的发酵液			
			12h	24h	36h	48h		12h	24h	36h	48h
醛类		11.41	1.71	4.42	14.16	22.15	0.00	2.05	0.00	0.00	0.47
(E)-2-戊烯醛		-	-	-	-	0.71	-	-	-	-	-
(E)-2-辛烯醛	3	-	-	-	0.91	3.67	-	-	-	-	-
(E, E)-2,4-庚二烯醛	10	-	-	0.71	2.93	5.27	-	-	-	-	-
(E, E)-2,4-己二烯醛		-	-	-	-	0.38	-	-	-	-	-
十一醛		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.47
2-己烯醛		-	-	-	0.87	1.26	-	-	-	-	-
2-壬烯醛		-	-	-	-	0.36	-	-	-	-	-
庚醛	3	2.27	-	0.31	0.91	0.91	-	-	-	-	-
己醛	4.5	7.32	1.71	2.78	7.35	9.59	-	-	-	-	-
壬醛	1	1.82	-	0.62	0.46	-	-	2.05	-	-	-
戊醛	3	-	-	-	0.74	-	-	-	-	-	-
烃类		55.19	18.99	18.40	8.86	11.89	0.00	0.00	0.00	2.89	1.30
2,2,4-三甲基戊烷		-	-	-	-	1.56	-	-	-	-	-
(3Z, 5Z)-1,3,5-辛三烯		2.87	-	-	0.55	-	-	-	-	-	-
(Z)-4-庚烯		-	-	-	0.59	0.51	-	-	-	-	-
(E, Z)-2,6-壬二烯		-	-	-	0.82	1.19	-	-	-	-	-
2,4-辛二烯		3.75	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-
3,5,5-三甲基-2-己烯		-	-	-	1.87	-	-	-	-	-	-
3-甲基-1,4-庚二烯		3.46	-	-	0.76	-	-	-	-	-	-
5-甲基-1-己炔		-	-	0.78	-	-	-	-	-	-	-
5-甲基-2-庚烯		2.00	-	-	-	1.55	-	-	-	-	-

(续表 1)

化合物名称	感觉阈值/ g·kg ⁻¹	新鲜 鱼白	不同阶段的鱼白				种子 发酵液	不同阶段的发酵液			
			12h	24h	36h	48h		12h	24h	36h	48h
丁羟甲苯		1.98	-	-	-	0.85	-	-	-	-	-
十二烷		3.88	-	1.22	-	-	-	-	-	-	-
十五烷		35.18	16.42	15.69	3.26	3.59	-	-	-	2.40	-
十一烷		-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	-
四十四烷		-	-	0.42	0.23	-	-	-	-	-	-
亚乙基环辛烷		-	-	-	-	3.49	-	-	-	-	-
3-乙基-5-(2-乙基丁基)-十八烷		1.74	2.56	0.29	-	-	-	-	-	-	1.30
醇类		30.15	0.00	2.88	4.82	6.04	0.00	0.00	2.21	3.14	2.87
(E)-2-辛烯-1-醇	40	5.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Z)-2-戊烯-1-醇	89.2	-	-	-	-	0.43	-	-	-	-	-
1-环戊基-2-丙烯-1-醇		12.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-己醇	250	-	-	-	0.61	-	-	-	-	-	1.13
1-戊醇	4 000	1.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-戊烯-3-醇	400	3.73	-	1.20	2.95	3.51	-	-	-	-	-
1-辛烯-3-醇	1	1.81	-	-	1.26	0.91	-	-	-	-	-
2-呋喃甲醇		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
2-乙基-1-己醇	2.7×10 ⁵	-	-	-	-	-	-	-	2.21	-	0.74
3-环己烯-1-乙醇		-	-	0.60	-	0.76	-	-	-	-	-
3-甲基-2-丁醇		-	-	-	-	-	-	-	-	2.46	-
3-戊醇		5.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-甲基-1-戊醇		-	-	-	-	0.42	-	-	-	0.67	-
5-甲基-1-己烯-3-醇		-	-	1.08	-	-	-	-	-	-	-
酸类		0.00	45.08	64.64	48.66	38.77	35.15	38.71	50.01	68.81	58.09
丁酸		-	21.39	25.74	21.16	17.45	0.54	-	16.18	21.02	16.09
己酸	0.42	-	18.34	32.14	22.54	17.06	7.29	13.26	18.58	35.81	23.11
乳酸		-	-	-	0.74	-	-	-	-	-	-
戊酸		-	-	-	-	0.56	-	-	-	-	-
辛酸	0.5	-	1.23	2.51	1.81	1.60	0.95	1.29	2.09	4.28	3.11
乙酸	2.2×10 ⁴	-	4.13	4.24	2.41	2.10	26.36	24.17	13.16	7.71	15.78
酮类		2.23	34.07	8.91	8.59	7.37	57.49	59.23	38.61	23.31	31.67
乙偶姻	55	-	28.35	6.23	3.29	2.10	34.95	39.37	22.67	12.72	23.53
2-十一酮	7	-	-	-	-	-	0.38	-	-	0.58	-
2,3-丁二酮	2.3	-	5.71	0.59	1.27	1.61	-	2.38	2.06	0.64	1.52
2-庚酮	140	-	-	1.63	1.84	1.07	15.24	12.22	6.68	6.40	3.30
2-壬酮	38.9	-	-	0.46	0.87	0.69	4.09	3.44	4.56	2.97	2.68
2-十二烷酮		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65
2-戊酮		-	-	-	-	-	2.83	1.82	-	-	-
3,5-辛二烯-2-酮		-	-	-	1.32	1.90	-	-	-	-	-
3-甲基-2-丁酮		-	-	-	-	-	-	-	2.64	-	-
3-戊酮		2.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(续表 1)

化合物名称	感觉阈值/ g·kg ⁻¹	新鲜 鱼白	不同阶段的鱼白				种子 发酵液	不同阶段的发酵液			
			12h	24h	36h	48h		12h	24h	36h	48h
其它		1.35	0.15	0.75	14.90	13.77	7.36	0.00	9.17	1.85	5.60
2-乙基呋喃	2.3	-	-	-	3.86	3.95	-	-	-	-	-
3,4-二氢-2H-吡喃		-	-	-	0.74	-	-	-	-	-	-
2-戊基呋喃	6	1.01	-	-	3.27	-	-	-	-	-	-
(E)-2-(2-戊烯基)呋喃		-	-	-	4.84	7.73	-	-	-	-	-
异胆酸乙酯		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.48
正己酸乙烯酯		-	-	-	0.53	2.09	-	-	-	-	-
醋酸乙烯酯		-	-	0.22	-	-	1.90	-	-	-	-
2-羟基丙酰胺		-	-	-	-	-	-	-	2.18	-	-
二甲基三硫化物		0.10	0.15	0.53	1.66	-	-	-	6.99	1.85	-
亚硝基甲烷		0.24	-	-	-	-	5.46	-	-	-	5.12

2.3 鱼白中主体挥发性物质 ROAV 分析

挥发性物质的浓度和感觉阈值共同决定总体风味^[9-10]。为进一步确定鱼白的主体风味成分,结合表 1 所示挥发性成分的相对含量和感觉阈值,通过 ROAV 计算公式,得到表 2 中发酵不同时间鱼白的相对气味活度值。选择相对含量较高以及感官阈值较低的挥发性物质,将其相对气味活度值定义为 100。新鲜鱼白中定义壬醛的相对气味活度值 $ROAV_{stan}=100$; 发酵 12, 24, 36h 和 48h 的鱼白定义己酸的相对气味活度值 $ROAV_{stan}=100$ 。其它挥发性风味化合物的相对气味活度值按公式计算,得到不同发酵时间鱼白的主体风味成分,并对其中的重要风味化合物的气味特征进行描述。其中所有组分均满足 $0 \leq ROAV \leq 100$, 且 ROAV 值越大的组分对样品总体风味的贡献也越大^[11]。

不同种类挥发性风味成分的感觉阈值差异巨大,直接影响挥发性风味成分对食品总体风味的影响。其中,醛类化合物能产生原生、浓郁的气味,醇类能产生品质柔和的气味,均为鱼肉的重要贡献因素^[12-13]。

醛类化合物的感觉阈值普遍较低,其中庚醛、己醛和壬醛的感觉阈值依次为 3, 4.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。新鲜的鱼白中 ROAV 值较高,是其主体风味成分。在发酵后的鱼白中也检出庚醛、己醛和壬醛,其 ROAV 值均较小。这 3 种物质通常呈现出青草味和鱼腥味,并带有油、蜡的特征性气味^[14],是

新鲜鱼白产生腥味的重要原因。

在新鲜鱼白中检出 1-戊醇、1-戊烯-3-醇、(E)-2-辛烯-1-醇和 1-辛烯-3-醇,其中 1-戊醇和 1-戊烯-3-醇的感觉阈值较高,对应的 ROAV 值小于 1,说明其对新鲜鱼白的风味形成无实际作用。(E)-2-辛烯-1-醇和 1-辛烯-3-醇的 ROAV 分别为 7.26 和 99.45,对新鲜鱼白风味的形成贡献较大。发酵鱼白中主要检出 1-辛烯-3-醇,其对风味有一定的贡献。它是一种亚油酸的氢过氧化物的降解产物,具有类似蘑菇、泥土的气味,普遍存在于淡水鱼及海水鱼的挥发性物质中,与新鲜鱼白的特征气味相关^[15-16]。

酮类物质通常具有特殊的香气,对发酵鱼白特殊香味的形成起着重要作用^[17-18]。发酵鱼白中检出乙偶姻、2,3-丁二酮、2-庚酮和 2-壬酮。由于 2-庚酮、2-壬酮在发酵鱼白中的相对气味活度值均小于 1,所以对鱼白的风味贡献不显著。2,3-丁二酮是一种具有强烈奶油香味的重要香料,它是乳杆菌通过葡萄糖代谢途径生成的重要中间代谢产物丙酮酸,是利用非酶氧化脱羧作用而产生的^[19]。其对发酵鱼白的风味贡献较大,且随着发酵时间的延长,其贡献减弱。乙偶姻化学名为 3-羟基-2-丁酮,具有令人愉悦的奶油香味,它是乳杆菌经糖酵解途径合成丙酮酸,在 α -乙酰乳酸合成酶的作用下生成乙酰乳酸和二氧化碳,随后乙酰乳酸经 α -乙酰乳酸脱羧酶脱羧作用而产生的^[20]。发酵时

间越长,其风味贡献越弱。

利用植物乳杆菌发酵鱼白,产生一些酸类物质,包括乙酸、己酸和辛酸。乙酸的感觉阈值极高,

ROAV 偏低,对发酵鱼白风味无实际作用。己酸和辛酸的 ROAV 值均大于 1,是发酵鱼白主体风味成分,其主要呈现奶酪香、水果香和酸奶香气。

表 2 发酵鱼白不同阶段主要挥发性风味成分的相对气味活度值及其气味特征
Table 2 The relative odor activity value and their odor characteristics during the different times of fermentation milt

化合物名称	感觉阈值/ g·kg ⁻¹	相对气味活度值(ROAV)					风味描述
		新鲜鱼白	12h	24h	36h	48h	
(E)-2-辛烯醛	3.00	-	-	-	0.57	3.01	脂肪味、肉香味
(E, E)-2,4-庚二烯醛	10.00	-	-	<0.1	0.55	1.30	脂香、青香
庚醛	3.00	41.59	-	0.13	0.57	0.74	鱼腥味
己醛	4.50	89.41	0.87	0.81	3.04	5.25	青草味
壬醛	1.00	100.00	-	0.81	0.85	-	青草味、脂肪味
戊醛	3.00	-	-	-	0.46	-	辛辣味、果香
(E)-2-辛烯-1-醇	40.00	7.26	-	-	-	-	脂肪味、酸败味
1-己醇	250.00	-	-	-	<0.1	-	新鲜的、脂肪香
1-戊醇	4 000.00	<0.1	-	-	-	-	酒香、醚香
1-戊烯-3-醇	400.00	0.51	-	-	<0.1	<0.1	类似蘑菇香气
1-辛烯-3-醇	1.00	99.45	-	1.57	5.50	8.65	类似蘑菇香气、泥土味
己酸	0.42	-	100.00	100.00	100.00	100.00	奶酪、水果香
辛酸	0.50	-	5.64	6.56	6.74	7.88	水果香、花香
乙酸	2.2×10 ⁴	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	酸味
乙偶姻	55.00	-	1.19	0.15	0.11	<0.1	令人愉快的奶香气
2,3-丁二酮	2.30	-	5.69	0.34	1.03	1.72	强烈奶油香味
2-庚酮	140.00	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	水果香
2-壬酮	38.90	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	果香、甜香、青香、奶油香
2-乙基呋喃	2.30	-	-	-	3.13	4.23	豆香、面包香、麦芽味
2-戊基呋喃	6.00	9.27	-	-	1.02	-	豆香、麦芽味

3 结论

植物乳杆菌发酵使金枪鱼鱼白的风味发生变化。新鲜鱼白中的庚醛、己醛、壬醛、(E)-2-辛烯-1-醇、1-辛烯-3-醇和 2-戊基呋喃 ROAV 值均大于 1,且呈土腥味、青草味、泥土味及豆香味。经植物乳杆菌发酵后,产生具有奶油香气的己酸、辛酸、乙偶姻和 2,3-丁二酮物质,发酵 24h 鱼白的主体风味最佳。

参 考 文 献

- [1] 段振华,王素华.金枪鱼的加工利用技术研究进展[J].肉类研究,2013,27(8):35-38.
- [2] 肖仔君,钟瑞敏,陈惠音,等.植物乳杆菌的生理功能与应用[J].中国食品添加剂,2005,27(2):

87-89.

- [3] CHOI E A, CHANG H C. Cholesterol-lowering effects of a putative probiotic strain *Lactobacillus plantarum* EM isolated from kimchi[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 210-217.
- [4] 袁迪红,欧昌荣,苏秀榕,等.植物乳杆菌发酵草鱼肉挥发性成分的变化规律[J].食品科学,2015,36(20):174-180.
- [5] 蔡敬敬,徐宝才.乳酸菌发酵鱼的研制[J].肉类工业,2008,29(11):22-24.
- [6] AMY L, SILVIA C, GANESH K M, et al. Electronic noses for food quality: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 144(1): 103-111.
- [7] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J].食品科学,2008,29(7):370-374.

- [8] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 腊肠主体风味物质及其分析新方法[J]. 肉类研究, 2011, 25(3): 15-20.
- [9] 丁浩宸, 阮东娜, 江银梅, 等. 高值海水鱼糜熟制后挥发性风味的分析及对比[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 163-169.
- [10] 刘婷婷, 马岩石, 李娜, 等. 全果发酵与果渣发酵对欧李果酒香气特征的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 99-104.
- [11] 杨倩倩, 邱杨, 余以刚, 等. 养殖大黄鱼脱脂脱腥处理前后挥发性成分的变化[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 206-210.
- [12] YANG W, YU J, PEI F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 196(6): 860-866.
- [13] 王求娟, 郑珍珍, 蔺佳良, 等. 利用传统酒酿发酵改善鲤鱼风味[J]. 中国食品学报, 2015, 15(7): 203-211.
- [14] ZENG X F, XIA W S, JIANG Q X, et al. Effect of autochthonous starter cultures on microbiological and physicochemical characteristics of Suan yu, a traditional Chinese low salt fermented fish[J]. Food Control, 2013, 33(2): 344-351.
- [15] 徐茂琴, 潘俊娴, 蔺佳良, 等. 鲤鱼血合肉风味改良的研究[J]. 核农学报, 2014, 28(8): 1430-1439.
- [16] 王霞, 黄健, 苏秀榕, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 268-272.
- [17] GLENDA F, SALOMÉ L, MANUEL P, et al. Volatile profile of Atlantic shellfish species by HS-SPME GC/MS[J]. Food Research International, 2012, 48(2): 856-865.
- [18] ZHOU X, CHONG Y, DING Y, et al. Determination of the effects of different washing processes on aroma characteristics in silver carp mince by MMSE-GC-MS, e-nose and sensory evaluation[J]. Food Chemistry, 2016, 207(6): 205-213.
- [19] 练敏, 纪晓俊, 黄和, 等. 香料2,3-丁二酮的合成现状及展望[J]. 现代化工, 2008, 28(8): 29-32.
- [20] 陈元元, 吴岩, 刘晓光. 乙偶姻生物合成代谢调控及其应用[J]. 生物学杂志, 2014, 31(5): 76-80.

Studies on the Deodorization during Fermentation of Tuna's Milt by *Lactobacillus plantarum*

Huang Zhongbai¹ Ming Tinghong¹ Dong Lisha¹ Hang Jiaojiao¹ Sun Tingting¹ He Shan¹

Zhang Dijun¹ Huang Jian² Zhou Jun¹ Li Ye¹ Su Xiurong^{1*}

⁽¹⁾School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang

⁽²⁾Beijing Purkinje General Instrument Co., Ltd, Beijing 101200)

Abstract Objective: To analyze the effect of deodorization and aroma enhancement about the fermentation of Tuna's milt by *Lactobacillus plantarum* and to provide a theoretical reference for processing. Methods: The change trend of volatile substances in milt and its fermented liquid was detected by principle component analysis (PCA) and features flavor radar. Then flavor of the volatile composition in the process was identified by head solid-phase microextraction (HS-SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The relative odor activity value (ROAV) in association with odor threshold was applied to confirm the key compounds of the fermented milt. Results: The PCA and radar map showed distinctly difference between the smell of fresh milt and fermentation milt. the smell of the fermented liquid change was relatively small and steady. A total of 22, 13, 12, 23, 35, 34, 11, 13, 15, 17 volatile substances were identified in fresh milt, seed fermented liquid, fermentation milt and its fermented liquid in different time. After fermentation of milt the main fishy smell compounds of heptyl aldehyde, hexanal, 1-octene-3-alcohol were reduced, while the milk fragrance compounds of caproic acid, 2,3-butyl ketone, ethyl benzoin were increased. These substances were main flavor of fermentation milt. Conclusion: After fermenting 24 h by *Lactobacillus plantarum*, the effect of deodorization and aroma enhancement was very remarkable.

Keywords Tuna's milt; *Lactobacillus plantarum*; HS-SPME; GC-MS; ROAV