

复合乳酸菌发酵六齿金线鱼肉的挥发性风味成分探究

游刚,牛改改*

(广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室,北部湾海洋生物资源开发与保护重点实验室,钦州学院,广西 钦州, 535000)

摘 要 为改善传统腌制六齿金线鱼肉风味,通过在腌制鱼上接种复合乳酸菌快速发酵,并采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)联用法对发酵鱼肉的风味成分进行分离鉴定,比较分析复合乳酸菌发酵鱼肉和传统高盐腌制鱼肉的风味成分变化。结果表明:复合乳酸菌发酵鱼肉中检测出 92 种挥发性成分,其中,醛类 18 种、醇类 15 种、酮类 8 种、酯类 7 种、酸类 2 种、烃类 34 种、其他 8 种;传统高盐腌制鱼肉中检测出 62 种挥发性成分,其中,醛类 12 种、醇类 9 种、酮类 4 种、酯类 3 种、酸类 3 种、烃类 25 种、其他 6 种;进一步分析发现,构成两种腌制鱼肉独特风味的主要成分是醛、醇、酮类化合物,复合乳酸菌发酵鱼肉的醛、醇、酮类化合物种类总量达 41 种,较传统高盐腌制鱼肉增加 16 种。其中,(E)-2-己烯醛、(E)-2-辛烯醛、(Z)-4-癸烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、十四醛、庚醇、2-乙基-1-己醇、十二醇、6-甲基-2-庚酮、3,5-壬二烯-2-壬酮、D-柠檬烯、长叶烯是发酵鱼肉特有风味成分,丰富了发酵鱼肉风味,改善了鱼肉品质。所以,复合乳酸菌发酵六齿金线鱼,不仅能改善传统高盐腌制鱼肉风味,而且未检出胺类等致癌物质,保证了产品品质 and 安全性。

关键词 六齿金线鱼;复合乳酸菌;发酵;传统高盐腌制;挥发性风味物质

风味是食品重要的特征,风味成分探究有助于把握食品深入研究与开发方向,提高产品品质。传统高盐腌鱼制品由于风味独特,引起了学者们对其风味成分的深入探究分析。李来好等^[1]分析出柳叶鱼、红牙鲷、小黄鱼以及带鱼 4 种常见传统腌制咸鱼的主要风味物质种类是醛类、醇类和烃类。但传统高盐腌制品多采用高盐、长时腌制方法,不仅生产效率低,而且破坏了鱼肉的部分营养成分,降低了产品附加值。近年来,乳酸菌逐渐应用在传统腌鱼制品中,以期改善产品风味质量。田国军等^[2]将分离自传统腊鱼中的乳酸菌接种至腊鱼中发酵,改善了腊鱼产品的风味和质量。吴燕燕等^[3]在低盐乳酸菌发酵红牙鲷风味成分中,分析得出鱼肉的主要挥发性物质为醛、醇、酮类化合物,其总量达 35 种,较传统腌干鱼肉风味物质显著增加。杨锡洪等^[4]采用乳酸菌发酵金丝鱼,分析发酵后鱼肉的主要风味物质为羰基化合物和醇类物质,其中,醛、醇和酮类含量均有显著提高。吴海燕等^[5]在咸鱼中接种乳酸菌和葡萄球菌,显著增加了鱼肉中挥发性羰基化合物含量,改善了鱼肉的感官品

质。

六齿金线鱼(*Nemipterus virgatus*),鲈形目,金线鱼属,金线鱼科,俗名红三文。六齿金线鱼主要分布于中国南海域,是南海重要经济鱼类。其肉质鲜美,营养丰富,具有很高的食用价值^[6]。目前,六齿金线鱼主要采取冷冻和高盐腌制两种加工方法。冷冻鲜售和高盐腌制品,均存在生产附加值低,缺乏市场竞争力等缺陷。笔者采用分离自传统高盐腌制鱼肉的乳酸菌发酵六齿金线鱼,研究比较了复合乳酸菌发酵与传统高盐腌制鱼肉的挥发性风味物质变化,分析发酵乳酸菌发酵鱼肉对挥发性风味物质成分影响,从而实现低附加值的腌干鱼制品高值化利用,为传统高盐腌制品的新工艺开发及应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

冰鲜六齿金线鱼,质量(200 ± 50)g,购于广西钦州市东风市场。

菌种:植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)和戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)分离自钦州市东风市场市售腌制六齿金线鱼(*Nemipterus virgatus*)。

1.2 仪器与设备

65 μm DVB-PDMS 固相微萃取装置,美国 Supelco

第一作者:在读博士研究生(牛改改为通讯作者,E-mail:gaigainiu@163.com)。

基金项目:广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室;北部湾海洋生物资源开发与保护重点实验室联合资助(2015ZC15、2015ZC09)

收稿日期:2015-08-25,改回日期:2015-09-28

公司;GC-MS QP2010 气质联用仪,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备方法

传统法腌干鱼工艺:参考文献[3]。

添加复合乳酸菌发酵腌制工艺:将冰鲜六齿金线鱼去内脏,洗净,粗盐(用量质量分数8%~10%),腌制24 h,接种复合乳酸菌液(实验室分离自传统腌制鱼肉,保藏菌种,最佳配比1:1:1),菌液浓度 10^8 CFU/mL,接种量10 mL/g,27℃恒温发酵24 h后,置入 (28 ± 2) ℃烘箱中,烘干至鱼体水分含量约为30%,包装即为成品。

1.3.2 挥发性风味物质富集

参考文献[3,7-9],并在此基础上稍加改进。称取处理好的样品20.0 g,按1:3(g:mL)加入生理盐水,均质完全后萃取。萃取温度:60℃,萃取时间:40 min。

1.3.3 质谱条件

参考文献[3,7-9],并在此基础上稍加改进。进样口温度:250℃;氦气流量1.0 mL/min;采用恒线速度,分流比为1:20。

1.3.4 色谱条件

参考文献[3,7-9]。离子源温度:200℃,电子能70 eV,质量扫描范围 m/z 35~350,采集方式设定为全扫描。

1.4 数据处理和质谱检索

采用NIST 05a.L谱库数据库检索,与标准谱图对比,定性挥发性成分,采用面积归一化法进行定量,取相似度大于80%的挥发性风味物质。显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 复合乳酸菌发酵对鱼肉的挥发性成分及种类的影响

分别采用两种方法加工红三鱼,并采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)联用分析挥发性物质成分。由图1-a和图1-b可知,复合乳酸菌发酵鱼肉的风味离子强度在 10^6 数量级,显著高于传统高盐腌制鱼肉的风味离子强度(10^5 数量级),这表明复合乳酸菌发酵鱼肉的风味物质浓度要高于传统腌制鱼。

研究表明^[1,3,10]鱼肉主要挥发性风味成分包括醛类、酮类、醇类、酯类等其化合物。由表1可知,乳酸菌发酵红三鱼肉的挥发性成分以及对风味贡献较大

的物质成分,要显著多于传统法腌制鱼肉($P < 0.05$)。乳酸菌发酵鱼肉风味成分中检测出92种,其中对风味贡献较大的醛类、醇类和酮类达41种;传统高盐腌制鱼肉风味成分中检测出62种,其中对风味贡献较大的醛类、醇类和酮类只有25种,其中,己醛和壬醛(低浓度时对风味形成有贡献,高浓度时反而产生不良气味)的含量较高产生了不良气味,影响了传统腌制鱼肉的整體风味。传统高盐腌制鱼肉呈现出的主要风味是鱼腥味、青草味-脂肪味、蘑菇、泥土味及咸香味,主要的风味成分有:己醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、壬醛、癸醛、(E)-2-十二烯醛、十一醛、紫丁香醛、十二醛、3-甲基-1-丁醇、1-辛烯-3-醇、(E)-2-辛烯-1-醇、雪松醇、2,3-辛二酮、2-壬酮、3,5-壬二烯-2-酮、雪松烯、甲苯、乙苯。复合乳酸菌发酵鱼肉呈现出的主要风味不仅富含传统高盐腌制鱼肉风味,而且增加了发酵鱼肉特有的咸香味,主要风味成分有:(E)-2-己烯醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、(Z)-4-癸烯醛、癸醛、(E)-2-十二烯醛、十一醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、紫丁香醛、十二醛、十四醛、十五醛、3-甲基-1-丁醇、1-辛烯-3-醇、2-甲基-1-辛醇、庚醇、十二醇、6-甲基-2-庚酮、2,3-辛二酮、2-壬酮、3,5-辛二烯-2-酮、3,5-壬二烯-2-酮、D-柠檬烯、长叶烯。

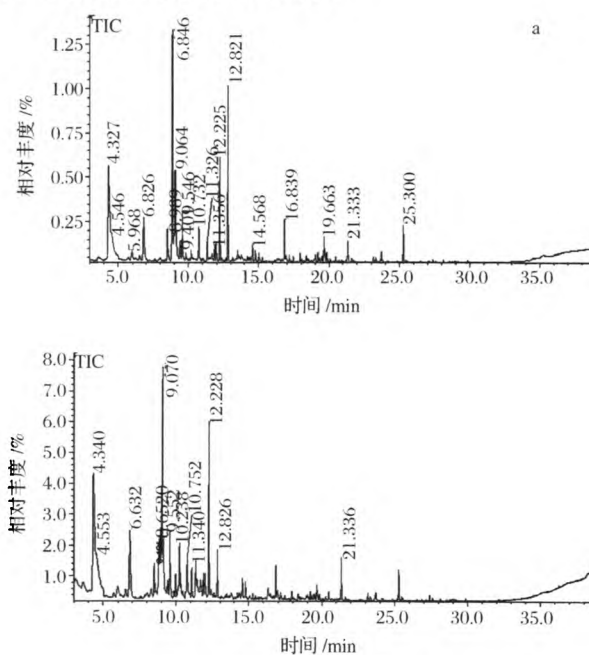


图1 复合乳酸菌发酵鱼肉

(a)和传统法腌干鱼(b)总离子流色谱图

Fig. 1 The total ion count(TIC) chromatogram of fermented(a) and traditionad salted (b) *Nemipterus virgatus* fish

通过对两种腌制加工鱼肉的风味成分比较分析,复合乳酸菌发酵鱼肉风味成分较传统高盐腌制鱼肉增加 12 种主要风味成分,其中(E)-2-辛烯醛、2-乙基-1-己醇、十二醇、长叶烯、(Z)-4-癸烯醛、十四醛、D-柠檬烯具有发酵鱼肉特有的咸香味,3,5-壬二烯-2-壬酮具有杏仁坚果味,(E,E)-2,4-癸二烯醛具有传统鱼肉的青草脂肪味,庚醇具有发酵鱼肉特有的酒香味,这些风味物质显著改善发酵鱼肉的风味。

2.2 复合乳酸菌发酵对鱼肉主要挥发性物质成分的影响

进一步分析发现,复合乳酸菌发酵鱼肉主要风味成分富含传统高盐腌制鱼肉主要风味成分,同时增加了乳酸菌发酵鱼肉特有的咸香风味,这可能是添加复合乳酸菌后,鱼肉中部分碳水化合物、脂肪和蛋白质类物质经乳酸菌作用分解,特别是一些不饱和脂肪酸发生氧化降解,生成各种小分子化合物,产生醇、醛、酮类等风味物质,大大丰富发酵鱼肉风味。其中,庚醇、2-壬酮具有发酵鱼肉特有的酒香味;(E)-2-辛烯醛、癸醛、(E)-2-十二醛、十一醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、紫丁香醛、十二醛、十四醛、十五醛、3-甲基-1-丁醇、1-辛烯-3-醇、2-甲基-1-辛

醇、2,3-辛二酮、2-壬酮、3,5-辛二烯-2-酮、3,5-壬二烯-2-壬酮具有发酵鱼肉特有的咸香味,6-甲基-2-庚酮具有特有的醚香味,而且阈值较低,对鱼肉风味影响显著。复合乳酸菌发酵鱼肉中醛、醇、酮类物质种类显著高于传统高盐腌制鱼肉(表 2),醛类物质产生浓郁芳香味,挥发性醇类物质产生清淡的香气味,挥发性酮类物质产生淡淡的花香味,这些物质更加丰富鱼肉咸香味^[13-14]。另外,研究发现,乳酸菌发酵鱼肉腥味物质(庚醛、三甲胺)含量显著降低($P<0.05$),这可能是复合乳酸菌群的大量生长繁殖抑制了杂菌生长,同时,发酵作用分解了部分腥味前体物质或抑制其形成^[3,11-12]。

2.3 复合乳酸菌发酵对鱼肉烃类物质成分的影响

复合乳酸菌发酵鱼肉挥发性物质成分中烃类物质种类有 34 种,相对含量约 38.12%,较传统腌干鱼肉烃类物质种类增加 9 种,含量增加约 8%,相关研究表明^[15-16]烃类物质的呈味阈值较高,对挥发性风味的贡献较小,但一些短链烃类物质和一些芳香烃类物质具有一定的风味贡献值;不同种类的烃类物质对鱼肉风味有一定的增强作用^[17]。

表 1 两种方法腌干红三鱼的挥发性风味成分及其相对百分含量
Table 1 Volatile compounds and the relative percentage of fish cured in two ways

化合物名称 (主要气味描述)	添加乳酸菌法		传统法		化合物名称 (主要气味描述)	添加乳酸菌法		传统法	
	保留时间 /min	相对含 量/%	保留时间/ min	相对含 量/%		保留时间 /min	相对含 量/%	保留时间 /min	相对含 量/%
己醛(脂肪味)	4.327	13.39	4.341	13.91	3-甲基-1-丁醇	3.165	3.07	3.106	0.19
(E)-2-己烯醛(花香味)	5.642	0.12	—	—	1-辛烯-3-醇	8.969	5.34	8.952	1.6
庚醛(腥味)	6.826	4.1	6.832	5	3,7-二甲基-1,7-辛二烯-3-醇	9.401	1.31	—	—
苯甲醛(坚果味)	8.475	2.37	8.481	1.88	2-甲基-1-辛醇	10.484	0.33	—	—
辛醛(水果香)	9.546	2.76	9.552	3.01	庚醇(酒香)	10.501	3.13	—	—
(E,E)-2,4-庚二烯醛(青草-脂肪味)	9.812	0.58	9.84	0.42	1,3-二甲基环戊醇	—	—	11.34	1.72
(E)-2-辛烯醛(花香味)	11.032	0.18	—	—	2-亚甲基环己醇	11.592	0.11	—	—
壬醛(青草-脂肪味)	12.225	4.15	12.228	5.87	5-甲基-1,5-己二烯-3-醇	—	—	11.427	1.26
4-乙基苯甲醛	13.771	0.36	—	—	2-乙基-1-己醇(花香味)	12.291	1.22	—	—
(Z)-4-癸烯醛(水果香)	14.492	0.12	—	—	2-丙基-1-庚醇	13.655	0.26	—	—
癸醛(花香味)	14.778	0.47	14.78	0.61	5-(亚甲基环丙基)-1-戊醇	—	—	14.562	0.94
(E)-2-十二烯醛(花香味)	16.145	0.11	12.394	0.45	(E)-2-辛烯-1-醇(花香味)	16.336	0.31	16.333	0.82
十一醛(花香味)	17.19	0.31	17.193	0.24	3-环己烯-1-甲醇	18.074	0.15	—	—
(E,E)-2,4-癸二烯醛(青草-脂肪味)	17.475	0.26	—	—	1-(1-金刚烷基)-1-苯基乙醇	18.375	0.32	18.378	0.23
紫丁香醛(花香味)	17.942	0.4	17.947	0.3	5-辛烯-2-炔-4-醇	19.323	0.26	19.326	0.24
十二醛(花香味)	19.466	0.16	19.467	0.2	十二醇(花香味)	23.324	0.13	—	—
十四醛(水果香)	23.643	0.12	—	—	雪松醇(花香味)	23.732	0.62	23.723	0.34
十五醛	27.402	0.12	27.402	0.2	4-甲氧基环己醇	38.602	0.07	—	—

续表 1

化合物名称 (主要气味描述)	添加乳酸菌法		传统法		化合物名称 (主要气味描述)	添加乳酸菌法		传统法	
	保留时间 /min	相对含 量/%	保留时间/ min	相对含 量/%		保留时间 /min	相对含 量/%	保留时间 /min	相对含 量/%
6-甲基-2-庚酮(醚味)	8.216	0.1	—	—	十二烷	14.568	0.86	—	—
2,3-辛二酮(水果香)	9.064	6.92	9.07	5.92	十四烷	16.951	0.53	16.958	0.54
2-壬酮(酒香)	11.851	0.71	11.854	1	十五烷	16.955	0.06	21.336	1.46
3,5-辛二烯-2-酮(蘑菇、泥土味)	11.958	1.1	11.966	1.24	十二甲基环己硅氧烷	16.839	1.97	—	—
3,5-壬二烯-2-壬酮(坚果味)	18.469	0.17	—	—	3,8-二甲基癸烷	18.547	0.12	—	—
3-甲基-2-戊基环戊酮	18.926	0.21	—	—	3-甲基十五烷	22.754	0.94	—	—
4-(1,1-二甲基丙基)-环己酮	—	—	18.931	0.2	十七烷	23.344	0.22	19.031	0.23
4-环己基-2-丁酮	19.1	0.08	—	—	2,6,10,14-四甲基十五烷	25.3	1.63	25.302	1.15
9-十七酮	22.275	0.05	—	—	二十一烷	27.155	0.07	—	—
5-己烯酸甲酯	3.833	0.03	—	—	十六甲基庚硅氧烷	—	—	38.366	0.5
9-十八烯-12-炔酸甲酯	11.667	0.64	—	—	1,3,6-辛三烯	6.192	0.13	—	—
正己酸乙酯	15.602	0.04	14.372	0.2	E,Z,4-亚乙基环己烯	—	—	6.23	0.22
2-丁烯基己酸	15.993	0.05	—	—	(Z,E)-1,3,6-辛三烯	6.238	0.26	—	—
邻苯二甲酸二乙酯	23.179	0.28	23.182	0.25	α -蒎烯	7.597	0.13	—	—
(E)-10-七溴癸烯-8-炔酸甲酯	—	—	24.204	0.19	(E,E)-2,4-壬二烯	7.935	0.19	—	—
甲酸癸基酯	25.117	0.02	—	—	1,6-庚二烯	8.021	0.23	8.024	0.34
5,5-壬烷二丁酯	28.785	0.02	—	—	3,5,5-三甲基-2-己烯	—	—	8.779	1.84
邻苯二甲酸二丁酯	29.875	0.1	—	—	(E)-3-十二碳烯-1-炔	—	—	9.404	0.53
甲基戊酯碳酸	—	—	3.15	0.18	D-柠檬烯(水果香)	10.199	0.59	—	—
3-丁烯-1-酯庚酸	3.437	0.03	—	—	3-十四炔	10.293	0.14	—	—
硫代特戊酸	7.849	0.1	—	—	1-十二碳烯-3-炔	11.501	0.35	—	—
叔丁基己酸	—	—	10.334	0.58	(E)-5-十四碳烯-3-炔	12.394	0.23	—	—
丁基-2-乙基己酯亚硫酸	—	—	11.063	1.26	1-十四碳烯-3-炔	14.183	0.33	14.186	0.25
尿酸	—	—	35.323	0.18	十二烯	14.366	0.24	—	—
六甲基环三硅氧烷	4.546	4.94	4.553	6.71	(Z)-2-十五碳烯-4-炔	15.25	0.18	—	—
2,5,6-三甲基辛烷	—	—	8.272	0.71	1,3-环辛二烯	16.48	0.2	16.481	0.36
八甲基环四硅氧烷	8.848	11.81	8.852	3.1	长叶烯(花香味)	19.535	0.3	—	—
2,2,11,11-四甲基十二烷	—	—	9.958	0.97	雪松烯(花香味)	19.663	1.41	19.665	0.72
2,2,4,4-四甲基辛烷	—	—	10.093	0.31	罗汉柏烯	20.081	0.14	19.854	0.21
十甲基四硅氧烷	10.732	2.14	10.238	4	古巴烯	20.888	0.12	—	—
2,2-二甲基十一烷	—	—	10.442	0.31	2,4-二苯基-4-甲基-2(E)-戊烯	27.616	0.09	—	—
5-仲丁基壬烷	—	—	10.632	0.24	甲苯(芳香味)	3.607	0.61	3.62	0.93
5-乙基-2,2,3-三甲基庚烷	—	—	10.752	2.24	乙苯(芳香味)	5.732	0.42	5.726	0.35
十甲基环戊硅氧烷	12.821	7.02	12.826	1.81	1,3-二甲基苯	5.969	1.06	5.979	1.15
4,7-二甲基十一烷	13.267	0.08	11.673	1.38	1,3,5-三甲基苯	9.252	0.04	8.35	0.18
3-甲基十一烷	13.825	0.22	13.823	0.19	1,4-二乙基苯	11.433	0.17	—	—
十二烷基环氧乙烷	13.887	0.25	—	—	1-乙基-4-甲氧基苯	—	—	13.771	0.22
					二氢化蒈	10.342	0.2	—	—
					蒈	14.317	0.23	14.322	0.22
					3,5-二乙基苯酚	15.142	0.04	—	—

2.4 复合乳酸菌发酵对鱼肉挥发性物质风味的影响

参考文献[3],对鱼肉风味贡献较大的物质成分及风味进行分类(见表2)。结合表1和表2,传统法腌制的红三鱼主要呈现青草味-脂肪味、鱼腥味和蘑菇泥土味,主要的风味成分有:己醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、壬醛、癸醛、(E)-2-十二烯醛、十一醛、紫丁香醛、十二醛、3-甲基-1-丁醇、1-辛烯-3-醇、(E)-2-辛烯-1-

醇、雪松醇、2,3-辛二酮、2-壬酮、3,5-壬二烯-2-壬酮、雪松烯、甲苯、乙苯;经过添加乳酸菌发酵的红三鱼在保持原有传统高盐腌制鱼肉风味基础上,增加了花香味、水果香味及酒香味,并减弱了鱼腥味和蘑菇泥土味,主要风味物质有:己醛、(E)-2-己烯醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、(Z)-4-癸烯醛、癸醛、(E)-2-十二烯醛、十一醛、

(E, E)-2,4-癸二烯醛、紫丁香醛、十二醛、十四醛、3-甲基-1-丁醇、1-辛烯-3-醇、庚醇、2-乙基-1-己醇、(E)-2-辛烯-1-醇、十二醇、雪松醇、6-甲基-2-庚酮、2,3-辛二酮、2-壬酮、3,5-辛二烯-2-酮、3,5-壬二烯-2-壬酮、D-柠檬烯、长叶烯、雪松烯、甲苯、乙苯。鱼肉主体风味可用鱼腥味、杏仁味、坚果味,花香味,蘑菇、泥土味,醚香,酒香,烤洋葱味,青草味-脂肪味,水果香味来表征,这些物质含量的差异,是造成不同风味的重要原因^[1,3]。利用 Excel 2010 软件,构建复合乳酸菌发酵鱼肉和传统高盐腌制鱼肉的风味轮(见图2),直观地显示了两种鱼肉风味的差异及其相互关系。与传统腌制鱼肉风味相比,添加乳酸菌发酵鱼肉中的醛类物质较传统法腌制鱼肉显著增加,醛类物质具有植物芳香味,气味阈值低,有利于提升腌制鱼肉风味;同时,乳酸菌发酵作用减少了鱼肉的鱼腥味和蘑菇、

泥土味,增加了鱼肉的水果香、花香味和酒香味,丰富了鱼肉的风味成分。

表2 不同加工方法鱼肉的挥发性风味种类及其相对百分含量

Table 2 Species and relative percentage of volatile compounds of different cured fish

种类	乳酸菌发酵		传统法	
	种类数量	相对含量/%	种类数量	相对含量/%
醛类	18	30.08 ± 9.89 ^a	12	32.09 ± 7.78 ^b
醇类	15	9.9 ± 2.05 ^c	9	11.08 ± 1.09 ^d
酮类	8	9.34 ± 3.91 ^e	4	15.36 ± 3.82 ^f
酯类	7	1.15 ± 0.22 ^g	3	0.64 ± 0.14 ^h
酸类	2	0.13 ± 0.03 ^j	3	2.02 ± 1.06 ^k
烃类	34	38.12 ± 8.24 ^a	25	30.32 ± 9.14 ^b
胺类	0	0	0	0
其他	8	2.77 ± 0.94 ^c	6	3.05 ± 0.98 ^d

注:每一组同行不同字母表示具有显著性差异(P<0.05)。

表3 不同加工方式鱼肉中对风味贡献较大的物质成分

Table 3 The main flavor substance in different cured fish flesh

样品	香气特征	挥发性物质名称
传统高盐 腌干鱼	鱼腥味 Fishy	庚醛 Heptanal
	杏仁味、坚果味	3-甲基-1-丁醇、苯甲醛
	Almond, nutty	3-methyl-1- Butanol, Benzaldehyde
	花香味 Rose	癸醛、(E)-2-十二烯醛、十一醛、紫丁香醛、十二醛、(E)-2-辛烯-1-醇、雪松醇、雪松烯、甲苯、乙苯
		Decanal, (E)-2- dodecene aldehyde, Undecyl aldehyde, Lilac aldehyde, Dodecyl aldehyde, (E)-2- octene-1-ol, Cedrol, Cedrene, Toluene, Ethylbenzene
	蘑菇、泥土味 Mushroom, muddy	1-辛烯-3-醇、3,5-辛二烯-2-酮 1-octene -3-ol, 3,5-Octadien-2-one
	醚香 Ether	—
	酒香 Bouquet	2-壬酮 2-Nonanone
	烤洋葱味 Fried onion	—
	青草味-脂肪味 Green-fatty	壬醛、正己醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛 Nonanal, Hexanal, (E, E)-2,4-Heptadienal
	水果香味 Fruity	辛醛、2,3-辛二酮 Octanal, 2,3-Octanedione
添加乳酸菌法 腌干鱼	鱼腥味 Fishy	庚醛 Heptanal
	杏仁味、坚果味 Almond, nutty	3-甲基-1-丁醇、3,5-壬二烯-2-壬酮、苯甲醛
		3-methylButanol, 3,5-nonadiene-2-nonanone, Benzaldehyde
	花香味	(E)-2-辛烯醛、癸醛、(E)-2-十二烯醛、十一醛、紫丁香醛、十二醛、2-乙基-1-己醇、(E)-2-辛烯-1-醇、十二醇、雪松醇、长叶烯、雪松烯、甲苯、乙苯
	Rose	(E)-2-octene aldehyde, Decanal, (E)-2-dodecene aldehyde, Undecyl aldehyde, Lilac aldehyde, Dodecyl aldehyde, 2-ethyl-1-hexanol, (E)-2-octene-1-ol, Dodecanol, Cedrol, longifolene, Cedrene, Toluene, Ethylbenzene
	蘑菇、泥土味	1-辛烯-3-醇、3,5-辛二烯-2-酮
	Mushroom, muddy	1-octene -3-ol, 3,5-Octadien-2-one
	醚香 Ether	6-甲基-2-庚酮 6-methyl-2-heptanone
	酒香 Bouquet	庚醇、2-壬酮 Heptanol, 2-Nonanone
	烤洋葱味 Fried onion	-
	青草味-脂肪味 Green-fatty	壬醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、正己醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛
		Nonanal, (E,E)-2,4-Decadienal, Hexanal, (E, E)-2,4-Heptadienal
水果香味		辛醛、Z,4-癸烯醛、十四醛、2,3-辛二酮、D-柠檬烯
	Fruity	Octyl aldehyde, Z,4- decenal aldehyde, Myristyl aldehyde, 2,3-octanedione, D-limonene

注:“—”表示相关风味的物质未检出。



图2 添加乳酸菌法和传统法腌干鱼的风味轮图

Fig. 2 Sensory profile of traditional salted fish and fermented fish

2.5 复合乳酸菌发酵鱼肉产生特有风味物质机理探讨

乳酸菌发酵鱼肉能够产生特有风味物质,可能是由于鱼肌肉组织中含有大量不饱和脂肪酸、饱和脂肪酸及少量碳水化合物和蛋白质类物质在复合乳酸菌和外界环境因素(氧气)的作用下发生氧化降解而生成不同低风味阈值的小分子化合物,产生醇、醛、酮类等风味物质,显著丰富发酵鱼肉风味^[18];而传统腌干鱼肉的风味物质含量较低,说明高浓度食盐抑制了乳酸菌的大量繁殖,减弱了乳酸菌发酵作用^[19]。无论采取哪种加工方式,胺类物质均未检出,醛类、醇类和酮类物质的总含量都比较大,同时对风味贡献较小的烃类物质也具有较大的含量,这种研究结果与李来好,丁丽丽等^[20]对传统腌制鱼挥发性风味物质的研究结果相似;但添加乳酸菌发酵腌干鱼肉的醛类、醇类和酮类物质的种类及总含量都要显著高于传统法腌干鱼($P < 0.05$),这种研究结果与吴燕燕等^[3]对添加复合乳酸菌发酵剂腌干红牙鱼或挥发性风味物质的研究结果相似。

3 结论

通过采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)联用分析鉴定添加乳酸菌法腌干红三文鱼、传统腌干红三文鱼的鱼肉挥发性风味成分,结果表明醛、醇、酮类化合物是构成腌干鱼肉独特风味的主要成分。复合乳酸菌发酵鱼肉中对风味贡献较大的醛、醇、酮类挥发性化合物总量达41种,显著高于传统高盐腌制鱼肉。复合乳酸菌发酵鱼肉风味物质中含有大量的醇、醛、酮类物质,同时,在保持传统高盐腌制鱼肉风味的基础上,增加了发酵鱼肉特有风味物质成分,包括:(E)-2-己烯醛,(E)-2-辛烯醛,(Z)-

4-癸烯醛,(E,E)-2,4-癸二烯醛,十四醛,庚醇,2-乙基-1-己醇,十二醇,6-甲基-2-庚酮、3,5-壬二烯-2-酮、D-柠檬烯、长叶烯,提升了鱼肉感官品质。所以,复合乳酸菌发酵六齿金线鱼,不仅能改善传统高盐腌制鱼肉风味,而且未检出胺类等致癌物质,提高了产品品质 and 安全性,为传统高盐腌制品的新工艺开发及应用提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 李来好,丁丽丽,吴燕燕,等. 咸鱼中的挥发性风味成分[J]. 水产学报,2012,36(6):979-988.
- [2] 田国军,尚艳艳,黄泽元. 腊鱼中优势乳酸菌的分离,纯化及性质鉴定[J]. 食品与发酵工业,2011,37(6):78-81.
- [3] 吴燕燕,游刚,李来好,等. 低盐乳酸菌法与传统法腌干鱼制品的风味比较[J]. 水产学报,2014,38(4):600-611.
- [4] 杨锡洪,解万翠. 快速发酵金丝鱼挥发性风味成分的SPME-GC-MS检测[J]. 食品与机械,2009,25(6):101-105.
- [5] 吴海燕,杨磊. 复合发酵剂对咸鱼风味品质的影响[J]. 广州化工,2010,38(6):73-77.
- [6] YONGSAWATDIGUL J, WORATTAO A, PARK J. Effect of endogenous transglutaminase on threadfin bream surimi gelation[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(9):3258-3263.
- [7] 唐静,张迎阳,吴海舟,等. 顶空吹扫捕集-气相色谱-质谱法分离鉴定强化高温火腿中的挥发性风味物质[J]. 食品科学,2014,35(8):115-120.
- [8] LIU Y, MIAO Z, GUAN W, et al. Analysis of organic volatile flavor compounds in fermented stinky Tofu using Spme with different fiber coatings[J]. Molecules, 2012, 17(4):3708-3722.
- [9] RUAN E D, AALHUS J L, JUAREZ M, et al. Analysis of volatile and flavor compounds in grilled lean beef by stir bar sorptive extraction and thermal desorption-gas chromatography mass spectrometry[J]. Food Analytical Methods, 2014, 8(2):1-8.
- [10] DONG L, PIAO Y, ZHANG X, et al. Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS[J]. Food Research International, 2013, 51(2):783-789.
- [11] WU W, TAO N, GU S. Characterization of the key odor-active compounds in steamed meat of coilia ectenes from Yangtze River by GC-MS-O[J]. European Food Research and Technology, 2014, 238(2):237-245.

- [12] 张润平,周瑞峰. 乳酸菌的生理功能及其作用机理[J]. 饲料与畜牧:新饲料,2012,1(6):49-51.
- [13] 解万翠,杨锡洪,章超桦,等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法测定北极虾虾头的挥发性成分[J]. 分析化学,2011,1(12):1 852-1 857.
- [14] SANGKASANVA S, LERTSIRI S, MEENUNR M. Changes in fruit quality and volatile flavor compounds during on-tree maturation of Longkong[J]. International Food Research Journal,2014,21(4):1 659-1 665.
- [15] 董庆利,李保国,管晓. 亚硝酸盐对腌腊肉制品风味的影响[J]. 肉类研究,2009,1(10):55-59.
- [16] ZHENG J, ZHANG F, ZHOU C, et al. Comparison of flavor compounds in fresh and pickled bamboo shoots by GC-MS and GC-olfactometry[J]. Food Science and Technology Research,2014,20(1):129-138.
- [17] 刘奇. 鲟鱼腥味物质特征及其与脂肪酸氧化的关系研究[D]. 青岛中国海洋大学,2013.
- [18] 吕兵,章军,王芬. 乳酸菌发酵香肠中风味物质变化的研究[J]. 食品科技,2003(5):29-31.
- [19] 高献礼,赵谋明,崔春,等. 高盐稀态酱油挥发性风味物质的分离与鉴定术[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2009,37(10):117-123.
- [20] 丁丽丽,吴燕燕,李来好. 咸带鱼加工过程挥发性风味成分的变化[J]. 食品科学,2011,32(24):208-212.

Study on the volatile flavor compounds of *Nemipterus virgatus* inoculated with complex lactic acid bacteria

YOU Gang, NIU Gai-gai *

(Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Guangxi Colleges and universities Key Laboratory of Exploitation and Protection of Beibu Gulf Marine Biological Resources, Qinzhou University, Qinzhou 535000, China)

ABSTRACT To improve the flavor of traditional salty *Nemipterus virgatus*, complex lactic acid bacteria were inoculated into fish for a fast fermentation processing. Head-space-solid phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrum (HS-SPME-GC-MS) was used to analyze and identify the variation of volatile compounds between the traditional high salt pickling fish and fish fermented by lactic acid bacteria of *Nemipterus virgatus*. The results showed that 92 kinds of volatile compounds were detected in the fermented-dried fish, including 18 aldehydes, 15 alcohols, 8 ketones, 7 esters, 2 acids, 34 hydrocarbons, and 8 others. 62 kinds of volatile compounds were detected in the traditional high salt pickling fish, including 12 aldehydes, 9 alcohols, 4 ketones, 3 esters, 3 acids, 25 hydrocarbons, 6 others. A further analysis showed that the most abundant volatile components of traditional salted-dried fish and fermented fish were aldehydes, alcohols and ketones. However, the content and composition of volatile compounds of fermented dried fish had changed greatly and the total kinds of aldehydes, alcohols and ketones achieved 41, which was 16 kinds higher than traditional salted-dried fish. The unique flavor components in fermented fish included (E)-2-hexenal, (E)-2-octene aldehyde, (Z)-4-decene aldehyde, (E, E)-2,4-decadienal, myristic aldehyde, 2-methyl-1-octanol, heptanol, dodecanol, 3,5-nonadiene-2-nonyl ketone, 6-methyl-2-heptanone, D-limonene, and longifolene, which enriched the fermented fish flavor and improved the quality of the fish. So, fermentation of *Nemipterus virgatus* with complex lactic acid bacteria not only could enhance the flavor of traditional high salt pickling fish, but also had no detectable amine carcinogens, which improved quality and safety of the product.

Key words *Nemipterus virgatus*; compound lactic acid bacteria; fermentation; traditional high salt pickling; volatile flavor compounds