

混合乳酸菌发酵改善罗非鱼蛋白酶解液风味的研究

曾少葵, 郑琪, 杨思新, 邓楚津, 曾一鸣, 苏嘉荣

(广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524025)

摘要: 通过嗜热乳链球菌 (*Streptococcus thermophilus*) 和保加利亚乳杆菌 (*Lactococcus bulgaricus*) 混合发酵, 改善罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 下脚料蛋白酶解液风味, 采用响应面设计试验考察乳酸菌发酵时间 (X_1)、温度 (X_2) 及接种量 (X_3) 对酶解液风味感官评分值 (Y) 的影响, 并利用同时蒸馏萃取与气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用技术测定挥发性成分。结果表明, 响应面分析法 (RSM) 优化的乳酸菌发酵条件为时间 9 h, 温度 45 ℃, 接种量 16%, 预测风味感官评分值为 4.1; 酶解液发酵后的挥发性成分由原来的 27 种增加至 33 种, 增加的主要是酯类物质, 另外产生了辛酸及十六醛等风味物质。乳酸菌发酵能减弱罗非鱼酶解液的腥味, 但脱苦效果不明显。

关键词: 罗非鱼; 酶解液; 风味; 乳酸菌; 发酵; 挥发性成分

中图分类号: TS 254.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-2227-(2010)03-0024-08

Flavour improvement of hydrolysate from tilapia (*Oreochromis niloticus*) with lactic acid bacteria fermentation

ZENG Shaokui, ZHENG Qi, YANG Sixin, DENG Chujin, ZENG Yiming, SU Jiarong

(Faculty of Food Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Abstract: The flavour of hydrolysate from *Oreochromis niloticus* was improved with mixed lactic acid bacteria fermentation of *Streptococcus thermophilus* and *Lactococcus bulgaricus*. Response surface methodology was used to study the effects of fermentation time (X_1), fermentation temperature (X_2) and inoculation volume (X_3) on the sensory scores of hydrolysate flavour. The volatile components of hydrolysate were evaluated by simultaneous distillation-extraction (SDE) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results indicated that the optimal conditions of fermentation were $X_1 = 9$ h, $X_2 = 45$ ℃ and $X_3 = 16\%$. The predicted value of response optimal conditions was $Y = 4.1$. After fermentation, the number of volatile components of hydrolysate increased from 27 to 33, which were mainly ester. Besides, other flavour compounds such as caprylic acid and palmitic aldehyde were also produced. The lactic acid bacteria fermentation could remove fish odour of protein hydrolyzates but its debittering effect was not obvious.

Key words: *Oreochromis niloticus*; hydrolysate; flavour; lactic acid bacteria; fermentation; volatile components

罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 是水产养殖业的重要品种之一, 其肉质白嫩鲜美、蛋白质含量高, 深受国内外消费者欢迎。FAO 统计数据表明, 2008 年世界罗非鱼产量达 250×10^4 t, 中国约占 50%。目

前, 罗非鱼除部分鲜销外, 大部分用于加工成冻鱼片出口^[1]。加工过程产生大量的下脚料——鱼头、鱼骨, 其中含有丰富的蛋白质^[2]。为了充分利用这些蛋白质资源, 酶法水解是有效途径之一, 但水解

收稿日期: 2010-01-04; 修回日期: 2010-02-02

资助项目: 广东省农业重点项目 (2008A020100006, 2009B020201003); 广东海洋大学学生研究创新性实验基金 (CXSY200822)

作者简介: 曾少葵 (1963-), 女, 副教授, 从事水产品加工与贮藏研究。E-mail: zsk1105@126.com

时常产生一些腥味物质，从而限制其应用。目前，一般采用活性炭吸附法、微孔膜过滤法、β-糊精包埋法及微生物发酵法等进行脱腥处理^[3-6]。曾少葵等^[7]利用乳酸菌发酵有效去除罗非鱼下脚料酶解液的腥味。该文采用响应面设计试验优化混合乳酸菌发酵条件，通过比较发酵前后酶解液氨基酸组成及挥发性成分，探讨改善罗非鱼下脚料酶解液风味的有效方法，旨在为其高值化利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与菌种

酶解液由罗非鱼头、鱼骨捣碎后经蛋白酶水解制得。嗜热乳链球菌 (*Streptococcus thermophilus*) 及保加利亚乳杆菌 (*Lactococcus bulgaricus*) 购于广东省微生物研究所菌种保藏中心。

1.2 试验方法

- 1.2.1 乳酸菌发酵 参考文献 [7] 的方法。
- 1.2.2 风味评定 采用感官评定法，10 名鉴评

员按表 1 标准评分。

1.2.3 试验设计 采用中心组合设计 (CCD) 优化乳酸菌发酵条件，选择时间 (X_1)、温度 (X_2) 和接种量 (X_3) 为自变量，其低、中、高水平分别以 -1, 0, +1 进行编码 (表 2)。

表 1 评分标准 (5 分制)

Tab. 1 Scoring standard of sensory test

发酵液 fermentation liquid	风味描述 flavour	评分 score
酶解液 (对照) hydrolysate (control)	腥味浓，苦味重	0
发酵后与对照液比 compared with control	腥味稍浓，苦味重	1
	腥味淡，苦味较重	2
	腥味较淡，苦味淡	3
	腥味、苦味很淡	4
	无腥苦味	5

表 2 响应面设计因素与水平

Tab. 2 Factor and level of response surface

因素 factor	变量 variable	水平 level				
		1. 682	1	0	-1	-1. 682
时间/h time	X_1	13. 0	11. 4	9. 0	6. 6	5. 0
温度/℃ temperature	X_2	50. 0	47. 0	42. 0	37. 0	34. 0
接种量/% inoculation volume	X_3	16. 0	14. 0	10. 0	6. 0	4. 0

1.2.4 数据分析 采用 Statistical Analysis System software (Ver 8.01) 软件对试验结果进行回归分析，其线性回归方程为描述响应量 (感官评分值) 与自变量 (发酵条件) 关系的二阶经验模型：

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 \beta_{ij} X_i X_j$$

式中 Y 为预测的感官评分值； β_0 为常数项； β_i 、 β_{ii} 和 β_{ij} 分别为一次项、二次项和交互项系数； X_i 和 X_j 为自变量编码水平，用 MATLAB 软件对试验数据进行拟合。多项式模型方程拟合性质由系数 R^2 表达，其统计学上的显著性由 F 值检验，采用典型分析预测最佳发酵条件^[8]。

- 1.2.5 氨基酸组成分析 采用日立 835-5 型氨基酸分析仪测定游离氨基酸。
- 1.2.6 挥发性成分的测定 1) 同时蒸馏萃取。

取 100 mL 酶解液于 250 mL 圆底烧瓶接于 SDE 装置一端，电热套加热，保持微沸，磨口烧瓶装 50 mL 重蒸乙醚接 SDE 装置另一端，45 ℃ 水浴加热，蒸馏 2 h，保留乙醚萃取液，加无水硫酸钠 (Na₂SO₄) 脱水后浓缩至 1 mL，供气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 分析。2) GC-MS 定性分析。色谱柱：Rtx-5ms，30 m×0.25 μm×0.25 mm 石英毛细管柱；程序升温至 50 ℃，保持 2 min 后以 5 ℃·min⁻¹ 升温到 300 ℃，再以 10 ℃·min⁻¹ 升温到 320 ℃，进样温度 250 ℃，体积流量 1.58 mL·min⁻¹；分流比 12:1；质谱条件：电离方式为 EI，电子能量 70 eV，离子源温度为 200 ℃，接口温度为 250 ℃。试验数据处理由软件系统完成，未知化合物经计算机检索同时与 NIST 谱库 (107 k compounds) 和 Wiley 谱库 (320 k compounds, Ver 610) 相匹配，仅列出匹配度大于

80%的化合物。

值 (Y) 为因变量进行随机试验, 结果见表 4。

2 结果与讨论

2.1 混合菌种比例确定

2 种乳酸菌按不同比例混合接种 10% 到酶解液中, 于 42 ℃ 发酵 7 h。感官评分值见表 3。

2 种乳酸菌发酵均能减弱酶解液的腥味, 混合菌种与单一菌种的去腥效果差异显著 ($P < 0.05$)。这 2 种乳酸菌具有共生作用, 混合培养产酸速度非常快^[9], 有利于改善酶解液风味, 但混合比例对发酵液风味影响不显著, 这与段旭昌等^[6]的研究结果一致。

2.2 发酵条件优化

以发酵温度、时间及接种量为变量, 感官评分

表 3 菌种比例对感官评分值的影响

Tab. 3 Effect of lactic acid bacteria proportion on sensory score

A : B	感官评分值 sensory score
0 : 1	2.6 ± 0.52 ^b
1 : 1	3.6 ± 0.51 ^a
2 : 1	4.1 ± 0.57 ^a
1 : 2	3.7 ± 0.48 ^a
1 : 0	2.7 ± 0.47 ^b

注: A. 保加利亚乳杆菌; B. 嗜热乳链球菌; 不同字母上标评分值具有显著差异 ($P < 0.05$)

Note: A. *L. bulgaricus*; B. *S. thermophilus*; Different superscripts indicate significant differences ($P < 0.05$).

表 4 中心组合设计及试验结果

Tab. 4 Design and test results of centre combination

编号 No.	发酵时间/h fermentation time	发酵温度/℃ fermentation temperature	接种量/% inoculation volume	感官评分 score of flavour
1	1	1	1	3.5
2	1	1	-1	2.0
3	1	-1	1	3.0
4	1	-1	-1	3.5
5	-1	1	1	3.5
6	-1	1	-1	2.5
7	-1	-1	1	3.0
8	-1	-1	-1	3.0
9	1.682	0	0	4.0
10	-1.682	0	0	3.5
11	0	1.682	0	2.5
12	0	-1.682	0	2.0
13	0	0	1.682	3.8
14	0	0	-1.682	3.5
15	0	0	0	3.7
16	0	0	0	3.5
17	0	0	0	3.7
18	0	0	0	3.6
19	0	0	0	3.9
20	0	0	0	3.8
21	0	0	0	4.1
22	0	0	0	4.0
23	0	0	0	3.4

2.2.1 响应面分析 利用 SAS 软件对表 4 风味评分值进行回归拟合，结果见表 5 和表 6。

常数项及 X_2^2 对响应值 Y 有极显著影响 ($P < 0.01$)， X_3 对 Y 值有显著影响 ($P < 0.05$)，二次多项回归方程为：

$$Y = 3.937 + 0.208X_3 - 0.638X_2^2 + 0.375X_3 \cdot X_2$$

方差分析表明，该模型回归显著， $R^2 = 0.8934$ ，说明该模型与试验拟合较好，可用于改善罗非鱼酶解液风味试验感官评分值的理论预测。表 6 方差分析结果表明，方程的一次项“ X_3 ”、二次项“ X_2^2 ”和交互项“ $X_3 \cdot X_2$ ”对酶解液风味影响显著。

2.2.2 响应面等高线图分析 由拟合的回归方程作响应面和等高线图（图 1）。

响应面图和等高线图反映发酵温度和接种量对

风味评分值的影响。响应面呈规则凸起形，表明响应值 Y 在水平范围内有极大值。等高线图的等值线成梯田状， X_2 和 X_3 存在着交互作用， X_2 对 Y 的影响大于 X_3 ，在 -1.0 到 -0.5 之间 Y 随着 X_2 的增加而迅速增加，在 -0.5 到 0 之间趋于平缓；当 X_2 大于 0 时， Y 随之减少，即在 -1.0 到 -0.5 之间， X_2 影响最大。在 0 附近，纵向的等值线密，而横向的等值线稀疏，说明发酵温度（ X_2 ）在交互作用中，对风味感官评分值影响较大。高温能刺激乳酸菌的迅速生长并产生乳酸，而酸味在风味中起重要作用。另外，代谢产物双乙酰是重要的呈味物质，赋予酶解液香味^[10]。然而，过高的发酵温度会导致挥发性盐基氮增加，进而使酶解液风味变差^[11]。接种量（ X_3 ）和发酵时间（ X_1 ）对风味评分值影响较小。

表 5 回归分析结果
Tab. 5 Results of regression analysis

来源 source	自由度 degree of freedom	回归系数 regression coefficient	误差 error	<i>t</i>	<i>Pr > t </i>
截距 intercept	1	3.937811	0.094206	41.80	<0.0001
X_1	1	0.061575	0.076522	0.80	0.4355
X_2	1	-0.011641	0.076522	-0.15	0.8814
X_3	1	0.208006	0.076522	2.72	0.0176
X_1^2	1	-0.108068	0.070932	-1.52	0.1516
X_2X_1	1	-0.125000	0.099985	-1.25	0.2333
X_2^2	1	-0.638268	0.070932	-9.00	<0.0001
X_3X_1	1	0	0.099985	0.00	1.0000
X_3X_2	1	0.375000	0.099985	3.75	0.0024
X_3^2	1	-0.108068	0.070932	-1.52	0.1516

表 6 回归方程的方差分析
Tab. 6 Variance analysis of regression equation

方差来源 variance source	自由度 degree of freedom	平方和 sum of squares	均方 mean square	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>
X_1	4	0.362424	0.090606	1.13	0.3837
X_2	4	7.727472	1.931868	24.16	<0.0001
X_3	4	1.901585	0.475396	5.94	0.0060
一次项 linear	3	0.644581	0.2148603	2.69	0.0898
二次项 quadratic	3	6.814420	2.271473	28.40	<.0001
交互项 interaction	3	1.250000	0.416667	5.21	0.0140
总模型 total model	9	8.709001	0.967667	12.10	<.0001
失拟性 lack of fit	5	0.619695	0.123939	2.36	0.1343
残差 pure error	8	0.420000	0.052500	-	-
总离差 total error	13	1.039695	0.079977	-	-

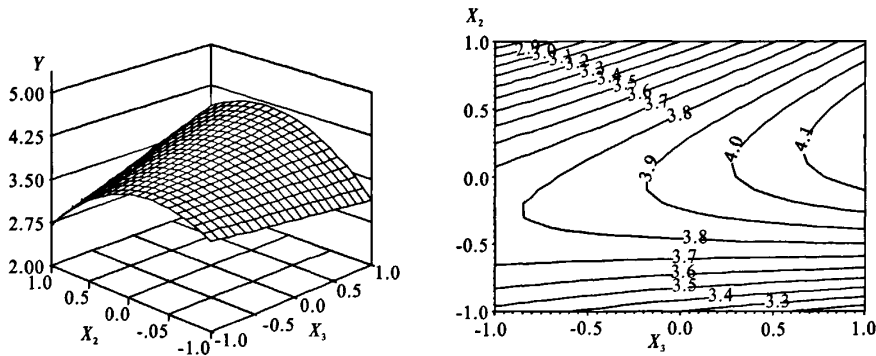


图1 响应面及等高线图
Fig. 1 Response surface and contour maps

表7 酶解液氨基酸组成

Tab. 7 Free amino acid of hydrolysate		g·L ⁻¹
氨基酸 amino acid	游离氨基酸 free amino acid	
	发酵前	发酵后
	before fermentation	after fermentation
门冬氨酸 Aspartic acid	0.49	0.47
苏氨酸 Threonine	0.70	0.73
丝氨酸 Serine	0.49	0.51
谷氨酸 Glutamic acid	1.00	1.00
脯氨酸 Proline	0.30	0.31
甘氨酸 Glycine	1.00	1.00
丙氨酸 Alanine	1.40	1.50
胱氨酸 Cysine	0.13	0.15
缬氨酸 Valine	1.10	1.10
甲硫氨酸 Methionine	1.20	1.20
异亮氨酸 Isoleucine	0.85	0.86
亮氨酸 Leucine	2.40	2.40
酪氨酸 Tyrosine	0.38	0.38
苯丙氨酸 Phenylalanine	1.00	1.00
赖氨酸 Lysine	0.97	0.99
组氨酸 Histidine	0.35	0.35
精氨酸 Arginine	1.60	1.60
色氨酸 Tryptophane	0.18	0.18
总量 total	15.54	15.73

对二次响应面方程取一阶偏导数为0，解出极值点的编码值 X_1 为 -0.042763， X_2 为 0.566538，

X_3 为 1.945337，即发酵时间9 h、发酵温度45℃、接种量16%，此时预测最大的响应值 Y （感官评分值）为4.1。

2.3 酶解液氨基酸组成

对酶解液氨基酸进行测定，结果见表7。

HARA^[12]认为淡水鱼的气味与氨基酸组成有关。酶解液发酵后游离氨基酸略有增加，而苦味的天冬氨酸、胱氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、精氨酸和色氨酸质量分数基本不变；甜味氨基酸苏氨酸、丝氨酸、脯氨酸、甘氨酸和丙氨酸由3.80 g·L⁻¹增加至4.05 g·L⁻¹，增加了6.6%。显然这2种乳酸菌发酵对酶解液苦味的去除效果不明显，这与曾少葵等^[7]之前的研究结果一致。

2.4 挥发性成分

2.4.1 发酵前挥发性成分 利用同时蒸馏-气相色谱-质联用技术，分析酶解液挥发性成分（图2），共检出27种（表8）。

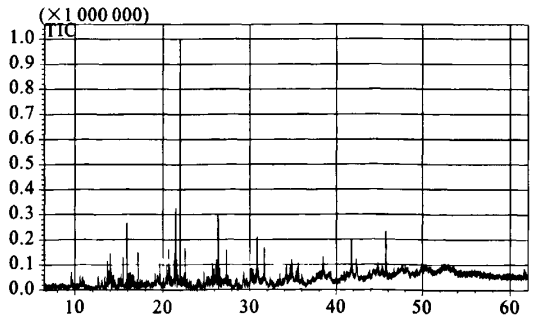


图2 酶解液总离子流色谱图
Fig. 2 Total ion current (TIC) spectra of hydrolysate

表 8 酶解液挥发性成分
Tab. 8 Volatile compounds of hydrolysate

保留时间/min retention time	挥发性成分 volatile compound	质量分数/% content
9. 755	苯酚	0. 20
13. 810	[1S-(1 α , 2 β , 5 β)] -5-甲基-2-(1-甲基乙烷基) -环己醇	0. 54
13. 896	顺-八氢-4-甲基-2(1H) -萘酮	0. 35
16. 617	异十三醇	0. 22
21. 977	3,5-双 (1, 1-二甲基乙烷基) -苯酚	5. 44
22. 166	6-羟基-7-十九烷氢硫基-5, 8 喹啉二酮	0. 43
22. 806	2-乙烷基-2-甲基十三醇	0. 38
24. 668	(Z, Z) -9-十六碳烯酸, 9-十六烯酯	0. 23
27. 053	(3 β , 4 α) -4-甲基-胆甾-8, 24-二烯-3-醇	0. 20
27. 864	2-乙烷基-2-甲基十三醇	0. 33
29. 533	硬脂酸十二烷基酯	0. 29
31. 222	7-氯-1, 3, 4, 10-四氢化-10-羟基-1-[5-(1 吡咯烷基) 戊烷基] 亚氨基}-3-[3-(三氟代甲基) 苯基] -9(2H) -茚酮	0. 18
31. 337	苯丙酸, 3,5-双(1, 1-二甲基乙烷基) -4-羟基-甲基酯	0. 17
33. 979	氧杂环三十烷-4, 13, 19, 28-四酮	0. 26
34. 339	6, 9, 17, 20, 25, 28-六氧杂-1, 3, 12, 14-四氮杂双环[12. 8. 8] 三十烷-2, 13-二硫酮	0. 44
34. 913	硬脂酸十二烷基酯	0. 66
35. 033	6-羟基-7-十九烷氢硫基-5, 8 喹啉二酮	0. 29
37. 134	1-三十烷醇	0. 34
37. 840	硬脂酸十二烷基酯	0. 74
38. 001	3, 12-二甲基 6, 9, 17, 20, 25, 28-六氧杂-1, 3, 12, 14-四氮杂双环[12. 8. 8] 三十烷-2, 13-二酮	0. 44
38. 449	2-[3-六萘酰氧基] -1, 3-二醇	2. 14
38. 730	4-甲基-2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 7, 7-十二氟代庚基戊酸酯	0. 55
39. 067	5, 14, 23-十八三亚乙基四胺-14, 15-二醇	0. 25
39. 120	1,2-环己胺二羧酸二萘酯	0. 31
39. 427	十六烷酸十二烷基酯	0. 19
42. 414	萘二酸酯	0. 71
45. 400	二十二烷酸壬基酯	0. 26
47. 189	2, 4, 6, 8-四甲基-1-二十八烷醇	0. 33
47. 453	3,5-二溴代-4-(4-碘-苄氧基) -苯甲醛	0. 23
47. 607	(5 β) -环 1, 2-二乙烷基-胆甾-3-酮	0. 37
50. 520	8-乙烷基-10 [4-羟基-8-(2-羟丙基) -3, 9-二甲基-1, 7-二氧杂螺旋(5. 5) 十一碳-2-基] -2-甲基-4, 6-萘二烯醛	0. 17

表 9 发酵后酶解液挥发性成分
Tab. 9 Volatile compounds of hydrolysate after fermentation

保留时间/min retention time	挥发性成分 volatile compound	质量分数/% content
7. 439	1, 1, 1, 5, 5, 5-六氟代乙酰丙酮	0. 17
7. 467	3, 7-二甲基-2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 7, 7-十二氟代庚基酯	0. 06
10. 874	L-亮氨酸, N-[N-(N-硬脂酰-L-丙氨酰) -L-异戊氨酰] 甘氨酰-L-甲基酯	0. 14
16. 849	1-正己醇	0. 23
17. 663	苯酸	0. 19
18. 890	十六烷酸, 2-(十八烷氧基) -十四烷基酯	0. 08
19. 360	十六醛	0. 83
19. 440	1, 2-环己胺二羧酸二葵酯	0. 19
20. 061	胆甾基-3-酮	0. 11
20. 860	2, 6-双(1, 1-二甲基乙烷基) -2, 5-环己二烯-1, 4-二酮	0. 22
21. 907	辛酸	0. 12
21. 976	3, 5-双(1, 1-二甲基乙烷基) -苯酚	6. 39
22. 161	2-丁基, 1-辛醇	0. 46
22. 957	环丙烷羧酸, 2, 2, 3, 3-四甲基-氧基(3-含氧苯基苯基) 甲基酯	0. 07
24. 627	28-乙酰基, 醋酸酯	0. 06
24. 673	三肉豆蔻酸甘油酯	0. 15
27. 217	2-(2, 4, 5-三氯含苯氧基) 丙酸异辛基酯	0. 40
28. 215	硬脂酸十二烷基酯	0. 14
28. 537	4-(4-五氟代苯氧羰基-丁酰) -对二氟己环-1-羧酸三元醇-丁酯	0. 47
28. 637	十四烷酸, 2-羟基-1, 3-二丙烷基酯	0. 16
29. 618	1, 3, 5-三-三元醇-丁基-3-[(1, 3, 5-三-三元醇-丁基-4-氧代-2, 5-环己二烯-1-基) 甲基] -4-烯-2-酮	0. 62
29. 846	1, 2-苯二羧酸-双(2-甲基丙基) 酯	0. 27
31. 231	1-[2-联氮苯基环己酮] -2-[N(1), N(3) -二甲基] -六氢化嘧啶-2-酮	0. 28
31. 332	苯丙酸, 3, 5-双(1, 1-二甲基乙烷基) -4-羟基甲酯	0. 28
32. 701	7, 9-二-三元醇-丁基-1-氧杂螺旋(4, 5) 十-6, 9-二烯-2, 8-二酮	0. 46
33. 607	1-三十五烷醇	0. 22
34. 218	1, 2-环己胺二羧酸二葵酯	0. 60
34. 950	三肉豆蔻酸甘油酯	0. 45
38. 009	3, 12-二甲基-6, 9, 17, 20, 25, 28-六乙二酸-1, 3, 12, 14-四氮杂双环[12. 8. 8] 三十烷-2, 13-二酮	0. 36
38. 245	2, 4, 6-三甲基二十九酸甲酯	0. 55
38. 451	2-[3-十六烷酰氧基] -1, 3-二醇	2. 38
41. 751	1, 2-苯羧酸二十三烷基酯	1. 51
42. 328	二十三酸, 10, 14, 18, 22-四甲基甲酯	1. 71
44. 097	十六烷酸, 2-(十八烷氧基) -十四烷基酯	0. 10
44. 590	硬脂酸, 2, 3-双[(1-十四烷氧基) 氧] 丙酯	0. 56
48. 230	丁二酸双-(2, 2, 6, 6-四甲基-1-氧-哌啶-4-基) -酯	0. 14

在检出的挥发性成分中, 酯类 8 种、酮类 8 种、醇类 8 种、醛类 2 种及苯酚类 2 种。烯醛类、二烯醛类化合物与鱼腥味有关^[13-16], 一些酮类混合物在低阈值时呈脂肪味、桉叶味等, 与醛类存在协同作用, 使腥味增强或改变^[17]。酶解液中检出的二烯醛及苯酚类物质, 对腥味有一定的影响^[13]。

2.4.2 发酵后的挥发性成分 图 3 是 GC-MS 图, 经质谱数据库检索, 确认有 33 种挥发性成分 (表 9)。

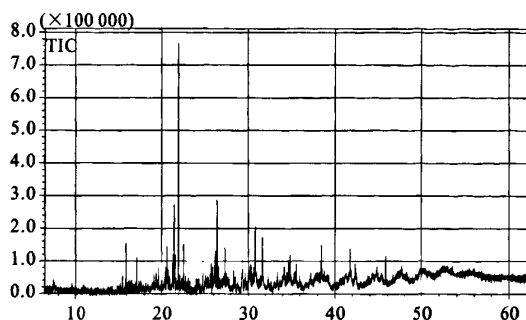


图 3 发酵后酶解液总离子流色谱图

Fig. 3 Total ion current (TIC) spectra of hydrolysate after fermentation

发酵食品的风味形成主要通过糖酵解、脂类分解及蛋白酶解等途径, 其中脂肪酸与氨基酸的进一步转化, 是产生芳香性挥发物质酯类、酮类及醛类的重要因素^[18]。由表 9 可知, 酶解液经乳酸菌发酵后挥发性成分增加, 酯类由 9 个增加至 18 个, 并检出十六醛和辛酸。一般而言, 酯类会赋予食品果香味, 发酵乳中的风味物质主要是乙酸乙酯、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、辛酸和十六醛等^[19]。显然, 发酵后增加的酯类、辛酸及十六醛等风味物质起到改善酶解液风味的作用。

3 结论

嗜热乳链球菌和保加利亚乳杆菌混合发酵能改善罗非鱼下脚料酶解液风味, 响应面设计优化的发酵条件为时间 9 h, 温度 45 ℃, 接种量 16%。发酵后挥发性成分增加了酯类、辛酸及十六醛等风味物质, 使酶解液腥味减弱, 但苦味去除效果不显著。

参考文献:

[1] 陈胜军, 李来好, 杨贤庆, 等. 我国罗非鱼产业现状分析及提

高罗非鱼出口竞争力的措施 [J]. 南方水产, 2007, 3 (1): 75-80.

[2] 孔美兰, 吉宏武, 章超桦. 罗非鱼下脚料自溶条件的初步探讨 [J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25 (4): 29-31.

[3] 韦保耀, 曾世祥, 滕建文, 等. 罗非鱼下脚料水解蛋白脱腥脱苦的研究 [J]. 食品科技, 2007 (3): 255-258.

[4] 杨萍, 洪鹏志, 陈丹. 微孔膜过滤罗非鱼下脚料蛋白酶解液的效果研究 [J]. 食品工业科技, 2008, 29 (5): 161-164.

[5] 段振华, 易美华, 汪菊兰, 等. 罗非鱼碎鱼肉酶解液的脱腥技术及机理探讨 [J]. 食品工业科技, 2007, 28 (2): 65-67.

[6] 段旭昌, 徐怀德, 李志成, 等. 乳酸菌发酵法改良甲鱼蛋白酶解液风味的研究 [J]. 中国食品学报, 2004, 4 (4): 39-42.

[7] 曾少葵, 杨萍, 陈秀红. 微生物发酵对罗非鱼下脚料蛋白酶解液脱腥去苦效果比较 [J]. 南方水产, 2009, 5 (4): 58-63.

[8] 栾军. 现代试验设计优化方法 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1995: 45-48.

[9] 吴荣荣, 马静, 裴家伟, 等. 保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌相互作用的研究 [J]. 中国乳品工业, 2003, 30 (4): 9-14.

[10] 张刚. 乳酸细菌——基础、技术和应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 265.

[11] RIEBROY S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Properties and acceptability of Som-fug, a Thai fermented fish mince inoculated with lactic acid bacteria starters [J]. LWT-Food Sci Technol, 2008, 41 (4): 568-580.

[12] HARA T J. The diversity of chemical stimulation in fish olfaction and gustation [J]. Rev Fish Biol Fish, 1994, 4 (1): 1-35.

[13] 王锡昌, 陈俊卿. 顶空固相微萃取与气质联用法分析鲢肉中风味成分 [J]. 上海水产大学学报, 2005, 14 (2): 176-180.

[14] HEATH H B, REINECCIUS G A. Flavor and its study [M] // Flavor chemistry and technology. Westport, CT: AVI Publishing Co. Inc., 1986: 71-111.

[15] CHA Y J, CADWALLADER K R, BAEK H H. Volatile flavor components in snow crab cooker effluent and effluent concentrate [J]. J Food Sci, 1992, 58 (3): 525-530.

[16] YOSHIWA T, MORIMOTO K, SOLAPTP K, et al. Volatile compounds of fishy odor in sardine by simultaneous distillation and extraction under reduced pressure [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1997, 63 (2): 222-230.

[17] 杜国伟, 夏文水. 鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化 [J]. 食品工业科技, 2007, 28 (9): 76-80.

[18] Van HYLCKAMA Vlieg J E T, HUGENHOLTZ J. Mining natural diversity of lactic acid bacteria for flavour and health benefits [J]. Inter Dairy J, 2007, 17 (11): 1290-1297.

[19] 王伟军, 李延华, 张兰威, 等. SDE-GC-MS 法测定发酵乳中风味物质 [J]. 食品科学, 2008, 29 (6): 332-334.