

文章编号:1673-1689(2009)01-0057-06

酸碱法提取鲢鱼蛋白脱腥及酵母脱腥机理

付湘晋, 许时婴*, Jinmoon Kim

(江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要:通过感官评定,测定硫代巴比妥酸值(TBA),研究了酸碱法对鱼肉蛋白腥味的的影响及活性炭、环糊精、酵母发酵的脱腥效果,并应用蒸馏萃取-气相-质谱(SDE-GC-MS)技术研究了酵母发酵对碱提蛋白风味的影响及脱腥机理。水洗和碱提工艺显著减弱腥味和降低TBA值,酸提工艺腥味加重、TBA值略微升高。活性炭、 β -环糊精、酵母发酵脱腥都有一定效果,其中碱提蛋白加酵母脱腥效果最好,可得到完全无腥味的鱼蛋白。感官评分与TBA值之间相关性很好($R^2=0.9045$)。SDE-GC-MS结果表明,鱼肉蛋白中主要的风味物质是醇类和醛类;酵母发酵使杂环化合物种类数量从7种下降到1种,低级、支链醇的种类增加,醛类物质从21种减少到10种,具有腥味的来自n-6多不饱和脂肪酸(PUFA)自动氧化降解的醛类相对含量从0.691%降低到0.04%。酵母发酵脱腥的机理之一是把醛类、醇类转化成相应的酸。

关键词:鲢鱼;蛋白;风味;脱腥;酸碱法

中图分类号:TS 275

文献标识码:A

Removing the Fishy Flavor of Silver Carp Protein by Yeast Fermentation and the Mechanism

FU Xiang-jin, XU Shi-ying*, Jinmoon Kim

(School of Food Science and Technology, Jiang Nan University, WuXi 214122, China)

Abstract: This methods of sensory evaluation and Thiobarbituric acid (TBA) value were used to study the effect of active carbon, cyclodextrin, yeast on the fishy flavor's removing of the acid- / alkali- isolated silver carp protein, furthermore, study the mechanism of the fishy flavor's removing by yeast, using the simultaneous distill extraction (SDE-GC-MS) technology. Water-washed process and alkali-aided recovery process removed the fishy flavor and reduced the TBA value effectively, but the acid-aided recovery process caused the fishy flavor more heavy and increased the TBA value. There was marked regression relationship between sensory evaluation value and TBA value ($R^2=0.9045$). Active carbon, cyclodextrin, yeast could remove the fishy flavor effectively, among them, the yeast was the best, odorless protein was obtained by yeast fermentation. The result of SDE-GC-MS showed that, the major flavor component in fish protein were alcohols and aldehydes. The fermentation of yeast decreased the species of heterocyclic

收稿日期:2007-09-26

作者简介:付湘晋(1980-),男,湖南邵阳人,食品科学与工程博士研究生,主要从事食品蛋白质研究。Email: yangtzfu@yahoo.com.cn

* 通讯作者:许时婴(1941-),女,教授,博士生导师,主要从事高新技术在食品加工中的应用研究和教学。
Email: syxu@jiangnan.edu.cn

compound from 7 to 1, the species of short and branch chain alcohol increased, species of aldehydes decreased from 21 to 10, the relative content of fishy aldehydes, which stemmed from the degrading n-6 polyunsaturated fatty acid, decreased from 0.691% to 0.04%. One mechanism of removing fishy flavor by yeast was that yeast transferred the alcohols and aldehydes to organic acids.

Key words: silver carp, protein, flavor, removing the fishy flaovor, acid-and alkali-aided processes

中国淡水鱼资源丰富,但由于缺乏深加工技术,淡水鱼加工率低^[1],淡水养殖效益低下,资源浪费严重。特别是中国养殖量和产量最大的淡水鱼——白鲢鱼(silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*),肉薄刺多,泥土味与鱼腥味不易去除,鲜销价格很低。

把白鲢加工成鱼糜,是有效利用白鲢资源的途径之一。但现有白鲢鱼鱼糜加工工艺蛋白得率低^[2];废水蛋白质含量很高,不仅水处理成本较高,还浪费了大量蛋白质资源。

酸碱法(pH-shifting)^[3]先在极端 pH 值条件(<2.5 或>10.5)下使绝大部分蛋白质溶解,去掉不溶解物,再调 pH 值至蛋白质的等电点沉淀回收。与传统方法比较,酸碱法能显著提高产率,蛋白质回收率 70%~90%,废水中的蛋白含量降低,减少了环境污染和废水处理成本。太平洋牙鲆^[4]、Catfish^[5]等鱼已经有酸碱法提取蛋白的报道。国内有陈申如^[6]应用酸法提取鲢鱼鱼肉蛋白,蛋白质回收可达 90%左右。但还不见有酸碱法工艺对鱼蛋白风味影响的研究报道。

非常新鲜的鱼香气通常是柔和的、浅淡的、令人愉快的。这些香气一般被描述为由各种羰基化合物和醇提供的清香、类植物香和类蜜瓜香^[7];但在酶、微生物的作用下以及脂肪的自动氧化,鱼肉很快就产生腥味^[8-9];也有相当一部分鱼肉因为吸收了环境、饲料中的异味物质产生腥味。

脱腥的方法有萃取法、吸附法、掩盖法、包埋法、酶法、微生物法等。在鱼糜生产中一般用清水或低浓度盐水洗涤两三次。鱼肉中的异味物质通常与蛋白质结合在一起,通过传统水洗工艺不能完全去除腥味。酸碱法中,鱼蛋白先在极端 pH 条件下溶解,此时,蛋白质在静电斥力作用下完全展开,原来与蛋白质物理结合的腥味物质可能与蛋白质分开。所以,在酸碱法提取蛋白质的同时脱腥,效果可能会更好,作者还考察了活性炭、环糊精的脱腥效果。

另外,许多研究者报道,酵母发酵能完全脱腥,但并没有详细研究;本文比较了酵母脱腥前后鲢鱼碱提蛋白的感官评分、TBA 值、SDE-GC-MS 图谱,对酵母脱腥的机理做了初步研究。

1 材料与方法

1.1 材料

白鲢鱼:无锡市青山湾市场购买,秋季,1 kg 左右重。化学试剂均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 酸碱法(pH-shifting)提取鲢鱼蛋白 鲜活鲢鱼宰杀后,去头、内脏,用冰水洗净,手工剔取白色鱼肉。加 9 倍的冰蒸馏水(4℃),用匀浆机匀浆(10 000 r/min, 30 s)(DS-1 型高速匀浆机,上海样品模型厂制),鱼浆用双层纱布过滤除结缔组织。鱼浆转入磁力搅拌器缓慢搅拌,同时调整 pH 值(酸提 pH 2.3,碱提 pH 11.8),整个过程保证温度低于 10℃;pH 值达到目的值后继续搅拌提取蛋白质 30 min;冷冻离心(4℃,5 000 g, 20 min)(4K15, Sigma, German),去掉沉淀;调上清液 pH 值到 5.5 沉淀蛋白质;冷冻离心(4℃,5 000 g, 20 min),下层沉淀即为酸碱法提取的鲢鱼蛋白^[3]。

1.2.2 脱腥 活性炭、环糊精在鱼蛋白提取时 pH 值达到目的值后加入,与鱼蛋白一起搅拌,其它工艺不变。添加量为质量分数 1%。

酵母脱腥:提取蛋白添加活性酵母,混匀,20℃培养 1 h。添加量为质量分数 0.5%。

1.2.3 感官评价 5 个感官评价员。鱼肉腥味评分:0—无腥味,1—略有腥味,2—腥味较弱,3—有腥味,4—腥味一般,5—腥味偏重,6—腥味较重,7—腥味很重。最后得分取平均值。

1.2.4 硫代巴比妥酸(TBA)值 分光光度法^[11]。

1.2.5 样品处理和同时蒸馏萃取(SDE) 样品 100 g,放入 1 000 mL 的圆底烧瓶中,加入 200 mL 超纯水,数颗玻璃珠。连接到同时蒸馏萃取装置一端,控制温度在 100℃到 110℃之间保持沸腾。另

取 50 mL 重蒸无水乙醚置于 250 mL 的圆底烧瓶中,接在同时蒸馏萃取装置的另一端,以 50 ℃ 恒温水浴加热烧瓶,连续萃取 2 h。乙醚萃取液用活化好的无水硫酸钠 5 g 脱水,4 ℃ 过夜,过滤除硫酸钠,微弱氮气吹到 1 mL。

1.2.6 气相—质谱(GC-MS) 气相色谱条件:HP-5MS 毛细管柱;解析时间 10 min,进样口温度 230 ℃;柱初温 30 ℃,保持 2 min,以 10 ℃/min 程序升温到 250 ℃,保持 30 min;载气(He)体积流量 0.8 mL/min,分流比 50:1。

质谱条件:传输线温度 280 ℃,离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃;扫描范围 35~350 *m/z*;电离电压 70 eV。

1.2.7 理化测定 pH 值,复合电极。

2 结果与讨论

2.1 感官评分与 TBA 值

由于风味物质种类繁多,有些物质阈值非常低,仪器检测费时、成本高,感官评分简单、直接。在食品风味研究中,感官评分是最常用的方法。从表 1 中可以看出,水洗、碱提以及添加活性炭、环糊精、酵母脱腥的蛋白质腥味评分低于鱼肉的,酸提蛋白腥味加重。其中碱提蛋白加酵母脱腥效果最好,可得到完全无腥味的鱼蛋白。

表 1 处理方法对鱼肉腥味评分、TBA 值及蛋白得率的影响
Tab.1 Effect of treatments on the fishy value and TBA value

样品	腥味评分	TBA 值	蛋白质得率/%
鱼肉	6	0.85	100
水洗蛋白	3	0.625	59.8
酸提蛋白	7	1.05	77.5
碱提蛋白	3.5	0.41	79.1
碱提、活性炭脱腥蛋白	1	0.35	68.4
提、β-环糊精脱腥蛋白	0.5	0.237	71.1
碱提蛋白酵母发酵脱腥	0	0.103	79.1

活性炭、环糊精、酵母是食品上脱腥最常用的添加物。活性炭比表面积很大,吸附作用强,能吸附腥味物质及色素;一般情况下,活性炭对于非极性化合物和饱和键化合物以及相对分子质量较大的化合物吸附性较好,反之,则吸附性较差。环糊精是环状低聚葡萄糖,存在一个立体疏水空腔,可依据主、客间分子大小的匹配,及范德华力、疏水作用力与许多分子形成包合物,从而达到脱腥的目的。施文正研究了鱼蛋白水解液的脱腥,结果表明

活性炭脱腥效果较好,但蛋白质损失多;环糊精脱腥效果不好;酵母发酵脱腥效果最好,但用量不能太大,否则有酵母味;这与作者的结果基本一致。

TBA 值反映脂肪降解产物如低级醛、酮的含量,广泛应用在肉制品脂肪氧化的测定。研究发现^[11],在冻藏过程中,TBA 值与异味评分有很好的相关性。在鲑鱼酸碱法加工中,TBA 值的测定结果(表 1)表明,水洗和碱提工艺能显著降低 TBA 值,酸提工艺使 TBA 值略微升高,在一些模型及其它鱼肉中也发现^[12],TBA 值在 pH 值低于 3.5 时迅速增加,但在高于 10.5 时基本稳定,这是因为在酸性环境中,血红蛋白更加容易氧化,从而引起脂肪氧化降解。酵母发酵后,TBA 值显著降低,说明酵母发酵减少了醛、酮的含量。

鱼肉腥味与 TBA 值线性回归 $R^2=0.9045$ (图 1),可见腥味与脂肪降解产物有很大关系。在加工过程中可以以 TBA 值为化学指标评价腥味程度。

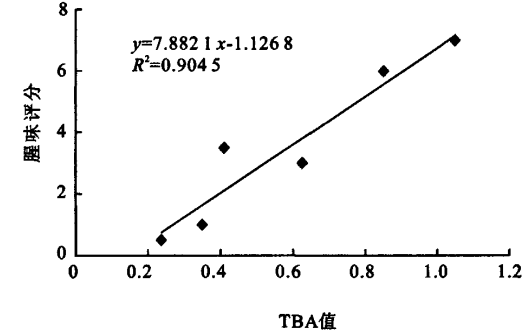


图 1 鱼肉腥味评分与 TBA 值的关系
Fig.1 Relationship between fishy and TBA value of fish meat

2.2 SDE-GC-MS 分析鱼蛋白风味及酵母脱腥

2.2.1 碱提鱼蛋白风味分析 江健^[13]应用 SPME-GC-MS 法从鲑鱼肉中检测到 40 种物质,从表 2 可以看出,检测到的物质种类比 SPME 法多,脱腥前 71 种,酵母脱腥后 60 种,这是因为风味物质与鱼肉蛋白结合紧密,SDE 温度较高,风味物质提取彻底。也有可能高温蒸馏时产生了新的物质。由于温度高,脂肪酸检出量也较多。

从表 2 中可以看出,检测到的风味物质包括烷烃、醇、醚、醛、酮、酸、酯、杂环等,其中醛和醇是最多的,这与前人研究的鱼肉中气味成分组成基本一致^[14]。

烷类阈值较高,因此对食品风味贡献很小,但一些支链烷烃可能对鱼蛋白香味有贡献。饱和醇类,如己醇、庚醇、辛醇、葵醇等多见于一些经蒸煮以后的甲壳类动物及鱼肉的挥发性物质中,产生较

为柔和的气味,这可能是在加热过程中脂肪经氧化分解生成的或是由羰基化合物还原生成;它们的阈值也比较高,除非它们以高浓度存在,否则对风味贡献不大。

挥发性羰基化合物产生浓郁的风味。酮类可能是由于不饱和脂肪酸的热氧化降解而产生的^[15],酮对甜的花香及果香风味有贡献,并且随着碳链的增长会给出更强的花香特征。而烯酮类化合物是在加热过程中生成的脂肪氧化的产物,具有植物芳香的气味特征。酯类给予食品一种香甜的果香。

较早的研究认为,淡水鱼特有的腥味同吡啶有关,但 Josephson 等对淡水鱼的气味进行了详细的研究^[7],据其研究结果:己醛、1-辛烯-3-醇、1,5-辛二烯-3-醇、2,5-辛二烯-1-醇等 C₆、C₈ 的羰基化合物和醇类,同新鲜淡水鱼具有的植物性气味相关。Yoshiwa 的研究^[16]结果表明,沙丁鱼特征腥味的主要成分是 2,4-庚二烯醛、3,5-辛二烯醛、2,4-癸二烯醛和 2,4,7-癸三烯醛等。章超桦^[14]认为,新鲜鲫鱼所具有的特征气味主要同 C₅-C₈ 的 1-戊烯-3-酮、2,3-戊二酮、1-戊烯-3-醇、己醛、反-2,顺-4-庚二烯醛、1-辛烯-3-醇、1,5-辛二烯-3-醇等羰基化合物和醇类相关,这些挥发性成分的协同作用构成了草腥味、泥土味等鲫鱼特有的鱼腥味。

饱和直链醛类如己醛、庚醛、辛醛、壬醛、癸醛等通常会产生一些令人不愉快、辛辣的刺激性气味。2-戊烯醛(2-pentenal)、2-己烯醛(2-hexenal)、2,6-壬二烯醛(2,6-nonadienal)具有愉快的黄瓜、苹果、青草味;2,6-壬二烯醛(2,6-nonadienal)同时有油脂味。己醛(hexanal)、2-辛烯醛(2-octenal)、2-癸烯醛(2-decenal)和 2-4-癸二烯醛(2,4-decadienal)具有油腻、中药、坚果味,与氧化鱼油的风味相关。特别是己醛,有青草味,被认为与豆腥味、鱼腥味有关,普遍存在于鱼类中。在鲫鱼中,己醛浓度最高,气味强度也最大,被认为是鲫鱼气味最重要的相关物质^[14]。

2.2.2 酵母发酵脱腥对风味物质的影响及脱腥机理 比较 AKPI 和酵母发酵脱腥后鱼蛋白的 GC-MS 结果(数据略),本研究在 AKPI 中检测到吡啶(Pyridine),而酵母发酵脱腥后没检测到。发酵后(表 2),杂环化合物种类数量从 7 种下降到 1 种。杂环化合物由氨基酸在加热条件下生成,酵母发酵时优先利用了氨基酸,氨基酸含量降低,所以杂环化合物检出种类减少。

脱腥前后醇的种类发生了很大变化,发酵前检测到的醇都在十二碳以上,如十二醇、十八醇;而经

过酵母发酵以后,低级、支链醇的种类增加,如 2-丙氧基-1-丙醇、4-甲基-1-戊醇。另外,还检测到了酵母产生的苯乙醇,苯乙醇具有玫瑰香。

表 2 碱提鱼蛋白酵母发酵脱腥前后风味物质种类比较

Tab. 2 Comparation of flavor compounds between AKPI and fermented AKPI

风味物质	碱提蛋白	酵母脱腥
烷、烯	18	9
醇	9	10
醚	2	2
醛	21	10
酮	4	4
酸	8	19
酯	2	1
杂环	7	1
其它	0	4
总计	71	60

表 3 碱提蛋白(AKPI)酵母发酵脱腥前后风味物质相对含量变化

Tab. 3 Comparation of the fishy odor compounds content between AKPI and fermented AKPI

风味物质	相对含量/%	
	碱提蛋白	酵母脱腥
2-Pentenal	0.104	0
2-Hexenal	0.067	0
2,4-Heptadienal	0.147	0.03
2,6-Nonadienal	0.062	0
Σn-3 PUFA	0.38	0.03
Hexanal	0.489	0
2-Octenal	0.112	0.02
2-Decenal	0	0
2,4-Decadienal	0.09	0.02
Σn-6 PUFA	0.691	0.04

AKPI 中醛类物质检测出 21 种,发酵后减少到 10 种。其中只在 AKPI 中检测到而发酵后没有检测到的醛类有:(E)-2-pentenal、hexanal、2-hexenal、decanal、trans, trans-2, 4-octadienal、trans-2-cis-6-nonadienal、Z-2-nonenal、cis-4-Decenal、9, 12, 15-Octadecatrienal、trans-2-Tridecenal、Tetradecanal、cis-9-Hexadecenal、cis-11-Hexadecenal 等。只在酵

母发酵脱腥蛋白中检测到而 AKPI 中没有检测到的醛类有: Tetradecanal、Hexadecanal、9-Octadecenal 等。在脱腥前后都检测到的醛类有: 2,4-Heptadialenal(E,E)-、2-Octenal、(E)、Nonanal、2,4-decadienal、Octadecanal。

表 4 发酵前后同系风味物质比较
Tab. 4 Comparison of the similar flavor compounds between AKPI and fermented AKPI

AKPI		酵母脱腥蛋白	
RT/min	Peak name	RT/min	Peak name
15.938	trans,trans-2,4-octadienal	16.801	Octanoic acid
18.153	cis-4-Decenal	21.39	Decanoic acid
24.582	1-Dodecanol	25.465	Dodecanoic acid
24.863	1-Tridecanol	27.174	Tridecanoic acid
30.137	cis-11-Hexadecenal	28.604	Hexadecenoic acid, Z-11-
30.25	Tetradecanal	28.925	Tetradecanoic acid
31.392	9-Octadecenal	32.412	9-Octadecenoic acid (Z)-

在模型系统中^[17], 鱼腥味与 n-6 不饱和脂肪酸(n-6 PUFA)相关, 而与 n-3 不饱和脂肪酸(n-3 PUFA)关系不大, Giovanni^[18]通过改变饲料中不饱和脂肪酸的组成也证明了这一点。n-6 PUFA 在鱼体内脂肪氧合酶作用下氧化降解, 生成有腥味的低级醛类。鲢鱼碱提蛋白中检测到的相关物质化合物中 2-pentenal、2-hexenal、2,6-nonadienal 来源于 n-3 PUFA 氧化降解, hexanal、2-octenal、2-decenal 和 2,4-decadienal 来源于 n-6 PUFA 氧化降解。比较了酵母发酵脱腥前后这两类物质的相对含量, 发酵使来源于 n-6 PUFA 氧化降解的醛类物质含量从 0.691%降低到 0.04%, 这与 TBA 测定结果(表 1)一致。

酵母脱腥使醛的种类数和含量都显著减少, 为

进一步研究清楚醛类减少的机理, 比较了脱腥前后碳原子数相同的同系物, 发现 AKPI 中的一些醛类、醇类脱腥后已经检测不到, 但在相近的保留时间位置检测到了碳原子数相同的酸(表 4), 而且这些酸在 AKPI 中是没有的。这说明, 酵母发酵脱腥的机理之一是把醛类、醇类转化成相应的酸。

3 结 语

水洗和碱提工艺显著减弱腥味和降低 TBA 值, 酸提工艺腥味加重、TBA 值略微升高; 感官评分与 TBA 值之间相关性很好($R^2=0.9045$)。碱提蛋白加酵母脱腥可得到完全无腥味的鱼蛋白。鱼肉蛋白中主要的风味物质是醇类和醛类; 酵母发酵脱腥的机理之一是把醛类、醇类氧化成相应的酸。

参考文献(References):

[1] 张懋, 张骏. 国内外低值淡水鱼加工与下脚料得用的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(5): 115—121.
ZHANG Min, ZHANG Jun. A research review of low value freshwater fishes processing and their discards utilization [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2006, 25(5), : 115—121. (in Chinese)

[2] Suzuki T. Fish and krill protein processing technology [M]. London: Applied Science Publishers Ltd. 1981.

[3] Hultin H O, Kelleher S D. Process for isolating a protein composition from a muscle source and protein composition. US Patent Ser. 08/797,929[P]. 1997-02-12.

[4] Choi Y J, Park J W Acid-aided protein recovery from enzyme-rich Pacific whiting [J]. Journal of Food Science, 2002, 67, (8): 2962—2967.

[5] Kristinsson H G, Theodore A E, Demir N, et al. A comparative study between acid- and alkali-aided processing and surimi processing for the recovery of proteins from channel catfish muscle[J]. Journal of Food Science, 2002, 70(4): 298—306.

[6] 陈申如, 张其标, 倪辉. 酸法提取鲢鱼鱼肉蛋白质技术的研究[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(5): 61—64.
CHEN Shenru, ZHANG Qibiao, Ni Hui. Study on protein recovery from silver carp flesh by acid solubilization [J]. Ma-

- rine fisheries research, 2004, 25(5): 61—64. (in Chinese) .
- [7] Josephson D B. Variation in the occurrences of enzymecally derived volatile aroma compounds in salt and freshwater fish [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1984, 3: 1344—1347.
- [8] 吴燕燕, 李来好, 李刘冬. 罗非鱼的制取工艺及其氧化防止方法[J]. 食品与生物技术学报, 2003, 22 (1): 86—89.
WU Yan-yan, LI Lai-hao, LI Liu-dong. Studies on extracting technology and preventing oxidization of fish oil from *Tilapia Viscera*[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2003, 22 (1): 86—89. (in Chinese)
- [9] Hsieh R J, German J B, Kinsella J E. Lipoxygenase in fish tissue; some properties of the 12- lipoxygenases from trout gill [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1988, 36: 680—685.
- [10] Tarladgis B, Watts B M, Yonathan M. Distillation method for determination of malonaldehyd in rancid food[J]. *Journal of American Oil Chemistry Society*, 1960, 37(1): 44—48.
- [11] Siddaiah D, Reddy G V S, Raju C V, et al. Changes in lipids, proteins and kamaboko forming ability of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) mince during frozen storage [J]. *Food Research International*, 2001, 34, (1): 47—53.
- [12] Undeland I, Hall G, Wendin K, et al. Preventing lipid oxidation during recovery of functional proteins from herring (*Clupea harengus*) fillets by an acid solubilization process [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2005, 53: 5625—5634.
- [13] 江健, 王锡昌, 陈西瑶. 顶空固相微萃取与 GC-MS 联用法分析淡水鱼肉气味成分[J]. 现代食品科技, 2006, 22(2): 219—222.
JIANG Jian, WANG Xi-chang, CHEN Xi-yao. Analysis odors of fresh water fish meat by HS- SPME combined with GC-MS [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2006, 22(2): 219—222. (in Chinese)
- [14] 章超桦, 平野敏行, 铃木健, 等. 鲫的挥发性成分[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 354—359.
ZHANG Chao-hua, Toshiyuki Hirano, Takeshi Suzuki, et al. Identification of volatile compounds in *Carassius auratus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(4): 354—359. (in Chinese)
- [15] 赵谋明, 崔春, 刘珊. 低值鱼蛋白酶解产物制备不同肉香型热反应物[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25 (1): 1—6.
ZHAO Mou-ming, CUI Chun, LIU Shan. Study on different meat flavor synthesis by maillard reaction from low- valued fish hydrolysates[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2006, 25 (1): 1—6. (in Chinese)
- [16] Yoshiwa T, Morimoto K, Sokamoto 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] Campo M M, Nute G R, Wood J D, et al. Modelling the effect of fatty acids in odour development of cooked meat in vitro; part I- sensory perception[J]. *Meat Science*, 2003, 63: 367—375.
- [18] Giovanni M T, Vittorio M M, Tiziana Mentasti, et al. Effect of dietary lipid source on fillet chemical composition, flavour volatile compounds and sensory characteristics in the freshwater fish tench (*Tinca tinca* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2006.

(责任编辑: 杨 萌, 秦和平)