

白鲢鱼骨汤酶解工艺的研究及风味分析

姜绍通, 常佳驹, 林琳, 蔡克周

(合肥工业大学农产品加工研究院, 合肥工业大学生物与食品工程学院,
安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽合肥 230009)

摘要:以白鲢鱼骨高压熬制而成的鱼骨汤为原料, 选择中性蛋白酶对鱼骨汤进行酶解, 以水解度为指标, 通过单因素实验和正交设计确定中性蛋白酶水解鱼骨汤的最佳工艺条件; 并对酶解前后骨汤中的挥发性成分和游离氨基酸含量进行比较。结果表明: 鱼骨汤酶解的最优条件为酶添加量 2000U/g, 起始 pH6.5, 酶解温度 50℃, 酶解时间 3h。此条件下酶解的水解度能达到 24.04%; 酶解前后骨汤中的腥味挥发性成分含量降低, 呈鲜香味游离氨基酸含量增高, 鱼骨汤中的鱼腥味明显减小, 风味得到较大改善。

关键词:白鲢鱼, 鱼骨汤, 酶解, 挥发性成分, 游离氨基酸

Study on enzymatic conditions of silver carp fish bone soup and flavor analysis

JIANG Shao-tong, CHANG Jia-ju, LIN Lin, CAI Ke-zhou

(Institute of Food Science and Engineering, Key Laboratory for Agriculture Processing Product of Anhui Province,
School of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: With silver carp fish bone soup as raw material, the study was based on the degree of hydrolysis as index. Through single factor experiments and orthogonal experiment, the purpose of this study was to optimize the best condition of enzymolysis, analysis the volatile components and the amino acids components. The results showed that the optimum amount of neutrase, initial pH, hydrolysis temperature and hydrolysis time were 2000U/g, 6.5, 50℃ and 3h. Under the optimum conditions of enzymatic hydrolysis, the degree of hydrolysis was 24.04%. The analysis showed that the volatile components reduced, the amino acids components increased and the fishy smell of the bone soup improved after enzymatic hydrolysis.

Key words: silver carp fish; fish bone soup; enzymatic hydrolysis; volatile components; free amino acid

中图分类号: TS254.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)09-0095-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.09.011

白鲢鱼是一种富含 EPA 和 DHA 的淡水鱼, 含有丰富的氨基酸和人体必需微量元素^[1]。利用白鲢鱼骨生产而成的鱼骨汤, 营养丰富, 含有大量蛋白质、脂肪酸、矿物质等营养物质。然而, 鲢鱼骨汤含有一定的腥味, 对产品的口感造成一定的影响。通过对鱼骨汤进行蛋白酶水解, 一方面水解产生大量的 L-氨基酸和多肽, 易于人体吸收, 大大提高了产品的营养价值和功能特性^[2]; 另一方面可以减轻鱼骨汤中的不良风味^[3], 这可能是由于水解产生的氨基酸和多肽在酶解温度下, 与鱼骨汤中的还原糖产生一定量的美拉德反应^[4]。同时, 酶解作用后呈味游离氨基酸的增多也使得鱼骨汤中鱼香味更浓, 有效降低了骨汤中的鱼腥味。

目前, 已经有一些学者对鱼骨蛋白的酶解开展了一系列研究。洪鹏志^[5]等以罗非鱼下脚料为原料,

经水解生产出的超微罗非鱼骨粉营养价值较高; 朱迎春^[6]等以鲤鱼骨为原料, 对其脱脂工艺和酶解工艺进行优化, 结果表明胰蛋白酶效果最佳; 周燕芳^[7]等以鲢鱼为原料, 采用木瓜蛋白酶对其进行酶解, 并通过正交实验进行优化, 理论水解度可达到 68.84%; 孟昌伟^[8]等以白鲢鱼排为原料, 制备的蛋白酶解液有较高食用和营养价值; 陈晶^[9]等采用分步酶解方式对白鲢鱼鱼骨蛋白进行水解, 有效提高了水解度和氮收率。但是, 目前对白鲢鱼骨汤进行酶解并分析其对风味影响的研究报道不多。本实验在课题组前期实验的基础上, 选取中性蛋白酶对鱼骨汤进行酶解, 以水解度为指标, 研究其酶解的最优工艺条件; 并比较酶解工艺对鱼骨汤风味的影响, 旨在为白鲢鱼骨的进一步深入研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

白鲢鱼 合肥家乐福超市; 中性蛋白酶 南宁庞博生物工程有限公司生产; 福林酚 北京索莱宝科技有限公司生产; 甲醛, 氢氧化钠, 盐酸, EDTA 等 购于

收稿日期: 2013-09-04

作者简介: 姜绍通 (1954-), 男, 本科, 教授, 研究方向: 农产品加工。

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目 (2012GB2C300202)。

国药集团化学试剂有限公司(均为分析纯)。

SCION TQ GC-MS 气质联用仪 德国布鲁克公司;HH-2 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;CR22G II 超速冷冻离心机 Hitachi Koki Co.Ltd;UDK152 全自动凯氏定氮仪 VELP 公司;L-8900 全自动氨基酸分析仪 日本日立公司;MLS-3780 高压蒸汽灭菌锅 SANYO Electric Co.Ltd;FE20 实验室 pH 计 梅特勒-托利多仪器有限公司;78HW-1 恒温磁力搅拌器 金城国贸实验仪器厂。

1.2 白鲢鱼骨酶解汤的制备工艺

新鲜白鲢鱼骨→漂洗、沥干→高压熬制→过滤取清液→加酶酶解(不断搅拌)→沸水浴灭酶 10min→离心→过滤取清液

1.3 实验方法

1.3.1 白鲢鱼骨汤的高压熬制 新鲜白鲢鱼,经两去(去头、去内脏)、清洗、过采肉机去肉后,将鱼骨漂洗、沥干,切段成 2cm × 1.5cm 大小。按料液比 1:5.9 (v/v)加水,在温度 124℃ 条件下,高压熬制 1.6h,冷却后过滤,收集滤液,即得白鲢鱼骨汤。

1.3.2 白鲢鱼骨汤基本成分的测定 蛋白质、脂肪、灰分、钙的检测分别采用微量凯氏定氮法(参照 GB/T5009.5-2003《食品中蛋白质的测定》)、索氏抽提法(参照 GB/T5009.6-2003《食品中脂肪的测定》)、550℃ 灰化法(参照 GB/T5009.4-2003《食品中灰分的测定》)、EDTA 络合滴定法(参照 GB/T5009.92-2003《食品中钙的测定》)、氨基酸自动分析仪法(参照 GB/T 5009.124-2003《食品中氨基酸的测定》)。每个指标重复实验三次,结果取平均值。

1.3.3 白鲢鱼骨汤的酶解工艺 以感官评定和水解度为综合指标,从风味蛋白酶、碱性蛋白酶、中性蛋白酶、复合蛋白酶、木瓜蛋白酶中,选定酶解效果较好的中性蛋白酶,进而开展后续实验。

1.3.3.1 酶活的测定 福林酚法^[10]。

1.3.3.2 酶解工艺的单因素实验 每次取一定量白鲢鱼骨汤,在起始 pH6.5,酶添加量 1500U/g,酶解温度 50℃,酶解时间 3h 的条件下进行酶解工艺的单因素实验,以确定适宜的酶解起始 pH(6.0、6.5、7.0、7.5、8.0)、酶添加量(500、1000、1500、2000、2500U/g)、酶解温度(40、45、50、55、60℃)和酶解时间(1、2、3、4、5h)。每个水平重复实验三次,结果取平均值。

1.3.3.3 酶解工艺的正交实验 根据单因素实验结果,选择对水解度影响较显著的因素进行 4 因素 3 水平的正交实验,以水解度为考察指标,选出白鲢鱼骨汤的最佳酶解条件。正交实验因素水平表见表 1。

1.3.4 水解度的测定 采用甲醛电位滴定法(GB/T 5009.39-2003《酱油卫生标准的分析方法》)分别测定酶解前后氨基态氮的含量,采用凯氏定氮法测定原料总氮量。再按下式计算水解度,

水解度(DH,%) = (酶解后氨基态氮的含量 - 酶解前氨基态氮的含量) / 原料总氮量 × 100

1.3.5 鱼骨汤酶解前后的感官评定 以酶解前后的白鲢鱼骨汤为试样,从色泽、气味、口感等多个方面对试样进行感官评定,感官评定评分标准见表 2。

1.3.6 鱼骨汤酶解前后挥发性成分的测定 采用固相微萃法取对样品中的挥发性成分进行萃取,于 60℃ 水浴锅中恒温萃取 30min 后,于 GC 进样口 250℃ 下解析 1min,启动仪器自动采集数据。调节一定的色谱条件和质谱条件,利用 GC-MS 仪进行分析。

表 1 鱼骨汤最佳酶解条件正交实验的因素水平表

Table 1 The factors and levels of orthogonal array design for best enzymatic hydrolysis methods

水平	因素			
	A pH	B 酶添加量 (U/g)	C 温度 (℃)	D 时间 (h)
1	6.5	1000	45	2
2	7.0	1500	50	3
3	7.5	2000	55	4

表 2 白鲢鱼骨汤感官评分标准

Table 2 The organoleptic evaluation standard of fish bone soup

项目	感官评价	分数
色泽(30 分)	颜色呈深黄色	0~10
	颜色呈乳白色	10~20
	颜色呈淡黄色	20~30
气味(30 分)	腥味较重	0~10
	有鱼腥味,但能接受	10~20
	腥味较小,鱼汤鲜香味浓郁	20~30
口感(40 分)	味道怪异,入口明显感到苦涩	0~10
	味道一般,腥苦味较重	10~20
	味道较为鲜美,但略有苦涩味	20~30
	味道鲜美,有鱼汤的原有风味	30~40

色谱条件^[11]:毛细管色谱柱为 DB-5MS 柱(30m × 0.25mm × 0.25μm),进样口温度 250℃,程序升温起始温度 45℃ 保留 2min,以 6℃/min 升温至 240℃ 保留 6min。载气为 He 气,流速 1mL/min,不分流。质谱条件^[11]:离子源为 EI⁺,电子能量 70eV,发射电流 200μA,离子源温度 200℃,接口温度 250℃。

1.3.7 鱼骨汤酶解前后游离氨基酸的测定

1.3.7.1 样品的处理 取 1mL 试样加入 2mL 的 5% 磺基水杨酸混合均匀,静置 1h 后,加入 1mL 的 EDTA 溶液,于 12000r/min 的离心机中离心 10min,过膜后上机。

1.3.7.2 测定方法 参考 GB/T 5009.124-2003《食品中氨基酸的测定》进行测定。

2 结果与分析

2.1 白鲢鱼骨汤基本理化性质的测定

根据 1.3.2 的实验要求,对原料高压熬制的白鲢鱼骨汤进行基本理化性质的测定,结果如表 3。

由表 3 知,高压熬制后的鱼骨汤蛋白质和氨基酸含量丰富,对其进行进一步的利用,将会产生较大的经济效益。

2.2 酶解条件对水解度的影响

2.2.1 起始 pH 对鱼骨汤水解度的影响 经单因素方差分析,pH 对水解度影响显著($p < 0.01$)。由图 1

表3 白鲢鱼骨汤基本成分
Table 3 Basic chemical composition of fish bone soup

成分	蛋白质(mg/mL)	脂肪(%)	灰分(%)	钙(mg/mL)	游离氨基酸(μg/mL)
含量	6.82 ± 0.25	0.54 ± 0.03	0.86 ± 0.06	0.67 ± 0.05	298.63 ± 2.14

可知,水解度随着 pH 的升高呈现先上升后下降的趋势。pH 的变化可影响到底物、酶、酶-底物复合物的解离状态和构型,甚至会影响到各种辅因子,从而影响蛋白酶的活性,此外 pH 还会影响到酶的稳定性^[13]。当 pH 处于过低或过高时,会导致蛋白酶失活,不利于酶促反应的进行,只有在适宜 pH 下才能显示其较好的催化特性。本实验中,选取 pH 为 6.5 为最适起始 pH。

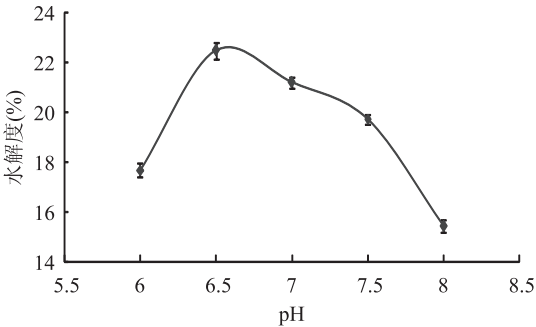


图1 起始 pH 对鱼骨汤水解度的影响
Fig.1 Effect of initial pH on enzymatic hydrolysis of protein in fish bone soup

2.2.2 酶添加量对鱼骨汤水解度的影响 经单因素方差分析,酶添加量对水解度影响显著($p < 0.01$)。由图 2 可知,水解度随着酶添加量的增加呈现不断上升的趋势,当酶添加量达到 1500U/g 时,这种上升趋势趋于平缓。这是由于蛋白酶量过高后,发生自溶现象,酶自身的相互作用逐渐加强,将阻碍抑制酶解作用,导致水解度不再上升^[14]。综合经济效益和酶解效果,选取 1500U/g 为最适酶添加量。

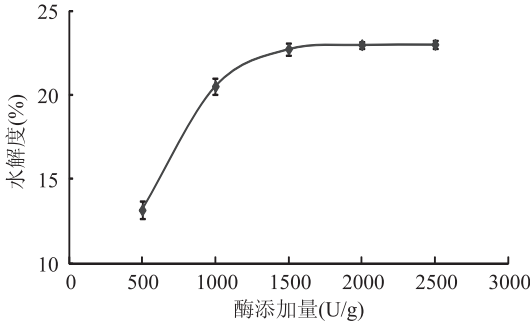


图2 酶添加量对鱼骨汤水解度的影响
Fig.2 Effect of proteases dosage on enzymatic hydrolysis of protein in fish bone soup

2.2.3 酶解温度对鱼骨汤水解度的影响 经单因素方差分析,酶解温度对水解度影响显著($p < 0.01$)。由图 3 可知,水解度随着温度的上升呈现先上升后下降的趋势。温度对酶促反应的影响有两个方面,一方面温度在一定范围内提高,可加快反应速度;另一方面随着温度的提高,酶逐渐失活,酶解效率随之降低。本实验中,选取 50℃ 为最适酶解温度。

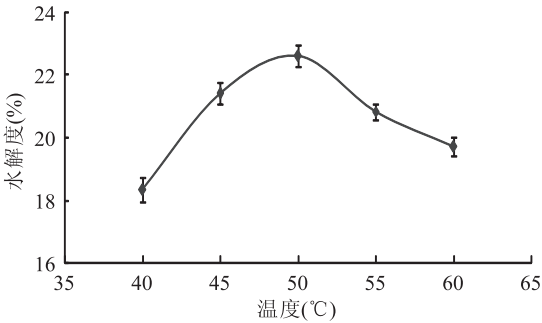


图3 酶解温度对鱼骨汤水解度的影响
Fig.3 Effect of temperature on enzymatic hydrolysis of protein in fish bone soup

2.2.4 酶解时间对鱼骨汤水解度的影响 经单因素方差分析,酶解时间对水解度影响显著($p < 0.01$)。由图 4 可知,水解度随着酶解时间的增加呈现不断上升的趋势,而且当酶解时间达到 4h 时,这种上升趋势趋于平缓。这是由于随着时间的增加,酶与底物的作用越来越彻底,酶活力逐渐下降以及游离的小肽和氨基酸等产物逐渐增多,抑制了蛋白酶的水解作用,使其趋于平衡。综合经济效益和酶解效果,选取 3h 为最适酶解时间。

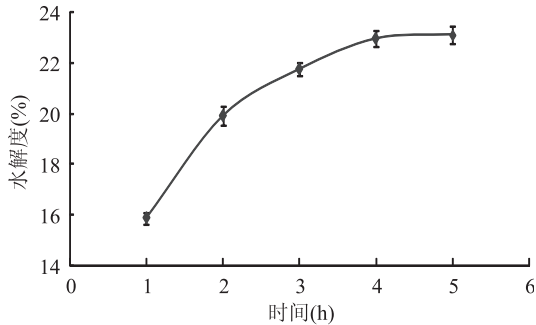


图4 酶解时间对鱼骨汤水解度的影响
Fig.4 Effect of time on enzymatic hydrolysis of protein in fish bone soup

2.3 鱼骨汤酶解的正交实验结果

由表 4 中的极差分析可知,影响鱼骨汤酶解水解度的主次因素顺序为:B,A,C,D。根据 K 值大小,确定最优组合为 B₃A₁C₂D₃,综合考虑经济效益,并经过三次重复验证实验(如表 6),选取酶解的最优组合条件为 B₃A₁C₂D₂,即酶添加量 2000U/g,起始 pH6.5,酶解温度 50℃,酶解时间 3h。此条件下酶解的水解度能达到 24.04%。

2.4 酶解对鲢鱼骨汤感官评定的影响

感官评定在食品研究与开发中是一种重要的分析方法,根据 1.3.5 的感官评定标准,对酶解前和酶解后的白鲢鱼骨汤进行评定,其结果如表 7 所示。

酶解前的鱼骨汤不论从色泽、气味、口感各个方面都不如酶解后的鱼骨汤,经感官评定,酶解后的鱼

表 7 酶解工艺对白鲢鱼骨汤感官评价的影响

Table 7 Effects of enzymatic hydrolysis on the organoleptic evaluation

项目	色泽	气味	口感	得分
酶解前	乳白色	鱼腥味较重	腥苦味明显, 口味一般	50.80 ± 3.27
酶解后	颜色淡黄	鱼腥味较小, 鲜香味较为浓郁	腥味得到明显改善, 口感较佳	80.40 ± 2.07

骨汤色泽变为淡黄色, 鲢鱼固有的腥味明显得到改善, 而且口感更佳宜人, 没有苦涩味道。酶解工艺对白鲢鱼骨汤的风味起到了较好的改善作用。

表 4 鱼骨汤最佳酶解条件的正交实验方案与结果

Table 4 Orthogonal array design layout and experimental results for best enzymatic hydrolysis methods

实验号	A	B	C	D	水解度(%)
1	1	1	1	1	21.36 ± 0.51
2	1	2	2	2	23.88 ± 0.42
3	1	3	3	3	22.92 ± 0.41
4	2	1	2	3	22.51 ± 0.31
5	2	2	3	2	21.83 ± 0.11
6	2	3	1	1	23.19 ± 0.42
7	3	1	3	2	21.29 ± 0.21
8	3	2	1	3	22.24 ± 0.72
9	3	3	2	1	22.04 ± 1.33
K ₁	204.46	195.27	200.37	199.76	
K ₂	202.42	203.85	205.08	200.99	
K ₃	196.69	204.45	198.12	202.82	
R	7.77	9.18	6.96	3.06	

表 5 鱼骨汤最佳酶解条件的正交实验结果方差分析

Table 5 The variance analysis for orthogonal array design of best enzymatic hydrolysis methods

方差来源	SS	df	MS	F	显著性
A	3.6062	2	1.8031	5.0296	*
B	5.8611	2	2.9305	8.1743	**
C	2.8033	2	1.4016	3.9096	*
D	0.5269	2	0.2634	0.7347	
e	6.4537	18	0.3585		
总和	19.2512	26			

注: $F_{0.05}(2, 18) = 3.55$, $F_{0.01}(2, 18) = 6.01$ 。

表 6 鱼骨汤最佳酶解条件的验证实验方案与结果

Table 6 The plan and results of verification test of best enzymatic hydrolysis methods

验证实验方案	B ₃ A ₁ C ₂ D ₃	B ₃ A ₁ C ₂ D ₂
水解度(%)	24.13 ± 0.11	24.04 ± 0.07

2.5 酶解对鲢鱼骨汤挥发性物质的影响

挥发性风味物质是影响食品风味的重要因素, 根据 1.3.6 的实验方法, 对酶解前和酶解后的白鲢鱼骨汤的挥发性物质进行测定, 总离子色谱图如图 5 和图 6 所示。

酶解前的鱼骨汤中共检测出 87 种挥发性风味化合物, 其中醇类 13 种、醛类 14 种、芳香族化合物 11 种、酯类化合物 13 种、酸类化合物 8 种、烃类化合物 17 种、其他为酮类、含氮或杂环化合物, 共 11 种。

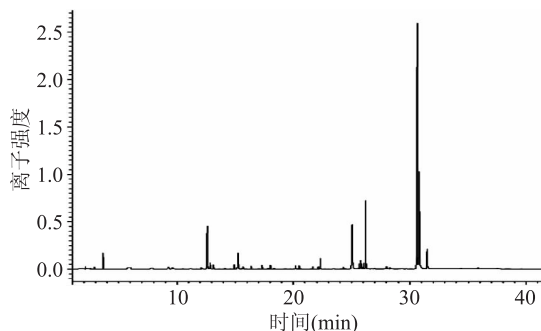


图 5 酶解前鱼骨汤 GC-MS 分析总离子色谱图

Fig.5 The total ion chromatograph map for fish bone soup before enzymatic hydrolysis by GC-MS

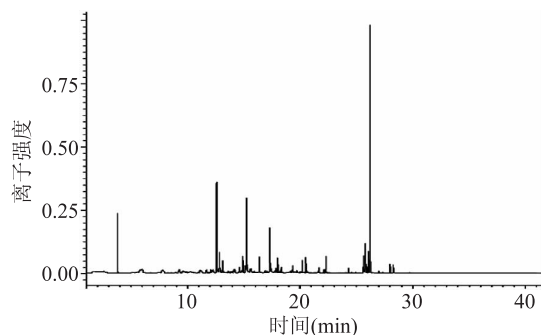


图 6 酶解后鱼骨汤 GC-MS 分析总离子色谱图

Fig.6 The total ion chromatograph map for fish bone soup after enzymatic hydrolysis by GC-MS

酶解后的鱼骨汤中共检测出 93 种挥发性风味化合物, 其中醇类 11 种、醛类 8 种、芳香族化合物 24 种、酯类化合物 9 种、酸类化合物 5 种、烃类化合物 16 种、其他化合物 8 种(如表 8)。

表 8 酶解前后鱼骨汤中挥发性物质的变化

Table 8 The difference between volatile components of fish bone soup before and after enzymatic hydrolysis

挥发性成分	酶解前	酶解后
醇类	13 种	11 种
醛类	14 种	8 种
芳香族化合物	11 种	24 种
酯类化合物	13 种	9 种
酸类化合物	8 种	5 种
烃类化合物	17 种	16 种
其他	11 种	8 种

Josephson^[15]、周益奇^[16]等通过实验证实, 与淡水鱼腥味相关的化合物主要是烯醇、烯醛、烯酮等羰基化合物。根据 GC-MS 结果, 本实验中酶解后的鱼骨汤里, 这几类物质明显减少, 而芳香族化合物种类的增加给鱼骨汤带来了一定呈香物质, 改善了鱼骨汤的口感, 这也与感官评定的结果相符合。

2.6 酶解对鲢鱼骨汤游离氨基酸含量的影响

鱼骨汤的风味与骨汤中呈味的游离氨基酸关系密切。在鱼骨汤中,谷氨酸、天门冬氨酸、甘氨酸、丝氨酸、丙氨酸和脯氨酸呈现一定的鲜味和鱼香味,这几种氨基酸同其他呈味物质协同作用构成复杂的味觉。根据 1.3.7 的实验方法,对酶解前后的白鲢鱼骨汤的游离氨基酸组分与含量进行测定,结果如表 9 所示。

表 9 酶解工艺对白鲢鱼骨汤的
游离氨基酸组成与含量的影响

Table 9 Effects of enzymatic hydrolysis on the composition
and content of free amino acids

游离氨基酸种类	酶解前		酶解后	
	游离氨基酸 含量 (μg)	占游离氨基酸 总量的 比例 (%)	游离氨基酸 含量 (μg)	占游离氨基酸 总量的 比例 (%)
天门冬氨酸(ASP) ^Δ	3.24	1.08	13.72	1.23
苏氨酸(THR) [*]	13.68	4.58	22.01	1.97
丝氨酸(SER) ^Δ	8.48	2.84	16.09	1.44
谷氨酸(GLU) ^Δ	26.00	8.71	57.06	5.10
甘氨酸(GLY) ^Δ	37.46	12.54	54.00	4.82
丙氨酸(ALA) ^Δ	24.69	8.27	77.10	6.89
胱氨酸(CYS)	5.85	1.96	64.64	5.77
缬氨酸(VAL) [*]	7.66	2.57	31.53	2.82
蛋氨酸(MET) [*]	3.13	1.05	15.67	1.40
异亮氨酸(ILE) [*]	2.93	0.98	37.26	3.33
亮氨酸(LEU) [*]	4.84	1.62	40.89	3.65
苯丙氨酸(PHE) [*]	64.01	21.43	129.95	11.61
酪氨酸(TYR)	30.81	10.32	301.44	26.93
赖氨酸(LYS) [*]	14.88	4.98	74.68	6.67
组氨酸(HIS)	39.62	13.27	43.19	3.86
精氨酸(ARG)	5.86	1.96	131.94	11.79
脯氨酸(PRO) ^Δ	5.49	1.84	8.30	0.74
呈味氨基酸	105.36	35.28	226.27	20.21
必需氨基酸	111.13	37.21	351.99	31.44
总游离氨基酸	298.63	100	1119.47	100

注:标^Δ为呈味氨基酸;标^{*}为必需氨基酸。

酶解前的白鲢鱼骨汤中游离氨基酸总量为 298.63Ug/mL,其中起到呈味效果的氨基酸总量为 105.36Ug/mL;而酶解后鱼骨汤中游离氨基酸总量达到 1119.47Ug/mL,其中呈味氨基酸总量为 226.27Ug/mL。游离氨基酸含量大幅度增加,特别是呈味氨基酸的含量增加了一倍,这些呈味氨基酸产生了更加浓郁的鱼香味和鲜味,并且有效减轻了鱼骨汤中的苦味和腥味^[17],改善了鱼骨汤的口感,这也与感官评定的结果相一致。

3 结论

中性蛋白酶酶解白鲢鱼骨汤,酶解效果受酶解起始 pH、酶解温度、酶添加量和酶解时间影响显著。酶解作用显著提高了骨汤的水解度,增加了其游离氨基酸含量,并有效降低了鱼骨汤中鱼腥味,口感醇香。通过正交实验优化出最佳酶解条件:酶添加量 2000U/g,起始 pH6.5,酶解温度 50℃,酶解时间 3h,经重复性验证实验得此条件下水解度可达到 24.04%。

参考文献

[1]金庆华,李桂玲.中国鲢鱼营养成分的研究[J].食品科学,1998,19(8):41-43.

[2]Benjakul S, Morrissey M T. Protein hydrolysates from pacific whiting soild wastes[J]. Agric Food Chem, 1997, 45: 3423-3430.

[3]刘红,王宏海,叶婧,等.响应面法优化鲢鱼蛋白酶解液制备工艺的研究[J].安徽农业科学,2009,37(28):13785-13787.

[4]樊玲芳,孙培森,刘海英,等.斑点叉尾回鱼头水解物的风味成分分析[J].食品工业科技,2012,33(2):140-144.

[5]洪鹏志,杨萍,章超华,等.酶解罗非鱼下脚料制备的超微罗非鱼骨粉营养价值分析[J].安全与检测,2007,23(3):125-126.

[6]朱迎春,郭丽,王琪钰.鲤鱼骨酶解工艺的优化[J].山西农业大学学报,2011,31(2):179-183.

[7]周燕芳,詹丽虹.鲢鱼蛋白酶解条件的研究[J].江苏农业科学,2010(2):312-314.

[8]孟昌伟,薛莲,宫子慧,等.白鲢鱼排酶解蛋白的制备及营养成分分析[J].肉类研究,2011,25(7):24-28.

[9]陈晶,熊善柏,李浩,等.白鲢鱼骨蛋白水解工艺研究[J].食品科学,2006,27(11):326-330.

[10]姜锡瑞.酶制剂应用手册[M].北京:中国轻工业出版社,1999:292-297.

[11]吕广英,丁玉琴,孔进喜,等.加工方式对鱼骨汤营养和风味的影响[J].华中农业大学学报,2013,32(2):123-127.

[12]王小军,张绵松,袁文鹏,等.鳃鱼蛋白酶解条件相应面优化[J].食品研究与开发,2009,30(12):48-53.

[13]吕广英.白鲢鱼骨酶解浓汤的制备及风味增强技术研究[D].武汉:华中农业大学,2012.

[14]李磊,陈均志.中性蛋白酶与酸性蛋白酶双酶法水解大豆蛋白的研究[J].西北轻工业学院学报,2002,20(1):35-38.

[15]David B Josephson. Variations in the occurrences of enzymecally derived volatile aroma compounds in salt and freshwater fish[J]. Agric Food Chem, 1984(3):1344-1347.

[16]周益奇,王自健.鲤鱼体中鱼腥味物质的提取和鉴定[J].分析化学简报,2006,34:165-167.

[17]Surowka K, Fic M. Studies on the recovery of proteina-ceous substances from chicken heads[J]. Sci Food Agric, 1994, 65: 289-296.