

响应面优化酶解法制备虾油工艺研究

王 迪¹, 牟建楼^{1,*}, 刘春冉¹, 王 颀¹, 曹宝忠², 苏迎会²

(1. 河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000;

2. 河北保定槐茂有限公司, 河北保定 071051)

摘要:以剥离虾仁的虾壳为主要原料,利用曲霉及其孢子分离后的麸皮残渣作为酶来源,对其酶解发酵,以游离氨基酸态氮含量(FAN)为指标,通过单因素实验、响应面分析法优化酶解法制备虾油工艺。从而确定最佳工艺条件为:麸皮残渣添加量6.3 g、虾壳粉质量20.7 g、食盐浓度15.0%、发酵温度46.0 ℃。结果表明:该条件下制备的虾油,游离氨基酸态氮含量为0.419 g/100 mL,与预测值0.432 g/100 mL相差不大。本文为虾壳的综合利用提供了理论依据及实践方法。

关键词:响应面,酶解,虾壳,虾油

Optimizing enzymatic production of shrimp sauce by response surface methodology

WANG Di¹, MU Jian-lou^{1,*}, Liu Chun-ran¹, WANG Jie¹, CAO Bao-zhong², SU Ying-hui²

(1. College of Food Science and Technical, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

2. Huaimao Limited Company of Baoding, Baoding 071051, China)

Abstract: The shrimp sauce was made from shrimp shells by enzymatic hydrolysis of residue of bran separated aspergillus and spores. Free amino nitrogen (FAN) was taken as indexes to single factor experiment and optimizing enzymatic production of shrimp sauce by response surface methodology. The optimal process conditions were as follows: 6.3 g residue of bran, 20.7 g shrimp shells, 15.0% salt concentration and 46.0 ℃ fermentation temperature. FAN of Shrimp sauce made under such condition contains was 0.419 g/100 mL—nearly the same as the forecast value 0.432 g/100 mL. It could be regarded as the theory basis and practice method.

Key words: response surface methodology; enzymatic hydrolysis; shrimp shells; shrimp sauce

中图分类号: TS254.9

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)18-0252-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.18.042

虾类在我国渔业经济中占有重要地位,我国是世界虾产品的最大生产国,根据《中国渔业统计年鉴》(2013年)统计,2012年我国虾类产量约447.714万吨,在加工虾仁的过程中被废弃的虾头、虾壳等约占整个虾重的30%~40%^[1-2],而虾头虾壳中含有很多营养物质,主要体现为蛋白质、游离氨基酸和矿物质,同时还有丰富的几丁质、虾青素以及DHA和EPA^[3-10],废弃的虾头、虾壳既污染环境,又浪费资源,我国“十二五”规划要求加大水产品加工副产物的开发利用力度,提高水产品附加值,因此如果能较好地利用这些废弃物资源,不仅能保护环境,还能获得很大的经济效益。

虾油不但味道鲜美,而且具有极高的营养价值,虾油呈现的鲜味主要是其中的呈味氨基酸作用,氨基酸是酱油、虾油等调味品鲜味的主要来源,是由制

造原料(大豆、小麦、麸皮、虾等)中的蛋白质水解产生,是展示此类调味品质量的重要指标。虾油是我国沿海一带及日本、东南亚各国人民传统的调味品^[11]。传统的虾油一般是以小虾、食盐为原料^[12],在常温下经过数月乃至数年自然酿制而成,目前也有用虾头、虾壳等废弃物酶解发酵制作虾油的,但所使用酶多为商品化酶制剂,成本高^[13]。因此降低成本、快速酶解制备虾油也是一个亟待解决的问题。

本文以虾壳为原料,利用曲霉及其孢子分离后的麸皮残渣(生产曲精的工厂作为饲料出售)为酶来源,以氨基酸态氮含量为指标,通过酶解制备虾油,不但大大降低了虾油生产成本,而且酿制的虾油含有丰富的氨基酸和风味物质^[14],在节约资源的同时避免了环境的污染,同时提高了经济利用价值^[15-18]。实验中应用响应面(RSM)分析法^[19]对虾油的

收稿日期: 2014-11-13

作者简介: 王迪(1988-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学, E-mail: wd880508@163.com。

* 通讯作者: 牟建楼(1973-),女,副教授,研究方向:农产品加工与贮藏, E-mail: jianloumu2005@sina.cn。

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项(201205031)。

生产工艺进行优化,旨在为虾油工业化生产提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

虾壳 由沧州黄骅东源水产有限公司提供, -20 ℃保存; 曲霉及其孢子分离后的麸皮残渣(蛋白酶活力为432U/g) 河北保定槐茂有限公司提供; 氢氧化钠、氯化钠、甲醛、无水乙醇 均为分析纯。

SPX生化培养箱 宁波东南仪器有限公司; Delta320pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; DF-101S磁力搅拌器 石家庄阳星仪器贸易有限公司; DKB-600B型电热恒温水浴锅 上海益恒实验仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 酶解虾壳提取虾油工艺流程 虾壳→干燥→粉碎→酶解→灭酶→过滤→粗品虾油

工艺说明: 酶液的制备: 将曲霉及其孢子分离后的麸皮残渣(以下简称麸皮残渣), 加蒸馏水于40 ℃恒温1 h, 然后过滤, 得到酶液。

1.2.2 单因素实验

1.2.2.1 麸皮残渣添加量的确定 称取20.0 g干燥虾壳粉, 加入15.0%食盐。取4.0、5.0、6.0、7.0、8.0 g麸皮残渣, 活化过滤得酶液, 分别加到等质量的虾壳粉中, 于45.0 ℃酶解发酵40 h, 测定氨基酸态氮含量(FAN值), 确定适宜的麸皮残渣添加量。

1.2.2.2 虾壳粉质量的确定 称取6.0 g麸皮残渣, 活化过滤得酶液, 取50 mL分别加入到8.0、12.0、16.0、20.0、24.0 g虾壳粉中, 加15.0%食盐, 于45.0 ℃酶解发酵40 h, 测定FAN值, 确定适宜的虾壳粉质量。

1.2.2.3 食盐浓度的确定 称取6.0 g麸皮残渣, 活化过滤得酶液, 分别取50 mL加入等质量的虾壳粉中, 分别加入11.0%、13.0%、15.0%、17.0%、19.0%的食盐, 于45.0 ℃酶解发酵40 h, 测定FAN值, 确定适宜的食盐浓度。

1.2.2.4 发酵温度的确定 称取6.0 g麸皮残渣, 活化过滤得酶液, 分别取50 mL加入到等质量的虾壳粉中, 添加15.0%食盐, 分别于30.0、35.0、40.0、45.0、50.0 ℃酶解发酵40 h, 测定FAN值, 确定适宜的酶解温度。

1.2.3 响应面实验 在单因素实验基础上, 根据Box-Behnken中心组合设计原理, 进行响应面实验, 实验以随机次序进行, 重复3次, 确定酶解法制备虾油的最优工艺, 因素水平及编码见表1。

表1 Box-Behnken中心组合设计因素及水平表
Table 1 Factors and levels of Box-Behnken central composite design

因素	水平		
	-1	0	1
A 麸皮残渣添加量(g)	4.0	6.0	8.0
B 虾壳粉质量(g)	16	20	24
C 食盐浓度(%)	13	15	17
D 发酵温度(℃)	40	45	50

1.2.4 游离氨基酸态氮的测定方法 采用GB/T 5009.39-2003的甲醛滴定法^[20]。

1.2.5 统计分析方法 使用SPSS 17.0软件进行方差分析(ANOVA), 邓肯氏多重域检验确定数据间的差异, 显著水平为 $p < 0.05$; 响应面实验采用Design Expert 8.0.5统计软件, 进行响应面分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 麸皮残渣添加量对虾油中氨基酸态氮含量的影响 由图1可以看出, 其他条件不变的情况下, 在一定范围内, 随着麸皮残渣用量的增加, 酶与底物作用的机会逐渐增多, 酶的催化效率亦逐渐升高, FAN值则明显提高($p < 0.05$)。但当麸皮残渣用量超过6.0 g后, 随着用量的增加, FAN值增加缓慢, 差异不显著($p < 0.05$), 说明在该底物浓度下, 酶浓度已经趋于饱和, 麸皮残渣用量的增加也会使生产成本增加, 因此选择麸皮残渣添加量6.0 g为宜。

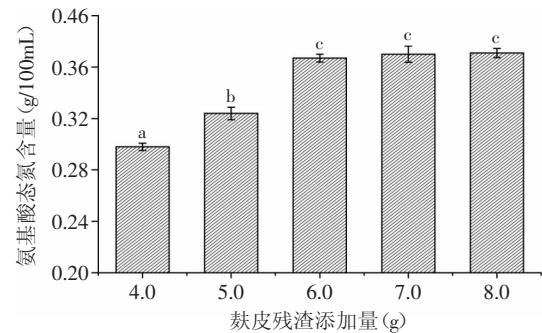


图1 麸皮残渣添加量对虾油中氨基酸态氮含量影响

Fig.1 Influence of residue of bran on shrimp sauce FAN content
注: 小写字母不同, 代表差异显著, $p < 0.05$; 图2~图4同。

2.1.2 虾壳粉质量对虾油中氨基酸态氮含量的影响

由图2可以看出, 其他条件不变的情况下, 在一定量的范围内, 随着虾壳粉质量的增加, FAN值则明显提高, 虾壳粉质量超过20.0 g时, FAN值开始减小($p < 0.05$)。从最大程度提高FAN值及节省原料的角度考虑, 选择虾壳粉添加量为20.0 g较为合适。

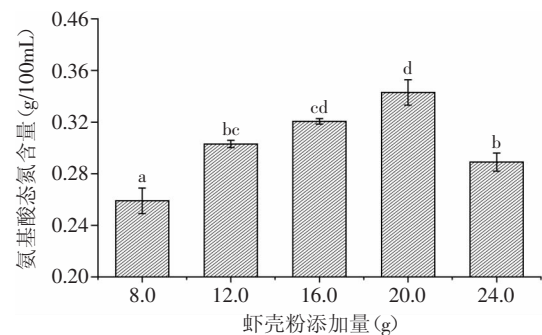


图2 虾壳粉质量对虾油中氨基酸态氮含量影响

Fig.2 Influence of shrimp shells on shrimp sauce FAN content

2.1.3 食盐添加量对虾油中氨基酸态氮含量的影响

由图3可知, 其他条件不变的情况下, FAN值随着加盐量的呈现先增加后降低的趋势($p < 0.05$), 因为食

盐会抑制微生物的增长,从而在一定程度上减少了氨基酸态氮的分解;然而当食盐浓度大于15.0%以后,麸皮残渣中的酶活性受到抑制,氨基酸态氮含量不再增加,食盐浓度越大,抑制效果越明显,蛋白质分解也就越不完全,FAN值会越低。食盐的添加不仅能抑制微生物的生长繁殖,还能赋予产品新的风味,实验选择适宜的食盐添加量为15.0%。

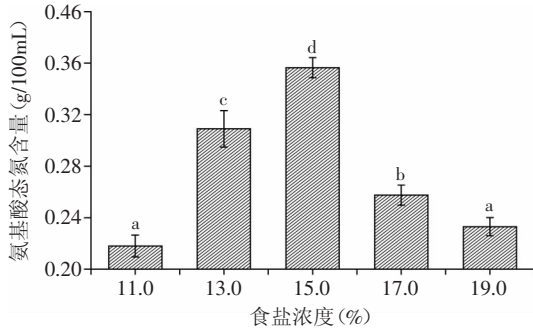


图3 食盐浓度对虾油中氨基酸态氮含量影响

Fig.3 Influence of salt concentration on shrimp sauce FAN content

2.1.4 发酵温度对虾油中氨基酸态氮含量的影响 由图4可知,其他条件不变时,在一定的温度范围内,随着温度的升高,FAN值随之增加($p < 0.05$),50.0℃时,中性蛋白酶发挥最大活性和稳定性,但是,此温度下半成品虾油品质下降,有异味,而在45.0℃时,蛋白酶基本能够最大程度地使蛋白质水解,此温度时FAN值达到较大;而温度过高又会导致酶失活而失去催化能力,实验确定适宜发酵温度为45.0℃。

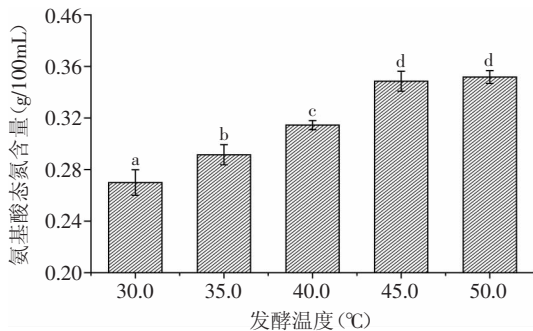


图4 发酵温度对虾油中氨基酸态氮含量影响

Fig.4 Influence of fermentation temperature on shrimp sauce FAN content

2.2 响应面实验

2.2.1 响应面实验设计及结果 不同的实验条件下,虾油中氨基酸态氮含量结果见表2,回归模型显著性检验结果见表3。结果显示,所建立的回归模型的 p 值小于0.0001,由此说明,所建立的模型对本实验拟合性良好($p < 0.0001$)。该结果同时表明,所建立回归模型中实验值与理论值接近。此外,较小的变异系数(CV)(6.495)说明实验具有较高的精密性。利用Design Expert 8.05对实验数据进行多元回归分析,得拟合二次多项式方程为:

$$Y = -7.4845 + 0.1278A + 0.0939B + 0.3120C + 0.1843D + 0.0007AB + 0.0074AC + 0.0008AD + 0.0038BC + 0.0002BD - 0.0013CD - 0.0229A^2 - 0.0039B^2 - 0.0128C^2 - 0.0019D^2$$

从表3中的 p 值来看,四个因素对响应值的影响均显著,由此可见,各具体实验因素对响应值的影响不是简单的线性关系。且因素AC之间,BC之间有交互作用,即麸皮残渣添加量与食盐浓度之间,虾壳粉质量与食盐浓度之间均有交互作用。从 F 值来看, $F_A > F_B > F_C > F_D$ 表明四个因素对响应值影响程度的大小,即与食盐浓度以及发酵温度相比,麸皮残渣添加量以及虾壳粉质量对虾油中氨基酸态氮含量的影响更大^[21]。

表2 响应曲面法优化实验设计及结果

Table 2 Experimental design and results of response surface methodology

实验号	A	B	C	D	FAN测定值 (g/100mL)	FAN预测值 (g/100mL)
1	0	0	0	0	0.416	0.426
2	1	0	-1	0	0.298	0.295
3	0	0	0	0	0.426	0.426
4	0	0	0	0	0.446	0.426
5	1	0	1	0	0.344	0.322
6	-1	0	-1	0	0.288	0.306
7	-1	0	0	1	0.300	0.271
8	0	0	-1	-1	0.335	0.314
9	0	1	-1	0	0.317	0.319
10	-1	0	0	-1	0.255	0.257
11	0	0	1	-1	0.291	0.306
12	0	0	-1	1	0.369	0.369
13	0	-1	0	-1	0.299	0.285
14	0	1	1	0	0.362	0.347
15	1	0	0	1	0.348	0.335
16	0	-1	-1	0	0.336	0.340
17	-1	-1	0	0	0.235	0.245
18	0	1	0	1	0.346	0.355
19	0	-1	0	1	0.312	0.308
20	1	-1	0	0	0.253	0.268
21	-1	1	0	0	0.259	0.259
22	1	0	0	-1	0.271	0.290
23	1	1	0	0	0.329	0.334
24	0	0	0	0	0.407	0.426
25	-1	0	1	0	0.215	0.214
26	0	-1	1	0	0.258	0.246
27	0	1	0	-1	0.320	0.319
28	0	0	1	1	0.275	0.310
29	0	0	0	0	0.435	0.426

2.2.2 响应面分析与交互作用 根据回归模型绘制相应的响应曲面图,其中有交互作用的两因素相应的响应面图见图5。

由图5(a)可见,在一定范围内,虾油的FAN值随着麸皮残渣添加量的增加而增加,是因为麸皮残渣

表3 回归模型显著性检验结果

Table 3 Significance test for regression model

方差来源	系数估计	平方和	自由度	均方和	F值	p值
模型	0.426	0.0998	14	0.0071	16.272	<0.0001
A	0.024	0.0071	1	0.0071	16.159	0.0013
B	0.020	0.0048	1	0.0048	11.043	0.0050
C	-0.016	0.0033	1	0.0033	7.430	0.0164
D	0.015	0.0026	1	0.0026	5.995	0.0281
AB	0.013	0.0007	1	0.0007	1.550	0.2336
AC	0.030	0.0035	1	0.0035	8.098	0.0130
AD	0.008	0.0002	1	0.0002	0.570	0.4627
BC	0.031	0.0037	1	0.0037	8.539	0.0111
BD	0.003	0.0000	1	0.0000	0.098	0.7589
CD	-0.013	0.0006	1	0.0006	1.462	0.2467
A ²	-0.089	0.0516	1	0.0516	117.903	<0.0001
B ²	-0.060	0.0236	1	0.0236	53.869	<0.0001
C ²	-0.053	0.0179	1	0.0179	40.854	<0.0001
D ²	-0.049	0.0153	1	0.0153	34.958	<0.0001
残基		0.0061	14	0.0004		
失拟项		0.0052	10	0.0005	2.141	0.2410
纯误差		0.001	4	0.0002		
总和		0.1059	28			

注：“**”表示考察因素有极显著影响， $p < 0.01$ ；“*”表示考察因素有显著影响， $p < 0.05$ 。

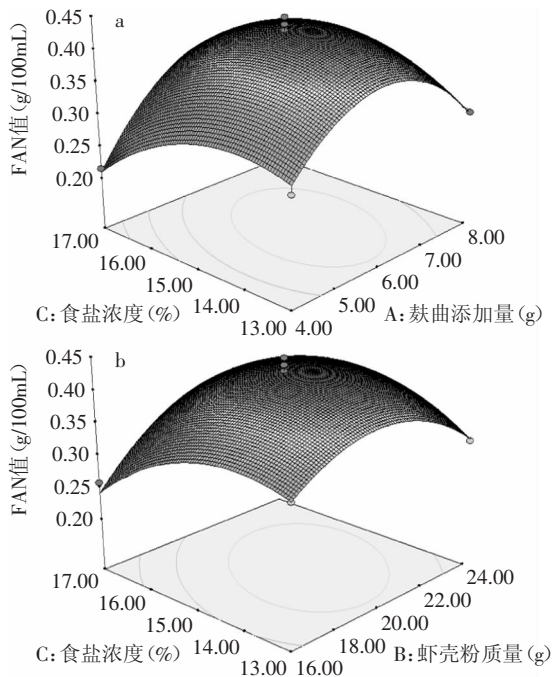


图5 各因素交互影响FAN值的响应面图

Fig.5 Response surface plot showing the interactive influence on the yield of FAN

中的酶类能够促进虾壳中的蛋白质转化为氨基酸；但是当麸皮残渣过量以后，由于底物虾壳是一定的，可能有一部分氨基酸态氮被麸皮残渣中的酶类或菌所分解，因此FAN值会下降^[22]，因此过量的麸皮残渣也会影响虾油中氨基酸态氮的含量。

由图5 (b) 可见，不同量的虾壳粉(16.0~24.0 g)对虾油FAN值的影响，在一定范围内，FAN值随着虾壳粉添加量的增加而增加，主要是因为在一定范围内随着虾壳粉的增加，麸皮残渣中的酶类分解虾壳粉中蛋白质，氨基酸态氮含量增加，并且在虾壳粉为20.0 g左右时氨基酸态氮达到最大值；当虾壳粉继续增加时，氨基酸态氮含量开始下降，可能是因为虾壳分解不完全所致^[23]。

而两图中当食盐浓度为15.0%左右时，氨基酸态氮含量达到最大值，此后随着食盐浓度的增加，氨基酸态氮含量开始减少，主要是因为适量的食盐能抑制一些杂菌的生长，从而抑制杂菌分解氨基酸态氮^[24]，当食盐浓度过高以后，会抑制麸皮残渣中酶类的活性，阻止了其分解虾壳中的蛋白质，导致氨基酸态氮含量减少。

2.2.3 实验条件的优化及验证 根据Box-Behnken中心组合设计实验结果和二次多项回归方程，利用Design Expert 8.05软件分析，得到酶法制备虾油的最佳工艺条件为麸皮残渣添加量6.29 g、虾壳粉质量为20.67 g、食盐浓度为14.82%，发酵温度为45.93 ℃，在此条件下FAN值的理论最大值为0.432 g/100 mL，结合实际情况及可操作性，确定麸皮残渣添加量6.3 g，虾壳粉质量20.7 g，食盐浓度15.0%，发酵温度46.0 ℃，为检验响应面模型预测的可靠性，采用上述优化后的酶解工艺条件进行验证实验，重复3次，测得FAN值平均为0.419 g/100 mL，与模型预测值的比较误差为3.03%，说明运用响应面优化得到的模型参数可靠。

3 结论

应用响应面法优化了从虾壳中提取虾油的工艺，结果表明，各因素对虾油中氨基酸态氮的含量都有显著性的影响，并且运用响应面法建立了虾壳制取虾油的二次回归模型；采用此模型得到酶法制备虾油的最佳工艺条件为麸皮残渣添加量6.3 g、虾壳粉质量为20.7 g、食盐浓度为15.0%，酶解温度为46.0 ℃，在此条件下氨基酸态氮含量为0.419 g/100 mL。为虾壳的再利用提供了理论数据与科学依据。

参考文献

[1] Lopez-Cervantes J, Sanchez-Machado D I, Rosas-Rodriguez J A. Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1105(1-2): 106-110.
 [2] Cao W, Zhang C, Hong P, et al. Autolysis of shrimp head by gradual temperature and nutritional quality of the resulting hydrolysate[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(1): 244-249.
 [3] Benhabiles M S, Abdi N, Drouiche N, et al. Protein recovery by ultrafiltration during isolation of chitin from shrimp shells *Parapenaeus longirostris*[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 28-34.
 [4] Robert M, Zatylny-Gaudin C, Fournier V, et al. Transcriptomic and peptidomic analysis of protein hydrolysates from the white shrimp (*L. vannamei*)[J]. Journal of Biotechnology, 2014, 186,

30-37.

- [5] 杨霞,张志胜,郑乾魏,等. 超临界CO₂萃取南美白对虾虾青素的工艺优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 294-300
- [6] 施佳慧,吕桂善,徐同成,等. 磷虾油的脂肪酸成分及其降血脂功能研究[J]. 营养学报, 2008, 30(1): 115-116.
- [7] 董志俭,王庆军,李学鹏,等. 虾油旋转蒸发降盐过程中风味物质的变化[J]. 中国食品学报, 2014, 14(4): 231-237.
- [8] Pu J, Bechtel P J, Sathivel S. Extraction of shrimp astaxanthin with flaxseed oil: Effects on lipid oxidation and astaxanthin degradation rates [J]. *Biosystems Engineering*, 2010, 107(4): 364-371.
- [9] Sánchez-Camargo A P, Meireles M Â A, Ferreira A L K, et al. Extraction of ω-3 fatty acids and astaxanthin from Brazilian redspotted shrimp waste using supercritical CO₂+ethanol mixtures [J]. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2012, 61: 71-77.
- [10] Handayani A D, Sutrisno, Indraswati N, Ismadij S. Extraction of astaxanthin from giant tiger (*Panaeus monodon*) shrimp waste using palm oil: studies of extraction kinetics and thermodynamic [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(10): 4414-4419.
- [11] Peralta E M, Hatate H, Kawabe D, et al. Improving antioxidant activity and nutritional components of Philippine salt-fermented shrimp paste through prolonged fermentation [J]. *Food Chemistry*, 2008, 111(1): 72-77.
- [12] 冯滢滢,段杉,李远志. 食盐浓度对虾油风味成分形成的影响研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(2): 269-273.
- [13] Sachindra N M, ahendrakar N S. Process optimization for extraction of carotenoids from shrimp waste with vegetable oils [J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96(10): 1195-1200.
- [14] Cheung I W, Li-Chan E C. Application of taste sensing system for characterisation of enzymatic hydrolysates from shrimp processing by-products [J]. *Food Chemistry*, 2014, 145: 1076-1085.

- [15] Shih I-L, Chen L-G, Yu T-S, et al. Microbial reclamation of fish processing wastes for the production of fish sauce [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2003, 33(2-3): 154-162.
- [16] González-Félix M L, da Silva F S D, Davis D A, et al. Replacement of fish oil in plant based diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture*, 2010, 309(1-4): 152-158.
- [17] 童彦, 雒莎莎, 应铁进. 鱼蛋白水解液美拉德反应条件优化及反应前后氨基酸组成变化 [J]. 中国食品学报, 2011, 11(8): 101-106.
- [18] Sachindra N M, Bhaskar N, Siddegowda G S, et al. Recovery of carotenoids from ensilaged shrimp waste [J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(8): 1642-1646.
- [19] Cao W, Zhang C, Hong P, et al. Response surface methodology for autolysis parameters optimization of shrimp head and amino acids released during autolysis [J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(1): 176-183.
- [20] 高向阳. 食品分析与检验 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2008.
- [21] Gupta B S, Ako J E. Application of guar gum as a flocculant aid in food processing and potable water treatment [J]. *European Food Research and Technology*, 2005, 221: 746-751.
- [22] Glencross B, Irvin S, Arnold S, et al. Effective use of microbial biomass products to facilitate the complete replacement of fishery resources in diets for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon* [J]. *Aquaculture*, 2014, 431: 12-19.
- [23] Senphan T, Benjakul S. Impact of enzymatic method using crude protease from Pacific white shrimp hepatopancreas on the extraction efficiency and compositions of lipids [J]. *Food Chemistry*, 2015, 166: 498-506.
- [24] 谢主兰, 陈龙, 雷晓凌. 采用挥发性盐基氮动力学模型预测低盐虾酱的货架寿命 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 29-34.

(上接第251页)

- 活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 12: 1707-1711, 1728.
- [6] 王艳, 迪丽达尔·马合木提, 韩艳春, 等. 维吾尔药核桃分心木不同提取物对肾阳虚模型小鼠的实验研究 [J]. 新疆医科大学学报, 2012(2): 153-157.
- [7] 于海玲. 核桃楸的研究进展 [J]. 延边大学医学学报, 2005, 28(2): 154-156.
- [8] 胡爱军, 罗登林, 丘泰球. 超声强化超临界流体萃取机理的研究 [J]. 高校化学工程学报, 2005, 05: 11-15.
- [9] LI Quanhong, FU Caili. Application of response surface methodology for extraction optimization of germinant pumpkin seeds protein [J]. *Food Chemistry*, 2005, 92(4): 701-706.
- [10] 茆诗松, 王静龙, 史定华, 等. 统计手册 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 78-86.
- [11] Sun Ting, Ho CT. Antioxidant activities of buckwheat extractsp

- [J]. *Food Chemistry*, 2005, 90: 743-749.
- [12] St phanie Dudonm, Xavier Vitrac, Philippe Coutire, et al. Comparative study antioxidant properties and total phenolic of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays [J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57: 1768-1774.
- [13] Fang ZX, Zhang YH, Yuan L, et al. Phenolic compounds and antioxidant capacities of bayberry juices [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113: 884-888.
- [14] Yvonne V Yuan, Dawn E Bone, Meshell F Carrington. Antioxidant activity of dulce (*Palmaria palmata*) extract evaluated invitio [J]. *Food Chemistry*, 2005, 91: 485-494.
- [15] 刘春红, 马宇, 何忠梅, 等. 平贝母多糖的分离纯化及抗氧化活性研究 [J]. 食品科学, 2011, 32(21): 2-33.