

## 响应面分析优化虎皮凤爪膨润工艺

温雪馨, 芮汉明\*

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

**摘要:**在单因素实验的基础上运用响应面(RSM)分析法对虎皮凤爪的膨润工艺进行优化。研究了浸泡温度、浸泡时间、NaOH溶液浓度对凤爪膨润效果的影响。结果表明,膨润的最佳工艺条件为:浸泡温度为39.89℃,浸泡时间为4.19h,NaOH溶液浓度为0.30%,此时虎皮凤爪的膨胀率为71.84%,与响应面模型的预测的膨胀率(72.16%)相吻合。

**关键词:**虎皮凤爪,膨胀率,响应面分析

## Optimization of swelling technique of fried chicken claw by response surface method(RSM)

WEN Xue-xin, RUI Han-ming\*

(College of Light Industry and Food, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Based on the results of single factor tests, the swelling conditions of fried chicken claw were optimized by response surface analysis. The rate of expansion of chicken claw was chosen as the response value, swelling time, swelling temperature and concentration of sodium hydroxide solution were inspected. The results showed that the optimum conditions were as follows: 39.89℃ (temperature), 4.19h (time), 0.30% (concentration of sodium hydroxide solution), and the expansion rate was 71.84%, which is consistent with the value of 72.16% predicted by the RSM.

**Key words:** fried chicken claw; expansion rate; response surface method

中图分类号: TS251.9

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2010)02-0200-04

凤爪即鸡爪,是广东人喜爱的食品,虎皮凤爪更是广式早茶的经典点心。凤爪富含胶原蛋白,可减少面部皱纹,起美容作用。凤爪由于先炸后煮获得如虎皮一样的外观,因此虎皮凤爪以其独特的外观和口感,丰富的营养,深受人们的欢迎,具有巨大的市场潜力。同时,虎皮凤爪产品原料成本低廉,出品率高,是鸡爪综合利用的理想途径。因此,研究凤爪产品膨润的最佳工艺,对加工凤爪产品具有重要的参考价值。凤爪制作的关键在于使凤爪中的胶原吸水膨胀,胀大形成特殊的组织结构同时变得爽口有弹性。胶原(Collagen)是动物结缔组织中的结构蛋白质,主要存在于动物的皮、骨、软骨、肌腱等中<sup>[1]</sup>。胶原肽链的端基和侧链均含有氨基和羧基,即存在着许多碱性基团和酸性基团,它们在溶液中能与酸或碱结合。当胶原肽链的酸性基团或碱性基团分别结合上酸碱后,胶原分子间的及肽链间的离子交联键和氢键将被打开,胶原就会吸水而发生酸膨胀或者碱膨胀<sup>[2]</sup>,这就是胶原吸水膨胀的原理。但目前国内外研究主要针对制革过程中胶原的酸碱膨胀<sup>[3]</sup>,对于食品原料中胶原吸水膨胀的研究仅有少量

的报道<sup>[4-5]</sup>,因此,有必要对食品中胶原吸水的规律性和机理进行研究,通过利用响应面对虎皮凤爪的膨润工艺进行优化分析,以此为食品中胶原的吸水特性的研究提供一定理论依据。

## 1 材料与方法

## 1.1 材料与设备

冷冻鸡爪 购于超市;氢氧化钠、30%过氧化氢 化学纯。

JA1003 分析天平 上海精科;DKB-501A 型超级恒温槽 上海精宏实验设备有限公司;pHS-25 型酸度计 上海虹益仪器厂。

## 1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程<sup>[6]</sup> 解冻→斩指→第一次漂白上色(1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)→油炸(170~180℃)→水煮(70~80℃)→膨润→第二次漂白(1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)→流水冲漂脱碱(12h)→加入调味酱汁→真空包装→杀菌→成品

## 1.2.2 膨胀率的计算

膨胀率(%) = (膨润后凤爪的质量 - 膨润前凤爪的质量) / 膨润前脱骨凤爪的质量 × 100%

膨润前脱骨凤爪的质量 = 膨润前凤爪质量 × 63.5%

## 2 结果与讨论

## 2.1 最佳浸泡液的选择

分别采用相同浓度的 NaOH、NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液(0.1375mol/L),于 30℃ 浸泡凤爪 5h,料液比为

收稿日期:2009-05-05 \*通讯联系人

作者简介:温雪馨(1984-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学。

基金项目:农业部公益性行业科研专项项目(nyhyz07-038);广东省科技攻关重大项目(2007A020400006)。

1:8,测定其膨胀率,结果如表1。

表1 不同浸泡液的膨润效果

浸泡液	pH	膨胀率(%)
NaOH 溶液	14.18	61.68
NaHCO <sub>3</sub> 溶液	8.72	20.59
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 溶液	12.02	29.04

从表1可以看出,NaOH溶液的膨润效果明显优于NaHCO<sub>3</sub>和Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液。这是由于Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>属于强碱弱酸盐,它在水中发生水解反应,用化学方程式表示为: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$ ,其pH为12.02。而NaHCO<sub>3</sub>在溶液中弱电离,用化学方程式表示为: $\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$ ,其pH仅为8.72,而在相同浓度下NaOH溶液的pH高达14.18。由于胶原在碱性条件下膨胀率随着pH的升高而增加<sup>[7]</sup>,而在相同浓度下 $\text{pH}_{\text{NaOH}} > \text{pH}_{\text{Na}_2\text{CO}_3} > \text{pH}_{\text{NaHCO}_3}$ ,因此,NaOH溶液的膨润效果比NaHCO<sub>3</sub>和Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液要好,从而选取NaOH溶液为浸泡液并对其最佳膨润条件进行讨论。

## 2.2 单因素实验

2.2.1 浸泡温度对膨润效果的影响 分别选取100g的凤爪,料液比为1:8,0.55%的NaOH溶液,分别在10、20、30、40、50、60℃下浸泡3h,测定其膨胀率。

从图1可以看出,凤爪膨胀率随浸泡温度的升高先增大后减少,并在30℃时达到最大值。这是由于温度升高可加速浸泡液向凤爪的胶原内部扩散的速度,使凤爪膨胀率随温度的升高而增大。在30℃膨胀率达到最大值后,在40℃时凤爪表皮出现轻微碱溶现象,并随着温度升高出现破损。这是由于随着温度的升高,凤爪中的胶原在NaOH溶液中发生水解,胶原不断损失,质量不断减少,使得凤爪的膨胀率降低,同时其表面也因胶原水解而出现破损,影响外观。因此,出于保证产品外观和节能的考虑,选取20~40℃为膨润过程的最佳温度。

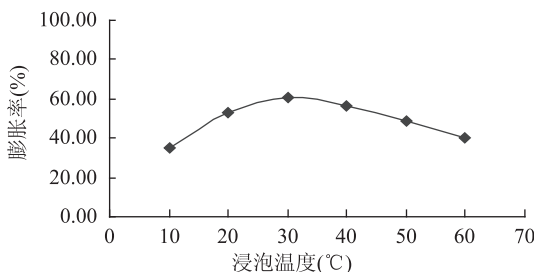


图1 不同浸泡温度对凤爪膨润的影响

2.2.2 浸泡时间对膨润效果的影响 选取100g凤爪,料液比为1:8,于20℃,0.55%的NaOH溶液分别浸泡1~7h,测定其膨胀率。

从图2可以看出,随着浸泡时间的延长,凤爪的膨胀率不断增大。在膨润过程初期,由于浸泡时间太短,凤爪内部的大部分面积还未充分浸润,NaOH溶液中的离子在胶原中的扩散还不充分,使得凤爪的膨胀率较低。随着浸泡时间的增加,随着溶液不断往胶原内部扩散,胶原纤维变得疏松,膨胀率不断增大。浸泡超过5h此时溶液在胶原中的扩散接近平衡,凤爪的膨胀率增长缓慢。因此,出于节省浸泡时间,缩短生产周期的考虑,选取3~5h为膨润过程

的最佳时间。

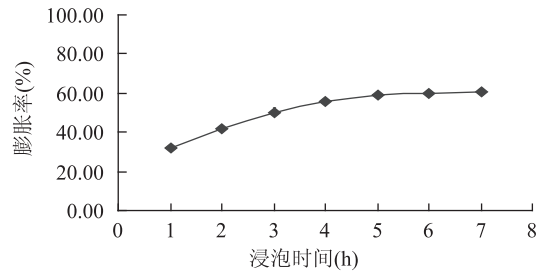


图2 浸泡时间对凤爪膨润的影响

2.2.3 浸泡液浓度对膨润效果的影响 分别选取100g的凤爪,分别加入0.05%、0.30%、0.55% (0.1375mol/L)、0.80%、1.05%和1.30%的NaOH溶液(W/W),料液比为1:8,于20℃下浸泡3h,测定其膨胀率。

从图3可以看出,凤爪的膨胀率随NaOH溶液的增加而增大,在NaOH溶液浓度为0.80%时达到最大值,然后随浓度增加而减少。这是由于在NaOH溶液的作用下,凤爪中胶原的肽链上的碱性基团与碱结合,胶原分子间的及肽链间的离子交联键和氢键将被打开,胶原结构变得疏松,水分子由外向内渗透,发生膨胀,膨胀率增大。但当碱的浓度较大,则会发生肽链主链的降解,胶原会遭受损失<sup>[8]</sup>。当NaOH溶液浓度为1.05%和1.30%时凤爪的表皮出现明显破损现象,这是由于在NaOH浓度较大时胶原发生部分水解,影响其外观,因此选取0.30%~0.80%的NaOH溶液为膨润工艺的最佳浓度。

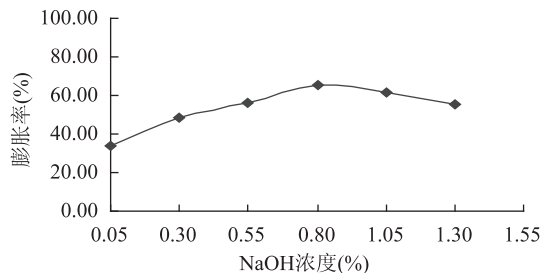


图3 浸泡液浓度对凤爪膨润的影响

## 2.3 采用响应面法优化膨润工艺

2.3.1 响应面实验设计<sup>[9-12]</sup> 根据Box-Behnken的中心组合实验设计原理,在单因素实验的基础上选取浸泡温度(X<sub>1</sub>)、浸泡时间(X<sub>2</sub>)、NaOH溶液浓度(X<sub>3</sub>)三个因素,利用Design Expert软件采用三因素三水平的响应面分析法进行实验设计,因素水平表见表2,实验设计与结果见表3。

表2 响应面实验因素水平表

因素	水平		
	-1	0	1
X <sub>1</sub> 温度(℃)	20	30	40
X <sub>2</sub> 时间(h)	3	4	5
X <sub>3</sub> NaOH浓度(%)	0.30	0.55	0.80

2.3.2 虎皮凤爪膨润效果方差分析 以膨胀率为响应值的响应面模型方差分析见表4。

从表4可知,模型的F值为19.09,表明该模型高度显著,P<0.01表明模型因素水平极显著,失拟值为0.4862,表明由误差引起的失拟不显著。模型的确

表3 响应面实验设计及结果

实验号	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	膨胀率(%)
1	0	0	0	61.68
2	-1	0	1	69.30
3	0	-1	1	52.66
4	1	0	-1	72.11
5	1	1	0	51.36
6	-1	1	0	63.91
7	1	0	1	38.97
8	0	0	0	65.01
9	-1	0	-1	60.28
10	0	1	-1	65.39
11	0	0	0	60.55
12	0	0	0	61.01
13	0	0	0	58.30
14	0	-1	-1	53.86
15	1	-1	0	54.68
16	-1	-1	0	52.44
17	0	1	1	50.78

表4 响应面二次模型的方差分析

方差来源	自由度	平方和	方差	F值	概率P	显著性
模型	9	1002.63	111.40	19.09	0.0004	*
X <sub>1</sub>	1	103.75	103.75	17.78	0.0040	*
X <sub>2</sub>	1	39.61	39.61	6.79	0.0352	*
X <sub>3</sub>	1	199.30	199.30	34.15	0.0006	*
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1	54.69	54.69	9.37	0.0183	*
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	1	444.37	444.37	76.14	<0.0001	*
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	1	44.96	44.96	7.70	0.0275	*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	1	1.57	1.57	0.27	0.6203	
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1	109.62	109.62	18.78	0.0034	*
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	1	1.21	1.21	0.21	0.6633	
回归	7	40.85				
失拟项	3	17.30	5.77	0.98	0.4862	不显著
残差	4	23.55				
总离差	16	1043.48				

注：“Prob > F” < 0.0500, 显著; “Prob > F” > 0.1000, 不显著。

定系数值为 0.9608, 校正确定系数为 0.9105, 说明方程的因变量与全体自变量间线性关系明显; 模型的变异系数值为 4.14%, 说明模型的精密度好。综合以上各参数表明该实验方法可靠, 各因素水平间设计合理, 因此可用该回归模型代替实验真实点对实验结果进行分析。回归模型各项的方差分析结果还表明, X<sub>2</sub>, X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>, X<sub>2</sub>X<sub>3</sub> 项为显著项, X<sub>1</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>1</sub>X<sub>3</sub>, X<sub>2</sub><sup>2</sup> 项的影响高度显著, 其余不显著。利用 Design expert 软件得到的二次多项回归方程如下:

$$\text{虎皮凤爪膨胀率} = 61.31 - 3.60X_1 + 2.23X_2 - 4.99X_3 - 3.70X_1X_2 - 10.54X_1X_3 - 3.35X_2X_3 - 0.61X_1^2 - 5.10X_2^2 - 0.53X_3^2$$

2.3.3 工艺条件的确定 图4分别表示了浸泡温度和浸泡时间、浸泡温度和 NaOH 浓度、浸泡时间和 NaOH 浓度对凤爪膨胀率的影响。从图4a可以看出, 随着浸泡温度的增加凤爪的膨胀率呈下降的趋势, 这是由于温度升高引起凤爪中的胶原蛋白发生部分水解, 使其质量减少, 膨胀率降低。当浸泡温度一定时, 浸泡时间对凤爪膨胀率的影响呈抛物线状, 说明浸泡温度一定时存在最适的浸泡温度。根据图4b可知, 在低 NaOH 浓度时, 凤爪膨胀率随着浸泡温

度的升高而升高, 但在高 NaOH 浓度时, 凤爪膨胀率随着浸泡温度的升高反而降低。这是由于在低 NaOH 浓度时, 此时温度的升高能提高碱在胶原中扩散的速度, 促进胶原在浸泡液中的浸润, 使膨胀率增加。而在高 NaOH 浓度时, 此时温度的升高起促进胶原在 NaOH 溶液中水解的作用, 使凤爪的质量减少, 膨胀率降低。另外, 在低浸泡温度下, 膨胀率随着 NaOH 浓度的增加而增大, 而在高浸泡温度下, 膨胀率随着 NaOH 浓度的增加而降低。这同样是在低浸泡温度下 NaOH 溶液对胶原水解的作用不明显, 主要起膨润作用, 而在高浸泡温度下 NaOH 溶液使胶原剧烈水解, 使膨胀率降低。从图4c可以看出, 膨胀率约在 40℃, 0.30% 时出现最大值, 而且在各个时间水平下, 随 NaOH 浓度增加, 膨胀率也越高。

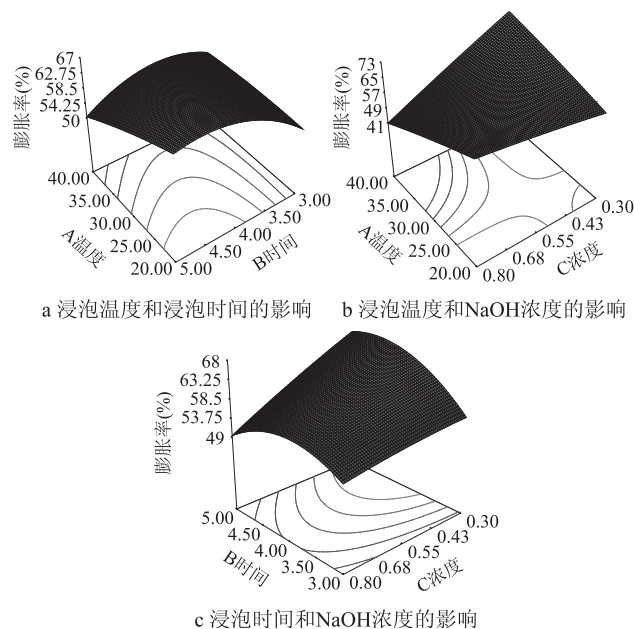


图4 膨胀率的响应面分析

对响应面结果利用软件进行最优化分析, 以虎皮凤爪膨胀率最高为评价指标, 确定膨润工艺的最佳条件如下: 浸泡温度为 39.89℃, 浸泡时间为 4.19h, NaOH 溶液浓度为 0.30%。依此条件进行膨润, 得到虎皮凤爪膨胀率的实际值为 71.84%, 与预测值 72.16% 非常接近, 这充分反映出该模型具有强大的分析能力, 可为实际操作提供良好的指导。

### 3 结论

采用响应面分析法对虎皮凤爪的膨润工艺进行优化, 膨润工艺的最佳条件: 浸泡温度为 39.89℃, 浸泡时间为 4.19h, NaOH 溶液浓度为 0.30%。在最优工艺条件下凤爪膨胀率可达 71.84%, 该值与响应面模型的预测值 72.16% 非常接近, 说明响应面模型可预测理论膨胀率并很好地应用于凤爪膨润工艺条件的优化。

### 参考文献

- [1] 李二凤, 何小维, 罗志刚. 胶原蛋白的提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(3): 63-65.

(下转第 207 页)

bean seeds at immature, premature and mature stages of development[J].Carbohydrate Research,2003,338:463-469.  
 [9] Gallego-juzrez J A, Roderiguez-Corral G, Galvez Moraleda J C, et al. New high-intensity ultrasonic technology for food dehydration.Drying Technology,1999,17(3):597.  
 [10] 张惟杰.糖复合物生化研究技术[M].杭州:浙江大学出版社,1994:11-12.  
 [11] 何传波.巴戟天多糖分离纯化及其结构和免疫活性研究[D].华南理工大学博士学位论文,2006:30-31.  
 [12] Zhou Cunshan, Ma Haile. Ultrasonic Degradation of Polysaccharide from a Red Algae (Porhyra yezoensis) [J].J Agri

Food Chem,2006,54:2223-2228.  
 [13] Box G E P, Hunter W G. Statistics for experiments: an introduction to design, data analysis and model building [M].New York; Wiley,1990:873-891.  
 [14] Sayan Gupta, Manohar C S. An improved response surface method for the determination of failure probability and importance measures [J].Structural Safety,2004(26):123-132.  
 [15] 朱建飞,吴谋成,冯睿,等.莱籽粕中水溶性多糖提取工艺优化[J].农业工程学报,2006,22(12):251-254.  
 [16] 黄燕,吴平.SAS 统计分析及应用[M].机械工业出版社,2006:252-253.

(上接第 182 页)  
 Taxonomy Report

Bacteria	109 hits	23 orgs
- Bacillaceae	107 hits	21 orgs
- Bacillus	106 hits	20orgs
- Bacillus subtilis	88 hits	3 orgs
- Bacillus subtilis subsp.subtill is	14 hits	2 orgs
- Bacillus subtilis subsp.subtill is sti.168	10 hits	1 orgs
- Bacillus sp. 7DU3	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. 23A	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. 3FB12	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. D4	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. D1(2007)	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. z1	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. C2-1	1 hits	1 orgs
- Bacillus velesensis	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. A19-3	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. A1-3	1 hits	1 orgs
- Bacillus licheniformis	2 hits	1 orgs
- Bacillus sp. CCBAU 10735	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. B145	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. B114	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. FUT1206	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. MB23	1 hits	1 orgs
- Bacillus sp. H38	1 hits	1 orgs
- Bacillaceae bacterium NJ-25	1 hits	1 orgs
- unclassified Bacteria(miscell aneous)	2 hits	2 orgs
- bacterium 8-gw1-10	1 hits	1 orgs
- bacterium 1-gw2-2	1 hits	1 orgs

图 4 序列分类分析结果

以采用比较遗传信息的方法对物种进行分类鉴定。对于微生物的鉴定,传统生物化学方法的鉴定时间较长,而采用 16S 或 18S 等序列分析的方法,则相对简单的多,时间短,准确性较高。16S rDNA 编码原核生物 16S 核糖体 RNA,在结构和功能上保守性较高,是细菌分类演化分析的“时钟”。其分子结构显示有十个可变区和十一个恒定区,对可变区的分析有助于确定物种的类别<sup>[7]</sup>。根据保守序列鉴定物种种类的方法可简单归纳为:筛选目的菌株,提取基因

组 DNA,设计特异性引物获得保守基因序列,使用 BLAST 程序在 GenBank 上分析相似性最高的序列,使用序列分析软件分析这些序列,确定相似性最高物种的分类地位,初步确定所目的菌株的种类。这些分类方法在食品科学中的应用则可以促进食品检验等相关学科的研究。

参考文献

[1] 高明侠,苗敬芝,曹泽虹,等.双酶法提取牛蒡多糖的研究[J].食品科学,2008,29(9):260-263.  
 [2] 汪晓琳.21 世纪保健食品牛蒡[J].烹调知识,2008,23:8-9.  
 [3] 徐建.中性纤维素酶菌株的选育及强分解纤维素细菌 1.1002 分类地位的确立[D].沈阳农业大学硕士学位论文,2000.  
 [4] 齐云,陈飞,袁月祥,等.一株能分解纤维素的高温耐碱放线菌[J].应用与环境生物学报,2003,9(3):322-325.  
 [5] Syn C K C, Swarup S. A Scalable Protocol for the Isolation of Large-Sized Genomic DNA within an Hour from Several Bacteria [J].Analytical Biochemistry,2000,278:86-901.  
 [6] 16S rRNA 基因在细菌菌种鉴定中的应用[J].乳业科学与技术,2006(5):207-209.  
 [7] 16S rRNA 序列同源性分析与细菌系统分类鉴定[J].国外医学卫生学分册,1998,25(1):12-16.

(上接第 202 页)

[2] 蒋挺大.胶原与胶原蛋白[M].北京:化学工业出版社,2006:256-258.  
 [3] 丁志文,张铭让.生皮胶原膨胀公式的推导及其应用[J].中国皮革,2000,29(15):5-7.  
 [4] 张海荣,过世东,袁信华.浸泡工艺对即食型鲱鱼皮质的影响[J].食品工业科技,2008(4):202-204.  
 [5] 周婉君,王剑河,吴燕燕,等.水发鱼皮工艺研究[J].食品科学,2007,28(8):233-236.  
 [6] 郭绍清.炸凤爪、炸鸭爪的加工[J].食品研究与开发,2002,23(2):37-38.  
 [7] 单志华,王冬英.胶原在部分酸碱介质下的膨胀规律研究[J].皮革科学与工程,2001,11(3):42-48.  
 [8] 马美湖.动物性食品加工学[M].北京:中国轻工业出版社,2003:401.  
 [9] Jin-Wook Woo, Sung-Jae Yu, Yang-Bong Lee, et al. Extraction optimization and properties of collagen from yellowfin

tuna (*Thunnus albacares*) dorsal skin [J]. Food Hydrocolloids, 2008,22:879-887.  
 [10] Emmanuel Ohene Afoakwa, Samuel Errie Yenyi. Application of response surface method for studying the influence of soaking, blanching and sodium hexametaphosphate salt concentration on some biochemical and physical characteristics of cowpeas (*Vigna unguiculata*) during canning [J]. Food Engineering, 2006, 77: 713-724.  
 [11] Praveen Sharma, Lakhvinder Singh, Neeraj Dilbaghi. Optimization of process variables for decolorization of Disperse Yellow 211 by *Bacillus subtilis* using Box-Behnken design [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 164: 1024-1029.  
 [12] Sai-Nan, Hua-Li Nie, Li-Min Zhu, et al. Optimization of adsorption conditions of papain on dye affinity membrane using response surface method [J]. Bioresource Technology, 2009, 100: 2336-2340.