

# 响应面法优化腾冲雪鸡肌肉的酶解工艺

郭磊<sup>1</sup>, 杨晶晶<sup>1</sup>, 朱金花<sup>1</sup>, 谷大海<sup>2</sup>, 阚欢<sup>1</sup>, 刘云<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学 轻工与食品工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南农业大学 云南省畜产品加工工程技术研究中心, 云南 昆明 650201)

**摘要:**腾冲雪鸡是云南省著名的特色珍稀优良鸡种之一,是腾冲市地方特色优势禽种资源,肉骨乌黑、味香肉嫩。本文以腾冲雪鸡肌肉为原料,以水解度为指标,在单因素试验的基础上,选取对肌肉酶解效果影响较大的液固比、酶解时间、酶解温度3个因素,进行响应面设计并对其酶解工艺参数进行优化。结果表明,腾冲雪鸡肌肉酶解的最佳工艺参数为:动物蛋白酶加酶量0.66%、液固比3:1(g/mL)、酶解时间5.25 h、酶解温度51℃,此条件下蛋白质的水解度为57.13%。试验结果为腾冲雪鸡风味物质和复合调味料的开发与利用提供了参考。

**关键词:**腾冲雪鸡;肌肉;酶解;水解度;响应面法

## Optimization of Enzyme Hydrolysis Process of Tengchong Snowcock Muscles by Response Surface Methodology

GUO Lei<sup>1</sup>, YANG Jing-jing<sup>1</sup>, ZHU Jin-hua<sup>1</sup>, GU Da-hai<sup>2</sup>, KAN Huan<sup>1</sup>, LIU Yun<sup>1</sup>

(1. School of Light Industry and Food Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Yunnan Engineering Technology Research Center for Processing of Livestock Products, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan, China)

**Abstract:** Tengchong Snowcock is one of famous fine breeds in Yunnan province, it is the local characteristic poultry resources in Tengchong city, its meat and bone is dark, the meat is fresh and tender, and tastes sweet. The objective of this study was to obtain the enzymatic hydrolysis conditions of Tengchong Snowcock muscles. With Tengchong Snowcock muscle as raw material, and degree of hydrolysis was used as test index, on the basis of single-factor test results, liquid-solid ratio, enzyme hydrolysis time and enzyme hydrolysis temperature were selected to optimize the enzyme hydrolysis conditions by response surface methodology. The following conditions were found to be optimum for the enzymatic hydrolysis: amounts of animal protease of 0.66%, liquid-solid ratio of 3:1 (mL/g), enzyme hydrolysis time of 5.25 h and enzyme hydrolysis temperature of 51℃, under these conditions, hydrolysis degree of 57.13% was obtained. The results could provide theoretical foundation of flavoring and compound seasoning process of Tengchong Snowcock chicken.

**Key words:** Tengchong Snowcock; muscles; enzyme hydrolysis; degree of hydrolysis; response surface methodology

引文格式:

郭磊, 杨晶晶, 朱金花, 等. 响应面法优化腾冲雪鸡肌肉的酶解工艺[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 89-94

GUO Lei, YANG Jingjing, ZHU Jinhua, et al. Optimization of Enzyme Hydrolysis Process of Tengchong Snowcock Muscles by Response Surface Methodology[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12): 89-94

腾冲雪鸡是云南省腾冲县的一个优良地方家鸡

品种, 主要分布于腾冲县境内高黎贡山西麓广大山区、丘陵地带, 因羽毛洁白无斑而得名, 是继丝毛鸡后又一“白羽黑肉”地方优良家禽品种, 是我国家禽黑色食品的基因宝库<sup>[1-2]</sup>。腾冲雪鸡肉质鲜美可口、乌骨黑

基金项目: 云南省科技计划项目(2018ZG004)

作者简介: 郭磊(1981—), 男(汉), 讲师, 硕士, 研究方向: 食物资源开发及利用。

肉、羽毛雪白,深受市场欢迎,属于肉、蛋兼药用型家禽,其肌肉粗蛋白含量高、脂肪含量中等,营养价值高于其它的云南地方良种鸡<sup>[3-4]</sup>。王正己等<sup>[5]</sup>通过对雪鸡肉的氨基酸和微量元素等成分分析发现,雪鸡肉中的17种氨基酸含量丰富,最高可达22.21%。

目前,关于腾冲雪鸡的报道多见于生产特性,包括血液生化指标的检测、肌纤维特性研究、屠宰性能研究和遗传多样性研究<sup>[6-9]</sup>,但国内外对于鸡肌肉蛋白质的研究特别是肌肉酶解方面的研究很少。蛋白质水解可通过酶、酸或碱完成,但酶法水解是生产食品用水解物的主要方法<sup>[10]</sup>,其水解物氨基酸具有多种功能特性,不仅能增强肉制品的风味,还是人类和动物营养物质的优良来源<sup>[11]</sup>。鸡肉蛋白质的水解主要应用于食品香精和调味料中,主要是利用蛋白酶将肉类酶解为多肽和游离氨基酸,蛋白质浓度下降则风味氨基酸浓度增加,从而使鸡汤有了不同的味道<sup>[12-16]</sup>。蛋白质酶解反应中最重要的变量是酶的浓度、反应温度、pH值和蛋白质底物的性质<sup>[17]</sup>,因此,哪些因素对酶解效果影响大或者小对获得最佳酶解条件至关重要。响应面法是使用试验设计来研究一个或多个因变量受到多个自变量的影响,优化得出试验条件的方法,已被广泛应用于食品生产和加工领域中<sup>[18]</sup>。

蛋白质水解物具有很高的营养价值,水解蛋白也很容易被人体吸收,然而腾冲雪鸡肌肉酶解方面的研究还未曾报道。本研究选择合适的酶进行肌肉蛋白的水解,在单因素试验的基础上,采用响应面法优化肌肉蛋白的酶解工艺,为进一步研究肌肉蛋白酶解特性和调味料的开发奠定一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

腾冲雪鸡(150日龄公鸡):云南农业大学;动物蛋白水解专用复合酶(简称动物蛋白酶)( $10 \times 10^4$  U/g):山东圣德斯食品添加剂有限公司;木瓜蛋白酶( $20 \times 10^4$  U/g)、中性蛋白酶( $10 \times 10^4$  U/g)、风味蛋白酶( $10 \times 10^4$  U/g):河南三化生物科技有限公司;甘氨酸:天津市大茂化学试剂厂;D-果糖:天津市科密欧化学试剂有限公司;水合茚三酮:天津市光复科技发展有限公司;十二水合磷酸氢二钠、无水乙醇:天津市致远化学试剂有限公司;磷酸二氢钾:天津市风船化学试剂科技有限公司,以上均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

DHG-9240A型电热恒温鼓风干燥箱:上海齐欣科学仪器有限公司;AX224ZH型电子天平:奥豪斯仪器

(常州)有限公司;XMTD-7000型数显恒温水浴锅:北京市永光明医疗仪器有限公司;840-208100紫外可见分光光度计:赛默飞世尔科技有限公司;5805ZR361607型离心机:德国艾本德股份公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 预处理

腾冲雪鸡宰杀后分割,取其腿部肌肉和胸部肌肉,将净肉粉碎成肉糜后冷冻备用。

#### 1.3.2 甘氨酸标准曲线的绘制

参照杨文博等<sup>[19]</sup>标准溶液的测定方法,以空白溶液作参比,570 nm处平行测定3次,记录吸光度值。以甘氨酸浓度为横坐标,吸光值为纵坐标,结果得线性回归方程 $Y=0.0263X-0.0093$ , $R^2=0.9994$ ,甘氨酸标准溶液在浓度为0~0.520  $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好。

#### 1.3.3 蛋白质含量的测定

参照GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》<sup>[20]</sup>。

#### 1.3.4 肌肉蛋白质水解度的测定

采用茚三酮显色法<sup>[21]</sup>,取5.0 g解冻后腾冲雪鸡肌肉糜于锥形瓶中,按比例加入水解酶酶解2 h,沸水浴加热10 min灭酶,冷却,5 000 r/s离心15 min后过滤,取上清液2.00 mL定容至100 mL,从中取0.40 mL于封闭试管中并加入1.60 mL蒸馏水,再加1 mL的茚三酮显色剂,后面的操作同甘氨酸标准溶液的测定,平行测定3次。由肌肉样品溶液中甘氨酸的浓度折算成蛋白质的水解度(degree of hydrolysis, DH),见公式(1)、(2)。

$$C=0.5065A+4.17 \times 10^{-3} \quad \text{公式(1)}$$

$$\text{DH}/\% = \frac{C \times 10 \times n \times 14 \times V \times 10^{-6}}{0.2128} \quad \text{公式(2)}$$

式中:A为肌肉样品酶解后的吸光度值;C为甘氨酸浓度, $\mu\text{g/mL}$ ;V为滤液体积,mL;n为稀释倍数。

#### 1.3.5 单因素试验

最佳酶种类的确立:取解冻后肉糜5.0 g,腾冲雪鸡肌肉5.0 g,自然pH值条件下,以蛋白质水解度为试验指标,液固比2:1(mL/g),加酶量1.1%,酶解温度50℃,酶解时间2 h,考察不同种类酶(中性蛋白酶、动物蛋白酶、木瓜蛋白酶、风味蛋白酶)对水解度的影响;固定加酶量1.1%,液固比2:1(mL/g),酶解温度50℃,考察4种酶中两种酶组成复合酶(1:1,质量比)对水解度的影响,每次平行测定3次。

酶解条件:自然pH值条件下,以蛋白质水解度为试验指标,采用单因素试验,探讨加酶量、液固比、酶解时间、酶解温度等因素对腾冲雪鸡肌肉蛋白质水解效

果的影响。水解试验设以下水平:固定液固比 2:1(mL/g),酶解时间 2 h,酶解温度 50 ℃,考察不同加酶量(0.33、0.44、0.55、0.66、0.77、0.88 %)对水解度的影响;固定加酶量 0.66 %,酶解时 2 h,酶解温度 50 ℃,考察不同液固比(1:1、1.5:1、2:1、2.5:1、3:1、3.5:1、4:1)(mL/g)对水解度的影响;固定加酶量 0.66 %,液固比 2:1(mL/g),酶解温度 50 ℃,考察不同酶解时间(3、3.5、4、4.5、5、5.5、6 h)对水解度的影响;固定加酶量 0.66 %,液固比 2:1(mL/g),酶解时间 5 h,考察不同酶解温度(30、40、45、50、55、60 ℃)对水解度的影响,每次平行测定 3 次。

1.3.6 Box-Behnken 中心组合试验设计

在单因素试验数据分析的基础上,选取对肌肉蛋白质酶解效果影响较大的 3 个因素液固比、酶解时间和酶解温度,每个因素选取 3 个水平进行响应面试验设计,以水解度 DH 为响应值,试验因素与水平见表 1。

表 1 响应面分析因素及水平

Table 1 Analytical factors and levels for response surface methodology analysis

水平	因素		
	A 液固比/(mL/g)	B 时间/h	C 温度/℃
-1	1:1	4	30
0	2.5:1	5	45
1	4:1	6	60

使用数据分析软件 Design Expert 6.0.8 进行数据分析,通过 F 检验对试验数据进行方差分析以评价模型的统计意义,并进行验证试验。

2 结果与分析

2.1 最佳酶种类的确

2.1.1 酶种类的选择

不同水解酶对腾冲雪鸡肌肉蛋白质的酶解效果见图 1。

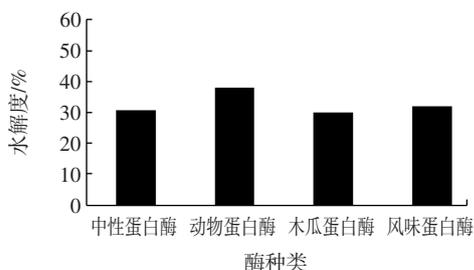


图 1 酶种类对水解度的影响

Fig.1 The effect of enzyme species on degree of enzymatic hydrolysis

选用动物蛋白酶时,相同条件下比其他 3 种酶的

酶解效果好,此时水解度为 37.95%;选用风味蛋白酶、中性蛋白酶、木瓜蛋白酶时水解度分别为 31.90%、30.63%和 30.02%,故选择动物蛋白酶进行腾冲雪鸡肌肉的酶解。

2.1.2 复合酶种类的选择

选择 4 种酶的进行复合,酶解效果见图 2。

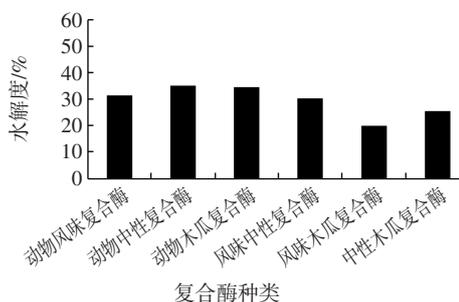


图 2 复合酶种类对水解度的影响

Fig.2 The effect of complex enzyme species on degree of enzymatic hydrolysis

选用动物中性复合酶(动物蛋白酶和中性蛋白酶复合酶)时,在相同条件下水解度最高,达到 35.15%,其余复合酶按水解度高低依次是动物木瓜复合酶(动物蛋白酶和木瓜蛋白酶复合酶)34.62%、动物风味复合酶(动物蛋白酶和风味蛋白酶复合酶)31.40%、风味中性复合酶(风味蛋白酶和中性蛋白酶复合酶)30.27%、中性木瓜复合酶(中性蛋白酶和木瓜蛋白酶复合酶)25.53%和风味木瓜复合酶(风味蛋白酶和木瓜蛋白酶复合酶)19.92%。

由图 1 和图 2 可知,比较单一酶和复合酶对肌肉蛋白水解度的影响,选择动物蛋白酶时水解度最大,为 37.95%,高于复合酶中酶解效果最好的动物中性复合酶(35.15%),综合试验数据并分析,腾冲雪鸡肌肉酶解的最佳酶种类是动物蛋白酶。

2.2 单因素试验结果与分析

2.2.1 加酶量对水解度的影响

加酶量对水解度的影响见图 3。

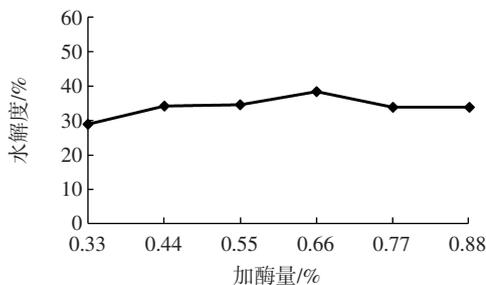


图 3 加酶量对水解度的影响

Fig.3 The effect of enzyme dosage on degree of enzymatic hydrolysis

随着加酶量的提高,水解度呈现先增加后减少的趋势,整体数据差异不明显(标准差  $s=0.03, P>0.05$ ),水解度在加酶量 0.66% 时最高,达到 38.45%。加酶量在 0.33%~0.66% 之间时,由于动物蛋白酶相对于肌肉未达到饱和,反应速率加快,蛋白质水解率也提高的缘故,加酶量在 0.66%~0.88% 之间时,由于酶浓度达到饱和,导致酶解速率降低,蛋白质水解度下降。综合考虑加酶量对水解度的影响,最终确定加酶量为 0.66%。

### 2.2.2 液固比对水解度的影响

液固比对水解度的影响见图 4。

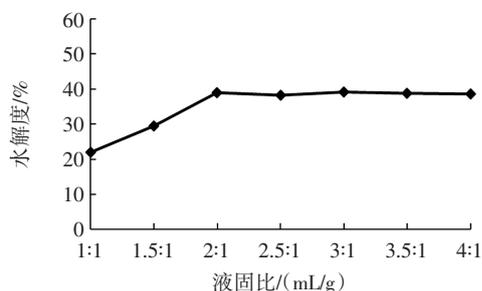


图 4 液固比对水解度的影响

Fig.4 The effect of liquid-solid ratio on degree of enzymatic hydrolysis

随着液固比的提高,水解度呈现先增加后平缓的趋势,整体数据差异明显(标准差  $s=0.07, P<0.01$ ),水解度在液固比为 2:1(mL/g) 时达到最大,为 38.96%。因为加酶量不变,液固比在 1:1(mL/g)~2:1(mL/g) 之间时,酶浓度相对较高,酶解速率加快。当液固在 2:1(mL/g)~4:1(mL/g) 之间时,酶浓度有所降低,但反应体系使得酶与肌肉充分接触,酶解相对充分,水解度趋于平稳。综合考虑液固比对水解度的影响,最终确定液固比为 2.5:1(mL/g)。

### 2.2.3 酶解时间对水解度的影响

酶解时间对水解度的影响见图 5。

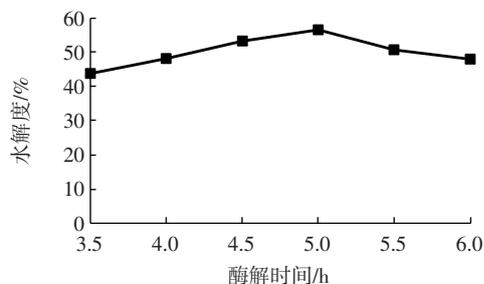


图 5 酶解时间对水解度的影响

Fig.5 The effect of enzymatic hydrolysis time on degree of enzymatic hydrolysis

随着酶解时间的延长,水解度呈现先增大后缓慢

减小的趋势,整体数据差异明显(标准差  $s=0.04, P<0.01$ ),水解度在酶解时间 5.0 h 时达到最大,为 56.49%。酶解时间在 3.5 h~5.0 h 范围内,肌肉蛋白质不断被动物蛋白酶水解,水解度不断增加。当酶解时间在 5.0 h~6.0 h 之间时,蛋白质浓度差在降低,反应速率缓慢下降导致水解度也缓慢降低。综合考虑时间对水解度的影响,最终确定酶解时间为 5 h。

### 2.2.4 酶解温度对水解度的影响

酶解温度对水解度的影响见图 6。

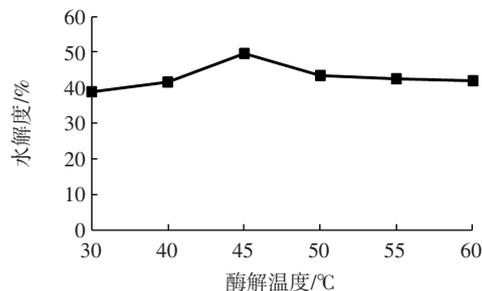


图 6 酶解温度对水解度的影响

Fig.6 The effect of enzymatic hydrolysis temperature on degree of enzymatic hydrolysis

随着酶解温度的不断提高,水解度呈现先增加下降的趋势,整体数据差异明显(标准差  $s=0.04, P<0.01$ ),水解度在温度 45 °C 时达到最大,为 49.68%。温度在 30 °C~45 °C 上升的过程中,动物蛋白酶的酶活力也不断增加,从而水解度也不断增加,但温度在 45 °C~60 °C 之间,酶活力逐渐下降,蛋白质稳定性也下降,从而导致水解度不断下降。综合考虑温度对水解度的影响,最终确定酶解温度为 45 °C。

## 2.3 响应面试验结果与分析

### 2.3.1 响应面试验设计及结果

通过单因素试验结果的极差分析发现,4 个因素对肌肉水解度影响的大小顺序是液固比>酶解时间>酶解温度>加酶量,通过单因素方差分析发现固液比、酶解时间和酶解温度对肌肉水解度的影响都非常显著,加酶量对肌肉水解度的影响不显著。故选取对腾冲雪鸡肌肉蛋白质酶解效果较大的 3 个因素液固比、酶解时间和酶解温度为变量,以水解度为响应值,建立三因素三水平共 17 个试验的中心组合试验设计,其中 12 个析因试验点,5 个中心试验点,每个试验点平行测定 3 次,试验设计及结果见表 2。

### 2.3.2 回归方程拟合与方差分析

采用 Design-Expert8.0.6 设计软件对表 2 中的试验数据进行回归拟合并分析,回归分析结果见表 3。

对自变量 A(液固比)、B(酶解时间)和 C(酶解温

表 2 响应面试验设计及结果

Table 2 Experimental design and results of response surface methodology

试验号	A 液固比/(mL/g)	B 酶解时间/h	C 酶解温度/°C	Y 水解度 DH/%
1	-1	-1	0	30.38
2	1	-1	0	49.97
3	-1	1	0	35.88
4	1	1	0	50.34
5	-1	0	-1	24.74
6	1	0	-1	27.91
7	-1	0	1	33.76
8	1	0	1	44.71
9	0	-1	-1	27.05
10	0	1	-1	29.77
11	0	-1	1	45.19
12	0	1	1	50.75
13	0	0	0	54.97
14	0	0	0	52.98
15	0	0	0	57.41
16	0	0	0	52.26
17	0	0	0	55.47

表 3 回归方程系数及显著性检查

Table 3 Regression coefficient and significance test

来源	平方和	自由度	均方	F 值	Pr > F	显著性
模型	2 055.27	9	228.36	17.89	0.000 5	**
A	290.04	1	290.04	22.72	0.002 0	**
B	25.03	1	25.03	1.96	0.204 2	
C	527.15	1	527.15	41.29	0.000 4	**
AB	6.58	1	6.58	0.52	0.496 1	
AC	15.13	1	15.13	1.19	0.312 4	
BC	2.02	1	2.02	0.16	0.702 9	
A <sup>2</sup>	355.82	1	355.82	27.87	0.001 1	**
B <sup>2</sup>	60.25	1	60.25	4.72	0.066 4	
C <sup>2</sup>	673.27	1	673.27	52.73	0.000 2	**
残差	89.38	7	12.77			
失拟项	72.49	3	24.16	5.72	0.062 6	
绝对误差	16.89	4	4.22			
总和	2 144.65	16				

注:\*\* 表示差异极显著,  $P < 0.01$ 。

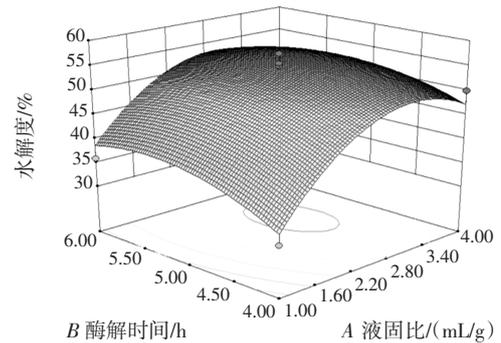
度)进行拟合后获得腾冲雪鸡肌肉酶解的二次多元回归方程为: $Y=54.62+6.02A+1.77B+8.12C-9.19A^2-3.78B^2-12.65C^2-1.28AB+1.95AC+0.71BC$  公式(3)

由表 3 可知,回归模型非常显著( $P < 0.01$ ),该模型与实际拟合良好,试验方法可靠。失拟项不显著( $P > 0.05$ ),说明该回归方程与实际拟合中非正常误差所占比例很小,可用该回归方程代替试验真实点对试验结

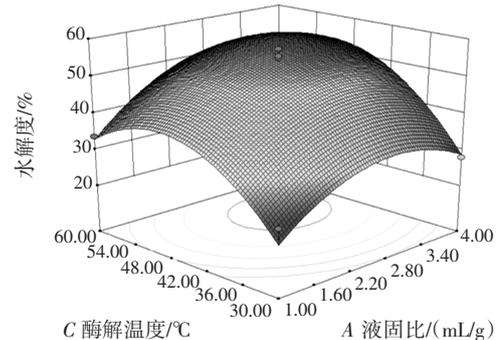
果进行分析。方差分析结果显示,A(液固比)、C(酶解温度)、A<sup>2</sup>(液固比二次项)和 C<sup>2</sup>(酶解温度二次项)对响应值 Y(水解度)影响非常显著,3 个自变量对水解度影响的顺序为液固比、酶解温度、酶解时间。

2.3.3 响应面图分析

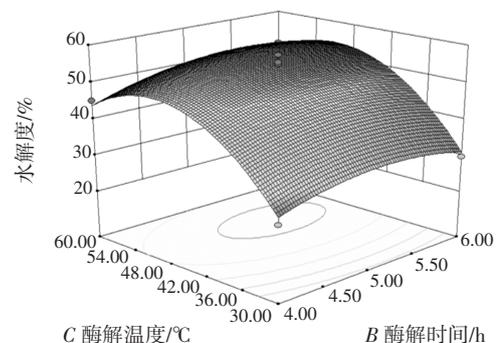
曲面陡峭表明该因素对水解度的影响显著,曲面平缓表明该因素对水解度的影响不明显;椭圆形表明交互作用强,圆形则表明交互作用弱<sup>[2]</sup>。通过该组响应面动态图可对任何两因素交互影响酶解效果进行分析与评价,获得 3 个自变量最佳的取值范围。以二次多项回归方程得出的响应面图如图 7。



(a)液固比-酶解时间



(b)液固比-酶解温度



(c)酶解时间-酶解温度

图 7 两因素交互作用对水解度的响应面图

Fig.7 Response surface plots of two-factor interaction on degree of enzymatic hydrolysis

图 7 的 3 个图分别显示了酶解温度、酶解时间和液固比为零水平时,液固比和酶解时间、液固比和酶解温度、酶解时间和酶解温度对腾冲雪鸡肌肉蛋白质酶解效果的交互影响效应。从图 7 可以看出,水解度随其中任意两个变量的增加均呈上升趋势,达到某一定值时,曲面稍下降或趋于平缓。

#### 2.4 验证试验

对回归方程求解,即肌肉蛋白质水解度达到最大值时的酶解条件为液固比 3.03:1(mL/g)、酶解时间 5.21 h、酶解温度 50.3 ℃,此条件下水解度达到 57.29%,为方便操作将试验条件优化为液固比 3:1(mL/g)、酶解时间 5.25 h、酶解温度 51 ℃,优化条件下取 3 等份腾冲雪鸡肌肉进行酶解平行验证试验,每次试验平行测定 3 次,经验证后所得平均水解度为 57.13%。验证试验所得实际水解度值与响应面试验预测值相比,误差 0.16%,结果表明,经过响应回归方程拟合出的预测值与实际值相吻合,用响应面法可以有效的优化腾冲雪鸡肌肉蛋白质的酶解工艺。

#### 3 结论

本研究以腾冲雪鸡肌肉为试验原料,以蛋白质水解度为试验指标,在单因素试验结果的基础上,通过三因素三水平的响应面法分析法对鸡肉酶解工艺进行了优化,建立了鸡肉酶解的回归模型,确定了腾冲雪鸡肌肉酶解的最佳工艺条件。在动物蛋白酶添加量 0.66%、液固比 3:1(mL/g)、酶解时间 5.25 h、酶解温度 51 ℃时,腾冲雪鸡肌肉蛋白质的水解度为 57.13%,结果与回归模型预测值结果接近,验证了该回归模型的可靠性。结果证明,响应面法可有效的优化腾冲雪鸡肌肉的酶解工艺,对进一步研究腾冲雪鸡肌肉酶解物及调味料开发具有一定的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] 廖国周,王桂瑛,程志斌,等. 云南腾冲雪鸡肌肉蛋白质组学研究[J]. 肉类研究, 2013, 27(7): 1-5
- [2] 沈雪鹰,尹玉安. 腾冲雪鸡资源调查[J]. 中国家禽, 1999, 21(2): 8-9
- [3] 李敏, 李业荣. 云南省特色地方鸡产业发展研究-以腾冲雪鸡为例[J]. 乡村科技, 2018(3): 30-31
- [4] 欧茶海,李润泉,丁自柏,等. 不同日龄和性别腾冲雪鸡肉的营养

成分分析[J]. 西南民族学院学报(自然科学版), 1999, 25(2): 181-185

- [5] 王正己,王燕,哈孜·米来,等. 雪鸡肉氨基酸和微量元素含量分析[J]. 野生动物, 1997, 18(2): 28-29
- [6] 叶绍辉,张华英,段纲,等. 60~90 日龄不同性别腾冲雪鸡血液生化指标差异研究[J]. 云南农业大学学报, 1999, 14(4): 345-348
- [7] 谭丽勤,欧茶海,李润泉,等. 60~90 日龄腾冲雪鸡肌纤维特性研究[J]. 云南农业大学学报, 2000, 15(4): 345-348
- [8] 叶绍辉,欧茶海,丁自柏,等. 60 和 90 日龄笼养腾冲雪鸡屠宰性能分析[J]. 云南畜牧兽医, 2000(1): 14-15
- [9] 苗永旺,陈涛,霍金龙,等. 利用微卫星标记分析腾冲雪鸡的遗传多样性[J]. 西南农业学报, 2008, 21(5): 1431-1433
- [10] Kurozawa L E, Park K J, Hubinger M D. Optimization of the Enzymatic Hydrolysis of Chicken Meat Using Response Surface Methodology[J]. Food Chemistry, 2008, 73(5): 405-412
- [11] Benjakul B, Morrissey MT. Protein hydrolysates from Pacific whiting solid wastes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(9): 3423-3430
- [12] 杜华英,叶慧,高国清,等. 不同熬制方法对鸡汤品质的影响[J]. 肉类研究, 2013, 27(7): 26-29
- [13] 陈海涛,徐晓兰,张宁,等. 鸡肉酶解工艺对热反应鸡肉香精香气的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 150-154
- [14] 刘玉凌,陈雅韵,夏杨毅. 酶解鸡汤熬制过程中蛋白质和氨基酸的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 235-238
- [15] Mehmet B A, Tone M R, Dagbjørn S, et al. Modeling of *Listeria monocytogenes* inactivation by combined high-pressure and mild-temperature treatments in model soup. European Food Research and Technology, 2016, 242(2): 279-287
- [16] Toshihide N, Shingo G, Kyo M, et al. Umami compounds enhance the intensity of retronasal sensation of aromas from model chicken soups[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 577-583
- [17] Adler-Nissen J. Enzymic Hydrolysis of Food Proteins[M]. New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1986
- [18] George E P Box, William G Hunter, J Stuart Hunter. Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015
- [19] 杨文博,张英华. 蛋白质水解度的测定方法研究[J]. 中国调味品, 2014, 39(3): 88-90
- [20] 张余,陈志宏,陈静,等. 肌肉和猪肉蛋白质酶解动力学及产物性质分析[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(24): 15-19
- [21] 赵新淮,冯志彪. 蛋白质水解物水解度的测定[J]. 食品科学, 1994, 15(11): 65-67
- [22] 徐响,孙丽萍,董捷. 响应面法及其在食品工业中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2005, 16(2): 68-71

收稿日期:2018-09-07