

# 挤压加工条件对膨化食品中油脂品质影响

李晓文<sup>1</sup>,李琳<sup>1,2</sup>,李冰<sup>1,\*</sup>,张霞<sup>1</sup>,徐振波<sup>1</sup>

(1.华南理工大学轻工与食品学院,广东广州 510640;

2.东莞理工学院,广东东莞 523808)

**摘要:**膨化食品中的油脂品质在挤压加工过程中易发生变化,从而影响膨化食品品质。为生产健康营养型膨化食品,本文选择棕榈油作为膨化食品内的油脂,制备棕榈油基膨化食品,采用中心组合设计法探究挤压加工条件(水分含量、套筒温度、螺杆转速)对其品质(全氧化值)的影响规律,并确定实验条件下油脂氧化程度最低的各因素组合,且进行验证分析。研究表明,在挤压加工中,各因素对棕榈油基膨化食品的油脂品质的影响顺序为:水分含量>套筒温度>螺杆转速,其中水分含量与套筒温度之间具有显著的交互作用,当套筒温度较低(100~110℃)时,随水分含量增加,全氧化值逐渐减小,当套筒温度较高(110~160℃)时,随水分含量增大,全氧化值增大。实验条件下油脂氧化程度最低各因素组合为:套筒温度124℃,水分含量22%,螺杆转速250 r/min。在此条件下,预测值为27.15 meq/kg,通过此最优条件进行验证,实测值为(25.29±0.43) meq/kg。

**关键词:**挤压膨化,全氧化值,中心组合设计,健康食品,棕榈油

## Effect of extrusion conditions on lipid quality in puffed food

LI Xiao-wen<sup>1</sup>, LI Lin<sup>1,2</sup>, LI Bing<sup>1,\*</sup>, ZHANG Xia<sup>1</sup>, XU Zhen-bo<sup>1</sup>

(1.College of Light Industry and Food Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2.Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

**Abstract:** The lipid quality of puffed food is easy to be changed during the extrusion processing, which affected quality of puffed food. As health and nutrition was concerned, palm oil was chosen to produce the palm oil-based puffed food, and the central composite design (CCD) was adopted to study the influence law of the extrusion processing conditions (moisture content, barrel temperature, screw speed) on its quality (total oxidation value), determining combined experimental conditions of the lowest oxidation content, and the verification test was carried out. The research showed that the order of factors influencing the oil quality of the palm oil-based puffed food during the extrusion processing was as follows: water content > barrel temperature > screw speed. A potential significant interaction between the moisture content and barrel temperature was shown, as when the barrel temperature was low (100~110℃), the total oxidation value decreased with the increase of water content, when the barrel temperature was high (110~160℃), the total oxidation value increased with the increase of water content. Within the scope of experimental conditions, combined various factors of the lowest oxidation content was obtained as the temperature of 124℃, the feed moisture of 22%, as well as the screw speed of 250 r/min. Under these conditions, the minimum total oxidation value was 27.15 meq/kg, and its experimental value was (25.29±0.43) meq/kg.

**Key words:** extrusion cooking; total oxidation value; central composite design; healthy food; palm oil

中图分类号: TS221

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)17-0206-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.17.033

挤压膨化食品是20世纪70年代发展起来的方便食品,主要营养成分为碳水化合物、脂肪、蛋白质,由于其具有食用方便、易于消化、香酥可口、老幼皆宜、经济实惠等特点而深受消费者青睐<sup>[1-2]</sup>。传统挤压膨化食品在生产过程中常使用氢化油脂,因氢化油高饱和度使膨化食品具有酥脆可口的特点,同时,高度饱和性有利于提高氧化稳定性;但是氢化油的

加入会在很大程度上降低膨化食品的营养性,同时伴随着反式脂肪酸的摄入,这些将会对人类的健康造成巨大影响,如诱发冠心病、心脏病、心绞痛和中风等<sup>[3]</sup>。随着国家经济的发展,人们生活水平的提高,健康营养型食品成为食品工业发展的主要趋势,因此,部分或全部取代氢化油在挤压膨化食品中的使用,发展营养健康型挤压膨化食品成为研究热

收稿日期:2015-01-13

作者简介:李晓文(1990-),男,硕士研究生,研究方向:食品化工,E-mail:Jackliscut@163.com。

\*通讯作者:李冰(1972-),女,博士,教授,研究方向:食品化工与生物化工,E-mail:bli@scut.edu.cn。

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD37B01);国家自然科学基金(31130042,31401660);中国博士后科学基金(2014M552204)。

点之一。

相比于其他食用油脂,棕榈油具有良好抗氧化性,富含天然生育酚、三烯生育酚以及胡萝卜素,其活性氧值(AOM)达到45 h以上;棕榈油具有无味的特点,可突出食品自然的风味。棕榈油可以通过简单的分馏工艺而获得不同熔点的棕榈油,低熔点棕榈油营养价值一般要比高熔点棕榈油高,同时,棕榈油富含的甘油二酯容易被人体吸收利用,具有非常高的营养价值。从有利于人体吸收和氧化稳定性角度考虑,熔点为10℃的棕榈油常被用作煎炸用油,它不仅可以提供人体所需要的不饱和脂肪酸,同时10℃棕榈油较高的饱和度在一定程度上保证与氢化油类似口感<sup>[4-5]</sup>,这些优点使棕榈油成为挤压膨化理想食品用油。然而在膨化食品的挤压加工过程中挤压温度可达到100~160℃,根据经典油脂氧化理论,较高的加工温度有可能会使棕榈油中对人体有益的不饱和脂肪酸发生氧化,同时,水分也可能加速甘油酯的水解,导致风味品质和贮存能力的下降<sup>[6]</sup>。因此,为保证棕榈油在挤压膨化食品中的有效应用,考察挤压加工条件对棕榈油在挤压加工过程中的品质变化规律显得非常必要。在本研究中,以添加10℃棕榈油的挤压膨化食品为研究对象,通过考察挤压加工过程中套筒温度、水分含量和螺杆转速这三个操作参数及其交互作用对其中油脂品质的影响规律,以期获得挤压加工过程对膨化食品中棕榈油油脂氧化的规律,从而对该膨化食品的品质进行指导及控制,将在一定程度上促进健康营养型挤压膨化食品的开发具有特别重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

食用玉米淀粉 秦皇岛鹏运淀粉有限公司,成分见表1。棕榈油(不加抗氧化剂) 广州金晨油脂有限公司,成分见表2。

DS32-I 双螺杆挤压膨化机 济南赛信机械有限公司;Kenwood 多功能搅拌机 北京斯亚达商贸有限公司;JY-04A 多功能粉碎机 上海精科仪器有限公司;BS423S 电子天平 北京赛多利斯科学仪器有限公司;SK3310LHC 超声波清洗机 上海科导超声波仪器有限公司;HH-2 数显恒温水浴锅 广州丛源仪器有限公司;UV-2600 紫外可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;SOX406 全自动索氏抽提仪 山东海能仪器有限公司。

表1 玉米淀粉组成成分

Table 1 Corn starch composition

成分 含量(%)	碳水化合物	蛋白质	脂肪	水分	其他
	85.00	1.20	0.10	13.50	0.20

表2 棕榈油脂肪酸组成

Table 2 Palm oil composition

种类 含量(%)	饱和脂肪酸	单不饱和脂肪酸	多不饱和脂肪酸
	45.90	42.41	11.69

### 1.2 实验方法

1.2.1 模拟膨化食品体系的构建 将食用玉米淀粉、棕榈油和蒸馏水按一定比例使用搅拌机混合均匀,建立模拟膨化食品体系,其中固定棕榈油用量为10%(模拟真实食品体系);待挤压膨化机启动30 min达到稳定状态后,按一定的挤压条件进行挤压实验;各挤压处理之间用原料润洗机器10 min,膨化正常,收集样品;挤出样品室温放置在不锈钢托盘中15 min,散去余热后称重。

1.2.2 模拟膨化食品中油脂提取 将所制备的已冷却的膨化食品样品用高速粉碎机粉碎,过70目筛,用全自动索氏抽提仪将油脂提出,置于4℃冰箱保存待用。

1.2.3 过氧化值(Peroxide Value, PV)测定 按照GB/T 5009.37-2003中比色法对1.2.2中提取的油脂的过氧化值进行测定。

1.2.4 茴香胺值(Anisidine Value, AV)测定 按照GB/T 24304-2009对1.2.2中提取油脂的茴香胺值进行测定。

1.2.5 全氧化值(Total Oxidation Value, TV) 采用目前国际上常用的全氧化值指标来评价制备的膨化食品中油脂的氧化劣变程度。全氧化值为2倍的过氧化值与茴香胺值之和,如式(1)所示。

$$TV = 2 \times PV + AV \quad \text{式(1)}$$

1.2.6 中心组合实验(Central Composite Design, CCD) 在前人研究的基础上<sup>[7-8]</sup>,根据挤压膨化食品典型加工条件,确定套筒温度100~160℃,螺杆转速250~500 r/min;干法挤压水分含量的一般低于22%,玉米淀粉本身含有16%水分,故水分含量确定为16%~22%;以全氧化值为响应值。根据响应面设计原理,确定各因素范围,默认水平取值(-1.682, -1, 0, 1, 1.682),可以降低实验安排的偶然误差。采用三因素五水平中心组合设计表对挤压加工过程对油脂氧化的规律进行研究,其中选择套筒温度(℃)、水分含量(w%)、螺杆转速(r/min)三因素为考察指标,各因素水平设置见表3。各实验平行3次,相关实验数据采用Design-Expert 8.0.6软件对所得数据进行处理。

表3 实验因素水平与编码

Table 3 Factors and levels of CCD

因素	编码水平				
	-1.68	-1.00	0.00	1.00	1.68
套筒温度(℃)	100.00	112.20	130.00	147.80	160.00
水分含量(w%)	16.00	17.20	19.00	20.80	22.00
螺杆转速(r/min)	250.00	300.70	375.00	449.30	500.00

1.2.7 统计分析 所有给出的实验结果表示为平均值±标准值( $n=3$ ),通过Design-Expert 8.0对水分含量、套筒温度和螺杆转速的交互作用进行了方差分析。当 $p < 0.05$ 时,差异显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 挤压加工条件对油脂品质的影响

一般来说,油脂氧化变质是从不饱和脂肪酸的氧化开始的,并且油脂分子的不饱和度越高,越容易发生氧化。根据经典油脂氧化理论,温度是影响油

脂以及含油食品氧化最重要的因素。高温能加速碳链的衍生反应,促进自由基的生成,同时也会加快过氧化物的分解。油脂的氧化速率随氧分压的增加而增加,当氧分压达到一定值之后,其氧化速率会保持基本不变<sup>[9]</sup>。水分作为食品体系中的重要组成部分,对油脂自动氧化反应有重要作用。研究表明,水分对油脂氧化速率影响,主要取决于水分活度,在水分活度小于0.1的干燥食品中,油脂氧化速率很快;当水分活度增加到0.3时,因为水的保护作用,阻止氧气与食品表面油脂接触,油脂氧化速率往往降到最低;当水分活度大于0.3,可能因为增加了氧气的溶解度,因此提高了存在于此体系中的脂类分子的溶胀度和金色离子催化剂的流动性,暴露出更多反应位点,加速氧化反应速率<sup>[10]</sup>。螺杆转速的变化,影响物料与空气的接触表面积<sup>[7]</sup>。

本研究采用中心组合实验设计方法,选择挤压加工过程中的套筒温度、水分含量和螺杆转速这三个因素进行研究,选取的水平如表3所示,各因素的实验组合及实验结果见表4所示。

由表4可见,不同的挤压加工条件对膨化食品中的棕榈油品质的影响确实有所不同。为进一步分析挤压加工过程各因素对棕榈油品质的影响规律,以套筒温度(A)、水分含量(B)和螺杆转速(C)为自变量,油脂全氧化值(Y)为响应值,采用 Design-Expert 8.0.6 软件,对表4中全氧化值指标对各因素按照二次多项式模型进行拟合,得到回归模型方程如式(2)所示。

$$Y = 129.82 - 4.89A + 6.93B + 0.69C + 10.25AB - 2.11AC + 3.60BC - 10.63A^2 - 1.96B^2 - 8.26C^2 \quad \text{式(2)}$$

对方程各项系数进行方差分析,结果见表5。

由表5所示,实验中水分含量、套筒温度、套筒温度和水分含量交互作用、套筒温度的二次项、螺杆转速的二次项对膨化食品中棕榈油的品质具有显著

影响( $p < 0.05$ ),其中水分含量的影响最为显著,而螺杆转速对其影响则不显著( $p > 0.05$ )。同时,方程的拟合是合适的(失拟项  $p > 0.05$ ),且该模型拟合度非常好( $p < 0.0001$ ),实验误差较小,可见,可以用此模型对实验水平下中挤压加工过程中套筒温度、水分含量、螺杆速度对油脂品质的影响进行分析 and 预测。

表4 中心组合设计表及实验结果  
Table 4 Arrangement and results of CCD

实验号	自变量			全氧化值 (meq/kg)
	套筒温度	水分含量	螺杆转速	
1	0	0	0	125.35 ± 0.017
2	1	1	-1	117.20 ± 0.033
3	1	-1	1	80.57 ± 0.012
4	0	0	0	128.65 ± 0.027
5	-1	1	-1	102.45 ± 0.032
6	-1	-1	1	115.26 ± 0.059
7	-1.68	0	0	107.78 ± 0.009
8	-1	1	1	120.81 ± 0.051
9	0	0	-1.68	111.92 ± 0.015
10	0	0	0	130.63 ± 0.021
11	1	1	1	123.61 ± 0.028
12	0	0	0	133.56 ± 0.007
13	-1	-1	-1	114.81 ± 0.010
14	0	0	0	128.77 ± 0.020
15	0	0	1.68	105.20 ± 0.031
16	1	-1	-1	85.05 ± 0.038
17	0	0	0	131.22 ± 0.062
18	0	1.68	0	134.17 ± 0.053
19	0	-1.68	0	118.58 ± 0.041
20	1.68	0	0	95.94 ± 0.034

表5 回归统计分析表

Table 5 ANOVA for the regression response surface model

方差来源	自由度	平方和	F 值	p 值	显著性
模型	9	483.75	21.17	<0.00010	**
A 套筒温度	1	326.88	14.31	0.0036	**
B 水分含量	1	655.07	28.67	0.00030	**
C 螺杆转速	1	6.52	0.28	0.60	
AB	1	840.26	36.78	0.00010	**
AC	1	35.69	1.56	0.24	
BC	1	103.62	4.54	0.059	
A <sup>2</sup>	1	1628.75	71.29	<0.00010	**
B <sup>2</sup>	1	55.47	2.43	0.15	
C <sup>2</sup>	1	983.93	43.07	<0.00010	**
残差	10	228.44			
失拟项	5	55.36	4.86	0.054	
纯误差	5	38.95			
总和	19	4582.26			
模型确定系数			$R^2 = 0.95$		
模型调整系数			$R^2_{Adj} = 0.91$		

注: \* 为显著( $p < 0.05$ ), \*\* 为极显著( $p < 0.01$ )。

从表5 回归系数的显著性检验可知,方程中一次项 A、B 和二次项 A<sup>2</sup>、C<sup>2</sup>、AB 均达到极显著水平 ( $p < 0.01$ ),其他项均不显著。剔除不显著项后,得到回归方程如下:

$$Y = 129.82 - 4.89A + 6.93B + 10.25AB - 10.63A^2 - 8.26C^2 \quad \text{式(3)}$$

## 2.2 响应面分析挤压加工各因素交互作用对油脂品质变化影响规律

通过响应面三维图,可以直观反映出各因素的交互作用对响应值的影响<sup>[11]</sup>,因此,为分析挤压加工各因素(套筒温度,水分含量,螺杆转速)的交互作用,根据拟合模型绘制油脂全氧化值的响应面图,如图1所示。等高线的形状可以直观反映出交互效应的强弱大小,椭圆形表示两者交互作用显著,圆形表示两交互作用不显著。

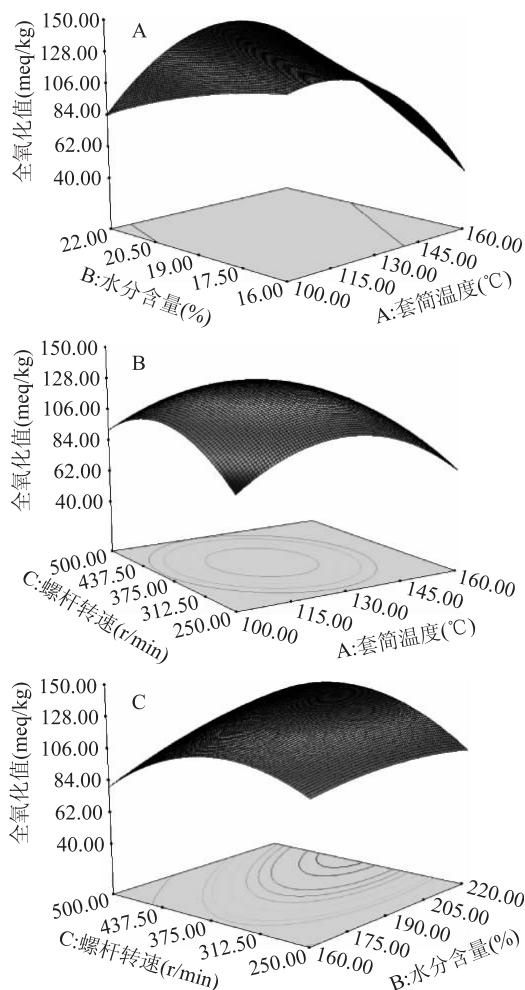


图1 不同因素组合影响油脂全氧化值的曲面图

Fig.1 Response surface of the total oxidation value versus the concentrations of experimental factor

图1A 显示了水分含量与套筒温度对油脂全氧化值交互影响效应。由图可见,等高线为明显地椭圆形,表明水分含量与套筒温度的交互作用非常明显。当套筒温度在实验水平范围内(100~110 °C),随水分含量增加(16%~22%),全氧化值减小。这可能是棕榈油富含生育酚和生育三烯酚,有效抑制过氧化物产生。当套筒温度在实验水平范围内(110~

160 °C),随水分含量增大(16%~22%),全氧化值增大。这可能是由于水分与温度相互作用,随着水分含量增加,水分活度增大,油—水界面扩大,氧分压增大,胡萝卜素表现为促进油脂氧化,加速油脂水解、氧化<sup>[12]</sup>。同时由图可知,水分含量在实验水平范围内(16%~22%),随着套筒温度增加,全氧化值先增大后减小。这可能与挤压加工过程中温度变化,导致淀粉状态改变,在水分含量一定的情况下,温度与水分相互作用,在温度较低时,随温度升高,全氧化值增加,当温度超过一定值时,加速淀粉—油脂复合物的形成,抑制油脂氧化<sup>[13]</sup>。

图1B 显示了螺杆转速与套筒温度对油脂全氧化值交互影响效应。从等高线可以判断出螺杆转速与套筒温度的交互作用不显著,套筒温度影响显著。在螺杆转速实验水平范围内(250~500 r/min),随着套筒温度的增加(100~130 °C),全氧化值增加。这可能是因为随着温度升高,氧分压增大,生育酚和生育三烯酚对氧敏感,抗氧化活性受到抑制,同时胡萝卜素在氧气充足情况下,表现为促进油脂水解、氧化作用。当套筒温度继续升高(130~160 °C)时,淀粉状态改变,形成淀粉—油脂复合物,抑制油脂氧化,全氧化值随温度升高而降低<sup>[13]</sup>。当套筒温度在试样水平范围内(100~160 °C),随螺杆转速(250~375 r/min)增加,全氧化值增大,这可能是由于螺杆转速增大,增加氧气与油脂界面的相对表面积,氧分压增大,胡萝卜素表现为促进油脂水解、氧化,全氧化值增大;随螺杆转速(375~500 r/min)增加,全氧化值减小,这可能是由于转速增大,套筒内停留时间缩短,受热氧化时间减小,全氧化值降低<sup>[14]</sup>。

图1C 显示了螺杆转速与水分含量对油脂全氧化值交互影响效应。从等高线可以判断出螺杆转速与套筒温度的交互作用显著性不明显,水分含量影响显著。螺杆转速在实验水平范围内(250~375 r/min),随着水分含量的增加,全氧化值无明显变化;这可能是由于螺杆转速较低时,相对氧气与油脂界面接触表面积变化不大,水解、氧化作用不明显<sup>[12]</sup>。当螺杆转速(375~500 r/min)时,随水分含量增加,全氧化值逐渐增大。这可能是由于水分含量增大,棕榈油中富含的甘油二酯加速水解成短链脂肪酸,加速氧化过程。但同时由图可知,水分含量在实验水平范围内(16%~22%),随螺杆转速增大(250~375 r/min),全氧化值增大;随螺杆转速增大(375~500 r/min),全氧化值减小。结果与图1B 相同<sup>[14]</sup>。

综上所述,在实验中挤压加工水分含量及套筒温度对油脂品质均有一定的影响,且水分含量与套筒温度之间具有交互作用,而螺杆转速则对油脂品质影响不大,本研究在得到各因素对油脂品质变化影响规律的同时,对回归方程进行数学处理,偏微分求导后的极值方程组求解得到实验条件下油脂氧化程度最低的各因素最佳组合为:套筒温度 124 °C,水分含量 22%,螺杆转速 250 r/min,响应值全氧化值取得最小 27.15 meq/kg。按照此最优条件进行验证,经重复验证响应值为(25.29 ± 0.43) meq/kg,符合国际食品法典委员会制定的全氧化值标准 30 meq/kg。

### 3 结论

在本研究中,以添加棕榈油的挤压膨化食品为研究对象,通过考察挤压加工过程中套筒温度、水分含量和螺杆转速这三个操作参数对其中油脂品质的影响规律。其中水分含量为膨化食品油脂品质最重要的影响因素,其次为套筒温度,而螺杆转速在本研究范围内对膨化食品油脂品质响应值不显著。并且,水分含量与套筒温度对膨化食品的油脂品质影响具有交互作用,当套筒温度较低(100~110℃)时,随水分含量增加,全氧化值逐渐减小,当套筒温度较高(110~160℃)时,随水分含量增大,全氧化值增大。同时在水分含量实验水平范围内,随着套筒温度增加,全氧化值均先增大后减小。得到此影响规律的同时得到实验条件下油脂氧化程度最低的各因素组合为:套筒温度 124℃,水分含量 22%,螺杆转速 250 r/min,验证响应值为(25.29 ± 0.43) meq/kg。

#### 参考文献

- [1] Savoie, Raphaelle, Lanoiselle, et al. Mechanical continuous oil expression from oilseeds: A Review [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6: 1-16.
- [2] 蒋长兴, 魏益民. 双螺杆挤压制备谷物营养早餐的研究[J]. 现代食品科技, 2012, (28): 1186-1189.
- [3] Kong J, Perkins LB, Dougherty MP, et al. Control of lipid oxidation in extruded salmon jerky snacks [J]. J Food Sci, 2011, 76(1): C8-C13.
- [4] 张榴萍, 徐爱军. 不同熔点棕榈油脂肪酸组成和 SFC 测定分析[J]. 粮食与油脂, 2010, 5: 14-16.
- [5] 李艳, 王必尊, 刘立云, 等. 棕榈油发展现状及前景[J]. 中

国油脂, 2008, 33(7): 4-6.

- [6] Tocher DR, Fonseca - Madrigal J, Dick JR, et al. Effects of water temperature and diets containing palm oil on fatty acid desaturation and oxidation in hepatocytes and intestinal enterocytes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol, 2004, 137(1): 49-63.
- [7] Riaz M.N. Extruders in Food Applications. (2000) CRC Press.
- [8] E. Olatunde Farombi, George Britton. Antioxidant activity of palm oil carotenes in organic solution: effects of structure and chemical reactivity [J]. Food Chemistry, 1999, 64: 315-321.
- [9] Eunok Choe, David B. Min. Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation [J]. Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety, 2006, 5(4): 169-186.
- [10] Choe E, Oh S. Effects of water activity on the lipid oxidation and antioxidants of dried laver (*porphyra*) during storage in the dark [J]. J Food Sci, 2013, 78(8): C1144-51.
- [11] 陈燕, 王天平, 邱树毅, 等. 响应面法优化超声波强化提取薏苡仁酯 [J]. 食品科学, 2010, 31(8): 46-50.
- [12] Schroeder MT, Becker EM, Skibsted LH. Molecular mechanism of antioxidant synergism of tocotrienols and carotenoids in palm oil [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(9): 3445-3453.
- [13] Teresa De Pilli, Kirsi Jouppila, Jarno Ikonen, et al. Study on formation of starch-lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87: 495-504.
- [14] Qing-Bo Ding, Paul Ainsworth, Andrew Plunkett, et al. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73: 142-148.

(上接第 205 页)

### 3 结论

本实验采用正交实验优化设计, 得出中性蛋白酶最佳酶解工艺为: pH7、酶添加量 1200 U/g、料液比 (m:V) 为 1:2.5、温度 40℃、时间 2 h, 在此工艺条件下多肽含量为 (79.2 ± 0.7) mg/g。

在对中性蛋白酶的酶解工艺条件进行显著性分析时, 发现酶添加量、酶解时间对酶解效果具有极显著的影响, 料液比具有显著的影响, 因此在酶解时应注意酶解时间、料液比以及酶添加量的控制。

#### 参考文献

- [1] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学(上册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 162-168.
- [2] 董转年, 曹佳敏, 邓棚, 等. 不同来源生物活性肽的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(9): 3768-3769.
- [3] 卢学敏, 王顾林, 蓝晓燕, 等. 牡蛎活性多肽的抑菌作用与抗氧化性能研究 [J]. 中国酿造, 2013, 32(2): 77-80.
- [4] 张永娟, 郑惠珍. 缙蛭多肽的免疫调节及抗氧化作用 [J]. 时珍国医国药, 2011, 22(5): 1076-1077.
- [5] R.A.Nazeer, M.A.V.Saranya, Shabeena Yousuf Naqash. Radical scavenging and amino acid profiling of wedge clam, *Donax cuneatus* (Linnaeus) protein hydrolysates [J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, (16): 894-900.

- [6] 王立晖, 袁永俊, 李娅奇. 生物活性多肽制备与纯化的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(14): 8021-8023.
- [7] 张岩, 吴燕燕, 李来好, 等. 酶法制备海洋活性肽及其功能活性研究进展 [J]. 生物技术通报, 2012, (3): 42-48.
- [8] 刘海军, 乐超银, 邵伟, 等. 生物活性肽研究进展 [J]. 中国酿造, 2010, (5): 5-8.
- [9] 钟超. 菲牛蛭抗凝血肽的酶法制备及其活性研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [10] 郭凯, 张晨, 赵文, 等. 低浓度悬浮颗粒物对缙蛭清滤率和吸收效率的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(4): 370-372.
- [11] 孙秋颖, 张付云, 李伟, 等. 缙蛭的营养及活性成分研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2011, 32(12): 201-204.
- [12] 曹玉坡, 霍贵成, 李积华, 等. 微流化制备中性蛋白酶脂质体及其物理稳定性研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(19): 134-137.
- [13] 鲁伟, 任国谱, 宋俊梅. 蛋白水解液中多肽含量的测定方法 [J]. 食品科学, 2005, 26(7): 169-171.
- [14] Isabele Serimarco Sabadin, Mariana Battaglin Villas-Boas, Ricardo de Lima Zollner, et al. Effect of combined treatment of hydrolysis and polymerization with transglutaminase on  $\beta$ -lactoglobulin antigenicity [J]. European Food Research and Technology, 2012, 235(5): 801-809.