

# 蛋清肽的抗氧化稳定性与功能特性

牛慧慧<sup>1</sup>, 马美湖<sup>1,\*</sup>, 杨 昆<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学 国家蛋品加工技术研究分中心, 湖北 武汉 430070;

2. 华中农业大学 农业微生物学国家重点实验室, 湖北 武汉 430070)

**摘 要:** 选用胃蛋白酶水解冻干蛋清制得蛋清肽, 测定蛋清肽的抗氧化稳定性及功能特性。研究温度和 pH 值对蛋清肽抗氧化稳定性的影响以及蛋清肽的乳化性、吸水能力和吸油能力。结果表明: 随着蛋清肽质量浓度的增加其清除羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )、超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^{\cdot-}$ )及 DPPH 自由基的能力均随之增加; 温度与 pH 值对蛋清肽的抗氧化活性影响较大, 在 pH12.0 条件下存放 4h 后其抗氧化活性消失; 蛋清肽具有较好的乳化能力、乳化稳定性、吸油和吸水能力, 这些均有利于其在食品和化妆品行业中的应用。

**关键词:** 蛋清肽; 抗氧化; 稳定性; 功能特性

## Antioxidant Stability and Functional Properties of Egg White Peptides

NIU Hui-hui<sup>1</sup>, MA Mei-hu<sup>1,\*</sup>, YANG Kun<sup>2</sup>

(1. National R&D Center for Egg Processing, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. State Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The antioxidant stability and functional properties (emulsifying capacity, water absorbing capacity and oil absorbing capacity) of egg white peptides (EWP) obtained from lyophilized egg white by pepsin hydrolysis were measured with respect to temperature and pH. The results showed that the scavenging capacities of EWP against hydroxyl, superoxide anion and DPPH free radicals were all increased with increasing EWP concentration. Meanwhile, temperature and pH had a great impact on the antioxidant activity of EWP. The storage of EWP at pH 12.0 for 4 h could result in the loss of antioxidant activity. Moreover, EWP also revealed excellent emulsifying properties, water absorbing capacity and oil absorbing capacity. All of these investigations are benefit for its application in the food and cosmetic industries.

**Key words:** egg white peptide; antioxidation; stability; functional property

中图分类号: TS253.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)15-0139-05

蛋清占鸡蛋总质量的 60% 以上, 主要成分为水分、蛋白质, 其他成分含量很少。鸡蛋清是公认的必需氨基酸最为平衡, 营养价值最高的动物性蛋白源之一, 是人类获得营养素的重要来源。但是蛋清内含有的蛋白酶抑制因子、维生素结合蛋白及过敏性蛋白不但具有显著的抗营养作用并且还会引起食物过敏从而限制了其在一些特殊人群中的应用, 如婴儿营养中的应用<sup>[1-2]</sup>。我国蛋品资源丰富, 蛋清的利用有待于进一步开发<sup>[3]</sup>。

鸡蛋清在适宜蛋白酶的作用下, 可以在一定程度上提高其功能性如溶解度、乳化性、起泡性、吸油性、吸水能力, 持水能力等<sup>[4-5]</sup>。经过酶解后, 蛋清过敏原

蛋白质抗原性降低甚至消失<sup>[5-6]</sup>, 这不仅有利于蛋清在婴儿食品中的应用而且其增加的乳化性和溶解度更是提高了其在糕点食品中的使用<sup>[7]</sup>。此外, 由蛋白酶作用蛋清得到的蛋清肽会显著提高蛋清的一些生物功能性如抗凝血活性、抗氧化活性、抗疲劳活性等<sup>[8-10]</sup>。本实验主要研究由胃蛋白酶酶解鸡蛋清制得蛋清肽的抗氧化稳定性和功能特性, 以期为蛋清抗氧化肽的应用提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

蛋清肽 实验室自制。

收稿日期: 2010-12-14

基金项目: 国家现代农业(蛋品)产业技术体系建设专项(nycyt-41-g22)

作者简介: 牛慧慧(1986—), 女, 硕士研究生, 主要从事禽蛋研究。E-mail: niuhuihui1986@126.com

\* 通信作者: 马美湖(1957—), 男, 教授, 博士, 主要从事动物性食品与蛋品科学研究。

E-mail: mameihuhun@yahoo.com.cn

胃蛋白酶 广西南宁庞博生物工程有限公司; 1,1-二苯基-2-苦基苯肼 (DPPH, 分析纯) 美国 Sigma 公司; 邻苯三酚、邻二氮菲、十二烷基磺酸钠(SDS)、三羟甲基氨基甲烷、铁氰化钾等试剂均为分析纯。

## 1.2 仪器与设备

UV 紫外-可见分光光度计 上海美普达仪器有限公司; 离心机 天津市泰斯特仪器有限公司; 雷磁 PHS-3C 酸度计 上海精密科学仪器有限公司; RE-52 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂; FD-18S 冷冻干燥机 北京德天佑科技发展有限公司; 均质机 上海弗鲁克流体机械制造有限公司; HWS-250 恒温恒湿培养箱 宁波海曙赛福实验仪器厂。

## 1.3 蛋清肽制备工艺流程

新鲜鸡蛋→清洗→分离蛋清→冻干蛋清→调底物质质量浓度(0.02g/mL), 调 pH2.0→胃蛋白酶酶解 5h→85℃灭酶 15min→4000r/min 离心 15min, 取上清液→旋转蒸发浓缩→冷冻干燥→蛋清抗氧化肽

## 1.4 指标测定<sup>[11]</sup>

### 1.4.1 蛋清肽 DPPH 自由基清除能力测定

准确称取 10mg DPPH 溶于 100mL 无水乙醇得储备液, 冰箱避光保存。用时稀释 4 倍得  $6.5 \times 10^{-5}$ mol/L DPPH 溶液, 另用蒸馏水将蛋清肽配制成不同质量浓度溶液, 加样反应 10min 后用 1cm 比色皿在波长 517nm 条件下测定吸光度。重复测定 3 次, 结果取平均值。然后按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{DPPH 自由基清除率} \% = (1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}) \times 100 \quad (1)$$

式中:  $A_0$  为 2.5mL  $6.5 \times 10^{-5}$ mol/L DPPH 乙醇溶液 + 0.5mL 无水乙醇;  $A_i$  为 2.5mL  $6.5 \times 10^{-5}$ mol/L DPPH 乙醇溶液 + 0.5mL 样品溶液;  $A_j$  为 2.5mL 无水乙醇 + 0.5mL 样品溶液。

### 1.4.2 蛋清肽羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )清除能力测定

通过 Fenton 反应测定蛋清肽清除  $\cdot\text{OH}$  的能力。取 1mL 5mmol/L 邻二氮菲乙醇溶液于试管中依次加入 2mL pH7.40 的 0.2mol/L 磷酸缓冲溶液和 1mL 样品溶剂, 充分混匀后, 加入 1mL 5mmol/L 硫酸亚铁溶液, 混匀后加入 1mL 双氧水, 于 37℃ 水浴 60min 后, 在波长 536nm 处测其吸光度得到  $A_{\text{损}}$ 。未损伤管以 1mL 蒸馏水代替损伤管中 1mL 0.1% 的双氧水, 样品管以 1mL 样品溶液代替损伤管中的 1mL 样品溶剂, 其他同损伤管, 测得未损伤管的吸光度( $A_{\text{未}}$ )及样品管的吸光度( $A_{\text{样}}$ ), 按式(2)计算  $\cdot\text{OH}$  清除率。

$$\cdot\text{OH 清除率} \% = \frac{A_{\text{样}} - A_{\text{损}}}{A_{\text{未}} - A_{\text{损}}} \times 100 \quad (2)$$

### 1.4.3 蛋清肽超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^{\cdot-}$ )清除能力测定

采用邻苯三酚自氧化法测定蛋清肽的  $\text{O}_2^{\cdot-}$  清除能力。在试管中加入 4.5mL Tris-HCl 缓冲液(50mmol/L, pH8.2), 4.2mL 蒸馏水混匀后在 37℃ 水浴中保温 20min, 取出后立即加入 37℃ 条件下预热过的 3mmol/L 邻苯三酚 0.5mL, 迅速摇匀后倒入比色皿, 在波长 325nm 处每隔 30s 测一次吸光度, 计算线性范围内每分钟内吸光度的增加, 以 10mmol/L HCl 溶液配制空白管作对照, 记录结果。

加入样品后邻苯三酚自氧化速率的测定: 按前步骤在加入邻苯三酚前先加入 0.5mL 样品液, 蒸馏水相应减少, 同样以 10mmol/L HCl 溶液配制空白管作对照, 测定吸光度, 每个样品重复 3 次, 取平均值。清除率按式(3)计算。

$$\text{O}_2^{\cdot-} \text{清除率} \% = \frac{\Delta A_1 / \Delta t - \Delta A_2 / \Delta t}{\Delta A_1 / \Delta t} \times 100 \quad (3)$$

式中:  $\Delta A_1 / \Delta t$  为邻苯三酚自氧化时的反应速率;  $\Delta A_2 / \Delta t$  为加入样品后邻苯三酚自氧化时反应速率。

### 1.4.4 温度对蛋清肽清除 $\cdot\text{OH}$ 能力的影响

取蛋清多肽冻干粉用 pH7.0 的 Tris-HCl 缓冲液配成质量浓度为 10mg/mL 的蛋清肽溶液, 分别于试管中在 60、80、100℃ 的条件下加热, 每隔一定时间取样, 在冰水浴中迅速冷却后测定溶液清除  $\cdot\text{OH}$  的能力。

### 1.4.5 pH 值对蛋清肽清除 $\cdot\text{OH}$ 能力的影响

取一定量的蛋清多肽, 用蒸馏水配成质量浓度为 10mg/mL 的溶液, 用 1mol/L HCl 和 1mol/L NaOH 调整溶液 pH 值分别为 2.0、4.0、6.0、8.0、10.0、12.0, 37℃ 水浴中分别放置 2、4h 取样。取样后立即调样品的 pH 值至 7.0, 定容后测溶液清除  $\cdot\text{OH}$  的能力。

### 1.4.6 蛋清肽溶解度测定

为了测定蛋清抗氧化肽的溶解度, 样品分散于 pH 值范围为 2.0~12.0 的蒸馏水中配制 10mg/mL 的蛋清肽溶液。混合物在室温下搅拌 30min 后  $7500 \times g$  离心 15min, 双缩尿法测定上层清液中蛋白质含量。按照公式(4)计算蛋白质溶解度。

$$\text{溶解度} \% = (A/B) \times 100 \quad (4)$$

式中:  $A$  为上层清液中蛋白质质量/mg;  $B$  为样品总蛋白质质量/mg。

### 1.4.7 蛋清肽乳化性质测定

300mg 蛋清肽分散于 30mL pH 值范围为 2.0~12.0 蒸馏水中, 加入 10mL 的植物油后在 16000r/min 条件下均质 1min。分别在均质后及均质 10min 后用移液管从容器底部吸取 50μL 乳状液, 加入 5mL 0.1% 十二烷基磺酸钠

(SDS), 使用紫外-可见分光光度计在波长 500nm 处测定其吸光度, 其中用 0.1% SDS 溶液作为空白对照。

$$\text{EAI}/(\text{m}^2/\text{g}) = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times n}{\rho \times \varphi \times 10000} \quad (5)$$

$$\text{ESI}/\text{min} = \frac{A_0 \times \Delta t}{A_0 - A_{10}} \quad (6)$$

式中: EAI 为乳化能力; ESI 为乳化稳定性;  $n$  为稀释倍数 100;  $\rho$  为蛋白质质量浓度/(g/mL);  $\varphi$  为油的体积分数(0.25);  $A_0$  为均质结束后样品在波长 500nm 处的吸光度;  $A_{10}$  为均质 10min 后的样品在波长 500nm 处吸光度;  $\Delta t$  为 10min。

#### 1.4.8 蛋清肽吸水能力测定

1.0g 蛋清肽样品分散于烘干至恒质量的培养皿中, 置于温度 30℃, 相对湿度 85% 的恒温恒湿培养箱中, 每 6h 称量培养皿的质量直至质量不再变化。吸水能力由公式(7)计算。

$$\text{吸水能力}/(\text{g 水}/\text{g 样品}) = \frac{m_1 - m_0 - m}{m} \quad (7)$$

式中:  $m_0$  为培养皿的质量/g;  $m_1$  为培养皿与吸水样品的总质量/g;  $m$  为样品最初的质量/g。

#### 1.4.9 蛋清肽吸油能力测定

0.3g 蛋清肽样品加入到离心管中, 然后加入 2mL 精炼植物油后搅拌均匀。室温保存 30min 后在  $1000 \times g$  条件下离心 25min, 记录未被吸收的油体积, 以冻干蛋清作为对照。由公式(8)计算吸油能力。

$$\text{吸油能力}/(\text{mL}/\text{g}) = \frac{V_0 - V_1}{m} \quad (8)$$

式中:  $V_0$  为原始加油体积/mL;  $V_1$  为未被吸收的油体积/mL;  $m$  为样品质量/g。

#### 1.5 统计分析

每个实验重复 3 次, 采用 SPSS 17.0 中方差分析进行数据处理。结果表示为  $\bar{x} \pm s$ ,  $P < 0.05$  为有差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛋清肽清除自由基能力测定结果

用蒸馏水配制成不同质量浓度的蛋清肽溶液进行抗氧化能力测定。由图 1 可知, 不同质量浓度的蛋清肽对 3 种自由基的清除作用都呈现出了一定的量效关系。随着蛋清肽质量浓度的增加其清除自由基的能力也随之增加。蛋清肽质量浓度在 1~20mg/mL 范围内对  $\cdot\text{OH}$  的

清除能力随着质量浓度的增加呈现一定的线性增加趋势, 而对 DPPH 自由基及  $\text{O}_2^{\cdot-}$  的清除能力在低质量浓度范围内上升趋势明显, 在高质量浓度范围增强趋势减慢。质量浓度为 10mg/mL 的蛋清肽清除  $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、DPPH 自由基的能力分别为 35.99%、69.43%、95.24%。相同质量浓度的蛋清肽清除 DPPH 自由基的能力最强, 而清除  $\cdot\text{OH}$  的能力相对弱。这说明蛋清肽可以作为一种较好的抗氧化剂用于抑制 DPPH 自由基及  $\text{O}_2^{\cdot-}$  的产生。

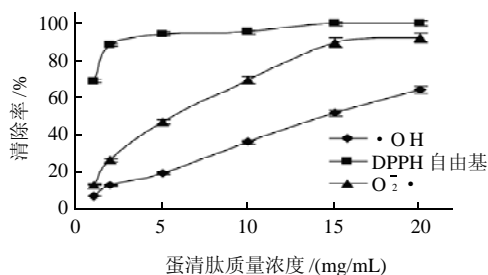


图 1 不同质量浓度蛋清肽清除自由基的能力  
Fig.1 Concentration dependent scavenging rates of EWP against hydroxyl, DPPH and superoxide anion free radicals

### 2.2 温度对蛋清肽抗氧化稳定性影响

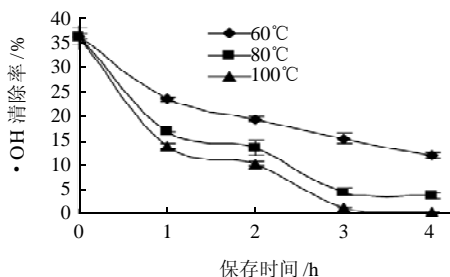


图 2 温度对蛋清肽清除  $\cdot\text{OH}$  能力的影响  
Fig.2 Effect of temperature on hydroxyl free radical scavenging capacity of EWP

刘长江等<sup>[12]</sup>的研究表明麦麸多肽在高温下其抗氧化清除率会显著下降。由图 2 可知, 温度对蛋清肽的抗氧化活性也有着极大的影响, 高温不利于蛋清肽抗氧化活性的保持。在 3 个温度下蛋清肽清除  $\cdot\text{OH}$  的能力随着保存时间的延长都表现出了下降趋势, 且温度越高其清除能力下降越快。特别是在 100℃ 保存了 4h 后蛋清肽失去了对  $\cdot\text{OH}$  的清除能力。这说明蛋清抗氧化肽不适用于在高温条件下使用。在 60℃ 保存 1h 后蛋清肽清除  $\cdot\text{OH}$  的能力下降幅度相对较低, 降低了 35% 左右。这说明蛋清抗氧化肽适于在低温条件下抑制  $\cdot\text{OH}$  的产生及低温长时间的杀菌, 如巴氏杀菌。

### 2.3 pH 值对蛋清肽抗氧化稳定性影响

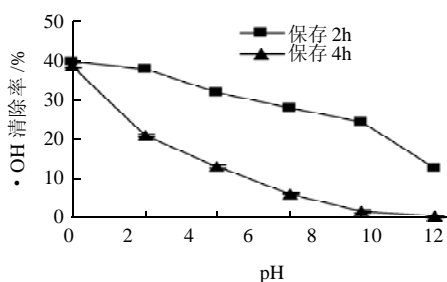


图3 pH 值对蛋清肽清除·OH的影响

Fig.3 Effect of pH on hydroxyl free radical scavenging capacity of EWP

由图3可知,蛋清肽在不同pH值条件下分别保存了2h和4h后其清除·OH的能力较初始清除能力呈现了下降趋势,且在碱性条件下下降趋势大于在中性条件下,而在酸性条件下蛋清肽对·OH的清除能力下降最弱。在pH6.0保存了2h及4h后的·OH清除率较开始时分别下降了20.08%、54.46%。而在pH12.0条件下保存4h后失去了清除·OH能力。这说明蛋清肽在酸性及中性条件下清除·OH的能力相对稳定。

### 2.4 蛋清肽溶解度测定结果

表2 蛋清肽溶解性与乳化性

Table 2 Effect of pH on solubility and emulsifying properties of EWP

pH	溶解度/%	乳化能力/(m <sup>2</sup> /g)	乳化稳定性/(10min)
2	86.66 ± 1.12 <sup>a</sup>	96.26 ± 0.44 <sup>a</sup>	33.54 ± 0.74 <sup>a</sup>
4	70.96 ± 1.75 <sup>b</sup>	110.96 ± 0.26 <sup>b</sup>	31.22 ± 0.52 <sup>a</sup>
6	68.12 ± 1.98 <sup>b</sup>	116.36 ± 1.52 <sup>c</sup>	49.54 ± 0.61 <sup>b</sup>
8	61.38 ± 3.04 <sup>c</sup>	116.50 ± 1.07 <sup>c</sup>	65.70 ± 0.64 <sup>c</sup>
10	64.72 ± 1.10 <sup>d</sup>	100.36 ± 2.06 <sup>d</sup>	88.76 ± 0.44 <sup>d</sup>
12	58.43 ± 1.00 <sup>e</sup>	144.25 ± 2.82 <sup>e</sup>	236.60 ± 1.41 <sup>e</sup>

注:同列肩标字母不同,表示差异显著( $P < 0.05$ )。

由表2可见,蛋清肽在酸性条件下的溶解度最大,随着溶液pH值的增大溶解度逐渐下降。这可能与蛋清多肽的氨基酸组成及其混合物的等电点相关。蛋清肽是一种由多肽、小肽及氨基酸组成的混合物,其没有确定的等电点,在不同的pH值条件下,含有的各种多肽和小肽会带有不同含量的羧基及氨基,可能是其共同的作用使得蛋清肽在酸性条件下溶解度较高。

### 2.5 蛋清肽乳化性测定结果

由图4可知,蛋清肽的乳化能力及乳化稳定性随着蛋清肽质量浓度的增加呈现先增高再降低的趋势。对于相同含量的油脂,质量浓度为2mg/mL的蛋清肽乳化能力最强为115.52m<sup>2</sup>/g,室温放置10min后的乳化稳定性为51.73min。在之后随着蛋清肽质量浓度的增加乳化能

力和乳化稳定性均下降,这可能是低质量浓度下表面张力随着蛋清肽质量浓度的增加而迅速减少,当质量浓度超过2mg/mL后蛋清多肽之间彼此形成了称为胶束的聚集体,形成稳定的胶束后其乳化能力和乳化活性不再提高。

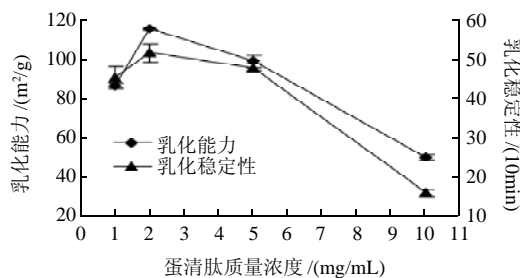


图4 不同质量浓度蛋清肽乳化能力与乳化稳定性

Fig.4 Emulsifying capacity and emulsion stability of EWP at various concentrations

pH值对2mg/mL蛋清肽乳化能力的影响如表2所示,在不同的pH值条件下蛋清肽的乳化能力均较高(大于96m<sup>2</sup>/g)。并且其乳化能力和乳化稳定性均随着pH值的增加呈现上升趋势,蛋清肽在不同pH值条件下乳化性质差异性显著( $P < 0.05$ )。在pH12.0时乳化能力和乳化稳定性都达到最高分别为144.25m<sup>2</sup>/g、236.60(10min)。这说明蛋清肽作为乳化剂适于在不同pH值范围内使用,特别适于中性和碱性条件下的使用。

### 2.6 蛋清肽吸水能力测定结果

表3 蛋清抗氧化肽吸水、吸油能力

Table 3 Comparisons of water absorbing capacity and oil absorbing capacity of EWP and lyophilized egg white

样品	吸水能力/(g/g)	吸油能力/(mL/g)
蛋清肽	0.31 ± 0.026 <sup>*</sup>	3.42 ± 0.055 <sup>*</sup>
冻干蛋清	0.03 ± 0.002	2.32 ± 0.06

注:\*.与冻干蛋清样品比较,有显著性差异( $P < 0.05$ )。

吸水能力是蛋白质及其产品的一个重要功能性质,它一般表示为每克蛋白质能够吸收的水的质量。由表3可知,蛋清肽较冻干蛋清表现出了极强的吸水能力,达到了0.31g/g,两者吸收水的能力差异性显著( $P < 0.05$ ),这可能是由于蛋清经过酶解后会暴露出亲水基团,从而增加了其吸水性<sup>[13]</sup>。

### 2.7 蛋清肽吸油能力

吸油能力是肉品行业及一些糕点行业的重要功能性质<sup>[14]</sup>。蛋白质的吸油能力受各种因素的影响,如蛋白质类型、温度以及所使用的油等,它表示为每克蛋白质吸收的油的体积。由表3可知,冻干的蛋清和蛋清肽均有很强的吸油能力分别为2.32mL/g和3.42mL/g,并且蛋清肽的吸油能力显著大于冻干蛋清( $P < 0.05$ )。

### 3 结 论

胃蛋白酶酶解鸡蛋清制得的蛋清肽具有较强的自由基清除能力,且随着蛋清肽质量浓度的增加其清除 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2\cdot^-$ 、DPPH自由基的能力随之增加。温度和pH值对蛋清肽清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力影响显著,在酸性及中性条件下蛋清肽清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力相对稳定,过高的温度及pH值均会降低其抗氧化能力。蛋清肽表现出了较好的功能性质,它较好的乳化性质、溶解度、吸水、吸油能力都有利于其在食品和化妆品行业的应用。

### 参考文献:

- [1] BERNHISEL-BROADBENT J, DINTZIS H M, DINTZIS R Z, et al. Allergenicity and antigenicity of chicken egg ovomucoid (Gal d III) compared with ovalbumin (Gal d I) in children with egg allergy and in mice[J]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 1994, 93(6): 1047-1059.
- [2] AWADE A C. On hen egg fractionation: applications of liquid chromatography to the isolation and the purification of hen egg white and egg yolk proteins[J]. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1996, 202: 1-14.
- [3] 迟玉杰. 鸡蛋深加工系列产品综合开发技术概况[J]. *中国家禽*, 2004, 26(23): 6-9.
- [4] 姜云庆. 鸡蛋清蛋白酶水解物的制备及其功能性质的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2001.
- [5] LIU Chun, WANG Xiansheng, MA Hao, et al. Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions[J]. *Food Chemistry*, 2008, 111: 29-37.
- [6] MATSUDA T, GU J, TSURUTA K, et al. Immunoreactive glycopeptides separated from peptic hydrolysate of chicken egg white ovomucoid [J]. *Food Sci*, 1985, 50: 592-594.
- [7] 张根生, 喻朝阳, 周云. 鸡蛋蛋白的水解多肽饮料的研究[J]. *食品科技*, 2002(2): 43-45.
- [8] 田刚. 酶解鸡蛋清小(寡)肽混合物对小鼠免疫功能的影响及其机理研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.
- [9] 杨万根. 蛋清蛋白水解物的制备、结构及其生物活性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [10] MIGUEL M, MANSO M, ALEIXANDRE A, et al. Vascular effects, angiotensin I-converting enzyme (ACE)-inhibitory activity, and antihypertensive properties of peptides derived from egg white[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55: 10615-10621.
- [11] HEO S J, PARK E J, LEE K W, et al. Antioxidant activities of enzymatic extracts from brown seaweeds[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96: 1613-1623.
- [12] 刘长江, 王雪, 曹祥宇, 等. 麦麸多肽稳定性的研究[J]. *食品科技*, 2009, 34(5): 164-167.
- [13] LI Fan, JIA Dongying, YAO Kai. Amino acid composition and functional properties of collagen polypeptide from Yak (*Bos grunniens*) bone [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42: 945-949.
- [14] SOUISSI N, BOUGATEF A, TRIKI-ELLOUZ Y, et al. Biochemical and functional properties of Sardinella (*Sardinella aurita*) by-product hydrolysates[J]. *Food Technology and Biotechnology*, 2007, 45(2): 187-194.