

Study on Preparation of Antioxidant Peptides from Corn Germ Meal Gliadin by Biological Enzymolysis

Yali Yu, Lijun Wang, Xuemei Song, Jingbo Liu

Department of Food Science and Technology, Jilin University, JLU, Changchun Jilin
Email: yuyal@jlu.edu.cn, 962497974@qq.com, songxm15@jlu.edu.cn, ljb168@sohu.com

Received: Feb. 5th, 2017; accepted: Feb. 20th, 2017; published: Feb. 24th, 2017

Abstract

Corn germ meal is the by-products of the corn germ. Corn germ meal is an excellent protein resource that contains about 18% to 20% of crude protein. The protein types are alkaline-soluble protein, gliadin, albumin and globulin. In this paper, alcohol soluble protein from corn germ meal was used as raw material, we took the degree of hydrolysis (DH) of alcohol soluble protein and the free radical scavenging rate of DPPH as the index, designed the single factor test and response surface methodology, studied the controlled enzymatic hydrolysis technology of alcohol soluble protein antioxidant peptides from corn germ meal. Results indicated that: Using alkaline protease to act on the alcohol soluble protein from corn germ meal, and under the condition of pH 8, hydrolysis temperature of 40°C, and enzymolysis time 105 min, hydrolysis degree (DH) of corn germ meal gliadin is up to 21.56%, enzymatic hydrolysate's DPPH radical scavenging rate of corresponding hydrolysates was 37.55%.

Keywords

Corn Germ Meal, Gliadin, Antioxidant Peptide

生物酶解法制备玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽的工艺研究

于亚莉, 王立军, 宋雪梅, 刘静波

吉林大学食品科学与工程学院, 吉林 长春
Email: yuyal@jlu.edu.cn, 962497974@qq.com, songxm15@jlu.edu.cn, ljb168@sohu.com

收稿日期: 2017年2月5日; 录用日期: 2017年2月20日; 发布日期: 2017年2月24日

摘要

玉米胚芽粕是以玉米胚芽为原料,经压榨或浸提取油后的副产品。玉米胚芽粕中含粗蛋白质18%~20%,是一种优良的蛋白质资源。蛋白质种类为碱溶蛋白、醇溶蛋白、清蛋白和球蛋白。本文以玉米胚芽粕醇溶蛋白为原料,以水解度(DH)和酶解物DPPH自由基清除率为考量指标,设计单因素和响应面研究模型,对玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽可控酶解技术进行了研究。研究表明:采用碱性蛋白酶作用于玉米胚芽醇溶蛋白,在pH为8,酶解温度40℃,酶解时间105 min条件下,玉米胚芽醇溶蛋白水解度(DH)高达21.56%,酶解产物相应的DPPH自由基清除率为 37.55%。

关键词

玉米胚芽粕, 醇溶蛋白, 抗氧化肽

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生物活性肽就是对生物机体的生命活动有益或是具有生理作用的介于蛋白质和氨基酸之间的分子聚合物,小至由2个氨基酸组成,大至由数百个氨基酸通过肽键连接而成的一类分子量小于6000 u、具有多种生物学功能的多肽[1][2]。生物活性肽作为一种蛋白资源的利用方式,不仅具有易消化吸收的营养特点,而且具有抗氧化、抗菌、抗癌、降血压和提高人体免疫力等生理功能,开发和研究植物源生物活性肽是当前国际食品界最热门的研究课题之一[3][4][5][6]。

中国是世界第二大玉米生产国,产量仅次于美国[7]。玉米生产加工中会产生大量的玉米胚芽。玉米胚芽,即玉米籽粒的芽部,玉米从这里开始生长。虽然玉米胚芽只占籽粒的总质量的12%左右,然而营养价值却很高,集中了玉米籽粒中20%左右的蛋白质、84%的脂肪和83%的矿物质[8]。目前玉米胚芽一般主要是被当做一种油料资源用于制取玉米胚芽油,剩余组分大多数仍在玉米胚芽粕中[9]。玉米胚芽粕是以玉米胚芽为原料,经压榨或浸提取油后的副产品。资料表明,玉米胚芽粕中含粗蛋白质18%~20%,玉米胚芽粕中蛋白质氨基酸组成较为均衡,并且必需氨基酸含量较高,生物效价(PER)与大豆酪蛋白相当,高于大米和精制面粉;其氨基酸评分(AAS)高于其他谷物,氨基酸组成和鸡蛋白相似,与FAO/WHO推荐的人类蛋白质标准非常接近,是一种优良的蛋白质资源[9]。而国内大多数玉米加工厂都把玉米胚芽粕单纯地作为一种极其廉价的饲料利用,有些甚至直接当作废料处理,这对企业自身来讲,是种极大的浪费。因此,充分利用玉米胚芽蛋白质资源,开展玉米胚芽蛋白活性肽制备关键技术研究及产业化开发,推广玉米胚芽蛋白精深加工产品玉米胚芽蛋白活性肽在食品领域的利用和开发,对于改善我国目前玉米加工产业出现“大原料”、“小加工”的失衡结构,提高玉米及其营养成分的实际利用率,推进玉米胚芽蛋白活性肽功能食品的科研开发、加速培育并快速扩张玉米胚芽蛋白活性肽食品的大众化消费高端产品市场,提高玉米胚芽附加值,实现玉米生产大省吉林省的农民增收、企业增效和县域经济发展,具有重大的现实意义。

玉米胚芽粕中的蛋白质种类主要为碱溶蛋白、醇溶蛋白、清蛋白和球蛋白[10][11][12]。本研究将以玉米胚芽粕醇溶蛋白为研究对象,以水解度(DH)和酶解物DPPH自由基清除率为考量指标,设计单因素和响应面研究模型,对可控酶解工艺进行优化,并考察玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物的抗氧化活性。

2. 材料与方法

2.1. 材料与试剂

脱脂玉米胚芽粕由吉林北大荒玉米产业有限公司提供, 经测定蛋白含量为 17.0%; 玉米胚芽粕醇溶蛋白(吉林大学营养与功能食品实验室制得); 酸性蛋白酶、中性蛋白酶、Alcalase 碱性蛋白酶、DPPH 美国 Sigma 公司; 其他试剂均为分析纯。

2.2. 仪器与设备

HH-S 型数显恒温水浴锅, 常州市国立实验设备研究所; UV-2550 型紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; SynergyHT 酶标仪, 美国伯腾公司; 1-15K 台式离心机, Sigma 公司; R1002 10L 旋转蒸发器, 巩义市英峪高科仪器厂; ZG-12 真空冷冻干燥机, 杭州创意真空冷冻干燥设备厂; PHBJ-260 pH 计, 上海雷磁仪器厂; JJ-1 精密定时电动搅拌器, 金坛市荣华仪器制造有限公司。

2.3. 实验方法

2.3.1. 玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽的工艺流程

制备玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽的工艺流程如下所示。

玉米胚芽粕醇溶蛋白粉 → 溶解 → 灭活处理(100℃, 10 min) → 冷却 → 调节 pH 和温度 → 分别加酶酶解 → 灭酶活(100℃, 5 min) → 旋转离心(10,000 r/min, 10 min) → 取上清液 → 冷冻干燥 → 玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽

2.3.2. 玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽蛋白酶的筛选

(1) 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度的测定

本实验采用 pH-stat 法^[13]测定反应中的水解度。

$$DH(\%) = (V \times Nb) / (\alpha \times MP \times h) \times 100\% \quad (1)$$

式中: V 是反应过程中记录的消耗的 NaOH 的体积(mL); Nb 是滴定时所用的 NaOH 浓度(mol/L); α 为氨基对应的解离度; MP 是试验中参与水解的玉米蛋白的总量(g); h 是每克玉米蛋白中肽键的克当量数(此处取 9 mmol/g)。

(2) 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除能力的测定

取 1.5 mL 的蒸馏水加入到 1.5 mL 的 DPPH 溶液(0.1 mmol/L)中, 迅速混匀, 在室温下避光静置 30 min 后, 在波长 517 nm 处测定吸光度值, 记录为 Ablank。取 1.5 mL 玉米黄粉蛋白水解液加入到 1.5 mL 的 DPPH 溶液(0.1 mmol/L)中在室温下避光静置 30 min 后, 在波长 517 nm 处测定吸光值, 记录为 AX^[13]。

$$DPPH\text{清除率} = [1 - (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) / A_{\text{control}}] \times 100 \quad (2)$$

式中: A_{sample} ——样品组吸光值; A_{blank} ——空白组吸光值; A_{control} ——对照组吸光值。

(3) 蛋白酶的筛选

选择酸性蛋白酶、中性蛋白酶和 Alcalase 碱性蛋白酶, 在这三种酶的最适 pH 和温度的条件下(见表 1)对玉米胚芽粕清蛋白进行水解, 在加酶量为 3000 U/g 的条件下酶解 1 h, 酶解完成之后放置在 100℃ 的恒温水浴锅中加热 10 min, 使蛋白酶全部失活, 酶解液冷却至室温后在 10,000 r/min 的离心机离心 8~10 min, 取上清液进行清除 DPPH 自由基能力的测定。

2.3.3. 酶解温度对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响

在加酶量为 3000 U/g, pH 为 8, 酶解温度分别 30℃, 35℃, 40℃, 45℃, 50℃时, 酶解 1 h 条件下,

考察酶解温度对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响。

2.3.4. pH 值对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响

在加酶量为 3000 U/g, pH 分别为 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 酶解温度 35℃, 酶解 1 h 条件下, 考察 pH 值对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响。

2.3.5. 酶解时间对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响

在加酶量为 3000 U/g, pH 为 9.0, 酶解温度 35℃, 酶解时间分别 30 min, 60 min, 90min, 120 min, 150 min 条件下, 考察酶解时间对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响。

2.3.6. 玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽响应面试验设计

根据 Box-Behnken 设计原理, 在单因素试验的基础之上, 以温度、酶解 pH、酶解时间为影响因素, 以 DPPH 自由基清除率为响应值, 进行 3 因素 3 水平试验设计。因素水平编码表见表 2。

3. 结果与讨论

3.1. 不同蛋白酶对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响研究

不同蛋白酶对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响结果如表 3 所示。

从表中可以看出, 在加酶量为 3000 U/g 的条件下酶解 1 h, 3 种蛋白酶的酶解产物均有一定的抗氧化活性, 以碱性蛋白酶作用效果最佳。在碱性蛋白酶作用下, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度为 18.48%, 获得的玉米胚芽粕清蛋白水解物对 DPPH 清除率达到 29.71%。因此确定碱性蛋白酶为酶解玉米胚芽粕醇溶蛋白制备抗氧化肽的最佳蛋白酶。

3.2. 酶解温度对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响研究

不同酶解温度对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响结果如图 1 所示。从图 1 可以看出, 温度在 30℃~50℃ 范围内, DPPH 自由基清除率和水解度均呈先上升后下降的趋势, 随着温度逐渐升高, 酶活增强, 促进底物水解。当温度为 35℃ 时, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度和 DPPH 清除率均达到最高, 分别为 24.46% 和 34.48%。随着温度的升高, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率均呈下降趋势。其原因可能是由于温度升高, 酶部分变性, 酶活降低导致酶水解玉米胚芽粕醇溶蛋白能力下降, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度降低; 而随着温度的升高, 可能使部分玉米胚芽粕醇溶蛋白肽变性, 导致玉米胚芽粕醇溶蛋白肽 DPPH 自由基清除率下降。

Table 1. The optimal conditions of enzymatic hydrolysis

表 1. 酶水解的最适条件

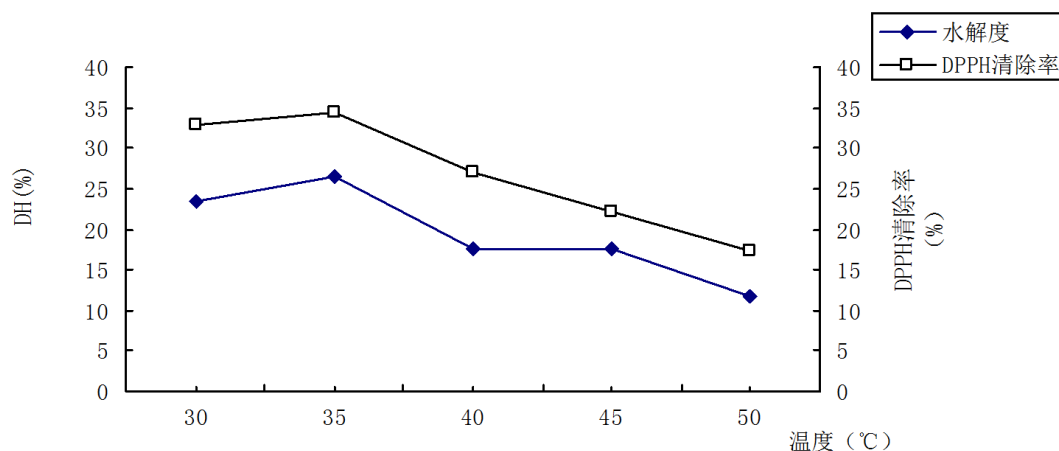
	pH	温度/ °C	酶活	加酶量
胰蛋白酶	3.5	45	18777.715 U/g	11.64 mg
中性蛋白酶	7	50	36491.105 U/g	5.67 mg
碱性蛋白酶	9	55	118830 U/mL	1.74 μL

Table 2. The scheme of factors level code**表 2.** 因素水平编码表

因素	编码	水平编号		
		-1	0	1
pH	X ₁	6	8	10
酶解温度/°C	X ₂	30	40	50
酶解时间	X ₃	60	105	150

Table 3. Effects of different proteases on the DH of corn germ meal gliadin and its free radical scavenging rate of DPPH**表 3.** 不同蛋白酶对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响

	碱性蛋白酶	中性蛋白酶	胰蛋白酶
DH/%	18.48	17.12	9.35
DPPH 清除率/%	29.71	23.06	12.53

**Figure 1.** Effects of temperature on the DH of corn germ meal gliadin and its free radical scavenging rate of DPPH**图 1.** 酶解温度对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响

3.3. pH 对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响研究

不同酶解温度对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响结果如图 2 所示。从图 2 可以看出, pH 在 6~10 范围内, 随着 pH 值的升高, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度逐渐增大, 当 pH 值达到 9 时, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度达到最大值 23.52%, 再升高 pH 值, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度反而下降, 因此, 在 pH 值为 8 时, 酶水解玉米胚芽粕醇溶蛋白肽键作用最强。同时, 随着 pH 值的升高, 玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率先下降, 其原因可能为随着 pH 值的升高, 玉米胚芽粕醇溶蛋白肽的氨基、羧基的解离程度反而下降, 导致 DPPH 自由基清除率下降; 当 pH 值达到 9 时, 此时玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度达到最大, 溶液中暴露在外的氨基、羧基数量增加, 同时在此 pH 值条件下, 暴露在外的氨基、羧基也容易解离释放出 H⁺ [14] [15] [16], 从而使玉米胚芽粕醇溶蛋白水解

物 DPPH 自由基清除率在 pH 值为 9 时达到 36.36%；再升高 pH 值，玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率下降，其原因可能是：(1) 由于玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度下降，溶液中暴露在外的氨基、羧基数量减少；(2) 在 pH 10 条件下，玉米胚芽粕醇溶蛋白肽的氨基、羧基的解离程度下降。

3.4. 酶解时间对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响研究

不同酶解时间对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响结果如图 3 所示。从图 3 可以看出，随着时间的延长，玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率均有所增加，当酶解时间达到 90 min 时，玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度达到 24.18%，玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率达到 37.19%。时间再延长，玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率增加不明显，从生产效益角度考虑，酶解时间选择 90 min。

3.5. 响应面试验结果分析

3.5.1. 响应面优化玉米胚芽醇溶蛋白抗氧化肽制备工艺研究

由单因素实验结果可知，水解度与玉米胚芽粕醇溶蛋白肽 DPPH 自由基清除活性并不呈现正相关性，同时由于本实验的目的是为了获得具有高 DPPH 自由基清除活性的玉米胚芽粕醇溶蛋白肽。因此，依据单因素实验结果，采用 Box-Behnken 中心组合设计原理，以 DPPH 自由基清除率为响应值，选取 pH 值(X_1)、酶解温度(X_2)和酶解时间(X_3)三个因素，通过建立响应面模型，对响应面模型结果进行方差分析，优化玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽的制备工艺。实验结果如表 4 所示。

3.5.2. 模型建立及显著性分析

利用 Design-Expert 实验设计软件，对以上 17 组结果进行相应的分析。应用 Box-Behnken 对试验结果进行方差分析见表 5 及模拟多远响应回归模型，得出的方程为：

$$Y(\%) = 40 + 6.13X_2 + 0.63X_3 - 1.5X_1 + 0.25X_2X_3 - X_1X_3 - 10.88X_2^2 - 5.38X_3^2 - 8.13X_1^2$$

$$R^2 = 0.9535$$

由表 5 可知， $P > F$ 值小于 0.001，表明模型是显著的，说明该实验所采用的二次模型是非常显著的，在统计学上来说是有意义的。模型的绝对系数为 $R^2 = 0.9535$ ，这表明该模型能解释 95.35% 的响应值变化。因此此模型拟合程度较好，实验误差较小，与实际情况吻合，可以用该模型对玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧

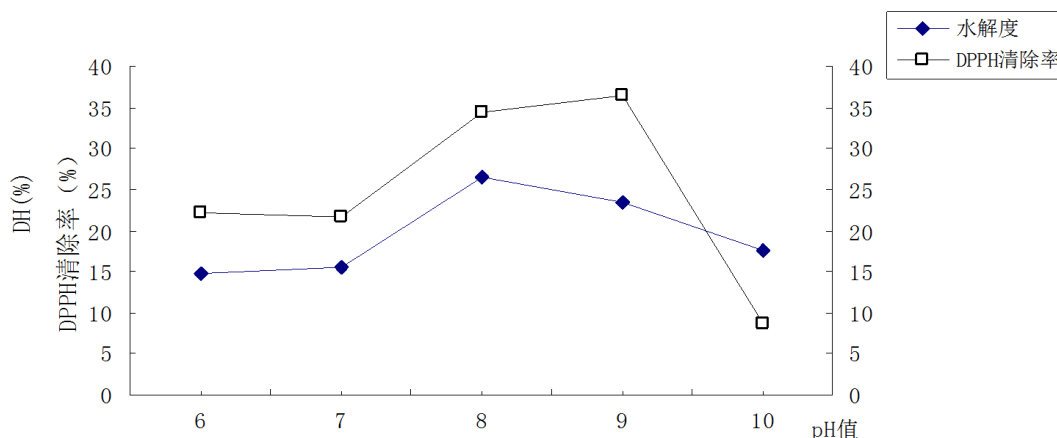


Figure 2. Effects of pH on the DH of corn germ meal gliadin and its free radical scavenging rate of DPPH
图 2. pH 对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响

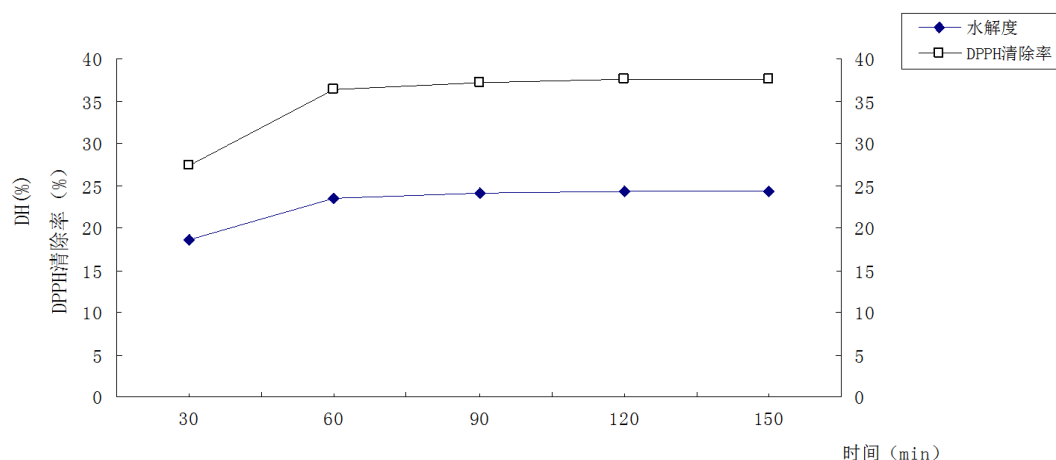


Figure 3. Effects of time on the DH of corn germ meal gliadin and its free radical scavenging rate of DPPH

图 3. 酶解时间对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解度及玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 自由基清除率的影响

Table 4. Experimental design and result analysis of response surface methodology for optimization of preparation technology of antioxidant peptide from corn germ protein

表 4. 响应面优化玉米胚芽醇溶蛋白抗氧化肽制备工艺试验设计与结果分析

试验号	因素			DPPH 清除率/%
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	-1	0	-1	17
2	0	0	0	40
3	0	-1	1	25
4	0	0	0	40
5	-1	1	0	17
6	0	0	0	40
7	0	0	0	40
8	0	1	1	22
9	0	0	0	40
10	1	1	0	34
11	1	0	1	25
12	1	0	-1	25
13	0	0	0	29
14	0	-1	-1	17
15	-1	-1	0	14
16	1	-1	0	30
17	0	1	-1	30

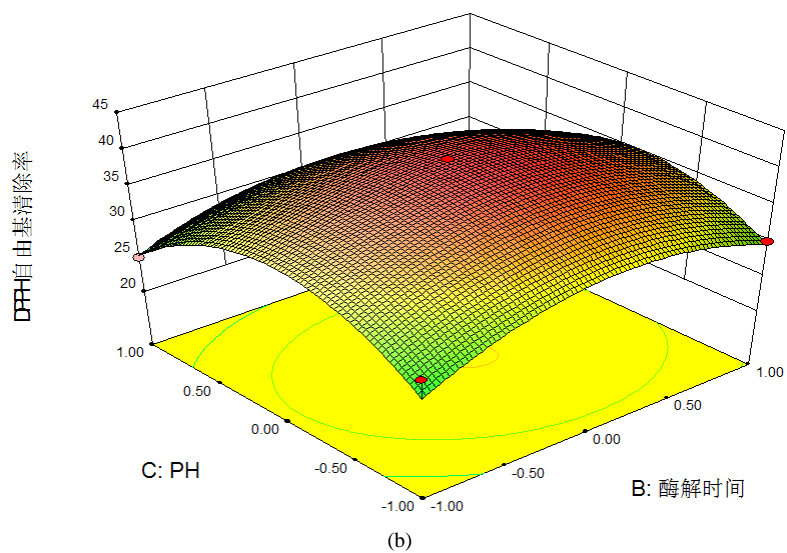
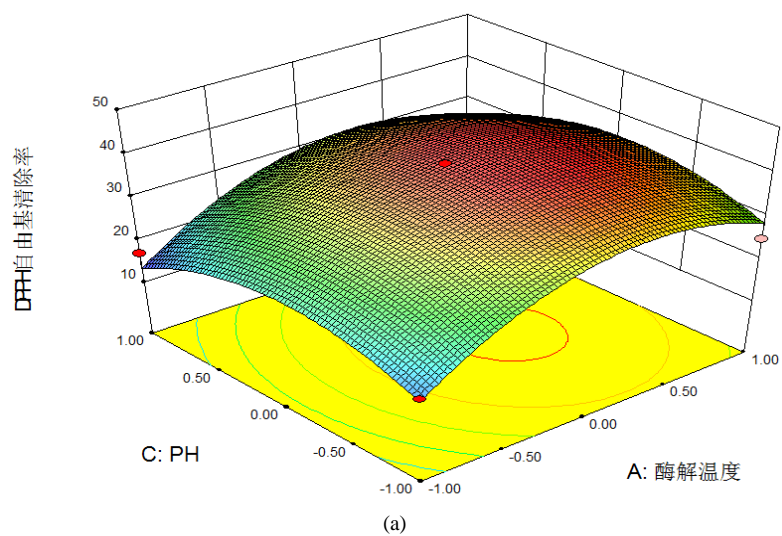
化肽提取效果进行分析和预测。因素 X₂ 酶解温度的 P 值为 0.0007 < 0.0001, 说明因素 X₂ 酶解温度对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 清除率的影响是极为显著的, 而的 X₁ 二次方, X₂ 的二次方, X₃ 的二次方的 P 值均小于 0.05, 说明 X₁、X₂、X₃ 对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 清除率均有显著影响。交互项 X₁X₂、X₁X₃、X₂X₃ 的 P 值也均大于 0.05, 所以交互项对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 清除率影响也不大。

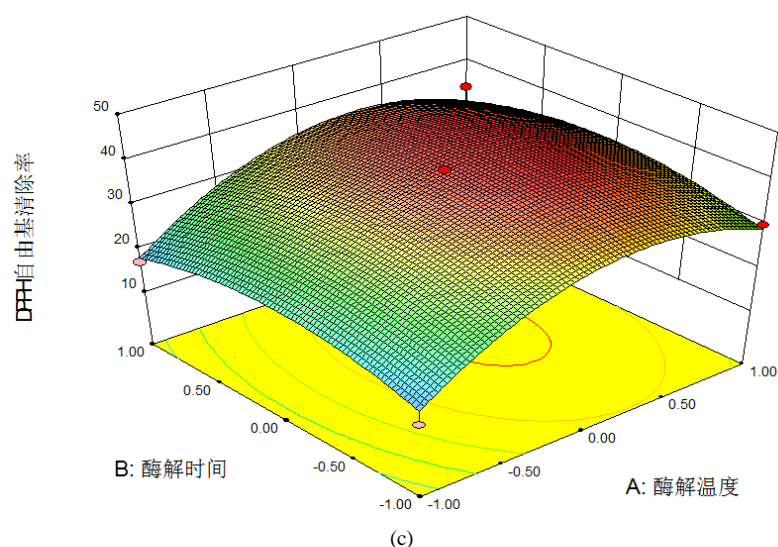
3.5.3. 响应面分析

各因素之间的交互作用如图 4 所示。

Table 5. Variance analysis of regression model
表 5. 回归模型的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P > F	显著性
模型	1317.99	9	146.44	15.9543	0.0007	显著
X ₁	18.00	1	18.00	1.9666.50	0.2041	---
X ₂	300.13	1	300.13	32.70	0.0007	---
X ₃	3.13	1	3.13	0.34	0.5779	---
X ₁ X ₂	0.000	1	0.000	0.000	1.000	---
X ₁ X ₃	4.00	1	4.00	4.00	4.00	---
X ₂ X ₃	0.25	1	0.25	0.027	0.8736	---
X ₁ ²	277.96	1	277.96	30.28	0.0009	---
X ₂ ²	497.96	1	497.96	54.25	0.0002	---
X ₃ ²	121.64	1	121.64	13.25	0.0083	---
残差	64.25	7	9.18	---	---	---
失拟	64.25	3	21.42	---	---	---
纯误差	0.000	4	0.000	---	---	---
总和	1382.24	16	---	---	---	---





说明: (a) pH 值(X_1)与酶解温度(X_2)交互作用的响应面图; (b) 酶解 pH(X_1)与酶解时间(X_2)交互作用的响应面图; (c) 酶解温度(X_2)与酶解时间(X_3)交互作用的响应面图

Figure 4. Effects of interaction of various factors on DPPH scavenging rate of corn germ meal peptide

图 4. 各因素交互作用对玉米胚芽粕醇溶蛋白水解物 DPPH 清除率的影响

Table 6. Verification test

表 6. 验证试验

序列号	1	2	3
DPPH 清除率(%)	36.36%	40.22%	36.09%
水解度 DH (%)	23.52	20.58	20.58

由 Design-Expert 实验设计软件输出结果显示出的三维图像中可以看出, DPPH 清除率的影响因素对应的的影响程度大小依次为 $A > C > B$, 即酶解温度 $>$ 酶解时间 $>$ pH, 最终得出的碱性蛋白酶酶解玉米胚芽醇溶蛋白获得玉米胚芽醇溶蛋白抗氧化肽的最优条件为酶解温度 40°C , pH 8, 酶解时间 105 min。

3.6. 制备玉米胚芽抗氧化肽验证性试验

根据所得出的最优条件, 进行 3 次验证试验, 验证试验结果如表 6 所示。实验结果表明: 在加酶量为 3000 U/g , pH 为 8.0, 酶解温度 40°C , 酶解时间分别 105 min 条件下, 玉米胚芽醇溶蛋白水解度(DH)高达 21.56%, 酶解产物相应的 DPPH 自由基清除率 37.55%。

4. 结论

本文以玉米胚芽粕醇溶蛋白为原料, 以水解度(DH)和酶解物 DPPH 自由基清除率为考量指标, 设计单因素和响应面研究模型, 对玉米胚芽粕醇溶蛋白抗氧化肽可控酶解技术进行了研究。研究结果表明: 采用碱性蛋白酶作用于玉米胚芽醇溶蛋白, 在 pH 为 8, 酶解温度 40°C , 酶解时间 105 min 条件下, 玉米胚芽醇溶蛋白水解度(DH)高达 21.56%, 酶解产物相应的 DPPH 自由基清除率为 37.55%。

基金项目

吉林省科技支撑计划重大科技攻关专项《玉米胚芽蛋白资源综合利用开发系列食品的关键技术研究》

(20140203020NY)。

参考文献 (References)

- [1] 李富伟. 肽的特点, 功能及肽产品的生产方法[J]. 饲料广交, 2002(18): 14-20.
- [2] Moller, N.P., Scholz-Ahrens, K.E., Roos, N., *et al.* (2008) Bioactive Peptides and Proteins from Foods: Indication for Health Effects. *European Journal of Nutrition*, **47**, 171-182. <https://doi.org/10.1007/s00394-008-0710-2>
- [3] Sheih, I.C., Wu, T.K. and Fang, T.J. (2009) Antioxidant Properties of a New Antioxidative Peptide from Algae Protein Waste Hydrolysate in Different Oxidation Systems. *Bioresource Technology*, **100**, 3419-3425. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.014>
- [4] Tang, C.H., Peng, J., Zhen, D.W., *et al.* (2009) Physicochemical and Antioxidant Properties of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Protein Hydrolysates. *Food Chemistry*, **115**, 672-678. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.068>
- [5] Moure, A., Dominguez, H. and Parajo, J.C. (2005) Fractionation and Enzymatic Hydrolysis of Soluble Protein Present in Waste Liquors from Soy Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 7600-7608. <https://doi.org/10.1021/jf0505325>
- [6] De la barca, A.M.C., Ruiz-Salazar, R.A. and Jara-Marini, M.E. (2000) Enzymatic Hydrolysis and Synthesis of Soy Protein to Improve Its Amino Acid Composition and Functional Properties. *Journal of Food Science*, **65**, 246-253. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb15988.x>
- [7] 尤新. 玉米深加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [8] 罗勤贵, 廉小梅, 欧阳韶晖. 玉米胚芽粕在面包制作中的应用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(7): 231-234.
- [9] 郑有为, 王联结, 杨丽. 提取油方式对提取玉米胚芽粕蛋白的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(1): 129-132.
- [10] 王霞, 丁继峰, 张东杰. 玉米胚芽蛋白提取及组成成分分析[J]. 中国粮油学报, 2014, (2): 63-65.
- [11] 张鸣镛, 姚惠源. 玉米胚芽蛋白及其在食品工业中的应用[J]. 食品科技, 2006(5): 124-127.
- [12] 郑冬梅. 玉米蛋白及其水解肽的研究动态[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(11): 55-58.
- [13] Lin, S.Y., Wang, J., Zhao, P., *et al.* (2013) Optimized Antioxidant Peptides Fractions Preparation and Secondary Structure Analysis by MIR. *International Journal of Biological Macromolecules*, **59**, 151-157. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.008>
- [14] Macdonald-Wicks, L.K., Wood, L.G. and Garg, M.L. (2006) Methodology for the Determination of Biological Antioxidant Capacity *in Vitro*: A Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **86**, 2046-2056. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2603>
- [15] Lucarini, M., Pedrielli, P., Pedulli, G.F., *et al.* (1999) Bond Dissociation Energies of the N-H Bond and Rate Constants for the Reaction with Alkyl, Alkoxy, and Peroxyl Radicals of Phenothiazines and Related Compounds. *Journal of the American Chemical Society*, **121**, 11546-11553. <https://doi.org/10.1021/ja992904u>
- [16] 王梅, 谷文英. 酶解玉米黄粉蛋白制备可溶性肽[J]. 粮油食品科技, 1999, 7(1): 1-3.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjas@hanspub.org