

辣木籽酶解产物的蛋白回收率及 DPPH·清除能力的研究

赵翊君¹, 刘华勇¹, 陈森林², 陶红², 赵强忠¹

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(2. 广东中烟工业有限责任公司技术中心, 广东广州 510385)

摘要: 以辣木籽为原料, 采用水酶法制备辣木籽酶解产物; 选用酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力为指标, 通过单因素和响应面优化水酶法酶解辣木籽的工艺条件。首先通过单因素试验筛选辣木籽酶解的最佳用酶和酶解时间, 单因素试验结果发现: Alcalas2.4L 和 Ns37071 两种酶酶解得到的辣木籽酶解产物具有最佳的蛋白回收率和 DPPH·清除能力, 其蛋白回收率分别为 45.65% 和 47.65%, DPPH·清除能力分别为 99.88 和 93.89 $\mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$; 在次基础上进一步采用响应面优化酶解工艺, 得其最佳酶解条件为: 总加酶量为 2.60%, Ns37071 占总加酶量的 46.00%, 酶解 24 h, 此时辣木籽酶解产物的蛋白回收率为 $63.69\pm 2.94\%$, DPPH·清除能力为 $139.38\pm 0.96\ \mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$ 。上述研究表明: 水酶法可以高效酶解辣木籽, 酶解产物具有较高的蛋白回收率和较强的 DPPH·清除能力。

关键词: 辣木籽; 水酶法; 蛋白回收率; DPPH·清除能力

文章编号: 1673-9078(2017)12-77-83

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.12.012

Protein Recovery and DPPH Radical Scavenging Activity of Enzymolyzed Products of *Moringa Oleifera* Seed

ZHAO Yi-jun¹, LIU Hua-yong¹, CHEN Sen-lin², TAO Hong², ZHAO Qiang-zhong¹

(1. School of Food Science and Technology, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Technical Center, China Tobacco Guangdong Industrial Co, Ltd, Guangzhou 510385, China)

Abstract: The enzymolyzed products of *Moringa Oleifera* seed were prepared by aqueous enzymatic extraction. The protein recovery and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity of the enzymolyzed products were selected as indexes to optimize the enzymatic hydrolysis conditions. Single factor experiment showed that the enzymolyzed products obtained by Alcalas 2.4L and Ns 37071 had the highest protein recovery and DPPH radical scavenging activity. The protein recovery were 45.65% and 47.65%, respectively, and the DPPH free radical scavenging activity were 99.88 and 93.89 $\mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$, respectively. Further, the optimal enzymolysis conditions confirmed by response surface methodology were as follows: the total amount of enzyme 2.60%, Ns37071 accounted for 46% of the total amount of enzyme, and enzyme time 24 hours. The protein recovery was $63.69\pm 2.94\%$, and DPPH radical scavenging activity was $139.38\pm 0.96\ \mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$. The study in this paper showed that the aqueous enzymatic extraction could efficiently hydrolyze *Moringa oleifera* seed, and enzymolyzed products had better protein recovery and DPPH radical scavenging activity.

Key words: *Moringa oleifera* seed; aqueous enzymatic extraction; protein recovery; DPPH radical scavenging activity

辣木是一种具有丰富营养成分和独特经济价值的热带植物, 各部位均具有巨大的开发价值: 辣木的嫩梢和鲜果荚营养丰富且味道鲜美, 辣木的根和树皮是传统的医药原料; 辣木种子中含有净水活性很高且

收稿日期: 2017-06-19

基金项目: 嚼烟产品开发关键技术研究(粤烟工 05XM-QK[2013]科字第 009 号)

作者简介: 赵翊君(1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 多肽及风味

通讯作者: 赵强忠(1976-), 男, 教授, 研究方向: 食品乳液及食品风味

含量丰富的蛋白质, 辣木种子油更是一种可与茶油、橄榄油相媲美的高档植物油^[1]。此外, 辣木还含有氨基甲酸酯和酚性成分, 具有抗菌、降血压和降糖尿病等生理活性^[2-4]。辣木叶和辣木籽是辣木中营养成分和经济价值较高的部位^[5], 已有研究发现辣木叶具有较高的水溶性蛋白^[6]、良好的抗氧化活性^[7]。辣木籽中含有 40.12% 的粗脂肪, 37.8% 的蛋白质, 是开发脂肪和蛋白质的优质资源^[8]。段琼芳等^[9]探索了辣木籽油的提取工艺, 但鲜有关于辣木籽中蛋白质或抗氧化活性的

研究。

水酶法工艺是在机械破碎工艺的基础上,采用能降解油料植物细胞壁的酶,或对脂蛋白、脂多糖等复合体有降解作用的酶(包括蛋白酶、纤维素酶、果胶酶和淀粉酶等)作用于油料植物,使脂肪从油料植物细胞中释出,从而分离油料植物中脂肪和其它组分^[10,11]。水酶法作用条件温和,操作简便,提取率高,一般不涉及化学反应;在释放脂肪的同时可以获得高营养价值的酶解产物,且对其他营养物质有较好的保护作用^[12]。因此,水酶法倍受科研工作者的青睐。目前鲜有关于水酶法制备辣木籽酶解产物蛋白回收率或抗氧化活性的报道。本文通过水酶法酶解辣木籽,以辣木籽酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力为指标,采用单因素和响应面法优化辣木籽的酶解工艺,以期对辣木籽的开发利用提供更详实的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

辣木籽:购于广东华谷辣木生物科技有限公司;蛋白酶(Alcalas2.4L、Ns37071、中性蛋白酶、木瓜蛋白酶、复合蛋白酶、胰酶):购于诺维信(中国)生物技术有限公司。其余试剂均为分析纯,均购于富宇化学有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

ThermoSorvall ST16R 高速冷冻离心机:美国 Thermo Fisher 公司;HYP-308 消化炉:上海纤检仪器有限公司;KND-2C 定氮仪:上海纤检仪器有限公司;UV-754 分光光度计:上海精密科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 辣木籽成分测定

- (1) 蛋白质含量:凯氏定氮法(GB 5009.5-2010)
- (2) 脂肪含量:索氏提取法(GB/T 14772-2008)
- (3) 总糖含量:苯酚-硫酸法
- (4) 淀粉含量:碘显色法
- (5) 水分含量:直接干燥法(GB 5009.3-2010)

$$(6) \text{蛋白回收率}(\%) = \frac{\text{酶解液中蛋白质含量}}{\text{原料中蛋白质含量}} \times 100$$

1.2.2 辣木籽酶解工艺

将辣木籽脱壳粉碎后放入高压灭菌锅中,100℃蒸汽处理 20 min;冷却后按 1:6(干辣木籽粉:蒸馏水)料液比加入蒸馏水(扣除蒸汽处理过程中辣木籽粉所吸收的水量),充分混匀后破壁 2 min,得辣木籽

匀浆;随后将辣木籽匀浆 pH 调至 8.0,浸提 60 min 后依次酶解、灭酶,待酶解液冷却至室温后以 10000 r/min 离心 30 min。从上至下,依次得到油层、乳化层、蛋白酶解液和渣。

1.2.2.1 不同蛋白酶对酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力的影响

取辣木籽匀浆 35 g,碱提后冷却至室温,调 pH 至各蛋白酶最适 pH,分别加入 50 μL 的 Alcalas2.4L、Ns37071、胰酶、复合蛋白酶、中性蛋白酶、木瓜蛋白酶,置于水浴摇床中(55℃、180 r/min)酶解 12 h。以蛋白回收率和 DPPH·清除能力为指标,筛选最佳蛋白酶。

1.2.2.2 酶解时间对酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力的影响

取辣木籽匀浆 35 g,碱提后冷却至室温,调 pH 至各蛋白酶最适 pH,分别加入 50 μL 的 Alcalas2.4L、Ns37071,水浴摇床中(55℃、180 r/min)分别酶解 4、8、12、18 和 24 h。考察酶解时间对蛋白回收率和 DPPH·清除能力的影响。

1.2.2.3 响应面试验

取辣木籽匀浆 35 g,碱提后冷却至室温,调 pH 至各蛋白酶最适 pH,分别加入蛋白酶(选取 Alcalas2.4L 和 Ns37071),在水浴摇床(55℃、180 r/min)中进行酶解。利用 Design-Expert 8.0.6 Trial 软件,采用 Box-Behnken 试验设计方法,考察总加酶量(0.5~3%)、Ns37071 占总加酶添加量(0~100%)及酶解时间(12~24 h)对酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力的影响。

1.2.3 DPPH·清除能力测定

1.2.3.1 标准曲线的制作

配制浓度分别为 0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.1 mmol/L 的 Trolox 溶液,浓度为 0.2 mmol/L 的 DPPH 无水乙醇溶液(避光保存)。将 2 mL Trolox 溶液与 2 mL DPPH·标准溶液加入到同一试管中,摇匀,室温下避光静置 30 min,以无水乙醇调零,517 nm 处测得吸光度,记为 A。将 2 mL DPPH 溶液与 2 mL 无水乙醇混合,517 nm 处测得吸光度,记为 A₀。DPPH·清除率计算公式:

$$\text{DPPH·清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A}{A_0}\right) \times 100$$

以 Trolox 浓度为横坐标,DPPH·清除率为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.3.2 酶解产物 DPPH·清除能力测定

将酶解液稀释 4 倍,取 2 mL 稀释后的酶解液与 2 mL DPPH·溶液(0.2 mmol/L)加入到同一试管中,摇

匀, 室温下避光静置 30 min, 以无水乙醇调零, 517 nm 处测得吸光度, 记为 A。计算酶解液的 DPPH·清除率。DPPH 值 ($\mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$) 即: 每 100 g 辣木籽粉经处理后, 与标准品 Trolox 达到相同 DPPH·清除能力时, 所需 Trolox 的量。DPPH 值越大, 样品抗氧化活性越强。

1.2.4 数据处理和分析

采用 Microsoft excel 2013 和 Origin 8.5 进行数据处理, 结果以“均值 \pm 标准偏差”表示, 重复三次。

表 1 辣木籽主要成分

Table 1 The main compositions of *Moringa oleifera* seed (m/m, %)

| 原料 | 蛋白质 | 脂肪 | 总糖 | 淀粉 | 水分 |
|-----|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 辣木籽 | 38.49 \pm 1.43 | 38.04 \pm 0.02 | 16.33 \pm 0.49 | 3.24 \pm 0.37 | 3.46 \pm 0.07 |

表 2 不同蛋白酶酶解辣木籽得到的酶解产物蛋白回收率及 DPPH·清除能力

Table 2 The recovery and DPPH radical scavenging activity of enzymolysis products of *Moringa oleifera* seed by different proteases

| 酶种类 | 蛋白回收率/% | DPPH·清除能力/ $(\mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g})$ |
|--------------|-------------------------------|--|
| Ns37071 | 47.65 \pm 3.26 ^a | 93.89 \pm 2.57 ^b |
| Alcalas 2.4L | 45.65 \pm 2.60 ^a | 99.88 \pm 7.69 ^a |
| 胰酶 | 40.37 \pm 2.63 ^b | 84.72 \pm 2.35 ^d |
| 木瓜蛋白酶 | 34.27 \pm 0.38 ^c | 89.72 \pm 4.40 ^{bc} |
| 中性蛋白酶 | 30.10 \pm 0.13 ^d | 68.63 \pm 3.93 ^e |
| 复合蛋白酶 | 26.12 \pm 0.16 ^e | 57.26 \pm 3.70 ^f |

注: 同一列数字不同字母表示 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

2.2 单因素试验结果

2.2.1 不同蛋白酶对酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力的影响

酶对底物作用具有选择性。不同蛋白酶对酶解产物蛋白回收率和 DPPH·清除能力的影响如表 2 所示, 从表 2 中可以看出: 不同蛋白酶酶解得到的酶解产物蛋白回收率及其 DPPH 清除能力有显著性差异 ($p < 0.05$)。六种蛋白酶酶解得到的蛋白回收率和 DPPH 清除能力均较高, 说明蛋白酶可有效水解辣木籽中脂蛋白, 释放与蛋白质相结合的脂肪, 使之展现良好的抗氧化活性。其中, 酶解产物蛋白回收率从高到低依次所用的酶是: Ns37071 处理组>Alcalas2.4L 处理组>胰酶>木瓜蛋白酶>中性蛋白酶>复合蛋白酶; 酶解产物 DPPH·清除能力最强用酶是 Alcalas2.4L, 其次是 Ns37071。由于酶自身特异性, 使之与蛋白底物的作用位点存在较大区别, 因而各自水解得到的多肽数量及抗氧化活性有较大差别^[13]。

2.2.2 酶解时间对酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力的影响

酶解时间决定了酶对底物的作用程度。酶解时间对酶解产物的蛋白回收率及 DPPH·清除能力的影响

2 结果与分析

2.1 辣木籽主要成分分析

辣木籽主要成分如表 1 所示, 从表 1 中可以看出: 辣木籽中主要成分为蛋白质、脂肪以及碳水化合物等。其中, 蛋白质含量为 38.49%, 脂肪含量为 38.04%, 说明辣木籽是一种制备油脂和蛋白质的优质资源。

如图 1 所示。

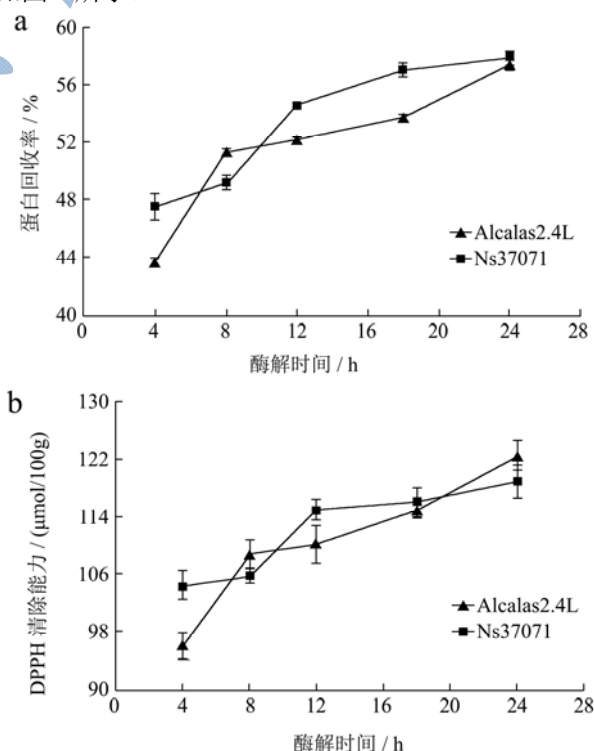


图 1 酶解时间对蛋白回收率(a)及 DPPH·清除能力(b)的影响

Fig.1 Effects of enzymolysis time on the protein recovery and DPPH radical scavenging activity

由图 1 可知,随着酶解时间的延长,酶解产物的蛋白回收率及 DPPH·清除能力显著增强。酶解初期蛋白回收率快速增加,可能是此时底物浓度较高,且辣木籽结构较松散,有利于酶解的传质过程^[13]。但酶解时间过长可能会降低酶解产物品质,延长生产周期,增加能耗^[14]。因此,Alcalas2.4L 最佳酶解时间宜为 24 h, Ns37071 最佳酶解时间宜为 18 h。

2.3 响应面法优化试验结果

采用响应面优化酶解产物蛋白回收率和 DPPH·清除能力最为理想的两种蛋白酶(Alcalas2.4L 和 Ns37071)的酶解工艺,试验设计及结果如表 3 所示。蛋白回收率及 DPPH·清除能力响应面试验模型的方差分析结果分别如表 4 和表 5 所示,从表中可以看出,蛋白回收率及 DPPH·清除能力两个模型的“Prob>F”值均小于 0.05,表明该二次方程模型高度显著,且总加酶量、Ns37071 占总加酶量比例、酶解时间都属于影响显著因素。同时,从表 4 和表 5 中还可

以看出,一次项因素 A(总加酶量)、B(Ns37071 占总加酶量比例)、C(酶解时间)、二次项因素 A²、B²、C² 及交互作用项 AB、AC、BC 的 F 检验差异较大,表明各试验因素对回应的值的影响呈非线性关系,且各因素之间存在相互影响。

二次多项式回归方程通式可表达为:

$$Y=\beta_0+\sum\beta_iX_i+\sum\beta_{ii}X_{i2}+\sum\beta_{ij}X_iX_j$$

式中, Y 为响应变数, β_0 、 β_i 、 β_{ii} 和 β_{ij} 分别为常数项、线性项、二次项和交互作用项系数。本试验通过响应面设计软件得到了二次回归方程如下:

$$Y_1=60.30+5.81A+1.14B+1.67C-0.42AB+0.87AC-0.24BC-4.07A^2-3.18B^2-1.16C^2$$

$$Y_2=125.02+7.08A+0.54B+4.32C-0.71AB-0.075AC-1.24BC-3.34A^2-1.05B^2+0.34C^2$$

以上方程表达了酶解产物的蛋白回收率及 DPPH·清除能力与各试验因素之间的变化规律。其中 Y₁ 和 Y₂ 分别表示酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力。

表 3 辣木籽酶法优化响应面分析方案及试验结果

Table 3 Design and experimental results of the response surface for protein hydrolysis of *Moringa oleifera* seed

| 试验号 | Response | | | DPPH·清除能力 ($\mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$) | |
|-----|-------------|------------------------|-------------|--|--------|
| | A 总加酶量/% | B Ns37071 占总加酶量比例/% | C 酶解时间/h | 蛋白回收率/% | |
| 1 | 0.5 | 0.00 | 18 | 45.36 | 112.85 |
| 2 | 3 | 100.00 | 18 | 59.92 | 127.01 |
| 3 | 1.75 | 0.00 | 12 | 53.03 | 118.48 |
| 4 | 1.75 | 100.00 | 12 | 55.81 | 122.07 |
| 5 | 1.75 | 50.00 | 18 | 59.76 | 124.45 |
| 6 | 3 | 50.00 | 24 | 63.21 | 134.15 |
| 7 | 0.5 | 50.00 | 24 | 50.54 | 119.11 |
| 8 | 0.5 | 50.00 | 12 | 48.67 | 109.75 |
| 9 | 1.75 | 50.00 | 18 | 59.98 | 125.58 |
| 10 | 1.75 | 100.00 | 24 | 58.41 | 127.67 |
| 11 | 0.5 | 100.00 | 18 | 48.45 | 115.29 |
| 12 | 1.75 | 50.00 | 18 | 60.25 | 124.49 |
| 13 | 1.75 | 50.00 | 18 | 61.38 | 126.36 |
| 14 | 1.75 | 50.00 | 18 | 60.12 | 124.23 |
| 15 | 3 | 0.00 | 18 | 58.49 | 127.39 |
| 16 | 1.75 | 0.00 | 24 | 56.58 | 129.03 |
| 17 | 3 | 50.00 | 12 | 57.86 | 125.09 |

表4 响应面二次模型方差分析-蛋白回收率

Table 4 Analysis of variance for response surface quadratic model-protein recovery

| Source | Sum of Squares | df | Mean Square | F Value | p-value Prob > F | |
|----------------|----------------|----|-------------|----------|------------------|-----|
| Model | 435.05 | 9 | 48.34 | 126.36 | < 0.0001 | *** |
| A-总加酶量 | 269.82 | 1 | 269.82 | 705.31 | < 0.0001 | *** |
| B-NS 占总加酶量比例 | 10.42 | 1 | 10.42 | 27.24 | 0.0012 | ** |
| C-酶解时间 | 22.34 | 1 | 22.34 | 58.41 | 0.0001 | *** |
| AB | 0.69 | 1 | 0.69 | 1.8 | 0.2215 | |
| AC | 3.03 | 1 | 3.03 | 7.91 | 0.026 | * |
| BC | 2.30E-01 | 1 | 2.30E-01 | 5.90E-01 | 0.4676 | |
| A ² | 69.58 | 1 | 69.58 | 181.9 | < 0.0001 | *** |
| B ² | 42.52 | 1 | 42.52 | 111.14 | < 0.0001 | *** |
| C ² | 5.69 | 1 | 5.69 | 14.88 | 0.0062 | ** |
| Residual | 2.68 | 7 | 0.38 | | | |
| Lack of Fit | 1.08 | 3 | 0.36 | 0.9 | 0.5133 | |
| Pure Error | 1.6 | 4 | 0.4 | | | |
| Cor Total | 437.73 | 16 | | | | |

注: *在 0.05 水平上显著; **在 0.01 水平上显著; ***在 0.001 水平上显著, 下同。

表5 响应面二次模型方差分析-DPPH·清除能力

Table 5 Analysis of variance for response surface quadratic model-DPPH radical scavenging activity

| Source | Sum of Squares | df | Mean Square | F Value | p-value Prob > F* | |
|----------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|-----|
| Model | 614.11 | 9 | 68.23 | 78.19 | < 0.0001 | *** |
| A-总加酶量 | 401.01 | 1 | 401.01 | 459.53 | < 0.0001 | *** |
| B-NS 占总加酶量比例 | 2.3 | 1 | 2.3 | 2.64 | 0.1485 | |
| C-酶解时间 | 149.39 | 1 | 149.39 | 171.18 | < 0.0001 | *** |
| AB | 1.99 | 1 | 1.99 | 2.28 | 0.1749 | |
| AC | 0.022 | 1 | 0.022 | 0.026 | 0.877 | |
| BC | 6.13 | 1 | 6.13 | 7.02 | 0.033 | * |
| A ² | 46.89 | 1 | 46.89 | 53.74 | 0.0002 | *** |
| B ² | 4.64 | 1 | 4.64 | 5.32 | 0.0545 | |
| C ² | 0.49 | 1 | 0.49 | 0.56 | 0.4792 | |
| Residual | 6.11 | 7 | 0.87 | | | |
| Lack of Fit | 2.77 | 3 | 0.92 | 1.11 | 0.4444 | |
| Pure Error | 3.34 | 4 | 0.83 | | | |
| Cor Total | 620.22 | 16 | | | | |

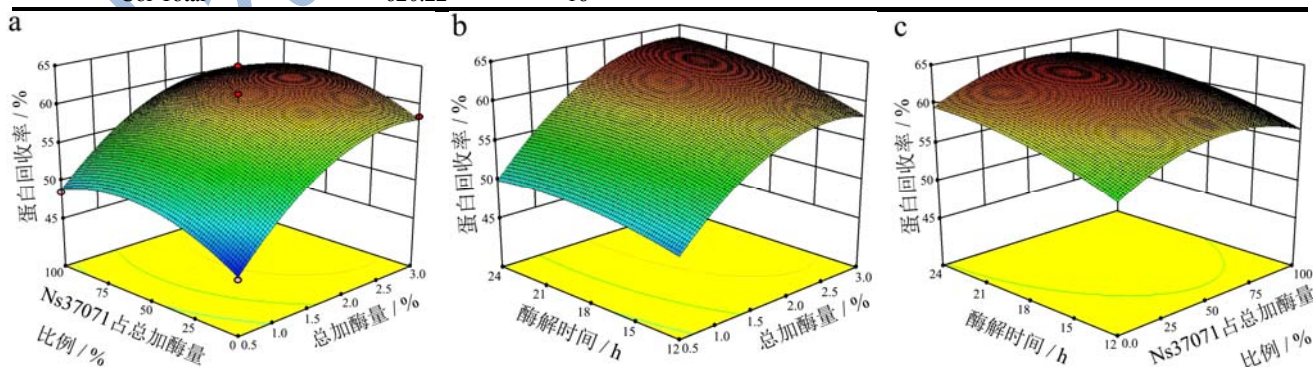


图2 酶解产物蛋白回收率的响应面 3D 图

Fig.2 Response surface 3D models of protein recovery of enzymolysis products of *Moringa oleifera* seed

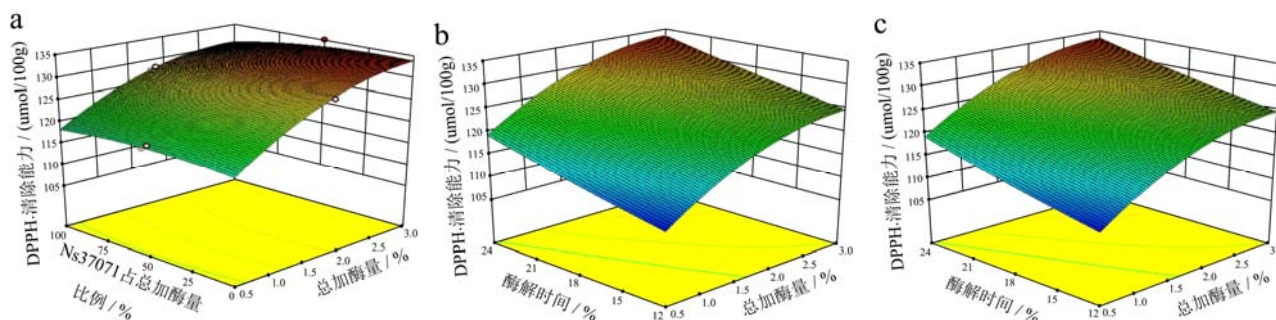


图3 酶解产物 DPPH·清除能力的响应面 3D 图

Fig.3 Response surface 3D models of DPPH radical scavenging activity of enzymolysis products of *Moringa oleifera* seed

图2和图3分别是试验各因素对辣木籽酶解产物的蛋白回收率及 DPPH·清除能力影响的响应面 3D 图,从图中可以看出,总加酶量、酶解时间对蛋白回收率及 DPPH·清除能力的影响相似,均呈正相关趋势;二次多项式回归方程中 A、C 项较大的相关系数及模型方差分析结果也得出相同的结论,总加酶量及酶解时间对三个指标均属于显著影响因素 ($p < 0.001$)。总加酶量较低时,蛋白回收率快速上升;当总加酶量增加到 2.5% 左右时趋于平缓,说明加酶量过大并不利于酶解反应的进行,可能是蛋白质深度降解后产生较多疏水性氨基酸含量高的小肽,这些疏水性小肽在疏水相互作用或静电相互作用影响下诱导肽凝集^[15]。Ns37071 占总加酶量比例对蛋白回收率的影响在 0.01 水平上属于极显著因素,且最大影响值出现在变量中心值附近,而对 DPPH·清除能力的增强有一定正向影响,但不显著。

2.4 验证试验

根据所建立的数学模型优化试验参数,得到最优酶解条件如下:总加酶量为 2.60%,Ns37071 占总加酶量的 46.19%,酶解时间 24 h,模型预测蛋白回收率为 63.40%,DPPH·清除能力为 132.99 $\mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$ 。对响应面预测的最优条件进行实际试验验证,将试验条件修正为总加酶量 2.60%,Ns37071 占总加酶量的 46.00%,酶解时间 24 h,获得蛋白回收率 $63.69 \pm 2.94\%$,DPPH·清除能力为 $139.38 \pm 0.96\ \mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$,所得数据表明响应面优化结果切实可靠。

3 结论

以辣木籽为原料,通过单因素和响应面方法优化辣木籽酶解产物的蛋白回收率和 DPPH·清除能力的工艺。单因素试验结果表明:试验所用六种蛋白酶中,Alcalas2.4L 和 Ns37071 酶解辣木籽的效果最佳;修正响应面预测的最佳试验条件为:总加酶量 2.60%,

Ns37071 占总加酶量的 46.00%,酶解 24 h,此时酶解产物的蛋白回收率为 $63.69 \pm 2.94\%$,DPPH·清除能力为 $139.38 \pm 0.96\ \mu\text{mol Trolox equiv}/100\text{ g}$ 。这一研究结果表明辣木籽本身不仅含有丰富的蛋白质和脂肪等营养物质,同时辣木籽酶解产物也具有较弱的抗氧化活性。关于辣木籽酶解产物的生理活性及其机理有待进一步研究。

参考文献

- [1] 郭刚军,龙继明,黄艳丽,等.多油辣木不同部位营养成分分析及评价[J].食品工业科技,2016,37(22):354-364
GUO Gang-jun, LONG Ji-ming, HUANG Yan-li, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in different locations of *Moringa Oleifera* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 354-364
- [2] 许敏,赵三军,宋晖,等.辣木的研究进展[J].食品科学,2016,37(23):291-301
XU Min, ZHAO San-jun, SONG Hui, et al. Advances in knowledge of *Moringa Oleifera* [J]. Food Science, 2016, 37(23): 291-301
- [3] 刘子记,孙继华,刘昭华,等.特色植物辣木的应用价值及发展前景分析[J].热带作物学报,2014,35(9):1871-1878
LIU Zi-ji, SUN Ji-hua, LIU Zhao-hua, et al. Application value and development prospects analysis of *Moringa Oleifera* Lam [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(9): 1871-1878
- [4] 熊瑶.辣木叶蛋白质提取及其饮品研制[D].福州:福建农林大学,2012
XIONG Yao. Extraction on moringa leaf protein and preparation of *Moringa Oleifera* drinks [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [5] 刘凤霞,王苗苗,赵有为,等.辣木中功能性成分提取及产品开发的研究进展[J].食品科学,2015,36(19):282-286
LIU Feng-xia, WANG Miao-miao, ZHAO You-wei, et al. Extraction of functional components from *Moringa Oleifera*

- and development of *Moringa Oleifera*-based products [J]. Food Science, 2015, 36(19): 282-286
- [6] 吕晓亚,白新鹏,伍曾利,等.辣木叶水溶性蛋白的超声-微波萃取及其性质研究[J].食品工业科技,2016,37(5):212-216
LV Xiao-ya, BAI Xin-peng, WU Zeng-li, et al. Extraction and physicochemical properties of soluble protein from *Moringa* leaves by ultrasonic and microwave [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(5): 212-216
- [7] 岳秀洁,李超,扶雄.超声提取辣木叶黄酮优化及其抗氧化活性[J].食品工业科技,2016,37(1):226-231
YUE Xiu-jie, LI Chao, FU Xiong. Optimization of ultrasonic extraction of flavonoids from *Moringa Stenopetala* leaves and their antioxidant activities [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(1): 226-231
- [8] 樊建麟,邵金良,叶艳萍,等.辣木籽营养成分含量测定[J].中国食物与营养,2016,22(5):69-72
FAN Jian-lin, SHAO Jin-liang, YE Yan-ping, et al. Determination on nutritional components in seeds of *Moringa Oleifera* [J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(5): 69-72
- [9] 段琼芳,余建兴,马李一,等.超声波辅助溶剂萃取辣木籽油条件优化[J].中国粮油学报,2009,24(8):92-95
DUAN Qiong-fen, YU Jian-xing, MA Li-yi, et al. Optimization of ultrasonic-aid oil extraction from *Moringa* seeds [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(8): 92-95
- [10] 吴建宝,周力,胡传荣,等.水酶法同时提取油茶籽油及蛋白研究[J].粮食与油脂,2015,28(9):58-61
WU Jian-bao, ZHOU Li, HU Chuan-rong, et al. Aqueous enzymatic extraction of camellia oleifera seed oil and protein simultaneously [J]. Cereals and Oils, 2015, 28(9): 58-61
- [11] 荣辉,吴兵兵,杨贤庆,等.水酶法提取生物油脂的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(2):374-378
RONG Hui, WU Bing-bing, YANG Xian-qing, et al. Research advance in the aqueous enzymatic extraction of biological oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(2): 374-378
- [12] 张霜玉,王瑛瑶,陈光,等.水酶法从油菜籽中提取油及水解蛋白的研究[J].中国油脂,2009,34(1):30-33
ZHANG Shuang-yu, WANG Ying-yao, CHEN Guang, et al. Aqueous enzymatic extraction of oil and protein hydrolysates from rapeseed [J]. China Oils and Fats, 2009, 34(1): 30-33
- [13] 马海乐,刘斌,李树君,等.酶法制备大米抗氧化肽的蛋白酶筛选[J].农业机械学报,2010,41(11):119-123
MA Hai-le, LIU Bin, LI Shu-jun, et al. Enzymatic preparation of rice anti-oxidation peptide [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 119-123
- [14] 叶丽红,王标诗,程漪婷,等.水酶法提取番木瓜籽油工艺及其氧化稳定性分析[J].食品科学,2014,35(16):58-63
YE Li-hong, WANG Biao-shi, CHENG Yi-ting, et al. Aqueous enzymatic extraction and oxidative stability of papaya seed oil [J]. Food Science, 2014, 35(16): 58-63
- [15] 胡庆玲,丛懿洁,崔春,等.面包酵母酶解液中水不溶性沉淀的形成机理[J].食品与发酵工艺,2012,38(3):58-61
HU Qing-ling, CONG Yi-jie, CUI Chun, et al. The research on the formation mechanism of water insoluble precipitate in baker's yeast hydrolyzate [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(3): 58-61