

# 葵花籽蛋白脱色工艺的研究

秦那日苏,包小兰,武佳乐

(内蒙古农业大学 食品科学与工程学院,呼和浩特 010018)

**摘要:**用常规方法提取的葵花籽蛋白颜色呈深灰色,严重影响其在食品中的应用,为此研究了葵花籽蛋白的脱色工艺,旨在制备浅色葵花籽蛋白。以低温脱脂葵花籽粕为原料,利用限制性酶解后再结合大孔树脂对葵花籽蛋白进行吸附处理,探讨其对葵花籽蛋白脱色效果的影响。以吸附温度、pH、吸附时间、树脂添加量为考察因素,以葵花籽蛋白的 $L^*$ 值为评价指标进行正交试验。结果表明:碱性蛋白酶结合AB-8型大孔树脂吸附后葵花籽蛋白的脱色效果最佳,葵花籽蛋白的最佳脱色工艺条件为pH 7.0、吸附温度20℃、吸附时间120 min、树脂添加量12%;在最佳脱色工艺条件下,葵花籽蛋白的 $L^*$ 值为86.3、 $a^*$ 值为2.6、 $b^*$ 值为10.7,脱色葵花籽蛋白为浅白色,质地柔软细腻,脱色效果显著,其蛋白质含量和得率分别为97.50%和8.50%。

**关键词:**葵花籽蛋白;脱色;限制性酶解;大孔树脂

中图分类号:TS 201.1;TS229 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)04-0047-05

## Bleaching of sunflower seed protein

QIN Narisu, BAO Xiaolan, WU Jiale

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

**Abstract:** The color of sunflower seed protein extracted by conventional method is dark gray, which seriously affects its application in food. Therefore, the bleaching process of sunflower seed protein was studied in order to prepare light color sunflower seed protein. Low temperature defatted sunflower seed meal was used as raw material, and the effect of limited enzymatic hydrolysis and macroporous resin on the bleaching of sunflower seed protein was investigated. Taking adsorption temperature, pH, adsorption time and resin amount as factors, and  $L^*$  value of sunflower seed protein as evaluation index, orthogonal experiment was conducted. The results showed that the best bleaching effect of sunflower seed protein was obtained by limited enzymatic hydrolysis with Alcalase combined with adsorption by AB-8 macroporous resin. The optimal bleaching conditions of sunflower seed protein were pH 7.0, adsorption temperature 20℃, adsorption time 120 min and resin amount 12%. Under these conditions, the  $L^*$  value,  $a^*$  value and  $b^*$  value of bleached sunflower seed protein were 86.3, 2.6 and 10.7, respectively. The bleached sunflower seed protein was light white, soft and delicate, and the bleaching effect was remarkable. The protein content and yield were 97.50% and 8.50%, respectively.

**Key words:** sunflower seed protein; bleaching; limited enzymatic hydrolysis; macroporous resin

葵花籽是我国主要的油料之一。目前葵花籽主

要用于榨油,榨油后的葵花籽粕富含蛋白质(28%~43%)<sup>[1]</sup>。葵花籽蛋白的氨基酸组成较合理,具有良好的消化率(90%)和较高的营养价值<sup>[2]</sup>。

采用常规方法制备葵花籽蛋白时,在碱性条件下,葵花籽粕中的绿原酸可快速与蛋白质发生氧化反应,使蛋白质发生褐变,造成蛋白色泽呈现深灰色,同时生成的醌是动物生长抑制因子<sup>[3-4]</sup>,从而使

收稿日期:2020-11-04;修回日期:2021-01-15

基金项目:国家自然科学基金地区科学基金(31860423);内蒙古自治区科技计划项目(2020GG0064)

作者简介:秦那日苏(1997),男,硕士研究生,研究方向为粮油及植物蛋白工程(E-mail)2363944910@qq.com。

通信作者:包小兰,副教授,博士(E-mail)xl06@163.com。

葵花籽蛋白的营养价值降低。目前国内外有关蛋白脱色的方法主要有活性炭吸附法<sup>[5-6]</sup>、有机溶剂萃取法<sup>[7]</sup>、双氧水氧化法<sup>[8-9]</sup>及大孔树脂吸附法<sup>[10]</sup>。上述方法均具有较好的脱色效果,但是活性炭吸附法的蛋白损失率大,有机溶剂萃取法和双氧水氧化法有溶剂消耗量大和溶剂残留等缺点,而大孔树脂吸附法具有选择性好、树脂易再生及蛋白损失率低等优点<sup>[11]</sup>。Pickardt 等<sup>[12]</sup>在酸性条件下采用 XAD-16 型大孔树脂吸附提取低多酚葵花籽蛋白,发现大孔树脂吸附处理后脱色效果显著,产品  $L^*$  值为 77.3。近几年来开始用酶法提升植物蛋白的营养价值和功能特性,酶解能够正向修饰蛋白质,可以破坏特定的肽键,从而改变蛋白质的结构。酶法具有反应条件温和、反应副产物少、特异性高、易控制、安全等优点。

内蒙古是葵花籽生产大省,但对葵花籽粕的加工利用水平较低,限制了葵花籽蛋白的利用。因此,开发和利用好葵花籽蛋白资源,对发展经济、提高葵花籽的综合利用价值具有重要意义。本研究以低温脱脂葵花籽粕为原料,利用限制性酶解后再结合大孔树脂对葵花籽蛋白进行吸附处理,采用单因素试验及正交试验优化葵花籽蛋白的脱色工艺,探讨其对葵花籽蛋白脱色效果的影响,旨在为进一步开发葵花籽蛋白功能食品提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

低温脱脂葵花籽粕(蛋白质含量 39.03%),内蒙古鲁花葵花籽油有限责任公司; AB-8 型大孔树脂、D101 型大孔树脂、DA201 型大孔树脂,东鸿化工有限公司;碱性蛋白酶( $1 \times 10^4$  U/g)、风味蛋白酶(500 LAPU/g)、中性蛋白酶( $5 \times 10^4$  U/g),诺维信(中国)生物技术有限公司;所用的试剂均为国产分析纯;蒸馏水。

FW-100 型高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;LCJ-25C 型冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司;SC-3612 型低速离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司;CR-10 型色差仪,天津特鲁斯科技有限公司;UV-2300 型紫外分光光度计,北京中西远大科技有限公司;IKA-T10 型均质机,浙江赛德仪器设备有限公司;K116 型凯氏定氮仪,济南海能仪器股份有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 葵花籽蛋白的制备

将低温脱脂葵花籽粕磨碎成粉,过 0.250 mm (60 目)筛,称取 50 g 葵花籽粕粉,加 500 mL 无水

乙醇(料液比 1:10),在 25℃ 恒温水浴锅中搅拌 1 h,离心(4 000 r/min, 15 min)收集沉淀,加 15 倍蒸馏水搅拌均匀,然后用 0.1 mol/L NaOH 调节溶液 pH 至 7.0,在 50℃ 恒温水浴锅中搅拌 1 h,离心(4 000 r/min, 15 min)收集上清液,用 0.1 mol/L HCl 调节上清液 pH 至 4.0,分离沉淀并用 30 mL 蒸馏水水洗 3 次,离心(4 000 r/min, 15 min)收集沉淀,用少量蒸馏水将沉淀溶解,0.1 mol/L NaOH 调节溶液 pH 至 7.0,冷冻干燥保存,备用。

#### 1.2.2 葵花籽蛋白的大孔树脂吸附脱色

参照 Pickardt 等<sup>[12]</sup>的方法并稍作修改。称取 50 g 过 0.250 mm (60 目)筛的葵花籽粕粉,加 500 mL 氯化钠溶液(38 g NaCl 溶于 500 mL 蒸馏水)(料液比 1:10),在 20℃ 恒温水浴锅中搅拌 1 h,离心(4 000 r/min, 15 min)收集上清液,然后用 0.1 mol/L NaOH 调节溶液 pH 至 7.0,分别用 AB-8、DA201 和 D101 型大孔树脂进行吸附(10% 大孔树脂,室温吸附 90 min),过滤树脂收集上清液,用 0.1 mol/L HCl 调节 pH 至 3.8,分离沉淀用 30 mL 蒸馏水水洗 3 次,离心(4 000 r/min, 15 min)收集沉淀,用少量蒸馏水将沉淀溶解,用 0.1 mol/L NaOH 调节溶液 pH 至 7.0,冷冻干燥保存,备用。

#### 1.2.3 葵花籽蛋白的限制性酶解结合大孔树脂吸附脱色

参照 Pickardt 等<sup>[12]</sup>的方法并稍作修改。按 1.2.2 步骤操作,在 1.2.2 方法中用大孔树脂吸附前,增加限制性酶解,即分别用 1% 碱性蛋白酶、风味蛋白酶和中性蛋白酶进行限制性酶解 10 min (pH 7.0 和 50℃)。

#### 1.2.4 葵花籽蛋白色泽的测定

采用 CR-10 型色差仪进行葵花籽蛋白色泽的测定。首先进行黑白板自动校正,自动校正完成后进入标准测量界面,按测试键,记录标准样的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值,进行样品色泽的测定(取 3 次平均值)<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.5 葵花籽蛋白中蛋白质含量的测定及得率计算

采用凯氏定氮法进行蛋白质含量的测定。按下式计算葵花籽蛋白得率( $Y$ )。

$$Y = m_1/m_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中: $m_1$  为提取的葵花籽蛋白质量, g;  $m_0$  为葵花籽粕粉质量, g。

#### 1.2.6 统计分析

试验均重复 3 次,结果以“平均值 ± 标准差”表示,试验数据采用 SPSS 16.0 统计软件中的方差分析

(ANOVA) 进行两组间的数据分析,  $P < 0.05$  表示两组之间具有显著性差异, 采用 Origin 2017 作图。

## 2 结果与分析

表1 不同类型大孔树脂吸附对葵花籽蛋白脱色效果的影响

葵花籽蛋白	$L^*$	$a^*$	$b^*$	蛋白质含量/%	得率/%
葵花籽蛋白(对照)	$55.7 \pm 0.2$	$3.8 \pm 0.1$	$9.9 \pm 0.1$	$90.76 \pm 0.12$	$5.96 \pm 0.06$
葵花籽蛋白(D101型大孔树脂)	$70.8 \pm 0.3^b$	$4.4 \pm 0.2^a$	$16.5 \pm 0.2^a$	$92.25 \pm 0.15^a$	$6.25 \pm 0.11^a$
葵花籽蛋白(DA201型大孔树脂)	$69.5 \pm 0.2^b$	$4.8 \pm 0.2^a$	$16.3 \pm 0.1^a$	$91.68 \pm 0.19^a$	$6.20 \pm 0.09^a$
葵花籽蛋白(AB-8型大孔树脂)	$72.2 \pm 0.2^a$	$4.1 \pm 0.2^a$	$15.1 \pm 0.2^b$	$92.68 \pm 0.10^a$	$6.48 \pm 0.13^a$

注: 每列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

由表1可知: 未经大孔树脂吸附脱色的葵花籽蛋白的  $L^*$  值为 55.7, 呈深灰色, 因颜色影响其在食品中的应用; 经不同类型的大孔树脂吸附脱色后葵花籽蛋白  $L^*$  值明显改善, 而且其蛋白质含量和得率也显著提高; 经 AB-8 型大孔树脂吸附处理的葵花籽蛋白脱色效果最好, 其  $L^*$  值最大, 为  $72.2 \pm 0.2$ , 且蛋白质含量为  $(92.68 \pm 0.10)\%$ , 得率为  $(6.48 \pm$

### 2.1 不同大孔树脂对葵花籽蛋白脱色效果的影响

按 1.2.2 方法, 观察不同大孔树脂对葵花籽蛋白脱色效果的影响, 结果见表 1。

0.13)%。

### 2.2 不同蛋白酶限制性酶解结合大孔树脂吸附对葵花籽蛋白脱色效果的影响

按 1.2.3 方法, 观察不同蛋白酶限制性酶解结合不同大孔树脂吸附对葵花籽蛋白脱色效果的影响, 结果见表 2。

表2 不同蛋白酶限制性酶解结合大孔树脂吸附对葵花籽蛋白脱色效果的影响

处理方法	葵花籽蛋白				
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	蛋白质含量/%	得率/%
Alcalase/D101	$80.3 \pm 0.2^a$	$3.9 \pm 0.1^b$	$13.8 \pm 0.1^c$	$96.32 \pm 0.22^a$	$7.80 \pm 0.09^a$
Flavourzyme/D101	$72.2 \pm 0.2^c$	$5.2 \pm 0.1^a$	$17.8 \pm 0.1^a$	$94.78 \pm 0.19^b$	$7.05 \pm 0.10^b$
Neutrase/D101	$76.5 \pm 0.2^b$	$4.2 \pm 0.1^b$	$15.3 \pm 0.1^b$	$95.25 \pm 0.13^b$	$7.55 \pm 0.05^a$
Alcalase/DA201	$74.5 \pm 0.2^a$	$4.5 \pm 0.2^b$	$15.8 \pm 0.1^b$	$94.69 \pm 0.11^a$	$7.25 \pm 0.15^a$
Flavourzyme/DA201	$70.3 \pm 0.4^c$	$5.3 \pm 0.2^a$	$16.3 \pm 0.1^b$	$94.13 \pm 0.17^a$	$6.86 \pm 0.12^a$
Neutrase/DA201	$72.6 \pm 0.3^b$	$5.5 \pm 0.1^a$	$17.3 \pm 0.0^a$	$94.45 \pm 0.14^a$	$6.97 \pm 0.13^a$
Alcalase/AB-8	$80.8 \pm 0.2^a$	$3.6 \pm 0.1^a$	$12.9 \pm 0.1^c$	$96.68 \pm 0.15^a$	$7.89 \pm 0.08^a$
Flavourzyme/AB-8	$76.2 \pm 0.4^c$	$4.2 \pm 0.2^a$	$16.6 \pm 0.1^a$	$96.36 \pm 0.20^a$	$7.58 \pm 0.11^a$
Neutrase/AB-8	$77.7 \pm 0.3^b$	$4.0 \pm 0.1^a$	$15.3 \pm 0.2^b$	$95.72 \pm 0.12^a$	$7.66 \pm 0.10^a$

注: Alcalase 为碱性蛋白酶, Flavourzyme 为风味蛋白酶, Neutrase 为中性蛋白酶; 对不同蛋白酶结合相同大孔树脂的数据进行显著性分析, 不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

由表2可知: 通过不同蛋白酶限制性酶解结合大孔树脂吸附处理后, 葵花籽蛋白的脱色效果较好; 经碱性蛋白酶限制性酶解结合不同类型大孔树脂吸附处理后葵花籽蛋白的脱色效果最为显著, 其中碱性蛋白酶结合 AB-8 型大孔树脂对葵花籽蛋白脱色效果最好, 其  $L^*$  值最高为  $80.8 \pm 0.2$ , 与其他的蛋白酶与大孔树脂组合相比具有显著差异( $P < 0.05$ )。夏玮等<sup>[10]</sup>考察了5种不同型号大孔树脂对桑叶粗多糖溶液的脱色作用, 发现 AB-8 型大孔树脂具有较好的脱色效果, 在最佳条件下脱色率达 82%。本文以  $L^*$  值为评价指标, 确定以碱性蛋白酶限制性酶解结合 AB-8 型大孔树脂吸附对葵花籽蛋白的脱色效果最佳。

### 2.3 单因素条件对葵花籽蛋白脱色效果的影响

#### 2.3.1 吸附温度对葵花籽蛋白脱色效果的影响

按 1.2.3 方法, 使用碱性蛋白酶进行限制性酶

解, 采用 AB-8 型大孔树脂进行吸附, 改变吸附温度分别为 20、30、40、50、60℃, 探讨吸附温度对葵花籽蛋白脱色效果的影响, 结果如图 1 所示。

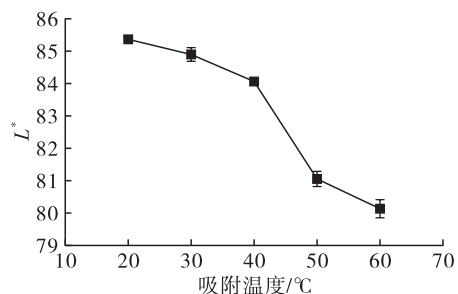


图1 吸附温度对葵花籽蛋白脱色效果的影响

由图1可知, 吸附温度在 20~60℃ 范围时, 葵花籽蛋白  $L^*$  值呈下降趋势, 在 60℃ 时达到最低值。因此, 选择吸附温度为 20℃。

#### 2.3.2 pH 对葵花籽蛋白脱色效果的影响

按 1.2.3 方法, 使用碱性蛋白酶进行限制性酶

解,采用 AB-8 型大孔树脂进行吸附,在吸附温度 20℃ 条件下,改变 pH 分别为 5.0、6.0、7.0、8.0、9.0,探讨 pH 对葵花籽蛋白脱色效果的影响,结果如图 2 所示。

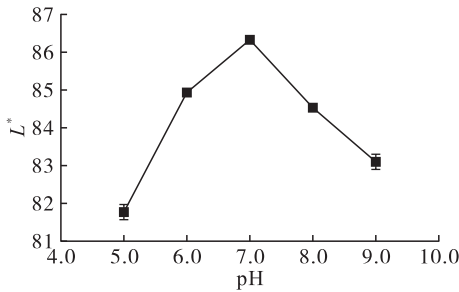


图 2 pH 对葵花籽蛋白脱色效果的影响

由图 2 可知,pH 在 5.0~7.0 之间时,随 pH 增大,葵花籽蛋白  $L^*$  值不断提高,在 pH 7.0 时葵花籽蛋白的  $L^*$  值达到最高,但随着 pH 的继续增大,葵花籽蛋白的  $L^*$  值快速降低。这是由于在强碱条件下,可能会使蛋白质变性和氧化产生黑褐色物质,使葵花籽蛋白  $L^*$  值降低。同时,考虑到过高浓度的碱液会引入大量的盐分,造成提取的蛋白色泽加深,故选择 pH 为 7.0。

### 2.3.3 吸附时间对葵花籽蛋白脱色效果的影响

按 1.2.3 方法,使用碱性蛋白酶进行限制性酶解,采用 AB-8 型大孔树脂进行吸附,在吸附温度 20℃、pH 7.0 的条件下,改变吸附时间分别为 30、60、90、120、150 min,探讨吸附时间对葵花籽蛋白脱色效果的影响,结果如图 3 所示。

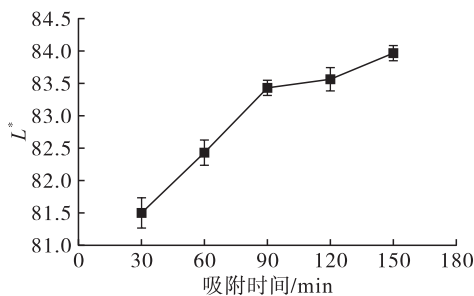


图 3 吸附时间对葵花籽蛋白脱色效果的影响

由图 3 可知:大孔树脂吸附时间对葵花籽蛋白  $L^*$  值的影响显著,当吸附时间从 30 min 延长到 90 min 时,葵花籽蛋白的  $L^*$  值从 81.5 提高至 83.5,脱色效果较为显著;90 min 之后,葵花籽蛋白的  $L^*$  值随吸附时间的延长呈缓慢上升趋势。因此,选择吸附时间为 120 min。

### 2.3.4 树脂添加量对葵花籽蛋白脱色效果的影响

按 1.2.3 方法,使用碱性蛋白酶进行限制性酶解,采用 AB-8 型大孔树脂进行吸附,在吸附温度 20℃、pH 7.0 条件下,改变树脂添加量分别为 6%、

8%、10%、12%、14%,探讨树脂添加量对葵花籽蛋白脱色效果的影响,结果如图 4 所示。

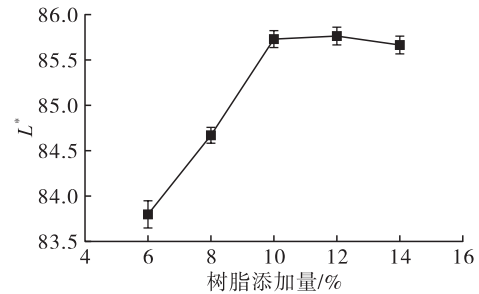


图 4 树脂添加量对葵花籽蛋白脱色效果的影响

由图 4 可知:树脂添加量在 6%~10% 之间时,随树脂添加量的增加,葵花籽蛋白的  $L^*$  值不断提高,树脂添加量为 10% 时葵花籽蛋白的  $L^*$  值达到 85.7,脱色效果非常显著,这表明适宜的树脂添加量有利于脱除绿原酸,改善葵花籽蛋白的色泽;树脂添加量从 10% 增加到 12% 时,葵花籽蛋白  $L^*$  值提升缓慢;当树脂添加量继续增加至 14% 时,葵花籽蛋白  $L^*$  值降低。因此,选择树脂添加量为 12%。

### 2.4 正交试验

按 1.2.3 方法,使用碱性蛋白酶进行限制性酶解,采用 AB-8 型大孔树脂进行吸附,在单因素试验的基础上,选择吸附温度(A)、pH(B)、吸附时间(C)及树脂添加量(D)为影响因素,以葵花籽蛋白  $L^*$  值为评价指标进行正交试验,正交试验因素水平见表 3,正交试验设计及结果见表 4。

表 3 正交试验因素水平

水平	吸附温度/℃	pH	吸附时间/min	树脂添加量/%
1	20	6.0	90	10
2	30	7.0	120	12
3	40	8.0	150	14

表 4 正交试验设计及结果

试验号	A	B	C	D	$L^*$
1	1	1	1	1	83.9
2	1	2	2	2	86.3
3	1	3	3	3	84.1
4	2	1	2	3	84.0
5	2	2	3	1	84.1
6	2	3	1	2	85.5
7	3	1	3	2	84.9
8	3	2	1	3	84.3
9	3	3	2	1	84.8
$K_1$	254.3	252.8	253.7	252.8	
$K_2$	253.6	254.7	255.1	256.7	
$K_3$	254.0	254.4	253.1	252.4	
R	0.7	1.9	2.0	4.3	

由表 4 可知,影响葵花籽蛋白脱色效果各因

素主次顺序为 D(树脂添加量) > C(吸附时间) > B(pH) > A(吸附温度), 最佳脱色工艺条件为 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>, 即吸附温度 20℃、pH 7.0, 吸附时间 120 min、树脂添加量 12%, 在此条件下葵花籽蛋白的 L\* 值为 86.3、a\* 值为 2.6、b\* 值为 10.7, 其蛋白质含量和得率分别为 97.50% 和 8.50%。葵花籽蛋白在未脱色之前呈深灰色, 在最佳工艺条件下脱色后的葵花籽蛋白呈浅白色, 质地柔软细腻。

### 3 结论

碱性蛋白酶结合 AB-8 型大孔树脂吸附后葵花籽蛋白的脱色效果最佳, 进一步进行单因素试验及正交试验优化葵花籽蛋白的脱色工艺条件, 结果发现, 限制性酶解结合大孔树脂吸附脱色的最佳工艺参数为 pH 7.0、吸附温度 20℃、吸附时间 120 min、树脂添加量 12%。在最佳工艺条件下, 葵花籽蛋白的 L\* 值为 86.3、a\* 值为 2.6、b\* 值为 10.7, 葵花籽蛋白由深灰色变为浅白色, 脱色效果显著, 其蛋白质含量和得率分别为 97.50% 和 8.50%。

### 参考文献:

- [1] 冷玉娟. 水酶法提取葵花籽油和葵花籽蛋白的回收[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2007.
- [2] TAHA F S, MOHAMED S S, WAGDY S M, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of enzymatic hydrolysis products from sunflower protein isolate[J]. World Appl Sci J, 2013, 21(5): 651-658.
- [3] SABIR M A, SOSULSKIF W, FINLAYSON A J. Chlorogenic

acid-protein interactions in sunflower[J]. J Agric Food Chem, 1974, 22(4): 575-578.

- [4] SCHERZE I, MUSCHIOLIK G. Effects of various whey protein hydrolysates on the emulsifying and surface properties of hydrolysed lecithin[J]. J Colloid Surface B, 2001, 21(1): 107-111.
- [5] 罗丰收. 葵花籽粕蛋白提取及其改性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [6] 彭友舜, 韩占霞, 李嘉明. 芦笋多糖活性炭法脱色工艺[J]. 河北科技师范学院学报, 2014, 28(2): 15-20.
- [7] 徐丹丹. 葵花籽绿原酸的提取及富集研究[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2015.
- [8] 年贺凤, 朱桂花, 韦萌萌, 等. 葡萄籽蛋白脱色试验研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(15): 14-18.
- [9] 杨旭, 谢盈. 茶渣硒蛋白的分离纯化及其性质研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 146-150.
- [10] 夏玮, 吕庆, 张文清, 等. 大孔吸附树脂脱色桑叶多糖的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(2): 141-144.
- [11] FU B Q, LIU J, LI H, et al. The application of macroporous resins in the separation of licorice flavonoids and glycyrrhizic acid[J]. J Chromatogr, 2005, 1089(1): 18-24.
- [12] PICKARDT C, GEORG M W, PETER E, et al. Processing of low polyphenol protein isolates from residues of sunflower seed oil production[J]. Proced Food Sci, 2011, 1: 1417-1424.
- [13] 武佳乐. 限制性酶解结合大孔树脂吸附脱色对葵花籽蛋白加工特性和结构的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.

(上接第 46 页)

1.5 mol/L 条件下优于碱溶酸沉法。亚麻籽蛋白中的谷氨酸含量最高, 双酶复合法和碱溶酸沉法提取的亚麻籽蛋白的谷氨酸含量分别为 10.793% 和 10.615%, 亚麻籽蛋白的氨基酸种类丰富, 且含有人体所需的 8 种必需氨基酸, 是一种非常优质的植物蛋白。

### 参考文献:

- [1] 张雪, 徐立群, 王庆峰, 等. 不同用途亚麻的研究进展[J]. 东北农业科学, 2018, 43(5): 16-20.
- [2] 许晖. 亚麻籽分离蛋白流变学特性的研究[J]. 中国食品学报, 2002, 2(4): 25-29.
- [3] 李轩领, 张炜, 陈亮. 亚麻籽饼粕中亚麻蛋白的初步泡沫分离[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(1): 55-61.
- [4] 施树. 胡麻分离蛋白的提取及其性质的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [5] 许晖, 郑桂富. 金属离子和 pH 对亚麻蛋白溶解性和持水性的影响[J]. 食品工业科技, 2003(4): 21-23.
- [6] 张慧君, 孙岩, 王丽娜. 响应面优化酶法提取亚麻粕蛋白的工艺研究[J]. 食品工业, 2013, 34(8): 67-70.

- [7] DEV D K, ERIKA Q, RUDOLF H. Nitrogen extractability and buffer capacity of defatted linseed (*Linum usitatissimum* L.) flour[J]. J Sci Food Agric, 1986, 37(2): 199-205.
- [8] 胡晓军, 李群, 许光映, 等. 亚麻籽中主要营养成分的分布研究[J]. 中国油脂, 2013, 37(12): 64-66.
- [9] SATHE S, DESHPANDE S, SALUNKHE D. Functional properties of lupinseed (*Lupinus mutabilis*) proteins and protein concentrates[J]. J Food Sci, 1982, 47(2): 491-497.
- [10] 张维农, 刘大川, 胡小泓. 花生蛋白产品功能特性的研究[J]. 中国油脂, 2002, 27(5): 60-65.
- [11] WU H W, WANG Q, MA T Z, et al. Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein[J]. Food Res Int, 2009, 42(3): 343-348.
- [12] 张泽生, 张兰, 徐慧, 等. 亚麻粕中亚麻胶的提取与纯化[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(9): 234-236.
- [13] 张薇. 超声波辅助双酶法提取米糠蛋白及其应用的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
- [14] 许光映, 胡晓军, 李群, 等. 亚麻分离蛋白提取工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(3): 45-48.