

蛋清卵黏蛋白提取工艺优化

宋绍琦^{1,2}, 郭晓徐¹, 刘恒洋¹, 尹玉鑫¹, 刘美玉^{1,2*}

(1. 河北工程大学 生命科学与食品工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 邯郸市天然产物与功能性食品开发重点实验室, 河北 邯郸 056038)

摘要: 卵黏蛋白是鸡蛋清中具有抗菌、降胆固醇及免疫活性的蛋白质。该文以新鲜鸡蛋清为原料, 通过盐析沉淀法和等电点法结合提取卵黏蛋白, 采用响应面法优化提取工艺。结果表明: 蛋清中提取卵黏蛋白的最佳工艺条件为 NaCl 溶液浓度 1.5 mol/L, 以 4 倍蛋清体积的 NaCl 溶液, 调节蛋清 pH 值至 5.5, 离心 40 min, 取沉淀重悬, 在上述相同离心条件下再次离心并冻干沉淀得到卵黏蛋白, 提取率为 54.48%, 纯度为 94.26%。

关键词: 鸡蛋清; 盐析沉淀法; 等电点沉淀; 卵黏蛋白; 提取率

Extraction Optimization of Ovalbumin Egg White

SONG Shaoqi^{1,2}, GUO Xiaoxu¹, LIU Hengyang¹, YIN Yuxin¹, LIU Meiyu^{1,2*}

(1. School of Life Sciences and Food Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China; 2. Handan Key Laboratory of Natural Products and Functional Food Development, Handan 056038, Hebei, China)

Abstract: Ovalbumin is a protein with antibacterial, cholesterol-lowering and immune activities in egg white. In this paper, Ovalbumin was extracted from fresh egg white by salting-out precipitation combined with isoelectric precipitation, and response surface methodology was employed to optimize the extraction process conditions. The results showed that the optimal process conditions for extracting ovalbumin from egg white were NaCl concentration 1.5 mol/L, the volume of NaCl solution four times that of egg white, and pH5.5. After centrifugation for 40 min, the precipitate was resuspended, and centrifuged again under the same centrifugation conditions and lyophilized to obtain ovalbumin. The extraction rate was 54.48% and the purity was 94.26%.

Key words: egg white; salting-out precipitation; isoelectric precipitation; ovalbumin; extraction rate

引文格式:

宋绍琦, 郭晓徐, 刘恒洋, 等. 蛋清卵黏蛋白提取工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(10): 150-156.

SONG Shaoqi, GUO Xiaoxu, LIU Hengyang, et al. Extraction Optimization of Ovalbumin Egg White[J]. Food Research and Development, 2024, 45(10): 150-156.

鸡蛋清中含有种类丰富的蛋白质^[1], 其中卵黏蛋白含量可达 3.5%^[2], 卵黏蛋白含有 α -亚基和 β -亚基, 是一种高度糖基化的糖蛋白^[3], 卵黏蛋白的物理形态呈纤维状, 在蛋清液及溶液中均具有较高的黏性, 是使浓厚蛋白得以维持组织状态的主要因素^[4], 具有防止蛋液起泡、抗菌、抑制肿瘤细胞、增殖及降低胆固醇等多种作用^[5], 在食品加工行业具有较高的实用价值。卵黏蛋白的分离方法有盐析沉淀法、凝胶电泳法、离子

交换色谱法以及等电点沉淀法等^[6], 其中等电点沉淀法较为常用^[7], 卵黏蛋白的等电点 (pI) 在 4.5~5.1 之间^[8], 该性质可用以分离纯化卵黏蛋白, 但是卵黏蛋白与卵白蛋白在 pI=5 处有交叉^[9-10], 仅通过等电点沉淀的方式在分离过程中易有其他杂蛋白的混入, 得到的卵黏蛋白纯度较低。卵黏蛋白分子质量高 (α_1 -卵黏蛋白、 α_2 -卵黏蛋白和 β -卵黏蛋白的分子量分别为 150、220 ku 和 400 ku)^[11], 适宜在加入盐溶液沉淀后用离心

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系建设专项资金 (HBCT2024260208); 河北省重点研发计划项目-农业高质量发展关键共性技术攻关专项 (19227127D); 邯郸市科技研究与发展计划项目 (21422012249)

作者简介: 宋绍琦 (1998—), 男 (汉), 硕士, 研究方向: 农产品精深加工及综合利用。

*通信作者: 刘美玉 (1968—), 女, 教授, 博士, 研究方向: 农产品精深加工。

沉淀法分离,故可以通过在分离提纯过程中添加一定量的无机盐溶液来降低卵黏蛋白的溶解度,以使其凝聚析出^[12],达到提高卵黏蛋白提取率的目的。本试验以鸡蛋清为原料,将传统盐析沉淀法与等电点法结合,研究不同 NaCl 溶液浓度、蛋清与 NaCl 溶液体积比、pH 值及离心时间对卵黏蛋白提取率的影响,以期对卵黏蛋白的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜鸡蛋:邯郸市复兴标准化养鸡场;氯化钠:鼎盛鑫化工有限公司;氢氧化钠:金汇太亚化学试剂有限公司;盐酸溶液:永华化学股份有限公司;乙二胺四乙酸(ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)标准溶液(0.2 mol/L):镇江市联丰环保化工有限公司;碳酸氢钠:无锡市晶科化工有限公司;透析袋(MD44-14000):美国杰普乐公司;cw2307 蛋白 marker:康为世纪生物科技股份有限公司;BSA 标准品(4 mg/mL):北京普利莱基因技术有限公司;考马斯亮蓝 G250:迪信泰检测科技(北京)有限公司。本试验所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

JJG-1036-2008 电子天平:东阳市英衡智能设备有限公司;ZNCL-BS180 恒温磁力搅拌器:上海越众仪器设备有限公司;PHS-3C 酸度计:杭州齐威仪器有限公司;LC-LR55C 冷冻离心机:湖南力辰仪器科技有限公司;YTLG-18E 真空冷冻干燥机:南京昕仪科技有限公司;NH16-8 酶联免疫分析仪:安徽宁怀仪器有限公司;DYCZ-28B 电泳仪:北京东南仪诚实验室设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 卵黏蛋白提取工艺

将新鲜鸡蛋洗净、晾干,打开鸡蛋,用分蛋器使蛋清和蛋黄分开,取蛋清称重,备用。配制不同浓度的氯化钠溶液,按照不同比例分别加入到蛋清中,搅拌均匀。分别取 100 mL 混合液于烧杯中,调节混合液 pH 值。在室温下用磁力搅拌器低速搅拌 1.5 h,并置于透析袋内透析 24 h,在 4 °C、3 500×g 条件下离心 40 min,离心后得到沉淀 A,将沉淀重悬于 0.5 mol/L 的盐溶液中,4 °C 条件下静置过夜,在 4 °C、3 500×g 离心条件下离心 40 min,得到沉淀,用蒸馏水洗 3 次,每次清洗后相同条件离心,将沉淀收集即为沉淀 B,冷冻干燥后得到白色干粉即为卵黏蛋白。

1.3.2 蛋白质含量的测定

用 BSA 蛋白标准液在 595 nm 波长处测得的吸光值绘制标准曲线。标准方程为 $y=0.010 4x+0.021 8$ ($R^2=0.995 9$)。将不同条件下分离得到的沉淀 B 在 595 nm 波长下测吸光值,通过标准曲线计算其中蛋白质的含量^[13-14]。

1.3.3 蛋白质纯度的测定

采用十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺(sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)凝胶电泳法^[15]测定卵黏蛋白纯度。使用 ImageJ 软件^[16]分析电泳图可得到反映各蛋白质条带密度的灰度曲线图,通过软件计算,转化曲线围成的面积得到对应蛋白质的纯度。

1.3.4 卵黏蛋白提取率的计算

称量所得干粉质量,按下式计算卵黏蛋白的提取率($X, \%$)。

$$X = \frac{W_1 \times A \times C}{W_2 \times D} \times 100$$

式中: W_1 为干燥后沉淀 B 的质量,mg; W_2 为蛋清原料质量,mg; A 为沉淀 B 中蛋白含量,mg; C 为沉淀 B 中卵黏蛋白纯度,mg; D 为原料蛋清液中卵黏蛋白的含量,mg。

1.3.5 单因素试验设计

在预试验基础上,分别选取 NaCl 溶液浓度、蛋清与 NaCl 溶液体积比、pH 值、离心时间为试验因素,以卵黏蛋白提取率为判断指标,研究不同因素对卵黏蛋白提取率的影响。称取 10 mL 蛋清至烧杯中,初始试验条件为蛋清与 NaCl 溶液体积比 1:4、离心时间 40 min、pH5.5。单因素试验设计如表 1 所示。

表 1 单因素试验水平

Table 1 Factors and levels of single factor experiment

水平	因素			
	NaCl 溶液浓度/ (mol/L)	离心时间/min	蛋清与 NaCl 溶液体积比	pH 值
1	0.5	10	1:1	4.5
2	1.0	20	1:2	5.0
3	1.5	30	1:3	5.5
4	2.0	40	1:4	6.0
5	2.5	50	1:5	6.5

1.3.6 响应面法优化鸡蛋清卵黏蛋白提取试验设计

在单因素的基础上,以 pH 值、NaCl 溶液浓度、蛋清与 NaCl 溶液体积比和离心时间为试验因素,以卵黏蛋白提取率为响应值,进行响应面优化试验。采用 Design-Expert 软件,进行 Box-Behnken 设计及响应面分析试验。试验因素水平见表 2。

表 2 Box-Behnken 试验因素及水平

Table 2 Factors and levels of Box-Behnken design

水平	因素			
	A NaCl 溶液浓度/ (mol/L)	B pH 值	C 蛋清与 NaCl 溶液体积比	D 离心 时间/min
-1	1.0	5.0	1:2	30
0	1.5	5.5	1:4	40
1	2.0	6.0	1:6	50

1.4 数据处理

所有试验均重复3次,将所得试验数据通过SPSS20软件进行统计计算,采用Origin2018软件绘图,运用Design-Expert进行方案设计及结果分析。

2 结果与分析

2.1 NaCl溶液浓度对卵黏蛋白提取率的影响

NaCl溶液浓度对卵黏蛋白提取率的影响见图1。

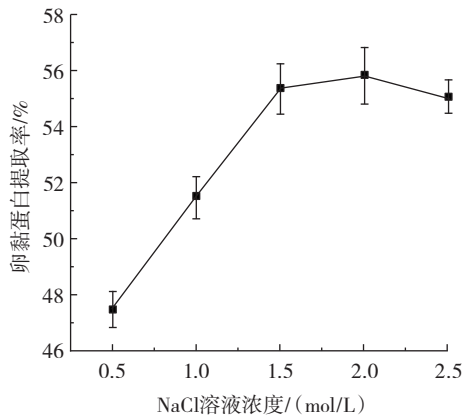


图1 NaCl溶液浓度对卵黏蛋白提取率的影响

Fig.1 Effect of NaCl concentration on the extraction rate of ovalbumin

由图1可知,添加NaCl溶液浓度的增加,卵黏蛋白的提取率也逐渐增大,当加入NaCl溶液的浓度超过1.5 mol/L,卵黏蛋白的提取率逐渐趋于平缓,NaCl溶液浓度继续增加,提取率不再明显增加,卵白蛋白和溶菌酶是目标蛋白质以外的最主要杂蛋白^[17],高浓度的NaCl会导致目标蛋白以外的杂蛋白沉淀,这是因为随着NaCl溶液浓度的提高,离子间的静电相互作用减弱,卵白蛋白易与卵黏蛋白共同沉淀^[18],从而导致最终产物中含有较多杂蛋白,因而综合考虑,1.5 mol/L为提取卵黏蛋白的最佳NaCl浓度。

2.2 pH值对卵黏蛋白提取率的影响

pH值对卵黏蛋白提取率的影响如图2所示。

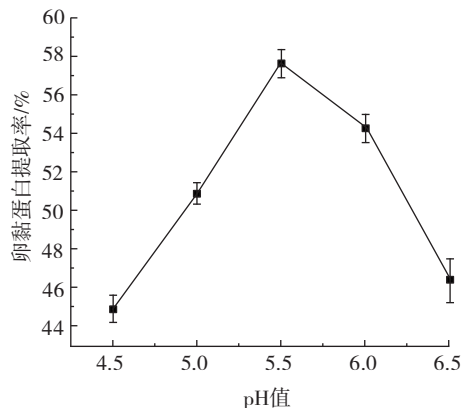


图2 pH值对卵黏蛋白提取率的影响

Fig.2 Effect of pH on the extraction rate of ovalbumin

由图2可知,随着pH值的增加,卵黏蛋白的提取率逐渐增大,当pH值达到5.5时,卵黏蛋白的提取率最高,之后再增加溶液的pH值,卵黏蛋白的提取率呈下降的趋势。在卵黏蛋白分离过程中,pH值比较高时,卵黏蛋白胶体之间的静电斥力降低,溶剂与蛋白质的相互作用降低,蛋白质表面的疏水基团出现,蛋白质分子周围水分子减少,卵黏蛋白沉淀析出^[19]。卵黏蛋白的等电点在4.5~5.0之间,pH值大于5的环境可以使得卵黏蛋白充分沉淀,而蛋清中的溶菌酶以及卵转铁蛋白的等电点均在6.5以上^[20],在pH值为6.5以下的环境中难以沉淀。过高的pH值在提升蛋白质沉淀效果的同时会导致最终产物中杂质的增加。因此综合考虑,pH5.5为提取卵黏蛋白的最佳参数。

2.3 蛋清与NaCl溶液体积比对卵黏蛋白提取率的影响

蛋清与NaCl溶液体积比对卵黏蛋白提取率的影响如图3所示。

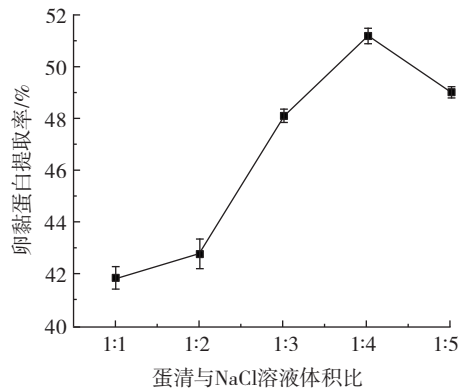


图3 蛋清与NaCl溶液体积比对卵黏蛋白提取率的影响

Fig.3 Effect of egg white-NaCl ratio on the extraction rate of ovalbumin

由图3可知,随着NaCl溶液体积占比的增加,卵黏蛋白的提取率逐渐增大,当蛋清与NaCl溶液体积比达到1:4时,卵黏蛋白的提取率达到最大,之后继续增加NaCl溶液体积占比,卵黏蛋白的提取率有下降的趋势。在卵黏蛋白沉淀分离过程中,过低的NaCl溶液体积占比易使反应体系达到饱和状态,这是由溶剂减少、反应物的浓度过高导致^[21],此时不利于卵黏蛋白的有效分离,因为蛋清液具有较明显的凝胶性,随着蛋清液中水分含量的增多(即蛋清与NaCl溶液体积比的增大)及空气的进入,整个体系的起泡性也会随之增强^[22],从而影响到反应的进行并使反应时间延长。因此,刚开始时卵黏蛋白的提取率随着NaCl溶液体积占比的增加而增加但趋势较缓。NaCl溶液体积占比太大会在增加成本的同时导致其余杂蛋白的析出。因此综合考虑,蛋清与NaCl溶液体积比1:4为提取卵黏蛋白的最佳参数。

2.4 离心时间对卵黏蛋白提取率的影响

离心时间对卵黏蛋白提取率的影响如图4所示。

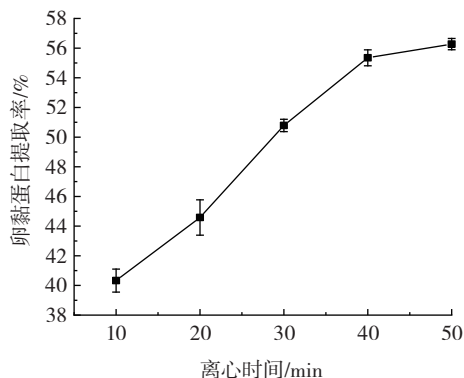


图4 离心时间对卵黏蛋白提取率的影响

Fig.4 Effect of centrifugation time on the extraction rate of ovalbumin

由图4可知,随着离心时间的延长,卵黏蛋白的提取率逐渐增大,当离心时间达到40 min时,卵黏蛋白的提取率达到较高值,之后再延长离心时间,卵黏蛋白的提取率增加趋势逐渐平缓。根据试验结果可知,离心时间延长,卵黏蛋白的分离效果会随之变好,但是综合考虑成本问题,离心时间控制在40 min为最佳。

2.5 响应面分析

2.5.1 模型的建立及显著性检验

Box-Behnken 试验设计方案及结果见表3。

表3 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 3 Box-Behnken design and results

试验号	A	B	C	D	提取率/%
1	-1	0	1	0	43.85
2	-1	-1	0	0	45.73
3	1	0	0	1	45.24
4	0	0	0	0	54.32
5	0	1	0	1	45.56
6	0	-1	0	1	46.54
7	0	-1	0	-1	44.40
8	0	1	1	0	46.96
9	0	0	1	-1	46.91
10	-1	1	0	0	46.15
11	0	0	0	0	54.49
12	0	0	-1	1	47.11
13	0	0	-1	-1	44.52
14	0	1	0	-1	48.25
15	1	0	-1	0	43.22
16	1	0	1	0	46.48
17	-1	0	0	1	45.85
18	-1	0	-1	0	47.51
19	1	-1	0	0	44.73
20	0	0	1	1	44.53
21	0	0	0	0	54.51
22	0	0	0	0	54.61
23	0	-1	1	0	43.84
24	0	-1	-1	0	46.13
25	-1	0	0	-1	46.41
26	1	0	0	-1	45.54
27	1	1	0	0	46.22
28	0	0	0	0	54.44
29	0	1	-1	0	45.63

利用 Design-Expert 软件对表3 试验数据进行二次多元回归拟合,得到鸡蛋清中卵黏蛋白提取率(Y)与 NaCl 溶液浓度(A)、pH 值(B)、蛋清与 NaCl 溶液体积比(C)、离心时间(D)4 个因素的二次多项式回归模型为 $Y=54.48-0.34A+0.662B-0.13C-0.1D+0.27AB+1.73AC+0.065AD+0.9BC-1.21BD-1.24CD-4.59A^2-4.19B^2-4.62C^2-4.1D^2$ 。方差分析见表4。

表4 响应面试验方差分析

Table 4 Analysis of variance for response surface methodology

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
A	1.38	1	1.38	40.44	<0.000 1	**
B	4.56	1	4.56	133.67	<0.000 1	**
C	0.2	1	0.2	5.86	0.029 6	
D	0.12	1	0.12	3.52	0.081 8	
AB	0.29	1	0.29	8.38	0.011 7	
AC	11.97	1	11.97	350.67	<0.000 1	**
AD	0.017	1	0.017	0.5	0.493 2	
BC	3.28	1	3.28	95.96	<0.000 1	**
BD	5.83	1	5.83	170.84	<0.000 1	**
CD	6.18	1	6.18	180.89	<0.000 1	**
A ²	136.78	1	136.78	4 006.48	<0.000 1	**
B ²	113.92	1	113.92	3 336.9	<0.000 1	**
C ²	138.57	1	138.57	4 059	<0.000 1	**
D ²	109.08	1	109.08	3 195.11	<0.000 1	**
模型	352.57	14	25.18	737.68	<0.000 1	**
残差	0.48	14	0.034			
失拟项	0.43	10	0.043	3.86	0.102 6	
纯误差	0.045	4	0.011			
总和	353.05	28				

注:**表示影响极显著, $P<0.01$ 。

由表4 可以看出,模型 $P<0.01$,表明回归模型达到极显著水平,失拟项 $P=0.102 6>0.05$,表明模型失拟项不显著。模型的 $R^2=0.998 6$,表明该模型与实际拟合较好,可以用此模型来分析和预测盐析沉淀法提取蛋清中卵黏蛋白的工艺参数。方差分析结果显示,A、B、AC、BC、BD、CD、A²、B²、C²、D² 达到极显著水平,由 F 值可知,各因素对卵黏蛋白提取率的影响次序为 pH 值> NaCl 溶液浓度>蛋清与 NaCl 溶液体积比>离心时间。

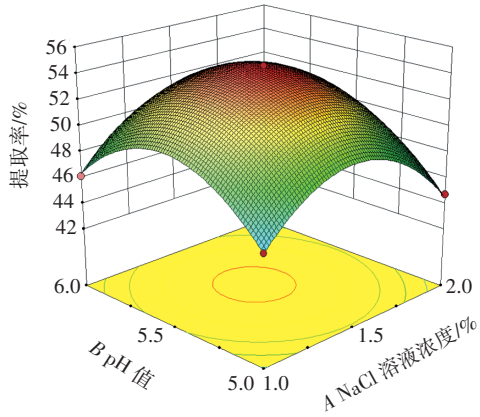
2.5.2 各因素的交互作用对卵黏蛋白提取率的影响

各因素交互作用的响应曲面及等高线图见图5。

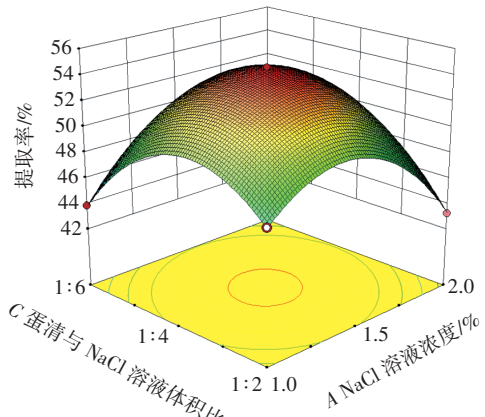
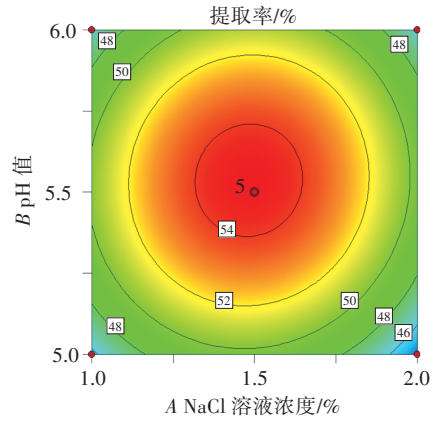
通过 Design Expert 软件分析得到,盐析沉淀法提取鸡蛋清中卵黏蛋白的最佳工艺条件为 NaCl 溶液浓度 1.48 mol/L、蛋清与 NaCl 溶液体积比 1: 3.98、pH5.54、离心时间 39.78 min,该最佳工艺条件下,卵黏蛋白提取率的预测值为 54.51%。

2.5.3 验证试验

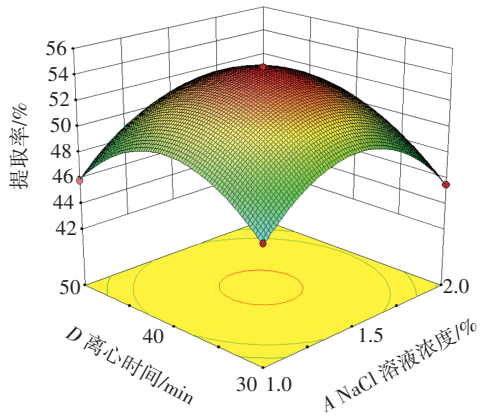
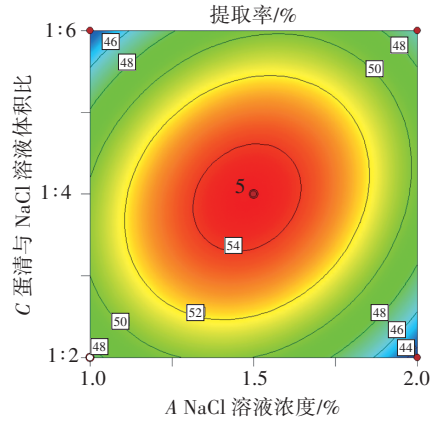
考虑到实际生产及可操作性,将最优工艺参数调整为 NaCl 溶液浓度 1.5 mol/L、蛋清与 NaCl 溶液体积



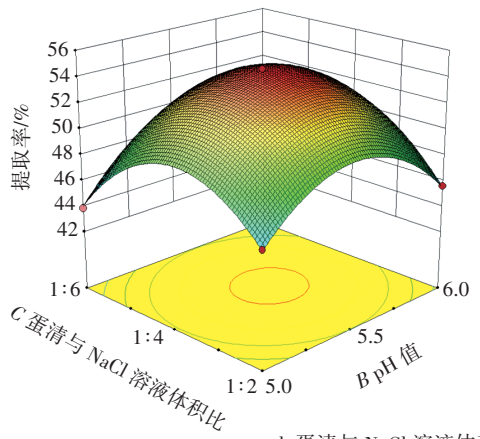
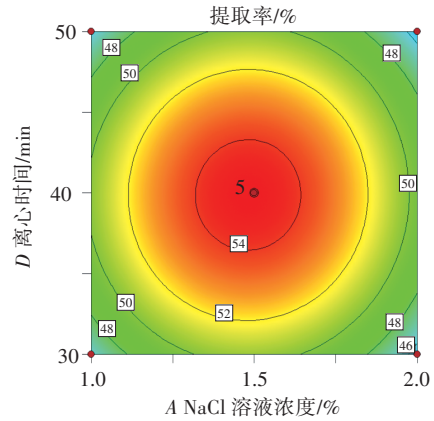
a. NaCl 溶液浓度与 pH 值的交互作用响应面与等高线



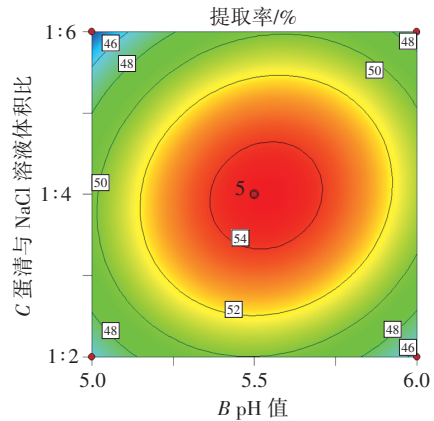
b. NaCl 溶液浓度与蛋清与 NaCl 溶液体积比的交互作用响应面与等高线



c. NaCl 溶液浓度与离心时间的交互作用响应面与等高线



d. 蛋清与 NaCl 溶液体积比和 pH 值的交互作用响应面与等高线



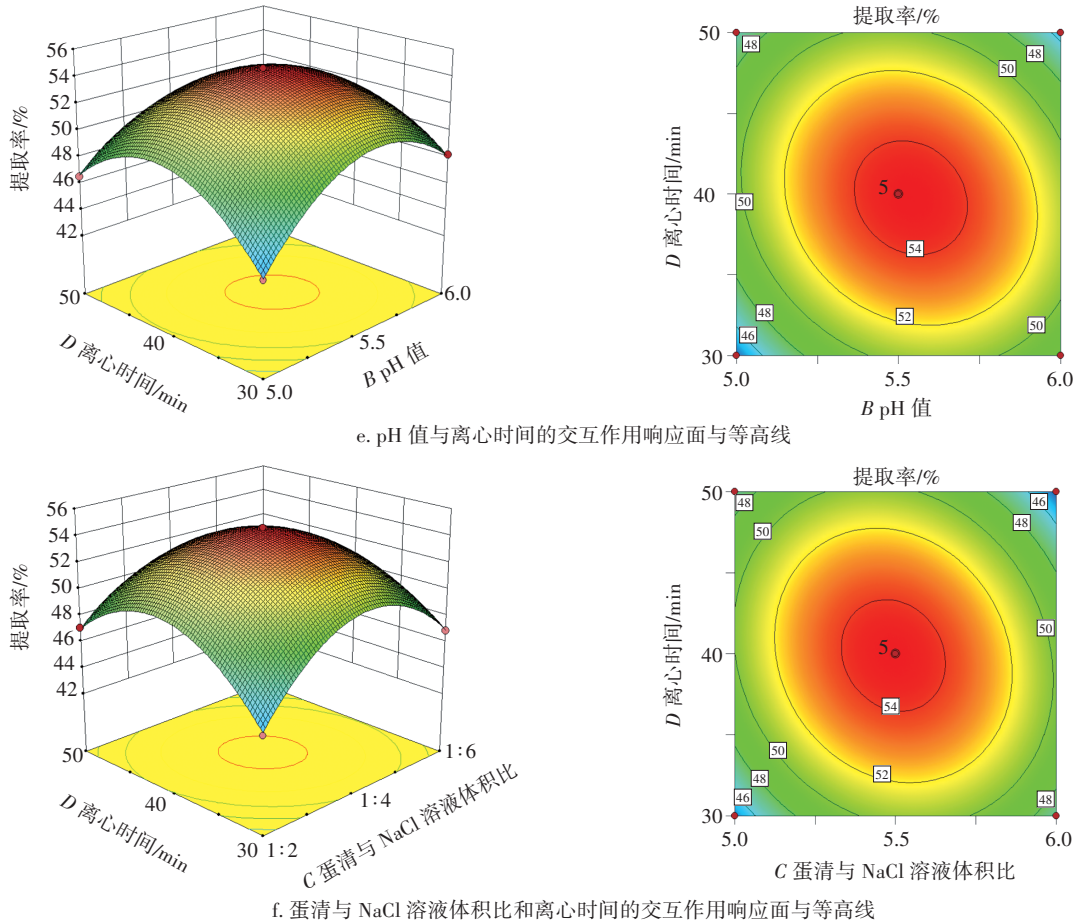


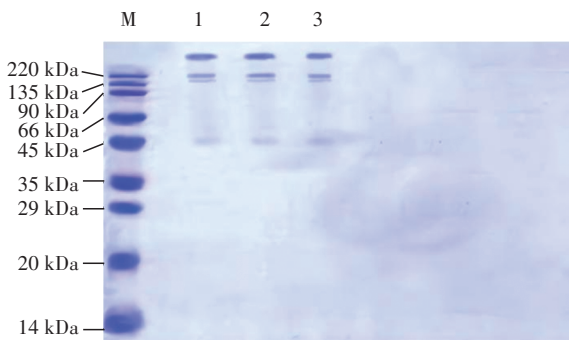
图5 两因素交互作用的响应曲面及等高线

Fig.5 Response surface and contour plots of interaction between factors

比 1:4、pH5.5、离心时间 40 min。为了验证预测结果，按优化后工艺参数进行 3 次重复验证试验，计算提取率平均值，结果表明在此条件下，卵黏蛋白的提取率为 54.48%，与预测值 54.51% 基本相符，拟合度较好，相对误差为 0.06% (<5%)，表明响应面法得到的卵黏蛋白工艺参数较为准确，具有较高的可靠性。

2.5.4 卵黏蛋白纯度测定结果分析

对分离后的沉淀 B 进行 SDS-PAGE，结果如图 6 所示。



M. 蛋白 marker; 1. 第 1 次验证试验样品; 2. 第 2 次验证试验样品; 3. 第 3 次验证试验样品。

图6 沉淀 B SDS-PAGE 图谱

Fig.6 SDS-PAGE of the precipitate B

由图 6 可知，泳道 1、2、3 中均含有 4 条可见条带，其中 3 条较为明显，对比蛋白分子量 marker 可知，3 条明显条带所对应的蛋白质与目前已知的卵黏蛋白分子量大小一致 (β -卵黏蛋白为 400 ku, α_2 -卵黏蛋白为 220 ku, α_1 -卵黏蛋白为 150 ku)，因此可以判断较为明显的 3 条条带分别为 α_1 -卵黏蛋白、 α_2 -卵黏蛋白与 β -卵黏蛋白，而较为不明显的条带分子量在 45 ku 左右，判断为卵白蛋白^[23]，这是因为 pH5.5 的环境下导致了少量卵白蛋白的沉淀。

使用 ImageJ 软件分析，通过蛋白质条带所在位置的曲线围成的面积得出其密度值，根据密度值来计算，3 次验证试验所得到的卵黏蛋白的平均纯度为 94.26%。因此，采用盐析和等电点法相结合的方法能从蛋清中提取高纯度的卵黏蛋白。

3 结论

本试验采用 Box-Behnken 设计，建立盐析法与等电点沉淀法结合提取鸡蛋清中卵黏蛋白工艺参数的二次多项式数学模型，经检验该模型具备合理性，能够较好地预测卵黏蛋白的提取率。在利用该方法提取鸡蛋清中卵黏蛋白的过程中，各因素对卵黏蛋白提取率影

响主次顺序依次为 pH 值>NaCl 溶液浓度>蛋清与 NaCl 溶液体积比>离心时间。在 pH5.5、NaCl 溶液浓度 1.5 mol/L、蛋清与 NaCl 溶液体积比 1:4、离心时间 40 min 的条件下,卵黏蛋白的提取率为 54.48%,纯度为 94.26%。试验证明,本方法操作条件温和、简便易实施、成本低,适用于卵黏蛋白的分离提取。

参考文献:

- [1] 范培茹. 用于蛋白组学的新型固定化酶反应器的制备及研究[D]. 天津: 天津医科大学, 2020.
FAN Peiru. Preparation and study of novel immobilized enzyme reactors for proteomics[D]. Tianjin: Tianjin Medical University, 2020.
- [2] BELCHIORI C V, FREIREM G. Simultaneous separation of egg white proteins using aqueous three-phase partitioning systems[J]. Journal of Molecular Liquids, 2021, 336: 116245.
- [3] 张淞源, 任健, 孙晓宏. 卵粘蛋白及其水解物生物活性的研究进展及展望[J]. 中国家禽, 2018, 40(24): 45-50.
ZHANG Songyuan, REN Jian, SUN Xiaohong. Biological activities of egg white ovomucin and its hydrolysates: Progresses and perspectives[J]. China Poultry, 2018, 40(24): 45-50.
- [4] 王晓翠, 武书庚, 岳洪源, 等. 卵黏蛋白: 结构组成、理化性质、在浓蛋白液化中的作用及营养调控[J]. 动物营养学报, 2015, 27(2): 327-333.
WANG Xiaocui, WU Shugeng, YUE Hongyuan, et al. Ovomucin: Structure composition, physicochemical properties, the role in egg white thinning and nutritional modulation[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(2): 327-333.
- [5] 于志鹏, 赵文竹, 刘静波. 鸡蛋清中功能蛋白及活性肽的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 387-391.
YU Zhipeng, ZHAO Wenzhu, LIU Jingbo. Progress in the functional proteins and bioactive peptides of hen egg white[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(7): 387-391.
- [6] 贺娟妮, 陈卫刚. 鸡蛋中蛋白质的分离纯化研究进展[J]. 内江科技, 2018, 39(3): 126.
HE Juanni, CHEN Weigang. Research progress on separation and purification of protein from eggs[J]. NeiJiang Science & Technology, 2018, 39(3): 126.
- [7] 金永国, 郑彩燕, 马美湖. 卵转铁蛋白和卵白蛋白相互作用研究[J]. 食品工业, 2016, 37(11): 89-94.
JIN Yongguo, ZHENG Caiyan, MA Meihu. The study of interaction between egg white ovotransferrin and ovalbumin[J]. The Food Industry, 2016, 37(11): 89-94.
- [8] ABEYRATHNE E D N S, LEE H Y, HAM J S, et al. Separation of ovotransferrin from chicken egg white without using organic solvents[J]. Poultry Science, 2013, 92(4): 1091-1097.
- [9] GENG F, XIE Y X, WANG J Q, et al. Large-scale purification of ovalbumin using polyethylene glycol precipitation and isoelectric precipitation[J]. Poultry Science, 2019, 98(3): 1545-1550.
- [10] 袁角建, 熊江花, 杨安树, 等. 色谱法在鸡蛋清主要过敏原分离纯化中研究进展[J]. 食品科技, 2012, 37(6): 80-83, 88.
YUAN Jiaojian, XIONG Jianghua, YANG Anshu, et al. Research advances of chromatographic techniques in isolation and purification of main allergens in egg[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(6): 80-83, 88.
- [11] OFFENGENDEN M. N-glycosylation and gelling properties of ovomucin from egg white[D]. Edmonton: University of Alberta, 2011.
- [12] 金秋阳, 刘鑫宇, 胡晶红. 蛋白质的提取、分离与纯化研究进展[J]. 山东化工, 2017, 46(14): 35-38.
JIN Qiuyang, LIU Xinyu, HU Jinghong. Research progress on extraction, separation and purification of protein[J]. Shandong Chemical Industry, 2017, 46(14): 35-38.
- [13] 徐小鸽, 张明奇. 食品中蛋白质快速检测技术分析[J]. 现代食品, 2022, 28(3): 92-94.
XU Xiaoge, ZHANG Mingqi. Analysis of rapid detection technology of protein in food[J]. Modern Food, 2022, 28(3): 92-94.
- [14] 王芳, 包怡红, 于震. 食品中蛋白质快速检测技术的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 372-375.
WANG Fang, BAO Yihong, YU Zhen. Study on rapid determination of protein in food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(11): 372-375.
- [15] 李建武, 萧能庚, 于瑞元, 等. 生物化学实验原理和方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 1994.
LI Jianwu, XIAO Nenggeng, YU Ruiyuan, et al. Principles and methods of biochemical experiments[M]. Beijing: Peking University Press, 1994.
- [16] ABEYRATHNE E D N S, LEE H Y, AHN D U. Sequential separation of lysozyme, ovomucin, ovotransferrin, and ovalbumin from egg white[J]. Poultry Science, 2014, 93(4): 1001-1009.
- [17] LI Z, HUANG X, TANG Q Y, et al. Functional properties and extraction techniques of chicken egg white proteins[J]. Foods, 2022, 11(16): 2434.
- [18] 单媛媛. 鸡蛋清卵粘蛋白的纯化、增溶及抗感染活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
SHAN Yuanyuan. Research on the preparation, solubility enhancement and anti-infection of ovomucin from hen egg[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [19] 张立斌, 陈小侠, 吴汉东. 鸡蛋清卵黏蛋白分离工艺研究[J]. 饲料研究, 2017(5): 27-29, 43.
ZHANG Libin, CHEN Xiaoxia, WU Handong. Study on separation technology of ovalbumin from egg white[J]. Feed Research, 2017(5): 27-29, 43.
- [20] WU J P, ACERO-LOPEZ A. Ovotransferrin: Structure, bioactivities, and preparation[J]. Food Research International, 2012, 46(2): 480-487.
- [21] 陶鑫. 脱盐低水解度蛋清肽粉制备及其功能性质研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019.
TAO Xin. Preparation and functional properties of desalted low-hydrolysis egg white peptide powder[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019.
- [22] 迟玉杰, 赵英, 毋引子. 鸡蛋蛋清液起泡性的研究[J]. 中国家禽, 2017, 39(3): 1-5.
CHI Yujie, ZHAO Ying, WU Yinzi. Study on foaming property of egg white liquid[J]. China Poultry, 2017, 39(3): 1-5.
- [23] 赵笑蕾. 物理改性对卵白蛋白理化性质及其 ACE 抑制活性的影响[D]. 柳州: 广西科技大学, 2020.
ZHAO Xiaolei. Effect of physical modification on the physicochemical properties and ACE inhibitory activity of ovalbumin[D]. Liuzhou: Guangxi University of Science and Technology, 2020.