

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.01.011

张相风, 郭兴凤, 张倩, 等. 醇法加工花生蛋白功能特性及组成研究[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(1): 113-120.

ZHANG X F, GUO X F, ZHANG Q, et al. Effect of ethanol processing on functional properties and composition of peanut proteins[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(1): 113-120

# 醇法加工花生蛋白功能特性 及组成研究

张相风<sup>1</sup>, 郭兴凤<sup>1</sup>✉, 张倩<sup>1</sup>, 朱婷伟<sup>1</sup>, 赵树超<sup>2</sup>, 张明<sup>3</sup>, 林凤岩<sup>3</sup>

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450000;

2. 山东凯斯达机械制造有限公司, 山东 济宁 272000;

3. 济宁市机械设计研究院, 山东 济宁 272000)

**摘要:** 不同醇法条件制备的花生蛋白品质不同, 导致蛋白性质出现差异, 产品的功能特性与用途发生改变。以花生粕为原料, 采用响应面法以产品得率为指标, 优化条件为: 体积分数75.00%、浸提温度35.00℃、浸提时间55.45 min, 该条件下产品得率87.82%, 蛋白含量58.02% (D1蛋白)。以蛋白含量为指标, 优化条件为: 体积分数67.12%、浸提温度42.02℃、浸提时间58.28 min, 此时产品得率86.08%, 蛋白含量61.10% (D2蛋白)。与对照组花生粕 (CP) 相比, D1、D2的蛋白含量分别提高5.72%、8.80%, 乳化性、起泡性、持水性、持油性及凝胶性提高; D1、D2蛋白产品粒径减小, 溶于水溶液中的清蛋白、伴花生球蛋白I含量增加, 表面疏水性增加, 界面张力下降, 花生蛋白的功能特性改变。

**关键词:** 花生蛋白; 醇法提取; 响应面法; 功能特性; 组分

中图分类号: TS210.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)01-0113-08

网络首发时间: 2024-12-02 10:15:14

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20241129.1503.002>

## Effect of Ethanol Processing on Functional Properties and Composition of Peanut Proteins

ZHANG Xiang-feng<sup>1</sup>, GUO Xing-feng<sup>1</sup>✉, ZHANG Qian<sup>1</sup>, ZHU Ting-wei<sup>1</sup>, ZHAO Shu-chao<sup>2</sup>,  
ZHANG Ming<sup>3</sup>, LIN Feng-yan<sup>3</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450000, China; 2. Shandong Kestar Machinery Manufacturing Co., Jining, Shandong 272000, China; 3. Jining Machinery Design Institute, Jining, Shandong 272000, China)

**Abstract:** The quality of peanut protein prepared under different ethanol processing conditions varies,

收稿日期: 2024-06-12; 修回日期: 2024-07-11; 录用日期: 2024-07-12

基金项目: 国家重点研发计划“食品关键配料生物制造技术研究及应用示范”(2022YFD2101400)

Supported by: National Key Research and Development Project of China "Research and Application Demonstration of Biomanufacturing Technologies for Key Food Ingredients"(No. 2022YFD2101400)

第一作者: 张相风, 女, 1999年出生, 硕士, 研究方向为蛋白质资源开发与利用, E-mail: zxf2021@163.com

通信作者: 郭兴凤, 女, 1964年出生, 硕士, 教授, 研究方向为蛋白质资源开发与利用, E-mail: guoxingfeng@haut.edu.cn

leading to differences in protein properties and subsequently in the functional characteristics and applications of the protein products. Response surface methodology was employed to optimize the preparation conditions and analyze the functional properties of the peanut proteins. The protein optimized for product yield, designated as D1, was obtained under the conditions of 75.00% volume fraction, 35.00 °C extraction temperature, and 55.45 min extraction time, resulting in a product yield of 87.82% and a protein content of 58.02%. The protein optimized for protein content, designated as D2, was prepared with a 67.12% volume fraction, 42.02 °C extraction temperature, and 58.28 min extraction time, achieving a protein content of 61.10% and a product yield of 86.08%. Compared with control peanut (CP), the protein content of D1 and D2 increased by 5.72% and 8.80% respectively. Improvements were observed in foaming capacity, emulsifying properties, water and oil retention, and gel-forming abilities. The particle size of D1 and D2 protein products was reduced, while the contents of albumin and conarachin dissolved in water increased. Additionally, surface hydrophobicity increased, and interfacial tension decreased, leading to significant improvements in the functional properties of peanut proteins.

**Key words:** peanut protein; ethanol extraction; response surface; functional characteristics; components

花生榨油后的饼粕中含大量优质花生蛋白，花生蛋白在食品行业中有广泛的应用，其营养价值高，与动物蛋白相近且不含胆固醇<sup>[1]</sup>。刘玉兰等<sup>[2]</sup>分别以醇法浓缩蛋白和花生粕为蛋白源制备合成饲料饲喂大鼠，结果显示浓缩蛋白的营养生理学综合指标和抗动脉粥样硬化指数都高于花生粕，说明醇法浓缩花生蛋白可以作为一种优质的蛋白源应用在蛋白产品中。

醇浸出法生产浓缩蛋白是利用乙醇溶液去除原料中可溶性的糖、灰分等物质，从而提高产品蛋白含量<sup>[3]</sup>。研究表明醇法浓缩花生蛋白的一些食品功能特性得到明显改善，在肉灌肠和面制品中应用良好<sup>[4]</sup>。Wu在研究中发现与等电点沉淀法相比，醇法制备的花生蛋白具有更好的持水及持油能力，醇法联合等电点沉淀法制备的花生蛋白具有更好的凝胶性质<sup>[5]</sup>。醇法浓缩花生蛋白乳化和起泡性的研究较少。Yang在研究中发现花生蛋白的发泡和乳化能力可能与清蛋白留存量有关<sup>[6]</sup>。目前较多研究只表明了醇法浓缩花生蛋白功能特性的变化结果，其功能-结构关系尚未受到太多关注且功能-结构方面的变化还有待深入了解。因此本研究采用响应面方法优化醇法加工花生蛋白的制备条件，并探究优化后的花生蛋白功能特性及结构的变化与联系，以期对花生蛋白食品应用拓展思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

脱脂花生粕 (Control peanut, CP)，蛋白含量 (51.13±0.15) % (湿基, N×6.25)，油脂含量 (0.75±0.25) %，可溶性糖含量 (12.21±0.79) %，粗纤维含量 (24.10±1.10) %；青岛长寿食品有限公司低温压榨花生饼索氏抽提脱脂制备；一级大豆油：益海嘉里金龙鱼食品集团股份有限公司；14.4~97.4 kDa 分子量 marker：上海源叶生物科技有限公司；其它化学试剂均为分析纯：乙醇、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、酒石酸钾钠、十二烷基硫酸钠、溴酚蓝、巯基乙醇、硫酸铜、甘油等。

### 1.2 仪器与设备

722s 可见分光光度计：上海精密科学仪器有限公司；K1160全自动凯氏定氮仪：海能未来技术集团股份有限公司；DSA25接触角仪：德国克吕士仪器公司；FL970 Plus 荧光分光光度计：中国科学仪器有限公司；TA-XT Plus 质构仪：英国 Stable micro System 公司；HH-6 数显恒温水浴锅：常州普天仪器制造有限公司；DYCZ-24DH 电泳仪：北京六一生物科技有限公司；BIO-RAD 凝胶成像分析仪：上海艾研生物科技有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 醇法加工花生蛋白的提取

取脱脂花生粕，按料液比 1: 6 (w/v) 加入乙

醇溶液, 恒温型水浴锅控温 (25 °C、30 °C、35 °C、40 °C、45 °C) 搅拌, 真空抽滤, 固形物常温放置 24 h, 得花生蛋白产品 (湿基)。产品得率表示为花生蛋白产品质量占原料质量的百分比, 蛋白提取率表示为蛋白产品中蛋白质量占原料中蛋白质量的百分比。

### 1.3.2 功能特性测定

**溶解性:** 可溶性蛋白含量 (蛋白含量测定采用双缩脲方法) 占样品中总蛋白含量的百分比。

**乳化性:** 参考 Mina Tirgar<sup>[7]</sup> 的方法并改进, 称取花生蛋白 0.15 g (按蛋白计), 11 000 r/min 高速剪切 30 s, 5 000 r/min 离心, 记录乳化层高度及管中液体总高度, 乳化性为离心管中乳化层高度与液体高度之比 (%)。将离心管置于 80 °C 水浴中加热 30 min, 再冷却至室温, 按上述步骤测定, 乳化稳定性为管中乳化层高度与液体高度之比 (%)。

**起泡性:** 参考杨柳等<sup>[8]</sup> 的方法。配制 20 mg/mL 花生蛋白溶液 (按蛋白计), 剪切后记录泡沫体积  $V_1$ ; 室温条件下静置 30 min, 再次记录泡沫体积  $V_2$ , 花生蛋白起泡性及泡沫稳定性按照下列公式计算:

$$\text{起泡性}(\%) = \frac{V_1}{V_0} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

$$\text{泡沫稳定性}(\%) = \frac{V_2}{V_0} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

**持水性/持油性:** 参考赵雪淞<sup>[9]</sup> 的方法, 持水性/持油性为每克花生蛋白产品吸收水/油的质量 (g/g)。

**凝胶性:** 参考孟小波<sup>[10]</sup> 的方法, 以凝胶硬度作为凝胶性的评价指标。

### 1.3.3 蛋白组分测定

**SDS-PAGE (十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳):** 将花生蛋白与还原性样品缓冲液 (pH 6.8 Tris-HCl 溶液, 内含 0.5% 溴酚蓝、10% SDS (十二烷基硫酸钠)、 $\beta$ -巯基乙醇、甘油、水等) 混合, 配置蛋白含量为 5 mg/mL 的溶液, 进行电泳, 用凝胶成像分析仪进行扫描, 用 Image 进行灰度分析<sup>[11]</sup>。

### 1.3.4 粒径测定

配置蛋白浓度为 0.1 mg/mL 的溶液进行粒径

测定<sup>[12]</sup>。

### 1.3.5 表面疏水性测定

将 0.1 g 花生蛋白产品压片, 测定接触角, 表征花生蛋白疏水性。

### 1.3.6 界面张力测定

配制蛋白浓度 2% (w/v, 按蛋白计) 的溶液, 混匀后利用接触角仪器悬滴法进行气-液界面张力以及油-水界面张力的测定。

## 1.4 数据处理

每组数据至少重复测定 3 次, 采用 Origin 9.0 等软件进行数据统计和处理, 差异显著性检验采用 Duncan 多重比较法。

## 2 结果与分析

### 2.1 醇法加工花生蛋白的提取条件优化

#### 2.1.1 提取条件对浸提效果的影响

醇法提取条件对花生蛋白浸提效果的影响如图 1 所示。由图 1 (a) 可知, 花生蛋白产品得率在 55%~95% 体积分数范围内逐渐升高, 体积分数为 65% 时蛋白含量最高, 为 57.29%; 蛋白提取率在 55%~95% 体积分数范围内先升高后降低, 其中在体积分数为 65%~85% 时无显著性差异。

由图 1 (b) 可知, 花生蛋白在 25~45 °C 随温度升高产品得率逐渐降低, 蛋白含量逐渐升高, 蛋白提取率在 40 °C 最高, 为 96.06%。

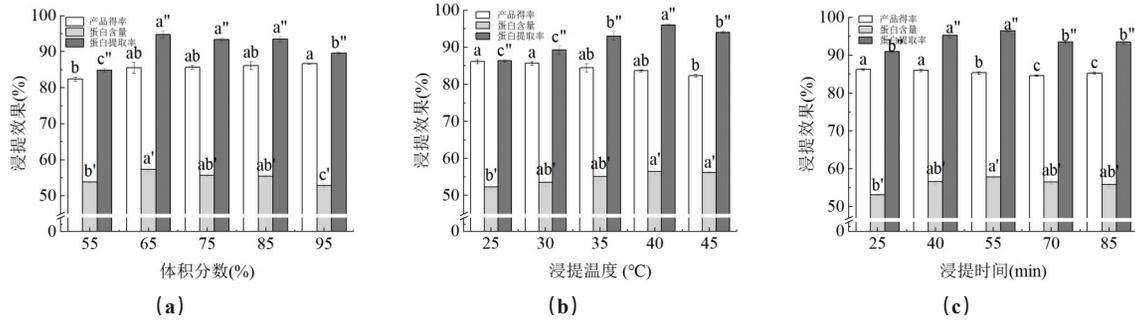
随着浸提时间的延长, 在 25~85 min 范围内, 花生蛋白产品得率从 86.23% 降低至 84.57%, 蛋白提取率先升高后降低, 蛋白含量在浸提时间为 55 min 最高, 为 57.81% (图 1 c)。

#### 2.1.2 响应面方法优化提取条件

因研究过程中发现蛋白提取率可由产品得率与蛋白含量公式推导, 花生蛋白提取率与蛋白含量受因素影响的趋势一致, 故在单因素实验基础上, 以体积分数 (A)、浸提温度 (B)、浸提时间 (C) 为响应因子, 以蛋白含量、产品得率为指标采用 Box-Behnken 响应面法优化醇法加工条件。

表 1 为响应面实验设计及结果, 表 2 为产品得率及蛋白含量响应面回归模型的方差分析。

产品得率模型回归方程:  $S_1=148.873 51-0.456$



注：(a)浸提温度40℃,浸提时间60min;(b)体积分数65%,浸提时间60min;(c)体积分数65%,浸提温度40℃。含不同小写字母表示浸提效果差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Notes: (a)extraction temperature: 40℃,extraction time: 60 min;(b)volume fraction: 65%,extraction time: 60 min;(c) volume fraction: 65%,extraction temperature: 40℃. Different lowercase letters indicates significant difference in extraction effect ( $P<0.05$ ), the same as below.

图1 醇法加工对花生蛋白浸提效果的影响

Fig.1 Effect of ethanol processing on extraction of peanut protein

$$58 \times A - 2.658 \quad 17 \times B + 0.158 \quad 11 \times C + 0.007 \quad 75 \times AB + 0.000$$

$$13 \times AC - 0.001 \quad 93 \times BC + 0.001 \quad 74 \times A^2 + 0.027 \quad 15 \times B^2 -$$

$$0.009 \quad 05 \times C^2;$$

蛋白含量模型回归方程： $S_2 = -104.646 \quad 25 + 2.620 \quad 92 \times A + 3.012 \quad 50 \times B + 0.496 \quad 00 \times C + 0.011 \quad 45 \times AB + 0.000 \quad 78 \times AC + 0.002 \quad 20 \times BC - 0.023 \quad 45 \times A^2 - 0.046 \quad 50 \times B^2 - 0.005 \quad 50 \times C^2$ 。

两个模型 $P<0.01$ ,且模型失拟项不显著,模

型拟合良好。以产品得率为指标得到的优化条件为：体积分数75.00%，浸提温度35.00℃，浸提时间55.45min，产品得率为87.82%，此时蛋白含量是58.02% (D1)；以蛋白含量为指标得到的优化条件为：体积分数67.12%，浸提温度42.02℃，浸提时间58.28min，得到产品的蛋白含量为61.10%，此时产品得率为86.08% (D2)。

表1 响应面试验设计及结果

Table 1 Design and results of response surface test

序号	体积分数 A/%	浸提温度 B/°C	浸提时间 C/min	产品得率 $S_1$ /%	蛋白含量 $S_2$ /%
1	65	35	70	86.97	57.81
2	75	45	55	87.80	59.24
3	55	40	40	85.30	56.28
4	55	45	55	85.17	56.55
5	65	45	70	85.60	60.07
6	55	40	70	84.99	56.74
7	65	40	55	86.23	61.01
8	65	35	40	87.02	57.04
9	75	40	70	86.64	58.37
10	75	35	55	87.72	56.87
11	65	40	55	85.44	61.08
12	55	35	55	86.64	56.47
13	65	40	55	85.92	60.82
14	65	45	40	86.23	58.64
15	75	40	40	86.87	57.44
16	65	40	55	86.01	60.34
17	65	40	55	86.30	59.95

表 2 回归模型显著性检验和方差分析

Table 2 Significance test and variance analysis of regression model

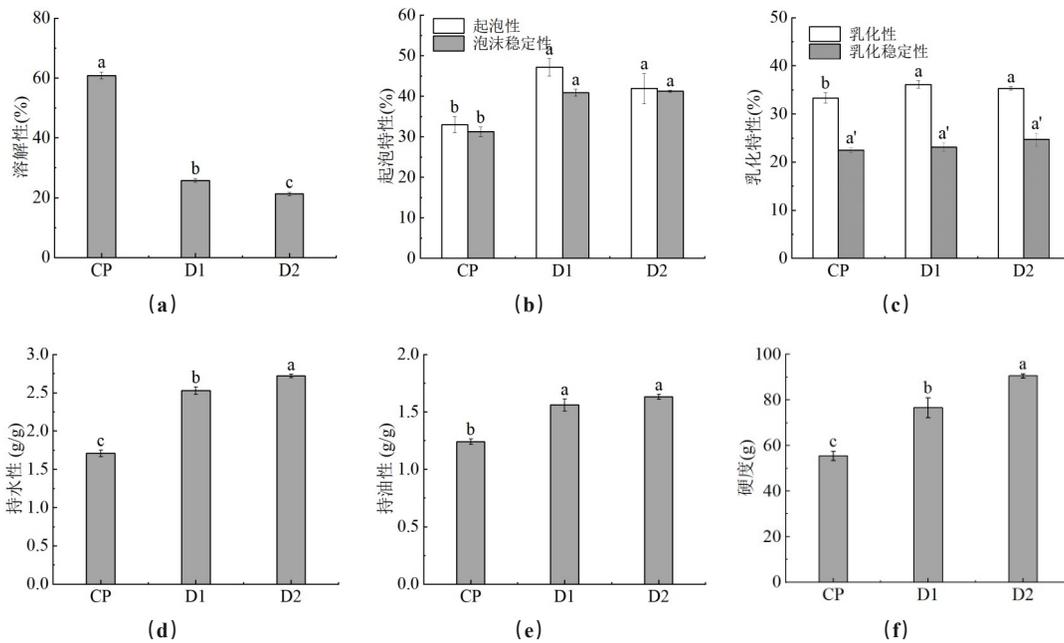
产品得率模型				蛋白含量模型			
因素	方差	F 值	P 值	因素	方差	F 值	P 值
模型	1.190	14.630	0.000 9	模型	5.690	16.730	0.000 6
A	6.000	74.040	<0.000 1	A	4.320	12.710	0.009 2
B	1.580	19.430	0.003 1	B	4.980	14.630	0.006 5
C	0.190	2.290	0.173 6	C	1.610	4.740	0.066 0
AB	0.600	7.410	0.029 7	AB	1.310	3.850	0.090 4
AC	0.002	0.020	0.892 2	AC	0.055	0.160	0.699 0
BC	0.084	1.040	0.342 4	BC	0.110	0.320	0.589 2
A <sup>2</sup>	0.130	1.570	0.250 8	A <sup>2</sup>	23.150	68.080	<0.000 1
B <sup>2</sup>	1.940	23.920	0.001 8	B <sup>2</sup>	5.690	16.730	0.004 6
C <sup>2</sup>	0.170	2.160	0.185 5	C <sup>2</sup>	6.450	18.960	0.003 3
残差	0.081	/	/	残差	0.340	/	/
失拟项	0.036	0.310	0.819 5	失拟项	0.110	0.220	0.875 7
R <sup>2</sup>	0.950	/	/	R <sup>2</sup>	0.956	/	/
Adj R <sup>2</sup>	0.885	/	/	Adj R <sup>2</sup>	0.899	/	/
纯误差	0.120	/	/	纯误差	0.510	/	/

2.2 醇法加工花生蛋白功能特性分析

醇法加工花生蛋白功能特性如图 2 所示。D1 蛋白溶解性为 25.80%，D2 蛋白溶解性为 21.24%，与对照组 CP 相比，分别降低 35.07%、39.63%（图

2 a)。醇法处理过程中，乙醇分子可进入水化层抢夺水分子结合位点，造成蛋白脱水<sup>[4, 13]</sup>。蛋白表面的亲疏水基团比例失衡，蛋白溶解性降低。

D1、D2 蛋白起泡性提升，但泡沫稳定性差异



注：(a)溶解性；(b)起泡特性；(c)乳化特性；(d)持水性；(e)持油性；(f)凝胶性。

Notes: (a)solubility; (b)foaming characteristic; (c)emulsification characteristic; (d)water retaining capacity; (e)oil retaining capacity; (f)gel property.

图 2 醇法加工花生蛋白功能特性比较

Fig.2 Comparison of functional properties of peanut protein processed by ethanol

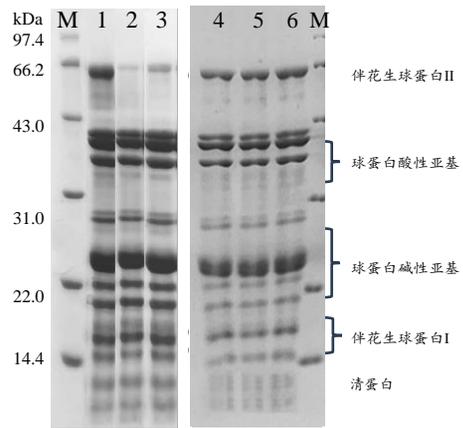
不显著(图2 b)。CP蛋白乳化性为33.33%，D1、D2花生蛋白乳化性为36.13%、35.03%，乳化稳定性无显著性差异(图2 c)。D1、D2的两种处理条件对花生蛋白起泡、乳化特性的影响结果相似，提高了可溶性花生蛋白分子在界面的吸附能力。图2 (d~e)为花生蛋白的持水性、持油性。相比于CP蛋白，D1、D2蛋白持水能力、持油能力增强。蛋白对水油保持能力的改变可能与颗粒粒径有关<sup>[4]</sup>。D1、D2蛋白产品中含有不溶性纤维，不溶性纤维的持水、持油性随颗粒粒径的减小而升高<sup>[14]</sup>。CP蛋白硬度为55.47 g，D1与D2蛋白的硬度为76.66 g、90.58 g(图2 f)。蛋白凝胶的硬度直接影响肉制品的质量，相比于CP蛋白，D1与D2蛋白硬度出现显著性提高，说明醇法处理得到的两种蛋白若应用于肉制品食品中可以改善肉制品品质。

### 2.3 醇法加工花生蛋白的组分与性质分析

为探究醇法优化条件对花生蛋白组分的影响，分别对溶液中和固体中的花生蛋白进行了电泳测定。CP、D1与D2蛋白还原性电泳结果如图3所示。与CP蛋白相比，溶解于水中的D1、D2蛋白中伴花生球蛋白II(61.0 kDa)条带灰度减弱，伴花生球蛋白I、清蛋白占比增大(1、2、3泳道)。而直接将原料与还原性样品缓冲液混合，所得电泳图中CP、D1与D2蛋白组分无差别(4、5、6泳道)，与曹迪等<sup>[15]</sup>研究结果一致。

对1、2、3泳道进行灰度分析后，结果见表3，与CP相对照，D1、D2蛋白溶解于水中的清蛋白及伴花生球蛋白I的组分含量显著提高，提高了花生蛋白的乳化性以及起泡性。花生蛋白组分中清蛋白、伴花生球蛋白I属于小分子量蛋白，其乳化性、起泡性优于伴花生球蛋白II，伴花生球蛋白I含有较多分子内二硫键，伴花生球蛋白II则多为分子间二硫键<sup>[16]</sup>。

将蛋白产品与缓冲液混合，所得的产品粒径结果见图4。由图可知，与CP相对照，D1、D2蛋白产品的粒径有不同程度的减小，使产品对水油保持能力提高。CP蛋白产品颗粒直径多在1 000 nm以上，而D1蛋白产品粒径的体积分布显示其大



注:1、2、3分别为CP、D1、D2蛋白溶解于蒸馏水中的花生蛋白电泳条带,4、5、6为CP、D1、D2蛋白直接与还原性样品缓冲液混合所得的花生蛋白电泳条带,M为标样。

Notes: 1、2、3 represent the electrophoretic band of CP、D1、D2 dissolved in distilled water, 4、5、6 represent the electrophoretic band of CP、D1、D2 mixed directly with the reducing buffer, M is the standard sample.

图3 醇法加工花生蛋白还原性电泳图  
Fig.3 Reductive electrophoretic map of peanut protein processed by ethanol

表3 醇法加工花生蛋白组分含量对比  
Table 3 Comparison of protein components in peanut processed by ethanol

	%			
	伴花生球蛋白II	球蛋白	伴花生球蛋白I	清蛋白
CP	23.3±0.4 <sup>a</sup>	28.3±0.6 <sup>b</sup>	28.1±0.7 <sup>b</sup>	20.1±0.2 <sup>b</sup>
D1	13.2±0.1 <sup>b</sup>	31.3±0.8 <sup>a</sup>	31.8±0.5 <sup>a</sup>	24.5±0.2 <sup>a</sup>
D2	12.2±0.2 <sup>c</sup>	31.0±0.5 <sup>a</sup>	32.5±0.4 <sup>a</sup>	24.1±0.4 <sup>a</sup>

注:同列不同字母表示花生蛋白组分含量具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

Notes: Different letters in the same column indicate significant differences in peanut protein component content ( $P < 0.05$ ).

部分颗粒直径小于1 000 nm, D2产品颗粒直径均小于1 000 nm。

接触角可以表征花生蛋白表面疏水性,由图5可知CP蛋白具有较好的润湿性能,接触角为69.8°。D1蛋白接触角为88.7°,D2蛋白接触角为

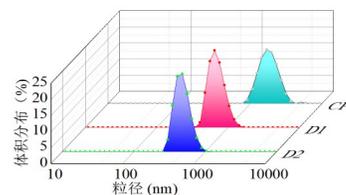


图4 醇法加工花生蛋白产品粒径比较  
Fig.4 Comparison of particle size of peanut protein products processed by ethanol

96.1°，相较于CP蛋白，D1、D2蛋白表面疏水性提高，与水滴的接触角在90°附近，亲水性降低，疏水性提高。醇法处理改变了花生蛋白的表面性质，使D1、D2蛋白出现了不同的疏水性结果，其中D2蛋白表现为很强的疏水性。蛋白质通过疏水相互作用发生聚集，蛋白质聚集程度下降，凝胶强度也随之降低<sup>[17]</sup>。

由图6可知，D1、D2蛋白在油-水、气-水界面张力降低，在曲线趋于平稳后，3种蛋白油-水界面张力大小为CP>D2>D1。蛋白乳化性越高，其

油水界面张力越低<sup>[18]</sup>。蛋白在油-水界面相互结合形成较为稳定的界面膜，醇法处理使花生蛋白界面膜张力值降低。溶液粘稠性质的提升，使分子不易从界面膜中释放出来，蛋白分子间相互作用增强<sup>[19]</sup>。推测D1蛋白溶液粘稠性质有所增加，重力作用下液滴形态变化较大，使D1蛋白油-水界面张力降幅较大。此外研究表明气-液界面张力降低、表观黏度提高，起泡性提高<sup>[19]</sup>。D1蛋白所形成泡沫的微观形态更细腻均匀，相比于CP与D2，D1蛋白泡沫层较厚。

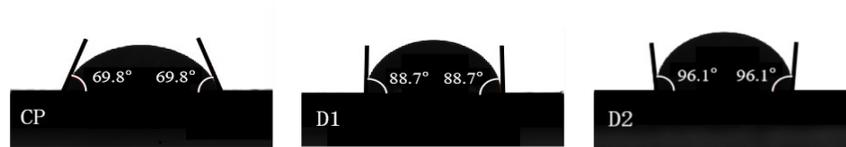
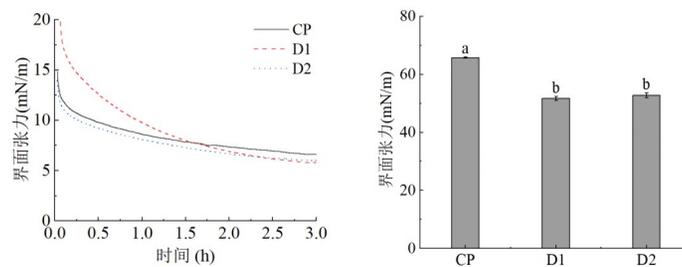


图5 醇法加工花生蛋白接触角

Fig.5 Contact Angle of peanut protein processed by ethanol



注：(a)油-水界面，(b)气-液界面。

Notes: (a) interface of oil-water, (b) interface of gas-liquid.

图6 醇法加工花生蛋白界面张力

Fig.6 Interfacial tension of peanut protein processed by ethanol

### 3 结论

对脱脂花生粕进行醇法处理后，以产品得率、蛋白含量为考察指标下的优化处理条件：(1)以产品得率为指标：体积分数75.00%，浸提温度35.00℃，浸提时间55.45 min，产品得率87.82%，蛋白含量58.02% (D1蛋白)。(2)以蛋白含量为指标：体积分数67.12%，浸提温度42.02℃，浸提时间58.28 min，蛋白含量61.10%，产品得率86.08% (D2蛋白)。研究结果表明：醇法处理使溶于水溶液中的伴花生球蛋白Ⅱ含量减少，清蛋白及伴花生球蛋白Ⅰ的组分含量显著提高，降低蛋白界面张力，提升花生蛋白起泡性以及乳化性。醇法使花生蛋白粒径减小，表面疏水性提高，蛋

白产品持水性、持油性及凝胶性提高。

### 参考文献：

- [1] 蒋雨珊, 章绍兵. 花生蛋白凝胶特性的研究进展[J]. 中国油脂, 2020: 98-102.  
JIANG Y S, ZHANG S B. Progress in gelling property of peanut protein[J]. China Oils and Fats, 2020: 98-102.
- [2] 刘玉兰, 高经梁, 马宇翔, 等. 花生饼粕制取醇洗浓缩蛋白的品质比较[J]. 粮油食品科技, 2013: 57-61.  
LIU Y L, GAO J L, MA Y X, et al. Quality comparison of alcohol leached peanut protein concentrate obtained from different peanut meal[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013: 57-61.
- [3] 于丽娜, 齐宏涛, 彭娅萍, 等. *Viscozyme L* 预处理花生粕提取花生浓缩蛋白的研究[J]. 粮油食品科技, 2019: 34-40.  
YU L N, QI H T, PENG Y P, et al. Research on extraction of

- peanut protein concentrate by pretreatment of peanut meal with *Viscozyme L*[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2019: 34–40.
- [4] 赵方园, 郭兴凤, 赵树超, 等. 加工条件对醇法大豆浓缩蛋白溶解性及结构的影响[J]. *中国油脂*, 2023, 48(10): 57–63, 70.  
ZHAO F Y, GUO X F, ZHAO S C, et al. Effects of processing conditions on the solubility and structure of alcohol leached soybean protein concentrate[J]. *China Oils and Fats*, 2023, 48(10): 57–63, 70.
- [5] WU H, WANG Q, MA T, et al. Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein[J]. *Food Research International*, 2009, 42(3): 343–348.
- [6] YANG J, DE WIT A, DIEDERICKS C F, et al. Foaming and emulsifying properties of extensively and mildly extracted Bambara groundnut proteins: A comparison of legumin, vicilin and albumin protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 123, 107190.
- [7] TIRGAR M, SILCOCK P, CARNE A, et al. Effect of extraction method on functional properties of flaxseed protein concentrates [J]. *Food Chemistry*, 2017, 215: 417–424.
- [8] 杨柳, 江连洲, 李杨, 等. 水酶法提取的大豆蛋白功能特性研究 [J]. *大豆科技*, 2019, (S1): 174–178.  
YANG L, JIANG L Z, LI Y, et al. Studies on function properties of soybean protein from aqueous enzymatic extraction[J]. *Soybean Science Technology*, 2019, (S1): 174–178.
- [9] 赵雪淞, 蔺雅菲, 刘民. 花生浓缩蛋白超声改性的工艺条件[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(03): 147–152.  
ZHAO X S, LIN Y F, LIU M. The technological conditions of ultrasonic modification of peanut protein concentrate[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(03): 147–152.
- [10] 孟小波, 华欲飞, 孔祥珍. 加热改性醇法大豆浓缩蛋白凝胶性的研究[J]. *中国油脂*, 2008, (10): 25–28.  
MENG X B, HUA Y F, KONG X Z. Gelation properties of alcohol leached soybean protein concentrate modified by heating[J]. *China Oils and Fats*, 2008, (10): 25–28.
- [11] 马露燕. 低聚木糖糖基化豌豆蛋白构建微囊体系及其性能研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.  
MA L Y. Study on construction and properties of microencapsulation system of xylo-oligosaccharide glycosylated pea protein[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023.
- [12] 马开元, 孙晓洋, 陈复生, 等. 超声对豌豆蛋白-高酯果胶复合颗粒理化和结构特性的影响[J]. *中国食品学报*, 2024, 24(02): 130–139.  
MA K Y, SUN X Y, CHEN F S, et al. Effects of ultrasound on the physicochemical and structural properties of pea protein-high methoxyl pectin composite particles[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2024, 24(02): 130–139.
- [13] BUCCIARELLI S, SAYEDI E S, OSELLA S, et al. Disentangling the role of solvent polarity and protein solvation in folding and self-assembly of  $\alpha$ -lactalbumin[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2020, 561: 749–761.
- [14] SHOKRAI E H, ESEN A. Characterization of disulfide-linked forms of seed protein in peanuts (*Arachis hypogaea L.*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(9): 1491–1495.
- [15] ZHONG M, SUN Y, SONG H, et al. Ethanol as a switch to induce soybean lipophilic protein self-assembly and resveratrol delivery [J]. *Food Chemistry: X*, 2023, 18: 100698.
- [16] 曹迪, 范远景, 黄婷, 等. 不同改性方法对花生浓缩蛋白结构及功能特性的影响[J]. *食品工业*, 2014: 186–190.  
CAO D, FAN Y J, HUANG T, et al. Effects of modified methods on conformational and functional properties of peanut protein concentrate[J]. *The Food Industry*, 2014: 186–190.
- [17] 孟昂, 栾滨羽, 郭波莉, 等. 碱提酸沉参数影响大豆分离蛋白变性、聚集和流变特性的研究进展[J]. *食品科学*, 2024, 45(10): 342–354.  
MENG A, LUAN B Y, GUO B L, et al. Research progress on the effects of parameters of alkali extraction and acid precipitation on the denaturation, aggregation, and rheological characteristics of soybean protein isolate[J]. *Food Science*, 2024, 45(10): 342–354.
- [18] 邢琳琳, 朱力杰. 大豆分离蛋白-多糖体系对甜菊糖苷苦味的抑制作用及复合乳液稳定性研究[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(09): 153–162.  
XING L L, ZHU L J. Inhibitory effect of soybean protein isolate-polysaccharide system on stevia glycoside bitterness and stability of composite emulsion[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(09): 153–162.
- [19] 范广琦, 王俊彤, 李丹, 等. Protamex酶水解对玉米谷蛋白泡沫性质及结构特性的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(24): 41–49.  
FAN G Q, WANG J T, LI D, et al. Effect of protamex hydrolysis foaming properties and structural properties of corn glutelin[J]. *Food Science*, 2023, 44(24): 41–49. 