

# 稳态化米糠蛋白超声波辅助提取及其性质研究\*

刘海飞<sup>1</sup> 肖志刚<sup>1</sup> 王娜<sup>1</sup> 王鹏<sup>1</sup> 马涛<sup>2</sup>

(1. 东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150030; 2. 渤海大学食品科学研究院, 锦州 121000)

**摘要:**以稳态化米糠为原料,研究超声波-碱溶酸沉联用技术提取米糠蛋白。以超声波处理时间、超声波功率、超声波处理温度及液料比为考察因素,以米糠清蛋白和谷蛋白提取率为目标值进行单因素试验,并对超声波最佳条件下获得米糠清蛋白和谷蛋白氨基酸组成、微观结构、二级结构及热稳定性进行分析研究。结果表明:超声波处理时间 10 min、超声波功率 160 W、超声波处理温度 50℃、液料比 10 mL/g 条件下,米糠清蛋白、谷蛋白提取率均可达最大值;氨基酸组成、微观结构及二级结构分别表明稳态化米糠清蛋白和谷蛋白仍具有其典型特征,且热稳定性较高。

**关键词:**米糠清蛋白 米糠谷蛋白 超声波 提取

**中图分类号:** TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0235-07

## 引言

米糠由稻谷糊粉层和果皮层,以及大米胚芽和碎米等组成<sup>[1]</sup>。米糠中蛋白质约含 12%~20%,可分为清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白,不同米糠原料比例有所差别,其中可溶性蛋白质约占 70%,与大豆蛋白接近<sup>[2-3]</sup>。米糠蛋白以其低过敏性、氨基酸组成合理、消化率高等优点而成为一种优质新型植物蛋白源<sup>[4-5]</sup>,可应用于婴幼儿食品、功能性食品、食品添加剂等,具有很高的利用价值。然而由于米糠中高活性的脂肪酶及过氧化物酶,使得米糠极易酸败变质<sup>[6]</sup>。对米糠稳态化处理是实现米糠资源深度利用的关键,目前方法有冷藏法、微波法、辐射法、介电加热法、化学处理法、热处理法和挤压法等<sup>[7-8]</sup>,从成本和技术操作性考虑,挤压法采用较普遍。米糠挤压灭酶会导致蛋白质不同程度变性,溶解性下降,不利于米糠蛋白的提取。显然,米糠挤压稳态化方法的先进性和米糠蛋白的高效利用,在技术层面还存在亟待解决的瓶颈问题,尽管有关米糠蛋白提取技术研究较多,仍然有必要以获得高品质和高提取率米糠蛋白为目标,展开专门针对稳态化而非新鲜或脱脂米糠的相关技术研究。基于此,在以残余酶活作为衡量稳态化效果指标,采用挤压法对米糠进行稳态化技术研究基础上,本文采用超声

波-碱溶酸沉联用技术,寻求提高挤压稳态化米糠蛋白提取率的有效途径,并对蛋白特性展开深入研究,为稳态化米糠蛋白质资源高效利用提供数据支撑和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

新鲜全脂米糠(东方粮油集团有限公司),含水率 13.12%,蛋白质质量分数 15.60%,脂肪质量分数 19.80%。

低速离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司);DF110型电子分析天平(中国轻工机械总公司常熟衡器工业公司);DWF-100型电动粉碎机(河北省黄骅市科研仪器厂);HH-4型数显搅拌水浴锅(常州赛普实验仪器厂);PHS-25℃型数字酸度计(上海大普仪器有限公司);JY92-II型超声波细胞粉碎机(宁波新芝生物科技股份有限公司);722型可见光分光光度计(上海青华科技仪器有限公司);Nicolet Nexus 470型傅里叶红外光谱仪(美国热电公司);自动定氮仪(丹麦 FOSS 全自动定氮仪公司);DS56-III型双螺杆挤压膨化机(济南赛信膨化机械有限公司);L-8900型全自动氨基酸分析仪(日本 Hitachi 公司);SU-1510型日立扫描电子显微镜、E-1045型日立离子溅射仪

收稿日期:2013-11-18 修回日期:2013-12-30

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD34B02)、黑龙江省教育厅科学技术研究重点项目(12511z006)和哈尔滨市学科带头人基金资助项目(2012RFXXN107)

作者简介:刘海飞,博士生,主要从事粮食、油脂及植物蛋白工程研究,E-mail: haifeil@sina.com

通讯作者:肖志刚,教授,博士生导师,主要从事粮食、油脂及植物蛋白工程研究,E-mail: zhigangx@sina.com

(日本 Hitachi 公司);PYRIS-1 型差热扫描量热分析仪(美国 Perkin Elmer 公司);98% 浓盐酸、氢氧化钠、酒石酸钾钠、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  等均为国产分析纯。

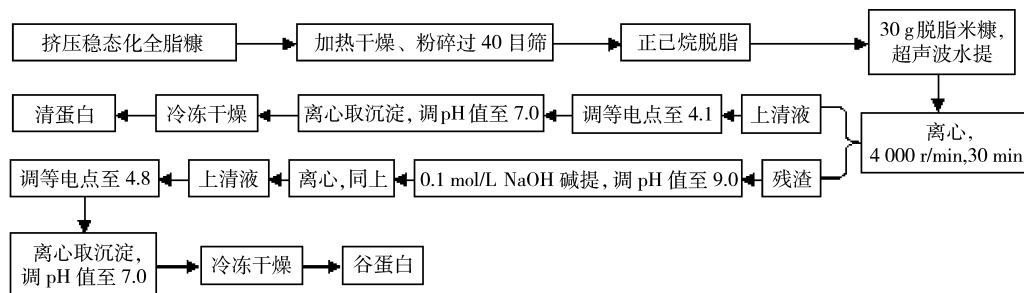


图1 工艺流程图

Fig.1 Process flow chart

### 1.2.2 米糠挤压稳态化处理

将新鲜米糠加入 23% 的水分调质均匀, 将机筒温度调至  $60^\circ\text{C}$ , 螺杆转速调至  $160\text{ r/min}$  进行喂料, 在此条件下得到的挤压稳态化米糠<sup>[11]</sup>, 经本课题组进行酶活检测, 脂肪水解酶和过氧化酶残余酶活分别降低至 11.64% 和 13.37%。在一定范围内, 高含水率可以有效钝化脂肪水解酶及过氧化物酶的活性, 主要原因是水为强极性分子, 而极性物质在挤压机的作用下会发生共振, 摩擦生热, 达到加热的目的, 故钝化了酶的活性, 增强了米糠稳态化效果。在  $25^\circ\text{C}$  下储藏, 未经挤压稳态化的米糠储藏 30 d 后酸价为  $26.90\text{ mg/g}$ , 随着储藏时间的延长, 其酸价变化平缓, 85 d 后酸价为  $27.15\text{ mg/g}$ ; 而挤压稳态化米糠储藏 30 d 和 85 d 后, 酸价分别为  $9.87\text{ mg/g}$  和  $10.33\text{ mg/g}$ , 储藏 90 d 后酸价开始明显上升, 因此该条件下获得的稳态化米糠, 储藏时间可长达 85 d, 酸价小于  $15\text{ mg/g}$ , 米糠稳态化效果较好, 稳定性有所提高。

### 1.2.3 脱脂稳态化米糠制备

利用人工制作的浸提装置(模仿索氏抽提装置), 将工业正己烷以  $2\text{ mL/g}$  浸提稳态化米糠。将工业正己烷加入到有机溶剂导入器中, 通过导管流向螺旋管, 经  $50^\circ\text{C}$  水浴加热自下而上进入浸提器中, 对稳态化米糠进行脱脂, 溶有脂肪的溶剂进入浸出器中。浸提装置各部分的结构如图 2 所示。脱脂后的稳态化米糠置于通风橱中, 室温下挥干溶剂, 该条件下所得脱脂稳态化米糠其蛋白质质量分数为 15.25%, 残油率为 2.07%。

### 1.2.4 蛋白含量测定及计算

蛋白含量测定采用双缩脲比色法。

蛋白提取率为提取液中蛋白含量占米糠中总蛋白含量的百分比。

## 1.2 方法

### 1.2.1 提取工艺路线

工艺流程如图 1 所示, 碱提液料比固定, NaOH 溶液浓度为  $0.1\text{ mol/L}$ <sup>[9-10]</sup>。

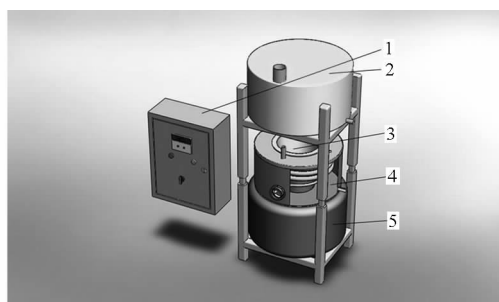


图2 浸提装置结构简图

Fig.2 Leaching device

1. 控温装置
2. 有机溶剂导入器
3. 浸提器
4. 水浴加热器
5. 浸出器

### 1.2.5 超声波处理条件研究

将  $30\text{ g}$  粉碎过 40 目筛的脱脂稳态化米糠按一定液料比(水提溶剂为蒸馏水; 碱提溶剂为  $0.1\text{ mol/L}$  NaOH 溶液)搅拌均匀后, 置于超声波细胞粉碎仪中, 将探头浸入液面以下  $2\text{ cm}$ 。以超声波处理时间、超声波功率、处理温度、液料比为因素, 以米糠清蛋白及谷蛋白提取率为指标, 固定其他因素考察某一因素的变化情况, 进行以下单因素试验。固定各因素值分别取处理时间  $10\text{ min}$ 、超声波功率  $160\text{ W}$ 、处理温度  $50^\circ\text{C}$ 、液料比  $10\text{ mL/g}$ , 考察各因素对指标影响的单因素变化值分别为: 处理时间  $5$ 、 $10$ 、 $15$ 、 $20$ 、 $25\text{ min}$ ; 超声波功率  $120$ 、 $160$ 、 $200$ 、 $240$ 、 $280\text{ W}$ ; 处理温度  $40$ 、 $50$ 、 $60$ 、 $70$ 、 $80^\circ\text{C}$ ; 液料比  $6$ 、 $8$ 、 $10$ 、 $12$ 、 $14\text{ mL/g}$ 。

### 1.2.6 稳态化米糠蛋白氨基酸组成分析

取一定量样品, 用  $6\text{ mol/L}$  HCl 在  $110^\circ\text{C}$  下水解  $24\text{ h}$  后, 采用氨基酸自动分析仪进行分析<sup>[12]</sup>。

### 1.2.7 稳态化米糠蛋白微观结构分析

取一定量样品放入 E-1045 型日立离子溅射仪中镀膜, 溅射金膜的厚度为  $20\text{ nm}$ , 再置于 SU-150 型日立扫描电子显微镜中进行观察与拍照<sup>[13]</sup>。

### 1.2.8 稳态化米糠蛋白 FT-IR 分析

采用 KBr 制样法。分辨率为  $4\text{ cm}^{-1}$ , 扫描累加 32 次, 扫描光谱范围  $500\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$ , 利用 Omnic 6.2 软件叠加 FT-IR 图谱<sup>[14]</sup>。

### 1.2.9 稳态化米糠蛋白热稳定性分析

取 5 mg 样品于专用铝盒中压片, 以空铝盒为空白对照, 测定参数设置: 扫描温度  $30\sim 150^\circ\text{C}$ , 扫描速率  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ,  $30^\circ\text{C}$  保留 1 min,  $150^\circ\text{C}$  保留 1 min, 得 DSC 曲线<sup>[15]</sup>。

## 1.3 数据处理方法

用 SigmaPlot 9.0 分析软件绘制试验中散点图, 用 Design-Expert 统计分析软件对各参数进行响应面分析, 用 Origin 7.5 分析软件绘制傅里叶变换红外外光谱图。

## 2 结果与分析

### 2.1 超声波处理时间

如图 3 所示, 当超声波功率 160 W、超声波处理温度  $50^\circ\text{C}$ 、液料比  $10\text{ mL}/\text{g}$  时, 随着处理时间的延长, 米糠蛋白提取率随之升高, 在 10 min 时达到最大值, 原因是在超声波的作用下, 细胞壁破碎, 加速了细胞内物质的释放、扩散与溶解, 使米糠蛋白易于溶出; 而处理时间继续延长, 提取率反而下降, 原因可能是超声波处理时间过长, 导致米糠蛋白部分变性, 蛋白质的扩散和溶出速率降低, 故处理时间 10 min 较为适宜。

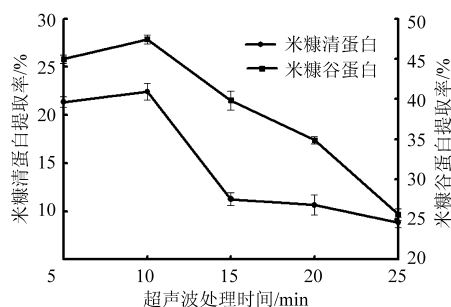


图 3 超声波处理时间对米糠清蛋白和谷蛋白提取率的影响

Fig. 3 Influence of ultrasonic time on rice bran albumin and glutelin yield

### 2.2 超声波处理温度

如图 4 所示, 当超声波处理时间 10 min、超声波功率 160 W、液料比  $10\text{ mL}/\text{g}$  时, 随着温度的升高, 米糠蛋白提取率增加。在  $50^\circ\text{C}$  时提取率达到最大值, 原因可能是随着温度的升高, 可使蛋白质的胶体分子布朗运动加剧, 溶剂的动能逐渐达到米糠蛋白溶出水平, 使其溶解度增加, 当温度超过  $50^\circ\text{C}$  时, 米糠蛋白提取率下降, 原因可能是温度超过一定阈值

后引起米糠蛋白变性, 降低了米糠蛋白溶解度, 故超声波处理温度  $50^\circ\text{C}$  较为适宜。

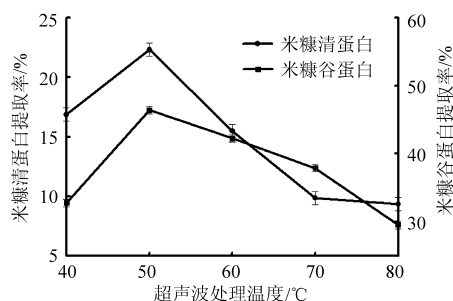


图 4 超声波处理温度对米糠清蛋白和谷蛋白提取率的影响

Fig. 4 Influence of ultrasonic temperature on rice bran albumin and glutelin yield

### 2.3 超声波功率

如图 5 所示, 当超声波处理时间 10 min、超声波处理温度  $50^\circ\text{C}$ 、液料比  $10\text{ mL}/\text{g}$  时, 随着超声波功率的增加, 米糠蛋白提取率先上升后下降, 在功率 160 W 时蛋白提取率达到最大值, 原因可能是超声波功率越大, 产生越强烈的空化、湍动等界面效应, 强烈的冲击波、剪切力可能使米糠蛋白结构遭到一定程度破坏<sup>[16]</sup>, 导致米糠蛋白部分变性, 蛋白提取率降低, 故超声波功率 160 W 较为适宜。

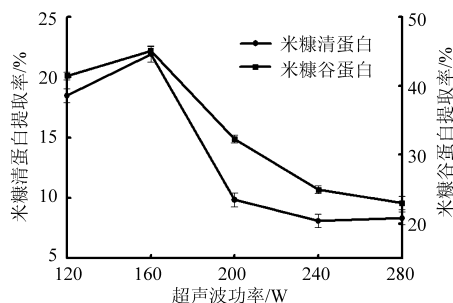


图 5 超声波功率对米糠清蛋白和谷蛋白提取率的影响

Fig. 5 Influence of ultrasonic power on rice bran albumin and glutelin yield

### 2.4 液料比

如图 6 所示, 当超声波处理时间 10 min、超声波功率 160 W、超声波处理温度  $50^\circ\text{C}$  时, 随着液料比的增加, 米糠蛋白提取率增大。当液料比较小时, 蛋白质扩散速率较低, 蛋白质分子和溶液分子间分布不均匀, 阻碍了蛋白质溶出, 而随着液料比的增加蛋白质提取率逐渐递增, 一方面因为溶剂的溶解动力增加, 使得提取率上升, 另一方面, 提取液黏度降低, 导致超声空化阻力下降, 超声空化阈值降低, 有助于蛋白质的溶出; 若液料比过大, 又会影响到后期浓缩的工作, 故液料比为  $10\text{ mL}/\text{g}$  较适宜。

### 2.5 稳态化米糠蛋白氨基酸组成分析

米糠蛋白是公认的优质植物蛋白质, 其氨基酸

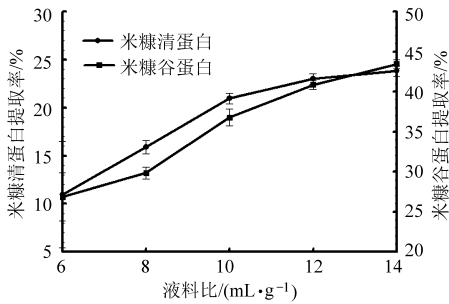


图6 液料比对米糠清蛋白和谷蛋白提取率的影响

Fig. 6 Influence of material/liquid ratio on the rice bran albumin and glutelin yield

组成平衡合理,而新鲜米糠在挤压稳态化的过程中,由于高温高压高剪切作用,蛋白质会有不同程度的破坏。本试验对上述超声条件下获得的稳态化米糠清蛋白和谷蛋白质进行了氨基酸检测分析,结果如表1所示。

表1 稳态化米糠蛋白氨基酸组成及质量分数分析

Tab. 1 Amino acid analysis of protein from stabilized rice bran %

氨基酸种类	稳态化米糠清蛋白	新鲜米糠清蛋白	稳态化米糠谷蛋白	新鲜米糠谷蛋白
Asp	2.51	4.84	4.14	5.76
Thr	1.23	2.19	2.06	2.66
Ser	1.72	2.87	2.58	3.24
Glu	6.39	8.62	7.18	9.23
Gly	2.20	3.22	2.74	3.51
Ala	2.22	3.44	3.29	4.12
Cys	0.72	0.90	0.50	0.41
Val	1.76	3.39	2.99	3.82
Met	0.71	1.17	1.05	1.27
Ile	1.11	2.33	2.19	2.75
Leu	2.78	4.87	4.72	5.77
Tyr	1.22	2.25	2.16	2.75
Phe	1.60	2.97	2.72	3.35
Lys	1.84	3.55	2.03	2.95
Asn	0.41	0.52	0.53	0.61
His	1.32	1.90	1.47	1.80
Arg	4.46	5.99	4.45	5.67
Pro	1.59	2.35	2.39	2.98

氨基酸分析结果表明,稳态化米糠蛋白中氨基酸组成比较丰富,含有18种氨基酸,其中包括7种人体所必需的氨基酸(因酸水解破坏了色氨酸)。稳态化米糠谷蛋白中谷氨酸、亮氨酸含量较高,质量分数分别为7.18%和4.72%,而半胱氨酸含量最低,质量分数仅为0.50%;稳态化米糠清蛋白中谷氨酸、亮氨酸含量较高,质量分数分别为6.39%和2.78%,而天冬酰胺含量最低,质量分数仅为0.41%。稳态化米糠清蛋白和谷蛋白氨基酸质量分数分别为49.19%和62.65%,其中必需氨基酸质

量分数分别为17.76%和22.57%。根据氨基酸评分标准,稳态化米糠清蛋白和谷蛋白的氨基酸质量分数分别为49.33%和62.69%,均高于玉米和芝麻<sup>[17]</sup>,同时稳态化米糠清蛋白和谷蛋白中必需氨基酸占其总量的比值均为0.36,达到了FAO/WHO提出的蛋白质中比值应在0.30以上的参考蛋白模式<sup>[18]</sup>。与新鲜米糠清蛋白和谷蛋白相比,挤压稳态化后产品中所有氨基酸含量均有不同程度减少,损失率一般在1%~2%之间,这与Sandra等研究结果相似<sup>[19]</sup>。在挤压稳态化过程中,虽然各种氨基酸均有不同程度损失,但与传统加工方式相比,由于挤压作用时间短,氨基酸损失相对较低,米糠蛋白并未大程度变性,氨基酸组成仍完全,比例适宜,稳态化米糠蛋白仍是一类优质蛋白质源。

## 2.6 稳态化米糠蛋白微观结构分析

对上述超声最佳条件下获得的稳态化米糠清蛋白和谷蛋白分别做扫描电子显微镜观察,选择最佳放大倍数为8000倍,观察结果如图7所示。

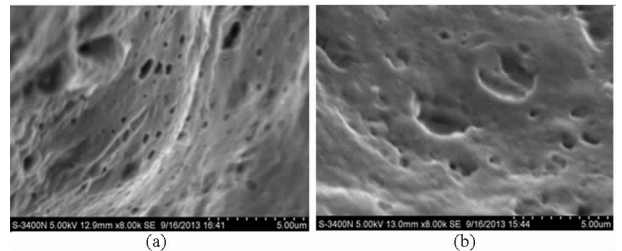


图7 稳态化米糠蛋白 SEM 图

Fig. 7 SEM photograph of rice bran albumin and rice bran glutelin

(a) 米糠清蛋白 (b) 米糠谷蛋白

图7表明,稳态化米糠清蛋白表面光滑,凹凸有序,表面布有小孔,孔径大小不一,孔数较多,小孔由颗粒表面伸向中心,形状类似于蜂窝状;稳态化米糠谷蛋白表面虽分布小孔,但孔数较稳态化米糠清蛋白少,表面较为粗糙,一些凹陷的部位,孔径较大,其主要原因可能是新鲜米糠在挤压稳态化过程中,米糠蛋白在温度、转速、剪切力的综合作用下,内部结构发生了一定的变化,蛋白质分子维持其高级结构的非共价键可能被破坏,蛋白质分子之间或与其他分子之间随机发生各种化学作用,形成网状多孔的结构<sup>[20]</sup>。这表明米糠蛋白在挤压稳态化过程中伴有不同程度的降解以及聚合,改变其原有的天然有序结构,理化性质均有不同程度的改变,这与周素梅等<sup>[21]</sup>研究结果相似,稳态化处理的米糠蛋白其功能性要优于新鲜米糠蛋白。

## 2.7 傅里叶红外光谱分析

FT-IR 可用于高效和快速识别蛋白质二级结构。蛋白质分子红外光谱分为3个区域,即酰胺 I

( $1\ 700 \sim 1\ 600\ \text{cm}^{-1}$ ), 酰胺 II ( $1\ 600 \sim 1\ 500\ \text{cm}^{-1}$ ), 酰胺 III ( $1\ 220 \sim 1\ 330\ \text{cm}^{-1}$ )。酰胺 I 对应  $\text{C}=\text{O}$  的伸缩振动, 酰胺 II 对应  $\text{C}-\text{N}$  伸缩振动和  $\text{N}-\text{H}$  面内变角振动, 酰胺 III 对应  $\text{C}-\text{N}$  伸缩振动和  $\text{N}-\text{H}$  面内变形振动<sup>[22-24]</sup>。

从图 8 可看出, 稳态化米糠清蛋白透光率为 8% ~ 50%, 而稳态化米糠谷蛋白透光率为 52% ~ 75%, 二者透光率差别较大, 红外光谱图走势虽相似, 但在二级结构上存在很大的差异。稳态化米糠清蛋白在酰胺 I、酰胺 II 和酰胺 III 内均有振动峰。在  $1\ 670\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 I) 处有强烈振动峰, 根据文献[25]可知,  $\beta$ -转角由  $\text{C}=\text{O}$  伸缩振动所形成; 在  $1\ 645\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 I) 和  $1\ 545\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 II) 处振动峰均属于无规则卷曲; 在  $1\ 515\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 II) 处振动峰属于  $\beta$ -折叠, 是由伸展的多肽链组成的。折叠片的构象是通过一个肽键的羰基氧和位于同一个肽链或相邻肽链的另一个酰胺氢之间形成的氢键维持。在  $1\ 253\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 III) 处振动峰是由  $\text{C}-\text{N}$  伸缩振动和  $\text{N}-\text{H}$  面内变角振动形成无规则卷曲; 在  $1\ 233\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 III) 处振动峰形成  $\beta$ -折叠结构。

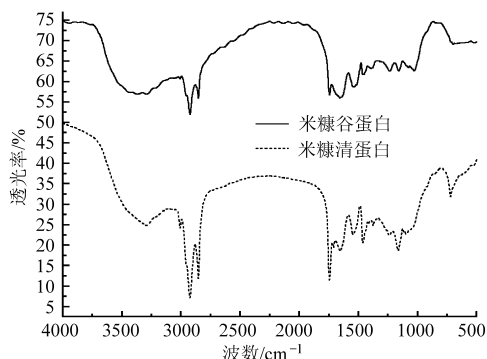


图 8 稳态化米糠蛋白 FT-IR 图谱

Fig. 8 FT-IR spectra of stabilized rice bran protein

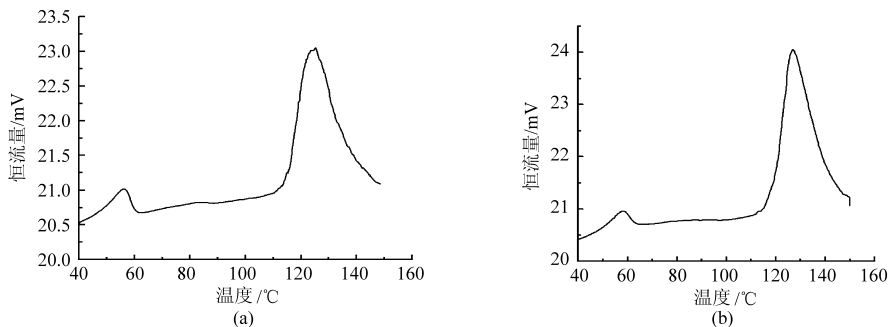


图 9 稳态化米糠蛋白 DSC 曲线

Fig. 9 DSC plastograph of rice bran albumin and rice bran glutelin

(a) 米糠清蛋白 (b) 米糠谷蛋白

### 3 结论

(1) 本试验研究表明超声波辅助提取稳态化米糠蛋白最佳单因素条件: 超声波处理时间 10 min, 超

稳态化米糠谷蛋白在酰胺 I 和酰胺 II 均有一个振动峰, 分别是  $\alpha$ -螺旋和  $\beta$ -折叠; 在  $1\ 327\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 III) 和  $1\ 230\ \text{cm}^{-1}$  (酰胺 III) 的振动峰是由  $\text{C}-\text{N}$  伸缩振动和  $\text{N}-\text{H}$  面内变形振动所形成的  $\alpha$ -螺旋和  $\beta$ -折叠。稳态化米糠清蛋白和谷蛋白在  $2\ 930 \sim 2\ 840\ \text{cm}^{-1}$  的振动峰均是由  $-\text{CH}_2$  和  $-\text{CH}_3$  伸缩振动引起的。2 种蛋白二级结构上的明显差异是稳态化米糠清蛋白在酰胺 I, 酰胺 II 和酰胺 III 未见  $\alpha$ -螺旋结构, 而稳态化谷蛋白在酰胺 I 和酰胺 III 均出现  $\alpha$ -螺旋结构, 这表明, 挤压稳态化过程中米糠蛋白部分变性, 在二级结构上并没有完全线性化为无规则卷曲结构, 仍保留一定的  $\alpha$ -螺旋和  $\beta$ -转角结构, 使稳态化米糠清蛋白和谷蛋白在二级结构上仍具备其典型特征。

### 2.8 热稳定性分析

热稳定性是衡量食品蛋白质加工特性的一个重要因素, 本试验对稳态化米糠清蛋白和谷蛋白干粉做测定分析, 结果如图 9 所示。

图 9 表明: 稳态化米糠清蛋白热变性温度为  $56.02^\circ\text{C}$  和  $126.30^\circ\text{C}$ , 变性蛋白质量分数分别为 21.32% 和 74.85%, 变性焓  $\Delta H$  为 1.61、3.91 J/g; 谷蛋白热变性温度为  $57.83$ 、 $126.77^\circ\text{C}$ , 变性蛋白质量分数分别为 19.77% 和 73.41%, 变性焓  $\Delta H$  为 0.53、0.80 J/g, 二者均有 2 个变性峰值, 这与新鲜脱脂米糠蛋白变性温度  $50 \sim 70^\circ\text{C}$  大有不同<sup>[26]</sup>, 主要是因为米糠蛋白在挤压机械能和热能的作用下, 维持其蛋白质分子结构的化学键以及相互作用力发生改变, 伴随着不同程度的降解和聚合, 分子间相互交联成稳定的网状结构, 改变了原有的蛋白质组成比例, 所以稳态化米糠蛋白热稳定性大大增强, 有利于提高其加工性能。

声波功率 160 W, 超声波处理温度  $50^\circ\text{C}$ , 液料比  $10\ \text{mL/g}$ , 此条件下米糠清蛋白和谷蛋白提取率均可达最大值。

(2) 对上述条件获得的稳态化米糠清蛋白和谷

蛋白氨基酸组成、微观结构、二级结构以及热稳定性进行分析,结果表明:稳定化米糠蛋白氨基酸组成完全,比例适宜,微观结构表面多孔,且孔数较多,类似

蜂窝状,在二级结构上仍然具有清蛋白和谷蛋白的典型特征,且热稳定性高于新鲜脱脂米糠蛋白。

### 参 考 文 献

- 1 张海晖,武妍,段玉清,等. 亚临界水萃取米糠蛋白工艺与功能性研究[J]. 农业机械学报,2011,42(11):140-143.  
Zhang Haihui, Wu Yan, Duan Yuqing, et al. Optimization for the extraction and function characteristics of protein from rice bran by subcritical water[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 140-143. (in Chinese)
- 2 Jamuna Prakash. Rice bran proteins: properties and food uses[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1996, 36(6): 537-552.
- 3 Hamada J S. Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization[J]. Cereal Chemistry, 1997, 74(5): 662-668.
- 4 Kunwadee Kaewka, Chockchai Therakulkait, Keith R Cadwallader. Effect of preparation conditions on composition and sensory aroma characteristics of acid hydrolyzed rice bran protein concentrate[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50(1): 56-60.
- 5 Gurpreet Kaur Chandi, Sogi D S. Functional properties of rice bran protein concentrates[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(2): 592-597.
- 6 朱文华,姚惠源,谈新刚. 米糠的不稳定机理与稳定化的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2001(10): 174.  
Zhu Wenhua, Yao Huiyuan, Tan Xin'gang. A study on unstable mechanism and stabilization of rice bran[J]. Cereal and Feed Industry, 2001(10): 174. (in Chinese)
- 7 Tao J X, Rao R, Liuzzo J. Microwave heating for rice bran stabilization [J]. Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy, 1993, 28(3): 156-164.
- 8 刘亚伟. 粮食加工副产物利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- 9 Gurpreet Kaur Chandi, Sogi D S. Functional properties of rice bran protein concentrates[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(2): 592-597.
- 10 Abayomi P Adebisi, Rotimi E Aluko. Functional properties of protein fraction obtained from commercial yellow field pea (*Pisum sativum* L.) seed protein isolate[J]. Food Chemistry, 2011, 128(4): 902-908.
- 11 申德超,王国庆,马成业. 低温挤压加酶大米作啤酒辅料的糖化试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 152-158.  
Shen Dechao, Wang Guoqing, Ma Chengye. Saccharification experiments of extruded at low temperature rice beer adjunct with enzyme preparation added[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 152-158. (in Chinese)
- 12 刘宁,朱振宝,仇农学,等. 苦杏仁蛋白提取工艺优化及氨基酸分析[J]. 中国油脂, 2008, 33(1): 26-29.  
Liu Ning, Zhu Zhenbao, Qiu Nongxue, et al. Extraction and amino acid composition of apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel protein[J]. China Oils and Fats, 2008, 33(1): 26-29. (in Chinese)
- 13 丁毅,华泽田,王芳,等. 粳稻蛋白质与蒸煮食味品质的关系[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 42-46.  
Ding Yi, Hua Zetian, Wang Fang, et al. Effect of protein content on cooking and eating quality of japonica rice[J]. Food Science, 2012, 33(23): 42-46. (in Chinese)
- 14 王发祥,张冬生,刘永乐,等. 发芽对精白保胚米淀粉分子结构的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 45-48.  
Wang Faxiang, Zhang Dongsheng, Liu Yongle, et al. Effect of germination on molecular structure of starch from polished rice with germ[J]. Food Science, 2011, 32(17): 45-48. (in Chinese)
- 15 梁哈妮,唐传核. 豌豆蛋白的功能特性研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(12): 1640-1644.  
Liang Hanni, Tang Chuanhe. Study on functional properties of pea protein[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(12): 1640-1644. (in Chinese)
- 16 易阳,张名位,廖森森,等. 龙眼多糖超声波-酶解辅助提取工艺优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 131-136.  
Yi Yang, Zhang Mingwei, Liao Sentai, et al. Optimization of ultrasonic-enzyme-assisted extraction technology of polysaccharides from longan pulp[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 131-136. (in Chinese)
- 17 刘克武,赵欣平,刘晓雯,等. 四川烤烟叶蛋白氨基酸分析及营养评价[J]. 烟草科技, 2000(4): 20-21.  
Liu Kewu, Zhao Xinping, Liu Xiaowen, et al. Analysis of amino acids and nutrition valuation on leaf protein of fluecured tobacco in Sichuan Province[J]. Tobacco Science & Technology, 2000(4): 20-21. (in Chinese)
- 18 FAO/WHO. Energy and protein requirement [R]. Report of Joint FAO/WHO, Geneva: WHO, 1973: 63.
- 19 Sandra H Prudencio-Ferreira, Jose A G Areas. Protein-protein interactions in the extrusion of soya at various temperatures and moisture contents [J]. Journal of Food Science, 1993, 58(2): 378-381.
- 20 Kajirat R, Sunanta T, Jirawat Y. Effects of soy protein isolate on chemical and physical characteristics of meat analog[J]. Asian Journal of Food and Agro-Industry, 2008, 1(2): 99-106.
- 21 周素梅,金世合,姚惠源. 挤压稳定化处理对米糠蛋白性质影响的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(5): 49-53.  
Zhou Sumei, Jin Shihe, Yao Huiyuan. Study on the protein properties in extrude-stabilized rice bran[J]. Food Science, 2003,

- 24(5):49-53. (in Chinese)
- 22 卢雁,张玮玮,王公轲. FTIR 用于变性蛋白质二级结构的研究进展[J]. 光谱学与光谱分析,2008,28(1):88-93.  
Lu Yan,Zhang Weiwei,Wang Gongke. Progress in study of secondary structure of denaturized protein by FTIR[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2008,28(1):88-93. (in Chinese)
- 23 吴黎明,周群,周骁,等. 蜂王浆不同贮存条件下蛋白质二级结构的 Fourier 变换红外光谱研究[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(1):82-87.  
Wu Liming,Zhou Qun,Zhou Rao, et al. FTIR assessment of the secondary structure of proteins in royal jelly under different storage conditions[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis,2009,29(1):82-87. (in Chinese)
- 24 陈登龙,房乾,姚清华,等. 傅里叶红外光谱研究重组蛛丝蛋白分子构象的影响因素[J]. 高分子材料科学与工程,2009,25(1):104-110.  
Chen Denglong,Fang Qian,Yao Qinghua, et al. Application of FT-IR in the study of factors influencing the molecular conformation of recombinant spider silk protein[J]. Polymer Materials Science and Engineering,2009,25(1):104-110. (in Chinese)
- 25 宦克为,刘小溪,郑峰,等. 基于蒙特卡罗特征投影法的小麦蛋白质近红外光谱测量变量选择[J]. 农业工程学报,2013,29(4):266-271.  
Huan Kewei,Liu Xiaoxi,Zheng Feng, et al. Variable selection of near-infrared spectroscopy for measuring wheat protein based on MC-LPG[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(4):266-271. (in Chinese)
- 26 孟凡友,李承刚,王立,等. 挤压对米糠蛋白功能特性的影响[J]. 粮油加工,2006(11):68-71.  
Meng Fanyou,Li Chenggang,Wang Li, et al. Effect of the protein functional properties in extruded-stabilized rice bran[J]. Cereals and Oils Processing, 2006(11):68-71. (in Chinese)

## Study on Ultrasound-assisted Extraction and Properties of Rice Bran Protein

Liu Haifei<sup>1</sup> Xiao Zhigang<sup>1</sup> Wang Na<sup>1</sup> Wang Peng<sup>1</sup> Ma Tao<sup>2</sup>

(1. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. Food Science Research Institute, Bohai University, Jinzhou 121000, China)

**Abstract:** The rice bran protein was extracted using stabilized rice bran by ultrasonic combined with acid-alkali soluble. Selecting the ultrasonic time, ultrasonic power, ultrasonic temperature and solid-liquid ratio as studying factors, the yield of rice bran albumin and rice bran glutelin were chosen for single factor experiment. Rice bran albumin and rice bran glutelin were from stabilized rice bran under the best ultrasonic conditions, which were tested amino acid composition, microstructure, secondary structure and thermal stability. The results shows that the yield of rice bran albumin and rice bran glutelin both reach the maximal value under the condition of ultrasonic time 10 min, ultrasonic power 160 W, ultrasonic temperature 50°C and liquid-solid ratio 10 mL/g. Amino acid composition, microstructure and secondary structure showed the two protein had the typical characteristics of albumin and protein, and had higher thermal stability.

**Key words:** Rice bran albumin Rice bran glutelin Ultrasound Extraction