

# 不同提取方法下米渣蛋白理化性质和聚集态的研究

陈嘉懿, 钟俊桢, 刘成梅

(南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047)

**摘要:** 实验采用碱提酸沉和稀碱脱脂除杂的方法, 分别得到两种米渣蛋白(碱提蛋白、除杂蛋白)。测定两种蛋白的功能性(溶解度、乳化性), 实验显示, 在 pH 2.0~pH 11.0 范围内, 两种蛋白的溶解性和乳化性均呈现先降低后升高的趋势, 碱提蛋白相比除杂蛋白, 具有更好的溶解性和乳化性。为了更好地分析两种蛋白性质差异性, 实验通过测定蛋白的表面疏水性、粒度、分子量和表面微观形态, 表征两种蛋白的聚集态变化。碱提蛋白具有高的表面的疏水性和更小的粒度, 通过扫描电镜观察发现, 碱提蛋白呈现表面粗糙的颗粒堆积, 而除杂蛋白表面较平滑, 蛋白颗粒呈现相互团聚交联的状态。实验表明, 两种提取方法得到的蛋白形成了不同的聚集态, 与除杂蛋白相比, 碱提蛋白具有更小的聚集态颗粒, 同时暴露出更多的疏水性基团, 使其表面疏水性高于除杂蛋白, 从而表现出更高的溶解度和乳化性。

**关键词:** 米渣蛋白; 性质; 聚集态; 提取方法

文章编号: 1673-9078(2015)10-241-246

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.10.040

## Properties and Aggregation Characteristics of Rice Residue Proteins Obtained by Different Extraction Methods

CHEN Jia-yi, ZHONG Jun-zhen, LIU Cheng-mei

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

**Abstract:** Rice residue proteins were obtained by either alkaline extraction-acid precipitation process (alkali-extraction) or dilute alkali degreasing (purification), and the functional properties (solubility and emulsifying properties) of the resulting two types of proteins were studied. The results showed that between pH 2.0 and 11.0, the solubility and emulsifying properties showed an upward trend after an initial decline, where the alkaline-extracted protein exhibited superior solubility and emulsifying properties compared to the purified protein. To further investigate differences in their functional properties, changes in the aggregation state of the two proteins were studied by measuring surface hydrophobicity, particle size distribution, molecular weight, and surface morphology. The alkaline-extracted sample showed higher surface hydrophobicity and smaller particle size. Scanning electron microscopy showed that the surface of alkaline-extracted protein was rough with packed particles and that of purified protein was relatively smooth with cross-linked particles. The results indicated that the proteins extracted by the above two extraction methods formed different aggregation states. Compared with the purified protein, alkaline-extracted protein showed smaller aggregated particles and exposed more hydrophobic groups, thus exhibiting higher surface hydrophobicity. Therefore, the alkaline-extracted protein exhibited better solubility and emulsifying properties.

**Key words:** rice residue protein; properties; aggregation state; extraction method

大米蛋白属于优质谷物蛋白, 有良好的氨基酸组成配比, 含人体必需的八种氨基酸以及重要的利用价值<sup>[1]</sup>。大米蛋白具有较高生物价以及优良的低过敏特征, 被公认为优质的植物蛋白。据研究报告, 大米蛋白对抗糖尿病、抗胆固醇和抗癌变等也都有一定的作

收稿日期: 2015-01-14

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD37B02-05); 赣鄱英才555工程(18000007)

作者简介: 陈嘉懿(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏

通讯作者: 刘成梅(1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向为食品高新技术

用<sup>[2]</sup>。以大米为原料制糖、味精、酒等的生产过程中, 会产生大量的副产物-米渣。相对大米蛋白而言, 米渣中的蛋白含量更高, 但是由于大米制糖过程中, 米渣蛋白因加热和高压处理产生变性, 导致蛋白溶解性降低, 难于提取, 限制了它在食品中的应用<sup>[3]</sup>。

国内外对于米渣蛋白的提取研究, 主要有溶剂提取、碱提酸沉、物理分离、酶法提取及复合提取等<sup>[4,5]</sup>。对于不同提取方法的研究, 大多仅以蛋白纯度和提取率为指标, 比较不同提取方法的区别<sup>[6,7]</sup>。也有一部分关于蛋白功能性质的比较, 例如郭荣荣<sup>[8]</sup>等人比较碱提酸沉和蛋白酶提取结果显示, 碱法提取的蛋白持水

性和起泡性优于蛋白酶提取,而酶法提取的蛋白溶解性、乳化稳定性和泡沫稳定性优于碱提蛋白,两种方法提取得到的产品乳化能力相当;王士磊<sup>[9]</sup>在大米蛋白提取工艺优化及功能特性的研究中,对碱法提取和 $\alpha$ -淀粉酶除杂两种方法进行工艺优化,并比较了氨基酸组成、乳化性、起泡性、持水性及吸油性的差异。

目前,关于不同提取方法得到的米渣蛋白的性质和聚集态关系的研究相对较少。为此,本实验采用碱提酸沉结合 $\alpha$ -淀粉酶提取方法以及除杂法两种方法,得到两种高纯度的米渣蛋白,比较两种蛋白性质差异,同时测定两种蛋白分子量、粒度及表面微观形态变化,分析蛋白性质差异和蛋白聚集态的关系,为大米蛋白功能性改性方面提供理论依据,期望扩大其在食品行业的应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 原料

将米渣原料,通过不同的方法分别得到两种米渣蛋白:一种主要通过碱提酸沉的方法得到(碱提蛋白),米渣先在0.5 mol/L氢氧化钠溶液中碱提,离心取上清液加入 $\alpha$ -淀粉酶反应,继续离心得上清液,用稀盐酸将pH调至4.8,离心得沉淀,将沉淀水洗提高蛋白纯度;另一种蛋白主要是通过除杂法得到(除杂蛋白),米渣经高温淀粉酶除去淀粉,离心得沉淀,进一步在80℃,pH 8.0的弱碱性条件下,除去其中的脂肪,达到提高纯度的目的。

#### 1.1.2 试剂

$\alpha$ -淀粉酶,美国Sigma公司;高温淀粉酶,诺维信(中国)投资有限公司;1-苯胺基萘-8-磺酸(ANS),美国Sigma公司;十二烷基磺酸钠(SDS)等。

### 1.2 实验设备

UV-1600PC紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;F-4500荧光光谱仪,日本日立公司;Mini Protean Tetra MP4电泳仪,美国Bio-Rad伯乐公司;Quanta 200F场发射环境扫描电镜,德国FEI公司;NICOMP 380/ZLS激光纳米粒度分析仪,美国PSS公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 米渣蛋白组分测定

采用国标的方法,分别测定两种米渣蛋白的基本组分。其中蛋白纯度参照GB 5009.5-2010中凯氏定氮

法进行测定,淀粉含量参照GB/T 5009.9-2003中酸水解法进行测定,水分含量参照GB 5009.3-2010中直接干燥法进行测定,脂肪、纤维、灰分的测定分别参照GB/T 14772-2008,GB/T 5009.10-2003和GB 5009.4-2010的方法。

#### 1.3.2 米渣蛋白溶解性测定

将碱提蛋白和除杂蛋白分别溶于不同pH的缓冲液中(磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲液:pH 2.0、3.5;磷酸氢二钠-磷酸二氢钾:pH 5.0、6.5、8.0;碳酸钠-碳酸氢钠:pH 9.5、11.0),溶液的pH用0.1 mol/L的HCl或NaOH溶液调节<sup>[10]</sup>。室温下搅拌1 h后,在4800 r/min离心15 min,得上清液。溶解度的测定采用考马斯亮蓝法<sup>[11]</sup>,测定595 nm下的吸光度,以0、20、40、60、80、100  $\mu$ g/mL牛血清蛋白标准溶液绘制标准曲线。样品中的蛋白含量通过标准曲线进行计算,所有的样品平行测定三次。

#### 1.3.3 米渣蛋白乳化性测定

参考Lan Shen等人的方法<sup>[12]</sup>,将碱提蛋白和除杂蛋白分别溶解于不同pH缓冲液中,分别配制15 mL含米渣蛋白1%的蛋白溶液,加入5 mL的大豆色拉油,用数字均质仪在24000 r/min下均质处理1 min,形成乳状液,立即从底部吸取50  $\mu$ L的乳化液,加入到5 mL浓度为0.1%的SDS溶液中,涡旋5 s混合均匀。立即测定500 nm下的吸光度值,并在10 min后再测定一次。计算蛋白乳化性和乳化稳定性,所有样品平行测定三次。

$$EAI(m^2/g) = \frac{2 \times 2.303}{C \times \varphi(1-\theta) \times 10^5} \times A_0 \times DF$$

$$ESI(\%) = \frac{10 \times A_{10}}{A_0 - A_{10}}$$

其中, $A_0$ 和 $A_{10}$ 分别在0 min和10 min时测得的稀释后的乳化液的吸光度。DF是稀释度(100),C表示乳化反应前的蛋白浓度(g/mL), $\varphi$ 是光程(0.01 m), $\theta$ 是油的体积分数(0.25)。

#### 1.3.4 米渣蛋白表面疏水性测定

米渣蛋白的测定利用ANS作为疏水性荧光探针<sup>[13]</sup>,溶解于10 mM的磷酸盐缓冲液(pH 7.0)中,配制成8 mM的ANS溶液。碱提蛋白和除杂蛋白分别溶解于磷酸盐缓冲液中,配制0.05~0.25 mg/mL的不同浓度梯度的蛋白溶液。将20  $\mu$ L现配的ANS与4 mL蛋白溶液混合,震荡均匀,在避光处反应10 min。在390 nm激发波长下检测最大发射荧光强度,用荧光强度对蛋白浓度作图,进行线性回归,斜率即为蛋白的表面疏水性指标。所有样品平行测定三次。

#### 1.3.5 米渣蛋白粒度测定

将碱提蛋白和除杂蛋白分别溶于pH 7.0的磷酸

缓冲液中, 配制浓度为 1 mg/mL 的蛋白溶液, 采用 NICOMP 380 ZLS 动态光散射纳米粒度分析仪, 测定碱提蛋白和除杂蛋白在中性缓冲液中的粒度分布。

### 1.3.6 米渣蛋白分子量测定

参考文献<sup>[15]</sup>采用的 Laemmli 电泳系统, 配制含有 0.1 % SDS 的 12 % 的分离胶和 4 % 的浓缩胶。配制浓度 1 mg/ml 的蛋白样品, 与含有  $\beta$ -巯基乙醇的还原性上样缓冲液 3:1 混合, 95 °C 加热处理 3 min。电泳结束后, 使用含 R-250 考马斯亮蓝染色液对胶体染色约 1 h 后, 用脱色液反复脱色直到显示清晰的电泳条带。根据标准蛋白分子量与其在凝胶上的迁移率, 计算碱提蛋白和除杂蛋白中各条带组分的相对分子质量, 进行比较。

### 1.3.8 米渣蛋白表面微观形态测定

参考文献<sup>[16]</sup>分别取两种蛋白的样品粉末, 置于有

表 1 蛋白组分及得率

Table 1 Composition and extraction ratio of the rice residue proteins

米渣蛋白	蛋白 %	淀粉/%	粗脂肪/%	粗纤维/%	灰分/%	水分/%	提取率/%
碱提蛋白	88.65 $\pm$ 1.05	-	4.83 $\pm$ 0.27	-	0.81 $\pm$ 0.13	5.28 $\pm$ 0.32	37.22 $\pm$ 1.81
除杂蛋白	89.46 $\pm$ 1.32	2.02 $\pm$ 0.14	2.13 $\pm$ 0.34	1.35 $\pm$ 0.11	1.27 $\pm$ 0.17	4.21 $\pm$ 0.22	79.54 $\pm$ 2.16

由表 1 可知, 两种蛋白的蛋白纯度相差不大, 均接近 90%, 碱提蛋白中灰分含量不到 1%, 淀粉和粗纤维含量微不可测, 均低于除杂蛋白的指标, 而除杂蛋白的粗脂肪含量为 2.13 %, 仅为碱提蛋白的一半, 说明除杂蛋白的稀碱脱脂工艺具有较好的效果。同时, 从得率上看, 除杂蛋白也明显高于碱提蛋白。

## 2.2 米渣蛋白溶解性比较

分别测定碱提蛋白和除杂蛋白在 pH 2.0~11.0 条件下的溶解度, 精确控制溶液 pH 值, 平行测定三次, 实验结果如图 1 所示。

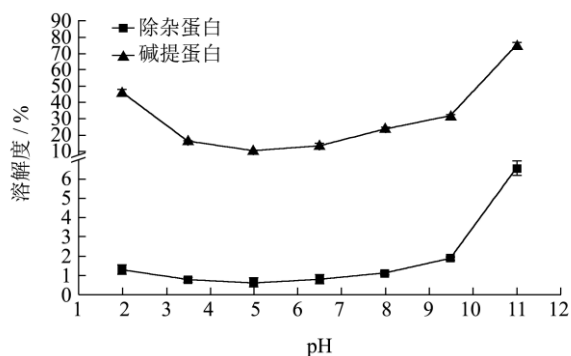


图 1 米渣蛋白溶解性比较

Fig.1 Comparison of the solubility of the rice residue proteins

溶解度测定结果显示, 随着溶液 pH 逐渐升高, 碱提蛋白和除杂蛋白溶解度均呈现先降低后升高的趋势, 且在 pH 5.0, 即谷蛋白等电点 pH 4.8 附近时, 两

两面沾合剂的黑色胶带上, 胶带固定在圆形的样品垫片上。将样品放在环境扫描电子显微镜下进行观察。扫描电镜电压设置为 10 kV, 光斑大小为 2.5。观察比较两种蛋白表面微观形态的差异。

## 13.9 数据统计分析

应用 SPSS 17.0 和 Origin 8.0 对实验数据进行统计分析和作图, 数据用平均值 $\pm$ 标准偏差表示。

## 2 结果与讨论

### 2.1 米渣蛋白基本组成对比

分别测定碱提蛋白和除杂蛋白的蛋白纯度、脂肪、淀粉、灰分、水分及提取率指标, 测得结果如下表 1 所示。

种蛋白溶解度均达到最低, 在 pH 11.0 时溶解度最高。碱提蛋白溶解度最低点为 10.11 %, 而除杂蛋白溶解度仅为 0.61%, 从图中可以看出, 碱提蛋白的溶解度在 pH 2.0~11.0 的范围内整体明显高于除杂蛋白。Ning Xia<sup>[17]</sup>比较碱提酸沉和酶辅助微射流方法提取的大米蛋白溶解性发现, 酶辅助微射流提取得到的蛋白在 pH 2.0 到 pH 10.0 范围溶解性偏低 (<25%), 碱提蛋白在 pH 5.0 具有最低溶解度, 而 pH 小于或大于 5.0 时溶解度显著提高。这可能是因为不同的提取过程使蛋白的聚集态发生了不同的改变, 从而使两种蛋白的溶解度产生显著差异。Cao Xiaohong<sup>[18]</sup>从不同原料(糙米、精白米、米糠)中通过碱提酸沉大米蛋白, 测定溶解性发现, 三种蛋白溶解性在 pH 大于 7.0 和小于 4.0 时有显著提高, 且在 pH 5.0 时溶解度最低, 同时指出酸性和碱性溶液能够加速蛋白的变性和水解, 从而提高溶解度, 这些和实验中观察到的现象是相似的。

### 2.3 米渣蛋白乳化性比较

分别测定碱提蛋白和除杂蛋白的乳化性及乳化稳定性。精确控制溶液 pH、乳化反应时间及测定时间, 平行测定三次, 实验结果如下图所示。

由图 2 可以看出, 碱提蛋白和除杂蛋白的乳化性均随着 pH 的升高呈现先降低后增长的趋势, 碱提蛋白在 pH 4.0 左右乳化性最低, 达到 219.62 m<sup>2</sup>/g, 除杂蛋白乳化性最低值为 73.28 m<sup>2</sup>/g, 同时能够发现碱提



蛋白在 pH 范围内乳化性基本高于除杂蛋白, 这和蛋白的溶解性变化趋势较为一致的。有文献指出, 蛋白的氮溶指数和蛋白的乳化性呈正相关<sup>[19]</sup>, 氮溶指数高是产生好的乳化活性的基础。这证实了实验结果中两种蛋白乳化性和溶解性变化趋势的一致性。文献同时指出, 不溶性蛋白质对乳化作用的影响很小, 这可能是因为蛋白质在它的表面性质起作用之前必须先溶解并移动吸附到相界面的缘故, 然而一旦乳状液形成, 不溶解的蛋白质也起着稳定乳状液的作用<sup>[19]</sup>。

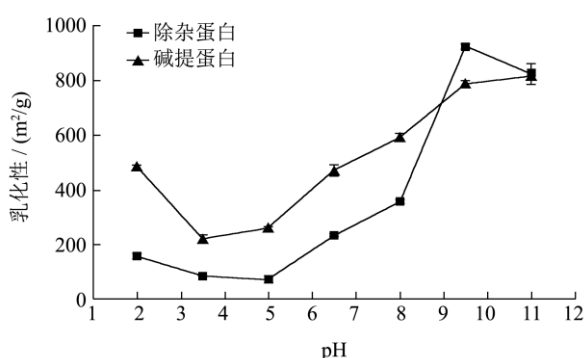


图2 米渣蛋白乳化性比较

Fig.2 Comparison of the emulsifying properties of the rice residue proteins

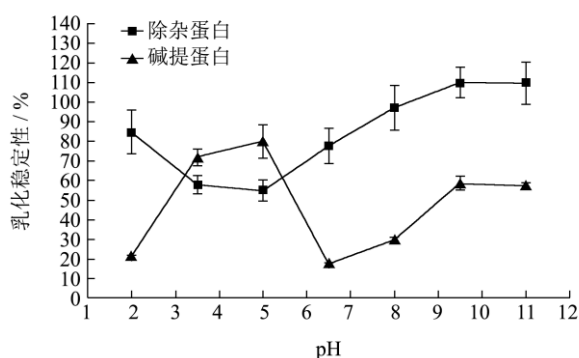


图3 米渣蛋白乳化稳定性比较

Fig.3 Comparison of the emulsion stability of the rice residue proteins

从图2中可以看出, 碱提蛋白的乳化稳定性在 pH 5.0 附近突然呈现增高的趋势, 达到 79.90%, 这可能是碱提蛋白在等电点附近溶解度相对更低, 其中的不溶性蛋白对稳定性提高产生的作用较为明显的原因。但是除杂蛋白乳化稳定性没有在等电点附近有明显提高, 可能是由于除杂蛋白整体溶解度极低, 不同 pH 条件下不溶性蛋白对乳化稳定性的改变没有明显的区别。

### 2.4 米渣蛋白表面疏水性和粒度分布比较

有文献指出, 由于蛋白聚集体的破坏, 粒度大小降低, 对蛋白的功能性质产生影响, 同时指出蛋白聚

集态的影响, 使蛋白表面疏水性与蛋白溶解性显著相关<sup>[20]</sup>。从表2中可以看出, 碱提蛋白的表面疏水性达到 3551.80, 显著高于除杂蛋白的 459.57。在蛋白粒度测定中, 碱提蛋白的平均粒度为 333.63 nm, 小于除杂蛋白的 576.33 nm。这可能是由于碱提蛋白提取过程中, 形成相对较小的蛋白聚集体, 使其暴露的疏水性基团增加, 表面疏水性得到提高。

Zhao Q 等在比较不同原料的大米蛋白的报道中指出, 表面疏水性的提高能够产生高溶解性, 低聚合性, 并促进疏水性基团的暴露<sup>[13]</sup>。结合蛋白溶解性比较可以看出, 与除杂蛋白相比, 碱提蛋白表面疏水性更高的同时, 也具有更好的溶解性, 实验结果与 Zhao Q 所报道的现象是一致的。同时在乳化性测定中, 碱提蛋白也表现出了高于除杂蛋白的乳化性。这与刘瑾<sup>[19]</sup>报道的疏水基侧链的暴露, 有利于乳化过程的形成的结论是也是吻合的。

表2 米渣蛋白表面疏水性及粒度比较

Table 2 Comparison of the surface hydrophobicity and particle size of the rice residue proteins

米渣蛋白	表面疏水性	平均粒度/nm
碱提蛋白	3551.80±23.71	333.63±5.88
除杂蛋白	459.57±9.54	576.33±95.51

### 2.5 米渣蛋白分子量及表面微观形态比较

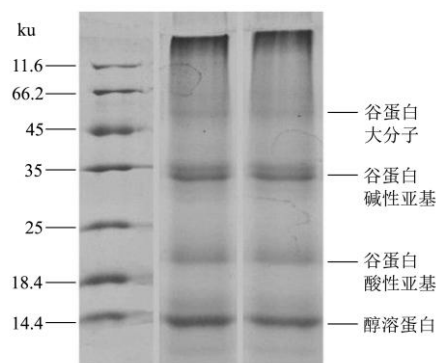


图4 两种蛋白电泳图谱

Fig.4 Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) profiles of the two rice residue proteins

根据溶解度划分, 米蛋白主要由醇溶蛋白、球蛋白、清蛋白和谷蛋白组成<sup>[21]</sup>。醇溶蛋白的主要是分子量为 13 ku 的亚基, 谷蛋白刚合成是 57 ku 的大分子, 从核糖体转运到液泡并形成蛋白体的过程中, 被水解成  $\alpha$  酸性亚基 (37 ku~39 ku) 和  $\beta$  碱性亚基 (22 ku)<sup>[22]</sup>。两种米渣蛋白经还原性上样缓冲液处理形成蛋白单体, 从两种蛋白的 SDS-PAGE 电泳图谱可以看出, 碱提蛋白和除杂蛋白主要由醇溶蛋白, 谷蛋白大分子, 谷蛋白酸性及碱性亚基组成, 并且这两种蛋白在组成

上没有明显的差异。同时,两种蛋白在浓缩胶和分离胶的界面上均有大分子物质被截留,表明两种蛋白均发生聚集,形成了蛋白大分子。由此可以推断,两种蛋白的性质差异可能与蛋白亚基的聚集状态具有相关性,与蛋白亚基组成无关。

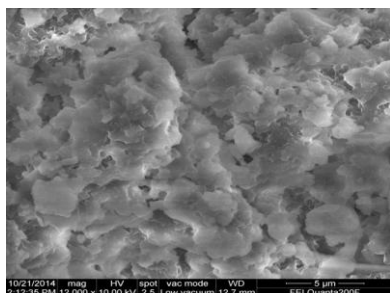


图5 碱提蛋白表面微观形态

Fig.5 Surface morphology of the alkaline-extracted rice residue protein

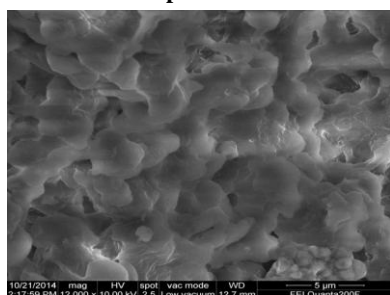


图6 除杂蛋白表面微观形态

Fig.6 Surface morphology of the purified rice residue protein

图5、6分别是碱提蛋白和除杂蛋白分别在环境扫描电镜下进行观察的结果,比较两者在表面微观形态上的差异可以发现,碱提蛋白呈现大小不规则的块状或颗粒堆积,蛋白表面较为粗糙,而除杂蛋白颗粒大小相对均一,颗粒相互团聚交联,且蛋白表面平滑度较好。由此可以分析,蛋白的聚集形式和表面微观形态的差异,对蛋白的性质产生了一定的影响。

由于蛋白乳化的稳定性通常依靠非共价相互作用,例如氢键、疏水和静电作用、共价作用和吸附蛋白质分子间的巯基二硫化物交换反应等<sup>[23]</sup>,当蛋白达到更好的亲水亲油性平衡时,能够提高蛋白的乳化性质<sup>[24]</sup>。因此,碱提蛋白表面粗糙形态和不规则的聚集状态,相对于除杂蛋白平滑以及连接较为紧密的交联结构,更有利于蛋白在溶液中的溶解和分散,使蛋白暴露的疏水性基团增多,同时使碱提蛋白具有更好的亲水亲油平衡,其乳化性优于除杂蛋白。

### 3 结论

碱提酸沉和淀粉酶除杂,是蛋白提取中广泛使用的工艺方法,实验采用高温淀粉酶结合稀碱脱脂获得的米渣蛋白,具有较高的提取率及较低的脂肪含量,

但是在溶解性和乳化性等方面明显低于碱提酸沉结合 $\alpha$ -淀粉酶获得的蛋白。这和两种提取方法对蛋白聚集态的影响密切相关。由于碱提蛋白具有粗糙及不规则颗粒聚集的表面形态,蛋白粒度相对较小,蛋白暴露的疏水性基团含量增多,表面疏水性提高,蛋白的溶解性和乳化性均呈现优于除杂蛋白的特点。

### 参考文献

- [1] Chang K C, Lee C C, Brown G. Production and nutritional evaluation of high - protein rice flour [J]. Journal of Food Science, 1986, 51(2): 464-467
- [2] Morita T, Kiriya S. Mass production method for rice protein isolate and nutritional evaluation [J]. Journal of Food Science, 1993, 58(6): 1393-1396
- [3] Zhao Q, Xiong H, Selomulya C, et al. Enzymatic hydrolysis of rice dreg protein: effects of enzyme type on the functional properties and antioxidant activities of recovered proteins [J]. Food Chemistry, 2012, 134(3): 1360-1367
- [4] 张凯,吴卫国.大米蛋白提取工艺研究进展[J].粮食加工, 2010,35(3):38-40  
ZHANG Kai, WU Wei-guo. Progress in research of abstraction technics for rice protein [J]. Grain Processing, 2010, 35(3): 38-40
- [5] 吴英华,任凤莲.大米蛋白提取工艺的研究及产品开[J].粮油加工,2010,(11):71-75  
WU Ying-hua, REN Feng-lian. Research of extraction technics for rice protein and the development of product [J]. Cereals and Oils Processing, 2010, (11): 71-75
- [6] 王章存,姚惠源.大米蛋白质提取技术研究[J].粮食与饲料工业,2003,(8):37-38  
WANG Zhang-cun, ZHAO Hui-yuan. Research of extraction technology for rice protein [J]. Cereal & Feed Industry, 2003, (8): 37-38
- [7] 张凯.大米蛋白提取工艺优化,改性及理化性质的研究[D].长沙:湖南农业大学,2010  
ZHANG Kai. Study on extraction, modification of rice protein and its physical and chemical properties [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010
- [8] 郭荣荣,潘思轶,王可兴.碱法与酶法提取大米蛋白工艺及功能特性比较研究[J].食品科学,2005,26(3):173-177  
GUO Rong-rong, PAN Si-yi, WANG Ke-xing. Comparing research on functionality of rice protein extracted by alkali and enzyme [J]. Food Science, 2005, 26(3): 173-177
- [9] 王士磊.大米蛋白提取工艺优化及功能特性的研究[D].哈尔滨工业大学,2010

- WANG Shi-lei. The optimization of extraction and functional study on rice protein [D]. Harbin Institute of Technology, 2010
- [10] Li Y, Zhong F, Ji W, et al. Functional properties of maillard reaction products of rice protein hydrolysates with mono-, oligo- and polysaccharides [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 30(1): 53-60
- [11] Chiu T, Chen M, Chang H. Comparisons of emulsifying properties of maillard reaction products conjugated by green, red seaweeds and various commercial proteins [J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(8): 2270-2277
- [12] Shen L, Tang C H. Microfluidization as a potential technique to modify surface properties of soy protein isolate [J]. *Food Research International*, 2012, 48(1): 108-118
- [13] Zhao Q, Selomulya C, Xiong H, et al. Comparison of functional and structural properties of native and industrial process-modified proteins from long-grain indica rice [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56(3): 568-575
- [14] 徐雪荣,冯静,梁瑞红,等.菠萝皮果胶的分离纯化及组成分析[J].*热带作物学报*,2012,33(8):1476-1481
- XU Xue-rong, FENG Jing, LIANG Rui-hong, et al. Extraction, purification and compositional analysis of pineapple rind pectin [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2012, 33(8): 1476-1481
- [15] Anderson A, Hettiarachchy N, Ju Z Y. Physicochemical properties of pronase-treated rice glutelin [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2001, 78(1): 1-6
- [16] Chen J, Liang R H, Liu W, et al. Degradation of high-methoxyl pectin by dynamic high pressure microfluidization and its mechanism [J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 28(1): 121-129
- [17] Xia N, Wang J M, Gong Q, et al. Characterization and in vitro digestibility of rice protein prepared by enzyme-assisted microfluidization: comparison to alkaline extraction [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56(2): 482-489
- [18] Cao X, Wen H, Li C, et al. Differences in functional properties and biochemical characteristics of congeneric rice proteins [J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 50(2): 184-189
- [19] 刘瑾.酶法改善大豆分离蛋白起泡性和乳化性的研究[D].无锡:江南大学,2008
- LIU Jin. Enhancing the foaming and emulsifying properties of soybean protein isolate by enzymatic modification [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [20] Liu C M, Zhong J Z, Liu W, et al. Relationship between functional properties and aggregation changes of whey protein induced by high pressure microfluidization [J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(4): 341-347
- [21] 赵强.热变性米渣蛋白功能改性与结构关系研究[D].南昌大学,2012
- ZHAO Qiang. Functionality-structure relationships of heat-denature rice dreg protein influenced by modification [D]. Nanchang University, 2012
- [22] 王章存.米渣蛋白的制备及其酶法改性研究[D].无锡:江南大学,2005
- WANG Zhang-cun. Preparation and enzymatic hydrolysis of rice protein from rice dreg [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008
- [23] 刘春波,刘志东,王荫榆.糖基化反应对乳清蛋白-乳糖复合物乳化性的影响[J].*中国乳品工业*,2010,38(7):25-28
- LIU Chun-bo, LIU Zhi-dong, WANG Yin-yu. Improvement of emulsifying properties of whey protein isolate-lactose conjugates by glycosylation reaction [J]. *China Dairy Industry*, 2010, 38(7): 25-28
- [24] Corzo-Mart ínez M, Carrera S áchez C, Moreno F J, et al. Interfacial and foaming properties of bovine  $\beta$ -lactoglobulin: galactose maillard conjugates [J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 27(2): 438-447