

米渣发泡蛋白粉的酶法制备工艺

高俊¹, 艾丹¹, 黎刚¹, 陈季旺^{2*}

(1. 江西花圣食品有限公司, 南昌 330115; 2. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023)

摘要: **目的** 优化米渣蛋白发泡粉的制备工艺。**方法** 采用碱性蛋白酶、中性蛋白酶、胰蛋白酶、风味蛋白酶和复合蛋白酶分别水解脱酰胺米渣蛋白(deaminated rice dreg protein, DRDP), 比较5种蛋白酶水解物的起泡力和持泡力, 确定较佳的蛋白酶并优化水解条件。**结果** 碱性蛋白酶为较佳的水解酶, 水解条件为: DRDP浓度10%、pH 8.0、40℃、碱性蛋白酶与DRDP比24 AU/kg、时间90 min。该试验条件下制备的米渣发泡蛋白的起泡力为300%, 持泡力为90%, 得率为88.65%。**结论** 采用碱性蛋白酶水解DRDP能够生产功能良好的米渣发泡蛋白。

关键词: 米渣; 发泡蛋白; 酶法水解

Process for enzymatic hydrolysis of rice foamed protein powder

GAO Jun¹, AI Dan, LI Gang, CHEN Ji-Wang^{2*}

(1. Jiangxi Huasheng Food Co., Ltd., Nanchang 330115, China; 2. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the process of the foaming powder from rice dreg protein. **Methods** Alcalase, neutrase, trypsin, flavourzyme, and protamex were used to hydrolyze deaminated rice dreg protein (DRDP), respectively, and the foaming force and holding force of 5 kinds of hydrolysates were measured to determine the better protease and optimize the hydrolysis conditions. **Results** Alcalase was the optimum hydrolytic enzyme. The optimized hydrolysis conditions were shown as follows: 10% of DRDP, pH 8.0, 40℃, 24 AU/kg of alcalase to DRDP ratio, and 90 min of hydrolysis time. Under these conditions, rice foamed protein with foaming force of 300%, holding force of 90%, and yield of 88.65% were prepared. **Conclusions** Rice foamed protein powder may be produced through enzymatic hydrolysis of DRDP.

KEY WORDS: rice dreg; foamed protein; enzymatic hydrolysis

1 引言

米渣中蛋白质含量较高, 高温糖化促使蛋白质分子间形成大量的二硫键, 使蛋白质分子交联形成网状结构, 不利于蛋白质的溶解。此外, 大米蛋白中高含量的天冬酰胺与谷氨酰胺通过氢键等结合形成难溶聚集体, 限制了蛋白质在液态食品领域的应用。国内外学者在米渣蛋白增溶

方面做了大量研究, 主要利用化学方法、物理方法或者生物酶法对蛋白质进行去酰胺改性, 使交联的谷氨酰胺和天冬酰胺中的酰胺基转变成羧酸, 通过羧化作用减小分子内氢键, 增加分子上负电荷, 增强静电排斥作用, 提高蛋白质的溶解度^[1]。在酸法去酰胺的基础上, 利用蛋白酶对蛋白质水解的特异性, 进一步使蛋白质分子的疏水性暴露, 在一定程度上提高蛋白质的溶解性、起泡性^[2]。

*通讯作者: 陈季旺, 博士, 教授, 主要研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。E-mail: jiwangchen1970@126.com

*Corresponding author: CHEN Ji-Wang, Professor, Ph.D, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China. E-mail: jiwangchen1970@126.com

目前,米渣蛋白的酶解多以纯化后的米渣蛋白为原料,采用单酶或者复合酶组合水解。吴雨静等^[3]采用中性蛋白酶对纯化后的米渣蛋白水解,利用响应面法优化了米渣发泡蛋白的制备工艺,确定了较佳的工艺条件为:加酶量 1.33%、酶解时间 2.16 h,料液比 1:10。王章存等^[4]以米渣分离蛋白为原料,采用碱性蛋白酶和复合蛋白酶进行酶解,通过均匀设计试验方法确定了大米分离蛋白(rice protein isolate, RPI)水解的较佳试验条件为:蛋白质浓度 10%、碱性蛋白酶用量 0.048%,复合蛋白酶用量 0.03%、反应时间 3.1 h。

本文以起泡力、持泡力为指标,分别采用碱性蛋白酶、中性蛋白酶、胰蛋白酶、风味蛋白酶和复合蛋白酶水解脱酰胺米渣蛋白(deaminated rice dreg protein, DRDP),比较 5 种蛋白酶水解 DRDP 的效果,通过探讨酶解过程中的 DRDP 浓度、pH 值、温度、加酶量以及反应时间的影响,确定较佳的蛋白酶并优化水解条件。

2 材料与方法

2.1 试验材料与试剂

米渣蛋白(rice dreg protein, RDP): 自制(蛋白质含量 71.32%、水分含量 7.58%、灰分含量 2.45%、脂肪含量 4.39%); 胰蛋白酶(Trypsin Novo 6.0 S, 酶活力 1250 USP/mg)、碱性蛋白酶(Alcalase 2.4 LFG, 酶活力 2.4 AU/g)、中性蛋白酶(Neutrase 0.8 L, 酶活力 0.8 AU/g)、复合蛋白酶(Protamex, 酶活力 1.5 AU/g)、风味蛋白酶(Flavourzyme 1000 L, 酶活力 1000 LAPU/g)(丹麦诺维信公司); 柠檬酸、氢氧化钠、硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸、盐酸等(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

2.2 仪器与设备

超级恒温水浴酶反应器(武汉集思仪器设备有限公司); SYC 智能超级恒温水槽(巩义市英峪予华仪器厂); 81-2 型恒温磁力搅拌器(上海司乐仪器厂); KDN-04 型消化炉(上海洪纪仪器设备有限公司); FW80 微型高速万能粉碎机(郑州科丰仪器设备有限公司); LXJ-II 离心机(上海医用分析仪器厂); MP-200A 电子天平(上海精密科学仪器有限公司); DELTA320 pH 计(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司); TGL-16C 台式离心机(上海安亭科学仪器厂制造); JJ-2 组织捣碎匀浆机(宁波市生化仪器厂)。

2.3 试验方法

(1) 常规成分的测定

水分含量的测定^[5](GB 5009.3-2010): 105 °C 恒重法。

灰分含量的测定^[6](GB 5009.4-2010): 550 °C 灼烧法。

蛋白质含量^[7](GB 5009.5-2010): 半微量凯氏定氮法, 转换系数 5.95。

游离及结合脂肪含量的测定^[8](GB/T 5009.6-2003): 酸水解法。

(2) 水解度(degree of hydrolysis, DH)的测定

采用 pH-state 法, 调整蛋白质溶液至一定 pH, 按照试验设计加入蛋白酶, 用 1.000 mol/L NaOH, 维持水解液 pH 在试验设计预定 pH, 记录使用的碱液体积, 计算水解度。

$$DH(\%) = \frac{h}{h_{tot}} \times 100$$

$$h = B \times N_b \times 1/\alpha \times 1/M_p$$

式中: h ——单位质量蛋白质中被水解的肽键的量(mmol/g);

B ——消耗的碱的体积, mL;

N_b ——碱的浓度, mol/L;

$1/\alpha$ ——校正系数, 即 α -氨基酸的解离度(根据具体情况而定);

$\alpha = (10^{\text{pH}-\text{pK}})/(1+10^{\text{pH}-\text{pK}})$ 计算(pH: 水解溶液的 pH 值, pK: α -氨基的解离度常数, pK 7.0, 其中 α -氨基的解离度与温度有关);

M_p ——底物中蛋白质的含量, g;

h_{tot} ——底物中蛋白质中肽键总数, mmol/g(米渣蛋白取 7.40^[9])。

(3) 起泡力及持泡力的测定^[10]

配制 1% 质量浓度蛋白溶液 100 mL (V_0), 用 2000 r/min 的速度搅拌 10 min, 停止搅拌并迅速倒入 1 L 量筒记录液体和气泡的总体积(V_1)。记录起泡力 30 min 后再次记录溶液和气泡的总体积(V_2), 则

$$\text{起泡力} = \frac{V_1}{V_0} \times 100\%$$

$$\text{持泡力} = \frac{V_2 - V_0}{V_1 - V_0} \times 100\%$$

2.4 DRDP 的制备^[11]

向酶解罐中加入 10 L 一定 pH 值柠檬酸溶液, 保鲜膜封口防止水分蒸发。将酶解罐与超级恒温水槽相连, 待酶解罐内温度达到试验设计的温度 80 °C 时, 按试验料液比 6:100($m:m$)加入米渣, 调整 pH 值为 1.5(采用 6 mol/L 柠檬酸调整), 反应 3 h。去酰胺反应结束迅速冷却反应液, 4000 r/min 离心 10 min, 将制得的 DRDP 溶液喷雾干燥。

2.5 酶解液的制备^[12]

将按照试验设计的底物浓度配制的 DRDP 溶液倒入酶解罐, 保鲜膜封口防止水分蒸发。将酶解罐与超级恒温水槽相连, 待酶解罐内温度达到试验设计的温度时, 调整 pH 值到试验设计值(采用 1 mol/L NaOH 或 HCl 调整)。按照试验设计酶量边搅拌边加入蛋白酶, 在反应过程中不断加入酸或碱, 维持 pH 值在设定值 ± 0.1 之内, 直到反应结束。在沸水中水浴 20 min, 灭酶, 4000 r/min 离心 15 min, 用凯氏定氮法测定上清液蛋白质含量后, 配制成 1% 蛋白质

浓度的米渣发泡蛋白(rice dreg foaming protein, RDFP), 测定起泡力和持泡力。

2.6 单酶的选择

选用碱性蛋白酶、中性蛋白酶、胰蛋白酶、风味酶和复合蛋白酶进行试验, 以酶解反应中上清液的起泡力和持泡力作为单酶选择的评价指标^[13,14]。配制底物浓度为 10% 的 DRDP 溶液, 在各酶的最适反应条件下反应, 同时考虑到不同酶的酶解效率不同, 出现起泡力和持泡力最高点的时间不同, 考察 300 min 内起泡力和持泡力的变化。酶反应条件及底物特异性见表 1。

2.7 单酶水解条件的优化^[15,16]

- (1)酶解底物浓度的影响
- 在确定较佳蛋白酶后, 分别配制 DRDP 溶液浓度 2%、4%、6%、8%、10%、12% 的蛋白溶液, 在该酶较适宜 pH 值、温度、酶添加量条件下反应 60 min, 研究不同底物浓度对水解液起泡力和持泡力的影响。
- (2)酶解 pH 值的影响
- 根据上述试验确定较佳底物浓度后, 在酶的较适宜温度、酶添加量和酶解时间 60 min 条件下, 分别在 pH 8、8.5、9、9.5、10 条件下反应, 研究不同 pH 值对水解液起

- 泡力和持泡力的影响。
- (3)酶解温度的影响
- 在上述试验确定的较佳底物浓度和 pH 值以及较适宜的酶添加量和酶解时间 60 min 条件下, 分别在 40、45、50、55、60、65 ℃ 条件下试验, 研究不同酶解温度对水解液起泡力和持泡力的影响。
- (4)酶添加量的影响
- 在上述试验确定的较佳底物浓度、pH 值、温度条件以及酶解时间 60 min 条件下, 按酶的添加量与底物比 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 加入蛋白酶, 研究酶添加量对水解液起泡力和持泡力的影响。
- (5)酶解时间的影响

在上述试验确定的底物浓度、pH 值、温度、酶添加量条件下反应 30、60、90、120、150、180 min, 研究不同反应时间对水解液起泡力和持泡力的影响。

3 结果与分析

3.1 单酶的筛选

5 种蛋白酶水解 DRDP 试验结果如图 1~4 所示。由图可以看出, 5 种蛋白酶对 DRDP 都有一定水解作用, 在适宜

表 1 五种蛋白酶的水解条件及底物特异性
Table 1 Hydrolysis conditions and substrate specificity of 5 kinds of proteases

酶种类	pH 值	温度/℃	酶与底物比 (E/S)	底物特异性
胰蛋白酶(Trypsin Novo6.0S)	8	37	0.2%	Lys, Arg-COOH
碱性蛋白酶(Alcalase 2.4L)	9	50	0.2%	疏水性氨基酸-COOH
复合蛋白酶(Protamex)	7	45	0.25%	作用范围广, 疏水专一性, 水解 Lys, Arg-COOH 形成的肽键, 大部分位于肽链末端疏水性氨基酸
中性蛋白酶(Neutrase 0.8L)	7	50	0.2%	Tyr-, Phe-, Trp-COOH
风味蛋白酶(Flavourzyme 1000L)	7	45	0.2%	与 Gln, Tyr, Trp-结合的键外切酶

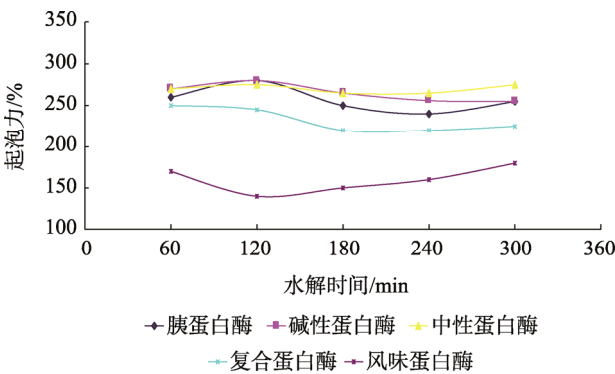


图 1 5 种蛋白酶水解物在不同时间下的起泡力
Fig. 1 Foaming force of 5 kinds of hydrolysates at different time

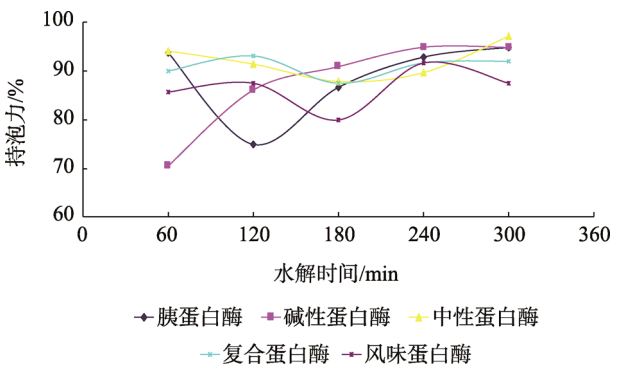


图 2 5 种蛋白酶水解物在不同时间下的持泡力
Fig. 2 Holding force of 5 kinds of hydrolysates at different time

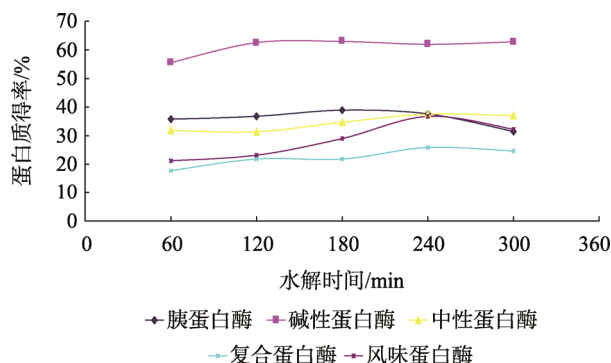


图 3 5种蛋白酶水解物在不同时间下的得率

Fig. 3 Yield of 5 kinds of hydrolysates at different time

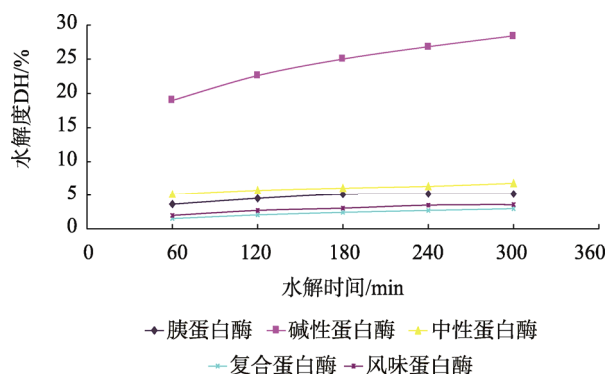


图 4 5种蛋白酶水解物在不同时间下的水解度

Fig. 4 Hydrolysis degree of 5 kinds of hydrolysates at different time

水解条件下不同蛋白酶的水解效果差异显著^[17]。300 min内水解液的起泡力和持泡力不同，其中碱性蛋白酶和胰蛋白酶的水解物起泡力和持泡力较高，且碱性蛋白酶水解蛋白得率相对较高，与王金华等^[18]结果类似。Michel等^[19]认为蛋白质浓度的增加会增加溶液的起泡力和持泡力。此外，从图 4 可以看出胰蛋白酶、复合蛋白酶、中性蛋白酶和风味蛋白酶试验组在 300 min 内水解度都小于 10%，水解度太低不利于蛋白质中肽链充分展开形成稳定泡沫，碱性蛋白酶试验组水解度在 15%~30% 比较宽范围内，有利于控制肽链的展开程度以形成稳定泡沫。综合各方面因素选择碱性蛋白酶作为水解 DRDP 的主要用酶。

3.2 单酶水解条件优化

(1) 酶解浓度的影响

酶解初始底物浓度对水解液起泡力和持泡力的影响如图 5 所示。由图可以看出，随着 DRDP 浓度的增大，起泡力和持泡力逐渐增大，当 DRDP 浓度为 10% 时起泡力和持泡力都达到最大，当 DRDP 浓度为 12.5% 时起泡力和持泡力反而减小。原因可能为当底物浓度较小时蛋白酶的水解效果没有达到最大，当底物浓度达到一定量的时候，酶与底物的结合达到饱和程度，此外过大的底物浓度会影响酶与底物的结合^[20]。为了使水解物的起泡力和持泡力达到

最大，本试验选择 10% 的 DRDP 作为较佳底物浓度。

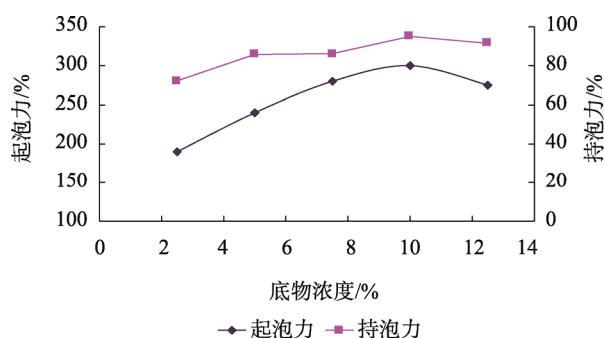


图 5 底物浓度对起泡力和持泡力的影响

Fig. 5 Effect of substrate concentration on foaming force and holding force

(2) 酶解 pH 值的影响

酶解 pH 值对水解液起泡力和持泡力的影响如图 6 所示。由图 6 可以看出，随着 pH 值的增大起泡力逐渐增大，持泡力逐渐减小，可能是因为 pH 值影响蛋白质的溶解度，同时 pH 值会影响蛋白质的柔性性和表面疏水性，pH 值越大分子所带静电荷越多，起泡力增大^[20]。然而增大 pH 值会使盐浓度增大，综合考虑选择 8.0 作为较佳 pH 值。

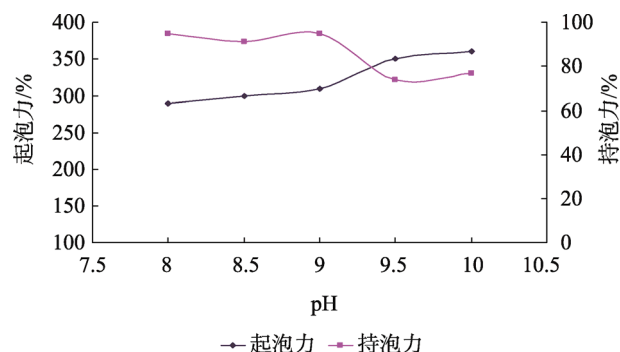


图 6 pH 值对起泡力和持泡力的影响

Fig. 6 Effect of pH value on foaming force and holding force

(3) 酶解温度的影响

酶解温度对水解液起泡力和持泡力的影响如图 7 所示。由图 7 可以看出，随着温度的升高，水解液的起泡力先下降后升高，持泡力则持续下降，可能是因为温度的升高，气体热运动加快在促进起泡形成的同时也会加速气泡的破碎^[21,22]。考虑温度升高能耗增大，选择 40 °C 作为较佳酶解温度。

(4) 酶与底物比的影响

酶与底物比对水解液起泡力和持泡力的影响如图 8 所示。由图 8 可以看出随着碱性蛋白酶添加量的增大，水解液的起泡力和持泡力都逐渐增大，达到 24 AU/kg 时起泡力和持泡力开始下降。试验中发现随着碱性蛋白酶添加量增大，水解液的水解度也会增大，过大的水解度会增加蛋

白质片层的交联导致泡沫坍塌,使起泡力和持泡力降低^[23]。此外,碱性蛋白酶添加量过大会增加生产成本,故选择 24 AU/kg 作为较佳酶与底物比。

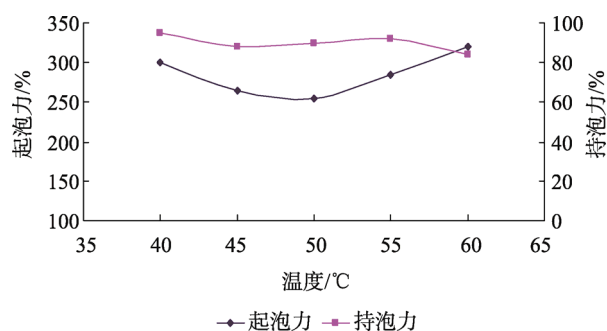


图7 温度对起泡力和持泡力的影响

Fig. 7 Effect of temperature on foaming force and holding force

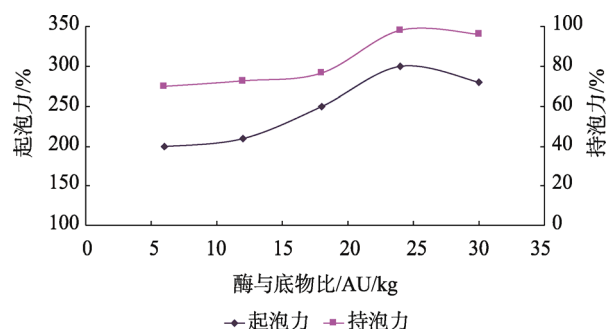


图8 碱性蛋白酶与 DRDP 比例对起泡力和持泡力的影响

Fig. 8 Effect of Alcalase to DRDP ratio on foaming force and holding force

(5) 水解时间的影响

水解时间对水解液的起泡力和持泡力的影响如图 9 所示。由图可以看出随着水解时间的增加,起泡力和持泡力先增大后逐渐减小,在 90 min 时达到最大,可能是因为随着水解时间的延长,蛋白质的水解度增大,增加了水解液的起泡力和持泡力,但是水解时间继续增大后水解度过大反而不利于泡沫的形成和稳定^[24]。故选择 90 min 作为较佳水解时间。

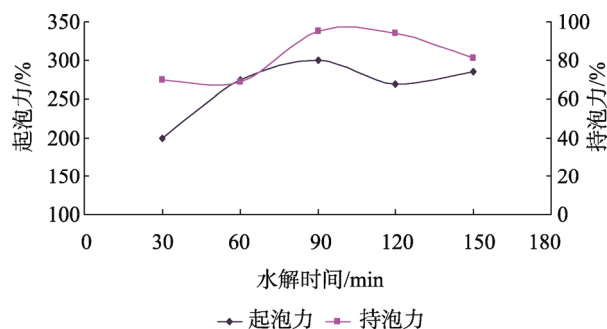


图9 水解时间对起泡力和持泡力的影响

Fig. 9 Effect of hydrolysis time on foaming force and holding force

综上所述,碱性蛋白酶水解的较佳水解条件为:底物浓度 10%、酶解 pH 8.0、酶解温度 40 °C、酶与底物比为 24 AU/kg、水解时间 90 min。在此试验条件下碱性蛋白酶水解液的起泡力为 300%,持泡力为 90%,得率为 88.65%。

4 结论

本文比较了 5 种蛋白酶水解 DRDP 的水解液的起泡力和持泡力,筛选出较佳的蛋白酶为碱性蛋白酶。单因素试验优化碱性蛋白酶水解 DRDP 的较佳工艺条件为:DRDP 浓度 10%、酶解 pH 8.0、酶解温度 40 °C、碱性蛋白酶与 DRDP 比例为 24 AU/kg、水解时间 90 min。该试验条件下制备的酶解液具有良好的起泡力、持泡力和得率,可以指导米渣蛋白发泡粉的生产。

参考文献

- [1] 李传雯, 常静, 袁江兰. 大米蛋白柠檬酸热脱酰胺过程中的聚集行为[J]. 食品工业, 2016, 37(9): 54-57.
Li CW, Chang J, Yuan JL. Aggregation of rice protein during deamidation by citric acid under heating [J]. Food Ind, 2016, 37(9): 54-57.
- [2] 廉雯蕾, 王韧, 王莉, 等. 酸法脱酰胺结合酶解制备米蛋白肽及其与亚铁螯合工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(7): 58-63, 75.
Lian WL, Wang R, Wang L, et al. Analysis on acid preparation of rice protein and process of enzymatic hydrolysis peptides to ferrous chelate [J]. J Cere Oils Ass, 2016, 31(7): 58-63, 75.
- [3] 吴雨静. 响应面法优化米渣发泡蛋白制备工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 96-101.
Wu YJ. The optimized preparation process of foamed foaming protein by the response surface method [J]. J Cere Oils Ass, 2012, 27(9): 96-101.
- [4] 王章存, 姚惠源. 大米蛋白测定中蛋白系数的确定[J]. 食品工业科技, 2004, 25(1): 66-67.
Wang ZC, Yao HY. Determination of protein coefficient in rice protein determination [J]. Sci Technol Food Ind, 2004, 25(1): 66-67.
- [5] GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
GB 5009.3-2016 National food safety standard-Determination of moisture in foods [S].
- [6] GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].
GB 5009.4-2016 National food safety standard-Determination of ash in foods [S].
- [7] GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009.5-2016 National food safety standard-Determination of protein in foods [S].
- [8] GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].
GB 5009.6-2016 National food safety standard-Determination of fat in foods [S].
- [9] 郑建冰, 王立, 易翠平, 等. 大米蛋白酸法脱酰胺改性及对蛋白性质的影响[J]. 食品工业科技, 2007, (2): 102-105.
Zheng JB, Wang L, Yi CP, et al. The modification of rice protein acid and its effect on the properties of protein [J]. Sci Technol Food Ind, 2007, (2): 102-105.
- [10] 易翠平, 姚惠源. 酸法脱酰胺对大米蛋白超微结构和相对分子质量的影响[J]. 食品工业科技, 2007, (2): 102-105.

- 影响[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(2): 1-4.
- Yi CP, Yao HY. The effect of acidic deamidation on the ultra structure and relative molecular weight of rice protein [J]. J Cere Oils Ass, 2007, 22(2): 1-4.
- [11] 陈露, 陈季旺, 高俊, 等. 脱酰胺增溶米渣蛋白的复合酶水解工艺条件优化[J]. 粮食加工, 2014, 6: 20-24.
- Chen L, Chen JW, Gao J, *et al.* The optimization of compound enzymatic hydrolysis process of deamidation and solubilized mica protein [J]. Food Proc, 2014, 6: 20-24.
- [12] 刘永乐, 王发祥, 周小玲, 等. 酶法脱酰胺对米谷蛋白分子微观结构的影响[J]. 食品科学, 2011, (17): 69-71.
- Liu YL, Wang FX, Zhou XL, *et al.* The effect of enzymatic deamidation on microstructure of rice gluten molecules [J]. Food Sci, 2011, (17): 69-71.
- [13] 陈正行, 廉雯蕾, 王韧, 等. 酸法脱酰胺结合酶解制备米蛋白肽及其与亚铁螯合工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(7): 58-63.
- Chen ZX, Lian WL, Wang R, *et al.* The preparation of protein peptides and its chelating process with ferrous acid were studied [J]. J Cere Oils Ass, 2016, 31(7): 58-63.
- [14] 阮晖, 陈美龄, 俞超, 等. 大米发泡蛋白酶解法制备工艺[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 281-284.
- Ruan H, Chen ML, Yu C, *et al.* Preparation of rice foaming protease in preparation [J]. Trans Chin Soc Agr Eng, 2009, 25(1): 281-284.
- [15] 潘敏尧. 大米浓缩蛋白的研制及蛋白质改性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- Pan XR. Research on protein modification and development of rice protein concentrate [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [16] Apinunjarupong S, Lapnirun S, Theerakulkait, *et al.* Preparation and some functional properties of rice bran protein concentrate at different degree of hydrolysis using bromelain and alkaline extraction [J]. Prep Biochem Biotech, 2009, 39(2): 183-193.
- [17] 李绮丽, 吴卫国, 张喻, 等. 双酶法水解米渣蛋白工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2011, (1): 19-22.
- Li QL, Wu WG, Zhang Y, *et al.* Study on the process of hydrolyzed rice residue in two enzymatic hydrolysis [J]. J Cere Oils, 2011, (1): 19-22.
- [18] 王金华, 邱雁临, 蒋爱娥, 等. 蛋白酶水解米渣蛋白的研究[J]. 粮油加工, 2002, (4): 42-45.
- Wang JH, Qiu YL, Jiang AE, *et al.* The study of protease hydrolysis rice residue protein [J]. Cere Oils Proc, 2002, (4): 42-45.
- [19] Michel B, Linda L. Foaming properties of protein as affected by concent-ration [J]. Food Sci, 1992(5): 1219-1222.
- [20] 王章存. 米渣蛋白的制备及其酶法水解研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- Wang ZC. Preparation of rice residue protein and its enzymatic hydrolysis [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005.
- [21] 曹辉, 马海乐, 贾俊强, 等. 大米蛋白的双酶分步水解及其产物的抗氧化研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 6: 5-10.
- Cao H, Ma HL, Jia JQ, *et al.* Study on the hydrolysis of rice protein and its products [J]. J China Cere Oils Ass, 2008, 6: 5-10.
- [22] 贾俊强, 马海乐, 曲文娟, 等. 超声预处理大米蛋白制备抗氧化肽[J]. 农业工程学报, 2008, 8: 288-293.
- Jia JQ, Ma HL, Qu WJ, *et al.* The preparation of antioxidant peptides by ultrasonic pretreatment of rice protein [J]. Trans Chin Soc Agr Eng, 2008, 8: 288-293.
- [23] Bandyopadhyay K, Misra G, Ghosh S. Preparation and characterisation of protein hydrolysates from Indian defatted rice bran meal [J]. J Oleo Sci, 2008, 57(1): 47-52.
- [24] 李燕燕, 王立, 钱海峰, 等. 酰化大米蛋白理化性质及胰蛋白酶酶解性质研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2): 81-86.
- Li YY, Wang L, Qian HF, *et al.* Study on physicochemical properties and trypsin hydrolysis of acetylated rice protein [J]. Mod Food Sci Technol, 2015, 31(2): 81-86.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



高俊, 硕士, 主要研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。
E-mail: frankgaojun@126.com



陈季旺, 教授, 博士, 主要研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。
E-mail: jiwangchen1970@126.com