

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2015.06.011

文章编号:2095-6002(2015)06-0065-07

引用格式:张美,李庆,李一林,等.米渣营养成分测定及其蛋白质提取工艺优化[J].食品科学技术学报,2015,33(6):65-71.



ZHANG Mei, LI Qing, LI Yilin, et al. Determination of nutrient components and optimization of protein extraction process of rice residue[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(6): 65-71.

米渣营养成分测定及其蛋白质提取工艺优化

张美¹, 李庆², 李一林², 杨帆², 张馨予², 杨芳^{1,*}

(1. 武汉工程大学绿色化工过程省部共建教育部重点实验室/化工与制药学院, 湖北武汉 430073;

2. 湖北大学知行学院, 湖北武汉 430011)

摘要:以大米为对照,测定了米渣的营养成分,并对碱溶酶解法提取米渣蛋白质的工艺进行优化。以蛋白质提取率为指标,首先通过单因素实验确定提取条件,然后采用正交试验设计优化碱溶工艺和酶解工艺,并分别采用线性模型和二次多项式模型进行回归拟合。实验结果显示,米渣蛋白质提取条件为米渣粗粉质量与碱溶液体积的比例是1:12 g/mL,碱溶pH值为12.5,米渣粗蛋白质量与碱溶液体积的比例是1:10 g/mL,酶解pH值为10.0,碱性蛋白酶的 $w(\text{酶})$ 为2.0%,在此最优条件下,蛋白质的提取率可达21.35%。二次多项式拟合方程式能很好地拟合碱溶酶解法提取米渣蛋白质的过程,决定系数 $R^2 = 1.000$ 。

关键词:米渣;营养成分;米蛋白;碱溶;酶解;碱性蛋白酶**中图分类号:** TS210.9**文献标志码:** A

米渣是大米提取糖浆后的残留物,作为大米糖化后的副产品,其增值利用问题一直是企业难以解决的问题。目前米渣主要用作饲料原料,但由于出售价格低,经济效益不太明显。米渣中蛋白质含量一般在40%~65%。因此,将大米米渣作为良好的蛋白质资源,开发为优质的食用蛋白质,不失为一条经济有效的途径^[1-3]。大米中的蛋白质具有高营养、低过敏性、风味温和、不会引起肠胃胀气等独特性质,含有机体所需的必需氨基酸,在粮食作物中占第一位,且具有良好的氨基酸组成配比,其赖氨酸含量高于其他谷类^[4]。大米蛋白质的品质被公认为粮食种子蛋白中的上佳者,在食品中的应用前景极为广阔^[5-6]。

目前,大米中蛋白质的提取和应用研究主要集中在原料大米和米糠蛋白质的提取和应用。近年来,米渣中蛋白质的提取也开始受到重视。国内外研究提取大米蛋白的方法很多,如碱法、酶法、复合

法以及排杂法等^[7]。碱法提取是利用稀碱对大分子的米谷蛋白的降解作用,从而使大米淀粉颗粒中的蛋白质溶出而被分离。超过80%的大米蛋白质为碱性米谷蛋白,因此该方法提取效率高且工艺简单。但是,该方法用碱量大,并且提取时所需的固液比大、纯度不高,未达到食品级蛋白的要求,还会引起蛋白性质变化,破坏氨基酸结构,降低蛋白的营养价值,甚至形成有毒物质,损坏肾脏功能。酶法提取利用蛋白酶对米渣蛋白质的水解,使米渣蛋白质的溶解性提高,从而达到与米渣中杂质分离的目的。酶法提取米渣蛋白质条件温和,能耗比较低,提取出的蛋白质的性质有很大的改善,水溶性提高、无异味,而且蛋白质多肽链可水解为短肽链,从而提高蛋白质溶解性;并且在酶的有限水解下能产生某些具有生物活性的功能性肽。但是,酶法提取米渣蛋白质的提取率偏低、酶的价格高、生产成本大,不能作为米渣蛋白提取的有效手段。复合法提取采用“碱

收稿日期:2014-12-09

基金项目:湖北省高等学校大学生创新创业训练计划项目。

作者简介:张美,女,讲师,硕士,主要从事食品加工方面的研究;

*杨芳,女,副教授,博士,主要从事农产品加工方面的研究。通信作者。

酶两步法”提取米渣中的蛋白质,效果较好。排杂法提取则是尽量把各种非蛋白成分除去,最终获得高纯度的米渣蛋白。然后通过冷冻干燥得到产品,其色泽和品质都有很大的提高,基本达到食品级蛋白质的要求。但是,由于纤维素酶和淀粉酶的使用使提取成本有所提高。

本文将碱法和酶法结合起来,采用碱溶酶解两步提取法,既提高了蛋白质提取率又避免了由于碱液浓度过高引起的蛋白质变性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

米渣由武汉市佳宝糖业有限公司提供;鄂中5号大米购于武汉市场。

食用级碱性蛋白酶购于南宁庞博生物工程有限公司,酶活力为 1.0×10^5 U/g。盐酸,乙酸锌,亚铁氰化钾,酒石酸铜,酪蛋白,硫酸铜,亚甲蓝,氢氧化钠,葡萄糖,葱酮,无水乙醚,硫酸钾,硫酸,硼酸,无水乙醇均为分析纯。

1.2 仪器与设备

FA1104 型分析天平,上海精科天平有限公司;DHG-9075A 型恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;4-10 型马福炉,上海仪器公司;FW80 型万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;索氏抽提器,蜀牛实验仪器有限公司;WFJ 7200 型紫外可见分光光度计,龙尼柯(上海)仪器有限公司;SHA-B 型双功能水浴恒温振荡器,常州国华电器有限公司;TDL-5-A 型低速台式大容量离心机,上海安亭科学仪器厂;DLL-1 型电子万用炉,浙江上虞市通州实验仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 原料预处理

将米渣和对照米样(鄂中5号大米)粉碎,过40目筛,得米渣粗粉,封装,备用。

1.3.2 米渣营养成分分析

水分含量的测定采用直接干燥法^[8]。灰分的测定采用 GB 5009.4 方法^[9]。蛋白质的测定采用半微量凯氏定氮法^[10]。脂肪的测定采用索氏抽提法^[11]。淀粉的测定采用酶水解法^[12]。

1.3.3 米渣蛋白质提取

1.3.3.1 米渣蛋白质等电点测定

称取一定质量米渣粗粉,按碱溶固液比 1:12 g/mL

(即米渣粗粉质量与碱液体积的比例)加碱液,搅拌均匀,制成匀浆。调节其 pH 值为 12.0,在 50 ℃ 的水浴中缓慢搅拌 2 h,离心(10 000 r/min,15 min),取上清液,即得到米渣蛋白粗提液。将其 pH 值调节为 2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0 以及 5.5,静置 2 h,离心(10 000 r/min,15 min),弃上清,105 ℃ 烘干至恒重,计算 $m(\text{蛋白质})$, $m(\text{蛋白质})$ 最大的 pH 值为米渣蛋白质的等电点。

1.3.3.2 米渣蛋白质提取工艺流程

碱溶工艺是称取一定质量的米渣粗粉,按一定固液比(即米渣粗粉质量与碱液体积的比例,g/mL)加碱液,搅拌均匀,制成匀浆,调节其 pH 值,在 50 ℃ 的水浴中缓慢搅拌 2 h,于 10 000 r/min 离心 15 min,取上清,即得到米渣蛋白粗提液。调节其 pH 值至米渣蛋白质等电点,静置 2 h,于 10 000 r/min 离心 15 min,取沉淀,干燥,即得米渣粗蛋白质。

酶解工艺是取上述米渣粗蛋白质,按一定固液比(即米渣粗蛋白质量与碱液体积的比例,g/mL)加碱液,搅拌均匀,调节其 pH 值,加入一定浓度的碱性蛋白酶,在 40 ℃ 恒温水浴锅中慢速搅拌 2 h,于 10 000 r/min 离心 15 min,取上清,调节 pH 值至等电点,静置 2 h,于 10 000 r/min 离心 15 min,取沉淀,干燥,即得米渣蛋白质。

1.3.4 蛋白质测定及提取率计算

提取液中蛋白质含量采用双缩脲法测定^[13],原料中蛋白质含量采用半微量凯氏定氮法测定^[10],蛋白质换算系数取 6.25,蛋白质提取率按式(1)计算。

$$\text{蛋白质提取率} = \frac{\text{提取液中蛋白质的质量}}{\text{原料中蛋白质的质量}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.5 碱溶工艺优化

各取 1.3.1 节中制得的米渣粗粉 5.0 g,按照 1.3.3.2 节中的碱溶步骤提取蛋白质,以蛋白质提取率为指标,考察碱溶固液比和碱溶 pH 值对蛋白质提取率的影响以确定提取条件,每组做 3 个平行。

1.3.5.1 碱溶固液比对蛋白质提取率的影响

在碱溶 pH 值为 10.0、温度 50 ℃ 以及提取时间 2 h 的条件下,考察碱溶固液比 1:6,1:8,1:10,1:12 以及 1:14 g/mL 对米渣蛋白提取率的影响。

1.3.5.2 碱溶 pH 值对蛋白质提取率的影响

在碱溶固液比为 1:12 g/mL、温度 50 ℃ 以及提取时间 2 h 的条件下,考察碱溶 pH 值 11.5,12.0,

12.5, 13.0, 13.5 对米渣蛋白提取率的影响。

1.3.5.3 碱溶工艺条件正交试验设计

根据单因素实验,确定米渣中蛋白质提取工艺中的碱溶固液比和碱溶 pH 值的水平取值范围,选取 $L_9(3^2)$ 做正交实验设计,以蛋白质提取率作为评价指标,以确定碱溶工艺的最佳参数。

1.3.6 酶解工艺优化

取 1.3.1 节中制得的米渣粗粉各 5.0 g,按照 1.3.3.2 节中的酶解步骤提取蛋白质,以蛋白质提取率为指标,考察酶解固液比、酶解 pH 值以及碱性蛋白酶添加量对蛋白质提取率的影响以确定提取条件,每组做 3 个平行。

1.3.6.1 酶解固液比对蛋白质提取率的影响

在酶解 pH 值为 10.0、 $\omega(\text{酶}) = 1.0\%$ (即加入碱性蛋白酶的质量与米渣样品的比例)、温度 50 °C 以及提取时间 2 h 的条件下,考察固液比 1:6, 1:8, 1:10, 1:12, 1:14 g/mL 对米渣蛋白提取率的影响。

1.3.6.2 酶解 pH 值对蛋白质提取率的影响

在酶解固液比为 1:10 g/mL、加酶量为 1.0%、温度 50 °C 以及提取时间 2 h 的条件下,考察 pH 值 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 以及 11.0 对米渣蛋白提取率的影响。

1.3.6.3 碱性蛋白酶添加量对蛋白质提取率的影响

在固液比为 1:10 g/mL、酶解 pH 值为 10.0、温度 50 °C 以及提取时间 2 h 的条件下,考察加酶量 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% 以及 2.5% 对米渣蛋白提取率的影响。

1.3.6.4 酶解工艺条件正交试验设计

根据单因素实验,确定米渣中蛋白质提取工艺中的酶解固液比、酶解 pH 值以及碱性蛋白酶添加量的水平取值范围,选取 $L_9(3^3)$ 做正交实验设计,以蛋白质提取率作为评价指标,以确定酶解工艺的最佳参数。

1.3.7 数据分析

每个样品重复测定 3 次,取平均值。采用 SPSS 20 统计软件对实验数据进行方差分析、Duncan 多重比较分析以及线性模型和二次多项式模型拟合。采用 Sigmaplot 11.0 进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 米渣营养成分的分析

按 1.3.2 节方法和条件对米渣和大米的营养成分进行分析,结果见表 1。

表 1 米渣和大米的基础营养成分

Tab. 1 Primary nutrient components of rice residue and rice

品种	$\omega(\text{水分})/\%$	$\omega(\text{灰分})/\%$	$\omega(\text{蛋白质})/\%$	$\omega(\text{脂肪})/\%$	$\omega(\text{淀粉})/\%$
米渣	9.56 ± 0.03 ^b	5.39 ± 0.07 ^a	65.76 ± 1.57 ^a	8.09 ± 0.74 ^a	7.52 ± 0.28 ^b
大米	12.83 ± 0.35 ^a	1.16 ± 0.07 ^b	9.17 ± 0.27 ^b	1.06 ± 0.09 ^b	71.23 ± 1.10 ^a

数据后面标注的字母为多重比较结果(LSD法), a~b 上标字母不同表示纵向两组数有显著差异($p < 0.05$)

由表 1 可以看出,米渣淀粉质量分数显著低于大米淀粉质量分数($p < 0.05$),这是因为生产糖浆的过程中,淀粉分解造成的。由于大米生产糖浆过程中,淀粉大量消耗,因此,米渣中其他组分(灰分、蛋白质以及脂肪)含量均显著提高($p < 0.05$)。新鲜米渣的水分含量较高(大于 10%)^[3],显著高于本实验中米渣样品的水分含量($p < 0.05$)。米渣中蛋白质含量较高,一般在 40%~65%,而且大米蛋白质具有高营养、低过敏性以及良好的氨基酸组成配比等优点,因此,作为大米生产糖浆的副产物,米渣也可作为良好的蛋白质资源,开发为优质的食用蛋白质^[1]。

2.2 米渣蛋白质等电点

pH 值对蛋白质溶解度的影响很大,当 pH 值到

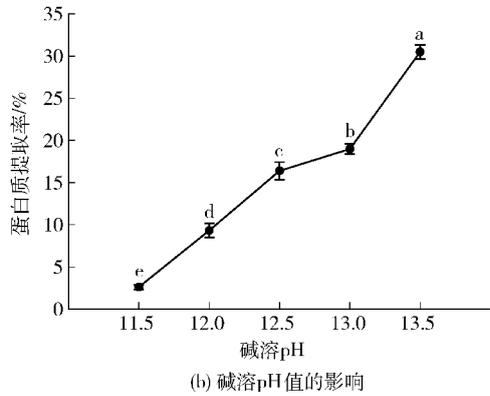
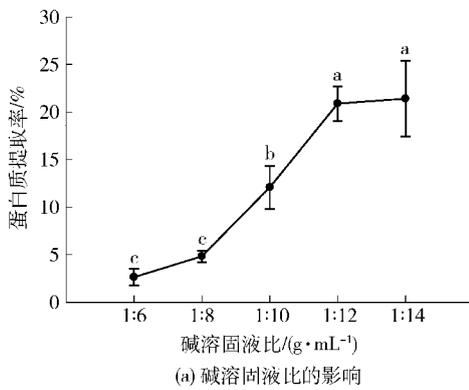
达某一值时,蛋白质溶解度最小,沉淀量最大,这个值即为蛋白质的等电点^[14]。本实验中的米渣蛋白质样品的等电点为 3.9。

2.3 碱溶工艺优化实验

2.3.1 碱溶工艺单因素实验

按 1.3.5 节条件对米渣蛋白提取碱溶工艺进行单因素实验,结果见图 1。

由图 1(a)可以看出,在碱溶工艺中,米渣蛋白质提取率随米渣和水的固液比的增大而增加。当固液比在 1:6 g/mL 到 1:12 g/mL 之间时,米渣蛋白质的提取率随着固液比的提高而显著升高($p < 0.05$);而固液比为 1:12 g/mL 和 1:14 g/mL 时的米渣蛋白质提取率没有显著差异($p > 0.05$)。然而,固液比过大在生产中会增加原料运输压力,因此,综



数据后面标注的字母为多重比较结果(LSD法), a~e字母不同表示两组数有显著差异($p < 0.05$)

图1 碱溶工艺单因素条件对蛋白质提取率的影响

Fig. 1 Effect of single factor on extraction rate of protein by alkali dissolution process

合考虑,选取最佳固液比为 1:10 g/mL。由图 1(b)可以看出,米渣蛋白质提取率随碱溶 pH 值的增大而升高,但是,由于碱度过高会导致蛋白质变性,淀粉又易糊化,而且米渣蛋白质的色泽会受到影响而变黄。所以,综合考虑,选取最佳碱溶 pH 值为 12.5。

2.3.2 碱溶工艺正交试验设计

以碱溶 pH 值和碱溶固液比这 2 个因素进行正交试验设计,因素水平表见表 2,实验结果及分析见表 3。

表2 碱溶工艺正交试验因素水平表

Tab. 2 Facts and levels of orthogonal experiment about alkali dissolution process

水平	因素		
	A	B	C
	碱溶 pH 值	碱溶固液比/(g·mL ⁻¹)	空白
1	12.0	1:8	
2	12.5	1:10	
3	13.0	1:12	

由表 2 和表 3 可以看出,各因素对米渣蛋白提取率的影响大小依次为 A(碱溶 pH 值) > B(碱溶固液比)。碱溶工艺提取米渣中蛋白质的最优水平组合为 A₂B₃,即最佳酶解条件为:碱溶固液比 1:12;碱溶 pH 值 12.5。在上述最佳碱溶条件下,米渣中蛋白质提取率达 20.28%,且蛋白质提取物颜色为浅白色。

2.3.3 碱溶工艺验证实验

为了验证碱溶正交试验的可靠性,称取 5.0 g 米渣粗粉 3 份,按最优条件安排 3 次验证实验,3 次的提取率分别为 20.58%, 20.10%, 20.01%, 平均蛋白质提取率为(20.23 ± 0.31)%。结果表明,实

表3 碱溶工艺正交试验结果分析表

Tab. 3 Analysis of orthogonal experiment results about alkali dissolution process

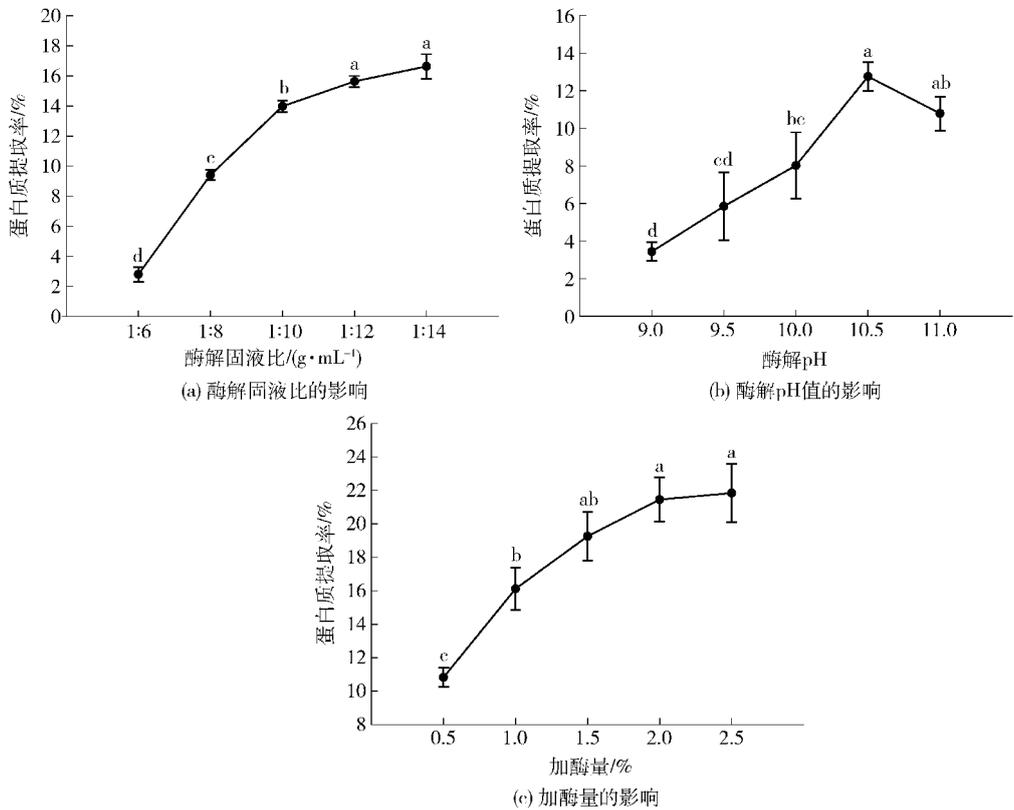
实验号	A 碱溶 pH 值	B 碱溶固液比	C 空白	提取率/ %
1	1	1	1	6.66
2	1	2	2	7.71
3	1	3	3	9.46
4	2	1	2	14.43
5	2	2	3	15.67
6	2	3	1	20.28
7	3	1	3	17.75
8	3	2	1	15.33
9	3	3	2	15.28
K ₁	23.83	38.54	42.27	
K ₂	50.38	38.71	37.42	
K ₃	48.36	45.02	42.88	
k ₁	7.94	12.85	14.09	
k ₂	16.79	12.90	12.47	
k ₃	16.12	15.01	14.29	
R	8.85	2.16	1.82	
因素主次	1	2		
较好水平	2	3		

际提取率与正交试验结果没有显著差异($p > 0.05$)。

2.4 酶解工艺优化实验

2.4.1 酶解工艺单因素实验

按 1.3.6 节条件对米渣蛋白提取酶解工艺进行单因素实验,结果见图 2。



数据后面标注的字母为多重比较结果(LSD法), a~d字母不同表示纵向两组数有显著差异($p < 0.05$)

图2 酶解工艺单因素条件对蛋白质提取率的影响

Fig. 2 Effect of single factor on extraction rate of protein by enzymatic hydrolysis process

由图2(a)可以看出,在酶解工艺中,米渣蛋白质提取率随固液比的增大而显著增加($p < 0.05$)。当固液比在1:6 g/mL到1:12 g/mL之间时,米渣蛋白质的提取率显著升高($p < 0.05$);而在固液比为1:12 g/mL和1:14 g/mL时的米渣蛋白质的提取率没有显著差异($p > 0.05$),然而,固液比过大在生产中会增加原料运输压力,因此,综合考虑,选取最佳固液比为1:10 g/mL。

由图2(b)可以看出,在pH值9.0~11.0,米渣蛋白质提取率随酶解pH值的增大先升高后降低,当pH值为10.5时,提取率达到最大值。当pH值继续提高时,提取率显著下降($p < 0.05$)。但是,由于碱度过高会导致蛋白质变性,影响蛋白质颜色,所以,综合考虑,选取最佳酶解pH值为10.0。

碱性蛋白酶适度水解,可进一步从米渣中提取蛋白质^[15]。由图2(c)可以看出,米渣蛋白质提取率随碱性蛋白酶用量的增大而显著增加($p < 0.05$)。当碱性蛋白酶用量大于2.0%时,提取率没有显著变化($p > 0.05$)。这可能是因为酶用量过大导致蛋白质过度水解的原因;另一方面考虑到酶的

成本问题,因此选择加酶量为1.5%。本实验结果显示,碱溶蛋白质颜色为浅白色,酶解提取的蛋白质颜色略深,呈灰白色,过度水解则颜色更深。

2.4.2 酶解工艺正交试验设计

以酶解固液比、酶解pH值以及加酶量这3个因素进行正交试验设计,因素水平见表4,实验结果及分析见表5。

表4 酶解工艺正交试验因素水平表

Tab. 4 Facts and levels of orthogonal experiment about enzymatic hydrolysis process

水平	因素		
	A 酶解固液比/(g·mL ⁻¹)	B 酶解pH值	C 加酶量/%
1	1:8	9.5	1.0
2	1:10	10.0	1.5
3	1:12	10.5	2.0

由表5可知,各因素对米渣蛋白质提取率的影响大小依次为C(加酶量)>B(酶解pH值)>A(酶解固液比)。米渣蛋白质提取的酶解工艺中,最优

表5 酶解正交试验结果分析表

Tab. 5 Analysis of orthogonal experiment results about enzymatic hydrolysis process

试验号	(A)酶解 固液比	(B)酶解 pH 值	(C) 加酶量	提取率/ %	线性模型拟合 提取率/%	线性模型 拟合误差	二次多项式拟合 提取率/%	二次多项式 拟合误差
1	1	1	1	11.63	12.53	-0.90	11.72	-0.09
2	1	2	2	18.36	17.01	1.35	18.40	-0.12
3	1	3	3	20.83	21.49	-0.66	20.97	-0.14
4	2	1	2	13.95	15.15	-1.00	14.02	-0.07
5	2	2	3	21.35	19.63	1.72	21.44	-0.09
6	2	3	1	13.24	13.32	-0.08	13.34	-0.10
7	3	1	3	17.46	17.76	-0.30	17.49	-0.03
8	3	2	1	13.20	11.46	1.74	13.25	-0.05
9	3	3	2	14.29	15.94	-1.65	14.35	-0.07
K_1	46.82	43.04	38.07					
K_2	48.54	52.91	46.6					
K_3	44.95	48.36	59.64					
k_1	16.94	14.35	12.69					
k_2	16.18	17.64	15.53					
k_3	14.98	16.12	19.88					
R	1.96	3.29	7.19					
因素主次	3	2	1					
较好水平	2	2	3					

水平组合为 $A_2B_2C_3$, 即最佳酶解条件为: 酶解固液比 1:10 g/mL; 酶解 pH 值 10.0; 加酶量 2.0%。在上述最佳酶解条件下, 米渣蛋白质提取率为 21.35%。

2.4.3 酶解工艺验证实验

为了验证酶解正交试验的可靠性, 称取 5.0g 米渣粗粉 3 份, 按最优条件安排 3 次验证实验, 3 次的提取率分别为 21.11%, 21.50% 和 21.28%, 平均蛋白质提取率为 $(21.30 \pm 0.20)\%$ 。结果表明, 实际提取率与酶解正交试验结果没有显著差异 ($p > 0.05$)。

2.4.4 酶解工艺模型建立与比较

采用 SPSS 2.0 数据处理软件对表 5 结果进行线性模型回归分析和二次多项式模型回归分析。线性模型拟合方程式为: $Y = -7.59 - 0.49X_1 + 1.77X_2 + 7.19X_3$ 。模型相关系数 $R = 0.932$, 显著水平 $P = 0.012$, 决定系数 $R^2 = 0.869$, 由表 5 可以看出, 实际测定值与线性模型计算值较为接近, 说明该方程能较好地拟合米渣蛋白酶解提取工艺过程。

二次多项式模型拟合方程式为: $Y = -962.66 + 190.65X_2 + 21.67X_3 - 0.06X_1X_2 - 2.14X_2X_3 - 0.18X_1X_3 + 0.01X_1^2 - 9.26X_2^2 + 2.89X_3^2$ 。模型相关系数 $R = 1.000$, 显著水平 $P = 0$, 决定系数 $R^2 =$

1.000, 由表 5 可以看出, 实际测定值与二次多项式模型计算值非常接近, 说明该方程能很好地拟合米渣蛋白酶解提取工艺过程。在这两个模型中, 二次多项式拟合方程式比线性模型拟合方程式能更加准确地拟合米渣蛋白质的碱溶酶解法提取过程。

3 结 论

本实验结果表明, 米渣蛋白质含量较高 (65.76%), 是一种很好的食用蛋白质来源。碱溶酶解法提取法是一种有效的提取米渣蛋白质的方法, 最佳工艺为碱溶固液比 1:12 g/mL; 碱溶 pH 值 12.5; 酶解固液比 1:10 g/mL; 酶解 pH 值 10.0; 碱性蛋白酶加入量为 2.0%。二次多项式拟合方程式 ($Y = -962.66 + 190.65X_2 + 21.67X_3 - 0.06X_1X_2 - 2.14X_2X_3 - 0.18X_1X_3 + 0.01X_1^2 - 9.26X_2^2 + 2.89X_3^2$) 能很好地拟合米渣蛋白质的碱溶酶解法提取过程。在最佳工艺条件下, 米渣蛋白质的提取率可以达到 21.35%。由于提取工艺简单, 碱溶酶解法提取法为食用米渣蛋白质的开发利用提供了一种可行的方法。

参考文献:

[1] 卢时勇, 钱俊青, 邹小明. 酶法提取米渣蛋白工艺的研究

- 究[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(2): 1-4.
- [2] 王亚林, 钟方旭, 陶兴无, 等. 大米糟渣碱法提取食用蛋白质的研究[J]. 武汉化工学院学报, 2001, 23(3): 8-10.
- [3] 张娟娟, 郭兴凤, 姜崇斌, 等. 不同蛋白酶提取米渣中蛋白质的对比研究[J]. 食品科技, 2009(4): 152-154.
- [4] 郭兴凤, 张娟娟, 慕运动, 等. RSM 优化碱性蛋白酶提取米渣中蛋白质的工艺条件[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(2): 7-10, 17.
- [5] 王亚林, 陶兴无, 钟方旭, 等. 碱酶两步法提取米渣中蛋白质的工艺研究[J]. 中国油脂, 2002, 27(3): 53-54.
- [6] 郭兴凤, 马维琦, 张娟娟. 酶法提取米渣中的蛋白质的功能性研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2009, 30(5): 4-8.
- [7] 田蔚, 林亲录, 刘一洋. 米渣蛋白的提取及应用研究[J]. 粮食加工, 2009, 34(2): 31-33, 37.
- [8] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3—2010 食品安全国家标准食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [9] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4—2010 食品安全国家标准食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [10] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.5—2010 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.6—2003 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [12] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.9—2008 食品安全国家标准食品中淀粉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [14] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002.
- [15] 廖珍龙, 陈涛, 陈丽梅, 等. 米渣蛋白质提取纯化的技术研究[J]. 粮食与饲料工业, 2010(3): 21-24.

Determination of Nutrient Components and Optimization of Protein Extraction Process of Rice Residue

ZHANG Mei¹, LI Qing², LI Yilin², YANG Fan², ZHANG Xinyu², YANG Fang^{1,*}

(1. Key Laboratory for Green Chemical Process of Ministry of Education/School of Chemical Engineering and Pharmacy, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China;

2. Zhixing College of Hubei University, Wuhan 430011, China)

Abstract: Nutrient components of rice residue were determined using the rice as the control and rice residue protein extraction by the alkali dissolution enzymatic extraction process was explored. With protein extraction rate as the index, extraction conditions were determined by single factor test and the alkali dissolution enzymatic extraction process was optimized by orthogonal design. The linear model and the quadratic polynomial model were used to regression analysis. The experimental results showed that rice residue protein extraction conditions were alkali soluble solid-liquid ratio 1:12 (g/mL), alkali soluble pH 12.5, enzymolysis solid-liquid ratio 1:10 (g/mL), enzymolysis pH 10.0, and the alkaline protease amount of 2.0%. Under these optimum conditions, the protein extraction rate was 21.35%. Quadratic polynomial fitting equations could fit rice residue protein extraction process and the determination coefficient (R^2) was 1.000.

Key words: rice residue; nutrient components; rice protein; alkali dissolution; enzymatic hydrolysis; alkali protease