

整米中重金属镉的酸法消减工艺优化

李克强, 王 韧, 冯 伟, 罗小虎, 王 莉, 李 娟, 李亚男, 陈正行*

(粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为解决大米中镉含量超标引起的粮食安全问题, 采用稀盐酸对镉超标大米进行浸泡除镉, 分别考察了浸提时间、料液比、浸提温度和盐酸浓度对整米除镉效果和蛋白质含量的影响。并在单因素实验的基础上, 通过响应面实验对整米除镉工艺进行了优化。最佳工艺参数表明: 反应时间 120 min、料液比 1:2、反应温度 45 °C、盐酸浓度为 0.12 mol/L 时, 大米中重金属镉的脱除率达到 87.21%, 镉残余量降至国家规定的安全限量标准 0.20 mg/kg 以下, 蛋白质损失率约 16.50%。由以上结果可知, 采用稀盐酸浸泡整米的方法可有效脱除大米中的重金属镉。

关键词: 大米; 镉; 消减率; 蛋白损失

中图分类号: TS 210.4 文章编号: 1673-1689(2019)08-0010-08 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.08.002

Optimization of Heavy Metal Cadmium Removal from the Whole Rice by Acid Process

LI Keqiang, WANG Ren, FENG Wei, LUO Xiaohu, WANG Li,
LI Juan, LI Yanan, CHEN Zhengxing*

(National Engineering Laboratory for Gereal Fermentation, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to solve the problem of food safety caused by excessive cadmium content in rice, the whole Cadmium-contaminated rice was soaked in dilute hydrochloric acid to remove Cadmium from rice. Then the effects of reaction time, solid to liquid ratio, reaction temperature and concentration of hydrochloric acid on the Cadmium removal efficiency and concentration of rice protein were investigated. On the basis of single factor tests, the Cadmium removal process of rice was optimized by response surface test. It was found that the Cadmium removal efficiency was up to 87.21% with a loss of rice protein about 16.50%, when the extraction temperature, the solid to liquid ratio, the concentration of hydrochloric acid and the extraction time were 45 °C, 1:2, 0.12 mol/L and 120 minutes respectively. These results suggest that the method of soaking rice in dilute hydrochloric acid can effectively remove the heavy metal cadmium from rice.

Keywords: rice, Cadmium, removal efficiency, loss of rice protein

收稿日期: 2016-08-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371874); 粮食公益性行业科研专项项目(201513006)。

* 通信作者: 陈正行(1960—), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事粮食精深加工研究。E-mail: zxchen207@126.com

引用本文: 李克强, 王韧, 冯伟, 等. 整米中重金属镉的酸法消减工艺优化[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(08): 10-17.

大米作为全球超过 30 亿人口的主粮,是食用人群最广的三大谷物品种之一。然而,在中国、印度、泰国和日本等地区,随着现代农业和工业的迅速发展,滥用农药化肥、采矿等人类活动引起的镉、铅、砷、汞等重金属污染已经严重影响到农业生产和人类健康。在中国,超过 $1.30 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的农业土壤受到镉污染,每年超过 $1.46 \times 10^8 \text{ kg}$ 农产品受到镉污染^[1]。中国粮食卫生标准规定大米中重金属镉的限量为 0.20 mg/kg ,而国内市场上销售大米重金属镉超标率高达 10%^[2],存在严重的食品安全隐患。毒理学研究表明镉元素是一种生物蓄积性强、毒性持久、具有“三致”作用的剧毒元素。重金属镉的过量摄入会引起肾脏、肝脏、肺部、骨骼、生殖器官的损伤,对免疫系统、心血管系统等具有毒性效应^[3],进而引发多种疾病,如痛痛病等^[4]。

随着镉污染大米问题日趋严重,国内外有关镉超标大米中镉消减的研究已有一些报道^[5-7]。刘晶等^[8]研究表明大米浸泡过程中重金属发生了迁移。许艳霞等^[9]采用柠檬酸和氯化钠作为混合溶剂浸泡大米,结果表明柠檬酸浓度和浸提时间能显著影响大米的除镉率,最佳条件下的大米除镉率达到 82.20%。刘也嘉等^[10]研究了乳酸菌发酵对大米重金属镉的脱除效果,优化条件下的降镉率约为 79.24%。不少学者研究了镉在稻米中的分布和存在状态,其中查燕等^[11]通过物理剥离的方法研究镉在

稻谷中的分布,结果显示,镉在以皮层和胚为主的糠层中含量最高,颖壳中最低,这与 LIU 等^[12]的研究结果一致。田阳等^[13]、杨居荣等^[14-15]的研究结果同样证明了稻谷中镉的分布具有不均匀性,适当提高碾米精度可降低大米的镉含量,而精米中镉主要富集在蛋白中,淀粉中积累较少。魏帅等^[16]研究发现稻米蛋白中镉含量与蛋氨酸和半胱氨酸呈显著正相关关系。可见,镉可能主要与蛋白中的巯基形成络合物并稳定存在大米胚乳中^[17]。基于重金属镉主要富集在大米蛋白中,陈露等^[17]采用柠檬酸洗涤分离得到的大米蛋白,能够去除大部分镉。综上所述,目前大多数除镉方法要求将大米粉碎,以米粉的形式进行除镉处理^[18],而米粉丧失了整米可蒸煮食用的功能。

为进一步提高除镉率,本研究拟以盐酸作为除镉剂,在低 pH 值条件下通过质子作用将镉离子从大米中解离出来。考察不同因素对镉消减效果的影响,优化最佳除镉工艺,以期为镉污染大米的工业化镉消减提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

镉超标早籼米:湖南粮食集团提供,其镉含量及主要理化指标如表 1 所示;盐酸、氢氧化钠等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

表 1 镉超标早籼米主要理化指标

Table 1 Physicochemical indexes of Cd-contaminated indica rice

镉质量比/ (g:100g)	水分质量比/ (g:100g)	蛋白质质量比/ (g:100g)	脂肪质量比/ (g:100g)	淀粉质量比/ (g:100g)	灰分质量比/ (g:100g)
0.86±0.02	13.23±0.08	8.62±0.03	0.76±0.01	76.36±0.35	0.63±0.01

恒温水浴锅:江苏省金台市荣华仪器制造有限公司;pH 计:sartorius PB-10,德国赛多利斯科学仪器有限公司;微波消解炉:WX-6000,上海屹尧仪器科技发展有限公司;阳极溶出伏安法检测重金属仪器:HM-3000P,江苏天瑞仪器股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 整米除镉反应 准确称取 20.00 g 大米于 250 mL 具塞锥形瓶内,将 0.06 mol/L 的盐酸溶液置于 30 ℃的水浴锅内预热后,以 1:1 的料液比加入到锥形瓶内,摇匀保证大米与酸浸泡液充分接触,将锥形瓶置于上述水浴锅内静置反应 120 min。弃去浸泡液,向锥形瓶内加入去离子水浸泡,促进米粒

中的盐酸溶出,并用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液调节米水混合体系的 pH 为 7.0,中和后大米用去离子水洗涤 3 次,沥水,置于温度为 28 ℃,湿度为 70% 的恒温恒湿箱缓慢干燥 8 h,样品留待镉含量测定。

1.2.2 镉的测定 将大米样品粉碎并过 80 目筛。样品消解采用微波消解:称取过 80 目筛的干样品粉末 0.3~0.5 g(精确至 0.000 1 g)放入微波消解罐中,加 5 mL 硝酸和 2 mL 过氧化氢。微波消解程序如下:第一阶段,温度 100 ℃,时间 1 min,压力 $1.5 \times 10^6 \text{ Pa}$;第二阶段,温度 120 ℃,时间 1 min,压力 $2.5 \times 10^6 \text{ Pa}$;第三阶段,温度 160 ℃,时间 2 min,压力 $3.0 \times 10^6 \text{ Pa}$;第四阶段,温度 190 ℃,时间 12 min,压

力 3.5×10^6 Pa; 消解完毕后, 将消解物定容至 10 mL。

阳极溶出伏安法测定镉含量^[9]: 1) 电极预处理。检测镉使用镀汞膜玻碳电极。分别在砂纸和绒布上打磨抛光清洗玻碳电极后放入超纯水浸泡 5 min; 并向参比电极内管灌入 3 mol/L 的 KCl 溶液; 铂对电极用超纯水冲洗。将以上 3 种电极分别插入装置的相应位置。2) 电极维护阶段。将镀汞液倒入“维护液”分析杯, 进行镀汞膜操作。3) 制备空白样、标准样及待测样。依次制备空白样 (10 mL 超纯水+10 mL 电解液)、标准样 (50 μ L 镉标样+10 mL 超纯水)、待测样 (10 mL 待测样+10 mL 电解液)。4) 仪器校准。选择待测金属 (镉) 及量程档, 依次测定空白样、标准样校准仪器后, 开始测定待测样。大米的除镉率可按式 (1) 计算

$$\text{除镉率} = (C_0 - C) / C_0 \quad (1)$$

式中: C_0 为原料大米初始镉质量分数 (mg/kg, 干基); C 为除镉后大米最终镉质量分数 (mg/kg, 干基)。

1.2.3 蛋白质含量的测定 参照《GB 50095—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[20]。

1.2.4 单因素实验 在上述除镉反应中, 保持其他反应条件不变, 分别改变盐酸浓度 (0.02、0.04、0.06、0.08 和 0.12 mol/L)、温度 (30、35、40 和 45 $^{\circ}$ C)、料液比 (1:1、1:2、1:3 和 1:4)、浸提时间 (10、20、40、60、120 和 240 min), 考察各因素对大米除镉率和蛋白质含量的影响。

1.2.5 响应面实验 采用响应曲面实验优化除镉工艺, 根据 Box-Behnken 中心组合实验设计原理, 选择大米除镉率为响应值 R , 酸浓度、浸提时间、液固比、浸提温度为影响因素。实验因素水平设计如表 2 所示。

表 2 因素水平设计表

Table 2 Design of factors and levels

水平	A 酸液浓度/ (mol/L)	B 浸提时 间/min	C 液固比	D 浸提温 度/ $^{\circ}$ C
-1	0.06	90	1:1	30
0	0.12	120	2:1	40
1	0.18	150	3:1	50

1.2.6 数据分析 单因素及响应面实验均进行 3 次平行实验, 实验结果取 3 次平行结果的平均值。采用 origin 8.6 作图, SPSS 21.0 进行 ANOVA 方差分析, 并采用 Design Expert 8.0.6.1 进行响应面设计

和分析。

2 结果与讨论

2.1 浸提时间对大米除镉率和蛋白质含量的影响

图 1 结果显示, 随着浸提时间的延长, 除镉率呈现先显著增加后趋于平缓的趋势。浸提 120 min 时的除镉率显著增大, 继续延长浸提时间, 除镉率变化不明显, 且除镉率与蛋白质损失呈显著正相关, 这与傅亚平等^[21]的实验结论一致。盐酸溶液中的游离 H^+ 作用于镉与大米蛋白的结合位点, 与 Cd^{2+} 形成竞争吸附, 从而达到脱除重金属镉的效果。镉溶出时间包括 H^+ 进入米粒内部及 Cd^{2+} 游离到浸泡液中的传质时间。根据传质动力学分析, 在不同温度及酸浓度条件下, 镉解离平衡所需要的时间也有所不同, 升高温度并增加酸浓度能明显增大传质动力, 缩短浸提平衡时间^[7]。而在 0.06 mol/L 的盐酸溶液, 反应温度 30 $^{\circ}$ C 的实验条件下, 结果显示米粒的除镉率在 120 min 达到最大值 54.30%。因此, 选定 120 min 作为后续实验的最适浸提时间。

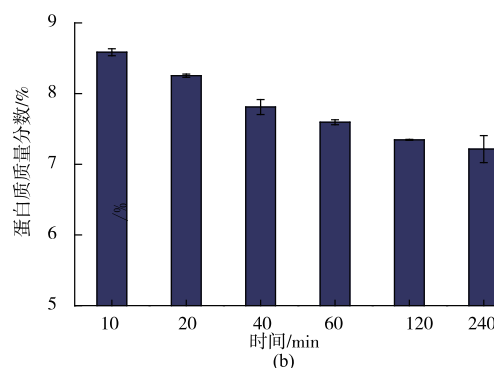
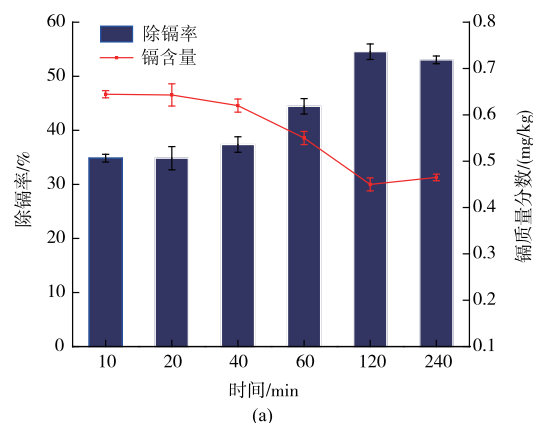


图 1 浸提时间对大米除镉率和蛋白质含量的影响

Fig. 1 Effect of extraction time on Cadmium removal efficiency and concentration of rice protein

2.2 料液比对大米除镉率和蛋白质含量的影响

在 45 ℃ 恒温水浴浸提 120 min, 考察料液比对大米除镉率的影响。从图 2 中可以看出, 随着料液比增大至 1:2, 大米除镉率显著增大 ($P<0.05$) 并逐渐趋于平缓。其中, 料液比为 1:4 条件下大米除镉率达到 71.72%, 除镉率变化不显著 ($P>0.05$)。增大料液比能够保证酸液与米粒充分接触, 镉溶出量增大, 但料液比在 1:2~1:4 范围内, 除镉率无显著差异, 表明料液比在此范围内对大米除镉率无显著影响, 这与许艳霞等^[9]研究结果一致。而蛋白损失由 6.44% 升高至 10.61%, 说明氢离子水解部分蛋白质, 造成蛋白损失增大。因此 0.06 mol/L 的盐酸溶液, 在料液比 1:2 条件下能够满足镉的溶出要求, 且控制溶剂用量, 因此选定料液比为 1:2。

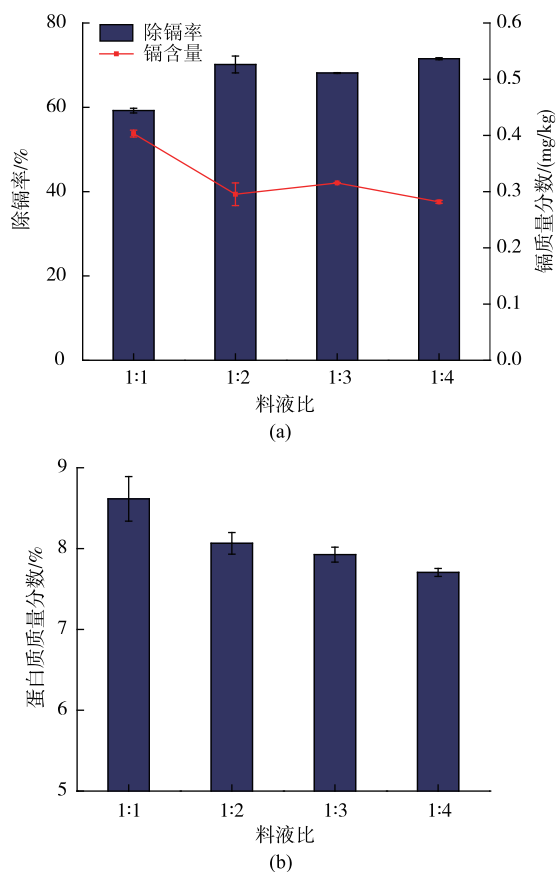


图 2 料液比对大米除镉率和蛋白质含量的影响

Fig. 2 Effect of solid-solvent ratio on Cadmium removal efficiency and concentration of rice protein

2.3 温度对大米除镉率和蛋白质含量的影响

实验结果如图 3 显示, 在盐酸浓度为 0.06 mol/L, 料液比 1:2 条件下, 随着浸泡温度的升高, 除镉率

逐渐提高, 残留镉含量降至 0.2 mg/kg 左右。因为升高温度能够增大传质动力, 引起部分大米蛋白结构发生改变, 使得镉与蛋白结合位点暴露于质子环境中, 促进了酸性条件下镉离子的溶出。这与 Veeken 等^[21]认为在较高温度下金属离子具有更高的扩散系数和提取率相一致。

此外, 由图 3 可知, 在 25~50 ℃ 范围内, 随着浸提温度升高, 大米的蛋白质含量由 7.96% 降低至 6.56%, 温度对大米蛋白质的损失影响显著 ($P<0.05$)。考虑加工能耗及减少蛋白质损失, 选定温度 45 ℃ 较适宜。

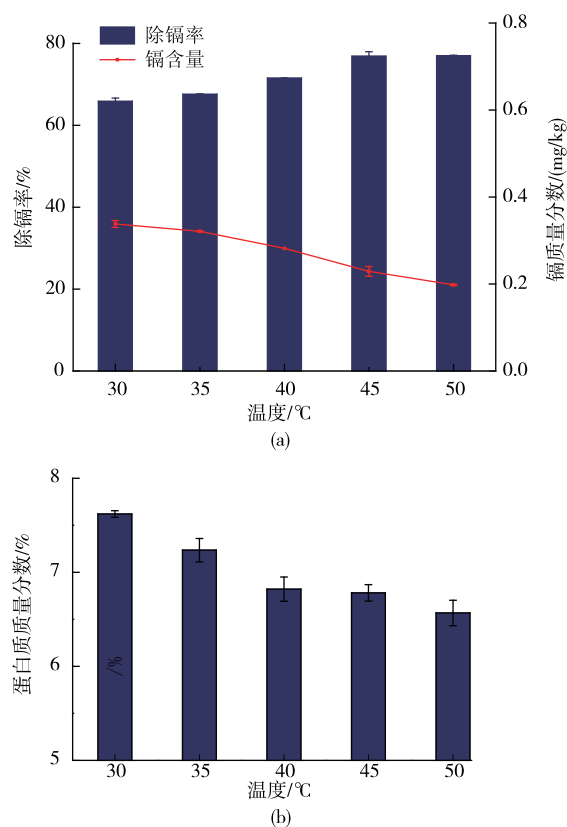


图 3 浸提温度对大米除镉率和蛋白质含量的影响

Fig. 3 Effect of temperature on Cadmium removal efficiency and concentration of rice protein

2.4 盐酸浓度对大米除镉率和蛋白质含量的影响

由图 4(a)可以看出, 盐酸浓度对大米镉消减影响极为显著 ($P<0.05$)。随着盐酸浓度的不断增大, 镉含量明显降低, 除镉率显著上升, 可见酸对大米中镉的溶出具有明显促进作用。部分学者同样认为^[7,21], 酸法消减大米中重金属镉过程中, 镉的溶出效果主要是酸中氢离子的作用。

盐酸浓度对大米蛋白质含量的影响结果如图 4(b)所示。随着盐酸浓度增大,蛋白溶解损失先增加后趋于平缓。当盐酸浓度由 0.02 增大至 0.06 mol/L 时,蛋白质含量由 8.14%降低至 7.25%,除镉率从 31.66%增加至 65.83%,变化显著($P<0.05$);当盐酸浓度大于 0.06 mol/L 时,除镉率从 65.83%增加至 77.51%,变化显著($P<0.05$)(图 4(a)),蛋白质含量变化不显著($P>0.05$),这可能在于随着易酸水解的蛋白溶解后,高浓度盐酸溶液难以溶解不易酸解的蛋白,从而造成蛋白质溶解损失变得平缓。这可以得出盐酸溶液与大米反应过程中,部分二硫键被破坏,肽链结构发生变化,引起部分蛋白易溶于水^[20]。而镉的溶出一部分是随蛋白一同水解溶出,另一部分是因为镉离子与蛋白结合被打断,镉离子解离至盐酸溶液中而洗脱。因此考虑到盐酸浓度对大米品质的影响,控制盐酸浓度在 0.12 mol/L 左右为宜。

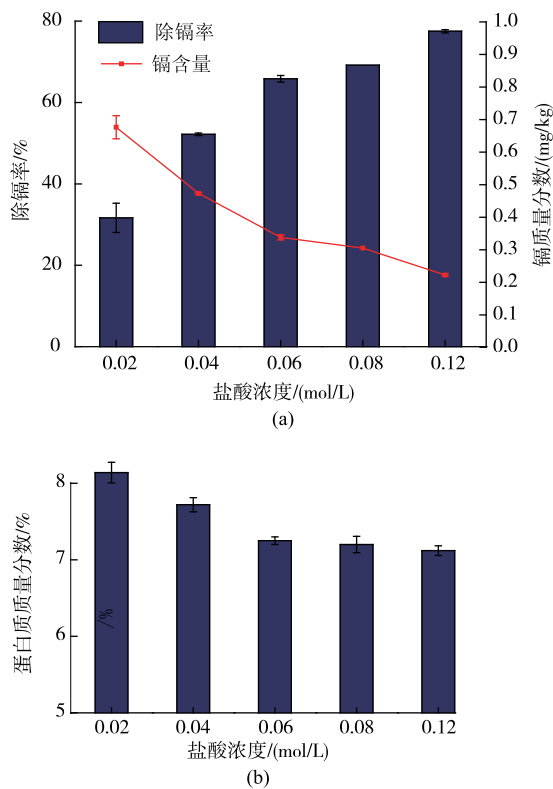


图 4 盐酸浓度对大米除镉率及大米蛋白质含量的影响
Fig. 4 Effect of HCl concentration on Cadmium removal efficiency and concentration of rice protein

2.5 响应面分析及优化

2.5.1 响应面实验结果分析 依据 Box-Behnken 实验设计原理,在对大米中重金属镉脱除率的单因

素实验分析基础上,以除镉率作为响应值,设计四因素三水平响应面实验来优化大米除镉工艺条件,利用软件 Design-Expert 8.0 对结果数据进行处理。响应面实验结果见表 3。

表 3 Box-Behnken 实验设计与结果
Table 3 Result and design of Box-Behnken experiments

实验序号	A	B	C	D	除镉率/%
1	-1	-1	0	0	72.09
2	1	-1	0	0	85.93
3	-1	1	0	0	78.37
4	1	1	0	0	88.14
5	0	0	-1	-1	75.93
6	0	0	1	-1	83.83
7	0	0	-1	1	79.07
8	0	0	1	1	87.55
9	-1	0	0	-1	67.56
10	1	0	0	-1	81.05
11	-1	0	0	1	76.97
12	1	0	0	1	87.09
13	0	-1	-1	0	78.72
14	0	1	-1	0	79.53
15	0	-1	1	0	84.88
16	0	1	1	0	87.79
17	-1	0	-1	0	57.80
18	1	0	-1	0	82.91
19	-1	0	1	0	78.83
20	1	0	1	0	86.63
21	0	-1	0	-1	79.42
22	0	1	0	-1	84.65
23	0	-1	0	1	83.83
24	0	1	0	1	87.44
25	0	0	0	0	86.39
26	0	0	0	0	81.51
27	0	0	0	0	85.52
28	0	0	0	0	84.18
29	0	0	0	0	84.64

方差分析结果见表 4。从表 4 可知,模拟项 P 值小于 0.05,表明模拟项显著,具有统计学意义。 $R^2=0.9482$ 表明数值方程对实验具有良好的拟合效果,自变量与响应值呈显著相关性,可充分反映各因素之间的关系并用此模型对酸浸泡大米脱除重金属镉的脱除效率进行预测。由 F 值检验可以得到各因子的影响显著水平为: $A>C>D>B$,即盐酸浓度>料液

比>反应温度>反应时间。一次项 A 、 C 、 D 及二次项 AC 、 A^2 对除镉率的影响极显著 ($P<0.01$), 一次项 B 及二次项 C^2 影响显著 ($P<0.05$), 其余项均不显著 ($P>0.05$)。根据实验结果, 建立的数值模型方程为:

$$R = 84.45 + 6.68A + 1.75B + 4.63C + 2.46D - 1.02AB - 4.33AC - 0.84AD + 0.53BC - 0.41BD + 0.15CD - 4.97A^2 + 0.96B^2 - 2.46C^2 - 1.09D^2.$$

表 4 方差分析

Table 4 Analysis of variance

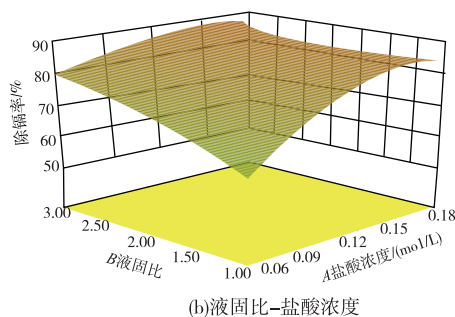
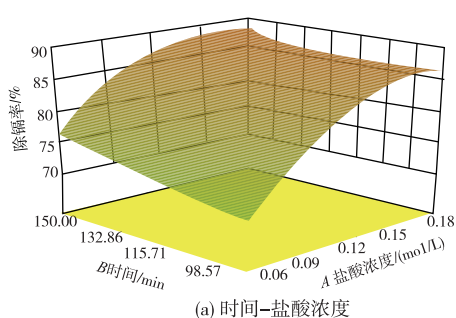
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1193.02	14	85.22	18.31	0.000 1	**
A	535.07	1	535.07	114.99	0.000 1	**
B	36.93	1	36.93	7.94	0.013 7	*
C	257.15	1	257.15	55.26	0.000 1	**
D	72.57	1	72.57	15.60	0.001 5	**
AB	4.14	1	4.14	0.89	0.361 5	
AC	74.91	1	74.91	16.10	0.001 3	**
AD	2.84	1	2.84	0.61	0.447 7	
BC	1.10	1	1.10	0.24	0.634 0	
BD	0.66	1	0.66	0.14	0.712 9	
CD	0.084	1	0.084	0.018	0.895 0	
A^2	160.21	1	160.21	34.43	0.000 1	**
B^2	5.95	1	5.95	1.28	0.277 2	
C^2	39.17	1	39.17	8.42	0.011 6	*
D^2	7.74	1	7.74	1.66	0.218 1	
残差	65.14	14	4.65			
失拟项	51.48	10	5.15	1.51	0.368 5	不显著
净误差	13.66	4	3.42			

注: * 差异显著 ($P<0.05$); ** 差异极显著 ($P<0.01$)

2.5.2 响应曲面图分析 盐酸浓度、反应时间、液固比以及反应温度之间的交互作用对大米除镉率的影响见图 5。响应面的形状直观反映了各因素对大米除镉率的影响, 曲面曲度越大, 该因素对大米除镉率的影响越显著。由图 5(a~f)可知, AB 、 AC 、 AD 对大米除镉率的影响较为显著, 即酸浓度与时间、酸浓度与液固比、酸浓度与温度对大米中重金属镉的脱除率影响较为显著。此外, 等高线的形状可以反映因素间的交互作用是否明显。图中显示

AD 因素间交互作用较为明显。

2.5.3 最佳工艺条件的验证 使用 Design-Expert 8.0.6.1 软件对数据进行分析, 得到模型的最优工艺参数和预测值: 盐酸浓度 0.12 mol/L, 时间 120 min, 料液比 1:2, 温度 45 ℃, 预测此条件下的除镉率为 90.97%。根据实际操作要求, 选定除镉条件为盐酸浓度 0.12 mol/L, 时间 120 min, 料液比 1:2, 温度 45 ℃。最优条件下重复 3 次实验, 所得到的大米镉消减率的平均值为 87.21%, 此条件下所得到的大米



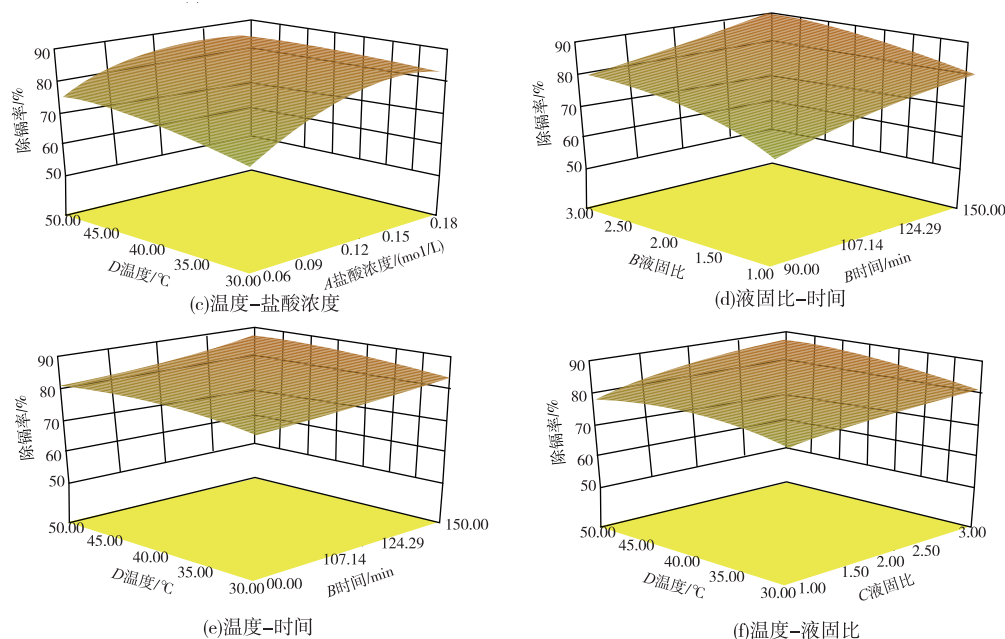


图 5 两因素交互作用对大米除镉率影响的响应面图

Fig. 5 Effect of interactions between two factors on response surface of cadmium removal efficiency

除镉率为预测值的 95.86%,与回归方程估计值吻合良好,说明响应面优化得到的除镉条件可用。

3 结 语

本研究选出盐酸浓度、料液比、反应温度和反应时间等 4 种显著影响大米除镉率和蛋白质含量的因素,采用单因素实验、响应面优化实验得出最

佳大米除镉工艺条件为:当盐酸浓度 0.12 mol/L,时间 120 min,料液比 1:2,温度 45 °C 时,除镉率提高至 87.21%,蛋白损失仅为 16.5%。镉含量在 0.2~1.0 mg/kg 的镉污染大米经处理后均能降至国家限量标准 0.2 mg/kg 以下。此方法相较于其他微生物发酵等除镉方法,工艺操作简单、成本低、效率更高。

参考文献:

- [1] YUAN X P, WANG J, SHANG Y E, et al. Health risk assessment of cadmium via dietary intake by adults in China[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(2): 373-380.
- [2] 刘珊珊. 大米镉含量分析及镉结合蛋白的分离纯化[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.
- [3] SEBASTIAN A, PRASAD M N V. Cadmium minimization in rice. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 34(1): 155-173.
- [4] DU Lina, YU Ruozhen, WANG Haiyan, et al. Pollution and toxicity of cadmium; a review of recent studies [J]. *J Environ Health*, 2013, 30(2): 167-174. (in Chinese)
- [5] SUZUKI K T, SASAKURA C, OHMACHI M. Binding of endogenous and exogenous cadmium to glutelin in rice grains as studied by HPLC/ICP-MS with use of a stable isotope[J]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 1997, 11(2): 71-76.
- [6] KIM S C, KIM H S, SEO B H, et al. Phytoavailability control based management for paddy soil contaminated with Cd and Pb: Implications for safer rice production[J]. *Geoderma*, 2016, 270: 83-88.
- [7] HUO Y Q, DU H Y, XUE B Y, et al. Cadmium removal from rice by separating and washing protein isolate [J]. *Journal of food science*, 2016, 81(6): T1576-1584.
- [8] LIU Jing, REN Jiali, LIN Qinlu, et al. Migration of heavy metals in rice during soaking process[J]. *Food & Machinery*, 2013, 29(5): 66-68, 79. (in Chinese)
- [9] XU Yanxia, NI Xiaoying, YUAN Yi, et al. Reducing cadmium content in rice by solvent extraction [J]. *Grain Science and*

- Technology and Economy**, 2015, 40(5):36-39.(in Chinese)
- [10] LIU Yejia, LIN Qinlu, XIAO Dongmei. Process optimization for lactic acid bacteria fermentation to reduce cadmium in rice[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)**, 2016, 32 (7):276-282.(in Chinese)
- [11] ZHA Yan, YANG Jurong, LIU Hong, et al. Distribution and existing forms of cadmium and lead in polluted seeds of rice and wheat[J]. **Journal of Beijing Normal University(Natural Science)**, 2000(2):268-273.(in Chinese)
- [12] LIU J G, QU P, ZHANG W, et al. Variations among rice cultivars in subcellular distribution of Cd; The relationship between translocation and grain accumulation[J]. **Environmental and Experimental Botany**, 2014, 107:25-31.
- [13] TIAN Yang, WEI Shuai, WEI Yimin, et al. Analysis of cadmium concentration and accumulation in paddy during processing[J]. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, 2014, 14(5):186-191.(in Chinese)
- [14] YANG Jurong, HE Mengchang, ZHA Yan, et al. Binding forms of Cd in the rice and wheat seeds [J]. **China Environmental Science**, 2000, 20(5):404-408.(in Chinese)
- [15] YANG Jurong, ZHA Yan, LIU Hong. The distribution and chemical forms of Cd, Cu and Pb in polluted seeds [J]. **China Environmental Science**, 1999, 19(6):500-504.(in Chinese)
- [16] 魏帅, 魏益民, 郭波莉, 等. 镉元素在稻米籽粒不同蛋白组分中的分布[D]// 中国环境科学学会学术年会论文集. [S.l.]:[s.n.], 2014.
- [17] CHEN Lu, CHEN Jiwang, CAI Jun, et al. Separation, purification, and purity identification of Cd-binding protein from rice[J]. **Food Science**, 2016(13):60-64.(in Chinese)
- [18] FU Yaping, LIU Yang, WU weiguo, et al. Optimization of acid leaching process combined fermentation technology for cadmium removal in rice[J]. **China Brewing**, 2015, 34(10):62-67.(in Chinese)
- [19] ZHOU Xinyi, LIU Jie, ZHANG Tian. Determination of Trace cadmium in food by D.P.A.S.V. using surfactant (CTAB) as enhancing agent[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 1990, 11(3):197-204.(in Chinese)
- [20] GB 50095, 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:2016.
- [21] FU Yaping, WU weiguo, WANG Jutao. Study on mechanism of removal of cadmium in rice powder by lactic acid bacteria fermentation[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2016(3):104-108.(in Chinese)
- [22] VEEKEN A, HAMELERS H. Removal of heavy metals from sewage sludge by extraction with organic acids [J]. **Water Sci Technol**, 1999, 40(1):129-136.

科技信息

澳新拟批准在婴儿配方食品等使用 2'-O-岩藻糖基乳糖与乳酸-N-新四糖

2019 年 7 月 22 日,澳新食品标准局(FSANZ)发布 85-19 号通告,其中 1155 号申请拟批准在婴儿配方食品与其他产品中使用 2'-O-岩藻糖基乳糖(2'-FL)与乳酸-N-新四糖(LNnT)。鉴于有关规范标准规定的婴儿配方产品的现有成分标准单位为 mg/100 kJ。为了与现有规定保持一致,FSANZ 建议将婴儿配方食品中 2'-FL 和 LNnT 允许使用最大量以 mg/100 kJ 为单位,具体如下:(1)如果仅添加 2'-FL,2'-FL 不超过 96 mg/100 kJ;(2)如果添加 2'-FL 和 LNnT,则 LNnT 不超过 24 mg/100 kJ,并且 2'-FL 和 LNnT 的总和不超过 96 mg/100 kJ。

[信息来源] 厦门 WTO/TBT-SPS 通报咨询工作站. 澳新拟批准在婴儿配方食品等使用 2'-O-岩藻糖基乳糖与乳酸-N-新四糖 [EB/OL]. (2019-7-23). <http://swj.xm.gov.cn/xmtbt-sps/show.asp?id=59982>