

响应面法优化海带中重金属的脱除工艺

樊琳, 娄永江*, 陈小芳, 孙佩璇

(宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 应用响应面法优化柠檬酸脱除海带中重金属的条件, 使海带中重金属含量达到国家标准, 为海带的安全食用提供基础。建立海带中重金属脱除的二次多项式模型, 对模型分析确定海带重金属脱除的最佳条件为: 脱除液 pH=2, 脱除时间 4 h, 液料体积质量比 125 mL/g。在此条件下海带中 Cd、Cr、Pb、As(总砷)的质量分数分别为 0.75、0.63、0.81、14.95 mg/kg, 脱除率分别为 61.14%、58.28%、70.97%、40.70%。

关键词: 海带; 重金属; 柠檬酸; 响应面

中图分类号: TS 254 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2015)01—0094—08

Study on Technology of Removing Heavy Metals from Seaweed by Response Surface Method

FAN Lin, LOU Yongjiang*, CHEN Xiaofang, SUN Peixuan

(School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The Cd, Cr, Pb, As content of seaweed exceed the national standard. To make the heavy metal content in seaweed reduce to the national standard and provide basis for safe eating of seaweed, the response surface method was applied to optimize the conditions of the heavy metals removal from seaweed. The quadratic polynomial model of removal of heavy metals in seaweed was established and analyzed, which showed the best conditions of heavy metal removal from seaweed: the pH of removal liquid 2, time 4 h, the ratio of solvent to material 125 mL/g. Under these conditions, the content of Cd, Cr, Pb, As (total As) in seaweed were 0.75, 0.63, 0.81, 14.95 mg/kg and the rate of removal were 61.14%, 58.28%, 70.97%, 40.70%.

Keywords: seaweed, heavy metals, citric acid, response surface method

海带作为一种高膳食纤维低热量的食物, 早已成为人们日常餐桌上的菜肴。然而近年来由于水体污染以及藻类自身特殊结构, 重金属超标已经成为一个亟待解决的问题。张乾通^[1]等对舟山渔场多种水产品的检测表明: 海藻类最严重, 海藻类中铅、镉

的超标率非常高, 铅单项污染指数值为 0.53, 镉单项污染指数值为 1.22, 且舟山渔场海产品中铅污染有加重趋势。

目前国内外对海带中重金属脱除的相关研究较少。姜桥等^[2]采用一定浓度的盐酸、醋酸、碱、水和

收稿日期: 2014-05-14

基金项目: 宁波市农业与社会发展攻关项目(2012C10027)。

* 通信作者: 娄永江(1965—), 男, 浙江嵊州人, 农学硕士, 副教授, 主要从事水产品加工研究。E-mail: louyongjiangn@nbu.edu.cn

沸水等对海藻中无机砷的脱除进行研究,能脱除海带中大部分无机砷,但是盐酸和碱液这两种脱除剂对海带食用安全带来一定影响。舒本胜^[3]等采用柠檬酸利用正交试验优化海带中砷的脱除方法,能达到一定脱除效果且对营养价值没有太大影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

海带:市售;MARS 微波消解仪:美国培安公司产品;2100DV 电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-AES):Perkin Elmer 公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 海带预处理方法 取一定量的海带涨发洗净,去除表面泥砂、污垢,烘干至水分质量分数 8%~10%,封口包装备用。

1.2.2 海带中重金属含量的测定方法 无机砷:参照 GB/T 5009.11-2003 进行测定;铅、铬、镉、总砷:参照 GB/T 18932.11-2002 进行测定。

1.2.3 单因子实验

1) 脱除液 pH 对海带重金属脱除效果的影响 取一定量的海带置于烧杯中,料液比按质量体积比 1 g:100 mL 分别加入 pH 值为 2、3、4、5、6 的柠檬酸溶液,放置 2 h 取样,进行消解测定。

2) 脱除时间对海带重金属脱除效果的影响 取一定量的海带置于烧杯中,料液比按质量体积比 1 g:100 mL 加入 pH=2 的柠檬酸溶液,分别放置 1、2、3、4、5 h 取样,进行消解测定。

3) 料液质量体积比对海带重金属脱除效果的影响 取一定量的海带置于 200 mL 烧杯中,料液比按海带质量和浸泡液体积比 1 g:50 mL~1 g:150 mL 加入 pH=2 的柠檬酸溶液,放置 3 h 取样,进行消解测定。

1.2.4 响应面法对海带重金属脱除条件进行优化 综合单因子实验结果,根据 Box-Behnken 的中心组合实验设计原理^[4-8]采用响应面法^[9]3 因子 3 水平上对海带中重金属的脱除条件进行优化。

2 结果与讨论

2.1 海带中重金属质量分数的测定

海藻细胞壁的网状结构,海藻细胞膜具有高度选择性,这些结构特点决定了藻类可富集金属离子。细胞壁组成及金属种类的不同,决定了富集的效率

与选择性,藻类的细胞壁主要是由多糖、蛋白质和脂肪组成的网状结构,带一定的负电荷,且有较大的表面积与粘性,它们可提供氨基、酰胺基、羧基、醛基、羟基、硫醇、硫醚等官能团与金属离子结合^[10]。废水中的重金属离子进入近海域与海带中的多糖发生离子交换作用、配位作用、螯合作用、氢键作用等。岩藻聚糖硫酸酯是海带细胞间组织的水溶性硫酸多糖,当中的糖醛酸和硫酸基团具有一定的聚阴离子体系的特征,因此对有毒污染物和重金属离子(As、Pb 等)具有一定的吸附和结合能力^[9]。在褐藻酸盐中,有毒金属离子与其中羧酸基团主要发生离子交换作用和表面络合作用。水溶液中离子交换涉及到束缚在各种官能团上(羧基和羟基)的金属离子和其他阳离子之间,而吸附作用涉及到自由表面的物理化学束缚^[11-14]。

测定结果可见,海带中 Pb 质量分数为 2.79 mg/kg 超标严重,超出国标规定 2 倍左右。海带中无机砷在正常范围内,但总砷质量分数为 25.21 mg/kg 高,藻类中的有机砷主要以砷糖形式存在。砷糖含有五价砷,在砷的转化和反应中起重要作用,这种五价砷与两个甲基团、一个氧原子和一个核糖碳原子键合,共 4 种形式,都含有 β -呋喃核苷,区别只是核糖的 1-碳位上连接的支链不同。一般认为砷糖属于无毒物质但也有相关报道指出砷糖被摄入到人体后会转化成大量的二甲基砷酸(DMA),表明砷糖对人体存在潜在的健康风险^[15]。国标中海藻的 Cr 和 Cd 的含量没有明确规定,但是参考蔬菜的规定,Cd 的质量分数超标,为 1.51 mg/kg,Cr 含量在正常范围内。所以海带中的 Pb、Cd 和总砷应作为研究的重点。

2.2 各因素对重金属脱除效果的影响

2.2.1 脱除液 pH 对海带中重金属脱除效果的影响 pH 值会影响生物体表面重金属离子吸附位点的数量,影响海带表面活性基团的性质,同时决定了重金属离子的化学状态。如 Pb(II),当 pH<6 时是以 Pb^{2+} 和 $PbOH^+$ 的形式存在,当 pH>6 时,则主要以 $Pb(OH)_2$ 形式存在。从表 1 可以看出随着脱除液 pH 的升高,海带中 Cd、Cr、Pb、As 的脱除率逐渐降低,pH 接近中性,脱除效果不明显。

当 pH 值较低时,脱除液中 H^+ 达到一定程度,可能是海带中的氨基、酰胺基与金属离子的结合状态发生改变,不仅能使金属离子解析下来,同时金

表 1 脱除液 pH 对海带重金属脱除效果的影响

Table 1 Effect of removal liquid pH on the removal of heavy metals in seaweed

质量分数/(mg/kg)

元素	pH				
	2	3	4	5	6
Cd	0.93±0.040e	1.05±0.017d	1.22±0.022b	1.37±0.046c	1.65±0.032a
Cr	0.62±0.027e	0.72±0.041d	0.84±0.024c	0.89±0.018b	1.17±0.026a
Pb	1.06±0.022e	1.15±0.026d	1.63±0.021c	1.69±0.025b	1.76±0.024a
As	15.87±0.108c	16.12±0.08e	16.62±0.057d	17.68±0.092b	19.62±0.088a

属离子与 H^+ 发生离子交换实现重金属的脱除;测量脱除液浸泡前后的 pH 值, pH 值有所升高, 这种现象可以表明有离子交换作用的发生。

考虑到 pH 值是影响重金属吸附的重要因素, 采用 pH=2 的盐酸、醋酸, 在同样的条件下做预实验, 得到的重金属的脱除率均较柠檬酸低, 且盐酸处理的海带形态被破坏严重, 酸味重, 醋酸处理的海带形态结构较好, 但醋酸味太重, 难以接受。说明仅仅靠提高脱除液酸度是不能达到去除海带中重金属的目的。同时也表明, 柠檬酸的络合作用在重金属的脱除中发挥了一定作用。在 3 h pH=2 处理下, Cd、Cr、Pb、As 的脱除率分别可达 59.58%、64.23%、64.52%、33.08%。

2.2.2 脱除时间对海带重金属脱除效果的影响

从表 2 可知, 随着浸泡时间的增加, 海带 Cd、Cr、Pb、As 含量明显降低, 当时间达到 3~4 h 时重金属离子的含量最低, 随着时间的增加由显著性差异分析可知, 重金属含量并没有显著下降, 且 Cr 有略微的上升。柠檬酸脱除重金属主要依靠 pH 和柠檬酸的络合作用, 柠檬酸的渗透需要一定时间, 所以在较短的时间内脱除效果并不明显, 随着时间延长海带中重金属的解析、吸附和离子交换达到动态平衡, 所以时间延长对于脱除效果的增强是没有明显作用。海带中 Cr 略微上升, 可能是因为细胞壁上解析吸附平衡, 被解析下来的 Cr 进入到细胞内部。因此, 脱除时间选择 3 h 比较合适。

表 2 脱除时间对海带重金属脱除效果的影响

Table 2 Effect of removal time on the removal of heavy metals in seaweed

质量分数/(mg/kg)

元素	时间/h				
	1	2	3	4	5
Cd	1.09±0.042a	0.93±0.070b	0.79±0.039c	0.81±0.036c	0.78±0.028c
Cr	0.87±0.027a	0.62±0.042b	0.55±0.048c	0.58±0.056bc	0.61±0.028b
Pb	1.38±0.033a	1.06±0.028b	0.89±0.040c	0.88±0.026c	0.91±0.031c
As	17.56±0.030a	16.87±0.059b	15.25±0.046c	15.28±0.039c	15.28±0.029c

相对于其他重金属, 总砷含量脱除率较低, 除了藻类中的有机砷的存在形式外, 还有可能砷已经部分到达海带细胞内部, 必需金属元素竞争膜转运蛋白, 以金属螯合物形态进入植物细胞, 使脱除作用难以进行。而其他几种金属大部分被络合在海带细胞壁的表面。这也符合在 3 h 左右, 脱除作用基本达到平衡。

2.2.3 料液比对海带重金属脱除效果的影响 由表 3 中可以看出随着体积质量比的增大, 海带中 Cd、Cr、Pb、As 含量明显降低, 当料液质量体积比达到 1 g:100 mL 时金属的含量最低, 再增加料液质量体积比海带中金属的含量有所升高, 但基本影响不

大。为维持金属离子在液相和固相之间的平衡重金属, 从海带表面解吸, 由不溶态转化为可溶态, 从而可降低海带中重金属的浓度。可能是因为适当增大料液质量体积比有利于平衡向金属离子脱离的方向移动, 但是当溶液剂量达到一定程度时, 对于这种平衡的影响作用很小。因此, 料液比选择质量体积比 1 g:100 mL 比较合适。

2.3 响应面实验结果

2.3.1 响应面实验设计方案及结果 在单因子实验结果基础上, 以 $X_1=(Z_1-3)/1$, $X_2=(Z_2-3)/1$, $X_3=(Z_3-100)/25$ 为自变量, 以海带中重金属 Cd(Y_1)、Cr

(Y₂)、Pb(Y₃)、As(Y₄)质量分数为响应值,进行响应面分析实验,结果见表4。

表3 脱除液料液质量体积比对海带重金属脱除效果的影响

Table 3 Effect of ratio of liquid to solid on the removal of heavy metals in seaweed 质量分数/(mg/kg)

元素	质量体积比/(g:mL)				
	1:50	1:75	1:100	1:125	1:150
Cd	0.89±0.028a	0.84±0.015b	0.79±0.017bc	0.81±0.017c	0.80±0.022c
Cr	0.73±0.017a	0.64±0.013b	0.56±0.017d	0.59±0.017c	0.57±0.026dc
Pb	1.14±0.025a	1.04±0.042b	0.89±0.028c	0.92±0.026c	0.94±0.031c
As	16.28±0.036a	15.37±0.064b	15.26±0.036c	15.27±0.034c	15.31±0.017c

表4 响应面分析方案及实验结果

Table 4 Experiment design and results of response surface methodology

质量分数/(mg/kg)

实验号	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
1	2	2	100	0.95	0.62	1.06	15.35
2	2	3	125	0.80	0.59	0.87	15.19
3	3	3	100	0.97	0.65	1.02	15.83
4	3	3	100	0.97	0.64	1.04	15.86
5	3	2	125	1.03	0.63	1.09	15.96
6	4	3	75	1.07	0.82	1.31	16.21
7	3	3	100	0.99	0.63	1.02	15.89
8	2	3	75	0.85	0.64	1.04	15.44
9	3	3	100	0.99	0.67	1.03	15.82
10	4	2	100	1.22	0.84	1.38	16.36
11	4	4	100	1.01	0.75	1.18	16.16
12	3	4	75	0.96	0.69	1.02	15.75
13	3	4	125	0.87	0.64	0.96	15.59
14	2	4	100	0.82	0.58	0.87	15.11
15	3	2	75	1.10	0.78	1.19	16.01
16	4	3	125	1.03	0.74	1.24	16.20
17	3	3	100	0.95	0.65	1.06	15.85

2.3.2 模型方程的建立及显著性分析 利用 Design-Expert8.0.5 软件对表4 试验数据进行回归拟合,得到的数学模型为

$$Y_1 = 0.97 + 0.11X_1 - 0.11X_2 - 0.080X_3 - 0.020X_1X_2 + 2.500E - 003X_1X_3 - 5.000E - 003X_2X_3 - 0.013X_1^2 + 0.039X_2^2 - 0.023X_3^2$$

$$Y_2 = +0.64 + 0.090X_1 - 0.026X_2 - 0.041X_3 - 0.013X_1X_2 - 7.500E - 003X_1X_3 + 0.025X_2X_3 + 0.031X_1^2 + 0.018X_2^2 + 0.19X_3^2$$

$$Y_3 = +1.03 + 0.16X_1 - 0.086X_2 - 0.050X_3 - 2.500E - 003X_1X_2 + 0.025X_1X_3 + 1.000E - 002X_2X_3 + 0.069X_1^2 + 0.019X_2^2 + 0.012X_3^2$$

$$Y_4 = +15.85 + 0.48X_1 - 0.83X_2 - 0.059X_3 + 1.000E - 002X_1X_2 + 0.060X_1X_3 - 0.027X_2X_3 - 0.086X_1^2 - 0.019X_2^2 - 3.750E - 003X_3^2$$

根据分析,作者所选模型不同处理间差异极显著(模型的 $P < 0.0001$),见表5。说明回归方程描述各因子与响应值之间的关系时,其应变量与全体自变量之间的线性关系是显著的,即这种实验方法是可靠的;失拟项不显著($P > 0.05$),说明本试验所得二次回归方程能很好地对响应值进行预测。对于 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 模型的 R^2 分别为98.89%、98.32%、99.05%、99.15%说明这种实验方法可靠,使用该方程模拟真实的3因子3水平的分析可行。变异系数分别为1.17%、2.27%、1.90%、0.32%较低,说明实验具有良好的稳定性。

2.3.3 海带脱除重金属的响应面分析及优化 由于海带脱除重金属响应值对应的不同因素的等高线图和响应面过多,所以选取交互作用显著的几种情况进行分析。

表 5 回归方程系数显著性检验

Table 5 Test of significance for regression coefficient

模型系数项	Cd		Cr		Pb		As	
	系数估计值	P 值	系数估计值	P 值	系数估计值	P 值	系数估计值	P 值
截距	0.974 0		0.642 0		1.034 0		15.850 0	
X_1	0.113 7	<0.000 1	0.090 0	<0.000 1	0.158 7	<0.000 1	0.480 0	<0.000 1
X_2	-0.080 0	<0.000 1	-0.026 2	0.004 4	-0.086 2	<0.000 1	-0.133 7	0.000 1
X_3	-0.031 20	0.001 1	-0.041 2	0.000 3	-0.050 0	0.000 2	-0.058 7	0.012 9
X_1X_2	-0.020 0	0.047 5	-0.012 5	0.206 380	-0.002 5	0.814 4	0.010 0	0.702 1
X_1X_3	0.002 5	0.772 9	-0.007 5	0.430 9	0.025 0	0.044 9	0.060 0	0.048 1
X_2X_3	-0.005 0	0.567 5	0.025 0	0.027 1	0.010 0	0.362 0	-0.027 5	0.309 3
X_1^2	-0.013 2	0.146 9	0.034 0	0.009 4	0.069 2	0.000 2	-0.086 2	0.009 6
X_2^2	0.039 2	0.001 9	0.021 5	0.072 3	0.019 2	0.095 5	-0.018 7	0.468 3
X_3^2	-0.023 2	0.024 3	0.021 5	0.072 3	0.011 7	0.278 2	-0.003 7	0.882 4

在固定料液质量体积比为 1 g:100 mL 条件下 ($X_3=0$), pH 和时间及两者的交互作用对海带中 Cd 的脱除影响的响应面及对应等高线见图 1。当 pH 保持不变时, 脱除初期, Cd 的去除效果与时间成正比, 当脱除一段时间后, 时间对降低海带中 Cd 含量作用不明显, 当时间达到 3.5 h 以后, 海带中 Cd 的

脱除已趋于平缓, 从脱除效果和实验效率考虑, 时间应选取 3.5~4.0 h; 当时间保持不变时, 随着 pH 的增加, 海带中 Cd 的含量逐渐增加, 随后基本保持不变。从脱除效果和海带营养价值考虑, 脱除液的 pH 选取 2~2.5。

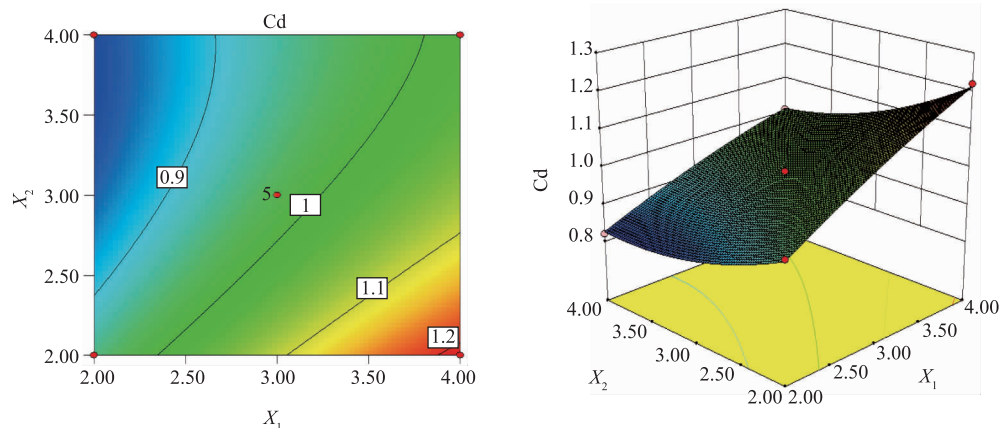
图 1 pH 和时间对海带中 Cd 脱除的等高线图和响应面图($X_3=100$)

Fig. 1 Contour plot and response surface plot of the effect of pH and time on Cd of seaweed

在固定 pH=2 条件下 ($X_1=-1$), 料液质量体积比和时间及两者的交互作用对海带中 Cr 的脱除影响的响应面及对应等高线见图 2。在低时间区, 随着料液质量体积比的增加, 海带中 Cr 的含量呈降低趋势; 在高时间区随着料液质量体积比的增加, 海带中 Cr 含量先降低后上升。所以对于海带中 Cr 的脱除, 脱除液的料液比质量体积应选在 1 g:120 mL。可能是因为整个脱除体系不稳定, 在长时间和高料液质量体积比的条件下, 脱除作用的不确定因素使

固-液界面发生了吸附反应。在低料液比区, 随着时间的延长, 海带中 Cr 的含量逐渐降低, 随后变化平缓; 在高料液比区, 随着时间的延长, 海带中 Cr 的含量先缓慢降低后有所增加, 所以对于海带中 Cr 的脱除, 脱除时间应选择在 2.5~3.0 h。

在固定时间为 3 h 条件下 ($X_2=0$), 料液质量体积比和 pH 及两者的交互作用对海带中 Pb 的脱除影响的响应面及对应等高线见图 3。当料液质量体积比保持不变时, 随着 pH 的增加, 海带中 Pb 的质

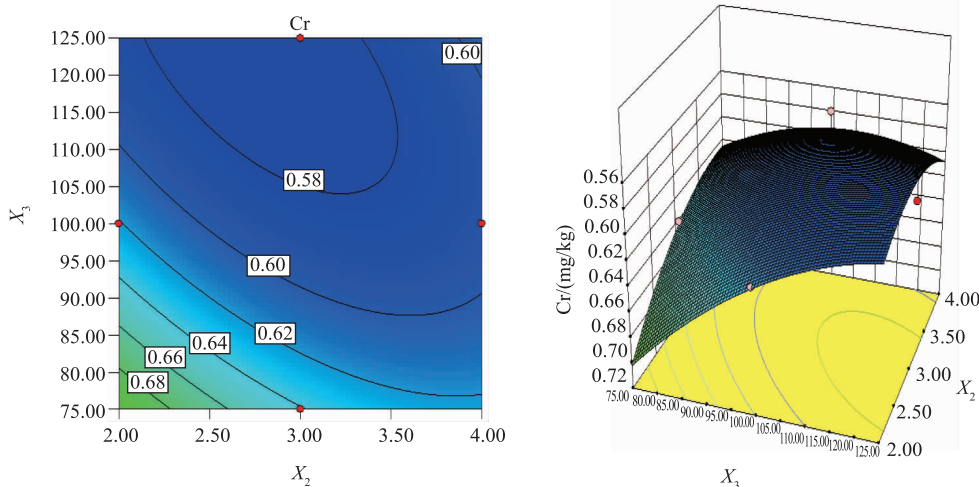
图2 时间和料液质量体积比对海带中Cr脱除的等高线图和响应面图($X_1=2$)

Fig. 2 Contour plot and response surface plot of the effect of time and ratio of liquid to solid on Cr of seaweed

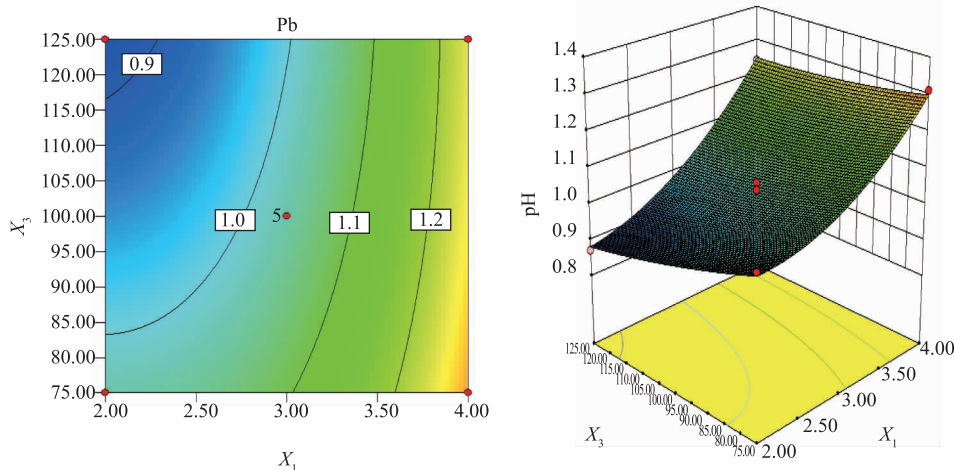
图3 pH和料液质量体积比对海带中Pb脱除的等高线图和响应面图($X_2=3$ h)

Fig. 3 Contour plot and response surface plot of the effect of pH and ratio of liquid to solid on Pb of seaweed

量分数逐渐升高,随后变化平缓,同样选取脱除液的pH为2.0~2.5。当pH保持不变时,随着料液质量体积比的增加,海带中Pb的质量分数逐渐降低,随后基本保持不变。考虑脱除效果和节约资源,料液质量体积比应选择在120~125。

在固定时间为3 h条件下($X_2=+1$),料液质量体积比和pH及两者的交互作用对海带中As的脱除影响的响应面及对应等高线见图4。pH保持不变时,随着料液质量体积比的增加,海带中As的质量分数逐渐降低所以选取料液质量体积比范围是1 g:125 mL附近。当料液质量体积比保持不变时,随着pH的增加,海带中As的质量分数逐渐升高,随后

变化平缓,同样选取pH为2.0~2.5。

从表8中可看出,海带中Cd、Cr、Pb质量分数基本可以达标,考虑到总砷质量分数偏高,因此选择时偏重于总砷质量分数,为此选择总砷取得相对较小响应值时,柠檬酸脱除重金属的条件。此条件为:pH=2,时间4 h,质量体积比1 g:125 mL,此时理论Cd、Cr、Pb、As的理论质量分数分别为0.76、0.60、0.82、14.97 mg/kg。为了检验响应面法的可行性,采用得到的最佳条件进行海带重金属脱除的验证实验。经3次平行实验得到Cd、Cr、Pb、As实际重金属质量分数分别为0.75、0.63、0.81、14.95 mg/kg,与理论值相差分别为1.3%、3.3%、1.2%、0.13%。

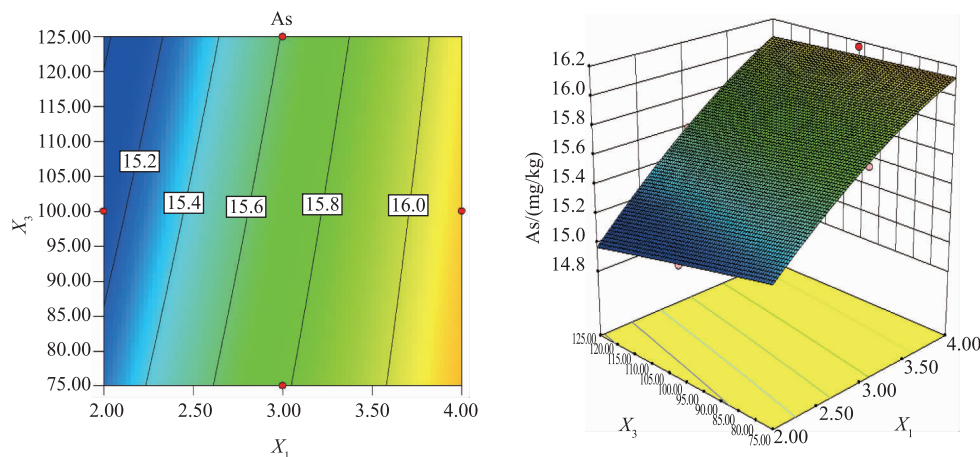


图 4 pH 和料液比对海带中 As 脱除的等高线图和响应面图($X_2=4$ h)

Fig. 4 Contour plot and response surface plot of the effect of pH and ratio of liquid to solid on As of seaweed

表 8 不同重金属离子取得最值时所对应的脱除条件

Table 8 Corresponding removal condition when different heavy metal is the minimum

元素	质量分数/(mg/kg)	脱除率/%	pH	时间/h	料液质量体积比(g:mL)
Cd	0.75	61.13	2	3.94	1:125
Cr	0.56	62.25	2	2.95	1:125
Pb	0.82	70.61	2	4.00	1:125
As	14.97	40.62	2	4.00	1:125

3 结 语

柠檬酸、盐酸、醋酸和 EDTA 对海带中重金属都有脱除的效果, 选用这几种试剂在相同条件下, 柠檬酸脱除效果最好, 味道小, 且对海带营养和结构破坏程度小, 所以作者选用柠檬酸作为海带重金属脱除剂来进一步研究。

柠檬酸对于海带中的 Cd、Cr、Pb、As 具有良好的脱除效果, 经响应面优化得到的最佳工艺参数为浸泡液 pH 为 2, 浸泡时间为 4 h, 浸泡液体积和海带质量比 125 mL:1 g, 此时海带中 Cd、Cr、Pb、As 的质量分数分别为 0.75、0.63、0.81、14.95 mg/kg, 脱除率分别为 61.14%、58.28%、70.97%、40.70%, 海带中的重金属元素质量分数达到国家标准。

参考文献:

- [1] 张乾通. 舟山渔场主要海产品重金属污染现状分析与评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
- [2] 姜桥, 刘永中, 金春文, 等. 去除海藻中砷的方法研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(8): 80–81, 85.
JIANG Qiao, LIU Yongzhong, JIN Chunwen, et al. Study on the methods to reduce the arsenic content in seaweed [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2007, 28(8): 80–81, 85. (in Chinese)
- [3] 舒本胜, 翟毓秀, 刘俊荣, 等. 正交试验优化海带中砷的脱除方法[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 11–15.
SHU Bensheng, ZHAI Yuxiu, LIU Junrong, et al. Orthogonal array design for the optimization of arsenic removal from kelp[J]. **Food Science**, 2012, 33(24): 11–15. (in Chinese)
- [4] 费荣昌. 实验设计与数据处理[M]. 无锡: 江南大学, 2001.
- [5] Kahraman F. The use of response surface methodology for prediction and analysis of surface roughness of AISI4140 steel[J]. **Material and Technology**, 2009, 43(5): 267–270.
- [6] 胡成旭, 侯欣彤, 冯永宁, 等. 响应面法优化云芝多糖提取条件的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(7): 124–126, 130.
HU Chengxu, HOU Yintong, FENG Yongning, et al. Study on the extraction condition of coriolus versiclor polysaccharides by response surface methodology[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2007, 28(7): 124–126, 130. (in Chinese)

- [7] 李流川, 姜永江, 杨文鸽. 鱼糜加工废水中蛋白质回收工艺的优化[J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(7): 743-748.
LI Liuchuan, LOU Yongjiang, YANG Wenge. Study on protein recovery process optimization of surimi processing wastewater[J]. **Journal of Food science and Technology**, 2013, 32(7): 743-748. (in Chinese)
- [8] 李蕾, 岳喜华, 于欢, 等. 响应面法优化酸浆果多糖的提取工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(1): 53-56.
LI Lei, YUE Xihua, YU Huan, et al. Optimization of the extraction of polysaccharide (PAP) by response surface analysis[J]. **Journal of Food science and Technology**, 2009, 28(1): 53-56. (in Chinese)
- [9] Bas D, Boyaci I H. Modeling and optimization I usability of response surface methodology [J]. **Journal of Food Engineering**, 2007, 78(3): 836-845.
- [10] 肖君, 宫本周, 于克锋, 等. 海带对镉、铅的吸附作用及其机理[J]. 环境化学, 2010, 29(2): 226-229.
XIAO Jun, MIYAMOTO Chikanori, YU Kefeng, et al. Biosorption of Cd^{2+} , Pb^{2+} onto laminaria japonica [J]. **Environmental Chemistry**, 2010, 29(2): 226-229. (in Chinese)
- [11] 周奕, 吴永沛, 于立国. 海带岩藻聚糖硫酸酯纯化去除重金属砷和铅的研究[J]. 水产科学, 2012, 31(2): 102-106.
ZHOU Yi, WU Yongpei, YU Liguang. The Removal of Arsenic and Lead from purified fucoidan extracted from kelp *Laminaria japonica*[J]. **Fisheries Science**, 2012, 31(2): 102-106. (in Chinese)
- [12] Karagunduz A, Unal D, New method for evaluation of heavy metal binding to alginate beads using pH and conductivity data[J]. **Adsorption**, 2006, 12(3): 175-184.
- [13] 高达. 浅谈生物吸附法去除废水中重金属混合离子[J]. 中国新技术新产品, 2012(19): 209-210.
GAO Da. Brief talk on the biological assay mix of heavy metal ions removal from wastewater [J]. **China New Technologies and Products**, 2012(19): 209-210. (in Chinese)
- [14] El-Ghaffar MA, Elhalawany N, Ahmed E, et al. Synthesis and characterization of some chelating polymers bearing malefic acid and/or sodium maleate moieties for removal of some toxic heavy metal ions Clean [J]. **Clean Technologies Environmental Policy**, 2013, 15(6): 1013-1021.
- [15] Bergés-Tiznado ME, Pérez-Osuna F, Notti A, et al. Arsenic and Arsenic species in cultured oyster (*Crassostrea gigas* and *C. corteziensis*) from Coastal Lagoons of the SE Gulf of California, Mexico[J]. **Biological Trace Element Research**, 2013, 151(1): 43-49.

科技信息

欧盟批准 Benex 鼠尾草油作为一种新型食品原料

2014 年 10 月 17 日欧盟委员会按法规(EC)No 258/97 要求, 批准 Benex ia 鼠尾草油作为一种新型食品原料用于食品补充剂, 代替其他植物性脂肪以及油脂。

鼠尾草油富含 Ω -3 脂肪酸, 用于食品与饮料后可代替高达 10% 的植物脂肪。最新批准的这种油料由 Ingredia Nutritional 销售, 该公司曾首次向欧洲推广鼠尾草种子。

[信息来源] 食品伙伴网. 欧盟批准 Benex 鼠尾草油作为一种新型食品原料 [EB/OL]. (2014-12-4). <http://news.foodmate.net/2014/12/286555.html>.

欧盟批准一项不饱和脂肪酸可降胆固醇的健康声称

2014 年 11 月 18 日, 欧盟发布(EU)No1226/2014 号委员会条例, 批准一项不饱和脂肪酸可降胆固醇的健康声称。本法规自发布后第 20 天起生效。

根据欧盟(EC)No 1924/2006 的规定, 发布食品健康声称需经欧盟委员会批准。本次健康声称的全称为“将饮食中的饱和脂肪酸用不饱和脂肪酸代替可降低血液中的胆固醇, 高胆固醇是冠心病发病的一个风险因素”。

[信息来源] 厦门 WTO 工作站. 欧盟批准一项不饱和脂肪酸可降胆固醇的健康声称 [EB/OL]. (2014-11-26). <http://www.xmtbt-sps.gov.cn/detail.asp?id=47885>