

响应面法优化黑木耳多糖与三价铬螯合工艺

尹红力¹, 王振宇^{1,2*}, 梁薇薇¹, 李婷婷¹, 刘冉¹, 张乃珣¹

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨工业大学食品科学与工程学院, 黑龙江哈尔滨 150090)

摘要 [目的]优化黑木耳多糖和三价铬螯合工艺。[方法]采用分光光度法考察黑木耳多糖与三价铬的质量比、螯合时间、三价铬的初始浓度3个因素对其螯合率的影响,并通过Box-Behnken试验设计对试验数据进行二次响应面分析,优化黑木耳多糖与三价铬的螯合工艺。[结果]试验表明,木耳多糖与三价铬的最佳螯合工艺条件为:木耳多糖与三价铬的质量比为2.2:1,螯合时间6.18 h,三价铬的初始浓度为5.96 mg/ml,在该条件下螯合率为41.56%。[结论]应用响应面法所得到的黑木耳多糖-铬(Ⅲ)螯合物的合成工艺参数是可行的,可为黑木耳多糖与三价铬螯合物的进一步开发利用提供参考。

关键词 黑木耳多糖;三价铬;螯合;响应面法

中图分类号 S646.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)15-04830-04

Study on the Optimization of Chelating *Auricularia auricular* Polysaccharides and Chromium(Ⅲ) by Response Surface Methodology
YIN Hong-li, WANG Zhen-yu et al (Department of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; Department of Food Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150090)

Abstract [Objective] Optimization of *Auricularia auricular* polysaccharides and chromium(Ⅲ) chelate technology. [Method] The effects of three independent variables (the quality of *Auricularia auricular* polysaccharides and chromium(Ⅲ), chelating time and chromium(Ⅲ) concentration of initial) with spectrophotometric method. And the chelation process were further optimized by response surface methodology (RSM) based on a Box-Behnken design. [Result] The results showed that the optimum extraction conditions were as follows: the quality of *Auricularia auricular* polysaccharides and chromium(Ⅲ) is 2.2:1, chelating time is 6.18 h. Chromium(Ⅲ) concentration of initial is 5.96 mg/ml. Under the optimized conditions, chelating rate is 41.56%. [Conclusion] It is feasible to optimize the chelation processing of *Auricularia auricular* polysaccharides and chromium(Ⅲ). Given that, it could provide several references for further research on detection of it.

Key words *Auricularia auricular* polysaccharides; Chromium(Ⅲ); Chelating; Response surface methodology

多糖(polysaccharide,简称PS)是一类具有广泛生物活性的生物大分子物质,目前已有300多种多糖类化合物从天然产物中被分离^[1]。研究表明,黑木耳多糖具有许多重要的生理功能,如:降血糖^[2-3]、降血脂^[4-5]、抗肿瘤^[6-7]、抗衰老^[8]、提高机体免疫等功能。铬是目前研究较多且结论较为一致的一种重要的微量元素^[9],人体缺铬会导致一系列的代谢失常及病变^[10-11]。大量研究表明,微量元素铬在糖尿病诊断、治疗及预防中有重要的作用^[12-13]。

随着人们生活水平的提高,糖尿病成为危害人类健康的一大疾病,且发病率逐年上升,引起人们的广泛关注^[14]。研究表明,多糖与金属离子的螯合物具有某些特殊的生理生化功能^[15-16],多糖螯合物不仅能够发挥黑木耳多糖的强大生理功能,同时能够作为一种金属补充剂,有降血糖^[17]、补血、补锌等功效。目前已经报道了黑木耳多糖与Fe(Ⅱ)、Zn、Ag等螯合物的制备工艺^[18-20]。铬在可食用领域的研究多数以蛋白质、多肽与铬螯合为主,少有多糖与铬进行螯合的相关报道^[21],笔者以东北地道黑木耳作为原料提取黑木耳多糖,充分发挥资源优势,并且与铬螯合,通过考察影响其螯合率的主要因素,并应用响应面法获得最佳提取工艺,为其在食品、医药、保健品等方面的应用奠定基础。

1 材料与与方法

1.1 材料 黑木耳,黑龙江省海林市北味黑木耳。主要试剂:无水乙醇、氯化铬、硫酸、氢氧化钠、氯化钠,均为分析纯。

主要仪器:恒温水浴锅,上海普渡生化科技有限公司;精密pH计,广州三赢仪器公司;DHG-9240鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司;UT-1810PC紫外-可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;JA2003电子天平,上海良平仪器仪表有限公司;PC20E-G电磁炉,上海奔腾企业有限公司;721分光光度计,上海精密科学仪器有限公司;BCD-202GNS(E)三星电冰箱,三星电器有限公司;RE-5205旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;TDL-40B-W台式低速大容量离心机,河南星科科学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 黑木耳多糖的提取方法。原料预处理→热水浴浸提(料液比1:50 g/ml、提取温度为80℃、提取时间4 h)→离心(4 000 r/min,10 min)→上清液抽滤→浓缩→脱色→Sevage法除蛋白(氯仿:正丁醇=4:1;Sevage试剂:多糖溶液=1:4)→醇沉过夜→离心→透析→冻干→多糖粗品。

1.2.2 三价铬溶液的配制。氯化铬溶液,分别称取2.562、3.074、3.587 g氯化铬分别溶于少量水中,移入100 ml容量瓶,加蒸馏水定容至100 ml,摇匀,分别配成5、6、7 mg/ml的三价铬溶液,储存于棕色瓶放置在冰箱中待用。磷酸溶液的配制:磷酸与水体积比是1:3。

1.2.3 黑木耳多糖-Cr(Ⅲ)螯合物的合成与螯合率的测定。准确称取一定量的黑木耳多糖,加入待螯合的Cr(Ⅲ)溶液,置于振荡培养箱中,25℃,150 r/min,醇沉取上清液,旋转蒸发器旋出乙醇,移取旋完后的上清液10 ml于25 ml锥形瓶中,加入5 ml磷酸,蒸馏水定容,分光光度计测量OD值,计算Cr(Ⅲ)的质量浓度。试验中的pH用稀硫酸或稀氢氧化钠调节^[22]。

作者简介 尹红力(1990-),女,山东陵县人,硕士研究生,研究方向:功能性食品的研究与开发。*通讯作者,教授,博士,从事天然产物分离、功能性食品及生物活性材料研究。

收稿日期 2014-04-28

整合率的计算公式: $A(\%) = (m_0 - m) / m_0 \times 100\%$

式中: A 表示整合率, m_0 表示整合前溶液中 Cr(III) 的质量(g), m 表示整合后溶液中 Cr(III) 的质量(g)。

1.3 三价铬标准曲线的绘制 准确称取 0.500 g 氯化铬, 用蒸馏水溶解并定容至 100 ml 容量瓶中。配成 1.95 mg/ml 的三价铬溶液, 分别按表 1 进行配置操作加样后, 定容至 25 ml。充分混匀后以管 1 为空白对照, 600 nm 波长下测各管的吸光度, 绘制吸光度—三价铬含量曲线。

表 1 铬标准溶液的配制 ml

管号	氯化铬溶液	磷酸
1	0	5
2	3	5
3	5	5
4	7	5
5	9	5
6	11	5
7	13	5
8	15	5

从图 1 中可得, Cr(III) 的质量与吸光度值之间的线性关系为: $y = 0.011x - 0.001$, 其中相关系数 $R^2 = 0.999$, 符合要求。表明 Cr(III) 在设定的浓度范围内与吸光值呈良好的线性关系, 符合朗伯比尔定律, 该方程可用于对 Cr(III) 的定量测定。

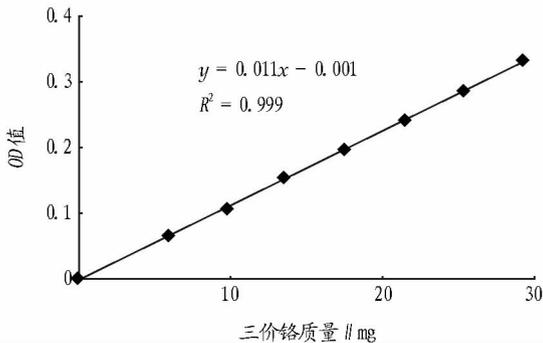


图 1 三价铬标准曲线

1.4 黑木耳多糖与三价铬整合条件的单因素试验 设定 pH 为 3, 温度 25 °C, 转速 150 r/min, 固定其他条件, 分别考察多糖与三价铬的质量比(1:1、2:1、3:1、4:1、5:1)、整合时间(1、2、3、4、5、6 h)、三价铬初始浓度(1、2、3、4、5、6、7 mg/ml) 对其整合率的影响。

1.5 响应面法优化整合工艺 根据单因素试验结果, 以质量比、整合时间、初始浓度 3 个因素为自变量, 整合率为响应值, 进行 3 因素 3 水平响应面试验, 使用 MINITAB16 软件, 根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理, 对黑木耳多糖与三价铬的最佳整合工艺进行优化。试验因素与水平设计见表 2。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 整合时间对整合率的影响。 在 150 r/min 的条件下, Cr(III) 初始浓度为 5 mg/ml, pH 为 3, 黑木耳多糖与 Cr(III)

表 2 响应面分析因素水平编码

编码水平	因素		
	木耳多糖与铬(III) 质量比(X_1)	整合时间 (X_2)/h	初始浓度 (X_3)/mg/ml
-1	1:1	4	5
0	2:1	5	6
1	3:1	6	7

的质量比为 5:1, 常温下分别在 1、2、3、4、5、6 h 反应后取溶液, 醇沉后, 取上清液进行 Cr(III) 含量的测定, 计算整合率, 以此确定最佳整合时间。

由图 2 可知, 整合时间在 1~5 h 范围内, 随着时间的增加, 整合反应就越加充分, 黑木耳多糖与 Cr(III) 的整合作用也越彻底, 整合率逐渐增加。在时间达到 5 h 时得到最大值, 整合率为 32.3%。故此单因素的最优整合时间为 5 h。

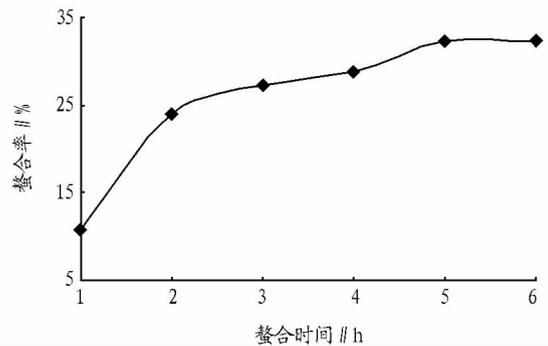


图 2 整合时间对整合率的影响

2.1.2 Cr(III) 浓度对整合率的影响。 在 150 r/min 的条件下, Cr(III) 初始浓度分别为 1、2、3、4、5、6、7 g/L, pH 为 3, 黑木耳多糖与 Cr(III) 的质量比为 5:1, 常温下整合 2 h 后取溶液, 醇沉后, 取上清液进行 Cr(III) 含量的测定, 计算整合率, 以此确定最佳整合比例。

由图 3 可知, 随着 Cr(III) 浓度的增加, 整合率上升, 当浓度为 6 mg/ml 时, 整合率达到最大, 为 38.45%。由此得出, Cr(III) 初始浓度为 6 mg/ml 时为最佳浓度。

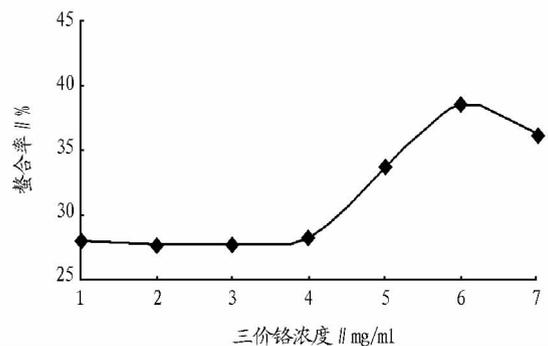


图 3 Cr(III) 浓度对整合率的影响

2.1.3 黑木耳多糖与 Cr(III) 的质量比对整合率的影响。 在 150 r/min 的条件下, Cr(III) 初始浓度为 5 mg/ml, pH 为 3, 黑木耳多糖与 Cr(III) 的质量比分别为 1:1、2:1、3:1、4:1、5:1, 常温下整合 2 h 后取溶液, 醇沉后, 取上清液进行 Cr(III) 含量的测定, 计算整合率, 以此确定最佳整合比值。

由图4可知,在黑木耳多糖与三价铬的质量比为2:1范围内时,随着比值的增加,螯合率有所上升,在质量比为2:1时螯合率达到最大值,为35.50%。此后,随着黑木耳多糖质量的增加,螯合率降低。由此得出,质量比为2:1时为最佳。

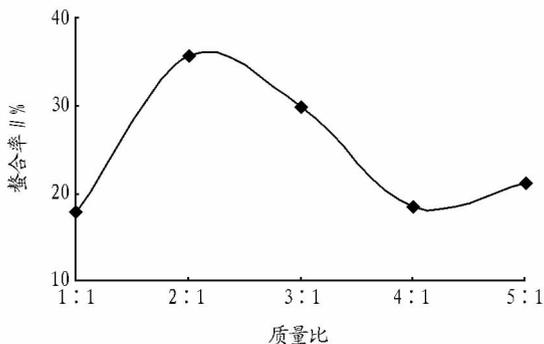


图4 黑木耳多糖与Cr(III)的质量比对螯合率的影响

2.2 响应面法优化螯合条件结果 利用Box-Behnken试验设计,确定3因素3水平,共15个试验,见表3。其中12个析因点,3个零点。中心点重复试验用来估计试验误差,以螯合物的螯合率为响应值做响应面试验,结果如表3所示。

表3 响应面分析方案及试验结果

试验号	因素			螯合率(Y)/%
	质量比(X_1)	螯合时间(X_2)/h	初始浓度(X_3)/mg/ml	
1	-1	-1	0	25.13
2	1	-1	0	27.43
3	-1	1	0	29.26
4	1	1	0	36.00
5	-1	0	-1	23.87
6	1	0	-1	25.54
7	-1	0	1	21.43
8	1	0	1	27.21
9	0	-1	-1	29.12
10	0	1	-1	35.31
11	0	-1	1	29.76
12	0	1	1	34.32
13	0	0	0	39.22
14	0	0	0	39.53
15	0	0	0	39.77

将试验结果使用Design-Expert 7.0数理统计软件进行回归拟合,可得到响应值Y和各个因子(X_1, X_2, X_3)之间的二次多元回归方程模型为: $Y = 2.0613X_1 + 2.9312X_2 - 0.1400X_3 + 1.1100X_1X_2 + 1.0275X_1X_3 - 0.4075X_2X_3 - 8.8333X_1^2 - 1.2183X_2^2 - 6.1608X_3^2 - 254.809$ 。

对表4回归分析数据进行方差分析可得: $F_{\text{回归}} = 294.90, P_{\text{回归}} = 0.000; F_{\text{线性}} = 177.61, P_{\text{线性}} = 0.000; F_{\text{平方}} = 690.15, P_{\text{平方}} = 0.000; F_{\text{交互}} = 16.95, P_{\text{交互}} = 0.005; F_{\text{失拟}} = 3.57, P_{\text{失拟}} = 0.227$ 。由此可知,黑木耳多糖-Cr(III)螯合物的螯合率回归方程的失拟项P值大于0.05,且响应面模型的相关系数 R^2 为0.9981,说明模型的拟合度很好。因此,可用此回归模型代替真实的试验点进行分析,预测该螯合物的螯合率。由F

检验值可以得出3个影响因素对螯合物螯合率的影响程度大小依次为:螯合时间>质量比>Cr(III)初始浓度。关于3个影响因素的相互作用,由方差分析可知,RSM模型的一次项 $X_1(P=0.0000), X_2(P=0.0000)$ 和二次项 $X_1^2(P=0.0000), X_2^2(P=0.0000), X_3^2(P=0.0000)$ 以及交互项 $X_1X_2(P=0.004), X_1X_3(P=0.005)$ 系数达到了极显著的水平,交互项 $X_1X_3(P=0.0321)$ 的系数显著,而 $X_1X_2(P=0.123), X_3(P=0.409)$ 项系数不显著。

表4 响应面分析优化后模型的系数检验

项	系数	系数标准误	T	P
常量	39.5067	0.2537	155.723	0.000
X_1	2.0613	0.1554	13.268	0.000
X_2	2.9312	0.1554	18.868	0.000
X_3	-0.1400	0.1554	-0.901	0.409
X_1^2	-8.8333	0.2287	-38.627	0.000
X_2^2	-1.2183	0.2287	-5.328	0.003
X_3^2	-6.1608	0.2287	-26.941	0.000
X_1X_2	1.1100	0.2197	5.052	0.004
X_1X_3	1.0275	0.2197	4.677	0.005
X_2X_3	-0.4075	0.2197	-1.855	0.123

注: $R^2 = 0.9981$ 。

根据回归分析做出各影响因素之间相互作用的响应面图(图5~7),以确认黑木耳多糖与Cr(III)的质量比(X_1)、螯合时间(X_2)和Cr(III)的初始浓度(X_3)3个因素对黑木耳多糖-Cr(III)螯合率(Y)的影响。可知,黑木耳多糖与三价铬的质量比与螯合时间对黑木耳多糖-Cr(III)的螯合效果影响最大,Cr(III)的初始浓度对螯合效果影响较小。依据回归模型的数学分析并综合响应图确定螯合的最佳工艺参数为:木耳多糖与三价铬的质量比为2.2:1,螯合时间6.18h,三价铬的初始浓度为5.96mg/ml。

2.3 验证试验 回归模型预测的得率理论值为41.61%。为了验证模型的可靠性,采用上述优化条件进行黑木耳多糖-Cr(III)螯合物的合成。在此条件下试验重复3次,3次平行试验的螯合率分别为41.33%、41.77%和41.59%,平均为41.56%,与理论预测值相比相对误差为0.01%,预测值与实际值接近。因此,通过响应面优化法得到的黑木耳多糖-Cr(III)螯合物的合成工艺可以用来指导实际生产。

3 结论

根据单因素试验结果,采用响应面法对黑木耳多糖-Cr(III)螯合物的合成反应条件进行优化,以分光光度法测定黑木耳多糖与三价铬螯合的螯合率作为评价指标,对各因素水平进行分析,得出黑木耳多糖-Cr(III)螯合物合成的优化条件为:黑木耳多糖与三价铬的质量比为2.2:1,螯合时间为6.18h,三价铬的初始浓度为5.96mg/ml,在该条件下螯合率为41.56%。工艺验证试验表明,最优工艺条件可靠。目前国内外对黑木耳多糖-Cr(III)的螯合物的研究尚没有明确的报道,因此该研究对于黑木耳多糖拓宽应用领域,及在食品、医药、保健品等方面的应用提供了一定的理论依据和数据支撑。

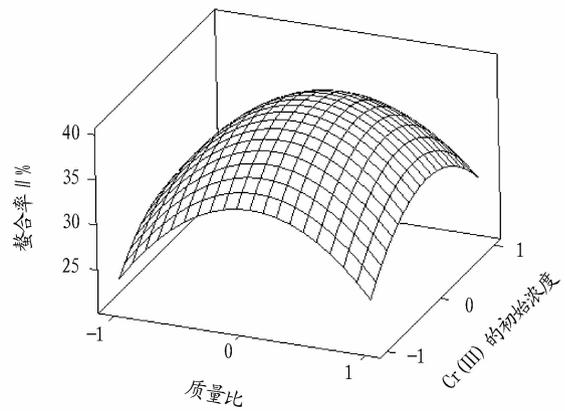
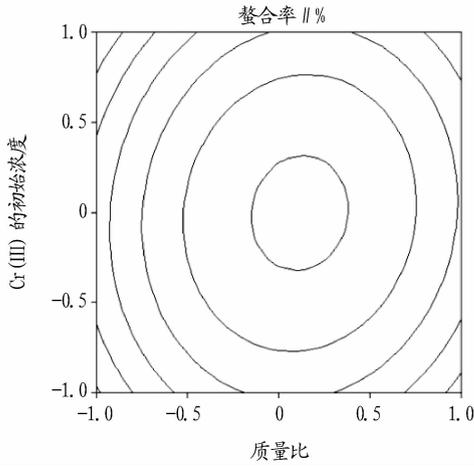


图5 质量比和 Cr(III) 初始浓度交互作用对整合率影响的等高线与响应面

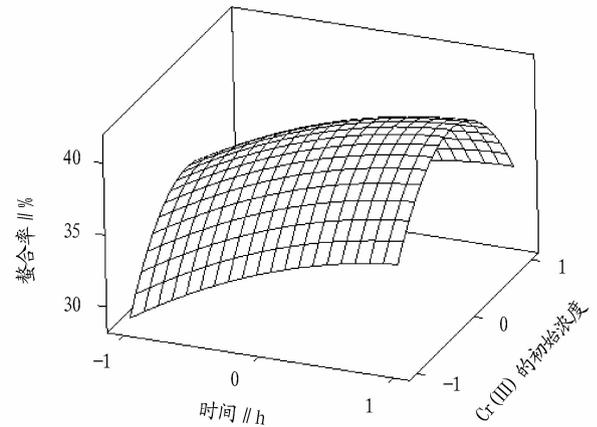
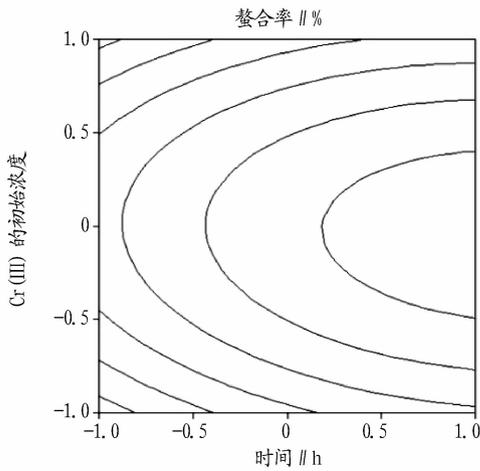


图6 时间和 Cr(III) 初始浓度交互作用对整合率影响的等高线与响应面

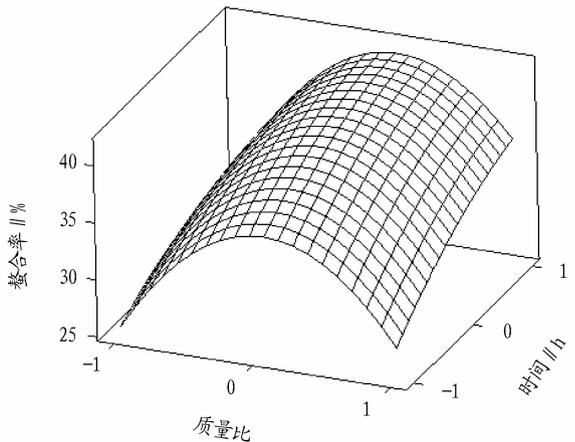
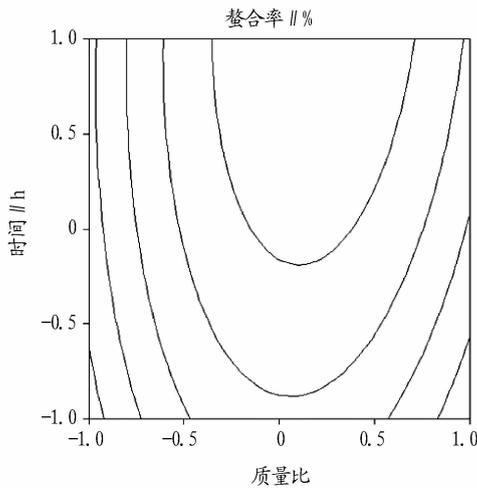


图7 时间和质量比交互作用对整合率影响的等高线与响应面

参考文献

[1] 马宝瑕,陈新,邓军娥. 中药多糖研究进展[J]. 中国医院药学杂志, 2003,23(6):360-362.

[2] 宗灿华,于国萍. 黑木耳多糖对糖尿病小鼠降血糖作用[J]. 食用菌杂志,2007(4):60-61.

[3] 韩春然,马永强,唐娟. 黑木耳多糖的提取及降血糖作用[J]. 食品与生物技术学报,2006,25(5):111-114.

[4] 王献友,陈培云,吴广臣,等. 黑木耳多糖提取及其药理活性的研究进展[J]. 南方农业学报,2012,43(5):683-687.

[5] 孙畅,姜明,段旭彤,等. 黑木耳的保健和药用价值以及开发前景分析[J]. 科技视界,2012,5(1):17-18.

[6] MISAKI A, KAKUTA M. Studies on interrelation of structure and anti tumor effects of polysaccharides; antitumor action of periodatemoified branched (1-3)-β-D-glucan of Auricularia Auricula-judae, and polysaccharides confaining (1-3) glycosidielinkages[J]. Carbohydrate Research, 1981, 92:115-120.

根据国外的先进经验建立渔业船舶监控系统^[7],比如冰岛政府规定所有24 m以下的渔船必须安装符合规定标准的监控设备,24 m以上进入他国水域或国际组织管理水域的按相关要求安装监控设备。该监控设备每10 min会发回一个位置信息,一旦发生事故,搜救部门会迅速给其定位。监控中心设在国家搜救中心,由海岸警备队负责维护,渔业局派人参与日常维护和管理。在我国,可给渔船装上北斗卫星信息系统,渔船安全救助水平会大大提升。

3.4 加大对港口码头设施的建设,改善船舶航行条件 加强渔港设施建设与规划,完善渔港功能,港口须建设消防设备,大型港口应配备消防船舶,确保船、港的安全。同时可借鉴美国的先进经验^[8],在渔船安全管理方面,比较注重加强渔港管理,船籍港口标志明显,渔船上安全设备配备齐全,摆放有序,船上证件手续随身携带,进出港口顺畅,在每一个渔港基本上都设有专门渔船修理所,布局合理,渔船的维修、保养皆有规有矩按计划进行。

3.5 加强对船员教育培训,提高安全生产和自我防范意识 船员培训是提高船员整体素质的有效途径。在一些高校开展船员技术业务培训工作,政府提供经济保障高校提供教师队伍,培训主要包括航海安全行为规范,包括了解船艺、避碰等基本知识;对潮汐、洋流等海洋基本现状的认识;国际通用求救方式及日常自我安全救助知识。通过培训,提高船员安全生产技能,保障渔民自身和财产安全。可借鉴日本的先进经验^[9],日本对渔船船员进行培训比较重视,日本的渔船船长和轮机长需要持有国家资格才可以上岗(根据渔船吨位不同),对从小型船舶操纵士起至数千吨的1级操纵士,对甲板部及轮机部等不同岗位、不同年龄组的船员的组成状况及在10年后的变化趋势进行调查分析,加强对渔船船员的资格培训工作。

公司加强对船员职责教育、责任心教育,可以设立奖励制度,对于严格遵守公司规章制度的船员,表现良好的可以给予适当奖励以提高员工积极性。建立紧急应变机制,制定渔业船舶重(特)大安全事故应急处置预案及防台应急处置预案,展求生训练和应变演习,防患于未然,加强对职务船员

试任能力的考核及海上险情和危机处理能力方面的专业训练,培训部门在考试时,应当适当增加部分紧急应变能力的训练和考核。

3.6 加强安全生产宣传,增强安全管理意识 渔船安全事故的发生,原因是有多种,但导致安全事故发生的主要原因在于渔民自身,思想上的安全生产的弦没有绷紧,是长期意识淡薄的结果,需要从思想源头上抓起。树立“安全第一,预防为主”安全管理思想,对安全生产时刻保持高度的警惕性。把安全生产宣传工作作为一项基础性、长期性的工作,加大对国家有关安全生产方针、政策及海洋渔业安全生产法律、法规宣传,比如利用电视网络媒体、宣传标语免费发放安全宣传册,在一些传统型渔村、渔港播放安全事故典型材料,从中吸取事故经验教训,提高渔民的安全意识和安全法制观念。

4 小结

总之,渔船安全管理工作,需要全社会对其关注。科研工作者积极献计献策,攻克工程技术屏障,消除不安全因素;政府部门加大对安全管理工作资金投入,开展各种形式教育和训练;渔民积极响应并通力合作,提升自己专业技能水平。要进一步完善渔船安全的执法体系,通过有效安全措施把安全问题扼杀在萌芽之中,共同构建和平海上安全环境,为促进海洋渔业可持续发展保驾护航。

参考文献

- [1] 沙峰,徐晓亚. 加强老旧渔船检验保障渔船生产安全[J]. 中国水产, 2014(1):33-35.
- [2] 孙颖士,李冬霄. 中国渔船安全分析报告[R]. 北京:中国农业出版社, 2009(12):13-14.
- [3] 杨培举. 60万艘渔船安全状况[J]. 中国船检,2006(1):35-38.
- [4] 张金良,王美武,田茂山. 关于加强中小型木质渔船安全管理的探讨[J]. 中国水产,2003(9):28-31.
- [5] 中华人民共和国海事局. 水上交通事故典型案例集[M]. 北京:人民交通出版社,2003:6-11.
- [6] 钟小金. 英国渔船检验监督管理工作的特点、启示和借鉴[J]. 中国水产,2013(7):48-50.
- [7] 李彦亮,江开勇. 逐步建立我国渔业船舶监控系统 提高渔业现代化管理水平——赴挪威、冰岛渔业船舶动态管理考察启示[J]. 渔业论坛, 2006(11):15-17.
- [8] 刘广秀. 美国渔船渔机管理现状[J]. 水产科学,1998(4):48.
- [9] 冷传慧,李强,李芳芳. 日本渔船管理制度建设的考察[J]. 中国渔业经济,2011(2):57-62.
- [10] 马利华,秦卫东,陈学红,等. 金针菇多糖-Fe(II)螯合物的制备及抗氧化活性[J]. 食品科学,2010,31(20):202-207.
- [11] 赵兵,徐海清. 枸杞多糖铁(III)配合物的合成及理化性质的初步研究[J]. 中成药,2008,30(8):1245-1246.
- [12] 邓毅,尹龙萍,赵爱华,等. 黄芪多糖铬络合物的合成及其降血糖活性的初步研究[J]. 食品科学,2007,28(6):317-320.
- [13] 赵鑫,周芳,王振宇. 黑木耳多糖-银离子螯合物的制备工艺研究[J]. 中国林副特产,2011(2):7-9.
- [14] 李公斌,王振宇. 黑木耳多糖与Fe(II)螯合物的制备工艺及红外光谱研究[J]. 食品工业科技,2006(5):136-138.
- [15] 李公斌,王振宇,朱磊. 黑木耳多糖与Zn(II)螯合物的制备工艺及红外光谱分析[J]. 东北林业大学学报,2006,34(3):66-89.
- [16] YANG X, PALANICHAY K, ONTKO A C, et al. A newly synthetic chromium complex-chromium(phenylalanine) 3 improves insulin responsiveness and reduces whole body glucose tolerance[J]. FEBS Letters, 2005,579(6):1458-1464.
- [17] 石德芝,李硕凡. 分光光度法测定电镀液中的三价铬[J]. 广州化工, 2009(6):98-101.

(上接第4833页)

- [7] 黄滨南,张秀娟. 黑木耳多糖对人红白血病 K562 细胞周期和凋亡的影响[J]. 中成药,2010,32(5):727-730.
- [8] 朱磊,王振宇. 黑木耳多糖对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 营养学报, 2008,30(4):430-432.
- [9] 朱定祥. 保健食品中铬及其化合物的应用研究[J]. 广东微量元素科学, 2009,16(3):11-15.
- [10] 吴宪瑞,孔令员. 黑木耳多糖的医疗保健价值[J]. 林业科技,1996,21(3):322-323.
- [11] BUFFIE J C,ROBERTG U,JOHN B V. A comparison of the insulin sensitive transport of chromium in healthy and model diabetic rats[J]. Journal of Inorganic Biochemistry, 2004,98:522-533.
- [12] CEFALU W T, HU F B. Role of chromium in human health and in diabetes[J]. Diabetes Care,2004,27(11):2741-2751.
- [13] 张瑞敬,陶成玉,罗云虎,等. 血清中微量元素三价铬的含量与糖尿病的关系分析[J]. 微量元素与健康研究,2011,28(4):9-10.
- [14] WILD S,TOGLIC G,GREEN A,et al. Global prevalence of diabetes;estimates for the year 2000 and projections for 2030[J]. Diabetes Care,2004, 27(5):1047-1053.