

香菇多糖脱蛋白工艺及其抗氧化活性研究

王莹,邢晓玲,李屿君,王思怡,仲菲

(江苏农牧科技职业学院 动物药学院,江苏 泰州 225300)

摘要:采用低共溶剂(deep eutectic solvents, DES)- K_2HPO_4 双水相体系(aqueous two-phase system, ATPS)将香菇多糖水提液中的多糖与蛋白质进行分离萃取,蛋白质富集于 DES 相,糖类富集于 K_2HPO_4 相。综合考察了 DES 物质的量比、 K_2HPO_4 浓度、DES 的加入量以及萃取时间对蛋白质脱除率的影响,通过正交试验进一步优化试验条件,得出蛋白质脱除的最优工艺参数:以氯化胆碱/丙三醇(物质的量之比 1:2, 2.6 mL)、 K_2HPO_4 (0.6 g/mL, 3 mL)构建双水相体系,加入 2 mL 香菇多糖水提液,萃取 30 min 后,香菇多糖蛋白质的脱除率高达 90.8%,香菇多糖回收率为 98.0%。在此条件下得到的香菇多糖具有清除 DPPH 自由基的能力,说明脱蛋白后的香菇多糖具有一定的抗氧化性。

关键词:低共熔溶剂;香菇多糖;蛋白质;萃取;抗氧化

Study on De-protein Technology and Antioxidant Activity of Lentinan

WANG Ying, XING Xiao-ling, LI Yu-jun, WANG Si-yi, ZHONG Fei

(Department of Pharmacy, Jiangsu Animal Husbandry and Veterinary Science College, Taizhou 225300, Jiangsu, China)

Abstract: Separation and extraction of polysaccharides and proteins from Lentinus edodes aqueous extract using poly-oligosolvents (DES) - K_2HPO_4 aqueous two-phase system (ATPS). Protein was enriched in DES phase and carbohydrate was enriched in K_2HPO_4 phase. The effects of DES molar ratio, K_2HPO_4 concentration, DES addition and extraction time on protein removal rate were investigated. The orthogonal experiment was used to further optimize the experimental conditions. The optimum technological parameters for protein removal were obtained: The aqueous two-phase system was constructed by choline chloride/glycerol (1:2, 2.6 mL) and K_2HPO_4 (0.6 g/mL, 3 mL). When 2 mL lentinan water extract was added, the extraction time was 30 min, the protein removal rate of lentinan was as high as 90.8% and the recovery of lentinan was 98.0%. Lentinan obtained under these conditions had the ability to scavenge DPPH free radicals, indicating that the deproteinized lentinan had certain antioxidant activity.

Key words: low eutectic solvents; lentinan; protein; extraction; antioxidant

引文格式:

王莹,邢晓玲,李屿君,等.香菇多糖脱蛋白工艺及其抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2020,41(14):98-103

WANG Ying, XING Xiaoling, LI Yujun, et al. Study on De-protein Technology and Antioxidant Activity of Lentinan[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14): 98-103

香菇又称为香菌、花菇、香蕈,是一种药食同源的中药材。香菇的有效成分主要包括香菇多糖、香菇嘌呤、微量元素等^[1],其中香菇多糖是香菇的主要活性成

分,具有免疫调节、抗肿瘤和抗病毒等作用^[2-6]。香菇中多糖与蛋白质共存,两者均是香菇细胞的重要组成部分。热水浸提法等方法在提取出香菇中的水溶性多糖类成分的同时,部分热稳定性强的蛋白质及其它水溶性成分也会一起转移至提取液中。目前,传统的 Sevag 法、离子交换色谱法及酶法等多糖脱蛋白工艺复杂,效率不高^[7-9]。低共熔溶剂(deep eutectic solvents, DES)

基金项目:江苏省大学生创新创业训练项目(201912806037Y)

作者简介:王莹(1983—),女(汉),讲师,硕士,主要从事天然药物提取。

是一种环境友好型的类离子液体,具有性质稳定、选择性强、价格低廉等优点,并在天然产物、金属离子、有机物等分离领域显示出良好的应用前景^[9-11]。本文采用DES与无机盐溶液构成双水相体系(aqueous two-phase system, ATPS),为香菇多糖脱蛋白质提供一种新型有效的方法。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

香菇:西峡县雷氏菇品购销有限公司。将香菇烘干、粉碎,过20目筛,备用。

无水葡萄糖对照品、牛血清白蛋白、考马斯亮蓝G-250:国药集团化学试剂有限公司;其余试剂均为市售分析纯。

1.2 仪器与设备

AL204 电子天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;HH-1 数显恒温水浴锅:金坛市杰瑞尔电器有限公司;UV-1800PC-DS2 紫外可见分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;JJ-1 精密增力电动搅拌器:国华电器有限公司;XMTD-8222 电热恒温鼓风干燥箱:上海姚氏仪器设备厂;SHZ-D III 循环水式真空泵:河南省予华仪器有限公司;HK-02A 多功能粉碎机:上海烨昌食品机械有限公司;80-2 台式电动离心机:金坛市杰瑞尔电器有限公司。

2 试验方法

2.1 葡萄糖标准曲线的绘制

参照文献[12],以无水葡萄糖为对照品,采用苯酚-硫酸显色法测定多糖的浓度,以吸光度(y)对葡萄糖浓度(x)回归,得回归方程为 $y=0.014\ 2x-0.006\ 9$ ($R^2=0.996\ 5$),表明在 $10.56\ \mu\text{g/mL}\sim 52.8\ \mu\text{g/mL}$ 范围内葡萄糖浓度与其吸光度呈良好的线性关系。

2.2 考马斯亮蓝标准曲线的绘制

参照文献[13],以牛血清白蛋白为对照品,采用考马斯亮蓝法测定蛋白质的含量。以蛋白质浓度($\mu\text{g/mL}$)为横坐标,吸光度(A_{595})为纵坐标,得回归方程 $y=0.003\ 49x-0.005\ 53$ ($R^2=0.995\ 6$),表明在 $43.42\ \mu\text{g/mL}\sim 203.02\ \mu\text{g/mL}$ 范围内蛋白质浓度与其吸光度呈良好线性关系。

2.3 香菇多糖水提液的制备

称取香菇粉35 g,加500 mL蒸馏水,50℃水浴搅拌提取约2 h,抽滤得到香菇多糖水提液,4℃保存。

2.4 香菇多糖水提液中蛋白质含量测定

精密移取2.00 mL香菇多糖水提液,按照2.2进行测

算,得出香菇多糖水提液中蛋白质浓度为 $151.44\ \mu\text{g/mL}$ 。以下试验均采用此浓度的香菇多糖水提液。

2.5 低共熔溶剂 DES 的合成

参考文献[14],分别合成DES 1[氯化胆碱(0.1 mol, 13.962 g)和尿素(0.2 mol, 12.012 g)]、DES 2[(氯化胆碱(0.1 mol, 13.962 g)和甲基脲(0.2 mol, 14.816 g)]、DES 3[(氯化胆碱(0.1 mol, 13.962 g)和丙三醇(0.2 mol, 18.418 g)]、DES 4[(氯化胆碱(0.1 mol, 13.962 g)和乙二醇(0.2 mol, 12.414 g)]4种低共熔溶剂。

2.6 K_2HPO_4 溶液的配制及 DES-盐双水相体系的构建

称取一定量 K_2HPO_4 溶于50 mL蒸馏水中,配制成不同浓度的 K_2HPO_4 溶液。向试管中加入一定量的DES,再加入适量 K_2HPO_4 溶液,充分振荡、混合后,静置,观察是否成为清晰的两相,研究体系成相规律。

2.7 蛋白质的脱除及含量测定

向刻度离心管中加入3 mL DES、3 mL K_2HPO_4 溶液及2 mL香菇多糖水提液,2 000 r/min离心萃取30 min。操作结束后,将离心管取出,待两相完全分离后,分别读取上相和下相的体积,并用苯酚-硫酸显色法和考马斯亮蓝法分别测定上、下两相中多糖和蛋白质的浓度。

蛋白质的脱除率(E)按式(1)计算。

$$E/\% = \frac{c_{\text{t}} V_{\text{t}}}{c_{\text{t}} V_{\text{t}} + c_{\text{b}} V_{\text{b}}} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

$$R = \frac{V_{\text{t}}}{V_{\text{b}}} \quad \text{式(2)}$$

式中: c_{t} 和 c_{b} 分别为萃取完全后蛋白质在上相(DES相)和下相(无机盐相)中的浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_{t} 和 V_{b} 分别为双水相上相和下相的体积,mL; R 为该双水相体系上下相体积比。

香菇多糖回收率(Y)按式(3)计算。

$$Y/\% = \frac{c_{\text{b}} V_{\text{b}}}{c_{\text{t}} V_{\text{t}} + c_{\text{b}} V_{\text{b}}} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中: c_{t} 和 c_{b} 分别为萃取完全后多糖在上相(DES相)和下相(无机盐相)中的浓度, $\mu\text{g/mL}$; V_{t} 和 V_{b} 分别为双水相上相和下相的体积,mL。

2.8 香菇多糖抗氧化活性研究

采用DPPH法^[15-18],准确移取1.00 mL脱蛋白后的香菇多糖溶液,加入预先配置好的4 mL 0.15 mmol/L的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH 自由基)甲醇溶液,摇匀后暗处放置30 min,以样品溶剂为空白,测定其在515 nm波长处测定其吸光度 A ,同时测定样品溶液在515 nm处的吸光度 A_0 及DPPH甲醇溶液在515 nm处的吸光度 A_1 ,每个样品重复3次。

$$\text{清除率}/\% = [1 - \frac{A - A_0}{A_1}] \times 100$$

3 结果与分析

3.1 DES 种类的筛选

将氢键受体(氯化胆碱)与氢键供体(尿素、甲基脲、丙三醇、乙二醇)按照物质的量之比 1:2 合成 4 种低共熔溶剂,与 0.5 g/mL K_2HPO_4 溶液组成双水相体系,成相效果如图 1 所示。



试管 1~4 依次为 DES 1- K_2HPO_4 、DES 2- K_2HPO_4 、DES 3- K_2HPO_4 、DES 4- K_2HPO_4

图 1 DES- K_2HPO_4 成相图

Fig.1 Photo of Four DES- K_2HPO_4 aqueous two-phase systems

据图 1 可知,试管 1(氯化胆碱/丙三醇 DES 1- K_2HPO_4)和试管 4(氯化胆碱/尿素 DES 4- K_2HPO_4)成相效果较好。

按 2.7 方法,比较 4 种 DES 构建的双水相对香菇多糖水提液中蛋白质的脱除率,结果见表 1。

表 1 DES 种类对蛋白质分配系数和脱除率的影响

Table 1 Effect of DES types on protein partition coefficient and removal rate

DES 种类	$c_t/(\mu\text{g/mL})$	$c_b/(\mu\text{g/mL})$	$E/\%$
DES 1:氯化胆碱/丙三醇	124.22	39.41	85.41
DES 2:氯化胆碱/乙二醇	129.95	44.85	79.84
DES 3:氯化胆碱/甲基脲	71.21	162.33	57.32
DES 4:氯化胆碱/尿素	86.40	114.48	66.69

由表 1 可知,相同条件下,DES 1(氯化胆碱/丙三醇)双水相对香菇多糖蛋白质的脱除率最高,最高脱除率可达 85.41%,且 DES 1- K_2HPO_4 成相效果较好,由此,在后续试验中选用 DES 1(氯化胆碱/丙三醇)构建双水相。

3.2 双水相体系成相规律

3.2.1 K_2HPO_4 浓度对双水相体系的影响

向 3 mL 氯化胆碱/丙三醇(物质的量之比 1:2) DES 中加入 3 mL 不同浓度的 K_2HPO_4 溶液。当 K_2HPO_4 浓度由 0.3 g/mL 增加到 0.8 g/mL 时,上相(含 DES)体

积(V_t)逐渐变少,下相(含 K_2HPO_4)体积(V_b)逐渐增加,上下相体积比 $R(V_t/V_b)$ 显著减小。结果见图 2。

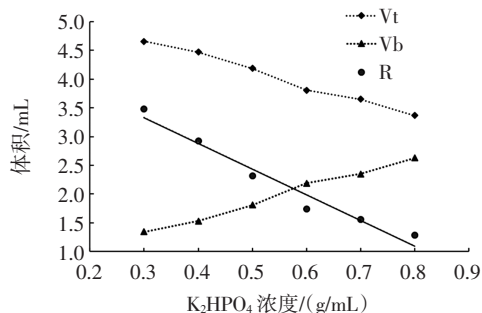


图 2 K_2HPO_4 浓度对双水相体系的影响

Fig.2 Effect of K_2HPO_4 concentration on aqueous two-phase system

3.2.2 DES 加入量对双水相体系的影响

向 K_2HPO_4 溶液(0.5 g/mL, 3 mL)中加入一定量的氯化胆碱/丙三醇(物质的量之比 1:2)DES,当 DES 加入量由 1.8 mL 增加至 3.8 mL 时,富含 DES 的上相体积(V_t)逐渐增大,富含下相无机盐的体积(V_b)逐步减少,上下相体积比 R 逐渐变大,结果见图 3。

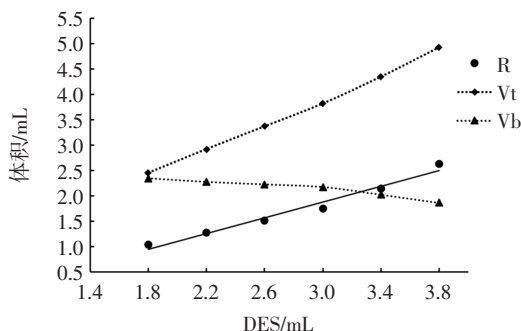


图 3 DES 加入量对双水相体系的影响

Fig.3 Effect of DES addition on aqueous two-phase system

由图 3 可见, K_2HPO_4 的浓度和 DES 的加入量对双水相成相体系有影响,进而对蛋白质的脱除率有影响。因此可以通过调节 K_2HPO_4 的浓度和 DES 的加入量来获得满意的脱除率。

3.3 单因素试验

3.3.1 氯化胆碱/丙三醇物质的量比对蛋白质脱除率的影响

以 DES 1(3 mL)与 K_2HPO_4 (0.5 g/mL, 3 mL)构建双水相体系,向其中加入香菇多糖水提液 2.00 mL, 2 000 r/min 离心 30 min, DES1 物质的量比对双水相体系中香菇多糖蛋白质萃取行为的影响如表 2 所示。

由表 2 可知,蛋白质在双水相体系分配系数 K_1 大多超过 1,而香菇多糖在双水相体系分配系数 K_2 较小,说明蛋白质富集在上相,多糖富集在下相。在 K_2HPO_4 和

表2 DES 1 物质的量比对 E 、 Y 的影响Table 2 Effect of the ratio of DES 1 substance on E and Y

氯化胆碱/丙三醇 物质的量比	R	$E/\%$	$Y/\%$
1.5:1	1.19	48.89	96.53
1:1	1.36	63.59	98.36
1:1.5	1.38	73.44	98.72
1:2	1.87	87.09	97.65
1:2.5	1.69	77.88	96.56
1:3	1.85	64.67	94.78

香菇多糖水提液的量一定时,当氯化胆碱/丙三醇物质的量比为 1:2 时,香菇多糖蛋白质拥有最大的脱除率,可达 87.09%。在后续的单因素试验中,选用氯化胆碱/丙三醇(物质的量之比 1:2)制备低共熔溶剂。

3.3.2 K_2HPO_4 溶液浓度对蛋白质脱除率的影响

以 DES 1 (物质的量之比 1:2, 3 mL) 与 K_2HPO_4 (3 mL) 构建双水相体系,向该体系中加入 2 mL 香菇多糖水提液,离心参数设置同 3.3.1, K_2HPO_4 溶液的浓度对该双水相体系中的香菇多糖蛋白质脱除率的影响如表 3 所示。

表3 K_2HPO_4 溶液浓度对 E 、 Y 的影响Table 3 Effect of K_2HPO_4 solution concentration on E and Y

K_2HPO_4 浓度/(g/mL)	R	$E/\%$	$Y/\%$
0.3	2.57	67.04	95.21
0.4	2.16	69.69	96.24
0.5	1.85	86.07	96.98
0.6	1.51	87.84	97.82
0.7	1.48	77.64	97.58
0.8	1.46	76.61	96.90

由表 3 可知,当 K_2HPO_4 浓度在 0.3 g/mL~0.6 g/mL 范围内,随着其浓度的增加,蛋白质的脱除率随之增高,这是因为下相空间的紧密度会影响蛋白质的脱除率,从而促进蛋白质进入到上相 DES 相中^[14]。当 K_2HPO_4 浓度为 0.6 g/mL 时香菇多糖蛋白质拥有最大的脱除率,可达 87.84%。 K_2HPO_4 浓度超过 0.6 g/mL 时,随着 K_2HPO_4 浓度的增加,脱除率反而下降,这是因为过高浓度的 K_2HPO_4 ,导致了部分蛋白质变性^[19]。另外,处在下相的 K_2HPO_4 与位于上相的 DES 相互竞争水分子,DES 中的含水量逐渐下降,导致蛋白质的脱除率下降。在后续的单因素试验中,将 K_2HPO_4 的浓度确定为 0.6 g/mL。

3.3.3 DES 加入量对蛋白质脱除率的影响

以 DES1(物质的量之比 1:2)与 K_2HPO_4 (0.6 g/mL, 3 mL)构建双水相体系,香菇多糖水提液的加入量为

2 mL,按照 2 000 r/min 的转速离心萃取 30 min,研究 DES 的加入量对双水相体系中香菇多糖蛋白质萃取行为的影响,数据处理结果如表 4 所示。

表4 DES 加入量对 E 、 Y 的影响Table 4 Effect of DES addition on E and Y

DES 1 加入量/mL	R	$E/\%$	$Y/\%$
1.8	1.56	61.69	96.53
2.2	1.47	72.64	98.36
2.6	1.41	89.24	98.72
3.0	1.49	90.07	97.65
3.4	1.75	90.12	96.56
3.8	2.07	90.16	94.78

由表 4 可知,当 DES 的加入量在 1.8 mL~2.6 mL 范围内,随着 DES 量的增加,香菇多糖蛋白质的脱除率逐渐上升,这是因为 DES 簇集体的形成逐渐增多^[13],有利于蛋白质的萃取。当 DES 的加入量超过 2.6 mL 时,继续增加 DES 的量,脱除率没有明显上升,所以在后续单因素试验中,DES 的加入量为 2.6 mL。

3.3.4 萃取时间对蛋白质脱除率的影响

以 DES 1(物质的量之比 1:2, 2.6 mL)与 K_2HPO_4 (0.6 g/mL, 3 mL)构建双水相体系,向其中加入 2 mL 香菇多糖水提液,离心机的转速固定为 2 000 r/min。研究离心萃取时间对双水相体系中香菇多糖蛋白质萃取行为的影响,数据处理结果和香菇多糖蛋白质的脱除率随萃取时间的变化关系如表 5 所示。

表5 萃取时间对 E 、 Y 的影响Fig.5 Effect of extraction time on E and Y

萃取时间/min	R	$E/\%$	$Y/\%$
15	1.52	56.95	97.41
20	1.49	69.26	97.43
25	1.45	73.35	97.82
30	1.44	90.72	98.06
35	1.43	90.89	97.72
40	1.42	90.94	97.56

由表 5 可知,当萃取时间由 15 min 增加到 30 min 时,香菇多糖蛋白质的脱除率呈上升趋势,继续增加萃取时间,香菇多糖蛋白质的脱除率 E 基本持平,未出现明显增加,多糖回收率 Y 始终维持在较高水平。结果表明:萃取时间为 30 min 时,香菇多糖蛋白质几乎萃取完全,继续增加萃取时间,对提升脱除率无明显影响。

3.4 正交试验

在单因素试验的基础上,以 DES 1 物质的量比(A)、 K_2HPO_4 浓度(B)、DES 加入量(C)、萃取时间(D)

为因素,采用 $L_9(3^4)$ 正交进行试验,正交设计见表 6,所得结果见表 7。以蛋白质脱除率为指标,优化萃取最佳工艺参数。

表 6 正交试验因素水平表

Table 6 Horizontal table of factors in orthogonal test

水平	A DES 物质的量比	B K_2HPO_4 浓度/(g/mL)	C DES 量/mL	D 萃取时间/min
1	1:1.5	0.5	2.2	25
2	1:2	0.6	2.6	30
3	1:2.5	0.7	3.0	35

表 7 正交试验结果与分析

Table 7 Orthogonal test results and analysis

试验号	A	B	C	D	脱除率 $E/\%$
1	1:1.5	0.5	2.2	25	65.70
2	1:1.5	0.6	2.6	30	76.03
3	1:1.5	0.7	3.0	35	70.96
4	1:2	0.5	2.6	35	83.75
5	1:2	0.6	3.0	25	81.15
6	1:2	0.7	2.2	30	72.90
7	1:2.5	0.5	3.0	30	76.22
8	1:2.5	0.6	2.2	35	69.19
9	1:2.5	0.7	2.6	25	69.82
k_1	70.897	75.223	69.263	72.223	
k_2	79.267	75.457	76.533	75.050	
k_3	71.743	71.227	76.110	74.633	
R	8.370	4.230	7.270	2.827	

由极差 R 分析可知,4 个因素对香菇多糖蛋白质脱除率的影响程度大小为:A (DES 物质的量比)>C (DES 量)>B (无机盐浓度)>D (萃取时间)。氯化胆碱/丙三醇低共熔溶剂与 K_2HPO_4 组成的双水相体系萃取香菇多糖蛋白质最优试验条件为 $A_2B_2C_2D_2$,即 DES 物质的量比 1:2、0.6 g/mL K_2HPO_4 3 mL,2.6 mL DES,萃取时间 30 min。

3.5 验证试验

在 $A_2B_2C_2D_2$ 条件下进行 DES- K_2HPO_4 双水相体系脱除香菇多糖中蛋白质的验证试验,试验结果见表 8。

表 8 验证试验

Table 8 Demonstration test

试验号	$E/\%$	$Y/\%$	平均 $E/\%$	平均 $Y/\%$
1	90.64	97.95	90.8	98.0
2	91.25	97.87		
3	90.41	98.21		

据表 8 可知,在 $A_2B_2C_2D_2$ 条件下蛋白质平均脱除

率高达 90.8%,多糖平均回收率为 98.0%。与表 5 在同等水平下所得脱除率及回收率相近,表明该条件下试验结果可靠。

3.6 香菇多糖 DPPH 自由基清除能力

香菇多糖对 DPPH 自由基的清除作用见图 4。

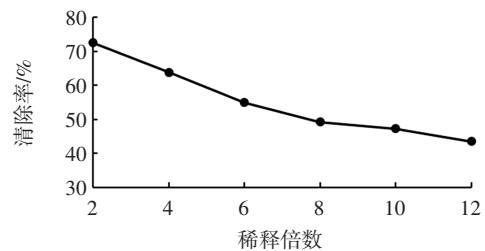


图 4 香菇多糖对 DPPH 自由基的清除作用

Fig.4 Scavenging effect of lentinan on DPPH free radical

由图 4 可知,在脱蛋白的香菇多糖水提液的质量浓度为 2.4 mg/mL 时,随着稀释倍数的增大,DPPH 自由基清除率逐渐减小,即在一定浓度范围内,DDPH 自由基清除率随着香菇多糖质量浓度的增大而升高。

4 结论

本文通过热水提取法制备香菇多糖溶液,采用低共溶剂(DES)- K_2HPO_4 双水相体系(ATPS)将香菇水提液中的多糖与蛋白质进行分离萃取研究,通过单因素试验及正交试验,得出香菇多糖水提液蛋白质脱除的最优工艺参数:以氯化胆碱/丙三醇(物质的量之比 1:2,2.6 mL)、 K_2HPO_4 (0.6 g/mL,3 mL) 构建双水相体系,加入 2 mL 香菇多糖水提液,萃取 30 min 后对香菇多糖蛋白质的脱除率高达 90.8%,香菇多糖回收率为 98.0%。脱蛋白后的香菇多糖具有较好的清除能力,且清除能力随着香菇多糖质量浓度的增大而升高。

传统脱蛋白的方法主要有 sevag 法、三氯乙酸法、三氟三氯乙烷法等,这类方法需消耗大量的有机溶剂,或需在低温下进行,对操作环境要求较高。而将 DES 与无机盐构成的双水相体系,萃取温度接近室温 20℃,操作条件简单,无污染,蛋白质萃取率(脱除率)及多糖回收率均能达到较高的水平,是一种绿色的萃取方法。

参考文献:

- [1] 陈宝田,张萍.香菇化学成分及药理作用的研究进展[J].中外健康文摘,2009,6(5): 197-198
- [2] 王慧铭,黄素霞,孙玮.香菇多糖对小鼠降血糖作用及其机理的研究[J].中国自然医学杂志,2005,7(3): 181-183
- [3] Li W, Wang J, Hu H, et al. Functional polysaccharide Lentinan suppresses human breast cancer growth via inducing autophagy and

- caspase-7-mediated apoptosis [J]. Journal of Functional Foods, 2018, 45:75-85
- [4] Zhang Y, Meng Z, Jiang Y, et al. Lentinan as an immunotherapeutic for treating lung cancer: a review of 12 years clinical studies in China[J]. Journal of Cancer Research & Clinical Oncology, 2018, 144(11): 2177-2186
- [5] Sun Z, Han Q, Duan L, et al. Oridonin increases anticancer effects of lentinan in HepG2 human hepatoblastoma cells[J]. Oncology Letters, 2018, 15(2): 1999-2005
- [6] Wang Y, Han X, Li Y D, et al. Lentinan dose dependence between immunoprophylaxis and promotion of the murine liver cancer [J]. Oncotarget, 2017, 8(56): 95152-95162
- [7] 谢红旗,周春山. 阴离子交换树脂分离香菇多糖中蛋白质[J]. 化学研究与应用, 2006, 18(2): 211-213
- [8] 刘小攀,田启建,田春莲. 黄精多糖酶法脱蛋白的工艺研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 238-242
- [9] 侯玉翠,么聪菲,吴卫泽. 低共熔溶剂:一种应用在混合物分离过程中的绿色溶剂[J]. 物理化学学报, 2018, 34(8): 873-885
- [10] 白晨洁. 低共熔溶剂(DESs)中鲑鱼皮胶原蛋白肽的分离纯化研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2017
- [11] 姬丽霞. 低共熔法分离苯羧酸混合物及分离机理的研究[D]. 北京:北京化工大学, 2017
- [12] 王莹,王华,贾纪萍,等. 银杏叶多糖提取工艺的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(7): 168-170
- [13] 黄婉玉,曹伟,李菁,等. 考马斯亮蓝法测定果汁中蛋白质的含量[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(5): 160-162
- [14] 曾群. 新型绿色溶剂的合成及其双水相体系在蛋白质绿色分离中的应用研究[D]. 长沙:湖南大学, 2014
- [15] 王莹,陈圆,聂倩倩,等. 女贞子中齐墩果酸的提取工艺及其抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(16): 174-176
- [16] 巫玲丽,穆祯强,张利. 金花葵多糖提取的工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 南方农业学报, 2017, 48(1): 109-113
- [17] 冯学珍,伍善广,韦敏球,陆苑,裴世成. 网地藻多糖清除 DPPH 自由基活性的动力学研究[J]. 广西植物, 2017, 37(5): 647-652
- [18] 王丽威,岳喜庆,刘政,王亭亭. 真姬菇多酚的微波辅助提取及清除 DPPH 自由基活性的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 253-256, 261
- [19] 何志强. CO₂ 在氯化胆碱/多元醇低共熔溶剂中的溶解度及其混合物电导率的研究[D]. 上海:上海大学, 2014

收稿日期:2019-08-10

欢迎订阅 2021 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办,国内外公开发行的食品专业科技期刊,1980 年创刊,半月刊,采用国际流行开本大 16 开。其专业突出,内容丰富,印刷精美,是一本既有基础理论研究,又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录,并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE 中国核心学术期刊(A)。主要栏目有:基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS;国际刊号 ISSN 1005-6521;邮发代号:6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2020 年定价:30 元/册,全年 720 元。

本编辑部常年办理邮购,订阅办法如下:

(1)邮局汇款。地址:天津市静海县静海经济开发区南区科技路 9 号;收款人:《食品研究与开发》编辑部;邮政编码:301600。

(2)银行汇款。开户银行:工商银行静海支行,行号:102110000863。

账号:0302095119300204171;单位:天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail: tjfood@vip.163.com

电话(传真):022-59525671