

螺旋藻多糖提取纯化及其抗结肠腺癌活性评价

Extraction and purification of polysaccharide from spirulina and its anti-colonic adenocarcinoma capacity

王 群^{1,2} 陈诗科¹ 李浩尧¹ 陈雪香^{1,2} 曹 庸^{1,2}

WANG Qun^{1,2} CHEN Shi-ke¹ LI Hao-yao¹ CHEN Xue-xiang^{1,2} CAO Yong^{1,2}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642; 2. 广东省天然活性物工程技术研究中心, 广东 广州 510642)

(1. College of Food Science, South China of Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China;

2. Guangdong Province Engineering Research Center for Bioactive Natural Products, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

摘要:以螺旋藻粉为原料,经反复冻融和超声处理后,采用热水浸提法对螺旋藻多糖进行提取,通过单因素试验和正交试验考察超声时间、提取温度、提取时间、料液比、提取次数对螺旋藻粗多糖(PSP)得率的影响;用超滤离心截留技术将经去蛋白处理的PSP分离纯化得到组分PSP-3,并用MTT法考察其对结肠腺癌细胞(Caco-2细胞)生长的抑制作用,并确定最佳抑制浓度;采用凝胶渗透色谱法(GPC)确定PSP-3的分子量。结果表明,最优提取工艺为:超声时间20 min,提取温度90℃,料液比1:25(g/mL),提取时间1.5 h,提取次数2次,该工艺下,PSP的得率为(13.17±0.49)%,是传统工艺的1.59倍。PSP-3的分子量为623.02 kDa,其对Caco-2细胞生长的最佳抑制浓度为5.00 mg/mL,IC₅₀为0.63 mg/mL,说明PSP-3具有较好的抗结肠腺癌活性。

关键词:螺旋藻;多糖;冻融;超声辅助提取;纯化;抗癌

Abstract: The polysaccharide was from Spirulina powder by the means of hot water extraction after repeated freezing-thawing cycles and ultrasonic treatment. The effects of lasted time and extraction temperature and time, ratio of solid to liquid and times of extraction on polysaccharide yield were studied by single factor and orthogonal experiments. PSP was separated into PSP-3 by membrane separation techniques, and it was investigated by MTT assay on colon adenocarcinoma cells (Caco-2 cell growth inhibition) to determine the optimal concentration. Finally, the molecular of PSP-3 was determined by gel permeation chromatography (GPC). Experiment results showed that the optimum conditions were as follows: ultrasonic treating time 20 min, extracting temperature 90℃, ratio of material to liquid 1:25, extracting time 1.5 hours, extracting time twice. Under the con-

基金项目:广东高校国际科技合作创新平台项目(编号:2013gjh0003)

作者简介:王群,女,华南农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:曹庸(1966—),男,华南农业大学教授,博士。

E-mail:caoyong2181@scau.edu.cn

收稿日期:2016-04-06

ditions, the yield reached (13.17 ± 0.49)%, being 1.59 times of the polysaccharides prepared by traditional water extraction. PSP was separated and purified into PSP-3 and its inhibition on colon adenocarcinoma cells (Caco-2 cells) was investigated. The results indicated that the molecular weight of PSP-3 was 623.02 kDa and the optimum inhibitory concentration was 5.00 mg/mL, with IC₅₀ value of 0.63 mg/mL.

Keywords: spirulina; polysaccharide; freeze-thaw cycles; ultrasonic-assisted extraction; purification; anti-cancer

螺旋藻是新资源食品,含有丰富的蛋白、碳水化合物、维生素、矿物质、不饱和脂肪酸、微量元素等营养素,被联合国食品会议认定为“明天最好的食品资源”,已广泛应用于保健食品、医药、色素、化妆品、饲料等领域^[1]。螺旋藻中的多糖是一种天然活性物质,具有抗肿瘤、抗氧化、抗辐射、降血糖、抗病毒、改善胃肠道功能等多重功效,具有重要的研究价值^[2]。PSP常用的提取方法是“水提醇沉法”,但此方法存在耗时长、温度高、得率低等缺陷^[3],而反复冻融法能有效地裂解细胞,促进细胞内容物的溶出,有利于胞内多糖的提取;超声能在提取过程中加快螺旋藻细胞壁的破碎,因此可以加快多糖的提取效率^[4-6]。本研究拟将二者结合并对螺旋藻进行热水浸提,以期提高PSP的得率。

多糖的传统分离方法都有时间长、效率低、得率少的缺点,超滤离心截留技术是膜分离的一种,其根据尺寸分子的不同而达到分离,是一种高效的物理分离方法,其对活性大分子吸附率较低,活性物质损失率少,已有研究者^[7]尝试利用该技术对多糖进行分离纯化并取得较好效果,但未见将其运用于PSP的分离纯化。有研究^[8-9]表明,PSP能有效地修复胃黏膜损伤,并对胃溃疡有一定的治疗作用,也对胃癌、直肠癌细胞有很好的抑制效果,而结肠腺癌细胞,是一种常用于体外培养作为抗癌药物筛选的细胞^[10-11],用其探究PSP是否具有抗结肠腺癌的活性非常合适。本研究拟采用反复

冻融结合超声辅助热水浸提 PSP,超滤离心截留技术分离纯化 PSP,用抑制 Caco-2 细胞的增殖作用为指标来筛选出效果好的 PSP 组分,旨在为 PSP 后续分离纯化、结构鉴定和抗结肠腺癌机理研究提供物质基础及理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与试剂

螺旋藻粉:汤臣倍健股份有限公司;
Caco-2 细胞株:中山大学附属医院第六医院;
胎牛血清:广州四季青生物有限公司;
DEME 高糖培养基:美国 Gibco 公司;
MTT 试剂盒:日本 TAKARA 公司;
葡聚糖标品:美国 Sigma 公司;
超滤离心管:美国 Millipore 公司;
葡萄糖、浓硫酸、95%乙醇、苯酚、DMSO:分析纯,广州试剂厂。

1.2 主要仪器设备

台式低速离心机:L530 型,湖南湘仪实验仪器开发公司;
紫外分光光度计:UV-1760 型,日本岛津公司;
循环水式多用真空泵:SHZ-D(Ⅲ)型,巩义市英峪高科技仪器厂;
电子分析天平:AL204 型,德国梅特勒—托利多公司;
二氧化碳恒温培养箱:GL6-2 型,美国 Shellab 公司;
生化培养箱:LRH 型,上海一恒科技有限公司;
超声波清洗器:VGT-1730T 型,和波达超声设备有限公司;
旋转蒸发器:R204B3 型,上海申生科技有限公司;
真空冷冻干燥机:FD-1PF 型,北京德天佑科技发展有限公司;
倒置显微镜:TS100 型,日本 Nikon(尼康)仪器公司;
双人单面净化工作台:SW-CJ-2FD 型,苏州净化设备有限公司;
酶标仪:Enspire 2300 型,美国 PE 公司;
高效液相色谱仪:Waters 1525 型,美国沃特世(Waters)中国有限公司;
示差检测器:Waters 2414 型,美国沃特世(Waters)中国有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 多糖提取工艺流程

螺旋藻粉→冷冻、解冻处理→提取→离心→过滤→浓缩→醇沉→脱蛋白(sevage 法)^[12]→超滤离心截留技术分离纯化

1.3.2 多糖含量的测定 苯酚—硫酸法^[13]测定多糖含量,以标准品无水葡萄糖质量为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得回归方程 $y=0.0063x+0.0133$, $R^2=0.999$ 。

1.3.3 多糖提取工艺的优化

(1) 超声时间:称 10.00 g 螺旋藻粉末 7 份,按 1:10(g/mL)的料液比加入蒸馏水,经 3 次冷冻、解冻处理

(-20℃冷冻 4 h,37℃解冻)后,于 80 Hz 条件下分别超声 5,10,15,20,25,30,35 min,再于 80℃恒温水浴磁力搅拌下提取 2 h,3 000 r/min 离心 10 min,70℃减压浓缩,5 倍浓缩液体积的 95%乙醇醇沉过夜,3 000 r/min 离心 10 min,-40℃真空冷冻干燥后,检测多糖得率,重复 3 次求取平均值。

(2) 提取时间:称 10.00 g 螺旋藻粉末 7 份,按 1:10(g/mL)的料液比加入蒸馏水,经 3 次冷冻、解冻处理(-20℃冷冻 4 h,37℃解冻)后,于 80 Hz 条件下超声 10 min,然后在 80℃恒温水浴磁力搅拌下分别提取 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5 h,3 000 r/min 离心 10 min,70℃减压浓缩,5 倍浓缩液体积的 95%乙醇醇沉过夜,3 000 r/min 离心 10 min,-40℃真空冷冻干燥后,检测多糖得率,重复 3 次求取平均值。

(3) 提取温度:称 10.00 g 螺旋藻粉末 7 份,按 1:10(g/mL)的料液比加入 100 mL 蒸馏水,解冻处理(-20℃冷冻 4 h,37℃解冻)后,于 80 Hz 条件下超声 10 min,然后分别在 40,50,60,70,80,90,100℃恒温水浴磁力搅拌下分别提取 2 h,3 000 r/min 离心 10 min,70℃减压浓缩,5 倍浓缩液体积的 95%乙醇醇沉过夜,3 000 r/min 离心 10 min,-40℃真空冷冻干燥后,检测多糖得率,重复 3 次求取平均值。

(4) 料液比:称 10.00 g 螺旋藻粉末 7 份,分别按 1:5,1:10,1:15,1:20,1:25,1:30,1:35(g/mL)的料液比加入蒸馏水,解冻处理(-20℃冷冻 4 h,37℃解冻)后,于 80 Hz 条件下超声 10 min,然后 80℃恒温水浴磁力搅拌下分别提取 2 h,3 000 r/min 离心 10 min,70℃减压浓缩,5 倍浓缩液体积的 95%乙醇醇沉过夜,3 000 r/min 离心 10 min,-40℃真空冷冻干燥后,检测多糖得率,重复 3 次求取平均值。

(5) 提取次数:称 10.00 g 螺旋藻粉末 4 份,按 1:10(g/mL)的料液比加入 100 mL 蒸馏水,解冻处理(-20℃冷冻 4 h,37℃解冻)后,于 80 Hz 条件下超声 10 min,然后 80℃恒温水浴磁力搅拌下分别提取 2 h,3 000 r/min 离心 10 min,70℃减压浓缩,5 倍浓缩液体积的 95%乙醇醇沉过夜,3 000 r/min 离心 10 min,-40℃真空冷冻干燥后,检测多糖得率,重复 3 次求取平均值。

(6) 正交试验:选择对多糖得率提高贡献较大的因素,通过正交实验筛选出最佳的提取工艺。

1.3.4 螺旋藻多糖分离纯化及分子量检测

(1) 分离纯化:将经 sevage 法脱除蛋白的 PSP 配制成 10 mg/mL 的水溶液,用 100 kDa 的超滤离心管离心(4 000 r/min,20 min)分离,收集 100 kDa 超滤离心管上部的糖液经过浓缩并冷冻干燥,得到样品 PSP-3。

(2) 分子量检测:用不同分子量的葡聚糖标品上 GPC 检测,以标准葡聚糖相对分子质量(M)的对数 $\lg M$ 对保留时间(R_t)作图,并进行回归处理,得到葡聚糖标准方程。多糖样品经过 GPG 检测,GPC 色谱条件为:进样体积为 20 μ L,流动相为 0.02 mol/L KH_2PO_4 溶液,流速 0.6 mL/min。得到

R_t ,根据葡聚糖标准方程计算出多糖样品的分子量^[14-15]。

1.3.5 抑制 Caco-2 细胞的增殖作用研究

(1) Caco-2 细胞的培养:完全培养基组成:10%胎牛血清,89% DMEM 基础培养基,1%青-链霉素。Caco-2 细胞复苏后,与完全培养基置于细胞培养瓶中培养,待细胞长至对数期,用胰蛋白酶酶解,离心(800 r/min, 3 min)去除废弃培养基后,用新的完全培养基制成密度为 1×10^4 个/mL 的细胞悬浮液,将细胞悬浮液按 100 μ L/孔接种于 96 孔培养板中培养。

(2) 组分 PSP-3 对 Caco-2 细胞增殖的抑制作用:对照组为完全培养基;样品组分别为含 5,000, 1,000, 0,500, 0,250, 0,125 mg/mL PSP-3 的完全培养基。按 1.3.5(1)的方法培养 24 h 后,吸出旧培养基,加入不同浓度的样品 200 μ L,培养 72 h,弃去培养基,加入 0.5 mg/mL MTT 溶液 100 μ L,继续培养 4 h 后终止培养,弃掉上清液,每孔加 150 mL DMSO,震荡 10 min,使结晶物充分溶解,570 nm 波长下于酶标仪测定各孔吸光值^[16]。

2 结果与分析

2.1 PSP 提取单因素试验结果

2.1.1 超声时间 由图 1 可知,超声频率一定,PSP 的得率随着超声时间的延长呈先升后降的趋势。前 15 min 多糖的得率随时间增加上升较快,这是因为超声将螺旋藻细胞破碎,促使细胞壁及细胞内的多糖溶出,得率增大;随着作用时间延长,可能是超声波具有较强的机械剪切作用,导致多糖结构被破坏;长时间超声处理,增加了粗多糖含有的杂质;超声过程中不断产生热量使糖降解。故最佳的超声时间是 15 min。

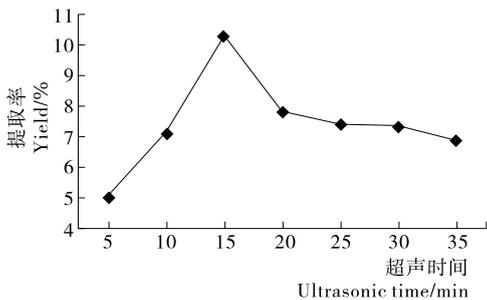


图 1 超声时间对多糖得率的影响

Figure 1 Ultrasonic time on yields of polysaccharides

2.1.2 提取时间 由图 2 可知,PSP 的得率随提取时间的延长呈现先增加后降低的趋势,在 1.5 h 时达到最大值。可能是提取开始阶段,由于溶剂环境中多糖浓度低,多糖分子容易由螺旋藻粉末中逐渐扩散到水溶液中,并且在多糖浓度未饱和之前,得率呈增加的趋势;而长时间的提取使得多糖处于高温环境的时间过长,使部分多糖结构破坏和降解,并使得螺旋藻中其它杂质溶解出来,降低多糖的得率;当提取时间超过 2 h 后,PSP 的得率缓慢降低,这是由于溶剂中的多糖浓度与固体原料粉末中的多糖浓度变小,糖的降解和杂质的溶出等各种条件逐渐趋于平衡。故最优的提取时间为 1.5 h。

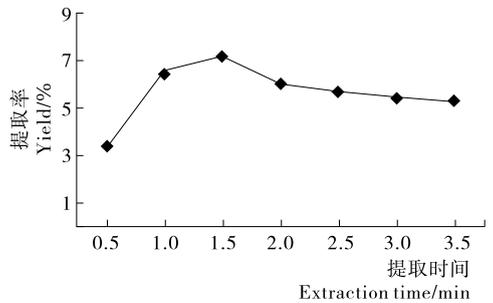


图 2 提取时间对多糖得率的影响

Figure 2 Extraction time on yields of polysaccharides

2.1.3 提取温度 由图 3 可知,在 40~80 $^{\circ}$ C 时,PSP 的得率随提取温度的升高而提高。说明在体积无变化的条件下,适当升高温度有利于 PSP 从螺旋藻粉末中扩散出来,随着温度的升高,分子本身的运动速度加快,导致大分子间的距离加大,作用力减弱,大分子链的活动力加大,多糖的扩散运动加快,增大了多糖的得率。但提取温度过高同样也会破坏多糖的结构,当提取温度达到 90 $^{\circ}$ C 时得率开始出现下降的趋势。故最优的提取温度为 80 $^{\circ}$ C。

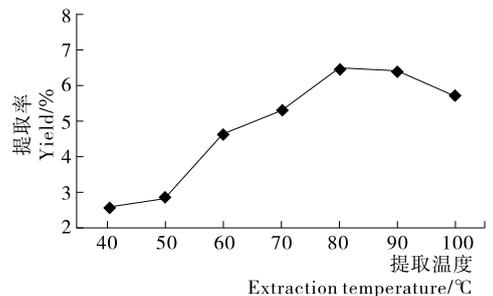


图 3 提取温度对多糖得率的影响

Figure 3 Effect of extraction temperature on yields of polysaccharide

2.1.4 料液比 由图 4 可知,当料液比为 1:25(g/mL)时多糖得率增加到最大,液料比大于 1:25(g/mL)后,得率急剧降低,可能是过多的提取剂对螺旋藻细胞具有破坏作用,使得细胞液或其他杂质成分溶出。故最优的料液比为 1:25(g/mL)。

2.1.5 提取次数 由图 5 可知,得率随着提取次数的增加呈增加趋势。在第 2 次时,得率增加比较明显,增加了 61.5%,

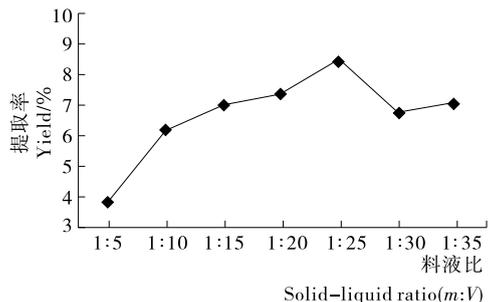


图 4 提取料液比对多糖得率的影响

Figure 4 Extraction of material to liquid ratio on yields of polysaccharide

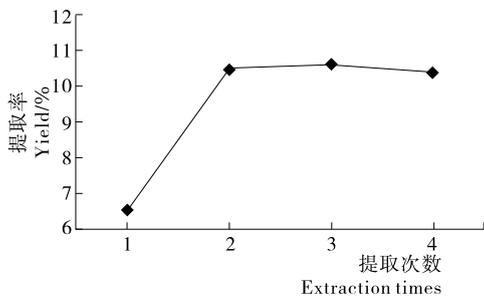


图5 提取次数对多糖得率的影响

Figure 5 Effect of extraction times on yields of polysaccharides

之后得率基本维持不变。这可能是多糖在第2、3次提取时已经基本提尽,并且随着操作过程的增加,增加了多糖的损失,致使得率有下降的趋势,结合实际生产效益,提取次数以2次为宜。

2.2 正交试验结果与分析

选用提取时间、料液比、提取温度、超声时间4个因素,每个因素设定3个水平,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,因素水平见表1。

由表2可知:影响多糖得率的因素排序为 $A > C > D > B$,最佳的因素水平组合为 $A_2 B_2 C_3 D_3$,即提取时间1.5 h,料液比为1:25(g/mL),提取温度90℃,超声时间20 min。在此条件下进行验证实验($n=3$),多糖平均得率达到(13.17±0.49)%。

表1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels in orthogonal test

水平	A 提取时间/h	B 料液比 (g·mL ⁻¹)	C 提取温度/℃	D 超声时间/min
1	1.0	1:20	70	10
2	1.5	1:25	80	15
3	2.0	1:30	90	20

表2 正交实验结果表

Table 2 The results of orthogonal experiment

序号	A	B	C	D	多糖得率/%
1	1	1	1	1	7.34±0.34
2	1	2	2	2	7.53±0.61
3	1	3	3	3	8.63±0.49
4	2	1	2	3	11.05±0.27
5	2	2	3	1	12.65±0.75
6	2	3	1	2	7.91±0.23
7	3	1	3	2	9.84±0.43
8	3	2	1	3	9.95±0.19
9	3	3	2	1	9.56±0.82
k_1	7.832	9.409	8.396	9.847	
k_2	10.533	10.041	9.378	8.426	
k_3	9.783	8.698	10.374	9.875	
R	2.702	1.342	1.977	1.488	

2.3 分离纯化结果

以标准葡聚糖相对分子质量的对数 $\lg M$ 对保留时间 R_t 作图见图6,并进行回归处理,得到葡聚糖标准方程: $y = 0.014 0x^2 - 0.865 5x + 17.363 0, R^2 = 0.970 8$,线性关系良好。

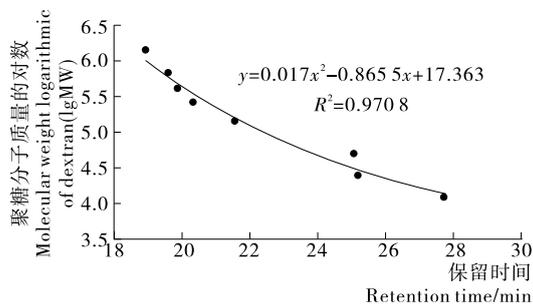


图6 葡聚糖 GPC 标准曲线

Figure 6 GPC calibration curve of Dextran

图7为超滤离心分离纯化的 GPC 图谱。由图7可知,从PSP分离得到分子量大于100 kDa的组分PSP-3(倒峰为水吸收峰)。PSP-3的峰型单一均匀且分子量集中,纯度较高,说明超滤离心截留技术对PSP-3有较好的分离效果,其保留时间 R_t 为19.30 min,经葡聚糖标准曲线求得PSP-3的分子量为623.02 kDa。

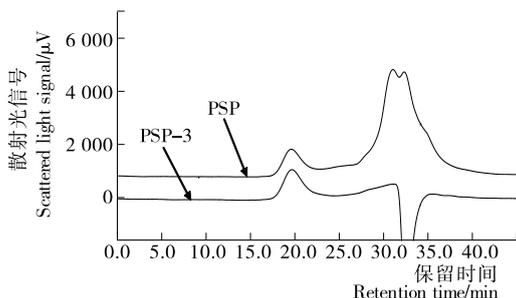


图7 PSP及PSP-3的GPC图

Figure 7 The GPC chart of PSP and PSP-3

2.4 PSP-3对结肠腺癌细胞的抑制作用

由图8可知,不同浓度PSP-3在均能抑制Caco-2细胞的生长,且随着浓度的增大抑制率逐渐增大,最佳抑制浓度为5.00 mg/mL,抑制率为81.36%, IC_{50} 为0.63 mg/mL,比文献[17]中报道的抑制率高。由于PSP-3分子量(623.02 kDa)较大,并且在后续试验中取细胞培养液检测不到PSP-3,说

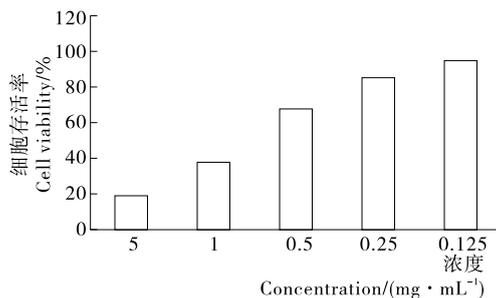


图8 PSP-3对Caco-2细胞增殖的影响

Figure 8 Effect of PSP-3 on Caco-2 cells proliferation

明 PSP-3 能够进入细胞,参与细胞代谢,但 PSP-3 是如何抑制细胞生长的作用机理将是下一步试验的重点。

3 结论

在传统热水浸提的基础上引入反复冻融法,并加入超声处理,这样能更好地促进细胞的裂解,有利于提高多糖的得率。确定了螺旋藻多糖的最佳提取条件,在该条件下多糖的得率为 $(13.17 \pm 0.49)\%$,比文献[18]报道的得率 8.30% 增加了 4.87% ,且提取时间仅需 1.5 h ,比传统工艺 (3 h) 缩短了 $1/2$,表明该工艺优化效果良好,达到了试验的目的。将超滤离心截留技术引入 PSP 的分离纯化中,PSP-3 的分离效果较好,为后续采用膜分离技术制备大量的 PSP-3 提供了依据,也证实了超滤离心截留技术能快速有效地分离相对分子质量差异大的多糖,但对分子量差异不大的多糖的分离效果并不明显。PSP-3 能较好地抑制 Caco-2 细胞生长的活性,其抑制作用稳定且明显,并呈量效关系,故表现出良好的抗结肠腺癌活性。但本试验并未对 PSP-3 进一步分离纯化进而无法对其结构进行表征,其抑制结肠腺癌细胞增殖作用的机理也尚不明确,故下一步研究将重点在 PSP-3 的分离纯化、结构鉴定及抗结肠腺癌的作用机理中展开。

参考文献

[1] LE T, KNULST A C, Roeckmann H. Anaphylaxis to Spirulina confirmed by skin prick test with ingredients of Spirulina tablets [J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 74: 309-310.

[2] PELIZER L H, CARVALHO J C M, MORAES I. Protein production by Arthrospira (Spirulina) platensis in solid state cultivation using sugarcane bagasse as support[J]. Biotechnology Reports, 2015(5): 70-76.

[3] DYER A P, BANFLELE B W, MARTINDALE D, et al. Dextran sulfate can act as an artificial receptor to mediate a typespecific herpes simplex virus infection via glycoprotein B[J]. Journal of Virology, 1993, 71(1): 191-198

[4] 游丽君, 邹林武, 梁彦豪, 等. 超声—高温热水提取香菇多糖及其产物特性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2 167-2 172.

[5] 贲永光, 钟红茂, 李康, 等. 超声辅助提取螺旋藻多糖的实验研究[J]. 中成药, 2011, 33(6): 1 078-1 080.

[6] 亓树艳, 王荔, 莫晓燕. 大枣多糖的提取工艺及抗氧化作用研究 [J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 117-120.

[7] 史红艳, 余静丹, 王丹, 等. 超滤过结合密度梯度离心纯化鲍曼不动杆菌噬菌体方法的建立[J]. 中国微生态学杂志, 2013, 25(3): 350-352.

[8] 隋璐, 刘坤, 沈薇, 等. 螺旋藻多糖对胃溃疡大鼠胃液分泌和前列腺素 E₂ 的影响[J]. 中国医药导报, 2013, 10(25): 7-9.

[9] 隋璐, 刘坤, 沈薇, 等. 螺旋藻多糖对胃溃疡大鼠胃黏膜的修复作用及对 EGF 和 EGFR 表达的影响[J]. 国实验方剂学杂志, 2013, 19(20): 162-165.

[10] HIDALGO I J, RAUB T J, BORCHARDT R T. Characterization of the human colon carcinoma cell line (Caco-2) as a model system for intestinal epithelial permeability, gastroenterology, 96, 736-749, 1989—the backstory[J]. Aaps Journal, 2011, 13(3): 323-327.

[11] IRAHA A, CHINEN H, HOKAMA A, et al. Fucoidan enhances intestinal barrier function by upregulating the expression of claudin-1[J]. World Journal of Gastroenterology, 2013, 19(33): 5 500-5 507.

[12] 穆文静, 杜玲, 扈瑞平, 等. 钝顶螺旋藻多糖 Sevage 法脱蛋白工艺的研究[J]. 内蒙古石油化工, 2011(10): 1-4.

[13] YASUO I, TORU T, KYUICHI Y, et al. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization[J]. Food Sci. Emerg Technol., 2008(9): 140-146.

[14] 金鑫, 赖凤英. 仙人掌多糖的提取、分离纯化及 GPC 法测定其分子量[J]. 现代食品科技, 2006, 88(2): 138-140.

[15] 冯怡, 薛明, 姜玲海, 等. 夏枯草中水溶性多糖的分离纯化及化学研究[J]. 中国医院药学杂志, 2008, 28(6): 431-434.

[16] FERRARI M, FORNASIERO M C, ISETTA A M. MTT colorimetric assay for testing macrophage cytotoxic activity in vitro [J]. Journal of immunological methods, 1990, 131(2): 165-172.

[17] 周岩冰, 于红, 赵磊. 螺旋藻多糖对体外培养胃肠道癌细胞的抑制作用[J]. 中华实验外科杂志, 2004, 21(5): 537.

[18] CHAIKLAHAN R, CHIRASUWAN N, TRIRATANA P, et al. Polysaccharide extraction from Spirulina sp and its antioxidant capacity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 58: 73-78.

信息窗

第二代马铃薯馒头类主食上市

中国科学报讯 日前,由中国农业科学院农产品加工研究所(以下简称加工所)和北京市海乐达食品有限公司(以下简称海乐达)产学研合作开发的第二代马铃薯馒头类主食正式上市。

加工所薯类加工研究团队通过配方优化、工艺参数改良以及设备改造等手段,突破了高占比马铃薯馒头黏度大、成型难、易破损等技术难题,成功研发出含 55% 马铃薯全粉的馒头产品,并完成了小试与中试实验,实现了马铃薯全粉占比 55% 的第二代马铃薯馒头类主食产业化生产。

此前,含 30% 马铃薯全粉的第一代马铃薯主食馒头已经在市面销售,广受消费者欢迎。据了解,与第一代马铃薯馒头及小麦馒头相比,第二代马铃薯馒头马铃薯特有的香甜风味更为浓郁,营养更丰富、更均衡、更健康。

作为目前北京最大的面食产品加工企业之一,海乐达自2015年1月份以来与加工所薯类加工研究团队展开了合作,已开发出了马铃薯馒头、花卷、面包、糕点等高品质、高营养的主食产品。

(来源:www.foodmate.net)