

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2016.06.010

文章编号:2095-6002(2016)06-0053-07

引用格式:张美,张丛兰,杨芳.不同方法对板栗仁多糖提取效果的比较[J].食品科学技术学报,2016,34(6):53-59.



ZHANG Mei, ZHANG Conglan, YANG Fang. Comparison of different extraction methods about polysaccharides of chestnut fruit[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016,34(6):53-59.

不同方法对板栗仁多糖提取效果的比较

张美¹, 张丛兰², 杨芳^{1,*}

(1. 武汉工程大学绿色化工过程省部共建教育部重点实验室/化工与制药学院, 湖北武汉 430073;
2. 湖北大学知行学院, 湖北武汉 430011)

摘要:以板栗仁为原料,分别采用水提取法、酶辅助法、微波辅助法提取板栗仁多糖。在单因素实验的基础上进行正交设计,分别研究3种方法对板栗仁多糖的提取得率。结果表明,微波辅助法的提取得率最高,为9.34%;其次是酶辅助法,为7.36%;水提法最低,为6.24%。采用SPSS软件分析,结果显示,3种方法提取得率之间存在显著差异。

关键词:板栗仁;多糖;水提取法;酶辅助法;微波辅助法

中图分类号:TS255.1

文献标志码:A

板栗(*Castanea mollissima* Blume)属壳斗科(*Fagaceae*)栗属坚果类植物,又名栗、栗子、大栗等,是我国的特产植物,世界上重要的干果之一^[1]。板栗的营养成分及其含量比例,因种类、品种及产地不同而有所差异。一般而言,板栗仁营养成分以糖类为主,其中淀粉占干物质的45%~65%左右,可溶性糖20%~27%,还原糖5%~18%,蔗糖3%~27%;富含蛋白质(5.7%~10.7%)、脂肪(2%~7.4%),并含有多种维生素、无机盐、不饱和脂肪酸和黄酮类物质等^[2]。板栗多糖为白色粉末,较易溶于热水,难溶于冷水,不溶于乙醇、丙酮、乙醚、正丁醇以及异丙醇等有机溶剂中。板栗多糖由葡萄糖、甘露糖、木糖、阿拉伯糖所组成,红外光谱显示,其多糖以 β -1,4糖苷键连接^[3]。近年来,大量药理及临床研究表明,多糖类化合物是一种免疫调节剂,具有抗氧化功能^[4],还能激活免疫受体,提高机体的免疫功能,具有毒副作用小以及安全性高等优点。板栗碳水化合物含量较高,其多糖亦具有良好的抗氧化活性,可以开发成一个新的膳食补充剂和功能性食品^[5]。目

前,板栗多糖提取方法主要有水提取法、超声波辅助水浸提法^[6]、酶水解法^[7]以及加压溶剂萃取法^[8]。但是,在多糖生产中,如何在提高提取率的同时,降低生产能耗和成本,并保持其生理活性,是该工艺中的难点。

本研究采用水提取法、酶辅助法以及微波辅助法提取板栗仁多糖,采用正交实验设计探索板栗仁多糖提取的最佳工艺组合,为进一步研究板栗多糖的生物活性提供了基础,为板栗的精深加工利用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

板栗为市售湖北荆山板栗。 α -淀粉酶(1×10^4 U/g)和 β -淀粉酶(1×10^4 U/g)购于山东隆科特酶制剂有限公司。三氯甲烷、正丁醇、乙醇、乙醚、浓硫酸、蒽酮均为分析纯。

1.2 仪器与设备

FW-80型高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器

收稿日期:2015-11-09

作者简介:湖北省教育厅科学技术研究计划优秀中青年人才项目(Q20121511)。

作者简介:张美,女,讲师,硕士,主要从事食品加工方面的研究;

*杨芳,女,副教授,博士,主要从事农产品加工方面的研究。通信作者。

有限公司;JY2003型电子天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;MAS-II Plus型微波萃取仪,上海新仪微波化学科技有限公司;HH-2型数显恒温水浴锅,国华电器有限公司;TDL-40B型台式离心机,上海安亭科学仪器厂;SH2-D(III)型循环水真空泵,郑州科丰仪器设备有限公司;WGL-30B型电热风干燥箱,天津市泰斯特仪器有限公司;722型分光光度计,上海天普分析仪器制造厂。

1.3 实验方法

1.3.1 样品预处理

参考文献[9]的方法对样品预处理。板栗经脱壳、清洗、干燥、粉碎后,过40目筛。按 $m(\text{粉}):V(\text{乙醚})=1\text{ g}:3\text{ mL}$ 的比例,采用无水乙醚索氏抽提6~8 h,取粉末,去脂肪。然后采用无水乙醇为溶剂,按照1 g/mL的质量浓度浸泡提取4 h,以去除蛋白质。所得粉末样品经活性炭粉脱色,干燥后得到板栗仁粉,密封冷冻于冰箱中备用。

1.3.2 板栗仁多糖提取

1.3.2.1 水提取法

称取10.0 g上述1.3.1中处理的板栗仁粉,以水为溶剂,按设定条件(提取温度、提取时间以及料液比)进行多糖提取。将提取后的混合液进行离心(转速为3 800 r/min,时间为10 min),除去不溶性物质。将上层提取液减压浓缩至20~30 mL左右,然后将 $V(\text{CHCl}_3):V(\text{正丁醇})$ 混合液等体积加入浓缩液,充分振荡使两相混匀,静置后分层,除去中间层变性蛋白质。收集上清液,向上清液加入乙醇的终浓度为 $\varphi(\text{乙醇})=80\%$,边加边搅拌,得灰色絮状沉淀,静置过夜,倾出上清液,即得板栗多糖溶液。将上清液进行适当稀释,测定多糖含量。

1.3.2.2 酶辅助提取法

称取10.0 g上述1.3.1中处理的板栗仁粉,以水为溶剂,加入 α -淀粉酶和 β -淀粉酶分别为板栗仁粉质量的0.2%,按设定条件(提取温度、提取时间以及料液比),参考1.3.2.1的方法,进行多糖提取和除杂。

1.3.2.3 微波辅助提取法

称取10.0 g上述1.3.1中处理的板栗仁粉,以水为溶剂,先进行微波处理,在继续提取一定时间,按设定条件(提取时间、微波处理时间和微波处理功率),参考1.3.2.1的方法,进行多糖提取和除杂。

1.3.3 多糖标准曲线方程的计算方法

配制不同浓度的葡萄糖标准溶液,分别吸取1

mL葡萄糖标准溶液于比色管中,加入0.5 mL新配置的蒽酮乙酸乙酯试剂($w=0.2\%$)和5 mL浓硫酸,充分振荡,立即将试管放入沸水浴中,准确保温10 min,取出后自然冷却至室温,以空白溶液作参比,在620 nm处测定吸光值(A),并以吸光度值(A)对葡萄糖质量浓度(C)进行回归分析,得回归方程。

1.3.4 多糖含量测定和得率计算

取1.3.2中经提纯除杂后的样品提取液1 mL于比色管中,加入0.5 mL新配置的蒽酮乙酸乙酯试剂($w=0.2\%$)和5 mL浓硫酸,充分振荡,立即将试管放入沸水浴中,准确保温10 min,取出后自然冷却至室温,以空白溶液作参比,在620 nm处测定吸光值(A),根据标准曲线计算多糖含量。根据式(1)计算多糖的得率。

$$\text{多糖得率} = C \times \frac{X}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, C 为糖质量浓度,mg/mL; X 为稀释倍数; M 为提取所用板栗仁粉的质量,g。

1.3.5 数据分析方法

采用Sigmaplot 11.0软件绘图,采用SPSS statistics 20.0软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 标准曲线线性方程

建立的多糖测定的标准曲线回归方程为 $A=0.005C$; $R^2=0.9965$ 。

2.2 水提取法的得率分析

分别考察提取温度、提取时间和料液比对水提取法提取效果的影响,再根据单因素实验的结果进行 $L_9(3^3)$ 正交试验,确定水提取法最佳提取工艺。

2.2.1 提取温度对板栗仁多糖得率的影响

参照1.3.2.1方法进行多糖提取,在浸提时间(60 min)和1:20 g/mL料液比(即板栗仁粉质量与提取溶剂体积的比例)不变的条件下,分别研究提取温度为50,60,70,80,90 °C以及100 °C时的多糖得率,结果如图1。

由图1可看出,在提取时间为60 min,料液比为1:15的条件下,当提取温度在50~80 °C时,随着提取温度的升高,板栗仁多糖的得率逐渐提高,但超过80 °C后,板栗仁多糖得率开始缓慢下降。高温会使板栗仁多糖分解从而降低粗多糖含量^[10],从图1可以看出,提取最佳温度为80 °C。

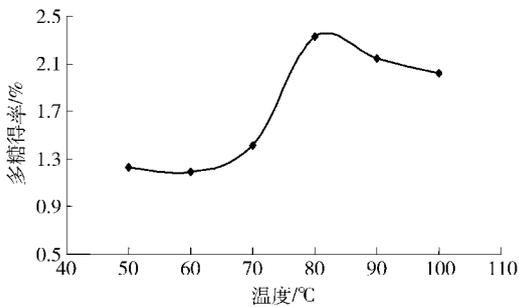


图1 水提取法中提取温度对板栗仁多糖得率的影响

Fig. 1 Effect of temperature on yield of chestnut fruit polysaccharide by water extraction method

2.2.2 提取时间对板栗仁多糖得率的影响

在浸提温度(80 °C)和料液比(1:20 g/mL)不变的条件下,分别研究提取时间为30,60,90,120,150 min以及180 min时的多糖得率,结果如图2。

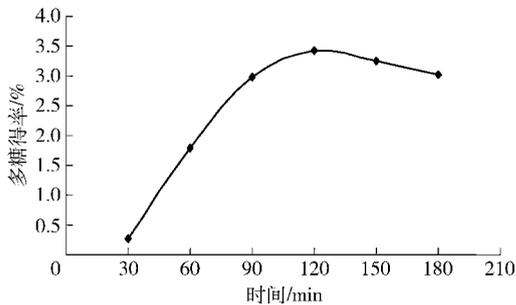


图2 水提取法中提取时间对板栗仁多糖得率的影响

Fig. 2 Effect of time on yield of chestnut fruit polysaccharide by water extraction method

由图2可看出,当提取时间在30~180 min时,随着提取时间的延长,板栗仁多糖的得率逐渐提高,但超过120 min后,板栗仁多糖得率开始缓慢降低。其原因可能是由于浸提时间过长会使粗多糖发生分解,从而使得率降低^[10]。因此,综合考虑成本和设备使用情况,提取时间选择120 min。

2.2.3 料液比对板栗仁多糖得率的影响

在浸提温度(80 °C)和浸提时间(60 min)不变的条件下,分别研究料液比为1:15,1:20,1:25,1:30,1:35,1:40 g/mL时的多糖得率,结果如图3。

由图3可看出,料液比在1:15~1:30 g/mL之间时,对得率影响较大,当达到一定料液比以后影响逐渐减小,这是因为加水量越大,达到提取平衡以后提取液中的粗多糖浓度越低,最后残留在板栗粗多糖提取后的残渣中的粗多糖越少,即得率就越高。但也应看到随着料液比的加大,粗多糖得率的增加会逐渐减小,而较大的料液比会加大后续粗多糖分

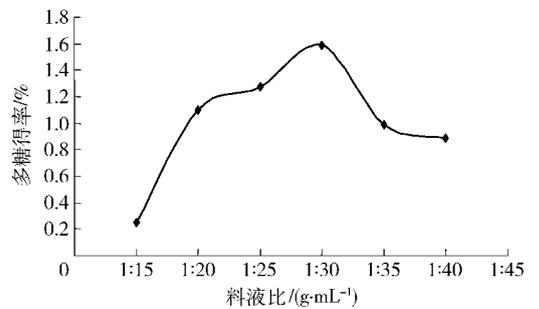


图3 水提取法中料液比对板栗仁多糖得率的影响

Fig. 3 Effect of material-liquid ratio on yield of chestnut fruit polysaccharide by in water extraction

离的负荷,这是实际生产中需考虑的因素。本实验结果显示,在提取时间为60 min,温度为80 °C的条件下,当料液比为1:30时,板栗仁多糖的得率最高,故选择料液比为1:30 g/mL进行正交试验。

2.2.4 水提取法正交试验结果

以提取温度、提取时间和料液比为影响因素,根据以上单因素试验结果,选用 $L_9(3^3)$ 正交设计表进行正交试验,以多糖得率为指标,优选较佳提取工艺。正交试验设计及结果见表1。

表1 水提取法正交试验设计及结果

Tab. 1 Orthogonal design and results for yield of chestnut fruits polysaccharides by water extraction method

实验号	A 提取温度/°C	B 提取时间/min	C 料液比/(g·mL ⁻¹)	得率/%
1	70	90	1:25	1.67
2	70	120	1:30	1.43
3	70	150	1:35	1.27
4	80	90	1:30	2.94
5	80	120	1:35	1.27
6	80	150	1:25	2.87
7	90	90	1:35	2.67
8	90	120	1:25	3.99
9	90	150	1:30	6.24
K_1	4.37	7.28	8.53	
K_2	7.08	6.69	10.61	
K_3	12.9	10.38	5.21	
极差 R	2.84	1.23	1.80	
因素主→次		A > C > B		
最优方案		A ₃ B ₃ C ₂		

由表1可知,在水提法提取板栗仁多糖的实验中,各因素对多糖得率的影响依次为:提取温度>料液比>提取时间。其实验的较优组合为 $A_3B_3C_2$,即提取温度90 °C,提取时间150 min,提取料液比1:30

g/mL,在此条件下,最高得率可以达到6.24%。

2.3 酶辅助提取法的得率分析

分别考察提取温度、提取时间和料液比对酶辅助提取法提取效果的影响,再根据单因素实验的结果进行 $L_9(3^3)$ 正交试验,确定酶辅助提取法最佳提取工艺。

2.3.1 提取时间对板栗仁多糖得率的影响

参照1.3.2.2方法进行多糖提取, α -淀粉酶和 β -淀粉酶的添加量分别为0.2%(相对于板栗仁的质量比),在提取温度(45℃)和料液比(1:15 g/mL)不变的条件下,分别研究提取时间为180,210,240,270,300 min时的多糖得率,结果如图4。

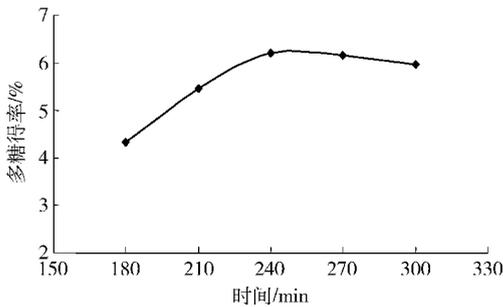


图4 酶辅助提取法中提取时间对板栗仁多糖得率的影响
Fig. 4 Effect of time on yield of chestnut fruit polysaccharide by enzyme-assistant extraction method

由图4可看出,在提取温度为45℃,料液比为1:15 g/mL的条件下,当提取时间在180~240 min时,随着提取温度的升高,板栗仁多糖的得率逐渐提高,但超过240 min后,板栗仁多糖得率开始缓慢下降。从图4可以看出,提取时间选择240 min可以达到最高的得率。

2.3.2 提取温度对板栗仁多糖得率的影响

参照1.3.2.2方法进行多糖提取,分别研究提取温度为35,40,45,50,55℃时的多糖得率,结果如图5。

由图5可看出,在提取时间为240 min,料液比为1:15 g/mL的条件下,当提取温度在35~45℃时,随着提取温度的升高,板栗仁多糖的得率逐渐提高,但超过45℃后,板栗仁多糖得率开始缓慢下降。高温会使体系中的淀粉酶失活从而降低粗多糖含量^[11],从图5可以看出,提取温度选择45℃可以达到最高的得率。

2.3.3 料液比对板栗仁多糖得率的影响

参照1.3.2.2方法进行多糖提取,分别研究料液比为1:9,1:12,1:15,1:18,1:21 g/mL时的多糖

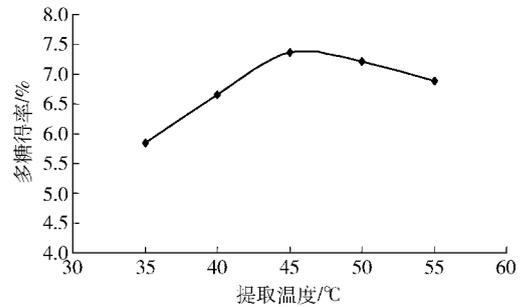


图5 酶辅助提取法中提取温度对板栗仁多糖得率的影响
Fig. 5 Effect of temperature on yield of chestnut fruit polysaccharide by enzyme-assistant extraction method

得率,结果如图6。

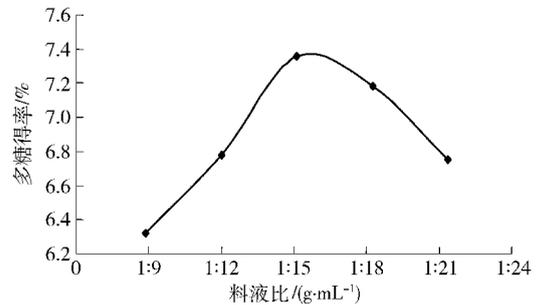


图6 酶辅助提取法中料液比对板栗仁多糖得率的影响
Fig. 6 Effect of material-liquid ratio on yield of chestnut fruit polysaccharide by enzyme-assisted extraction

由图6可看出,在采用酶辅助法提取板栗仁多糖时, α -淀粉酶和 β -淀粉酶的添加量分别为 ω (淀粉酶)=0.2%(相对于板栗仁的质量比),在提取时间为240 min,温度为45℃的条件下,当料液比为1:15 g/mL时,板栗仁多糖的得率最高,故选择料液比为1:15 g/mL做正交试验。

2.3.4 酶辅助法正交试验结果

以提取温度、提取时间和料液比为影响因素,根据以上单因素实验结果,选用 $L_9(3^3)$ 正交设计表进行正交试验,以多糖得率为指标,优选较佳酶辅助提取工艺。正交实验设计及结果见表2。

由表2可知,在酶辅助法提取板栗仁多糖的实验中,各因素对多糖得率的影响依次为:提取时间>料液比>提取温度。其实验的较优组合为 $A_2B_2C_3$,即提取温度45℃,提取时间240 min,提取料液比1:18 g/mL,在此条件下,得率可以达到7.36%。

2.4 微波辅助法的得率分析

分别考察提取时间、微波处理时间和微波处理功率对微波辅助提取法提取效果的影响,再根据单因素实验的结果进行 $L_9(3^3)$ 正交试验,确定微波辅

助提取法的最佳提取工艺。

表2 酶辅助提取法正交试验设计及结果

Tab.2 Orthogonal design and results for yield of chestnut fruit polysaccharides by enzyme-assisted method

实验号	A 提取温度/℃	B 提取时间/min	C 料液比/(g·mL ⁻¹)	得率/%
1	40	210	1:12	6.32
2	40	240	1:15	6.65
3	40	270	1:18	6.32
4	45	210	1:15	6.45
5	45	240	1:18	7.36
6	45	270	1:12	6.28
7	50	210	1:18	6.32
8	50	240	1:12	7.01
9	50	270	1:15	7.10
K ₁	19.29	20.09	20.43	
K ₂	19.29	21.02	19.70	
K ₃	19.61	20.20	20.00	
极差 R	0.32	0.93	0.73	
影响大小顺序		B > C > A		
最优方案		A ₂ B ₂ C ₃		

2.4.1 提取时间对板栗仁多糖得率的影响

参照 1.3.2.3 方法进行多糖提取,在微波处理时间(4 min)和微波处理功率 3 档(400 W)不变的条件下,分别研究提取时间为 80,100,120,140,160 min 时的多糖得率,结果如图 7。

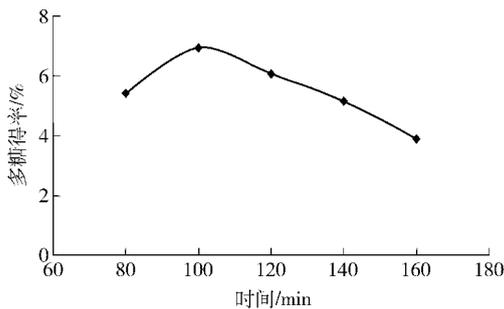


图7 提取时间对板栗仁多糖得率的影响

Fig.7 Effect of extraction time on yield of chestnut fruit polysaccharide by microwave-assistant extraction method

由图 7 可以看出,提取时间在 80~100 min 时,板栗仁多糖得率随时间延长而增大,这是因为随着提取时间延长,浸提液中的粗多糖与板栗中的粗多糖浓度差逐渐减小,达到一定提取时间(100 min)后,浸提液中的粗多糖含量与板栗原料中的粗多糖含量达到平衡,得率达到最高(6.94%)。微波提取时间在 100~160 min 时,板栗仁多糖得率随时间延

长而降低,这可能是因为浸提时间过长会使多糖发生水解、胶凝作用以及焦糖化反应,从而使板栗多糖得率降低。另外,浸提的实质是固相传递至液相的传质过程,根据扩散理论,就是溶质从高浓度区向低浓度区渗透的过程,这可能是由于一定时间的浸提后,物料中溶质与溶液环境中的溶质达到相对平衡,趋于某一常数,从而使浸提率降低^[12]。

2.4.2 微波处理时间对板栗仁多糖得率的影响

分别研究微波处理时间为 2,3,4,5 min 以及 6 min 时的多糖得率,结果如图 8。

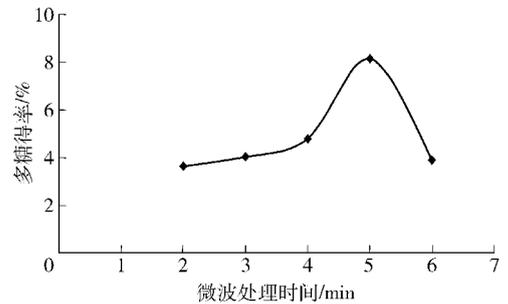


图8 微波处理时间对板栗仁多糖得率的影响

Fig.8 Effect of microwave processing time on yield of chestnut fruit polysaccharide by microwave-assistant extraction method

由图 8 可以看出,微波处理时间在 2~5 min 时,板栗仁多糖得率随时间延长而增大,这是因为随着微波处理时间延长,板栗仁多糖得率逐渐提高,当微波处理时间为 5 min 时,得率达到最大值(8.13%)。一方面,微波同时提高了颗粒内部的温度和压力,扩散速度加快;另一方面,细胞壁受到破坏而孔径增大,利于细胞内物质流出^[13]。微波提取时间在 5~6 min 时,板栗仁多糖得率随时间延长而降低,这可能是由于微波作用时间过长,降低了某些反应的活化能,使多糖分子之间、多糖分子与其他分子之间形成新的作用力,增加分子之间的碰撞机会,阻止多糖分子溶出,也可能是由于蛋白质变性沉淀后包裹在板栗颗粒表面,导致多糖得率降低。此外,随着微波处理时间增加,多糖的水解,淀粉糊化等也会加剧,从而使多糖得率降低。

2.4.3 微波处理功率对板栗多糖得率的影响

参照 1.3.2.3 方法分别研究了 5 个不同档位的微波处理功率(功率 1 为 100 W;功率 2 为 200 W;功率 3 为 400 W;功率 4 为 600 W;功率 5 为 800 W)对多糖得率的影响,结果如图 9。

由图 9 可以看出,随着微波处理功率提高,板栗

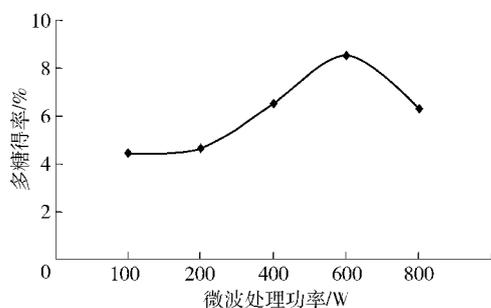


图9 微波处理功率对板栗仁多糖得率的影响

Fig. 9 Effect of microwave processing power on yield of chestnut fruit polysaccharide by microwave-assistant extraction method

仁多糖得率先增加,达到最大值(8.54%)后,又逐渐减小。这是因为在微波交变电磁场的作用下,极性物质(包括水在内)引起强烈的极性振荡,可导致电容性细胞膜结构带击穿破裂,或者细胞分子间氢键松弛等破坏,使得组成生物体的最基本单元细胞的生命化学活动过程中所必须具备的物质、能量交换的正常条件和环境遭到严重破坏,这样有利于物质的迅速浸出和扩散^[14]。此外,微波处理过程中会使溶液温度升高,从而促进多糖溶出。但是,在功率4档(600 W)到5档(800 W)时,随着微波功率增加,板栗仁多糖得率逐渐降低,这可能是由于微波功率过高,使板栗粗多糖部分分解。

2.4.4 微波辅助法正交实验结果

以提取时间、微波处理时间和微波处理功率为影响因素,根据以上单因素实验结果,选用 $L_9(3^3)$ 正交设计表进行正交试验,以多糖得率为指标,优选较佳微波辅助提取工艺。正交实验设计及结果见表3。

由表3可知,在微波辅助法提取板栗仁多糖的实验中,各因素对多糖得率的影响由大到小依次为:微波处理功率、提取时间、微波处理时间。其实验的较优组合为 $A_1B_2C_2$,即提取时间80 min,微波处理时间为5 min,微波处理功率为600 W,在此条件下,得率可以达到9.34%。

3 结论

本研究结果显示,3种提取方法在正交试验优化工艺后,得率均有提高,其中,微波提取法得率高达9.34%,酶辅助提取法的得率为7.36%,而水提取法的得率为6.24%。水提取法利用多糖易溶于水的原理进行提取,得率较低。酶辅助提取法利用淀粉酶分解板栗淀粉,在一定程度上可以提高板栗

表3 微波辅助提取法正交试验设计及结果

Tab. 3 Orthogonal design and results for yield of chestnut fruits polysaccharides by microwave-assisted method

实验号	A 提取时间/min	B 微波处理时间/min	C 微波处理功率/W	得率/%
1	80	4	400	7.18
2	80	5	600	9.34
3	80	6	800	5.75
4	100	5	800	6.37
5	100	6	400	8.27
6	100	4	600	6.01
7	120	6	600	7.07
8	120	4	800	6.12
9	120	5	400	6.05
K_1	22.27	19.31	21.5	
K_2	20.65	21.76	22.42	
K_3	19.34	21.09	18.24	
极差 R	3.03	2.45	4.18	
因素影响	C > A > B			
最优方案	$A_1B_2C_2$			

仁中非淀粉多糖的提取率,但是,会产生提取成本提高和酶与产物分离等问题。微波辅助法提取板栗多糖的得率显著高于酶辅助提取法和水提法,最佳工艺为提取时间80 min,微波处理时间5 min,微波处理功率为600 W。通过3种板栗多糖提取方法的比较,微波提取法效率高,升温快速均匀,能大大缩短萃取时间。此外,微波射线的穿透性极好,在接近环境温度下提取所需的有效成分,对热敏性成分的浸提极为有利,可以更好地保护板栗仁多糖的生物活性。在工业化生产中,选择非淀粉多糖含量高的板栗品种,结合微波高效提取技术,可为板栗精深加工提供一个新的途径。

参考文献:

- [1] 汪芳安. 板栗食品加工概况[J]. 武汉工业学院学报, 2002(4):27-28.
WANG F A. The general situation of the chestnut procession[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2002(4):27-28.
- [2] ENGIN E. Variability in leaf and fruit morphology and in fruit composition of chestnuts (*Castanea Sativa* Mill.) in the Nazilli region of Turkey [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2007, 54(4):691-699.
- [3] YANG B, JIANG G, GU C, et al. Structural changes in polysaccharides isolated from chestnut (*Castaneamollis-*

- sima* Bl.) fruit at different degrees of hardening [J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(3):1211–1215.
- [4] CHEN Y, LUO H, GAO A, et al. Extraction of polysaccharides from mango (*Mangifera indica* Linn.) seed by response surface methodology and identification of their structural characteristics [J]. *Food Analytical Methods*, 2011, 5(4):800–806.
- [5] WU S J, LIN Y. Preparation and characterization of the oligosaccharides derived from Chinese water chestnut polysaccharides [J]. *Food Chemistry*, 2015, 181:15–18.
- [6] 伍小红, 张润光, 吴倩, 等. 超声波辅助提取板栗多糖的工艺研究 [J]. *食品研究与开发*, 2014(14):32–36.
WU X H, ZHANG R G, WU Q, et al. Study on ultrasonic-assisted extraction of polysaccharides in chestnut [J]. *Food Research and Development*, 2014 (14):32–36.
- [7] 李悦, 刘阳, 田晶, 等. 酶辅助法提取板栗中多糖的工艺研究 [J]. *粮油加工: 电子版*, 2014(5):63–65.
LI Y, LIU Y, TIAN J, et al. Polysaccharide extraction from chestnut by enzyme assistant method [J]. *Cereals and Oils Processing: Electronic Version*, 2014(5):63–65.
- [8] 梁雪, 杨越冬, 杜彬, 等. 用加压溶剂萃取法提取板栗多糖的工艺条件 [J]. *经济林研究*, 2013, 31(3):98–102.
LIANG X, YANG Y D, DU B, et al. Process conditions of pressurized solvent extraction of polysaccharide in China chestnut [J]. *Nonwood Forest Research*, 2013, 31(3):98–102.
- [9] 郭雷, 郝倩, 孙颖, 等. 板栗壳活性成分的提取工艺条件研究 [J]. *江苏农业科学*, 2010, 145(3):356–357.
GUO L, HAO Q, SUN Y, et al. Study on extraction conditions of bioactive substances from chestnut shell [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2010, 145(3):356–357.
- [10] 褚立军, 但飞君, 鄢文芳, 等. 超声波提取白根独活多糖工艺研究 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(12):6216–6217, 6230.
CHU L J, DAN F J, YAN W F, et al. Research on ultrasonic extraction technology of polysaccharides from *Angelica polymorpha maxim* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(12):6216–6217, 6230.
- [11] 吴振先, 韩冬梅, 季作梁. SO₂对贮藏龙眼果皮酶促褐变的影响 [J]. *园艺学报*, 1999, 26(2):91–95.
WU Z X, HAN D M, JI Z L, et al. Effect of sulphur dioxide treatment on enzymatic browning of longan pericarp during storage [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1999, 26(2):91–95.
- [12] 张惟杰. 复合多糖生化研究技术 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987:121–128.
- [13] 刘用成. 食品化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996:181–190.
- [14] 林英, 曹松屹, 曹冬煦, 等. 海带多糖提取方法研究进展 [J]. *水产科技情报*, 2008, 35(4):168–170.
LIN Y, CAO S Y, CAO D X, et al. Progress of research on extraction of polysaccharide from kelp [J]. *Fisheries Science and Technology Information*, 2008, 35(4):168–170.

Comparison of Different Extraction Methods About Polysaccharides of Chestnut Fruit

ZHANG Mei¹, ZHANG Conglan², YANG Fang^{1,*}

(1. Key Laboratory for Green Chemical Process of Ministry of Education/School of Chemical Engineering and Pharmacy, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China;

2. Zhixing College, Hubei University, Wuhan 430011, China)

Abstract: Chestnut polysaccharide was extracted by water extraction method, enzyme-assisted method, and microwave-assisted method. According to single factor experiments, the orthogonal design was used to optimize the polysaccharide extraction process. The results showed that microwave-assisted extraction has the highest yield (9.34%), followed by enzyme-assisted method (7.36%) and water extraction method (6.24%). Analysis results by SPSS software showed that the extraction yields of the three methods had significant differences.

Key words: chestnut fruit; polysaccharide; water extraction method; enzyme-assisted method; microwave-assisted method

(责任编辑:李 宁)