

龙眼多糖超声波-酶解辅助提取工艺优化*

易 阳¹ 张名位² 廖森泰² 唐小俊² 张瑞芬² 魏振承²

(1. 华中农业大学食品科技学院, 武汉 430070; 2. 广东省农业科学院农业生物技术研究所, 广州 510610)

【摘要】 采用 Box-Behnken 中心组合试验设计优化龙眼果肉多糖的超声波-酶解辅助提取工艺,建立了包括纤维素酶添加量、超声波功率、酶解温度、pH 值和时间五因素回归模型。经回归模型分析并结合验证试验,确定多糖的最佳提取工艺条件为:以龙眼干果肉(含水率 8.47%)为原料,选取纤维素酶(酶活大于等于 200 U/mg)添加量 2 000 U/g、超声波功率 250 W、酶解温度 55℃、pH 值 5.0、时间 60 min,在该条件下多糖提取率达 38.71%,比传统热水法、酶法、超声波法和微波法分别高 9.85%、6.41%、4.35% 和 3.99%,且差异达到显著水平($P<0.05$)。

关键词: 龙眼 多糖 超声波 纤维素酶 提取 工艺优化

中图分类号: TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)05-0131-06

Optimization of Ultrasonic-enzyme-assisted Extraction Technology of Polysaccharides from Longan Pulp

Yi Yang¹ Zhang Mingwei² Liao Sentai² Tang Xiaojun² Zhang Ruifen² Wei Zhencheng²

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. Bio-Tech Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

Abstract

The effects of the amount of enzyme added, ultrasonic power, enzymolysis temperature, pH value and time on the extraction yield of polysaccharides from longan pulp were optimized by response surface methodology. The optimal technological conditions of extraction by ultrasonic and cellulase were determined, then regression mathematical model was established. The optimal technological parameters are as follows: longan pulp with water ratio is 8.47%, cellulase additive ratios is 2 000 U/g, ultrasonic power is 250 W, enzymolysis temperature is 55℃, enzymolysis pH value is 5.0, enzymolysis time is 60 min, under such conditions, the polysaccharides extraction rate is 38.71%. This result approximated to the value of mathematical model calculated.

Key words Longan, Polysaccharide, Ultrasonic wave, Cellulase, Extraction, Process optimization

引言

多糖是龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 重要的活性成分之一^[1]。王玲^[2]和杨翠娴^[3]研究发现,龙眼果肉多糖(以下简称龙眼多糖)主要是由鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖、树胶醛糖等组成的具乙酰氨基结构的β型吡喃酸性杂多糖。研究龙眼多糖的提取分离技术具有重要意义。

传统的多糖提取方法以热水浸提为主,存在耗时、提取率低等缺点。随着现代食品分离技术研究的不断发展,酶解和超声波已广泛应用于多糖等活性物质的提取分离中。郑少泉等^[4]和王统一等^[5]分别采用超声波工艺提取龙眼多糖,并证实一定条件的超声波处理能显著提高提取率,而酶技术在龙眼多糖提取中的应用鲜见报道。本文通过响应面分析法优化龙眼果肉多糖的超声波-酶辅助提取

收稿日期: 2009-06-03 修回日期: 2009-11-22
* NSFC-广东联合基金资助项目(U0731005)和广东省自然科学基金团队资助项目(06200586)
作者简介: 易阳, 博士生, 主要从事植物活性物质研究, E-mail: yiy86@qq.com
通讯作者: 廖森泰, 研究员, 主要从事农产品加工研究, E-mail: liaost@163.com

工艺,确定其最佳工艺条件,旨在为龙眼多糖的提取纯化和活性研究提供基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料、仪器及试剂

1.1.1 龙眼

鲜龙眼品种“储良”由广东省农业科学院果树研究所提供,干燥后取果肉粉碎,−20℃储存备用。采用直接干燥法测得其平均含水率为8.47%。

1.1.2 仪器和试剂

离心机,上海安亭科学仪器厂;水浴震荡器,常州澳华仪器有限公司;KS−900型超声波细胞粉碎机,宁波科生仪器厂;电热恒温水浴锅,上海一恒科技有限公司;PHS−25型pH计,上海虹益仪器仪表有限公司;紫外可见光分光光度计,日本岛津有限公司;纤维素酶(酶活大于等于200 U/mg),瑞士Fluka AG公司;硫酸、苯酚等均为国产分析纯。

1.2 试验方法

1.2.1 龙眼多糖提取的测定方法

取2.5 g龙眼干果肉,以料液比(果肉质量(g)与水体积(mL)的比例)1:40加水浸泡,调节pH值和温度,加入适量的纤维素酶,于超声场中作用一定时间,升温至80℃灭酶,保温继续浸提2 h。抽滤,取滤液定容测多糖含量。

1.2.2 超声波-酶解提取工艺单因素试验条件

(1)纤维素酶添加量:纤维素酶添加量250、500、1 000、1 500和2 000 U/g,超声波功率300 W,酶解温度50℃,pH值5.0,时间60 min。

(2)超声波功率:纤维素酶添加量2 000 U/g,超声波功率150、300、450、600和750 W,酶解温度50℃,pH值5.0,时间60 min。

(3)酶解温度:纤维素酶添加量2 000 U/g,超声波功率300 W,酶解温度40、45、50、55、60℃,pH值5.0,时间60 min。

(4)pH值:纤维素酶添加量2 000 U/g,超声波功率300 W,酶解温度50℃,pH值4.0、4.5、5.0、5.5、6.0,时间60 min。

(5)时间:纤维素酶添加量2 000 U/g,超声波功率300 W,酶解温度50℃,pH值5.0,时间20、40、60、80、100 min。

1.2.3 超声波-酶解提取工艺多因素试验条件

在单因素试验的基础上,采取Box-Benhknen的中心组合试验设计方法安排五因素三水平试验,确定超声波-酶解提取龙眼多糖的最佳工艺条件,试验因子及水平如表1所示。

表 1 试验因素和水平

Tab.1 Factors and levels of the experiment

编码	因素				
	酶添加量 $x_1/\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$	超声波 功率 x_2/W	温度 x_3 /℃	pH 值 x_4	时间 x_5/min
−1	1 000	150	50	4.5	20
0	1 500	300	55	5.0	40
1	2 000	450	60	5.5	60

1.2.4 不同提取方法的对照试验

(1)龙眼多糖的热水浸提法:参照文献[6],选择提取条件为:料液比1:40、温度80℃、时间3 h。

(2)龙眼多糖微波辅助提取法:参照文献[7],选择提取条件为:微波功率700 W、处理时间60 s、料液比1:40、温度80℃、时间3 h。

(3)龙眼多糖的超声波辅助提取法:在多因素试验优化的最佳提取工艺条件下,仅采用超声波辅助浸提。

(4)龙眼多糖的纤维素酶酶解提取法:在多因素试验优化的最佳提取工艺条件下,仅采用酶解辅助浸提。

1.2.5 分析方法

- (1)总糖:苯酚-硫酸法^[4]。
- (2)还原糖:3,5-二硝基水杨酸(DNS)法^[8]。
- (3)多糖总量和提取率的计算:多糖总量为总糖质量分数与还原糖质量分数的差值;多糖提取率按浸提溶液中多糖质量占果肉质量的百分比计算。

1.2.6 数据处理

试验数据采用SAS软件进行处理。响应面分析由RSREG Procedure完成,回归模型的优化和分析由GLM Procedure完成,响应曲面图由Response Surface Design完成。回归模型的优化中,对显著性 $P<0.25$ 的各项予以保留^[9]。用S−N−K检验分析比较试验各组间的均值。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 纤维素酶添加量

由纤维素酶添加量对龙眼多糖提取率的影响(图1)可见,多糖提取率随酶添加量增加而递增,酶添加量在1 500~2 000 U/g之间多糖提取率差异不显著($P>0.05$)。表明在酶添加量超过1 500 U/g后,浸提体系中纤维素酶接近饱和状态,致使多糖提取率增长平缓。相反,过量的纤维素酶可能导致多糖的降解而降低提取率。故酶添加量以1 000~2 000 U/g为宜。图中不同小写英文字母表示0.05

水平的差异显著性,下同。

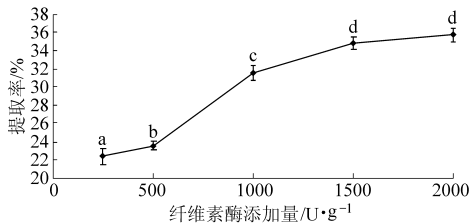


图1 纤维素酶添加量对龙眼多糖提取率的影响曲线
Fig. 1 Effect of the amount of enzyme adding on longan polysaccharides yield

2.1.2 超声波功率

超声波功率对龙眼多糖提取率的影响结果见图2,从图中可以看出多糖提取率随超声波功率的增大先增加后减小。超声波的空化效应和震动作用加速龙眼多糖的溶出,功率从150 W升至300 W,多糖提取率显著提高($P < 0.05$)。当超声波功率过大,虽更利于多糖的溶出,但强超声波作用可能导致多糖糖苷键断裂和纤维素酶酶活降低,反而使提取率下降。适宜的超声波功率为300 W左右。

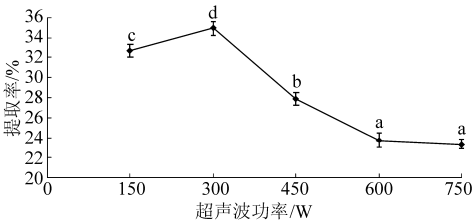


图2 超声波功率对龙眼多糖提取率的影响曲线
Fig. 2 Effect of ultrasonic power on longan polysaccharides yield

2.1.3 酶解温度

温度对多糖提取率的影响主要在于影响溶质的扩散和酶的活性。温度越高,体系中溶液的粘度越低,有助于胞内多糖分子向外扩散。在温度的升高过程中,纤维素酶的酶活表现为先增后减。由不同的酶解温度下龙眼多糖的提取率(图3)可知,提取率在40~55℃之间呈显著增加($P < 0.05$)的趋势,温度大于55℃后,酶活受到抑制,多糖提取率反而下降($P < 0.05$)。因此,选取酶解温度在50~60℃范围内较好。

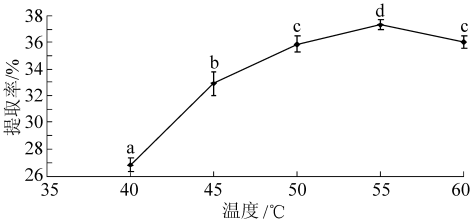


图3 酶解温度对龙眼多糖提取率的影响曲线
Fig. 3 Effect of enzymolysis temperature on longan polysaccharides yield

2.1.4 酶解 pH 值

pH 值是影响酶活的主要因素之一。由不同酶解 pH 值下龙眼多糖的提取率(图4)可知,在 pH 值5.0 时的纤维素酶活较强,故多糖提取率相对较高($P < 0.05$),较酸的条件可能导致多糖的水解,所以多糖提取率随 pH 值的增加先急剧升高后减少。选择酶解 pH 值为4.5~5.5 较合适。

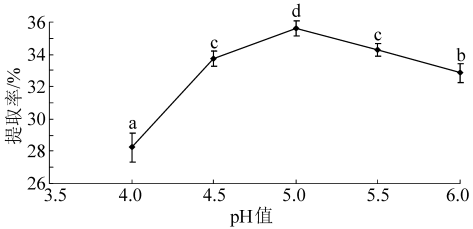


图4 酶解 pH 值对龙眼多糖提取率的影响曲线
Fig. 4 Effect of enzymolysis pH on longan polysaccharides yield

2.1.5 酶解时间

图5为酶解时间对龙眼多糖提取率的影响。龙眼多糖提取率随酶解时间的延长逐渐增大,当时间超过60 min 后,提取率在40 min 内没有显著变化($P > 0.05$)。表明经60 min 超声波-酶解处理,大部分的龙眼多糖都已溶出,再延长提取时间没有意义。

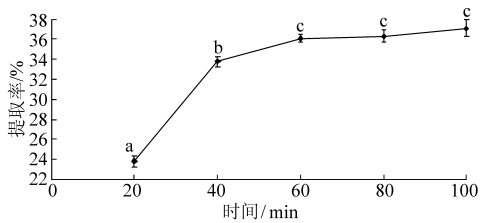


图5 酶解时间对龙眼多糖提取率的影响曲线
Fig. 5 Effect of enzymolysis time on longan polysaccharides yield

2.2 多因素试验

试验安排与结果如表2所示。

2.2.1 回归模型的检验

以酶添加量 X_1 、超声波功率 X_2 、酶解温度 X_3 、pH 值 X_4 、时间 X_5 为试验因素,龙眼多糖提取率 Y 为考察指标的回归模型为

$$Y = 37.23 + 1.77X_1 - 3.22X_2 + 0.34X_3 - 0.11X_4 + 2.40X_5 - 1.75X_1^2 - 0.55X_1X_2 + 0.07X_1X_3 - 0.23X_1X_4 + 1.46X_1X_5 - 6.24X_2^2 - 0.01X_2X_3 - 0.17X_2X_4 - 0.77X_2X_5 - 2.87X_3^2 - 0.04X_3X_4 - 0.50X_3X_5 - 2.57X_4^2 + 0.14X_4X_5 - 2.07X_5^2 \quad (1)$$

回归模型的方差分析(表3)表明,此模型的决定系数 R^2 为0.96,响应面回归模型达到极显著水平($P < 0.01$),逐项显著性检验结果表明,一次项、二次项对试验结果有极显著影响,交互项对试验结

表 2 试验设计及结果

Tab.2 Experimental design and results

试验序号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y/%	试验序号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y/%
1	-1	-1	0	0	0	29.60	24	1	0	0	1	0	35.44
2	-1	1	0	0	0	24.68	25	0	-1	-1	0	0	32.48
3	1	-1	0	0	0	33.72	26	0	-1	1	0	0	33.15
4	1	1	0	0	0	26.60	27	0	1	-1	0	0	24.29
5	0	0	-1	-1	0	31.56	28	0	1	1	0	0	24.92
6	0	0	-1	1	0	31.21	29	0	0	-1	0	-1	29.01
7	0	0	1	-1	0	32.33	30	0	0	-1	0	1	35.57
8	0	0	1	1	0	31.81	31	0	0	1	0	-1	30.29
9	0	-1	0	0	-1	28.77	32	0	0	1	0	1	34.87
10	0	-1	0	0	1	35.48	33	-1	0	0	0	-1	32.77
11	0	1	0	0	-1	23.62	34	-1	0	0	0	1	33.03
12	0	1	0	0	1	27.26	35	1	0	0	0	-1	32.19
13	-1	0	-1	0	0	29.27	36	1	0	0	0	1	38.28
14	-1	0	1	0	0	30.22	37	0	-1	0	-1	0	30.87
15	1	0	-1	0	0	33.49	38	0	-1	0	1	0	31.05
16	1	0	1	0	0	34.71	39	0	1	0	-1	0	26.39
17	0	0	0	-1	-1	29.47	40	0	1	0	1	0	25.88
18	0	0	0	-1	1	34.47	41	0	0	0	0	0	37.74
19	0	0	0	1	-1	29.04	42	0	0	0	0	0	36.53
20	0	0	0	1	1	34.62	43	0	0	0	0	0	38.00
21	-1	0	0	-1	0	31.14	44	0	0	0	0	0	36.64
22	-1	0	0	1	0	31.45	45	0	0	0	0	0	37.42
23	1	0	0	-1	0	36.06	46	0	0	0	0	0	37.03

表 3 回归模型方差分析

Tab.3 Analysis of variance with regression model					
方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值
X_1	1	50.16	50.16	50.14	<0.000 1
X_2	1	165.64	165.64	165.58	<0.000 1
X_3	1	1.84	1.84	1.84	0.187 6
X_4	1	0.20	0.20	0.20	0.658 4
X_5	1	92.26	92.26	92.22	<0.000 1
X_1X_2	1	1.21	1.21	1.21	0.281 9
X_1X_3	1	0.02	0.02	0.02	0.893 7
X_1X_4	1	0.22	0.22	0.22	0.646 0
X_1X_5	1	8.50	8.50	8.49	0.007 4
X_2X_3	1	0	0	0	0.984 2
X_2X_4	1	0.12	0.12	0.12	0.733 0
X_2X_5	1	2.36	2.36	2.36	0.137 4
X_3X_4	1	0.01	0.01	0.01	0.933 0
X_3X_5	1	0.98	0.98	0.98	0.331 7
X_4X_5	1	0.08	0.08	0.08	0.774 2
X_1^2	1	26.66	26.66	26.65	<0.000 1
X_2^2	1	339.68	339.68	339.56	<0.000 1
X_3^2	1	71.91	71.91	71.88	<0.000 1
X_4^2	1	57.62	57.62	57.60	<0.000 1
X_5^2	1	37.53	37.53	37.52	<0.000 1
回归	20	680.95	0.96	34.04	<0.000 1
线性	5	310.09	0.44	62.00	<0.000 1
平方	5	357.37	0.51	71.45	<0.000 1
交互	10	13.49	0.02	1.35	0.259 9
参差	25	25.01	1.00		
总离差	45	705.96			

果无显著影响。各因素对龙眼多糖提取率的影响程度从大到小依次为:超声波功率、酶解时间、酶添加量、酶解温度、酶解 pH 值。从表 3 对回归模型系数的显著性分析可见, X_1 、 X_2 、 X_5 、 X_1^2 、 X_1X_5 、 X_2^2 、 X_3^2 、 X_4^2 和 X_5^2 项系数显著性均达极显著水平($P<0.01$), X_3 和 X_2X_5 项在可接受水平,其余项均大于 0.25。如将不显著项舍去,会导致回归模型改变^[9],故通过 GLM Procedure 对模型处理,保留 $P<0.25$ 的各项,得到优化后回归模型为

$$Y=37.23+1.77X_1-3.22X_2+0.34X_3+2.40X_5-1.75X_1^2+1.46X_1X_5-6.24X_2^2-0.77X_2X_5-2.87X_3^2-2.57X_4^2-2.07X_5^2$$

(2)

对式(2)进行方差分析,其决定系数 R^2 为 0.96,离均差为 0.91。由表 4 可见,优化后回归模型各项系数显著性水平与优化前相比较为理想。

2.2.2 双因素交互作用分析

由表 3 可知,所建立的提取数据模型中仅 X_1X_5 的交互作用达极显著水平,即酶添加量和酶作用时间之间的交互作用对龙眼多糖的提取率有极显著影响($P<0.01$),其交互作用响应面如图 6 所示。

从图 6 可以看出,提取率随酶添加量和酶解时间的变化会产生较大变化。其他因素固定在零水平的条件下,当酶添加量处于较低水平时,提取率在短时间内有较明显的提高,当酶解时间高于零水平后,

提取率反呈现出下降趋势;当酶添加量处于较高水平时,提取率随酶解时间的延长逐渐提高,并在接近时间高水平时提取率趋于稳定;当酶解时间一定时,趋势与上述类似。

表 4 GLM 回归分析优化后模型的系数检验

Tab.4 Parameters estimation of the regression model of quadratic response

系数	估计值	标准误差	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
截距	37.23	0.37	100.76	<0.000 1
X_1	1.77	0.23	7.83	<0.000 1
X_2	-3.22	0.23	-14.22	<0.000 1
X_3	0.34	0.23	1.50	0.143 5
X_5	2.40	0.23	10.61	<0.000 1
X_1^2	-1.75	0.31	-5.71	<0.000 1
X_1X_5	1.46	0.45	3.22	0.002 8
X_2^2	-6.23	0.31	-20.37	<0.000 1
X_2X_5	-0.77	0.45	-1.70	0.099 0
X_3^2	-2.87	0.31	-9.37	<0.000 1
X_4^2	-2.57	0.31	-8.39	<0.000 1
X_5^2	-2.07	0.31	-6.77	<0.000 1

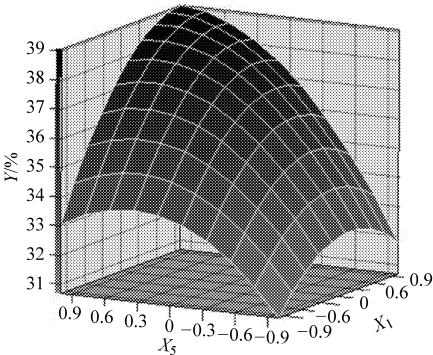


图 6 酶添加量和酶解时间对龙眼多糖提取率的交互作用分析

Fig.6 Interaction of the amount of enzyme added and enzymolysis time on the extraction yield of longan polysaccharides

2.2.3 最佳条件优化

由 RSREG Procedure 分析得到一个稳定点,该点各因子的编码值为 $X_1 = 0.98$ 、 $X_2 = -0.36$ 、 $X_3 = -0.02$ 、 $X_4 = -0.03$ 、 $X_5 = 0.99$,对应酶添加量为 1 988.83 U/g,超声波功率为 245.78 W,酶解温度为 54.93℃,pH 值为 4.99,时间为 59.80 min,在此条件下,得到最大理论值的提取率为 39.86%。为便于实际应用,确定龙眼多糖提取的工艺条件为:酶添加

量为 2 000 U/g,超声波功率为 250 W,酶解温度为 55℃,pH 值为 5.0,时间为 60 min。在上述修正条件下,验证试验测得提取率为 38.71%,回归模型预测提取率理论值可达 39.67%,实际测得值比理论预测值仅低 0.96%。

2.3 不同提取方法的对照试验结果

不同提取方法的龙眼多糖提取率比较如下:本文优化的超声波-酶解法所测得的多糖提取率(38.71%)要显著高于其他 4 种提取方法($P < 0.05$);微波法和超声波法的提取率分别为 34.72%和 34.36%,两者没有显著性差异($P > 0.05$);纤维素酶酶解辅助提取龙眼多糖的得率为 32.30%;传统热水浸提法的多糖提取率(28.86%)最低,且与其他方法的多糖提取率存在显著差异($P < 0.05$)。

3 讨论

上述研究结果表明,就龙眼多糖提取率而言,超声波-酶解辅助提取法要显著优于对照试验的热水法、微波法、超声波法和酶法,超声波和纤维素酶辅助浸提都能有效提高龙眼多糖的提取率;微波法和超声波法的多糖提取率没有显著差异,后者优势在于省时节能。故采用超声波和酶解结合工艺能有效提高龙眼多糖的得率和效率。但纤维素酶和超声波都可能对多糖的分子结构和理化性质产生影响^[10~11],而这两方面都与多糖生物活性有着密切的联系^[12~13]。Yang B 等^[1,14~15]的研究表明,超声波影响龙眼多糖的抗氧化和抗糖化活性,并引起多糖微观结构的重排。所以,对于超声波-酶法辅助提取的龙眼多糖与其他提取方式得到的龙眼多糖是否存在结构和理化性质上的差别,以及多糖的生物活性是否有差异,需进一步研究探讨。

4 结束语

采取 Box-Benhnken 中心组合试验设计方法,建立了酶添加量、超声波功率、酶解温度、pH 值和时间五因素的龙眼多糖超声波-酶解辅助提取的数学模型,最佳工艺参数为:纤维素酶添加量为 2 000 U/g,超声波功率为 250 W,酶解温度为 55℃,pH 值为 5.0,时间为 60 min,在此工艺条件下的龙眼多糖的提取率达 38.71%,比传统热水法、酶法、超声波法和微波法分别高 9.85%、6.41%、4.35%和 3.99%,且差异达到显著水平($P < 0.05$),表明超声波和酶解相结合可以显著提高龙眼多糖的提取率。

参 考 文 献

1 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食品成分表[M]. 北京:人民卫生出版社,2002.

- 2 王玲,籍保平.龙眼多糖结构和性质的研究[J].食品研究与开发,2006,27(10):23~27.
Wang Ling, Ji Baoping. Study on structure and characteristic for longan polysaccharide [J]. Food Research and Development, 2006, 27(10): 23~27. (in Chinese)
- 3 Yang C X, He N, Ling X P, et al. The isolation and characterization of polysaccharides from longan pulp [J]. Separation and Purification Technology, 2008, 63(1): 226~230.
- 4 郑少泉,姜帆,高慧颖,等.超声波法提取龙眼多糖工艺研究[J].中国食品学报,2008,8(2):76~79.
Zheng Shaoquan, Jiang Fan, Gao Huiying, et al. Study on the ultrasonic extraction of longan polysaccharide [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 8(2): 76~79. (in Chinese)
- 5 王统一,赵兵,王玉春.正交试验-人工神经网络模型优化龙眼多糖的超声提取工艺[J].中草药,2006,37(10):1 514~1 516.
- 6 王玲,籍保平.龙眼粗多糖提取的影响因素及工艺的研究[J].现代食品科技,2006,22(3):53~56.
Wang Ling, Ji Baoping. Study on the extraction technology of polysaccharide from longan [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(3): 53~56. (in Chinese)
- 7 杨翠娟,李清彪,凌雪萍,等.应用微波前处理-热水浸提技术提取龙眼多糖[J].化工学报,2007,58(8):2 004~2 009.
Yang Cuixian, Li Qingbiao, Ling Xueping, et al. Hot water extraction of longan polysaccharide assisted by microwave pretreatment [J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2007, 58(8): 2 004~2 009. (in Chinese)
- 8 张惟杰.糖复合物生化研究技术[M].杭州:浙江大学出版社,1998:10~11.
- 9 袁志发,周静芋.试验设计与分析[M].北京:高等教育出版社,2000:381.
- 10 刘富梁,金卫根,梁华正,等.酶法在中药提取中的研究进展[J].时珍国医国药,2006,17(7):1 152~1 153.
Liu Fuliang, Jin Weigen, Liang Huazheng, et al. Advances on application of enzyme to extraction of Chinese native medicine[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2006, 17(7): 1 152~1 153. (in Chinese)
- 11 聂凌鸿.淮山活性多糖的分离纯化、结构与生物活性的研究[D].广州:华南理工大学,2004.
Nie Linghong. Study on isolation, purification, structure and biological activity of active polysaccharides from *Dioscorea Fordii Prain et Burkill* [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2004. (in Chinese)
- 12 王兆梅,李琳,郭祀远,等.活性多糖构效关系研究评述[J].现代化工,2002,22(8):18~22.
Wang Zhaomei, Li Lin, Guo Qiyuan, et al. Review on structure-activity relationship of active polysaccharides [J]. Modern Chemical Industry, 2002, 22(8): 18~22. (in Chinese)
- 13 孙群,阚健全,赵国华,等.活性多糖构效关系研究进展[J].广州食品工业科技,2004,20(1):104~106.
Sun Qun, Kan Jianquan, Zhao Guohua, et al. The studying on structure-activity relationship of active polysaccharides [J]. Guangzhou Food Science and Technology, 2004, 20(1): 104~106. (in Chinese)
- 14 Yang B, Jiang Y M, Zhao M M, et al. Effects of ultrasonic extraction on the physical and chemical properties of polysaccharides from longan fruit pericarp [J]. Polymer Degradation and Stability, 2008, 93(1): 268~272.
- 15 Yang B, Zhao M M, Jiang Y M. Anti-glycated activity of polysaccharides of longan (*Dimocarpus longan Lour.*) fruit pericarp treated by ultrasonic wave[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 629~633.

(上接第 157 页)

- 10 蒋焕煜,彭永石,申川,等.基于双目立体视觉技术的成熟西红柿识别与定位[J].农业工程学报,2008,24(8):279~283.
Jiang Huanyu, Peng Yongshi, Shen Chuan, et al. Recognizing and locating ripe tomatoes based on binocular stereovision technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 279~283. (in Chinese)
- 11 Kanuma T, Torii T. Image analysis of crop row and position identification[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 1997, 59(2): 57~63.
- 12 贾云得.机器视觉[M].北京:科学出版社,2000.
- 13 章毓晋.图像分割[M].北京:科学出版社,2001.
- 14 程培英.一种新颖的 Ostu 图像阈值分割方法[J].计算机应用与软件,2009,22(5):228~231.
Cheng Peiying. A novel Ostu segmentation algorithm for image threshold[J]. Computer Applications and Software, 2009, 22(5): 228~231. (in Chinese)
- 15 刘兆祥,刘刚,乔军.苹果采摘机器人三维视觉传感器设计[J].农业机械学报,2010,41(2):171~175.
Liu Zhaoxiang, Liu Gang, Qiao Jun. Development of a 3-dimension vision sensor in apple harvesting robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 171~175. (in Chinese)