

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.08.030

# 龙眼多糖树脂脱色工艺优化\*

易阳<sup>1</sup> 张名位<sup>2</sup> 廖森泰<sup>2</sup> 魏振承<sup>2</sup> 唐小俊<sup>2</sup> 张瑞芬<sup>2</sup>

(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, 广州 510610)

**【摘要】** 以脱色率、多糖保留率、蛋白质去除率及3个指标的加权综合评分比较8种树脂对龙眼多糖的脱色效果,并筛选出效果较好的离子交换树脂D301-F,通过单因素和正交试验进一步优化其脱色工艺条件。结果表明:当龙眼多糖溶液质量分数为4%时,选用离子交换树脂D301-F,在料液比为0.16 g/mL、溶液pH值为5、温度为50℃条件下的脱色率可达90.21%,多糖保留率为85.75%,蛋白质去除率为73.12%。龙眼多糖中的色素可能主要以带负电荷的非极性小分子为主,采用离子交换树脂脱色是一种有效的纯化方法。

**关键词:** 龙眼 多糖 脱色 树脂 工艺 优化

**中图分类号:** TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0146-05

## Optimization of De-coloration Technology for Polysaccharides from Longan Pulp

Yi Yang<sup>1</sup> Zhang Mingwei<sup>2</sup> Liao Sentai<sup>2</sup> Wei Zhencheng<sup>2</sup> Tang Xiaojun<sup>2</sup> Zhang Ruifen<sup>2</sup>

(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

De-coloration rate, polysaccharides holding rate and protein removal rate of eight resins on longan polysaccharides were studied. The results showed that anion exchange resin D301-F presented good de-colorizing effects. De-colorizing experiments were carried out by single experiment and orthogonal experiment. The data indicated that the colorants were most possibly small-molecular-weight substances with negative charge. The optimum technological parameters were as follows: the ratio for resin and crude polysaccharides solution (the mass ratio was 4%) was 0.16 g/mL under the condition of 50℃ and pH value 5. The de-coloration rate was 90.21%, the polysaccharides holding rate was 85.75%, the protein removal rate was 73.12%.

**Key words** Longan, Polysaccharide, De-coloration, Resin, Technology, Optimization

### 引言

由于植物多糖本身结构比较复杂,种类繁多,其分离纯化和结构鉴定存在一定的难度,进而影响多糖生物活性机理的研究,制约其在相关领域应用。现代研究表明,龙眼多糖具有抗氧化、增强免疫及抑制酪氨酸酶活性等功能<sup>[1-7]</sup>。故龙眼多糖的纯化研究,对其精深加工和龙眼产业的发展均具有重要的意义。

龙眼粗多糖纯度较低,呈棕褐色,分离纯化时,需先脱除蛋白质和色素等杂质。目前,大多采用 Sevag 法结合酶法脱除龙眼粗多糖中蛋白<sup>[6,8]</sup>,再通过透析或有机溶剂洗涤除去色素等杂质<sup>[8]</sup>,但该工艺需重复多次萃取以达到较高的蛋白质去除率,导致多糖损失偏多,耗时较长,且详细的脱色、脱蛋白工艺设计及结果尚未见报道。大孔树脂能有效除去多种多糖中的色素和蛋白质<sup>[9-11]</sup>,

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

此法不仅条件温和、工艺简便、纯化效率高,且利于保持多糖的活性及避免有机试剂带来的残留危害,将大孔树脂用于龙眼多糖脱色是有效的纯化方法之一。本文在考察 8 种大孔树脂对龙眼多糖溶液的脱色效果的基础上,选择最好的树脂类型设计脱色工艺的单因素和正交试验,并对该工艺进行优化,旨在为龙眼多糖的分离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 龙眼粗多糖的制备

鲜龙眼品种储良由广东省农业科学院果树研究所提供,经干燥,剥取果肉粉碎,由优化的提取工艺制备龙眼粗多糖。工艺流程为:取龙眼干果肉,以料液比 0.025 g/mL 加水浸泡;调节 pH 值为 5.0 和温度为 55℃,加入 2 000 U/g 的纤维素酶;于 250 W 超声场中作用 60 min,升温至 80℃ 灭酶;保温继续浸提 2 h 后抽滤,经真空浓缩后用体积分数 75% 乙醇沉淀;沉淀经真空冷冻干燥后得龙眼粗多糖。

#### 1.1.2 离子交换树脂和吸附树脂

阴离子交换树脂 D301-F、D318 和大孔吸附树脂 DA201-C-II、DA201-B 购自江苏苏青水处理工程集团有限公司;大孔吸附树脂 D3520、NKA 购自南开大学化工厂;大孔吸附树脂 HPD-100A、HPD-700 购自沧州宝恩化工有限公司。树脂的预处理方法参照文献[9]。

#### 1.1.3 仪器与试剂

离心机,上海安亭科学仪器厂;恒温振荡器,常州澳华仪器有限公司;PHS-25 型 pH 计,上海虹益仪器仪表有限公司;旋转蒸发器,上海爱朗仪器有限公司;紫外可见分光光度计,日本岛津有限公司;考马斯亮兰蛋白测定试剂盒,南京建成科技有限公司;纤维素酶(酶活大于或等于 200 U/mg),瑞士 Fluka AG 公司;NaCl、NaOH、盐酸、硫酸、苯酚等均 为国产分析纯。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 脱色树脂的筛选

采用静态吸附法,取 10.0 g 处理好的大孔树脂于 100 mL 三角瓶中,加入质量分数为 4% 的龙眼粗多糖溶液 50 mL,室温下以 120 r/min 振荡 2 h。振荡结束后,过滤分离溶液。比较不同树脂处理的多糖溶液的脱色率、多糖保留率、蛋白质去除率及综合评分,并筛选出脱色效果最好的树脂类型。

#### 1.2.2 树脂脱色的单因素试验

将筛选出的最优树脂,分别对料液比(树脂质

量和龙眼粗多糖溶液体积之比)、pH 值、温度和时间进行单因素试验,按 1.2.1 节测定龙眼多糖溶液的脱色率、多糖保留率、蛋白质去除率。单因素试验时各因素取值范围为:

(1) 料液比:0.04、0.08、0.12、0.16、0.20 g/mL。

(2) pH 值:4.0、5.0、6.0、7.0、8.0。

(3) 温度:20、30、40、50、60℃。

(4) 时间:0.5、1、2、3、4 h。

#### 1.2.3 树脂 D301-F 脱色的多因素正交试验

在单因素试验的基础上,采取三因素三水平( $L_9(3^4)$ )正交试验,确定所选树脂对龙眼多糖溶液的最佳脱色工艺条件,3 次重复。试验因素及水平如表 1 所示。

表 1 正交试验因素和水平

Tab.1 Orthogonal experimental level and factors

水平	因素		
	料液比 A/g·mL <sup>-1</sup>	pH 值 B	温度 C/℃
1	0.08	5.0	30
2	0.12	6.0	40
3	0.16	7.0	50

#### 1.2.4 分析方法

蛋白质采用考马斯亮兰蛋白测定法。

脱色率、多糖保留率以及蛋白质去除率的测定及计算方法参照文献[9]。

综合评分的计算:对脱色率、多糖保留率及蛋白质去除率的权重系数分别取 0.4、0.3 和 0.3,3 项指标进行加权求和,通过如下公式得到综合评分

$$u = 0.4x + 0.3y + 0.3z$$

式中  $u$ ——综合评分,%

$x$ ——脱色率,%

$y$ ——多糖保留率,%

$z$ ——蛋白质去除率,%

#### 1.2.5 数据处理

采用软件 SPSS 11.5 进行统计分析。多组间均数进行方差齐性检验、单因素方差分析,组间两两比较采用 S-N-K 检验( $\alpha = 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 树脂的脱色效果

8 种树脂对龙眼多糖溶液的脱色结果如表 2 所示。由表可知,树脂 D301-F 的脱色率显著高于其他的树脂( $P < 0.05$ ),树脂 D318 次之,除树脂 NKA 以外的其他 5 种树脂的脱色率都在 60% 左右。树脂 D301-F 和 D318 的多糖保留率没有显著差异( $P > 0.05$ ),且都显著高于其他 6 种树脂( $P <$

0.05)。HPD-100A 的蛋白质去除率显著低于其他树脂( $P < 0.05$ )，两种 DA201 树脂的蛋白质去除率较为接近( $P > 0.05$ )，另外的 5 种树脂的蛋白质去除率均在 65% 左右，且没有显著差异( $P > 0.05$ )。

8 种树脂的综合评分与脱色率类似，树脂 D301-F 最高，D318 次之( $P < 0.05$ )。综上所述，树脂 D301-F 对龙眼多糖溶液脱色的 4 项评价指标都达显著性最高水平，故选取该树脂对脱色工艺加以优化。

表 2 8 种树脂对龙眼多糖溶液的脱色效果

Tab. 2 De-coloration effects of eight types of resin on longan polysaccharides

树脂种类	脱色率 $x/\%$	多糖保留率 $y/\%$	蛋白质去除率 $z/\%$	综合评分 $u/\%$
D301-F	81.21 ± 1.16 <sup>a</sup>	88.07 ± 2.01 <sup>a</sup>	66.69 ± 1.59 <sup>a</sup>	78.91 ± 1.54 <sup>a</sup>
D318	70.26 ± 1.59 <sup>b</sup>	84.65 ± 1.80 <sup>a</sup>	63.90 ± 1.27 <sup>a</sup>	72.67 ± 1.56 <sup>b</sup>
DA201-B	59.29 ± 1.64 <sup>d</sup>	73.23 ± 2.08 <sup>bc</sup>	44.91 ± 2.05 <sup>b</sup>	59.16 ± 1.90 <sup>d</sup>
DA201-C-II	60.95 ± 2.02 <sup>d</sup>	65.42 ± 2.47 <sup>d</sup>	42.23 ± 1.82 <sup>b</sup>	56.68 ± 2.10 <sup>de</sup>
D3520	66.62 ± 1.81 <sup>c</sup>	68.49 ± 1.91 <sup>cd</sup>	65.82 ± 1.40 <sup>a</sup>	66.94 ± 1.72 <sup>c</sup>
NKA	32.96 ± 1.86 <sup>e</sup>	71.11 ± 2.30 <sup>c</sup>	66.02 ± 1.97 <sup>a</sup>	54.32 ± 2.02 <sup>e</sup>
HPD-100A	57.73 ± 2.66 <sup>d</sup>	70.10 ± 2.16 <sup>c</sup>	31.23 ± 1.21 <sup>c</sup>	53.49 ± 2.08 <sup>e</sup>
HPD-700	59.38 ± 1.88 <sup>d</sup>	76.20 ± 1.41 <sup>b</sup>	66.04 ± 2.11 <sup>a</sup>	66.42 ± 1.81 <sup>c</sup>

注：表中不同小写英文字母表示 0.05 水平的差异显著性。

## 2.2 树脂 D301-F 脱色的单因素试验

### 2.2.1 料液比

不同料液比对龙眼多糖溶液脱色效果的影响如图 1 所示。由图可以看出，随着料液比的增加，多糖保留率显著减小( $P < 0.05$ )，蛋白质去除率显著增大( $P < 0.05$ )，脱色率也呈增大的趋势，但当料液比超过 0.12 g/mL 后，脱色率增加不显著( $P > 0.05$ )。选择 0.08、0.12、0.16 g/mL 作为正交试验的 3 个水平。

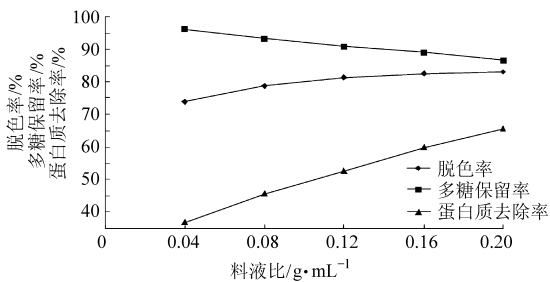


图 1 料液比对脱色率、多糖保留率和蛋白质去除率的影响

Fig. 1 Effects of resin mass on de-coloration rate, polysaccharides holding rate and protein removal rate

### 2.2.2 pH 值

不同 pH 值条件对龙眼多糖溶液脱色效果的影响如图 2 所示。在不同 pH 值条件下，色素的离解程度和极性都会有所差异，从而影响树脂对色素的吸附。在酸性环境中，氨基酸的离解随 pH 值升高而减弱，吸附效果降低，蛋白质去除率减小。由图可见，在 pH 值为 4.0~7.0 范围内，脱色率和蛋白质去除率随 pH 值的增大而显著减小( $P < 0.05$ )。过酸会导致多糖部分降解，pH 值为 4.0 时的多糖

保留率要显著低于其他 pH 值条件( $P < 0.05$ )。故选择 pH 值 5.0、6.0、7.0 作为正交试验的研究水平。

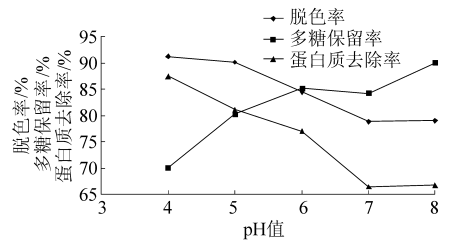


图 2 pH 值对脱色率、多糖保留率和蛋白质去除率的影响

Fig. 2 Effects of pH on de-coloration rate, polysaccharides holding rate and protein removal rate

### 2.2.3 温度

温度是影响离子交换树脂吸附性能的一个重要因素，其对龙眼多糖溶液脱色效果的影响如图 3 所示。由图可以看出，随着温度的升高，脱色率先显著增大再显著减小( $P < 0.05$ )。在温度升高的过程中，溶质的扩散速度加快，溶液粘度下降，有利于色素的吸附。但吸附为一个放热过程，温度过高，解吸速度也加快，脱色率在温度超过 40℃ 后呈下降趋势。多糖保留率则随温度的升高而增大，当温度大于 40℃ 后无显著差异( $P < 0.05$ )。可能因为龙眼糖溶液中蛋白质自身的性质，树脂的活化对蛋白质的吸附影响程度较大，蛋白质去除率随温度的升高而显著增大( $P < 0.05$ )。选定正交试验的 3 个温度水平为 30、40、50℃。

### 2.2.4 时间

不同的处理时间对龙眼多糖溶液脱色效果的影

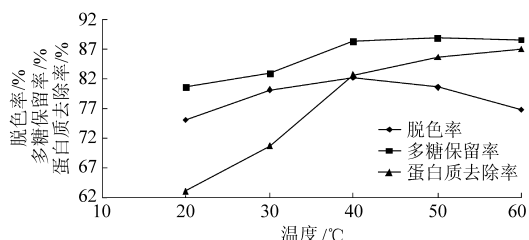


图 3 温度对脱色率、多糖保留率和蛋白质去除率的影响

Fig. 3 Effects of temperature on de-coloration rate, polysaccharides holding rate and protein removal rate

响如图 4 所示。由图可见,脱色率和蛋白质去除率随脱色时间的延长而增大,多糖保留率随之减小。3 个指标在时间超过 2.0 h 后的变化趋势都变得平缓,3.0 h 和 4.0 h 时的 3 个指标都不存在显著差异 ( $P > 0.05$ ),为节省时间,降低成本,选定脱色处理时间为 2.0 h。

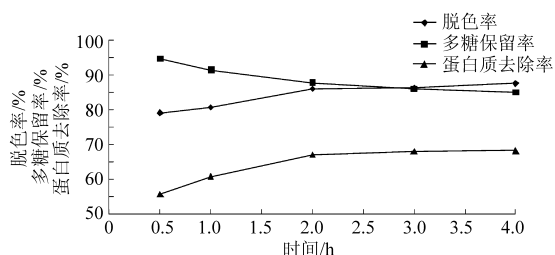


图 4 时间对脱色率、多糖保留率和蛋白质去除率的影响

Fig. 4 Effects of time on de-coloration rate, polysaccharides holding rate and protein removal rate

### 2.3 树脂 D301-F 脱色的正交试验

对树脂 D301-F 脱色正交试验结果(表 3)进行极差和方差分析,结果如表 4、5 所示。根据表 4 中的  $R$  值可以看出,影响龙眼多糖脱色率和多糖保留率的因素主次顺序为 pH 值、料液比、温度,而影响蛋白质去除率和综合评分的因素主次顺序为料液比、pH 值、温度。并根据综合评分选择最佳的工艺条件为  $A_3B_1C_3$ ,即料液比为 0.16 g/mL, pH 值为 5.0,温度为 50°C,在此条件下的龙眼粗多糖的脱色率可达到 90.21%,多糖保留率为 85.75%,蛋白质

去除率 73.12%。由正交试验的方差分析结果(表 5)可知,树脂用量和 pH 值对脱色率和综合评分指标有极显著影响 ( $P < 0.01$ ),温度对综合评分有显著影响 ( $P < 0.05$ ),3 个考察因素对多糖保留率和蛋白质去除率均无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

表 3 树脂 D301-F 脱色的正交试验设计及结果

Tab. 3 Design and results of orthogonal experiment

序号	A	B	C	x/%	y/%	z/%	u/%
1	1	1	1	84.17	87.48	57.33	77.11
2	1	2	2	79.77	88.79	59.89	76.51
3	1	3	3	77.72	93.46	56.82	76.17
4	2	1	2	91.21	86.54	68.52	83.00
5	2	2	3	83.38	91.40	65.41	80.40
6	2	3	1	81.42	89.62	60.01	77.46
7	3	1	3	90.21	85.75	73.12	83.75
8	3	2	1	83.14	87.19	64.27	78.69
9	3	3	2	82.99	90.15	63.64	79.33

### 3 讨论

阴离子交换树脂的阴离子通过离子键的形式与色素阴离子交换,并且色素的非极性部分与树脂基质中的基团以疏水力结合,从而达到脱色的目的。非极性大孔吸附树脂,具有疏水性的表面结构,通过与分子内的疏水基相互作用进行吸附,适宜从极性溶液中吸附非极性溶质<sup>[10]</sup>。由表 2 可以看出,阴离子交换树脂 D318 和 D301-F 的脱色率都在 70% 以上,除 NKA 外的大孔吸附树脂的脱色率也超过 50%,说明多糖溶液中色素主要为带负电荷的非极性分子。树脂聚合物所具有的网眼大小必须与溶液中色素分子的大小相适应才能达到吸附效果,而脱色效果较差的树脂 NKA 孔径(20~22 nm)最大,其余吸附树脂的孔径分布在 10 nm 以下,由此推测龙眼多糖溶液中色素主要为小分子。综合分析龙眼多

表 4 树脂 D301-F 脱色的正交试验极差分析表

Tab. 4 Range analysis of orthogonal experiment

指标	x/%			y/%			z/%			u/%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$k_1$	80.55	88.53	82.91	89.91	86.59	88.10	58.01	66.32	60.54	76.60	81.29	77.75
$k_2$	85.34	82.10	84.66	89.19	89.13	88.49	64.65	63.19	64.02	80.29	78.53	79.61
$k_3$	85.45	80.71	83.77	87.70	91.08	90.08	67.01	60.15	65.12	80.59	77.65	80.11
极差 R	4.90	7.82	1.75	2.21	4.49	1.98	9.00	6.17	4.58	3.99	3.64	2.36
影响主次顺序	B、A、C			B、A、C			A、B、C			A、B、C		
最佳条件	$B_1A_2C_2$			$B_3A_1C_3$			$A_3B_1C_3$			$A_3B_1C_3$		

表5 树脂 D301-F 脱色的正交试验方差分析表  
Tab.5 Variance analysis of orthogonal experiment

指标	因素	自由度	平方和	均方	F 值	P 值
脱色率	A	2	46.837 1	23.418 5	119.435 0	0.008 3
	B	2	104.463 0	52.231 5	266.381 6	0.003 7
	C	2	4.576 6	2.288 3	11.670 4	0.078 9
多糖保留率	A	2	7.642 2	3.821 1	1.895 6	0.345 3
	B	2	30.367 4	15.183 7	7.532 5	0.117 2
	C	2	7.519 5	3.759 7	1.865 2	0.349 0
蛋白质去除率	A	2	130.526 5	65.263 2	17.758 5	0.053 3
	B	2	57.046 7	28.523 3	7.761 4	0.114 1
	C	2	34.296 8	17.148 4	4.666 2	0.176 5
综合评分	A	2	29.654 8	14.827 4	145.493 6	0.006 8
	B	2	21.556 4	10.778 2	105.760 6	0.009 4
	C	2	9.241 2	4.620 6	45.339 3	0.021 6

糖中的色素可能以带负电荷的非极性小分子色素为主。

大孔树脂对植物多糖的脱蛋白和脱色处理有着广泛的应用,其中主要是采用阴离子交换树脂直接除去蛋白质和色素<sup>[9-12]</sup>;也有采用阳离子交换树脂吸附多糖以除去这两类杂质<sup>[13-14]</sup>;吸附树脂对植物多糖中蛋白质和色素也有一定的脱除能力,但往往达到理想纯化效果的都是离子交换型树脂<sup>[9-12]</sup>,这主要取决于树脂的性能和被吸附物质的性质。3种

被考察的吸附物质,多糖是基本呈中性的弱极性的高分子物质,而色素大多属于阴离子型分子,蛋白质是具有两性的高分子物质,在一定的 pH 值下能电离呈离子型,离子交换型树脂可能比吸附型树脂对离子态的色素和蛋白质具有更为有效的吸附能力。

植物多糖可能原本与色素或蛋白质结合,脱去色素或蛋白的多糖其活性不一定得到提高。糖链末端共价结合蛋白或糖链上酸性基团与蛋白质氨基酸静电吸引,也都可能影响糖链的构象变化,影响其活性是必然的<sup>[15]</sup>。故对于脱色、除蛋白前后龙眼多糖活性的是否存在差异,以及相关的机理还有待于更深入的探讨。

#### 4 结束语

以脱色率、多糖保留率、蛋白质去除率及综合评分为考察指标,从8种树脂中筛选出对龙眼多糖溶液脱色效果最为优异的离子交换树脂 D301-F,并以该树脂进行单因素和正交试验优化脱色工艺。结果表明:当龙眼多糖溶液质量分数4%时,选用离子交换树脂 D301-F,在料液比为0.16 g/mL、溶液 pH 值为5、温度为50℃条件下的脱色率可达90.21%,多糖保留率为85.75%,蛋白质去除率为73.12%。表明离子交换树脂是纯化龙眼多糖有效方法之一,该方法条件温和,纯化效果较好,操作简便,为龙眼多糖的分离纯化和活性研究提供了新的参考。

#### 参 考 文 献

- 1 蔡长河,唐小浪,张爱玉,等. 龙眼果肉的食疗价值及其开发应用前景[J]. 食品科学,2002,23(8):328~330.
- 2 王慧琴,白洁尘,蒋保季,等. 龙眼肉提取液抗自由基及免疫增强作用的实验研究[J]. 中国老年学杂志,1994,14(4):227~229.
- 3 黄建蓉,李琳,李冰. 龙眼肉生理功效和活性成分的研究进展[J]. 食品工业科技,2007(3):97~100.
- 4 陈冠敏,陈润,张荣标,等. 龙眼多糖口服液免疫调节功能的实验研究[J]. 预防医学情报杂志,2006,22(1):123~125.
- 5 Yang B, Zhao M M, Shi J, et al. Effect of ultrasonic treatment on the recovery and DPPH radical scavenging activity of polysaccharides from longan fruit pericarp[J]. Food Chemistry,2008,106(2):685~690.
- 6 吴华慧,李雪华,邱莉. 荔枝、龙眼果肉及荔枝、龙眼多糖清除活性氧自由基的研究[J]. 食品科学,2004,25(5):166~169.  
Wu Huahui, Li Xuehua, Qiu Li. Studies on superoxide scavenging capability on litchi and longan fruit pulp by its polysaccharides[J]. Food Science,2004,25(5):166~169. (in Chinese)
- 7 Yang B, Zhao M M, Jiang Y M. Optimization of tyrosinase inhibition activity of ultrasonic-extracted polysaccharides from longan fruit pericarp[J]. Food Chemistry, 2008,110(2):294~300.
- 8 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 structure and characteristic for longan polysaccharide[J]. Food Research and Development, 2006,22(3):53~56. (in Chinese)
- 9 李丹丹,金征宇. 牛蒡菊糖脱色工艺的研究[J]. 农业工程学报,2007,23(8):241~245.  
Li Dandan, Jin Zhengyu. De-coloration technology of burdock oligosaccharide[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2007,23(8):241~245. (in Chinese)
- 10 谢红旗,周春山. 香菇多糖脱色工艺研究[J]. 离子交换与吸附,2007,23(2):158~165.  
Xie Hongqi, Zhou Chunshan. Study on de-colorization technology of lentinan[J]. Ion Exchange and Adsorption,2007, 23(2):158~165. (in Chinese)

## 参 考 文 献

- 1 沈佐锐,于新文. 温室白粉虱自动计数技术研究初报[J]. 生态学报,2001,21(1):94~99.  
Shen Zuorui, Yu Xinwen. Preliminary research on automated counting technology for *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001,21(1):94~99. (in Chinese)
- 2 邱白晶,程麒文,陈国平,等. 长翅灰飞虱图像边缘的多区域多结构检测方法[J]. 农业机械学报,2008,39(7):119~123.  
Qiu Baijing, Cheng Qiwen, Chen Guoping, et al. Multiple areas and multiple structures method of image edge detection for the long wing laodelphax striatellus[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2008,39(7):119~123. (in Chinese)
- 3 邱道尹,张成花,张红涛,等. 神经网络在储粮害虫识别中的应用[J]. 农业工程学报,2003,19(1):142~144.  
Qiu Daoyin, Zhang Chenghua, Zhang Hongtao, et al. Application of neural networks in the recognition of stored-grain pests [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2003,19(1):142~144. (in Chinese)
- 4 赵汗青,沈佐锐,于新文. 数学形态特征应用于昆虫自动鉴别的研究[J]. 中国农业大学学报,2002,7(3):38~42.  
Zhao Hanqing, Shen Zuorui, Yu Xinwen. On computer-aided insect identification through math-morphology features [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2002,7(3):38~42. (in Chinese)
- 5 邱白晶,陈国平,程麒文. 水稻白背飞虱虫害的冠层光谱特性与虫量反演[J]. 农业机械学报,2008,39(9):92~99.  
Qiu Baijing, Chen Guoping, Cheng Qiwen. Canopy spectral reflectance feature of rice infected with *sogatella furcifera* and insect number inversion [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2008,39(9):92~99. (in Chinese)
- 6 张建伟,王永模,沈佐锐. 麦田蚜虫自动计数研究[J]. 农业工程学报,2006,22(9):159~162.  
Zhang Jianwei, Wang Yongmo, Shen Zuorui. Novel method for estimating cereal aphid population based on computer vision technology [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006,22(9):159~162. (in Chinese)
- 7 Despland E, Rosenberg, Simpson S J. Landscape structure and locust swarming: a satellite's eye view [J]. *Ecography*,2004,27(3):381~391.
- 8 Soille P. Morphological image analysis: principles and applications [M]. 2nd ed. Berlin, Germany: Springer, 2003.
- 9 Meyer F, Beucher S. Morphological segmentation [J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 1990,1(1):21~46.
- 10 邱白晶,赵晓丽,贾卫东,等. 基于图像的植物叶面雾滴接触角稳定区间法测量[J]. 农业机械学报,2009,40(5):139~144.  
Qiu Baijing, Zhao Xiaoli, Jia Weidong, et al. Stable interval method based on images to measure drop contact angles on plant leaf surfaces [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2009,40(5):139~144. (in Chinese)
- 11 Breu H, Gil J, Kirkaptrick D, et al. Linear time euclidean distance transform algorithms [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,1995,17(5):529~533.
- 12 Alvarado P. Segmentation of color images for interactive 3D object retrieval [D]. Alemania: RWTH-A, 2004.

~~~~~

(上接第150页)

- 11 王元凤,金征宇. 茶多糖脱色的研究[J]. 食品与发酵工业,2004,30(12):60~65.  
Wang Yuanfeng, Jin Zhengyu. Study on de-coloration of tea polysaccharides [J]. *Food and Fermentation Industries*,2004,30(12):60~65. (in Chinese)
- 12 胡娟,李丹丹,金征宇,等. 树脂对菊糖液的脱色研究[J]. 食品与机械,2006,22(6):49~52.  
Hu Juan, Li Dandan, Jin Zhengyu, et al. Study on de-coloration of inulin by resin [J]. *Food and Machinery*,2006,22(6):49~52. (in Chinese)
- 13 刘燕琼,黄雪松. 732离子交换树脂和DEAE-23树脂纯化大蒜多糖比较[J]. 食品研究与开发,2006,27(7):149~151.  
Liu Yanqiong, Huang Xuesong. Comparison of pure methods for garlic polysaccharide by 732 ion exchange an DEAE-23 resin [J]. *Food Research and Development*,2006,27(7):149~151. (in Chinese)
- 14 高美凤,俞婷婷. 黄芪多糖中脱蛋白方法的研究[J]. 中华中医药学刊,2008,26(3):614~615.  
Gao Meifeng, Yu Tingting. Study methods for removing protein from the astragalus polysaccharides extract [J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*,2008,26(3):614~615. (in Chinese)
- 15 张翼伸. 怎样研究植物多糖[J]. 生命的化学,1999,19(6):296~297.