

微波辅助提取黄皮果肉果胶工艺参数优化

张 帅, 董 基, 黄志明, 梁巧荣

(肇庆学院化学化工学院, 肇庆 526061)

摘 要: 为优化微波辅助提取黄皮果肉中果胶的工艺, 采用均匀设计法, 考察了微波功率、提取时间、液料比及提取液 pH 值 4 个因子对黄皮果胶得率的影响。利用 SAS 软件对试验数据进行模型拟合和回归分析, 确定提取时间和液料比是影响果胶得率的重要因子, 并最终获得微波辅助提取黄皮果胶的最优工艺参数为: 微波功率 600 W, 提取时间 8 min, 液料比 24 : 1 mL/g, 提取液 pH 值 2.0。在此条件下果胶得率为 3.59%。通过对果胶基本特性的测定分析, 该工艺提取的黄皮果胶品质基本符合国家标准, 可为黄皮果胶提取的工业化放大提供参考。

关键词: 提取, 模型, 优化, 果胶, 黄皮

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.15.042

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-15-0264-06

张 帅, 董 基, 黄志明, 等. 微波辅助提取黄皮果肉果胶工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 264-269.
Zhang Shuai, Dong Ji, Huang Zhiming, et al. Optimization of process parameters for microwave-assisted extraction of pectin from wampee pulp[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(15): 264-269. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

黄皮是一种热带水果, 在中国已有 1500 多年栽培历史, 主要分布于中国广东、广西、福建、四川、云南、海南及台湾等省区^[1], 在东南亚、美国夏威夷、佛罗里达及澳大利亚昆士兰等地区亦有栽培^[2]。黄皮富含有机酸、氨基酸、果胶、生物碱、黄酮及酚类等多种活性成分, 还具有消食、化痰、理气之功效, 主治食积不化、胸腹胀痛、痰饮咳嗽等病症, 具有良好的药用价值^[3]。黄皮一般在 6 月中旬至 7 月下旬收获, 收获期短, 且易腐烂, 不易贮藏运输, 因此各地黄皮主要以鲜果在当地销售, 每年都造成很大浪费^[4], 这大大限制了黄皮的种植和发展, 使这一宝贵资源不能得到充分有效利用。

果胶是一种存在于高等植物细胞壁中的杂多糖, 其分子主链由不同酯化度的 D-半乳糖醛酸以 α -1,4 糖苷键连接而成, 侧链通过 L-鼠李糖及其他中性糖以 α -1,2 等糖苷键与主链连接^[5-7]。果胶不仅作为稳定剂、增稠剂、胶凝剂及乳化剂在食品、医药、化工等领域有着广泛应用, 而且还具有降低血清胆固醇和血糖含量等生理功能^[8-9]。微波辅助法是提取果胶的一种有效方法, 通过微波处理造成薄壁组织细胞破坏、物料比表面积和细胞吸水能力增大, 使果胶提取反应充分, 能够大大缩短提取时间, 提高果胶得率, 且微波处理还能使内源性果胶酶失活, 避免了果胶的分解^[10-12]。通过提取黄皮果胶这一深加工途径, 不仅丰富了果胶的来源, 而且对于促进黄皮产业的发展, 具有重要意义。

传统果胶提取一般多采用单因子设计或正交设计来优化工艺。由于单因子设计未考虑各因子间的交互作用, 故当因子间有交互作用时, 所得结论一般可信度较低; 而正交设计试验次数至少为因子水平数的平方, 因而一般宜用于水平数不多的试验中, 当水平数较多时, 试验次数会因过多而不利于实际应用。均匀设计法是中国数理统计学家方开泰和中科院院士王元于 1978 年共同提出的, 是一种只考虑试验点在试验范围内均匀散布的试验设计方法, 对于多因子多水平试验条件的优化, 可大大减少试验次数, 提高试验效率^[13-15]。采用均匀设计优化果胶提取工艺的研究目前仅刘贺等(2010)^[16]利用均匀设计法优化了大豆皮果胶提取工艺, 而从黄皮果肉中提取果胶的研究未见报道。本研究利用均匀设计对影响黄皮果胶得率的微波功率、提取时间、液料比及提取液 pH 值 4 个因子进行考察和评价, 通过试验数据拟合数学模型, 并对模型进行回归分析, 以期获得较优工艺参数。

1 材料与方 法

1.1 原料与试剂

大鸡心黄皮(完全成熟), 市购, 新鲜无腐烂; 半乳糖醛酸标准品(分析纯, 美国 Sigma-Aldrich 公司), 其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器设备

UV/VIS 916 紫外可见分光光度计(澳大利亚 GBC 科学仪器公司); MG08S-2B 微波实验仪(0~800W 连续可调, 南京汇研微波系统工程有限公司); PHS-3C 精密酸度计(上海大谱仪器有限公司); YXJ-2 高速离心机、FK-A 组织捣碎机(金坛市环宇科学仪器厂); RE-2000 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂); HK-04A 手提式高速粉碎机(广州旭朗机械设备有限公司); 202-0 电热恒

收稿日期: 2011-09-18 修订日期: 2012-06-27

基金项目: 肇庆市科技创新计划项目(2011G11)

作者简介: 张 帅(1978-), 山东济南人, 主要从事食品发酵方面的研究。
肇庆 肇庆学院化学化工学院, 526061. Email: Chinazhsh@gmail.com

温干燥箱（上海圣科仪器设备有限公司）；AUY120 电子分析天平（日本岛津公司，精度 0.1mg）。

1.3 方法

1.3.1 果胶粗提液的制备

将黄皮洗净、阴干、去皮核，称取 10 g 果肉，置于组织捣碎机中匀浆，按一定液料比加入蒸馏水，并用盐酸调节 pH 值，置于微波实验仪中加热一定时间进行果胶提取，然后趁热用纱布过滤，将滤液 5 000 r/min 离心 15 min，所得上清液即为果胶粗提液。

1.3.2 果胶成品的制备

根据前期试验结果，采用方法如下：将果胶粗提液置于旋转蒸发器中，60℃ 下浓缩至质量分数为 5% 左右，然后迅速冷却至室温，以减少果胶的破坏和沉淀剂乙醇的用量。加入等体积的体积分数为 95% 乙醇，搅拌均匀，沉淀 90 min，将沉淀物果胶先用体积分数为 80% 乙醇洗涤一次，再用体积分数为 95% 乙醇洗涤 2 次以进一步除杂。将以 4 层纱布滤干的果胶在 60℃ 下干燥至含水率 10% 以下，粉碎过 80 目筛即得果胶成品。

1.3.3 果胶提取试验设计

采用均匀设计考察微波功率(X_1)、提取时间(X_2)、液料比(X_3)、提取液 pH 值(X_4) 4 个因子对果胶得率(Y)的影响，其中，果胶得率(Y)=果胶成品质量/原料总质量×100%。因子水平的选择见表 1。

表 1 因子水平表
Table 1 Factors and levels

因子	水平											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X_1 微波功率/W	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
X_2 提取时间/min	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X_3 液料比/(mL·g ⁻¹)	5:1	10:1	15:1	20:1	25:1	30:1	35:1	40:1				
X_4 提取液 pH 值	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5						

1.3.4 数据处理

利用 SAS 软件进行数据拟合，建立数学模型并进行回归分析，找出对果胶得率影响显著的因子，并确定果胶提取的较优工艺参数。

1.3.5 果胶成品基本特性的测定

1) 总半乳糖醛酸含量、酸不溶灰分：参照果胶国标 GB 25533—2010^[17]的方法测定。

2) 甲氧基含量：参照文献[18]中的方法测定。

3) 干燥减量：参照 GB 5009.3—2010^[19]中的直接干燥法测定。

4) pH 值：称取果胶成品 1.25 g，用蒸馏水溶解，定容至 50 mL，25℃ 下用酸度计测定。

2 结果与分析

2.1 均匀设计方案及试验结果

对于表 1 中 2 因子 12 水平、1 因子 8 水平和 1 因子 6 水平的混合因子水平的设计，无均匀设计表可查，须用

拟水平法（即某一因子的各水平重复几次）来构造混合水平的均匀设计表。以中心化偏差（CD）作为设计表均匀性测度（CD 值越小，均匀性越好），试验次数取 24，使各因子水平均有重复，提高了试验精度和可信度^[20]。利用 DPS 软件构造混合水平均匀设计表，设计方案及试验结果见表 2，CD=0.0917，为最小值，表明均匀性最好。

表 2 均匀设计方案及试验结果

Table 2 Uniform design scheme and experimental results

试验号	编码因子水平				响应 Y 果胶得率/%
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	9	7	5	3	3.46
2	3	3	3	6	2.43
3	6	9	1	2	2.75
4	5	12	3	4	3.27
5	10	3	8	2	2.65
6	8	4	2	4	2.42
7	6	2	5	5	2.72
8	7	1	4	2	2.42
9	12	2	1	3	2.38
10	2	1	6	4	2.19
11	4	6	8	3	2.78
12	11	5	6	6	3.25
13	8	12	6	1	3.05
14	7	10	8	6	2.23
15	4	7	1	6	2.08
16	5	4	7	1	2.72
17	1	8	7	5	2.25
18	2	10	4	3	2.79
19	3	11	5	2	2.86
20	10	11	2	5	2.78
21	9	6	4	5	3.12
22	11	8	3	1	3.45
23	1	5	2	1	2.42
24	12	9	7	4	3.52

注： X_1 为微波功率，W； X_2 为提取时间，min； X_3 为液料比，mL/g； X_4 为提取液 pH 值，下同。

2.2 回归模型的建立及方差分析

利用 SAS 软件的 RSREG 语句对表 2 试验数据拟合二次多项式回归模型如下

$$Y=0.212844+3.82\times 10^{-4}X_1+0.292740X_2+0.077611X_3+0.525257X_4+2.44\times 10^{-7}X_1^2+1.8255\times 10^{-5}X_1X_2-0.011782X_2^2+2.3681\times 10^{-5}X_1X_3-0.002182X_2X_3-0.001672X_3^2+5.7433\times 10^{-5}X_1X_4-0.024488X_2X_4+0.001880X_3X_4-0.119966X_4^2$$

式中， Y 为果胶得率，%； X_1 为微波功率，W； X_2 为提取时间，min； X_3 为液料比，mL/g。

对该模型进行回归分析，模型参数估计及显著性检验见表 3，方差分析见表 4。

表 3 参数估计及显著性检验

Table 3 Parameter estimation and significance test

参数	估计值	标准误	t 值	P 值	显著性
截距	0.212844	0.930744	0.23	0.8242	
X_1	0.000382	0.002351	0.16	0.8744	
X_2	0.292740	0.104546	2.80	0.0207	*
X_3	0.077611	0.031713	2.45	0.0369	*
X_4	0.525257	0.470469	1.12	0.2931	

续表

参数	估计值	标准误	t 值	P 值	显著性
X_1^2	0.000000244	0.000002001	0.12	0.9057	
X_1X_2	0.000018255	0.000097191	0.19	0.8552	
X_2^2	0.011782	0.005153	2.29	0.0481	*
X_1X_3	0.000023681	0.000027648	0.86	0.4139	
X_2X_3	0.002182	0.001623	1.34	0.2117	
X_3^2	0.001672	0.000500	3.34	0.0086	**
X_1X_4	0.000057433	0.000387	0.15	0.8852	
X_2X_4	0.024488	0.021355	1.15	0.2811	
X_3X_4	0.001880	0.005594	0.34	0.7445	
X_4^2	0.119966	0.088838	1.35	0.2099	

注: **表示统计结果极显著($P < 0.01$), *表示统计结果显著($P < 0.05$)

表 4 方差分析表

Table 4 Analysis of variance (ANOVA)

回归项	自由度	平方和	决定系数 R^2	F 值	P 值	显著性
线性项	4	2.146755	0.5099	9.69	0.0025	**
平方项	4	1.321278	0.3138	5.97	0.0126	*
交互项	6	0.244145	0.0580	0.73	0.6347	
总回归	14	3.712178	0.8816	4.79	0.0116	*

由表 3 可看出, X_2 、 X_3 及 X_2^2 对果胶得率有显著影响, X_3^2 有极显著影响, 说明提取时间和液料比是黄皮果胶提取试验的重要因子。各因子主效应关系为 X_2 (提取时间) $>X_3$ (液料比) $>X_4$ (提取液 pH 值) $>X_1$ (微波功率)。由表 4 可看出, 二次回归模型显著, 决定系数 R^2 为 0.8816, 说明 88.16% 的试验数据的变异性可由此模型来解释, 可见, 此模型拟合度较好, 试验误差较小, 可以用此模型对黄皮果胶的提取进行分析和预测。另外, 表 3 和表 4 均显示交互项不显著, 说明各因子之间的交互作用对响应值的影响较小。

2.3 典型分析

由二次回归方程可知, 其响应面存在稳定点。RSREG 语句在拟合二阶模型时输出的典型分析结果(见表 5)表明, 由稳定点沿着第一特征值(>0)对应特征向量方向前进, 响应值呈上升趋势, 沿其他 3 个特征值(<0)对应特征向量方向前进响应值呈下降趋势。特征值绝对值大小意味着响应面坡度大小。在判定曲面的形状及极值时, 若特征值均为正值, 为山谷形曲面, 有极小值存在; 若特征值均为负值, 为山丘形曲面, 有极大值存在; 若特征值有正有负, 为马鞍形曲面, 稳定点为鞍点, 无极值存在。由表 5 可知, 因子特征值有正有负, 说明响应面为鞍面^[21-22](以 Y 作为 X_1 和 X_2 的函数的响应面图作示例, 见图 1), 该稳定点是鞍点, 无唯一最佳值, 因此还需做岭分析以确定最佳响应值。

表 5 典型分析表

Table 5 Canonical analysis

特征值	特征向量			
	X_1	X_2	X_3	X_4
0.025177	0.992244	-0.007195	0.108932	0.059449
-0.143254	-0.073787	-0.433194	0.161234	0.883687
-0.347799	0.025196	0.776004	-0.429799	0.460929
-0.571569	-0.096813	0.458377	0.881709	0.055745

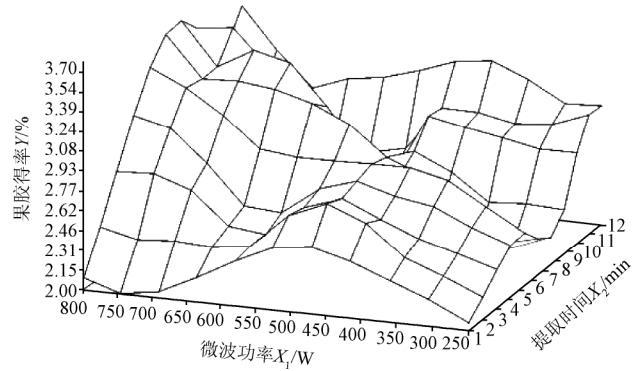


图 1 果胶得率与微波功率和提取时间的响应面图

Fig.1 Response surface plot of pectin yield($Y\%$) as function of microwave power(X_1/W) and extraction time(X_2/min)

2.4 岭分析

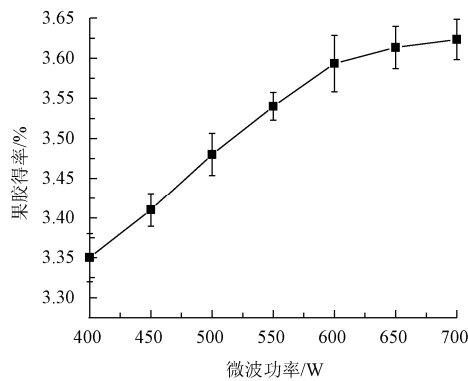
利用 SAS 软件的 RIDGE 语句作岭分析, 为便于分析, 选取编码半径在 0.0, 0.1, 0.2, ..., 1.0 上计算峰点^[23-24], 分析结果见表 6。

表 6 岭分析

Table 6 Ridge analysis

编码半径	果胶得率 /%	标准误	未编码因子水平			
			X_1	X_2	X_3	X_4
0.0	3.187904	0.156399	525.000000	6.500000	22.500000	2.250000
0.1	3.235834	0.155739	548.000113	6.753446	22.754593	2.217650
0.2	3.282699	0.154056	572.426524	6.962219	22.943610	2.186850
0.3	3.328900	0.151565	597.805866	7.136173	23.101173	2.158579
0.4	3.374704	0.148646	623.844070	7.282875	23.244697	2.133166
0.5	3.420298	0.145886	650.348556	7.407974	23.383060	2.110610
0.6	3.465819	0.144105	677.187873	7.515707	23.520781	2.090754
0.7	3.511369	0.144345	704.269673	7.609297	23.660114	2.073373
0.8	3.557027	0.147772	731.527798	7.691228	23.802117	2.058226
0.9	3.602856	0.155471	758.914182	7.763446	23.947210	2.045077
1.0	3.648906	0.168221	786.393547	7.827493	24.095477	2.033710

表 6 显示, 编码半径为 0 对应未编码稳定点(X_1, X_2, X_3, X_4)=(525.00, 6.50, 22.50, 2.25)(保留两位小数), 随编码半径的增加给出了一系列参考试验点即峰点。由表 6 还可看出, 随着果胶得率提高, 微波功率(X_1)、提取时间(X_2)和液料比(X_3)均呈上升趋势, 而提取液 pH 值(X_4)呈下降趋势。当编码半径为 1.0 时响应值取得最大值为 3.65%, 高于均匀试验中所有条件组合的试验结果, 其对应的各因子最优水平分别为微波功率 786.39 W, 提取时间 7.83 min, 液料比 24.10 : 1 mg/L, 提取液 pH 值 2.03。考虑到实际操作的方便性, 对各因子水平进行修正, 提取时间取 8 min, 液料比取 24 : 1 mg/L, 提取液 pH 值取 2.0, 由于微波功率是对果胶得率影响最不显著的因子, 考虑到节约能耗, 对微波功率在 400、450、500、550、600、650、700 W 7 个水平上做单因子试验以确定最优值, 结果见图 2。



注：提取时间为 8 min，料液比为 24 : 1mg/L，pH 值为 2.0

图 2 微波功率对果胶得率的影响

Fig.2 Effect of microwave power on pectin yield

由图 2 知，果胶得率随微波功率增大而提高，当微波功率达到 600 W 时，果胶得率为 3.59%，此后随微波功率的增大果胶得率提高不明显。因此，微波功率可选择 600 W，不仅此水平下得到的果胶得率与回归模型预测值 3.65% 非常接近，而且可较大地降低能耗。

2.5 黄皮果胶基本性质测定结果

在最优工艺条件，即微波功率 600 W，提取时间 8 min，液料比 24 : 1mg/L，提取液 pH 值 2.0 下提取到的黄皮果胶的基本性质的测定结果见表 7。结果表明，微波辅助法提取到的黄皮果胶甲氧基质量分数高于 7%，属于高甲氧基果胶，其总半乳糖醛酸质量分数 $\geq 65\%$ ，干燥减量 $\leq 12\%$ ，均达到了 GB 25533—2010 的标准，仅酸不溶灰分质量分数略高 ($\geq 1\%$)。另外，pH 值为 2.84，符合行业标准 QB 2484—2000^[25] 中高甲氧基果胶 pH 值的标准 (2.6~3.0) (因 GB 25533—2010 中无果胶 pH 值标准，故在此仍沿用 QB 2484—2000 中果胶 pH 值标准)。

表 7 黄皮果胶基本性质

Table 7 Basic characteristics of wampee pectin

基本性质	总半乳糖醛酸质量分数/%	甲氧基质量分数/%	酸不溶灰分质量分数/%	干燥减量/%	pH 值
测定结果	78.56	10.15	1.29	7.75	2.84

2.6 成本分析及应用前景

以肇庆高要市为例，2011 年 7 月份黄皮批发价最低时在 3 元/kg 左右，按黄皮果胶得率为 3.59% 计算，生产 1 kg 黄皮果胶原料成本为 83.5 元左右，目前市售高甲氧基果胶批发价多在 95~115 元/kg 之间，因此，将黄皮用于果胶生产，每公斤至少可获利 10 元以上。由于黄皮收成期短且易腐烂，因此黄皮种植量较小，目前市场价格相对较高，如能将本工艺投入工业化生产，可大大提高黄皮种植量，降低原料成本，并促进黄皮及果胶产业的发展。因此，本工艺有着广阔的应用前景。

3 结 论

对黄皮果胶提取试验数据拟合二次多项式回归模型，方差分析表明提取时间和液料比对微波辅助提取黄

皮果胶影响显著，各因子之间交互作用不明显。利用均匀设计法优化的黄皮果胶提取工艺参数为：微波功率 600 W，提取时间 8 min，液料比 24 : 1mg/L，提取液 pH 值 2.0。在此条件下果胶得率为 3.59%，接近预测值 3.65%，说明拟合模型适用、可靠。研究证明，采用均匀设计法优化黄皮果胶提取工艺参数是非常有效的，该优化结果为黄皮果胶提取的工业化放大提供了一定的数据参考。另外，果胶成品基本性质测定结果表明，本工艺提取的黄皮果胶基本符合国家标准。

[参 考 文 献]

- [1] 张泽煌, 许家辉, 李维新, 等. 黄皮的适宜贮藏温度及 MAP 保鲜[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2006, 35(6): 593—597.
- [2] Zhang Zehuang, Xu Jiahui, Li Weixin, et al. Proper storage temperature and MAP fresh-keeping technique of wampee[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2006, 35(6): 593—597. (in Chinese with English abstract)
- [3] Morton J. Fruits of warm climates[M]. Miami: Creative Resource Systems Inc, 1987: 197—198.
- [4] 屈红霞, 蒋跃明, 李月标, 等. 黄皮耐贮性与果皮超微结构的研究[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 153—157.
- [5] Qu Hongxia, Jiang Yueming, Li Yuebiao, et al. Research on the storage life and peel ultrastructure in wampee(*Clausena lansium*)[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(2): 153—157. (in Chinese with English abstract)
- [6] 郑苏珠, 林淑霞, 林燕如. 低糖黄皮果脯的开发与研制[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(3): 65—68.
- [7] Zheng Suzhu, Lin Shuxia, Lin Yanru. Research and development of low-sugar wampee preserves[J]. Food Research and Development, 2009, 30(3): 65—68. (in Chinese with English abstract)
- [8] Volpi C, Janni M, Lionetti V, et al. The ectopic expression of a pectin methyl esterase inhibitor increases pectin methyl esterification and limits fungal diseases in wheat[J]. Molecular Plant-Microbe Interactions, 2011, 24(9): 1012—1019.
- [9] Jesper H, Anongpat S, Henrik V S. Biosynthesis of pectin[J]. Plant Physiology, 2010, 153(2): 384—395.
- [10] 刘焕云, 李慧荔, 顿博影, 等. 微波加热法提取柚果皮果胶的工艺[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 302—304.
- [11] Liu Huanyun, Li Huili, Dun Boying, et al. Extraction of pectin from shaddock peel by microwave heating[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(8): 302—304. (in Chinese with English abstract)
- [12] 汪海波, 徐群英, 汪芳安. 低酯果胶的流变学性能研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 223—227.
- [13] Wang Haibo, Xu Qunying, Wang Fangan. Rheological properties of low methoxyl pectin[J]. Transactions of the

- Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(11): 223—227. (in Chinese with English abstract)
- [9] Kumar A, Chauhan G S. Extraction and characterization of pectin from apple pomace and its evaluation as lipase (steapsin) inhibitor[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 82(2): 454—459.
- [10] Kratchanova M, Panlova E, Panchev I. The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin[J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 56(2): 181—185.
- [11] Ballard T S, Mallikarjunan P, Zhou K, et al. Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidant compounds from peanut skins[J]. Food Chemistry, 2010, 120(4): 1185—1192.
- [12] 彭凯, 张燕, 王似锦, 等. 微波干燥预处理对苹果渣提取果胶的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 222—226.
- Peng Kai, Zhang Yan, Wang Sijin, et al. Effect of microwave drying pretreatment on extraction of pectin from apple pomace[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(7): 222—226. (in Chinese with English abstract)
- [13] Li Pengfei, Wang Donggen. Numerical analysis of the statistical properties of uniform design in stated choice modelling[J]. Transport Reviews, 2009, 29(5): 619—634.
- [14] Sun Liqin, Wang Changhai, Ma Cuihua, et al. Optimization of renewal regime for improvement of polysaccharides production from *Porphyridium cruentum* by uniform design [J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2010, 33(3): 309—315.
- [15] Li Weihong, Liu Lijuan, Gong Weiguo, et al. Multi-objective uniform design as a SVM model selection tool for face recognition[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(6): 6689—6695.
- [16] 刘贺, 郭晓飞, 高虹妮, 等. 微波辅助提取大豆皮果胶工艺参数优化[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(5): 37—40.
- Liu He, Guo Xiaofei, Gao Hongni, et al. Optimizing the parameters of microwave assisted extraction of pectin from soy hull through uniform design[J]. Food and Fermentation Technology, 2010, 46(5): 37—40. (in Chinese with English abstract)
- [17] GB 25533—2010 食品添加剂 果胶[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [18] Zhang Xian, Lee Fanzhu, Eun J B. Physicochemical properties and glucose transport retarding effect of pectin from flesh of Asian pear at different growth stages[J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 2008, 40(5): 491—496.
- [19] GB 5009.3—2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [20] 代志凯, 唐嘉婕, 阮征, 等. 均匀设计优化节杆菌产 β -呋喃果糖苷酶发酵培养基[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 218—222.
- Dai Zhikai, Tang Jiajie, Ruan Zheng, et al. Optimization of fermentation medium for β -fructofuranosidase production from *arthrobacter* sp.10138 using uniform design[J]. Food Science, 2009, 30(19): 218—222. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨冲, 王承明. 棉籽粕中棉酚的超声辅助脱除研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(1): 74—78.
- Yang Chong, Wang Chengming. Ultrasonic wave-assisted extraction of gossypol from cottonseed meals[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(1): 74—78. (in Chinese with English abstract)
- [22] 郭玉宝, 屠康, 薛正莲, 等. 盐效应辅助水相萃取油茶籽油的工艺[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 362—367.
- Guo Yubao, Tu Kang, Xue Zhenglian, et al. Technology for aqueous extraction of camellia seed oil by salt effect[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(9): 362—367. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王仙, 王洋军, 曹连莆, 等. 大麦籽粒总黄酮超声辅助提取工艺的优化[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2010, 28(2): 152—157.
- Wang Xian, Wang Xiangjun, Cao Lianpu, et al. Optimization of the ultrasound-assisted extraction of total flavonoids from barley (*Hordeum vulgare* L.)[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2010, 28(2): 152—157. (in Chinese with English abstract)
- [24] 周向荣, 夏延斌, 周跃斌. 响应面法优化盐渍蒜头蒜素提取工艺参数[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 270—275.
- Zhou Xiangrong, Xia Yanbin, Zhou Yuebin. Optimization of the technology for extracting allicin from pickled *Allium Chinense* G. Don by response surface methodology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(2): 270—275. (in Chinese with English abstract)
- [25] QB 2484—2000 食品添加剂果胶[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.

Optimization of process parameters for microwave-assisted extraction of pectin from wampee pulp

Zhang Shuai, Dong Ji, Huang Zhiming, Liang Qiaorong

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, China)

Abstract: For optimization of process for microwave-assisted extraction of pectin from wampee pulp, the effects of four factors including microwave power, extraction time, liquid-to-solid ratio and pH of extraction solution on pectin yield were researched using uniform design method. Model fitting and regression analysis of experimental data were made by SAS, and two significant factors which influence pectin yield, i.e. extraction time and liquid-to-solid ratio, were determined. The optimum process parameters of pectin extraction were obtained finally, of which the microwave power was 600 W, extraction time was 8 min, liquid-to-solid ratio was 24:1mg/L and pH value of extraction solution was 2.0. Under these conditions, the experimental value of pectin yield was 3.59%, which was in close agreement with the predictive value of 3.65%. The quality of pectin extracted under optimum conditions was basically conform to the national standard by determination and analysis of basic characteristics of pectin. The results can provide a reference for industrialization of extraction of pectin from wampee.

Key words: extraction, models, optimization, pectin, wampee