

响应面分析法优化罗望子多糖提取工艺

邵慧敏¹, 张 汇¹, 向雨维¹, 杨 柳¹, 宋子波², 艾连中¹

(1. 上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093; 2. 云南猫哆哩集团有限责任公司, 玉溪 653100)

摘要: 为提高罗望子多糖的提取效率, 降低蛋白质质量分数, 使之达到国家标准, 以原料目数、提取 pH、提取温度为自变量, 提取率和蛋白质质量分数为因变量, 通过响应面分析法优化罗望子多糖的提取条件。确定了最佳工艺条件为: 原料目数 118 目, 提取 pH 3.06, 提取温度 90 ℃。在此条件下, 罗望子多糖提取率的理论值为 49.76%, 蛋白质质量分数为 1.00%。对此进行验证实验, 实际条件为原料目数 120 目, 提取 pH 3.1, 提取温度 90 ℃, 罗望子多糖提取率为 49.59%±0.36%, 蛋白质质量分数为 1.02%±0.05%, 实际值与模型理论值相符度高, 模型具有实际意义。通过优化提取工艺, 为罗望子胶的工业化生产提供技术参考。

关键词: 罗望子多糖; 工艺优化; 响应面分析法; 多糖提取率; 蛋白质质量分数

中图分类号: TS 201.1 **文献标志码:** A

Optimization of extraction conditions of tamarind seed polysaccharide by the response surface methodology

SHAO Huimin¹, ZHANG Hui¹, XIANG Yuwei¹, YANG Liu¹, SONG Zibo², AI Lianzhong¹

(1. School of Medical Instruments and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Yunnan Maodouli Group Food Co., Ltd., Yuxi 653100, China)

Abstract: In order to improve the extraction yield of polysaccharide from tamarind seeds (TSP) and decrease its protein mass fraction, the extraction conditions of raw material mesh, extraction pH, and extraction temperature were optimized by using the response surface methodology and taking the polysaccharide yield and protein mass fraction as two obtimization objectives. The resultant optimal conditions for giving the highest polysaccharide yield and the lowest protein mass fraction were as follows: the raw material mesh 118, extraction pH 3.06 and extraction temperature 90 ℃. Under these conditions, the theoretical maximal yield of TSP is 49.76%, and the minimal protein content is 1.00%. The practical conditions based on the simulated optimal conditions were somewhat modified to the raw material mesh 120, extraction pH 3.1 and extraction temperature 90 ℃. The actual value of polysaccharide yield was 49.59%±0.36%, and that of protein mass fraction was 1.02%±0.05%, which were highly consistent with the predicted value by the model. The results indicate that the optimization

收稿日期: 2019-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31601428, 31771956); 上海市农委科技发展项目 (2019-02-08-00-07-F01152)

第一作者: 邵慧敏(1993-), 女, 硕士研究生。研究方向: 食品胶体。E-mail: ncuskshaohuimin@163.com

通信作者: 张 汇(1986-), 男, 讲师。研究方向: 食品科学。E-mail: zhh8672@126.com

of extraction conditions is of practical significance and will provide a foundation for the pilot scale production of TSP.

Keywords: *tamarind seed polysaccharide; process optimization; response surface methodology; polysaccharide yield; protein mass fraction*

罗望子 (*Tamarindus indica* L.) 是苏木科 (Caesalpiniaceae) 酸豆属 (*Tamarindus*) 的一种常绿大型乔木^[1], 又称酸角、酸梅、酸豆、罗晃子、通血香等^[2], 盛产于缅甸、孟加拉、印度、老挝等国^[3]。罗望子果肉酸甜, 可供食用, 营养价值高。罗望子种仁含有质量分数为 65%~73% 非纤维碳水化合物、15%~20% 蛋白质、6%~8% 脂肪、3%~5% 纤维和 2.5%~3.2% 灰分^[4]。研究表明, 从罗望子种仁中提取的罗望子多糖是一种中性多糖^[5], 具有凝水、稳定、增稠、成膜、乳化等优良的理化性质^[6-7], 且耐热、耐酸、耐碱、耐冻, 是一种理想的食物添加剂。罗望子多糖分子结构为: 主链是 β -D-1,4 糖苷键连接的葡萄糖, 侧链是 α -D-1,6 糖苷键连接的木糖和 β -D-1,2 糖苷键连接的半乳糖^[8]; 其分子量在 720~880 kDa^[9]。在我国海南、云南、广西、四川等地均有罗望子的栽培^[10], 但其利用率极低, 特别是对于罗望子多糖的开发利用。

目前, 我国只有少数报道研究了关于罗望子多糖的提取及优化, 如阚欢等^[11]对料液比、pH 和沉降时间进行研究, 将罗望子多糖的得率提高至 52%; 郇延军等^[12]加入了酶解工艺, 罗望子多糖的得率达到 55%; 而在王文光等^[13]的研究中, 优化后的多糖得率可达 70.2%。以上研究均以提取物得率为应变量, 并未验证其中多糖含量的高低, 忽略了提取物中所含有的杂质, 无法真正反映出罗望子多糖的提取率。另外, 国家标准规定了罗望子多糖中蛋白质质量分数不得超过 3%, 但国内仍未有关于低蛋白罗望子多糖的研究。因此, 本研究将综合罗望子多糖提取率和蛋白质质量分数两个指标, 采用响应面分析法对罗望子多糖的提取工艺进行优化, 以得到一种高效、经济的工艺, 并获得符合国家标准的罗望子多糖, 为工业生产奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

罗望子种仁由云南猫哆哩公司提供。

葡萄糖、半乳糖、木糖标准品购于 Sigma 公司; 无水乙醇、苯酚、硫酸、氢氧化钠、盐酸、柠檬酸、硼酸购于源叶生物。

1.2 仪器与设备

ME2002E 电子天平 (梅特勒-托利多仪器有限公司); FiveEasy pH 计 (梅特勒-托利多仪器有限公司); RCT 德国 IKA 基本型加热磁力搅拌器 (德国 IKA 公司); Avanti JXN-26 智能型高效离心机 (美国贝克曼库尔特有限公司); 真空干燥箱 (上海一恒科学仪器有限公司); SP-752 紫外可见分光光度计 (上海光谱); FOSS 全自动凯氏定氮仪 Kjelttec 8400 (瑞典 FOSS 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 提取工艺

种仁去皮、粉碎、过筛后, 按料液比 1:10 加入体积分数为 80% 的乙醇, 室温搅拌 6 h 后, 离心 (8 000×g, 20 min) 并除去上清液, 将沉淀置于烘箱 (40 ℃, 12 h) 烘干, 获得除去小分子脂质、色素等杂质后的原料。

精确称取 80 目原料 5.0 g, 按料液比 1:40 加入 200 mL 去离子水, 用 1 mol/L 的柠檬酸溶液调节 pH 至 3.5, 在磁力搅拌器上加热至 80 ℃, 待温度稳定后, 恒温浸提 20 min。将悬浊液静置冷却后离心 (8 000×g, 20 min), 取上清液按体积比 1:1 倒入无水乙醇 (一边快速搅拌, 一边缓慢将乙醇倒入), 使溶液的乙醇最终体积分数达到 50%, 4 ℃ 静置 2 h 后过滤、取沉淀, 真空干燥 (40 ℃, 8 h) 后即可得到粗多糖。

1.3.2 单因素实验

原料目数: 分别选择 10, 40, 80, 120, 160 目原料, 在其他步骤不变的条件下进行提取, 测定多糖提取率和蛋白质质量分数。

料液比: 在获得上述最优条件的情况下, 分别按料液比 1:20, 1:30, 1:40, 1:50, 1:60 加入 100, 150, 200, 250, 300 mL 去离子水, 在其他步骤不变的条件下进行提取, 测定多糖提取率和蛋白质质量分数。

提取 pH: 在获得上述最优条件的情况下, 分别调节溶液 pH 至 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 在其他步骤不变的条件下进行提取, 测定多糖提取率和蛋白质质量分数。

提取温度: 在获得上述最优条件的情况下, 分别将溶液加热至 60, 70, 80, 90, 100 ℃, 在其他步骤不变的条件下进行提取, 测定多糖提取率和蛋白质质量分数。

提取时间: 在获得上述最优条件的情况下, 分别将溶液加热 10, 20, 30, 40, 50 min, 在其他步骤不变的条件下进行提取, 测定多糖提取率和蛋白质质量分数。

1.3.3 多糖提取率测定

采取苯酚硫酸法, 测定粗多糖中的总糖含量。配制 0.1 mg/mL 样品溶液, 取 1 mL 加入 0.5 mL 体积分数 3% 的苯酚溶液和 5 mL 浓硫酸, 振荡后静置 20 min, 在 490 nm 处测定吸光度, 通过标曲测定总糖含量, 并计算得到多糖提取率。

$$\eta = \frac{am_1}{m_0} \tag{1}$$

式中: η 为多糖提取率; a 为总糖百分含量; m_1 为粗多糖质量, g; m_0 为原料质量, g。

1.3.4 蛋白质质量分数测定

采用凯式定氮法^[14]测定多糖中蛋白质的质量分数 pro , 蛋白质换算系数为 6.25。

1.3.5 响应面分析

以单因素实验的结果为基础, 采用 Design Expert 8.0.5 软件中的 Box-Behnken^[15]实验设计法对提取工艺进行优化, 设计三因素三水平的响应面分析实验, 分别用 X_1 , X_2 , X_3 表示 3 个关键因素, 分别以 -1, 0, 1 编码每一个自变量的低、中、高实验水平, 以多糖提取率 (Y_1) 和蛋白质质量分数 (Y_2) 为响应值。根据软件给出的 17 组不同提取条件提取多糖, 并计算多糖提取率和蛋白质质量分数。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 原料目数对 Y_1 , Y_2 的影响

如图 1(a) 所示, 多糖提取率和蛋白质质量分数都随着原料目数的变化而显著变化。其中多糖提取率随目数的升高, 先上升后下降, 在 120 目时达到最高值。而蛋白质质量分数随着目数的升高, 先下降后上升, 并且在 120 目达到最低值,

因此选择 120 目为最佳目数。

2.1.2 料液比对 Y_1 , Y_2 的影响

如图 1(b) 所示, 多糖提取率随料液比的增加先略有上升后略有下降, 但波动较小, 多糖提取率在料液比 1 : 40 时达到最高值。料液比对蛋白质质量分数的影响并不显著, 蛋白质质量分数在料液比 1 : 30 时达到最低值。因此, 取 1 : 40 为最佳料液比, 与王文光等^[13]对最佳料液比的研究结果一致。

2.1.3 提取 pH 对 Y_1 , Y_2 的影响

如图 1(c) 所示, pH 对多糖提取率的影响较小, 在 pH 2.5~4.5 提取率波动较小, 在 pH 升高至 5.5 后提取率略有降低。而蛋白质质量分数随 pH 的变化较大, 随着 pH 的降低, 蛋白质质量分数先降低后升高, 并在 pH 3.5 达到最低值, 因此, 综合两项应变变量, 选择 pH 3.5 为最佳 pH。

2.1.4 提取温度对 Y_1 , Y_2 的影响

如图 1(d) 所示, 多糖提取率随着提取温度的升高, 先升高后降低, 并在 90 ℃ 达到最大值。而其中的蛋白质质量分数也是随着温度的升高, 先升高后降低, 但波动较小。90 ℃ 和 100 ℃ 的多糖提取率和蛋白质质量分数都非常接近, 而 70 ℃ 的蛋白质质量分数是显著降低的, 且从生产上来说, 100 ℃ 的成本和能耗也更高。

2.1.5 提取时间对 Y_1 , Y_2 的影响

如图 1(e) 所示, 多糖提取率和蛋白质质量分数随提取时间的延长并无显著变化。多糖提取率随时间的延长先略有上升, 后在 50 min 时下降; 蛋白质质量分数随时间的延长稍有增加。因此, 综合多糖提取率、蛋白质质量分数以及能耗情况来看, 取 20 min 为最佳提取时间。

2.2 响应面分析

2.2.1 响应面分析方案及结果

根据单因素实验结果可知, 与原料目数、提取 pH 和提取温度相比, 料液比和提取时间对多糖提取率及蛋白质质量分数的影响都不显著, 因此选择原料目数、提取 pH 和提取温度为响应面的三因素进一步研究。采用 Design Expert 8.0.5 软件中的 Box-Behnken 实验设计法对罗望子多糖提取工艺进行分析, 并处理实验数据。响应面的分析因素及水平见表 1。

实验方案与结果见表 2。对实验结果进行方差分析及方程拟合见表 3、表 4。

根据多元回归分析得到多糖提取率的回归方程^[16]:

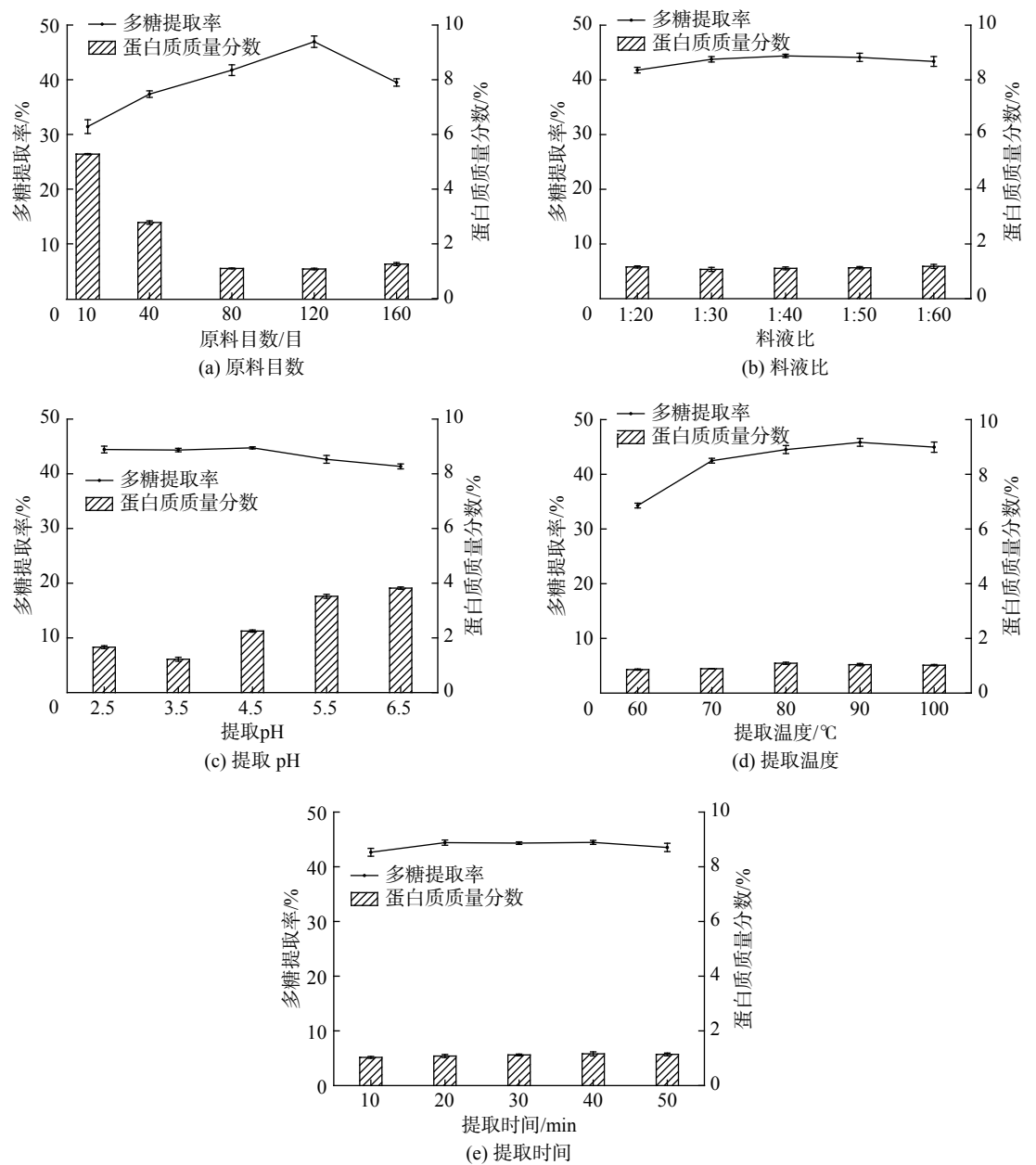


图 1 不同因素对罗望子多糖提取率和蛋白质质量分数的影响

Fig.1 Effect of different factors on the extraction yield and protein mass fraction of TSP

表 1 响应面分析因素与水平

Tab.1 Independent variables and levels for the response surface design

因素	编号	水平		
		-1	0	1
原料目数/目	X ₁	80	120	160
提取 pH	X ₂	2.5	3.5	4.5
提取温度/℃	X ₃	70	80	90

$$\begin{aligned} \eta = & 46.05 + 0.53A - 2.08B + 2.19C + \\ & 1.44AB - 0.25AC - 0.48BC - \\ & 1.85A^2 + 0.20B^2 - 0.36C^2 + 1.44A^2B \end{aligned}$$

(2)

式中: A 表示原料目数; B 表示提取 pH; C 表示提取温度。

如表 3 所示, 模型的 $P<0.000\ 1$, 表明回归方程(2)极显著。模型校正决定系数 $R_{\text{adj}}^2=0.973\ 0$, 表明有 97.30% 可用该模型解释, 而只有 2.70% 无法解释。模型确定系数 $R^2=0.989\ 9$, 表明实际值和预测值的相关性良好^[17], 此二次回归模型可用于分析罗望子多糖的提取率。由 P 值可知, 提取 pH 和提取温度对多糖提取率的影响极显著, 原料目数对多糖提取率的影响显著。由 F 值可知^[18], 各因素对多糖提取率的影响贡献率为提取温度最

表 2 罗望子多糖提取响应分析方案及结果

Tab.2 Analysis scheme and results for the response surface design

实验号	X ₁	X ₂	X ₃	η/%	pro/%
1	0	0	0	46.54	1.07
2	-1	0	1	46.20	1.11
3	1	-1	0	43.99	1.55
4	-1	0	-1	41.55	0.84
5	-1	1	0	41.93	2.14
6	0	0	0	46.08	1.00
7	0	0	0	46.12	1.04
8	0	-1	1	51.47	1.54
9	1	0	1	47.07	1.18
10	0	1	1	46.34	1.59
11	-1	-1	0	46.10	1.53
12	0	0	0	45.47	1.05
13	0	-1	-1	45.92	1.36
14	1	0	-1	43.41	1.07
15	0	1	-1	42.72	1.58
16	1	1	0	45.57	2.74
17	0	0	0	46.03	1.05

高，其次为提取 pH，最后为原料目数。交互项 AB 和 BC 影响显著，交互项 AC 影响不显著，说明各影响因素对多糖提取率的影响不是简单的线性关系。

根据多元回归分析得到优化提取工艺的回归方程：

$$\begin{aligned} \rho = & 1.04 + 0.075A + 0.067B + 0.071C + \\ & 0.14AB - 0.04AC - 0.043BC + \\ & 0.24A^2 + 0.71B^2 - 0.23C^2 + \\ & 0.38A^2B + 0.08AB^2 \end{aligned} \quad (3)$$

如表 4 所示，模型的 $P<0.000\ 1$ ，表明回归方程(3)极显著。模型校正决定系数 $R_{\text{adj}}^2=0.993\ 7$ ，表明有 99.37% 可用该模型解释，而只有 0.63% 无法解释。模型确定系数 $R^2=0.998\ 0$ ，表明实际值和预测值的相关性良好^[16]，此二次回归模型可用于分析罗望子多糖中蛋白质质量分数。由 P 值可知，原料目数、提取 pH 和提取温度对多糖提取率的影响均为显著。由 F 值可知，各因素对蛋白质质量分数的影响贡献率为提取温度最高，其次为原料目数，最后为提取 pH。交互项 AB 影响显著，交互项 AC 和 BC 影响不显著，说明各影响因

表 3 罗望子多糖提取率的回归模型方差分析

Tab.3 Variance analysis variance for the fitted regression model of TSP yield

方差来源	平方和	自由度	均方差	F 值	P 值	显著性
模型	83.74	10	8.37	58.75	<0.000 1	**
A	2.27	1	2.27	15.92	0.007 2	*
B	17.35	1	17.35	121.72	<0.000 1	**
C	38.19	1	38.19	267.99	<0.000 1	**
AB	8.27	1	8.27	58.00	0.000 3	*
AC	0.25	1	0.25	1.72	0.237 7	—
BC	0.93	1	0.93	6.53	0.043 1	*
A^2	14.45	1	14.45	101.41	<0.000 1	**
B^2	0.17	1	0.17	1.21	0.313 8	—
C^2	0.55	1	0.55	3.88	0.096 5	—
A^2B	4.12	1	4.12	28.90	0.017 0	*
残差	0.86	6	0.14	—	—	—
失拟项	0.27	2	0.14	0.94	0.464 3	不显著
纯误差	0.58	4	0.15	—	—	—
总和	84.59	16	—	—	—	—
R^2	0.989 9	—	—	—	—	—
R_{adj}^2	0.973 0	—	—	—	—	—

注：** $P<0.01$ 为极显著；* $P<0.05$ 为显著。

表 4 罗望子多糖中蛋白质质量分数的回归模型方差分析

Tab.4 Variance analysis variance for the fitted regression model of protein mass fraction

方差来源	平方和	自由度	均方差	F 值	P 值	显著性
模型	3.66	11	0.33	231.05	<0.0001	**
A	0.022	1	0.022	15.64	0.010 8	*
B	0.018	1	0.018	12.67	0.016 2	*
C	0.041	1	0.041	28.23	0.003 2	*
AB	0.084	1	0.084	58.46	0.000 6	*
AC	0.006 4	1	0.006 4	4.45	0.088 7	—
BC	0.007 2	1	0.007 2	5.02	0.075 1	—
A^2	0.24	1	0.24	168.95	<0.000 1	**
B^2	2.11	1	2.11	1 466.18	<0.000 1	**
C^2	0.23	1	0.23	157.88	<0.000 1	**
A^2B	0.29	1	0.29	203.42	<0.000 1	**
AB^2	0.013	1	0.013	8.90	0.030 7	*
残差	7.192×10^{-3}	5	1.438×10^{-3}	—	—	—
失拟项	4.512×10^{-3}	1	4.512×10^{-3}	6.74	0.060 4	不显著
纯误差	0.002 68	4	0.006 7	—	—	—
总和	3.66	16	—	—	—	—
R^2	0.998 0	—	—	—	—	—
R_{adj}^2	0.993 7	—	—	—	—	—

注：** $P<0.01$ 为极显著；* $P<0.05$ 为显著。

素对蛋白质质量分数的影响不是简单的线性关系。

2.2.2 交互作用分析

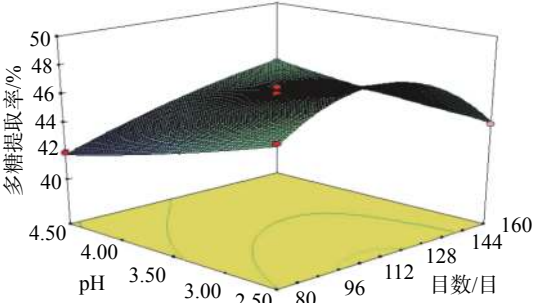
由图 2(a)可知，提取温度不变时，固定原料目数，多糖提取率随提取 pH 的降低呈升高的趋势；固定提取 pH，多糖提取率随原料目数的提高先升高后降低 ($P<0.05$)。由图 2(b)可知，提取 pH 不变时，固定原料目数，多糖提取率随提取温度的升高呈升高的趋势；固定提取温度，多糖提取率随原料目数的提高先升高后降低。由图 2(c)可知，原料目数不变时，固定提取温度，多糖提取率随提取 pH 的降低呈升高的趋势；固定提取 pH，多糖提取率随提取温度的升高呈升高的趋势 ($P<0.05$)。

由图 2(d)可知，提取温度不变时，固定原料目数，蛋白质质量分数随提取 pH 的降低先降低后

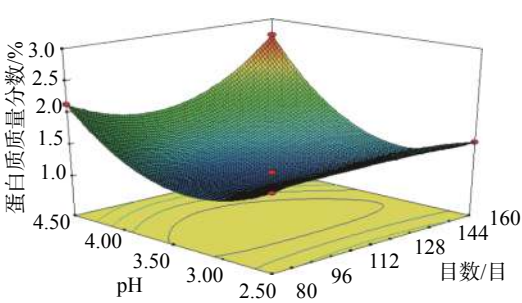
升高；固定提取 pH，蛋白质质量分数随原料目数的提高先升高后降低 ($P<0.05$)。由图 2(e)可知，提取 pH 不变时，固定原料目数，蛋白质质量分数随提取温度的升高先升高后降低；固定提取温度，蛋白质质量分数随原料目数的提高先降低后升高。由图 2(f)可知，原料目数不变时，固定提取温度，蛋白质质量分数随提取 pH 的降低先降低后升高；固定提取 pH，蛋白质质量分数随提取温度的升高先升高后降低。

2.2.3 响应面分析最优罗望子多糖提取工艺条件

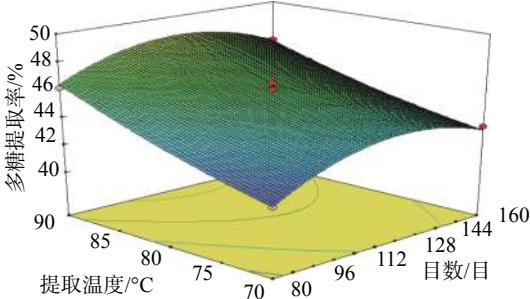
通过 Design Expert 8.0.5 软件得出多糖提取率相对高且蛋白质质量分数相对低的工艺优化方案。优化方案为：原料目数 118 目，提取 pH 3.06，提取温度 90 ℃，罗望子多糖提取率的理论值为 49.76%，蛋白质质量分数理论值为 1.00%。以此条



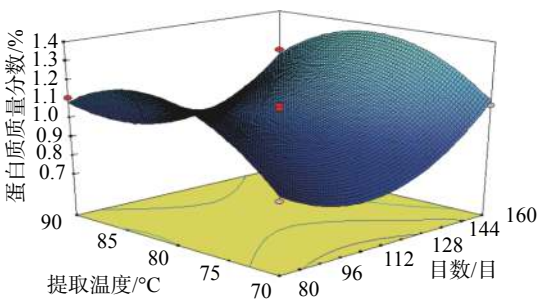
(a) 目数与 pH 的交互作用对多糖提取率的影响



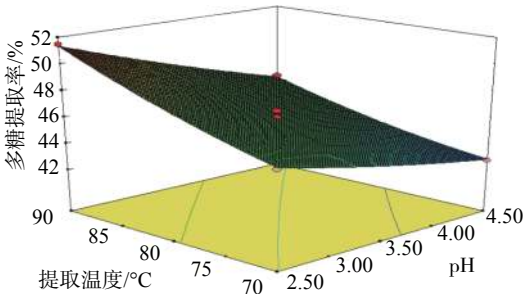
(d) 目数与 pH 的交互作用对蛋白质质量分数的影响



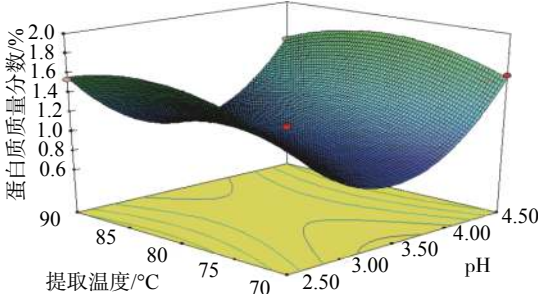
(b) 目数与温度的交互作用对多糖提取率的影响



(e) 目数与温度的交互作用对蛋白质质量分数的影响



(c) pH 与温度的交互作用对多糖提取率的影响



(f) pH 与温度的交互作用对蛋白质质量分数的影响

图 2 两因素的交互作用对罗望子多糖提取率和蛋白质质量分数的影响

Fig.2 Influence of response surface plots of variable parameters on the TSP yield and protein mass fraction

件进行验证实验，实际值为原料目数 120 目，提取 pH 3.1，提取温度 90 ℃，罗望子多糖提取率的实际值为 49.59%±0.36%，蛋白质质量分数实际值为 1.02%±0.05%，表明实验实际值与模型预测值相符度高，该模型具有实际意义。与国内现有的研究^[3, 11-13]相比，该模型以多糖提取率代替多糖得率，更为准确地反映了产物中的多糖含量；且首次结合了多糖提取率和蛋白质质量分数两项指标，对提取工艺进行优化，使其操作简便、成本低廉，为罗望子胶的大规模生产提供一定的参考和理论依据。

3 结 论

本实验通过对罗望子多糖提取工艺的研究，初步确定了影响罗望子多糖提取率的主要因素，在单因素实验的基础上，本实验采用了响应面分析法，以高多糖提取率和低蛋白质质量分数为指标，对罗望子多糖的提取工艺进行了优化，从而得到的最佳工艺条件为：原料目数 120 目，提取 pH 3.1，提取温度 90 ℃，罗望子多糖提取率为 49.59%±0.36%，蛋白质质量分数为 1.02%±0.05%，实验实际值与模型预测值相符度高，该模型具有实际意义。本实验所采用的提取工艺简单，成本低廉，为罗望子胶的大规模生产提供一定的理论依据。

参考文献：

[1] 赵一鹤, 杨时宇, 李昆. 世界酸角研究现状及进展[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(1): 65–72.

[2] 邵金良, 黎其万, 刘宏程, 等. 酸角保健软糖的加工工艺技术研究[J]. 中国食品添加剂, 2010(2): 201–205.

[3] 赵元藩. 罗望子多糖的提取及应用[J]. 西部林业科学, 2006, 35(4): 109–111, 133.

[4] 赵元藩, 赵良, 田洁, 等. 罗望子胶的生产工艺研究[J]. 云

南化工, 1999(1): 30–33.

[5] 任艳艳, 张水华. 罗望子胶的生产及其应用[J]. 食品工业, 2003(3): 24–25.

[6] 刘婉乔, 邓瑞君, 徐荣雄, 等. 罗望子的研究——Ⅱ. 罗望子种子多糖的提取及其流变性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 1992(6): 1–7.

[7] 王元兰, 李忠海. 罗望子胶结构、性能、生产及其在食品工业中的应用[J]. 经济林研究, 2006, 24(3): 71–74.

[8] ALPIZAR-REYES E, CARRILLO-NAVAS H, GALLARDO-RIVERA R, et al. Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 209: 68–75.

[9] KHOUNVILAY K, SITTIKIJYOTHIN W. Rheological behaviour of tamarind seed gum in aqueous solutions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 26(2): 334–338.

[10] 顾志平, 陈四保, 王晓光. 罗望子的综合利用开发[J]. 天然产物研究与开发, 1994, 6(2): 84–87.

[11] 阚欢, 刘云, 熊丽萍, 等. 响应面法优化罗望子胶的提取工艺[J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 321–324.

[12] 郇延军, 顾琼芬. 罗望子种子多糖的提取纯化工艺研究[J]. 山东食品发酵, 1997(3): 5–10.

[13] 王文光, 袁唯, 张慧, 等. 罗望子胶提取工艺技术的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2011(6): 55–56, 58.

[14] 田翔, 王海岗, 曹晓宁, 等. 全自动凯氏定氮仪在农作物粗蛋白检测中的应用[J]. 山西农业科学, 2014, 42(3): 233–235.

[15] 陈如寿, 殷钟意, 郑旭煦, 等. 响应面法优化竹笋剩余物甾醇的超声辅助提取工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 85–90.

[16] 张彬, 谢明勇, 殷军艺, 等. 响应面分析法优化超声提取茶多糖工艺的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 234–238.

[17] 胡成旭, 侯欣彤, 冯永宁, 等. 响应面法优化云芝多糖提取条件的研究[J]. 食品工业科技, 2007(7): 124–126, 130.

[18] 黄晓君, 聂少平, 王玉婷, 等. 铁皮石斛多糖提取工艺优化及其成分分析[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 21–26.

(编辑：丁红艺)