

陈月星, 李慧心, 李亚文, 等. 罗汉果粗多糖的提取工艺优化及其压片糖果的研制 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 158-165. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050094

CHEN Yuexing, LI Huixin, LI Yawen, et al. Optimization of Extraction Process of Crude Polysaccharide from *Siraitia grosvenorii* and Development of Pressed Candy[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 158-165. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050094

· 工艺技术 ·

# 罗汉果粗多糖的提取工艺优化 及其压片糖果的研制

陈月星<sup>1,2</sup>, 李慧心<sup>1</sup>, 李亚文<sup>3</sup>, 高梦青<sup>1</sup>

(1. 商洛学院生物医药与食品工程学院, 陕西商洛 726000;  
2. 陕西秦岭特色生物资源产业技术研究院, 陕西商洛 726000;  
3. 商洛学院电子信息与电气工程学院, 陕西商洛 726000)

**摘要:** 本文以罗汉果为原料, 采用纤维素酶协同水提醇沉法提取罗汉果粗多糖, 通过单因素实验分析酶解 pH、纤维素酶用量、酶解时间、酶解温度对罗汉果粗多糖得率的影响, 应用响应面法对提取工艺进行优化, 结果表明, 罗汉果粗多糖最佳提取工艺参数为: 酶解 pH5.9、纤维素酶用量 0.8%、酶解温度 50 °C、酶解时间 62 min, 该工艺参数下罗汉果粗多糖得率为 6.64%, 与模型预测基本一致。基于罗汉果消炎、抗氧化等药用价值, 进一步研制罗汉果压片糖果, 通过单因素实验考察罗汉果粗多糖、硬脂酸镁、阿斯巴甜和甘露醇的添加量对压片糖果感官品质的影响, 应用正交试验优化配方, 研究表明, 经优化的罗汉果压片糖果配方为: 罗汉果粗多糖 20%、硬脂酸镁 1.5%、阿斯巴甜 3%、甘露醇 60%, 感官评分 90 分, 依此配方所制压片糖果入口清凉、色泽均匀、无砂粒感。

**关键词:** 响应面法, 罗汉果, 粗多糖, 工艺优化, 压片糖果

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)05-0158-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050094



本文网刊:

## Optimization of Extraction Process of Crude Polysaccharide from *Siraitia grosvenorii* and Development of Pressed Candy

CHEN Yuexing<sup>1,2</sup>, LI Huixin<sup>1</sup>, LI Yawen<sup>3</sup>, GAO Mengqing<sup>1</sup>

(1. College of Biology Pharmacy and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo 726000, China;  
2. Shaanxi Qinling Industrial Technology Research Institute of Special Biology Resources, Shangluo 726000, China;  
3. Electronic Information and Electronic Engineering College, Shangluo University, Shangluo 726000, China)

**Abstract:** Taking *Siraitia grosvenorii* as experiment material, crude polysaccharide was extracted by water-extraction alcohol-precipitation method assisted with cellulase. Single factor experiments were conducted to analyze the effect of digestion pH, cellulase dosage, digestion time, and digestion temperature on the crude polysaccharide yield. Based on the results of the single experiments, response surface method was applied to optimize the extraction process. The optimized extraction process of crude polysaccharide from *Siraitia grosvenorii* was as follows: Digestion pH5.9, cellulase dosage 0.8%, digestion temperature 50 °C, digestion time 62 min. Under the above extraction process, the crude polysaccharide yield was 6.64%, which was consistent with the model predicted value. Based on the anti-inflammatory and antioxidant value of *Siraitia grosvenorii*, a kind of pressed candy was developed. The influence of the different addition of crude polysaccharide, magnesium stearate, aspartame and mannitol on the sensory quality of the *Siraitia grosvenorii* pressed candy by single factor experiment. Subsequently, the formula of the pressed candy was further optimized by orthogonal experiment. The results showed that the optimized formula of the pressed candy was as follows: *Siraitia grosvenorii* crude

收稿日期: 2022-05-11

基金项目: 商洛学院引进人才启动项目 (17SKY015); 中央引导地方科技发展专项 (2019ZY-FP-02); 商洛学院科研创新团队 (19SXC03); 2021 年陕西省大学生创新创业训练计划项目 (S202111396086)。

作者简介: 陈月星 (1984-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 农林生物教学与研究, E-mail: yuexingchen926@163.com。

polysaccharide 20%, magnesium stearate 1.5%, aspartame 3%, and mannitol 60%. The sensory score of the pressed candy under the optimized formula was 90 and the candy was of uniform color, cool taste, and no sand sense.

**Key words:** response surface method; *Siraitia grosvenorii*; crude polysaccharide; process optimization; pressed candy

罗汉果(*Siraitia grosvenorii*)为葫芦科多年生宿根性藤本植物,我国首批“药食两用”中药材之一<sup>[1-3]</sup>,在东南亚和西方国家享有“东方神果”和“长寿之果”的美誉<sup>[4]</sup>。罗汉果含有多种人体必需氨基酸、V<sub>C</sub>、V<sub>E</sub>等多种营养素以及多糖、黄酮、皂苷、多酚等生物活性成分<sup>[5]</sup>。《中药志》记载罗汉果味甘、性凉、无毒、归肺和大肠经,具有止咳、化痰、消炎、抗氧化等功效,可应用于慢性气管炎、肠燥便秘、急慢性扁桃体炎等疾病的治疗<sup>[6-9]</sup>。此外,现代药理学研究表明,罗汉果不仅能抑菌消炎、抗肿瘤、调节免疫系统、预防心脑血管疾病等慢性疾病,还能明显干预糖脂代谢的异常<sup>[10-13]</sup>。

目前,罗汉果粗多糖的提取方法主要有热水浸提法<sup>[14]</sup>、水提醇沉法<sup>[15]</sup>、超声波提取法<sup>[16]</sup>等。从工业生产角度分析,得率高、成本低、用时短、操作简单的提取工艺依然是研究的热点问题之一。酶法辅助提取是在酶作用下使细胞壁结构分解,促进细胞内含物溢出,具有反应速率快、选择性高、反应条件温和等优点,对低含量或热稳定性低的化学成分进行提取时优势更加明显<sup>[17-18]</sup>。

罗汉果及其提取物在功能食品和特医食品领域已得到一定的应用,但在市场上仍主要以鲜果或干果形式出售,产品形式单一,深加工产品较少<sup>[19]</sup>。因此,本研究拟采用纤维素酶辅助水提醇沉法对罗汉果粗多糖进行提取,在单因素实验基础上利用响应面法确定最佳提取工艺条件,进一步以罗汉果粗多糖提取物、麦芽糊精、可溶性淀粉等为主要原料研制一种罗汉果粗多糖压片糖果,通过单因素实验和正交试验确定最佳配方,研究成果可为罗汉果粗多糖提取工艺研究及相关产品的研发提供一定的理论基础和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

罗汉果干燥果实 陕西康超康健药业有限公司;纤维素酶(食品级,5000 U/g) 安徽纽曼精细化工有限公司;苯酚、葡萄糖、正丁醇、可溶性淀粉 天津市科密欧化学试剂有限公司;氯仿、正丁醇 利安隆博华(天津)医药化学有限公司;浓硫酸 四川西陇化工有限公司;甘露醇 天津市福晨化学试剂厂;阿斯巴甜(Aspartame, APM) 江苏维度股份有限公司;无水乙醇 利安隆博华(天津)医药化学有限公司;麦芽糊精 山东西王糖业有限公司;硬脂酸镁 派尼化学试剂厂(郑州)。

BS110 电子分析天平 赛多利斯天平公司;LD4-2A 离心机 北京医用离心机厂;HH-4 数显恒温水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司;FW80 微型粉碎机 天津泰斯特仪器有限公司;PHS-3C 精密型 pH

计 上海三信仪表厂;DHG-9030A(101)电热鼓风干燥箱 上海齐欣科学仪器有限公司;RE52-99 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;CM-2002 真空抽滤机 深圳瑞鑫达科有限公司;TDP-0 压片机 上海绿翊机械制造有限公司;UV1800 紫外分光光度计 日本岛津。

### 1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 将罗汉果果实粉碎研磨,乙醇脱色和去除小分子糖(按 1:10 加无水乙醇,温度 80 ℃ 条件下在冷凝回流装置中进行两次,1.5 h/次,过滤,挥干乙醇后,60 ℃ 烘干至恒重),过 40 目筛,置于干燥的广口瓶内,密封保存备用<sup>[20-21]</sup>。

1.2.2 罗汉果粗多糖的提取 称取 5.000 g 预处理样品,加入 0.030 g(0.6%)纤维素酶(食品级,5000 U/g)于 pH5.0、40 ℃ 条件下酶解 50 min,微波法灭酶(3.0 kW/kg, 2 min),4000 r/min 离心 15 min 后,应用 Seveage 法(氯仿-正丁醇混合溶液, V<sub>氯仿</sub>:V<sub>正丁醇</sub>=4:1)除去蛋白质,加入等体积 95% 乙醇于 4 ℃ 沉淀 24 h,然后 4000 r/min 离心 15 min,去掉上清液,将沉淀复溶,干燥后得罗汉果粗多糖,置于广口瓶内,密封保存备用<sup>[22-23]</sup>。后续将通过单因素实验分析纤维素酶用量、酶解 pH、酶解时间和酶解温度 4 个因素对罗汉果粗多糖得率的影响。

1.2.3 罗汉果粗多糖得率的测定 通过苯酚-硫酸法测定罗汉果粗多糖质量浓度<sup>[24]</sup>。参考颜小捷等<sup>[25]</sup>的方法,以葡萄糖质量浓度(mg/mL)为横坐标,以吸光度为纵坐标绘制葡萄糖标准曲线,所得线性回归方程为  $Y=63.873X-0.01$ ,  $R^2$  为 0.9994,线性关系良好。由线性方程计算罗汉果粗多糖质量浓度,按以下公式求解罗汉果粗多糖得率:

$$\text{罗汉果粗多糖得率}(\%) = \frac{\text{罗汉果粗多糖质量}}{\text{罗汉果质量}} \times 100$$

### 1.2.4 罗汉果粗多糖提取工艺研究

1.2.4.1 单因素实验 参考李洪燕等<sup>[17]</sup>的方法,确定罗汉果粗多糖基准提取工艺参数为:酶解时间 50 min、酶解 pH5.0、酶解温度 40 ℃、酶用量 0.6%(酶用量/罗汉果粉末质量)。在基准工艺条件下,探讨酶解时间(30、40、50、60、70、80 min)、酶解 pH(4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5)、酶解温度(30、35、40、45、50、55 ℃)与酶用量(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%)对罗汉果粗多糖得率的影响。

1.2.4.2 响应面优化试验 在单因素实验结果分析基础上,选择对罗汉果粗多糖得率影响较显著的因素进行响应面优化试验(因素水平详见表 1),遵循 Box-Behnken 设计原理<sup>[26]</sup>,利用 Design Expert 8.0.6 进行

响应面模型设计和数据分析,确定罗汉果粗多糖的最佳提取工艺参数。

表1 响应面试验因素水平  
Table 1 Factors and levels of response surface test

水平	因素		
	A 酶解时间(min)	B 酶解温度(°C)	C 酶解pH
-1	50	45	5.0
0	60	50	5.5
1	70	55	6.0

### 1.2.5 罗汉果压片糖果的配方研究

1.2.5.1 罗汉果压片糖果制作工艺 罗汉果压片糖果制作的工艺流程<sup>[27]</sup>:原料处理→原辅料混合(除硬脂酸镁)→制湿颗粒(95%乙醇)→干燥→整粒混合(过20目筛,加入硬脂酸镁)→压片。操作要点如下<sup>[27]</sup>:

a.原料处理:罗汉果粗多糖粉碎过80目筛,麦芽糊精、甘露醇、阿斯巴甜粉碎过60目筛,分别保存备用。

b.原辅料混合:按配方比例准确称取罗汉果粗多糖、可溶性淀粉、麦芽糊精、阿斯巴甜和甘露醇,充分混合30min,过60目筛。

c.制湿颗粒:在处理好的样品中加入95%乙醇(加入量为原辅料质量的30%),搅拌15min制成适宜的湿颗粒,大小均匀,松散适宜。

d.干燥:制成的湿颗粒均匀分散在不锈钢托盘上,置于70℃恒温干燥箱中干燥3h,每隔20min翻动1次,保证干燥后的颗粒湿度在3%~5%。

e.整理混合:干燥后的颗粒过20目筛,加硬脂酸镁充分混合。

f.压片:用手动式压片机直接压片,制成罗汉果压片糖果,经灭菌即得成品。

1.2.5.2 单因素实验 参考张宇心等<sup>[27]</sup>和柳富杰等<sup>[28]</sup>的方法,以0.6g/片为基准,确定压片糖果基础配方为:罗汉果粗多糖20%、可溶性淀粉5.5%、麦芽糊精18%、硬脂酸镁1.5%、阿斯巴甜5%、甘露醇50%。通过单因素实验分析罗汉果粗多糖、硬脂酸镁、阿斯巴甜、甘露醇等对压片糖果感官品质的影响,按照1.2.5.1所述工艺流程,在其基础上进行单因素实验。在固定可溶性淀粉、麦芽糊精添加量不变的情况下,分别分析罗汉果粗多糖添加量(10%、15%、20%、25%、30%)、硬脂酸镁添加量(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)、阿斯巴甜添加量(1%、3%、5%、7%、9%)、甘露醇添加量(30%、40%、50%、60%、70%)对压片糖果感官品质的影响(在进行某一单因素实验时其他因素均按照基础配方中的添加量添加),以感官评分作为评价指标<sup>[27-28]</sup>。

1.2.5.3 正交试验设计 在单因素实验基础上,选择对压片糖果感官品质影响较显著的因素,采用正交试验设计对配方进行优化(因素水平详见表2),获得罗汉果压片糖果最佳的配方<sup>[29]</sup>。

表2 正交试验因素水平

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			
	A 罗汉果粗多糖(%)	B 硬脂酸镁(%)	C 阿斯巴甜(%)	D 甘露醇(%)
1	15	0.5	3	50
2	20	1.0	5	60
3	25	1.5	7	70

1.2.5.4 压片糖果的感官评定 参考李冰等<sup>[30]</sup>制定的感官评定方法并加以修改,制定如表3所示的感官评定标准。

表3 感官评定标准  
Table 3 Sensory evaluation standard

指标	评价标准	得分(分)
外观(20分)	色泽均匀,无斑点,无异物	16~20
	色泽均匀、有少许斑点、无异物	11~15
	色泽不均匀,有大量斑点,无异物	0~10
风味(30分)	具有罗汉果特有香味、入口清凉爽口	25~30
	罗汉果香味较淡,入口清凉感较淡,味道腻感一般	15~24
	基本无罗汉果香味,入口略有清凉和细腻感,略有异味	0~14
口感(30分)	无砂粒感和粗糙感	21~30
	略有砂砾感和粗糙感	11~20
	具有砂砾感和粗糙感	0~10
组织形态(20分)	加工时,粉体流动性好,产品硬度适宜,断面组织紧密	16~20
	加工时,粉体流动性较好,产品硬度偏软或偏硬	11~15
	加工时,粉体流动性差,产品硬度过硬或过软	0~10

## 1.3 数据处理

罗汉果粗多糖提取工艺单因素实验以及压片糖果研制单因素实验均进行3次重复,应用Excel 2013整理数据,采用SPSS 16.0进行方差分析,多重比较采用Duncan法。利用Design Expert 8.0.6进行响应面试验设计与数据分析,建立多元二次回归方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 罗汉果粗多糖提取工艺研究

#### 2.1.1 单因素实验

2.1.1.1 酶解时间对罗汉果粗多糖得率的影响 酶解时间对罗汉果粗多糖得率的影响如图1所示,由图可知,随着酶解时间的延长,罗汉果粗多糖得率呈

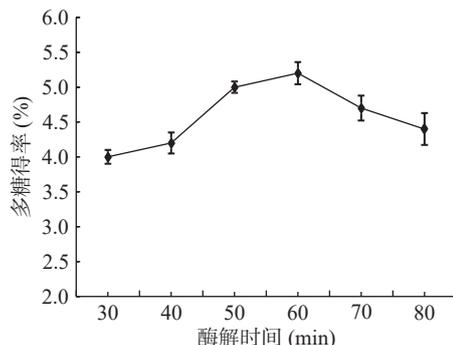


图1 酶解时间对罗汉果粗多糖得率的影响

Fig.1 Effects of digestion time on the yield of crude polysaccharide from *Siraitia grosvenori*

现先上升再下降的趋势,当酶解时间为 60 min 时,得率最高为 5.2%,这是因为随着酶解时间的延长,罗汉果细胞壁及细胞间层的纤维素阻挡层已被有效破解,糖类物质大多已从细胞内扩散到溶液中,细胞外的多糖浓度已达到了一种动态平衡,但是酶促反应的产物,如半乳糖醛酸等物质的不断积累会对酶促反应造成反馈抑制,多糖得率反而下降,所以酶解时间应适宜,且过长酶解时间还会增加能耗<sup>[17]</sup>。因此,选取 50、60 和 70 min 三个水平进行后续优化试验。

**2.1.1.2 酶解 pH 对罗汉果粗多糖得率的影响** 酶解 pH 对罗汉果粗多糖得率的影响如图 2 所示,由图可知,随着溶液 pH 的升高,粗多糖得率先缓慢升高然后迅速降低,当 pH 为 5.5 时,罗汉果粗多糖得率最高;当 pH 继续升高,粗多糖得率开始下降。这是因为纤维素酶的最适 pH 范围为 4.0~6.0,此范围内纤维素酶活力最大,过酸或过碱时,酶的空间结构会受到破坏,影响其催化活性,从而使多糖得率降低。因此,选取 pH 5.0、5.5、6.0 进行后续优化试验。

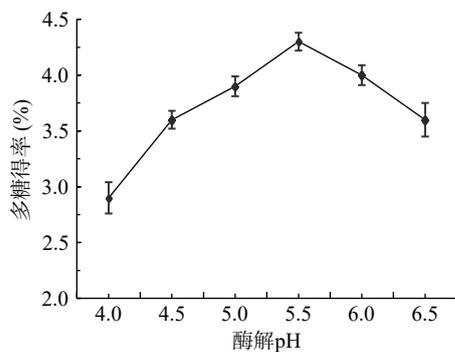


图2 酶解 pH 对罗汉果粗多糖得率的影响

Fig.2 Effects of digestion pH on the yield of crude polysaccharide from *Siraitia grosveneri*

**2.1.1.3 酶解温度对罗汉果粗多糖得率的影响** 酶解温度对罗汉果粗多糖得率的影响如图 3 所示,由图可知,在 30~55 °C 范围内,随着酶解温度的升高,粗多糖得率呈现先升高后降低的趋势。当酶解温度为 50 °C 时,罗汉果粗多糖得率最高。纤维素酶本质上是一种蛋白质,温度过高会使蛋白质变性失活,失去催化活性,因而影响罗汉果粗多糖提取效果,同时,

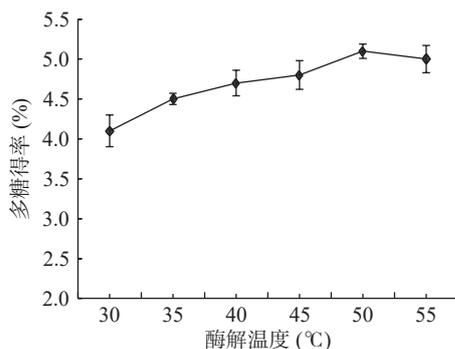


图3 酶解温度对罗汉果粗多糖得率的影响

Fig.3 Effects of digestion temperature on the yield of crude polysaccharide from *Siraitia grosveneri*

高温还会破坏多糖的结构,因此酶解温度应适宜。根据图 3 酶解温度对粗多糖得率的影响,选取 45、50 和 55 °C 进行后续优化试验。

#### 2.1.1.4 纤维素酶用量对罗汉果粗多糖得率的影响

纤维素酶用量对罗汉果粗多糖得率的影响如图 4 所示,由图可知,在 0.2%~0.8% 范围内,随着纤维素酶用量的增加,罗汉果粗多糖得率不断提高;当纤维素酶用量为 0.8% 时,罗汉果粗多糖得率最高,但是继续增加纤维素酶用量,得率开始缓慢下降。这是因为纤维素酶的催化作用使细胞壁部分破损,细胞内膜系统发生变形或破裂,从而增加膜的通透性,有利于粗多糖的溢出,然而纤维素分子与酶分子结合点位有限,当结合位点饱和后继续增加纤维素酶用量,不仅不能促进酶解作用,而且会产生一定的抑制作用,粗多糖得率呈下降趋势。因此,确定纤维素酶用量为 0.8%,该因素不再进行后续优化。

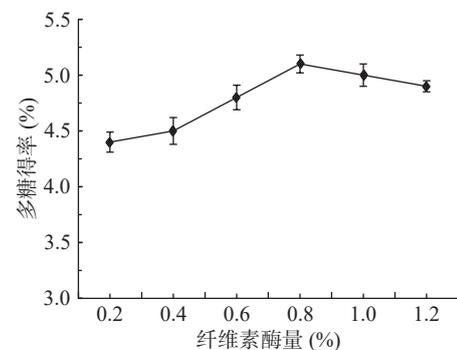


图4 纤维素酶用量对罗汉果粗多糖得率的影响

Fig.4 Effect of cellulase dosage on the yield of crude polysaccharide from *Siraitia grosveneri*

**2.1.2 响应面优化试验** 基于单因素实验选取酶解 pH、酶解温度与酶解时间 3 个因素进入响应面优化试验,利用 Design Expert 8.0.6 进行响应面模型设计,共计 17 组实验,结果如表 4 所示。

表 4 Box-Behnken 试验方案及结果

Table 4 Test scheme and results of Box-Behnken

试验序号	A 酶解时间	B 酶解温度	C 酶解pH	罗汉果粗多糖得率 (%)
1	1	0	1	3.85
2	-1	0	1	5.27
3	0	-1	-1	4.39
4	-1	-1	0	4.58
5	0	0	0	6.61
6	0	1	-1	4.26
7	0	0	0	6.62
8	-1	1	0	4.32
9	0	0	0	6.57
10	1	0	-1	5.95
11	-1	0	-1	3.86
12	1	1	0	5.12
13	0	0	0	6.48
14	1	-1	0	4.57
15	0	0	0	6.42
16	0	-1	1	3.78
17	0	1	1	4.39

对表4数据进行回归分析,建立以酶解时间 A、酶解温度 B、酶解 pH C 为自变量,罗汉果粗多糖得率 Y 为因变量的回归模型,回归方程为:

$$Y=6.65+0.18A+0.096B-0.15C+0.20AB-0.88AC+0.19BC-0.69A^2-1.21B^2-1.13C^2$$

对回归方程进行显著性检验,结果如表5所示,  $P<0.0001$  说明此回归模型极显著。  $R^2=0.9943$ , 说明该模型可解释 99.43% 的响应值变异,失拟项  $P$  值为 0.7362, 不显著,综上所述,该二次方程和真实响应面存在较高拟合度。回归模型方差分析结果显示, A、C、 $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 、AB、AC、BC 对罗汉果粗多糖得率均具有极显著的影响 ( $P<0.01$ ), B 影响显著 ( $P<0.05$ ); 各因素对罗汉果粗多糖得率的影响程度由大至小的排序为: A(酶解时间) $>$ C(酶解 pH) $>$ B(酶解温度)。“Adeq 精度”测量信号与噪音的比值,比率大于 4 是可取的。变异系数 C.V% 值为 1.61, 比较稳定,说明可以使用该模型对罗汉果粗多糖的提取工艺优化做出合理的分析和评估。

表5 回归模型统计结果  
Table 5 Statistical analysis of the regression model

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	18.90	9	2.10	309.22	<0.0001	**
A 酶解时间	0.27	1	0.27	39.23	0.0004	**
B 酶解温度	0.074	1	0.074	10.91	0.0131	*
C 酶解pH	0.17	1	0.17	25.19	0.0015	**
AB	0.16	1	0.16	24.15	0.0017	**
AC	3.08	1	3.08	453.47	<0.0001	**
BC	0.14	1	0.14	20.16	0.0028	**
$A^2$	1.98	1	1.98	291.30	<0.0001	**
$B^2$	6.20	1	6.20	921.12	<0.0001	**
$C^2$	5.36	1	5.36	788.77	<0.0001	**
残差	0.048	7	6.792E-003			
失拟	0.012	3	3.942E-003	0.44	0.7362	
纯误差	0.036	4	8.930E-003			
总误差	18.95	16				

注: \*表示  $P<0.05$ (显著); \*\*表示  $P<0.01$ (极显著)。

根据响应面模型的分析,得到最佳提取工艺参数为(罗汉果样品 1.0 g): 酶解温度 50.24 °C、酶解时间 62.4 min 与 pH5.92、纤维素酶用量 0.8%, 模型预测罗汉果粗多糖得率为 6.581%。经对比,该预测值与响应面优化试验方案中  $A_0B_0C_0$  粗多糖得率(平均值 6.52%)相近,故以响应面优化结果工艺 ( $W_1$ )、 $A_0B_0C_0$  ( $W_2$ ) 两种提取工艺进行验证实验,为了便于实验操作,把  $W_1$  各因素水平确定为: 酶解温度 50 °C、酶解 pH5.9、酶解时间 62 min、纤维素酶用量 0.8%, 每组进行三次重复并取其平均值,经比较  $W_1$  (平均得率为 6.64%) 略高于  $W_2$  (平均得率为 6.60%), 确定罗汉果粗多糖最佳提取工艺参数为: 酶解时间 62 min、酶解 pH5.9、酶解温度 50 °C、纤维素酶用量 0.8%, 罗汉果粗多糖得率为 6.64%, 与模型预测结果基本一致。陈阳等<sup>[24]</sup> 通过响应面法优化了罗汉果粗多糖的超声提取工艺, 所得罗汉果粗多糖得率最高为 6.39%。

相比于热水浸提法得率提高了 15%。与之相比,本研究使用纤维素酶协同水提醇沉法提取粗多糖得率提高了 4.5%, 这可能是因为纤维素酶分解细胞壁, 加速胞内成分释放, 从而能在一定程度上提高粗多糖的提取效率<sup>[31]</sup>。

## 2.2 罗汉果压片糖果配方优化研究

### 2.2.1 单因素实验

2.2.1.1 罗汉果粗多糖添加量对压片糖果感官的影响 罗汉果粗多糖添加量对压片糖果感官的影响如图5所示, 由图可知, 在 10%~30% 范围内, 随着罗汉果粗多糖添加量的增加, 压片糖果感官评分呈现先上升后下降的趋势, 当粗多糖添加量为 20% 时, 感官评分最高, 此时, 所制压片糖果色泽均匀、入口清凉。因此, 选取 15%、20% 和 25% 三个水平进行后续优化。

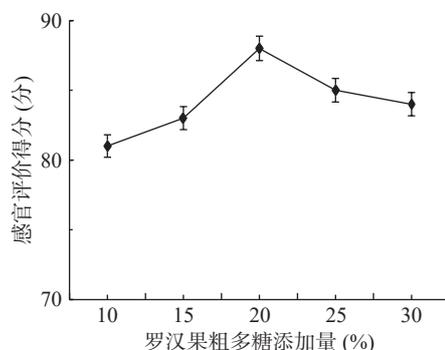


图5 罗汉果粗多糖添加量对压片糖果感官的影响  
Fig.5 Effects of the content of crude polysaccharide from *Siraitia grosvenori* on sensory properties of pressed candy

2.2.1.2 硬脂酸镁添加量对压片糖果感官的影响 硬脂酸镁作为乳化剂和抗结剂, 广泛用于糖果、蜜饯、糕点、口香糖等食品的生产加工。硬脂酸镁添加量对压片糖果感官的影响如图6所示, 由图可知, 在 0.5%~2.5% 范围内, 随着硬脂酸镁添加量的增加, 感官评分呈现先上升后下降的趋势, 当硬脂酸镁添加量为 1% 时, 压片糖果制作过程中流动性较好, 产品硬度适宜, 所以选取 0.5%、1% 和 1.5% 进行后续优化。

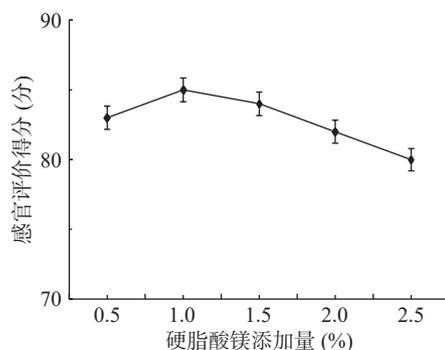


图6 硬脂酸镁添加量对压片糖果感官的影响  
Fig.6 Effects of magnesium stearate addition on sensory properties of pressed candy

2.2.1.3 阿斯巴甜添加量对压片糖果感官的影响 阿斯巴甜是目前市面上使用比较普遍的一种二肽类

的人工甜味剂,其优势是不会导致龋齿、不影响血糖,低热量、高甜度、甜味纯<sup>[32]</sup>。阿斯巴甜添加量对压片糖果感官的影响如图 7 所示,由图可知,随着阿斯巴甜添加量的增加,感官评分呈现先上升再下降的趋势,当添加量为 5% 时,压片糖果甜度适宜,感官评分最高,所以选取 3%、5%、7% 进行后续优化。

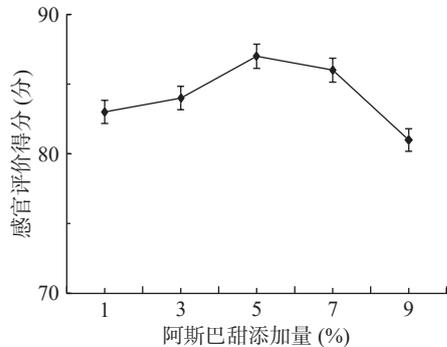


图 7 阿斯巴甜添加量对压片糖果感官的影响  
Fig.7 Effects of aspartame addition on sensory properties of pressed candy

2.2.1.4 甘露醇添加量对压片糖果感官的影响 甘露醇可作为低热值、低糖的甜味剂,用于糖尿病患者、肥胖病人及低糖食品的开发。与高倍甜味剂复合作用时,可使甜味口感达到最佳。并有效降低成本,提高产品稳定性<sup>[33]</sup>。甘露醇添加量对压片糖果感官的影响如图 8 所示,由图可知,当甘露醇添加量为 60% 时,压片糖果甜度适宜,与阿斯巴甜复合效果较好,感官评分最高,因此选取 50%、60% 和 70% 三个水平进行后续优化。

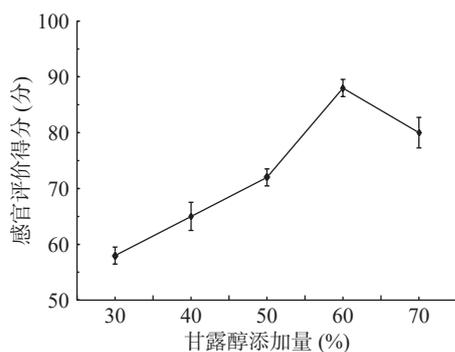


图 8 甘露醇添加量对压片糖果感官的影响  
Fig.8 Effects of mannitol addition on sensory properties of pressed candy

2.2.2 正交试验优化压片糖果配方 根据单因素结果与分析,选择 A(罗汉果粗多糖)、B(硬脂酸镁)、C(阿斯巴甜)、D(甘露醇)为考察因素,以感官评分为评价指标,采用  $L_9(3^4)$  表进行正交试验,确定罗汉果压片糖果最佳配方,试验结果及极差分析如表 6 所示。

由表 6 可知,根据极差  $R$  值,各个因素对压片糖果的影响顺序为 D(甘露醇)>C(阿斯巴甜)>B(硬脂酸镁)>A(罗汉果粗多糖),最佳配方为  $A_2B_3C_2D_2$ ,即罗汉果粗多糖添加量 20%、硬脂酸镁添加量 1.5%、

表 6 正交试验结果与极差分析

Table 6 Orthogonal experimental results and range analysis

序号	因素				感官评定得分(分)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	70
2	1	2	2	2	81
3	1	3	3	3	74
4	2	1	2	3	79
5	2	2	3	1	58
6	2	3	1	2	90
7	3	1	3	2	74
8	3	2	2	3	83
9	3	3	1	1	69
$k_1$	75	74.3	76.3	65.7	
$k_2$	75.7	74	81	81.7	
$k_3$	75.3	77.7	69.7	78.7	
$R$	0.7	3.7	11.3	16	

阿斯巴甜添加量 5%、甘露醇添加量 60%。对优化组合配方进行 3 次平行实验并进行感官评定,感官评定平均为 90.3 分,与正交试验第 6 组( $A_2B_3C_1D_2$ )感官评分相近(90 分),二者差异为阿斯巴甜的添加量不同,分别为 5%(优化组合)和 3%(第 6 组),综合考虑生产成本和基本一致的感官评分,确定  $A_2B_3C_1D_2$  组合为最佳配方,即罗汉果粗多糖添加量 20%、硬脂酸镁添加量 1.5%、阿斯巴甜添加量 3%、甘露醇添加量 60%,依此配方所制压片糖果入口清凉、色泽均匀、无砂粒感。罗汉果压片糖果的研制丰富了罗汉果深加工产品类型,有助于推动罗汉果资源得到高效利用。

### 3 结论

本研究通过纤维素酶协同水提醇沉法提取罗汉果粗多糖,通过单因素实验探究了酶解温度、酶解时间、酶解 pH 和纤维素酶用量对粗多糖得率的影响,应用响应面优化法确定最佳提取工艺参数为:酶解时间 62 min、酶解 pH5.9、酶解温度 50 °C、纤维素酶用量 0.8%,此条件下罗汉果粗多糖得率为 6.64%。通过单因素实验和正交试验对罗汉果压片糖果的配方进行优化研究,确定最佳配方为:罗汉果粗多糖添加量 20%、硬脂酸镁添加量 1.5%、阿斯巴甜添加量 3%、甘露醇添加量 60%,以此配方所制压片糖果口感清凉、色泽均匀、软硬适中,感官综合评分 90 分。本研究结果可为罗汉果深加工利用及相关产品的开发提供一定的理论基础和技术支持。

### 参考文献

- [1] 郭婕,刘小钰,李嘉欣,等.罗汉果皂苷活性的研究进展[J].继续医学教育,2021,35(5):165-166. [GUO J, LIU X Y, LI J X, et al. Research progress on the activity of mogrosin saponins[J]. Continuing Medical Education, 2021, 35(5): 165-166.]
- [2] JIN J S, LEE J H. Phytochemical and pharmacological aspects of *Siraitia grosvenorii*, Luohanguo[J]. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 2012, 12(4): 233-239.
- [3] ZHANG H, YANG H, ZHANG M, et al. Identification of flavonol and triterpene glycosides in Luo-Han-Guo extract using ul-

- tra-high performance liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2012, 25(2): 142-148.
- [4] 蒋彩云, 李苗, 冯鑫苇. 罗汉果开发研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2021(1): 4-8. [JIANG C Y, LI M, FENG X W. Development and research progress of *Siraitia grosvenorii*[J]. *Jiangsu Condiment and Subsidiary Food*, 2021(1): 4-8.]
- [5] ZHOU G, WANG M, LI Y, et al. Rapid and sensitive analysis of 27 underivatized free amino acids, dipeptides, and tripeptides in fruits of *Siraitia grosvenorii* Swingle using HILIC-UHPLC-QTRAP/MS<sup>2</sup> combined with chemometrics methods[J]. *Amino Acids*, 2015, 47(8): 1589-1603.
- [6] 吕金燕, 黄嘉咏, 袁彩英, 等. 基于网络药理学的罗汉果止咳化痰活性成分靶点研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2019, 42(1): 40-48. [LÜ J Y, HUANG J Y, YUAN C Y, et al. Study on targets action of antitussive and expectorant bioactive components from *Siraitia grosvenorii* (Swingle) C. Jeffrey using network pharmacology[J]. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2019, 42(1): 40-48.]
- [7] SHI D, ZHENG M, WANG Y, et al. Protective effects and mechanisms of mogroside V on LPS-induced acute lung injury in mice[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2014, 52(6): 729-734.
- [8] DI R, HUANG M T, HO C T, et al. Anti-inflammatory activities of mogrosides from *Momordica grosvenori* in murine macrophages interferon- $\alpha$  production by pichiapastoris with an ethanol on-line measurement based do-stat glycerol feeding strategy[J]. *Chem Technol Biot*, 2014(89): 10-16.
- [9] LI C, LIN L M, SUI F, et al. Chemistry and pharmacology of *Siraitia grosvenorii*: A review[J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2014, 12(2): 89-102.
- [10] LIU H S, QI X Y, YU K, et al. AMPK activation is involved in hypoglycemic and hypolipidemic activities of mogroside-rich extract from *Siraitia grosvenorii* (Swingle) fruits on high-fat diet/streptozotocin-induced diabetic mice[J]. *Food & Function*, 2019, 10(1): 151-162.
- [11] LIU C, ZENG Y, DAI L H, et al. Mogrol represents a novel leukemia therapeutic, via ERK and STAT3 inhibition[J]. *American Journal of Cancer Research*, 2015, 5(4): 1308.
- [12] LIU C, DAI L H, DOU D Q, et al. A natural food sweetener with antipancreatic cancer properties[J]. *Oncogenesis*, 2016, 5: 217.
- [13] 唐敏怡, 黎勇, 吕承豪, 等. 罗汉果及其功能成分干预糖脂代谢异常的分子机理研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(12): 341-346, 353. [TANG M Y, LI Y, LÜ C H, et al. Research progress on molecular mechanism of *Grosvenor* and its functional components in the intervention of abnormal glucose and lipid metabolism[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(12): 341-346, 353.]
- [14] 赵芷芊, 王敏, 张志清. 植物多糖的提取及抗氧化功效的研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(13): 337-342. [ZHAO Z Q, WANG M, ZHANG Z Q. Research progress on extraction and antioxidant effect of plant polysaccharides[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(13): 337-342.]
- [15] 朱娇娇, 周安婕. 3种天然植物多糖的抗氧化与降血糖活性研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(8): 96-100. [ZHU J J, ZHOU A J. Study on antioxidant and hypoglycemic activity of three natural plant polysaccharides[J]. *Grain Oils and Fats*, 2018, 31(8): 96-100.]
- [16] 李俊, 黄锡山, 张艳军, 等. 超声波法提取罗汉果多糖的工艺研究[J]. 中药材, 2007(4): 475-477. [LI J, HUANG X S, ZHANG Y J, et al. Study on the extraction process of Luo Han Guo polysaccharide by ultrasonic method[J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2007(4): 475-477.]
- [17] 李洪燕, 罗浩, 刘结容, 等. 酶解法提取罗汉果多糖的工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(2): 689-694. [LI H Y, LUO H, LIU J R, et al. Study on the technology of extracting Luo Han Guo polysaccharide by enzymatic hydrolysis[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2015, 6(2): 689-694.]
- [18] 曾祥林. 广西特产植物研究进展[J]. 广西医学, 2009, 31(8): 1182-1186. [ZENG X L. Research progress of Guangxi's special plants[J]. *Guangxi Medicine*, 2009, 31(8): 1182-1186.]
- [19] 凌晓冬, 曹晖, 戴一朋. 罗汉果产品加工研究进展[J]. 现代食品, 2020(14): 38-40. [LING X D, CAO H, DAI Y P. Research progress on processing of Luo Han Guo products[J]. *Modern Food*, 2020(14): 38-40.]
- [20] 汪洪涛. 罗汉果花绿原酸的提取和对 DPPH·清除效果[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 195-199. [WANG H T. Extraction of chlorogenic acid from Luo Han Guo flower and its effect on DPPH[J]. *Food Industry*, 2021, 42(5): 195-199.]
- [21] 林君, 何梅媚, 赵铮, 等. 铁皮石斛罗汉果复合饮料的研制[J]. 轻工科技, 2021, 37(9): 5-7, 10. [LIN J, HE M M, ZHAO Z, et al. Development of compound beverage of *Dendrobium candidum* and Luo Han Guo[J]. *Light Industry Technology*, 2021, 37(9): 5-7, 10.]
- [22] 苏晓, 邓源喜, 陶梦玲, 等. 罗汉果的营养保健功能及其开发应用进展[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(Z1): 32-34. [SU X, DENG Y X, TAO M L, et al. The nutrition and health function of Luo Han Guo and its development and application progress[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2019, 25(Z1): 32-34.]
- [23] 沈萃, 谢三都, 徐芳, 等. 紫苏叶多糖纯化工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(11): 105-110. [SHEN C, XIE S D, XU F, et al. Study on purification process of *Perilla* leaf polysaccharide[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(11): 105-110.]
- [24] 陈阳, 杨小生, 杨娟. 响应面法优化罗汉果多糖的提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 180-184. [CHEN Y, YANG X S, YANG J. Optimization of extraction process and antioxidant activity of Luo Han Guo polysaccharide by response surface methodology[J]. *Food Technology*, 2016, 41(8): 180-184.]
- [25] 颜小捷, 卢凤来, 陈换莹, 等. 罗汉果根多糖的分离纯化、结构鉴定及抗肿瘤活性的研究[J]. 广西植物, 2012, 32(1): 138-142. [YAN X J, LU F L, CHEN H Y, et al. Study on separation, purification, structure identification and anti-tumor activity of Luo Han Guo root polysaccharide[J]. *Guangxi Plant*, 2012, 32(1): 138-142.]
- [26] 王永菲, 王成国. 响应面法的理论与应用[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2005, 14(3): 236-240. [WANG Y F, WANG

- C G. The theory and application of response surface method[J]. Journal of Central University for Nationalities (Natural Science Edition), 2005, 14(3): 236-240. ]
- [ 27 ] 张宇心,杜萌畅,张薇,等. 银杏果压片糖果的研制[J]. 农产品加工, 2019(21): 12-15, 19. [ ZHANG Y X, DU M C, ZHANG W, et al. Development of ginkgo fruit pressed candy[J]. Processing of Agricultural Products, 2019(21): 12-15, 19. ]
- [ 28 ] 柳富杰,韦巧艳,李大成,等. 蓝莓叶黄素压片糖果的工艺[J]. 食品工业, 2019, 40(11): 30-33. [ LIU F J, WEI Q Y, LI D C, et al. Technology of blueberry xanthophyll tablet confection[J]. Food Industry, 2019, 40(11): 30-33. ]
- [ 29 ] 张海全,黄勤英,许丹妮,等. 罗汉果含片制备工艺的研究[J]. 现代中药研究与实践, 2018, 32(5): 55-58. [ ZHANG H Q, HUANG Q Y, XU D N, et al. Study on preparation technology of Luohanguo buccal tablet[J]. Modern Chinese Medicine Research and Practice, 2018, 32(5): 55-58. ]
- [ 30 ] 李冰,张立攀,胡桂芳,等. 牡丹花山茱萸复合压片糖果研制及工艺优化[J]. 河南化工, 2021, 38(3): 22-26. [ LI B, ZHANG L P, HU G F, et al. Preparation and process optimization of compound pressing tablet candy of peony and *Cornus officinalis*[J]. Henan Chemical, 2021, 38(3): 22-26. ]
- [ 31 ] 清源,陈甜甜. 块菌多糖复合酶法提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 174-178. [ QING Y, CHEN T T. Optimization of complex enzymatic extraction technology of truffle polysaccharide[J]. Food and Machinery, 2018, 34(10): 174-178. ]
- [ 32 ] 刘菁. 阿斯巴甜分子甜味稳定性研究综述[J]. 信息记录材料, 2021, 22(12): 13-16. [ LIU J. The literature review of the sweet stability of aspartame[J]. Information Recording Materials, 2021, 22(12): 13-16. ]
- [ 33 ] 陈为民. 甘露醇的性质与应用[J]. 牙膏工业, 2009, 19(4): 40-42. [ CHEN W M. Properties and applications of mannitol[J]. Toothpaste Industry, 2009, 19(4): 40-42. ]