

甘西鼠尾草种子粘液吸水特性、红外光谱分析及提取工艺研究

王涛¹, 林良斌¹, 张巧玲¹, 张艺², 刘世勇¹, 李亚波¹, 张利^{1*}

(1. 四川农业大学理学院, 四川雅安 625014; 2. 四川农业大学农学院, 成都 611130)

摘要: 本研究在对甘西鼠尾草种子粘液的吸水特性和红外光谱进行分析的基础上, 利用响应面分析方法优化甘西鼠尾草种子粘液的提取工艺, 并利用中心组合设计探讨提取时间、液料比、提取温度 3 个自变量对甘西鼠尾草种子粘液提取率的影响。结果表明, 甘西鼠尾草种子粘液是一类多糖物质, 吸水性强, 脱水缓慢; 甘西鼠尾草种子粘液优化的提取工艺条件为: 提取时间 3.2 h、液料比 54:1 (mL:g)、提取温度 68℃, 此时种子粘液提取率为 4.93%, 这为甘西鼠尾草种子粘液资源的开发应用提供了理论依据。

关键词: 甘西鼠尾草; 种子粘液; 响应面法; 提取方法

中图分类号: Q946

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2015)04-0572-07

Study on the Characteristics of Water Absorbance, Infrared Spectroscopic Analysis and Extraction Technology of Mucilage from *Salvia przewalskii* Seeds

WANG Tao¹, LIN Liang-Bin¹, ZHANG Qiao-Ling¹, ZHANG Yi²,
LIU Shi-Yong¹, LI Ya-Bo¹, ZHANG Li^{1*}

(1. College of Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Taking *Salvia przewalskii* seeds as the raw materials, the conditions for extraction, water absorbance characteristics, and infrared spectroscopy of mucilage were studied. Based on single factor experiments, mucilage conditions from *Salvia przewalskii* seeds were optimized using response surface methodology. A central composite design was used to investigate the effects of three independent variables, namely, extraction time, liquid-to-solid ratio, and extraction temperature on the yield of mucilage. Results showed that mucilage absorbed water well, and dehydrated slowly. Infrared spectroscopy demonstrated that the seed mucilage was a compound of polysaccharides. Optimum extraction conditions were an extraction time of 3.2 h, liquid-to-solid ratio of 54:1 (mL:g), and extraction temperature of 68℃. The maximum extraction yield of mucilage was 4.93%.

Key words: *Salvia przewalskii*; Seed mucilage; Response surface; Extraction method

植物粘多糖具有较好的粘性, 能在低浓度下形成高粘度的水溶液, 且溶液呈现假塑性流体的特性。天然植物粘多糖还具有降血糖、降血脂、润肠

减肥、与微生物多糖形成凝胶等特性, 目前已成为生物大分子研究领域的热点之一^[1-4]。

关于种子粘液的研究主要集中在瓜尔豆(*Cya-*

收稿日期: 2014-12-04, 退修日期: 2015-01-13。

基金项目: 国家级星火计划项目(2014GA810004); 国家中小企业科技创新计划(14C26215102921); 四川省科技计划项目(2014FZ0056, 2015FZ0002)。

作者简介: 王涛(1986-), 男, 博士研究生, 研究方向为植物资源与分类(E-mail: wangtaotjau@hotmail.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: zhang8434@sina.com)。

mopsis tetragonoloba)、胡卢巴 (*Trigonella foenum-graecum*)、皂荚 (*Gleditsia sinensis*)、野皂荚 (*G. microphylla*)^[5]、塔拉 (*Caesalpinia spinosa*)^[6]和沙蒿 (*Artemisia desertorum*)^[7]等植物上,鼠尾草属仅有 *Salvia macrosiphon*、*S. hispanica* 等少数几种植物的种子粘液研究被报道^[8,9]。甘西鼠尾草 (*S. przewalskii*) 为唇形科 (*Lamiaceae*) 鼠尾草属多年生草本药用植物,主产于青海、四川、云南等省。该植物蕴藏量巨大,仅甘肃省就已探明其蕴藏量达 $7.0 \times 10^6 \text{ kg}$ ^[10];此外,青海和甘肃两省已有规模化种植。笔者在进行鼠尾草属植物资源调查时发现,种子是甘西鼠尾草药材生产过程中的主要副产品,因其具有发芽率高、耐储藏的特点,每年播种后都有大量种子剩余。与鼠尾草属其他植物种子^[11-15]一样,甘西鼠尾草种子表面也覆盖有粘液层。本研究通过吸水特性和红外光谱分析发现,甘西鼠尾草种子粘液为一种吸水能力较强的粘多糖,也是一种极具潜力的天然粘多糖资源;为了深入开展甘西鼠尾草种子粘液开发与利用研究,我们拟采用响应面法优化甘西鼠尾草种子粘液的提取工艺,进一步为鼠尾草属植物资源的研发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

经四川农业大学生命科学学院杨瑞武教授鉴定,购自甘肃省定西市陇西县的植物材料为甘西鼠尾草种子。人工剔除种子中混杂的碎枝、残叶和碎小石子等,然后风选去除干瘪种子及空壳,得到颗粒均匀一致的甘西鼠尾草饱满种子备用。

1.2 方法

1.2.1 种子及种子粘液吸水和脱水动态

取甘西鼠尾草的一部分种子置于去离子水中浸泡 2 h,并用湿纱布磨去表面粘液层,然后 60℃烘干至恒重,即为无粘液种子;再取甘西鼠尾草的一部分种子直接 60℃烘干至恒重,视为粘液种子。试验设 3 次重复,取其平均值并参照伍晨曦等^[16]的方法绘制种子及种子粘液的吸水和脱水动态曲线。

1.2.2 种子粘液红外光谱分析

将 2 mg 干燥的甘西鼠尾草种子粘液粉末与

100 mg 溴化钾放入玛瑙研钵中研磨均匀,压片机压片后置于傅立叶变换红外光谱仪 (PerkinElmer Inc., 美国) 中,在 $4000 \sim 450 \text{ cm}^{-1}$ 波数范围谱内扫描并观察记录谱峰。

1.2.3 单因素试验

种子粘液的提取:精确称取 50 g 干燥种子,根据不同的液料比加入相应体积的去离子水,恒温水浴、机械搅拌助提,5000 r/min 离心 5 min 后取上清液减压浓缩,并加入 4 倍体积无水乙醇静置过夜,离心收集絮状沉淀,烘干即得种子粘液。实验设 3 次重复,取其平均值表示提取率:甘西鼠尾草种子粘液提取率 = (种子粘液质量/种子质量) × 100%。

单因素试验设计:65℃恒温水浴、液料比(去离子水:甘西鼠尾草 = mL:g)为 60:1 的条件下,分别收集机械搅拌 1、2、3、4、5 h 时的离心上清液;65℃恒温水浴、机械搅拌 3 h 的条件下,分别收集液料比为 20:1、40:1、60:1、80:1、100:1 时的离心上清液;液料比为 60:1、机械搅拌 3 h 的条件下,分别收集 5℃、25℃、45℃、65℃、85℃恒温水浴时的离心上清液。然后按照上述种子粘液的提取步骤提取甘西鼠尾草种子粘液。

1.2.4 响应面法优化提取工艺

在 1.2.3 单因素试验的基础上,利用 Design-Expert V8.0.6.1 软件并根据 Box-Behnken 设计原则,以提取时间 (X_1)、液料比 (X_2) 和提取温度 (X_3) 为考察因素(表 1),提取率为指标,设计响

表 1 响应面法设计因素和水平
Table 1 Response surface level of design factors

因素 Factors	水平 Levels		
	-1	0	1
X_1 提取时间 Extraction time (h)	2	3	4
X_2 液料比 Liquid-to-solid ratio (mL:g)	40:1	60:1	80:1
X_3 提取温度 Extraction temperature (℃)	45	65	85

应面法优化甘西鼠尾草种子粘液的提取工艺。试验设 3 次重复,取其平均值进行数据分析、比较。

2 结果与分析

2.1 甘西鼠尾草种子和粘液的吸水、脱水动态

由图 1 可见,甘西鼠尾草无粘液种子、粘液种子及粘液的重量在吸水前期随时间延长而增加,后

期吸水至饱和时重量不再增长。粘液种子及粘液在 90 min 时吸水达到饱和；无粘液种子在 15 min 内迅速吸水，30 min 时达到饱和，其重量不再增加。无粘液种子、粘液种子及粘液的脱水动态则与吸水情况相反，且脱水时间远长于吸水时间。粘液种子及粘液在 6 h 内快速脱水，6 ~ 16 h 期间缓慢脱水至干燥；无粘液种子脱水迅速，4 h 时达到干燥。

2.2 甘西鼠尾草种子粘液的红外光谱分析

红外光谱分析显示(图 2)，甘西鼠尾草种子粘液具有多糖类物质的特征吸收。即在 3452 cm⁻¹处出现一宽峰，是自由羟基 O-H 的伸缩振动；2922 cm⁻¹和 2855 cm⁻¹处的吸收峰是分子内 C-H

(CH、CH₂、CH₃)伸缩振动引起的；1629 cm⁻¹处的吸收峰是羰基的伸缩振动峰，表明该多糖存在糖醛酸；1439 cm⁻¹处是羧基 C-O 伸缩振动引起的吸收峰；1318 cm⁻¹处的吸收峰是 C-H 的变角运动引起的；1249 cm⁻¹处的弱吸收峰是 O = S = O 的伸缩振动引起的，表明有少量硫酸基存在；1166 cm⁻¹处是环上 C-O 的吸收峰；1035 cm⁻¹处的吸收峰是 O-H 的变角振动和 C-O-C 的伸缩振动引起的；895 cm⁻¹处是 β-D-甘露吡喃糖环 β 端基差向异构的 C-H 变角振动的特征吸收峰，说明该多糖为 β-糖苷键连接；1000 ~ 1250 cm⁻¹和 895 cm⁻¹处存在吸收峰表明该多糖为 β-吡喃糖。

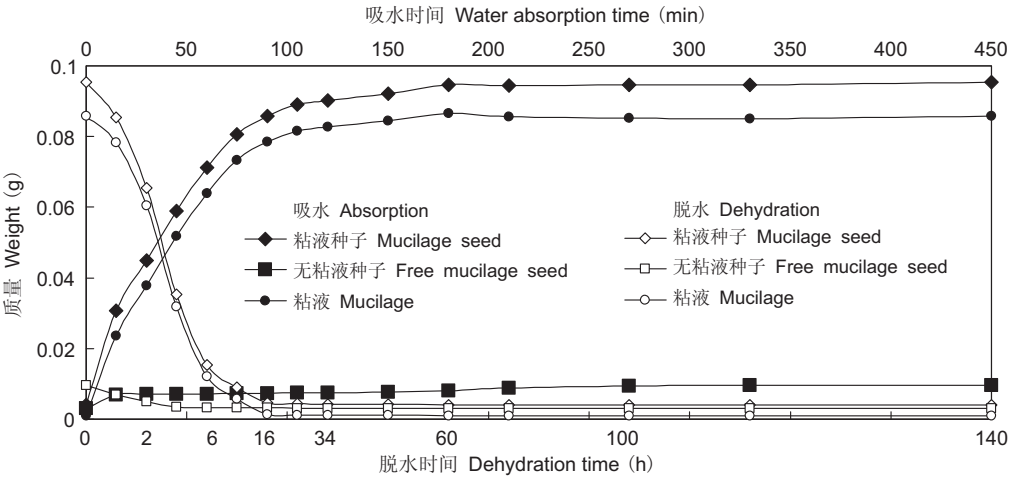


图 1 甘西鼠尾草种子及粘液的吸水、脱水动态曲线

Fig. 1 Time-course of water absorption and dehydration of seeds and mucilage of *Salvia przewalskii*

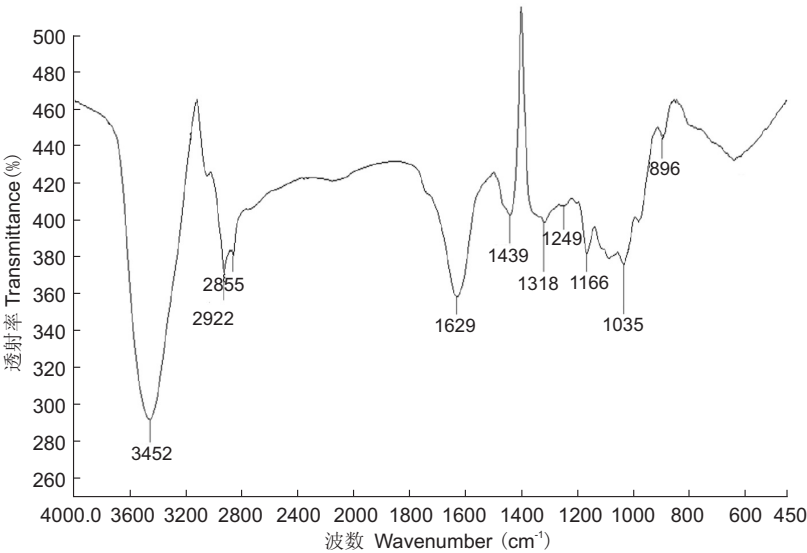


图 2 甘西鼠尾草种子粘液的红外光谱分析

Fig. 2 Infrared spectrum of *Salvia przewalskii* seed mucilage

2.3 种子粘液提取的单因素试验分析

2.3.1 提取时间

甘西鼠尾草种子粘液的提取率随提取时间的延长呈先升后降趋势(图 3: A), 说明提取时间对粘液提取率有明显影响, 若提取时间过短则粘液溶解不充分, 时间过长却容易引起粘液多糖的分解^[17]而使其提取率降低。由图 3: A 可见, 3 h 时种子粘液的提取率最高且显著高于其他提取时间处理 ($P < 0.01$), 因此甘西鼠尾草种子粘液的提取时间以 3 h 左右为宜。

2.3.2 液料比

甘西鼠尾草种子粘液的提取率随液料比的增加呈先升后降的趋势(图 3: B), 表明增加液料比延长了提取液高温浓缩的时间, 并使粘液损失量相对增加。由于较高的液料比将使水分浓缩分离工作增加成本^[18-20], 故在保证提取率的前提下, 应尽量减少提取液的用量和降低分离成本, 甘西鼠尾草种子粘液提取的液料比以 60:1 左右为宜。

2.3.3 提取温度

甘西鼠尾草种子粘液的提取率随水浴温度的升高基本上呈上升趋势(图 3: C), 且在 65℃时达到最高值。同时, 在试验中发现, 随着提取温度的升高提取液及提取的粘液颜色逐渐变深, 这可能是由于高温使粘液多糖水解并导致其提取率下降、提取物颜色加深, 故甘西鼠尾草种子粘液的提取应避免高温, 以 65℃左右为其最适优化提取温度。

2.4 响应面法优化种子粘液提取工艺

2.4.1 拟合回归模型的显著性检验

根据 Box-Benhknen 中心组合试验设计原理, 我们选取提取时间 (X_1)、液料比 (X_2) 和提取温度

(X_3) 为考察因素, 采用 3 因素 3 水平响应面分析方法优化甘西鼠尾草种子粘液的提取工艺。由响应面设计的试验结果(表 2)得到拟合回归方程: $Y = -18.72 + 9.13X_1 + 0.14X_2 + 0.16X_3 - 0.0095X_1X_2 - 0.011X_1X_3 + 0.00021X_2X_3 - 1.24X_1^2 - 0.0011X_2^2 - 0.0010X_3^2$ 。对拟合回归方程模型进行显著性检验的结果表明(表 3), 整体模型相关系数 $R^2 = 0.9908$ ($P < 0.0001$) 达极显著水平, 表明该拟合回归方程模型极显著; 调整相关系数 $R^2_{Adj} = 0.9791$, 表明提取率变化的 97.91% 来自于自变量; 失拟项 $P = 0.0956 > 0.05$ (不显著), 说明数据中无异常结果; X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 影响极显著 ($P < 0.01$), 交互项 X_1X_2 影响显著, 交互项 X_1X_3 影响极显著, 交互项 X_2X_3 影响不显著, 说明各试验因素对粘液提取率的影响不是简单的线性关系, 因此响应面法能够较好的描述它们之间的关系, 并可优化种子粘液的提取工艺。此外, 各因素对甘西鼠尾草种子粘液提取率影响的大小顺序为: 提取时间 > 液料比 > 提取温度。

2.4.2 响应面分析

根据二次回归方程建立响应面, 各因素对甘西鼠尾草种子粘液提取率的影响以及各因素之间两两交互作用见图 4, 等高线图若为椭圆形说明这两个因素的交互作用明显, 若为圆形则说明交互作用不明显^[21]。由图 4 可知, 提取时间和液料比、提取时间和提取温度的等高线图均为椭圆形并且曲面弧度较陡, 说明这两对因素的交互作用对提取率影响极显著; 液料比和提取温度的等高线图近似圆形且曲面弧度平缓, 表明这两个因素的交互作用对提取率影响不显著。

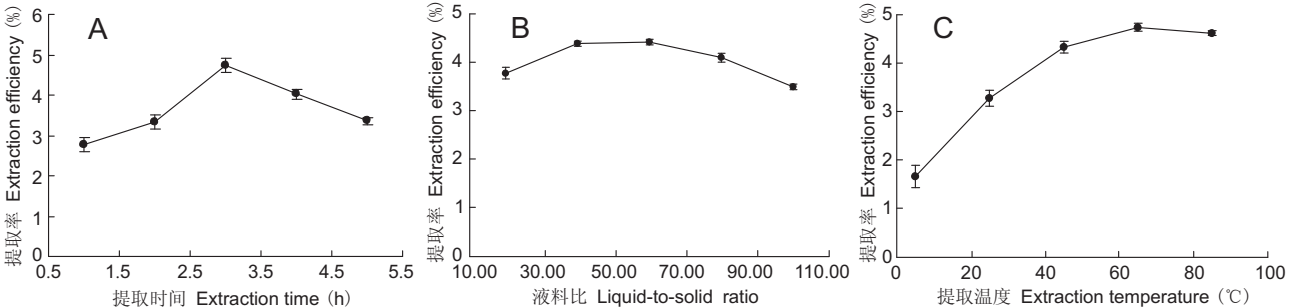


图 3 提取时间、料液比和提取温度对种子粘液提取率的影响

Fig. 3 Influence of extraction time, liquid-to-solid ratio and extraction temperature on extraction efficiency of mucilage

表 2 响应面法优化甘西鼠尾草种子粘液的提取率
Table 2 Matrix and experimental results of response surface methodology and extraction efficiency of mucilage from *S. przewalskii* seed

试验 编号 Code	X_1 提取时间 Time (h)	X_2 液料比 (mL : g) Liquid-to- solid ratio	X_3 温度 (°C) Temperature	提取率 (%) Extraction efficiency
1	2	80 : 1	65	2.77
2	4	80 : 1	65	3.01
3	3	40 : 1	45	4.09
4	3	60 : 1	65	4.91
5	3	60 : 1	65	4.95
6	3	60 : 1	65	4.77
7	3	40 : 1	85	4.38
8	3	80 : 1	85	4.07
9	4	40 : 1	65	3.94
10	3	80 : 1	45	3.45
11	2	40 : 1	65	2.94
12	4	60 : 1	45	3.78
13	2	60 : 1	85	3.07
14	4	60 : 1	85	3.55
15	2	60 : 1	45	2.42
16	3	60 : 1	65	4.88
17	3	60 : 1	65	4.79

表 3 拟合回归方程系数显著性检验和方差分析

Table 3 Significance test for each regression coefficient and variance analysis

方差来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	显著性 Significance
模型 Model	11.02	9	1.22	84.17	< 0.0001	**
X_1	1.19	1	1.19	81.52	< 0.0001	**
X_2	0.53	1	0.53	36.11	0.0005	**
X_3	0.22	1	0.22	15.2	0.0059	**
X_1X_2	0.14	1	0.14	9.93	0.0161	*
X_1X_3	0.19	1	0.19	13.31	0.0082	**
X_2X_3	0.027	1	0.027	1.87	0.2136	
X_1^2	6.51	1	6.51	447.76	< 0.0001	**
X_2^2	0.86	1	0.86	58.94	0.0001	**
X_3^2	0.71	1	0.71	48.95	0.0002	**
残差 Residual	0.1	7	0.015			
失拟误差 Lack of fit	0.078	3	0.026			
纯误差 Pure error	0.024	4	0.006	4.32	0.0956	
总和 Correlation total	11.12	16				
相关系数 R^2	0.9908					
调整相关系数 R_{Adj}^2	0.9791					

注：*，** 分别代表在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上差异显著和极显著。
Note: * and ** indicate significant difference at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

2. 4. 4 最佳提取工艺的确定和模型验证

通过响应面优化出甘西鼠尾草种子粘液理论最优提取工艺条件为：提取时间 3.17 h，液料比 53.86 : 1，提取温度 67.51℃，此时提取率可达 4.94%。为验证该模型的可靠性，根据实验的可操作性，我们将提取工艺参数修正为提取时间 3.2 h，液料比 54 : 1，提取温度 68℃。依据此参数设置，三次测定甘西鼠尾草种子粘液提取率的平均值为 4.93%，与预测值基本相符。

3 讨论

鼠尾草属植物主要分布于雨季天气变化无常、旱季干燥少雨的中南美洲、中亚-地中海沿岸和东亚的热带至亚热带的干旱或高原地区，种子顺利萌发需要在短时间内大量吸水并且保水时间尽量延长，这种特性在部分鼠尾草属植物^[8,14,15,22]中已有发现。甘西鼠尾草种子具有能在短时间内快速而大量吸水以及缓慢脱水的特性，主要是由于其表面粘液物质的存在，这种胶状粘液层具有保持水分的优良特性，对于抵抗干旱等不良环境十分有利^[14,15]。

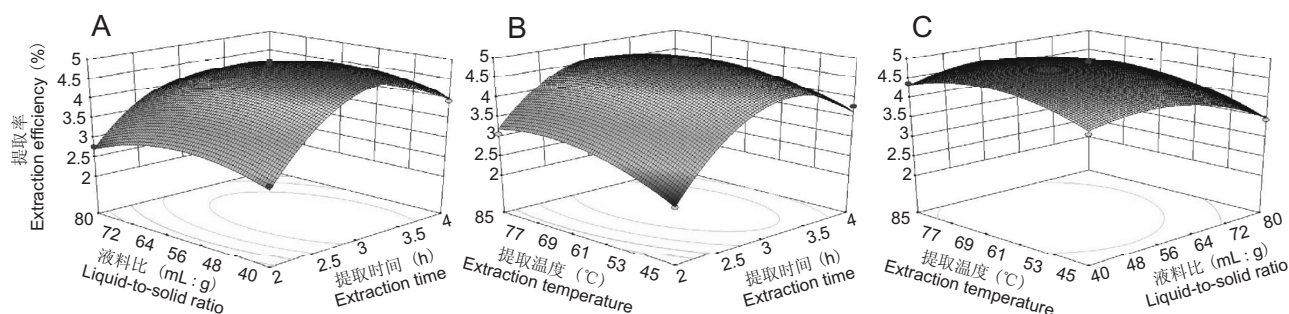


图4 响应面图

Fig. 4 Response surface graphs

植物粘液是一类具分支结构的可溶性亲水多糖或杂多糖^[23]。对 *S. hispanica* 种子粘液的研究表明,该粘液是以 β -D-xylose(木糖): α -D-glucose(葡萄糖):4-O-metil- α -D-glucuronic acids = 2:1:1 比例结合的多糖四聚体为单体形成的多糖聚合物^[24]。根据红外光谱分析结果,本试验确定了甘西鼠尾草种子粘液也是一类多糖物质,且该多糖为 β -糖苷键连接,但对于粘液的单糖组分、排列方式以及生物活性等还有待进一步研究。

响应面优化法将体系的响应值(如提取率)作为多个影响因素的函数,运用图形技术将函数关系显示出来,以供选择试验设计中的最优条件。本研究通过响应面优化出甘西鼠尾草种子粘液提取的优化工艺参数为:提取时间 3.2 h,液料比 54:1,提取温度 68℃,此时种子粘液的提取率为 4.93%。该结果低于 *S. macrosiphon* 和 *S. hispanica* 种子粘液的提取率(10.1%和 6.97%),可能与这两种鼠尾草在提取种子粘液时考虑了 pH 值有关。本研究前期也将 pH 值作为提取因素,但在试验过程中发现不同 pH 值条件下提取物的性状及其红外光谱差异很大,故我们没有将 pH 值作为考察因素。

笔者前期对甘西鼠尾草种子和种子油的研究^[25]表明,甘西鼠尾草种子极具开发价值;本研究明确了甘西鼠尾草种子粘液是一类多糖物质,这对其种子粘液资源的开发应用提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 陈洪亮,李伯涛,张家祥,李德发,常碧影,徐龙涛. 免疫活性多糖的免疫调节作用及机制研究进展[J]. 中国药理学通报, 2002, 18(3): 249–252.
- [2] Damonte EB, Matulewicz MC, Cerezo AS. Sulfate

ted seaweed polysaccharides as antiviral agents [J]. *Curr Med Chem*, 2004, 11(18): 2399–2419.

- [3] Dias PF, Siqueira JM Jr, Vendruscolo LF, de Jesus Neiva T, Gagliardi AR, Maraschin M, Ribeiro-do-Valle RM. Antiangiogenic and antitumoral properties of a polysaccharide isolated from the seaweed *Sargassum stenophyllum* [J]. *Cancer Chemother Pharm*, 2005, 56(4): 436–446.
- [4] 蒋建新,菅红磊,朱莉伟,张卫明,孙达峰. 植物多糖胶研究应用新进展[J]. 林产化学与工业, 2009, 29(4): 121–126.
- [5] 蒋建新,张卫明,王磊,史劲松. 我国主要植物多糖胶资源组成比较研究[J]. 林产化学与工业, 2007, 27(S1): 15–20.
- [6] 蒋建新,朱莉伟,张卫明. 塔拉多糖胶的研究[J]. 西南林学院学报, 2003, 23(4): 12–16.
- [7] 刘敦华. 沙蒿籽胶性质、结构及应用的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- [8] Munoz LA, Cobos A, Diaz O, Aguilera JM. Chia seeds: microstructure, mucilage extraction and hydration[J]. *J Food Eng*, 2012, 108(1): 16–224.
- [9] Razavi SM, Moghaddam TM, Emadzadeh B, Salehi F. Dilute solution properties of wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum[J]. *Food Hydrocolloid*, 2012, 29(1): 205–210.
- [10] 赵建邦. 甘肃丹参(甘西鼠尾草)的研究与应用评价[J]. 中药材, 2003, 26(7): 529–531.
- [11] Hedge IC. Observations on the mucilage of *Salvia* fruits[J]. *Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh*, 1970, 30(1): 79–95.
- [12] Oran SA. Nutlet anatomy of the genus *Salvia* L. in Jordan[J]. *Flora Mediterranea*, 1997, 7: 27–40.

- [13] Buyukkartal H, Kahraman A, Colgecen H, Dogan M, Karabacak E. Mericarp micromorphology and anatomy of *Salvia hedgeana* Dönmez, *S. huberi* Hedge and *S. rosifolia* Sm. (section *Salvia* Hedge, Lamiaceae) [J]. *Acta Bot Croat*, 2011, 70(1): 65–80.
- [14] 孙群, 梁宗锁, 李绍军, 刘文婷, 李晓莉, 蒋传中, 王敬民, 卫新荣. 丹参种子形态结构与吸水萌发特性[J]. 中国中药杂志, 2003, 29(10): 934–938.
- [15] 孙群, 刘文婷, 梁宗锁, 刘文婷, 李晓莉, 蒋传中, 王敬民, 卫新荣. 丹参种子的吸水特性及发芽条件研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1518–1521.
- [16] 伍晨曦, 孙羽, 冯固. 小车前种子表面粘液物质的吸水特性及其对种子在干旱环境中萌发的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1849–1858.
- [17] 韩东, 王珏, 朱兴一, 谢捷. 响应面法优化水栀子多糖的闪式提取工艺[J]. 林产化学与工业, 2013, 33(6): 59–62.
- [18] 王鸿, 邓泽元, 刘蓉, 范亚苇, 李静. 响应曲面法优化山蓼菜根多糖的提取工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 46–50.
- [19] 韩帅, 李淑艳, 陈芹芹, 李珊, 倪元颖. 响应面分析法优化闪式提取胡柚皮中黄酮类化合物工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 52–56.
- [20] 鞠兴荣, 税丹, 何荣, 王立峰, 王雪峰, 高瑀珑, 袁建. 响应面分析法优化菜籽多糖酸法提取工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(3): 89–93.
- [21] Karuppaiya M, Sasikumar E, Viruthagiri T, Vijayagopal V. Optimization of process conditions using response surface methodology (RSM) for ethanol production from waste cashew apple juice by *Zymomonas mobilis* [J]. *Chem Eng Commun*, 2009, 196(11): 1425–1435.
- [22] 刘丽, 郭巧生, 王云鹏, 赵荣梅. 药用鼠尾草种子萌发特性的初步研究[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(19): 1587–1589.
- [23] Naqvi SA, Khan MM, Shahid M, Jaskani MJ, Khan IA, Zuber M, Zia KM. Biochemical profiling of mucilage extracted from seeds of different citrus rootstocks [J]. *Carbohydr Polym*, 2011, 83(2): 623–628.
- [24] Lin KY, Daniel JR, Whistler RL. Structure of chia seed polysaccharide exudate [J]. *Carbohydr Polym*, 1994, 23(1): 13–18.
- [25] Wang T, Wang L, Jiang YY, Yu L, Zhang L, Zhou YH, Yang RW, Ding CB, Wang XL. Physical properties and characteristics of *Salvia przewalskii* seed and seed oil [J]. *Asian J Chem*, 2014, 26(16): 4971–4974.

(责任编辑: 刘艳玲)