

## 剑麻皂苷的萃取与絮凝工艺优化研究

李祥<sup>1</sup>, 蔺旺梅<sup>1</sup>, 李华锋<sup>2</sup>, 黄尚顺<sup>2</sup>

(1. 陕西科技大学 化学与化工学院, 陕西 西安 710021; 2. 广西化工研究院, 广西 南宁 530001)

**摘要:**以剑麻膏为原料,考察了表面活性剂的种类及浓度、料液比、超声功率、萃取时间、萃取次数和浸泡时间对剑麻皂苷萃取的影响。确定较佳萃取条件为:十二烷基硫酸钠浓度 0.025 8 mol/L,料液比 1:10 (g:mL),超声功率 120 W,萃取时间 40 min,萃取次数 3 次,浸泡时间 4 h。同时考察了絮凝剂的种类及添加量、絮凝温度和复合絮凝剂对剑麻皂苷富集的影响。确定较佳絮凝条件为:100 mL 剑麻皂苷萃取液中先加 20 mL 1% 聚合氯化铝,再加 2 mL 0.1% 阳离子聚丙烯酰胺的复合絮凝剂,絮凝温度 50 ℃。对在较佳的萃取和絮凝条件下所得絮凝物进行水解,结果显示,该工艺得到的剑麻皂素的质量比传统工艺提高了 15.5%,每生产 1 g 剑麻皂素酸用量减少了 81.2%,COD 排放量减少了 96.5%。

**关键词:**表面活性剂;萃取;絮凝;剑麻皂素

中图分类号:TQ423

文献标识码:A

文章编号:1001-1803(2017)05-0257-06

DOI:10.13218/j.cnki.csdc.2017.05.004

## Enrichment of sisal saponin from sisal waste liquor by surfactant solution extraction and flocculation

LI Xiang<sup>1</sup>, LIN Wang - mei<sup>1</sup>, LI Hua - feng<sup>2</sup>, HUANG Shang - shun<sup>2</sup>

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 2. Guangxi Chemical Industry Research Institute, Nanning, Guangxi 530001, China)

**Abstract:** In the process for preparation of sisal fiber, waste liquor that containing sisal saponin is by - produced. In order to make use of the saponin, enrichment process is to be performed. Traditional enrichment process was based upon extraction with an organic solvent. A new approach using a surfactant was tested via a series of experiment. Suitable process conditions were obtained as follows: extracting agent, sodium lauryl sulfate with concentration of 0.025 8 mol/L; ratio of starting material to extracting agent, 1:10 (g:mL); pre - soaking time, 4 h; ultrasonic power, 120 W; extraction time, 40 min for three times. The extract was further processed for enrichment of the sisal saponin in 100 mL extract under conditions as: temperature, 50 ℃; adding 20 mL of 1% aluminum chloride polymer, followed by adding 2 mL of 0.1% cationic polyacrylamide. Under the above mentioned conditions of extraction and flocculation, the flocculated material was hydrolyzed by sulfuric acid. Results show that as comparing with the traditional process, the new approach can increase the product yield for 15.5%, decrease 81.2% of acid consumption and 96.5% of COD discharge per 1 g sisal saponin.

**Key words:** surfactant; extraction; flocculation; sisal saponin

剑麻(*Agave sisalana* Perr. ex Engelm)又名龙舌兰麻、菠萝麻和水丝麻等,属于龙舌兰科龙舌兰属多年生热带草本植物<sup>[1]</sup>,主要用于剑麻纤维的生产,提取剑麻纤维后产生大量的剑麻汁(膏),研究<sup>[2-4]</sup>发现,剑

麻膏中含有医用价值极高的剑麻皂苷,剑麻皂苷经水解得到的剑麻皂素是合成甾体类激素的基础原料。传统剑麻皂素生产存在酸用量大、污染严重和萃取率低等技术问题,为了解决这些问题,人们采用有机溶剂萃

收稿日期:2017-01-11;修回日期:2017-05-03

基金项目:陕西省科技攻关项目(2016SF-437);未央区科技项目(201411);广西科学基金资助项目(2011GXNSFA018047, 2015GXNSFBA139036,桂科 AB16380113,桂科转 1599002-6)

作者简介:李祥(1963-),男,陕西人,博士,硕士生导师,电话:15619100921, E-mail:453538831@qq.com。

通讯联系人:蔺旺梅,硕士研究生,电话:18309221676, E-mail:2234310562@qq.com。

取<sup>[5,6]</sup>、超临界 CO<sub>2</sub> 萃取等技术,但由于设备投资大,难以工业化生产而未被采用<sup>[7]</sup>。

表面活性剂是一种能显著降低水的表面张力,由亲油、亲水基团组成的双亲结构的化合物,近年来,随着表面活性理论不断成熟,人们将表面活性剂的增溶作用运用到天然产物有效成分的萃取中<sup>[8-10]</sup>,并取得与有机溶剂相同的效果。本文以剑麻膏为原料,采用表面活性剂水溶液代替有机溶剂作萃取剂,用絮凝技术富集剑麻皂苷代替浓缩,研究提取剑麻皂苷的工艺优化过程,并将此方法得到的剑麻皂素的量与传统方法作对比,以期对皂苷的开发与应用提供一种新思路。

## 1 实验部分

### 1.1 主要试剂与仪器

剑麻膏,粒度 150 μm,广西武鸣东风农场;十二烷基磺酸钠,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;十六烷基三甲基溴化铵,分析纯,中国医药(集团)上海化学试剂有限公司;Tween 20、Tween 40、Tween 60、Tween 80,分析纯,上海麦克林生物有限公司;十二烷基硫酸钠、甲醇,分析纯,天津市河东区红岩试剂厂;高氯酸,分析纯,天津市鑫源化工有限公司;香草醛,分析纯,西安中信精细化工有限责任公司;冰乙酸、聚合氯化铝,分析纯,天津市天力化学试剂有限公司;壳聚糖、羧甲基壳聚糖,分析纯,上海蓝季科技发展有限公司;阳离子聚丙烯酰胺,分析纯,北京海畅清环保科技有限公司。

723N 可见分光光度计,上海分析仪器有限公司;KQ5200DE 数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;FZ102 微型植物试样粉碎机,北京市永光明医疗器械厂;BSA224S 电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 标准曲线的绘制

精确称取 10.0 mg 剑麻皂苷标准品,用甲醇溶解后定容于 50 mL 容量瓶中得到质量浓度为 0.2 g/L 的剑麻皂苷标准储备液。精确吸取上述溶液 0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5 mL 于 10 mL 的具塞试管中,在水浴上挥干甲醇,用 1 mL 移液管准确加入 0.2 mL 质量分数为 5% 的香草醛的冰乙酸溶液,再加入 0.8 mL 高氯酸于具塞试管中,充分摇动,塞紧试管塞于 70 °C 水浴中加热 15 min 后取出,流水冷却;量取 4 mL 冰乙酸加入具塞试管中,摇匀后转移到 1 cm 的比色皿中,于最大吸收波长 585 nm 处测定不同质量浓度(ρ)剑麻皂苷

标准品溶液的吸光度(A),以 ρ 为横坐标,A 为纵坐标绘制标准曲线。

#### 1.2.2 剑麻皂苷的萃取

准确称取 10.0 g 剑麻膏于 250 mL 烧杯中,分别加入 100 mL 不同临界胶束浓度下的表面活性剂(十二烷基磺酸钠、十二烷基硫酸钠、十六烷基三甲基溴化铵、Tween 20、Tween 40、Tween 60 和 Tween 80)水溶液,浸泡 3 h,在超声功率 100 W 下萃取 30 min,萃取 4 次,离心分离,取上清液,稀释 100 倍后按照 1.2.1 的方法测定剑麻皂苷的质量浓度。

#### 1.2.3 剑麻皂苷的富集

取剑麻皂苷萃取液 100 mL,分别加入 0.1% 阳离子聚丙烯酰胺溶液、1% 聚合氯化铝溶液、1% 壳聚糖溶液或 1% 羧甲基壳聚糖溶液 0.5、1.0、1.5、2.0 或 2.5 mL,在 60 °C 下先快速(250 r/min)搅拌 5~8 min,再慢速(50 r/min)搅拌 15~20 min,静置 1 h,取上清液,稀释 100 倍后按照 1.2.1 的方法测定剑麻皂苷的质量浓度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 标准曲线

图 1 为剑麻皂苷的标准曲线。所得线性回归方程为:  $A = 12.749\rho + 0.0013$  ( $R^2 = 0.9981$ ),剑麻皂苷在 0.0039~0.0182 g/L 的质量浓度范围内线性关系良好,符合朗伯比尔定律。

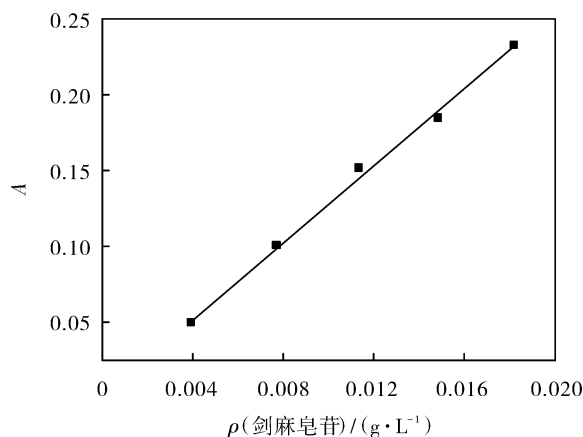


图 1 剑麻皂苷的标准曲线

Fig. 1 Standard plot of sisal saponin

### 2.2 剑麻皂苷萃取条件的考察

#### 2.2.1 表面活性剂的种类

按 1.2.2 的方法考察表面活性剂的种类对剑麻皂苷萃取的影响,结果见表 1。由表 1 可以看出,十二烷基硫酸钠对剑麻皂苷的萃取效果最好,其原因为十二

烷基硫酸钠反离子扩散层所带的正电荷中和了剑麻表面的负电荷,降低了阴离子表面活性剂进、出剑麻细胞的阻力,加速了剑麻中剑麻皂苷的萃取速率。而十二烷基硫酸钠在室温下微溶于水,在水中以液滴的形式存在,很难进入剑麻细胞内部,对剑麻皂苷的增溶作用小,所以萃取液中剑麻皂苷浓度较小。十六烷基三甲基氯化铵为阳离子表面活性剂,其反离子所带的负电荷与剑麻表面的负电荷相斥,对剑麻皂苷的萃取作用最小<sup>[11]</sup>。Tween 系列表面活性剂为非离子表面活性剂,对剑麻皂苷的萃取作用介于阴、阳离子表面活性剂之间。因而,选择十二烷基硫酸钠水溶液为萃取剂。

表 1 表面活性剂对剑麻皂苷萃取的影响

Tab. 1 Effects of surfactants on sisal saponin extraction

表面活性剂	类型	A	$\rho$ (剑麻皂苷)/ ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )
十二烷基硫酸钠	阴离子型	0.259 5	0.020 2
十二烷基硫酸钠	阴离子型	0.567 5	0.044 4
十六烷基三甲基氯化铵	阳离子型	0.079 0	0.006 1
Tween 20	非离子型	0.199 0	0.015 5
Tween 40	非离子型	0.129 5	0.010 1
Tween 60	非离子型	0.101 7	0.007 9
Tween 80	非离子型	0.152 2	0.011 8

### 2.2.2 十二烷基硫酸钠的浓度

按照 1.2.2 的方法考察不同浓度的十二烷基硫酸钠对剑麻皂苷萃取的影响,结果见图 2。由图 2 可以看出,当十二烷基硫酸钠浓度为  $0.0258 \text{ mol/L}$  时,萃取液中剑麻皂苷的质量浓度最大,萃取效果最好。当不添加十二烷基硫酸钠,即以水为萃取剂时,剑麻皂苷的质量浓度仅为最大时的  $1/10$ ,说明剑麻皂苷中约有 10% 的水溶性皂苷,这与文献[12]报道基本一致。随着十二烷基硫酸钠浓度的增大,萃取液中十二烷基硫

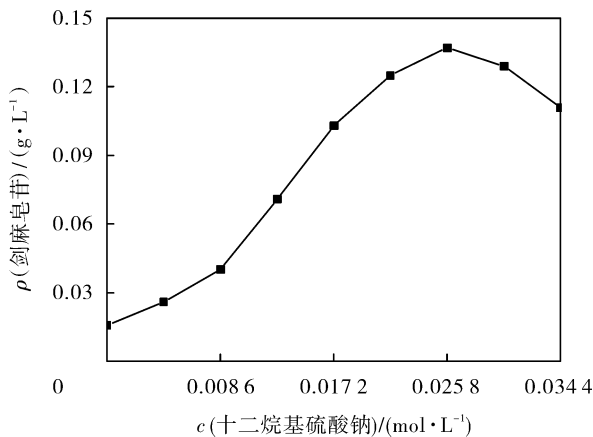


图 2 十二烷基硫酸钠浓度对剑麻皂苷萃取的影响

Fig. 2 Effect of concentration of sodium lauryl sulfate on the extraction of sisal saponin

酸钠胶束数量增加,对剑麻皂苷的增溶作用增强,剑麻皂苷的质量浓度增大;但当十二烷基硫酸钠的浓度过大时,胶束直径变大,胶束进、出剑麻细胞的阻力增大,使得对剑麻皂苷的萃取能力下降。

### 2.2.3 料液比

在十二烷基硫酸钠浓度为  $0.0258 \text{ mol/L}$ ,超声功率为  $100 \text{ W}$ ,浸泡时间为  $3 \text{ h}$ ,萃取时间为  $30 \text{ min}$ ,萃取次数为 4 次的条件下,考察料液比( $\text{g}:\text{mL}$ )对剑麻皂苷萃取的影响,结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,随着料液比的增加,剑麻皂苷的质量浓度不断增加,当料液比大于  $1:10$  后,基本呈现不变的趋势,其原因是随料液比的增加,萃取液中表面活性剂胶束数量较多,进、出单位剑麻细胞的数量增加,对剑麻皂苷的增溶作用增大,导致剑麻皂苷的质量浓度增加。但当料液比过大时,其增溶作用不再增加,剑麻皂苷质量浓度基本不变。因而,确定料液比为  $1:10$ 。

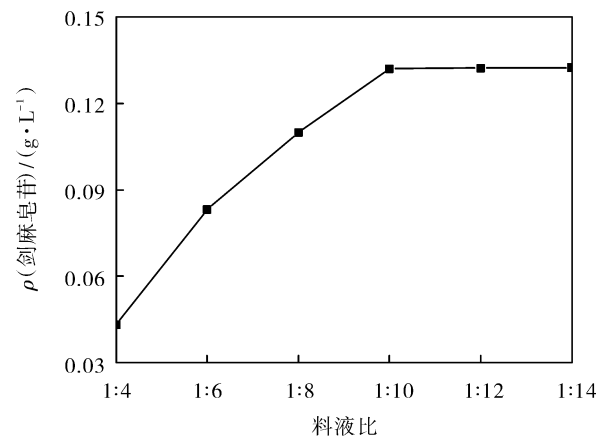


图 3 料液比对剑麻皂苷萃取的影响

Fig. 3 Effect of starting material to extracting liquid ratio on the extraction of sisal saponin

### 2.2.4 超声功率

在十二烷基硫酸钠浓度为  $0.0258 \text{ mol/L}$ ,料液比为  $1:10$ ,浸泡时间为  $3 \text{ h}$ ,萃取时间为  $30 \text{ min}$ ,萃取次数为 4 次的条件下,考察超声功率对剑麻皂苷萃取的影响,结果见图 4。由图 4 可以看出,随着超声功率的增加,剑麻皂苷的质量浓度呈先增加后减小的趋势,其原因是超声波所产生的空化效应、界面效应、湍流效应随超声功率的增加而增强。在空化作用下,溶液内部会迅速形成局部高压,再加上超声波通过溶液时产生的强烈振动,促使剑麻细胞壁破裂,表面活性剂进、出剑麻细胞的阻力减小,使萃取液中剑麻皂苷的质量浓度增大。但当超声功率大于  $120 \text{ W}$  时,超声波所产生的热效应使溶液内部出现局部过热,造成剑麻皂苷变性,导致剑麻皂苷质量浓度降低。因而,确定超声功率为  $120 \text{ W}$ 。

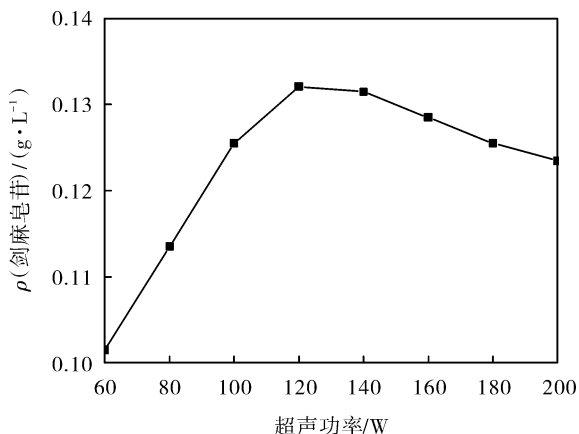


图4 超声功率对剑麻皂苷萃取的影响

Fig. 4 Effect of ultrasonic power on the extraction of sisal saponin

### 2.2.5 萃取时间

在十二烷基硫酸钠浓度为 0.025 8 mol/L,料液比为 1:10,超声功率为 120 W,浸泡时间为 3 h,萃取次数为 4 次的条件下,考察萃取时间对剑麻皂苷萃取的影响,结果见图 5。由图 5 可以看出,随着萃取时间的延长,剑麻皂苷的质量浓度呈先增加后减小的趋势,萃取时间超过 40 min 时开始下降,其原因为随着萃取时间的延长,萃取量增大,剑麻皂苷的质量浓度增加;当萃取时间进一步增加时,长时间的空化作用会产生瞬时高温,导致萃取出的蛋白质变性、淀粉糊化,这些变性的蛋白质和糊化的淀粉会将剑麻皂苷包裹起来,过滤时少量皂苷留在滤渣中,导致剑麻皂苷的质量浓度减小。因而,确定萃取时间为 40 min。

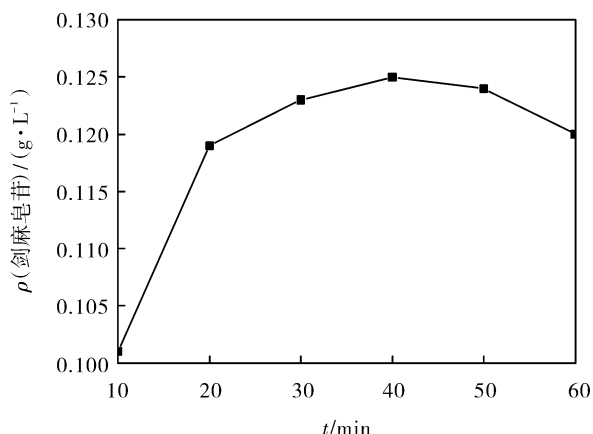


图5 萃取时间对剑麻皂苷萃取的影响

Fig. 5 Effect of extraction time on the extraction of sisal saponin

### 2.2.6 萃取次数

在十二烷基硫酸钠浓度为 0.025 8 mol/L,料液比为 1:10,超声功率为 120 W,浸泡时间为 3 h,萃取时间为 40 min 的条件下,考察萃取次数对剑麻皂苷萃取的影响,结果见图 6。由图 6 可以看出,随着萃取次数的增加,剑麻皂苷的质量浓度迅速下降。其原因为随萃

取次数的增加,细胞内、外剑麻皂苷浓度差不断减小,萃取的推动力减小,导致萃取液中剑麻皂苷的质量浓度减小。

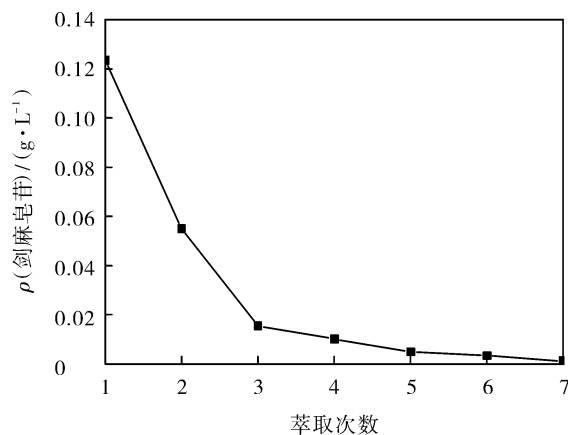


图6 萃取次数对剑麻皂苷萃取的影响

Fig. 6 Effect of extraction repeating times on the extraction of sisal saponin

如果将 7 次萃取液中剑麻皂苷的总质量浓度看成 100%,那么,第 1,2 和 3 次萃取液中剑麻皂苷的质量浓度分别占 62.0% ,27.5% 和 5.2% ,其余 4 次萃取液中剑麻皂苷的质量浓度仅占 5.3% ,考虑萃取成本,一般认为萃取 3 次即能达到萃取目的。

### 2.2.7 浸泡时间

在十二烷基硫酸钠浓度为 0.025 8 mol/L,料液比为 1:10,超声功率为 120 W,萃取时间为 40 min,萃取次数为 3 次的条件下,考察浸泡时间对剑麻皂苷萃取的影响,结果见表 2。由表 2 可以看出,在同样条件下,剑麻膏浸泡 4 h 后萃取液中剑麻皂苷的质量浓度最大,其原因是若浸泡时间较短,剑麻细胞吸水不充分,未膨胀的细胞在超声过程中不易破裂,表面活性剂进、出细胞的阻力较大,萃取液中剑麻皂苷的质量浓度较低。当浸泡时间过长,因微生物繁殖产生酶及剑麻自身酶的作用,剑麻皂苷被降解,导致其质量浓度降低。因而,确定浸泡时间为 4 h。

表2 浸泡时间对剑麻皂苷萃取的影响

Tab. 2 Effect of soaking time on sisal saponin extraction

	浸泡时间/h					
	1	2	3	4	5	6
$\rho(\text{剑麻皂苷})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.104	0.118	0.120	0.124	0.122	0.114

## 2.3 剑麻皂苷富集条件的考察

### 2.3.1 絮凝剂种类和添加量

按 1.2.3 的方法考察絮凝剂种类及添加量对剑麻皂苷富集的影响,结果见图 7。由图 7 可以看出,随着絮凝剂体积分数的增加,絮凝上清液中剑麻皂苷的质

量浓度先急剧下降后基本不变或略有升高。0.1% 阳离子聚丙烯酰胺对剑麻皂苷富集最好,当其体积分数为15%时,絮凝上清液中剑麻皂苷的质量浓度最低。1% 聚合氯化铝对剑麻皂苷富集次之,1% 壳聚糖和1% 羧甲基壳聚糖富集效果较差。由此可以推测,在絮凝剂对剑麻皂苷富集过程中,电中和作用是主要的,本实验所用的絮凝剂均带正电荷,能中和萃取液所带的负电荷,降低萃取液的稳定性,另外,高分子有机物(阳离子聚丙烯酰胺)还对萃取液中不稳定的胶体粒子起到网捕作用,增加絮凝剂对剑麻皂苷的富集作用<sup>[13,14]</sup>。

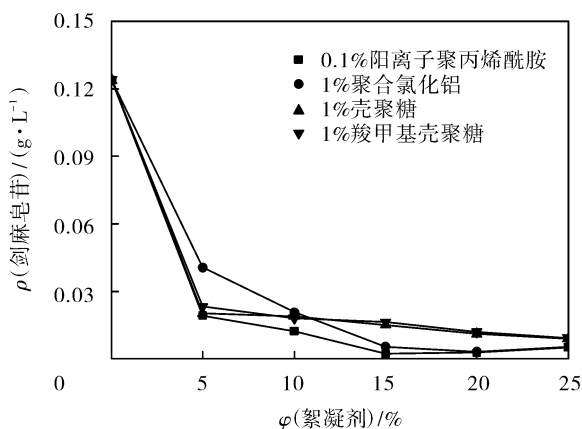


图7 絮凝剂种类及添加量对剑麻皂苷富集的影响

Fig. 7 Effect of flocculant type and dosage on enrichment of sisal saponin

### 2.3.2 絮凝温度

选取体积分数为15%的0.1% 阳离子聚丙烯酰胺作絮凝剂,按1.2.3的方法改变絮凝温度考察其对剑麻皂苷富集的影响,结果见表3。由表3可以看出,当絮凝温度为50℃时,絮凝上清液中剑麻皂苷的质量浓度最低,絮凝剂对剑麻皂苷的富集作用最强。其原因是絮凝温度越高,分子运动速度越快,絮凝剂分子与胶束微粒碰撞接触的机会越多,絮凝作用越强。但当絮凝温度过高(≥60℃)时,先前絮凝剂分子与胶体微粒间形成的网状结构遭到破坏,富集作用减弱。因而,确定絮凝温度为50℃。

表3 絮凝温度对剑麻皂苷富集的影响

Tab. 3 Effect of flocculation temperature on sisal saponin enrichment

	絮凝温度/℃					
	20	30	40	50	60	70
$\rho(\text{剑麻皂苷}) / (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.018 5	0.017 4	0.012 9	0.011 0	0.011 9	0.012 4

### 2.3.3 复合絮凝剂

取剑麻皂苷萃取液100 mL,先分别加入1% 聚合氯化铝溶液5,10,15和20 mL,再向各萃取液中分别

加入0.1% 阳离子聚丙烯酰胺溶液0,1,2,3和4 mL,50℃下快速搅拌5~8 min,然后慢速搅拌15~20 min,静置1 h,取上清液测定剑麻皂苷的质量浓度,确定复合絮凝剂的适宜比例。图8为复合絮凝剂对剑麻皂苷富集的影响。由图8可以看出,1% 聚合氯化铝加入量为5~15 mL的萃取液中,随着0.1% 阳离子聚丙烯酰胺加入量的增加,剑麻皂苷质量浓度越来越低。其原因是聚合氯化铝中和了萃取液中的负电荷,使得萃取液的稳定性降低,阳离子聚丙烯酰胺的网捕作用使得萃取液胶体微粒絮凝出来,絮凝上清液中剑麻皂苷的质量浓度降低,絮凝剂对剑麻皂苷的富集作用增强<sup>[15]</sup>。1% 聚合氯化铝加入量为20 mL时,随着0.1% 阳离子聚丙烯酰胺加入量的增加,絮凝上清液中剑麻皂苷的质量浓度先降低后稍有增加,其原因是阳离子聚丙烯酰胺所带的正电荷传递到已中和(不带电荷)的胶体微粒上,胶体微粒相互排斥,稳定性较前增加,絮凝剂对剑麻皂苷的富集作用减弱。

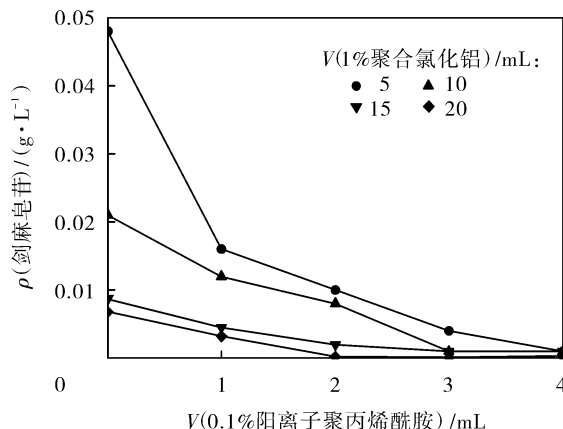


图8 复合絮凝剂对剑麻皂苷富集的影响

Fig. 8 Effect of composite flocculant on sisal saponin enrichment

本试验宜采用先加20 mL 1% 聚合氯化铝溶液,再加2 mL 0.1% 阳离子聚丙烯酰胺溶液,此时絮凝上清液中剑麻皂苷的质量浓度最低,絮凝剂对剑麻皂苷的富集作用最强。

### 2.4 新工艺与传统工艺比较

新工艺:在较佳的萃取和絮凝条件下,准确称取100.0 g 剑麻膏于2.5 L 烧杯中,加入1 L 0.025 8 mol/L 的十二烷基硫酸钠溶液,浸泡4 h,在超声功率120 W 下萃取40 min,离心分离,滤渣按同样操作再萃取2次,收集滤液,加入体积分数为20%的1% 聚合氯化铝溶液,充分搅拌后,再加入体积分数为2%的0.1% 阳离子聚丙烯酰胺溶液,在50℃下先快速(250 r/min)搅拌5~8 min,再慢速(50 r/min)搅拌15~20 min,静置1 h,过滤,得到含剑麻皂苷的絮状沉淀,干燥,按

1:3 (g: mL)的比例加入 1.5 mol/L 的硫酸,在 105 ~ 110 °C 下水解 7 h,加入质量分数为 20% 的石灰乳中和至近中性,过滤,将滤渣干燥至恒重,按照滤渣与 90% 乙醇 1:5 (g: mL)的比例,加入索氏萃取器中,萃取 4 h 后,收集萃取液中 2/3 的乙醇,冷却至室温,放入冰箱中,4 h 后取出,分离得到剑麻皂素,称取剑麻皂素的质量。

传统工艺参见文献[16]。

比较新工艺与传统工艺在酸用量、废水排放量、COD、水解得到剑麻皂素的质量上的差异,结果见表 4。由表 4 可以看出,采用新工艺可以得到剑麻皂素 4.46 g,较传统酸水解工艺提高了 15.5%;每生产 1 g 剑麻皂素需要消耗硫酸 14.6 mL,产生 COD 为 690 mg/L 的废水 56.1 mL,分别是传统工艺酸用量的 18.8% (77.7 mL),废水排放量的 21.7% (259.1 mL)。由此可见,新工艺在提高剑麻皂素的质量、有效控制污染方面具有显著优势。

表 4 剑麻皂素生产新工艺与传统工艺比较

Tab. 4 Comparison of new process of sisal saponin production with traditional process

	<i>m</i> (剑麻皂素)/g	酸用量/ mL	废水排放量/ mL	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )
新工艺	4.46	65	250	690
传统工艺	3.86	300	1 000	1 100

### 3 结论

1)以剑麻膏为原料,考察了各因素对剑麻皂苷萃取的影响。确定了以十二烷基硫酸钠溶液作为萃取剂代替有机溶剂提取剑麻皂苷,消除了因有机溶剂残留引起的安全隐患,降低了剑麻皂苷的萃取成本。萃取的优化条件为:十二烷基硫酸钠浓度 0.025 8 mol/L,料液比 1:10,超声功率 120 W,萃取时间 40 min,萃取次数 3 次,浸泡时间 4 h。

2)絮凝的优化条件为:100 mL 剑麻皂苷萃取液中先加 20 mL 1% 聚合氯化铝,再加入 2 mL 0.1% 阳离子

聚丙烯酰胺的复合絮凝剂,絮凝温度 50 °C。

3)以萃取、絮凝为核心的新工艺与传统工艺相比,水解得到的剑麻皂素的质量提高了 15.5%;每生产 1 g 剑麻皂素酸用量仅为传统工艺的 18.8%,废水排放量的 21.7%。

#### 参考文献:

- [1] 刘民举,薛华. 广西剑麻科研生产现状与发展对策[J]. 中国麻业, 2002,24(1):43-45.
- [2] 王彦超. 剑麻皂苷元生物转化生产方法的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [3] 李华锋,黄尚顺,廖青. 剑麻皂苷元生产技术进展[J]. 广东化工, 2014,41(8):91-92.
- [4] 韩广甸,马兆扬. 我国利用剑麻皂素合成甾体药物的研究进展[J]. 医药工业,2002,33(9):459-464.
- [5] 韩耀玲,林翠梧. 剑麻皂苷元的分离[J]. 河南大学学报(医学版), 2006,25(1):27-29.
- [6] 冯冰. 甾体皂苷生物转化及其特异性糖苷酶的研究[D]. 北京:中国人民解放军军事医学科学院,2005.
- [7] 郑琴,张辉. 超临界二氧化碳萃取技术在中草药提取上应用及产业化面临的问题[J]. 时珍国医国药,2000,11(12):1137-1138.
- [8] 刘树兴,侯屹,李祥. 超声波-表面活性剂协同提取盾叶薯蓣皂苷[J]. 精细化工,2010,27(6):562-566.
- [9] 宋成英. 表面活性剂的增溶作用[J]. 技术应用,2012(10):133-134.
- [10] 周雅文,刘静伟,赵莉. 表面活性剂的性能与应用(IX):表面活性剂的增溶作用及其应用[J]. 日用化学工业,2014,44(9):486-489.
- [11] 李祥. 薯蓣皂素清洁生产及盾叶薯蓣资源化利用[D]. 西安:陕西科技大学,2013.
- [12] 杨转萍,罗仓学,李祥. 超声波-表面活性剂协同萃取黄姜中薯蓣皂素的工艺研究[J]. 食品科学,2010,31(22):46-49.
- [13] 佟瑞利,赵娜娜,刘成蹊,等. 无机、有机高分子絮凝剂絮凝机理及进展[J]. 河北化工,2007,30(3):3-6.
- [14] 古昌红. 有机高分子絮凝剂絮凝机理的研究进展[J]. 重庆工商大学学报,2007,24(6):573-575.
- [15] 任昭,李瑞利,郝磊磊. 有机高分子絮凝剂的研究进展[J]. 科技信息,2011(25):25-26.
- [16] 黄尚顺,廖青,李华锋,等. 剑麻皂素提取工艺研究[J]. 化工技术与开发,2015,44(12):1-6.

(编辑:杨旭)

## 《日用化学工业》办刊宗旨

紧密结合日化行业科研与生产的实践,满足日化市场的需要,贯彻理论联系实际、普及与提高相结合和“双百”方针,面向行业,面向市场,以学术界、企业界、产业界的广大科研人员、管理人员等为主要服务对象,及时报道和传递日化行业的基础理论、科技成果、生产技术、发展趋势以及有指导意义或应用价值的科技知识等,大力推动我国日化行业的科技进步和经济繁荣。