

## 烟叶中茄尼醇的超声提取及纯化工艺研究<sup>△</sup>

张 艺<sup>1,2\*</sup>, 王 刚<sup>1,2</sup>, 陈振斌<sup>1,2#</sup>, 邸多隆<sup>3</sup>(1.兰州理工大学材料科学与工程学院,兰州 730050;2.甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室,兰州 730050;3.中国科学院兰州化学物理研究所,兰州 730000)

中图分类号 R284.2 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2016)07-0932-04

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2016.07.21

**摘要** 目的:优化烟叶中茄尼醇的超声提取及纯化工艺。方法:分别以茄尼醇提取率和转移率为指标,采用单因素试验对提取工艺中的料液比、超声提取温度、超声提取时间、超声功率、提取次数,以及纯化工艺中的皂化液用量(皂化液与提取液体积比)、酸化液用量(酸化液与皂化后提取液体积比)、萃取次数等因素水平进行考察,对优化后工艺进行验证,计算茄尼醇纯度;另将本法与传统浸提法(耗时30 h)和溶剂连续循环浸提法(耗时5~6 h)比较茄尼醇的提取量。结果:优化的提取工艺为料液比1:14、超声提取温度70 ℃、超声提取时间60 min、超声功率120 W、提取3次,纯化工艺为皂化液与提取液体积比2:35、酸化液与皂化后提取液体积比2:14、萃取4次;验证试验中提取率、转移率和纯度均值分别为92.45%、79.88%、55.86%(RSD分别为0.46%、0.30%、0.40%, $n=3$ );3种提取方法茄尼醇的提取量分别为52.22、45.22、26.10 mg/g。结论:优化工艺操作简单、稳定,提取耗时更短,更节约能源,且提取量和纯度均较高,适合用于烟叶中茄尼醇的生产提取及纯化。

**关键词** 烟叶;茄尼醇;单因素试验;超声提取;纯化;工艺优化;提取率;转移率;纯度

### Ultrasonic Extraction and Purification Technology of Solanesol from Tobacco Leaf

ZHANG Yi<sup>1,2</sup>, WANG Gang<sup>1,2</sup>, CHEN Zhenbin<sup>1,2</sup>, DI Duolong<sup>3</sup>(1.College of Materials Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2.State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou 730050, China; 3.Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**ABSTRACT** OBJECTIVE: To optimize ultrasonic extraction and purification technology of solanesol from tobacco leaf. METHODS: Using extraction rate and transport rate of solanesol as indexes, single factor test was used to investigate liquid-solid ratio, ultrasonic extraction temperature and time, ultrasonic power and extraction times, and the amount of soap alkali lye (volume ratio of soap alkali lye to extraction liquid), acidizing fluids (volume ratio of acidizing fluids to soap alkali lye extract), extraction times of purification technology. Optimized technology was validated, and the purity of solanesol was calculated; the amount of extracted solanesol was compared between this method and traditional extraction method (spending 30 h), solvent continuous cyclic extraction (spending 5-6 h). RESULTS: Optimized extraction technology was as follows as volume ratio of soap alkali lye to extraction liquid 1:14, ultrasonic extraction temperature 70 ℃, ultrasonic extraction time 60 min, ultrasonic power 120 W, extracting for 3 times; optimized purification technology was as follows as volume ratio of soap alkali lye to extraction liquid 2:35, volume ratio of acidizing fluids to soap alkali lye extract 2:14, extracting for 4 times. In validation test, extraction rate, transport rate and purity were 92.45% (RSD=0.46%,  $n=3$ ), 79.88% (RSD=0.30%,  $n=3$ ) and 55.86% (RSD=0.40%,  $n=3$ ). The amount of solanesol extracted with 3 methods were 52.22, 45.22 and 26.10 mg/g. CONCLUSIONS: The optimized technology is simple and stable, costs less time and saves source with high extraction amount and purity, which is suitable for production, extraction and purification of solanesol from tobacco leaf.

**KEYWORDS** Tobacco leaf; Solanesol; Single factor test; Ultrasonic extraction; Purification; Technology optimization; Extraction rate; Transport rate; Purity

烟草又称为烟、烟叶,属于管状花目茄科草本植物,其含有生物碱(如烟碱)、茄尼醇、蛋白质、纤维素、色素等,在医药、食品、化工等行业都具有较高的研究价值<sup>[1]</sup>。但目前烟叶尚处于用途单一、亟待开发的状况。茄尼醇是合成某些药物如辅

酶Q<sub>10</sub>、维生素K<sub>2</sub>时不可替代的中间原料,也常用于合成治疗肿瘤、治疗心脑血管病、抗溃疡、抗癌的药物等<sup>[2]</sup>。但由于茄尼醇是长链半萜烯醇化合物,合成难度非常大<sup>[3]</sup>,只能依赖于从植物、微生物、哺乳动物体内提取,其中主要是从富含茄尼醇的茄科植物叶如烟叶、马铃薯叶、桑叶等中提取的<sup>[4]</sup>。

### 本栏目协办

南京伊登生物医学科技有限公司

地址:江苏省南京市玄武区龙蟠中路29号珠江路都市经济园312室  
邮编:210018

△基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.21374128)

\*学士。研究方向:高分子材料与工程。E-mail:arbres@163.com

#通信作者:教授,博士。研究方向:特异选择性吸附分离高分子材料的合成与表征、吸附分离理论和应用研究、教学改革与创新研究。电话:0936-8282468。E-mail:zhenbinchen@163.com

从烟叶中提取茄尼醇的传统方法是溶剂浸提法,该法提取时间长,一般在30 h以上;且所用提取液量大,料液比至少在1:20左右;另外提取率也较低,仅为26%<sup>[6]</sup>,这些不足都不利于茄尼醇的大生产及应用。因此,若结合现有的提取工艺方法<sup>[6-11]</sup>并辅助新技术如超声法等,发展高效率的提取工艺,可促进茄尼醇的扩大使用并获得较好的社会效益和经济效益。故笔者在传统提取方法上辅助超声手段提取烟叶中茄尼醇,并通过单因素试验对其提取和纯化工艺条件进行考察和优化。

## 1 材料

### 1.1 仪器

KQ5200B型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);UV-752N型紫外-可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司);CP225D型电子天平(德国赛多利斯有限责任公司);HH-S1s型电热恒温水浴锅(金坛市大地自动化仪器厂);ST-02A型多功能粉碎机(永康市帅通工具有限公司)。

### 1.2 原材料、药品与试剂

烟草(产地:四川省绵阳市梓潼县宝石乡,批号:050309);茄尼醇对照品(北京太阳花科技发展有限公司,批号:5-SCC-122-1,纯度:90%);95%乙醇、无水乙醇、正己烷、氢氧化钾、盐酸均为分析纯。

## 2 方法与结果

### 2.1 茄尼醇的含量测定

称取茄尼醇对照品0.050 g,置于100 ml量瓶中,加入95%乙醇(或正己烷)定容,得0.5 g/L茄尼醇对照品溶液。分别精密吸取一定量的对照品溶液,制备成一系列质量浓度的对照品溶液,于210 nm波长下采用紫外-可见分光光度法测其吸光度( $A$ ),各溶液并重复测定5次,求平均值。将 $A$ 与质量浓度( $c$ )回归得茄尼醇在95%乙醇中的线性方程为 $A=61.143c+0.0697$  ( $r=0.9961$ ),检测质量浓度的线性范围为0.002~0.014 g/L;在正己烷中的线性方程为 $A=69.179c+0.0089$  ( $r=0.9983$ ),检测质量浓度的线性范围为0.003~0.009 g/L(由于茄尼醇在95%乙醇和正己烷中的吸光度不同,故建立了2条标准曲线)。另按精密度和准确度试验方法进行的操作,结果精密度试验中吸光度的RSD均小于0.34% ( $n=5$ );加样回收率分别为99.23% ( $RSD=0.56%$ ,  $n=5$ )、99.34% ( $RSD=0.49%$ ,  $n=5$ )。

### 2.2 超声提取茄尼醇的工艺优化试验

2.2.1 试验设计 将烟叶用粉碎机粉碎后,用水浸泡2 h,除去其中的水溶性杂质,放入40℃的烘箱中低温干燥。每次取100 g干燥后的烟叶粉末,按设定的料液比(1:4、1:6、1:8、1:10、1:12、1:14、1:16、1:18、1:20、1:22,其余固定条件为超声提取温度70℃、超声提取时间60 min、超声功率120 W、提取1次)加入95%乙醇,置于超声仪中,设置超声提取温度(20、30、40、50、60、70℃,其余固定条件为料液比1:14、超声提取时间60 min、超声功率120 W、提取1次)、超声提取时间(20、30、40、50、60、70 min,其余固定条件为超声提取温度70℃、料液比1:14、超声功率120 W、提取1次)和超声功率(80、100、120、140、160、180、200 W,其余固定条件为超声频率35 kHz、料液比1:14、超声提取时间60 min、超声提取温度70℃、提取1次)对茄尼醇进行提取(提取1~5次,其余固定条件为料液比1:14、超声提取时间60 min、超声提取温度70℃、超声功率120 W)。以提取率为指标,采用单因素试验分别考察料液比、超声提取时间、超声温度、超声功率、提取次数对茄尼醇的提取效果。

2.2.2 指标测定 根据茄尼醇在95%乙醇中的线性方程计算提取液中茄尼醇的质量浓度( $c$ ),进一步计算提取出茄尼醇的

质量( $m_1=cV$ ,  $V$ 为提取液的体积);再计算茄尼醇的提取率( $m_1/m_0 \times 100%$ ,  $m_0$ 为每1 g烟叶中茄尼醇的质量,即从烟叶中提取茄尼醇直至检测不出时计算所得茄尼醇量)。本次测定结果显示,烟叶样品中茄尼醇的含量为5.222% (g/g)。

2.2.3 优化试验结果 各因素对茄尼醇提取率的影响见图1。

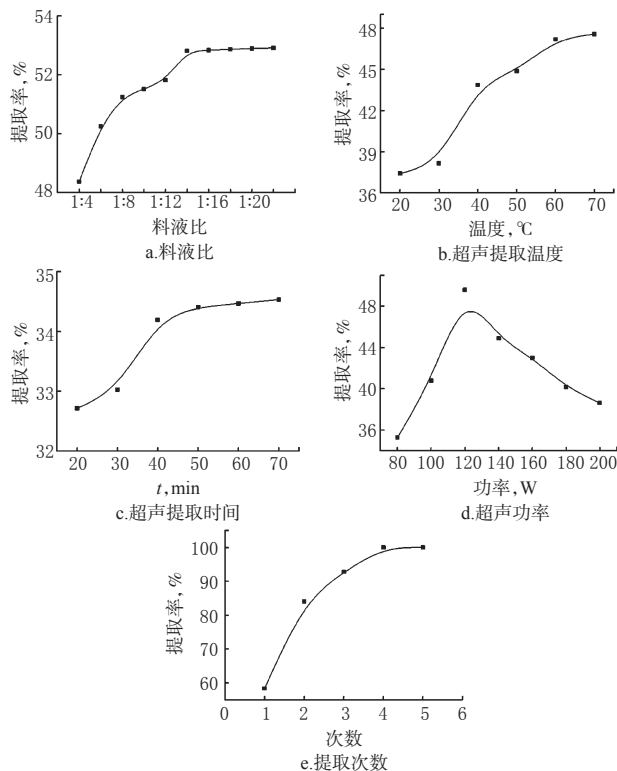


图1 各因素对茄尼醇提取率的影响

Fig 1 Effects of each factor on extraction rate of solanesol

由图1a可知,在以95%乙醇为提取溶剂时,随着料液比的增加,茄尼醇的提取率增加,并在料液比为1:14时几乎达到最大值;之后,随着料液比增加,茄尼醇提取率上升缓慢,趋于稳定。因此,取1:14为最优的料液比。

由图1b可知,茄尼醇提取率随提取温度的升高而迅速增加,当温度达到60℃时,提取率增长趋于平稳。因此,选70℃为提取温度。

由图1c可知,随着超声提取时间的延长,提取率增加较快;当提取时间超过60 min时,提取率逐渐趋于平稳;若继续延长提取时间会造成能源的浪费。因而综合考虑,茄尼醇的最优提取时间选取为60 min。

由图1d可知,随着超声功率的增加,提取率逐渐增加,在功率为120 W时达到最大值。因此,选取120 W为最优超声功率。

由图1e可知,随着提取次数的增加,提取率明显增加;当提取次数达到4次后,提取率几乎不再增加。由计算可知,由于提取2次时的提取率已达84.03%,提取3次时已达92.80%,基于生产成本和效率考虑,提取次数的选择以3次为宜。

### 2.3 超声提取茄尼醇后纯化工艺优化试验

2.3.1 试验设计 一般经提取后茄尼醇的纯度几乎在25%以下,只有经过精制纯化后茄尼醇才有进一步的利用价值,故需对茄尼醇进行纯化精制。茄尼醇通常与其酯化物共同存在,因此烟叶的粗提物通常要经过皂化反应使结合态茄尼醇游离出来增加其收率,同时使其他脂类成盐进而与茄尼醇分离。取单因素试验优化条件下提取后的低纯度的茄尼醇提取液,

用设定的皂化液(1 mol/L 氢氧化钾-95%乙醇溶液)适量(即皂化液与提取液体积比分别为0:35,1:35,2:35,3:35,4:35,5:35,6:35)在45℃恒温水浴锅中皂化反应2 h,滴加酸化液(1 mol/L 的盐酸-95%乙醇溶液)适量(酸化液与皂化后提取液体积比分别为0:14,1:14,2:14,3:14,4:14,5:14,6:14)对皂化后的提取液(将皂化后的茄尼醇超声提取液分成等量的7份)进行振荡反应10 min以酸化除去酸性条件下可溶解的杂质,最后用正己烷进行茄尼醇的萃取(在萃取液与皂化酸化后溶液体积比为1:1时分别萃取1~6次)。以转移率为指标,考察皂化液用量(皂化液与提取液的体积比)、酸化液与皂化后提取液的体积比及萃取次数对茄尼醇的转移效果。

2.3.2 指标测定 (1)转移率。取适量正己烷萃取酸化后的提取液的上清液,测其吸光度,计算萃取后茄尼醇的质量 $m_2$ ,再计算转移率( $m_2/m_1 \times 100\%$ )。(2)纯度。准确称取0.040 g经纯化精制后的烟叶提取物用正己烷溶解,然后定容至10 ml量瓶中,测定吸光度,代入茄尼醇在正己烷的线性方程中计算质量浓度( $c_1$ ),再计算茄尼醇的纯度( $0.01c_1/0.040 \times 100\%$ )。

2.3.3 优化试验结果 各因素对茄尼醇转移率的影响见图2。

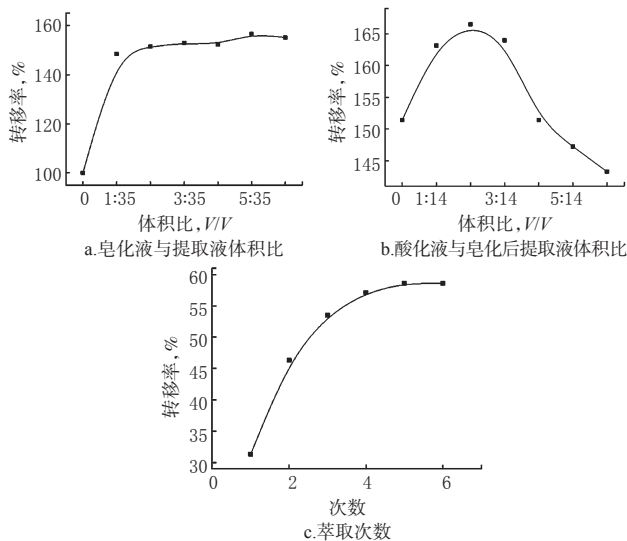


图2 各因素对茄尼醇转移率的影响

Fig 2 Effects of each factor on transport rate of solanesol

由图2a可知,当皂化液与提取液体积比为1:35时,茄尼醇转移率达到拐点;当皂化液与提取液的体积比为5:35时,茄尼醇转移率达到最大。综合考虑生产等因素,选取2:35为皂化液与提取液的最优体积比。

由图2b可知,皂化后对提取液进行酸化也可以提高茄尼醇的转移率,当酸化液与皂化后提取液的体积比为2:14时,提取液中茄尼醇转移率最大。因此,选择酸化液与皂化后提取液的体积比为2:14。

由图2c可知,随着萃取次数的增加,茄尼醇的转移率增加,萃取次数达到4次之后,茄尼醇转移率基本不再增加。因此,选取4次为最优的萃取次数。

## 2.4 验证试验

综上,优化的提取工艺条件为料液比1:14、超声提取温度70℃、超声提取时间60 min、超声功率120 W、提取3次。在此条件下,平行进行3次验证试验,得茄尼醇提取量平均值为52.22 mg/g,提取率平均值为92.45%。优化的纯化工艺条件为皂化液与提取液的体积比2:35、酸化液与皂化后提取液的体积比2:14,萃取4次。在此条件下,茄尼醇转移率平均值为79.88%,

纯度平均值为55.86%。工艺稳定性验证试验结果见表1。

表1 验证试验结果(%)

指标	1	2	3	平均值	RSD
提取率	92.80	91.98	92.56	92.45	0.46
转移率	80.03	80.01	79.60	79.88	0.30
纯度	55.87	56.08	55.63	55.86	0.40

## 2.5 与传统提取工艺的结果比较

将本试验方法所得茄尼醇提取量与之前本实验室采用传统浸提法提取以及林军等<sup>[12]</sup>利用溶剂连续循环提取法所得的结果进行比较,结果见表2。

表2 3种提取方法比较

提取方法	功率	总提取时间	提取温度	提取次数	料液比	提取量, mg/g
超声辅助提取法	120 W	60 min	70℃	3	1:14	52.22
传统浸提法		30 h	70℃	3	1:20	45.22
溶剂连续循环提取法		5~6 h	70℃左右	1	1:18	26.10

由表2可知,采用超声技术提取茄尼醇提取时间更短、料液比更小、提取量更高,表明采用该提取技术可以在很大程度上节能减排并提高效率,能产生更好的经济效益和社会效益。

## 3 讨论

### 3.1 提取方法的选择

虽然关于茄尼醇超声提取的文献报道已较多,但在提取方面比较系统全面地考察提取工艺的文献还是较少。本文在分析总结茄尼醇原有提取工艺特点的基础上,结合当前的一些新技术,研究采用超声技术提取烟叶中的茄尼醇,以期利用较简单的设备更全面地考察超声提取茄尼醇的工艺。通过单因素试验,对提取工艺条件进行了系统研究和优化,得到了从烟叶中提取茄尼醇的最优工艺条件,使茄尼醇提取率较传统法有了较大程度的增加。由于结果显示烟叶中的茄尼醇已经基本提取完全,即经过单因素试验在最优的工艺条件下已得到较高的提取率92.45%,所以笔者认为无需再进行交互作用试验如正交试验等。

### 3.2 提取工艺对茄尼醇提取率的影响分析

3.2.1 料液比与茄尼醇提取率 由图1a可知,提取液较少时,随着茄尼醇的溶出,茄尼醇在烟叶和提取液间的分配很快达到平衡,使烟叶中可提取的茄尼醇不能充分进入到提取液中被提取,提取率也就较低。随着提取液的增加,要使茄尼醇在烟叶和提取液间的分配达到平衡需要溶出的茄尼醇量增加,两相中的渗透压也相应增大,故使茄尼醇越来越多地进入提取液中,提取率逐渐增加到最大。而当提取液的量再增加时,一方面,由于烟叶中茄尼醇含量已经很低,另一方面提取液中茄尼醇含量已过大,这时,从烟叶中溶出少量茄尼醇就达到分配平衡,而提取液浓度却无明显变化,所以提取率几乎未再明显增加。

3.2.2 超声提取温度与茄尼醇提取率 由图1b分析可知,在提取液环境中,较高的温度更有利于植物细胞壁、细胞膜和纤维结构的破坏,且这种破坏还会随着样品颗粒的减小而增强,因此,升高温度可以促使破坏超声作用难以破坏的细胞壁、细胞膜和纤维结构,并使其中的茄尼醇在浓差化学势的作用下继续释放出来,提取率随之相应增加。另外,温度升高还增大了茄尼醇在95%乙醇中的溶解度以及茄尼醇分子的运动速度,这些都将促使茄尼醇提取量的增加。

3.2.3 超声提取时间与茄尼醇提取率 由图1c分析可知,提

取初期随着超声时间的延长,提取率快速增加,这是因为超声波产生了强烈的空化作用、机械效应、热效应,逐渐破坏了烟叶的细胞壁、细胞膜和纤维结构,扩散作用的空间位阻逐渐减小,由于浓差化学势的作用,存在于烟叶细胞中的茄尼醇逐步被提取出来。随着超声时间进一步延长,提取率增加变缓,这是因为后期烟叶细胞壁、细胞膜和纤维结构大部分已被破坏,一方面,超声作用因烟叶样品颗粒的减小而削弱,对剩余部分细胞壁、细胞膜和纤维结构的破损作用减弱,故这些部分中所含茄尼醇因空间位阻而无法进入提取液;另一方面,在细胞壁、细胞膜和纤维结构已被破坏掉的部分中,进入到提取液中的茄尼醇量因浓差化学势的作用逐渐减小而越来越少。

**3.2.4 超声功率与茄尼醇提取率** 由图1d分析可知,功率过小时,相关的空化、剪切和加热作用小,无法有效破坏烟叶的细胞壁、细胞膜和纤维结构,茄尼醇因空间位阻而难以扩散到提取液,提取率相应较低。随着超声功率的增大,超声波击破细胞壁、细胞膜和显微组织的能力增强,因扩散空间位阻减小而有利于其中包裹的茄尼醇被提取出,故提取率增加。而当功率继续增大时,一方面有部分茄尼醇因超声作用而发生化学反应,转化为其他化合物;另一方面,由于强的空化、剪切和加热作用,样品中细胞和纤维结构被严重破坏,其中生物大分子大量进入到提取液中,这些大分子将在乙醇的作用下,挟裹着其周围的茄尼醇发生沉降,使提取液中茄尼醇含量减小;且超声功率越大,这种挟裹沉降作用越强,故茄尼醇的提取率也相应越低。

**3.2.5 提取次数与茄尼醇提取率** 由图1e可知,提取率是由茄尼醇在固液两相间的平衡分配所决定的,在提取次数过少时,当提取过程中茄尼醇在固液两相间的分配已达到平衡时,化学势为零,此时在烟叶中可被提取的茄尼醇虽然可进入提取液,但由于没有扩散动力而残留在烟叶中,故不能被充分提取出来。随着提取次数的增加,由于新加的提取液中不含茄尼醇,当加入提取液后,在提取液和烟叶中存在较大的茄尼醇浓度差,由于浓差化学势的推动,烟叶中可提取茄尼醇将持续进入提取液直至达到新的分配平衡,因此总的提取率相应增加。随着提取次数的持续增加,烟叶中所含茄尼醇越来越少,与新加的提取液的浓度差越来越小,分配达平衡时进入到提取液中的茄尼醇也越来越少,所以提取率的增加速度越来越小。

### 3.3 茄尼醇的纯化

**3.3.1 皂化液用量对茄尼醇转移率的影响** 由图2a分析可知,皂化后茄尼醇含量增加是因为部分茄尼醇通常以其酯化物共同存在,而皂化反应可使酯化态茄尼醇水解生成游离态的茄尼醇,最终增加了其在提取液中的含量,致转移率相当高(100%~160%)。然而,提取液中酯化态茄尼醇含量是一定的,增加皂化液的量,虽然对茄尼醇酯的水解有利,但由于反应平衡的限制会使茄尼醇酯水解量越来越小,故提取液中游离态茄尼醇含量增加幅度也逐渐减小。

**3.3.2 酸化液用量对茄尼醇含量的影响** 由图2b分析可知,提取液酸化后含量增加的原因在于:虽然通过皂化可将茄尼醇酯转化成茄尼醇,但由于皂化后整个体系的碱性增强,而茄尼醇在碱性环境下又可以与碱发生可逆的质子交换反应生成茄尼醇阴离子,这将致茄尼醇含量有少量降低;而通过酸化,由于质子的加入,可使平衡向着生成茄尼醇的方向移动,从而使提取液中茄尼醇含量增加,致转移率可高达150%~

165%。然而,当酸化液加入量增加到一定程度后,提取液中的茄尼醇将通过羟基氧原子与氢离子可逆结合,生成茄尼醇阳离子,且这种结合随提取液酸度增大而增加,最终导致提取液中茄尼醇含量又随酸化液加入量的增加而逐渐减少。

**3.3.3 萃取次数对茄尼醇转移率的影响** 由图2c分析可知,转移率随萃取次数增加而增加的原因在于茄尼醇在两相间的分配平衡。众所周知,由于分配平衡常数在一定温度和压力下为定值,当采用多次萃取时,根据分配定律,其转移率也必然增大,但实测值很低,为30%~60%。

**3.3.4 关于转移率较低的分析** 萃取时转移率较低,经分析认为是由两个方面的原因所导致的:(1)茄尼醇在乙醇中的溶解度。虽然正己烷对茄尼醇溶解作用较乙醇大,但由于茄尼醇在乙醇中的溶解度也较大,导致两相分配平衡常数较低,萃取困难较大,转移率也就相应不高;(2)测定的系统误差。通过分别考察相同质量浓度的茄尼醇在乙醇和正己烷中的吸光度可知,茄尼醇在上述2种溶剂中的吸光度有很大差别,这说明茄尼醇在2种溶剂中的摩尔吸光系数差别很大,导致其在乙醇和正己烷中的含量测定结果产生系统误差,并最终使茄尼醇的表观转移率较低。为证明上述分析的合理性,笔者前期做了如下比较试验:取2份同体积的茄尼醇提取液,分别用乙醇和正己烷定容稀释100倍,测定其吸光度。结果茄尼醇在正己烷中吸光度为0.065,在95%乙醇中吸光度为0.133,可知等量茄尼醇在95%乙醇中的吸光度约为其在正己烷中的2倍,故由此推算出了正己烷对茄尼醇的转移率结果(而实测值低于表1中数据)。

### 参考文献

- [1] 董二慧,谭红,包娜,等.我国烟叶中烟碱的研究现状[J].广州化工,2012,40(15):33.
- [2] 郑奎玲,余丹梅.废弃烟叶的综合利用现状[J].重庆大学学报,2004,27(3):61.
- [3] 王自社,刘文乾,王军红,等.茄尼醇的研究及应用进展[J].安徽农业科学,2013,41(32):12 539.
- [4] 姚建华,肖崑.茄尼醇的提取及其应用[J].广州化工,2015,43(7):37.
- [5] 郭孝武.一种提取中草药化学成分的方法:超声提取法[J].天然产物研究与开发,1998,11(3):37.
- [6] 赵亚梅.超临界CO<sub>2</sub>流体萃取高纯度茄尼醇的研究[D].西安:西北工业大学,2006.
- [7] 张旗,黄龙,高志农.低次烟叶中茄尼醇的超声波辅助提取与纯化[J].湖北农业科学,2014,53(6):1 402.
- [8] 赵春建,杨磊,祖元刚.动态皂化萃取法提取茄尼醇的研究[J].化学工程,2007,35(9):9.
- [9] 朱松,张海波,王洪新.废次烟叶中茄尼醇的提取纯化工艺研究[J].安徽农业科学,2011,39(21):13 080.
- [10] 马君义,张继,徐小龙.正交试验优化茄尼醇的微波辅助萃取工艺[J].中国医院药学杂志,2010,30(12):1 010.
- [11] 李明,潘扬.烟叶中茄尼醇提取分离纯化与含量测定的研究进展[J].医药导报,2006,25(12):1 306.
- [12] 林军,顾正桂,苏复,等.溶剂连续循环萃取法提取烟叶中茄尼醇[J].化学工程,2009,37(2):1.

(收稿日期:2015-06-09 修回日期:2015-11-12)

(编辑:刘萍)