北沙参茎叶和根中挥发油的提取与抗真菌活性研究Δ

杨震旻[1,2,3*]，李　冰[1,2]，毛福英[4]，郑玉光[2,5]，赵云生[1,2,3#]（1.河北中医学院药学院，石家庄　050200；2.河北中医学院河北省中药炮制技术创新中心，石家庄　050091；3.河北省中药资源利用与质量评价国际联合研究中心，石家庄　050091；4.河北中医学院实验中心，石家庄　050200；5.河北化工医药职业技术学院，石家庄　050026）

中图分类号　R284；R965　　**文献标志码**　A　　**文章编号**　1001-0408（2023）11-1358-05
DOI　10.6039/j.issn.1001-0408.2023.11.14

摘　要　目的　探究北沙参茎叶和根中挥发油的提取工艺，解析北沙参茎叶和根中挥发油所含化学成分，并初步评价其体外抗真菌活性。**方法**　以水蒸气蒸馏法为基础，通过单因素与正交实验优化北沙参茎叶和根中挥发油提取方法，利用气相色谱-质谱联用（GC-MS）技术鉴定北沙参茎叶和根中挥发油所含化学成分并计算其相对百分含量。采用纸片扩散法测定北沙参茎叶和根中挥发油对茄病镰刀菌、半裸镰刀菌、尖孢镰刀菌、寄生曲霉和黄曲霉的抗真菌活性。**结果**　北沙参最佳提取工艺为料液比1∶15，蒸馏时间5 h，KCl浓度15%。从北沙参茎叶挥发油中鉴定出11种成分，根挥发油中共鉴定出8种成分。人参炔醇为北沙参茎叶挥发油和根挥发油的共有成分，其在茎叶中的含量为38.21%，根中的含量为74.02%。北沙参茎叶挥发油和根挥发油对茄病镰刀菌、半裸镰刀菌、尖孢镰刀菌、寄生曲霉和黄曲霉均有一定的抑制作用，以茎叶挥发油较强。**结论**　北沙参茎叶挥发油和根挥发油的化学成分差异明显，但二者均具有一定的体外抗真菌活性。

关键词　北沙参；茎；叶；根；挥发油；真菌；抗真菌活性；化学成分

Study on the extraction and antifungal activity of volatile oil from stems, leaves and roots of *Glehnia littoralis*

YANG Zhenmin[1,2,3], LI Bing[1,2], MAO Fuying[4], ZHENG Yuguang[2,5], ZHAO Yunsheng[1,2,3] (1. School of Pharmacy, Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China; 2. Hebei Traditional Chinese Medicine Processing Technology Innovation Center, Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050091, China; 3. International Joint Research Center for the Utilization and Quality Evaluation of Traditional Chinese Medicine Resources in Hebei Province, Shijiazhuang 050091, China; 4. Experimental Center, Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China; 5. Hebei Chemical and Pharmaceutical College, Shijiazhuang 050026, China)

ABSTRACT　OBJECTIVE To explore the extraction process of volatile oil from the stems, leaves and roots of *Glehnia littoralis*, analyze the chemical components of the volatile oil from the stems, leaves and roots of *G. littoralis*, and preliminarily evaluate its *in vitro* antifungal activity. **METHODS** Based on the steam distillation method, single factor test and orthogonal experiment were conducted to optimize the extraction method of volatile oil from the stems, leaves and roots of *G. littoralis*. The chemical components of the volatile oil from the stems, leaves and roots of *G. littoralis* were identified by using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technology and their relative contents were calculated. The antifungal activity of volatile oils from the stems, leaves and roots of *G. littoralis* against *Fusarium solani*, *Fusarium incarnatum*, *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus parasiticus* and *Aspergillus flavus* was determined by paper diffusion method. **RESULTS** The optimal extraction process of *G. littoralis* was solid-liquid ratio of 1∶15, distillation time of 5 hours, and KCl concentration of 15%. Eleven components were identified from the volatile oil of the stems and leaves of *G. littoralis*, and a total of eight components were identified from the volatile oil of the roots. Ginsenethinol was a common component in the volatile oil from the stems, leaves and roots of *G. littoralis*, its contents in the stems and leaves, roots were 38.21% and 74.02%, respectively. The volatile oil from the stems, leaves and roots of *G. littoralis* had a certain inhibitory effect on *F. solani*, *F. incarnatum*, *F. oxysporum*, *A.*

Δ **基金项目** 河北省中医药管理局科研计划项目（No.2023121）；河北省二期现代农业产业技术体系创新团队项目（No.HBCT2018060205）

＊ **第一作者** 硕士研究生。研究方向：中药炮制与资源。E-mail：yangzhenmin89@126.com

\# **通信作者** 教授，博士生导师，博士。研究方向：中药资源。E-mail：zwhjzs@126.com

parasiticus and A. flavus, especially volatile oil from the stems and leaves. **CONCLUSIONS** There is a significant difference in chemical components of the volatile oil between the roots, stems and leaves of *G. littoralis*, both of which have certain *in vitro* antifungal activity.

KEYWORDS *Glehnia littoralis*; stems; leaves; roots; volatile oil; fungus; antifungal activity; chemical components

北沙参是伞形科植物珊瑚菜 *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq. 的干燥根，主要分布于中国（东部沿海地区）、日本、朝鲜、俄罗斯和美国[1]，具有养阴清肺、益胃生津的功效[2]。作为常用传统药材，北沙参早在明朝就被种植[3]，但其野生药材被长期无序采挖，资源遭到严重破坏，在《中国生物多样性红色名录-高等植物卷》中被列为极度濒危物种[4]，导致产量不能满足市场需求。为加强北沙参资源保护，开展其药用部位（根）与非药用部位（茎叶）的利用研究十分必要。

研究显示，北沙参的根具有抗氧化[5]、抗癌[1]、抗炎[6]、抗脂肪形成[7]、免疫调节[8]和抗菌[9]等活性；而关于北沙参的茎叶，相关研究主要集中于多糖[10]、黄酮类[11]、香豆素[12]和微量元素[13]等成分的研究。北沙参挥发油的研究主要集中于根[14]，而对于茎叶的研究几乎无报道。本研究对北沙参茎叶和根中挥发油进行提取工艺优化，比较它们所含化学成分的异同，并对二者抗黄曲霉与茄病镰刀菌等真菌的活性进行研究，以期为北沙参地上部位挥发油的利用提供理论依据。

1 材料

1.1 植物来源

2020年10月21日本课题组在河北省安国市采集北沙参的茎叶和根，经河北中医学院药学院赵云生教授鉴定为伞形科植物珊瑚菜 *G. littoralis* Fr. Schmidt ex Miq. 的茎叶和根，植物标本保存于河北中医学院标本馆。

1.2 主要仪器

7890B/5977B型气相色谱-质谱联用（GC-MS）仪购自美国Agilent公司；FW100型粉碎机购自天津泰斯特仪器有限公司；BSA224S-CW型万分之一电子分析天平购自赛多利斯科学仪器（北京）有限公司；GHP-9050型恒温培养箱购自上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 主要菌种与试剂

寄生曲霉（编号BNCC144221）购自北京北纳创联生物技术研究所；茄病镰刀菌、半裸镰刀菌和尖孢镰刀菌由河北中医学院药学院房慧勇副教授捐赠；黄曲霉由河北中医学院河北省中药炮制技术创新中心实验室分离。正己烷为色谱纯，其他试剂均为分析纯。

2 方法

2.1 挥发油的提取

2.1.1 单因素实验 根据2020年版《中国药典》（四部）通则“挥发油测定法（甲法）”提取方法[2]对北沙参茎叶和根中挥发油的提取进行优化，分别设对照组、处理1组、处理2组、处理3组，具体提取过程如下。（1）对照组（水蒸气蒸馏提取）：取供试品100 g，称定质量（精确至0.01 g），置于2 L圆底烧瓶中，加1 L水与玻璃珠数粒，振摇混合后，连接挥发油测定器与回流冷凝管；自冷凝管上端加水使其充满挥发油测定器的刻度部分，并溢流入烧瓶时为止；置电热套中缓缓加热至沸腾，并保持微沸约5 h，至测定器中油量不再增加，停止加热；放置片刻后，开启测定器下端的活塞，将水缓缓放出，至油层上端到达刻度0线上面5 mm处为止；放置1 h以上，再开启活塞使油层下降至其上端恰与刻度0线平齐，读取挥发油量，计算供试品中挥发油含量（%），并于分析前储存在4 ℃的琥珀色小瓶中。每个实验平行3次。（2）处理1组（蒸馏瓶辅助提取）：在对照组圆底烧瓶和挥发油测定器之间放置一个蒸馏瓶，并将北沙参粉末放在蒸馏瓶中，不与水接触，其他操作同对照组。（3）处理2组（NaCl溶液提取）：用20%的NaCl溶液代替对照组的蒸馏水，其他操作同对照组。（4）处理3组（KCl溶液提取）：分别用10%、15%和20%的KCl溶液代替对照组中的蒸馏水[15]，其他操作同对照组。计算北沙参茎叶挥发油和根挥发油的提取率，提取率（g/kg）=（挥发油的质量/植物的质量）×1 000。

2.1.2 正交实验 在“2.1.1”项单因素实验基础上，采用$L_9(3^4)$正交表设计优化提取条件，其中料液比、蒸馏时间和KCl浓度被认为是影响挥发油提取率的重要因素，每个因素均被分为3个水平（料液比1∶5、1∶10、1∶15，蒸馏时间3、4、5 h，KCl浓度10%、15%、20%）以优化提取过程。

2.2 挥发油的GC-MS检测

在GC-MS分析之前，将30 μL挥发油加入到1 mL正己烷中，然后经0.45 μm微孔滤膜过滤，制成测试溶液。使用7890B/5977B型GC-MS仪，通过GC-MS程序对北沙参茎叶挥发油和根挥发油的化学成分进行分析。采用NIST 17.0质谱数据库（https://webbook.nist.gov/chemistry/）进行化合物检索（设置匹配度＞80%），采用峰面积归一化法求得各化学成分的相对百分含量。

质谱条件：采用离子源，电子能量为70 eV，离子源温度为230 ℃，四极杆温度为150 ℃，溶剂延迟为3 min，质量扫描范围质荷比（*m/z*）为50→500。检测程序如下：载气为氦气（纯度99.999%），分流比为50∶1，流速为1

mL/min，样品体积为1 μL。升温程序如下：初始温度为60 ℃，持续1 min；然后以8 ℃/min的速度升至110 ℃，保持5 min；继续以8 ℃/min的速度升至250 ℃，保持5 min；最后以20 ℃/min的速度升至280 ℃，保持10 min。

2.3 抗真菌活性的测定

采用纸片扩散法[16]测定北沙参茎叶挥发油和根挥发油对茄病镰刀菌、半裸镰刀菌、尖孢镰刀菌、寄生曲霉、黄曲霉的抗真菌活性。将被测真菌在28 ℃黑暗条件下培养7 d，待菌丝布满培养皿后，在距离中心2 cm处打孔，将每个真菌在超净工作台制成直径为6 mm的圆形菌块。将菌块放入新配制的马铃薯葡萄糖琼脂培养基（马铃薯200 g、葡萄糖20 g、琼脂15 g、蒸馏水1 L）的中心。用打孔机将定性滤纸制成直径6 mm的圆盘。将3张已灭菌的滤纸片从3个方向与真菌块等距离放置，处理组每张滤纸片加入5 μL挥发油，对照组用等量的二甲基亚砜代替挥发油，将处理组（包括茎叶挥发油组和根挥发油组）和对照组在28 ℃黑暗中培养3 d，观察其生长情况，使用相机记录抗真菌实验结果。用标尺测量抑菌圈后，将数据导入Image J 1.8.0软件，记录其抑菌圈的直径，分别记为$IC_{处理}$和$IC_{对照}$，抑菌圈直径越大表示抗菌效果越好。实验重复3次。最后计算菌丝抑制率，菌丝抑制率（%）=（$IC_{对照}-IC_{处理}$）/（$IC_{对照}-6$ mm）×100%。由于北沙参根的抑菌效果并不显著，较茎叶抑菌效果相差较大，故以北沙参茎叶挥发油为实验对象开展倍半稀释实验。为进一步明确北沙参茎叶挥发油的抗真菌活性，将茎叶挥发油分别用二甲基亚砜稀释成4个浓度梯度（100%、50%、25%、12.5%），真菌对照组滤纸片上加入5 μL二甲基亚砜，用同样的公式分别计算菌丝抑制率。

2.4 统计学分析

采用SPSS 22.0软件进行统计学分析，计量资料以$\bar{x}\pm s$表示，多组间比较采用单因素方差分析，组间两两比较采用LSD-t检验。检验水准$\alpha=0.05$。

3 结果与分析

3.1 挥发油提取工艺的优化

单因素实验结果显示，处理1组、处理2组、处理3组（20%KCl溶液）与对照组的挥发油提取率分别为（0.202±0.010）、（0.434±0.020）、（0.514±0.030）、（0.362±0.050）g/kg，处理3组与其他组进行比较，其挥发油提取率显著升高（$P<0.05$）。将10%、15%、20%的KCl溶液作为提取溶剂，进一步考察不同浓度的KCl溶液对提取挥发油是否有显著性差异，结果显示，15%KCl溶液下挥发油提取率[（0.573±0.010）g/kg]显著高于10%KCl[（0.512±0.010）g/kg）]和20%KCl[（0.519±0.010）g/kg）]溶液的提取率（$P<0.05$）。可见，利用盐溶液辅助提取挥发油可以加速挥发油从北沙参细胞壁的渗出，降低挥发油在水中的溶解度，减少挥发油中某些成分被水溶解，此方法可显著提高挥发油的产量[17]。但当KCl加入过量时，KCl的加入可能会引起提取物中可溶性物质增加，使溶液沸点升高，从而降低挥发油的提取率[18]。

$L_9(3^4)$正交实验结果显示，北沙参最佳工艺为料液比1∶15，蒸馏时间5 h，KCl浓度15%，详见表1。在此基础上对各因素进行方差分析，结果显示，在3个因素中，KCl浓度对挥发油提取率的影响最大，但KCl浓度对挥发油提取率的影响与其他因素差异无统计学意义（$P>0.05$），详见表2。为进一步确定北沙参挥发油对提取工艺的可靠性与稳定性，在此条件下，进行3次工艺验证，结果显示，北沙参茎叶挥发油和根挥发油的提取率分别为（0.933±0.017）、（1.365±0.023）g/kg，RSD均小于2.00%，说明该工艺合理、稳定、重现性较好。

表1 正交实验结果

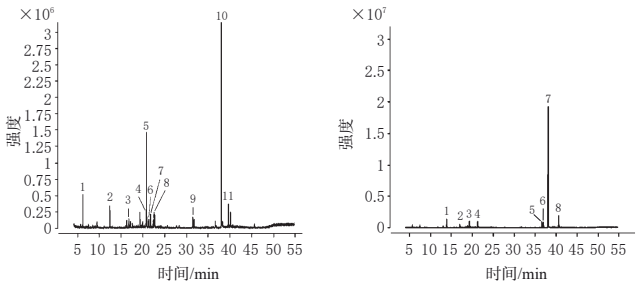
编号	料液比	蒸馏时间/h	KCl浓度	挥发油提取率/(g/kg)
1	1	1	1	0.511
2	1	2	2	0.556
3	1	3	3	0.381
4	2	1	2	0.458
5	2	2	3	0.436
6	2	3	1	0.539
7	3	1	3	0.375
8	3	2	1	0.675
9	3	3	2	0.767
K1	1.448	1.344	1.725	
K2	1.433	1.231	1.781	
K3	1.817	1.687	1.192	
R	0.384	0.456	0.589	

表2 方差分析结果

因素	离差平方和	自由度	均方	F	P
料液比	0.032	2	0.016	2.797	0.263
蒸馏时间	0.025	2	0.012	2.192	0.313
KCl浓度	0.070	2	0.035	6.249	0.138
误差	0.011	2	0.006		

3.2 北沙参茎叶和根挥发油的GC-MS分析

采用GC-MS数据和NIST 17.0数据库，鉴定北沙参茎叶和根挥发油所含成分，结果见图1。由图1可知，从北沙参茎叶挥发油中共鉴定出11种成分，占总油量的77.44%，主要由人参炔醇（38.21%）和α-伞花素-15-醇（14.32%）组成，其次为14-羟基-α-木榄烯（4.92%）、水芹醛（3.96%）、植物醇（3.55%）。此外，茎叶挥发油还含有一定的桧烯（2.74%）、新植二烯（2.72%）、胡萝卜醇（2.38%）和大根香叶烯B（2.17%），它们均超过了北沙参茎叶挥发油总油量的2%，其余成分的含量较低，每一种均低于茎叶挥发油含量的1.30%。北沙参茎叶挥发油化学成分鉴定结果见表3。



A.茎叶挥发油　　B.根挥发油

注：图中数字表示鉴定出的成分

图1　北沙参茎叶和根中挥发油的GC-MS图

表3　北沙参茎叶挥发油化学成分鉴定结果

编号	成分	保留时间/min	物质数字识别号码	相对峰面积百分比/%
1	桧烯	6.219	28634-89-1	2.74
2	水芹醛	12.410	21391-98-0	3.96
3	甲基丁香酚	16.773	93-15-2	1.24
4	大根香叶烯B	20.737	15423-57-1	2.17
5	α-伞花素-15-醇	20.841	115728-41-1	14.32
6	石竹素	21.386	1139-30-6	1.23
7	胡萝卜醇	21.765	127-40-2	2.38
8	14-羟基-α-木榄烯	22.569	135118-51-3	4.92
9	新植二烯	31.468	504-96-1	2.72
10	人参炔醇	38.021	81203-57-8	38.21
11	植物醇	39.650	150-86-7	3.55

从北沙参根挥发油中共鉴定出8种成分，占总油量的88.77%，主要由人参炔醇(74.02%)组成。此外，北沙参根挥发油中出现了中等水平的亚油酸乙酯(4.05%)，其次是反式-2,4-癸二烯醛(2.59%)，其他成分含量均低于根挥发油总油量的2%。北沙参根挥发油化学成分鉴定结果见表4。

表4　北沙参根挥发油化学成分鉴定结果

编号	成分	保留时间/min	物质数字识别号码	相对峰面积百分比/%
1	反式-2,4-癸二烯醛	13.899	25152-84-5	2.59
2	(+)-β-氟乙烯	17.017	79120-98-2	0.87
3	3,3-二甲基-3*H*-吲唑	19.316	59341-22-9	1.69
4	桉油烯醇	21.257	6750-60-3	1.77
5	(*S*)-竹节参炔A	36.610	1242413-82-6	1.95
6	棕榈酸乙酯	36.947	628-97-7	1.83
7	人参炔醇	38.146	81203-57-8	74.02
8	亚油酸乙酯	41.311	544-35-4	4.05

除人参炔醇外，北沙参茎叶挥发油与根挥发油所含成分并不相同，人参炔醇是茎叶挥发油和根挥发油的共同成分，也是二者中含量最高的成分。北沙参茎叶挥发油的成分和比例比根更复杂，这也可能导致它们具有不同的生物活性。

3.3　北沙参茎叶和根挥发油的抗真菌活性分析

抗真菌活性分析结果显示，北沙参茎叶挥发油和根挥发油在100%浓度时，对茄病镰刀菌、半裸镰刀菌、尖孢镰刀菌、寄生曲霉、黄曲霉均有抑制作用，茎叶挥发油的抑菌率为31.00%～100%，根挥发油的抑菌率为19.59%～54.67%。与根挥发油相比，茎叶挥发油对所测真菌表现出较高的抑菌活性($P<0.05$)。实验结果见图2、表5。

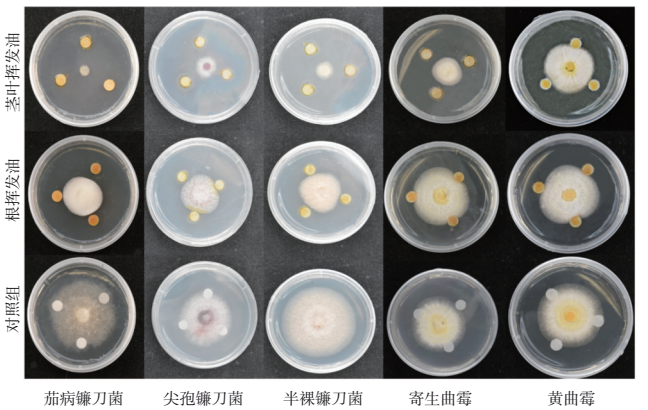


图2　北沙参茎叶和根挥发油的抑菌效果图

表5　北沙参茎叶和根挥发油的抑菌率($\bar{x}\pm s$，$n=3$，%)

菌种	茎叶挥发油	根挥发油
茄病镰刀菌	100[a]	54.67±1.82
半裸镰刀菌	74.07±2.55[a]	50.79±0.79
尖孢镰刀菌	50.70±5.72[a]	19.59±0.69
寄生曲霉	52.87±1.14[a]	43.21±0.08
黄曲霉	31.00±1.76[a]	26.41±0.55

a：与根挥发油组比较，$P<0.05$

倍半稀释实验结果显示，北沙参茎叶挥发油对茄病镰刀菌的抑制作用最显著，在其浓度为25%时，对茄病镰刀菌仍能表现出完全抑制作用。25%的北沙参茎叶挥发油对其他真菌的抑制作用，从大到小依次为半裸镰刀菌、寄生曲霉、尖孢镰刀菌、黄曲霉。北沙参茎叶挥发油对黄曲霉的抑制作用较低，在挥发油浓度为50%时，已无抑制作用。随着茎叶挥发油浓度的降低，其对半裸镰刀菌、尖孢镰刀菌、寄生曲霉的抑制率逐步下降，可见茎叶挥发油对以上真菌的抑制作用具有剂量依赖趋势。结果见表6。

表6　倍半稀释茎叶挥发油后的抑菌率($\bar{x}\pm s$，$n=3$，%)

茎叶挥发油浓度/%	茄病镰刀菌	半裸镰刀菌	尖孢镰刀菌	寄生曲霉	黄曲霉
100	100	74.07±2.55	50.70±5.72	52.87±1.14	31.00±1.76
50	100	61.90±4.19	41.81±6.41	33.33±6.08	0
25	100	52.38±3.17	23.23±5.04	24.90±3.51	0
12.5	46.19±3.65	48.67±0.91	14.34±1.39	21.83±2.29	0

4　讨论

本研究结果显示，北沙参的茎叶和根中均含有丰富的挥发油，用15%的KCl在料液比为1∶15条件下提取5 h，能显著提高茎叶和根中挥发油提取率。北沙参茎叶和根中所含挥发油明显不同，人参炔醇是两者的共有成分，也是含量最高的成分，其在茎叶挥发油和根挥发油中的含量分别达38.21%和74.02%，两者中的其余成分均不相同。北沙参茎叶挥发油和根挥发油对茄病镰刀菌、半裸镰刀菌、尖孢镰刀菌、寄生曲霉与黄曲霉均表现出一定的抗真菌活性，但根挥发油抑制作用较弱，茎叶挥发油对茄病镰刀菌和半裸镰刀菌表现出较强的抗真菌作用，且具剂量依赖趋势。黄曲霉和寄生曲霉等曲霉

属真菌产生的毒素，具有致畸、致癌、致突变等作用，被认为是自然界中危害性最大的生物毒素之一[19]。镰刀菌属具有致病范围广和致病能力强等特点，是世界公认的重要真菌病害之一[20]。北沙参茎叶挥发油对以上真菌具有较好的抑制作用，具有良好的应用前景。

综上所述，北沙参茎叶挥发油和根挥发油的化学成分差异明显，但二者均具有一定的体外抗真菌活性。

参考文献

[1] YUAN Z, TEZUKA Y, FAN W Z, et al. Constituents of the underground parts of *Glehnia littoralis*[J]. Chem Pharm Bull (Tokyo), 2002, 50(1): 73-77.

[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：四部[S]. 2020年版. 北京：中国医药科技出版社，2020：103-104.

[3] PAN Y X, CHU J M, YANG H X. Conservation choice on the rare endangered plants *Glehnia littoralis*[J]. Conserv Physiol, 2018, 6(1): coy002.

[4] 环境保护部，中国科学院. 关于发布《中国生物多样性红色名录-高等植物卷》的公告[EB/OL].(2013-09-02)[2023-01-11]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201309/W020130917614244055331.pdf.

[5] YOON T, LEE D Y, LEE A Y, et al. Anti-inflammatory effects of *Glehnia littoralis* extract in acute and chronic cutaneous inflammation[J]. Immunopharmacol Immunotoxicol, 2010, 32(4): 663-670.

[6] UM Y R, KONG C S, LEE J I, et al . Evaluation of chemical constituents from *Glehnia littoralis* for antiproliferative activity against HT-29 human colon cancer cells[J]. Process Biochem, 2010, 45(1): 114-119.

[7] HONG H, DELA CRUZ J F, KIM W S, et al. *Glehnia littoralis* root extract inhibits fat accumulation in 3T3-L1 cells and high-fat diet-induced obese mice by downregulating adipogenic gene expression[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2018, 2018: 1243049.

[8] 邱晓月，景永帅，郑玉光，等. 北沙参多糖对免疫系统调节作用研究进展[J]. 中国药理学与毒理学杂志，2021，35(10)：794.

[9] 侯晓强，任秀艳，付亚娟，等. 北沙参内生真菌的抑菌活性与分类研究[J]. 中草药，2015，46(19)：2932-2936.

[10] 吕方军，叶国华，许一平，等. 北沙参茎叶多糖的含量测定[J]. 中药新药与临床药理，2012，23(1)：84-86.

[11] 杨同章，叶国华，许一平，等. 北沙参茎叶黄酮类化合物提取优选条件研究[J]. 中药新药与临床药理，2014，25(1)：85-88.

[12] 冯子晋，卢小玲，张建鹏，等. 北沙参中香豆素类与聚炔类成分的含量测定研究[J]. 中国海洋药物，2014，33(3)：20-26.

[13] 许一平，梁伟玲，叶国华，等. ICP-MS同时测定北沙参茎叶中14种元素[J]. 化工管理，2021(17)：57-58，61.

[14] 王辉明，吕志强，张颢儿，等. 不同产地北沙参药材的挥发油成分比较分析[J]. 中国药房，2019，30(22)：3109-3112.

[15] FILLY A, FABIANO-TIXIER A S, LOUIS C, et al. Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers[J]. Comptes Rendus Chimie, 2016, 19(6): 707-717.

[16] 张建云，赵艳云，赵云生，等. 北苍术药用和非药用部位挥发油成分分析及体外抗菌活性考察[J]. 中国药房，2022，33(21)：2609-2614.

[17] KOPRIVNJAK O, BRKIĆ BUBOLA K, KOSIĆ U. Sodium chloride compared to talc as processing aid has similar impact on volatile compounds but more favorable on ortho-diphenols in virgin olive oil[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2016, 118(2): 318-324.

[18] FU C, LAN X, YUAN J, et al. Research on the optimization, key chemical constituents and antibacterial activity of the essential oil extraction process of *Thuja koraiensis* Nakai[J]. J Microbiol Methods, 2022, 194: 106435.

[19] 张宁慧，王瑱，毛垣元，等. 植物精油及活性成分防控黄曲霉生长及其毒素产生的研究进展[J]. 中草药，2020，51(20)：5348-5359.

[20] 林镇跃，阙友雄，刘平武，等. 植物致病镰刀菌的研究进展[J]. 中国糖料，2014，36(1)：58-64，78.

（收稿日期：2023-01-12　修回日期：2023-04-02）

（编辑：舒安琴）