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Δ

张建云[1,2*]，赵艳云[1,2]，赵云生[1,2]，闫宗圣[1,2]，卢利涛[1]，郑玉光[1,2,3]，房慧勇[1,2#]（1.河北中医学院药学院/河北省中药炮制技术创新中心，石家庄 050200；2.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 050200；3.河北化工医药职业技术学院，石家庄 050026）

中图分类号 R917；R965　　**文献标志码** A　　**文章编号** 1001-0408（2022）21-2609-06
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2022.21.09

摘　要　目的 探究北苍术药用部位（根茎）与非药用部位（须根、茎叶）中挥发油化学成分差异，并初步评价其体外抗菌活性。**方法** 采用水蒸气蒸馏法提取北苍术3个部位的挥发油，利用气相-质谱联用（GC-MS）技术分析鉴定各部位挥发油中化学成分并计算其相对含量。采用纸片扩散法测定不同部位挥发油（5 mg/mL）对金黄色葡萄球菌、白色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌的抗菌活性，并分析挥发油中化学成分与抗菌活性之间的相关性。**结果** 从北苍术根茎、须根、茎叶部位挥发油中共鉴定出60种化学成分，主要为萜烯类、倍半萜类、酚类和酮类化合物。根茎、须根和茎叶挥发油中的共有成分有8种，分别为榄香醇、莙澄茄烯、沉香螺萜醇、巴伦西亚橘烯、石竹素、β-倍半水芹烯、γ-桉叶醇和β-桉叶醇。从根茎挥发油中共鉴定出26种成分，其中以4-联苯甲醛的相对含量最高（31.56%）；从须根挥发油中共鉴定出21种成分，其中以β-桉叶醇的相对含量最高（44.39%）；从茎叶挥发油中共鉴定出42种成分，其中以β-倍半水芹烯的相对含量最高（14.83%）。不同部位挥发油对金黄色葡萄球菌、白色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌均有一定的抗菌作用，抗菌作用强弱顺序为根茎＞须根＞茎叶；β-石竹烯、α-葎草烯和modhephene的相对含量与挥发油对金黄色葡萄球菌及枯草芽孢杆菌的抑制效果呈显著正相关（$P<0.05$或$P<0.01$），苍术酮、姜烯和沉香螺萜醇的相对含量与挥发油对枯草芽孢杆菌的抑制效果呈显著正相关（$P<0.05$或$P<0.01$）。**结论** 北苍术药用部位和非药用部位挥发油的成分种类和含量差异明显，但均具有一定的体外抗菌活性。

关键词 北苍术；非药用部位；药用部位；挥发油；抗菌活性；成分分析

Analysis of essential oil from medicinal and non-medicinal parts of *Atractylodes chinensis* and antibacterial activity *in vitro*

ZHANG Jianyun[1,2], ZHAO Yanyun[1,2], ZHAO Yunsheng[1,2], YAN Zongsheng[1,2], LU Litao[1], ZHENG Yuguang[1,2,3], FANG Huiyong[1,2]（1. College of Pharmacy, Hebei University of Chinese Medicine/Hebei Province Processing Technology Innovation Center of Traditional Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China; 2. International Joint Research Center of Resource Utilization and Quality Evaluation of Traditional Chinese Medicine of Hebei Province, Shijiazhuang 050200, China; 3. Hebei Chemical and Pharmaceutical College, Shijiazhuang 050026, China）

ABSTRACT　OBJECTIVE To explore the difference in chemical components of essential oil from medicinal part (rhizome) and non-medicinal parts (fibrous roots, stems, and leaves) of *Atractylodes chinensis*, and to preliminarily evaluate their antibacterial activity *in vitro*. **METHODS** The essential oil was extracted from three parts of *A. chinensis* by steam distillation, and their chemical components and relative contents were analyzed and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The antibacterial activities of essential oil (5 mg/mL) from different parts against *Staphylococcus aureus*, *S. albus* and *Bacillus subtilis* were determined by paper diffusion method. The correlation between chemical components in essential oil and antibacterial activity was analyzed. **RESULTS** A total of 60 chemical constituents were identified from the essential oil of rhizome, fibrous roots, stems and leaves of *A. chinensis*, mainly composed of terpenes, sesquiterpenoids, alcohols and ketones. There were 8 kinds of common components in the

Δ**基金项目** 2018年中药资源普查项目（No.Z135080000022-06）；河北省现代农业产业技术体系创新团队建设项目（No.HBCT2018060205）；河北中医学院博士科研基金项目（No.BSZ2020007）；河北省中医药管理局科研计划项目（No.2022365，No.2022098）；河北省2021年研究生创新资助立项项目（No.XCXZZSS2021029）；河北中医学院2020年省级大学生创新创业训练计划项目（No.202014432064）

＊**第一作者** 硕士研究生。研究方向：中药炮制与资源。E-mail：jianyun.12306@hotmail.com

＃**通信作者** 副教授，硕士生导师，博士。研究方向：中药资源及生态学。电话：0311-89926437。E-mail：huiyongfang@126.com

essential oil of rhizome, fibrous root and stem and leaves, which were elementol, cadinene, agarospirol, valencian citrine, caryophyllin, β-sesquidiene, γ-eucalyptol and β-eucalyptol. A total of 26 components were identified from the essential oil of rhizome, of which the relative content of 4-benzaldehyde was the highest (31.56%); a total of 21 components were identified from the essential oil of fibrous roots, among which the relative content of β-eucalyptol was the highest (44.39%); a total of 42 components were identified from the essential oil of stems and leaves, among which the relative content of β-sesquidiene was the highest (14.83%). The essential oil from different parts had certain antibacterial effect on *S. aureus*, *S. albus* and *B. subtilis*. The order of antibacterial effect was rhizome>fibrous roots>stem and leaves; the relative contents of β-caryophyllene, α-humulene and modhephene were positively correlated with inhibitory effects of essential oil against *S. aureus* and *B. subtilis* ($P<0.05$ or $P<0.01$). The relative contents of atractylone, zingiberene and agarospirol were positively correlated with the inhibitory effect of essential oil against *B. subtilis* ($P<0.05$ or $P<0.01$). **CONCLUSIONS** There are significant differences in the chemical composition and contents of essential oil from medicinal and non-medicinal parts of *A. chinensis*, and all of them have antibacterial activity *in vitro*.

KEYWORDS *Atractylodes chinensis*; non-medicinal parts; medicinal parts; essential oil; antibacterial activity; component analysis

苍术为菊科植物茅苍术 *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC. 或北苍术 *Atractylodes chinensis* (DC.) Koidz. 的干燥根茎，含挥发油、芳香苷类、黄酮类等多种化学成分，具有调节肠胃运动、抗菌、抗炎、保护心血管等作用[1]。据《名医别录》《本草经集注》记载，含苍术的中药复方可治疗癣疮、皮肤瘙痒等疾病[2]。北苍术是苍术的重要基原之一，但由于其野生资源濒危、临床需求量不断增加，虽然其人工种植面积在不断扩大，但目前仍不能满足市场需求，价格不断升高[3]。因此，如何提高北苍术的利用率成为当前急需解决的问题。

北苍术的传统使用仅以根茎入药，其他部位在采收加工过程中常被当作废弃物丢弃，造成资源浪费。合理开发利用药用植物非药用部位及加工过程中副产物，不仅可以避免资源浪费，还可促进中药种植产业健康发展[4]。目前已有学者发现多种药用植物的非药用部位具有较好的开发利用价值，如西红花非药用部位具有抗氧化、抗炎和保肝的功效[5]；黄连须根部分可替代原药材，用于治疗猪冬痢等[6]。王喆等[7]研究发现，北苍术根茎部位挥发油对临床常见致病菌（如大肠埃希氏菌等）具有抑制作用，是其发挥抗菌活性的主要活性部位。然而，目前对北苍术须根和茎叶部位挥发油化学成分及体外抗菌作用的研究尚未见报道。基于此，本研究拟对北苍术药用部位和非药用部位挥发油成分进行对比研究，并初步考察其体外抗菌活性，以期为促进北苍术非药用部位的合理开发和北苍术资源的综合利用提供参考。

1 材料

1.1 主要仪器

本研究所用的主要仪器有7890B/5977B型气相色谱-质谱联用（GC-MS）仪（美国Agilent公司）、FW100型粉碎机（天津泰斯特仪器有限公司）、BSA224S-CW型万分之一电子分析天平[赛多利斯科学仪器（北京）有限公司]、GHP-9050型恒温培养箱（上海一恒科学仪器有限公司）等。

1.2 主要药品与试剂

药材样品于2020年10月采自河北省承德市隆化县中药材科技创新示范基地，经河北中医学院药学院严玉平教授鉴定为北苍术 *A. chinensis* (DC.) Koidz. 植株。收集北苍术植株的地上部分（茎叶），并采集地下部分（根茎、须根），随后带回实验室自然晾干，撞下须根。正己烷为色谱纯，纯度≥98%；其他试剂均为分析纯。

1.3 病原菌

金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*、白色葡萄球菌 *Staphylococcus albus*、枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis* 均购自北京北纳凯创生物技术有限公司。

2 方法与结果

2.1 北苍术各部位挥发油中化学成分的分离鉴定

2.1.1 挥发油提取及处理 称取北苍术根茎、须根、茎叶各100 g（粉碎并过三号筛），置于2 000 mL圆底烧瓶中，加水1 000 mL，加入沸石，摇匀，浸泡2 h，按2020年版《中国药典》（四部）通则“挥发油测定法（甲法）”提取挥发油[1]。保持所提取的混合物微沸4 h，读取挥发油体积并转移至2 mL离心管中，加入少量无水硫酸钠，置于4 ℃冰箱，备用。其中，北苍术根茎、须根、茎叶挥发油的得率分别为1.93%、0.37%、0.07%。临用时，精密吸取100 μL上述挥发油，分别置于10 mL量瓶中，加入正己烷稀释并定容，然后经0.45 μm微孔滤膜过滤，吸取滤液进行GC-MS分析。

2.1.2 GC-MS分析条件 GC条件：色谱柱为Agilent

HP-5MS弹性石英毛细管柱（30 m×250 μm×0.25 μm）；采用程序升温模式进行色谱分离，初始温度以100 ℃保持2 min，再以3 ℃/min升至120 ℃并保持2 min，然后以2 ℃/min升至150 ℃并保持2 min，最后以10 ℃/min升至230 ℃；进样口温度为250 ℃；载气为高纯氦气（99.999%）；流速为1.0 mL/min；分流比为10∶1；进样量为1 μL。质谱条件：离子源为电子轰击离子源，离子源温度为230 ℃；四极杆温度为150 ℃；电子能量为70 eV；溶剂延迟时间为4 min；采用全扫描方式，扫描质量范围为*m*/*z* 50～550。

2.1.3　北苍术不同部位挥发油成分分析　取“2.1.1”项下根茎、须根和茎叶部位的挥发油提取物各3份，分别按“2.1.2”项下条件进样分析，得到北苍术不同部位挥发油化学成分的GC-MS总离子流图，见图1。通过与Quant Analysis（B.09.00）定量分析软件、标准数据库NIST17.0以及文献[8－11]比对进行成分鉴定，并采用峰面积归一化法计算不同部位挥发油中化学成分的相对含量，见表1。结果显示，从北苍术不同部位挥发油中共鉴定出60种化学成分，主要为萜烯类、倍半萜类、醇类、酮类等化合物。随后，将不同部位挥发油中化学成分的相对含量导入Origin 2020软件，以欧氏距离算法绘制聚类热图，见图2。结果显示，北苍术根茎和须根中挥发油的化学成分组成更为相似；而根茎、须根与茎叶相比，挥发油的化学成分组成差异较大。

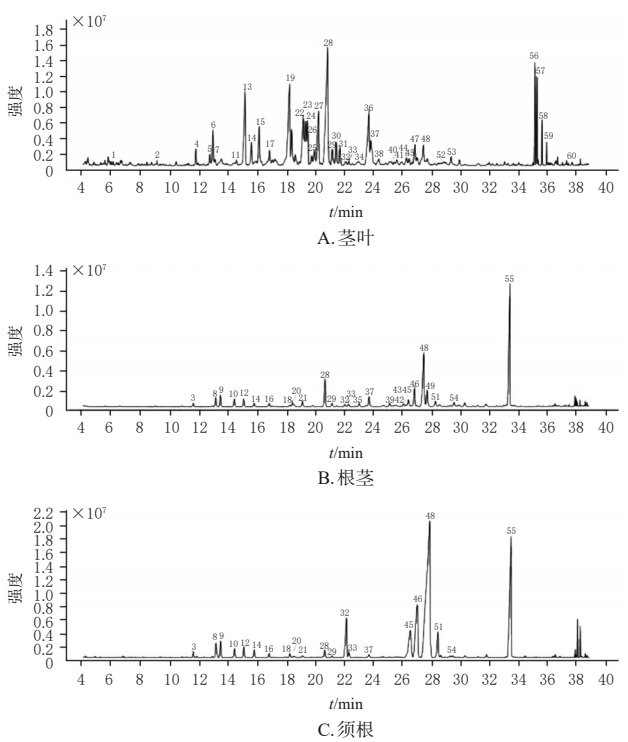


图1　北苍术不同部位挥发油成分分析的GC-MS总离子流图

结合表1和图2可以看出，从北苍术茎叶挥发油中共鉴定出42种成分，有20种成分的相对含量大于1%；其中以*β*-倍半水芹烯的相对含量（14.83%）最高，其次是*γ*-荜澄茄烯（8.60%）、2-亚甲基-4,8,8-三甲基-4-乙烯基[5.2.0]壬烷（6.52%）。从北苍术根茎挥发油中共鉴定出26种成分，其中4-联苯甲醛为根茎挥发油的主要成分，其相对含量为31.56%；此外，*β*-桉叶醇、*β*-倍半水芹烯、沉香螺萜醇、苍术酮等成分在根茎挥发油中的相对含量也较高，分别为18.68%、7.16%、4.93%、4.60%。从北苍术须根挥发油中共鉴定出21种成分，其中*β*-桉叶醇（44.39%）、4-联苯甲醛（18.14%）和沉香螺萜醇（11.41%）的相对含量都在10%以上。北苍术须根与根茎挥发油中的共有成分有21种，包括silphinene、modhephene、荜澄茄烯、异松香烯、berkheyaradulene、*β*-石竹烯、*α*-葎草烯等；根茎、茎叶和须根挥发油中的共有成分有8种，分别为榄香醇、荜澄茄烯、沉香螺萜醇、巴伦西亚橘烯、石竹素、*β*-倍半水芹烯、*γ*-桉叶醇和*β*-桉叶醇。

2.2　北苍术不同部位挥发油抗菌活性考察

2.2.1　挥发油抗菌效果测定　采用纸片扩散法测定北苍术不同部位挥发油对金黄色葡萄球菌、白色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌的抗菌活性。将上述3种供试菌接种到NB培养基（未加琼脂）中扩大培养，调整菌液密度至1×10^7 CFU/mL。吸取上述菌液100 μL加到预先准备好的NA培养基中，并用涂布器均匀涂满表面。为了让挥发油更好地吸附在滤纸上，按1∶1（*m*/*m*）的比例加入二甲基亚砜稀释挥发油，然后经0.45 μm微孔滤膜过滤除菌。在距NA培养基中心2.5 cm处，放置3张直径为0.5 cm的圆形无菌滤纸，滴加5 μL质量浓度为5 mg/mL的药液[12]；以滴加5 μL二甲基亚砜的培养基作为阴性对照。将培养基置于37 ℃恒温培养箱培养24 h，然后使用D7200型尼康相机记录抗菌实验结果，使用Image J 1.8.0软件测量抑菌圈直径，抑菌圈直径越大表示抗菌效果越好。实验重复3次。实验数据用Excel 2016软件整理并制表，采用Graph Pad Prism 8.0软件进行统计分析；采用单因素方差分析和LSD检验对北苍术不同部位挥发油的抗菌效果进行比较；检验水准$\alpha=0.05$。结果见图3。

图3结果显示，北苍术不同部位挥发油对白色葡萄球菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌均有较好的抗菌作用，但抗菌效果有所差异；二甲基亚砜对挥发油的抗菌活性无影响。其中，根茎挥发油的抗菌效果最佳，须根挥发油的抗菌效果次之，茎叶挥发油的抗菌效果相对

表1　北苍术不同部位挥发油成分分析结果

编号	成分类型	t_R/min	成分名称	分子式	相对含量($\bar{x}\pm s$, n=3)/%		
					茎叶	根茎	须根
1	萜烯类	6.22	4-萜烯醇	$C_{10}H_{18}O$	0.18±0.01	−	−
2	酚类	9.23	4-乙基愈创木酚	$C_9H_{12}O_2$	0.18±0.00	−	−
3	萜烯类	11.71	silphinene	$C_{15}H_{24}$	−	0.71±0.01	0.08±0.00
4	萜烯类	11.91	1,2,3,4,6,8-α-六氢-1-异丙基-4,7-二甲基萘	$C_{15}H_{24}$	0.96±0.01	−	−
5	萜烯类	12.87	α-蒎烯	$C_{15}H_{24}$	0.81±0.09	−	−
6	萜烯类	13.09	α-依兰油烯	$C_{15}H_{24}$	2.52±0.18	−	−
7	萜烯类	13.24	白菖烯	$C_{15}H_{24}$	0.33±0.07	−	−
8	萜烯类	13.27	modhephene	$C_{15}H_{24}$	−	2.07±0.02	1.70±0.01
9	萜烯类	13.60	异松香烯	$C_{15}H_{24}$	−	2.63±0.02	1.66±0.00
10	萜烯类	14.54	berkheyaradulene	$C_{15}H_{24}$	−	1.91±0.01	0.95±0.01
11	萜烯类	14.71	β-杜松烯	$C_{15}H_{24}$	0.40±0.01	−	−
12	萜烯类	15.20	β-石竹烯	$C_{15}H_{24}$	−	1.85±0.02	1.15±0.01
13	萜烯类	15.30	2-亚甲基-4,8,8-三甲基-4-乙烯基[5.2.0]壬烷	$C_{15}H_{24}$	6.52±0.17	−	−
14	萜烯类	15.75	荜澄茄烯	$C_{15}H_{24}$	1.70±0.02	0.82±0.01	0.59±0.02
15	萜烯类	16.28	香树烯	$C_{15}H_{24}$	3.06±0.06	−	−
16	萜烯类	16.94	α-葎草烯	$C_{15}H_{24}$	−	0.88±0.02	0.47±0.01
17	萜烯类	17.36	β-柏木烯	$C_{15}H_{24}$	0.82±0.01	−	−
18	萜烯类	18.35	γ-姜黄烯	$C_{15}H_{24}$	−	0.40±0.00	0.45±0.01
19	萜烯类	18.37	γ-荜澄茄烯	$C_{15}H_{24}$	8.60±0.04	−	−
20	萜烯类	18.54	α-姜黄烯	$C_{15}H_{22}$	−	1.06±0.03	0.18±0.02
21	萜烯类	19.22	姜烯	$C_{15}H_{24}$	−	1.19±0.02	0.22±0.02
22	倍半萜类	19.31	环苜蓿烯	$C_{15}H_{24}$	4.81±0.38	−	−
23	萜烯类	19.48	三甲基-1,5,9-环十二碳三烯	$C_{15}H_{24}$	2.88±0.26	−	−
24	萜烯类	19.60	α-紫穗槐烯	$C_{15}H_{24}$	2.76±0.15	−	−
25	萜烯类	19.89	δ-杜松烯	$C_{15}H_{24}$	0.49±0.01	−	−
26	萜烯类	20.10	α-法尼烯	$C_{15}H_{24}$	1.14±0.06	−	−
27	萜烯类	20.36	γ-依兰油烯	$C_{15}H_{24}$	4.68±0.19	−	−
28	萜烯类	20.78	β-倍半水芹烯	$C_{15}H_{24}$	14.83±0.47	7.16±0.05	0.45±0.01
29	萜烯类	21.26	巴伦西亚橘烯	$C_{15}H_{24}$	1.27±0.18	0.83±0.02	0.11±0.04
30	萜烯类	21.58	依兰油烯	$C_{15}H_{24}$	1.54±0.26	−	−
31	萜烯类	21.84	β-白菖考烯	$C_{15}H_{24}$	1.13±0.21	−	−
32	醇类	22.23	榄香醇	$C_{15}H_{26}O$	0.31±0.04	0.61±0.01	0.84±0.04
33	萜烯类	22.24	大根香叶烯	$C_{15}H_{24}$	−	0.69±0.01	4.21±0.09
34	醇类	23.12	香叶基香叶醇	$C_{20}H_{34}O$	0.41±0.01	−	−
35	醇类	23.14	四甲基双环[7.2.0]十一碳-3-烯-5-醇	$C_{15}H_{26}O$	−	0.82±0.02	−
36	醇类	23.83	桉油烯醇	$C_{15}H_{24}O$	5.91±0.09	−	−
37	萜烯类	23.97	石竹素	$C_{15}H_{24}O$	2.70±0.00	2.85±0.02	0.31±0.04
38	酮类	24.52	丹参素-4(14)-烯-1-酮	$C_{15}H_{24}O$	0.61±0.03	−	−
39	萜烯类	25.24	葎草烯环氧化物	$C_{15}H_{24}O$	−	0.88±0.01	−
40	醇类	25.56	梨醇	$C_{15}H_{24}O$	0.19±0.00	−	−
41	醇类	25.75	补身醇	$C_{15}H_{26}O$	0.54±0.03	−	−
42	萜烯类	26.19	7-辛烯-1-醇	$C_{17}H_{28}O_2$	−	0.85±0.04	−
43	醇类	26.37	愈创醇	$C_{15}H_{26}O$	−	0.40±0.07	−
44	醇类	26.40	荜澄茄油烯醇	$C_{15}H_{26}O$	0.52±0.11	−	−
45	醇类	26.53	γ-桉叶醇	$C_{15}H_{26}O$	0.44±0.04	1.89±0.02	6.67±0.03
46	醇类	27.00	沉香螺萜醇	$C_{15}H_{26}O$	1.61±0.03	4.93±0.08	11.41±0.46
47	醇类	27.16	荜茄醇	$C_{15}H_{26}O$	0.25±0.02	−	−
48	醇类	27.58	β-桉叶醇	$C_{15}H_{26}O$	1.84±0.18	18.68±0.08	44.39±0.33
49	萜烯类	27.82	苍术酮	$C_{15}H_{20}O$	−	4.60±0.09	−
50	醇类	27.85	α-荜澄茄醇	$C_{15}H_{26}O$	0.22±0.01	−	−
51	醇类	28.39	四甲基环癸二烯甲醇	$C_{15}H_{26}O$	−	1.57±0.05	3.21±0.03
52	萜烯类	28.89	卡达烯	$C_{15}H_{18}$	0.17±0.01	−	−
53	醇类	29.48	α-摩勒烯	$C_{15}H_{24}O$	0.72±0.05	−	−
54	酮类	29.68	(6-甲基庚-5-烯-2-基)环己-2-烯-1-酮	$C_{14}H_{22}O$	−	1.15±0.03	0.13±0.01
55	酮类	33.40	4-联苯甲醛	$C_{13}H_{10}O$	−	31.56±0.11	18.14±0.20
56	醇类	35.27	植物醇	$C_{20}H_{40}O$	4.05±0.13	−	−
57	酮类	35.41	植酮	$C_{18}H_{36}O$	3.27±0.11	−	−
58	醇类	35.48	二氢植物醇	$C_{20}H_{42}O$	0.18±0.01	−	−
59	烯类	36.69	棕榈酸甲酯	$C_{17}H_{34}O_2$	0.22±0.02	−	−
60	烯炔类	38.38	镰叶芹醇	$C_{17}H_{24}O$	0.18±0.00	−	−

−：未检出

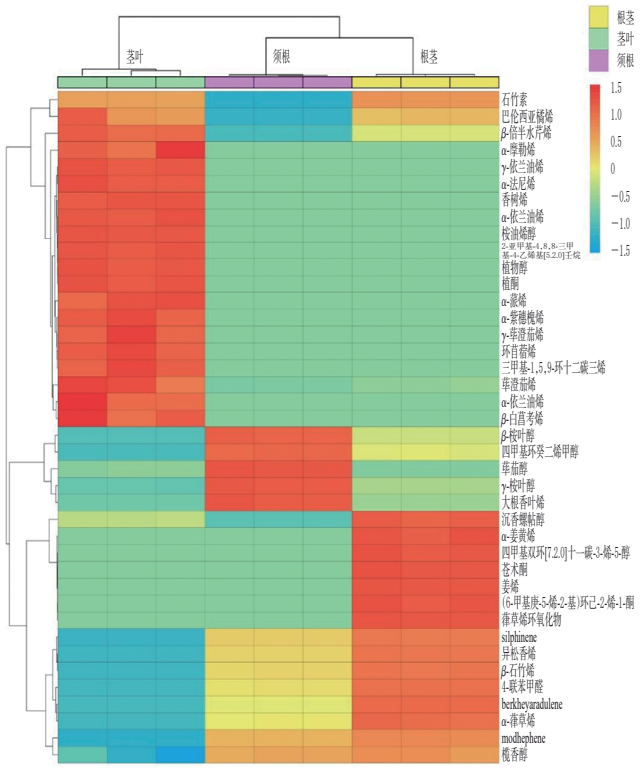
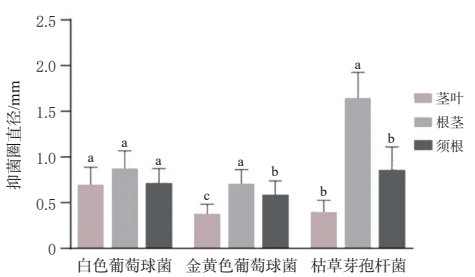


图2　北苍术不同部位挥发油成分聚类分析结果

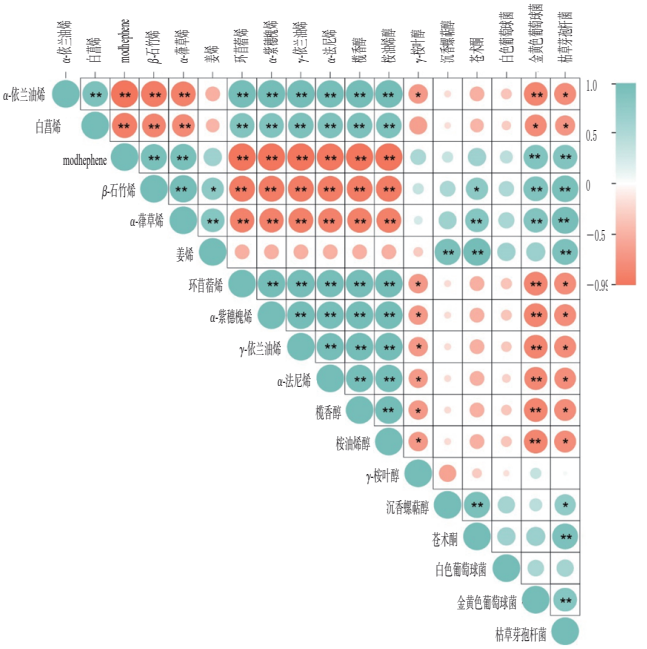


注：若两组间字母相同，表示组间差异无统计学意义（$P>0.05$）；反之，则表示组间差异有统计学意义（$P<0.05$）

图3　北苍术不同部位挥发油的抗菌效果（$\bar{x}\pm s$，$n=3$）

较弱。茎叶、根茎和须根挥发油对白色葡萄球菌的抗菌效果差异无统计学意义（$P>0.05$）；茎叶、须根挥发油对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌的抗菌效果显著弱于根茎挥发油（$P<0.05$），但须根挥发油对金黄色葡萄球菌的抗菌作用显著强于茎叶挥发油（$P<0.05$）。

2.2.2　挥发油成分与抗菌活性相关性分析　利用RStudio 4.0.2软件，采用随机森林回归算法，将各成分的相对含量进行Z-score标准化，并将北苍术3个部位挥发油的体外抗菌活性实验结果作为因变量进行特征分析，计算抗菌活性实验下北苍术不同部位挥发油中各化学成分的重要特征值[13]，标记累计特征相对重要度排名前15位的化合物。随后，运用Origin 2020软件，采用Pearson算法，对预测出的15种重要化合物进行抗菌效果与化学成分之间的相关性分析（图4）。结果，累计特征相对重要度排名前15位的化合物分别为苍术酮、modhephene、β-桉叶醇、榄香烯、β-石竹烯、环苜蓿烯、α-紫穗槐烯、沉香螺旋醇、γ-依兰油烯、桉油烯醇、α-葎草烯、姜烯、α-依兰油烯、α-法尼烯、白菖烯。其中，β-石竹烯、α-葎草烯和modhephene的相对含量与挥发油对金黄色葡萄球菌及枯草芽孢杆菌的抑制效果呈显著正相关（$P<0.05$或$P<0.01$），相关系数为0.87～0.88；苍术酮、姜烯和沉香螺旋醇的相对含量与挥发油对枯草芽孢杆菌的抑制效果呈显著正相关（$P<0.05$或$P<0.01$），相关系数为0.75～0.95；但这15种成分的相对含量对白色葡萄球菌的抑制效果均无显著相关性（$P>0.05$）。



*：$P<0.05$；**：$P<0.01$

图4　北苍术不同部位挥发油中化学成分与其抗菌效果的相关性分析结果

3　讨论

药用植物的非药用部位生物量大，通常具有与药用部位相同或相似的生物活性成分，有广阔的开发潜力和应用前景。本研究通过比较北苍术非药用部位（须根、茎叶）与药用部位（根茎）挥发油中的8种共有成分发现，须根、根茎挥发油中4-联苯甲醛、β-桉叶醇的相对含量较高，而茎叶挥发油中β-倍半水芹烯的相对含量较高。可见，北苍术不同部位挥发油中化学成分的组成及相对含量差异较大。而且，其非药用部位也含有多种药效物质，如须根挥发油中富含的β-桉叶醇，具有促进胃肠运动、抗肝毒活性、抗肿瘤、镇静、镇痛等药理功能[14]。此外，根茎挥发油几乎包含了须根挥发油中的26种化学成分，茎叶挥发油中化学成分的种类多于根茎和须根，其更多的药理活性有待进一步研究。Chen等[15]对北苍术无菌苗的研究发现，其根、茎及叶片均具有合成倍半萜

类化合物的能力——石竹烯氧化物和苍术酮的含量在根中不断积累，β-石竹烯、姜烯、β-倍半水芹烯、石竹烯氧化物等多种成分均在茎及叶片中积累。这一发现与本文结果有一定差异，这可能是因为无菌环境与自然界的自然环境对植物生理生化功能的影响不同。

已有研究结果表明，苍术干燥根茎具有抵抗金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌等的活性[16]，苍术地上部分对大肠杆菌具有较好的抗菌活性[17]，但有关北苍术须根抗菌活性的研究尚未见相关报道。本研究抗菌实验结果表明，北苍术不同部位挥发油均具有抗白色葡萄球菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌的活性，抗菌作用强弱顺序为根茎＞须根＞茎叶。须根挥发油抗菌活性强于茎叶挥发油，这可能跟须根挥发油与根茎挥发油的组成更为相似，根茎挥发油中包含须根挥发油的大部分成分有关。

综上，北苍术根茎、须根、茎叶挥发油的化学成分在种类和含量上差别较大，药用部位（根茎）和非药用部位（须根、茎叶）挥发油对白色葡萄球菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌均具有一定的抗菌活性。本课题组后期将对北苍术非药用部位的药用价值展开更多研究，进一步促进北苍术资源的综合开发和利用。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：一部[S]. 2020年版. 北京：中国医药科技出版社，2020：340.

[2] 姜开运，梁茂新. 苍术潜在功用的发掘与利用[J]. 中华中医药学刊，2016，34(7)：1673-1675.

[3] 王成，段树卿，宋佳，等. 野生和家种北苍术质量对比[J]. 中成药，2020，42(6)：1658-1663.

[4] 段金廒，郭盛，严辉，等. 药材生产过程副产物的价值发现和资源化利用是中药材产业扶贫的重要途径[J]. 中国中药杂志，2020，45(2)：285-289.

[5] 陈娜，杨滨. 西红花非药用部位化学成分和药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志，2018，43(14)：2884-2891.

[6] 赵邯涛，刘武阳，李学刚，等. 黄连须根化学成分的研究[J]. 中成药，2022，44(1)：122-126.

[7] 王喆，蒋圆婷，靳羽含，等. 苍术挥发油杀菌活性评价及抑菌机制[J]. 食品与生物技术学报，2020，39(12)：21-27.

[8] 曾志，叶雪宁，庞世敏，等. 北苍术和茅苍术挥发油成分的比较[J]. 应用化学，2012，29(4)：470-476.

[9] 绪扩，姜建双，冯子明，等. 茅苍术根茎中的2个新的多烯炔苷类化合物[J]. 中草药，2020，51(20)：5105-5113.

[10] 李运，张晓萍，邵长春，等. 北苍术挥发油与燃烧烟雾化学成分的GC-MS分析[J]. 中国药学杂志，2021，56(8)：688-693.

[11] 李海兰，冯卫军，朴光春，等. 朝药关苍术的化学成分及药理作用研究[J]. 中国药房，2018，29(11)：1515-1519.

[12] 郭金鹏，王萍，孙如宝，等. 苍术挥发油化学成分及其抗菌活性的研究[J]. 时珍国医国药，2011，22(3)：566-568.

[13] 王媛媛，胡卫，胡殿文. 基于随机森林的紫苏抗氧化活性成分分析[J]. 长春师范大学学报，2020，39(12)：94-99.

[14] THARABENJASIN P，FERRARIS R P，CHOOWONGKOMON K，et al. β-eudesmol but not atractylodin exerts an inhibitory effect on CFTR-mediated chloride transport in human intestinal epithelial cells[J]. Biomed Pharmacother，2021，142：112030.

[15] CHEN F，WEI Y X，ZHANG J M，et al. Transcriptomics analysis investigates sesquiterpenoids accumulation pattern in different tissues of *Atractylodes lancea*（Thunb.）DC. plantlet[J]. Plant Cell Tissue Organ Cult，2017，130(1)：73-90.

[16] HE F，WANG W，WU M C，et al. Antioxidant and antibacterial activities of essential oil from *Atractylodes lancea* rhizomes[J]. Ind Crops Prod，2020，153：112552.

[17] YANG J，TIAN W，LIU Y F，et al. Quality evaluation of the extract of aerial parts from *Atractylodes lancea* based on fingerprint and chemometrics[J]. Int J Food Prop，2022，25(1)：422-434.

（收稿日期：2022-05-27　修回日期：2022-09-24）

（编辑：林　静）