

苍术根茎及根际土水提物生物活性 研究及化感物质的鉴定

郭兰萍¹, 黄璐琦^{1*}, 蒋有绪², 陈保冬³, 朱永官³, 曾燕¹, 付桂芳¹, 付梅红¹

(1. 中国中医研究院中药研究所, 北京 100700; 2. 中国林业科学研究院, 北京, 100091;
3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 设置水(CK)、苍术根茎水提液 10、50、200mg/ml 及根际土水提液 50、200、500 mg/ml 共 7 个处理, 每处理 3 个重复, 用作苍术自毒作用的生物学实验。在第 5、7 天和第 14 天分别测量苍术种子发芽率、胚根长及胚芽长后, 利用单因子方差分析结合多重比较分析各处理组生物活性的差异; 采用 GC-MS 鉴定苍术根茎及根际土水提液中所含的有机化合物, 并对根茎中含量较大的倍半萜类成分 β -桉叶醇进行了生物活性研究。结果表明: ①500mg/ml 根际土水提液对苍术种子发芽率无影响, 虽然能稍稍抑制苍术胚根和胚芽的伸长, 但未达到显著水平; ②随根茎提取液浓度的增大, 其对苍术种子发芽率、胚根和胚芽伸长的抑制作用增大, 200mg/ml 根茎提取液显著抑制了苍术种子发芽率及胚根和胚芽的伸长 ($p < 0.05$); ③在根茎和根际土水提液中分别鉴定到 20 和 27 个化合物; ④ β -桉叶醇对苍术种子发芽率、胚根伸长没有明显影响, 但 100mg/l 和 250 mg/l 的 β -桉叶醇能强烈抑制苍术胚芽伸长。提示栽培苍术连作障碍可能主要与自毒作用有关。

关键词: 苍术; 化感作用; 自毒; 连作

文章编号: 1000-0933(2006)02-0528-08 中图分类号: Q143, Q948, S567 文献标识码: A

Bioactivity of extracts from rhizoma and rhizosphere soil of cultivated *Atractylodes lancea* DC. and identification of their allelopathic compounds

GUO Lan-Ping¹, HUANG Lu-Qi^{1*}, JIANG You-Xu², ZHU Yong-Guan³, CHEN Bao-Dong³, ZENG Yan¹, FU Gui-Fang¹, FU Mei-Hong¹ (1. Institute of Chinese Materia Medica, Academy of Traditional Chinese Medicine, Beijing 100700, China; 2. Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 528 ~ 535.

Abstract: *Atractylodes lancea* plants were cultivated in pots in a greenhouse in order to study on the mechanisms of plant autotoxicity. The soil used in the experiment was freshly collected from a bare field. After 8 months, *A. lancea* was harvested. Treatments of H₂O, 10, 50, 200 mg/ml extracts of rhizoma and 50, 200, 500 mg/ml extracts of rhizosphere soil were applied to test their effects on early development of *A. lancea*. Seed germination rates, extension of radicle and embryo, were recorded respectively at 5 d, 7 d and 14 d after emergence, then one-way ANOVA and multiple comparisons were conducted to test the differences between the treatments. In the follow-up studies, both rhizoma and rhizosphere soil were extracted by diethyl ether and ethyl acetate respectively, and GC-MS was conducted for the identification of the compounds in the extracts, and the similarity of the composition of compounds in rhizoma and rhizosphere soil by same extraction procedure were compared with Jaccard coefficient. β -eudesmol, which was found to be the major component in extracts of *A. lancea* rhizoma, was used to test the

基金项目: 科技基础性工作和社会公益研究专项资助项目

收稿日期: 2005-03-04; 修订日期: 2005-11-20

作者简介: 郭兰萍(1969-), 女, 博士, 副研究员, 主要从事中药资源研究. E-mail: glp01@126.com; glpljh@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: huangluqi@263.net

Foundation item: The project was supported by National Program on Key Basic Research Projects (No. 2003DIB3J110)

Received date: 2005-03-04; Accepted date: 2005-11-20

Biography: GUO Lan-Ping, Ph. D., mainly engaged in resources of traditional Chinese medicine. E-mail: glp01@126.com

bioactivity.

The experimental results showed that ① Neither 50 mg/ml and 200 nor 500 mg/ml extracts of rhizosphere soil had influences on seed germinations or the development of radicles and embryos; ② Germination rates, lengths of radicles and embryos decreased with increasing concentration of rhizoma extracts, and 200 mg/ml rhizoma extracts reduced *A. lancea* growth significantly ($p < 0.05$). Germination rates, lengths of radicles and embryos under this treatment was 11%, 32% and 23% of the controls respectively. ③ 20 compounds in rhizoma extracts and 27 compounds in rhizosphere soil extracts were identified. Many compounds, such as 2, 5-octadecadly3noic acid, methyl ester, n-Hexadecanoic acid, Pentadecanal, Tetradecanoic acid, 1-Naphthalenol, Butylated Hydroxytoluene, 2-Methoxy-4-vinylphenol, etc., were allelopathic substances and detected in both extracts of rhizoma and rhizosphere soil. β -eudesmol and Hinesol, which were the main components of essential oil in *A. lancea*, was found in rhizoma extracts. ④ It was found that β -eudesmol, terpene, most of which are allelopathic substance, at all concentrations, had no effect on the germination rates and lengths of radicles, but 100 and 250 mg/l β -eudesmol reduced embryo development significantly.

In conclusion, there was autotoxicity in continuous cropping of *A. lancea*, which was one of the causes of problems associated with continues cropping of a single plant species.

Key words: *A. lancea*; allelopathy; autotoxicity; continuous cropping

苍术是常用中药材,药用部位为菊科苍术(*Atractylodes lancea* (Thunb) DC.)的根茎。主要功效为燥湿健脾,祛风散寒,明目。野生苍术在我国境内分布广泛,但近年来由于过度采挖及生境被严重破坏,造成资源紧缺。尤其是江苏茅山地区的苍术,作为苍术道地药材,近年来已无法形成商品收购^[1]。为缓解苍术资源紧张态势,尤其是为了保护苍术道地药材,不少地方纷纷开始对苍术进行引种栽培。但苍术栽培种植中病虫害严重,并随栽培年限增加,其发病率和死亡率均升高,同时,生产中存在明显的连作障碍,这些都严重地影响了苍术的栽培种植。

引起植物连作障碍的原因主要有土壤养分失衡、土壤微生物群落结构改变、植物毒素物质增加及土壤物理化学性质改变等^[2-6]。植物在环境胁迫下,往往通过向环境释放化学物质来抑制种内外其它植物的生长以提高其自身的生存竞争力^[7],这种现象被称为化感作用(Allelopathy)。自毒现象(autotoxicity)是化感作用的重要形式之一,它是指植物根分泌和残茬降解所释放出的次生代谢物,对自身或种内其它植物产生危害的一种现象,它是植物适应种内竞争的结果,许多作物的连作障碍与此相关^[2-5]。因此,研究自毒作用对揭示植物连作障碍具有重要意义。

化感物质的提取分离和鉴定及其生物活性的检测是研究植物化感作用或自毒现象的基础,通常以待测样品的植物部分,或者是与它相关的环境土壤作为提取源进行提取分离^[8-14]。为了证实苍术的自毒作用,本研究取未种植过其他植物的土壤对苍术进行栽培,8个月后进行自毒作用分析。参考了刘秀芬和阎飞的方法^[8,9],首先研究了苍术根茎及根际土提取液对苍术种子发芽及生长的影响。然后,采用GC-MS分析鉴定了苍术根茎和根际土水提液所含的化合物,并对其中可能的化感物质进行了生物学检测,从而为证明自毒作用是苍术连作障碍的原因之一提供了理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

2004年12月21日开始对苍术进行盆栽实验。试验地点为中国科学院生态环境中心土壤室温室。土壤取自中国中医研究院附近拆迁旧房院内土,该土此前未种植过任何植物。将土壤进行翻晒后,按土壤与河沙3:1混匀,加有机氮肥及KH₂PO₄适量。实验共设5个重复,每盆播种苍术种子7粒,出苗后定苗3株,常规管理。

2005年8月24日,采收苍术根茎,风干,粉碎研细,过40目筛,混匀备用,编号A。并采用抖落法收集苍术根际土,40目筛筛去根际土中残留的苍术须根等,混匀备用,编号S。

栽培实验与化感作用生物活性检测所用苍术种子,为同一批样品,均来源于江苏茅山。

1.2 方法

1.2.1 自毒作用检测 取苍术根茎 40g,加蒸馏水适量,25℃浸泡 24h,减压抽滤,定容至 200ml,得到相当于苍术根茎 200mg/ml 的上清液,编号 A200。将 A200 分别稀释 4 倍和 20 倍,得到相当于苍术根茎 50,10mg/ml 溶液,编号 A50 和 A10。取苍术根际土 200g,加蒸馏水适量,25℃浸泡 24h,减压抽滤,定容至 400mL,得到相当于苍术根际土 500mg/ml 上清液,编号 S500。将 S500 分别稀释 2.5 倍和 10 倍,得到相当于苍术根际土 200、50mg/ml 的溶液,编号 S200 和 S50。用作苍术化感作用的生物学的研究。

设水(编号 CK),A10、A50、A200、S50、S200 及 S500 共 7 个处理,每个处理 3 个重复。每个重复选取 20 粒种子,0.1% HgCl 消毒 10min,随机铺在垫有滤纸的直径为 15cm 的培养皿中,分别加入水、不同浓度根茎或根际土水提液各 5ml,在 25℃恒温培养箱内培养。不断观察,第 5 天测量发芽率、第 7 天测量胚根长,第 14 天测量胚芽长。

1.2.2 根茎及根际土提取液中化感物质鉴定及相似度比较 取苍术根茎及根际土样品适量,蒸馏水浸泡 24h,其间多次震荡。离心使苍术根茎及土壤沉淀,上清液抽滤。滤液加入等量乙醚萃取得到乙醚萃取液,剩余水提液再用等量乙酸乙酯萃取,得到乙酸乙酯萃取液。所得乙醚及乙酸乙酯萃取液分别用旋转蒸发仪在 4℃浓缩至干,再分别用乙醚或乙酸乙酯 1ml 溶解,用于 GC-MS 分析。乙醚及乙酸乙酯均为分析纯。

气质联用仪器为 TRACE GC 2000, DB-5 MS 石英毛细管柱 0.25mmID × 30m × 0.25μm,进样温度 250℃,程序升温从 60℃到 290℃,15℃min⁻¹,载气为 He。EI 源,70ev,接口温度 250℃,源温 200℃,检测温度 200℃,进样量 1μl,35~650 全扫描。应用 MAINLIB 质谱数据库计算机检索系统分析质谱图,进行未知物的鉴定。

1.2.3 化感物质的生物学鉴定 选取苍术根茎中含量较大的倍半萜类成分 β-桉叶醇,进行自毒作用的生物学鉴定。以苯甲醛为阳性对照。二者均设 50、100、250 mg/L 3 个水平。

1.2.4 数据分析 通过 SPSS10.0 软件,利用单因子方差分析结合多重比较分析种子发芽率、胚根长及胚芽长的差异。

借鉴 Jaccard 相似系数公式,比较根茎与根际土中化合物的相似度, $J = c / (a + b + c) %$, a 为根茎中特有组分数目, b 为根际土中特有组分数目, c 为根茎与根际土中共有组分的数目(a, b 所代表组分归一化百分含量大于 1%, c 所代表两个共有组分中至少有一个的归一化百分含量大于 ≥1%)。

2 结果

2.1 自毒作用生物活性测定

在实验中,50mg/ml 及 200mg/ml 根际土提取液对苍术种子发芽率、胚根长及胚芽长均无影响。500mg/ml 根际土提取液对苍术种子发芽率无影响,稍抑制了苍术胚根与胚芽的伸长,但差异不显著($p > 0.05$,图 1)。

单因子方差分析结合多重比较分析表明,随苍术根茎提取液浓度的增大,其对苍术种子发芽率、胚根和胚芽伸长的抑制作用显著增大。经 200mg/ml 苍术根茎提取液处理的苍术种子发芽率、胚根长及胚芽长分别为对照的 13%、32% 及 24% ($p < 0.05$,图 1,表 1)。

2.2 根茎及根际土中化合物 GC-MS 鉴定及相似度比较

利用 GC-MS 分析,从苍术根茎中共鉴定出 20 个化合物,根际土共鉴定出 27 个化合物(图 2、表 2),表 2 所列出的化合物均属 GC-MS 鉴定匹配度大于 75% 的化合物。

计算根茎及根际土中归一化百分含量大于 1% 的组分的相似系数,乙醚萃取液中二者的相似系数为 33.33%,乙酸乙酯萃取液中二者的相似系数为 90.00%(表 3)。可见,根茎与根际土乙醚萃取液中所

表 1 不同浓度苍术根茎提取液处理对苍术种子发芽率、胚根长及胚芽长的影响

Table 1 Influence on germination rates, lengths of roots and shoots by extracts of rhizoma of *A. lancea* with different concentration

浓度 Concentration (mg/ml)	发芽率(%) Germination rates (%)	胚根长(%) Roots lengths (%)	胚芽长(%) Shoots lengths (%)
0	100a	100a	100a
10	99a	46bc	100a
50	69b	40bc	25b
200	13c	32c	24b

同一列标有不同字母表示处理间差异显著($p < 0.05$) Values with different lowercases in the same row are of significant difference ($p < 0.05$)

表2 苍术根茎及根际土提取物 GC-MS 鉴别到的有机化合物

Table 2 Compounds in rhizoma and rhizosphere soil of *A. lancea* identified by GC-MS

样品 Samples	有机化合物 Compounds
aa	2,5-二炔基十八酸 2,5-Octadecadlynoic acid, methyl ester B-桉叶醇 β -eudesmol 2,6-二丁基对羟基甲苯 Butylated Hydroxytoluene 茅术醇 Hinesol 十六酸 n-Hexadecanoic acid 十五醛 Pentadecanal 十四酸 Tetradecanoic acid 三十七烷醇 1-Heptatriacotanol
ae	a 萘酚 1-Naphthalenol 2-甲氧基-4-乙烯基苯酚 2-Methoxy-4-vinylphenol 3-甲基-3-苯基-2-丙烯醛 2-Propenal, 3-methyl-3-phenyl- 2,6-二丁基对羟基甲苯 Butylated Hydroxytoluene 柠檬烯 D-Limonene 9-烯-2-十八烷氧醇 E-thanol, 2-(9-octadecenyloxy)-, (z)- 乙基异别胆烷 Ethyliso-allocholate 2,3-十六二烷酸-1-羟基-丙酯 Hexadecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1, 2-ethanediyl ester 十六酸 n-Hexadecanoic acid 十八酸 Octadecanoic acid 十四酸 Tetradecanoic acid 1,2-二苯甲酸异丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester
sa	1,2-二苯甲酸-(1-丁基, 2-癸基)酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl decyl ester 1,2-苯并异噻唑 1,2-Benzisothiazole 9-烯-18-十八酸酯 9-Octadecenoic acid(z)-, methyl ester 1-甲基-4-异丙基-1-羟基-环己烷 Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- 对甲氧基酚 Mequinol 2,6-二叔丁基对羟基苯丙酸酯 Methyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate 十四酸甲酯 Methyl tetradecanoate 十八醛 Octadecanal 十八酸甲酯 Octadecanoic acid, methyl ester 十四酸 Tetradecanoic acid
se	1,2-二苯甲酸异丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester 1,2-苯并异噻唑 1,2-Benzisothiazole 3,7,11-三甲基十二烷醇 1-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl- 4-甲基, 1-(1-甲基乙基), 1-乙酸-3-环己烯酯 3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, acetate 9-十六烯酸 9-Hexadecenoic acid 甘菊环 Azulene 2,6-二丁基对羟基甲苯 Butylated Hydroxytoluene 柠檬烯 D-Limonene 十二烷 Dodecane 乙基异别胆烷 Ethyliso-allocholate 13-十五烷基-12,13-二十五醚 Hexadecane, 1,1-bis(dodecyloxy)- 十六酸异丙酯 Isopropyl Palmitate 十六酸 n-Hexadecanoic acid 2-九烯醇 Non-2-en-1-ol 十八酸 Octadecanoic acid 十四酸 Tetradecanoic acid 十四酸三甲基硅酯 Tetradecanoic acid, trimethylsilyl ester

aa 根茎乙醚萃取液, sa 根际土乙醚粗取液, ae 根茎乙酸乙酯萃取液, se 根际土乙酸乙酯萃取液 aa means extraction of rhizoma by diethyl ether, sa means extraction of rhizosphere soil by diethyl ether, ae means extraction of rhizoma by ethyl acetate, se means extraction of rhizosphere soil by ethyl acetate

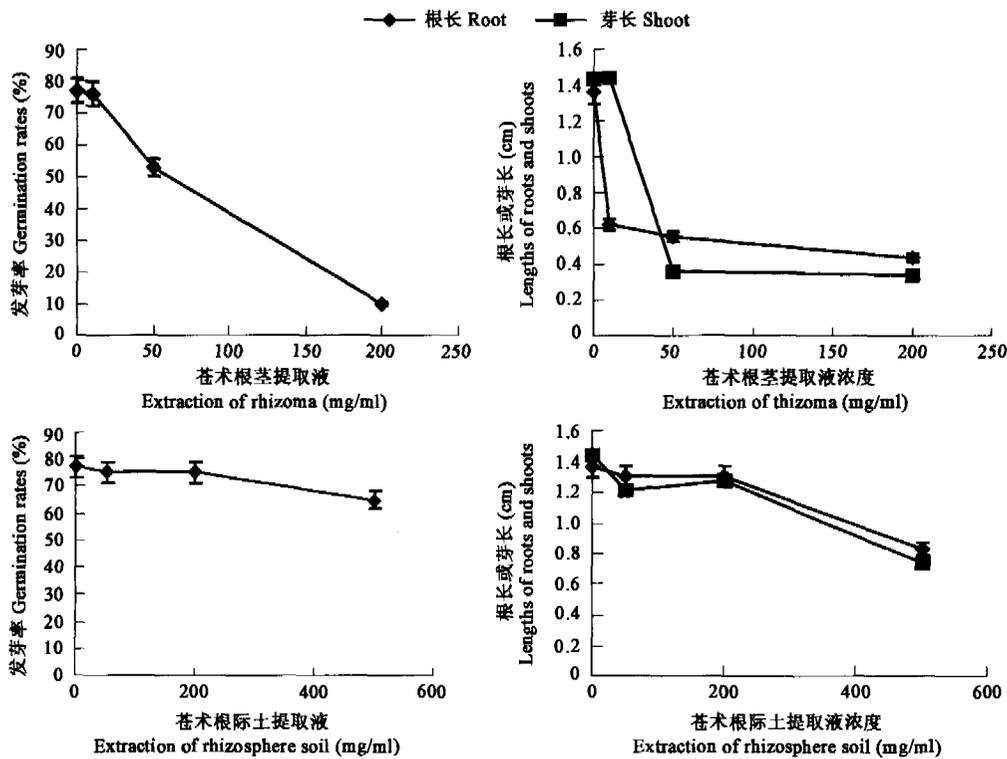


图1 不同浓度苍术根茎及根际土提取液对苍术种子发芽率、胚根长及胚芽长的影响

Fig.1 Influence on germination rates, lengths of roots and shoots of *A. lancea* by extractions of rhizoma or rhizosphere soil with different concentration

I 代表误差线 I means error bars

含化合物差异较大,前者含量最大的组分为茅术醇及β-桉叶醇(归一化百分含量分别为 18.26%及 38.66%),后者含量最大的组分为十四酸(归一化百分含量分别为 32.69%)。根茎与根际土乙酸乙酯萃取液中所含化合物非常相似,二者含量最大的组分一致,均为邻苯二甲酸二异丁酯(归一化百分含量分别为 35.36%、35.37%)。

2.3 化感物质的生物学鉴定

β-桉叶醇是不少药用植物中都含有的倍半萜类成分,由于其在苍术根茎挥发油中含量较大,常与其他组分一起用来作苍术定性和定量的指标性成分。本实验在苍术根茎水提液的乙醚及乙酸乙酯萃取液中均鉴定到β-桉叶醇,而且含量较大。考虑到倍半萜类成分是极其常见的化感物质,因此,对β-桉叶醇进行化感作用的生物学鉴定。

结果表明,虽然所有处理浓度的β-桉叶醇对苍术种子发芽率、胚根伸长均没有抑制作用(作为阳性对照的苯甲醛 250 mg/L 时能显著抑制苍术胚根的生长),但 100 及 250 mg/L 的β-桉叶醇能强烈抑制苍术胚芽生长,而且 250 mg/L 的β-桉叶醇对苍术胚芽伸长的抑制作用比同浓度的苯甲醛显著($p < 0.05$,表 4)。

3 讨论

3.1 苍术根茎及根际土中化感物质分析

以待测植物部分,或是与它相关的环境土壤作为

表 3 苍术根茎及根际土所含化合物的组分的相似度比较

Table 3 Similarity of compounds in extractions of rhizoma and rhizosphere soil of *A. lancea*

样品 Samples	组分数 No. of compounds	独有组分数 No. of unique compounds	共有组分数 No. of community compounds	组分总数 Total no. of compounds	相似系数 (%) Similarity (%)
aa	10	7	8	24	33.33
sa	17	9			
ae	9	0	18	20	90.00
se	20	2			

* 归一化百分含量大于 1% 的组分; aa 根茎乙醚萃取液, sa 根际土乙醚萃取液, ae 根茎乙酸乙酯萃取液, se 根际土乙酸乙酯萃取液
Compounds which content more than 1% (total to 1); aa means extraction of rhizoma by diethyl ether, sa means extraction of rhizosphere soil by diethyl ether, ae means extraction of rhizoma by ethyl acetate, se means extraction of rhizosphere soil by ethyl acetate

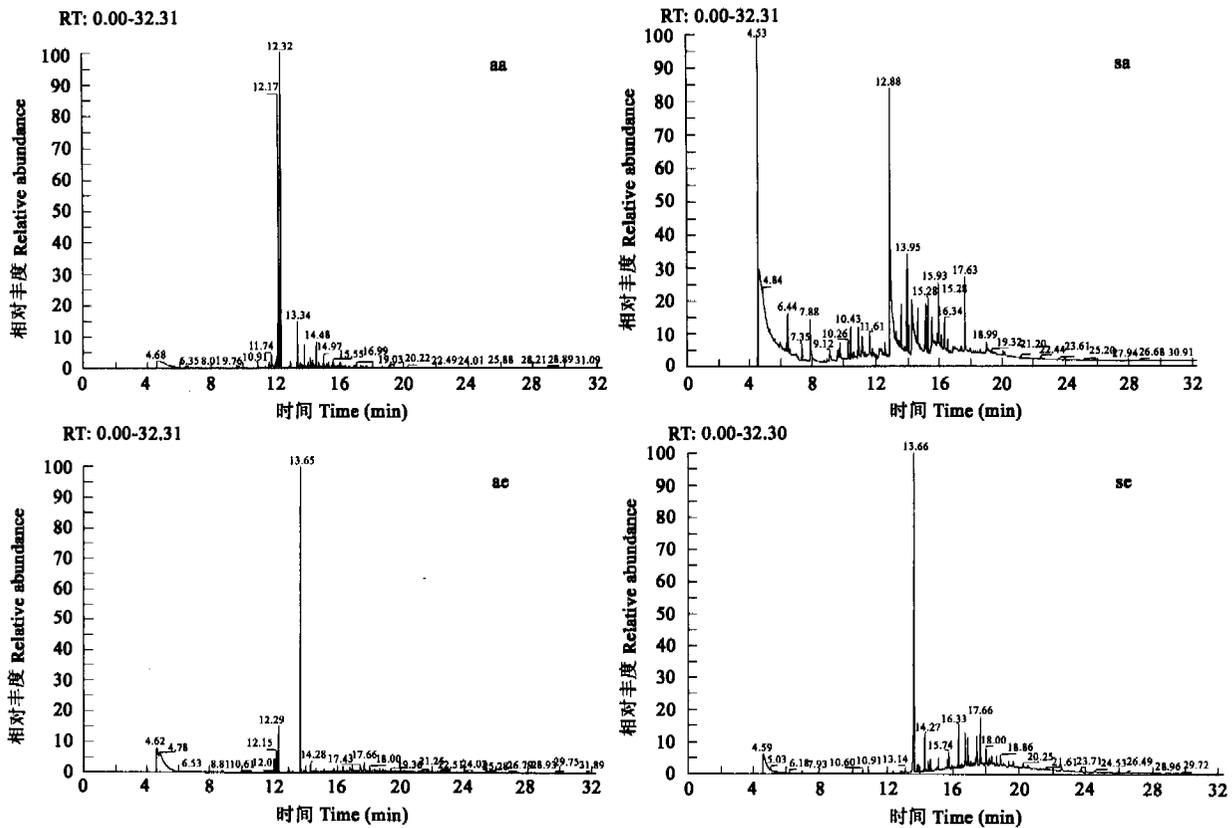


图 2 苍术根茎及根际土乙醚及乙酸乙酯萃取液 GC-MS 色谱图

Fig.2 Chromatogram of rhizoma and rhizosphere soil of *A. lancea* by GC-MS analysis

aa 根茎乙醚萃取液, sa 根际土乙醚粗取液, ae 根茎乙酸乙酯萃取液, se 根际土乙酸乙酯萃取液 aa means extraction of rhizoma by diethyl ether, sa means extraction of rhizosphere soil by diethyl ether, ae means extraction of rhizoma by ethyl acetate, se means extraction of rhizosphere soil by ethyl acetate

样品进行相关研究,是植物化感作用研究最常用的方法^[8-14]。考虑到苍术在长期栽培种植中面临的最主要的问题是自毒现象,本实验用未种植过其它植物的土壤作基质,对苍术进行盆栽试验,然后进行了化感物质的提取鉴别及化感作用的生物学检验,很好地排除了其他植物产生的化感物质对试验结果的干扰。

实验中,从苍术根茎中共鉴定出化合物 20 个次,根际土中共鉴定出化合物 27 个次,包括烷、醇、苯、萘、酸及酯等成分,尚不包括更多的含量低未被鉴定出的化合物。迄今为止所发现的化感物质几乎都是植物的次生代谢产物,一般分子量较小,结构较简单。包括水溶性有机酸、直链醇、脂肪族醛和酮、简单不饱和内酯、长链脂肪酸和多炔、内酯、氨基酸、生物碱、苯甲酸及其衍生物等等。其中最常见的是低分子有机酸、酚类和内酯类化合物^[13]。本实验所分离鉴定到的化合物中不乏此类物质,证明苍术根茎及根际土中均含有抑制其自身生长的化感物质,即植物自毒素。

为了更好地比较根茎及根际土中所含化合物的相似性,本研究采用 Jaccard 相似系数公式,计算相似度,发现苍术根茎及根际土中所含主要化合物(归一化百分含量大于 1%)相似度非常高,二者乙酸乙酯萃取液的相似系数达到 90.00%,乙醚萃取液的相似系数达到 33.33%,提示土壤中不少极性较大的组分可能是直接来源于苍术分泌物或植物残体代谢产物。

表 4 苯甲醛和 β-桉油醇生物活性的比较

Table 4 Comparing of bioactivity of Benzaldehyde and β-eudesmol				
处理	剂量 (mg/L)	发芽率 (%)	根长 (cm)	芽长 (cm)
Treatment	Concentration	Germination rates	Roots lengths	Shoots lengths
蒸馏水 dd H ₂ O	0	69 a	1.83 a	1.92 a
苯甲醛	50	68 a	1.54 a	1.64 a
Benzaldehyde	100	78 a	1.68 a	1.47 b
	250	65 a	1.50 b	1.33 b
β-桉油醇	50	65 a	1.56 a	1.78 a
β-eudesmol	100	65 a	1.73 a	0 c
	250	55 a	1.68 a	0 c

同一列标有不同字母表示处理间差异显著 ($p < 0.05$) Values with different lowercases in the same row are of significant difference ($p < 0.05$)

3.2 苍术根茎及根际土化感作用的生物学检测

实验中发现,苍术根茎水提液能显著抑制苍术种子发芽率及胚根和胚芽的伸长,但根际土水提液对苍术种子发芽率及胚根和胚芽的伸长的抑制作用不显著。由于 GC-MS 鉴别到根际土中含有不少有化感作用的物质,如水溶性有机酸、直链醇、酚酸、简单不饱和内酯等,因此,推测根际土对苍术种子自毒作用不显著与土壤中化感物质的积累量不够有关。大田栽培时,在生长的第3年,苍术发病率和死亡率显著提高,因此,农民通常将苍术仅种2a就采挖,可能与此有关。

本研究证实根茎中含量较大的 β -桉叶醇对苍术胚芽的伸长有显著自毒作用,进一步为证实苍术的自毒作用提供了理论支持。研究发现,萜类物质是一类研究较多且活性较强的化感物质,其在环境胁迫下含量的变化是近年来研究的热点^[7]。孔垂华等在研究以萜类物质为主要次生代谢产物的胜红蓟化感作用中发现,在缺肥、缺水等逆境下,胜红蓟的化感作用明显增强^[7]。苍术根茎提取液中鉴定到的一些倍半萜成分,虽然在根际土提取液中尚未鉴定到,但其在根茎及根际土中的分布代谢,及其在苍术自毒现象中的作用的研究,有重要理论及实践意义。

3.3 中药材种植的自毒现象及解决策略

作者研究发现,苍术栽培中土壤养分及酸度有所下降,但并不是导致其连作障碍的主要原因^[15]。根据本实验结果,苍术根茎及根际土中都有抑制其自身生长发育的化感物质。因此,认为栽培苍术连作障碍与自毒作用有关。

自毒作用是植物通过根分泌与残株腐解释放的有毒化学物质抑制同种植物种子萌发和生长的现象。已有研究表明,水稻、小麦、玉米、甘蔗等禾本科植物和大豆、蚕豆等豆科类植物及人工林、茶园中均存在明显自毒现象^[16,17]。近年来,随着中药材规范化种植的开展及中药材栽培种类和面积的不断扩大,连作障碍问题显得日益突出,如人参、地黄、黄连、贝母等等。由于药用植物通常多年生,且含有大量小分子的次生代谢产物,因而其连作障碍中的植物自毒表现的比普通作物会更强烈。

植物在生长发育过程中不断与根际土溶液进行着物质与能量的交换,通过各种途径(如地上部分淋溶、根系分泌、植物残体分解等)进入根际区的源于植物自身的化学物质,直接影响着根际区土壤中微生物的群落结构,微生物分解代谢又会产生新的化学物质,如此不断地影响和改变着根际区微生态生境,反过来又对植物自身的生长发育产生影响。在这个意义上讲,自毒作用是植物长期适应种内竞争的重要策略,在群体水平上实现了优胜劣汰,对物种的进化具有积极的作用。但就栽培中药材而言,植物自毒造成的经济损失是显而易见的。所有在中药栽培中,可以借鉴农业生产中的方法,如采用间作套作制度、避免连作等手段来缓解甚至是克服中药的自毒现象。同时,应注意对不产生化感物质或具有抗化感物质的品种进行筛选,最终通过遗传育种或转基因工程的手段和方法,彻底解决栽培中的自毒现象。

References:

- [1] Zhu X Q, He S A, He H S, et al. dynamics in the resource reproduction of *Atractylodes lances* (Thunb.) DC. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1995, 13(4):373 ~ 379.
- [2] Ji Z C, Xu W Z. The change of soil environment with reducing-yield of continue-cropping in soybean. *Soybean Science*, 1995, 14(4):321 ~ 329.
- [3] Zhu B, Wang W Z. Problem of Chinese Fir Continuous Planting: Its Causes and Solutions. *Journal of Central South Forestry University*, 1999, 19(1):76 ~ 78.
- [4] Hu Y G, Zeng Z H, Cheng X. The Progress and Prospect of Alfalfa Autotoxicity. *Grassland and Lawn*, 2001, (4):9 ~ 11.
- [5] Yu J Q, Matsui Y. Autointoxication of Root Exudates in *Pisum sativus*. *Acta Horticulturae Sinica*, 1999, 26(3):175 ~ 179.
- [6] Wang D L, Ma R X, Liu X F. A Preliminary Study on the Allelopathic Activity of Rice Germplasm. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(3):94 ~ 96.
- [7] Kong C H, Xu T, Hu F. Allelopathy under environmental stress and its induced mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5):849 ~ 854.
- [8] Yan F, Han L M, Sun Y. Bioassays with Extraction of Allelochemicals in Soybean Soil on Continuous Cropping. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2000, 25(1):7 ~ 11.
- [9] Liu X F, Ma R X, Yuan G L. Study on isolation, identification and bioactivity of allelochemicals in rhizosphere. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(1):1 ~

- 10.
- [10] Han L J, Shen Q R, Ju H Y. Allelopathy of the Aqueous Extracts of Above Ground Parts of Soybean and the Identification of the Allelochemicals. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1425 ~ 1432.
- [11] Ma R X, Liu X F, Yuan G L. Study on allelochemicals in the process of decomposition of wheat straw by microorganisms and their bioactivity. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(6): 632 ~ 638.
- [12] Zeng R S. Review on bioassay methods for allelopathy research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(1): 123 ~ 126.
- [13] Yan F, Yang Z M, Han L M. Review on research methods for alelopathy and allelochemicals in plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 692 ~ 696.
- [14] Kong C H. Problems needed attention on plant allelopathy research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(3): 332 ~ 336.
- [15] Guo L P, Huang L Q, Shao A J, *et al.* Development rules of soil nutrient in rhizosphere of Cultivated *Atractylodes lancea* DC. *China J Chin Mater Med*, 2005.
- [16] Huang G B Chai Q. Acting formations and applying development of allelopathy. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(3): 172.
- [17] Cao P R, Luo S M. Studies on the allelopathy of tea plant *Camellia sinensis* (L.) Kuntze. *J. South Chia Agr. Univ*, 1994, 15(2): 129 ~ 133.

参考文献:

- [1] 朱晓琴, 贺善安, 贺慧生, 等. 茅苍术资源再生的研究. *武汉植物学研究*, 1995, 13(4): 373 ~ 379.
- [2] 计钟程, 许文芝. 重茬大豆减产与土壤环境变化. *大豆科学*, 1995, 14(4): 321 ~ 329.
- [3] 朱斌, 王维中. 杉木连栽障碍的原因及其对策. *中南林学院学报*, 1999, 19(1): 76 ~ 78.
- [4] 胡跃高, 曾昭海, 程霞, 等. 苜蓿自毒性的研究进展及其前景. *草原与草坪*, 2001, (4): 9 ~ 11.
- [4] 喻景权, 松井佳久. 豌豆根系分泌物自毒作用的研究. *园艺学报*, 1999, 26(3): 175 ~ 179.
- [6] 王大力, 马瑞霞, 刘秀芬. 水稻化感抗草种质资源的初步研究. *中国农业科学*, 2000, 33(3): 94 ~ 96.
- [7] 孔垂华, 徐涛, 胡飞, 等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制. *生态学报*, 2000, 20(5): 849 ~ 854.
- [8] 阎飞, 韩丽梅, 孙衍, 等. 大豆连作土壤中化感物质浸提剂的生物筛选. *吉林农业科学*, 2000, 25(1): 7 ~ 11.
- [9] 刘秀芬, 马瑞霞, 袁光林, 等. 根际区他感化学物质的分离、鉴定与生物活性的研究. *生态学报*, 1996, 16(1): 1 ~ 10.
- [10] 韩丽梅, 沈其荣, 鞠会艳, 等. 大豆地上部水浸液的化感作用及化感物质的鉴定. *生态学报*, 2002, 22(9): 1425 ~ 1432.
- [11] 马瑞霞, 刘秀芬, 袁光林, 等. 小麦根区微生物分解小麦残体产生的化感物质及其活性的研究. *生态学报*, 1996, 16(6): 632 ~ 638.
- [12] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述. *应用生态学*, 1999, 10(1): 123 ~ 126.
- [13] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 植物化感作用及其作用物的研究方法. *生态学报*, 2000, 20(4): 692 ~ 696.
- [14] 孔垂华. 植物化感作用研究中应注意的问题. *应用生态学报*, 1998, 9(3): 332 ~ 336.
- [15] 郭兰萍, 黄璐琦, 邵爱娟, 等. 苍术根际区土壤养分变化规律. *中国中药杂志*, 2005.
- [16] 黄高宝, 柴强. 植物化感作用表现形式及其开发应用研究. *中国生态农业学报*, 2003, 11(3): 172.
- [17] 曹潘荣, 骆世明. 茶园的他感作用研究. *华南农业大学学报*, 1994, 15(2): 129 ~ 133.