

当归营养期的化感作用^{* * *}

马瑞君^{1,2} 惠继瑞² 朱慧¹ 李晶² 赵庆芳²

(1. 韩山师范学院生物系 潮州 521041; 2. 西北师范大学生命科学学院 兰州 730070)

摘要 为探讨当归(*Angelica sinensis*)自毒作用与连作障碍的关系并建立合理的轮作制度,利用4个浓度当归营养期根部及茎叶部水浸液对当归及其种植区常见作物油菜(*Brassica campestris*)、小麦(*Triticum aestivum*)和燕麦(*Avena sativa*)的种子和幼苗进行了生物测定。分析结果表明,当归具明显的自毒作用(敏感指数 $M_3 = -0.2583$),茎叶部分的自毒效应强于根部,且作用强度随浓度增加而增强;小麦和燕麦对当归的化感作用有一定的耐受能力,综合敏感指数(M)分别为 -0.0755 和 -0.1447 ;而油菜对当归的化感作用较为敏感,综合敏感指数为 -0.3079 ,这一结果与实际种植情况不符,推断可能与当归化感物质在土壤中的转化导致化感作用降低有关。在种间化感作用的研究中发现根部的化感作用强于茎叶,并有高抑制低促进的浓度效应。试验结果说明当归的自毒作用是造成连作障碍的原因之一;当归对小麦和燕麦的化感作用较弱,可以用于当归轮作体系,缓解因自毒作用而引起的连作障碍。

关键词 当归 营养期 水浸液 化感作用 自毒作用 连作障碍 轮作

中图分类号:Q948.12+2.1 文献标识码:A 文章编号:1671-3990(2008)06-1483-06

Allelopathy of *Angelica sinensis* at vegetative stage

MA Rui-Jun^{1,2}, HUI Ji-Rui², ZHU Hui¹, LI Jing², ZHAO Qing-Fang²

(1. Department of Biology, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China;

2. College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract To investigate the relationship between autotoxicity and continuous cropping obstacle and to find a reasonable crop rotation system for *Angelica sinensis* (a common traditional Chinese medicinal plant). Aqueous extracts from root, stem and leaf of *A. sinensis* at vegetative stage were analyzed for autotoxicity and allelopathic effect on *Brassica campestris*, *Triticum aestivum*, *Avena sativa* (which are often grown in regions where *A. sinensis* grown). The results indicate that *A. sinensis* exhibits significant autotoxicity (sensitivity index $M_3 = -0.2583$). The effect from stem and leaf extracts is stronger than root extracts, which also increases with increasing concentration. *T. aestivum* and *A. sativa* show resistance to *A. sinensis* allelopathy, with respective comprehensive sensitivity indexes (M) of -0.0755 and -0.1447 , while *B. campestris* is sensitive at $M_3 = -0.3079$. Bioassay result of *B. campestris* is inconsistent with practical planting and this may be due to interactions between allelochemicals and soil microbes or allelochemical transformation which reduces allelopathy potential. Being different from autotoxicity, allelopathic effect of *A. sinensis* root on the three other tested plants is stronger than stem and leaf extracts, and is positively correlated with extract concentration. It then can be concluded that autotoxicity is an obstacle to continuous cropping of *A. sinensis* cultivation; *T. aestivum* and *A. sativa* may be an alternative rotation for overcoming this obstacle.

Key words *Angelica sinensis*, Vegetative stage, Aqueous extract, Allelopathy, Autotoxicity, Continuous cropping obstacle, Crop rotation

(Received Sept. 3, 2007; accepted Feb. 18, 2008)

药用植物所含的次生物质种类丰富、活性强,涵盖了Rice总结的15类化感物质^[1],而且可通过地上挥发、雨雾淋溶、根系分泌和残体降解等途径

进入土壤环境^[1-5],因此,药用植物一般具有较强的化感作用^[3,5]。药用植物种植过程中,约70%的根和根茎类药材有连作障碍^[5,6]。引起连作障碍主要

* 甘肃省中青年科学基金项目(3YS061-A25-030)和西北师范大学大学生科研资助项目(2006)资助

马瑞君(1956~),女,回族,博士,教授,主要从事植物生态学方向的研究和教学工作。E-mail: ruijunma2003@yahoo.com.cn

收稿日期:2007-09-03 接受日期:2008-02-18

因素有土壤理化性质改变、有害微生物增加、植物毒素积累、土壤传染病加重和土壤肥力下降等^[5,7],其中“植物毒素”即为植物本身产生的对同种个体生长发育有毒害作用的化学物质,是引起连作障碍的一个重要因素^[5-7]。生产中,通常通过轮作克服连作障碍,而轮作作物的选择是建立合理的轮作体系,充分利用土地资源的基础。

当归 (*Angelica sinensis*) 是伞形科 (*Umbelliferae*) 当归属 (*Angelica*) 多年生草本植物,其根是我国常用名贵中药材,主产于甘肃东南部。长期以来,当归连作障碍问题是制约当归种植和相关产业发展的一个重要因素。在当归产地,重茬栽培不仅造成当归生长势变弱,产量降低,而且品质下降,病虫害严重。当地药农通常凭借经验选用其他作物进行轮作来缓解这种状况。长期以来,对于引起连作障碍的原因缺乏研究。本文采用化感作用的研究方法,模拟雨雾淋溶和浸溶途径,研究当归营养生长期种内化感作用(自毒作用)和对当归产地常见的作物油菜 (*Brassica campestris*)、小麦 (*Triticum aestivum*) 和燕麦 (*Avena sativa*) 的种间化感作用,为探讨当归连作障碍的原因和建立合理的轮作制度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供体材料为当归营养期根部及地上茎叶,2006年10月采于甘肃省定西市漳县石川乡(104° 29' E, 34° 52' N),该地区年降雨量 500 ~ 600 mm,主要集中于 6 ~ 9 月份,水热同期。受体材料为当归、油菜、小麦和燕麦,种子由漳县石川乡村民提供。

1.2 研究方法

1.2.1 供体水浸液的制备

将当归鲜材料冲洗干净,分别将根部和茎叶剪成 1 ~ 2 cm 小段,室温(20 ~ 24 °C)下蒸馏水浸泡 48 h,过滤,制得 0.2 g(FW) · mL⁻¹ (相当于 1 g 鲜材料浸于 5 mL 蒸馏水中)浓度的母液,然后取部分母液稀释成 0.1 g(FW) · mL⁻¹、0.05 g(FW) · mL⁻¹ 和 0.025 g(FW) · mL⁻¹ 3 个浓度的水浸液,冰箱低温保存待用。

1.2.2 种子萌发测定

在直径为 12 cm 的培养皿底部垫放两张滤纸,于 105 °C 高温灭菌;当归、油菜、小麦和燕麦种子用 3% 次氯酸钠溶液消毒后,在无菌培养皿内各摆放 50 粒,根据受试种子不同,每皿分别加相应体积的 4 个浓度的水浸液,当归 3 mL、油菜 3 mL、小麦 5

mL、燕麦 5 mL,同一浓度 3 个重复,以蒸馏水作为对照。种子置人工气候箱中萌发,萌发条件分别为:当归,20 °C、光照 12 h · d⁻¹;油菜、小麦和燕麦,25 °C、光照 12 h · d⁻¹ (萌发条件选择预实验时的最佳萌发温度)。培养过程中处理组和对照组定时补充适量蒸馏水,保持纸床湿润。从种子萌发之日开始记录萌发种子数量,每 24 h 统计一次,直至不再有种子萌发为止。

1.2.3 幼苗生长测定

将受试种子用蒸馏水预萌发,选取大小及生物量一致的预萌发种子移入纸质小烧杯,每杯 10 粒,加相应浓度的水浸液 2 mL,并用保鲜膜封口,同一浓度 3 个重复,以蒸馏水作对照,在人工气候箱培养(条件与种子萌发实验相同)。培养一定时间后(当归 10 d、油菜 7 d、小麦 5 d、燕麦 5 d),测量幼苗根长和苗高。

1.3 数据处理

$$\text{萌发率}(\%) = (\text{最终萌发数}/50) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{萌发指数}(I) = \sum (G_t/D_t) \quad (2)$$

式中, G_t 为第 t 天的种子萌发数, D_t 为相对应的种子萌发天数。

参照 Williamson 等^[8]的方法,采用化感作用效应指数 (RI) 度量化感作用强度:

$$RI = \begin{cases} 1 - C/T & (T \geq C) \\ T/C - 1 & (T < C) \end{cases} \quad (3)$$

式中, C 为对照值, T 为处理值。 $RI > 0$ 为促进作用, $RI < 0$ 为抑制作用,绝对值的大小表示作用强度。本文所有测定结果均通过(3)式换算成 RI 进行分析。处理和对照间的差异显著性采用 SPSS11.5 软件进行 Tukey 检验。为了比较不同物种、不同发育阶段和各测定指标间的化感作用强弱,参考马瑞君等^[9]的方法,计算化感作用平均敏感指数 (M)。

$$M_R = \frac{\sum_{j=1}^n a_j}{n} \quad (4)$$

式中, R 为平均敏感指数 (M) 的级别或层次, a 为数据项, n 为该级别或层次数据 (RI) 的总个数。

2 结果与分析

2.1 当归营养期根部及茎叶部水浸液的自毒作用及对 3 种作物的化感作用

2.1.1 自毒作用

由表 1 可知,当归根部及茎叶不同浓度水浸液对其种子萌发和幼苗生长均有不同程度的抑制,抑制率(所有浓度所有指标数据中呈抑制作用的数据的数

量比例)96.88%,有12项数据达显著或极显著水平;其中对种子萌发指数和幼苗根长的抑制较为明显,两项指标共有10项数据达显著或极显著水平;对根长的抑制尤其明显,且大部分幼根发黄,变褐,甚至腐

烂。随处理浓度增加,各测定指标的化感效应强度也随之增强,但苗高未表现出相似的规律。此外,当归茎叶部的化感作用强度明显强于根部,其达到显著或极显著水平的数据数是根部的2倍。

表1 当归营养期根部及茎叶部水浸液对其种子萌发和幼苗生长的化感作用强度(IR)

Tab.1 Allelopathic effect (IR) of root and stem-leaf aqueous extract of *A. sinensis* on its seed germination and seedling growth

处理 Treatment	浓度 Concentration [g (FW) · mL ⁻¹]	萌发率 Germination rate	萌发指数 Germination index	根长 Root length	苗高 Seedling height
根水浸液 Root aqueous extract	0.2	-0.158 3 *	-0.257 5 *	-0.556 0 **	-0.070 7
	0.1	-0.134 4	-0.170 1	-0.340 0 *	-0.050 2
	0.05	-0.086 6	-0.119 5	-0.143 7	-0.090 6
	0.025	-0.115 3	-0.104 9	-0.074 9	-0.092 5
茎叶水浸液 Stem-leaf aqueous extract	0.2	-0.780 0 **	-0.846 1 **	-0.847 5 **	-0.085 6
	0.1	-0.234 8	-0.471 4 **	-0.670 6 **	-0.059 5
	0.05	-0.148 7	-0.329 8 **	-0.530 8 **	0.048 4
	0.025	-0.062 6	-0.149 8	-0.492 6 **	-0.037 2

* 和 ** 分别表示与对照间在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著,下同。* and ** mean significantly different between treatment and CK at 0.05 and 0.01 level respectively. The same below.

2.1.2 对油菜的化感作用

当归水浸液对油菜种子萌发指数和幼苗根长的化感作用较为强烈,且全部表现为抑制作用,其中有14项数据达显著或极显著水平(表2)。萌发率和苗高则呈高抑制低促进趋势,其中对苗高的促进作用均达极显著水平。当归根部水浸液对油菜的抑制作用强于茎叶部,其中根部水浸液对各测定指标的抑制作用有10项数据达到显著或极显著水平,是茎叶部的1.43倍。

2.1.3 对小麦的化感作用

从表3可以看出,当归根部及茎叶部水浸液对小麦种子萌发和幼苗生长有一定的抑制作用,抑制率为59.38%。对根长的抑制较为明显,对其他指标虽有抑制,但作用强度较弱。此外,随处理浓度变化,各测定指标表现出高抑制低促进的现象,其中当归茎叶部水浸液在0.1 g (FW) · mL⁻¹、0.05 g (FW) · mL⁻¹和0.025 g (FW) · mL⁻¹浓度时,对小麦苗高的促进作用达显著或极显著水平。

表2 当归营养期根部及茎叶水浸液对油菜种子萌发和幼苗生长的化感作用强度(IR)

Tab.2 Allelopathic effects of root and stem-leaf aqueous extract of *A. sinensis* on seed germination and seedling growth of *B. campestris*

处理 Treatment	浓度 Concentration [g (FW) · mL ⁻¹]	萌发率 Germination rate	萌发指数 Germination index	根长 Root length	苗高 Seedling height
根水浸液 Root aqueous extract	0.2	-0.993 3 *	-0.999 2 **	-1.000 0 **	-1.000 0 **
	0.1	-0.019 8	-0.496 3 **	-0.849 1 **	-0.079 0
	0.05	0.000 3	-0.324 1 **	-0.635 9 **	0.272 5 **
	0.025	0.000 3	-0.178 6 *	-0.324 8 **	0.234 7 **
茎叶水浸液 Stem-leaf aqueous extract	0.2	-0.765 0 **	-0.949 0 **	-0.965 2 **	-0.262 5
	0.1	-0.013 1	-0.378 1 **	-0.378 1 **	0.360 1 **
	0.05	0.007 0	-0.094 0 **	-0.264 2 *	0.358 7 **
	0.025	0.007 0	-0.026 2	-0.038 0	0.290 5 **

2.1.4 对燕麦的化感作用

从表4可以看出,当归根部及茎叶部水浸液对燕麦种子萌发和幼苗生长存在较为普遍的抑制作用,抑制率达68.75%,有8项数据达到显著或极显

著水平,其中对根长的抑制作用最强。从抑制作用强度来看,除了根长受抑程度较大外,其他各指标受抑程度并不大。随浓度变化,高浓度表现出较强的抑制作用,低浓度则表现出促进作用。

表 3 当归营养期根部及茎叶部水浸液对小麦种子萌发和幼苗生长的化感作用强度 (IR)

Tab.3 Allelopathic effects of root and stem-leaf aqueous extract of *A. sinensis* on seed germination and seedling growth of *T. aestivum*

处理	浓度	萌发率	萌发指数	根长	苗高
Treatment	Concentration [g (FW) · mL ⁻¹]	Germination rate	Germination index	Root length	Seedling height
根水浸液	0.2	-0.085 0	-0.218 4 *	-0.880 7 **	-0.325 5 **
Root aqueous extract	0.1	-0.054 2	-0.108 2	-0.236 1 **	-0.026 3
	0.05	0.014 8	-0.003 7	-0.112 6 *	0.043 7
	0.025	0.022 2	0.052 4	-0.009 0	0.090 1
茎叶水浸液	0.2	-0.061 9	-0.085 9	-0.516 4 **	-0.150 8 **
Stem-leaf aqueous extract	0.1	-0.008 1	-0.052 8	-0.174 8 **	0.109 6 *
	0.05	0.014 8	-0.013 4	0.016 0	0.140 8 **
	0.025	0.057 6	0.014 7	0.017 1	0.114 5 *

表 4 当归营养期根部及茎叶部水浸液对燕麦种子萌发和幼苗生长的化感作用强度 (IR)

Tab.4 Allelopathic effects of root and stem-leaf aqueous extract of *A. sinensis* on seed germination and seedling growth of *A. sativa*

处理	浓度	萌发率	萌发指数	根长	苗高
Treatment	Concentration [g (FW) · mL ⁻¹]	Germination rate	Germination index	Root length	Seedling height
根水浸液	0.2	-0.775 4 **	-0.871 6 **	-0.827 3 **	-0.306 8 **
Root aqueous extract	0.1	-0.079 7	-0.275 4	-0.206 0 *	-0.002 9
	0.05	0.048 3	-0.037 3	-0.178 2 *	0.061 6
	0.025	0.041 7	0.052 0	-0.049 2	0.119 3
茎叶水浸液	0.2	-0.217 4	-0.401 0 *	-0.595 8 **	-0.137 8
Stem-leaf aqueous extract	0.1	-0.050 7	-0.019 9	-0.173 9	-0.008 7
	0.05	-0.065 2	0.018 2	-0.008 4	0.050 2
	0.025	-0.029 0	0.072 7	0.120 5	0.103 1

2.2 不同受试作物对当归营养期化感作用的敏感性

通过计算不同受试作物对当归营养期化感作用的平均敏感指数(表 5)发现,一、二、三级敏感指数绝大部分是负值(仅油菜苗高例外),表明当归对其自身和其他作物存在普遍的化感抑制作用,只是

不同作物间化感作用强度差别较大。从不同受试作物各测定指标对当归营养期化感作用的敏感性(M₁)来看,各测定指标的敏感性表现出一致的规律,即根长 > 萌发指数 > 萌发率 > 苗高,根长受抑程度最强。这与试验过程中观察到的现象一致,受试作物处理组大部分幼苗根部发生畸变,变黄(褐),

表 5 不同受试作物对当归营养期化感作用敏感性比较

Tab.5 Comparison of sensitivity of different tested plants to allelopathy of *A. sinensis* in vegetative period

受体	三级敏感指数		二级敏感指数		一级敏感指数			
	Third sensitivity index (M ₃)		Second sensitivity index (M ₂)		First sensitivity index (M ₁)			
	物种水平		种子萌发阶段	幼苗生长阶段	萌发率	萌发指数	根长	苗高
Receptor	Species level		Seed germination stage	Seedling growth stage	Germination rate	Germination index	Root length	Seedling height
当归 <i>A. sinensis</i>	-0.258 3		-0.260 6	-0.255 9	-0.215 1	-0.306 1	-0.457 0	-0.054 7
油菜 <i>B. campestris</i>	-0.307 9		-0.326 4	-0.289 4	-0.222 1	-0.430 7	-0.556 9	0.021 9
小麦 <i>T. aestivum</i>	-0.075 5		-0.032 2	-0.118 8	-0.012 5	-0.051 9	-0.237 1	-0.000 5
燕麦 <i>A. sativa</i>	-0.144 7		-0.161 9	-0.127 5	-0.140 9	-0.182 8	-0.239 8	-0.015 2

M₁ 中 n = 24, 表示处理分根和茎叶两部分, 每部分设 4 个浓度, 各浓度有 3 个重复; M₂ 中种子萌发阶段(包括萌发率和萌发指数两个指标)和幼苗生长阶段(包括根长和苗高两个指标) n = 48; M₃ 中物种水平的综合化感效应(包括种子萌发和幼苗生长两个阶段) n = 96。n is 24 in M₁ with three levels; two organs (root and stem-leaf organs), four concentrations and three replicates; n is 48 in M₂ of seed germination stage (germination rate and germination index) and seedling growth stage (root length and shoot height); n is 96 in M₃ of multiple allelopathy of species level (seed germination stage and seedling growth stage).

甚至腐烂。从受试作物种子萌发阶段和幼苗生长阶段对当归化感作用的敏感性来看,种子萌发阶段更易受到化感物质的影响,且受抑程度较大。从物种水平来看,油菜对当归化感作用的敏感性最强,当归对自身化感作用的敏感性次之,小麦和燕麦较弱。

2.3 当归根部及茎叶部水浸液对不同受试作物的化感作用

当归根部及茎叶部的化感作用有明显的差异性(图1)。其中,对当归自身化感作用,茎叶部明显强于根部,其作用强度是根部的2.22倍;而对油菜、小麦和燕麦的化感作用,则是根部强于茎叶部,其抑制强度分别是茎叶部的2.06倍、3.17倍和2.45倍。

2.4 当归根部及茎叶部不同浓度水浸液对不同受试作物的化感作用

当归根部及茎叶部水浸液随浓度增加,对其自身和其他3种作物的化感作用强度呈规律性变化。图2a显示,随当归根部及茎叶部水浸液浓度增加,

对其自身的化感作用强度逐渐增强,且完全表现为抑制作用。图2b~c则显示,除当归水浸液对油菜、小麦和燕麦的化感作用随浓度增加呈梯度变化外,还表现出高抑制,低促进的现象,且全部表现为根部抑制作用强于茎叶部,这与当归自身化感作用恰好相反。

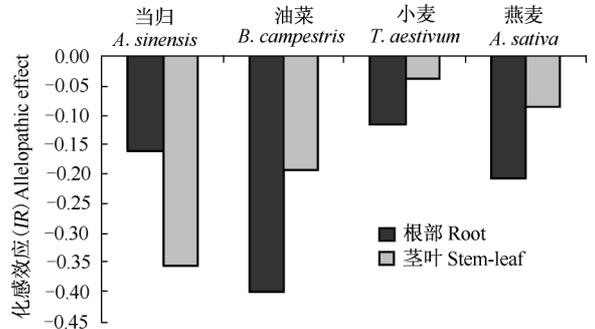


图1 当归根部及茎叶部水浸液对不同受试作物化感作用的比较

Fig. 1 Comparison of allelopathic effects of aqueous extract of root and stem-leaf of *A. sinensis* on different tested plants

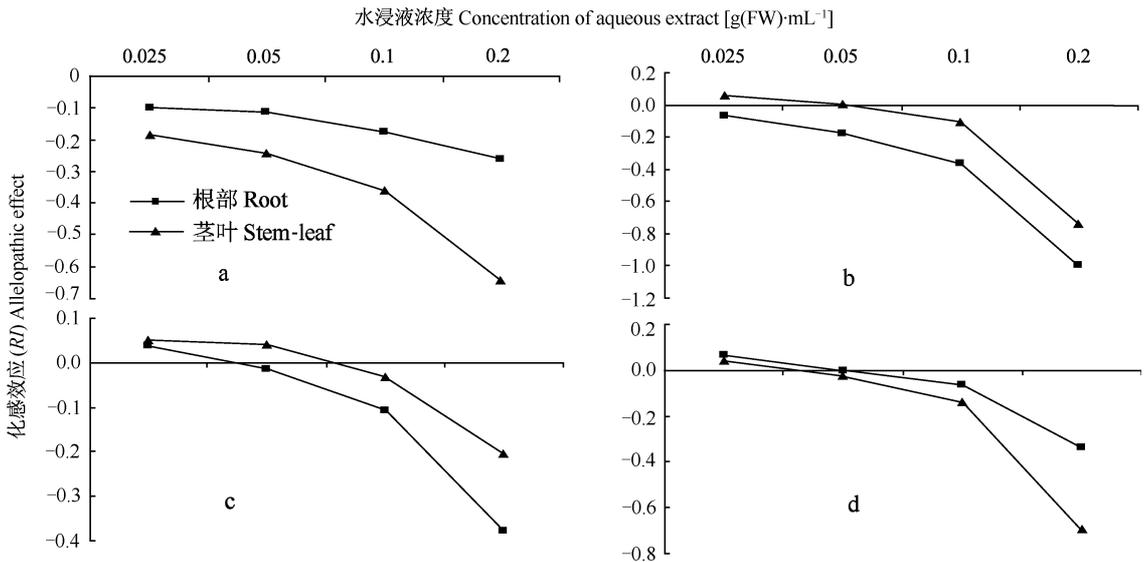


图2 当归不同浓度水浸液的自毒作用(a)及其对油菜(b)、小麦(c)和燕麦(d)的化感作用

Fig. 2 Allelopathic effects of different concentration aqueous extracts of *A. sinensis* on itself (a), *B. campestris* (b), *T. aestivum* (c), *A. sativa* (d)

3 小结与讨论

3.1 当归的自毒作用与连作障碍

连作障碍是药用植物栽培中的常见现象,是作物与土壤相互作用的结果。药用植物体内含有丰富的次生物质,这些物质释放到土壤中直接或间接对下茬同种个体的生长和发育产生不利影响,从而引起连作障碍^[10]。在甘肃省,当归药用根的快速生长和成熟主要在7~10月份,该时期雨水较丰富,当归营养生长旺盛,其体内代谢速度快,次生物质

丰富,雨雾淋溶和浸溶能使自毒物质进入土壤环境并积累,对下茬当归造成毒害。本试验证明当归营养期有较明显的自毒作用,这可能是引起当归连作障碍的原因之一。对当归的化学成分分析表明^[11],其体内含有阿魏酸、香草酸、丁二酸等多种有机酸、查尔酮衍生物、木犀草素等黄酮类和香豆素类物质,这些物质均为常见的化感物质。其中阿魏酸是较早被分离出来的当归有效成分,也是当归有机酸的主要组成^[11]。而阿魏酸已被证明是引起水稻

(*Oryza sativa*) 自毒作用的主要成份^[12]; 香豆素类也被认为是常见的自毒物质^[13]。当归自毒作用是否由这些物质直接或间接引起的, 尚需进一步证实。

3.2 当归对其他 3 种作物的化感作用

当归水浸液对油菜、小麦和燕麦的化感作用差异明显, 其中对油菜的抑制作用较强 ($M_3 = -0.3079$), 对小麦和燕麦的化感作用则较弱 (M_3 分别为 -0.0755 和 -0.1447), 这表明建立小麦、燕麦与当归的轮作制度, 是解决当归栽培中自毒问题的对策之一, 同时也证实了当地药农选用小麦和燕麦作为常用倒茬作物的合理性; 而油菜对当归的化感作用敏感, 从化感克生角度看, 不适宜与当归轮作。但在实际生产中却是常用的轮作作物之一, 且长势良好。其原因可能与化感物质与土壤环境因子相互作用或化感物质自身发生转化有关^[1,14]。在自然条件下, 当归化感物质通过淋溶进入土壤, 必须通过土壤媒介而影响受体植物。而土壤环境十分复杂, 许多土壤微生物可改变土壤物理性质和化学成分, 从而增强或削弱植物的化感作用^[15]; 同时, 化感物质又是一类具有反应活性的有机物质, 在土壤中本身的理化性质也会发生改变, 从而影响其化感作用强度^[1], 这就可能导致试验条件下的结果与实际情况不一致。此外, 小麦和燕麦同属禾本科常见作物, 两者对当归化感作用均不敏感, 因此推断同类化感物质对受体植物的作用可能具有科属选择性。

3.3 当归营养期根部及茎叶部化感作用的差异及浓度效应

许多研究表明, 不同植物器官所含化感物质的种类和含量不同^[1,15], 且化感物质具专一性和选择性^[16,17], 这可能是导致当归自毒作用茎叶部强于根部, 而对油菜、小麦和燕麦的化感作用则是根部强于茎叶部的原因。同一化感物质对同一植物, 浓度不同会出现抑制或促进两种截然不同的结果^[16], 而相互作用的两种植物都可能产生并释放出化感物质, 最终结果则取决于彼此释放的化感物质的相对浓度^[17,18]。当归水浸液对油菜、小麦、燕麦的化感作用总体表现为抑制作用, 但区分不同浓度水浸液时则出现高抑制低促进的浓度效应, 这种浓度效应在自然状态下应当是化感物质不断积累的结果。因此, 在当归栽培中, 选择合适的作物及时轮作是克服连作障碍的途径。

参考文献

- [1] 孔垂华, 胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 94-98, 143-152, 126-143
- [2] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 论农业持续发展中的化感作用[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 633-635
- [3] 高微微, 赵杨景, 王玉萍, 等. 我国药用植物栽培地的可持续利用研究[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(20): 1665-1669
- [4] 张远莉, 陈建群, 卫春, 等. 薄荷化感物质的作用及其初步分离[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 611-615
- [5] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(9): 714-717
- [6] 赵杨景, 王玉萍, 邵迪, 等. 西洋参自毒及紫苏对它的相生作用研究[C]//药用植物研究与中药现代化——第四届全国药用植物学与植物药学术研讨会论文集, 2004
- [7] 高群, 孟宪志, 于洪飞. 连作障碍原因分析及防治途径研究[J]. 山东农业科学, 2006(3): 60-63
- [8] Williamson G. B., Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1998, 14(1): 181-187
- [9] 马瑞君, 王明理, 赵坤, 等. 高寒草场优势杂草黄帚橐吾水浸液对牧草的花感作用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 845-850
- [10] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 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[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 528-535
- [11] 王芳, 李东. 当归的化学及药理研究进展[J]. 中国药房, 2003, 14(10): 630-631
- [12] Xuan T. D., Tsuzuki E. Allelopathic plants: Buckwheat[J]. Allelopathy Journal, 2004, 13: 137-148
- [13] 王强, 阮晓, 李兆慧, 等. 植物自毒作用及针叶林自毒研究进展[J]. 林业科学, 2007, 43(6): 134-142
- [14] 董章杭, 林文雄. 作物化感作用研究现状及前景展望[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 80-83
- [15] Reigosa M. J., Pedrol N., González L. Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications[M]. Netherland: Springer, 2006: 312-322
- [16] 和丽忠, 陈锦玉, 董宝生, 等. 国内植物化感作用研究概况[J]. 云南农业科技, 2001(1): 37-41
- [17] 赵杨景. 植物化感作用在药用植物栽培中的重要性和应用前景[J]. 中草药, 2000, 31(8): 附1-附4
- [18] 孙文浩, 俞子文, 余叔文. 水葫芦对藻类的克制效应[J]. 植物生理学报, 1988, 14(3): 294-300