

当归不同发育期自毒作用研究

惠继瑞, 李晶, 赵庆芳, 马瑞君* (西北师范大学生命科学学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 以甘肃省漳县当归为材料, 模拟雨水淋溶途径, 研究了当归不同发育期的化感作用。结果表明, 当归具有自毒作用, 且不同发育期自毒效应不同, 其强弱程度为: 营养期> 幼苗期> 繁殖期> 成熟期; 地上部自毒效应强于根部; 各发育期自毒效应具有一定的浓度依赖性。因此认为, 自毒作用是造成当归连作障碍的因素之一, 雨水淋溶是自毒物质释放的一条重要途径。

关键词 当归; 发育期; 水浸液; 自毒作用; 连作障碍

中图分类号 Q946 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)02-00605-03

Study on Autotoxicity of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels in Different Development Stages
HUI Ji-rui et al (College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract The self-allopathy of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels in different development stages from Zhangxian of Gansu province was studied by simulating the way of rain eluviation. The result showed that *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels had autotoxicity, and autotoxic effects were not the same in different development stages. The autotoxic sensitivity was in order of nutrition stage>seedling stage>reproduction stage>maturation stage. The autotoxic effect from above-ground organs was stronger than root. In different development stages, autotoxic effect increased with concentration up. Therefore, autotoxicity was one of the factors leading to succession cropping obstacle, and rain eluviation was an important way of autotoxic chemicals releasing.

Key words *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels; Development stage; Aqueous extract; Autotoxicity; Succession cropping obstacle

自毒作用是化感作用的一种特殊形式, 广泛存在于自然界^[1-9]。据文献报道, 中草药种植过程中普遍存在着连作障碍现象^[10-12], 其自毒作用是引起连作障碍的重要原因之一^[10]。当归 *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels 是伞形科当归属多年生草本植物, 是我国常用的名贵中药材之一, 主要种植于甘肃省定西市漳县和岷县一带, 其中以岷县当归最为著名。长期以来, 当归种植过程中存在的“必须生地育苗”、“重茬栽培障碍”问题严重制约了当归种植和相关产业的发展。目前, 已有文献证明, 苍术、西洋参等中药材的连作障碍与自毒作用有关^[11,13], 而对当归连作障碍原因的探讨主要从土壤营养结构、理化性质和微生物群落结构等方面进行, 未有文献明确从化感作用角度对其进行分析, 为此, 笔者从化感作用入手, 研究了不同发育期当归根部及地上部水浸液对其种子萌发和幼苗生长的影响, 旨在为解决当归连作障碍问题提供基础资料和理论依据。

1 材料与方

1.1 材料 当归材料采于甘肃省定西市漳县石川乡(104°29'E, 34°52'N), 分4期, 幼苗期、营养期、繁殖期和成熟期, 分别于2006年8月和10月采集, 由当地村民提供。将当归鲜材料带回实验室, 冲洗干净, 分根部和地上部, 剪成1-2 cm小段, 室温(20-24℃)下用蒸馏水浸泡48 h, 过滤, 制得0.200 gFW/ml(相当于1 g鲜材料浸于5 ml蒸馏水中)浓度的母液, 然后将母液稀释成0.100、0.050、0.025 gFW/ml, 共4个浓度梯度。将配制好的水浸液放置冰箱低温保存待用。

1.2 方法

1.2.1 种子萌发测定。 培养皿及纸质萌发床于105℃高温灭菌, 当归种子用浓度3%的次氯酸钠溶液消毒。将100粒当归种子整齐摆放在直径12 cm的无菌培养皿中, 每皿加入3 ml相应浓度水浸液, 对照组加蒸馏水, 3个重复。将培

养皿置入人工气候箱, 20℃、光照12 h/d下培养; 24 h后, 每皿补充相应浓度的水浸液2 ml, 培养过程中保持纸床湿润; 96 h后, 开始观察记数, 每24 h统计1次, 共统计10次, 并计算萌发指数。

1.2.2 幼苗生长测定。 采用小杯法^[14]。将经过预萌发处理的当归种子(大小、生物量一致)移入纸质床的小烧杯中, 每杯10粒, 加入相应浓度的水浸液2 ml, 并用保鲜膜封口, 每浓度梯度3个重复, 以蒸馏水作对照, 置入人工气候箱, 20℃光照12 h/d下培养。第10天, 测量幼苗的根长、苗高和植株干重。测干重时将同一浓度处理的幼苗放于一起, 置烘箱中105℃杀青30 min, 然后温度降至70℃烘干至恒重。

1.3 数据处理 萌发率=(最终萌发数/100)×100%; 萌发指数 $I = (G_t/D_t)$, 式中, G_t 为 t 天时的种子萌发数, D_t 为相对应的种子萌发天数。参照 Williamson 等^[15]的方法, 采用化感作用效应指数(RI)度量化感作用的强度。该文所有测定结果全部转换为RI作为衡量指标。

$$RI = \begin{cases} 1 - C/T, & \text{当 } T > C \text{ 时;} \\ T/C - 1, & \text{当 } T < C \text{ 时。} \end{cases}$$

式中, C为对照值, T为处理值, RI>0为促进, RI<0为抑制, 绝对值的大小与作用强度一致。

为了比较同一因素不同层次或水平间的自毒作用强弱, 参考马瑞君等^[16]的方法, 计算化感作用平均敏感指数(M)。

$$M_R = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

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 不同处理对当归种子萌发和幼苗生长的抑制效应 表1) 由表1可知, 当归不同发育期根部及地上部水浸液对其种子萌发和幼苗生长均具有明显的抑制作用, 各项测定指标的160项数据中有130项是负值, 抑制率达81.3%, 表明当归自身化感抑制作用(即自毒作用)在其生长发育过程中普遍存在。从种子萌发角度来看, 对萌发率和萌发指数测

基金项目 甘肃省中青年科学基金项目(3YS061-A25-030); 西北师范大学生命科学研究项目(2006)。

作者简介 惠继瑞(1982-), 男, 甘肃庆阳人, 硕士研究生, 研究方向: 植物生态学。* 通讯作者。

收稿日期 2007-09-22

定的 64 项数据中有 57 项为负值, 抑制率达 89.1%, 其中, 29 项数据达到了显著或极显著水平。不同发育期地上部水浸液对种子萌发的抑制作用普遍强于根部, 其中, 抑制作用达显著或极显著水平的 29 项数据中, 有 21 项是地上部水浸液, 幼苗期表现尤为突出。从幼苗生长过程来看, 处理组当归幼苗的根长明显受抑制, 随着培养时间的延长, 幼苗根部逐渐发黄、变褐, 随着处理浓度增大, 受抑制程度增强,

且最大浓度处理多数幼苗根部腐烂, 甚至整株死亡。对当归幼苗生长期测定的 96 项数据中有 73 项是负值, 抑制率达 76.0%。对根长和苗高测定的 64 项数据中, 有 28 项达到显著或极显著水平, 其中, 对幼苗根长抑制达显著或极显著水平的有 26 项, 占 92.9%, 而对苗高的影响不大, 达极显著水平的只有 2 项。幼苗干重受抑制程度不尽相同, 没有表现出明显的规律性, 但最大浓度对幼苗干重有明显抑制作用。

表 1 不同处理对当归种子萌发和幼苗生长的影响
Table 1 Effect of different treatments on Angelica seed germination and seedling growth

提取液 Extract	浓度 gFW/ml Concentration	幼苗期 Seedling stage					营养期 Vegetative period				
		萌发率 Germination rate	萌发指数 Germination index	根长 Root length	苗高 Seedling height	干重 Dry weight	萌发率 Germination rate	萌发指数 Germination index	根长 Root length	苗高 Height	干重 Dry weight
根水浸液 Water extract of root	0.200	-0.06	-0.19	-0.30*	-0.17**	-0.01	-0.59**	-0.84**	-0.94**	-0.35**	-0.65
	0.100	-0.02	-0.09	-0.16	-0.02	0.23	-0.06	-0.40**	-0.43**	-0.06	0.11
	0.050	-0.04	-0.08	-0.02	0.04	0.04	-0.04	-0.25**	-0.36**	0.00	0.21
	0.025	-0.05	-0.11	0.09	-0.05	0.12	0.01	-0.12	-0.11	0.04	0.13
地上部水浸液 Water extract of above-ground part	0.200	-0.97**	-0.99**	-0.89**	-0.15	-1.00	-0.79**	-0.90**	-1.00**	-0.29	-0.89
	0.100	-0.29**	-0.54**	-0.74**	-0.07	-0.22	-0.21*	-0.41**	-0.77**	-0.05	-0.08
	0.050	-0.01	-0.20**	-0.63**	-0.06	0.00	0.00	-0.14	-0.51**	-0.02	0.04
	0.025	0.11*	-0.08*	-0.20*	0.06	0.19	0.12	0.09	-0.23*	-0.01	0.10

提取液 Extract	浓度 gFW/ml Concentration	繁殖期 Breeding period					成熟期 Maturity				
		萌发率 Germination rate	萌发指数 Germination index	根长 Root length	苗高 Seedling height	干重 Dry weight	萌发率 Germination rate	萌发指数 Germination index	根长 Root length	苗高 Height	干重 Dry weight
根水浸液 Water extract of root	0.200	-0.15	-0.42**	-0.48**	-0.10	-0.03	-0.05	-0.28**	-0.60**	-0.03	0.09
	0.100	0.01	-0.27**	-0.44**	-0.06	-0.19	-0.03	-0.21**	-0.38**	0.01	-0.25
	0.050	0.07	-0.09	-0.33**	-0.03	-0.12	-0.11	-0.24**	-0.33**	-0.02	-0.21
	0.025	-0.05	-0.15	-0.36**	-0.09	-0.14	-0.05	-0.08	-0.10	-0.04	-0.22
地上部水浸液 Water extract of above-ground part	0.200	-0.21**	-0.44**	-0.58**	0.06	-0.30	-0.15	-0.34**	-0.71**	-0.04	0.14
	0.100	-0.14*	-0.39**	-0.58**	-0.07	0.05	-0.15	-0.31**	-0.50**	-0.01	0.05
	0.050	-0.19**	-0.34**	-0.51**	-0.03	-0.03	-0.10	-0.21**	-0.48**	0.02	-0.08
	0.025	-0.02	-0.19**	-0.22	-0.06	-0.04	-0.01	-0.12	-0.32**	0.10	0.04

注: 表中数据 (RI) 为同一处理 3 次重复化感作用效应值的算术平均值; 处理组与对照组间的差异显著性由 LSD 法检验所得, 其中 * $P<0.05$, ** $P<0.01$; 幼苗干重是同一处理 3 次重复的总重, 只表示平均化感作用效应, 未进行显著性差异分析。

Note: RI is the arithmetic mean of effect value of allelopathy with 3 repeats; The difference significance of control group and treatment groups is obtained by LSD method, among which * $P<0.05$, ** $P<0.01$; seedling dry weight is the total weight of 3 repeats of one treatment, which only indicate average allelopathy and significant differences analyse is not carried out.

2.2 不同处理对当归不同发育期自毒作用的敏感性 (表 2) 由表 2 可知, 当归种子萌发阶段和幼苗生长阶段平均敏感指数分别为 -0.211 和 -0.196, 表明种子萌发比幼苗生长对自毒物质更加敏感。比较各项测定指标对当归自毒作

用的敏感性发现, 在当归不同发育期, 各测定指标的敏感性表现出一定的规律, 即: 根长>萌发指数>萌发率>干重>苗高 (繁殖期略有不同), 因此认为, 在种子萌发阶段, 萌发指数的敏感性最强, 在幼苗生长阶段, 根长的敏感性最强; 当

表 2 不同发育期当归自毒作用的敏感指数
Table 2 Toxic effects of Angelica sensitive index at different developmental stages

发育期 Developmental stages	三级敏感指数 M_3 (综合自毒效应) Third sensitive index (integrated self-poisoning effect)	二级敏感指数 M_2 Two sensitive index		一级敏感指数 M_1				
		种子萌发阶段 Seed germination stage	幼苗生长阶段 Seedling growth stage	萌发率 Germination rate	萌发指数 Germination index	根长 Root length	苗高 Height	干重 Dry weight
幼苗期 Seeding stage	-0.195	-0.226	-0.164	-0.167	-0.285	-0.358	-0.052	-0.081
营养期 Vegetative period	-0.269	-0.283	-0.256	-0.195	-0.371	-0.544	-0.093	-0.131
繁殖期 Breeding period	-0.190	-0.185	-0.194	-0.084	-0.286	-0.436	-0.047	-0.100
成熟期 Mature stage	-0.160	-0.152	-0.168	-0.082	-0.221	-0.427	-0.002	-0.076
平均 Average	-0.203	-0.211	-0.196	-0.132	-0.291	-0.441	-0.049	-0.097

注: M_1 中, $n=24$, 表示处理分根和地上 2 部分, 每部分设 4 个浓度, 各浓度有 3 个重复; M_2 中, 种子萌发阶段 包括萌发率和萌发指数 2 个指标) $n=48$, 幼苗生长阶段 包括根长、苗高和干重 3 个指标) $n=72$; M_3 中, 综合自毒效应阶段 包括种子萌发和幼苗生长 2 个阶段) $n=120$ 。

Note: In M_1 , $n=24$ means treatment is divided into two parts of root and above ground. Each part has 4 concentrations with 3 repeats in each one; In M_2 , $n=48$ at seed germination stage, $n=72$ at seedling growth stage; In M_3 , $n=120$ at comprehensive toxic effect stage.

归不同发育期综合自毒效应 (M_3) 强度为: 营养期>幼苗期>繁殖期>成熟期。因此推断, 当归在营养生长期自毒作用最强。

2.3 当归根部及地上部自毒效应的差异性分析 (表 3) 由表 3 可知, 种子萌发阶段, 地上部水浸液对种子萌发的抑制作用普遍较强, 其平均抑制效应为 -0.266, 是根部的 1.70 倍, 幼苗期地上部水浸液的抑制作用更强烈 ($M=-0.372$), 其抑制效应是根部的 4.70 倍; 幼苗生长阶段, 地上部水浸液

对幼苗生长的平均抑制效应为 -0.240, 是根部的 1.60 倍, 幼苗期地上部产生的抑制效应尤其强烈, 是根部的 18.20 倍。综合来看, 当归不同发育期地上部水浸液产生的自毒效应均强于根部 (成熟期有所不同), 其平均抑制效应是根部的 1.62 倍。

2.4 当归自毒作用的浓度依赖性分析 (表 4) 由表 4 可知, 种子萌发阶段和幼苗生长阶段对不同发育期当归自毒作用的敏感指数随着浓度增大而减小, 即自毒作用强度增

表 3 当归根部及地上部水浸液对其种子萌发和幼苗生长的自毒效应比较

Table 3 Comparison of toxic effects between seed germination and seedling growth affected by Angelica root and above-ground flooding

提取液 Extract	发育期 Developmental stages	种子萌发阶段 Seed germination stage	幼苗生长阶段 Growth stage	综合自毒效应 Comprehensive toxic effects
根水浸液 Water extract of root	幼苗期 Seeding stage	-0.080	-0.017	-0.049
	营养期 Vegetative period	-0.286	-0.202	-0.244
	繁殖期 Breeding period	-0.129	-0.196	-0.163
	成熟期 Mature stage	-0.132	-0.189	-0.160
	平均 Average	-0.157	-0.151	-0.154
地上部水浸液 Water extract of above-ground part	幼苗期 Seeding stage	-0.372	-0.310	-0.341
	营养期 Vegetative period	-0.279	-0.309	-0.294
	繁殖期 Breeding period	-0.241	-0.193	-0.217
	成熟期 Mature stage	-0.171	-0.148	-0.160
	平均 Average	-0.266	-0.240	-0.250

表 4 当归不同浓度水浸液对其种子萌发和幼苗生长的自毒效应比较

Table 4 Comparison of the effect of different water extract concentrations from Angelica on the toxic efficiency of seed germination and seedling growth

水提液浓度 Water extract concentration	发育期 Development stages	种子萌发阶段 Seed germination stage	幼苗生长阶段 Seedling growth stage	综合自毒效应 Comprehensive toxic effects
0.200	幼苗期 Seeding stage	-0.551	-0.420	-0.485
	营养期 Vegetative period	-0.779	-0.689	-0.734
	繁殖期 Breeding period	-0.303	-0.237	-0.270
	成熟期 Mature stage	-0.205	-0.221	-0.213
	平均 Average	-0.459	-0.392	-0.426
0.100	幼苗期 Seeding stage	-0.236	-0.165	-0.200
	营养期 Vegetative period	-0.269	-0.212	-0.241
	繁殖期 Breeding period	-0.197	-0.214	-0.206
	成熟期 Mature stage	-0.174	-0.180	-0.177
	平均 Average	-0.219	-0.193	-0.206
0.050	幼苗期 Seeding stage	-0.084	-0.105	-0.095
	营养期 Vegetative period	-0.107	-0.107	-0.107
	繁殖期 Breeding period	-0.138	-0.174	-0.156
	成熟期 Mature stage	-0.165	-0.183	-0.174
	平均 Average	-0.123	-0.142	-0.133
0.025	幼苗期 Seeding stage	-0.033	0.035	0.001
	营养期 Vegetative period	0.024	-0.014	0.005
	繁殖期 Breeding period	-0.102	-0.152	-0.127
	成熟期 Mature stage	-0.063	-0.089	-0.076
	平均 Average	-0.044	-0.055	-0.049

加, 只有成熟期 0.100、0.050 gFW/ml 处理对幼苗生长的影响稍有不同。不同发育期, 当归综合自毒效应的结果全部表现为浓度依赖性, 即综合自毒效应强度与浓度呈正相关。

3 结论与讨论

3.1 当归连作障碍的原因 研究表明, 连作障碍可由土壤理化性质改变、有害微生物增加、土传病加重、土壤肥力下降和自毒物质积累等诸多因素引起^[12, 17-20], 其中, 自毒作用成为人们近年来关注的热点。在中草药种植过程中, 各类药材所含的次生代谢产物丰富, 自毒物质很容易积累而造成土壤环境恶化^[10-11, 21], 因此, 自毒作用很可能是引起连作障碍的主要原因。赵杨景等^[19]已证实, 西洋参存在明显的自毒作用, 自毒作用是引起西洋参连作障碍的主要原因之一; 郭兰萍等^[11]也证明, 栽培苍术的连作障碍与自毒作用有关。该研究表明, 当归根部及地上部水浸液对其种子萌发和幼苗生长均有明显的抑制作用, 因此, 当归具有较强的自毒作用, 且自毒作用可能是造成当归连作障碍的主要因素之一。

3.2 当归自毒物质进入环境的途径 化感物质进入环境的方式主要有雨水淋溶、根分泌、地上部挥发和残株或凋落枝叶分解, 其中雨水淋溶是化感物质进入土壤环境的重要途径之一^[22-25]。甘肃当归产于定西地区南部高寒阴湿区, 该区年降雨量在 500~600 mm, 集中于 6~9 月份, 该期正是当归生长发育的旺盛季节, 因此, 雨水淋溶就成为当归自毒物质释放的可能途径。该研究证实, 不同发育期, 当归水浸液能对其种子萌发和幼苗生长产生明显的抑制作用, 说明雨水淋溶是当归自毒物质进入土壤的途径之一。另外, 当归的

自毒作用具有浓度依赖性, 从而推断该自毒物质会在土壤中不断积累, 且随着浓度积累效应的增加, 对重茬育苗和栽培造成的障碍更加严重, 这与该地区忌 3 年或 3 年以上连作的生产实践经验相吻合, 也与多种作物忌连作的报道相一致。

3.3 当归种子萌发和幼苗生长对自毒物质的敏感性 测定种子萌发和幼苗生长是研究化感作用的常规手段, 种子萌发影响出苗率和种群数量, 幼苗生长则直接影响到物种的生长状况、品质和产量。不同发育期当归水浸液对其种子萌发和幼苗生长的影响不尽相同, 这可能与不同时期产生的自毒物质种类不同有关。在种子萌发阶段, 萌发指数的敏感性最强, 表明种子萌发速度受到较大影响, 从而延迟种子的发芽时间, 影响出苗整齐度; 在幼苗生长阶段, 根长受到严重抑制, 根部褐化变软, 甚至腐烂。因此推断, 连作当归根部易腐烂、生病虫害和品质产量下降很可能是自毒物质在土壤中积累的结果。

3.4 不同发育期当归自毒作用强度的差异性 不同发育期, 植物化感作用强度不同。这是由不同生长季节化感物质的种类和含量不同造成的^[22, 25], 因此, 当归不同发育期自毒作用的差异可能与不同时期产生自毒物质的种类和积累的量有关。如当归营养生长主要在 7~9 月份, 该期当归生长旺盛, 代谢活动频繁, 主要促进药用根生长, 该时期产生的次生代谢产物种类可能较丰富, 含量较多, 而该季节又值秋天雨季, 自毒物质很容易释放出来, 因此表现出的自毒作用较强。

(下转第 611 页)

各组合间病情指数有一定差异,但观察的3个组合发病程度都很轻(表2)。

2.3 各品种田间显症的时差 田间观察当地中稻细菌性条斑病的发生时间,7月中旬始见零星病斑,7月下旬初出现大量病斑。在观察的5个品种中,发病最重的为金23A/O285,其不同叶位发病程度为倒3叶>倒2叶>倒1叶,中9A/O285的3个叶位发病程度比较均衡,其余3个由D38S配组品种的不同叶位发病程度总的表现则是倒3叶<倒2叶<倒1叶,且呈轻微感染,症状表现时间比其他品种更晚,这种症状出现时间的显著差异,表明以D38S配组的品种受细菌性条斑病侵染后,能够抑制病菌扩展。

3 小结与讨论

水稻细菌性条斑病已在我国南方的广东、广西、浙江、福建、湖南、江西等省稻作区迅速扩展蔓延,尤其是对杂交水稻生产造成了一定影响。水稻细菌性条斑病通过降低水稻结实率和千粒重来造成产量损失,产量损失程度与病叶率及其严重度有关^[2]。杂交水稻及其三系资源中抗细菌性条

斑病的抗源比率极低,生产上应用的杂交水稻品种的抗性普遍不够强,在中感以上^[3],杂交稻组合的抗病性除与恢复系有关外,还与不育系的抗病性有关^[4]。

田间抗性观察结果表明,以水稻短光低温敏不育系D38S作母本与多个恢复系配组的杂交稻组合,不仅表现出抗水稻细菌性条斑病,而且能抑制病菌扩展,在抗细菌性条斑病杂交水稻育种研究中,展示出良好的利用价值,改变了现有水稻不育系中缺抗水稻细菌性条斑病资源的现状,应用前景广阔。

参考文献

- [1] 黎世龄,高一枝.水稻新型短光敏两用不育系D38S的选育[J].安徽农业科学,2005,33(12):2233-2234,2251.
- [2] 童贤明,徐鸿润,朱灿星,等.水稻细菌性条斑病产量损失估计[J].浙江农业大学学报,1995,21(4):337-360.
- [3] 王汉荣,谢关林,冯仲民,等.水稻品种(系)对水稻细菌性条斑病的抗性评价[J].中国农学通报,1995,11(3):17-19.
- [4] 姬广海,许志刚.水稻品种对细菌性条斑病的抗性研究[J].西南农业大学学报,2001,23(2):164-166.
- [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] 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.
- [7] 张辰露,孙群,叶青.连作对丹参生长的障碍效应[J].西北植物学报,2005,25(5):1029-1034.
- [8] 赵杨景,杨峻山,王玉萍,等.西洋参、紫苏籽和薏苡根水提物的化感作用[J].中草药,2004,35(4):452-455.
- [9] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1998, 14(1): 181-187.
- [10] 马瑞君,王明理,赵坤,等.高寒草场优势杂草黄帚囊吾水浸液对牧草的化感作用[J].应用生态学报,2006,17(5):845-850.
- [11] 马云华,王秀峰,魏珉,等.黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响[J].应用生态学报,2005,16(11):2149-2153.
- [12] 梁银丽,陈志杰,徐福利,等.黄土高原设施农业中的土壤连作障碍[J].水土保持学报,2004,18(4):134-136.
- [13] 郑良永,胡剑非,林昌华,等.作物连作障碍的产生及防治[J].热带农业科学,2005,25(2):58-62.
- [14] 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.
- [15] 高薇薇,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.
- [16] 胡飞,孔垂华.胜红蓊化感作用研究.水溶物的化感作用及其化感物质分离鉴定[J].应用生态学报,1997,8(3):304-308.
- [17] JEFFERSON L V, PENNACCHIO M. Allelopathic effects of foliage extracts from four Chenopodiaceae species on seed germination[J]. Journal of Arid Environments, 2003, 55: 275-285.
- [18] MALLIK A U, PRESCOTT C E. Growth inhibition effects of salal on western hemlock and western red cedar [J]. Agronomy Journal, 2001, 93: 85-92.
- [19] 孔垂华.植物化感作用研究中应注意的问题[J].应用生态学报,1998,9(3):332-336.
- [20] WARDLE D A. Influence of plant age on allelopathic potential of *Carduus nutans* L. against pasture grasses and legumes[J]. Weed Research, 1993, 33: 69-78.

(上接第607页)

3.5 当归根部及地上部自毒作用的差异性 雨水淋溶是化感物质释放的途径之一,而植物的地上部分是首先接触雨水且接触面积较大的部位,因此化感物质很容易随着雨水进入土壤并积累。该研究表明,当归不同发育期地上部综合自毒效应较强,且幼苗期表现更为突出,说明当归根部及地上部自毒物质种类和含量具有差异性,而幼苗生长期自毒物质则主要分布于地上部。

关于当归自毒物质释放的其他途径、作用机理和自毒物质的分离鉴定有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 杜玲,曹光球,林思祖,等.杉木根际土壤提取物对杉木种子发芽的化感效应[J].西北植物学报,2003,23(2):323-327.
- [2] WARRAG M O A. Autotoxic potential of foliage on seed germination and early growth of mesquite (*Prosopis juliflora*) [J]. Journal of Arid Environments, 1995, 31: 415-421.
- [3] ASAO K T, HASEGAWA, SUEDA Y, et al. Autotoxicity of root exudates from taro [J]. Scientia Horticulture, 2003, 97: 389-396.
- [4] CANALS R M, EMETERIO L S, PERALTA J. Autotoxicity in *Lolium rigidum*: Analyzing the role of chemically mediated interactions in annual plant populations [J]. Journal of Theoretical Biology, 2005, 235: 402-407.
- [5] 王芳,王敬国.茄子秸秆水提物自毒作用初探[J].中国生态农业学报,2005,13(2):51-53.
- [6] 杨广超,吕卫光,沈其荣,等.西瓜的自毒作用研究.西瓜根、茎、叶的水和酒精浸提液对其种子发芽的影响[J].上海农业学报,2004,20(3):82-85.
- [7] 罗侠,潘存德,黄闽敏,等.天山云杉凋落物提取液对种子萌发和幼苗生长的自毒作用[J].新疆农业科学,2006,43(1):1-5.
- [8] 冯红贤,杨暹,李欣允,等.蔬菜连作对土壤生物化学性质的影响[J].长江蔬菜,2004(11):40-43.
- [9] 黄闽敏,潘存德,罗侠,等.天山云杉针叶提取物对种子萌发和幼苗生长的自毒作用[J].新疆农业大学学报,2005,28(3):30-34.

科技论文写作规范——材料与方法

清楚地交代出试验设计、研究对象及研究方法等。研究对象如品种、肥料、农药、土壤、病虫害等名称应交代清楚;还应交代试验必要的范围、重复次数及样本大小。对一般的研究方法注明出处即可,如采用××方法^[1](^[1]为在参考文献中的序号)。对于有所改进或新的方法要详细叙述,以便他人重复。