

DOI:CNKI:61-1390/S.20111216.1202.033

网络出版时间:2011-12-16 12:02

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111216.1202.033.html

老参地土壤提取液对水稻种子萌发及 幼苗生长的化感效应

张秋菊^{1,2}, 贲文锐^{3a}, 徐丽红^{3b}, 张连学²

(1 通化师范学院 生物系 吉林 通化 134001; 2 吉林农业大学 中药材学院 吉林 长春 130118;

3 东北农业大学 a 园艺学院, b 生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

【摘要】 **【目的】**探讨不同质量浓度老参地土壤提取液对水稻种子萌发、幼苗生长及光合作用的影响,为人参-水稻轮作体系研究提供参考。**【方法】**采用室内生物测定法及基质盆栽试验,以去离子水为对照(CK),研究低(10 g/mL)、中(20 g/mL)和高(40 g/mL)3种质量浓度的老参地土壤水提液,对水稻种子萌发、幼苗生物量、根系活力、叶片可溶性蛋白和叶绿素合成、电导率及净光合速率的影响。**【结果】**与对照相比,不同质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻种子萌发率、苗高及幼苗生物量均有不同程度的增加,其中随着老参地土壤提取液处理质量浓度的升高,水稻种子萌发率逐渐增加,中、高质量浓度处理与CK差异显著($P<0.05$)。当老参地土壤提取液质量浓度为40 g/mL时,单株鲜、干质量最大,分别为14.22和1.66 mg。各质量浓度老参地土壤提取液处理对苗高影响不显著,却明显抑制了水稻幼根的生长。中、高质量浓度老参地土壤提取液处理均显著促进了幼苗叶片可溶性蛋白合成,低质量浓度老参地土壤提取液处理明显促进了根系活力的增加,而高质量浓度老参地土壤提取液处理则降低了根系活力;不同质量浓度老参地土壤提取液处理均显著降低了水稻叶片的叶绿素含量和绝对电导率;低、中质量浓度老参地土壤提取液处理下叶片净光合速率均有增加,而高质量浓度老参地土壤提取液处理则表现出微弱的抑制作用。**【结论】**老参地土壤水提取液对水稻早期萌发生长有一定的促进作用,且对部分生理指标(根系活力和净光合速率)表现为“低促高抑”的剂量相关性反应。

【关键词】 老参地土壤提取液;水稻;幼苗生长;光合作用;化感效应

【中图分类号】 S153.5;S511.06

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)01-0049-06

Allelopathic effects of extract from old ginseng soil on seed germination and seedlings growth in rice

ZHANG Qiu-ju^{1,2}, BEN Wen-rui^{3a}, XU Li-hong^{3b}, ZHANG Lian-xue²

(1 Department of Biology, Tonghua Normal University, Tonghua, Jilin 134001, China;

2 College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

3 a College of Horticulture, b College of Life Sciences, Northeast Agricultural University, Haerbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: **【Objective】** The allelopathic effects of extract from old ginseng soil on seed germination and growth and photosynthesis of rice were investigated to provide reference for ginseng-rice rotation. **【Method】** The deionized water was used as the control, both bioassay methods and pot experiment were done to measure germination rate, root and shoot length, biomass, root vigor, electric conductivity, soluble protein and chlorophyll content, and net photosynthesis rate of rice seedlings under 10, 20 and 40 g/mL water extract concentration. **【Result】** After treated with different concentrations of extract from old ginseng soil,

* [收稿日期] 2011-06-29

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目“平地栽参关键技术研究”(2007BAI38B01)

[作者简介] 张秋菊(1968—),女,吉林通化人,在读博士,副教授,主要从事植物生理生态研究。E-mail:zhangqiuju5515@163.com

[通信作者] 张连学(1955—),男,吉林长春人,教授,博士生导师,主要从事药用植物学研究。E-mail:zlx863@163.com

rice seed germination rate, shoot height and biomass were all promoted than the control when the treatment concentration increased. Germination rate exhibited significant differences at 20 g/mL and 40 g/mL treatments ($P < 0.05$). The biggest fresh quality and dry quality of single plant were respectively 14.22 mg and 1.66 mg when the concentration was 40 g/mL. The change of rice shoot height were unobvious compared with the control, but root lengths all were significantly inhibited after treated with different concentrations. The soluble protein contents gradually enhanced at middle and higher concentrations. However, root vigor of rice exhibited a dose-dependant treated with concentration changing. The chlorophyll synthesis was inhibited significantly with the increase of concentration from 10 g/mL to 40 g/mL of the control. Absolute EC of leaves all was lowered. The net photosynthesis rate showed stimulatory effect under 10 and 20 g/mL, and inhibitory effect under 40 g/mL slightly. 【Conclusion】 Taken together, extract from old ginseng soil had stimulating allelopathic effects on seed germination and seedling growth of rice but root length. Both root vigor and net photosynthesis rate exhibited promotion at lower concentration and inhibition at higher concentration.

Key words: extract from old ginseng soil; rice; seedling growth; photosynthesis; allelopathic effect

化感作用是指活体植物通过地上部分的淋洗和挥发、根系分泌以及植物残体的分解等途径,向环境中释放次生代谢物质,对周围植物产生间接或直接有害或有利的的作用,从而影响周围或后茬植物的生长发育^[1]。化感作用广泛存在于农业生态系统中,在作物连作障碍中表现得尤其明显,对农业生产中的种间关系构建、种植种类搭配及其产量表现具有重要影响^[2]。

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)系五加科多年生草本植物,主要分布在吉林省长白山区,是驰名中外的名贵中药材。人参严重忌连作,栽培人参以后的土地俗称“老参地”,老参地再种植人参将产生“烧须、病害多、产量低”等连作障碍^[3]。近年来的研究表明,老参地连作障碍产生的主要原因可能源于土壤微生物种群变化、土壤养分不均衡及人参自身分泌物产生的化感作用等 3 个因素的影响^[4]。人参可通过根系分泌和残体分解产生有毒化感物质,并累积于根际土壤中。陈长宝^[5]发现,参地土壤提取物能抑制人参种子的萌发,并从有抑制活性的组分中鉴定出了约 55 种化学物质。李勇等^[6]报道,人参根际土在特定质量浓度下对人参种子胚根和胚轴生长具有化感效应。因此,合理轮作成为克服人参连作障碍的首选措施。

我国人参栽培主要实行伐林种参,随着宜参林地资源的枯竭及国家对天然林采伐的限制,利用农田栽培人参是参业可持续发展的必然趋势,韩国、日本及朝鲜都广泛应用农田栽培人参^[7-8]。国内外农田栽培人参的轮作模式主要有 人参-粮食作物和 人参-药材 2 种,如 人参-水稻、人参-玉米、人参-细辛、

人参-紫苏及 人参-西洋参短期轮作等^[9-11],其中推广面积最大的是人参与水稻的水旱轮作模式,与旱-旱轮作模式相比间隔年限短(一般 4~5 年为 1 个周期),老参地轮作水稻后土壤微生态环境修复较快,能有效防止人参病虫害的发生,并且可以充分利用水田灌溉设施^[12]。但目前关于人参-水稻轮作体系中化感作用因子的研究尚未见报道。为此,本试验选择水稻为受体,研究老参地土壤提取物对水稻早期生长的影响,以确定轮作种类间的化感效应,为深入研究人参-水稻轮作体系提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 老参地土壤提取液的制备

老参地土壤于 2011 年 3 月下旬取自吉林农业大学平地栽参试验基地,为连作 3 年地块,土壤类型为黑壤土。将采集土样在实验室阴干后,过孔径 0.25 mm 筛,取土样 200 g,加入 300 mL 去离子水,放在恒温摇床(转速为 60 r/min)中振荡提取过夜,连续提取 3 次,每次 24 h,过滤后合并滤液,制备得质量分数 40% 的母液。经预试验确定用低(10 g/mL)、中(20 g/mL)和高(40 g/mL)3 种质量浓度老参地土壤提取液进行后续试验,并将其置于 4 ℃ 冰箱保存备用。

1.2 水稻种子萌发及幼苗的培养

供试水稻种子购自吉林通化市种子公司。选择饱满的水稻种子洗净,用 1 g/L HgCl₂ 消毒 20 min, 25 ℃ 浸种 48 h,置于直径为 10 cm 的培养皿中,底铺双层滤纸,每皿均匀摆放 50 粒种子。培养皿加盖于 25 ℃ 培养箱中避光发芽。处理组供以 10, 20, 40

g/mL老参地土壤提取液,5 mL/皿,对照组(CK)供以等体积的去离子水,萌发期间保持皿内湿润,以皿底不积水为宜,2 d后测定发芽率。将经相同处理种子播于装有高温消毒玻璃砂的大培养皿中,每天 12 h/12 h 光暗处理,其他培养条件同上,4~5 d 后用线绳法测量苗高、根长,称量幼苗地上部和地下部鲜质量,在 70 ℃干燥箱中烘干至恒质量后测定其干质量。

1.3 盆栽试验

取 1.2 中已发芽水稻种子,播入装有玻璃砂的泡沫箱中,每箱 50 株为 1 个处理,株行距 3 cm×4 cm,加盖放入人工气候箱中(25 ℃),以 1/2 Hoag-land 营养液保持基质湿润。待其露针后,揭去箱盖,12 h/12 h 光暗处理,待幼苗长到 4 叶时分别浇以 10,20,40 g/mL 老参地土壤提取液,每株平均 5 mL,对照组供以等体积的去离子水,处理 48 h 后进行生理指标的测定。以上每处理重复 3 次,试验按随机区组排列,并定时移动保持受光均匀。

1.4 生理指标的测定

取水稻幼苗 1~2 cm 根尖,采用红四氮唑(TTC)还原法测定根系活力^[13];考马斯亮蓝 G-250 染色法测定叶片可溶性蛋白含量^[13];以 V(乙醇):V(丙酮):V(蒸馏水)=45:45:10 为提取液,4 ℃避光提取叶绿素 48 h,于波长 645 和 663 nm 分别测定吸光度,计算叶绿素含量;取处理水稻幼苗叶片切段浸入去离子水中,抽真空 1 h,采用 DDS-11C 型电导率仪测定电导率(EC),以煮死幼叶 EC 值为参比计算相对电导率。采用 Li-6400 便携式光合测定仪(USA)于 10:30—11:30 对叶片净光合速率进

行测定。每个指标重复测定 3 次,取平均值。

1.5 数据处理

化感效应指数(RI)采用 Williamson 等^[14]的公式计算: $RI=1-C/T(T\geq C)$ 或 $RI=T/C-1(T<C)$,其中 C 为对照组测定值,T 为处理组测定值。 $RI>0$ 为促进作用, $RI<0$ 为抑制作用。

数据均用“平均值±标准误”(X±SE)表示。数据采用软件 SPSS 17.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA),用 LSD 法检验各处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 老参地土壤提取液对水稻种子萌发及幼苗生长的影响

由表 1 可知,不同质量浓度的老参地土壤提取液均促进了水稻种子的萌发和苗高的伸长(RI 均为正值),而对水稻幼根伸长却有抑制作用(RI 均为负值)。与 CK 相比,10,20 和 40 g/mL 老参地土壤提取液处理的发芽率分别增加了 5.5%,6.4%和 8.0%,且以中、高质量浓度老参地土壤提取液处理与 CK 差异显著(P<0.05);低、中、高质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻苗高均有增加,增量分别为 0.14,0.15 和 0.20 cm,但与 CK 差异不显著;不同质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻幼根的根长均降低,其中 40 g/mL 老参地土壤提取液处理与 CK 差异显著。这可能是由于水稻根系最先接触到土壤中的化感物质,因此根系对环境因子的敏感程度要快于幼苗。

表 1 不同质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻种子萌发及幼苗苗高和根长的变化

提取液质量浓度/ (g·mL ⁻¹) Extract concentration	发芽率 Germination rate		苗高 Shoot height		根长 Root length	
	测定值/% Value	RI	测定值/cm Value	RI	测定值/cm Value	RI
0(CK)	0.827±0.02	0	1.23±0.07	0	3.49±0.20	0
10	0.873±0.01	+0.052	1.37±0.06	+0.102	3.24±0.15	-0.071
20	0.880±0.01*	+0.060	1.38±0.09	+0.108	3.14±0.21	-0.101
40	0.893±0.07*	+0.073	1.43±0.03	+0.139	2.91±0.10*	-0.166

注:RI 中+表示促进作用,-表示抑制作用;* 和 * * 则分别表示在 P=0.05 和 P=0.001 水平上与对照有显著差异。以下图表相同。
Note:In RI column,+ indicates promotion,- indicates inhibition;* and * * indicate significant differences among the treatments at 0.05 and 0.001 level respectively. The same as below.

表 2 显示,10,20 和 40 g/mL 老参地土壤提取液均促进了水稻幼苗地上部和地下部生物量的增加,且地上部和地下部生物量基本随着老参地土壤提取液质量浓度的增加而增大。低质量浓度老参地土壤提取液处理对幼苗地上部和地下部干质量均有

微弱的促进作用。除地下部干质量在中质量浓度老参地土壤提取液处理达到最大值然后略有下降外,中、高质量浓度老参地土壤提取液处理幼苗地上部干、鲜质量和地下部鲜质量与 CK 差异显著。水稻幼苗地上部生物量的增加幅度明显比地下部大,说

明老参地土壤提取液对水稻地下部分生长的影响大于地上部。0,10,20 和 40 g/mL 老参地土壤提取液处理水稻,单株鲜生物量分别达到 10.84,11.34,13.25 和 14.22 mg,单株干生物量分别达到 1.33,1.41,1.57 和 1.66 mg。

表 2 不同质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻幼苗地上部与地下部生物量的变化

Table 2 Changes of biomass of above ground and under ground in rice after treated with extract from old ginseng soil									
提取液质量浓度/ (g · mL ⁻¹) Extract concentration	地上部干质量 Aboveground dry quality		地下部干质量 Underground dry quality		地上部鲜质量 Aboveground fresh quality		地下部鲜质量 Underground fresh quality		
	测定值/(mg · 株 ⁻¹) Value	RI	测定值/(mg · 株 ⁻¹) Value	RI	测定值/(mg · 株 ⁻¹) Value	RI	测定值/(mg · 株 ⁻¹) Value	RI	
0(CK)	0.69±0.02	0	0.64±0.03	0	5.17±0.23	0	5.67±0.29	0	
10	0.76±0.04	+0.015	0.65±0.01	+0.044	5.41±0.23	+0.043	5.93±0.23	+0.092	
20	0.86±0.03*	+0.098	0.71±0.02*	+0.192	6.40±0.26*	+0.172	6.85±0.10*	+0.197	
40	0.97±0.04*	+0.072	0.69±0.02	+0.268	7.07±0.23*	+0.206	6.76±0.06*	+0.161	

2.2 老参地土壤提取液对水稻叶片可溶性蛋白及叶绿素含量的影响

可溶性蛋白含量是评价作物有机物质积累速率的重要指标。由图 1 可以看出,各质量浓度老参地土壤提取液处理对水稻叶片可溶性蛋白的合成均有促进作用,并且这种促进效果随着老参地土壤提取液质量浓度的升高而渐强,在中、高质量浓度老参地土壤提取液处理 48 h 后水稻叶片可溶性蛋白含量与 CK 差异显著($P<0.05$),分别升高了 1.99%和 2.40%。

叶绿素是植物主要的光合色素,是进行光合作用的基础物质,承担着收集和转换光能的任务。由图 2 可以看出,处理 48 h 后各质量浓度的老参地土壤提取液对水稻叶片叶绿素合成有抑制作用,并且叶绿素含量随老参地土壤提取液质量浓度升高而呈逐渐下降的趋势,10,20 和 40 g/mL 老参地土壤提取液处理水稻叶片的叶绿素含量与 CK 相比均显著降低($P<0.05$),降低幅度分别为 11.81%,18.12%和 22.69%,说明叶绿素的合成受高质量浓度老参地土壤提取液的影响较大。

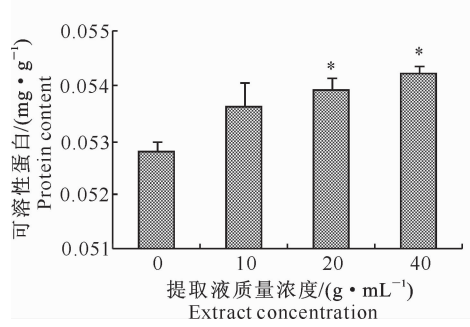


图 1 不同质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻幼苗可溶性蛋白含量的变化

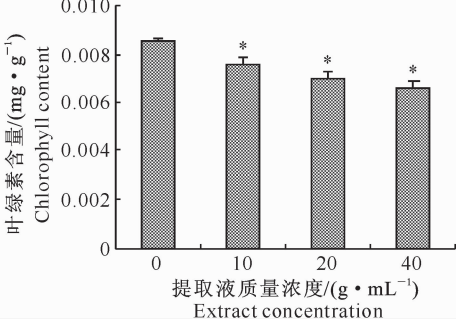


图 2 不同质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻幼苗叶绿素含量的变化

Fig. 1 Content of soluble protein in rice after treated with extract from old ginseng soil

Fig. 2 Content of total chlorophyll in rice after treated with extract from old ginseng soil

以上结果表明,老参地土壤中的化感物质进入水稻植株体内,通过干扰有机物或光合色素的合成来影响生理代谢过程,进而促进或抑制水稻的生长。

2.3 老参地土壤提取液对水稻叶片电导率和净光合速率的影响

植物细胞质膜对环境的变化反应是最敏感的,受到逆境胁迫时细胞膜的透性会增加,增加幅度越大说明受损伤越严重,质膜的通透性通常用 EC 表示。不同质量浓度的老参地土壤提取液处理水稻幼苗叶片的 EC 值、净光合速率及其 RI 见表 3。由表 3 可见,各质量浓度老参地土壤提取液处理 48 h 后

水稻叶片的绝对 EC 和相对 EC 均呈下降趋势,绝对 EC 与 CK 均有极显著差异($P<0.001$),而低质量浓度老参地土壤提取液处理水稻叶片的相对 EC 与 CK 差异显著。以上结果显示,不同质量浓度老参地土壤提取液处理使水稻叶片的细胞质膜透性降低,表明质膜的功能没有受到影响,老参地土壤提取液处理不能构成逆境胁迫。

由表 3 还可以看出,低、中质量浓度老参地土壤提取液处理对水稻幼苗光合作用有微弱的促进作用。当质量浓度为 10~20 g/mL 时,随着老参地土壤提取液处理质量浓度的增加,叶片净光合速率逐

渐增加;当老参地土壤提取液质量浓度为 40 g/mL 16.9%,但与 CK 无显著差异。
时,水稻叶片净光合速率下降,比 CK 降低了

表 3 不同质量浓度老参地土壤提取液处理后水稻叶片电导率和净光合速率的变化

Table 3 Changes of seedlings EC and net photosynthesis rate in rice after treated with extract from old ginseng soil						
提取液质量浓度/ (g·mL ⁻¹) Extract concentration	绝对电导率 Absolute EC		相对电导率 Relative EC		净光合速率 Net photosynthesis rate	
	测定值/(μS·cm ⁻¹) Value	RI	测定值/% Value	RI	测定值/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Value	RI
0(CK)	19.600±0.23	0	0.19±0.08	0	10.80±0.94	0
10	8.533±1.09**	-0.565	0.08±0.02*	-0.578	11.20±1.13	+0.036
20	8.900±1.26**	-0.546	0.13±0.01	-0.316	12.30±0.87	+0.122
40	8.567±0.98**	-0.563	0.09±0.04	-0.526	8.98±0.77	-0.169

2.4 老参地土壤提取液对水稻幼苗根系活力的影响

不同质量浓度老参地土壤提取液处理 48 h 后水稻幼苗根系活力的变化见图 3。由图 3 可见,随着老参地土壤提取液质量浓度的增加,水稻根系活力呈先升高后降低的变化趋势,其中低质量浓度老参地土壤提取液处理下水稻根系活力最高,中质量浓度处理次之,与 CK 相比二者均表现为促进作用,二者根系活力分别较 CK 高 63.6%和28.7%;当质量浓度为 40 g/mL 时,老参地土壤提取液的促进作用逐渐减弱,根系活力低于 CK,表现为轻度抑制作用,较 CK 降低了 16.6%。说明老参地土壤提取物处理后水稻根系活力表现为典型的“低促高抑”的剂量相关性反应。

些化感物质还可以在在一定程度上改善农作物的发育状况,提高农作物的产量和品质^[18]。

农田生产中的间混套作、轮作、前后茬搭配及残茬处理等都与化感作用密切相关。一般轮作种类的选择都依据上下茬作物的种间化感作用和亲源关系,通常亲缘关系越远、生境差异越大,轮作效果越好,而适宜轮作搭配的种类一般都是化感相生的植物^[18-19]。本研究以去离子水为溶剂提取老参地土壤,分析人参前茬对后续轮作作物的化感效应,从化感作用角度探讨了人参、水稻轮作的种间互作效应,结果表明,质量浓度为 20~40 g/mL 时,老参地土壤提取液对水稻种子萌发和地上部生长具有明显的促进作用,但对根的伸长有明显的抑制作用;推测水稻地上部与地下部对土壤中化感物质的敏感度不同,这与很多研究结果^[20-22]相同。不同质量浓度老参地土壤提取液处理下水稻叶片可溶性蛋白和叶绿素含量变化趋势正好相反,而根系活力和净光合速率则表现为典型的“低促高抑”剂量相关性反应。细胞质膜是植物接触外界环境的第 1 道屏障。本研究发现,老参地土壤提取液处理显著降低了水稻叶片细胞质膜的透性,保护了细胞膜结构的完整,使膜的功能稳定提高,从而利于后期水稻的生长发育。老参地土壤中的化感物质对幼苗期水稻不同生理代谢过程的影响不尽相同,这可能与老参地土壤中化感物质组成的复杂性有关。综合各生理指标来看,人参前茬对于水稻后茬的化感作用表现为相生效应大于相克效应。

3 讨论

植物化感作用的机理很复杂,化感物质可能影响植物生长的各个阶段及其不同生理过程^[15]。目前许多研究表明,植物化感作用首先是对细胞质膜进行干扰,可以通过增强或减弱细胞器膜的透性,使细胞生理活动或物质运输发生改变,进而引起细胞分裂、光合作用、蛋白质和叶绿素合成等一系列生理代谢过程发生变化^[4,16-17]。此外,进入环境中的某

活体植物化感物质的生物活性大小主要取决于化感物质的质量浓度和持续作用时间,其次也会随着植物生长发育周期以及季节或环境的变化而变化,土壤中的化感物质在分解过程中也会不断累加,从而使土壤中的化感物质始终维持在一个相对稳定的质量浓度^[16,23]。但随着时间的延长,轮作前茬土壤中固有化感物质的质量浓度可能会慢慢消减。本

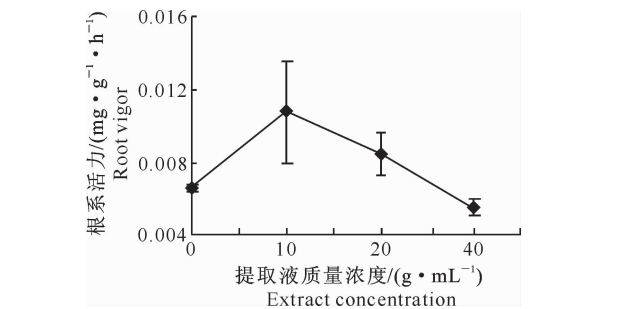


图 3 不同质量浓度老参土壤提取液处理后水稻幼苗根系活力的变化
Fig. 3 Changes of rice root vigor after treated with different concentration extracts from old ginseng soil

试验只选择了对外界环境最敏感的水稻幼苗为受体进行老参地土壤化感效应研究,而在生产中随着受体植株的不断成长和土壤化感物质质量浓度的改变,受体的化感效应会发生变化。因此,要完整地评价上、下茬种间的化感效应,还需以整个生长周期的受体为对象来进行深入研究。

[参考文献]

[1] 李寿田,周健民,王火焰,等. 植物化感作用研究概况 [J]. 中国生态农业学报,2002,10(4):68-70.
Li S T,Zhou J M,Wang H Y,et al. Research surveys of allelopathy in plants [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2002,10(4):68-70. (in Chinese)

[2] 阎飞,杨振明,韩丽梅. 植物化感作用及其作用物的研究方法 [J]. 生态学报,2000,20(4):692-695.
Yan F,Yang Z M,Han L M. Review on research methods for allelopathy and allelochemicals in plants [J]. Acta Ecologica Sinica,2000,20(4):692-695. (in Chinese)

[3] 金慧,于树莲,曹志强. 老参地、农田改造,连续栽培人参 [J]. 中医药现代化,2006,8(1):84-86.
Jin H,Yu S L,Cao Z Q. Improvement of long-cultivated land of ginseng and farmland for continuous cultivation of ginseng and *Quinguefolium* [J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine,2006,8(1):84-86. (in Chinese)

[4] 张连学,陈长宝,王英平,等. 人参忌连作研究及其解决途径 [J]. 吉林农业大学学报,2008,30(4):481-485,491.
Zhang L X,Chen C B,Wang Y P,et al. Study on discontinuous cultivating of *Panax ginseng* and its workable solution [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2008,30(4):481-485,491. (in Chinese)

[5] 陈长宝. 人参化感作用及其忌连作机制研究 [D]. 长春:吉林农业大学,2006.
Chen C B. Study on ginseng allelopathy and the elements of unable successive cultivation [D]. Changchun: Jilin Agricultural University,2006. (in Chinese)

[6] 李勇,黄小芳,丁万隆,等. 不同土壤提取物对人参种子生长的化感效应及其化学组成 [J]. 生态环境,2008,17(3):1173-1178.
Li Y,Huang X F,Ding W L,et al. Allelopathic effects of soil extracts on the growth of ginseng seeds and its chemical composition [J]. Ecology and Enviroment,2008,17(3):1173-1178. (in Chinese)

[7] 王铁生,王英平. 韩国人参栽培新品种及轮作制 [J]. 人参研究,2003,15(3):23.
Wang T S,Wang Y P. New variety and rotation succession in Korea [J]. Ginseng Research,2003,15(3):23. (in Chinese)

[8] 王铁生. 日本人参栽培概述 [J]. 特产研究,1980,1(5):6-8.
Wang T S. Summary on ginseng cultivation [J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research,1980,1(5):6-8. (in Chinese)

[9] 张子龙,王文全. 药用植物连作障碍的形成机理及其防治 [J].

中国农业科技导报,2009,11(6):19-23.
Zhang Z L,Wang W Q. Formation mechanism and control measures of continuous cropping obstacles in medicinal plants [J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2009,11(6):19-23. (in Chinese)

[10] 田义新,王本有,盛吉明,等. 老参地短期轮作技术体系建立:人参西洋参轮作体系 [J]. 吉林农业大学学报,2002,24(3):46-49.
Tian Y X,Wang B Y,Sheng J M. Establishment of the rotation system for ginseng and American ginseng I :Cultivating American ginseng in the used land of ginseng [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2002,24(3):46-49. (in Chinese)

[11] 杨利民,陈长宝,王秀全,等. 长白山区参后地生态恢复与再利用模式及其存在问题 [J]. 吉林农业大学学报,2004,26(5):546-549,553.
Yang L M,Chen C B,Wang X Q,et al. Ecological restoration and reused modes of old ginseng land in the Changbai Mountainous area and its existing problems [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2004,26(5):546-549,553. (in Chinese)

[12] 关铭元. 韩国人参的栽培与加工 [J]. 人参研究,1999,11(1):4-5.
Guan M Y. Cultivating and processing on ginseng in Korea [J]. Ginseng Research,1999,11(1):4-5. (in Chinese)

[13] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京:高等教育出版社,2006:58,142,211,217.
Gao J F. Plant physiology experiment guide [M]. Beijing: Higher Education Pres,2006:58,142,211,217. (in Chinese)

[14] Williamson G B,Richardson D. Bioassay for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemical Ecology,1998,14(1):181-187.

[15] 林娟,殷金玉,杨丙钊,等. 植物化感作用研究进展 [J]. 中国农学通报,2007,23(1):68-72.
Lin J,Yin Q Y,Yang B Z,et al. Review on allelopathy of plants [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2007,23(1):68-72. (in Chinese)

[16] 李茜,蔡靖,姜在民,等. 核桃叶水浸提液对白术幼苗生长及光合作用的化感效应 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(4):89-94.
Li Q,Cai J,Jiang Z M,et al. Alllelopathic effects on Walnut leaves extracts on growth and photosynthesis of *Atractylodes macrocephala* seedlings [J]. Journal Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2011,39(4):89-94. (in Chinese)

[17] Tiffany L W,Sang W P,Jorge M V. Biochemical and physiological mechanism mediated by allelochemicals [J]. Current Opinion in Plant Biology,2004,7:472-479.

[18] Narwal S S. Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture [J]. Allelopathy Journal,2010,25(1):51-72.

[19] Chou C H. Role of allelopathy in sustainable agriculture: Use of allelochemicals as naturally occurring bio-agrochemicals [J]. Allelopathy Journal,2010,25(1):3-16.