

DOI:CNKI:61-1390/S.20111216.1150.029

网络出版时间:2011-12-16 11:50

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111216.1150.029.html

黄土高原主要人工林树种对几种豆科牧草的化感作用

袁娜^a,刘增文^a,祝振华^a,杜良贞^b

(西北农林科技大学 a 资源环境学院, b 林学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】分析黄土高原主要人工林树种枯落叶对几种豆科牧草的化感作用,为豆科牧草在人工纯林改造中的应用及林草复合植被的建设提供科学依据。【方法】采集樟子松、华北落叶松、刺槐和辽东栎等人工林树种(供体)当年枯落叶,制成不同质量浓度(0.005, 0.010 和 0.020 g/mL)的枯落叶浸提液,定期浇灌胡枝子、沙打旺和小冠花等豆科牧草植物(受体)种子,进行室内发芽试验,观测种子萌发和幼苗生长的相关指标。【结果】樟子松和华北落叶松枯落叶浸提液对3种受体植物种子萌发及幼苗生长均无显著影响,其中樟子松枯落叶浸提液对胡枝子表现出“低促高抑”的规律,而对小冠花有微弱抑制作用;刺槐枯落叶浸提液对胡枝子和沙打旺种子萌发及幼苗生长均表现出“低促高抑”的规律,对小冠花则表现为抑制作用;辽东栎枯落叶浸提液对3种受体植物种子萌发及幼苗生长均有抑制作用。【结论】所选树种的枯落叶浸提液对3种豆科牧草的影响存在较大差异,初步认为,在樟子松人工林下可以种植沙打旺,华北落叶松人工林中这3种植物均可种植,刺槐人工林中不宜种植小冠花,辽东栎人工林中这3种植物均不宜种植。

【关键词】 人工林; 豆科牧草; 化感作用; 枯落叶

【中图分类号】 S718.54⁺1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)01-0087-06

Study on allelopathic effects of main planted forest trees in the Loess Plateau on some legumes

YUAN Na^a, LIU Zeng-wen^a, ZHU Zhen-hua^a, DU Liang-zhen^b

(a College of Resources Environment, b College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The study was done on the allelopathic effects of main plantation species litter on some Legumes in the Loess Plateau, in order to provide a scientific basis for the legumes in the artificial forests renovation and construction of forest and grass vegetation combined. 【Method】*Pinus sylvestris*, *Larix principis-rupprechtii*, *Robinia pseudoacacia* and *Quercus liaotungensis* plantations (donor) litter were collected in the current year to make different concentrations (0.005, 0.010 and 0.020 g/mL) of aqueous extract, indoor germination test watering *Leapedeza*, *Astragalus adsurgens* and *Coronilla varia* seeds (receptor) were processed with aqueous extracts of litter at regular intervals, seed germination and seedling growth related indicators were determined. 【Result】*Pinus sylvestris* and *Larix principis-rupprechtii* litter extract had insignificant impact on the germination and seeding growth of three kinds of legumes, and it showed the law of “low promote high-suppression” about *Pinus sylvestris* on *Leapedeza*, while there was a weak inhibition on *Coronilla varia*; *Robinia pseudoacacia* litter extract showed the law of “low promote high-suppression” on the germination and seeding growth of *Leapedeza* and *Astragalus adsurgens*. *Coro-*

* [收稿日期] 2011-06-08

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31070630)

[作者简介] 袁娜(1985—),女,甘肃白银人,在读硕士,主要从事林业生态工程研究。

[通信作者] 刘增文(1965—),男,陕西横山人,教授,博士,主要从事森林生态研究。E-mail: zengwenliu2003@yahoo. com. cn

nilla varia showed a weak inhibition; *Quercus liaotungensis* litter extract showed inhibition on the germination and seeding growth of three kinds of legumes. 【Conclusion】 There are some differences in the effect on the litter extract of selected species on three kinds of legumes. We preliminary conclude that, *Astragalus adsurgens* can grow under *Pinus sylvestris* plantations, *Larix principis-rupprechtii* plantations can plant with these three plants, *Robinia pseudoacacia* forests should not be planted with *Coronilla varia*, and these three plants should not be planted in *Quercus liaotungensis* plantation.

Key words: plantation; legumes; allelopathy; litter

由于天然林已遭到严重破坏,因此,人工林在黄土高原生态环境构建及水土保持工作中的作用日益明显。然而,现阶段我国人工林营建中存在诸多问题,树种单一、林分结构简单、生物多样性低、抗性减弱、生态系统稳定性差及地力衰竭等问题日益突出^[1-3],这些均已成为制约人工林可持续发展的关键问题,已引起了有关学者的广泛关注。与纯林相比,林草复合生态系统能够有效地改善林分生态条件,提高总落叶量,增加土壤肥力,并且林下和林间牧草植被在促进人工林养分循环、维护林地土壤质量中发挥着不可忽视的作用。因此,将人工纯林改为林草复合生态系统,发展林下和林间牧草植被,已成为改善人工林现有问题的一个有效途径^[4-6]。豆科牧草植物具有根瘤菌,能够固定土壤中的游离氮、改良土壤、提高土壤肥力,且其根系发达、生长迅速、枝叶茂密、覆盖度大,是优良的绿肥和水土保持植物。如果能将豆科牧草引入人工纯林进行林草间作,无疑对黄土高原的人工纯林改造具有重要作用。但大量调查研究发现,在一些人工林下经常出现灌草植物分布稀少或生长、更新不良的现象^[7-8],说明这些林木可能对灌草植物具有化感作用,从而严重影响林下植被生物多样性的形成和生态系统的稳定与可持续发展。所以,拟引入人工林的牧草植物与树种之间的化感作用将是林草复合植被能否成功建设的关键。前人虽对林木间及牧草间的化感作用已有大量研究^[9-11],但关于牧草植物与树种之间的化感作用研究报道很少。鉴于此,本试验选取黄土高原 4 种主要人工林树种,利用其枯落叶浸提液对几种常见豆科牧草植物进行室内发芽试验,测定种子萌发和幼苗生长的相关指标,研究所选树种对这几种豆科植物的化感作用,以期在豆科牧草在人工纯林改造中的应用和林草复合植被建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 树木枯落叶的采集及牧草种子的准备

分别在位于黄土高原的陕西靖边、黄陵、淳化等

地选取有代表性的近成熟人工林,采集樟子松(*Pinus sylvestris*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和辽东栎(*Quercus liaotungensis*)等树种的当年枯落叶,剔除破损、虫害叶后,经过漂洗、晾干,剪成大小为 1 cm 的碎片(段)作为供试样品。

受体植物选择黄土高原主要豆科牧草胡枝子(*Leapedeza bicolor*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)和小冠花(*Coronilla varia*)。在陕西杨凌采购受体植物种子,筛选颗粒饱满、大小均匀且无虫蛀的种子,用体积分数 10% 的 H_2O_2 溶液消毒 10 min 后,再用灭菌蒸馏水冲洗 3~5 次,在室温下阴干用于发芽试验。

1.2 枯落叶浸提液的制备

称取 100 g 处理好的不同树种的枯落叶,加 800~900 mL 蒸馏水浸泡 48 h 后,滴加蒸馏水至 1 000 mL,经双层纱布过滤,滤液即为质量浓度为 0.1 g/mL 的各树种枯落叶浸提液。以此提取物作为母液,按照体积比用蒸馏水稀释获得质量浓度分别为 0.005、0.010 和 0.020 g/mL 的浸提液。将供试液体放入冰箱于 4 °C 冷藏待用。

1.3 种子萌发试验

采用培养皿滤纸法^[12]进行种子萌发试验。培养皿($\Phi=11$ cm)经高温灭菌后铺 2 层滤纸作为发芽床,分别量取各质量浓度的浸提液 5 mL 浇灌发芽床,以蒸馏水为对照(CK),将处理后的种子均匀放入 100 粒,置于光照培养箱中于 26 °C 恒温培养,每天浇灌浸提液以保持滤纸湿润(以种子周围不出现水膜为准),每处理重复 3 次。每天记录各处理种子的萌发数(胚根或胚轴破皮 1~2 mm 时为萌发)。

1.4 种子萌发及幼苗生长观测

种子不再萌发后,统计萌发种子总数用以计算种子发芽率;待幼苗长出真叶后,在每个培养皿内随机取 10 株幼苗测量根长,结果取其平均值;在每个培养皿内随机取 10 株幼苗,剪下根,先在 105 °C 下杀青 30 min,然后降至 70 °C 烘至恒质量,最后称质

量并取平均值得根干质量;采用 TTC 法测定幼苗根系活力,采用硫代巴比妥酸显色法测定幼苗叶片的丙二醛(MDA)含量^[13]。

1.5 数据处理

对所有试验数据,采用 SPSS 13.0 软件进行单因素方差分析,采用 Duncan 多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 樟子松枯落叶浸提液对受体植物的影响

表 1 结果显示,与对照相比,较低质量浓度

(0.005 g/mL)的樟子松枯落叶浸提液对胡枝子种子萌发及幼苗生长均表现出促进作用,但随着质量浓度的增大而逐渐表现为抑制作用,其中对根系活力的抑制作用最为明显,在较高质量浓度下达差异显著水平($P<0.05$)。樟子松不同质量浓度枯落叶浸提液处理对沙打旺种子萌发及幼苗生长无显著影响。樟子松枯落叶浸提液在较低质量浓度下对小冠花各项指标均无明显影响;在高质量浓度时(0.020 g/mL)对小冠花种子发芽率有显著抑制作用($P<0.05$),幼苗叶的 MDA 含量显著升高($P<0.05$),但对其他指标无显著影响。

表 1 不同质量浓度樟子松枯落叶浸提液对 3 种豆科植物种子萌发及幼苗生长的影响
Table 1 Effects of *P. sylvestris* litter extracts of different concentrations on the germination and seeding growth of three kinds of legumes

受体植物 Receptor	枯落叶浸提液 质量浓度/ (g·mL ⁻¹) Concentration	发芽率/% Germination rate	根长/cm Root length	根干质量/mg Root dry weight	根系活力/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Root activity	叶 MDA 含量/ (mmol·g ⁻¹) MDA content
胡枝子 <i>L. bicolor</i>	CK	50.67 ab	3.68 ab	1.27 a	11.57 a	19.44 ab
	0.005	54.33 a	4.89 a	1.23 a	12.29 a	15.99 b
	0.010	53.33 ab	3.94 ab	1.23 a	7.11 b	19.75 ab
	0.020	47.00 b	2.86 b	1.07 a	3.38 c	22.69 a
沙打旺 <i>A. adsurgens</i>	CK	75.67 a	3.73 a	0.50 a	46.40 a	1.97 a
	0.005	67.67 a	4.41 a	0.50 a	50.79 a	2.03 a
	0.010	67.33 a	3.46 a	0.37 a	47.58 a	2.60 a
	0.020	67.00 a	3.69 a	0.40 a	43.12 a	2.44 a
小冠花 <i>C. varia</i>	CK	65.67 a	11.73 a	1.24 a	51.90 ab	1.31 b
	0.005	64.00 a	12.26 a	1.13 a	56.06 a	1.35 b
	0.010	60.00 ab	11.38 a	0.87 a	45.67 ab	1.70 b
	0.020	55.33 b	10.08 a	1.10 a	39.18 b	2.41 a

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:The data with different letters in the same column have significant difference ($P<0.05$). The same as the following tables.

2.2 华北落叶松枯落叶浸提液对受体植物的影响

由表 2 可以看出,华北落叶松枯落叶浸提液对 3 种豆科植物种子萌发及幼苗生长的影响并不显著。与对照相比,华北落叶松枯落叶浸提液在较低质量浓度(0.005 g/mL)下,对胡枝子种子萌发、根长及根干质量表现出一定的促进作用,但并未达显著差异水平,对胡枝子根系活力有显著的抑制作用($P<0.05$),使胡枝子幼苗叶 MDA 含量呈降低趋势;随着枯落叶浸提液质量浓度的增大,其对胡枝子发芽率的抑制作用逐渐增强,在质量浓度为 0.020 g/mL 时,胡枝子种子发芽率与对照相比显著降低($P<0.05$);随枯落叶浸提液质量浓度的增大,胡枝子幼苗根系活力、幼苗叶 MDA 含量微弱升高,与 0.005 g/mL 处理间差异显著,但对其他指标均无显著影响。华北落叶松枯落叶不同质量浓度浸提液对沙打旺种子萌发及幼苗生长均有抑制作用,但并未

达显著差异水平。在华北落叶松枯落叶不同质量浓度浸提液处理下,小冠花种子发芽率随质量浓度的增大而有所降低,幼苗根长和根干质量却表现出“低促高抑”的规律,且根长在较高质量浓度处理下显著降低($P<0.05$),对其他指标并无显著影响。

2.3 刺槐枯落叶浸提液对受体植物的影响

不同质量浓度刺槐枯落叶浸提液对 3 种豆科植物种子萌发及幼苗生长的影响如表 3 所示。由表 3 可知,在刺槐枯落叶浸提液质量浓度(0.005 g/mL)较低时,与对照相比,胡枝子种子发芽率、根干质量、根系活力和幼苗叶 MDA 含量均有所增加,但差异并未达显著水平;随枯落叶浸提液质量浓度的增大,胡枝子种子发芽率、根长、根系活力均显著降低($P<0.05$),幼苗叶 MDA 含量显著升高($P<0.05$),但其根干质量没有显著影响。刺槐枯落叶浸提液对沙打旺种子萌发及幼苗生长总体上表现出

“低促高抑”的趋势,随着枯落叶浸提液质量浓度的增大,其对沙打旺种子发芽率、根长、根系活力均表现出抑制作用,且高质量浓度处理下的种子发芽率和根系活力与对照的差异达显著水平($P<0.05$),而对幼苗叶 MDA 含量表现出显著的促进作用($P<$

0.05),对根干质量无显著影响。刺槐枯落叶浸提液对小冠花种子发芽率和根系活力的影响随其质量浓度增大有所降低,对根长和根干质量则表现出“低促高抑”的趋势,但差异未达显著水平,对小冠花幼苗叶 MDA 含量无显著影响。

表 2 华北落叶松枯落叶不同质量浓度浸提液对 3 种豆科植物种子萌发及幼苗生长的影响

Table 2 Effects of *L. principis-rupprechtii* litter extracts of different concentrations on the germination and seeding growth of three kinds of legumes

受体植物 Receptor	枯落叶浸提液 质量浓度/ (g·mL ⁻¹) Concentration	发芽率/% Germination rate	根长/cm Root length	根干质量/mg Root dry weight	根系活力/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Root activity	叶 MDA 含量/ (mmol·g ⁻¹) MDA content
胡枝子 <i>L. bicolor</i>	CK	50.67 a	3.68 a	1.27 a	11.57 a	19.44 ab
	0.005	51.00 a	4.21 a	1.50 a	4.93 b	16.07 b
	0.010	50.00 a	3.53 a	1.37 a	11.82 a	21.06 ab
	0.020	42.00 b	3.01 a	0.97 a	12.37 a	24.07 a
沙打旺 <i>A. adsurgens</i>	CK	75.67 a	3.73 a	0.50 a	46.40 a	1.97 a
	0.005	71.00 a	3.64 a	0.50 a	43.02 a	2.27 a
	0.010	71.67 a	3.22 a	0.43 a	38.81 a	2.53 a
	0.020	68.67 a	3.25 a	0.43 a	33.47 a	2.53 a
小冠花 <i>C. varia</i>	CK	65.67 a	11.73 a	1.27 a	51.90 a	1.31 a
	0.005	64.00 a	12.13 a	1.63 a	51.08 a	1.52 a
	0.010	61.67 a	10.67 b	1.20 a	45.50 a	1.45 a
	0.020	59.67 a	10.34 b	1.17 a	54.46 a	1.42 a

表 3 刺槐枯落叶不同质量浓度浸提液对 3 种豆科植物种子萌发及幼苗生长的影响

Table 3 Effects of *R. pseudoacacia* litter extracts of different concentrations on the germination and seeding growth of three kinds of legumes

受体植物 Receptor	枯落叶浸提液 质量浓度/ (g·mL ⁻¹) Concentration	发芽率/% Germination rate	根长/cm Root length	根干质量/mg Root dry weight	根系活力/ (mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Root activity	叶 MDA 含量/ (mmol·g ⁻¹) MDA content
胡枝子 <i>L. bicolor</i>	CK	50.67 ab	3.68 a	1.37 a	11.57 a	19.44 c
	0.005	57.00 a	3.65 a	1.43 a	12.03 a	22.57 bc
	0.010	49.67 b	3.08 ab	1.30 a	8.78 b	27.89 b
	0.020	41.67 c	2.41 b	0.90 a	6.61 c	35.69 a
沙打旺 <i>A. adsurgens</i>	CK	72.67 a	3.73 ab	0.50 a	46.40 a	1.97 b
	0.005	77.67 a	4.07 a	0.53 a	47.37 a	2.22 ab
	0.010	78.00 a	3.71 ab	0.40 a	32.85 b	2.88 ab
	0.020	61.33 b	2.61 b	0.47a	27.64 b	3.18 a
小冠花 <i>C. varia</i>	CK	65.67 a	11.73 a	1.27 a	51.90 a	1.31 a
	0.005	64.00 a	12.13 a	1.63 a	51.08 a	1.52 a
	0.010	61.67 a	10.67 b	1.20 a	45.50 a	1.45 a
	0.020	51.33 b	10.43 b	0.97 b	37.58 b	2.32 a

2.4 辽东栎枯落叶浸提液对受体植物的影响

由表 4 可以看出,随着辽东栎枯落叶浸提液质量浓度的增大,胡枝子种子发芽率和根干质量均有所降低但差异并不显著,根长和根系活力则显著受到抑制($P<0.05$),幼苗叶 MDA 含量也显著升高($P<0.05$)。在不同质量浓度辽东栎枯落叶浸提液处理下,沙打旺种子发芽率有所降低但并未达显著水平,其根长、根干质量和根系活力均随枯落叶浸提液质量浓度的增大而显著降低($P<0.05$),幼苗叶

MDA 含量随枯落叶浸提液质量浓度的增大逐渐升高,在质量浓度为 0.020 g/mL 时达显著水平($P<0.05$)。不同质量浓度辽东栎枯落叶浸提液对小冠花的种子发芽率、根长、根干质量及根系活力均有抑制作用,且随其质量浓度的增大,抑制作用逐渐增强,幼苗叶 MDA 含量也随枯落叶浸提液质量浓度的增大而逐渐升高,在较高质量浓度时各项指标均达差异显著水平($P<0.05$)。

表 4 辽东栎枯落叶不同质量浓度浸提液对 3 种豆科植物种子萌发及幼苗生长的影响
Table 4 Effects of *Q. liaotungensis* litter extracts of different concentrations on the germination
and seeding growth of three kinds of legumes

受体植物 Receptor	枯落叶浸提液 质量浓度/ (g · mL ⁻¹) Concentration	发芽率/% Germination rate	根长/cm Root length	根干质量/mg Root dry weight	根系活力/ (mg · g ⁻¹ · h ⁻¹) Root activity	叶 MDA 含量/ (mmol · g ⁻¹) MDA content
胡枝子 <i>L. bicolor</i>	CK	50.67 a	3.68 a	1.27 a	11.57 a	19.44 c
	0.005	47.00 a	2.50 b	1.23 a	10.55 a	23.23 bc
	0.010	42.33 a	2.13 b	0.90 a	6.93 b	26.97 b
	0.020	42.67 a	2.01 b	0.77 a	3.22 c	37.04 a
沙打旺 <i>A. adsurgens</i>	CK	75.67 a	3.73 a	0.50 a	46.40 a	1.97 b
	0.005	73.67 a	3.08 b	0.33 b	47.44 a	2.15 ab
	0.010	68.67 a	2.89 b	0.33 b	31.72 b	2.49 ab
	0.020	64.00 a	2.79 b	0.20 b	26.59 b	3.19 a
小冠花 <i>C. varia</i>	CK	65.67 a	11.73 a	1.37 a	51.90 a	1.31 c
	0.005	63.67 a	11.14 a	1.10 ab	50.52 a	1.61 bc
	0.010	57.00 b	8.69 b	1.07 ab	42.90 b	1.75 b
	0.020	50.67 c	7.92 b	0.77 b	30.19 c	2.52 a

3 讨 论

植物化感作用是普遍存在于自然界的一种重要的化学生态防御机制,植物与周围的生物群落以次生代谢物质为媒介建立起了稳固的化学作用关系,是植物适应环境、提高生存与竞争能力的一种重要手段^[14]。而化感物质存在于植物的各个部分中,其向周围环境排放的方式也多种多样,落叶即是其中之一。植物枯落叶经过雨水淋漓,其中含有的水溶性化合物被淋溶出来,对其他植物种子的萌发、幼苗生长及土壤微生物的活动产生一定影响^[15]。

化感物质对受体植物的作用强度与其质量浓度密切相关。前人在植物化感作用方面的研究结果表明^[15-17],低质量浓度的化感物质对植物生理生化代谢及生长一般表现出促进作用,而高质量浓度则表现为抑制作用。本试验也得到了类似的结果。本试验结果中,有些树种的枯落叶浸提液对受体植物只有抑制作用,且随质量浓度的增大抑制作用逐渐增强,这可能是浸提液中的抑制类化感物质较多的缘故。樟子松对沙打旺、华北落叶松对沙打旺和小冠花的种子萌发及幼苗生长并无显著影响,这一方面可能与所设定的质量浓度大小有关,另一方面也可能是这些树种枯落叶本身对受体植物就不存在显著的化感作用。

自然状况下的实际化感作用过程是极其复杂的,枯落叶中的化感物质在被雨水淋洗或分解后进入土壤,还要经过一个复杂的转化过程,其所产生的次生物质也许会对受体植物具有更强的化感作用。本研究只是在室内通过发芽试验检测了黄土高原主

要人工林树种对牧草植物存在的潜在化感效应,为进一步通过盆栽试验研究实际化感作用奠定了良好的基础。

4 结 论

总体来看,樟子松枯落叶浸提液对胡枝子种子萌发及幼苗生长有“低质量浓度促进,高质量浓度抑制”的规律;对沙打旺种子萌发及幼苗生长无显著作用;对小冠花种子萌发及幼苗生长有微弱抑制作用。华北落叶松不同质量浓度枯落叶浸提液对胡枝子种子萌发及幼苗生长表现出“低质量浓度促进,高质量浓度抑制”的规律;而对沙打旺和小冠花种子萌发及幼苗生长无显著影响。刺槐不同质量浓度枯落叶浸提液对胡枝子种子萌发及幼苗生长亦表现出“低质量浓度促进,高质量浓度抑制”的规律,且在较高质量浓度下的抑制作用较强;对沙打旺种子萌发及幼苗生长均表现出“低促高抑”的规律;对小冠花种子萌发及幼苗生长有微弱的抑制作用。辽东栎不同质量浓度枯落叶浸提液对胡枝子、沙打旺和小冠花种子萌发及幼苗生长均有不同程度的抑制作用。

[参考文献]

[1] Jagadish C T, Subbash C M, Shyam K. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition [J]. European Journal of Soil Biology, 2001, 37: 157-160.
[2] 周 霆, 盛炜彤. 关于我国人工林可持续问题 [J]. 世界林业研究, 2008, 21(3): 50-53.
Zhou T, Sheng W T. On the plantation sustainability in China [J]. World Forestry Research, 2008, 21(3): 50-53. (in Chinese)
[3] 朱延房. 浅谈落叶松人工林地力衰退的原因与对策 [J]. 内蒙古林业调查设计, 2010, 33(3): 45-46.

Zhu Y F. Soil degradation of larch causes and countermeasures [J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2010, 33(3):45-46. (in Chinese)

[4] 张立英,张百习,孙海红. 中国人工林地力衰退研究进展 [J]. 防护林科技, 2009(4):99-113.

Zhang L Y, Zhang B X, Sun H H. Research progress on soil degradation of plantation in China [J]. Protection Forest Science and Technology, 2009(4):99-113. (in Chinese)

[5] 陈代喜,莫泽莲. 人工林地力衰退研究进展 [J]. 广西林业科学, 2000, 29(3):115-121.

Chen D X, Mo Z L. Research progress on soil degradation of plantation [J]. Guangxi Forestry Science, 2000, 29(3):115-121. (in Chinese)

[6] 刘 宁,余雪标,林培群,等. 我国森林土壤退化的原因及其防治对策研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16):7751-7753.

Liu N, Yu X B, Lin P Q, et al. Research on the causes of forest soil degradation and the prevention countermeasures [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2009, 37(16):7751-7753. (in Chinese)

[7] 周会萍,刘兴洋,蔡祖国. 林下植被恢复的限制因子及防治措施 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(20):6117-6130.

Zhou H P, Liu X Y, Cai Z G. Limiting factors and prevention measures of understorey vegetation restoration [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(20):6117-6130. (in Chinese)

[8] 曾群英,刘素青,周元满,等. 桉树林下植被他感作用与植物多样性分析 [J]. 防护林科技, 2010(4):18-20.

Zeng Q Y, Liu S Q, Zhou Y M, et al. Analysis of allelopathy & biodiversity of plant in *Eucalyptus* spp. stand [J]. Protection Forest Science and Technology, 2010(4):18-20. (in Chinese)

[9] 林思祖,杜 玲,曹光球. 化感作用在林业中的研究进展及应用前景 [J]. 福建林学院学报, 2002, 22(2):184-188.

Lin S Z, Du L, Cao G Q. Advance and application prospects on allelopathy research in forestry [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2002, 22(2):184-188. (in Chinese)

[10] 马永清,刘立秋,陈素英. 牧草间的生化他感作用及其在人工混播牧草中的应用 [J]. 草业科学, 1995, 12(5):42-45.

Ma Y Q, Liu L Q, Chen S Y. Pastureland biochemical allelopathy and its applications in artificial grass of mixed [J]. Pratacultural Science, 1995, 12(5):42-45. (in Chinese)

[11] 李志华,沈益新. 紫花苜蓿化感作用的研究 [J]. 草业科学, 2005, 22(12):33-36.

Li Z H, Shen Y X. Study on the allelopathy of alfalfa [J]. Pratacultural Science, 2005, 22(12):33-36. (in Chinese)

[12] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述 [J]. 应用生态学报, 1999, 10(10):123-126.

Zeng R S. Review on bioassay methods for allelopathy research [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(10):123-126. (in Chinese)

[13] 孙 群,胡景江. 植物生理学研究技术 [M]. 陕西杨凌:西北农林科技大学出版社, 2006.

Sun Q, Hu J J. Plant physiology studies technology [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2006. (in Chinese)

[14] 胡 飞,孔垂华. 胜红蓟化感作用研究: VI. 气象条件对胜红蓟化感作用的影响 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(1):76-80.

Hu F, Kong C H. Allelopathy of *ageratum conyzoides*: VI. Effects of meteorological conditions on allelopathy of *Ageratum conyzoides* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(1):76-80. (in Chinese)

[15] 郑 曦,季春娟,全 炜. 悬铃木落叶水提物对三种植物种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 种子, 2008, 27(5):26-31.

Zheng X, Ji C J, Tong W. Effects of water soluble extract of *Platanus orientalis* leaf on the germination and the growth of three plants [J]. Seed, 2008, 27(5):26-31. (in Chinese)

[16] 宋 亮,潘开文,王进闯. 化感活性物质影响种子萌发作用机理的研究进展 [J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28(4):52-57.

Song L, Pan K W, Wang J C. Review on action mechanism of effects of allelochemicals on seeds germination [J]. World Sci-Tech R & D, 2006, 28(4):52-57. (in Chinese)

[17] 贾黎明,翟明普,尹伟伦,等. 油松白桦混交林中生化他感作用的生物测定 [J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(4):1-8.

Jia L M, Zhai M P, Yin W L, et al. The bioassay of allelopathy in the mixed stands of Chinese pine and Asian white birch [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1996, 18(4):1-8. (in Chinese)