

4 种针叶纯林枯落叶对 3 种 豆科灌草的化感效应

李俊¹, 刘增文^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;
2. 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为探讨豆科灌草在针叶人工纯林改造和林草复合植被建设中的可行性,研究了油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platyclusus orientalis*)、落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)和樟子松(*P. sylvestris* var. *Mongolica*)当年枯落叶经室内混土分解培养后,所获得的枯落叶浸提液对紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、毛苕子(*Vicia villosa*)和草木樨(*Melilotus officinalis*)种子萌发和幼苗生长的化感效应。结果表明,1)油松枯落叶浸提液抑制毛苕子和草木樨种子萌发,对紫穗槐种子萌发以及紫穗槐和毛苕子幼苗生长表现为“低促高抑”;2)侧柏浸提液促进草木樨种子萌发和毛苕子幼苗以及紫穗槐幼根生长,对紫穗槐种子萌发以及草木樨幼苗生长均表现为“低促高抑”;3)落叶松浸提液抑制了紫穗槐和毛苕子种子萌发,促进了草木樨种子萌发和毛苕子幼苗以及草木樨幼根生长,对紫穗槐幼苗生长表现为“低促高抑”;4)樟子松浸提液抑制了毛苕子和草木樨种子萌发以及紫穗槐幼苗地上部生长,促进了毛苕子幼苗和紫穗槐幼根生长,对紫穗槐种子萌发表现为“低促高抑”;5)3种豆科灌草幼苗 MDA 含量分析结果与其幼苗生长的分析结果一致。MDA 含量可能是衡量化感效应的最敏感指标。

关键词:枯落叶;紫穗槐;毛苕子;草木樨;化感效应

中图分类号:Q945.7;S551+.3

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2013)07-1057-09

化感效应在自然界中广泛存在,在森林群落演替、植被恢复、农业及林业生产过程中是一个不可忽视的化学生态因子^[1],其作用利弊共存^[2]。国外有很多关于化感效应影响森林植物生长和林草重建的实例,如桉树(*Eucalyptus* spp.)抑制欧石楠(*Erica carnea*)和木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)生长^[3],佛罗里达州的灌木丛中含有化感物质阻止草本植物及松树(*Pinus* spp.)的进入,使两者之间形成裸带^[4],美洲黑杨(*Populus deltoides*)抑制萝卜(*Raphanus sativus*)种子萌发和幼苗生长^[5]等。在国内,起初发现淡黑接骨木(*Sambucus nigra*)对云杉(*Picea asperata*)根系的分布扩展有利^[6],黄栌木(*Cotinus coggygria*)与鞑靼槭(*Acer tataricum*)及红瑞木(*Swida alba*)与白蜡槭(*A. negundo*)等在一起生长相互间有促进作用,榆树(*Ulmus pumila*)和辽东栎(*Quercus liaotungensis*)及白桦(*Betula platyphylla*)和云杉与油松(*P. tabulaeformis*)之

间均有相互抑制的作用^[6]之后,相继有研究表明,木豆(*Cajanus cajan*)叶片浸提液对黑麦草(*Lolium perenne*)、高羊茅(*Festuca arundinacea*)和非洲狗尾草(*Setaria anceps*)等种子萌发和幼苗生长具有不同程度的影响^[7],巨桉(*Eucalyptus grandis*)对其林下的紫花苜蓿(*Medicago sativa*)亦存在明显的化感作用^[8],落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)枯落叶半分解浸提液对水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)种子发芽有明显的促进作用^[9],落叶松枯落叶浸提液对白菜(*Brassica rapa pekinensis*)种子的萌发具有抑制作用^[10]等。

在植被生长过程中,乔木层产生大量枯落叶,在土壤微生物的参与下分解,经降水和径流等的淋洗和浸泡后,枯落叶中原有的或在分解过程中形成的化学物质(包括养分物质和化感物质)被释入土壤而对其林下灌木或草本植物产生影响。其中,养分物质起到积极有益的富养作用,化感物质则会产生抑

* 收稿日期:2012-09-28 接受日期:2012-10-21

基金项目:国家自然科学基金项目(31070630)

作者简介:李俊(1986-),女,陕西商洛人,在读硕士生,研究方向为林草生态工程。E-mail:lijun13474176451@yahoo.com.cn

通信作者:刘增文(1965-),男,陕西横山人,教授,博士,研究方向为林草生态。E-mail:zengwenliu2003@yahoo.com.cn

制或促进的化感效应,二者综合作用的结果会使得乔一灌一草植物组合或适宜于一起生长、连栽,或相互抑制。

综上所述,无论从表象还是理论上分析判断均可以认为,种间化感效应是乔一灌一草复合建设中一个不容忽视的关键问题。大量的实地考察发现,在黄土高原地区,很多森林树种出现林下灌草稀疏甚至无草、幼苗生长不良或林下植被更新困难等现象^[11]。而目前针对此类现象所进行的研究多从光照、水分和养分条件出发考虑,对化感效应分析不足,事实上,一些林草更新和重建的成败与化感问题密切相关^[12]。因此,为避免植被建设的盲目性,保证乔一灌一草复合生态系统的稳定和可持续发展,本研究以黄土高原4种重要的用材和造林针叶乔木为主体,引进紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、毛苕子(*Vicia villosa*)和草木樨(*Melilotus officinalis*),进行针叶纯林与灌草间化感效应的初步研究,以期为选择和制定适宜黄土高原的乔一灌一草复合生态模式和高产栽培配套技术提供参考。

1 材料和方法

1.1 样品采集与处理 针对黄土高原主要针叶树种,油松、侧柏(*Platycladus orientalis*)、落叶松和樟子松(*Pinus sylvestris* var. *Mongolica*)纯林,于2010年秋末冬初采集当年枯落叶,仔细挑拣(剔除病虫害叶、腐烂叶)、漂洗、晾干,经1 mm筛粉碎备用。

取用黄土高原典型黄绵土作为林木枯落叶分解介质。先用清水反复漂洗土壤以去除各种养分和有机物质,然后风干磨碎过2 mm土壤筛备用。

1.2 枯落叶分解培养 将待用黄绵土与4种针叶乔木枯落叶粉碎样分别按照8:1的干质量比例充分混匀(根据野外实际调查测定林地表层土壤与枯落叶的比例确定),然后分别取3 kg混合样装入塑料培养钵(直径18 cm,高16 cm)中,加蒸馏水统一调节湿度为田间持水量的60%(预先测定田间持水量,计算应加水量),并用塑料薄膜(留2个直径为1.5 cm的通气孔)覆盖钵口(保湿),室温(20~25℃)分解培养(等量黄绵土直接培养作为对照处理),

每处理3次重复。培养过程中,每3 d称量培养钵,根据失水情况,揭开钵口用喷水器均匀补充水分,保证湿度不变(培养钵重量保持恒定)。连续培养120 d(2011年5月初—2011年9月初),直到80%以上枯落叶分解为止。

1.3 枯落叶分解浸提液制备 按枯落叶分解样品(含土)90 g,蒸馏水250 mL的比例在室温下浸泡48 h,经定性和定量滤纸双重过滤后,将浸提液装入棕色玻璃瓶中,在灭菌锅内消毒30 min后在常温常压下放置24 h,同样条件下再消毒30 min,重复3次后得到浓度为40 mg·mL⁻¹不含微生物的浸提液母液,在4℃冰箱中保存备用,用时按体积比稀释至10、20和40 mg·mL⁻¹。

1.4 豆科灌草种子萌发和幼苗生长试验 采用培养皿滤纸法^[13]进行种子萌发试验。3种豆科灌草(紫穗槐、毛苕子和草木樨)种子预先用1%的NaClO消毒30 min,冲洗2~3次,再用蒸馏水冲洗3次。选取籽粒饱满、大小均一的种子置于铺有3层滤纸的培养皿(直径12 cm)中,根据种子大小每皿放置50或100粒,再加入一定量(以淹没种子的1/3为准)不同浓度(分别为0、10、20和40 mg·mL⁻¹)的针叶乔木枯落叶分解浸提液后加盖,置于27℃、70%湿度、30 μmol·m⁻²·s⁻¹,12 h光照条件下进行培养,每处理3次重复。培养期间及时添加相应的浸提液,每天分别在08:00和20:00为培养箱通风30 min。

每隔24 h记录发芽种子数量(以胚根突破皮2 mm为标准),紫穗槐、毛苕子和草木樨3种植物分别于第7天、第5天和第6天(不再有种子萌发时)计算种子发芽率和发芽速率。随后每隔1 d补充2~3 mL相应浸提液,分别于第13天、第9天和第15天(直到幼苗植株长出两片真叶及侧根后)结束幼苗生长试验,每皿中随机取10株幼苗准确测量苗高和根长,随后将地上部分和幼根分别于105℃下杀青30 min后置于75℃下烘至质量恒定,称重并计算单株苗干质量和根干质量。幼苗全株丙二醛含量(MDA)用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定^[14]。

发芽率(GR) = (发芽种子总数/供试种子总数) × 100%;

发芽指数(GI) = $\sum(G_i/D_i)$ 。

式中, G_i 为逐日发芽种子数, D_i 为相应发芽天数。

1.5 数据统计分析 采用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差 ANOVA 分析(多重比较采用 LSD 检验法),文中数据均为 3 次重复(误差不超过 5%)的平均值,用 OriginPro 8.0 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 植物枯落叶浸提液对紫穗槐、毛苕子和草木樨种子萌发的影响 油松浸提液对紫穗槐种子萌发表现出显著的“低促高抑”规律(表 1)。其中 20 和 40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对毛苕子发芽率有显著抑制作用($P < 0.05$),但对其发芽指数无显著影响,而各个浓度浸提液对草木樨种子萌发均表现出显著抑制作用($P < 0.05$),且随处理浓度升高增强。

侧柏各浓度浸提液对紫穗槐种子萌发均无显著影响($P > 0.05$)(表 1)。其中 40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液处理显著降低了毛苕子的发芽率($P < 0.05$),其它处理均与对照差异不显著,对毛苕子种子发芽指数无显著影响,而对草木樨种子萌发均表现出显著的促进作用($P < 0.05$)。

落叶松各浓度浸提液对紫穗槐种子发芽速率均无显著影响(表 1)。20 和 40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液降低了紫穗槐和毛苕子种子发芽率,40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对毛苕子的发芽率和发芽指数均有显著抑制作用($P < 0.05$),其它处理对种子萌发影响均不显著,对草木樨种子萌发整体表现为促进作用,且 10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液促进作用最强。

樟子松浸提液对紫穗槐种子发芽速率表现出显著的“低促高抑”($P < 0.05$)。10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对紫穗槐发芽率有显著促进作用($P < 0.05$),其它处理均无显著差异(表 1)。对毛苕子和草木樨种子萌发均表现为抑制作用,且各处理下,草木樨种子发芽率和发芽指数均显著低于对照($P < 0.05$)。

2.2 植物枯落叶浸提液对紫穗槐、毛苕子和草木樨幼苗生长的影响

2.2.1 对豆科灌草幼苗地上部分生长的影响 油松各浓度浸提液对紫穗槐幼苗苗高和苗干质量均无显著影响($P > 0.05$),对毛苕子幼苗地上部分生长表

现为“低促高抑”,40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对毛苕子地上部分的生长表现出显著抑制作用($P < 0.05$)。各浓度浸提液对草木樨幼苗苗高有显著促进作用($P < 0.05$),10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著提高了草木樨幼苗干质量($P < 0.05$),较对照提高了 25.0%。

侧柏浸提液对紫穗槐幼苗地上部分生长表现为“低促高抑”,但并不显著。各浓度浸提液对毛苕子苗高均有显著促进作用($P < 0.05$),较低浓度显著提高幼苗干质量,10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著促进草木樨幼苗地上部分生长,其它浓度影响均不显著。

落叶松 10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对紫穗槐和草木樨幼苗苗高和苗干质量均有显著促进作用($P < 0.05$),其它浓度无显著差异($P > 0.05$)。对毛苕子幼苗地上部分生长均表现出显著促进作用($P < 0.05$),各浓度处理下毛苕子幼苗苗高和苗干质量分别提高了 29.5%和 24.0%以上。

樟子松各浓度浸提液均显著降低了紫穗槐幼苗苗干质量($P < 0.05$)。40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对紫穗槐幼苗苗高表现出显著抑制作用($P < 0.05$),各浓度对毛苕子幼苗地上部分生长和草木樨幼苗苗高均表现出显著促进作用($P < 0.05$),10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度显著提高了草木樨幼苗苗干质量($P < 0.05$),其它浓度与对照均无显著差异。

2.2.2 对豆科灌草幼苗幼根生长的影响 油松浸提液对紫穗槐和毛苕子幼根的生长均表现为显著的“低促高抑”($P < 0.05$)。10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度浸提液对草木樨幼根生长表现出显著促进作用($P < 0.05$),根长和根干质量较对照分别提高 21.5%和 25.8%,其它浓度处理与对照差异不显著。

侧柏浸提液对紫穗槐幼根的生长整体表现为促进作用,且各浓度对紫穗槐幼苗根长影响显著($P < 0.05$)。10 和 20 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对毛苕子幼苗根长具显著促进作用($P < 0.05$),10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著提高了毛苕子幼苗根干质量,各浓度浸提液对草木樨幼苗根干质量均无显著影响,10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度浸提液对幼根伸长表现出显著的促进作用($P < 0.05$)。

落叶松 10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著促进了紫穗槐幼根伸长($P < 0.05$),40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著降低了紫穗槐幼苗根干质量($P < 0.05$),对毛苕子

幼根生长表现为促进作用($P < 0.05$),对毛苕子幼根伸长有显著的促进作用($P < 0.05$),但对其幼苗根长均具显著促进作用($P < 0.05$),对草木樨幼干质量无显著影响。

表 1 4 种针叶乔木不同浓度枯落叶分解水浸提液对 3 种豆科灌草种子萌发的影响

Table 1 Effects of different concentrations of water extracts from decomposed leaf litters of four coniferous trees on seed germination of three leguminous shrub and grass species

项目 Item	灌草 Shrub and grass	油松浸提液 Water extracts of <i>Pinus tabulaeformis</i> /mg · mL ⁻¹			
		0	10	20	40
发芽率 Germination rate/%	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	85.67±6.03b	92.67±1.10a	87.67±2.02ab	76.33±2.00c
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	99.33±0.30a	98.67±0.58ab	97.33±0.30b	96.00±1.03c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	81.33±2.00a	66.33±3.00b	64.00±2.00b	55.00±2.04c
发芽指数 Germination index	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	47.67±3.02b	53.72±3.00a	48.31±2.00b	41.75±2.00c
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	47.28±2.03a	48.56±1.01a	48.11±1.07a	46.28±1.00a
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	67.03±2.00a	60.78±2.10b	57.78±2.04b	45.72±2.12c
项目 Item	灌草 Shrub and grass	侧柏浸提液 Water extracts of <i>Platycladus orientalis</i> /mg · mL ⁻¹			
		0	10	20	40
发芽率 Germination rate/%	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	89.67±3.04a	90.33±4.12a	88.00±1.96a	85.33±2.00a
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	92.00±4.05a	90.00±2.03ab	89.64±3.24ab	86.00±2.16b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	88.00±2.06b	96.00±3.12a	94.67±3.00a	92.67±3.01ab
发芽指数 Germination index	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	68.06±4.21a	72.03±4.13a	67.72±3.25a	66.28±3.10a
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	34.19±4.11a	37.11±2.24a	35.50±3.00a	34.61±2.09a
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	77.64±3.00b	90.36±3.15a	88.22±3.04a	84.22±4.26a
项目 Item	灌草 Shrub and grass	落叶松浸提液 Water extracts of <i>Larix principis-rupprechtii</i> /mg · mL ⁻¹			
		0	10	20	40
发芽率 Germination rate/%	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	83.70±0.72a	83.00±1.02a	76.00±1.05b	72.70±4.31b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	98.60±0.61a	98.60±0.42a	98.00±0.51ab	97.33±0.33b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	81.30±2.02b	87.30±2.11a	86.30±0.34a	84.00±1.93ab
发芽指数 Germination index	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	49.56±3.11a	48.42±2.02a	45.81±4.10a	44.86±2.02a
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	47.56±2.00a	46.72±0.72ab	45.33±1.01ab	44.61±0.23b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	67.03±2.02b	71.61±1.05a	69.94±2.01ab	69.28±2.21ab
项目 Item	灌草 Shrub and grass	樟子松浸提液 Water extracts of <i>Pinus sylvestris</i> /mg · mL ⁻¹			
		0	10	20	40
发芽率 Germination rate/%	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	82.69±2.05b	88.00±4.00a	86.00±2.26ab	81.31±1.08b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	97.31±0.34a	96.69±1.05ab	96.00±1.00ab	95.31±1.12b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	81.31±3.06a	62.31±4.00b	57.00±0.94c	45.69±2.31d
发芽指数 Germination index	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	47.17±0.17c	52.04±1.98a	49.39±0.30b	43.75±0.33d
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	46.50±0.40a	46.00±0.62a	44.00±0.61b	43.67±0.53b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	67.03±2.13a	54.72±0.51b	48.28±0.28c	37.67±0.53d

注:同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 2 同。

Note: Different letters within the same row indicate significant difference among different concentrations at 0.05 level determined by LSD multiple range tests. The same in Fig. 2.

表2 4种林木不同浓度枯落叶分解浸提液对3种豆科灌草幼苗生长的影响

Table 2 Effects of different concentrations of water extracts from decomposed leaf litters of four coniferous trees on seedling growth of three leguminous shrub and grass species

项目 Item	灌草 Shrub and grass	油松浸提液 Water extracts of <i>Pinus tabulaeformis</i> /mg · mL ⁻¹			
		0	10	20	40
苗高 Shoot height/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	4.94±0.32a	5.19±0.33a	5.01±0.20a	4.90±0.19a
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	9.93±0.11ab	11.75±1.00a	10.18±0.50b	8.94±0.21c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	3.16±0.11c	3.85±0.20a	3.73±0.12ab	3.46±0.21b
苗干质量 Shoot dry weight/ mg · plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	2.77±0.31a	3.03±0.20a	2.88±0.22a	2.69±0.12a
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	3.84±0.04c	4.49±0.20a	4.25±0.18b	3.35±0.11d
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.92±0.11ab	1.15±0.09a	0.88±0.18b	0.76±0.06b
根长 Root length/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	4.23±0.22b	4.64±0.14a	4.24±0.20b	2.55±0.25c
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	7.51±0.05b	9.30±0.15a	9.30±0.30a	7.03±0.20c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	2.79±0.11b	3.39±0.12a	3.06±0.48ab	2.94±0.20ab
根干质量 Root dry weight/ mg · plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	0.65±0.03a	0.72±0.10a	0.70±0.05a	0.41±0.26b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	1.79±0.03b	2.21±0.11a	2.10±0.05a	1.61±0.05c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.31±0.05ab	0.39±0.05a	0.30±0.05ab	0.27±0.05b
项目 Item	灌草 Shrub and grass	侧柏浸提液 Water extracts of <i>Platycladus orientalis</i> /mg · mL ⁻¹			
		0	10	20	40
苗高 Shoot height/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	4.93±0.32ab	5.23±0.21a	4.78±0.40ab	4.43±0.20b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	5.50±0.15c	11.65±1.02a	11.57±0.57a	8.29±0.20b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	3.05±0.05b	3.49±0.21a	3.03±0.22b	2.95±0.31b
苗干质量 Shoot dry weight/ mg · plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	2.75±0.21ab	2.93±0.19a	2.55±0.12b	2.40±0.21b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	2.06±0.06c	5.78±0.31a	3.20±0.14b	2.12±0.05c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.89±0.06b	1.02±0.05a	0.88±0.07b	0.83±0.05b
根长 Root length/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	2.95±0.05c	4.58±0.10a	4.08±0.41b	3.76±0.21b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	4.40±0.25c	8.97±0.32a	6.20±0.21b	4.47±0.22c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	2.92±0.30b	3.31±0.15a	2.90±0.22b	2.77±0.12c
根干质量 Root dry weight/ mg · plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	0.51±0.04b	0.64±0.06a	0.61±0.05ab	0.58±0.06ab
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	1.78±0.13b	2.10±0.05a	1.84±0.10b	1.82±0.07b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.37±0.05a	0.41±0.05a	0.35±0.04a	0.31±0.04a
项目 Item	灌草 Shrub and grass	落叶松浸提液 Water extracts of <i>Larix principis-rupprechtii</i> /mg · mL ⁻¹			
		0	10	20	40
苗高 Shoot height/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	5.38±0.12b	5.75±0.21a	5.38±0.20b	5.29±0.15b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	6.31±0.31d	13.19±0.31a	9.14±0.10b	8.17±0.21c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	3.73±0.13b	4.39±0.63a	3.93±0.13ab	3.49±0.09b
苗干质量 Shoot dry weight/ mg · plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	3.23±0.23ab	3.43±0.13a	3.35±0.20ab	3.00±0.08b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	2.79±0.11d	5.87±0.21a	3.87±0.07b	3.46±0.21c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.83±0.02b	1.12±0.02a	0.83±0.02b	0.81±0.03b
根长 Root length/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	4.92±0.21b	5.58±0.20a	4.94±0.04b	4.74±0.11b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	5.83±0.11c	10.07±0.50a	7.93±0.31b	7.88±0.12b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	3.16±0.08b	3.75±0.12a	3.60±0.11a	3.57±0.11a
根干质量 Root dry weight/ mg · plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	0.75±0.05a	0.77±0.05a	0.77±0.05a	0.61±0.05b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	1.86±0.06c	2.29±0.09a	2.16±0.16ab	2.02±0.02bc
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.42±0.02a	0.45±0.04a	0.43±0.02a	0.41±0.02a

续表 2

项目 Item	灌草 Shrub and grass	樟子松浸提液 Water extracts of <i>Pinus sylvestris</i> /mg·mL ⁻¹			
		0	10	20	40
苗高 Shoot height/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	5.38±0.11a	5.28±0.21a	5.28±0.13a	4.89±0.10b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	5.61±0.10d	12.11±0.11a	9.74±0.10b	8.23±0.04c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	2.78±0.08d	3.93±0.03a	3.58±0.07b	3.46±0.09c
苗干质量 Shoot dry weight/ mg·plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	3.28±0.20a	2.90±0.06b	2.87±0.05bc	2.65±0.11c
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	2.15±0.05d	4.83±0.06a	3.28±0.08b	2.93±0.03c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.92±0.08b	1.18±0.12a	1.12±0.14ab	1.04±0.23ab
根长 Root length/ cm	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	3.02±0.21c	5.16±0.18a	4.54±0.11b	4.52±0.12b
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	5.37±0.05c	9.24±0.04a	7.44±0.20b	7.34±0.15b
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	2.95±0.23b	4.44±0.31a	3.04±0.21a	2.84±0.12b
根干质量 Root dry weight/ mg·plant ⁻¹	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	0.60±0.12a	0.65±0.05a	0.65±0.07a	0.59±0.08a
	毛苕子 <i>Vicia villosa</i>	1.65±0.04c	2.06±0.03a	1.80±0.06b	1.70±0.03c
	草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	0.31±0.08a	0.39±0.06a	0.37±0.07a	0.32±0.05a

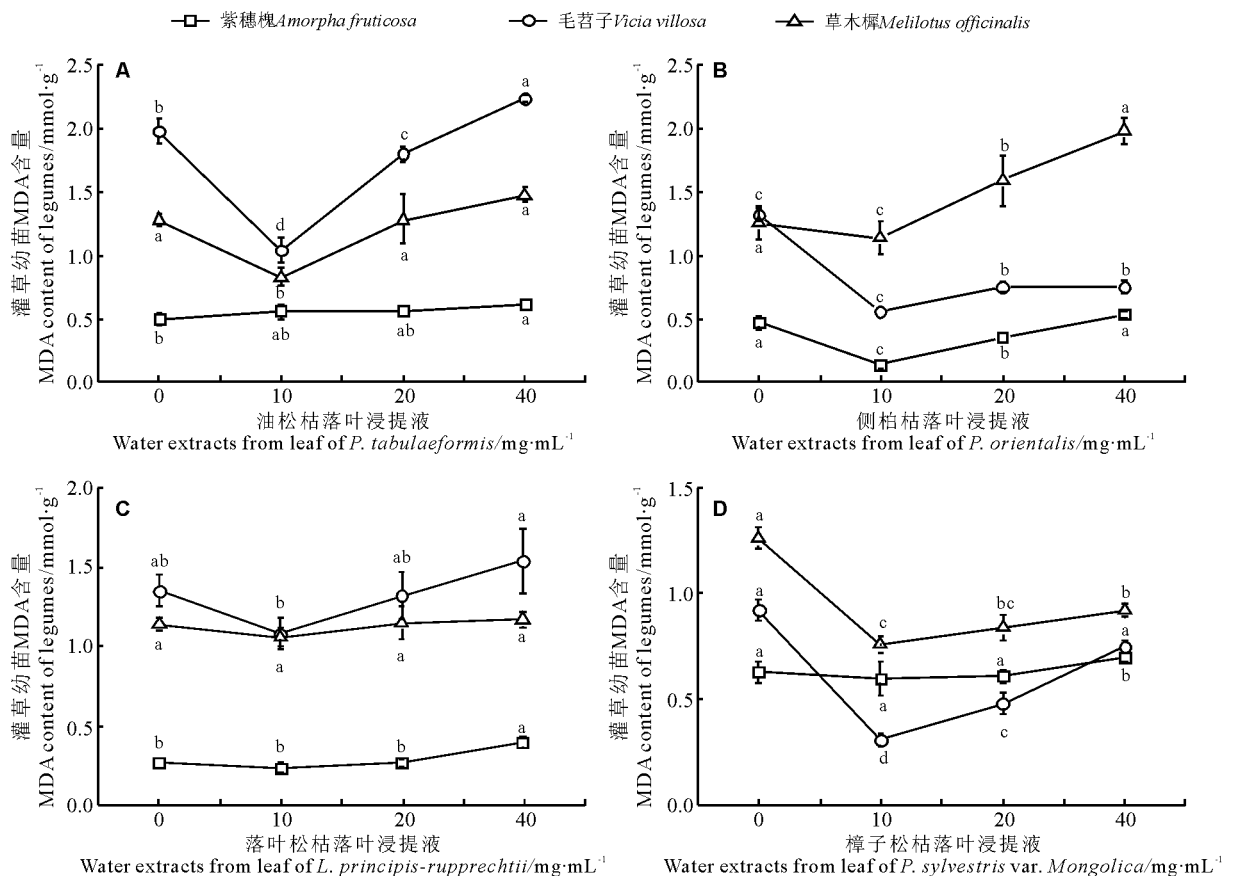


图 1 4 种针叶乔木不同浓度的枯落叶分解水浸提液对 3 种豆科灌草幼苗 MDA 含量的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of water extracts from decomposed leaf litters of four coniferous trees on MDA content of *A. fruticosa*, *V. villosa* and *M. officinalis*

注:同一植物不同小写字母表示不同浸提液浓度间差异显著(P<0.05)。

Note: Different lower case letters for the same legume indicate significant difference among four concentrations at 0.05 level.

樟子松浸提液显著促进了紫穗槐幼苗幼根的伸长($P < 0.05$),但对其幼根干质量无显著影响;对毛茛子幼根生长表现出促进作用,且10和20 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液促进作用显著($P < 0.05$);10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液对草木樨幼根的伸长有显著促进作用($P < 0.05$),但对其根干质量无显著影响。

2.3 植物枯落叶浸提液对紫穗槐、毛茛子和草木樨幼苗MDA含量的影响 丙二醛产生数量的多少在一定程度上能够代表植物膜脂过氧化的程度^[15]。油松浸提液提高了紫穗槐幼苗体内MDA含量(图1A),且随浸提液浓度升高MDA含量升高。10和20 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著降低毛茛子幼苗MDA含量,40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著增加幼苗MDA含量($P < 0.05$);10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著降低草木樨幼苗MDA含量,其它浓度对其影响不显著。

侧柏10和20 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著降低了紫穗槐幼苗MDA含量(图1B),对毛茛子幼苗MDA含量具显著降低作用($P < 0.05$),且MDA含量随浸提液浓度的降低而降低,20和40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液可显著提高草木樨幼苗MDA含量,10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 对其含量无显著影响。

落叶松40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著增加紫穗槐幼苗MDA含量($P < 0.05$),10 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浸提液显著降低毛茛子幼苗MDA含量($P < 0.05$),对草木樨幼苗MDA含量无显著影响(图1C)。

樟子松各浓度浸提液对紫穗槐幼苗MDA含量均无显著影响(图1D),而对毛茛子和草木樨幼苗MDA含量具显著降低作用($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

MDA是生物膜系统脂质过氧化的有害产物之一,能与细胞内各种成分发生强烈反应,引起酶和膜的严重损伤,最终导致膜结构及生理完整性的破坏。其含量水平可指示脂质过氧化强度和膜系统的伤害程度,含量越高表明化感物质引起受体植物细胞内活性氧水平越高,发生氧化胁迫的可能性就越大^[16-17]。研究发现,随着针叶乔木枯落叶浸提液浓度的升高,3种豆科灌草幼苗叶内MDA含量也增加,并且豆科灌草幼苗体内MDA含量分析与

其幼苗生长的分析结果相吻合(图1)。即豆科灌草幼苗MDA含量低于对照,则幼苗受害程度轻,生长状况显著优于对照,反之,MDA含量升高,幼苗受害程度增强,生长发育受抑,这与郑丽和冯玉龙^[18]、袁娜等^[19]的研究结果类似。表明针叶乔木枯落叶化感效应对豆科灌草幼苗生长的影响很可能与其引起MDA含量的变化有关,同时MDA含量可能是衡量化感效应的最敏感指标。

研究结果还表明,油松和樟子松低浓度浸提液对草木樨种子萌发,油松低浓度浸提液对紫穗槐和毛茛子种子萌发和幼苗生长,侧柏低浓度浸提液对草木樨以及落叶松低浓度浸提液对紫穗槐的幼苗生长均具有促进作用,然而高浓度下均具较强抑制作用。这种“低浓度促进高浓度抑制”的化感效应在其它植物化感效应的研究中也较多报道^[19-21]。浸提液中化感物质浓度高,对受体植物生长的抑制作用就强,当化感物质未达到一定浓度时,对受体植物生长影响不明显,甚至具一定促进作用^[22],这与Xuan^[23]研究紫花苜蓿能促进水稻(*Oryza sativa*)增产试验的结果基本一致。某些化感物质进入土壤后经土壤动物和微生物作用,性质和化感强度会发生变化,影响化感物质的迁移并减弱其化感潜能^[24]。然而本研究结果发现,油松、落叶松、侧柏和樟子松低浓度浸提液对毛茛子幼苗生长整体均表现出促进作用。这可能是由于枯落叶在混土培养分解过程中,土壤微生物对化感物质进行了降解和分解,使浸提液中能产生抑制作用的化感物质的量不能累积到其产生化感作用的阈值^[1]。此外,枯落叶的分解增加了土壤中有机的含量,部分有机物质在分解过程中经微生物作用直接转化为腐殖质^[25],提高了土壤养分含量,从而对植物灌草种子生长表现出促进作用。

利用枯落叶经混土室内分解培养获得的浸提液进行的试验结果与利用直接淋洗枯落叶得到的试验结果^[19]之间存在一定差异,说明土壤分解会对树木枯落叶化感物质和养分物质的释放产生影响。土壤结构、土壤成分以及培养条件的差异等都会影响枯落叶分解的结果。在自然状态下,化感物质主要是通过雨雾淋溶和枯落物分解进入土壤引发化感效

应^[26]。因此,本试验以相同的土壤(黄绵土)作为枯落叶分解介质,将4种林木枯落叶粉碎混入土壤分解后再用蒸馏水浸提,类似于枯落叶在土壤中自然腐解,最大限度的使研究结果接近于自然中的实际情况。虽然以分解浸提液为培养基质进行的室内的种子发芽和幼苗生长试验结果并不具有完全代表性,仅能初步检验是否存在潜在的化感现象,但是,本研究结果表明化感效应的产生会受到土壤的影响,同时试验结果最大程度地反映出不同林木对灌草植物存在的潜在化感效应。这对林草复合生态系统的合理构建具有重要的理论指导意义,而关于种间化感效应方式和作用机理等问题还有待更深入的研究。

总体来看,油松浸提液对毛茛子和草木樨种子萌发有抑制作用,低浓度浸提液显著促进了草木樨幼苗生长($P < 0.05$);侧柏浸提液对草木樨种子萌发有促进作用,有利于毛茛子地上部分和紫穗槐幼根生长;落叶松浸提液抑制了紫穗槐和毛茛子种子萌发,促进了草木樨种子萌发以及毛茛子幼苗和草木樨幼根生长;樟子松浸提液抑制了毛茛子和草木樨种子萌发以及紫穗槐幼苗地上部分生长,低浓度浸提液显著促进了草木樨幼苗生长($P < 0.05$)。本研究结果表明,幼苗MDA含量可能是衡量4种针叶纯林枯落叶化感效应最敏感的指标,毛茛子和草木樨对其化感效应的敏感性较强,但紫穗槐较弱。

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.
- [2] 王大力,祝心如.三裂叶豚草的化感作用研究[J].植物生态学报,1996,20(4):330-337.
- [3] Moral R D, Willis R T. Suppression of coastal heath vegetation by *Eucalyptus Baxteri*[J]. Australian Journal of Botany,1978,26(2):203-219.
- [4] Fischer N H, Williamson G B, Weidenhamer J D. In search of allelopathy in the Florida scrub: The role of terpenoids[J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(6):1355-1380.
- [5] Khan P A, Qaisar K N, Khan M A. Effect of aqueous leaf extract of *Populus deltoides* on seed germination and seedling growth of radish, French bean and mus-tard[J]. Indian Journal of Forestry, 2006, 29(4): 403-406.
- [6] 唐建军,陈欣.植物他感作用的研究现状及发展前景[J].青年生态学家,1988,2(1):1-7.
- [7] 许岳飞,毕玉芬,金晶炜.木豆化感作用对6种灌草种子萌发和幼苗生长的影响[J].云南农业大学学报,2008,23(3):375-380.
- [8] 钟宇,张健,杨万勤,等.不同土壤水分条件下生长的巨桉对紫花苜蓿的化感作用[J].草业学报,2009,18(4):81-86.
- [9] 刘玉新,徐向新.落叶松凋落物对白菜与水曲柳种子萌发的影响[J].吉林农业科技学报,2008,17(4):22-24.
- [10] 沈晓莉,沈海龙,梁晓东,等.落叶松枯落针叶水浸液对落叶松和云杉种子的萌发影响[J].林业科技开发,2012,26(4):19-22.
- [11] 刘增文.森林生态系统的物质积累与循环[M].北京:中国林业出版社,2009:49-55.
- [12] 冯慰冬,董玉山.植物的化感作用及其在林业生态建设中的效应[J].内蒙古林业科技,2003(2):18-20.
- [13] 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(1):123-126.
- [14] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:210-211.
- [15] 徐成东,浦雪梅,李国树,等.紫茎泽兰叶水提液对玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J].华北农学报,2010,25(增刊):124-127.
- [16] Lin C C, Kao C H. Effect of NaCl stress on H_2O_2 metabolism in rice leaves[J]. Plant Growth Regulation, 2000,30:151-155.
- [17] Scandalios J G. Oxygen stress and superoxide dismutase[J]. Plant Physiology,1993,101:7-12.
- [18] 郑丽,冯玉龙.紫茎泽兰叶片化感作用对10种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J].生态学报,2005,25(10):2782-2787.
- [19] 袁娜,刘增文,杜良贞,等.黄土高原主要人工林树种对几种豆科牧草的化感作用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(1):87-92.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 喻景权,松井佳久. 豌豆根系分泌自毒作用研究[J]. 园艺学报,1999,26(3):175-179.
- [23] Xuan T D, Tsuzuki E, Uematsu H, *et al.* Weed control with alfalfa pellet in transplanting rice[J]. *Weed Biology and Management*, 2001, 1: 231-235.
- [24] Cheng H H. A conceptual framework for assessing allelochemicals in the soil environment[A]. Rizvi S J H, Rizvi V. *Allelopathy: Basic and Applied aspects* [M]. London: Chapman and Hall, 1992: 21-29.
- [25] 秦俊豪, 贺鸿志, 黎华寿, 等. 芝麻、花生和田菁秸秆还田的化感效应研究[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(10): 1941-1947.
- [26] Tukey H B. Leaching of metabolites from above ground plant parts and its implications[J]. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1966, 93(6): 385-401.

Allelopathic effects of leaf litters from four coniferous pure forests on three leguminous shrubs and grasses

LI Jun¹, LIU Zeng-wen^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China,

Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to investigate the feasibility of leguminous shrub and grass species applied in coniferous artificial forests renovation and silvopastoral vegetation construction, allelopathic effects of different concentrations (10, 20 and 40 mg · mL⁻¹) of water extracts from decomposed leaf litters of *P. tabulaeformis*, *P. orientalis*, *L. principis-rupprechtii* and *P. sylvestris* on seed germination and seedling growth of *A. fruticosa*, *V. villosa* and *M. officinalis* were studied. The results indicated that 1) *P. tabulaeformis* litter extracts inhibited the seed germination of *V. villosa* and *M. officinalis*, and showed the law of “lower-stimulation and high-inhibition” on the seed germination of *A. fruticosa* and seedling growth of *V. villosa*; 2) *P. orientalis* litter extracts decreased the germination rate of *V. villosa*, and promoted seed germination of *M. officinalis* and the growth of *V. villosa* seedling and *A. fruticosa* radicals, and showed the law of “lower-stimulation and high-inhibition” on the seed germination of *A. fruticosa* and the growth of *A. fruticosa* seedling and *M. officinalis* seedling; 3) *L. principis-rupprechtii* litter extracts inhibited the seed germination of *A. fruticosa* and *V. villosa*, promoted the seed germination of *M. officinalis* and the growth of *V. villosa* seedling and *M. officinalis* radicals, and showed the law of “lower-stimulation and high-inhibition” on the seedling growth of *A. fruticosa*; 4) *P. sylvestris* litter extracts showed the law of “lower-stimulation and high-inhibition” on the seed germination of *A. fruticosa*, inhibited seed germination of *V. villosa* and *M. officinalis* and the seedling growth of *A. fruticosa*, while they could promote the growth of *V. villosa* seedling and *A. fruticosa* radicals, lower concentration extract promoted the seedling growth of *M. officinalis* significantly; 5) Analysis results of three leguminous shrub and grass seedlings MDA content and their seedling growth analysis results were consistent. MDA content might be the most sensitive indicator to measure the allelopathic effect.

Key words: leaf litters; *Amorpha fruticosa*; *Vicia villosa*; *Melilotus officinalis*; allelopathic effects