

毛乌素沙地沙柳对花棒和柠条的化感作用

多杰吉^{1,2}, 廖超英^{2,3*}, 高智辉¹, 徐松³

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

摘要:通过生物测定方法,研究了毛乌素沙地的沙柳(*Salix cheilophila*)枝叶浸提液对2种豆科植物花棒(*Hedysarum scoparium*)、柠条(*Caragana korshinskii*)的种子萌发与幼苗生长的化感作用。结果表明,沙柳可以抑制2种受体种子萌发和幼苗生长,花棒的各项指标在随着浸提液浓度升高时抑制作用逐渐减小,柠条的各项指标随着浸提液浓度增加抑制作用逐渐增大。花棒幼苗的地上部分比地下部分敏感,柠条幼苗的地下部分比地上部分敏感。沙柳对花棒和柠条的叶绿素含量指标表现为明显的抑制作用;对柠条根系活力指标表现为明显的抑制作用。因此,对根系和光合系统的破坏可能反映了沙柳化感作用的主要方式。

关键词:毛乌素沙地;沙柳;花棒;柠条;化感作用

中图分类号:S793.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)04-0039-06

Allelopathy Effects of *Salix cheilophila* on *Hedysarum scoparium* and *Caragana korshinskii* in Mu Us Desert

DUO Jie-ji^{1,2}, LIAO Chao-ying^{2,3*}, GAO Zhi-hui¹, XU Song³

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. College of Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Allelopathy effects of the branch-leaf aqueous extract of *Salix cheilophila* on the seed germination and seedling growth of *Hedysarum scoparium* and *Caragana korshinskii* were investigated by bio-assay method. The results showed that the extract exhibited inhibitory effects on seed germination and growth of the two Leguminous plants. And the inhibitory effects to *H. scoparium* decreased along with the increase of the concentration of the extract, in contrast, the germination index of *C. korshinskii* decreased along with the concentration of the extract. The aerial parts of *H. scoparium* seedlings were more sensitive than the underground parts, while *C. korshinskii* underground parts were more sensitive than the aerial parts. The extract showed a sensitive inhibitory effect on chlorophyll content of *H. scoparium* and *C. korshinskii* and significant inhibition on *C. korshinskii* root activity. By inference, damage to the roots and the photosynthetic system may be reflected the allelopathy effect of *S. cheilophila*.

Key words: Mu Us Desert; *Salix cheilophila*; *Hedysarum scoparium*; *Caragana korshinskii*; allelopathy

化感作用由 H. Molisch 于 1937 年首次提出^[1],并由 Rice 在他的专著《Allelopathy》再版中补充定义为:所有类型的植物(包含微生物)之间的生

物化学物质的相互作用,并指出相互作用中包括促进以及抑制作用^[2]。综观化感作用研究现状,虽然对其机理有了比较深入的研究,但其主要研究大都

收稿日期:2014-10-20 修回日期:2014-12-11
基金项目:国家自然科学基金项目(30670339)。
作者简介:多杰吉,女,硕士研究生,研究方向:森林生态。E-mail:duo_jieji@126.com
* 通信作者:廖超英,男,教授,博士生导师,研究方向:水土保持与荒漠化防治。E-mail:chaoying95@163.com

集中于防治杂草^[3-5]、连作障碍^[6-9]、人工林可持续经营^[10-11]森林树种间的化感作用^[12-15]、生物入侵^[16-19]等方面的研究,但很少涉及对沙地植物之间的化感作用研究。

毛乌素沙地是我国荒漠化发展最快、危害最严重的四大沙区之一,在沙区造林防治荒漠化成为最主要的问题^[20]。近年来,随着禁牧、退耕还林还草以及飞播造林的实施,毛乌素沙地的植被迅速恢复,形成灌木半灌木为主体的植被群落。沙柳(*Salix cheilophila*)作为沙地常用的沙障,可以在一定程度上控制风沙流动的方向、速度、结构,改变地表的蚀积情况,从而达到固定沙面、控制沙害的作用^[21]。花棒(*Hedysarum scoparium*)、柠条(*Caragana korshinskii*)作为毛乌素沙地常用的飞播树种和防风固沙树种,具有根系发达、抗风沙、水土保持能力强、易存活的特点。沙柳、花棒是毛乌素沙地流动、半流动沙丘主要半灌木树种^[22],柠条则是缓坡丘陵沙地的主要灌丛树种^[23],这3种植物所能生活的区域占据了毛乌素沙地的一大部分。E. L. Rice^[24]提出,化感作用的生态学意义可能是通过影响植物的分布区域从而决定植被的类型。不同群落之间可以通过产生化感作用而使物种形成一定的密度、一定的分布和一定的种间组合,从而影响群落的构造与群落的分布^[25]。因而这3种植物之间的化感作用值得研究。研究这几种沙地植物之间的化感作用机制,能为毛乌素沙地飞播造林合理安排作物布局提供理论依据,对沙地水土保持、改良土壤、增加生物多样性等生态功能有很大意义。本试验以沙柳为供体,利用超声波浸提法模拟植株分解、雨雾淋溶引起的化感作用,研究了沙柳枝叶浸提液对2种豆科植物花棒、柠条的种子萌发以及幼苗生长的化感作用,旨在探究沙柳与花棒、柠条的相互作用机制,为规划沙区植被、增加沙区群落生态稳定性、生物多样性提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料的采集与处理

供试植物沙柳于2013年9月采自毛乌素沙地榆林沙区,选择新鲜健康的沙柳植株,剪取枝叶。将沙柳枝叶铺平阴干后剪成3~5 cm的小段再用粉碎机粉碎,过1 mm孔径筛子后放入塑封袋中密封,置于4℃冰箱内保存备用。试验所用的受体植物花棒、柠条种子均购于榆林市榆阳区林木种子站。

1.2 沙柳水浸提液的制备

称取15 g沙柳枝叶粉末装入装有500 mL蒸馏

水的三角瓶中并用保鲜膜封口,采用超声波浸提法于50℃下浸提30 min^[26]。过滤,离心后即得30 mg·mL⁻¹的母液,置于4℃冰箱中备用。用时加蒸馏水将母液分别稀释至15 mg·mL⁻¹,5 mg·mL⁻¹。所用枝叶水浸提液每隔7 d重新配置1次。

1.3 种子萌发试验处理

选择大小均一的受体种子,其中花棒种子剥去荚果皮,加入60~70℃的温水并搅拌种子,使种子上下受热均匀,当水温达30℃时停止搅拌自然冷却浸种24 h,捞出,用0.3%的高锰酸钾消毒30 min,先用清水冲洗,再用蒸馏水冲洗3~4次,并控干种子。

选择颗粒饱满、大小均一的受体种子规则的播于铺有两层滤纸的培养皿中,每皿50粒种子,加入上述各不同质量浓度的枝叶浸提液各5 mL,以蒸馏水为对照(CK),每处理3个重复,加培养皿盖以保持滤纸湿润。将培养皿置于白天光照14 h,温度25℃;夜晚温度为20℃的人工气候箱中培养,每天加入2 mL对应的处理液并记录发芽数(胚根突破种皮1 mm视为萌发),培养10 d。计算发芽率,发芽势以及发芽指标^[27]。

1.4 幼苗生长试验处理

幼苗生长试验采用培养皿沙培法进行培养。受体种子经过浸泡、消毒、清洗后置于用浸湿但无积水的纱布做成的发芽床上,再用2层纱布盖上并置于30℃的恒温培养箱中催芽,直到露白。

河沙经过反复清洗后于108℃下烘干,用烧杯量取45 mL的河沙置于直径9 cm的培养皿中,每皿加入相对应的处理液各15 mL,并且用镊子选取露白一致、大小均一的种子各45粒播于培养皿中,以蒸馏水为对照并设3个重复。盖上定制的有孔球形透明塑料盖并置于人工气候箱中培养,条件同种子萌发试验,每天加入3 mL蒸馏水以保持湿润。

培养10 d后,每皿随机选取5个幼苗并测其苗高根长,苗鲜重、根鲜重、苗干重与根干重(108℃杀青30 min,再调至85℃至恒重)。用电导率仪法测定相对电导率^[28];用分光光度计法测叶绿素含量^[29-32];用TTC法测定根系活力^[32]。

1.5 数据处理

发芽率(Gr)=(供试种子发芽总数/供试种子总数)×100%

发芽势(Ge)=前7 d内供试种子的发芽数/供试种子总数

发芽指标(GI)= $\sum(Gt/Dt)$ (Gt 为第 t 天的发芽数, Dt 为发芽天数)

化感抑制率(IR): $IR=(1-T/C) \times 100\%$

C 表示发芽率,发芽势和发芽指数的对照值,T 表示发芽率、发芽势和发芽指数的处理值; $IR>0$ 表示抑制作用, $IR<0$ 表示促进作用; IR 的绝对值表示作用强度的大小。所测相对电导率数值越大表示抑制作用越明显^[29],因此在计算 IR 值时需要乘以“ -1 ”。化感综合效应指数为沙柳枝叶浸提液对同一受体植物各个指标化感抑制率的算术平均值。

利用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理与分析。采用单因素方差分析以及 Duncan 法检验沙柳枝叶浸提液对 2 种受体植物种子萌发与幼苗生长所测指标的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 种子萌发指标

沙柳枝叶浸提液对 2 种受体种子的萌发都有着明显的抑制作用(表 1),柠条的各项发芽指标都是随着浸提液浓度梯度的增加抑制作用直接增大,柠条种子的发芽率、发芽势、发芽指数在浸提液浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时比对照分别减小了 19.0%、

22.6%、16.6%,达到了显著水平。沙柳浸提液对花棒种子萌发的各项指标也具有明显的抑制作用,花棒种子的发芽率在 $5、15\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的浓度作用下发芽率都比对照减小了 5.0%,而在 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度的水浸提液作用下,发芽率比对照仅减少了 1.0%。发芽势、发芽指数在 $5、15\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的浓度下比对照减小了 19.6%、23.8%,与对照差异显著,在浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时比对照增加了 3.8%。

2.2 种子幼苗形态指标

沙柳枝叶浸提液对 2 种受体植物幼苗形态都有抑制作用(表 1)。沙柳浸提液对花棒幼苗的各项生长指标均有抑制作用且在浓度为 $5\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时抑制作用最大。苗高、苗干重显著减小,分别减小了 21.4%、17.7%,在浸提液浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时抑制作用最小,根长只比对照减小了 2.5%。随着浓度梯度的增加沙柳枝叶浸提液对柠条幼苗形态的抑制作用逐渐增大。在浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时的根长和根干重分别比对照减小了 30.5%、34.0%,与对照的差异达到了显著水平。

表 1 沙柳枝叶浸提液对 2 种豆科植物种子萌发与幼苗形态的影响

Table 1 Effect of <i>S. cheilophila</i> branch-leaf aqueous extract on two Leguminous plants' seed germination and seedling growth								
受体植物	浸提液浓度 /($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	苗高/mm	苗干重/mg	根长/mm	根干重/mg
花棒	0	$0.94\pm0.00^{\text{ab}}$	$0.92\pm0.00^{\text{a}}$	$20.87\pm0.27^{\text{b}}$	$51.00\pm1.40^{\text{a}}$	$6.43\pm0.50^{\text{a}}$	$181.93\pm1.85^{\text{a}}$	$8.76\pm1.34^{\text{a}}$
	5	$0.89\pm0.01^{\text{b}}$	$0.84\pm0.04^{\text{b}}$	$16.78\pm0.40^{\text{c}}$	$40.07\pm2.54^{\text{c}}$	$5.29\pm0.33^{\text{b}}$	$171.20\pm0.72^{\text{d}}$	$7.37\pm0.51^{\text{a}}$
	15	$0.89\pm0.05^{\text{ab}}$	$0.87\pm0.03^{\text{ab}}$	$15.90\pm0.14^{\text{d}}$	$45.67\pm4.22^{\text{b}}$	$5.43\pm0.08^{\text{b}}$	$174.20\pm1.64^{\text{c}}$	$7.49\pm0.45^{\text{a}}$
	30	$0.93\pm0.01^{\text{ab}}$	$0.91\pm0.01^{\text{a}}$	$21.70\pm0.20^{\text{a}}$	$48.73\pm0.92^{\text{ab}}$	$5.67\pm0.25^{\text{b}}$	$177.40\pm1.04^{\text{b}}$	$7.55\pm0.54^{\text{a}}$
柠条	0	$0.64\pm0.02^{\text{a}}$	$0.53\pm0.01^{\text{a}}$	$14.62\pm0.44^{\text{a}}$	$58.80\pm2.03^{\text{a}}$	$11.04\pm0.55^{\text{a}}$	$44.40\pm6.42^{\text{a}}$	$7.03\pm0.37^{\text{a}}$
	5	$0.51\pm0.03^{\text{b}}$	$0.47\pm0.03^{\text{ab}}$	$14.12\pm0.54^{\text{a}}$	$55.47\pm0.58^{\text{b}}$	$10.72\pm0.79^{\text{a}}$	$42.60\pm5.63^{\text{a}}$	$5.49\pm0.85^{\text{b}}$
	15	$0.49\pm0.03^{\text{bc}}$	$0.47\pm0.04^{\text{ab}}$	$13.84\pm0.73^{\text{a}}$	$52.00\pm0.69^{\text{c}}$	$10.27\pm0.59^{\text{a}}$	$32.47\pm2.12^{\text{b}}$	$4.78\pm1.08^{\text{b}}$
	30	$0.45\pm0.03^{\text{d}}$	$0.41\pm0.05^{\text{b}}$	$12.20\pm0.42^{\text{b}}$	$51.53\pm1.27^{\text{c}}$	$10.19\pm0.59^{\text{a}}$	$30.87\pm1.53^{\text{b}}$	$4.64\pm0.17^{\text{b}}$

注:表中数据为均值±标准差,字母表示同一处理不同浓度间在 0.05 处理水平上差异显著。表 2 同。

2.3 幼苗生理指标

沙柳枝叶浸提液对花棒幼苗的相对电导率作用不明显,叶绿素含量随着浸提液浓度梯度的升高逐渐减少,在浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时比对照减少了 42.7%,差异极显著(表 2)。浸提液对花棒根系活力有抑制作用且在 $5\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时抑制作用最明显,比对照减小了 15.5%,随着浓度梯度的升高抑制作用逐渐减小,在 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度作用下仅比对照减小了 2.8%(表 2)。沙柳枝叶浸提液浓度为 $5\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,可使柠条幼苗的相对电导率降低,比对照减小了 18.6%,随着浸提液浓度梯度的增加,相对电导率逐渐升高且都比对照的相对电导率高,在浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时比对照增加了 21.2%,与对照差异显著。沙柳浸提液对柠条幼苗的叶绿素含量与根系活力均有抑制作用,且都随着浓度梯度的升高而逐渐减小,柠条幼苗的叶绿素含

量和根系活力在浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 分别比对照减小了 36.7%和 36.9%,与对照差异极显著。

2.4 化感效应综合分析

沙柳枝叶水浸提液对花棒的发芽指标、幼苗形态指标以及生理指标的化感综合效应均表现为抑制作用(表 3)。在发芽指标中,随着浸提液浓度梯度的增加,抑制作用逐渐增加,但在浓度为 $30\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,表现为较小的促进作用;且在种子发芽指标中,发芽指数的化感综合效应大于发芽势的化感综合效应,而发芽率的化感综合效应最小,即沙柳枝叶浸提液对花棒种子萌发速度的影响>对萌发整齐度的影响>对萌发数量的影响;花棒幼苗形态指标均对沙柳枝叶浸提液表现敏感,敏感程度为苗苗干重>根干重>苗高>根长;在生理指标中,叶绿素含量的化感综合效应远大于根系活力和相对电导率,表现为明显的抑制作用,相对电导率的抑制作用表现不明显。

沙柳枝叶浸提液对柠条的发芽指标、幼苗形态指标和生理指标的化感综合效应均表现为抑制作用(表3)。在发芽指标中,随着浸提液浓度梯度的增加,化感综合效应的抑制作用均有明显升高的趋势,并且敏感程度依次为发芽率>发芽势>发芽指数,即沙柳枝叶浸提液对柠条种子萌发数量的影响>对萌发整齐

度的影响>对萌发速度的影响;柠条幼苗指标对沙柳枝叶浸提液表现敏感,敏感程度依次为根干重>根长>苗高>苗干重;在生理指标中,叶绿素含量的综合效应>根系活力的综合效应>相对电导率的综合效应,叶绿素含量和根系活力表现为明显的抑制作用,远远大于相对电导率的化感综合效应。

表 2 沙柳枝叶浸提液对 2 种豆科植物生理指标的影响

Table 2 Effect of <i>S. cheilophila</i> branch-leaf aqueous extract on two Leguminous plants' seeding physiological characteristics				
受体植物	浸提液浓度 /(mg · mL ⁻¹)	相对电导率/%	叶绿素含量 /(mg · g ⁻¹)	根系活力 /(mg · g ⁻¹ · h ⁻¹)
花棒	0	11.57±1.05 ^a	1.31±0.04 ^a	0.71±0.01 ^a
	5	11.86±1.72 ^a	1.08±0.11 ^b	0.68±0.04 ^c
	15	11.84±0.53 ^a	1.06±0.18 ^b	0.74±0.05 ^b
	30	11.66±1.24 ^a	0.75±0.06 ^c	0.82±0.03 ^a
柠条	0	11.24±1.29 ^{bc}	0.60±0.13 ^a	0.25±0.03 ^a
	5	9.15±0.73 ^c	0.46±0.13 ^{ab}	0.24±0.03 ^a
	15	12.73±0.73 ^{ab}	0.44±0.04 ^{ab}	0.17±0.01 ^b
	30	13.62±0.38 ^a	0.38±0.10 ^b	0.16±0.01 ^b

表 3 沙柳枝叶浸提液对 2 种豆科植物的种子萌发和幼苗生长的化感综合效应指数

Table 3 Allelopathic effects of <i>S. cheilophila</i> branch-leaf aqueous extract on two Leguminous plants' seed germination and seeding growth								%
项目	花棒浸提液浓度/(mg·mL ⁻¹)			化感综合 效应指数	柠条浸提液浓度/(mg·mL ⁻¹)			化感综合 效应指数
	5	15	30		5	15	30	
发芽率	5.32	5.32	1.06	3.90	20.31	23.44	29.69	24.48
发芽势	8.70	5.43	1.09	5.07	11.32	11.32	22.64	15.09
发芽指数	19.60	23.81	−3.98	13.14	3.42	5.34	16.55	8.44
化感综合效应指数	11.21	11.52	−0.61	7.37	11.68	13.37	22.96	16.00
苗高	19.86	10.45	4.45	11.59	5.66	11.56	12.36	9.86
苗干重	17.73	15.55	11.82	15.03	2.63	6.97	7.70	5.77
根长	5.90	4.25	2.49	4.21	4.05	26.87	30.47	20.46
根干重	15.87	14.50	13.81	14.73	21.91	32.01	21.13	29.31
化感综合效应指数	14.84	11.19	8.14	11.39	8.56	19.35	18.72	16.35
相对电导率	2.51	2.33	0.78	1.87	−18.59	13.26	21.17	5.28
叶绿素	17.56	19.08	42.75	26.46	23.33	26.67	36.67	28.89
根系活力	15.49	9.86	2.82	9.39	4.00	28.00	36.00	22.67
化感综合效应指数	11.85	10.42	15.45	12.58	2.91	22.64	31.28	18.95

3 结论与讨论

3.1 沙柳浸提液对花棒和柠条的化感作用机制探讨

化感物质可以通过自然挥发、雨雾淋溶、植株残体分解和根系分泌等方式进入环境中^[33]。本试验采用超声波浸提法来模拟沙柳经雨雾淋溶产生化感物质的过程,超声波深层的超声破碎作用从理论上说能够省时并使浸提更加完全^[33]。沙柳枝叶浸提液对花棒、柠条种子以及幼苗生长都表现出一定的化感作用,但是对同是豆科植物的 2 种受体植物有着不同的作用机制。

沙柳枝叶浸提液对 2 种受体种子萌发的化感效应都表现为明显的抑制作用,其中,花棒种子在高浓

度浸提液的作用下抑制作用反而最小,这些差异可能与受体种子所含生化物质种类和自身抗胁迫能力有关,比起柠条,在高浓度沙柳枝叶浸提液的作用下,花棒种子能更好地抵抗和适应不良环境,把化感效应减到最小,具有很好的抗逆性。

沙柳浸提液对 2 种受体植物幼苗的形态指标也表现为明显的抑制作用,但是化感作用机制又各不相同。虽然沙柳对柠条的化感效应表现为地下部分大于地上部分,但沙柳枝叶浸提液对花棒幼苗地上部分的化感效应明显大于地下部分,这表明了同一供体植株对不同受体植物的化感作用具有差异性,柠条的地下部分比地上部分敏感,花棒相反。

沙柳枝叶浸提液对 2 种受体植物生理指标的化感效应也不尽相同。沙柳枝叶浸提液对花棒、柠条幼

苗的叶绿素含量均表现为明显的抑制作用,对柠条的相对电导率表现为“低促高抑”的化感效应,而花棒幼苗的相对电导率变化不明显。沙柳枝叶浸提液对花棒和柠条幼苗的根系活力均表现为抑制作用。

由上述分析可知,沙柳枝叶中含有水溶性的化感物质,并且可以影响受体植物的种子萌发、幼苗形态和生理指标。沙柳中的化感物质可以破坏幼苗的膜系统,使柠条幼苗的相对电导率增加,不少外国学者也分别报道过化感物质破坏原生质体膜、细胞膜和叶绿体膜的研究结果,Bazivamakenga 认为,化感物质处理降低了细胞膜中巯基的含量,从而破坏了细胞膜的完整性,导致植物根细胞对养分吸收下降,同时细胞内物质大量外渗^[34]。表明化感物质对细胞器膜的完整性和渗透性都有干扰,叶绿体膜遭到破坏再加上化感物质还能使幼苗叶绿素含量降低,影响光合作用正常进行,影响光合速率。据 Ein-bhlling 等国外学者报道,受体植物叶绿素含量和净光合速率显著降低的主要原因是化感物质是通过降低植物叶片的光合作用、叶绿素含量和气孔导度等生理指标而降低了被处理植株的蒸腾速率和气孔传导能力^[35]。沙柳枝叶浸提液能抑制 2 种受体植物幼苗的根系生长,降低其根系活力。化感物质抑制根系生长的研究有很多,大多数学者认为,化感物质是通过抑制细胞分裂和扰乱正常的新陈代谢而阻碍了根系生长,并且抑制根系吸收镁、铝、钙、氮素等矿物质元素和养分^[36]。因此,根据受体植物幼苗的综合化感效应指数,可知通过降低植物叶绿素含量来降低光合速率、阻碍植株积累光合产物和抑制幼苗根系生长来扰乱植株正常生长、减少矿物质元素和养分的吸收是沙柳对 2 种豆科植物产生化感效应的主要途径。

3.2 沙柳化感作用对毛乌素沙地水土保持的生态学意义

通过研究沙柳枝叶浸提液对 2 种豆科植物化感作用,表明沙柳枝叶浸提液对 2 种受体植物的叶绿素含量、根系活力都有明显的抑制作用,表明沙柳是通过抑制其他植物光合作用和根系生长,阻碍植株吸收养分来实现其化感效应的。因此,在对毛乌素沙地进行飞播造林植被规划时,应该考虑到不同植株相互之间的化感作用,尽量采用带状、网状种植,减小不同植被接触面积,减少因化感效应而引起的植株生长不良的状况,尽可能与实际需求相符,且能够与自然协调发展^[37]。另外,本试验是在室内人工气候箱内进行培养,影响因素较少,而在自然环境下,多变的气候、土壤、水分、生物等因子都对化感作用有着一定的影响,因此还需要进一步的研究分析。

沙柳枝叶浸提液对花棒的种子萌发、幼苗形态指标均表现为抑制作用。随着浸提液浓度梯度的增加抑制作用逐渐减小,沙柳对花棒幼苗地上部分的抑制作用大于地下部分,即花棒幼苗地上部分比地下部分敏感,沙柳枝叶浸提液对花棒幼苗叶绿素含量的化感效应远远大于根系活力,对相对电导率没有明显作用。

沙柳浸提液对柠条种子萌发,幼苗形态指标均表现为抑制作用。随着浸提液浓度梯度的增加抑制作用逐渐增大。沙柳对柠条地下部分的抑制作用大于地上部分,即柠条地下部分比地上部分敏感。沙柳枝叶浸提液对柠条幼苗的叶绿素含量和根系活力都表现为明显的抑制作用,对相对电导率的表现为低促高抑的化感作用。

参考文献:

[1] 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.
KONG C H. Problems needed attention on plant allelopathy research[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(3): 332-336. (in Chinese)

[2] RICE E L. Allelopathy[M]. Second ed. New York: Academic Press, 1984: 1-50.

[3] 刘桂霞, 王静, 王谦谦, 等. 艾蒿水浸提液对冰草和披碱草种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2012, 32(1): 81-86.
LIU G X, WANG J, WANG Q Q, *et al.* Allelopathic effects of *Artemisia argyi* water extracts on the seed and seedling growth of *Agropyron cristatum* and *Elymus dahuricus* [J]. Journal of Hebei University: Natural Science Edition, 2012, 32(1): 81-86. (in Chinese)

[4] 卢艳敏, 李会芬. 白三叶草水浸液对黑麦草种子的化感作用[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(5): 367-369.

[5] 王瑞龙, 张墨溪, 宋圆圆, 等. 豆科牧草对 4 种农田常见杂草和水稻化感作用的研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(10): 2307-2312.
WANG R L, ZHANG M X, SONG Y Y, *et al.* Allelopathic effect of *forage legumes* on four common cropland weeds and rice[J]. Ecology and Environment Science, 2010, 19(10): 2307-2312. (in Chinese)

[6] 罗小勇, 孙娟. 23 种紫花苜蓿不同品种及器官间化感活性差异的研究[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 83-97.
LUO X Y, SUN J. A study on allelopathic activities of different organs of 23 alfalfa species[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(2): 83-97. (in Chinese)

[7] 张敏, 谈献和, 张瑜, 等. 白花蛇舌草种子发芽及化感部位的研究[J]. 中国野生植物资源, 2012, 31(1): 33-35.
ZHANG M, TAN X H, ZHANG Y, *et al.* *Hedayotis diffusa* willd. seed germination and parts of allelopathy[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2012, 31(1): 33-35. (in Chinese)

[8] 李玲梅, 李明. 广藿香根系分泌物的化感自毒作用研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(24): 5168-5171.

- [9] 陈冬梅, 黄锦文, 柯文辉, 等. 连作烟草根际土壤化感潜力评价及化感物质鉴定[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1):46-52.
- [10] 王欣然, 彭晓邦, 蔡靖, 等. 杜仲叶水提液对 3 种作物的化感效应研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4):157-160.
WANG X R, PENG X B, CAI J, *et al.* Allelopathy effects of water extracts of *Eucommia ulmoides* on three crops[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4):157-160. (in Chinese)
- [11] 朱宇林, 谭萍, 陆绍锋, 等. 桉树叶水浸提液对 4 种植物种子化感作用的生物测定[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(1):134-137.
ZHU Y L, TAN P, LU S F, *et al.* Bioassay of Allelopathic activity of water extract of *Eucalyptus* leaves on seed germination of different kinds of plants[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(1):134-137. (in Chinese)
- [12] 丁国昌, 曹光球, 林思祖, 等. 2 种杉木化感物质对杉木种子萌发的化感效应[J]. 福建农林大学学报:自然科学版, 2007, 36(2):134-137.
DING G C, CAO G Q, LIN S Z, *et al.* The Allelopathic effect of two kinds of allelochemicals extracted from Chinese fir leaves On its seed germination[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2007, 36(2):134-137. (in Chinese)
- [13] 黄志群, 廖利平, 汪思龙, 等. 几种伴生树种对杉木的化感效应[J]. 应用生态学报, 2000, 11(Supp. 1):216-218.
- [14] 李新荣. 俄罗斯平原针阔混交林群落的灌木层植物种间相关研究[J]. 生态学报, 1999, 19(1):55-60.
LI X R. Inter-specific association and correlation of shrub layer in the coniferous-board leaved mixed geobotanical zone of Russia Plain[J]. Acta Ecologica Ainica, 1999, 19(1):55-60. (in Chinese)
- [15] 唐建军, 陈欣. 植物他感作用的研究现状及发展前景[J]. 农业现代化研究, 1988, 2(1):1-7.
- [16] 刘雨芳, 李菲, 刘文海, 等. 9 种植物水浸提液对空心莲子草的化感作用[J]. 生物安全学报, 2011, 20(4):326-330.
LIU Y F, LI F, LIU W H, *et al.* Allelopathic effects of water-based extracts from nine plant species on the invasive weed *Alternanthera philoxeroides* [J]. Journal of Biosafety, 2011, 20(4):326-330. (in Chinese)
- [17] 廖小锋, 孙运刚, 刘济明, 等. 2 种本地植物对紫茎泽兰的化感效应[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(5):83-86.
- [18] 江贵波, 陈锦霞, 陈少雄, 等. 入侵物种胜红蓟挥发物和渣液对杂草的化感作用[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2012, 38(4):413-416.
JIANG G B, CHEN J X, CHEN S X, *et al.* Allelopathic potentials of volatiles and liquid residue from *Ageratum conyzoides* [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2012, 38(4):413-416. (in Chinese)
- [19] 吴长虹, 翟明普. 火炬树化感作用的初步研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6):162-165.
- [20] 国家林业局. 2004 年全国荒漠化和沙化土地公报[Z]. 2004. 6.
- [21] 任余艳, 胡春元, 贺晓, 等. 毛乌素沙地巴图塔沙柳沙障对植被恢复作用的研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2):13-15.
- [22] 许冬梅, 王堃, 龙澍普, 等. 毛乌素沙地南缘生态过渡带植被和土壤的特性[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5):40-47.
XU D M, WANG K, LONG S P, *et al.* Vegetation characteristics and soil properties in the transitional zone in south fringe of Mu Us Sandy Land[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(5):40-47. (in Chinese)
- [23] 张广才, 黄利江, 于卫平, 等. 毛乌素沙地南缘植被类型及其演替规律初步研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(Supp. 1):131-136.
- [24] RICE E L. In chemically mediated interactions between plant and other organisms[M]. New York: Gillian, 1985:223-276.
- [25] 席蓉, 郝建锋. 植物化感作用及其生态学意义[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14):8196-8218.
- [26] 韩伟, 叶亚婧, 雷祖海, 等. 超声波在活性成分提取中的应用进展[J]. 机电信息, 2011, 7(20):33-38.
- [27] 李倩, 刘晓, 岳明, 等. 干旱和盐胁迫对华山新麦草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(2):319-324.
LI Q, LIU X, YUE M, *et al.* Seed germination and seedling physiological characteristics in *Psathyrostachys huashanica* Keng under the drought and salt stress[J]. Acta Otanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(2):319-324. (in Chinese)
- [28] 高俊凤. 植物生理实验技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [29] 李玲, 李娘辉, 蒋素梅, 等. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [30] 张宪政. 植物叶绿素含量测定-丙酮乙醇混合法[J]. 辽宁农业科学, 1986(3):26-28.
- [31] 徐芬芬, 叶利民, 徐卫红, 等. 小白菜叶绿素含量的测定方法比较[J]. 北方园艺, 2010(23):32-34.
- [32] 郑坚, 陈秋夏, 金川, 等. 不同 TTC 法测定枫香等阔叶树容器苗根系活力探讨[J]. 浙江农业科学, 2008(1):39-42.
- [33] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 植物化感作用(Allelopathy)及其作用物的研究方法[J]. 生态学报, 2000, 20(4):692-696.
YAN F, YANG Z M, HAN L M. Review on research methods for allelopathy and allelochemicals in plants[J]. Acta Ecologica Ainica, 2000, 20(4):692-696. (in Chinese)
- [34] 王倩, 孙会军, 孙令强. 化感物质及作用机理[J]. 中国蔬菜, 2005(Supp. 1):70-74.
- [35] 郁继华, 张韵, 牛彩霞, 等. 两种化感物质对茄子幼苗光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9):1629-1632.
YU J H, ZHANG Y, NIU C X, *et al.* Effects of two kinds of allelochemicals on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *Solanum melongena* L. seedling[J]. China Journal of Applied Ecology, 2006, 17(9):1629-1632. (in Chinese)
- [36] 柴强, 黄高宝. 植物化感作用的机理、影响因素及应用潜力[J]. 西北植物学报, 2003, 23(3):509-515.
- [37] 李志熙, 廖允成, 白岗栓. 毛乌素沙地植被特种与建设[J]. 水土保持通报, 2005, 10(5):66-70.