兰州主要阔叶造林树种凋落物对火炬树种子萌发的影响

马永林，武利玉，张砡嫣，杨玉凤
（甘肃农业大学林学院，甘肃 兰州 730070）

摘要：为探讨兰州主要造林树种的凋落物对外来植物火炬树（*Rhus typhina*）种子萌发的影响，采用双层滤纸培养方法，以刺槐（*Robinia pseudoacacia*）、国槐（*Sophora japonica*）、臭椿（*Ailanthus altissima*）、白蜡（*Fraxinu schinensis*）、新疆杨（*Populus alba*）、垂柳（*Salix babylonica*）的凋落物浸提液作为化感物质来源，对火炬树种子进行萌发试验。结果表明：各树种不同浓度的浸提液对火炬树种子萌发均有显著影响，随着浸提液浓度增加（至中浓度0.050 g/mL）抑制作用随之增强，刺槐、新疆杨相比于其他树种，显著抑制了火炬树种子的萌发；随着浸提液浓度的增加，对火炬树苗高增长的抑制作用逐渐增强，新疆杨抑制效果最显著；而对根的生长则呈低浓度促进高浓度抑制的趋势，相比于其他树种，新疆杨显著抑制了火炬树根长的增长。几种树种浸提液在低浓度（0.025 g/mL）时对火炬树幼苗抗逆生理指标影响较小，与对照无显著差异，随着浓度的升高，火炬树幼苗丙二醛含量增加，过氧化氢酶、过氧化物酶、超氧化物歧化酶和可溶性蛋白含量均下降，新疆杨浸提液对火炬树幼苗抗逆生理指标的影响最为显著。刺槐、新疆杨凋落物的化感物质可在一定程度上抑制火炬树种子萌发和幼苗生长，并影响其生理活性；在兰州引种火炬树时，可以选择刺槐或新疆杨与其混交，对其进行生态管理和控制，预防其入侵。

关键词：火炬树；外来植物；化感作用；种子萌发
中图分类号：S687 **文献标志码：**A **文章编号：**1009-5500（2022）03-0091-09
DOI：10.13817/j.cnki.cyycp.2022.03.011

外来植物的引进可以丰富本土植物的多样性，但利用不当可能会给环境带来危害，认识和了解外来植物入侵抵抗力形成机制是入侵生态学研究的热点问题[1]。化感效应指某些植物向外界释放的化学物质对其他植物产生正面或负面影响的过程，入侵地的优势群落往往分泌化感物质，通过降低种子发芽率、减弱幼苗生长、影响幼苗生理活性等途径来影响外来植物生长，这些因素是决定外来物种能否成功定植的关键[2]。化感物质几乎存在于植物的所有器官中[3]，当植物受到化感物质伤害时，胞内活性氧含量被诱导增加，由于ROS具有强烈的氧化作用而导致膜和细胞受损，产生膜脂过氧化产物丙二醛（MDA）破坏细胞结构，植物会启用体内酶促和非酶促清除系统，超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）、过氧化氢酶（CAT）等便是酶促清除分子。研究表明，过量的ROS直接破坏叶绿体、线粒体、蛋白质等，受体细胞受到严重损害，形成大量的MDA致使酶活性降低，进而导致幼苗的生理活性降低，造成植物生长不良[4]。化感物质在不同植物及不同器官中均有差异，比较兰州主要阔叶造林树种凋落物浸提液及其浓度对火炬树幼苗生长促进或者抑制效果的强弱[5]，进一步了解外来物种在本地生长的态势，有助于深入认识种间关系及种间相互作用[6]。

收稿日期：2021-07-23；**修回日期：**2021-09-06
基金项目：甘肃省自然科学基金项目（20JR10RA518）
作者简介：马永林（1993-），男，甘肃天祝人，硕士研究生。
E-mail：1161411260@qq.com
武利玉为通信作者。
E-mail：liyu199738@163.com

火炬树(*Rhus typhina*)为漆树科(Anacardiaceae)盐肤木属(*Rhus*)的落叶灌木或小乔木[7-8]。原产加拿大和美国[9],喜光,对寒冷、干旱瘠薄、水湿、盐碱的耐受性和土壤适应性都很强[10]。自1974年国内推广以来,一直作为水土保持的先锋树种,在退化生境的植被恢复,园林及公路绿化方面具有优良的特性[11]。目前在全国20多个省(区)都有种植,多种植在黄河流域以北,主要应用于荒山及其他盐碱性荒地的森林绿化造景等[12-13]。但也因超强的萌蘖繁殖和适应能力而被列为外来风险物种之一。兰州市目前火炬树多应用于园林绿化和南北两山造林中,但作为一种外来树种,它可能对本地已有造林树种的正常生长造成威胁[14]。本研究以火炬树种子为研究对象,采用刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、国槐(*Sophora japonica*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、白蜡(*Fraxinuschinensis*)、新疆杨(*Populus alba*)、垂柳(*Salix babylonica*)等6种兰州主要阔叶造林树种的凋落物浸提液对其种子进行萌发试验,探究其种子萌发、幼苗生长对不同树种凋落物浸提液化感作用的响应,旨在选择对火炬树化感抑制作用强的树种与火炬树混交,构建对外来植物火炬树具有高抵抗力的植物群落,既充分发挥火炬树优良特性,又通过生物防控防止火炬树在兰州乃至半干旱区造成入侵,从而为保护引种地的生物多样性提供理论依据[15]。

1 材料和方法

1.1 试验材料

受体材料为火炬树种子,于2020年10月采自甘肃警察职业技术学院,其净度95.8%,千粒重(7.89±0.12)g,含水量3.69%,生活力57%。供体材料为兰州市刺槐、国槐、臭椿、白蜡、新疆杨、垂柳等6个主要阔叶造林树种的凋落物。

1.2 试验方法

1.2.1 凋落物浸提液的制备 将6个树种叶片风干并剪成0.5 cm左右大小的碎片。将凋落物浸提液的质量分数设定为0(CK)、0.100、0.050和0.025 g/mL 4个梯度。每次称取50 g凋落物样品再加入500 mL蒸馏水,充分震荡后浸提24 h,用双层细网纱布过滤2次后将母液置入容量瓶中配制成0.1 g/mL的浸提液,并取其中一定量的溶液分别与适量的蒸馏水进行混合稀释,制成0.05 g/mL和0.025 g/mL的浸提液。

1.2.2 种子处理与萌发试验 用1%的小苏打溶液搓洗火炬树种子,去除种皮的蜡质,再用70~80 ℃的水高温浸烫0.5 h,期间不断搅动使种子受热均匀,将温度降至40 ℃,自然冷却浸种24 h,之后用0.5%的高锰酸钾消毒2 h,用蒸馏水漂洗干净[15]。种子发芽试验采用双层滤纸法[16]。萌发试验在无菌培养室中进行,光照12 h(25 ℃)/黑暗12 h(25 ℃),湿度65%。每个发芽盒中整齐均匀地放置50粒籽粒饱满、大小均匀的火炬树种子,然后分别加入5 mL不同树种不同浓度(0.1、0.05、0.025 g/mL)的凋落物浸提液,每个处理重复6次,对照组加等量蒸馏水,萌发过程中,根据滤纸的湿度及时添加蒸馏水以保证满足种子萌发的水分需求[15]。

1.3 指标测定

1.3.1 发芽指标与幼苗形态指标测定 以种子的胚根长出种皮2 mm及以上为发芽标准,每天记录发芽种子数,发芽末期连续2 d无种子萌发时结束试验。同时在每个处理的每次重复中随机选择6株幼苗测定根长和苗高[17]。

发芽率(G_R)=发芽种子总粒数/供试种子总粒数×100%

发芽势(G_p)=发芽高峰期发芽的种子数/供试种子数×100%

发芽指数=$\sum G_t/D_t$

式中:G_t为在t天的种子发芽数;D_t为相对应的种子发芽天数[18]

1.3.2 幼苗抗逆生理指标测定 从每个处理的火炬树幼苗中随机选取6株,将叶片取出分为2份,每份样品质量约为0.1 g,做好标记后用锡箔纸包好,放入液氮罐,待全部样品取完后,放入-80 ℃的超低温冰箱中保存。取0.1 g待测样品,在干净的研钵中加入液氮快速研磨,然后于4 ℃下12 000 r/min离心20 min。上清液即为酶提取液。采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛(MDA)含量;采用紫外吸收法测定过氧化氢酶活性;采用愈创木酚法测定过氧化物酶活性;采用氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶活性。采用考马斯亮蓝MG-250法测定可溶性蛋白(SP)含量,取提取液0.1 mL,加入5 mL考马斯亮蓝MG-250济液,充分混合,放置2 min后在595 nm处测定吸光度值,通过标准

曲线(C=0.005X+0.564,R^2=0.99)计算相应蛋白质含量[21]。

1.4 化感效应评价

参照Williamson等[19]的方法计算化感效应敏感指数(RI)。

RI=1−C/T(T≥C),或RI=T/C−1(T<C),

式中:C为对照值(0 g/mL浓度处理下的指标),T为处理值(0.100、0.050、0.025 g/mL浓度处理下的指标),RI>0表示促进,RI<0表示抑制[20]。

1.5 数据处理

用双因素方差分析(two-way ANOVA)检验树种和水浸提液浓度对火炬树种子发芽率、幼苗根长、苗高和幼苗抗逆生理指标的影响,用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验各处理对火炬树种子发芽率、幼苗根长、苗高和幼苗抗逆生理指标的影响。所有数据统计分析均采用SPSS 16.0,绘图采用Excel 2016进行统计绘图。

2 结果与分析

2.1 不同树种凋落物浸提液及其浓度对火炬树种子萌发和幼苗生长的影响

不同树种的凋落物浸提液对火炬树种子的发芽率、发芽指数和幼苗苗高有显著影响。不同浓度的凋落物浸提液对火炬树种子的发芽率、发芽指数、幼苗的苗高和根长有显著影响(表1)。

表1 不同树种浸提液及其浓度对火炬树种子萌发和幼苗生长的双因素方差分析

Table 1 Effects of tree species and ltter leachate concentrations on the germination rate and seedling growth of *Rhus typhina* based on two-way ANOVA

变量	树种		浓度		树种×浓度	
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	P
发芽率	2.818	**0.019***	34.363	**0.000****	1.518	0.109
发芽势	2.107	0.051	4.276	0.737	0.625	0.850
发芽指数	4.584	**0.001****	50.875	**0.000****	0.951	0.511
苗高	5.943	**0.000****	20.914	**0.000****	1.244	0.249
根长	0.042	0.999	11.032	**0.000****	1.276	0.228

注:表中数据统计上的显著值(P<0.05)用*标出,(P<0.01)用**标出

2.1.1 不同树种浸提液及其浓度对火炬树种子萌发的影响 不同树种浸提液及其浓度对火炬树种子发芽率和发芽指数有不同程度的影响,但均对火炬树种子发芽势无显著影响(表2)。随着各树种浸提液浓度的增加,火炬树种子发芽率呈降低趋势。除白蜡外其余树种浸提液处理下的火炬树种子在高浓度(0.100 g/mL)下种子发芽率均显著低于对照,其中刺槐发芽率最低,仅为9.67%;中浓度(0.050 g/mL)下仅刺槐和新疆杨的发芽率显著低于对照,发芽率分别为14.33%和15.33%;低浓度(0.025 g/mL)下各树种与对照之间均无显著差异。除白蜡外,随着各树种浸提液浓度的增加火炬树种子发芽指数均呈下降趋势,刺槐的发芽指数仅为0.67,与对照相比降低了3.33。

2.1.2 不同树种浸提液及其浓度对火炬树幼苗生长的影响 与对照相比,高浓度(0.100 g/mL)下刺槐、臭椿、新疆杨浸提液对火炬树苗高影响显著,但均对火炬树根长无显著影响(表3)。其中新疆杨浸提液处理的苗高最为显著,为1.86 cm,比对照降低了2.69 cm;中浓度(0.050 g/mL)下新疆杨浸提液对火炬树种子苗高有显著影响,其苗高为3.68 cm,比对照降低了0.87 cm;低浓度(0.025 g/mL)下新疆杨浸提液对火炬树苗高有显著差异,苗高为3.25 cm比对照降低了1.3 cm。

2.2 不同树种凋落物浸提液及其浓度对火炬树种子萌发及幼苗生长的化感效应

不同树种浸提液及其浓度对火炬树种子的发芽率均存在抑制作用(RI<0),除臭椿和白蜡外其余树种的抑制作用均随着浓度的增加而增强(图1)。低浓度(0.025 g/mL)下国槐浸提液的抑制效果最显著,RI为−0.22;中浓度(0.050 g/mL)和高浓度(0.100 g/mL)下均为刺槐浸提液的抑制效果最显著,RI分别为−0.45和−0.63。

低浓度(0.025 g/mL)和中浓度(0.05 g/mL)下,各数种浸提液处理均对火炬树根的生长有促进作用(RI>0)(图2)。其中低浓度(0.025 g/mL)下刺槐浸提液促进效果最为显著,RI=0.15;中浓度(0.050 g/mL)下新疆杨浸提液促进效果最为显著,RI=0.16;高浓度(0.100 g/mL)下除国槐、垂柳浸提液对火炬树根的生长有促进作用外,其他树种浸提液均有抑制作用,其中刺槐浸提液抑制效果最为显著,RI=−0.15。

在低浓度(0.025 g/mL)下除白蜡、垂柳浸提液对

表 2 不同树种浸提液及其浓度对火炬树种子萌发的影响

Table 2 Effects of litter extracts from different species on seed germination of *Rhus typhina*

树种	浓度/(g·mL^{-1})	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数
刺槐	0	26.00±3.01^{Aa}	4.00±2.19^{Aa}	4.00±0.56^{Aa}
	0.025	24.33±2.28^{Aa}	4.67±2.35^{BCa}	2.26±0.44^{Cb}
	0.050	14.33±1.96^{Bb}	0.33±0.33^{BCa}	1.56±0.19^{Cbc}
	0.100	9.67±1.59^{Bb}	0.33±0.33^{Ba}	0.67±0.14^{Ac}
国槐	0	26.00±3.01^{Aa}	4.00±2.19^{Aa}	4.00±0.56^{Aa}
	0.025	20.33±2.39^{Aab}	5.67±1.59^{BCa}	2.13±0.20^{Cb}
	0.050	18.67±3.08^{ABab}	3.33±1.61^{BCa}	1.89±0.40^{BCb}
	0.100	14.00±0.73^{Bb}	2.00±1.03^{Ba}	1.31±0.25^{Ab}
臭椿	0	26.00±3.01^{Aa}	4.00±2.19^{Aa}	4.00±0.56^{Aa}
	0.025	23.67±2.45^{Aa}	3.67±1.59^{Ba}	3.07±0.48^{Ca}
	0.050	24.67±4.02^{Aa}	6.00±1.71^{Ba}	3.04±0.46^{ABa}
	0.100	10.33±2.33^{Bb}	1.67±1.09^{Ba}	1.22±0.28^{ABb}
白蜡	0	26.00±3.01^{Aa}	4.00±2.19^{Aa}	4.00±0.56^{Aa}
	0.025	21.00±2.24^{Aa}	4.00±0.73^{Ba}	2.25±0.26^{Bb}
	0.050	24.67±3.29^{Aa}	6.00±2.31^{Ba}	2.99±0.40^{ABab}
	0.100	24.33±3.74^{Aa}	6.33±1.31^{BCa}	2.96±0.45^{ABab}
新疆杨	0	26.00±3.01^{Aa}	4.00±2.19^{Aa}	4.00±0.56^{Aa}
	0.025	22.00±5.49^{Aab}	2.67±1.23^{Ca}	1.85±0.56^{Cb}
	0.050	15.33±1.84^{Bb}	0.67±0.42^{Ca}	1.01±0.13^{Cb}
	0.100	12.00±1.71^{Bb}	0.00±0.00^{Ba}	0.81±0.13^{Ac}
垂柳	0	26.00±3.01^{Aa}	4.00±2.19^{Aa}	4.00±0.56^{Aa}
	0.025	26.00±1.55^{Aa}	4.00±1.03^{Ca}	2.33±0.26^{Cb}
	0.050	19.33±2.40^{ABa}	2.00±0.89^{BCa}	2.11±0.30^{BCb}
	0.100	11.00±1.84^{Bb}	1.00±0.45^{Ba}	0.93±0.15^{Ac}

注:表中数值为平均值±标准误,n=6;同列不同小写字母表示同一树种不同处理间差异显著($P<0.05$),同列不同大写字母表示同一浓度不同树种间差异显著($P<0.05$)

火炬树的苗生长有促进作用外,其他树种浸提液均有抑制作用,但各树种间差异不显著;中浓度(0.050 g/mL)下除国槐、垂柳浸提液对火炬树幼苗生长有促进作用外,其他树种浸提液均有抑制作用,其中国槐浸提液的促进效果最显著RI=0.13,臭椿浸提液的抑制效果最显著RI=−0.22;在高浓度(0.100 g/mL)下,各树种浸提液处理均对火炬树幼苗生长有抑制作用(RI<0)新疆杨浸提液的抑制效果最为显著,RI=−0.59。

2.3 不同树种凋落物浸提液及浓度对火炬树幼苗抗逆生理指标的影响

不同树种的凋落物浸提液及其浓度对火炬树幼苗抗逆生理指标均有显著影响(表4)。刺槐浸提液低浓度(0.025 g/mL)下的火炬树幼苗MDA含量与中浓度(0.050 g/mL)的有显著差异。垂柳浸提液高浓度(0.100 g/mL)下的火炬树幼苗MDA含量分别与低浓度(0.025 g/mL)和中浓度(0.050 g/mL)的相比均有显著差异。低浓度(0.025 g/mL)时,除国槐外刺槐浸提液处理下的火炬树幼苗MDA含量与对照以及各树种间均有显著差异。中浓度(0.050 g/mL)时,国槐浸提液处理下的火炬树幼苗MDA含量与对照和白蜡显著差异与刺槐差异不显著,但与其余各树种间差异均达极显著水平。高浓度(0.100 g/mL)时,国槐与刺槐、白蜡和对照差异不显著,与新疆杨和垂柳差异显著(图4)。

随着浸提液质量浓度的增加,火炬树幼苗抗氧化系统酶活性变化均呈现下降的趋势,且高浓度(0.100 g/mL)下各树种的CAT活性与对照有显著差异,但各树种间差异不显著;低浓度(0.025 g/mL)下刺槐、国槐与白蜡、新疆杨浸提液处理下的火炬树幼苗POD活

表 3　不同树种浸提液及其浓度对火炬树幼苗生长的影响

Table 3　Effects of litter extracts from different trees pecie-sonseedling growth of *Rhus typhina*

树种	浓度/(g•mL^{-1})	根长/cm	苗高/cm
刺槐	0	2.45±0.08^{Bab}	4.55±0.32^{Aa}
	0.100	2.09±0.10^{Ab}	2.45±0.40^{ABb}
	0.050	2.72±0.21^{Aa}	4.31±0.30^{ABCa}
	0.025	2.88±0.17^{Aa}	4.16±0.33^{BCa}
国槐	0	2.45±0.08^{Ba}	4.55±0.32^{Aab}
	0.100	2.50±0.13^{Aa}	3.80±0.43^{ABb}
	0.050	2.60±0.12^{Aa}	5.22±0.41^{Aa}
	0.025	2.71±0.13^{Aa}	4.54±0.50^{ABab}
臭椿	0	2.45±0.08^{Bab}	4.55±0.32^{Aa}
	0.100	2.28±0.2^{ABb}	2.94±0.44^{ABb}
	0.050	2.81±0.13^{Aa}	3.54±0.13^{Cab}
	0.025	2.60±0.09^{Aab}	4.46±0.70^{BCDa}
白蜡	0	2.45±0.08^{Ba}	4.55±0.32^{Aa}
	0.100	2.35±0.14^{Aa}	3.17±0.44^{Ab}
	0.050	2.46±0.09^{Aa}	4.24±0.43^{ABCab}
	0.025	2.85±0.05^{Ab}	4.74±0.44^{BCa}
新疆杨	0	2.45±0.08Bab	4.55±0.32^{Aa}
	0.100	2.13±0.13^{ABb}	1.86±0.24^{Bc}
	0.050	2.92±0.22^{Aa}	3.68±0.36^{BCb}
	0.025	2.66±0.19^{Aa}	3.25±0.21^{Db}
垂柳	0	2.45±0.08^{Ba}	4.55±0.32^{Aab}
	0.100	2.53±0.25^{ABa}	3.80±0.47^{Ab}
	0.050	2.73±0.17^{Aa}	4.69±0.29^{ABab}
	0.025	2.51±0.09^{Aa}	5.19±0.29^{ABa}

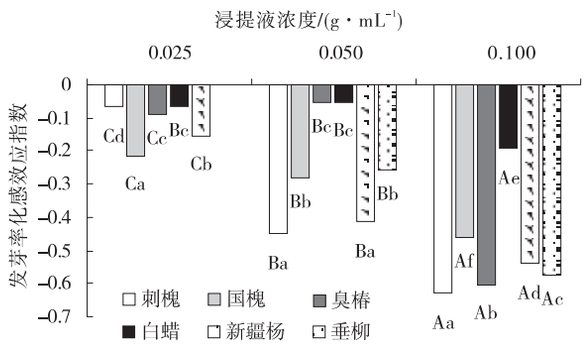

图 1　不同树种凋落物浸提液及浓度对火炬树种子发芽率的化感效应

Fig. 1　Allelopathic effects of litter extracts and concentrations of different tree species on seed germination rate of *Rhust typhin*

注：大写字母表示同一树种不同浓度间差异显著；小写字母表示同一浓度不同树种间差异显著。下同

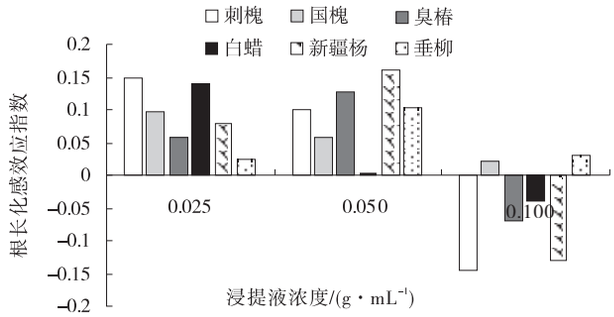

图 2　不同树种凋落物浸提液及浓度对火炬树种子根长的化感效应

Fig. 2　Allelopathic effects of litter extracts and concentrations of different species on seed root length of RhusTyphin

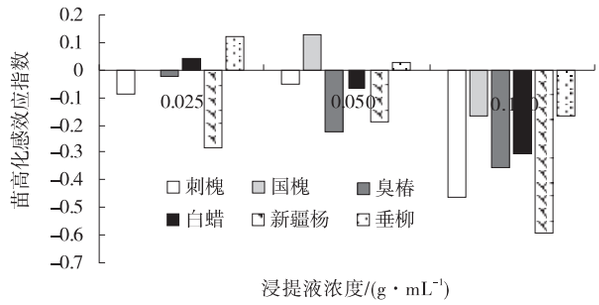

图 3　不同树种凋落物浸提液及浓度对火炬树种子苗高的化感效应

Fig. 3　Allelopathic effects of litter extracts and concentrations of different species on seeding of height of RhusTyphin

表 4　树种及其浸提液浓度对火炬树幼苗抗逆生理指标含量双因素方差分析

Table 4　Effects of tree species and ltter leachate concentrations on the germination rate and seedling growth of *Rhus typhina* based on two-way ANOVA

变量	树种		浓度		树种×浓度	
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
CAT 活性	5.370	0.001	31.114	0.000	1.926	0.074
POD 活性	6.451	0.000	37.377	0.000	1.926	0.074
SOD 活性	6.882	0.000	37.377	0.000	2.323	0.109
MDA 含量	4.269	0.001	24.733	0.000	1.244	0.246
可溶性蛋白含量	4.269	0.001	25.232	0.000	1.274	0.066

注：表中统计上的显著值（$P<0.05$）用粗体标出

性对比均有显著差异。中浓度（0.050 g/mL）下，刺槐和新疆杨浸提液处理下的火炬树幼苗 POD 活性变化与对照相比均有显著差异，其中新疆杨差异最显著。高浓度（0.100 g/mL）下刺槐、国槐、新疆杨浸提液处理下的火炬树幼苗 POD 活性分别与对照相比均有显著差异；国槐在不同浓度梯度下对火炬树幼苗 SOD 活性变化均有显著差异（图 5）。

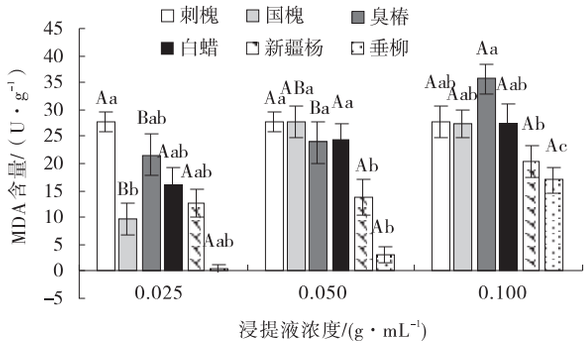

图4 不同树种凋落物浸提液处理下火炬树幼苗MDA含量

Fig. 4 Effects of litter extracts and concentrations of different tree species on MDA content in seedlings of *Rhus typhin*

随着各树种浸提液浓度的增加，火炬树幼苗可溶性蛋白含量变化呈下降的趋势。各浓度梯度下各树种以及对照间均无显著差异；低浓度(0.025 g/mL)下新疆杨与中浓度(0.050 g/mL)和高浓度(0.100 g/mL)的有显著差异，高浓度(0.100 g/mL)下国槐与低浓度(0.025 g/mL)和中浓度(0.050 g/mL)的有显著差异(图6)。

3 讨论

3.1 化感作用对火炬树种子萌发的影响

种子萌发对物种更新至关重要，种子发芽率降低，发芽时间延长，出苗延后将严重影响植物对地上和地下资源的竞争能力，继而影响未来群落组成[22]。有研究表明紫椴、枫桦、红松凋落物浸提液对红松种子发芽率、发芽势表现一致，高浓度抑制作用明显，随着浓度的降低抑制作用减弱[23]，本研究表明，新疆杨、刺槐通过化感作用抑制了火炬树种子萌发，且浸提液质量浓度越高，抑制效应越明显，这与以往学者的研究结果相吻合[23-24]。

3.2 化感作用对火炬树幼苗根长和苗高的影响

种子萌发与胚根生长是植物繁殖和生长的开始，并与物种的生存发展密切相关，森林中的凋落物所产生的化感物质对这两个生长阶段都具有重大的影响[22]。化感物质抑制幼苗根系会造成根系变小，进而减少对水和养分的吸收；而抑制幼苗苗高增长会影响植物对光资源的竞争和后续生长发育，对并最终影响到植物在群落中的地位及作用[25-26]。本研究发现，刺槐浸提液抑制种子萌发效果最显著，其次为新疆杨；同一浓度下，刺槐、新疆杨凋落物浸提液均显著抑制了火炬树幼苗根长和苗高的增长。大量研究表明，植物间的化感作用有促进或抑制2个方面。一般情况下，化感作用通过对受试植物的种子萌发与幼苗生长等产生促进或抑制来实现植物的化感物质具有低浓

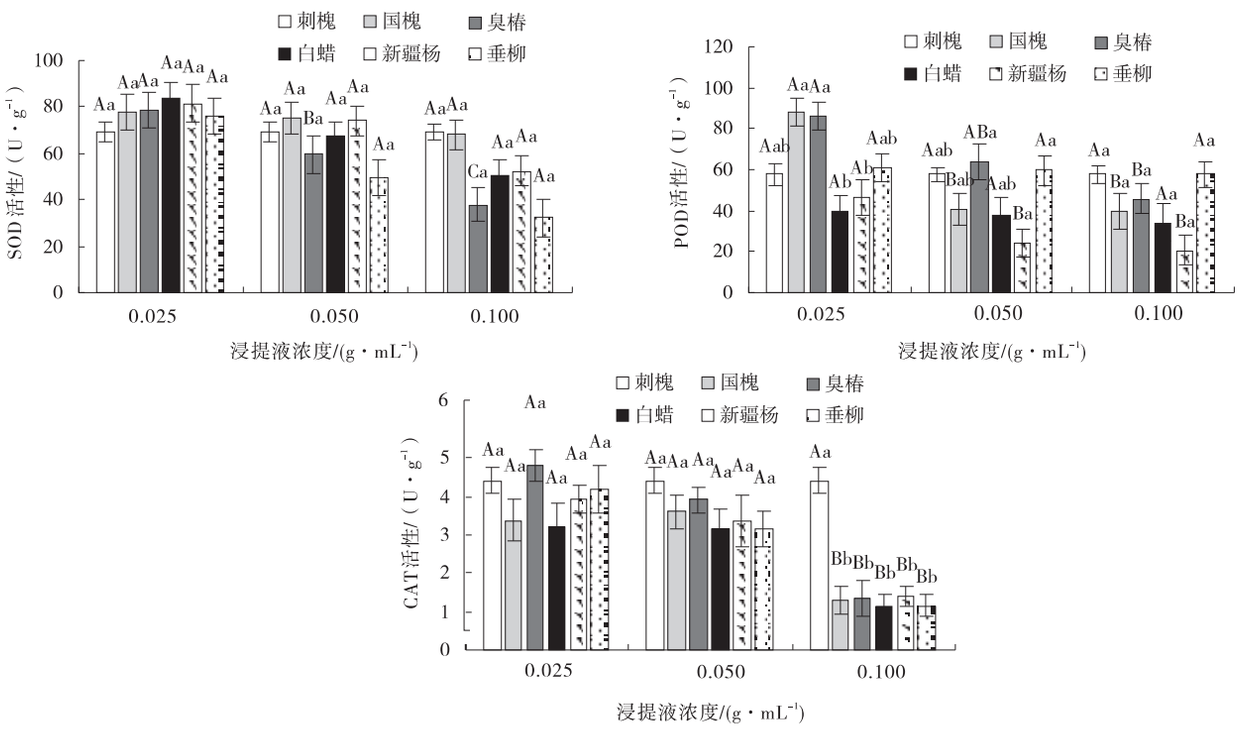

图5 不同树种凋落物浸提液处理下火炬树幼苗抗氧化系统酶活性

Fig. 5 Effects of litter extracts and concentrations of different tree species on antioxidant enzyme activity in seedlings of *Rhus typhin*

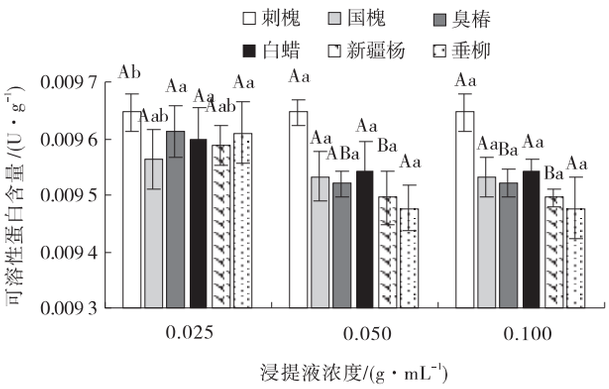

图 6　不同树种凋落物浸提液处理下火炬树幼苗可溶性蛋白含量

Fig. 6　Effects of litter extracts and concentrations of different tree species on soluble protein content in seedlings of *Rhus typhin*

度促进，高浓度抑制的特性[27-28]，本试验亦得出相似结果，即低浓度时不同树种的浸提液对火炬树幼苗和根的生长均有不同程度的促进作用；高浓度时不同树种的浸提液对火炬树幼苗根长的增长均有不同程度抑制作用。

3.3　凋落物浸提液对火炬树幼苗抗逆生理指标的影响

细胞膜是植物化感物质作用的起始点[29]。逆境胁迫导致细胞内活性氧含量增加，从而造成氧化伤害，膜结构和功能的改变必然会影响细胞内叶绿素、蛋白质等物质的合成，从而影响幼苗的生长[30]。受试植物幼苗在浸提液伤害下使幼苗体内MDA含量显著增加，CAT、POD、SOD活性和SP含量等随着浓度的增加而降低，影响了幼苗细胞正常的生理生化进程，因此对幼苗生长产生抑制作用[31]。李晶晶等[32]研究结果表明，白三叶水浸提液质量浓度越高无芒稗种子细胞内活性氧含量越多，无芒稗种子幼苗CAT、POD、SOD活性和SP含量等随着白三叶水浸提液质量浓度的增加而降低。本研究表明，随着凋落物浸提液浓度的增加，新疆杨、白蜡、垂柳对火炬树种子抗氧化系统各指标含量均有显著性影响，新疆杨影响效果最显著，且浓度越高对幼苗的胁迫越严重，幼苗生理活性越低，受体细胞受到损害越严重，最终造成植物生长不良。这与李晶晶等[32]的研究结果相吻合。

4　结论

随着浸提液浓度的升高，对炬树种子萌发的抑制作用增强、火炬树苗高增长的抑制作用逐渐增强，其中新疆杨的抑制效果最显著，而对根的生长则呈现出低浓度促进高浓度抑制的趋势；随着浸提液浓度的升高，火炬树幼苗MDA含量增加，抗氧化系统酶活性和可溶性蛋白含量均下降。刺槐凋落物的浸提液显著降低了火炬树种子的发芽率；新疆杨凋落物的浸提液对火炬树幼苗抗逆生理指标的影响最为显著。在兰州引种火炬树时，可以选择与刺槐或新疆杨混交，进行生态管理和控制，预防火炬树入侵。

参考文献：

[1]　闫小玲，寿海洋，马金双．中国外来入侵植物研究现状及存在的问题[J]．植物分类与资源学报，2012，34(3)：287－313.

[2]　鲍红春．沙芥化感作用的研究[D]．呼和浩特：内蒙古农业大学，2015.

[3]　刘秀艳，郭丽珠，刘丽，等．狼毒种子不同密度对6种草地植物种子发育及幼苗生长的化感影响[J]．草原与草坪，2019，39(1)：1－6.

[4]　邓明明．米槁(*Cinnamomum migao*)不同部位凋落物及其水提液对自身幼苗生理和土壤的影响[D]．贵阳：贵州大学，2019.

[5]　晋梦然，王哲，李梦佳，等．格氏栲天然林凋落物浸提液对杉木种子萌发和胚根生长的影响[J]．北京林业大学学报，2020，42(4)：51－59.

[6]　王雯．群落理论范式争论研究[D]．太原：山西大学，2019.

[7]　马松涛．中国火炬树研究现状及发展趋势[D]．杨凌：西北农林科技大学，2005.

[8]　曹振岭，佟亚辉，孙蕾，等．火炬树[J]．特种经济动植物，2003(6)：34－35.

[9]　孙天旭，鲁法典，郑勇奇，等．外来树种火炬树化感作用的研究[J]．林业科学研究，2010，23(2)：195－201.

[10]　李国东．低山丘陵区火炬树育苗及栽培技术[J]．防护林科技，2019(12)：85－86.

[11]　第七届中国生物多样性保护与利用高新技术国际论坛论文集[C]．北京：北京科学技术出版社，2010.

[12]　庄晓梅．滨海县引进火炬树的可行性分析[J]．绿色科技，2010(11)：62－63.

[13]　潘志刚，游应天．中国主要外来树种引种栽培[M]．北京：北京科学技术出版社，1994.

[14]　蒋高明．火炬树是不折不扣的入侵树种[N]．北京：科技日报，2004-06-09.

[15] 侯玉平,魏巍,翟文婷,等. 山东半岛丘陵生境优势树种凋落物对外来植物火炬树种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 林业科学,2016,52(6):28－34.

[16] 刘雅婧,蒙仲举,党晓宏,等. 狼毒浸提液对3种牧草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2019,28(8):130－138.

[17] 曲同宝,杨塍希,马文育,等. 铅(Pb^{2+}和镉(Cd^{2+}对火炬树种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2020,40(1):30－36.

[18] 张君霞. 青海云杉及伴生树种枝叶浸提物对其种子萌发的化感作用研究[J]. 甘肃林业科技,2016,41(3):9－12.

[19] Bruce Williamson G, Donald Richardson. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1):181－187.

[20] 潘玉梅,唐赛春,蒲高忠,等. 岩溶区土著植物黄荆条和红背山麻杆水浸提液对入侵植物飞机草萌发的影响[J]. 中国岩溶,2008(2):97－102.

[21] 范贝贝. 短尾铁线莲水浸提液对刺槐种子萌发和幼苗生长的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2019.

[22] 田雅丽,常顺利,张毓涛,等. 天山雪岭云杉森林化感物质对种子萌发的影响[J]. 中国农学通报,2019,35(2):35－41.

[23] 步凡. 凋落物与土壤浸提液对红松种子萌发及生长的化感作用[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2014.

[24] 张高翔,金涛,张莹丽. 桃儿七凋落物对自身种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西部林业科学,2019,48(4):101－107,113.

[25] 李苇洁,罗开源,吴迪,等. 乡土植物白刺花对紫茎泽兰化感作用的响应[J]. 生态学报,2017,37(16):5361－5367.

[26] 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.

[27] 李春英,关佳晶,李玉正,等. 南方红豆杉水浸提液对喜树种子发芽和幼苗生长的化感作用[J]. 生态学报,2021,41(4):1564－1570.

[28] 赵晶华,王婷,张硕,等. 伴生种浸提液对黑心菊种子萌发及幼苗生长化感效应的影响[J]. 农业技术与装备,2020(7):5－7.

[29] 张秋菊,张爱华,雷锋杰,等. 人参皂苷粗提液对西洋参早期生长的化感效应[J]. 西北植物学报,2011,31(3):576－582.

[30] 张重义,林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍[J]. 中国生态农业学报,2009,17(1):189－196.

[31] 王晓英,吴洪新. 紫花地丁水浸提液对草地早熟禾和高羊茅的化感作用研究[J]. 中国草地学报,2015,37(1):97－103.

[32] 李晶晶,丁立人,李志华. 白三叶水浸提液对无芒稗种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2017,25(1):82－91

Effects of litter of main afforestation tree species on seed germination of *Rhus typhina* in Lanzhou

MA Yong-lin, WU Li-yu, ZHANG Yu-yan, YANG Yu-feng

(*College of academy of forestry of Gansu Agriculture University, Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract: In order to investigate the effect of litter of the main afforestation species in Lanzhou on the germination of seeds of the exotic plant *Rhus typhina*, a double-layer filter paper culture method was used to test the germination of *R. typhina* seeds by using the litters extracts of *Robinia pseudoacacia*、*Sophora japonica*、*Ailanthus altissima*、*Fraxinus chinensis*、*Populus alba* and *Salix bobylonica* willow as allelochemical sources. The results showed that the leaching solution and its concentration of each species had significant effects on the germination of *R. typhina* seedlings, With the increase of extraction concentration, the inhibition effect was increased. *R. pseudoacacia* and *P. alba*

significantly inhibited the germination of *R. typhina* seedlings compared with other tree species. with the increase of leaching solution concentration. the inhibition effect on the seedling height growth of *R. typhina* was gradually increased, and *P. alba* inhibited the most obvious effect; while the root length showed a trend of low concentration The inhibition of root length was more pronounced in *P. alba* than in other species. The effect of the extracts of several species on the resistance physiological indexes of *R. typhina*seedlings at low concentrations was small and did not differ significantly from the control, and as the concentration increased, the MDA content of *R. typhina* seedlings increased and the CAT, POD, SOD and soluble protein contents decreased, and the effect of the extracts of *P. alba* on the resistance physiological indexes of *R. typhina* seedlings was the most significant. Therefore, when introducing *R. typhina* in Lanzhou, we can choose *R. pseudoacacia* and *P. alba* to mix with them for ecological management and control to prevent their invasion.

Key words: *Rhus typhina*; introduced plant; allelopathy; seed germination