

柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草化感作用的初步研究

曾 淼

(阿坝师范学院 化学化工与生命科学系, 四川 汶川 623002)

摘 要:为了明确豆科植物(柠条锦鸡儿)与禾本科植物之间的互作关系,利用生物检测法研究了柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草的化感作用。结果表明:柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草种子萌发和幼苗生长具有低浓度(≤ 0.02 g/ml)促进和高浓度(≥ 0.02 g/ml)抑制的化感效应,并且抑制作用随浓度的增大而加强;4 种冰草保护性酶(SOD, POD)随浸提液浓度的增加呈“N”字形变化规律,过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)、根系活力(TTC)、非保护酶(PAL, PPO)活性随浸提液浓度的增加呈先降低后增加的“V”字形变化规律。综合分析可知,柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草具有化感作用,能够影响 4 种冰草正常生长,其敏感性顺序依次为蒙古冰草>扁穗冰草>蒙农杂交冰草>沙生冰草,蒙古冰草是柠条锦鸡儿叶浸提液的敏感受试植物。

关键词:柠条锦鸡儿; 叶; 浸提液; 冰草; 化感作用

中图分类号:Q945

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0321-07

Preliminary Research on the Allelopathic Effects of Aqueous Extracts from *Caragana korshinskii* Leaves on Four *Agropyron cristatum*

ZENG Miao

(Department of Chemistry and Life Science, Aba Teachers College, Wenchuan, Sichuan 623002, China)

Abstract: In order to ascertain the relationship between Leguminous plant and Gramineous plant, we studied the allelopathic effect of aqueous extracts of *Caragana korshinskii* leaves on four *Agropyron cristatum* by adopting indoor biological methods. Bioassay results indicated that the aqueous extracts improved both seed germination and seedling growth of all test *Agropyron cristatum* at low concentrations (≤ 0.02 g/ml), whereas they significantly inhibited at high concentrations (≥ 0.02 g/ml), and the inhibition exhibited concentration dependence. The activities of protective enzymes SOD and POD of four *Agropyron cristatum* showed ‘N’ shape with the increase of the concentration of aqueous extracts of *Caragana korshinskii* leaves, and the activities of protective enzymes CAT, MDA, TTC and non-protective enzyme PAL and PPO of four *Agropyron cristatum* first decreased and then increased with the increase of the concentration of aqueous extracts which showed the ‘V’ shape. The comprehensive analysis showed that the aqueous extracts of *Caragana korshinskii* leaves had allelopathic effect on *Agropyron cristatum* normal growth which the sensitive was ranked as the order: *Agropyron mongolicum* > *Agropyron cristatum* > *Agropyron cristatum* × *Agropyron desertorum* cv. Mengnong > *Agropyron desertorum*. *Agropyron mongolicum* was sensitive to the aqueous extracts of *Caragana korshinskii* leaves.

Keywords: *Caragana korshinskii*; leaves; aqueous extracts; *Agropyron cristatum*; allelopathy

化感作用是指植物或微生物(供体)向周围环境释放特定的化学物质,影响其他植物、微生物和动物(受体)生长发育的现象,在群落的形成和演替中起着重要作用,普遍存在于各类生态系统,是整个生态系统化学关系网的一部分^[1-3]。供体植物在周围环境

中能够释放化感物质,抑制其他受体植物种子的生长发育,从而对群落中物种的组成和分布格局产生影响,大多数化感作用表现为有害的抑制作用,但种间相互有益的促进作用也是客观存在的^[4-8]。近年来,化感作用的研究日益深入和广泛,多种植物的化感效

应得到评价、开发和利用,化感作用已成为有害生物控制、增加作物产量和促进环境可持续性发展的重要途径之一。在自然界中,化感物质积累到一定量后,就会抑制其他植物种子萌发和幼苗生长,从而影响植物的竞争力。豆科与禾本科植物在生态系统中占据重要地位,它们之间通过次生物质(化感物质)为媒介的相互作用和识别^[9-10]。目前,国内外学者关于植物化感作用研究较多,植物的化感作用研究也日益深入和广泛,多种植物的化感效应得到评价、开发和利用,而豆科植物对禾本科植物的化感作用还鲜有报道^[9-11]。柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)具有种类多、生长快、耐瘠薄、用途广、抗逆性和适应性强等特点,成为我国西北荒漠草原区重要的和栽培面积较大的灌木^[12-14]。然而,荒漠草原区大量引种栽植柠条也带来了一些颇具争议的生态环境问题,如柠条(灌丛)的大量引入造成了土壤的板块化分布、养分和地上植物空间分布的异质性增强、柠条的单优群落资源空间竞争导致其他植物的生态位的退化、生物多样性减弱等^[15-16];但另一方面,柠条的引入也起到了防风固沙、固碳和保持水土的功能^[17-19],其中,柠条与其他植物的化感作用是引起这种现象颇受关注的生态问题,柠条的化感作用对周围环境和植物影响的具体表现形式是抑制还是促进仍有待深入探讨。鉴于此,本文以4种典型冰草(*Agropyron cristatum*)为受体,柠条锦鸡儿为供体,开展柠条锦鸡儿叶浸提液对不同受体植物的生理响应及化感研究,旨在筛选荒漠草原与柠条锦鸡儿较为合适的伴生植物种类,为增加柠条锦鸡儿群落生物多样性和层次结构等提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2014年7月,在柠条花期选用其叶片作供体,采集大小均一、新鲜的叶片带回实验室,冲洗干净,备用。受体为蒙古冰草(*Agropyron mongolicum*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、蒙农杂交冰草(*Agropyron cristatum* × *Agropyron desertorum* cv. Mengnong)和沙生冰草(*Agropyron desertorum*)种子,采集叶片的同时,受体种子购于宁夏银川西北农资城,选取健壮饱满、无损伤、无虫害的种子,用65%酒精消毒5 min后,蒸馏水冲洗干净,100℃水5 min处理,放置24 h。供试受体种子用3 g/L高锰酸钾溶液浸泡消毒10 min后,蒸馏水冲洗2~3次。

1.2 柠条锦鸡儿叶水浸提液的提取方法

将柠条锦鸡儿叶片剪成<2 cm的小段自然风干

30 d后,每100 ml蒸馏水分别溶入0,1,2,3,4 g干物质,蒸馏水浸泡过程中不断搅动,浸泡48 h后振荡24 h,形成初步水浸液,再将水浸液通过真空过滤器过滤,配成0.01,0.02,0.03,0.04 g/ml浓度溶液,室温25℃下放置36 h,每12 h摇动5 min,两层滤纸抽滤3次后得柠条锦鸡儿叶浸提母液,并将母液贮存于冰箱4℃冷藏备用。

1.3 试验方法

采用培养皿滤纸法进行4种冰草种子萌发和幼苗生长试验,选取上述预处理后籽粒饱满、大小均匀、色泽一致的种子,整齐排列在清洗、消毒、放有双层滤纸的培养皿中(发芽床,直径9 cm),每个培养皿60粒,加入15 ml各浓度柠条锦鸡儿叶提取液,对照(CK)选用去离子水,每一浓度梯度设置3组重复,每天定时向培养皿中补充相应处理溶液,每3 d更换1次滤纸。

培养条件:每天光照时间为9:00—19:00,光强3 000 lx,恒温25℃,相对湿度75%~80%。连续培养观察并逐日记录种子萌发数目,以胚根冲破种皮达1~2 mm为发芽标准,待连续3 d无萌发时测量根长、苗高(mm)和鲜重(精确到0.01 g),并计算各处理种子的萌发率、萌发指数,将种子萌发数和根长、苗高测定值换算成对照抑制百分率。

通过种子发芽和幼苗生长试验分析柠条锦鸡儿叶片提取液的化感作用,并取受体幼苗的根和幼叶测定其生理生化指标,各指标计算公式如下:

$$\text{抑制百分率} = (1 - \frac{\text{处理萌发率}}{\text{对照萌发率}}) \times 100\% \quad (1)$$

其中,正值表示抑制作用,负值表示促进作用。

$$\text{萌发率} = \text{种子发芽数} / \text{供试种子数} \times 100\% \quad (2)$$

$$G_t = G_i / D_i \quad (3)$$

式中: G_t ——萌发指数; G_i ——第*t*天种子的发芽数; D_i ——相应的发芽天数。

采用Williamson^[20]化感指数(RI):

$$RI = 1 - C/T (T \geq C), RI = T/C - 1 (T < C) \quad (4)$$

式中:RI——化感指数^[20];C——对照值的种子萌发率; T ——处理值的种子萌发率,当 $RI < 0$ 时,表示抑制作用; $RI > 0$ 时,表示促进作用,RI的绝对值大小代表化感作用的强弱。

1.4 测定指标

过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法,氮蓝四唑(NBT)光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(MDA)含量,四氮唑法测定根系活力(TTC),过氧化氢分解法测定过氧化氢酶(CAT)活性,多酚氧化酶(PPO)活性

测定采用分光光度计,液氮分离纯化测定苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性^[21-23]。

1.5 数据处理与分析方法

采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 统计分析软件分别对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),在置信水平为 95%($p<0.05$)的基础上采用 LSD 多重比较分析方法,Origin 7.5 图形绘制。

2 结果与分析

2.1 柠条锦鸡儿叶浸提液对不同植物种子萌发的影响

由表 1 可知,柠条锦鸡儿叶浸液对不同受试作物的化感作用不同,沙生冰草、蒙农杂交冰草、扁穗冰草和蒙古冰草各项测定指标均随浓度的增加呈先增加后降低趋势,0.01,0.02 g/ml 柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种受体植物各指标均高于对照,表现出化感促进效应,其中对根长的促进效应最为显著,0.03 g/ml 浓度以后各指标均低于对照,表现为化感抑制作用,并且抑制作用随浸提液浓度的增大而加强,呈现出明

显的高浓度抑制低浓度促进化感效应。

柠条锦鸡儿叶浸液浓度由 0~0.03 g/ml 的变化中,4 种冰草种子萌发率的化感效应指数均为正,并且随浓度的增加逐渐降低,当浸液浓度达到 0.04 g/ml 时,沙生冰草、蒙农杂交冰草、扁穗冰草和蒙古冰草种子萌发率的化感效应指数均为负,分别为-0.24,-0.25,-0.75,-2.25,浸液浓度达到 0.04 g/ml 时,对蒙古冰草的抑制作用最强;4 种冰草种子萌发率、萌发指数、根长、苗高和鲜重均随浸液浓度的增加呈先增加后降低趋势,当浸液浓度为 0.01~0.02 g/ml 时,各项指标均达最大,并且对根长、苗高和鲜重起到促进作用(抑制率均为负),而浸液浓度高于 0.03 g/ml 时,柠条锦鸡儿叶浸液对 4 种冰草根长、苗高和鲜重起到抑制作用,当浸液浓度达到 0.04 g/ml 时,柠条锦鸡儿叶浸液对 4 种冰草根长、苗高和鲜重的抑制作用最大,抑制率分别为 77.78%,57.14%,76.92%,83.33%。总体来看,蒙古冰草受柠条锦鸡儿叶浸提液的影响最明显。

表 1 柠条锦鸡儿叶水浸提液对 4 种冰草种子萌发的影响

植物	处理	萌发率/%	萌发指数	化感指数	根长/cm	抑制率/%	苗高/cm	抑制率/%	鲜重/g	抑制率/%
沙生冰草	CK	78	7.86		1.98		1.58		0.09	
	0.01 g/ml	100	25.00	0.22	2.87	-44.95	2.18	-37.97	0.13	-44.44
	0.02 g/ml	100	25.00	0.22	2.75	-38.89	1.35	14.56	0.16	-77.78
	0.03 g/ml	98	24.50	0.20	2.56	-29.29	1.12	29.11	0.10	-11.11
	0.04 g/ml	63	4.56	-0.24	1.18	40.40	0.54	65.82	0.02	77.78
蒙农杂交冰草	CK	75	7.53		1.25		1.15		0.07	
	0.01 g/ml	100	25.00	0.25	2.43	-94.40	1.87	-62.61	0.10	-42.86
	0.02 g/ml	97	24.30	0.23	2.10	-68.00	1.37	-19.13	0.11	-57.14
	0.03 g/ml	95	24.10	0.21	2.03	-62.40	0.97	15.65	0.08	-14.28
	0.04 g/ml	60	4.78	-0.25	1.07	14.40	0.32	72.17	0.03	57.14
扁穗冰草	CK	70	6.87		1.56		0.98		0.13	
	0.01 g/ml	100	25.00	0.30	1.46	10.96	1.56	-59.18	0.16	-23.08
	0.02 g/ml	95	24.80	0.26	1.37	12.18	1.35	-37.76	0.12	7.69
	0.03 g/ml	90	22.50	0.22	1.25	19.87	0.76	22.45	0.10	23.08
	0.04 g/ml	40	3.40	-0.75	0.36	76.92	0.12	87.76	0.03	76.92
蒙古冰草	CK	65	4.89		1.92		1.98		0.06	
	0.01 g/ml	90	22.50	0.28	2.45	-27.60	2.13	-7.58	0.07	-16.67
	0.02 g/ml	84	18.50	0.23	2.32	-20.83	1.87	5.56	0.09	-50.00
	0.03 g/ml	73	16.25	0.11	1.46	23.95	1.45	26.77	0.04	66.67
	0.04 g/ml	20	3.40	-2.25	0.16	91.67	0.23	88.38	0.01	83.33

2.2 柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草 SOD,POD 和 CAT 活性的影响

SOD 是清除氧自由基,防止其对细胞膜系统伤害的一种很重要的抗氧化酶。由图 1A 可知,4 种冰草 SOD 活性随柠条锦鸡儿叶浸提液浓度的增加呈先降低后升高的变化趋势,呈“N”字形变化规律。当

浸提液浓度为 0.01~0.02 g/ml 后,4 种冰草 SOD 活性均低于对照,说明 4 种冰草在此浓度范围内均未受到胁迫。当浸提液浓度高于 0.02 g/ml 时,随着浸提液浓度增加,4 种冰草 SOD 活性急剧增加并且均高于对照,浸提液浓度达到 0.04 g/ml 时,与对照相比,沙生冰草、蒙农杂交冰草、扁穗冰草和蒙

古冰草 SOD 活性分别增加了 140.23%, 135.92%, 121.78%, 110.56%。也即柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草的化感抑制效应增强, 为了抵御这种胁迫而启动 SOD 保护酶体系的保护作用, 因此 SOD 活性升高。

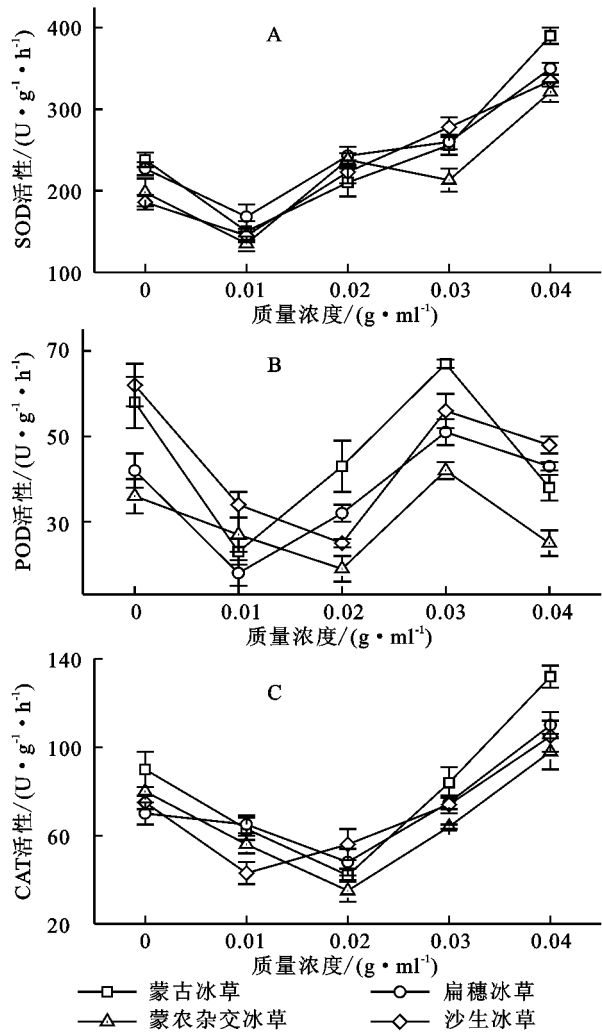


图 1 柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

POD 在植物体内主要作用之一就是催化 H_2O_2 降解, 可抑制逆境条件下细胞膜脂过氧化作用, 降低细胞膜遭受伤害。由图 1B 可知, 柠条锦鸡儿叶浸提液浓度在 0.01~0.02 g/ml 时, 4 种冰草 POD 活性低于对照, 随着浸提液浓度的增加, 4 种冰草 POD 活性升高, 浸提液浓度达 0.03 g/ml 时, 4 种冰草 POD 活性达到最高点, 这可能是由于植株受到胁迫后调动了 POD 保护酶体系所致; 而随着浸提液浓度的继续升高, 化感胁迫作用已经超出 POD 的保护范围, 此时 POD 活性急剧降低, 当浸提液浓度达到 0.04 g/ml 时, 与对照相比, 4 种冰草 SOD 活性分别降低了 38.36%, 31.56%, 34.23%, 25.68%。

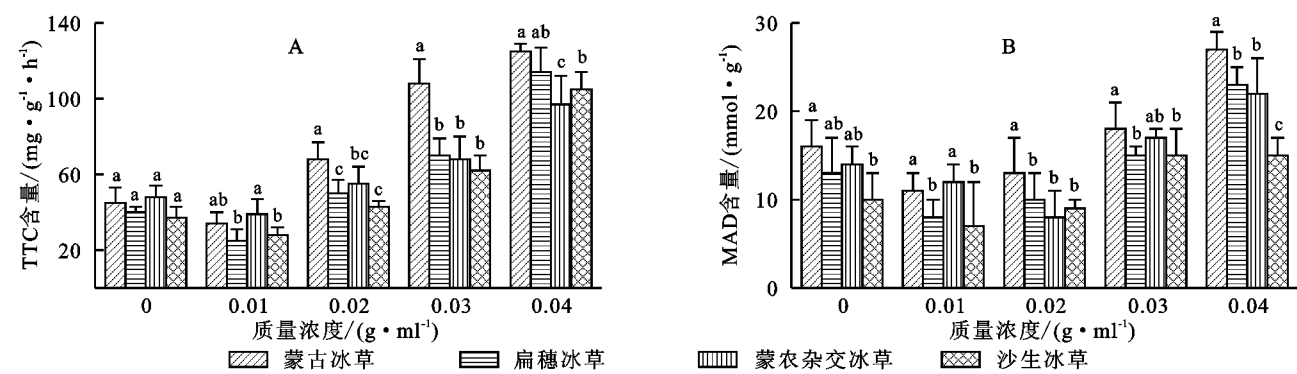
CAT 可清除体内的 H_2O_2 , 是植物体内重要的活

性氧清除剂之一。由图 1C 可知, 随着柠条锦鸡儿叶浸提液浓度的增加, 4 种冰草 CAT 活性呈现先降低后升高的变化趋势, 呈“V”字形变化规律。当浸提液浓度在 0.01~0.02 g/ml 时, 4 种冰草 CAT 活性均低于对照, 化感效应表现为促进作用, 浸提液浓度达到 0.02 g/ml 时, 蒙古冰草、扁穗冰草和蒙农杂交冰草 CAT 均达最低, 而沙生冰草在浸提液浓度达到 0.01 g/ml 最低; 而随着浸提液浓度的继续增加, 4 种冰草生长受到抑制, CAT 活性持续升高; 在质量浓度高于 0.03 g/ml 时, 4 种冰草 CAT 活性均明显高于对照, 以此抵御这种化感胁迫。

2.3 柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草 MDA 含量和 TTC 的影响

植物器官在逆境条件下或衰老时, 往往发生膜脂过氧化作用, MDA 作为膜脂过氧化作用的最终产物, 是膜脂过氧化程度的指标之一, 用于表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱。由图 2A 可知, 4 种冰草 MDA 含量随柠条锦鸡儿叶浸提液浓度的增加呈显著上升, 当浸提液浓度小于 0.02 g/ml 时, 4 种冰草在保护酶系的保护范围内, MDA 含量较对照低, 化感效应表现为促进作用; 当质量浓度大于 0.02 g/ml 时, 化感抑制效应使得膜脂过氧化程度增强, 同时保护酶系的综合保护能力降低, MDA 含量逐渐增加, 标志着细胞受伤害的程度加剧。总体看来 4 种冰草 MDA 含量的增幅不大, 表明其受到伤害程度较小, 当浸提液浓度为 0.04 g/ml 时, 4 种冰草 MDA 含量明显高于对照, 此时冰草种子受到严重伤害, 也可能是因为种子随着时间加长受到病菌侵染霉变, 内部毒害物质上升所致。

由图 2B 可知, 4 种冰草 TTC 与 MDA 变化趋势相一致, 不同浓度的柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草 TTC 有不同程度的抑制作用。当浸提液浓度小于 0.01 g/ml 时, 4 种冰草 TTC 随浸提液浓度的增加呈显著下降, 相比于对照, 分别下降了 10.56%, 30.72%, 32.29%, 38.75%, 说明浸提液对 4 种冰草种子内部反应较为剧烈, 其物质和能源的转化率要低于对照, 从而在一定范围内降低了种子的成苗率和抗逆性; 当浸提液浓度大于 0.02 g/ml 时, 4 种冰草 TTC 随浸提液浓度的增加呈显著增加, 并且均高于对照, 抑制作用及强度愈强, 这可能是由于化感效应使根系活力增强以抵御外界的胁迫, 在酶的作用下, 种子中大量的淀粉、脂肪、蛋白质水解提供幼苗生长需要的物质和能源, 物质转化率越高对幼苗生长越有利, 并可以提高成苗率和幼苗的抗逆性对植株正常生长具有促进作用。



注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。

图 2 柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草 MDA 含量和 TTC 的影响

2.4 柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草 PPO 和 PAL 活性的影响

PAL 催化 L-苯丙氨酸生成反式肉桂酸,后者是植物酚类的合成起始物,该酶在植物次生生化代谢中具有重要的地位。由图 3A 可知,随着柠条锦鸡儿叶浸提液浓度的升高,4 种冰草 PAL 活性与 PPO 变化规律一致。当浸提液浓度为 0.01 g/ml 时,4 种冰草 PPO 活性达到最低点,这可能是由于浸提液在低浓度化感效应为促进作用,植株次生代谢状况趋于平衡,因此 PAL 活性较对照低;当浸提液浓度大于 0.03 g/ml 时,4 种冰草 TTC 随浸提液浓度的增加呈显著增加,分别高出对照 156.78%,130.65%,132.54%,110.18%,此过程中,4 种冰草体内次生代谢趋缓,从而引发 PAL 活性升高,以加速次生代谢,保证幼苗的正常生长。

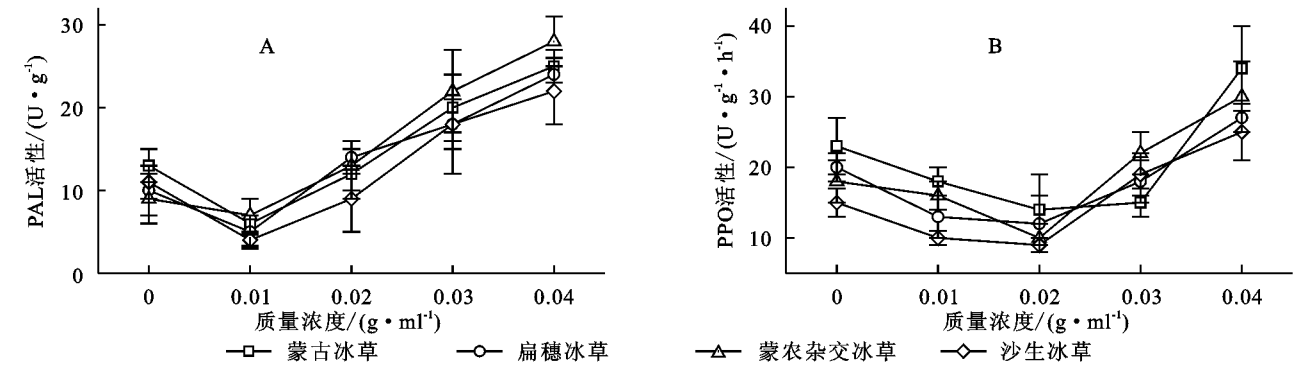


图 3 柠条锦鸡儿叶浸提液对 4 种冰草 PPO 和 PAL 活性的影响

3 讨论

化感作用作为植物的一种竞争手段,存在于多种生态系统中,主要通过植物地上部分的挥发、根际分泌、雨水淋洗、植株残体的腐解以及花粉等途径向环境中释放化感物质,从而对周围生物产生直接或间接的有害或有利的影响^[1-3,9-13]。

本研究表明,柠条锦鸡儿叶片的化感物质对不同受体植物具有不同效应,并且作用强度也不尽相同,4

PPO 能通过一元酚和二元酚的形式氧化生成醌,醌类物质又可抑制植物不定根的产生,使植物渐趋死亡,但过高的多酚氧化酶活性对植物生长不利。由图 3B 可知,随着柠条锦鸡儿叶浸提液浓度的升高,4 种冰草 PPO 活性先降低后增强,呈“V”字形变化规律。相同浸提液浓度下,4 种冰草 PPO 含量大小基本表现为:蒙古冰草>扁穗冰草>蒙农杂交冰草>沙生冰草;当浸提液浓度为 0.01 g/ml 时,4 种冰草 PPO 活性基本达到最低点。当浸提液浓度小于 0.01 g/ml 时,4 种冰草 PPO 随浸提液浓度的增加呈显著下降,相比于对照,分别下降了 94.13%,83.68%,75.26%,68.54%;浸提液浓度高于 0.02 g/ml 时,4 种冰草 TTC 随浸提液浓度的增加呈显著增加,当浸提液浓度为 0.04 g/ml 时,4 种冰草分别高出对照 63.58%,52.17%,62.35%,53.43%。

种冰草种子萌发表现为低浓度下促进萌发,高浓度下抑制的双重化感效应,其中尤以沙生冰草和蒙农杂交冰草最为敏感,与许多学者的研究结果一致^[10-13,24],表明柠条锦鸡儿叶片中存在的化感物质并且具有较高的活性,并且在一定浓度范围内,对禾本科植物种子萌发和幼苗的生长起到了一定的促进作用。与对照相比,4 种冰草的鲜重、根长、苗高均不同程度地受到了柠条锦鸡儿化感作用的影响(表 1)。柠条锦鸡儿叶浸提液的抑制作用具体表现为:降低了 4 种冰草

根表面的吸收面积和地上部分光合面积,从而降低了根的吸收效率和地上部分的光合同化率,其具体表现在4种冰草鲜重均低于对照,化感物质对根长的抑制使4种冰草根系变小,吸收养分能力下降,光合能力变弱,降低了4种冰草对资源的有效利用。

化感作用是植物普遍存在的现象,主要干扰受体植物的一些高级代谢过程和生长调节系统,植物化感作用首先是对细胞膜的伤害,将化感物质胁迫的信号传送到细胞内,从而对激素、离子吸收等产生影响^[4,6-8,10-12]。而激素、离子吸收以及水分状况的变化会对植物产生抑制作用,从现有的资料来看化感作用几乎能影响植物生理生化的每一个方面,大多数化感物质是影响植物的细胞膜。CAT酶活性随浸提液浓度的增加呈先增加后减小趋势,种子吸胀过程中,生理活动恢复加强,不可避免地体内生物大分子蛋白质、核酸和脂类等起反应且产生破坏其结构和功能的 H_2O_2 等自由基,CAT可把 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2 ,以清除 H_2O_2 的毒害作用^[25-29]。现在普遍认为植物受到胁迫后,保护酶活性下降^[6-8,12-14],而本研究当柠条锦鸡儿叶浸提液浓度高于0.02 g/ml时,4种冰草CAT活性均明显高于对照,质量浓度为0.04 g/ml时4种冰草CAT活性最大,表明了高浓度柠条锦鸡儿叶浸提液(0.04 g/ml)一定程度上引起禾本科种子代谢紊乱,造成无氧呼吸上升,大量消耗贮藏物质,使得CAT活性明显增加。

MDA是膜脂过氧化产物,其含量是膜脂过氧化程度的一个重要标志,而且与细胞膜的损害程度直接相关,可以反映植物遭受逆境伤害的程度。同时,MDA本身也是一种有害物质,它能强烈地与细胞内各种成分发生反应,引起酶和膜的严重损伤,导致膜结构及生理完整性的破坏^[12-14,25-26]。图2A显示了柠条锦鸡儿叶浸提液浓度达到0.02 g/ml以后4种冰草MDA含量均高于对照,并且随浸提液浓度的升高MDA含量增加越高,其中沙生冰草MDA含量最低,其他3种冰草均较高,可以说明柠条锦鸡儿叶浸提液使4种冰草细胞的膜脂过氧化程度增高,膜透性增大,对逆境条件反应增强,表明了柠条锦鸡儿叶浸提液化感作用下蒙农杂交冰草、扁穗冰草和蒙古冰草膜脂过氧化程度较为明显,也进一步说明沙生冰草和蒙农杂交冰草对逆境的抵抗能力最强,其次是扁穗冰草,最弱的是蒙古冰草。由图2B可知,TTC含量在低浓度浸提液处理下低于对照,高浓度浸提液处理下明显上升,与MDA变化趋势一致,主要是由于柠条

锦鸡儿叶浸提液胁迫通过抑制、清除内源活性氧酶的活性,导致活性氧的积累和膜脂过氧化加剧,致使4种冰草根系细胞膜受到伤害。综合图2—4可知,4种冰草在低浓度柠条锦鸡儿叶浸提液下MDA含量低于对照,能够引起保护酶活性下降,减弱机体清除自由基能力;随着浸提液浓度的增加,MDA含量增加,在化感作用下,4种冰草细胞膜受到破坏,造成植株生理代谢紊乱,伴随着SOD,POD和CAT保护酶系统的启动,PPO和PAL活性升高,以抵御外界的胁迫,最终导致低浓度的促进和高浓度的化感抑制作用。由于低浓度浸提液能激发保护酶活性保护4种冰草不受伤害,而高浓度浸提液胁迫下各种酶活性急剧降低^[10-14,25-26],表明在浸提液下虽然保护酶活性加强,但其调节能力依然有限,这也是受体植物对柠条锦鸡儿化感作用适应的生理调节反应。

4 结论

本研究显示柠条锦鸡儿叶浸提液对4种冰草种子萌发和幼苗生长具有低浓度(≤ 0.02 g/ml)促进和高浓度(≥ 0.02 g/ml)抑制的双重化感效应,并且抑制作用随浓度的增大而加强,其中尤以沙生冰草和蒙农杂交冰草最为敏感,能否将沙生冰草和蒙农杂交冰草考虑选择为柠条锦鸡儿林下植物多样性恢复的主要伴生种还有待进一步的野外试验研究。4种冰草保护性酶(SOD,POD)随浸提液浓度的增加呈“N”字形变化规律,过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)、根系活力(TTC)、非保护酶(PAL,PPO)活性随浸提液浓度的增加呈先降低后增加的“V”字形变化规律。综合分析可知,柠条锦鸡儿叶浸提液对4种冰草具有化感作用,能够影响4种冰草正常生长,其敏感性顺序依次为蒙古冰草>扁穗冰草>蒙农杂交冰草>沙生冰草,蒙古冰草是柠条锦鸡儿叶浸提液的敏感受试植物。此外,自然条件下,柠条锦鸡儿化感物质的释放与积累受到多种环境条件如降水量、土壤、温度、水热条件等的影响,其分泌的化感物质对受体植物其他生理生化影响及所含化感物质的种类仍有待于进一步研究和明确。

参考文献:

- [1] Maqbool N, Wahid A, Farooq M, et al. Allelopathy and abiotic stress interaction in crop plants[M]//Cheema Z A, Farooq M, Wahid A. Allelopathy. Berlin Heidelberg: Springer,2013.
- [2] Wardle D A, Karban R, Callaway R M. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy[J]. Trends in Ecology & Evolution,2011,26(12):655-662.

- [3] Murrell C, Gerber E, Krebs C, et al. Invasive knotweed affects native plants through allelopathy [J]. American Journal of Botany, 2011, 98(1): 38-43.
- [4] Farooq M, Jabran K, Cheema Z A, et al. The role of allelopathy in agricultural pest management [J]. Pest Management Science, 2011, 67(5): 493-506.
- [5] 张红玉. 紫茎泽兰入侵过程中生物群落的交互作用[J]. 生态环境学报, 2013, 22(8): 1451-1456.
- [6] 万方浩, 刘万学, 郭建英, 等. 外来植物紫茎泽兰的入侵机理与控制策略研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2011, 41(1): 13-21.
- [7] 林文雄, 何海斌, 熊君, 等. 水稻化感作用及其分子生态学研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2687-2694.
- [8] 杨国庆, 万方浩, 刘万学. 入侵杂草紫茎泽兰的化感作用研究进展[J]. 植物保护学报, 2009, 35(5): 463-468.
- [9] 彭少麟, 邵华. 化感作用的研究意义及发展前景[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 780-786.
- [10] 钟声, 段新慧, 奎嘉祥. 紫茎泽兰对16种牧草发芽及幼苗生长的化感作用[J]. 草业学报, 2007, 16(6): 81-87.
- [11] Dudeja S S, Giri R, Saini R, et al. Interaction of endophytic microbes with legumes [J]. Journal of Basic Microbiology, 2012, 52(3): 248-260.
- [12] Isobe K, Higo M, Kondo T, et al. Effect of winter crop species on arbuscular mycorrhizal fungal colonization and subsequent soybean yields [J]. Plant Production Science, 2014, 17(3): 260-267.
- [13] Zhong C, Zhou Z, Zhang Y M, et al. Integrating kinetics with thermodynamics to study the alkaline extraction of protein from *Caragana korshinskii* Kom. [J]. Biotechnology and Bioengineering, 2014, 111(9): 1801-1808.
- [14] Zhong C, Zhou Z, Wang R, et al. Studies on protein extraction from *Caragana korshinskii* Kom.: Using acetone precipitation method [C]// Zhang T C, Ouyang P, Kaplan S, et al. Proceedings of the 2012 International Conference on Applied Biotechnology. Berlin Heidelberg: Springer, 2014.
- [15] She D, Xia Y, Shao M, et al. Transpiration and canopy conductance of *Caragana korshinskii* trees in response to soil moisture in sand land of China [J]. Agroforestry Systems, 2013, 87(3): 667-678.
- [16] Gao G L, Ding G D, Zhao Y Y, et al. Fractal approach to estimating changes in soil properties following the establishment of *Caragana korshinskii* shelterbelts in Ningxia, NW China [J]. Ecological Indicators, 2014, 43: 236-243.
- [17] 程杰, 王吉斌, 程积民, 等. 黄土高原柠条锦鸡儿灌木林生长的时空变异特征[J]. 林业科学, 2013(1): 14-20.
- [18] 刘任涛, 柴永青, 徐坤, 等. 荒漠草原区柠条固沙人工林地草本植被季节变化特征[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 500-508.
- [19] 黄磊, 张志山, 周小琨. 沙漠人工植被区柠条树干液流变化及影响因子分析[J]. 中国沙漠, 2011, 31(2): 415-419.
- [20] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [21] 余叔文. 植物生理与分子生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [22] 程春龙, 李俊清. 植物多酚的定量分析方法和生态作用研究进展[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2457-2460.
- [23] 杨宁, 李翠霞, 李志忠, 等. 诱导子对百里香再生植株中苯丙氨酸解氨酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(2): 330-335.
- [24] 周志红, 骆世明. 番茄 (*Lycopersicon*) 的化感作用研究 [J]. 应用生态学报, 1997, 8(4): 445-449.
- [25] 张秀玲. 盐对夏至草种子萌发以及盐胁迫解除后种子萌发能力恢复的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(3): 436-440.
- [26] 张伟, 龚久平, 刘建国. 秸秆还田对连作棉田土壤酶活性的影响 [J]. 生态环境学报, 2011, 20(5): 881-885.
- [27] 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.
- [28] 余婷, 孟焕文, 温艳斌, 等. 白三叶根系分泌物对5种草坪草的化感作用 [J]. 草地学报, 2013, 21(4): 729-736.
- [29] 梁静, 程智慧, 徐鹏, 等. 白三叶腐解液对5种草坪草的化感作用研究 [J]. 草地学报, 2011, 19(2): 257-287.