

红叶李水浸液对 4 种草坪植物的化感作用

朱 强, 安 黎, 邹梦辉, 田曾元, 郭予琦

(郑州大学 生命科学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 研究了园林植物红叶李 *Prunus cerasifera* 不同器官及根际土壤水浸液对白三叶 *Trifolium repens*, 紫花苜蓿 *Medicago sativa*, 剪股颖 *Agrostis tenuis* 和黑麦草 *Lolium perenne* 等种子萌发和幼苗生长的影响, 其中种子萌发实验采用培养皿滤纸法, 幼苗生长实验采用温室盆栽法。结果表明: 在 $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 浸提液质量浓度下, 红叶李根、茎、叶水浸液对白三叶种子萌发具有极显著的抑制作用, 强弱顺序为叶>根>茎; 红叶李落叶和根际土壤水浸液对白三叶种子萌发也具有较强抑制作用; 在测试质量浓度范围内, 红叶李叶片水浸液对白三叶和紫花苜蓿种子萌发表现为抑制作用, 对剪股颖和黑麦草则表现出“低促高抑”效应; 红叶李叶片水浸液对白三叶和紫花苜蓿幼苗的生长主要表现为促进作用, 对剪股颖和黑麦草则主要表现为抑制作用; 4 种植物对红叶李化感作用的平均敏感性强弱顺序为剪股颖>黑麦草>白三叶>紫花苜蓿, 其中紫花苜蓿的平均敏感指数为正值, 其余均为负值。结果为从化感角度提高红叶李的园林配置水平提供了依据。图 1 表 6 参 18

关键词: 植物学; 园林植物; 红叶李; 草坪植物; 化感作用

中图分类号: S718.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2014)05-0710-06

Allelopathic effects of *Prunus cerasifera* on four turfgrass plants

ZHU Qiang, AN Li, ZOU Menghui, TIAN Zengyuan, GUO Yuqi

(College of Life Science, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: To understand the chemical relationships of *Prunus cerasifera* with others turfgrass plants, the allelopathic effects of an aqueous extract from different organs and rhizosphere soil of *P. cerasifera* on seed germination and seedling growth of four turfgrass plants: *Trifolium repens*, *Medicago sativa*, *Agrostis tenuis*, and *Lolium perenne*, were studied. Seed germination was tested indoors using a biological monitoring method, and seedling growth was tested in a pot experiment. Results indicated that the root, stem, and leaf aqueous extracts of *P. cerasifera* at $0.05\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ concentration significantly inhibited ($P<0.01$) seed germination of *T. repens* with leaf > root > stem. Leaf litter and rhizosphere soil extracts of *P. cerasifera* also had a strong inhibition on seed germination of *T. Repens*. Leaf extracts inhibited seed germination of *T. repens* and *M. Sativa* with *A. tenuis* and *L. perenne* being promoted at lower concentration and being inhibited at higher concentration. For seedling growth, leaf extracts promoted *T. repens* and *M. sativa*, and inhibited *A. tenuis* and *L. perenne*. Overall the allelopathic sensitivity was in the order of *A. tenuis* > *L. perenne* > *T. repens* > *M. sativa*. Additionally, the overall allelopathic sensitivity of *M. sativa* was positive, but the others were negative. These results provide a basis for allelopathic application of *P. cerasifera*. [Ch, 1 fig. 6 tab. 18 ref.]

Key words: botany; garden plants; *Prunus cerasifera*; turfgrass plants; allelopathy

植物化感作用是植物通过淋溶、挥发、残体分解和根系分泌等方式向环境释放化学物质, 从而对周

收稿日期: 2013-11-13; 修回日期: 2014-03-19

基金项目: 郑州大学 2013 年度大学生创新创业训练计划项目(2013xjxm031)

作者简介: 朱强, 从事植物学研究。E-mail: zhuqiang21@163.com。通信作者: 郭予琦, 副教授, 博士, 从事植物化学与分子生物学研究。E-mail: guoyuqi@zzu.edu.cn

围植物产生直接或间接的、有害或有利的作⽤^[1]。植物间的这种化学作⽤对作物增产、森林抚育、植物保护和⽣物防治等⽅⾯有着⼴泛的影响^[2]。目前,植物化感作⽤已经成为一个⼗分活跃的⽬标研究领域,并且无论在⼴度还是深度上都取得了重要进展。在⼴度上,研究范围从集中于作物和⼊侵杂草不断向林⽊、园林绿⾊植物及⽣⽣植物拓展,以至几乎涵盖所以植物类群,植物与微生物间的化感作⽤也引起⼈们的⼴泛重视^[3-8];在深度上经历了由化感现象的简单描述和证明到化感机制的阐释,再到初步应⽤于⽣产实践的过程^[9]。虽然已经取得了许多成果,但植物化感作⽤领域依然存在⼤量空⽩,亟须开展更多更为系统深⼊的研究。园林植物是指具有一定观赏价值,适用于室内⼤外布置,美化环境,改善环境,并丰富⼈们⽣活的植物。园林植物化感作⽤的研究对于园林植物配置的科⼲性和植物群落演替有着直接影⼲,同时也影响园林⼈⼯⽣态系统的稳定和⼲能发挥^[10]。近年,园林植物化感作⽤逐渐引起⼈们的关注,⽩三叶 *Trifolium repens*^[2], 百里香 *Thyme mandschuricus*^[11], 小佛肚竹 *Bambusa ventricosa*^[12], 火炬树 *Rhus typhina*^[8], 万寿菊 *Tagetes erecta*^[13] 等被报道具有较强化感作⽤。笔者曾筛选对 44 种常见园林植物的化感作⽤,发现红叶李 *Prunus cerasifera* 叶⽔浸液具有较强的化感作⽤。红叶李为蔷薇科 Rosaceae 落叶乔木,又称紫叶李、樱桃李,其叶⽔常年紫红,是著名色叶树种。原产中亚及中国新疆天山一带,现作为园林植物栽培分布于北京以及⼲西、⼲西、河南、江苏、⼲东等省的⼲⼲⼲市^[14]。除用于园林绿⾊化外,未见有关于红叶李其他用途的报道,这使得针对红叶李的研究和⼲发利⽤受到⼲⼲⼲限制。红叶李化感作⽤的发现无疑有利于充分⼲发其应⽤潜⼲。本实验对红叶李的化感作⽤进行了更为全⼲的研究。以红叶李在园林中的伴⽣草坪植物⽩三叶,紫花苜蓿 *Medicago sativa*, 剪股颖 *Agrostis tenuis* 和⼲麦草 *Lolium perenne* 等为受体,研究了红叶李不同器官及根际⽔浸液的化感作⽤,旨在探究红叶李对伴⽣草坪植物的化感作⽤,为提⼲其园林配置⽔平提供可靠依据。

1 材料与⽅法

1.1 材料

供体:红叶李的根、茎、叶及根际⽔,2013 年 9 月采于郑州⼲⼲⼲校园内。红叶李树⼲约 3 m,胸径 10 cm 左右。受体:⽩三叶、紫花苜蓿、剪股颖和⼲麦草。种子购于郑州陈寨花卉市场。

1.2 ⽅法

1.2.1 浸提液的制备 ①不同器官⽔浸液置备。用清⽔将红叶李新鲜根、茎、叶冲洗干⽔,平铺晾干,剪成 1 cm² 小片 (或 1 cm 小段),称取一定量并加入 20 倍蒸馏⽔,室温浸提 24 h。4 层纱布过滤得⽐例为 50 g·L⁻¹ (鲜质量/体积) 的浸提液,稀释为 30, 10, 5 g·L⁻¹。4 ℃冰箱保存备用。以上浸提液用于种子萌发实验,考虑到浸提液在⽔中作⽤可能减弱,将盆栽⽣长实验测试⽐例调整为 100, 50, 30, 10 g·L⁻¹。②根际⽔浸液置备。取适量红叶李根毛区的⽔,筛出杂质后风干,加入 2 倍于⽔样质量的蒸馏⽔室温浸提 24 h,期间搅拌数次。双层滤纸过滤后⽐例定为 500 g·L⁻¹ (质量/体积),梯度稀释为 250, 125 g·L⁻¹, 4 ℃冰箱保存备用。

1.2.2 ⽣物测定 ①种子萌发实验。以滤纸为载体测试红叶李不同部位及根际⽔浸液对 4 种草坪植物种子萌发的化感作⽤。将籽粒健康均一的受体种子冲洗干⽔,质量分⽔为 10% 次氯酸钠消毒 2 min,再用蒸馏⽔洗 5 次,置于垫有 2 层滤纸的培养皿 (直径 $d=9$ cm) 中。摆放种子 30 粒·皿⁻¹, 3 次重复。加入浸提液 6 mL·皿⁻¹, 用蒸馏⽔作对照。⼈⼲⼲候培养箱中 25 ℃暗培养 2~3 d (预实验确定⽩三叶 2 d, 其他 3 d),每天记录发芽数,统计发芽率和发芽指数。②盆栽幼苗⽣长实验。以⽔为载体在光照培养室内测定红叶李鲜叶⽔浸液对 4 种草坪植物株⼲和⽣物量的影响。⽔选用砂性⽔,除杂风干,混匀后装于直径为 8 cm 的塑料盆中,播种一定量的种子,加适量清⽔培养。待幼苗出⽔后留长势一致的幼苗 5 株·盆⁻¹,浇灌浸提液,清⽔为⼲⽩对照,重复 4 次。20 d 后取 10 株·处理⁻¹ 测量株⼲及鲜干质量。

1.2.3 数据处理与分析 采用 Williamson 等^[15] 的化感效应指数 (I_{RI}) 来评价化感作⽤。计算公式为 $I_{RI}=1-C/T (T>C)$; $I_{RI}=T/C-1 (T\leq C)$ 。其中 C 为对照,是以蒸馏⽔培养的受体植物各项指标的⼲均值。 T 为处理值,是以浸提液培养的受体植物各项指标的⼲均值。当 $I_{RI}>0$ 时表示浸提液具有促进作用, $I_{RI}<0$ 时具有抑制作⽤。 I_{RI} 的绝对值代表作⽤强度的⼲⼲。另外,为了综合评价受体植物对红叶李的敏感效应,采取鲍根⽣等^[16] 的相加⼲均值法。采用 SPSS 16.0 软件进行统计⼲析,用⼲均数和标准误表示测定结果,

分别对各项测试结果进行单因素方差分析,并用 Duncan 法对各测定数据进行多重比较:采用 Excel 2007 作图。

2 结果与分析

2.1 红叶李不同器官水浸液对白三叶种子萌发的影响

由表 1 可知:在测试比例下红叶李不同器官水浸液对白三叶种子萌发都具有极显著的抑制作用,且不同器官的抑制程度有所差异。发芽率和发芽指数能一致地反应出不同器官的强弱次序,但发芽指数更为敏感(落叶除外)。叶片的作用最强,综合效应(E_{se})为 -0.96 ,其次是根,茎的作用相对最弱, E_{se} 值为 -0.51 。叶与根的化感活性间没有显著差异,但都极显著高于茎的化感活性。这反应出化感物质在红叶李体内的分布情况,可能叶片和根是化感物质合成或聚集的重要场所。红叶李落叶同样具有较高的化感作用,这说明落叶分解可能是红叶李化感物质释放的一种途径。

表 1 红叶李不同器官水浸液对白三叶种子萌发的影响

Table 1 Effect of $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ water extract from different organs of *Prunus cerasifera* on seed germination of *Trifolium repens*

供体	发芽率/%	I_{RI} 值	发芽指数	I_{RI} 值	E_{se} 值
对照	61.11 ± 6.19 aA		18.17 ± 1.48 aA		
根	5.55 ± 0.22 cC	-0.91	0.83 ± 0.33 cdC	-0.95	-0.93
茎	37.78 ± 1.11 bB	-0.38	6.67 ± 0.73 bB	-0.63	-0.51
叶	3.33 ± 0.93 cC	-0.95	0.50 ± 0.29 dC	-0.97	-0.96
落叶	11.11 ± 1.44 cC	-0.82	4.67 ± 0.19 bcBC	-0.74	-0.78

说明:水浸液质量浓度为 $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。数据后小写字母分别表示在 5% 水平差异显著性,大写字母分别表示在 1% 水平差异显著性。

2.2 红叶李根际土壤水浸液对白三叶种子萌发的影响

随着红叶李根际土壤水浸液浓度的增加,白三叶种子的发芽率和发芽指数呈现出逐渐下降的趋势(图 1),且发芽指数下降更明显,但对发芽率的抑制作用在各比例下都没有达到显著水平。发芽指数在 $125\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时即受到显著抑制,在 $250, 500\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时抑制作用达到极显著水平, I_{RI} 值分别为 $-0.39, -0.41$ 。这再次证明发芽指数对化感作用较发芽率敏感,说明红叶李化感物质延缓种子萌发的作用要强于遏止种子萌发。

2.3 红叶李叶片水浸液对 4 种草坪植物种子萌发的影响

结合表 2 和表 3 可知:红叶李叶片水浸液对不同植物种子萌发的作用不同,且在不同比例浸提液时的作用效果也存在较大差别。整体上可分为 2 种情况:对白三叶和紫花苜蓿的抑制作用及对剪股颖和黑麦草的“低促高抑”效应。白三叶和紫花苜蓿的发芽率及发芽指数随浸提液比例的升高而逐渐降低(但在 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时抑制作用却异常降低甚至出现促进作用),对白三叶的影响明显比紫花苜蓿大。白三叶的发芽率在 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时即受到显著的抑制, I_{RI} 值为 -0.33 ;紫花苜蓿的发芽率只有在最高比例 $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时受到的抑制作用才达到显著水平, I_{RI} 值为 -0.20 。在 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,剪股颖和黑麦草种子萌发受到不同程度的促进作用,但都未达到显著水平;在 $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,发芽率和发芽指数受到显著或极显著的抑制作用。这提示红叶李化感物质对单子叶植物和双子叶植物可能具有不同的作用机制。

2.4 红叶李叶片水浸液对 4 种草坪植物幼苗生长的影响

由表 4 和表 5 可以看出:在测试比例范围内,红叶李对白三叶和紫花苜蓿幼苗的生长主要表现为促进作用,对剪股颖和黑麦草则主要表现为抑制作用,而这正好与对 4 种植物种子萌发的作用效果截然相反。这可能是由于红叶李化感物质对单子叶植物和双子叶植物幼苗生长的作用机制不同,且与对种子

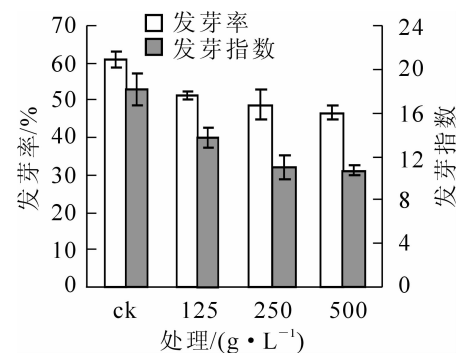


图 1 红叶李根际土壤水浸液对白三叶萌发的影响

Figure 1 Effect of aqueous extract from rhizosphere soil of *Prunus cerasifera* on seed germination of *Trifolium repens*

表 2 红叶李叶片水浸液对 4 种草坪植物种子萌发的影响

Table 2 Effect of water extract from leaves of *Prunus ceraifera* on seed germination of four turfgrass plants

处理 /(g·L ⁻¹)	发芽率/%				发芽指数			
	白三叶	紫花苜宿	剪股颖	黑麦草	白三叶	紫花苜宿	剪股颖	黑麦草
对照	61.1 1 ± 6.19 aAB	60.00 ± 3.85 a	44.44 ± 4.84 abAB	85.56 ± 2.94 a	18.17 ± 1.48 bAB	16.33 ± 0.82 aA	5.61 ± 0.36 aAB	17.78 ± 1.46 aA
5	41.11 ± 4.84 bBC	51.11 ± 1.11 ab	61.11 ± 2.94 aA	85.56 ± 1.11 a	13.17 ± 1.30 bcBD	13.00 ± 0.06 bcAB	6.78 ± 0.31 aA	18.06± 0.59 aA
10	65.56 ± 4.44 aA	57.78 ± 2.94 ab	45.56 ± 4.84 abAB	82.22 ± 4.01 a	22.50 ± 2.85 aA	13.28 ± 0.58 bAB	7.00 ± 0.55 aA	13.34 ± 2.19 aAB
30	27.78 ± 2.01 bC	53.33 ± 5.09 ab	31.11 ± 1.11 bcBC	82.22 ± 6.19 a	9.25 ± 1.48 cC	10.17 ± 1.64 cdBC	3.00 ± 0.11 bBC	15.84 ± 1.14 aAB
50	3.33 ± 1.03 cD	47.78 ± 1.11 b	20.00 ± 3.82 cC	60.00 ± 5.00 b	0.50 ± 0.09 dD	8.45 ± 0.68 dC	2.17 ± 0.14 bC	9.83 ± 1.17 bB

说明：数据后小写字母分别表示在 5%水平差异显著性，大写字母分别表示在 1%水平差异显著性。

表 3 红叶李叶片水浸液对 4 种草坪植物种子萌发的化感作用

Table 3 Allelopathic effects of water extract from leaves of *Prunus ceraifera* on seed germination of four turfgrass plant

处理/ (g·L ⁻¹)	对发芽率的化感作用(<i>I_{RI}</i>)				对发芽指数的化感作用(<i>I_{RI}</i>)			
	白三叶	紫花苜宿	剪股颖	黑麦草	白三叶	紫花苜宿	剪股颖	黑麦草
5	-0.33	-0.15	0.38	0.00	-0.28	-0.20	0.21	0.01
10	0.07	-0.04	0.03	-0.04	0.24	-0.19	0.25	-0.25
30	-0.55	-0.11	-0.30	-0.04	-0.49	-0.38	-0.47	-0.11
50	-0.95	-0.20	-0.55	-0.30	-0.97	-0.48	-0.61	-0.45

萌发的作用机制不同。白三叶幼苗的干质量随浸提液比例在升高受到的促进作用逐渐增强，在 100 g·L⁻¹ 时促进了 101%，对株高的促进作用不明显。紫花苜蓿的株高、鲜质量和干质量随比例在升高受到的促进作用则都逐渐减弱，株高受到的促进作用由 32%减为 1%，干质量由 127%减为 18%。剪股颖和黑麦草的幼苗生长大体上随比例升高受到的抑制作用逐渐增强，剪股颖受到抑制程度较黑麦草高。

表 4 红叶李叶片水浸液对 4 种草坪植物幼苗生长的影响

Table 4 Effect of water extract from leaves of *Prunus ceraifera* on seedling growth of four turfgrass plants

处理/ (g·L ⁻¹)	株高/cm				鲜质量/(mg·株 ⁻¹)				干质量/(mg·株 ⁻¹)			
	白三叶	紫花苜宿	剪股颖	黑麦草	白三叶	紫花苜宿	剪股颖	黑麦草	白三叶	紫花苜宿	剪股颖	黑麦草
对照	2.96	5.38	4.13	18.51	11.90	25.20	1.30	36.50	1.30	2.22	0.24	4.05
10	3.21	7.08	3.60	17.88	13.40	37.70	1.30	40.30	1.51	5.03	0.17	3.74
30	3.50	6.89	4.01	16.00	15.80	35.70	1.20	36.40	1.63	4.11	2.10	3.22
50	3.18	4.96	3.62	17.67	14.90	27.60	0.90	32.80	1.81	3.06	0.27	2.92
100	3.13	5.41	3.53	17.16	15.40	25.70	0.70	34.60	2.61	2.63	0.22	3.11

2.5 4 种植物对红叶李水浸液化感作用的敏感指数

一级敏感指数(*M*₁)反应了 4 种植物不同测定指标对红叶李化感作用的敏感性，5 项指标受抑制程度为萌发率>萌发指数>株高>株干质量>株鲜质量，其中株高、株干质量、株鲜质量表现为轻微的促进作用。4 种植物发芽率受抑制程度强弱次序为剪股颖>白三叶>紫花苜蓿>黑麦草，其中剪股颖最敏感，敏感指数为-0.55；黑麦草最不敏感。敏感指数为-0.09。二级敏感指数(*M*₂)反应了 4 种植物种子萌发期和幼苗生长期对红叶李水浸液化感作用的平均敏感指数，分别为-0.28，0.05。表明红叶李化感物质对种子萌发主要表现为强烈抑制作用，对幼苗生长表现为轻微促进作用。4 种植物萌发期受抑制最强的是白三叶，平均敏感指数为-0.41，其次是剪股颖，黑麦草最弱。白三叶和紫花苜蓿在生长期受到强烈的促进作用，剪股颖和黑麦草则受到不同程度的抑制作用。值得注意的是，白三叶和紫花苜蓿在萌发期

和生长期受到的作用恰好相反。三级敏感指数(M_3)反应了 4 种植物在物种水平上对红叶李水浸液化感作用的综合敏感性, 平均敏感指数为-0.12。说明红叶李的化感物质对 4 种植物主要表现为抑制作用。4 种植物对红叶李化感作用的敏感性强弱顺序为剪股颖>黑麦草>白三叶>紫花苜蓿, 其中紫花苜蓿的平均敏感指数为正值, 其余均为负值(表 6)。

表 5 红叶李叶片水浸提对 4 种草坪植物幼苗生长的化感作用

Table 5 Allelopathic effects of water extract from leaves of *Prunus cerasifera* on seeding growth of four turfgrass plants

处理/ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	对株高的化感作用(I_{H})				对鲜质量的化感作用(I_{W})				对干质量的化感作用(I_{D})			
	白三叶	紫花苜蓿	剪股颖	黑麦草	白三叶	紫花苜蓿	剪股颖	黑麦草	白三叶	紫花苜蓿	剪股颖	黑麦草
10	0.08	0.32	-1.3	-0.3	1.3	5.0	0.0	1.0	1.6	12.7	-9.3	-0.8
30	0.18	0.28	-0.3	-1.4	3.3	4.2	-0.8	0.0	2.5	8.5	-1.3	-2.0
50	0.07	-0.08	-1.2	-0.5	2.5	1.0	-3.1	-1.0	3.9	3.8	-8.9	-2.8
100	0.06	0.01	-1.5	-0.7	2.9	0.2	-4.6	-0.5	10.1	1.8	-9.1	-2.3

表 6 4 种植物对红叶李水浸液化感作用的敏感指数

Table 6 Assessment of sensitivity of four turfgrass plants to allelopathy of water extract from leaves of *Prunus cerasifera*.

植物	三级敏感指数 M_3	二级敏感指数 M_2		一级敏感指数 M_1				
	物种水平	萌发期	生长期	发芽率	发芽指数	株高	株鲜质量	株干质量
白三叶	-0.07	-0.41	0.27	-0.44	-0.38	0.10	0.25	0.45
紫花苜蓿	0.07	-0.22	0.35	-0.13	-0.31	0.13	0.26	0.67
剪股颖	-0.36	-0.36	-0.35	-0.55	-0.16	-0.11	-0.21	-0.72
黑麦草	-0.12	-0.15	-0.09	-0.09	-0.20	-0.07	-0.01	-0.20
平均	-0.12	-0.28	0.05	-0.30	-0.26	0.01	0.07	0.05

3 讨论

植物的化感物质几乎分布在各个部位, 但主要存在于叶片和根内, 这是与植物主要通过叶片和根系释放其化感物质相一致^[17]。红叶李叶片和根水浸液的化感作用最强。根际土壤也具有一定的化感作用, 这说明其化感物质确实释放到了环境中且能够抑制其他植物种子的萌发。化感作用对受体植物的影响是多方面的, 能抑制或延缓种子萌发、影响幼苗正常生长发育。已有研究表明: 化感物质首先作用于植物根细胞的细胞膜, 通过细胞膜功能的改变进而影响植物的生理生化代谢活动, 包括呼吸作用、光合作用、离子吸收、蛋白质合成、激素代谢、基因表达等, 最终抑制(或促进)植物的生长发育。红叶李水浸液能延缓和抑制白三叶、紫花苜蓿、黑麦草和剪股颖种子的萌发, 但其对 4 种植物生长的影响却不同。对白三叶和紫花苜蓿表现出促进作用, 而抑制黑麦草和剪股颖幼苗的生长。这说明红叶李的化感物质对不同植物生长的影响存在较大差异, 且对某些植物在其不同生长期的效应可能完全相反。化感作用对不同植物的影响不同与前人研究结果一致^[18], 但抑制种子萌发促进生长的现象比较少见, 很值得注意。在园林配置中可以巧妙地利用这些关系; 红叶李附近不宜播种这 4 种草坪植物, 也不宜移栽黑麦草和剪股颖, 但栽植白三叶和紫花苜蓿则会有利于幼苗生长。

本实验只测试了红叶李对受体萌发和生长影响的一些形态学指标, 其化感作用的生理生化机制, 尤其对萌发期和生长期不同作用的机制有待深入研究。红叶李的化感物质也需要进行分离鉴定。

参考文献:

- [1] RICE E L. *Allelopathy* [M]. New York: Academic Press Inc, 1984: 1 - 5.
- [2] 郑洁, 刘芳, 吴兴波, 等. 白三叶叶片水浸提液对几种园林植物的化感作用[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(1): 19 - 27.
ZHENG Jie, LIU Fang, WU Xingbo, *et al.* Research of the aquatic extract from leaves of *Trifolium repens* to several garden plants [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(1): 19 - 27.
- [3] WESTON L A. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems [J]. *Agron J*, 1996, **88**(6): 860 -

866.

- [4] VIVANCO J M, BAIS H P, STERMITZ F R, *et al.* Biogeographical variation in community response to root allelo-chemistry: novel weapons and exotic invasion [J]. *Ecol Lett*, 2004, **7**(4): 285 – 292.
- [5] 吴秀华, 李羿桥, 胡庭兴, 等. 巨桉凋落叶分解初期对菊苣生长和光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, **24**(7): 1817 – 1825.
- WU Xiuhua, LI Yiqiao, HU Tingxing, *et al.* Effects of *Eucalyptus grandis* leaf litter at its early stage of decomposition on the growth and photosynthetic characteristics of *Cichorium intybus* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2013, **24**(7): 1817 – 1825.
- [6] 王霞, 罗小勇. 海桐不同器官除草活性的研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, **19**(4): 982 – 984.
- WANG Xia, LUO Xiaoyong. Herbicidal activities of different organs of *Pittosporum tobira* (Thunb.) Ait [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2011, **19**(4): 982 – 984.
- [7] ALAMSJAH M A, HIRAO S, ISHIBASHI F, *et al.* Isolation and structure determination of algicidal compounds from *Ulva fasciata* [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2005, **69**(11): 2186 – 2192.
- [8] 侯玉平, 柳林, 王信, 等. 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用[J]. 生态学报, 2013, **33**(13): 4041 – 4049.
- HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, *et al.* Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil microecosystem [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, **33**(13): 4041 – 4049.
- [9] CHEEMA Z A, KHALIQ A. Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semi arid region of Punjab [J]. *Agric Ecos Environ*, 2000, **79**(7): 105 – 112.
- [10] 张岚, 高素萍. 园林植物化感作用研究现状与问题探讨[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24**(4): 497 – 503.
- ZHANG Lan, GAO Suping. Review of researches on allelopathy of ornamental plants [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24**(4): 497 – 503.
- [11] 王玲, 马喜娟, 张秀珍. 东北百里香化感作用[J]. 东北林业大学学报, 2012, **40**(7): 41 – 44.
- WANG Ling, MA Xijuan, ZHANG Xiuzhen. Allelopathy of *Thymus mandschuricus* [J]. *J Northeast For Univ*, 2012, **40**(7): 41 – 44.
- [12] 王淑英. 竹叶化感作用及小佛肚竹化感物质的分离[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- WANG Shuying. *Allelopathy on Bamboo Leaves and Isolation of Allelochemicals from Bambusa ventricosa Leaves* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010.
- [13] KIRAN K, KAUL K. Autotoxicity in *Tagetes erecta* L. on its own germination and seedling growth [J]. *Allelopathy J*, 2000, **7**(1): 109 – 113.
- [14] 丛志强, 侯潘杰. 红叶李人工栽培丰产技术[J]. 中国林副特产, 2011(6): 64 – 65.
- CONG Zhiqiang, HOU Panjie. High-yielding cultivation technique of *Prunus cerasifera* [J]. *For By-Prod Spec China*, 2011(6): 64 – 65.
- [15] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. *J Chem Ecol*, 1988, **14**(1): 181 – 187.
- [16] 鲍根生, 王宏生. 甘肃马先蒿对高寒地区几种优良牧草的化感作用[J]. 中国草地学报, 2011, **33**(3): 88 – 94.
- BAO Gensheng, WANG Hongsheng. Allelopathic effects of *Pedicularis kansuensis* Maxim on several graminaceous grass species on alpine meadow [J]. *Chin J Grassland*, 2011, **33**(3): 88 – 94.
- [17] 张学文, 刘亦学, 刘万学, 等. 植物化感物质及其释放途径[J]. 中国农学通报, 2007, **23**(7): 295 – 297.
- ZHANG Xuewen, LIU Yixue, LIU Wanxue, *et al.* Allelochemicals and its releasing modes [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2007, **23**(7): 295 – 297.
- [18] 杨琴琴, 缪丽华, 洪春桃, 等. 香菇草水浸提液 3 种植物种子萌发和幼苗生长的化感效应[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(3): 354 – 358.
- YANG Qinqin, MIAO Lihua, HONG Chuntao, *et al.* Allelopathic effects of *Hydrocotyle vulgaris* extract on seed germination and seedling growth [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2013, **30**(3): 354 – 358.