

刘 威,宣亚楠,袁晓婷,等. 白花三叶草对3种草坪草种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 江苏农业科学,2015,43(3):171-174.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.03.055

# 白花三叶草对3种草坪草种子萌发、 幼苗生长的化感作用

刘 威, 宣亚楠, 袁晓婷, 张艳艳, 闫永庆  
(东北农业大学园艺学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

**摘要:**研究不同浓度白花三叶草(*Trifolium repense* L.)水浸液对草地早熟禾、高羊茅、多年生黑麦草3种禾本科草坪草种子萌发、幼苗生长以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)等保护酶活性和丙二醛含量的影响。结果表明,白花三叶草水浸液对3种草坪草种子发芽率、发芽势、幼苗苗高均表现出低浓度促进、高浓度抑制的作用趋势;对幼苗根长均有不同程度的抑制作用,水浸液浓度越高,抑制作用基本上也越强;对种子发芽指数、幼苗鲜质量的影响则因草坪草种类的不同而不同。在不同浓度的白花三叶草水浸液处理下,3种草坪草幼苗SOD、CAT活性呈现“低浓度上升、高浓度下降”的趋势,POD、APX活性和丙二醛含量则不同程度地升高。

**关键词:**白花三叶草;草坪草;化感作用;种子萌发;幼苗生长

**中图分类号:** Q945.79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)03-0171-04

白花三叶草(*Trifolium repense* L.)为豆科车轴草属多年生草本植物,喜阳耐阴,具有适应性广、抗热抗寒性强、生长迅速、绿期长等优点,在世界各地作为优良草坪草广泛栽植。近年来,我国北方寒冷地区为了改善城市中草坪的适应性并延长其绿期,人们常将白花三叶草与冷季型禾本科草坪草混合建植草坪<sup>[1-2]</sup>。研究表明,白花三叶草会侵占禾本科草坪,在

禾本科草坪上形成小群落,影响原有的景观效果<sup>[1]</sup>。白花三叶草入侵禾本科草坪过程中,化感作用(allelopathy)被认为是一个重要因素<sup>[3-6]</sup>。植物的化感作用是植物通过茎叶挥发、雨水淋溶、根系分泌、残体分解等途径向环境中释放化感物质(allelochemicals),从而对其他植物或自身的生长发育产生促进或抑制作用<sup>[6-7]</sup>。化感作用广泛存在于自然界中,是生态系统中自然的化学调控现象以及植物适应环境的一种机制。开展化感作用研究对于生态系统中植被形成及演替、植物生长发育调控具有重要意义<sup>[8]</sup>。研究表明,植物通过化感作用造成细胞伤害进而影响自身或其他植物生长发育过程中,植物细胞内活性氧自由基代谢失衡进而引起自由基积累以及膜脂过氧化,导致膜系统结构、功能受到损伤是重要原因之一<sup>[9-11]</sup>。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)等酶类是植物细胞在长期进化过程中形成的防御活性氧自由基毒害的保护酶

收稿日期:2014-05-06

基金项目:中国博士后科学基金(编号:2014M551209);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(编号:12521030);东北农业大学博士启动基金(编号:2012RCB107)。

作者简介:刘 威(1981—),男,辽宁沈阳人,博士,讲师,主要从事园林植物生理生态学研究。Tel:(0451)55190924;E-mail:liu\_wei1981@126.com。

通信作者:闫永庆,博士,教授,主要从事植物逆境生理及园林植物应用研究。E-mail:yanyongqing1966@163.com。

治技术[J]. 安徽农学通报,2011,17(3):119-120.

[14] 宰学明,郝姗姗,邵志广,等. 摩西球囊霉对NaCl胁迫下竹柳苗叶绿素含量和荧光参数的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):175-178.

[15] 邱 权,潘 昕,李吉跃,等. 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率[J]. 生态学报,2014,34(6):1401-1410.

[16] 毛晓霞. 三种激素对竹柳扦插生根的影响[J]. 湖北农业科学,2013,52(5):1086-1089.

[17] Zhang H S, Wu X H, Li G, et al. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing fungus (*Mortierella* sp.) and their effects on *Kosteletzkya virginica* growth and soil enzyme activities of rhizosphere and bulk soils at different salinities [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47:543-554.

[18] 邵春花,卢朝东,张 强. 解磷菌剂对作物生长和土壤磷素的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(4):54-56,109.

[19] 王莉晶,高晓蓉,孙嘉怡,等. 土壤解磷微生物作用机理及解磷

菌肥对作物生长的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(14):5948-5950,5958.

[20] 汪艳洁,邹联沛,占金美. 光合细菌和有机解磷菌对伊乐藻生长的影响[J]. 科技创新导报,2008(28):7-8.

[21] 蒋欣梅,夏秀华,于锡宏,等. 微生物解磷菌肥对大棚茄子生长及土壤有效磷利用的影响[J]. 浙江大学学报:理学版,2012,39(6):685-688.

[22] 刘悦秋,孙向阳,王 勇,等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报,2007,27(8):3457-3464.

[23] 王建华,任士福,史宝胜,等. 遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报,2011,31(7):1811-1817.

[24] 秦超琦,吴向华,郑 琨,等. 解磷菌剂对海滨盐土有效磷含量及耐盐油料植物生长的影响[J]. 生态学杂志,2009,28(9):1835-1841.

[25] 余 旋,朱天辉,刘 旭. 不同解磷菌剂对美国山核桃根际微生物和酶活性的影响[J]. 林业科学,2012,48(2):117-123.

系统,以维持植物体内活性氧自由基代谢的动态平衡<sup>[11-12]</sup>。目前,关于白花三叶草对冷季型草坪草化感作用研究主要集中在植株水浸液、挥发物、根系分泌物、腐解液等对受体植物种子萌发、幼苗生长的影响。研究表明,雨水淋溶是植物活体、残体释放化感物质的主要途径之一<sup>[13]</sup>。本研究以我国北方寒冷地区草坪建植中经常使用的3种冷季型禾本科草坪草即草地早熟禾、高羊茅、多年生黑麦草为材料,用蒸馏水浸提白花三叶草植株模拟自然雨水淋溶过程,研究不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草种子萌发、幼苗生长、SOD等保护酶活性以及丙二醛(MDA)含量的影响,旨在为进一步研究白花三叶草侵占禾本科草坪的原因提供依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料

新鲜的生长良好的白花三叶草全株采自东北农业大学校园内。受体植物草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)、高羊茅(*Festuca arundinaces* Schreb.)、多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)种子均购自江苏圣园种子培育基地。

### 1.2 方法

1.2.1 白花三叶草水浸液的制备 将白花三叶草全株去除杂质,用蒸馏水洗净后用吸水纸吸干水分。取白花三叶草全株25 g,用剪刀剪成长1~2 cm的小段,倒入三角瓶中,加入250 mL蒸馏水浸泡48 h(每隔12 h用玻璃棒搅动1次),用布氏漏斗过滤,得到0.100 g/mL白花三叶草水浸液。用蒸馏水稀释该水浸液,分别获得0.005、0.025 g/mL水浸液,4℃保存备用。

1.2.2 草坪草种子萌发试验 采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验。首先用0.1% HgCl<sub>2</sub>溶液对3种草坪草种子消毒10 min,用自来水冲洗,最后用蒸馏水冲洗2~3次。分别选择大小均一、籽粒饱满的3种草坪草受体种子各100粒,用消毒过的镊子将其均匀放置于铺有2层滤纸的培养皿中,分别加入不同浓度(0.005、0.025、0.100 g/mL)的白花三叶草水浸液10 mL,以蒸馏水为对照(CK),每处理重复3次。试验期内适量补充蒸馏水以保持培养皿内滤纸湿润。将加有受体种子的培养皿放入人工气候箱中,于25℃进行培养,每隔24 h观察并记录萌发种子数(胚根或胚轴突破种皮1~2 mm为萌发)。3 d后计算发芽势(GE),7 d后计算发芽率(GR)、发芽势、发芽指数(GI)<sup>[6]</sup>。7 d后从每个培养皿随机挑选10株草坪草幼苗,用吸水纸吸干水分,用电子天平称量鲜质量,用直尺测量苗高、根长。各指标计算公式如下:

$$\text{发芽率} = 7 \text{ d 内正常发芽的种子数} / \text{供试种子总数} \times 100\% ; \quad (1)$$

$$\text{发芽势} = \text{前3 d 内正常发芽的种子数} / \text{供试种子总数} \times 100\% ; \quad (2)$$

$$\text{发芽指数} = \sum (G_i / D_i) 。 \quad (3)$$

式中: $G_i$ 为不同时间发芽数,粒; $D_i$ 为相应发芽时间,d。

$$IR = 1 - T/C。 \quad (4)$$

式中:IR为抑制率,%;C为对照值,T为处理值;当IR>0时,表示抑制作用;当IR<0时,表示促进作用。IR绝对值大小代表化感作用强弱<sup>[6]</sup>。

1.2.3 保护酶活性、丙二醛含量的测定 7 d后从每个培养

皿随机挑选若干株草坪草幼苗,用蒸馏水洗净,用滤纸吸干水分,液氮冷冻后置于-80℃冰箱内保存待用。采用氯化硝基四氮唑蓝(NBT)法<sup>[14]</sup>测定SOD活性,以抑制NBT光化还原的50%为1个酶活性单位。采用过氧化氢还原法<sup>[14]</sup>测定CAT活性,以1 min 240 nm处吸光度减少0.01定义为1个活性单位。采用愈创木酚法<sup>[14]</sup>测定POD活性,将1 min 470 nm处吸光度增加0.01定义为1个活力单位。参照陈建勋等的方法<sup>[15]</sup>测定APX活性,以1 min 290 nm处吸光度降低0.01定义为1个酶活性单位。采用硫代巴比妥酸法<sup>[14]</sup>测定丙二醛含量,每个指标均重复测定3次。

### 1.3 数据处理

采用Excel 2007、SPSS 12.0软件处理数据,用Duncan's方法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 白花三叶草水浸液对草坪草种子萌发的影响

从表1可以看出,不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草种子的发芽率均表现为“低促高抑”的双重作用。与对照相比,0.005 g/mL白花三叶草水浸液处理下,草地早熟禾、高羊茅、多年生黑麦草种子的发芽率均提高,但差异均不显著;随着白花三叶草水浸液浓度的增加,对3种草坪草种子的发芽率抑制率提高,0.100 g/mL白花三叶草水浸液处理的抑制作用最强。

不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草种子的发芽势亦表现为“低促高抑”的双重作用。0.005 g/mL白花三叶草水浸液处理的促进作用最强,0.005 g/mL白花三叶草水浸液处理下,高羊茅、多年生黑麦草发芽势与对照相比差异显著( $P < 0.05$ )。当白花三叶草水浸液浓度 $\geq 0.025$  g/mL时,对3种草坪草的发芽势整体呈抑制作用,且水浸液浓度越高,抑制作用越强。不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草种子的发芽指数影响不同,但在高浓度下均呈抑制作用,明显延缓了草坪草种子的发芽进程。不同浓度白花三叶草水浸液对草地早熟禾、高羊茅的发芽指数均表现为“低促高抑”的双重作用,0.005 g/mL白花三叶草水浸液处理提高了2种草坪草的发芽指数,但只有高羊茅处理与对照相比差异显著( $P < 0.05$ )。与对照相比,0.100 g/mL白花三叶草水浸液处理显著降低了草地早熟禾、高羊茅的发芽指数。不同浓度白花三叶草水浸液均对多年生黑麦草的发芽指数产生抑制作用,随着水浸液浓度的增加,抑制作用增强。

### 2.2 白花三叶草水浸液对草坪草幼苗生长的影响

从表2可以看出,不同浓度白花三叶草水浸液对草坪草幼苗苗高整体表现为“低促高抑”的双重作用(除多年生黑麦草)。0.005 g/mL白花三叶草水浸液处理对3种草坪草幼苗苗高的促进作用不明显,与对照相比均无显著差异。随着白花三叶草水浸液浓度的增加,对3种草坪草苗高的抑制作用愈加明显。

不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草幼苗根长均有不同程度的抑制作用,基本表现为白花三叶草水浸液浓度越高,抑制作用越强。0.100 g/mL白花三叶草水浸液处理对草地早熟禾、高羊茅根长的抑制作用最强,与对照相比差异显著( $P < 0.05$ )。0.025 g/mL白花三叶草水浸液处理对多年生黑

表1 白花三叶草水浸液对3种草坪草种子萌发的影响

草坪草	水浸液浓度 (g/mL)	发芽率 (%)	发芽率抑制率 (%)	发芽势 (%)	发芽势抑制率 (%)	发芽指数	发芽指数抑制率 (%)
草地早熟禾	CK	56.000 ± 4.359ab		40.000 ± 2.646a		23.737 ± 2.236a	
	0.005	60.333 ± 5.686a	-7.738	44.000 ± 2.646a	-10.000	26.967 ± 1.707a	-13.607
	0.025	56.667 ± 4.509ab	-1.191	40.333 ± 1.527a	-0.833	23.809 ± 0.976a	-0.303
	0.100	46.667 ± 5.686b	16.666	35.000 ± 2.000b	12.500	19.341 ± 2.203b	18.520
高羊茅	CK	79.667 ± 3.512a		52.333 ± 3.055b		32.059 ± 2.377b	
	0.005	83.667 ± 5.508a	-5.021	58.667 ± 1.155a	-12.103	37.979 ± 1.728a	-18.466
	0.025	65.333 ± 3.512b	17.992	46.667 ± 3.215c	10.827	28.389 ± 0.441c	11.448
	0.100	47.667 ± 5.132c	40.167	38.333 ± 3.512d	26.752	21.451 ± 1.222d	33.089
多年生黑麦草	CK	94.333 ± 3.786a		64.667 ± 2.517b		40.763 ± 2.352a	
	0.005	95.000 ± 3.464a	-0.707	72.000 ± 3.606a	-11.340	39.666 ± 1.712a	2.691
	0.025	92.667 ± 2.517a	1.766	58.000 ± 3.606c	10.310	34.718 ± 2.851b	14.830
	0.100	78.333 ± 5.033b	16.961	47.000 ± 4.000d	27.320	30.191 ± 2.083c	25.935

注:同列数据后不同小写字母表明各处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下表同。

表2 白花三叶草水浸液对3种草坪草幼苗生长的影响

草坪草	水浸液浓度 (g/mL)	苗高 (cm)	苗高抑制率 (%)	根长 (cm)	根长抑制率 (%)	鲜质量 (mg)	鲜质量抑制率 (%)
草地早熟禾	0(CK)	1.163 ± 0.043a		2.884 ± 0.079a		14.424 ± 0.926b	
	0.005	1.216 ± 0.113a	-4.557	2.854 ± 0.060a	1.040	15.796 ± 0.773b	-9.512
	0.025	1.144 ± 0.044a	1.634	2.695 ± 0.100b	6.553	17.926 ± 1.110a	-24.279
	0.100	0.944 ± 0.066b	18.831	2.395 ± 0.088c	16.956	19.353 ± 0.575a	-34.172
高羊茅	0(CK)	4.161 ± 0.034a		5.065 ± 0.141a		136.543 ± 9.495ab	
	0.005	4.241 ± 0.089a	-1.923	4.903 ± 0.066a	3.198	145.959 ± 5.887a	-6.896
	0.025	4.078 ± 0.068a	1.995	4.243 ± 0.167b	16.229	131.475 ± 6.112b	3.712
	0.100	3.603 ± 0.169b	13.410	3.567 ± 0.028c	29.576	113.496 ± 4.097c	16.879
多年生黑麦草	0(CK)	4.036 ± 0.085a		3.641 ± 0.045a		98.422 ± 1.916ab	
	0.005	3.967 ± 0.188a	1.710	3.794 ± 0.102a	-4.202	105.391 ± 6.960a	-7.081
	0.025	3.581 ± 0.053b	11.274	2.805 ± 0.218b	22.961	101.835 ± 7.237a	-3.468
	0.100	2.859 ± 0.104c	29.163	2.868 ± 0.094b	21.230	89.216 ± 5.123b	9.354

注:表中鲜质量为10株幼苗鲜质量之和。

麦草根长的抑制作用最强。不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草幼苗鲜质量的影响因草坪草种类的不同而不同。白花三叶草水浸液对草地早熟禾的鲜质量表现为强烈的促进作用。不同浓度白花三叶草水浸液对高羊茅、多年生黑麦草鲜质量整体表现为“低促高抑”的作用趋势。

### 2.3 不同浓度白花三叶草水浸液对草坪草幼苗保护酶活性、丙二醛含量的影响

由表3可知,不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草幼苗SOD、CAT、POD、APX等保护酶的活性及丙二醛含量均产生明显的影响,但影响趋势不同。

表3 不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草幼苗保护酶活性、丙二醛含量的影响

草坪草	水浸液浓度 (g/mL)	SOD 活性 (U/g)	CAT 活性 (U/g)	POD 活性 (U/g)	APX 活性 (U/g)	丙二醛含量 ( $\mu\text{mol/g}$ )
草地早熟禾	CK	92.314 ± 6.255a	12.294 ± 2.627ab	359.253 ± 27.246d	33.890 ± 3.192d	1.355 ± 0.123c
	0.005	95.525 ± 3.480a	14.323 ± 1.240a	430.765 ± 17.090c	46.298 ± 2.777c	1.616 ± 0.156bc
	0.025	79.372 ± 3.504b	9.547 ± 0.843bc	476.365 ± 25.192b	56.057 ± 5.936b	1.846 ± 0.105ab
	0.100	61.855 ± 4.203c	7.836 ± 1.491c	542.904 ± 21.027a	76.472 ± 4.160a	1.985 ± 0.164a
高羊茅	CK	65.273 ± 4.611a	10.253 ± 1.048a	243.985 ± 21.682d	24.838 ± 2.195d	0.863 ± 0.080c
	0.005	70.562 ± 2.917a	11.996 ± 0.900a	280.815 ± 13.019c	34.467 ± 5.352c	0.937 ± 0.054bc
	0.025	52.854 ± 3.040b	7.265 ± 1.386b	333.623 ± 21.912b	44.372 ± 3.654b	1.122 ± 0.141ab
	0.100	44.915 ± 3.963c	5.455 ± 0.635b	370.274 ± 18.957a	58.184 ± 3.633a	1.278 ± 0.132a
多年生黑麦草	CK	86.346 ± 5.892a	15.782 ± 2.879ab	550.984 ± 88.515b	69.299 ± 3.579c	1.874 ± 0.324b
	0.005	88.575 ± 6.807a	18.024 ± 3.772a	612.744 ± 41.843ab	79.272 ± 4.040b	2.045 ± 0.146ab
	0.025	72.093 ± 7.594b	11.957 ± 1.624bc	669.856 ± 78.389ab	88.146 ± 5.590b	2.164 ± 0.202ab
	0.100	65.214 ± 6.726b	8.765 ± 1.816c	730.815 ± 65.793a	104.859 ± 6.158a	2.342 ± 0.185a

不同浓度白花三叶草水浸液对3种草坪草幼苗SOD、CAT活性均表现出低浓度促进、高浓度抑制的作用趋势。当白花三叶草水浸液浓度为0.005 g/mL时,3种草坪草幼苗SOD、CAT活性均高于对照,但差异不显著。当白花三叶草水浸液浓度 $\geq$ 0.025 g/mL时,3种草坪草幼苗SOD、CAT活性均受到明显抑

制,且抑制作用随着水浸液浓度的增加而增强。不同浓度白花三叶草水浸液均不同程度提高了3种草坪草幼苗POD、APX活性以及丙二醛含量。各处理下3种草坪草幼苗APX活性与对照相比均显著提高 ( $P < 0.05$ )。低浓度白花三叶草水浸液(0.025 g/mL)处理提高3种草坪草幼苗丙二醛含量的作用不

明显。当白花三叶草水浸液浓度  $\geq 0.025$  g/mL 时,除多年生黑麦草 0.025 g/mL 处理外,其他处理下 3 种草坪草幼苗丙二醛含量与对照相比均显著提高 ( $P < 0.05$ )。

### 3 结论与讨论

白花三叶草原产于欧洲、北非,作为优质牧草在全世界范围内广泛栽植。近年来,在我国北方寒冷地区,白花三叶草常与冷季型禾本科草坪草混合栽培应用。白花三叶草植株矮,根系发达,主茎短,茎节上长出匍匐茎,茎节向下产生不定根,根部具有较强的分蘖能力、再生能力,成坪迅速,具有很强的侵占性。研究表明,同其他草坪草竞争光照、水肥等是白花三叶草侵占禾本科草坪的原因之一<sup>[16]</sup>。白花三叶草能够通过释放化感物质来抑制禾本科草生长,从而形成单一群落或者侵入禾本科草草坪<sup>[2-6]</sup>。本研究以白花三叶草为材料,用蒸馏水浸提白花三叶草植株模拟自然雨水淋溶过程,采用生物测定法研究不同浓度白花三叶草水浸液对草地早熟禾、高羊茅、多年生黑麦草 3 种常见冷季型草坪草种子萌发、幼苗生长的影响,并对不同处理下 3 种草坪草幼苗 SOD、CAT、POD、APX 等保护酶活性以及丙二醛含量进行了测定。结果表明,白花三叶草水浸液对 3 种草坪草的种子萌发、幼苗生长均产生不同程度的影响,SOD 等保护酶的活性以及丙二醛含量均发生不同程度的变化,由此可知白花三叶草对草坪草具有化感作用,可以通过雨水淋溶释放化感物质影响草坪草的生长。不同浓度的白花三叶草水浸液对 3 种草坪草的种子发芽率、发芽势、幼苗苗高均表现出低浓度促进、高浓度抑制的双重作用。不同浓度白花三叶草水浸液对 3 种草坪草种子发芽指数影响不同,但在高浓度下 ( $\geq 0.025$  g/mL) 均表现为抑制作用,明显延缓了草坪草种子的发芽进程。不同浓度白花三叶草水浸液对 3 种草坪草幼苗根长均有不同程度的抑制作用,水浸液浓度越高,抑制作用越强。不同浓度白花三叶草水浸液对 3 种草坪草幼苗鲜质量的影响因草坪草种类不同而不同,这可能与种子体内物质的种类、浓度及转化途径不同有关<sup>[6]</sup>。研究表明,化感物质对受体植物生长发育的化感作用机制是通过影响其细胞生长分化实现的<sup>[17-18]</sup>。Cruz 等认为,化感物质破坏细胞膜的功能也是对受体植物产生化感抑制作用的机制之一<sup>[19]</sup>。SOD 等植物保护酶系统具有清除活性氧自由基、减轻膜脂过氧化程度等作用。本研究表明,与对照相比,低浓度白花三叶草水浸液处理 (0.005 g/mL) 增加了 3 种草坪草幼苗 SOD、CAT、POD、APX 活性,说明 3 种草坪草幼苗自身能够通过某些调节机制,提高 SOD、CAT、POD、APX 活性以减轻膜脂过氧化程度。随着白花三叶草水浸液浓度的增加,植物受到伤害程度加大,SOD、CAT 活性逐渐下降,POD、APX 活性仍然维持在较高水平。这与刘迎等研究白花三叶草对苘麻、稗草的化感作用<sup>[10]</sup>以及张来等研究白花三叶草提取液对白菜等 3 种植物种子萌发、幼苗生长的影响结果一致<sup>[13]</sup>。MDA 作为膜脂氧化的最终产物,其积累量会随着细胞伤害程度的加剧而不断增大<sup>[20]</sup>。在不同浓度的白花三叶草水浸液处理下,3 种草坪草幼苗中丙二醛含量均高于对照,说明发生了膜脂过氧化反应,致使细胞膜系统遭到了破坏。研究证实,植物体内化感物质的种类、浓度、相互作用显著影响其对受体植物的化感作用,酚类物质是重要的水溶性化感

物质之一<sup>[21-22]</sup>。白花三叶草水浸液中含有多种酚类物质,酚类物质在不同浓度的白花三叶草水浸液中含量不同,会产生不同的协同或拮抗作用<sup>[18]</sup>。此外,草地早熟禾等 3 种草坪草具有不同的生物特性,因此在感受不同浓度的白花三叶草水浸液的化感作用时,并未表现出整齐一致的作用规律<sup>[6]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 李剑峰,张淑卿,师尚礼,等. 白三叶对禾草草坪的侵占性研究[J]. 现代农业科技,2008(22):93-94,97.
- [2] 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):257-263,287.
- [3] 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.
- [4] 祝军峰,张玉琳,马永清. 白三叶对黑麦草、弯叶画眉草的化感作用初探[J]. 草业科学,2007,24(1):48-51.
- [5] 张晓芳,王金信,谢娜,等. 白三叶草挥发物的化感作用及其化学成分分析[J]. 植物保护学报,2011,38(4):374-378.
- [6] 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.
- [7] 彭晓邦,程飞,张硕新. 核桃叶水浸液对不同产地黄芩的化感效应[J]. 草地学报,2011,19(5):839-845.
- [8] 李美,高兴祥,高宗军,等. 艾蒿对不同植物幼苗的化感作用初探[J]. 草业学报,2010,19(6):114-119.
- [9] 李键,刘奕,洪滔,等. 2 种化感成分对木麻黄幼苗小枝活性氧含量和保护酶活性的影响[J]. 植物资源与环境学报,2013,22(2):30-38.
- [10] 刘迎,王金信,胡燕,等. 白三叶草对苘麻和稗草的化感作用[J]. 植物保护学报,2006,33(4):433-436.
- [11] 张红,王进闯. 麻疯树 (*Jatropha curcas*) 叶浸提液对万寿菊 (*Tagetes erecta* L.) 幼苗生长和抗氧化酶活性的化感影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(33):20404-20406,20648.
- [12] 刘威,袁晓婷,张艳艳,等. 胭脂红景天引种至西藏日喀则其渗透调节物质及保护酶活性的变化[J]. 植物研究,2013,33(6):697-700.
- [13] 张来,张显强. 白三叶提取液对 3 种植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子,2011,30(2):21-25.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [15] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 2 版. 广州:华南理工大学出版社,2006.
- [16] 胡中华,刘师汉. 草坪与地被植物[M]. 北京:中国林业出版社,1995.
- [17] Einhellig F A. Effects of allelopathic chemicals on crop productivity[J]. ACS Symposium Series,1985,276(8):109-130.
- [18] 朱旺生,沈益新. 白三叶和高羊茅不同品种对萝卜幼苗的化感作用[J]. 南京农业大学学报,2004,27(1):28-31.
- [19] Cruz O R, Anaya A L, Ramos L. Effects of allelopathic compounds of corn pollen on respiration and cell division of watermelon[J]. Journal of Chemical Ecology,1988,14(1):71-86.
- [20] 刘大林,王秀萍,胡楷崎,等. 高温胁迫对两种冷季型草坪草生理生化特性的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(4):811-815.
- [21] 曹璞,沈益新. 狗牙根对 5 种禾本科杂草化感作用的研究[J]. 草地学报,2010,18(3):452-455.
- [22] Huang Z, Liao L, Wang S. Allelopathy of phenolics from decomposing stump-roots in replant Chinese fir woodland[J]. Journal of Chemical Ecology,2000,26(9):2211-2219.