

3种药用植物根际土壤水浸液对远志种子及其幼苗的化感作用

雷瑞祥, 杨冰月, 魏艳妮, 曹福麟, 樊一聪, 伍莎莎, 张岗, 颜永刚, 彭亮*, 胡本祥*
(陕西中医药大学药学院, 陕西省秦岭中草药应用开发工程技术研究中心, 陕西咸阳 712046)

[摘要] 目的:探究地黄、半夏和菘蓝3种药用植物根际土壤水浸液对于远志种子萌发和幼苗生长的化感作用,筛选出适合与远志进行轮作的倒茬品种,为解决远志的连作障碍问题提供一定的科学依据。方法:采用生物测定方法,研究地黄、半夏和菘蓝3种药用植物根际土壤水浸液在0.3,0.6,0.9 g·mL⁻¹质量浓度下对于远志种子萌发和幼苗生长的影响。结果:地黄、半夏根际土壤水浸液对远志种子最终发芽率、发芽势、发芽指数均基本表现出低促高抑的浓度效应,而菘蓝根际土壤水浸液则具有显著的化感抑制作用;3种根际土壤水浸液对远志幼苗生长指标均表现出显著的化感抑制作用,其中,地黄根际土壤水浸液与其余两种水浸液相比对于远志幼苗的株高和根长的抑制作用最小;0.3 g·mL⁻¹地黄土壤水浸液处理下,远志幼苗的光合色素含量、脯氨酸(Pro)含量、可溶性糖含量最高,可溶性蛋白含量较高,H₂O₂含量较低;0.9 g·mL⁻¹地黄土壤水浸液处理下,远志幼苗的过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性最高,过氧化氢酶(CAT)活性较低、丙二醛(MDA)含量最低。结论:综合以上实验数据和化感综合效应分析,地黄根际土壤水浸液在一定程度上对于远志种子的萌发具有促进作用,且奠定了幼苗抗逆生化的基础,所以3种药用植物中,地黄更适合与远志进行轮作。

[关键词] 远志; 种子萌发; 根际土壤水浸液; 化感作用

[中图分类号] R284.2;R289;R22;R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)23-0161-10

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20202076

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20200901.1626.002.html>

[网络出版日期] 2020-9-1 16:41

Allelopathic Effect of Water Extracts from Rhizosphere Soil of Three Medicinal Plants on *Polygala tenuifolia* Seeds and Their Seedlings

LEI Rui-xiang, YANG Bing-yue, WEI Yan-ni, CAO Fu-lin, FAN Yi-cong, WU Sha-sha, ZHANG Gang,
YAN Yong-gang, PENG Liang*, HU Ben-xiang*

(Qinling Chinese Herbal Medicine Application Development Engineering Technology Research Center,
College of Pharmacy, Shaanxi University of Traditional Chinese Medicine, Xianyang 712046, China)

[Abstract] **Objective:** To investigate the allelopathic effects of water extracts from rhizosphere soil of three medicinal plants *Rehmannia glutinosa*, *Pinellia ternata* and *Isatis indigotica* on seed germination and seedling growth of *Polygala tenuifolia*, screen the stubble varieties suitable for crop rotation with *P. tenuifolia*, and provide some scientific basis for continuous cropping obstacles of *P. tenuifolia*. **Method:** The bioassay method was used to study the effects of rhizosphere soil water extracts from three medicinal plants *Rehmannia glutinosa*, *Pinellia ternata* and *Isatis indigotica* at concentrations of 0.3, 0.6, 0.9 g·mL⁻¹ on the germination of *P. tenuifolia* seed and seedling growth. **Result:** The rhizosphere soil water extracts of *Rehmannia glutinosa* and *Pinellia ternata* showed basically low-promotion and high-inhibition concentration effects on the final

[收稿日期] 20191216(015)

[基金项目] 陕西中医药大学“秦药”品质评价及资源开发学科创新团队项目(2019-QN01);国家中药标准化项目(ZYBZH-Y-QIN-36:202410001);公益性行业(中医药)科研专项经费项目(201507002-1-08);陕西中医药大学校级课题项目(2020GP28)

[第一作者] 雷瑞祥,在读硕士,从事中药质量标准化控制技术研究工作,E-mail:15709100976@163.com

[通信作者] *胡本祥,硕士生导师,教授,从事中药质量控制标准及中药规范化栽培技术研究工作,E-mail:hb800823@126.com;

*彭亮,博士,副教授,从事中药资源评价与开发利用、分子生药学研究,E-mail:ppengliang@126.com

germination rate, germination potential, and germination index of *P. tenuifolia* seeds, while the water extract of *Isatis indigotica* showed significant allelopathic inhibition effect. All three rhizosphere soil water extracts showed significant allelopathic inhibition effects on the growth index of *P. tenuifolia* seedlings. Among them, the rhizosphere soil water extract of *Rehmannia glutinosa* showed lower inhibitory effect on the plant height and root length of *P. tenuifolia* seedlings than the other two water extracts. The photosynthetic pigment content, proline (Pro) content, and soluble sugar content of *P. tenuifolia* chinensis seedlings were the highest under $0.3 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ soil water extract of *Rehmannia glutinosa*, with relatively higher content of soluble protein, and relatively lower content of hydrogen oxide (H_2O_2). Under the treatment of $0.9 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ soil water extract of *Rehmannia glutinosa*, *P. tenuifolia* seedlings had the highest peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) activities, low catalase (CAT) activity, and lowest content of malondialdehyde (MDA). **Conclusion:** Based on the comprehensive analysis of the above experimental data and allelopathic effects, the water extract of rhizosphere of *Rehmannia glutinosa* can promote the germination of *P. tenuifolia* seeds to a certain extent, and lay the foundation for seedling resistance to biochemical stress. Therefore, *Rehmannia glutinosa* is more suitable for crop rotation with *P. tenuifolia*.

[Key words] *Polygala tenuifolia*; seed germination; rhizosphere soil water extract; allelopathic effect

远志为远志科植物远志或卵叶远志的干燥根,味苦、辛、温,归心、肾、肺经,具有安神益智、交通心肾、祛痰、消肿的功效,临床多用于治疗心肾不交引起的失眠多梦、健忘惊悸等症^[1]。远志始载于《神农本草经》,列为上品,有“养命要药”之称^[2],药材(根)主产于陕西、山西、河北和河南,山东、内蒙古、安徽、湖北等地,其中山西产量最大,质量最好,奉为道地药材,习称“关远志”^[3]。据文献报道^[4-6],远志在栽培过程中存在连作障碍的现象,过度的集中栽培和长时间的连作,导致主产区远志病害频发,严重影响了药材品质;且远志作为大宗药材,年需求量有增无减,在退耕还林的政策下,远志栽培可利用面积在减少,所以远志倒茬品种的筛选对于远志产业可持续发展的至关重要。目前对于远志的研究主要集中在化学成分、药理作用、组织培养、种子萌发^[7-10]等方面,关于远志药材倒茬品种的筛选问题少有学者进行研究。

化感作用是一种植物通过向环境中释放次生代谢产物(化感物质)而对另一种植物(受体)的萌发、生长和发育产生影响^[11],这些化感物质可能对受体植物的生长发育有利,也有可能有害。土壤是植物生存依赖的环境,也是植物间相互产生化感作用的媒介,化感物质通常由非活性前体产生,通过从植物地上部分淋溶、根系分泌物、挥发性排放和残留物分解释放到土壤中,再经一系列滞留、转化、迁移等途径逐渐富集,到达受体植物并维持一定浓度和持续活性,影响受体植物的生长和发育^[12]。药用植物所含次生代谢产物丰富,其中化感物质积累

会造成土壤环境恶化,而轮作倒茬可以有效改善土壤环境,减轻药用植物由于连作而造成的化感效应,从而提高其品质^[13-14]。黄文静等^[15]研究表明当归自身有明显的自毒作用,但对工业大麻的化感抑制作用较弱,工业大麻可与当归进行轮作来缓解自身的自毒作用。朱艳霞等^[16]研究发现鸡骨草茎叶水提液对玉米和豇豆种子萌发无显著影响;对生菜、莴苣、芥菜、豌豆、南瓜、黄瓜和番茄种子萌发表现为低浓度无显著影响、高浓度抑制效果;对茴香种子萌发表现为强抑制效果,所以适宜与鸡骨草大田轮作的物种为玉米和豇豆。目前未见文献报道远志药材倒茬品种的筛选问题,而且关于远志药材连作障碍研究的文献也较少。地黄、半夏、菘蓝都为根类中药材,都会产生一定的次生代谢产物,尤其以地黄、半夏最为显著,会产生明显的连作障碍现象^[17-18],它们也需要适合的作物进行轮作,所以本实验选用了地黄、半夏、菘蓝3种药用植物的根际土壤水浸液探究其对远志种子及其幼苗的化感作用。通过3种药用植物的根际土壤水浸液对远志种子发芽率、发芽势、发芽指数;幼苗株高,根长,鲜重,光合色素含量,渗透调节物质,过氧化物(H_2O_2)含量,抗氧化酶活性和丙二醛(MAD)含量的影响来筛选出适合远志药材的倒茬品种,为解决远志连作障碍问题提供一定的科学依据。

1 材料

远志种子采收于陕西省淳化县远志规范化栽培基地,经陕西中医药大学药学院胡本祥教授鉴定为远志 *Polygala tenuifolia* 的干燥成熟种子。

活性炭、分析纯无水葡萄糖(天津市科密欧化学试剂有限公司,批号分别20190110,20190530), 蒽酮(国药集团化学试剂有限公司,批号20190305),98%浓硫酸、无水乙醇、丙酮(天津市天力化学试剂有限公司);蛋白定量, H_2O_2 , 丙二醛(MDA), 脯氨酸(Pro), 超氧化物歧化酶(SOD), 过氧化物酶(POD), 过氧化氢酶(CAT)试剂盒(南京建成生物工程研究所,批号分别为20190925, 20190925, 20190925, 20190926, 20190926, 20190927)。

光照培养箱(上海跃进医疗器械有限公司), DZKW-D-4型电热恒温不锈钢水浴锅(上海科恒实业发展有限公司), FA2104型1/1万电子分析天平(上海民桥精密科学仪器有限公司), SP-1920型比例双光束紫外-可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司)。

地黄、半夏、菘蓝3种药用植物在陕西中医药大学药用植物园均有栽培,经药学院胡本祥教授鉴定是玄参科地黄 *Rehmannia glutinosa*, 天南星科半夏 *Pinellia ternata*, 十字花科菘蓝 *Isatis indigotica* 的正品植株。采用5点取样法进行收集,将各种植地的3种作物随机挖出,抖去主根土壤,收集根际土壤,放置于室内等其自然风干,过筛除去石子和残根后得到根际土壤^[19]。

2 方法

2.1 土壤水提液的制备 土壤水提液的制备方法参考李培栋等^[20]的方法,分别称取土壤样品30,60,90 g置于200 mL的锥形瓶中,加入蒸馏水100 mL于室温下浸提24 h,过滤得到质量浓度为0.3,0.6,0.9 $g \cdot mL^{-1}$ 的根际土壤水浸液,4℃冰箱保存。

2.2 种子萌发实验 设置蒸馏水为对照组(CK),地黄根际土水浸液(0.3,0.6,0.9 $g \cdot mL^{-1}$),半夏根际土水浸液(0.3,0.6,0.9 $g \cdot mL^{-1}$),菘蓝根际土水浸液(0.3,0.6,0.9 $g \cdot mL^{-1}$)共10个实验处理组,每组设置5个重复。首先对远志种子用5%的次氯酸钠消毒15分钟,然后用蒸馏水冲洗直至无次氯酸钠气味,处理好后放置一边备用,取干净90 mm培养皿放入两层滤纸,分别加入不同的根际土壤水浸液8 mL,然后点种远志种子,每个培养皿30粒种子,放置光照培养箱中进行培养。种子萌发过程中,每天中午12点补充2 mL的土壤水浸液并记录每天种子发芽个数,第4天计算发芽势,第9天计算发芽指数和发芽率,发芽结束后,从每个培养皿取5株幼苗,测量其鲜重,株高,根长,结果取其平均值。计算公式为

发芽率=发芽种子总数/供试种子总数 $\times 100\%$;发芽势=规定时间发芽种子总数/供试种子总数 $\times 100\%$;发芽指数= $\Sigma(Gt/Dt)$,式中 Gt 为在不同时间的发芽数, Dt 为发芽日数, Σ 为总和^[21]。

2.3 幼苗生理指标的测定 种子发芽结束后,测定Pro, H_2O_2 , SOD, POD, CAT, MDA, 可溶性蛋白的含量,测定方法按照试剂盒说明书进行,测定可溶性糖,叶绿素a,叶绿素b,类胡萝卜素含量参照陈刚等^[22]的方法。

2.4 数据处理 使用Excel 2010对数据进行均值、标准偏差分析,SPSS 19.0进行单因素方差分析,Original 8.0进行绘制相关图表。采用化感效应指数(RI)衡量不同作物根际土壤水浸液化感作用的大小^[23], $T \geq C$ 时, $RI = 1 - C/T$, 当 $T < C$, $RI = T/C - 1$, 其中, C 指对照值, T 指处理值,设定对照组的RI值为0,当 $RI > 0$ 表示促进作用, $RI < 0$ 表示抑制作用,RI绝对值的大小与化感作用强度一致。化感综合效应指数(SE)为供体对同一受体几个测试项目的RI的算术平均值^[24]。

3 结果与分析

3.1 3种作物根际土壤水浸液对远志种子萌发的影响 由图1可知,3种药用植物根际土壤水浸液对远志种子萌发过程有不同程度的影响,从点种种子的第3天起开始发芽,第12天发芽结束,各处理组从发芽开始到发芽结束共持续10 d。从第3天开始发芽起,各处理组间的发芽率具有显著性差异,一直持续到发芽结束,其中菘蓝根际土壤水浸液对于远志种子最终发芽率具有显著的抑制作用($P < 0.05$)。

由图1A可知,第4~6天时,0.6 $g \cdot mL^{-1}$ 质量浓度地黄根际土壤水浸液处理的远志种子发芽个数是明显低于CK的。第6~12天时,各个地黄根际土壤水浸液处理组的远志种子发芽个数则是明显高于CK的,结合表1的最终发芽率可以看出,与CK相比具有显著性差异($P < 0.05$),并且随着土壤水浸液浓度的增加,RI值逐渐减小,说明低浓度的地黄根际土壤水浸液浓度更适合远志种子的萌发。由表1可知,地黄根际土壤水浸液对于远志种子的发芽指数表现为化感双重作用,低浓度时,发芽指数显著高于CK;高浓度时,则显著低于CK($P < 0.05$)。0.3, 0.9 $g \cdot mL^{-1}$ 地黄根际土壤水浸液处理组远志种子的发芽势显著低于CK($P < 0.05$),而0.6 $g \cdot mL^{-1}$ 地黄根际土壤水浸液处理组显著高于CK($P < 0.05$),说明一定浓度的地黄根际土壤水浸液有促进远志种子发芽的作用。

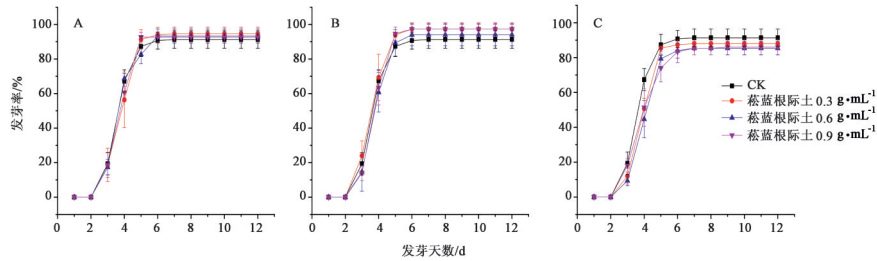


图1 地黄、半夏和菘蓝根际土壤水浸液对于远志种子萌发过程的影响

Fig. 1 Effect of rhizosphere soil water extracts of *Rehmannia glutinosa*, *Pinellia ternata* and *Isatis indigotica* on germination of *Polygala* spp.

由图1B可知,第3~5天时,远志种子的发芽个数随着半夏根际土壤水浸液浓度的增加呈现出低促高抑的现象,第6~12天,各半夏根际土壤水浸液组对于远志种子的萌发表现出促进作用。与CK相比不同浓度的半夏根际土壤水浸液对于远志种子的最终发芽率具有显著性的促进作用($P<0.05$),对于远志种子的发芽势表现出低促高抑的双重化感效应,当半夏根际土壤质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,远志种子的发芽势提升了2.97%,当半夏根际土壤质量浓度为 $0.6, 0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比远志种子的发芽势降低了9.87%,5.40%;各组半夏根际土壤水浸液对于远志种子发芽指数的影响表现出显著的促进作用($P<0.05$),其中以 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 质量浓度的半夏根际土壤水浸液促进作用最强,与

CK相比,增加了7.88%,说明低浓度的半夏根际土壤水浸液更有助于远志种子的萌发。

由图1C可知,从第3天发芽开始,菘蓝根际土壤水浸液处理组远志种子发芽个数明显低于CK,结合表1的最终发芽率可知,菘蓝根际土壤水浸液各个处理组的远志种子发芽率显著低于CK,表现出显著的化感抑制作用($P<0.05$)。不同处理组的菘蓝根际土壤水浸液对于远志种子的最终发芽率、发芽势和发芽指数均表现出明显的化感抑制作用($P<0.05$),且随着菘蓝根际土壤水浸液浓度的增加,对于远志种子最终发芽率、发芽势的抑制也呈现出逐渐增大的趋势,远志种子的发芽指数呈现出逐渐减小的趋势,说明菘蓝根际土壤不利于远志种子的萌发。见表1。

表1 三种作物根际土壤水浸液对远志种子萌发的影响

Table 1 Effect of soil water extracts from Rhizosphere of three crops on seed germination of *Polygala tenuifolia*

不同作物	土壤水浸液浓度/ $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	发芽率		发芽势		发芽指数	
		百分率($\bar{x}\pm s, n=5$)/%	RI	长势($\bar{x}\pm s, n=5$)/%	RI	指数($\bar{x}\pm s, n=5$)	RI
地黄	0(CK)	91.32±5.07 ^f	0	67.34±6.43 ^c	0	34.65±1.85 ^d	0
地黄	0.3	94.66±3.81 ^c	0.037	62.02±4.48 ^e	-0.086	35.25±1.15 ^c	0.017
地黄	0.6	93.33±4.71 ^d	0.022	68.66±3.00 ^b	0.020	34.75±0.73 ^d	0.003
地黄	0.9	92.66±2.80 ^e	0.015	60.68±3.66 ^f	-0.110	34.53±1.45 ^e	-0.004
半夏	0(CK)	91.32±5.07 ^f	0	67.34±6.43 ^c	0	34.65±1.85 ^d	0
半夏	0.3	96.65±3.87 ^b	0.058	69.34±13.38 ^a	0.030	37.38±1.45 ^a	0.079
半夏	0.6	96.68±2.74 ^b	0.059	60.70±11.40 ^f	-0.110	35.97±0.62 ^b	0.038
半夏	0.9	97.50±3.20 ^a	0.068	63.34±9.98 ^d	-0.063	35.79±1.30 ^b	0.033
菘蓝	0(CK)	91.32±5.07 ^f	0	67.34±6.43 ^c	0	34.65±1.85 ^d	0
菘蓝	0.3	88.00±2.99 ^g	-0.038	50.68±5.94 ^h	-0.329	31.73±1.03 ^f	-0.920
菘蓝	0.6	85.34±3.81 ⁱ	-0.070	44.66±10.70 ⁱ	-0.508	29.96±2.07 ^h	-0.156
菘蓝	0.9	86.00±4.35 ^h	-0.062	51.34±10.72 ^g	-0.312	30.98±2.49 ^g	-0.119

注:同列不同行小写字母表示 $P<0.05$ (表2~6同)。

3.2 3种作物根际土壤水浸液对远志幼苗的影响
由表2可知,地黄、半夏和菘蓝的根际土壤水浸液对于远志幼苗生长指标均表现出显著的化感抑制

作用($P<0.05$)。其中,地黄根际土壤水浸液与其余两种水浸液相比对于远志幼苗的株高和根长的抑制作用最小, $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的地黄根际土壤水浸液是地

黄水浸液处理组中对于远志幼苗株高、根长、鲜重抑制效果最强的,与CK相比显著减少了6.44%,5.94%,9.99% ($P<0.05$);0.6,0.9 g·mL⁻¹质量浓度的抑制效果次之,与CK相比显著减少了4.76%,3.51%,5.79%和3.47%,3.04%,6.92% ($P<0.05$);说明地黄根际土壤水浸液的浓度越高,对于远志幼苗的生长抑制作用越小。半夏根际土壤水浸液与其余两组相比对于远志幼苗株高、根长、鲜重的抑制效果处于中间位置,0.3 g·mL⁻¹质量浓度土壤水浸液的抑制效果与CK相比减少了8.94%,8.16%,2.95%;0.6 g·mL⁻¹质量浓度土壤水浸液的抑制效果

与CK相比减少了9.31%,7.77%,14.57%;0.9 g·mL⁻¹质量浓度土壤水浸液的抑制效果与CK相比减少了8.94%,8.24%,6.14%。菘蓝根际土壤水浸液与其余两组相比对于远志幼苗的抑制效果最为严重,0.3 g·mL⁻¹质量浓度土壤水浸液的抑制效果与CK相比减少了10.07%,8.08%,10.25%;0.6 g·mL⁻¹质量浓度土壤水浸液的抑制效果与CK相比减少了17.71%,15.81%,7.94%;0.9 g·mL⁻¹土壤水浸液的抑制效果与CK相比减少了12.37%,11.66%,4.74%;说明菘蓝土壤水浸液对于远志幼苗生长的化感抑制作用最强,最不适合幼苗的生长。

表2 三种作物根际土壤水浸液对远志幼苗的影响

Table 2 Effect of soil water extracts from Rhizosphere of three crops on *Polygala tenuifolia* seedlings

不同作物	土壤水浸液质量浓度/g·mL ⁻¹	株高		根长		鲜重	
		高度($\bar{x}\pm s, n=5$)/mm	RI	长度($\bar{x}\pm s, n=5$)/mm	RI	质量($\bar{x}\pm s, n=5$)/g	RI
地黄	0(CK)	68.21±9.00 ^a	0	61.75±8.19 ^a	0	0.028 5±0.006 ^a	0
地黄	0.3	63.82±9.78 ^d	-0.069	58.08±9.68 ^e	-0.063	0.025 7±0.004 ^g	-0.110
地黄	0.6	64.96±7.82 ^c	-0.05	59.58±6.95 ^b	-0.036	0.026 9±0.003 ^d	-0.061
地黄	0.9	65.84±5.96 ^b	-0.036	59.87±4.44 ^b	-0.031	0.026 5±0.004 ^e	-0.074
半夏	0(CK)	68.21±9.00 ^a	0	61.75±8.19 ^a	0	0.028 5±0.006 ^a	0
半夏	0.3	62.11±10.32 ^e	-0.098	56.71±9.24 ^d	-0.089	0.027 7±0.004 ^b	-0.03
半夏	0.6	61.86±7.15 ^f	-0.103	56.97±6.53 ^d	-0.084	0.024 3±0.006 ^h	-0.171
半夏	0.9	62.11±6.08 ^e	-0.098	56.66±4.74 ^d	-0.090	0.026 7±0.006 ^d	-0.065
菘蓝	0(CK)	68.21±9.00 ^a	0	61.75±8.19 ^a	0	0.028 5±0.006 ^a	0
菘蓝	0.3	60.94±7.80 ^g	-0.119	56.76±7.40 ^d	-0.088	0.025 6±0.004 ^g	-0.114
菘蓝	0.6	56.13±7.85 ⁱ	-0.215	51.99±7.55 ^f	-0.188	0.026 2±0.004 ^f	-0.086
菘蓝	0.9	59.77±9.82 ^h	-0.141	54.55±8.65 ^e	-0.132	0.027 1±0.005 ^e	-0.050

3.3 3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗光合色素的影响 由表3可知,3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗光合色素具有不同程度的影响。其中,地黄土壤水浸液对于远志幼苗叶绿素a和类胡萝卜素表现出低促高抑的作用,对于叶绿素b表现出高促低抑的作用,具体表现为0.3 g·mL⁻¹质量浓度地黄土壤水浸液处理下,与CK相比叶绿素a和类胡萝卜素质量分数增加了2.82%和8.98%,叶绿素b含量则降低了31.97%;0.6 g·mL⁻¹地黄土壤水浸液处理下,与CK相比叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量则降低了32.05%,48.12%和35.48%;0.9 g·mL⁻¹地黄土壤水浸液处理下,与CK相比叶绿素a和类胡萝卜素含量降低了48.55%和42.98%,而叶绿素b含量增加了89.89%;说明一定浓度的地黄土壤水浸液有利于远志幼苗光合色素含量的积累。半夏土壤水浸液对于远志幼苗叶绿素a,叶绿素b和类胡萝卜

素含量均表现出显著的化感抑制作用($P<0.05$),其中0.3 g·mL⁻¹土壤水浸液处理下,与CK相比叶绿素a,叶绿素b和类胡萝卜素含量减少了45.2%,74.88%,39.6%;0.6 g·mL⁻¹处理下减少了59.00%,91.44%,53.33%;0.9 g·mL⁻¹处理下减少了51.32%,81.81%,47.73%;说明半夏根际土壤水浸液不利于远志幼苗光合色素的积累。菘蓝土壤水浸液对于远志幼苗叶绿素a和叶绿素b具有化感抑制作用,当水浸液质量浓度为0.9 g·mL⁻¹对于类胡萝卜素含量表现出了促进作用,但与CK相比无显著性差异,各组处理具体表现为0.3 g·mL⁻¹水浸液下,远志幼苗叶绿素a,叶绿素b和类胡萝卜素含量与CK相比减少了51.08%,84.75%,46.25%;0.6 g·mL⁻¹水浸液处理下减少了55.81%,84.83%,62.83%;0.9 g·mL⁻¹水浸液处理下叶绿素a和叶绿素b减少了1.06%,32.79%,类胡萝卜素增加了17.53%;说明适当浓度

的菘蓝土壤水浸液处理下有助于远志部分光合色素含量的积累。

表3 三种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗光合色素的影响

Table 3 Effect of soil water extracts from Rhizosphere of three crops on photosynthetic pigments of *Polygala tenuifolia* seedlings

不同作物	土壤水浸液质量浓度/ $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	叶绿素 a		叶绿素 b		类胡萝卜素	
		质量分数($\bar{x}\pm s, n=5$) / $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	RI	质量分数($\bar{x}\pm s, n=5$) / $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	RI	质量分数($\bar{x}\pm s, n=5$) / $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	RI
地黄	0(CK)	0.376 3 \pm 0.010 8 ^a	0	0.122 6 \pm 0.012 0 ^b	0	0.094 7 \pm 0.009 4 ^a	0
地黄	0.3	0.386 9 \pm 0.012 1 ^a	0.027	0.083 4 \pm 0.009 0 ^c	-0.320	0.103 2 \pm 0.009 6 ^a	0.082
地黄	0.6	0.255 7 \pm 0.012 1 ^b	-0.320	0.063 6 \pm 0.010 9 ^d	-0.481	0.061 1 \pm 0.010 5 ^b	-0.355
地黄	0.9	0.193 6 \pm 0.009 5 ^c	-0.486	0.232 8 \pm 0.010 2 ^a	0.473	0.054 0 \pm 0.009 9 ^b	-0.430
半夏	0(CK)	0.376 3 \pm 0.010 8 ^a	0	0.122 6 \pm 0.012 0 ^b	0	0.094 7 \pm 0.009 4 ^a	0
半夏	0.3	0.206 2 \pm 0.011 4 ^c	-0.450	0.030 8 \pm 0.010 7 ^c	-0.749	0.057 2 \pm 0.011 2 ^b	-0.396
半夏	0.6	0.154 3 \pm 0.010 8 ^c	-0.590	0.010 5 \pm 0.000 8 ^f	-0.914	0.044 2 \pm 0.010 3 ^b	-0.533
半夏	0.9	0.183 2 \pm 0.010 1 ^{cd}	-0.513	0.022 3 \pm 0.001 0 ^{ef}	-0.818	0.049 5 \pm 0.010 5 ^b	-0.477
菘蓝	0(CK)	0.376 3 \pm 0.010 8 ^a	0	0.122 6 \pm 0.012 0 ^b	0	0.094 7 \pm 0.009 4 ^a	0
菘蓝	0.3	0.184 1 \pm 0.011 2 ^{cd}	-0.511	0.018 7 \pm 0.001 1 ^{ef}	-0.847	0.050 9 \pm 0.010 8 ^b	-0.463
菘蓝	0.6	0.166 3 \pm 0.012 7 ^c	-0.558	0.018 6 \pm 0.001 1 ^{ef}	-0.847	0.035 2 \pm 0.011 5 ^b	-0.628
菘蓝	0.9	0.372 3 \pm 0.011 8 ^a	-0.011	0.082 4 \pm 0.010 7 ^c	-0.329	0.111 3 \pm 0.010 8 ^a	0.149

3.4 3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗渗透调节物质和 H_2O_2 含量的影响 由表4可知,3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗Pro含量有不同程度的影响。其中当地黄根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比具有显著的促进作用($P<0.05$),水浸液质量浓度为 $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比有抑制作用,但无显著性差异,说明地黄根际土壤水浸液对于远志幼苗Pro含量有明显的低促高抑作用;菘蓝根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,具有显著促进作用($P<0.05$),水浸液质量浓度为 $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比有抑制作用,但无显著性差异,水浸液质量浓度为 $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,有促进作用,但无显著性差异,说明低质量浓度的菘蓝根际土壤水浸液有利于远志幼苗Por含量的积累;半夏根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比有显著促进作用($P<0.05$),水浸液质量浓度为 $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK之间无显著性差异,水浸液质量浓度为 $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比有促进作用,但无显著性差异。

由表4可知,3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗可溶性糖含量都有显著的促进作用($P<0.05$)。其中地黄根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,远志幼苗可溶性糖含量增加了2.67倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.72倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了2.10倍;菘蓝根际土壤水浸液质量浓度为

$0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,增加了1.65倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.50倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.38倍;半夏根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,增加了2.22倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.99倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.72倍。

由表4可知,3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗可溶性蛋白含量有不同的作用。地黄根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,远志幼苗可溶性蛋白含量增加了1.23倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.97倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,降低了0.23倍;菘蓝根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,增加了1.16倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.19倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.34倍;半夏根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与对照组相比,降低了0.06倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.32倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.11倍。

由表4可知,3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗过氧化氢含量具有不同的作用,其中地黄根际土壤质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比,过氧化氢含量增加了1.46倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.53倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了2.82倍;菘蓝根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比 H_2O_2 含量增加了1.64倍, $0.6\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了2.42倍, $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,增加了1.31倍;半夏根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,与CK相比 H_2O_2 含量降低了0.03

表4 三种药用植物根际土壤水浸液对远志幼苗渗透调节物质及过氧化氢含量的影响 ($\bar{x} \pm s, n=5$)

Table 4 Effect of water extracts from rhizosphere soil of three medicinal plants on osmoregulation substances and hydrogen peroxide content in *Polygala* spp. seedlings ($\bar{x} \pm s, n=5$)

不同作物	土壤水浸液质量浓度/g·mL ⁻¹	脯氨酸/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	可溶性糖/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	可溶性蛋白/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	过氧化氢/ $\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$
地黄	0(CK)	50.943 3±1.855 6 ^{bc}	4.253 3±0.113 4 ⁱ	0.696 1±0.011 0 ^h	104.340 0±3.101 2 ^g
地黄	0.3	69.630 0±4.190 7 ^a	11.341 7±0.115 0 ^a	0.856 2±0.013 1 ^d	152.273 1±3.045 6 ^e
地黄	0.6	67.310 0±4.577 0 ^a	7.329 7±0.114 0 ^e	1.136 9±0.107 0 ^a	159.726 5±3.114 6 ^d
地黄	0.9	44.990 0±1.321 1 ^c	8.932 7±0.111 5 ^e	0.533 2±0.0123 0 ⁱ	294.500 8±3.138 4 ^a
半夏	0(CK)	50.943 3±1.855 6 ^{bc}	4.253 3±0.113 4 ⁱ	0.696 1±0.011 0 ^h	104.340 0±3.101 2 ^g
半夏	0.3	62.780 0±1.215 0 ^a	9.451 7±0.117 6 ^b	0.653 6±0.012 2 ⁱ	101.727 8±2.867 6 ^b
半夏	0.6	48.873 3±9.743 0 ^{bc}	8.467 3±0.094 5 ^d	0.915 8±0.010 6 ^c	157.279 2±3.085 4 ^d
半夏	0.9	59.376 7±7.197 7 ^{ab}	7.318 3±0.097 9 ^e	0.770 9±0.010 7 ^g	91.799 6±2.402 2 ⁱ
菘蓝	0(CK)	50.943 3±1.855 6 ^{bc}	4.253 3±0.113 4 ⁱ	0.696 1±0.011 0 ^h	104.340 0±3.101 2 ^g
菘蓝	0.3	70.663 3±6.142 9 ^a	7.028 3±0.091 0 ^f	0.808 6±0.010 9 ^f	171.781 0±2.577 0 ^e
菘蓝	0.6	42.986 7±2.601 6 ^c	6.356 7±0.129 5 ^g	0.830 9±0.010 3 ^e	252.261 2±3.105 4 ^b
菘蓝	0.9	59.503 3±2.896 2 ^{ab}	5.858 3±0.113 7 ^h	0.933 3±0.013 7 ^b	136.634 4±3.304 1 ^f

倍,0.6 g·mL⁻¹时,增加了1.51倍,0.9 g·mL⁻¹时,降低了0.12倍。

3.5 3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗抗氧化酶活性和MDA含量的影响 由表5可知,3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗抗氧化酶活性和MDA含量的影响是明显不同的。其中各地黄根际土壤水浸液组随着水浸液浓度的升高,远志幼苗CAT,POD,SOD 3种酶活性与CK处理组相比,呈现先降低再升高的趋势,MDA含量则呈现先升高后

降低的趋势;随着菘蓝根际土壤水浸液质量浓度的增大与CK相比,CAT,POD活性呈现先增大后减少的趋势,SOD活性逐渐减少,MDA含量呈现先增大后减少再增大的趋势,但都显著高于CK处理组($P<0.05$);随着半夏根际土壤水浸液浓度的增加,与CK相比CAT活性呈现先减小再增大后减小的趋势,POD活性呈现逐渐上升的趋势,SOD活性呈现先增大后减小再增大的趋势,MDA含量呈现先增大后减小的趋势,且都显著高于CK处理组($P<0.05$)。

表5 三种药用植物根际土壤水浸液对远志幼苗抗氧化酶活性及MDA含量的影响 ($\bar{x} \pm s, n=5$)

Table 5 Effect of water extracts from rhizosphere soil of three medicinal plants on antioxidant enzyme activities and MDA content in *Polygala* spp. seedlings ($\bar{x} \pm s, n=5$)

不同作物	土壤水浸液质量浓度/g·mL ⁻¹	CAT/ $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$	POD/ $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$	SOD/ $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$	MDA/ $\text{mmol}\cdot\text{mg}^{-1}$
地黄	0(CK)	4.558 5±0.121 5 ^d	23.679 7±1.432 9 ^g	119.939 8±2.518 7 ^c	1.435 7±0.110 6 ^f
地黄	0.3	1.038 2±0.076 1 ^g	19.553 2±1.450 6 ⁱ	107.580 3±2.240 6 ^d	1.547 9±0.072 4 ^f
地黄	0.6	0.338 1±0.101 8 ^h	24.443 0±1.147 9 ^f	82.694 5±2.145 5 ^h	3.150 3±0.132 6 ^b
地黄	0.9	4.908 1±0.095 0 ^c	43.729 1±1.330 3 ^a	175.614 9±2.319 8 ^a	1.153 8±0.104 9 ^e
半夏	0(CK)	4.558 5±0.121 5 ^d	23.679 7±1.432 9 ^g	119.939 8±2.518 7 ^c	1.435 7±0.110 6 ^f
半夏	0.3	2.279 2±0.118 3 ^b	25.750 4±1.250 8 ^b	125.462 1±1.862 1 ^d	2.564 9±0.138 3 ^b
半夏	0.6	8.847 3±0.116 8 ^f	29.516 0±1.253 9 ^h	101.792 4±2.029 6 ^d	3.040 5±0.107 2 ^e
半夏	0.9	1.083 7±0.100 1 ^g	35.151 0±1.128 7 ^d	119.562 2±1.792 5 ^f	2.365 8±0.137 6 ^a
菘蓝	0(CK)	4.558 5±0.121 5 ^d	23.679 7±1.432 9 ^g	119.939 8±2.518 7 ^c	1.435 7±0.110 6 ^f
菘蓝	0.3	7.122 9±0.128 9 ^e	41.418 7±1.217 3 ^c	111.578 1±2.000 9 ^b	3.267 1±0.071 1 ^c
菘蓝	0.6	1.234 9±0.107 3 ^a	23.132 0±1.821 3 ^d	109.626 3±2.001 0 ^e	2.140 3±0.100 4 ^b
菘蓝	0.9	0.924 6±0.091 5 ^g	29.674 9±1.436 4 ^e	94.629 7±1.800 0 ^c	3.760 4±0.120 5 ^d

0.3 g·mL⁻¹地黄根际土壤水浸液处理下,远志幼苗的CAT, POD, SOD活性均显著低于CK ($P < 0.05$), 与CK相比降低了77.22%, 17.19%, 10.30%, MDA含量略有上升, 但与CK相比无显著性差异。0.6 g·mL⁻¹处理下,远志幼苗CAT, SOD活性达到组内最小值, 与CK相比降低了92.06%和31.05%, POD活性与CK相比上升了4.00%, MDA含量为组内最大值, 与CK相比上升了119.43%。0.9 g·mL⁻¹处理下,幼苗CAT, POD, SOD活性达到组内最大值与CK相比提升了7.67%, 80.53%, 46.42%, MDA含量显著低于CK ($P < 0.05$), 降低了19.64%。

0.3 g·mL⁻¹菘蓝根际土壤水浸液处理下,远志幼苗CAT, POD活性均达到组内最大值, 与CK相比提升了56.26%, 53.06%, SOD活性与CK相比减小了6.97%, MDA含量与CK相比增加了127.56%。0.6 g·mL⁻¹处理下,幼苗POD活性为组内最小值, 与CK相比降低了2.58%, CAT和SOD活性降低了72.91%和8.60%, MDA含量增加了49.08%。0.9 g·mL⁻¹处理下,幼苗CAT, SOD活性达到组内最低值, 与CK相比降低了79.725%, 21.10%, POD活性与CK相比增加了22.89%, MDA含量为组内最大值, 与CK相比增加了161.92%。

0.3 g·mL⁻¹半夏根际土壤水浸液处理下,幼苗

SOD活性达到组内最大值, 与CK相比增加了4.60%, CAT活性降低了50.00%, POD活性增加了7.99%, MDA含量增加了78.65%。0.6 g·mL⁻¹处理下幼苗CAT活性和MDA含量达到了组内最大值, 与CK相比增加了94.08%和111.78%, SOD活性为组内最低, 下降了15.13%, POD活性增加了22.99%。0.9 g·mL⁻¹处理下CAT活性为组内最小值, 与CK相比降低了76.23%, POD活性为组内最大值, 增加了49.05%, SOD活性与CK相比无显著性差异, MDA含量增加了64.78%。

3.6 3种作物根际土壤水浸液对于远志种子萌发和幼苗生长的化感综合效应分析 由表6可知, 3种作物不同浓度根际土壤水浸液对于远志种子萌发和幼苗生长的化感综合效应都表现为化感抑制作用。其中地黄根际土壤水浸液质量浓度为0.3, 0.9 g·mL⁻¹时, SE较小为-0.054, -0.076; 而菘蓝土壤水浸液质量浓度为0.3, 0.6 g·mL⁻¹时, SE最大分别为-0.381, -0.362; 半夏根际土壤水浸液质量浓度为0.3, 0.6, 0.9 g·mL⁻¹时, SE值在其余两者之间, 分别为-0.183, -0.286, -0.225; 综合以上分析可以看出, 3种作物根际土壤水浸液对于远志种子萌发和幼苗生长的抑制作用顺序为: 菘蓝>半夏>地黄, 表明地黄种植地更适合远志种子萌发以及幼苗生长。

表6 三种作物根际土壤水浸液对于远志种子萌发和幼苗生长的化感综合效应

Table 6 Allelopathic comprehensive effect of water extracts from rhizosphere soil of three crops on seed germination and seedling growth of *Polygala tenuifolia*

不同作物	土壤质量浓度 /g·mL ⁻¹	RI									化感综合效应指数(SE)
		最终发芽率	发芽势	发芽指数	株高	根长	鲜重	叶绿素a	叶绿素b	类胡萝卜素	
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地黄	0.3	0.037	-0.086	0.017	-0.069	-0.063	-0.110	0.027	-0.320	0.082	-0.054
地黄	0.6	0.022	0.020	0.003	-0.050	-0.036	-0.061	-0.320	-0.481	-0.355	-0.140
地黄	0.9	0.015	-0.110	-0.004	-0.036	-0.031	-0.074	-0.486	0.473	-0.430	-0.076
半夏	0.3	0.058	0.030	0.079	-0.098	-0.089	-0.030	-0.450	-0.749	-0.396	-0.183
半夏	0.6	0.059	-0.110	0.038	-0.103	-0.084	-0.171	-0.590	-0.914	-0.533	-0.268
半夏	0.9	0.068	-0.063	0.033	-0.098	-0.090	-0.065	-0.513	-0.818	-0.477	-0.225
菘蓝	0.3	-0.038	-0.329	-0.920	-0.119	-0.088	-0.114	-0.511	-0.847	-0.463	-0.381
菘蓝	0.6	-0.070	-0.508	-0.156	-0.215	-0.188	-0.086	-0.558	-0.847	-0.628	-0.362
菘蓝	0.9	-0.062	-0.312	-0.119	-0.141	-0.132	-0.050	-0.011	-0.329	0.149	-0.112

4 讨论

4.1 3种作物根际土壤水浸液对远志种子萌发和幼苗生长的影响 大多数药用植物之间均存在化感作用, 主要是因为药用植物的主要药效成分是其自身的次生代谢产物, 这些次生代谢产物很大一部分

是化感物质, 所以药用植物之间更易产生化感作用, 主要表现为对于受体种子萌发和幼苗生长, 生理生化指标的作用^[25-26]。本实验表明低浓度的地黄根际土壤水浸液处理对于远志种子的发芽指数有促进作用, 而高浓度处理下则具有抑制作用, 半夏

根际土壤水浸液低浓度时对于远志种子发芽势有促进作用,高浓度时则有抑制作用,这一点与金彦博等^[19]的研究结果一致。菘蓝的根际土壤水浸液对于远志种子的最终发育率、发芽势、发芽指数均表现出了明显的化感抑制作用,说明菘蓝种植地不适和远志种子的萌发生长。3种作物根际土壤水浸液对于远志幼苗的株高、根长、鲜重均表现出了化感抑制作用,说明化感物质对于植物根长和鲜物质的积累影响是十分显著的,王新霞等^[27]研究发现不同浓度冬凌草甲素对于拟南芥幼苗根的生长均有化感抑制作用,而这种化感抑制作用可能是通过对细胞分裂和伸长的抑制来阻止胚根的伸长实现的,远志幼苗的根长受到抑制,根作为植物主要吸收营养物质的器官,更容易收到化感作用的影响。

4.2 3种作物根际土壤水浸液对远志幼苗光合色素的影响 化感作用影响植物生长的方式之一就是影响植物的光合作用,而光合色素是植物进行光合作用的基础,在一定程度上能够反应植物光合作用的强弱^[28]。地黄根际土壤水浸液质量浓度为 $0.3\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时对于远志幼苗叶绿素a和类胡萝卜素含量表现出化感促进作用,而当浓度为 $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时则表现出明显的化感抑制作用,说明对于植物光合色素含量的积累,化感物质也具有低促高抑的作用。半夏根际土壤水浸液对于远志幼苗光合色素的积累则有明显的抑制作用,菘蓝根际土壤水浸液质量浓度为 $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时对于类胡萝卜素表现出了促进作用,其余均为抑制作用。植物面对化感物质的胁迫时,会通过调节自身的色素比例来维持较高的光合速率,防止因光合作用失衡导致其受到严重迫害^[29],而不同作物的化感物质不同,所以对于远志幼苗光合色素的积累产生了不同的作用。

4.3 3种作物根际土壤水浸液对远志幼苗渗透调节物质和 H_2O_2 含量的影响 可溶性蛋白、可溶性糖和Por含量是植物体内重要的渗透调节物质,水分胁迫、盐胁迫、冷胁迫等不良环境都会使植物体内的可溶性蛋白、可溶性糖和Por含量发生很大变化^[30],植物在逆境或衰老时,由于体内活性氧代谢加强而使 H_2O_2 发生积累。 H_2O_2 可以直接或间接地氧化细胞内核酸、蛋白质等生物大分子,并使细胞膜遭受损害,因此植物组织中 H_2O_2 含量与植物抗逆性密切相关^[22]。叶文斌等^[26]研究表明草药根际土壤水浸液对受体亚麻幼苗渗透调节物质可溶性糖, Por含量有较强的化感效应,而且与质量浓度有关,但与本实验结果与其研究结果不一致,这一点可能和受

体植物自身有关。地黄根际土壤水浸液 $0.9\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时 H_2O_2 含量达到最大值,而此时可溶性蛋白达到最小值,这可能是由于高浓度的化感物质刺激植物活性氧的产生,导致 H_2O_2 含量增加, H_2O_2 氧化了植物体内生物大分子如蛋白质,导致蛋白质含量降低,而低浓度的化感物质反而会促进植物渗透调节物质的积累,促使植物更好的适应逆境,但当化感物质含量过高,超过植物自身调控范围之后,便不利于植物渗透调节物质的积累,使植物生长缓慢。

4.4 3种作物根际土壤水浸液对远志幼苗抗氧化酶活性和MDA含量的影响 SOD, POD, CAT是植物体内的酶促抗氧化系统,可以在一定程度上清除植物细胞受逆境胁迫后所产生的活性氧和自由基等有害物质,使得植物能更好的在逆境之中生长^[31]。MDA是生物膜系统脂质过氧化的产物之一,其含量高低指示膜脂过氧化强度和膜系统的受损程度^[32]。周武先等^[33]研究了半夏对3种常见农作物的化感作用,结果发现不同半夏提取液对3种农作物的CAT, POD和SOD活性的影响均表现为低浓度促进、高浓度抑制,MDA含量与半夏提取液浓度基本呈正相关。本研究结果表明,地黄根际土壤水浸液低浓度时对于CAT, POD, SOD活性起抑制作用,而高浓度时则起促进作用,低浓度和高浓度对于MDA含量的影响则不明显,菘蓝根际土壤水浸液低浓度时对CAT, POD活性起促进作用,高浓度时起抑制作用,半夏根际土壤水浸液处理组随着水浸液浓度的增加POD活性呈逐渐上升的趋势。菘蓝和半夏根际土壤水浸液处理下,幼苗MDA含量均有不同程度的增加,而地黄根际土水浸液低浓度处理下,MDA含量增加明显小于其他两组,说明地黄根际土水浸液条件下,细胞膜受损程度较小,稳态性较好,具有良好的适应性。

从3种作物根际土壤水浸液对于远志种子萌发,幼苗生长的指标,抗氧化酶活性和渗透调节物质,MDA和 H_2O_2 含量的影响以及结合化感综合效应来看,菘蓝根际土壤对远志种子萌发和幼苗生长的抑制作用最强,其次是半夏根际土,地黄根际土壤对其抑制作用最小;地黄根际土壤水浸液低浓度时对远志幼苗可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸含量的积累具有促进作用,此时抗氧化酶活性, H_2O_2 , MDA含量的积累量也相对较低,说明此时细胞受到的胁迫程度较低,细胞膜受损程度较小,所以综上所述,地黄更适合与远志进行轮作。

[参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:156-157.
- [2] 佚名. 神农本草经[M]. 顾观光,辑. 北京:北京燕山出版社,2010:26.
- [3] 蒲雅洁,王丹丹,张福生,等. 远志的本草考证[J]. 中草药,2017,48(1):211-218.
- [4] 田洪岭,许陶瑜,郭淑红,等. 山西产区远志药材资源现状与分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2018,24(24):26-30.
- [5] 田洪岭,牛变花,王耀琴,等. 远志栽培现状及推广前景分析[J]. 安徽农业科学,2016,44(15):112-113.
- [6] 房敏峰. 远志资源生态化学评价及道地性分析[D]. 西安:西北大学,2015.
- [7] 彭亮,杨冰月,程虎印,等. 不同干燥方法对远志筒及根中主要化学成分的影响[J]. 中草药,2018,49(21):5010-5017.
- [8] 赵泽丰,陈旭飞,解景,等. 远志-天麻药对治疗癫痫的网络药理学分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2019,25(14):207-214.
- [9] 李洁,胡本祥,彭亮,等. 不同激素配比对远志愈伤诱导及其黄酮积累的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2019,25(19):131-137.
- [10] 赵婷,李静,彭亮,等. 钠盐胁迫对远志种子萌发特性的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2018,24(17):60-67.
- [11] ROMERO-ROMERO T, ANAYA A L, CRUZ-ORTEGA R. Screening for effects of phytochemical variability on cytoplasmic protein synthesis pattern of crop plants[J]. J Chem Ecol,2002,28(3):617-629.
- [12] WEIR T L, PARK S W, VIVANCO J M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals[J]. Curr Opin Plant Biol,2004,7(4):472-479.
- [13] 张亚琴,陈雨,雷飞益,等. 药用植物化感自毒作用研究进展[J]. 中草药,2018,49(8):1946-1956.
- [14] 王惠珍,张新慧,李应东,等. 轮作与连作当归光合特性和挥发油的比较[J]. 草业学报,2011,20(1):69-74.
- [15] 黄文静,孙晓春,王楠,等. 当归根际土壤水浸液对黄芪和工业大麻幼苗生长的化感作用[J]. 中国麻业科学,2018,40(2):63-69.
- [16] 朱艳霞,黄燕芬. 鸡骨草茎叶水浸液对10种农作物种子的化感效应[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):113-116.
- [17] 李明杰,冯法节,张宝,等. 多元组学背景下地黄连作障碍形成的分子机制研究进展[J]. 中国中药杂志,2017,42(3):413-419.
- [18] 何志贵,应浩,董娟娥,等. 小麦与半夏轮作对减轻半夏连作障碍的效应[J]. 西北农业学报,2019,28(3):440-445.
- [19] 金彦博,郭凤霞,陈垣,等. 三种作物根际土壤水浸液对当归的化感效应[J]. 核农学报,2018,32(11):2248-2257.
- [20] 李培栋,王兴祥,李奕林,等. 连作花生土壤中酚酸类物质的检测及其对花生的化感作用[J]. 生态学报,2010,30(8):2128-2134.
- [21] 黄涛,安衍茹,彭亮,等. 外源激素处理对远志种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2018,24(20):50-55.
- [22] 陈刚,李胜. 植物生理学实验[M]. 北京:高等教育出版社,2016:22-25,36-39.
- [23] BRUCE W G, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. J Chem Ecol,1988,14(1):181-187.
- [24] 梁婷婷,杨娟,张凯,等. 3种化感作物水浸液对远志种苗生长的影响[J]. 西北农业学报,2012,21(10):137-141.
- [25] JUAN L, QUANYU Y, BINGZHAO Y, et al. Review on allelopathy of plants[J]. Chin Agricult Sci Bull,2007,23(1):68-72.
- [26] 叶文斌,樊亮. 党参和黄芪根际土壤水浸液对亚麻种子萌发和幼苗生长的化感效应[J]. 西北农业学报,2013,22(7):62-67.
- [27] 王新霞,安炎黄,陈璐,等. 冬凌草甲素对拟南芥种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 西北植物学报,2017,37(12):2467-2473.
- [28] 林仁亨,黄海涛,李焕秀,等. 银杏外种皮对生菜生长及生理特性的影响[J]. 土壤,2018,50(4):732-737.
- [29] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Rev Plant Physiol,1982,33(1):317-345.
- [30] 偶春,胡欣,姚侠妹,等. 盐旱胁迫下侧柏幼苗的生理响应及水杨酸的调控作用[J]. 干旱区资源与环境,2019,33(8):186-193.
- [31] LUO A, LIU J, MA D, et al. Increment of antioxidase activity of transgenic tobacco with betaine aldehyde dehydrogenase[J]. Chin Sci Bull,2001,46(6):492-495.
- [32] 黄建贝,胡庭兴,吴张磊,等. 核桃凋落叶分解对小麦生长及生理特性的影响[J]. 生态学报,2014,34(23):6855-6863.
- [33] 周武先,罗孝荣,段媛媛,等. 半夏对3种常见农作物的化感作用及其生理机制研究[J]. 南方农业学报,2019,50(7):1451-1459.

[责任编辑 顾雪竹]