

刘 序,张如义,杨小建,等. 核桃叶水浸液对萝卜种子萌发的化感作用[J]. 江苏农业科学,2020,48(3):146–151.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.03.025

核桃叶水浸液对萝卜种子萌发的化感作用

刘 序¹, 张如义¹, 杨小建², 王仕林¹, 周海燕¹, 刘 丹¹, 李 春²

(1. 四川省内江市农业科学院, 四川内江 641000; 2. 内江市市中区农林局, 四川内江 641000)

摘要:探究核桃农林复合经营模式中核桃叶对林下农作物生长的化感效应,以萝卜种子为受体,采用生物测定法研究不同质量浓度核桃叶水浸液(20 d 核桃叶腐解液、40 d 核桃叶腐解液和核桃叶浸提液)对萝卜种子萌发及生理特性的影响。结果表明,(1)核桃叶浸提液(E)、20 d 的降解液(D₁)和 40 d 的降解液(D₂)均明显降低了萝卜种子的发芽率和种子活力指数,并延长了萝卜种子的平均发芽天数。同时,萝卜幼苗的苗高、根长和鲜质量在 E、D₁ 和 D₂ 高质量浓度(H)处理下受到明显的抑制作用,在低质量浓度(L)处理下表现促进作用。(2)萝卜种子内抗氧化保护酶活性在核桃叶水浸液 E、D₁ 和 D₂ 处理下表现出不同的变化规律,对过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性表现出抑制效应,但对超氧化物歧化酶(SOD)活性则表现出促进效应;相比于对照(CK),E、D₁ 和 D₂ 处理均可以显著增加萝卜种子内丙二醛(MDA)的含量,在高质量浓度(EH、D₁H、D₂H)处理条件下的 MDA 含量增加最为明显,分别较 CK 增加 42.1%、44.4%、53.6%。(3)随 E、D₁ 和 D₂ 处理液质量浓度的增加,萝卜种子内渗透调节物质可溶性糖(SS)和可溶性蛋白(SP)含量总体上表现出先增后减的趋势,且在低或中浓度下促进作用最为明显,而在高浓度下促进作用逐渐减弱甚至呈现抑制作用。综上,核桃叶释放的化感物质一方面通过降低 SS、SP 含量影响种子内部渗透调节物质累积和抑制各种抗氧化酶的活性而使抗氧化保护酶系统失衡,在两者共同作用下,受体植物萝卜种子萌发生长受到抑制。

关键词:核桃叶;萝卜;水浸液;种子萌发;生理特性;化感作用

中图分类号: S631.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)03-0146-06

收稿日期:2018-11-26

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2011BAC09B05)。

作者简介:刘 序(1988—),女,四川内江人,农艺师,主要从事农作物遗传育种方面研究。E-mail:847408099@qq.com。

通信作者:王仕林,硕士,研究员,主要从事农作物遗传育种方面研究。E-mail:443033045@qq.com。

化感作用是供体植物分泌到环境中的次生代谢物(化感物质)对自然生态系统及农林农业产生的直接或间接、有利或不利影响的现象^[1-2];而化感物质可促进或抑制自然界不同受体植物种子萌发,在其生长发育、群落组成分布及生态系统平衡等过

[9]李春龙. 汞胁迫对萝卜种子萌发、幼苗根际土壤酶活性及土壤微生物的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):142–144.

[10]王 瀚,何九军,杨小录. 重金属铅 Pb(II)胁迫对萝卜种子萌发及幼苗叶绿素合成影响的研究[J]. 种子,2012,31(1):42–44.

[11]房志浩,臧淑艳,马 原,等. 砷对黄瓜和萝卜种子萌发及其幼苗生长的影响[J]. 沈阳化工大学学报,2017,31(2):138–142.

[12]姜 成,申晓慧,李春丰,等. 铜对黄瓜和萝卜种子萌发和生长的影响[J]. 种子,2012,31(11):16–17,22.

[13]邹文桐. 铅对芥菜种子萌发、幼苗生长及叶片光合色素含量的影响[J]. 云南农业大学学报,2012,27(4):556–561.

[14]张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2003:213–214.

[15]周 青,曾庆玲,黄晓华,等. 3 类抗性种子萌发对酸雨胁迫响应[J]. 生态学报,2004,24(9):2029–2036.

[16]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2003:134–239.

[17]李 延. 龙眼(*Dimocarpus longana* Lour)缺镁胁迫生理及调控

技术研究[D]. 福州:福建农业大学,1999:15–20.

[18]华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理实验指导[M]. 上海:人民教育出版社,1981:149–150.

[19]张芬琴,金自学. 2 种豆科作物的种子萌发对 Cd²⁺ 处理的不同响应[J]. 农业环境科学学报,2003,22(6):660–663.

[20]北京植物生理学会编. 植物生理生化进展(IV)[M]. 北京:科学出版社,1986:154.

[21]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:203–206.

[22]Chen Y X, He Y F, Luo Y M, et al. Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium[J]. Chemosphere, 2003, 50(6): 789–793.

[23]李 延,谢丽静,焦存来,等. Ca²⁺ 对苯丙烯酸胁迫下黄瓜种子萌发特性的影响[J]. 核农学报,2010,24(6):1309–1313.

[24]邹文桐,曹 智. 铜锌复合胁迫对菜薹种子萌发、幼苗生长及子叶生理代谢的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2018, 33(4):632–639.

程中扮演重要角色,其主要通过植物残体分解、根系分泌、挥发、淋洗等 4 种途径进入环境^[3];种子萌发是植物生命周期中的关键环节,正常萌发与否直接关系到作物产量的高低^[4],种子发芽率或者出苗率降低都能导致农作物有效株数下降,进而导致产量降低^[5],因此研究化感物质对农作物种子萌发期间各项生长、生理指标的影响具有重要意义。目前,利用检测化感物质对受体植物种子萌发的影响是其活性研究的一种常见方法,也是近年来化感效应研究的热点^[6]。

胡桃科(Juglandaceae)核桃属(*Juglans*)的核桃(*Juglans regia*),别称胡桃、羌桃,是世界著名的四大干果之一,因人们对核桃的营养保健功能和经济生态效益的了解和重视,近年来,在我国平原及丘陵地区广泛栽培^[7];同时,核桃农林复合经营模式因其具有显著的经济和生态效应受到广泛关注,但研究发现,胡桃科核桃属的植物多数具有强烈的化感效应,大面积核桃林种植后其诱发的生态环境负效应受到研究学者的普遍关注^[8];核桃树叶或枝条的水浸液对植物的种子萌发和幼苗生长均具有明显的化感抑制效应^[9-11],且核桃叶降解液对常见大田农作物(麦子、玉米和大豆等)的种子萌发也均有明显的抑制作用^[12-13];但关于核桃叶怎样影响植物种子萌发及生长的内在机制的研究鲜见报道,目前关于核桃化感作用的研究多采用植物组织浸提法,因此,本试验采用浸提和降解的方法,模拟核桃叶自然掉落经过雨雾淋溶和在土壤降解后释放化感物质的历程对萝卜(*Raphanus sativus*)种子萌发及生理特性的影响,旨在揭示核桃与农作物复合种植模式的可能性及如何有效开展核桃农林复合模式下田间凋落物的科学管理。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从四川省内江市农业科学院核桃园内 8 年生核桃林内收集刚掉落未分解、洁净的新鲜凋落叶,统一自然风干后,剪成长、宽约为 1 cm 的小碎块;土壤选择当地核桃林下表层农田沙壤土(pH 值为 7.78,有机质含量为 25.33 g/kg,速效磷含量为 12.13 mg/kg,速效钾含量为 14.22 mg/kg,全氮含量为 0.66 g/kg,全钾含量为 5.59 g/kg,全磷含量为 6.61 g/kg),预先过筛,除去杂质,自然晾晒后备用。在四川省内江市农业科学院蔬菜所购买优质萝卜种子,从中挑

选饱满、大小均匀、优质的种粒,试验前将种子晒种 1 d 再浸泡 24 h 后播种。

1.2 试验设计

1.2.1 核桃叶水浸液的制备 试验于 2017 年 5—9 月在四川省内江市农业科学院综合实验室进行,参照马世荣等的试验设计^[12,14],通过浸提和降解 2 种方法制备核桃叶水浸液,包括核桃叶浸提液(E)、20 d 的降解液(D₁)和 40 d 的降解液(D₂);核桃叶水浸液高质量浓度(H)为 100 mg/mL,中质量浓度(M)为 50 mg/mL,低质量浓度(L)为 25 mg/mL。试验共设 10 个处理,即 3 个核桃叶浸提液处理(EH、EM、EL)、3 个 20 d 降解液处理(D₁H、D₁M、D₁L)和 3 个 40 d 降解液处理(D₂H、D₂M、D₂L)、蒸馏水空白对照(CK)。避光条件下冷藏(4 ℃)保存备用。

1.2.2 核桃叶水浸液对萝卜种子萌发影响的试验

将挑选后的种子消毒(0.5% H₂O₂, 3 min)处理后分装到规格(直径为 9 cm)相同、垫有 2 层滤纸的玻璃培养皿中,每个培养皿中放置 50 粒,同时加入 5 mL 不同质量浓度的核桃叶水浸液,对照(CK)加 5 mL 蒸馏水,每个处理重复 3 次,共计 30 盘,再将培养皿放入恒温光照培养箱中培养观察,每天定时补充等量对应浓度的核桃叶水浸液或蒸馏水,同时,要定期记录不同处理条件下种子的萌发数量,并于 7 d 后统计萝卜种子的发芽率,计算萝卜种子的活力指数和平均发芽天数,同时,测量萝卜种子萌发后幼苗的根长(cm)、苗高(cm)、鲜质量(g)等。

1.3 指标测定及试验方法

1.3.1 种子发芽试验测定指标 萝卜种子发芽指标测定:

发芽率(GR) = 种子发芽数/种子总数 $\times 100\%$;

发芽指数(GI) = $\sum(Gt/Dt)$;

活力指数(VI) = $GI \times S$;

平均发芽天数($LMIT$) = $\sum(G_t \times D_t) / \sum G_t$ 。

式中: S 表示 7 d 后测得的整株鲜质量(g); D_t 表示对应的发芽天数(d); G_t 表示 t d 后的种子发芽数^[15]。

幼苗的根长、苗高采用直尺进行测量;鲜质量采用电子天平测定。

1.3.2 种子生理生化指标 参照王海华等的研究方法^[16],取已萌发 48 h 后的萝卜种子,分别测定其过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)的活性和丙二醛(MDA)、可溶性糖

(SS)、可溶性蛋白(SP)的含量;其中,SOD 活性采用氮蓝四唑法^[17]测定;POD 活性采用愈创木酚法^[18]测定;CAT 活性采用紫外分光光度法^[19]测定;MDA 含量采用硫代巴比妥酸比色法^[18]测定;SS 含量采用硫代巴比妥酸加热显色法^[18]测定;SP 含量采用考马斯亮蓝 G250 法^[18]测定。

1.4 数据处理

运用 SPSS 17.0 统计分析软件(SPSS Inc,USA)对试验数据开展单因素方差分析(One-way ANOVA),在差异达到显著水平($P < 0.05$)下,再通过最小显著差数法进行多重对比分析。用 Excel 2010 制表,用 Sigmaplot 10.0(Systat Software Inc., USA)绘图。

2 结果与分析

2.1 核桃叶水浸液对萝卜种子萌发指标的影响

由表 1 可知,在核桃叶浸提液(E)、20 d 的降解液(D₁)和 40 d 的降解液(D₂)各质量浓度处理下,萝卜种子发芽率和活力指数均随处理液浓度的增

加而逐渐降低。就种子活力指数而言,EL、EM、EH 处理相比 CK 分别降低 27.5%、61.1%、80.4%,D₁L、D₁M、D₁H 处理分别降低 41.8%、79.5%、91.8%,D₂L、D₂M、D₂H 处理分别降低 43.3%、78.7%、93.3%。E、D₁和 D₂各质量浓度处理对萝卜种子幼苗的根长、苗高和鲜质量均表现出低浓度促进、高浓度抑制,而植物的根、茎生长可以通过植物幼苗鲜质量整体体现,本试验中低浓度核桃叶水浸液对萝卜幼苗鲜质量有明显促进作用,相比于 CK,EL、D₁L、D₂L 分别增加 20.9%、15.0%、12.6%,而在中、高质量浓度核桃叶水浸液处理下幼苗鲜质量受到明显抑制作用,如 EM、D₁M 和 D₂M 处理相比于 CK 分别降低 6.2%、20.0%、8.9%,EH、D₁H、D₂H 处理分别降低 24.6%、46.3%、49.3%。综上所述,核桃叶水浸液对萝卜种子萌发、生长各项指标整体上表现为抑制作用,且随核桃叶水浸液质量浓度的增加,受到的抑制效应就越明显;相反,随着水浸液质量浓度的降低,其抑制效应程度逐渐减弱,甚至表现为促进效应。

表 1 核桃叶水浸液对萝卜种子萌发的影响

处理	发芽率 (%)	活力指数	平均发芽时间 (d)	根长 (cm)	苗高 (cm)	鲜质量 (g)
CK	91.90 ± 2.00a	3.42 ± 0.16a	2.03 ± 0.05c	6.45 ± 0.31b	5.07 ± 0.24c	0.122 8 ± 0.006b
EL	89.80 ± 3.06ab	2.48 ± 0.08b	2.97 ± 0.23b	9.33 ± 0.29a	7.56 ± 0.23a	0.148 5 ± 0.005a
EM	74.00 ± 4.29b	1.33 ± 0.11c	3.62 ± 0.17a	5.53 ± 0.46c	6.41 ± 0.53b	0.115 2 ± 0.007b
EH	50.70 ± 7.67c	0.67 ± 0.04d	4.20 ± 0.30a	2.76 ± 0.18d	3.98 ± 0.27d	0.092 6 ± 0.006c
D ₁ L	82.70 ± 1.16ab	1.99 ± 0.09b	3.27 ± 0.13c	9.23 ± 0.49a	7.98 ± 0.38a	0.141 2 ± 0.007a
D ₁ M	64.00 ± 3.10b	0.70 ± 0.04c	4.80 ± 0.14b	4.76 ± 0.28c	6.05 ± 0.35b	0.098 2 ± 0.006c
D ₁ H	42.33 ± 2.43c	0.28 ± 0.03d	5.12 ± 0.18a	1.94 ± 0.19d	3.11 ± 0.30d	0.065 9 ± 0.006d
D ₂ L	80.77 ± 2.52b	1.94 ± 0.08b	3.23 ± 0.02c	9.22 ± 0.36a	6.83 ± 0.26a	0.138 3 ± 0.005a
D ₂ M	56.43 ± 1.67c	0.73 ± 0.05c	4.47 ± 0.02b	5.23 ± 0.36c	5.91 ± 0.41b	0.111 9 ± 0.008b
D ₂ H	37.00 ± 2.21d	0.23 ± 0.02d	5.21 ± 0.09a	1.81 ± 0.18d	2.14 ± 0.21d	0.062 2 ± 0.006c

注:表中的数据为 3 次重复的平均数 ± 标准差,同列数据后不同小写字母表示不同处理间达到显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 核桃叶水浸液对萝卜种子的抗氧化保护酶活性的影响

由图 1 可知,萝卜种子的 POD 和 CAT 活性均随核桃叶水浸液浓度的增加呈逐渐减弱的变化趋势。就 POD 活性而言,EL、EM、EH 处理与 CK 相比,分别下降 47.7%、54.4%、62.0%;D₁L、D₁M、D₁H 分别下降 49.1%、60.1%、68.3%;D₂L、D₂M 和 D₂H 分别下降 52.0%、58.4%、71.3%,D₂处理的 POD 活性降幅最大,其次是 D₁、E 处理。而种子 SOD 活性随核桃叶水浸液质量浓度的增加逐渐增强;与 CK 相比,EM、D₁M、D₂M 处理分别增加 8.5%、24.5%、11.1%;EH、D₁H、D₂H 分别增加

18.8%、24.0%、28.7%。综上,萝卜种子的 SOD、POD 和 CAT 的活性随核桃叶水浸液种类和质量浓度的不同,呈现不相同的变化规律;POD 和 CAT 活性均随核桃叶水浸液质量浓度的增加逐渐减弱,而 SOD 活性却随核桃叶水浸液质量浓度的增加而逐渐增强。

2.3 核桃叶水浸液对萝卜种子内丙二醛含量的影响

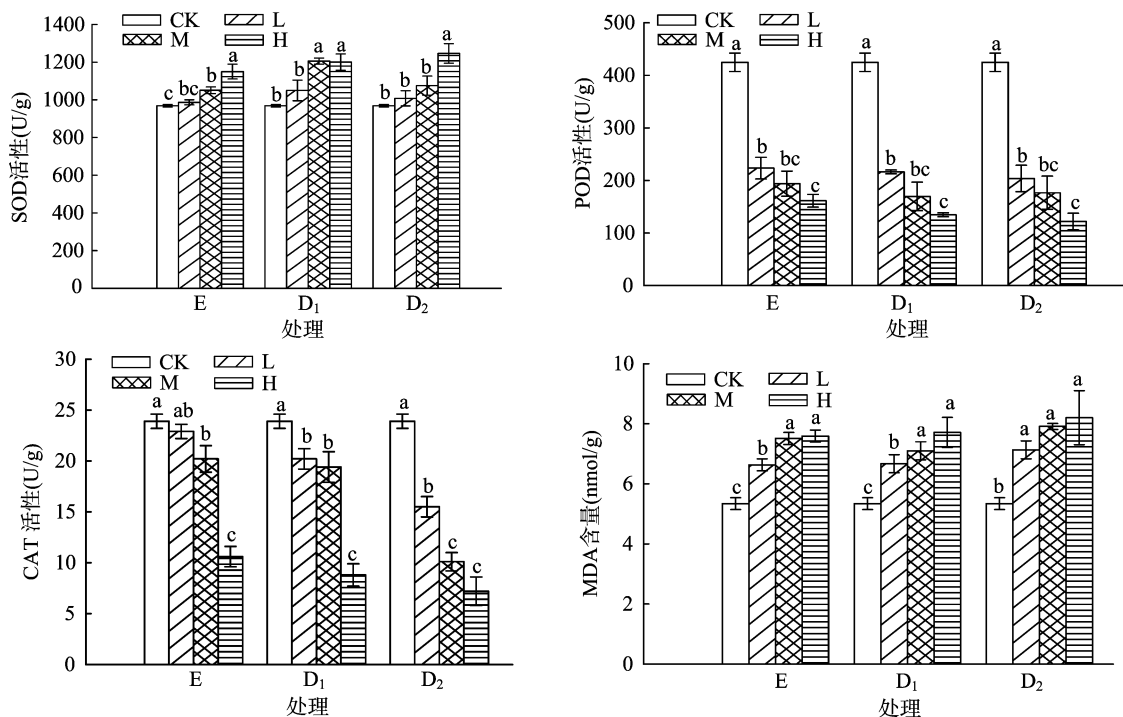
由图 1 可知,种子的 MDA 含量随核桃叶水浸液浓度的增加而不断升高。与 CK 相比,EL、EM、EH 分别增加 24.2%、40.6%、42.1%;D₁L、D₁M、D₁H 分别增加 24.9%、38.0%、44.4%;D₂L、D₂M、D₂H

分别增加 33.5%、48.1%、53.6%；高质量浓度(EH、D₁H、D₂H)处理条件下的MDA含量分别较CK增加42.1%、44.4%、53.6%，MDA含量在D₂处理下增幅最大，其次是D₁处理，最后是E处理，表明高质量浓度的核桃叶水浸液对萝卜种子的膜系统产生的过氧化伤害程度最大。

2.4 核桃叶水浸液对萝卜种子渗透调节物质的影响

由图2可知，在核桃叶浸提液(E)、20 d的降解

液(D₁)和40 d的降解液(D₂)处理下，萝卜种子的SS和SP的含量随处理液质量浓度增加总体上呈先增后减的趋势。其中，各处理对萝卜种子的SS含量表现出明显的促进效应，且在中质量浓度处理下最显著；如EM、D₁M和D₂M处理较CK分别增加64.97%、52.31%、52.69%。SP含量的变化规律总体上与SS相似，但在低质量浓度处理下含量最高，如EL、D₁L、D₂L处理相比于CK分别增加8.1%、5.8%、6.8%。



图中不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同

图1 核桃叶水浸液处理下萝卜种子的抗氧化保护酶活性和丙二醛含量的变化

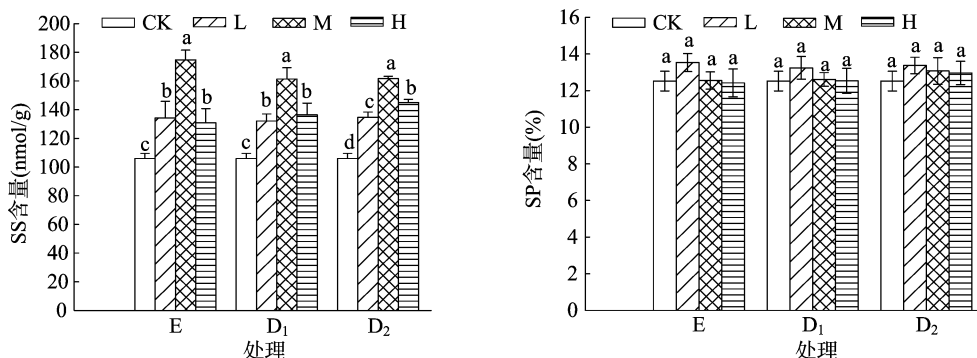


图2 核桃叶水浸液处理下萝卜种子可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化

3 讨论

3.1 核桃叶水浸液对萝卜种子活性氧代谢的影响

化感物质主要通过影响植物种子萌发过程中各种代谢酶的活性和内部正常物质代谢，引起种子

活力降低、劣变等现象，最终导致其萌发受到抑制^[20]；在化感胁迫条件下，植物自身会诱导体内活性氧(ROS)自由基含量的增加，来诱导各种酶促或非酶促清除系统的运行使植物体内ROS的产生与清除处于动态平衡状态^[21]，其中SOD可以催化内

部自由基 O_2^- 向过氧化氢 (H_2O_2) 转化, POD 和 CAT 则可以把植物体内多余的 H_2O_2 向 H_2O 转化, 两者与 SOD 一起参与到植物抗氧化酶系统的构建, 阻止活性氧簇对膜造成伤害^[22], 但当这种平衡被打破时, 会产生大量的活性氧, 致使膜脂过氧化发生, 使得细胞氧化和膜系统损伤, 同时伴随有丙二醛的产生^[23]; 因此, MDA 含量是反映植物膜脂受损害程度的重要指标^[24]。本研究中, 萝卜种子的抗氧化酶活性随核桃叶水浸液种类和质量浓度的不同呈现出不同的变化规律; SOD 活性随核桃叶水浸液质量浓度的增加逐步增强, 说明其发挥着将种子内 O_2^- 歧化为 H_2O_2 的功能, 而 POD、CAT 活性均表现出逐渐减弱的变化规律, 表明萝卜种子内 POD、CAT 清除 H_2O_2 的功能受到了抑制, 这可能是因为萝卜种子受到核桃叶水浸液化感胁迫后, 产生过多的过氧化物, 导致体内各种酶促系统未能起到保护作用^[25]。萝卜种子的 MDA 含量在低、中、高浓度处理下均明显增加, 在高质量浓度处理下增幅尤为明显, 说明此时核桃叶水浸液对萝卜种子的膜系统产生的过氧化伤害程度最大。李志萍等在 Na_2CO_3 与 NaCl 胁迫对栓皮栎的种子萌发及幼苗生长的研究中也得到类似的结论^[26]。

3.2 核桃叶水浸液对萝卜种子渗透调节物质的影响

植物种子萌发初期会通过进行活跃的物质代谢合成来满足其萌发营养需求, 而化感物质正是通过干扰种子萌发过程中能量和物质代谢来影响其萌发^[3]; 王艳青等研究发现, 在逆境条件下, 植物种子内可溶性蛋白和可溶性糖含量有明显增加^[27], 这主要是因为可溶性糖参与了植物细胞内渗透调节的过程, 许多可溶性糖参与了调控植物自身的防御性反应^[28]; 可溶性蛋白含量的增加是由于逆境条件下, 种子内部产生较多有毒、有害物质, 而这些物质会诱导产生一些逆境蛋白来清除, 有助于增强植物对化感胁迫的抗性^[3]。本研究中, 萝卜种子可溶性糖、可溶性蛋白含量总体上随核桃叶水浸液质量浓度的增加逐渐升高, 呈先增后减的变化趋势, 并且二者在低或中质量浓度处理下其促进作用最为明显, 而在高质量浓度条件下促进作用逐渐减弱甚至表现出抑制作用。这可能是因为核桃叶水浸液低或中浓度条件下萝卜种子对其化感物质表现出明显的防护效应, 主要体现在种子体内细胞主动积累渗透调节物质, 可溶性糖、可溶性蛋白含量明显

增加, 以降低渗透势, 提高种子细胞的保水能力, 提高在化感胁迫下自身修复损伤和防御能力, 但当这种化感胁迫超出一定范围时, 也就是在核桃叶水浸液高质量浓度处理下, 萝卜种子内产生过多的过氧化产物, 超出了自身调节的阈值, 而自身渗透调节物质难以抵抗进而导致种子萌发受到抑制。

3.3 核桃叶水浸液对萝卜种子萌发的影响

化感物质对植物种子萌发有抑制或促进 2 个方面作用, 这可能与化感物质种类、浓度或者受体植物的种类不同相关^[29], 目前, 多数研究主要集中在化感物质抑制植物种子萌发方面^[20, 26, 30]。本研究中, 核桃叶水浸液对萝卜种子发芽率和活力指数都有明显抑制作用, 延长了种子平均发芽天数, 且随核桃叶水浸液质量浓度的增加, 抑制效应就越明显; 这表明核桃叶水浸液的化感抑制效应与其化感物质的浓度成正相关关系^[30]。这与宋亮等研究得到化感物质可以诱发植物种子劣变和降低种子活力, 导致种子发芽率下降和发芽时间推迟的结论^[20]一致。本研究发现, 同一质量浓度下, 3 种核桃叶水浸液萝卜种子萌发受抑制程度表现为核桃叶浸提液 (E) < 20 d 的降解液 (D_1) < 40 d 的降解液 (D_2), 说明随时间延长, 核桃叶释放的化感物质呈逐渐增加的趋势, 这与 Yang 等研究发现, 连续种植三七 (*Panax notoginseng*) 的土壤能显著抑制三七种子萌发, 且随种植年限延长抑制效果越明显的结果^[31]一致; 本研究中, 萝卜幼苗的苗高、根长和鲜质量在各质量浓度核桃叶水浸液处理下均表现出高浓度抑制、低浓度促进的双重浓度效应, 这与王蓓等的研究结果^[11]一致; 李茜等也研究发现, 核桃叶水浸提液对白术 (*Atractylodes macrocephala*) 的株高、地径、生物量均呈现低促高抑的影响规律^[32]; 这可能与化感物质的专一性和选择性相关^[33]。

4 结论

在自然界中, 通常化感物质是溶于雨水后进入环境, 进而影响植物的种子萌发和正常生长, 提取化感物质尽量以水作为介质, 才能更准确地解释化感现象。因此, 本研究从模拟自然环境中核桃叶经雨雾淋溶和腐解释放化感物质的历程发现, 核桃掉落叶释放的化感物质主要通过影响植物种子内部渗透调节物质的累积和酶促系统中抗氧化保护酶的活性, 导致种子的内部生理代谢及功能出现混乱, 致使种子萌发生长受到抑制。因此, 在日常的

核桃农林复合经营模式中,要尽量减少和清除林下掉落叶,也可收集堆沤待充分降解后再还田开展林下种植生产,再通过科学的田间管理和探讨合理的农作物套种品种选择,可以有效促进核桃林下经济的发展。

参考文献:

- [1] Körner S, Nicklisch A. Allelopathic growth inhibition of selected phytoplankton species by submerged macrophytes [J]. Journal of Phycology, 2002, 38 (5) : 862 – 871.
- [2] Leu E, Krieger L A, Goussias C, et al. Polyphenolic allelochemicals from the aquatic angiosperm *Myriophyllum spicatum* inhibit photosystem II [J]. Plant Physiology, 2002, 130 (4) : 2011 – 2018.
- [3] 陈 锋, 孟永杰, 帅海威, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义 [J]. 中国生态农业学报, 2017, 25 (1) : 36 – 46.
- [4] El – Maarouf – Bouteau H, Sajjad Y, Bazin J, et al. Reactive oxygen species, abscisic acid and ethylene interact to regulate sunflower seed germination [J]. Plant, Cell & Environment, 2015, 38 (2) : 364 – 374.
- [5] 帅海威, 孟永杰, 罗晓峰, 等. 生长素调控种子的休眠与萌发 [J]. 遗传, 2016, 38 (4) : 314 – 322.
- [6] 杨期和, 叶万辉, 廖富林, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响 [J]. 生态学杂志, 2005, 24 (12) : 1459 – 1465.
- [7] 郝荣庭, 张毅萍. 中国果树志 (核桃卷) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [8] 潘富赞, 张培正. 核桃青皮的综合应用及开发前景 [J]. 中国食物与营养, 2010 (12) : 21 – 24.
- [9] 翟梅枝, 高小红, 赵彩霞, 等. 核桃枝叶水溶物的化感作用研究 [J]. 西北农业学报, 2006, 15 (3) : 179 – 182.
- [10] 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.
- [11] 王 蓓, 蔡 靖, 姜在民, 等. 核桃叶水浸液对四种作物的化感作用 [J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (4) : 47 – 52.
- [12] 马世荣, 赵庆芳, 郭小强, 等. 核桃叶腐解液化感作用初探 [J]. 北方园艺, 2008 (7) : 63 – 66.
- [13] 马世荣, 王 东, 张 博. 核桃叶腐解液对小麦幼苗生理指标的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2013 (6) : 11 – 14.
- [14] 张如义, 胡红玲, 胡庭兴, 等. 核桃凋落叶对萝卜种子发芽和幼苗生长的影响 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2016, 44 (12) : 163 – 171.
- [15] 颜启传. 种子检验原理和技术 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001.
- [16] 王海华, 曾富华, 蒋明义, 等. 不同浓度镍对水稻种子萌发及其

- 生理特性的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2000, 26 (5) : 332 – 334.
- [17] Giannopolitis C N, Roes S K. Superoxide dismutases I. Occurrence in high plants [J]. Plant Physiology, 1977, 59 : 309 – 314.
- [18] 熊庆娥. 植物生理学实验教程 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [19] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [20] 宋 亮, 潘开文, 王进闯. 化感活性物质影响种子萌发作用机理的研究进展 [J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28 (4) : 52 – 57.
- [21] 李 明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响 [J]. 生态学报, 2002, 22 (4) : 503 – 507.
- [22] Polityck A B. Peroxidase activity and lipid peroxidation in roots of cucumber seedlings influenced by derivatives of cinnamic and benzoic acids [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 1996, 18 (4) : 365 – 370.
- [23] 李 坤, 郭修武, 郭印山, 等. 葡萄根系浸提液的化感作用 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (7) : 1779 – 1784.
- [24] 秦红艳, 沈育杰, 李昌禹, 等. 不同葡萄品种膜质过氧化和保护酶活性对盐胁迫的响应 [J]. 北方园艺, 2010 (20) : 4 – 9.
- [25] 周宝利, 李志文, 丁昱文, 等. 茄子 (*Solanum melongena* L.) 根系糖苷生物碱对 5 种蔬菜作物的化感效应及相关分析 [J]. 生态环境学报, 2009, 18 (1) : 310 – 316.
- [26] 李志萍, 张文辉, 崔豫川. NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫对栓皮栎种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35 (3) : 742 – 751.
- [27] 王艳青, 陈雪梅, 李 悦, 等. 植物逆境中的渗透调节物质及其转基因工程进展 [J]. 北京林业大学学报, 2001, 23 (4) : 66 – 70.
- [28] 王 静, 杨德光, 马凤鸣, 等. 水分胁迫对玉米叶片可溶性糖和脯氨酸含量的影响 [J]. 玉米科学, 2007, 15 (6) : 57 – 59.
- [29] Yu H Y, Liang H B, Shen G, et al. Effects of allelochemicals from tobacco root exudates on seed germination and seedling growth of tobacco [J]. Allelopathy Journal, 2014, 33 (1) : 107 – 119.
- [30] 晏 婷, 翟梅枝, 王 元, 等. 核桃根系提取物对 3 种植物种子萌发和幼苗生长的化感作用 [J]. 华中农业大学学报, 2012, 31 (6) : 713 – 719.
- [31] Yang M, Zhang X D, Xu Y, et al. Autotoxic ginsenosides in the rhizosphere contribute to the replant failure of panax notoginseng [J]. PLoS One, 2015, 10 (2) : e0118555.
- [32] 李 茜, 蔡 靖, 姜在民, 等. 核桃叶水浸提液对白术幼苗生长及光合作用的化感效应 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2011, 39 (4) : 89 – 94.
- [33] 孔垂华, 胡 飞. 植物化感 (相生相克) 作用及其应用 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.