

活体大蒜及离体蒜苗对连作当归胁迫的影响

沈鹏瑞¹, 邱黛玉^{1*}, 张磊², 巫蓉¹, 王思嘉¹

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃省中药材规范化生产技术创新重点实验室, 兰州 730070; 2. 和田师范专科学校生地学院, 新疆和田 848000)

[摘要] **目的:**通过活体大蒜(garlic)及离体蒜苗(garlic sprout)挥发物对当归(*Angelica sinensis*)的化感效应,探索大蒜挥发性物质对连作当归存在的化感效应,为当归大蒜间作模式缓解连作当归胁迫提供一定的理论依据。**方法:**试验通过对当归各生长指标及叶片保护酶系统的测定分析,讨论当归在活体大蒜及离体蒜苗挥发物的影响作用下对连作胁迫、无连作胁迫环境的适应性及抗性生长发育机制。**结果:**整体分析,连作胁迫条件下离体蒜苗对当归幼苗化感效应处理(DC2)下的当归生长指标、叶片保护酶活性较当归单作(CK1)整体提高17.51%,48.34%;连作茬口种植活体蒜苗与当归间作处理(LC2)下的当归生长指标、叶片保护酶活性较当归单作(CK2)整体提高16.63%,36.65%;即离体蒜苗挥发物较活体大蒜缓解当归连作胁迫作用更显著。**结论:**无论有无连作障碍胁迫,适当浓度的活体大蒜及离体蒜苗挥发物对当归生长指标及叶片保护酶活性均表现为明显的化感促进作用,其化感促进作用在有连作胁迫条件下表现更显著,因而间作大蒜对当归连作障碍胁迫有一定的缓解作用。

[关键词] 当归; 活体大蒜; 离体蒜苗; 连作胁迫; 叶片保护酶活性

[中图分类号] R284.2;R289;R22;R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)16-0161-07

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20201715

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20200624.1636.004.html>

[网络出版日期] 2020-6-28 09:11

Effect of Living Garlic and Isolated Garlic Sprout on Stress of Continuous Cropping *Angelica sinensis*

SHEN Peng-rui¹, QIU Dai-yu^{1*}, ZHANG Lei², WU Rong¹, WANG Si-jia¹

(1. Agronomy College, Gansu Province Key laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Gansu Province Key laboratory of Standardization Production Technology of Traditional Chinese Medicinal Materials, Lanzhou 730070, China;
2. College of Natural Place, Hetian Normal College, Hetian 848000, China)

[Abstract] **Objective:** To explore the allelopathic effect of garlic volatiles on *Angelica sinensis* by studying the allelopathic effect of both living garlic and isolated garlic sprout volatiles on *A. sinensis*, and provide certain theoretical basis for *Angelica* garlic interplanting mode to alleviate the stress of continuous cropping *A. sinensis*. **Method:** Through the determination and analysis of the growth indexes and leaf protective enzyme system of *A. sinensis*, the adaptability of *A. sinensis* to continuous cropping stress and non-continuous cropping stress environment under the influence of the volatiles of living garlic and isolated garlic sprout as well as the mechanism of resistant growth and development were discussed. **Result:** The overall analysis showed that the growth index and leaf protective enzyme activity of isolated garlic sprout with alleloinductive treatment (DC2) under continuous cropping stress were increased by 17.51% and 48.34% respectively as compared with

[收稿日期] 20200609(015)

[基金项目] 国家自然科学基金项目(31960395,31201176)

[第一作者] 沈鹏瑞,在读硕士,从事药用植物栽培与鉴定工作,E-mail:913412880@qq.com

[通信作者] *邱黛玉,博士,副教授,从事药用植物栽培与鉴定工作,E-mail:qiudy@gsau.edu.cn

those under single cropping (CK1). The growth index and leaf protective enzyme activity of angelica under continuous cropping and intercropping (LC2) were increased by 16.63% and 36.65% as compared with those under monocrop cropping (CK2). Those indicated that the volatiles of isolated garlic sprout had more significant effect than those of live garlic on alleviating the stress of continuous cropping of *A. sinensis*. **Conclusion:** Regardless of the presence of continuous cropping obstacle, appropriate concentrations of living garlic and isolated garlic sprout volatiles had an allelopathic promoting effect on angelica root growth index and leaf protective enzyme activity, and the effect was more obvious in continuous cropping stress conditions, so intercropping garlic has a certain role in alleviating angelica's continuous cropping stress.

[Key words] *Angelica sinensis*; living garlic; isolated garlic sprout; continuous cropping stress; leaf protective enzyme activity

甘肃为栽培当归的道地产区,其中以“岷归”最为著名,年栽培面积和总产量都占全国的92%以上^[1-2]。但近年来由于连作导致病虫害严重,严重影响道地产区当归生长,大量施用化学农药进行防治,有害物质的残留严重超标,土壤理化性质和微生物体系发生改变,药材产量及品质严重下降,经济效益大打折扣^[3-4]。因此采用生物技术对缓解当归连作障碍问题迫在眉睫。生产上常采用合理轮作、间/套作等栽培模式,或采用土壤消毒、微生物干扰等措施来缓解作物连作带来的危害^[5-6]。玉米花生间作处理显著改善花生地土壤微环境,促进花生生长发育,提高花生产量与品质,有效缓解花生连作障碍,为连作花生的高效生产提供理论依据和技术指导^[7]。

大蒜作为一种很好的前茬作物,对许多作物种子萌发,幼苗生长和病虫害防治等方面都具有显著的化感效应^[8]。国内对于植物挥发物的化感效应已有许多研究^[9-11],据报道大蒜挥发物对空气微生物有杀灭作用^[12-13]。试验报道明确2,6-二异丙基苯酚是大蒜挥发油成分中的典型物质,其中二烯丙基二硫化物具有较强的杀菌、抗菌活性,能高效防止病虫害危害植物^[14]。大蒜对当归连作障碍的研究较为鲜见,因此本试验通过研究活体大蒜及离体蒜苗挥发物对当归的影响,探索大蒜挥发性物质对当归是否存在化感效应,其化感效应存在什么规律,从而获得较优的当归生长条件,为当归大蒜间作模式及缓解当归连作障碍提供一定的理论依据。植物农艺性状及叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性是环境胁迫影响下植物生长生理反应的主要参数^[15-16],试验通过对当归各生长指标及叶片保护酶系统的测定分析,讨论当归在活体大蒜及离体蒜苗挥发物的影响作用下对连作胁迫、无连作胁迫环境的适应性及

抗性生长机制。

1 材料

离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验设在甘肃农业大学中草药实验室和百草园小温棚内进行;活体大蒜与当归间作种植试验在甘肃省渭源县会川镇进行。蒜苗采购于甘肃省农科院附近菜市场,剪成5 cm小段备用;当归种苗经甘肃农业大学农学院中草药栽培与鉴定系陈垣教授鉴定为伞形科植物当归 *Angelica sinensis*,采购于甘肃渭源县中药材市场。

10 cm研钵(甘肃艾尔维科学仪器有限公司),801型磁力搅拌器(北京九州晟欣科技有限公司),H-2050R型台式高速离心机(湘仪离心机仪器有限公司),岛津UV-2450型紫外-分光光度计[岛津企业管理(中国)公司],4000lx型日光灯(深圳市万方光华科技有限公司),DK-98-II-S6型电热恒温水浴锅(江苏正基仪器有限公司),5 mL离心管(甘肃艾尔维科学仪器有限公司),容量瓶(50,100 mL,甘肃艾尔维科学仪器有限公司)等。

超氧化物歧化酶SOD活性检测试剂盒,包括50 mmol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH 7.8),130 mmol·L⁻¹甲硫氨酸(Met)溶液,750 μmol·L⁻¹氮蓝四唑(NBT)溶液,100 μmol·L⁻¹EDTA-Na₂溶液,20 μmol·L⁻¹核黄素溶液(苏州科铭生物技术有限公司,批号20180515);过氧化氢酶CAT活性检测试剂盒,包括0.2 mol·L⁻¹ pH 7.8磷酸缓冲液(内含10 g·L⁻¹聚乙烯吡咯烷酮),0.1 mol·L⁻¹ H₂O₂(苏州科铭生物技术有限公司,批号20180515);过氧化物酶POD活性检测试剂盒,包括0.1 mol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH 6.0),反应混合液(0.1 mol·L⁻¹ pH 6.0磷酸缓冲液50 mL中含愈创木酚28 μg和30% H₂O₂ 19 μL)(苏州科铭生物技术有限公司,批号20180515)。将当归粉末30 g放于2 L蒸馏水中浸泡48 h后,抽滤取上清液于

4℃冰箱备用,即得当归浸提液。

2 方法

2.1 试验方案 试验一:离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验(D),茬口分别设模拟连作胁迫(C)和无连作胁迫(R)2种;栽培方式分别设当归单作和当归-蒜苗(3:1)2个处理。共4个处理,每处理重复3次。试验以连作胁迫下当归单作为对照,其中连作胁迫用当归根系提取物灌根模拟,当归浸提液质量浓度为15 g·L⁻¹,灌根量为50 mL;蒜苗挥发物的浓度按当归株数的1/3控制(每种植3行当归中间放置1行新鲜离体蒜苗挥发物质),每行蒜苗质量为25株×50 g共1 250 g,每4天换1次^[17-18]。试验处理见表1。试验地内共搭建12个小拱棚,每个小拱棚面积为4 m²,每个小拱棚内栽种当归幼苗25株×9列共225株。在小拱棚里进行种植注意通风。当归出苗1周后开始测定当归幼苗生长及生理指标。

表1 离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验(D)处理
Table 1 Experimental treatment of allelopathic effect of isolated garlic seedlings on *Angelica sinensis* seedlings

茬口	方式	编号	处理方法
当归单作	连作胁迫(C)	CK1	连作胁迫下当归单作处理
	无连作胁迫(R)	DR1	无连作胁迫下当归单作处理
当归-离体蒜苗	连作胁迫(C)	DC2	连作胁迫下离体蒜苗对当归幼苗化感效应处理
	无连作胁迫(R)	DR2	无连作胁迫下离体蒜苗对当归幼苗化感效应处理

试验二:活体大蒜与当归间作种植试验(L),茬口分别设连作胁迫(C)和无连作胁迫(R);栽培方式分别设为当归单作和当归-大蒜(3:1)2个处理。共4个处理,每处理重复3次。试验以连作胁迫条件下当归单作为对照,其中当归间作大蒜处理是在不改变当归密度的前提下,每3行当归间作1行大蒜。试验处理见表2。当归种植地共12个小区,每个小区面积为6 m×2 m共12 m²,每个小区移栽当归25株×25列共625株。试验于3月27日进行移栽,田间管理同大田。出苗后(5月21日)每隔1个月取样1次,10月19日采收,一共取样6次,测定当归生长;取当归叶片至9月19日,测定生理指标。

2.2 测定指标及方法

2.2.1 当归生长指标测定 测定指标包括株高、主根长、地上部分鲜重、地下部分鲜重。其中株高为自然株高。主根长测定芦头至主根的距离。

表2 活体大蒜与当归间作种植试验(L)处理

Table 2 Experimental treatment of live garlic and *Angelica sinensis* intercropping

茬口	方式	编号	处理方法
当归单作	连作胁迫(C)	CK2	连作胁迫下当归单作处理
	无连作胁迫(R)	LR1	无连作胁迫下当归单作处理
当归-活体大蒜	连作胁迫(C)	LC2	连作胁迫下活体大蒜与当归间作处理
	无连作胁迫(R)	LR2	无连作胁迫下活体大蒜与当归间作处理

2.2.2 当归叶片酶活性测定 每个小区随机采挖生长健康的当归3~5株,用超纯水清洗鲜叶片,迅速擦干叶片水分,剪取幼嫩叶片0.5 g,分别用于3种酶(SOD, CAT, POD)的提取。活性测定均采用对应活性检测试剂盒法。

2.3 数据分析 采用Excel 2016软件进行作图及SPSS 22.0进行数据分析。

3 结果与分析

3.1 离体蒜苗及活体大蒜挥发物对当归生长指标的影响

3.1.1 不同处理当归株高变化 在试验中,当归幼苗株高整体呈上升趋势。当归幼苗株高整体表现为DR2>DC2>DR1>CK1,其中在5月21日时DR2处理株高达到最大,较CK1增高13.4 cm。总的来看,无连作障碍胁迫下的当归幼苗株高较有连作障碍胁迫平均增高10.04%;间作大蒜处理较当归单作幼苗株高平均增高30.15%。见表3。

表3 离体蒜苗处理对当归幼苗株高变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 3 Dynamics of plant height of *Angelica sinensis* seedlings treated with isolated garlic seedlings($\bar{x} \pm s, n=3$) cm

处理	5月1日	5月9日	5月21日
CK1	27.3±1.98 ^a	28.6±1.27 ^c	38.9±3.82 ^c
DC2	28.7±3.68 ^a	31.3±0.71 ^b	46.3±0.71 ^b
DR1	28.1±2.40 ^a	29.6±0.28 ^c	42.6±1.84 ^c
DR2	29.3±2.12 ^a	38.5±0.99 ^a	52.3±1.56 ^a

注:同列不同小写字母表示P<0.05。表4~16同。

在活体大蒜与当归间作种植试验中,当归植株株高呈先升后降趋势,8月份为当归株高生长高峰期。当归植株株高整体表现为LR2>LC2>LR1>CK2,其中在8月18日时LR2处理下的株高达到最大值,较CK2处理增高10.9 cm。无连作障碍胁迫下当归植株株高较有连作障碍胁迫平均增高

8.84%;间作大蒜处理较当归单作植株株高平均增高13.95%。见表4。

表4 活体大蒜处理对当归株高变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月21日	6月21日	7月19日	8月18日	9月19日	10月19日
CK2	8.0±1.40 ^b	28.5±1.41 ^a	29.5±5.02 ^{bc}	48.6±0.80 ^c	43.2±7.21 ^c	37.3±3.77 ^c
LC2	10.3±3.13 ^b	25.1±1.18 ^{ab}	29.0±0.54 ^b	56.3±0.61 ^b	54.4±0.90 ^a	44.2±1.65 ^{ab}
LR1	10.2±1.13 ^b	21.8±4.97 ^b	25.4±1.15 ^c	55.0±2.22 ^b	54.4±2.07 ^a	42.7±1.91 ^b
LR2	14.0±1.64 ^a	26.5±4.56 ^{ab}	37.3±1.56 ^a	59.5±3.43 ^a	56.9±4.46 ^a	46.9±2.28 ^a

3.1.2 不同处理当归主根长变化 在离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验中,当归幼苗主根长整体呈现上升趋势。当归幼苗主根长整体表现为DR2>DC2>DR1>CK1,其中在5月21日时DR2处理主根长达到最大,较CK1增长5.5 cm。无连作障碍胁迫下当归幼苗主根长较有连作障碍胁迫平均增长18.63%;间作大蒜处理较当归单作主根长平均增长41.70%。见表5。

在活体大蒜与当归间作种植试验中,当归植株主根长在整个生长发育期呈匀速上升趋势,10月底当归主根长达到最大。当归植株主根长整体表现为LR2>LC2>LR1>CK2,其中在10月19日时LR2

表5 离体蒜苗处理对当归幼苗主根长变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月1日	5月9日	5月21日
CK1	6.3±0.42 ^c	8.9±0.57 ^c	10.2±0.57 ^c
DC2	9.1±1.56 ^b	12.5±2.26 ^{ab}	14.2±1.13 ^{ab}
DR1	7.4±0.42 ^{bc}	9.9±2.40 ^{bc}	12.6±2.69 ^b
DR2	12.6±2.40 ^a	14.3±2.12 ^a	15.7±1.27 ^a

处理下的主根长达到最大值,较CK2处理增长5.0 cm。无连作障碍胁迫下当归植株主根长较有连作障碍胁迫平均增长9.73%;间作大蒜处理较当归单作主根长平均增长15.52%。见表6。

表6 活体大蒜处理对当归主根长变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月21日	6月21日	7月19日	8月18日	9月19日	10月19日
CK2	9.0±1.13 ^a	10.9±0.12 ^b	10.5±1.37 ^c	13.1±2.50 ^c	18.5±0.97 ^a	20.8±1.25 ^c
LC2	9.8±1.84 ^a	13.4±1.13 ^a	13.0±0.31 ^b	16.0±1.16 ^{ab}	20.5±4.22 ^a	23.1±0.55 ^b
LR1	9.5±1.03 ^a	11.9±1.68 ^b	12.2±0.85 ^b	15.3±0.17 ^b	19.7±2.95 ^a	22.6±2.54 ^{bc}
LR2	10.4±0.20 ^a	13.8±0.92 ^a	15.0±0.42 ^a	17.8±1.34 ^a	22.4±3.67 ^a	25.8±1.56 ^a

3.1.3 不同处理当归地上部分鲜重变化 在离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验中,当归幼苗地上部分鲜重呈上升趋势。当归幼苗地上部分鲜重整体表现为DR2>DC2>DR1>CK1,其中在5月21日时DR2处理地上部分鲜重达到最大值,较CK1增重3.82 g。无连作障碍胁迫下当归幼苗地上部分鲜重较有连作障碍胁迫平均增重11.72%;间作大蒜处理较当归单作地上部分鲜重平均增重12.81%。见表7。

在活体大蒜与当归间作种植试验中,当归植株地上部分鲜重在整体生长发育期呈先升后降趋势,8月中旬当归地上部分鲜重达到最大值。当归植株地上部分鲜重表现为LR2>LC2>LR1>CK2,在8月18日时LR2处理下的地上部分鲜重达到最大值。无连作障碍胁迫下当归植株地上部分鲜重较有连

表7 离体蒜苗处理对当归幼苗地上部分物质积累变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月1日	5月9日	5月21日
CK1	7.73±1.07 ^b	10.40±1.99 ^b	12.66±0.56 ^c
DC2	8.65±1.27 ^{ab}	11.65±0.56 ^{ab}	13.66±1.27 ^b
DR1	8.36±1.11 ^{ab}	11.14±0.17 ^{ab}	14.11±0.46 ^b
DR2	9.82±1.26 ^a	12.42±0.27 ^a	16.48±0.32 ^a

作障碍胁迫平均增重20.74%;间作大蒜处理较当归单作地上部分鲜重平均增重27.02%。见表8。

3.1.4 不同处理当归地下部分鲜重变化 在离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验中,当归幼苗地下部分鲜重整体呈上升趋势。当归幼苗地下部分鲜重整体表现为DR2>DC2>DR1>CK1,其中在5月21日

表 8 活体大蒜处理对当归地上部分物质积累变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 8 Dynamics of material accumulation in the aboveground part of *Angelica sinensis* treated with live garlic($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月21日	6月21日	7月19日	8月18日	9月19日	10月19日
CK2	2.67±0.89 ^a	6.36±0.51 ^c	29.16±5.87 ^{ab}	50.58±0.72 ^d	31.46±2.45 ^e	25.57±0.84 ^b
LC2	2.93±1.14 ^a	9.52±0.52 ^b	26.98±2.77 ^b	75.48±2.75 ^b	50.82±0.59 ^a	28.11±0.62 ^b
LR1	2.57±0.27 ^a	8.49±1.61 ^b	30.54±0.85 ^{ab}	69.25±3.21 ^c	45.66±3.02 ^b	28.27±3.19 ^b
LR2	3.31±0.44 ^a	18.59±2.06 ^a	32.45±0.15 ^a	85.11±2.27 ^a	53.08±2.54 ^a	33.02±3.54 ^a

时 DR2 处理地下部分鲜重达到最大,较 CK1 增重 0.56 g。无连作障碍胁迫下当归幼苗地下部分鲜重较有连作障碍胁迫平均增重 18.30%;间作大蒜处理较当归单作地下部分鲜重平均增重 20.27%。见表 9。

在活体大蒜与当归间作种植试验中,当归植株地下部分鲜重在整体生长发育期呈上升趋势,生长后期当归地下部分鲜重积累迅速增重。当归植株地下部分鲜重表现为 LR2>LC2>LR1>CK2,在 10 月 19 日时 LR2 处理下的地下部分鲜重达到最大。无连作障碍胁迫下当归植株地下部分鲜重较有连作

表 9 离体蒜苗处理对当归幼苗地下部分物质积累变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 9 Dynamics of subsurface material accumulation of *Angelica sinensis* seedlings treated with isolated garlic seedlings($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月1日	5月9日	5月21日
CK1	0.86±0.04 ^a	1.00±0.03 ^a	1.11±0.06 ^c
DC2	1.05±0.02 ^a	1.24±0.42 ^b	1.47±0.16 ^b
DR1	0.98±0.18 ^a	1.02±0.06 ^a	1.37±0.03 ^b
DR2	1.02±0.34 ^a	1.59±0.26 ^a	1.67±0.11 ^a

障碍胁迫平均增重 12.29%;间作大蒜处理较当归单作地下部分鲜重平均增重 17.06%。见表 10。

表 10 活体大蒜处理对当归地下部分物质积累变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 10 Dynamics of subsurface material accumulation of *Angelica sinensis* treated with live garlic($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月21日	6月21日	7月19日	8月18日	9月19日	10月19日
CK2	0.49±0.13 ^c	0.89±0.06 ^b	2.50±0.67 ^b	10.64±2.16 ^b	31.28±1.30 ^b	67.35±5.37 ^c
LC2	0.86±0.36 ^{ab}	1.36±0.33 ^b	3.69±0.38 ^b	11.97±2.52 ^b	35.35±2.61 ^a	79.26±2.89 ^{ab}
LR1	0.64±0.25 ^{bc}	1.31±0.54 ^b	2.52±0.18 ^b	11.39±0.98 ^b	35.13±1.74 ^a	76.11±4.66 ^b
LR2	1.00±0.08 ^a	1.85±0.36 ^a	7.15±2.36 ^a	19.06±3.27 ^a	36.16±3.22 ^a	83.49±4.40 ^a

3.2 离体蒜苗及活体大蒜挥发物对当归叶片酶活性的影响

3.2.1 不同处理当归叶片 SOD 变化 在离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验中,随当归幼苗生长 SOD 活性呈现递减趋势。当归幼苗叶片 SOD 活性整体表现为 DR2>DC2>DR1>CK1,其中在 5 月 1 日时 DR2 处理 SOD 活性最高,较 CK1 提高 2.673 U·mg⁻¹。总的来看,无连作障碍胁迫下当归幼苗 SOD 活性较有连作障碍胁迫平均提高 71.31%;间作大蒜处理较当归单作地下部分鲜重平均提高 204.52%。见表 11。

在活体大蒜与当归间作种植试验中,当归植株 SOD 活性在整个生长发育期呈下降趋势,生长初期当归植株 SOD 活性快速降低。当归植株 SOD 活性整体表现为 LR2>LC2>LR1>CK2,其中在 5 月 21 日时 LR2 处理下的 SOD 活性达到最大,较 CK2 处理提高 5.186 U·mg⁻¹。总的来看,无连作障碍胁迫下当

表 11 离体蒜苗处理对当归幼苗叶片 SOD 活性变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 11 Dynamics of SOD activity in leaves of *Angelica sinensis* seedlings treated with isolated garlic seedlingst($\bar{x} \pm s, n=3$) U·mg⁻¹

处理	5月1日	5月9日	5月21日
CK1	0.763±0.037 ^d	0.339±0.014 ^d	0.291±0.012 ^d
DC2	2.387±0.073 ^b	1.581±0.135 ^b	1.363±0.015 ^a
DR1	1.353±0.028 ^c	0.921±0.031 ^c	0.843±0.058 ^c
DR2	3.436±0.118 ^a	2.994±0.159 ^a	1.971±0.025 ^b

归植株 SOD 活性较有连作障碍胁迫平均提高 24.08%;间作大蒜处理较当归单作 SOD 活性平均提高 36.78%。见表 12。

3.2.2 不同处理当归叶片 POD 活性变化 在离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验中,当归幼苗 POD 活性呈先升后降趋势。当归幼苗 POD 活性表现为 DR2>DC2>DR1>CK1,在 5 月 9 日时 DR2 处理 POD 活性达到最大值,较 CK1 提高 5.036 U·min⁻¹·g⁻¹。整体表现出无连作障碍胁迫下当归幼苗 POD 活性较

表 12 活体大蒜处理对当归叶片 SOD 活性变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 12 Dynamics of SOD activity in leaves of *Angelica sinensis* treated with live garlic ($\bar{x} \pm s, n=3$) U·mg⁻¹

处理	5月21日	6月21日	7月19日	8月18日	9月19日
CK2	10.173±0.967 ^c	7.542±1.321 ^b	2.559±0.228 ^c	0.409±0.054 ^b	0.106±0.008 ^d
LC2	12.977±3.383 ^{ab}	11.565±0.101 ^a	5.099±1.264 ^b	0.858±0.214 ^a	0.180±0.026 ^b
LR1	12.055±0.855 ^{bc}	10.882±1.018 ^a	4.063±1.450 ^b	0.767±0.091 ^a	0.155±0.0004 ^a
LR2	15.359±0.709 ^a	11.712±0.832 ^a	7.417±0.141 ^a	0.929±0.168 ^a	0.533±0.013 ^a

有连作障碍胁迫平均提高 20.82%; 间作大蒜处理较当归单作 POD 活性平均提高 35.41%。见表 13。

表 13 离体蒜苗处理对当归幼苗叶片 POD 活性变化 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 13 Dynamics of POD activity in leaves of *Angelica sinensis* seedlings treated with isolated garlic seedlingst ($\bar{x} \pm s, n=3$) U·min⁻¹·g⁻¹

处理	5月1日	5月9日	5月21日
CK1	2.054±0.061 ^c	7.397±0.162 ^c	6.564±0.479 ^c
DC2	2.662±0.184 ^b	10.219±0.266 ^b	8.651±0.705 ^b
DR1	2.147±0.019 ^c	9.852±0.176 ^b	7.208±0.065 ^c
DR2	3.647±0.081 ^a	12.433±0.636 ^a	10.081±1.318 ^a

活体大蒜与当归间作种植试验中, 当归植株 POD 活性在生长发育期呈匀速上升趋势。POD 活性整体表现为 LR2>LC2>LR1>CK2, 在 9 月 19 日时 LR2 处理下的 POD 活性达到最大值。整体表现出无连作障碍胁迫下当归植株 POD 活性较有连作障碍胁迫平均提高 18.84%; 间作大蒜处理较当归单作 POD 活性平均提高 31.61%。见表 14。

表 14 活体大蒜处理对当归叶片 POD 活性变化动态 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 14 Dynamics of POD activity in leaves of *Angelica sinensis* treated with live garlic ($\bar{x} \pm s, n=3$) U·min⁻¹·g⁻¹

处理	5月21日	6月21日	7月19日	8月18日	9月19日
CK2	1.656±0.021 ^c	4.348±0.305 ^d	5.083±0.243 ^d	12.429±1.631 ^c	22.699±0.783 ^c
LC2	1.518±0.149 ^d	6.328±0.117 ^b	8.578±0.556 ^b	18.223±1.063 ^a	26.754±0.777 ^{ab}
LR1	2.649±0.018 ^b	5.400±0.244 ^c	7.485±0.401 ^c	14.328±1.436 ^b	25.608±1.890 ^b
LR2	3.657±0.024 ^a	8.251±0.469 ^a	13.784±1.152 ^a	18.786±0.633 ^a	27.949±0.191 ^a

表 15 离体蒜苗不同处理对当归幼苗叶片 CAT 活性变化动态 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 15 Dynamics of CAT activity in leaves of *Angelica sinensis* seedlings treated with isolated garlic seedlingst ($\bar{x} \pm s, n=3$) U·min⁻¹·g⁻¹

处理	5月1日	5月9日	5月21日
CK1	80.621±0.419 ^d	44.950±0.212 ^d	34.163±1.034 ^d
DC2	86.840±0.608 ^b	84.443±0.597 ^b	46.961±1.508 ^b
DR1	84.434±0.173 ^c	70.030±1.216 ^c	40.349±1.279 ^c
DR2	104.680±0.990 ^a	90.408±0.560 ^a	57.907±1.427 ^a

3.2.3 不同处理当归叶片 CAT 变化 总的来看, 在离体蒜苗对当归幼苗化感效应试验中, 随当归幼苗生长 CAT 活性呈现递减趋势。当归幼苗叶片 CAT 活性整体表现为 DR2>DC2>DR1>CK1, 其中在 5 月 1 日时 DR2 处理 CAT 活性最高, 较 CK1 提高 24.059 U·min⁻¹·g⁻¹。整体表现出无连作障碍胁迫下当归幼苗 CAT 活性较有连作障碍胁迫平均提高 17.75%; 间作大蒜处理较当归单作地下部分鲜重平均提高 30.83%。见表 15。

在活体大蒜与当归间作种植试验中, 当归植株 CAT 活性在整个生长发育期呈匀速下降趋势。当归植株 CAT 活性整体表现为 LR2>LC2>LR1>CK2, 其中在 5 月 21 日时 LR2 处理下的 CAT 活性达到最大, 较 CK2 处理提高 34.325 U·mg⁻¹。整体表现出无连作障碍胁迫下当归植株 CAT 活性较有连作障碍胁迫平均提高 21.29%; 间作大蒜处理较当归单作 CAT 活性平均提高 26.82%。见表 16。

4 讨论与结论

本试验用当归根系浸提液灌根模拟当归连作

水平, 运用新鲜离体蒜苗模拟化感条件, 以当归幼苗为受试物, 利用室内模拟与田间试验相结合的方法进行离体蒜苗挥发物对非连作胁迫和连作胁迫下 5 月份当归幼苗生长及生理情况影响的研究。研究发现离体蒜苗挥发物对于当归幼苗的生长具有较明显的化感促进作用, 在有连作胁迫障碍的情况下的离体蒜苗挥发物对当归幼苗生长及叶片保护酶活性表现为化感促进作用, 较无连作胁迫处理的促进作用更为显著。本试验得出的以上结果有待于作为田间试验的理论指导做进一步的研究。

表16 活体大蒜处理对当归叶片CAT活性变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

处理	5月21日	6月21日	7月19日	8月18日	9月19日
CK2	109.787±2.832 ^b	87.886±3.250 ^c	53.402±0.873 ^a	44.120±4.736 ^c	26.204±1.868 ^a
LC2	110.623±2.069 ^b	105.359±3.102 ^b	88.064±1.936 ^a	74.161±2.377 ^a	44.306±1.494 ^a
LR1	136.873±7.362 ^a	91.827±6.758 ^c	74.363±6.118 ^a	59.879±2.218 ^b	41.422±1.923 ^a
LR2	144.112±15.494 ^a	127.249±3.483 ^a	97.939±2.636 ^a	73.829±2.043 ^a	54.771±2.858 ^a

在当归连作茬口和非连作茬口条件下设当归单作及间作大蒜(当归-大蒜3:1)处理,分析当归在5月到10月的生长指标及在5月到9月的生理指标(10月下旬当归地上部分的叶片均枯萎,叶片保护酶活性差异不大,因而不做活性对照),进一步探索活体大蒜对连作当归胁迫的影响机制。整体分析,无论在有无连作胁迫条件下,间作大蒜处理对当归植株生长有明显的化感促进作用,即对连作胁迫下的当归有一定的缓解障碍作用。本实验在田间进行进一步探究间作大蒜对当归连作障碍的影响机理。研究发现,当归与大蒜间作时,大蒜地下部分能显著改善连作当归土壤中微生物区系,提高微生物多样性及类群均匀度,减少病原菌产生;能显著提高当归产量及品质,有效减缓当归连作障碍^[18-19]。在此基础上进一步研究了大蒜地上部分挥发物能有效促进当归生长,提高植株体内叶片保护酶活性,提高当归自身的抗性,改善了当归连作障碍。

综上所述,结合两个试验,其中离体蒜苗挥发物对连作胁迫下的当归幼苗生长的化感促进作用显著强于活体大蒜下的当归长势,在叶片保护酶活性方面的影响更突出。因而适当浓度的大蒜地上部分挥发物有助于缓解当归连作障碍,对非连作胁迫下的当归生长也有一定的化感促进作用。大蒜与当归化感作用的研究为道地产区当归栽培提供了新型无公害生物技术。另外,对于促进当归生长的大蒜地上部分的挥发物成分还有待进一步研究。

[参考文献]

[1] 张宏意,罗连,余意,等. 当归种质资源调查研究[J]. 中药材,2009,32(3):335-337.
[2] 赵杨景,陈四保,高光耀,等. 道地与非道地当归栽培土壤的理化性质[J]. 中国中药杂志,2002,27(1):23-26.
[3] 张新慧,张恩和,王惠珍,等. 连作对当归生长的障碍效应及机制研究[J]. 中国中药杂志,2010,35(10):1231-1234.
[4] 赵文婷,邱黛玉. 大蒜对连作胁迫下当归根际微生物和酶活性的影响[J]. 广东农业科学,2015,42(10):29-33.

[5] 郝丽霞,程智慧,孟焕文,等. 设施番茄套作大蒜的生物和生态效应——套播时期对不同品种大蒜生长发育和产量的影响[J]. 生态学报,2010,30(19):5316-5326.
[6] 王田涛. 间套种植对当归连作障碍的修复机理[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.
[7] 杨坚群. 玉米花生间作对缓解花生连作障碍的作用机理研究[D]. 泰安:山东农业大学,2019.
[8] 金瑞,程智慧,佟飞,等. 离体蒜苗挥发物的化感作用及其成分分析[J]. 西北植物学报,2007,27(11):2286-2291.
[9] 董章杭,林文雄. 作物化感作用研究现状及前景展望[J]. 中国生态农业学报,2001,9(1):90-93.
[10] 李婷,姜丹,常晓茜,等. 16种植物挥发油对柏子仁黄曲霉菌的抑制作用考察[J]. 中国实验方剂学杂志,2020,26(5):132-136.
[11] 蒋冬月,李永红. 植物挥发性有机物的研究进展[J]. 黑龙江农业科学,2011,7(11):143-149.
[12] 季文平,陈夕军,何超,等. 大蒜粗提物挥发性成分分析及其对辣椒疫病的控制作用[J]. 中国蔬菜,2019,359(1):57-64.
[13] 孔垂华,徐涛,胡飞,等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制[J]. 生态学报,2000,20(5):849-854.
[14] 周艳丽. 大蒜(*Allium sativum* L.)根系分泌物的化感作用研究及化感物质鉴定[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
[15] 刘寒,金司阳,杨立学,等. 施氮量对刺五加幼苗抗氧化酶系统的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2020,26(4):157-161.
[16] 张立恒,李坤,胡禧熙,等. 施入有机物料对连作葡萄生长及叶片酶活性影响[J]. 北方园艺,2015,4(11):173-176.
[17] 邱黛玉,张正杰. 离体蒜苗挥发物质对模拟连作当归种子发芽的影响[J]. 中草药,2016,47(6):1010-1015.
[18] 李林强,邱黛玉,贾雪. 连作轮作模式下当归大蒜间作对当归质量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(3):53-58.
[19] 张新慧. 当归连作障碍机制及其生物修复措施研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2009.

[责任编辑 顾雪竹]