中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

秋葵连作土壤浸提液对番茄生长的障碍研究

严逸男，刘明月，周相助，林志强，张卫清，许茹，王树彬，陈露，尚春雨，林勇文，侯毛毛，林义章，钟凤林

引用本文:
严逸男, 刘明月, 周相助, 等. 秋葵连作土壤浸提液对番茄生长的障碍研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(1): 81−91.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180495

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄瓜和西芹间作对黄瓜生长及枯萎病发生的影响

Influence of cucumber−celery intercropping on growth and fusarium wilt of cucumber

中国生态农业学报. 2018, 26(5): 684−692 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170934

连作番茄根区病土对番茄生长及土壤线虫与微生物的影响

Effect of sick rhizosphere soil under tomato continuous cropping on soil nematodes, microbes and tomato growth

中国生态农业学报. 2017, 25(5): 730−739 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160792

连作对加工番茄植株生理活性和物质生产的影响

Physiological activity and material production in processing tomato under continuous cropping

中国生态农业学报. 2015(3): 319−328 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.141078

灰黄青霉对瓜列当的防效及对番茄根区 土壤微生物的影响

Effect of Penicillium griseofulvum on control of Orobanche aegyptiaca and microorganisms in rhizosphere soils of tomato

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(5): 766−773 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180903

氮肥减施对玉米幼苗根系分泌物影响的根际代谢组学分析

Effects of nitrogen fertilizer reduction on root exudates of maize seedling analyzed by rhizosphere metabonomics

中国生态农业学报. 2018, 26(6): 807−814 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170858

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180495

严逸男, 刘明月, 周相助, 林志强, 张卫清, 许茹, 王树彬, 陈露, 尚春雨, 林勇文, 侯毛毛, 林义章, 钟凤林. 秋葵连作土壤浸提液对番茄生长的障碍研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(1): 81−91

YAN Y N, LIU M Y, ZHOU X Z, LIN Z Q, ZHANG W Q, XU R, WANG S B, CHEN L, SHANG C Y, LIN Y W, HOU M M, LIN Y Z, ZHONG F L. Tomato growth as affected by soil extract of continuously cropped okra[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(1): 81−91

秋葵连作土壤浸提液对番茄生长的障碍研究*

严逸男[1], 刘明月[1], 周相助[1], 林志强[2], 张卫清[2], 许　茹[1], 王树彬[1], 陈　露[1], 尚春雨[1], 林勇文[1], 侯毛毛[1], 林义章[1], 钟凤林[1**]

(1. 福建农林大学园艺学院　福州　350002; 2. 福建省种子管理总站　福州　350003)

摘　要: 单一耕作制度和作物品种, 使设施连作障碍日益加剧。番茄和秋葵都是重要的设施蔬菜类型, 但种植发现秋葵对番茄存在生长障碍, 研究秋葵对番茄的生长障碍发生的生理生态机制具有重要意义。本研究选取种植秋葵的 1 a 和 10 a 土壤浸提液(简称 1 a 浸提液和 10 a 浸提液), 以全素营养液为对照(简称 CK), 探讨秋葵连作土壤浸提液对番茄萌发期种子和幼苗生长的影响。结果表明: 同一浓度土壤浸提液处理下, 10 a 浸提液的番茄萌芽期种子表现出主根畸形, 侧根增多但细弱; 番茄幼苗分根增多, 根系活性低于 1 a 浸提液且都显著低于 CK, 顶部嫩叶失绿异常, 活性氧代谢系统紊乱。同一年限不同秋葵土壤浸提液浓度处理下, 番茄萌发期种子随浸提液浓度的升高表现出主根畸形, 侧根增多且细弱, 番茄幼苗分根增多, 1 a 和 10 a 浸提液的番茄根尖数、分根数分别最高达 1 146、3 321 和 2 291、1 947, 显著高于对照(1 071、385); 秋葵土壤浸提液浓度高于 250 mg·mL^{-1} 处理下番茄幼苗根系活性都显著低于 CK, 顶部嫩叶失绿异常, 活性氧代谢系统紊乱。研究表明秋葵根系物及分泌物在土壤中残留, 对后茬番茄的生长造成不良影响, 这些物质随种植年限增加而富集, 从而对番茄产生更严重的毒害。

关键词: 番茄; 秋葵; 土壤浸提液; 连作障碍; 轮作; 化感作用

中图分类号: S63　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 2096-6237(2019)01-0081-11

Tomato growth as affected by soil extract of continuously cropped okra*

YAN Yinan[1], LIU Mingyue[1], ZHOU Xiangzhu[1], LIN Zhiqiang[2], ZHANG Weiqing[2], XU Ru[1], WANG Shubin[1], CHEN Lu[1], SHANG Chunyu[1], LIN Yongwen[1], HOU Maomao[1], LIN Yizhang[1], ZHONG Fenglin[1**]

(1. College of Horticulture, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Seed Management Station, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Single tillage system, single variety and excessive pursuit for economic efficiency have exacerbated the barriers of continuous cropping of greenhouse tomato (*Lycopersicum esculentum*). Although its root secretions can cause autotoxicity, okra (*Hibiscus esculentus*) is a new vegetable with great economic prospect in China. Rotation is an effective way to avoid continuous cropping obstacles, however, in practice, rotation of tomato and okra inhibited growth and impeded fruiting of tomato. To clear the hypotrophy between tomato and okra, soils of okra continuously cropped for 1 year and 10 years were used to conduct an experiment with tomato

* 福建省科技重大专题(2018NZ0002-2)和福建省发改委农业五新项目(K6017201A)资助

** 通信作者: 钟凤林, 主要从事设施植物种质创制及产业化、都市农业研究。E-mail: zhong591@fafu.edu.cn

严逸男, 主要从事蔬菜生理生化研究。E-mail: 13405959576@163.com

收稿日期: 2018-05-23　接受日期: 2018-09-28

* This study was supported by the Science and Technology Major Project of Fujian Province (2018NZ0002-2) and the Agricultural Five New Project of Development and Reform Commission of Fujian Province (K6017201A).

** Corresponding author, E-mail: zhong591@fafu.edu.cn

Received May 23, 2018; accepted Sep. 28, 2018

seeds and seedlings. Water extracts of two soils were diluted into 1 000 mg·mL^{-1}, 2 000 mg·mL^{-1} and 3 000 mg·mL^{-1} to treat tomato seeds, and into 125 mg·mL^{-1}, 250 mg·mL^{-1} and 500 mg·mL^{-1} to cultivate tomato seedlings. Physiological and biochemical analysis and seed root and stem morphology observation of tomato were conducted to investigate the influence on the below-ground and above-ground growth of tomato to determine the effects of okra soil extracts on tomato seed germination and seedling growth. The results showed that under the same concentration of soil extract, with continuous cropping years increase, the main root of tomato deformed with more but thin lateral root. Tomato seedling also showed increased root forks and root activity significantly lowered and with abnormal and green-lost top leaves compared to the control (total nutrient solution, CK) treatment. The activity of antioxidant enzyme, and MDA and proline contents were also significantly different from CK. Under different concentrations of soil abstracts for the same continuous cropping year, main root deformity appeared gradually in germinated tomato seeds as the concentration of soil extract increased. Also lateral roots increased and most relatively thin, tomato seedling rootlets increased and root tip number and rootlets were respectively 1 146 and 3 321 for the 1-year and 2 291 and 1 947 for the 10-year continuous cropping, all significantly higher than those under the control (1 071 and 385, respectively). Root activity of tomato seedlings firstly rose and then fell. At 3 days of cultivation, root activity of tomato seedlings under soil abstracts with over 250 mg·mL^{-1} concentration of 1 year and 10 years continuous cropping were lower than that of CK. Antioxidant enzyme activity, MDA and proline contents were also significantly different from CK. Above all, some allelechemicals were secreted by okra roots, including the substances vestigital in the soil, which had negative effects on subsequent tomatoes. The substances were enriched with increasing years of continuous cropping, which caused more damage to succeeding tomato crops.

Keywords: Tomato; Okra; Soil extract; Continuous cropping obstacle; Rotation; Allelopathy

设施栽培蔬菜品种局限强，由于单一的耕作制度和作物品种，及过分追求经济效益，设施连作障碍日益加剧。植物根际生态环境恶化，根系活力下降，蔬菜生长发育不良；土壤病虫基数增加，危害加剧；蔬菜产量和农产品品质大幅度下降[1]。近年来国内外许多学者通过利用不同植物间的正相互作用，进行混作、间作、套作，建立植物有益组合；通过改进栽培耕作制度，实施作物轮作，科学作物布局，保护生物多样性，减少作物化感作用的负面影响[2]。植物化感作用是植物-土壤-微生物相互作用的结果，包括了偏害作用、自毒作用、自促作用和互惠作用[3-8]。在农业生态系统中充分利用化感物质的正效应，避免负效应，对于建立可持续农业体系具有重要作用，因而被认为是一项重要的农业生态技术[6]。

番茄(*Lycopersicum esculentum*)营养丰富，是我国栽培面积最大的蔬菜之一[9]，是最重要的设施大棚蔬菜[10]，也是世界第二大蔬菜消费品[11]。作为设施种植最大的蔬菜种类，其自身的根系分泌物及残茬会引起自毒作用，连作障碍已成为我国蕃茄集约化生产的瓶颈[12-13]。秋葵(*Hibiscus esculentus*)是人们喜食的蔬菜之一，我国大陆从印度引进秋葵，已经种植 60 多年[14]。秋葵用途颇为广泛，嫩果、叶、花均可供食，种子可榨油，丰富的茎秆纤维也具有较高利用价值[15]。由于番茄存在连作障碍，同时秋葵生产中忌连作[7]，且都属于经济效益较好的蔬菜，农民希望通过两者的合理种植来减轻单一蔬菜的自毒障碍并得到好的经济效益。但种植发现，秋葵与果菜类接茬，秋葵与番茄间作或轮作会发生根结线虫，导致番茄不同程度的生长以及结果的障碍[14-16]，因此深入研究秋葵对番茄生长障碍发生的生理生态机制具有重要意义。本试验以秋葵种植土壤为材料，选取常规土壤为对照，通过选取种植秋葵低年限(1 a)和高年限(10 a)的土壤进行水浸提，用霍格兰全素营养液为对照培养液，采用水培法研究其对番茄萌发期种子和幼苗的生长情况，以探讨秋葵种植土壤浸提液对番茄萌发期种子根、茎生长以及幼苗地下部、地上部生长和生理生化指标及番茄生长的影响，为明晰番茄与秋葵种植障碍产生的机理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土样分别为种植秋葵 1 a、10 a(a 表示年份)的土壤，于 2018 年 4 月 10 日在每个地块采用 5 点法采集土表 0~20 cm 的土壤，土样采自福建省漳州市龙海市东园镇东园(24°21′52.39″N, 117°52′12.04″E)。用水浸提法获得土壤浸提液[17]：取自然风干土壤过 1 mm 孔径筛，2018 年 4 月 15 日按 1∶2(*w*/*v*)的比例浸泡于烧杯中，即加土 200 g 加蒸馏水 400 mL，充分振荡后静置 2 d，取上清液过滤，得秋葵种植土壤 500 mg·mL^{-1}的溶液(浸提母液)。设置不同浓度浸提液用于番茄萌芽期种子和幼苗的培养。

供试品种为小番茄‘Micro Tom’。将番茄种子用纱布包裹在自来水中浸种 6 h，后放置在 28 ℃恒温培养箱中培养 2~3 d 即可得到露白 1~2 mm 的番茄萌芽种子，作为试验材料。

将相同处理的另一批露白种子进行沙培育苗, 待长至 3 叶一心时取苗, 正常全素营养液水培定植于 40 cm×60 cm×20 cm 箱中, 营养液配方采用霍格兰番茄专用配方[18], 待苗长至 7 叶一心时作为试验材料。

1.2　试验设计

将上述的萌芽种子于 2018 年 4 月 21 日开始用 10 mL 1 a 和 10 a 秋葵种植土壤浸提液(简称 1 a 浸提液和 10 a 浸提液), 分别设置 1 000 mg·mL^{-1}、2 000 mg·mL^{-1}和 3 000 mg·mL^{-1}浸提液浓度处理(简称 S1-S6, 1 a 各浓度处理分别为 S1、S2、S3, 10 a 各浓度处理分别为 S4、S5、S6), 并以全素营养液作为 CK 对照(T1), 每个处理各 30 粒种子, 培养 5 d, 对处理 5 d 的种子进行拍照, 之后将各处理种子的全部根系用组培刀切下进行透明处理。

于 2018 年 4 月 22 日将正常培养的 7 叶 1 心苗移至 6 L1 a 浸提液和 10 a 浸提液, 分别设置 125 mg·mL^{-1}、250 mg·mL^{-1}和 500 mg·mL^{-1}浸提液浓度处理(简称 T2-T7), 并以全素营养液作为 CK 对照, 培养 9 d, 每个处理各 40 株苗, 每 3 d 取样一次, 共 4 次, 随机选取 3 株番茄苗进行拍照及根系与叶片扫描, 后另选取 3 株叶片及根系分别取样 0.3 g 和 0.2 g, 液氮冻样后–40 ℃保存, 进行各指标的测定。

1.3　指标测定方法

根系透明处理采用植物透明标本制作的 NaOH 透明方法[19]并稍加改动: 1)乙醇 : 冰醋酸=3 : 1, 15~20 min; 2)Basic solution(7%NaOH+60%乙醇)过夜; 3)40%、20%、10%乙醇各处理 15 min; 4)蒸馏水, 后显微镜观察。番茄根系长、根系体积、根尖数、分根数及地上部叶片面积等采用根系分析扫描仪进行扫描检测; 叶绿素含量测定采用酒精研磨法[20]; 根系活力测定采用 TTC 法[20]; 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用 NBT 光化学还原法[20]; 过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法[20]; 过氧化氢酶(CAT)活性测定采用过氧化氢法[20]; 脯氨酸含量测定采用茚三酮显色法[20]; 丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸比色法[20]。

1.4　数据处理

用 DPS(7.05)软件对试验数据进行方差分析, 用最小显著差数法(LSD)进行差异显著性分析, 显著性水平为 0.05。

2　结果与分析

2.1　秋葵连作土壤浸提液对番茄生长的影响

2.1.1　秋葵连作土壤浸提液对番茄萌芽期种子生长的影响

当植物在逆境下, 最先感受胁迫的器官是根[21-23]。观察处理 5 d 时种子, 与 CK 比较, 同一浓度下 10 a 浸提液处理比 1 a 浸提液处理所受影响严重。10 a 浸提液处理造成番茄主根畸形, 侧根增多但细弱, 茎徒长, 且随浓度增加胁迫愈加明显(图 1A)。10 a 浸提液对番茄露白后的种子有明显影响, 主要表现为主根短缩且褐化变黄, 根尖细胞小且排列致密(图 1B-S6), 呈现黄褐色。根与茎的交界处有类似腐烂的变褐, 侧根细弱(图 1C 的 S6)。表明秋葵种植土壤浸提液对番茄种子萌发的根系造成伤害。

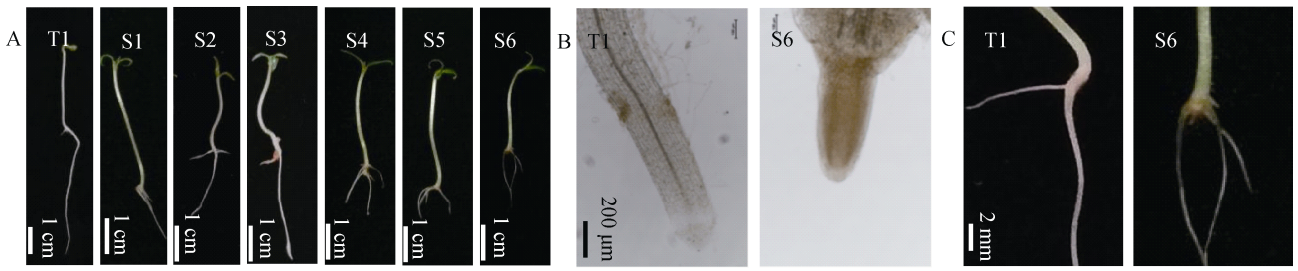

图 1　秋葵种植不同年限的土壤浸提液处理第 5 d 番茄种子生长情况[A: 各处理番茄种子生长情况; B: T1、S6 处理番茄种子根部生长情况(2×); C: T1、S6 处理番茄种子根系透明情况(27×)]

Fig. 1　Growth of tomato seeds cultured for 5 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years [A: growth of tomato seeds under each treatment; B: root growth of tomato seeds under T1 and S6 treatments (2×); C: root transparency of tomato seeds under T1 and S6 treatments (27×)]

T1: CK(全素营养液); S1: 1 000 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; S2: 2 000 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; S3: 3 000 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; S4: 1 000 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; S5: 2 000 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; S6: 3 000 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。T1: nutrient solution; S1: 1 000 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; S2: 2 000 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; S3: 3 000 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; S4: 1 000 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; S5: 2 000 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; S6: 3 000 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

2.1.2 秋葵连作土壤浸提液对番茄幼苗生长的影响

观察处理 0~9 d 的番茄幼苗, 随着处理时间增加番茄受浸提液处理影响比 CK 严重, 10 a 浸提液处理比 1 a 浸提液严重。10 a 浸提液处理造成番茄分根数增多, 根尖分叉也增多, 根系生长明显异常, 茎徒长, 且随浓度增加胁迫愈加明显(图 2, 图 3)。第 6 d 起, 在 T6 和 T7 处理下番茄叶片表现为新叶失绿(图 4)。表明秋葵土壤浸提液对番茄幼苗的地下部和地上部皆有伤害。

2.2 秋葵连作土壤浸提液对番茄幼苗根系形态的影响

观察处理 0~9 d 番茄幼苗的根长、根系拓扑面积、根系表面积、根系体积、根尖数和分根数, 随处理时间增加, 各处理根系与 T1(对照)的差异显著, 根系生长量明显高于 T1; 随着处理时间的增长 T2-T7 处理的根系表现出分根数和根尖分叉异常增

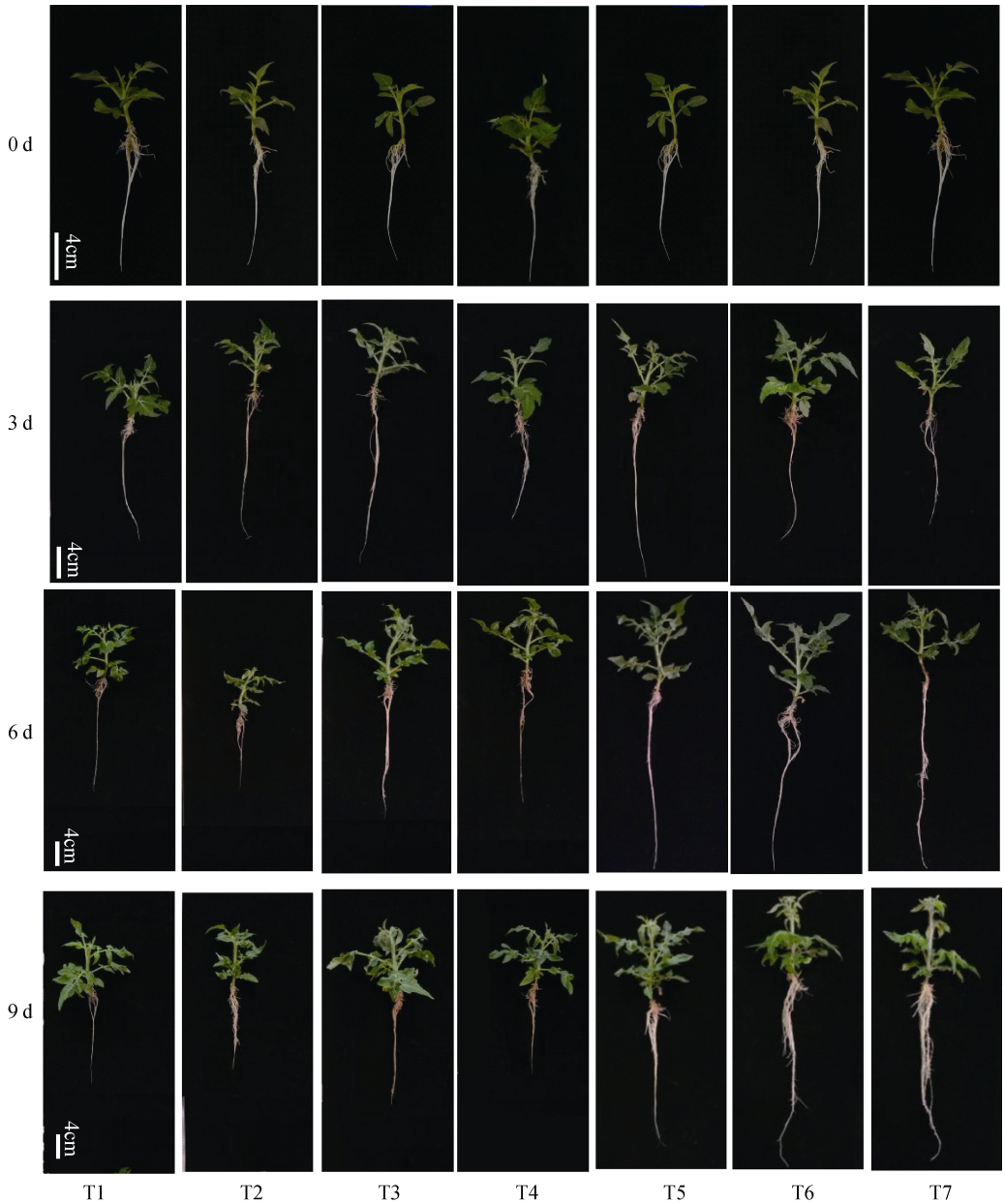

图 2 秋葵种植不同年限的土壤浸提液对番茄幼苗生长的影响**(0~9 d)**

Fig. 2 Growth of tomato seedlings cultured for 0 to 9 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

图 3　秋葵种植不同年限的土壤浸提液处理 6 d 番茄幼苗根系尖端部分生长情况

Fig. 3　Growth of tomato root top cultured for 6 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

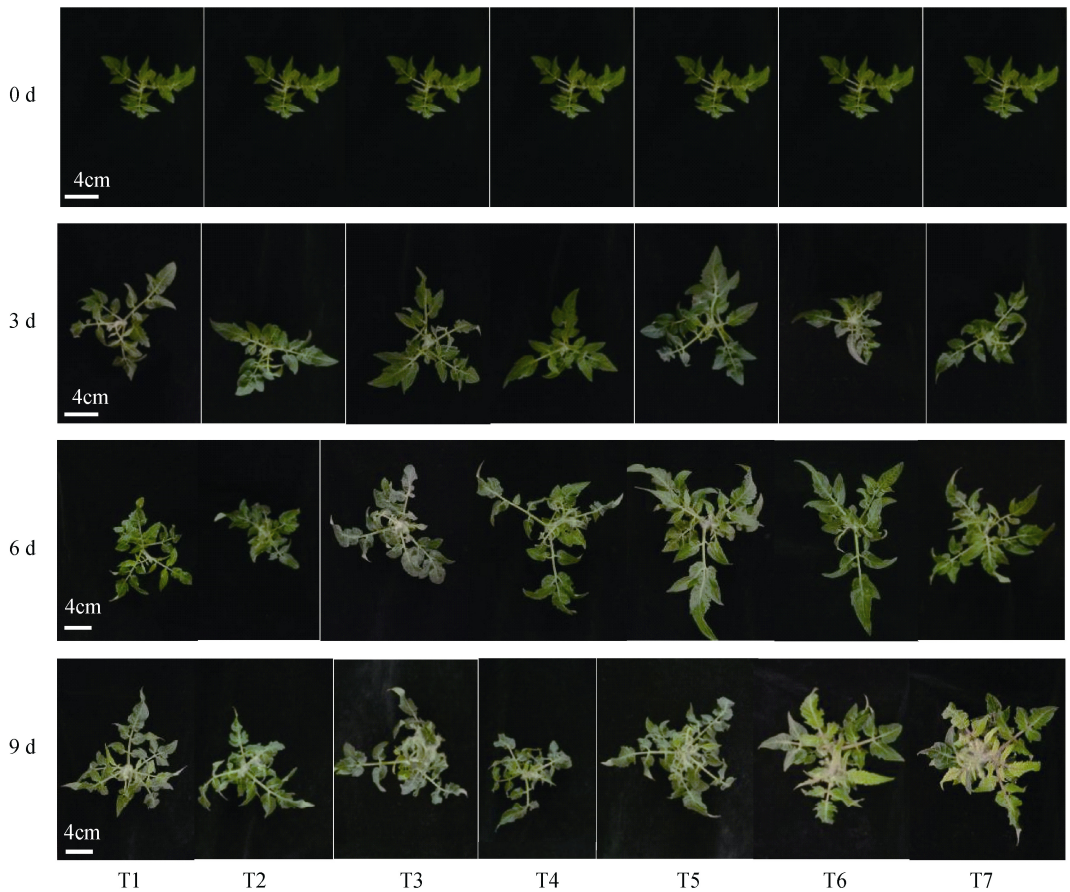

图 4　秋葵种植不同年限的土壤浸提液对番茄幼苗茎叶生长的影响(0~9 d)

Fig. 4　Leaf and stem growth of tomato seedlings cultured for 0 to 9 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

多, 且各处理之间的差距随之增大, 在 9 d 时分别达到 T1 的 1.52~5.95 倍和 1.75~3.10 倍(图 5)。其中 T3 处理下番茄的根长、根表面积和分根数在所有处理中最大, T7 处理下番茄的根系体积和根尖数则最大。表明秋葵土壤浸提液会使番茄根系分根数和根尖分叉异常增多。

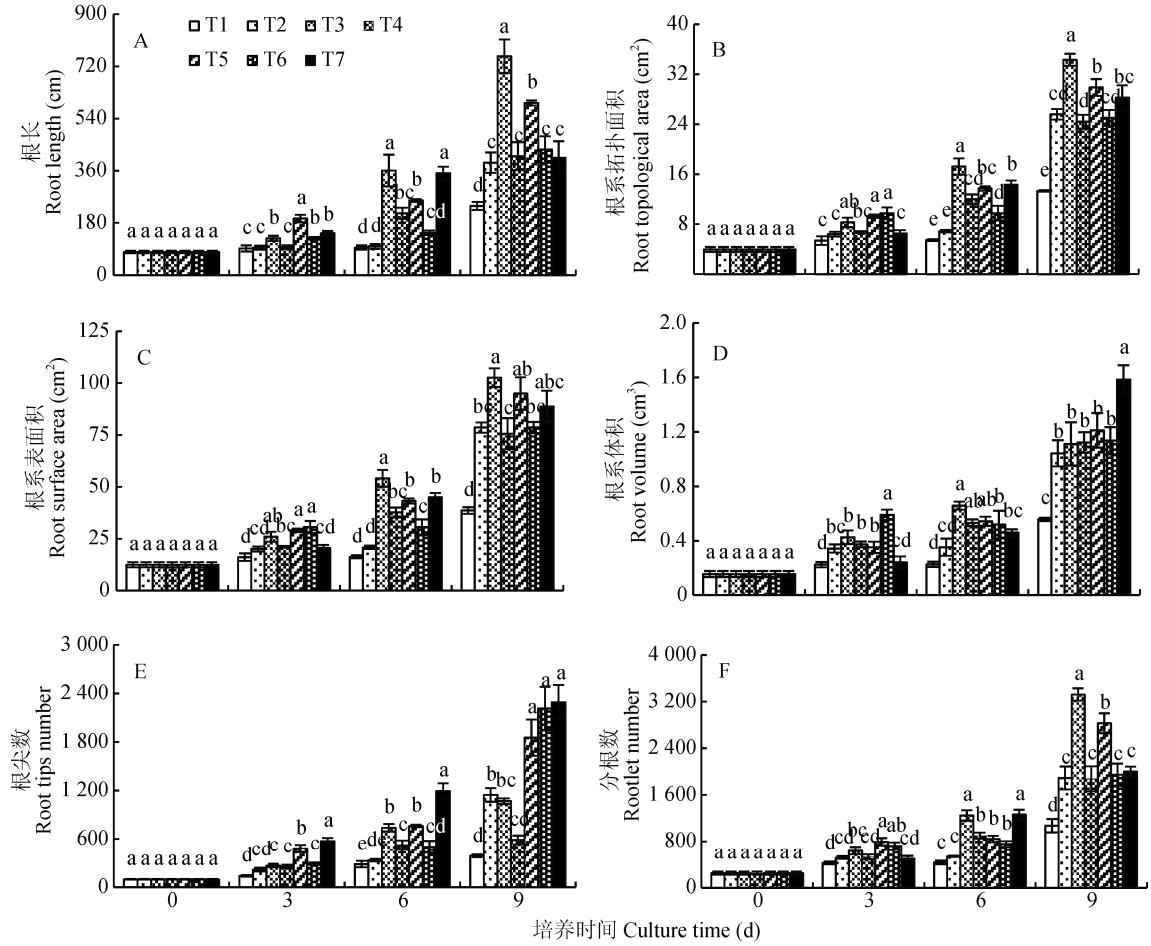

图 5 秋葵种植不同年限的土壤浸提液对番茄幼苗根系形态的影响

Fig. 5 Root morphology of tomato seedlings cultured for 0 to 9 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

同一培养时间不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。Different lowercase letters in bars for the same culture time indicate significant differences at 0.05 level among treatments. T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

2.3 秋葵连作土壤浸提液对番茄幼苗根系活力的影响

测定处理 0~9 d 番茄幼苗的根系活力, T2-T7 处理下的番茄幼苗根系活力与对照 T1 处理存在显著差异; 随着处理时间增加根系活力变化明显, 10 a 浸提液处理根系活力总体低于 1 a 浸提液处理, 且显著低于 T1。在处理初期随着处理浓度的增加, 番茄幼苗根系活力也随之增加, 其中 3 d 时 1 a 浸提液处理(T2-T4)和 T7 的根系活力显著高于 T1, 在 6~9 d 时 10 a 浸提液处理(T5-T7)的番茄根系随浸提液浓度的增加呈先升后降的趋势, 而在 6~9 d 时 T2-T7 根系活力都低于 T1 处理(图 6), 这可能是因为在处理中后期植株根系中毒(图 2, 图 3), 说明秋葵种植土壤浸提液对番茄根系活力有毒害作用。

2.4 秋葵连作土壤浸提液对番茄幼苗叶绿素的影响

测定处理 0~9 d 番茄幼苗的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素。T2-T7 处理番茄幼苗叶绿素与 T1 存在差异, 随着处理时间增加叶绿素变化明显, 浸提液处理叶绿素变化幅度大于 T1, 随处理时间延长对番茄叶绿素含量的破坏加重。各处理的叶绿素 a 含量差异不明显, 叶绿素 b 和总叶绿素含量初期 T2-T7 处理高于 T1 且差异显著; 在 3~6 d 时 1 a 浸提液处理(T2-T4)番茄叶绿素 b 含量均比 10 a 浸提液处理下(T5-T7)高, 而在处理中后期浸提液处理的番茄叶绿素 b 含量有一定量的降低, 9 d 时番茄总叶绿素含量较 3~6 d 时有一定量的下降(图 7)。表明秋葵种植土壤浸提液破坏番茄叶绿素形成。

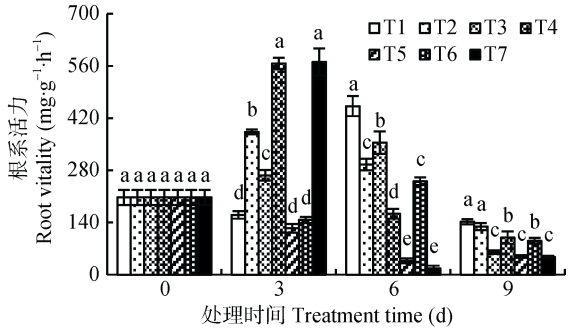

图 6　秋葵种植不同年限的土壤浸提液对番茄幼苗根系活力的影响

Fig. 6　Root vitality of tomato seedlings cultured for 0 to 9 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

同一培养时间不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。Different lowercase letters in bars for the same culture time indicate significant differences at 0.05 level among treatments. T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

2.5　秋葵连作土壤浸提液对番茄幼苗抗氧化酶活性的影响

测定处理 0~9 d 的番茄幼苗叶片和根系 SOD、POD 和 CAT 活性。随处理时间增加, 各浸提液处理叶片和根系 SOD、POD 和 CAT 活性与 T1 差异显著。10 a(T5-T7)浸提液处理的叶片 SOD 活性在同一时期随浓度的升高由先降后升变为先升后将趋势。T5-T7 的叶 POD 活性随浓度的升高由 3 d 的下降趋势变为 9 d 的上升的趋势, 且叶片 POD 活性在 3~9 d 时都高于对照 T1, 在 9 d 时根系 POD 活性也高于 T1。叶片 CAT 活性随处理时间及 1 a 和 10 a 浸提液浓度增加呈下降趋势(图 8)。

番茄幼苗根系SOD活性同一浸提液浓度不同年限的增长呈先下降后上升的趋势, 在 T4 和 T7 高浓度活性在 3 d 时大幅下降。POD 活性 9 d 时各浸提液处理都显著高于 T1。6~9 d 时根系 CAT 活性随处理时间及 1 a(T2-T4)和 10 a(T6-T7)浸提液浓度增加呈下降趋势(图 8)。

2.6　秋葵连作土壤浸提液对番茄幼苗脯氨酸和丙二醛含量的影响

脯氨酸作为羟自由基清除剂, 对胁迫反应十分敏感, 其含量与环境胁迫的强度呈显著正相关[24]。测定处理 0~9 d 的番茄幼苗叶片和根系的脯氨酸含量(图 9), 番茄幼苗叶片各浸提液处理下脯氨酸含量在 6 d 最低。T3 和 T6 的番茄叶片脯氨酸含量在 3 d 时显著高于对照 T1, 而 9 d 时 T5 的脯氨酸含量显著高于 T1。番茄幼苗根系各浸提液处理下脯氨酸含量随处理时间延长变化明显, 培养 6 d 时 T3-T7 比 3 d 时明显增加, 其中 10 a 浸提液(T5-T7)下显著高于 T1; 9 d 时 T5 的脯氨酸含量仍显著高于其他处理。结果表明, 中高浓度秋葵连作土壤浸提液处理下番茄幼苗处于胁迫中, 且处理浓度越高, 胁迫强度越大, 植株应对胁迫也越灵敏。

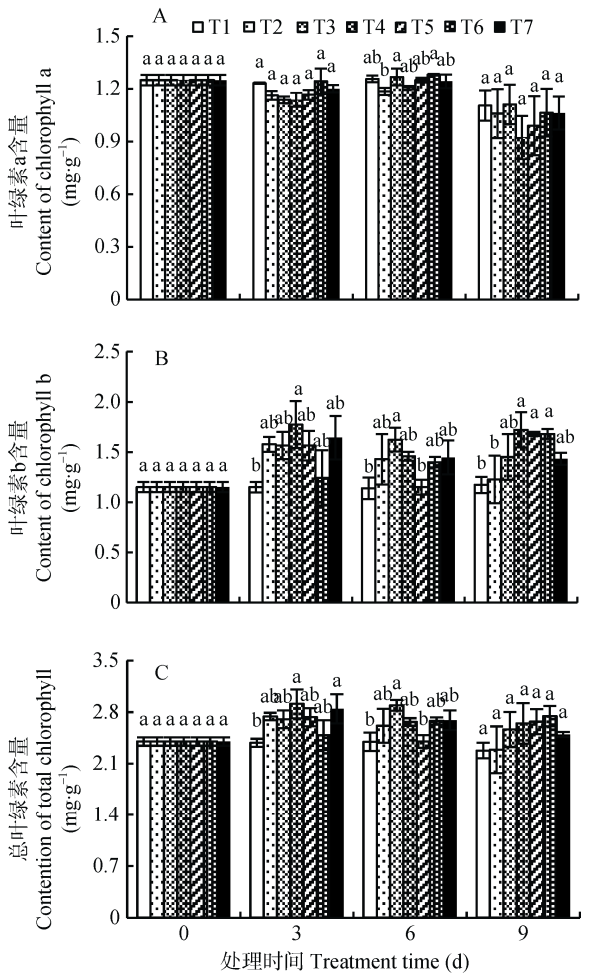

图 7　秋葵种植不同年限的土壤浸提液对番茄幼苗叶绿素含量的影响

Fig. 7　Chlorophyll contents of tomato seedlings cultured for 0 to 9 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

同一培养时间不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。Different lowercase letters in bars for the same culture time indicate significant differences at 0.05 level among treatments. T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

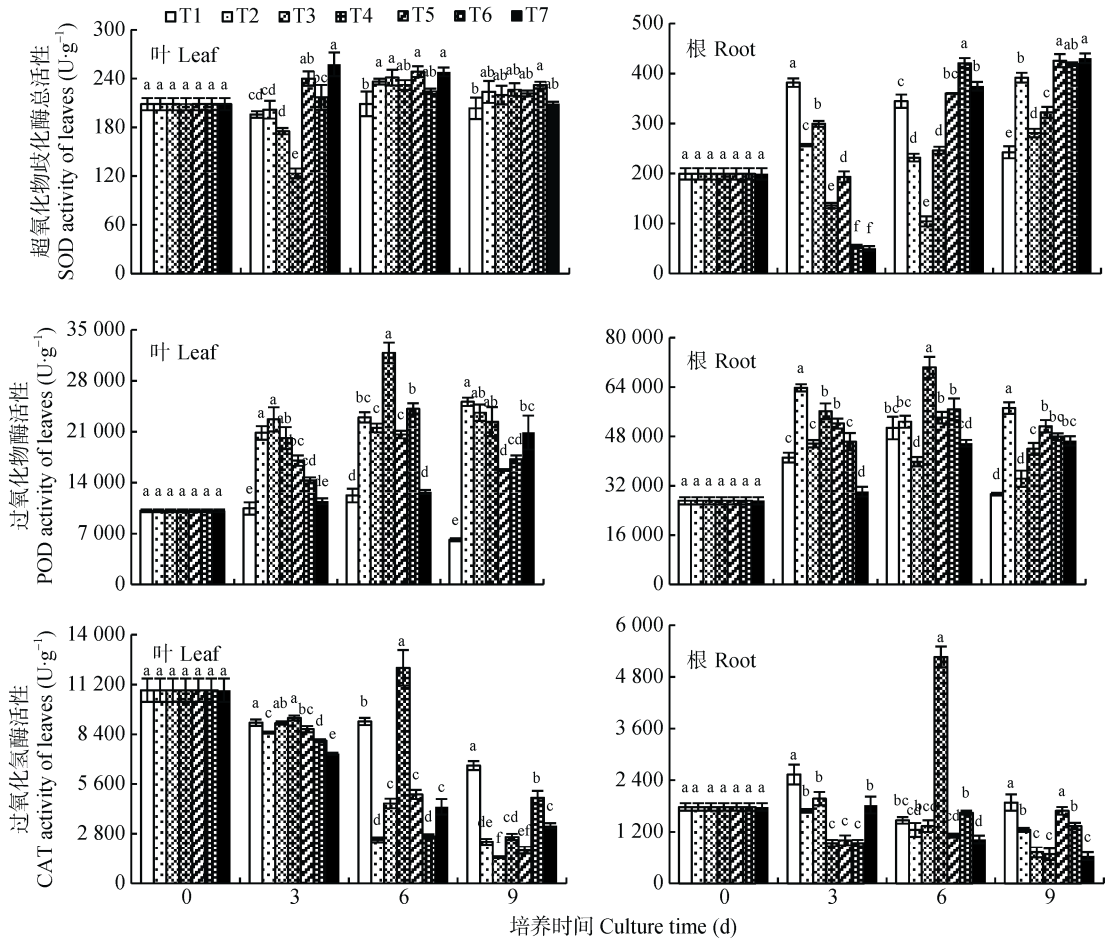

图 8 秋葵种植不同年限的土壤浸提液对番茄叶和根 **SOD、POD** 和 **CAT** 活性的影响

Fig. 8 SOD, POD and CAT activities of tomato seedlings leaves and roots cultured for 0 to 9 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

同一培养时间不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。Different lowercase letters in bars for the same culture time indicate significant differences at 0.05 level among treatments. T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

MDA 是细胞膜脂过氧化反应的重要产物, 通常以 MDA 含量作为膜脂过氧化反应的主要指标, MDA 含量的多少体现了细胞膜被破坏的程度[25]。测定处理 3 d 和 9 d 的番茄幼苗叶片 MDA 含量在 10 a 浸提液处理下随浓度增加呈递增趋势(图 9)。番茄幼苗叶片浸提液处理 3 d 时 MDA 含量显著高于对照 T1, 其中 T7 处理 MDA 含量达 202 μmol·g^{-1}。番茄幼苗根系 MDA 含量呈先上升后下降的趋势。T3-T4 和 T6-T7 MDA 含量整体呈先上升后下降的趋势, 说明秋葵连作土壤浸提液浓度 250 mg·mL^{-1}以上番茄幼苗的根与叶的细胞膜都受到了不同程度的破坏。

3 讨论

种植秋葵土壤的浸提液对番茄种子萌发试验结果表明, 秋葵土壤浸提液导致番茄种子萌发时主根短缩、细胞排列致密、侧根增多且细弱等, 这些影响不仅随秋葵土壤浸提液浓度的递增而加重, 也随秋葵种植年限的增长而增加。这可能是由于秋葵土壤浸提液中存在一些不利于番茄种子萌发和生长的化感物质。许多化感物质能显著抑制植物种子萌发, 并影响种子萌发后幼苗的生长发育[26]。生姜(*Zingiber officinale* Roscoe)茎和叶的水提液能抑制大豆[*Glycine max* (Linn.) Merr.]和北葱(*Allium schoenoprasum* L.)胚根以及下胚轴的生长, 且这种抑制效果随着提取液浓度升高而增强[27]。与此类似, 黑芥(*Brassica nigra* L.)的根、茎、叶以及花的水提取液亦能抑制野燕麦(*Avena fatua* L.)胚根和下胚轴的伸长, 其中胚根对化感物质最为敏感[28]。

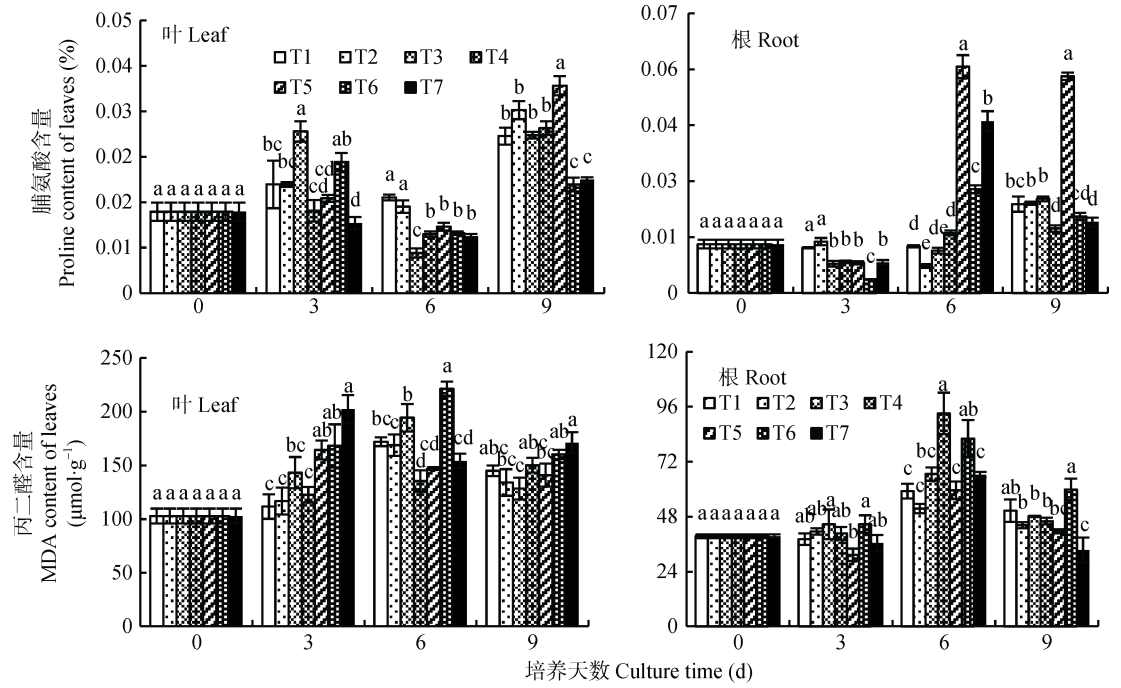

图 9　秋葵种植不同年限的土壤浸提液对番茄幼苗叶和根脯氨酸和丙二醛含量的影响

Fig. 9　Proline and MDA contents of tomato seedlings leaves and roots cultured for 0 to 9 days with extracts of soils planting okra for 1 and 10 years

同一培养时间不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。T1: CK(全素营养液); T2: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T3: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T4: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 1 a 的土壤浸提液; T5: 125 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T6: 250 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液; T7: 500 mg·mL^{-1}的种植秋葵 10 a 的土壤浸提液。Different lowercase letters in bars for the same culture time indicate significant differences at 0.05 level among treatments. T1: nutrient solution; T2: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T3: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T4: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 1 year; T5: 125 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T6: 250 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years; T7: 500 mg·mL^{-1} soil extract planting okra for 10 years.

种植秋葵的土壤中存在不利与番茄苗生长的化感物质, 对番茄幼苗的地下部和地上部都有不同程度的伤害, 尤其根系, 出现根尖数和分根数的增多异常, 根系活力异常低; 但短时间处理对叶绿素 b 含量有一定的促进作用, 而对叶绿素 a 一直存在抑制作用; 对番茄叶和根抗氧化酶活性也有显著影响, 叶和根的抗氧化酶活性、脯氨酸和丙二醛含量随秋葵土壤浸提液处理时间呈先上升后下降趋势, 且秋葵连作时间延长会加重对番茄的毒害。董小艳等[29]研究表明粮食作物、果树、蔬菜、瓜果、花卉等经济作物的连作年限越长其连作障碍就越严重; 王海燕等[30]认为自毒作用是化感作用的组成部分, 是导致连作障碍的主要原因之一。化感物质存在于植物的各部分组织中, 其中包括通过植物根系分泌到土壤中。有研究表明[31-33]化感物质首先是对膜的伤害, 引起植物细胞分裂、光合作用等的变化, 从而影响植物生理生化特性(POD、SOD、CAT 以及激素等), 最终对植物根、茎细胞的生长发育产生抑制作用; 化感物质能影响细胞膜透性, 使细胞生理活动和物质运输发生紊乱, 进而影响原生质体、细胞膜和叶绿体膜的完整性和渗透性, 使叶片中叶绿素含量降低, 并最终造成植物的光合作用速率下降[34]。

研究表明, 秋葵根系分泌物残留在土壤对番茄生长形成毒害, 导致番茄根系活力急剧下降并破坏细胞膜透性, 根系生长不良, 光合色素含量降低, 番茄光能利用率下降, 影响光合功能及碳同化效率, 造成植株生长障碍, 且随着种植年限的增加导致残留分泌物不断积累, 从而进一步加大对番茄的毒害。这与高玲等[14-16]秋葵不能与番茄连作的结论相同, 所以秋葵不能作为番茄的前茬。同时对研究具体是秋葵根系分泌的哪些化感物质导致番茄存在生长障碍存在重要意义。

4　结论

秋葵连作土壤浸提液中存在对番茄生长不利的化感物质, 导致番茄根系活力骤降并破坏细胞膜透性, 影响地下部生长和地上部的光合作用及碳同化效率, 造成番茄生长障碍, 并随种植年限增加化感物质不断积累, 从而进一步加大对番茄的毒害。

参考文献 References

[1] 吴彤东. 设施番茄连作障碍的生态控制关键技术研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2009
WU T D. Research on key technology of ecological controlling the harm of continuous cropping obstacle in protected tomato[D]. Suzhou: Soochow University, 2009

[2] 王建花, 陈婷, 林文雄. 植物化感作用类型及其在农业中的应用[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1173–1183
WANG J H, CHEN T, LIN W X. Plant allelopathy types and their application in agriculture[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(10): 1173–1183

[3] CHOU C H. The role of allelopathy in biochemical ecology: Experience from Taiwan[J]. Biologia Plantarum, 1989, 31(6): 458–470

[4] Einhellig F A. Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy[J]. ACS Symp Ser, 1995, 582: 96-116

[5] EINHELLIG F A. Interactions involving allelopathy in cropping systems[J]. Agronomy Journal, 1996, 88(6): 886–893

[6] 林文雄, 熊君, 周军建, 等. 化感植物根际生物学特性研究现状与展望[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 1–8
LIN W X, XIONG J, ZHOU J J, et al. Research status and its perspective on the properties of rhizosphere biology mediated by allelopathic plants[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(4): 1–8

[7] 林文雄, 陈婷, 周明明. 农业生态学的新视野[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(3): 253–264
LIN W X, CHEN T, ZHOU M M. New dimensions in agroecology[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(3): 253–264

[8] DUKE S O. Allelopathy: Current status of research and future of the discipline: A commentary[J]. Allelopathy Journal, 2010, 25(1): 17–30

[9] 丁永川. 设施番茄连作障碍及防控农艺技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012
DING Y C. Study of succession cropping obstacle and protection agronomic technology in protected tomato[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2012

[10] 葛晓颖, 孙志刚, 李涛, 等. 设施番茄连作障碍与土壤芽孢杆菌和假单胞菌及微生物群落的关系分析[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(3): 514–523
GE X Y, SUN Z G, LI T, et al. Soil *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., and microbial communities under tomato continuous cropping in greenhouse production[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2016, 35(3): 514–523

[11] 张若宇. 番茄可溶性固形物和硬度的高光谱成像检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2014
ZHANG R Y. Detection of soluble solids content and firmness of tomato using hyperspectral imaging[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014

[12] 喻景权, 杜尧舜. 蔬菜设施栽培可持续发展中的连作障碍问题[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(1): 124–126
YU J Q, DU Y S. Soil-sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2000, 31(1): 124–126

[13] 王芳. 茄子连作障碍机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003
WANG F. The mechanism of eggplant (*Solanum Melongena* L.) replanting problem[D]. Beijing: China Agricultural University, 2003

[14] 高玲, 刘迪发, 徐丽. 黄秋葵研究进展与前景[J]. 热带农业科学, 2014, 34(11): 22–29
GAO L, LIU D F, XU L. Research progress and prospects of okra[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2014, 34(11): 22–29

[15] 陈仁柳. 福建省黄秋葵高效生产技术研究及推广[D]. 福州: 福建农林大学, 2014
CHEN R L. Study on the efficiency cultivation techniques and generalization of Okra in Fujian Province[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014

[16] 刘东祥, 叶花兰, 刘国道. 黄秋葵的应用价值及栽培技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(15): 3718–3720
LIU D X, YE H L, LIU G D. Review of the application value and cultivation technique of okra[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(15): 3718–3720

[17] 张金燕, 孙雪婷, 陈军文, 等. 连作三七根际土壤化感物质检测及其提取液对三种作物种子萌发的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(7): 1178–1184
ZHANG J Y, SUN X T, CHEN J W, et al. Allelochemical detection from rhizosphere soil of continuous-cropping *Panax notoginseng* and effects of the extracts on seed germination of three crops[J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(7): 1178–1184

[18] 周亮, 李朝晖, 魏宝阳, 等. 景天三七水培营养液配方研究[J]. 湖南农业科学, 2017, (5): 25–27
ZHOU L, LI Z H, WEI B Y, et al. Study on hydropinic nurtient solution formula of *Sedum.k.F*[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2017, (5): 25–27

[19] 石婷婷, 翟奥博, 赵文, 等. 达氏鳇大型鱼体剥制标本的制作研究[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(2): 205–210
SHI T T, ZHAI A B, ZHAO W, et al. Stripped specimen preparation of large Kaluga *Huso dauricus*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(2): 205–210

[20] 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, 2000
LI H S. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000

[21] 李锋, 李木英, 潘晓华, 等. 不同水稻品种幼苗适应低磷胁迫的根系生理生化特性[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 48–52
LI F, LI M Y, PAN X H, et al. Biochemical and physiological characteristics in seedlings roots of different rice cultivars under low-phosphorus stress[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2004, 18(1): 48–52

[22] 张恩和, 张新慧, 王惠珍. 不同基因型春蚕豆对磷胁迫的适应性反应[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1589–1593
ZHANG E H, ZHANG X H, WANG H Z. Adaptable effects of phosphorus stress on different genotypes of faba-bean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(8): 1589–1593

[23] 周晓星. 柳属植物对重金属镉胁迫的生长与生理响应[D].

北京: 中国林业科学研究院, 2012
ZHOU X X. Growth and physiological responses of *Salix* to cadmium stress[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2012

[24] CLAUSSEN W. Growth, water use efficiency, and proline content of hydroponically grown tomato plants as affected by nitrogen source and nutrient concentration[J]. Plant and Soil, 2002, 247(2): 199–209

[25] 刘艳阳, 李俊周, 陈磊, 等. 低温胁迫对小麦叶片细胞膜脂质过氧化产物及相关酶活性的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(4): 70–73
LIU Y Y, LI J Z, CHEN L, et al. Effect of low temperature stress on peroxidation product of membrane lipids and activity of related enzymes in wheat seedling leaves[J]. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(4): 70–73

[26] 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
CHEN F, MENG Y J, SHUAI H W, et al. Effect of plant allelochemicals on seed germination and its ecological significance[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(1): 36–46

[27] HAN C M, PAN K W, WU N, et al. Allelopathic effect of ginger on seed germination and seedling growth of soybean and chive[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116(3): 330–336

[28] TURK M A, TAWAHA A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.)[J]. Crop Protection, 2003, 22(4): 673–677

[29] 董小艳, 程智慧, 张亮. 百合根系分泌物对 4 种观赏植物的化感作用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(9): 113–117
DONG X Y, CHENG Z H, ZHANG L. Allelopathy of lily root exudates on some receiver ornamental plants[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(9): 113–117

[30] 王海燕, 蒋展鹏. 化感作用及其在环境保护中的应用[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(6): 86–89
WANG H Y, JIANG Z P. Allelopathy and its use in environmental protection[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2002, 3(6): 86–89

[31] 童朝阳, 韩丽梅, 邹永久. 大豆专用肥对轮作、连作大豆叶片超微结构的影响[J]. 大豆科学, 1998, 17(4): 358–362
TONG Z Y, HAN L M, ZOU Y J. Effect of soybean specificy complex fertilizer of ultrastructre of chloroplast under different cropping systems[J]. Soybean Science, 1998, 17(4): 358–362

[32] HALLAK A M G, DAVIDE L C, SOUZ I F. Effects of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) root exudates on the cell cycle of the bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) root[J]. Genetics and Molecular Biology, 1999, 22(1): 95–99

[33] 闵红. 大棚蔬菜连作障碍机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010
MIN H. The study of mechanization of continuous cropping in greenhouse[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010

[34] BAZIRAMAKENGA R, LEROUX G D, SIMARD R R. Effects of benzoic and cinnamic acids on membrane permeability of soybean roots[J]. Journal of Chemical Ecology, 1995, 21(9): 1271–1285