

南瓜作砧木嫁接冬瓜根系分泌物 对土壤微生态的影响

符厚隆^{1,2}, 廖道龙^{1,2}, 刘子凡¹, 云天海^{2,3}, 胡艳平^{2,3}, 朱昌飞¹

(1. 海南大学热带作物学院 海口 570228; 2. 海南省农业科学院蔬菜研究所 海口 571100;
3. 海南省蔬菜生物学重点实验室 海口 571100)

摘要: 采用室内模拟法, 在未种植过冬瓜的土壤中加入自根冬瓜、自根南瓜和嫁接冬瓜根系分泌物后, 测定土壤基本理化性质、土壤酶活性和土壤可培养微生物数量的变化, 以探究南瓜作砧木嫁接克服冬瓜连作障碍的内在机制, 为砧木的选育及其配套栽培技术的应用提供理论依据。结果表明, 相对于自根冬瓜根系分泌物, 嫁接冬瓜根系分泌物能提高根际土壤 pH 及有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量, 增加土壤脲酶与酸性磷酸酶活性、可培养细菌与放线菌数量, 降低可培养真菌数量; 相对于自根南瓜根系分泌物, 嫁接冬瓜根系分泌物可显著降低土壤脲酶和酸性磷酸酶活性; 添加自根南瓜根系分泌物、自根冬瓜根系分泌物、嫁接冬瓜根系分泌物处理的土壤 pH 值、碱解氮含量、脲酶活性和酸性磷酸酶活性均呈现出随处理时间的变化而变化。综上所述, 南瓜砧木与接穗之间存在互作效应, 嫁接冬瓜可通过根系分泌物的作用来改善土壤质量, 形成并维持一个特殊的微生态环境, 提高土壤生态系统的稳定性。

关键词: 冬瓜; 南瓜; 嫁接; 根系分泌物; 土壤微生态; 连作障碍

中图分类号: S642.1+S642.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2022)06-056-06

Root exudates affect soil microecology of grafted wax gourd with pumpkin as rootstock

FU Houlong^{1,2}, LIAO Daolong^{1,2}, LIU Zifan¹, YUN Tianhai^{2,3}, HU Yanping^{2,3}, ZHU Changfei¹

(1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, Hainan, China; 2. Hainan Province Academy of Agricultural Sciences Institute of Vegetables, Haikou 571100, Hainan, China; 3. Hainan Province Key Laboratory of Vegetable Biology, Haikou 571100, Hainan, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis for the breeding of rootstocks and their application to integrated cultivation technique, the mechanism of grafted wax gourd with pumpkin as rootstock to overcome continuous cropping obstacle was studied. Adding root exudates of self-rooted wax gourd, self-rooted pumpkin and grafted wax gourd into the soil unplanted wax gourd, the dynamic changes of the soil physical and chemical properties, the soil enzyme activities and culturable microorganism number were measured by indoor simulation method. The result showed that root exudates of grafted wax gourd increased pH, organic matter, alkali hydrolytic nitrogen, available phosphorus and available potassium contents in rhizosphere soil, increased the activities of urease and phosphatase, the number of bacteria and actinomycetes, and decreased the number of fungi compared with root exudates of self-rooted wax gourd. Root exudates of grafted wax gourd decreased soil urease and acid phosphatase activities compared with root exudates of self-rooted pumpkin, and pH value, alkali hydrolytic nitrogen, urease and acid phosphatase activities of treatments with root exudates of self-rooted wax gourd, self-rooted pumpkin and grafted wax gourd varied as treatment time. These data suggest that there was an interaction effect between rootstock and scion, and the disease resistance of rootstock was weakened to some extent during the process of transmission to scion, and grafted wax gourd can form and maintains a special microecological environment in the rhizosphere through the effect of root exudates to improve the stability of soil ecosystem.

Key words: Wax gourd; Pumpkin; Grafted; Root exudate; Soil microecology; Continuous cropping obstacle

收稿日期: 2021-11-15; 修回日期: 2021-12-24

基金项目: 省属科研院所技术创新专项项目(jscx202014); 国家大宗蔬菜产业海南试验站(CARS-25)

作者简介: 符厚隆, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为热带作物高效栽培。E-mail: 979207401@qq.com

通信作者: 廖道龙, 男, 副研究员, 研究方向为瓜菜栽培与育种。E-mail: ldlshc@sina.com

刘子凡, 男, 教授, 研究方向为热带作物高效栽培。E-mail: jiagnxilaobao@163.com

冬瓜 [*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.] 是葫芦科冬瓜属一年生蔓性草本植物,因其价格稳定,营养丰富,深受消费者欢迎。海南是我国冬瓜生产和供应的重要基地之一,2019年海南种植冬瓜面积达 8230 hm²^[1],且仍有不断增加的趋势。但是适合冬瓜种植土地面积有限,瓜农不得不长期连作。随着连作年限的增加,冬瓜产量下降、品质变劣,而相应的农资和人力投入不断增加,形成难以解决的恶性循环问题,成为制约冬瓜产业健康可持续发展的重要因素^[2]。

当前,有效防控冬瓜土壤连作障碍的主要措施有使用化学杀菌剂和选育抗性品种。化学措施有效性低,易出现抗药性,破坏土壤、污染环境,与“一控两减三基本”的基本目标相背离^[3-5];选育抗性品种虽能从根本上解决问题,但由于抗重茬品种推广的种类较少,价格较高,因此使用嫁接苗是目前可以有效缓解连作障碍的首选方法,但是,砧木的正确选择是嫁接栽培能否克服连作障碍的关键^[6-8]。海砧1号专用砧木具有高抗枯萎病特性,嫁接后的冬瓜枯萎病病情指数为0^[9],且该砧木嫁接冬瓜的产量^[10]、氮吸收效率比传统黑籽南瓜砧木嫁接的冬瓜高^[11]。然而,该砧木减轻冬瓜连作障碍的机制还不清楚。

根系分泌的自毒物质是引起连作障碍的主要原因之一^[12-15],其主要通过影响土壤微生态环境,选择性增加土壤中某些微生物的种类,导致土壤酶活性和土壤微生物结构发生变化,从而影响土壤病原菌生长,加重或减缓连作障碍^[16-17]。海砧1号嫁接冬瓜后根系分泌物的成分和含量均发生了变化^[18],但嫁接后其对土壤微生态的研究还未见报道。为此,笔者以海砧1号为砧木材料,通过分析嫁接冬瓜根系分泌物对土壤微生态的影响,来探究其嫁接克服冬瓜连作障碍的机制,为砧木的选育及其配套栽培技术的应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

冬瓜为铁柱2号,由广东省农业科学院蔬菜研究所提供,南瓜为海砧1号,由海南省农业科学院蔬菜研究所提供,嫁接冬瓜是以铁柱2号为接穗、海砧1号为砧木。室内模拟试验用土(简称模拟用土)采自海南大学海甸校区农科基地。土壤为未种植过冬瓜的0~20 cm土壤,其基本理化性质为:pH 5.69;有机质含量(w,后同)0.37%;碱解氮含量

22.39 mg·kg⁻¹;速效磷含量 20.34 mg·kg⁻¹;速效钾含量 45.32 mg·kg⁻¹,过筛风干。

1.2 根系分泌物的获得

根系分泌物采用土培收集法获得。2019年12月5日,将生长至3叶1心时的嫁接冬瓜(gw)、自根冬瓜(sw)和自根南瓜(sp)3种幼苗种植于海南澄迈县永发试验基地设施大棚中,常规管理。2020年3月21日挖取sp、sw和gw植株,抖取土壤后获得携带根际土壤的植株根系,加入90 mL的去离子水和若干个玻璃珠封口后放在振荡培养箱中振荡24 h,转速约150 r·min⁻¹,取出根系,过滤、离心,得上清液,用0.45 g的滤膜抽滤^[19],获得sp、sw和gw3种来源的根系分泌物,4℃冰箱保存备用。

1.3 试验设计

采用室内模拟试验法。设3个处理,分别为添加sp、sw和gw根系分泌物(用RE_{sp}、RE_{sw}和RE_{gw}表示)。将模拟用土加入至洗净的组培瓶,每瓶100 g,每处理1瓶,4次重复,分别加0.1 g·mL⁻¹ RE_{sp}、RE_{sw}和RE_{gw} 12 mL,搅匀,完全随机放置于28℃培养箱培养。

1.4 测定指标与方法

分别于试验第7天、第14天和第21天采集土壤,每次约30 g,一部分置于-20℃冰箱中密封保存用于测定土壤可培养微生物数量和土壤酶活性,一部分风干用于测定土壤理化性质。

1.4.1 土壤可培养微生物数量 采用平板计数法测定真菌、细菌和放线菌的数量。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌采用马丁氏培养基,放线菌采用改良的高氏一号培养基,计算干土中微生物菌落数(CFU·g⁻¹)。

1.4.2 土壤理化性质的测定 采用电位法测定pH值;采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定有机质含量;采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量;采用盐酸-氟化铵法测定速效磷含量;采用1 mol·L⁻¹乙酸铵浸提-火焰光度计法^[20]测定速效钾含量。

1.4.3 土壤酶活性 采用对应的试剂盒测定土壤脲酶和酸性磷酸酶活性。

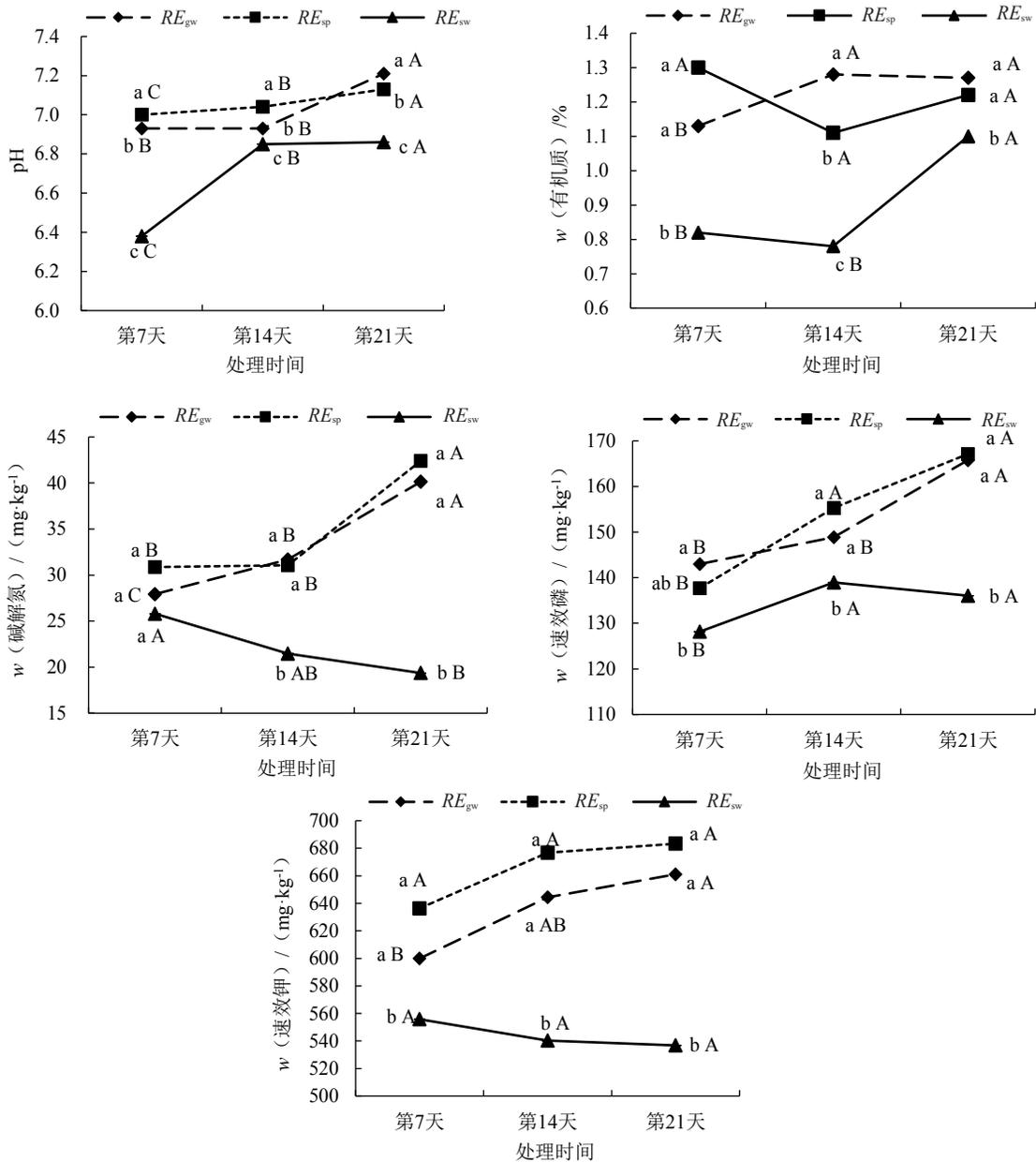
1.5 数据处理

数据采用DPS 9.05以及Excel 2016软件处理,多重比较选用Duncan's新复极差法。

2 结果分析

2.1 对土壤理化性质的影响

由图1可知,无论是处理后第7天、第14天还



注:不同小写字母表示同一处理时间不同根系分泌物来源在 0.05 水平差异显著;不同大写字母表示同一根系分泌物来源不同处理时间在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同来源根系分泌物对土壤理化性质的影响

是第 21 天, RE_{sw} 处理的土壤 pH 值及有机质、速效钾含量均显著小于 RE_{gw} 和 RE_{sp} 处理。处理后第 7 天和第 14 天, RE_{sp} 处理的土壤 pH 值显著大于 RE_{gw} 处理, 而处理后第 21 天, RE_{gw} 处理的土壤 pH 值显著大于 RE_{sp} 处理。处理后第 14 天, RE_{gw} 处理的有机质含量显著高于 RE_{sp} 处理, 但在处理后第 7 天和第 21 天两者间均无显著差异, 不论是处理后第 7 天、第 14 天和第 21 天, RE_{gw} 和 RE_{sp} 处理间速效钾含量无显著差异。

另外, 不论是处理后第 7 天、第 14 天还是第 21 天, RE_{sp} 处理与 RE_{gw} 处理之间碱解氮和速效磷含量

均无显著差异, RE_{sp} 和 RE_{gw} 处理在第 14 天与第 21 天的碱解氮和速效磷含量均显著大于 RE_{sw} 处理, 处理后第 7 天土壤速效磷含量 RE_{sw} 处理显著小于 RE_{gw} 处理。

从图 1 还可知, RE_{gw} 处理的土壤 pH 及有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量均呈现出随着处理时间的延长而不断增加的趋势; RE_{sp} 处理除有机质含量和速效钾含量随处理时间延长无显著差异外, 土壤 pH 及碱解氮、速效磷含量呈现随时间的延长不断增大的趋势。 RE_{sw} 处理的土壤 pH 呈现随处理天数的增加而不断增加的趋势, 有机质含量随处理时

间的延长呈先下降后上升的趋势,碱解氮含量呈不断降低的趋势,速效磷则是随处理时间的延长呈现先上升后下降的趋势,速效钾含量随处理天数的增加无显著差异。

2.2 对土壤脲酶和酸性磷酸酶活性的影响

由图2可知,处理后第7天, RE_{gw} 、 RE_{sp} 和 RE_{sw} 3个处理之间脲酶和酸性磷酸酶活性均无显著差异;在处理后第14天和第21天,各处理之间脲酶和酸性磷酸酶活性均存在显著差异,均表现为 RE_{sp} 处理 $>RE_{gw}>RE_{sw}$ 处理。

由图2还可知, RE_{sw} 处理的脲酶活性随着时间的延长呈现先下降后上升的趋势, RE_{sw} 处理的酸性磷酸酶活性呈现随处理时间的延长而不断降低的趋势; RE_{gw} 处理的脲酶活性和酸性磷酸酶活性与 RE_{sp} 处理的酸性磷酸酶活性均随处理时间的延长而不断增大, RE_{sp} 处理的脲酶活性则是随着处理时间的延长呈现先上升后下降的趋势。

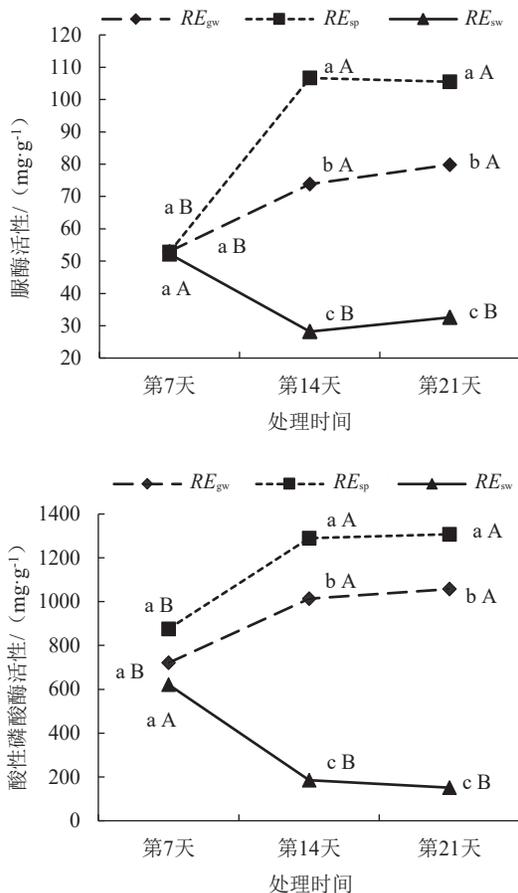


图2 不同来源根系分泌物对土壤脲酶和酸性磷酸酶活性的影响

2.3 对土壤可培养微生物数量的影响

由图3可知,处理后第7天和第14天, RE_{gw} 、 RE_{sp} 和 RE_{sw} 处理之间土壤可培养细菌和真菌数量均

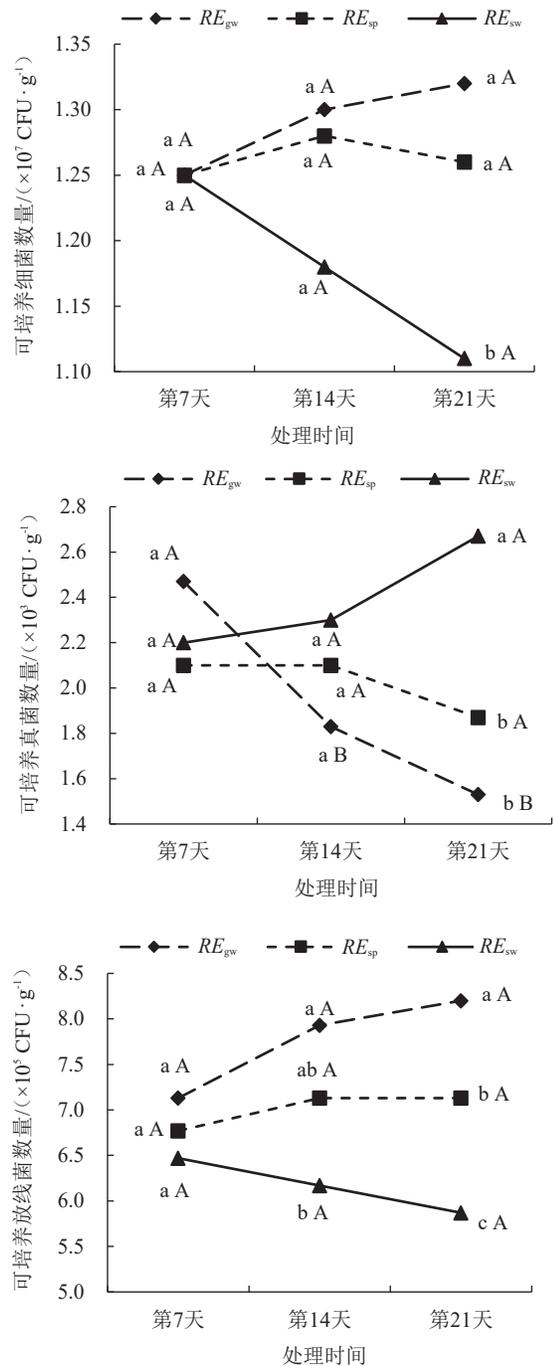


图3 不同来源根系分泌物对土壤可培养微生物数量的影响

无显著差异。处理后第21天, RE_{sw} 处理的土壤可培养细菌数量显著低于 RE_{gw} 和 RE_{sp} 处理,而 RE_{gw} 和 RE_{sp} 处理之间无显著差异; RE_{sw} 处理土壤可培养真菌数量显著大于 RE_{sp} 和 RE_{gw} 处理,而 RE_{sp} 和 RE_{gw} 处理之间无显著差异。处理后第7天, RE_{gw} 、 RE_{sp} 和 RE_{sw} 处理之间的土壤放线菌数量均无显著差异,处理后第14天, RE_{gw} 处理土壤放线菌数量显著大于 RE_{sw} 处理;但 RE_{sw} 和 RE_{sp} 处理之间土壤放线菌数量无显著差异;处理后第21天,3种处理之间土壤可

培养放线菌数量均存在显著性差异,且表现为 RE_{sw} 处理 $< RE_{sp}$ 处理 $< RE_{gw}$ 处理。

从图3还可知, RE_{gw} 处理土壤可培养真菌数量呈现随处理时间的延长而逐渐下降趋势; RE_{sw} 和 RE_{sp} 处理土壤可培养细菌、真菌和放线菌数量以及 RE_{gw} 处理的土壤可培养细菌和放线菌数量均在不同处理后不同天数间无显著差异。

2.4 土壤微生物各指标的相关分析

由表1可知,土壤pH值与有机质、速效磷、速效钾含量呈显著或极显著正相关,有机质含量与速效钾含量呈显著正相关,碱解氮含量与速效磷含量、速效钾含量、脲酶活性、酸性磷酸酶活性、可培

养细菌数量、可培养放线菌数量呈显著或极显著正相关,速效磷含量与速效钾含量、脲酶活性、酸性磷酸酶活性、土壤可培养放线菌数量呈显著或极显著正相关,速效钾含量与脲酶活性、酸性磷酸酶活性、土壤可培养细菌数量、土壤可培养放线菌数量呈显著或极显著正相关,脲酶活性与酸性磷酸酶活性、土壤可培养细菌数量呈显著或极显著正相关,酸性磷酸酶活性与可培养细菌数量、可培养放线菌数量呈显著或极显著正相关,可培养细菌数量与可培养放线菌数量呈极显著正相关。除此之外,可培养真菌数量与碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量、酸性磷酸酶活性、可培养细菌数量、可培养放线菌数

表1 土壤微生物各指标的相关分析

指标	pH	有机质含量	碱解氮含量	速效磷含量	速效钾含量	脲酶活性	酸性磷酸酶活性	细菌数量	真菌数量
有机质含量	0.732*								
碱解氮含量	0.636	0.639							
速效磷含量	0.829**	0.571	0.863**						
速效钾含量	0.712*	0.737*	0.894**	0.826**					
脲酶活性	0.521	0.499	0.822**	0.809**	0.915**				
酸性磷酸酶活性	0.527	0.621	0.878**	0.747*	0.969**	0.951**			
细菌数量	0.331	0.462	0.777*	0.569	0.784*	0.702*	0.838**		
真菌数量	-0.481	-0.480	-0.851**	-0.720*	-0.747*	-0.653	-0.730*	-0.840**	
放线菌数量	0.551	0.650	0.779*	0.708*	0.770*	0.642	0.750*	0.901**	-0.841**

注:*表示在0.05水平差异显著,**表示在0.01水平差异极显著。

量均呈显著或极显著负相关关系。

3 讨论与结论

连作障碍的产生与植物产生的化感物质密切相关^[21-22]。长期种植单一作物,植株分泌物和残留物不断积累,何志鸿等^[23]指出大豆连作减产的主要原因可能是大豆在生长过程中根系分泌了某些物质。作物连作后形成的特殊土壤微生态环境也是造成连作障碍的主要原因^[24]。土壤微域环境是土壤物理、化学和生物学特征的联合^[25]。土壤养分是土壤中能够直接或间接转化而被植物吸收的矿质元素;土壤酶参与土壤中物质和能量的转化;土壤中大部分的微生物参与矿物质和有机质的转化,作为养分转化的驱动因子,在土壤结构和肥力的形成过程中发挥重要作用。

土壤微域环境的养分积累与植物根系分泌物的种类和数量息息相关。植物根系分泌物在植物和环境的相互作用中起着信息传递的作用。根系分泌物中的有机酸可以活化根际中的营养元素,增加营养元素的有效性^[26],有机酸及酸性基团所释放

的 H^+ 会使土壤酸化^[27]。酸化土壤中,细菌多样性下降,真菌增多,打破了微生物群落的平衡,促使土传病原菌大量增殖,加剧土传病害发生^[28]。Deltour等^[29]研究表明,高土壤pH能增强土壤抑镰刀菌枯萎病能力,施入碱性肥料能有效地抑制尖孢镰刀菌的萌发和致病。Haynes等^[30]研究表明,在土壤中添加石灰可以提高土壤pH并降低枯萎病的发病率。本研究结果表明,相对自根冬瓜,嫁接冬瓜根系分泌物可使植株根际土壤pH及有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量提高,土壤脲酶和酸性磷酸酶活性升高,可培养细菌和放线菌数量增加,可培养真菌数量下降;添加自根南瓜根系分泌物、自根冬瓜根系分泌物、嫁接冬瓜根系分泌物处理的土壤pH值、碱解氮含量、脲酶活性和酸性磷酸酶活性均呈现出随处理时间的变化而变化。另外,研究还表明,相对自根南瓜,嫁接冬瓜根系分泌物可降低土壤脲酶和酸性磷酸酶活性,这表明砧木与接穗之间存在着互作效应,砧木的抗病性向接穗传递过程中在一定程度上会削弱。

砧木与接穗间的相互作用可改变嫁接体原有

的生理生化反应^[31-32],继而影响根系分泌物的种类与数量。抗性砧木可通过产生根系分泌物影响根际微生物群落并激活宿主的有效防御反应,降低土壤中病原菌的数量^[33]。

综上所述,嫁接冬瓜可通过根系分泌物的作用来改善土壤质量,形成并维持一个特殊的微生态环境,提高了土壤生态系统的稳定性,这是南瓜嫁接克服连作障碍的机制之一。

参考文献

- [1] 海南省统计局. 海南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [2] 廖道龙, 冯学杰, 朱白俾, 等. 冬瓜嫁接砧木评价及其产量与性状的相关性分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(8): 1434-1440.
- [3] 帅正彬, 陈慧琨. 冬瓜枯萎病的防治[J]. 四川农业科技, 1994, (5): 17-18.
- [4] 谢大森, 何晓明, 彭庆务, 等. 冬瓜枯萎病的抗性遗传规律[J]. 热带作物学报, 2009, 30(7): 1005-1008.
- [5] 张智钊, 吴锦富. 冬瓜疫病、枯萎病的识别与防治[J]. 福建热作科技, 1999, 24(2): 36.
- [6] 廖道龙, 伍壮生, 邓长智. 海南冬瓜抗枯萎病嫁接砧木筛选研究[C]//中国园艺学会 2014 年学术年会论文摘要集(2014-12-26, 南昌), 《园艺学报》编辑部, 2014: 152.
- [7] 王春霞. 茄子嫁接栽培对黄萎病及其他土传病害防治的研究[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(1): 155.
- [8] 伍倩慧, 司雨, 梁见冰, 等. 黑皮冬瓜嫁接砧木的筛选与鉴定[J]. 长江蔬菜, 2016(6): 54-57.
- [9] 朱白俾, 胡艳平, 云天海, 等. 冬瓜砧木新品种“海砧 1 号”的选育[J]. 北方园艺, 2018(10): 208-210.
- [10] 廖道龙, 冯学杰, 朱白俾, 等. 冬瓜嫁接砧木评价及其产量与性状的相关性分析[J]. 南方农业学报, 2017, 48(8): 1434-1440.
- [11] 廖道龙, 刘子凡, 陈贻诵, 等. 一种冬瓜减氮增产施肥方法: 201811378403.4[P]. 2019-01-18.
- [12] 王广印, 韩世栋, 陈碧华, 等. 黄瓜种子及其萌发期的化感作用研究[J]. 西北植物学报, 2012, 32(8): 1654-1663.
- [13] 陈玲, 董坤, 杨智仙, 等. 连作障碍中化感自毒效应及间作缓解机理[J]. 中国农学通报, 2017, 33(8): 91-98.
- [14] 李雪枫, 王坚, 胡坚, 等. 瓜类蔬菜化感作用研究进展[J]. 北方园艺, 2019(16): 136-145.
- [15] 马云华, 王秀峰, 魏珉, 等. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2149-2153.
- [16] QU X H, WANG J G. Effect of amendments with different phenolic acids on soil microbial biomass activity and community diversity[J]. Applied Soil Ecology, 2008, 39(2): 172-179.
- [17] 张凤丽, 周宝利, 王茹华, 等. 嫁接茄子根系分泌物的化感效应[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 750-753.
- [18] 袁飞, 刘子凡, 廖道龙, 等. 南瓜嫁接提高冬瓜枯萎病抗性的化感机制[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(5): 26-29.
- [19] 袁飞, 刘子凡, 闫文静, 等. 木薯根系分泌物与土壤浸出液对橡胶树 2 种致病菌的化感效果[J]. 热带作物学报, 2020, 41(8): 1708-1713.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000, 39-114.
- [21] BOOKER F L, BLUM U FISUS E L. Short-term effects of ferulic acid on uptake and water relations in cucumber seedlings[J]. Journal of Experimental Botany, 1992, 43(5): 649-655.
- [22] YU J Q, MATSUI Y. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on the ion uptake by cucumber seedling[J]. Journal of Chemical Ecology, 1996, 22(3): 812-834.
- [23] 何志鸿, 许艳丽, 刘忠堂, 等. 大豆重迎茬减产的原因及农艺对策研究: 重迎茬大豆的根系分泌物与根茬腐解物[J]. 大豆科技, 2011(4): 7-14.
- [24] LEWIS J A, PAPAIVIZAS G.C. Biocontrol of plant diseases: the approach for tomorrow[J]. Crop Protection, 1991, 10(2): 95-105.
- [25] BREJDA J J, KARLEN D L, SMITH J L, et al. Identification of regional soil quality factors and indicators II. Northern Mississippi Loess Hills and Paloustr Prairie[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(6): 2125-2135.
- [26] 兰忠明, 林新坚, 张伟光, 等. 缺磷对紫云英根系分泌物产生及难溶性磷活化的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 45(8): 1521-1531.
- [27] 李浩成, 左应梅, 杨绍兵, 等. 三七根系分泌物在连作障碍中的生态效应及缓解方法[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(8): 159-167.
- [28] 任改弟, 王光飞, 马艳. 根系分泌物与土传病害的关系研究进展[J]. 土壤, 2021, 53(2): 229-235.
- [29] DELTOUR P, FRANCA S C, LIPARINI PEREIR O, et al. Disease suppressiveness to Fusarium wilt of banana in an agroforestry system: Influence of soil characteristics and plant community[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2017, 239: 173 - 181.
- [30] HAYNES R.J, NAIDU R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1998, 51(2): 123-137.
- [31] 刘德兴, 荆鑫, 焦娟, 等. 嫁接对番茄产量、品质及耐盐性影响的综合评价[J]. 园艺学报, 2017, 44(6): 1094-1104.
- [32] 孙敬爽, 李少峰, 董辰希, 等. 嫁接植物体中 RNA 分子长距离传递研究进展[J]. 林业科学, 2014, 50(11): 158-165.
- [33] RUMBERGER A, YAO S R, MERWIN I A, et al. Rootstock genotype and orchard replant position rather than soil fumigation or compost amendment determine tree growth and rhizosphere bacterial community composition in an apple replant soil[J]. Plant and Soil, 2004, 264(1): 247-260.