

doi:10.11937/bfyy.20164469

设施土壤连作障碍防控技术研究进展

缪其松^{1,2}, 张 聪¹, 广建芳¹, 陈立华¹, 邵孝侯¹, 张燕燕²

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市蔬菜科学研究所, 江苏 南京 210095)

摘 要:随着我国现代设施农业的高速发展,在有限土地资源上进行大规模专一作物的连续种植,造成了土壤养分失衡、土壤酸化、次生盐渍化以及土传病原菌大量积累,导致了大面积的连作障碍。针对连作障碍,人们进行了大量研究,如利用土壤灭菌技术、轮作、间作、套作、抗连作品种的选用与嫁接栽培、合理灌溉与施肥、生物防治以及强还原土壤灭菌法等。这些方法虽然均有一定防控效果,但也有不足之处,所以高效、可持续、多功能的防控方法仍然是设施土壤连作障碍防控技术研究重点。

关键词:连作障碍;灌溉与施肥;微生物制剂;防控

中图分类号:S 626 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)16-0180-06

随着我国现代农业的发展,保护地栽培已成为中国现代设施农业的主体部分,我国人均耕地面积少,农民与农场经营者为了在有限的土地上追求高产量和高效益,常年在同一块土地上种植同一种经济作物且过度灌溉和施肥,导致大面积的连作障碍^[1]。因过度灌溉和化肥流失引发的水肥资源浪费、农业面源污染和地下水硝态氮超标,造成了生态环境恶化并带来了严重的食品安全问题^[2-4]。连作造成了土壤有效养分含量下降、植株根系活力降低、长势变差、产量品质下降以及土壤微生态系统失衡,成为设施农业可持续发展的限制瓶颈^[5-6]。人们对土壤连作障碍的防控进行了大量研究,绿色可持续、高效的防控方法成为研究重点^[7]。

1 连作障碍产生的原因

1.1 土壤理化性质恶化

保护地长期连作造成土壤孔隙度与透气性降低、容重增大、土壤板结等问题,使植物根系生长受阻,影响植株生长发育^[8];连作易造成土壤养分的分布不均衡,设施耕层中土壤有机质、全氮、速效磷、铜、铁和锰含量增加,而有效钙、镁、硅、硼等元素则出现亏缺,从而使作物体内各种养分比例失调而出现生理和功能障碍^[9-10]。设施长年或季节性覆盖,改变了自然状态下的水分平衡,设施内水分自下而上运移,温度显著高于露地,土壤矿物分解加剧,加上化肥大量施用,设施内土壤得不到雨水淋洗,导致了设施土壤表层盐分的大量聚集^[11]。土壤次生盐渍化后,土壤溶液中盐浓度增加,从而加大了土壤渗透势,导致植物难以吸收土壤中的养分,造成植物发育不良、产量和品质下降等问题^[12]。

1.2 土壤病虫害严重

单一作物的连续种植形成了特殊的土壤环境,为病原菌和致病线虫等根系病虫害提供了赖以生存的寄主和繁殖场所,使土壤中某些微生物富集,特别是一些病原微生物富集严重,真菌的种类和数量增多,如木霉类等真菌显著增加,细菌与

第一作者简介:缪其松(1984-),男,硕士,农艺师,现主要从事农业生物环境等研究工作。E-mail: mqsqj@163.com.

责任作者:张燕燕(1967-),女,硕士,推广研究员,现主要从事茄子育种等研究工作。E-mail: 584575078@qq.com.

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金资助项目(CX(14)2013)。

收稿日期:2017-02-28

放线菌等有益菌显著减少^[13]。植物土传病害的发生往往是多种病原真菌复合侵染的结果,连作使土壤有害微生物数量逐渐占优势,随着连作障碍程度的增加,土壤微生物区系从细菌型向真菌型转化,根际细菌、放线菌数量减少,真菌数量增加,导致作物减产^[14-15]。黄瓜连作易造成根际微生物总量、细菌、放线菌数随连作年限的增加呈倒“马鞍”形变化,而真菌数量直线增加^[16-17]。线虫的危害一直被认为是引起连作障碍的因素之一,栽培大豆时接种一定的孢囊线虫卵,导致感病品种总根长、根瘤数、根瘤活性指标降低,大量接种线虫卵后,大豆对氮、磷等矿质营养元素的吸收量下降,植株干质量减少,生长受阻^[18]。

1.3 作物根系化感作用

作物正常生长过程会释放特定化学物质,从而影响周围生物及自身的生长发育,这种作用称为化感作用。黄瓜连作时,根系释放酚类物质,并在土壤中积累抑制下茬作物的生长发育;黄瓜根和残株水浸液可抑制种子萌发、阻止胚芽、胚轴生长;在黄瓜根和残株水浸液中添加活性炭有助于根系的生长,降低了毒害作用^[19-20]。西瓜化感研究得出,西瓜根系分泌物可抑制西瓜根系代谢和生长,并影响果实正常膨大,在西瓜连作液中添加活性炭后,一些自毒物质被吸附,其幼苗生长抑制得到一定程度缓解^[21-22]。番茄化感研究证实,自毒物质存在于根系分泌物中,可抑制幼苗生长和种子萌发^[23]。番茄无土栽培研究发现,连作的番茄长势变弱、病害增多,在连作基质中检测到 19 种化感物质^[24];从大豆根系分泌物中分离出香草酸、龙胆酸等化感物质^[25]。甜瓜根系分泌物中含有肉桂酸、水杨酸等 7 种酚酸物质,高浓度甜瓜根系分泌物可抑制甜瓜幼苗生长^[26]。茄子化感研究指出,茄子根系分泌物普遍含有香草醛、肉桂酸等酚酸类物质,也是抑制连作茄子生长的主要物质,且低浓度地上植株水溶解液即可抑制茄子胚根伸长^[27-28]。

2 设施作物连作障碍主要抑制技术

2.1 土壤灭菌

土壤灭菌的主要目的是消除土壤中存在的有害微生物对设施作物生长的抑制作用,同时不影响土壤的物理化学性质。TUOMINEN 等^[29]研

究了甲醛灭菌、氯化汞灭菌、高温高压灭菌、 γ 射线灭菌 4 种方法对沉积物中微生物活性的影响,结果表明,甲醛灭菌去除微生物效果最好,对沉积物的物理化学性质影响很小,另外 3 种方法去除微生物效果不佳,且增加了溶解氮的含量。 γ 射线灭菌使作物纤维素等碳水化合物解离^[30];研究表明高压灭菌导致土壤黏粒凝结,但不影响土壤黏土矿物的 X 射线衍射图谱,有些土壤的速效氮、速效磷和速效硫含量在 γ 射线灭菌后增加,环氧丙烷对土壤进行灭菌使土壤 pH 显著增加,氯仿灭菌造成硫酸钾提取的有机碳含量增加^[31-36]。

2.2 合理轮作、间作、套作

轮作有利于改善连作土壤中微生物结构,增强微生物活性和繁殖能力;增强土壤转化酶、脲酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶活性;提高土壤肥力,改善作物生长发育,提高产量和品质^[37-38]。水旱轮作可有效改善土壤次生盐渍化导致的连作障碍,旱作时,土壤中微生物以好气型真菌为主;水作时,土壤中微生物以厌氧型细菌为主,抑制了旱作时土壤中积累的病原真菌,且盐渍可通过水分的下渗而淋溶,因此水旱轮增加了有益微生物的数量,使土壤生态环境得到一定修复^[39]。间作指通过合理配植各类植物,形成多种类、多层次、多功能的植物复合体,减少单一作物连作导致的某些养分积累;减少土壤无效蒸腾,增强植物对土壤水分的利用和循环;增加植物叶面积指数,提高净光合速率;丰富根际微生物区系,减轻病虫害发生^[40]。葱蒜类蔬菜与辣椒间作,其根系分泌物可有效杀灭土壤中特定病原微生物,降低辣椒疫病的发病率^[41];线辣椒与冬小麦、线辣椒与玉米套种间作,均可显著降低线辣椒病毒病的发病率,提高线辣椒的品质和产量^[42]。

2.3 抗连作品种的选用与嫁接栽培

不同作物或同类不同品种,其种植特性和抗病性有很大不同,选择抗(耐)品种也是解决或减轻连作障碍的重要途径。嫁接是防止土壤病害传播、克服连作障碍的重要栽培方法,广泛应用于黄瓜、西瓜、茄子等蔬菜作物^[43-48]。使用南瓜作为嫁接砧木,可增强黄瓜对枯萎病、白粉病、霜霉病、根结线虫的抗性^[49];黄瓜嫁接后对低温和高温的耐受性得到显著提高,衰老过程被延迟^[50-51];使

用 0.3% NaCl 盐胁迫处理黑籽南瓜嫁接后的黄瓜植株,其高度、叶面积、产量的抑制率均低于自根苗,说明嫁接黄瓜的抗盐性得到提高^[52-54];番茄嫁接后,其光合指标均高于自根苗,这可能也是嫁接植株更耐低温的原因之一^[55];茄子嫁接后,体内苯丙氨酸裂解酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、酯酶(EST)活性显著上升,并保持较高的活跃程度^[56-57];茄子嫁接影响了根际环境,减轻了化感物质对茄子生长发育的影响,在高浓度的化感物质逆境下显示出较强生长优势^[58]。

2.4 合理灌溉与施肥

水分与肥料在作物营养及生长发育中起着极其重要的作用,灌溉水和降雨等只有转化为土壤水分后才能被作物吸收利用^[59]。国内外大量研究结果证实,土壤水分和土壤氮素不足会降低作物产量,但过量使用氮肥及土壤水分过多又会导致作物碳代谢失调和渍害,还会降低氮肥和水分的利用率,引发周边地表水体和地下水污染,间接给食品安全带来危害,水肥合理配合下,氮肥利用率提高,氮肥的施用量相比传统灌溉施肥方式可显著减少,果实单果体积增加^[60-61]。设施栽培黄瓜采用水肥一体化技术,设施内土壤团粒结构得到改善、孔隙度增加,有效调节了土壤水、气、热的循环状况,作物生长、产量、品质及水肥资源节约显著优于常规灌溉处理^[62]。水肥合理配合对作物病害发生率具有显著的影响,滴灌模式下番茄灰霉病发病率降低,果实品质得到大幅提高^[63];合理水肥供应,使番茄植株在整个生育期保持健壮生长,提高了土壤中细菌与真菌的比值,降低了土壤盐分的积累和土壤剖面硝态氮含量,改善了土壤的酸化程度^[64-66]。采用滴灌沟灌技术,有利于土壤有机碳、微生物生物量的增加^[67]。大豆灌水是增产的最关键措施,研究表明有灌水条件的地块产量可提高 40% 以上^[68]。应用水肥一体化技术,合理搭配无机肥和有机肥,增施有机肥、秸秆和微生物肥,可增强土壤肥力,改善土壤微生态环境,抑制土壤连作障碍,提高作物生产的可持续性^[69-70]。

2.5 生物防治

微生物参与土壤 N 素循环,在有机氮矿质化、无机氮腐殖质化、硝化和反硝化作用等过程中

起主导作用^[71-72]。研究表明,微生物可以提高作物对养分的吸收能力,化肥配施微生物菌肥可以提高作物对水分和肥料的利用效率,减少化肥使用量^[73-74]。在连作障碍土壤中施用生物有机肥,可显著增加根际微生物数量和活性,优化土壤微生物区系^[75-76];将有机肥与生防菌和促生菌等相结合制成微生物有机肥后施用,生防菌和促生菌能利用有机肥中的营养促进生防菌在植物根际定殖,从而发挥生防作用^[77];使用微生物有机肥对改良土壤、防控土壤连作障碍和提高作物产量及品质效果显著,还可以减少氮素的流失^[78]。施入菌根菌和拮抗菌,可与病原微生物竞争空间和营养物质,稳定有益微生物群落结构和种群数量,实现对土壤微生物区系有目的调控^[79-80]。接种致病菌弱毒菌株可以促进作物幼苗产生免疫机能,也可以在一定程度上解决作物连作障碍的问题,目前在辣椒上已取得一些成果^[81]。

2.6 强还原土壤灭菌法

强还原土壤灭菌法(reductive soil disinfection, RSD),是通过大量施用易分解的有机物料,灌溉、覆膜阻止空气扩散进入土壤,在短时间内创造强烈土壤还原环境,杀灭土传病原菌的方法。大量施用易降解的有机物料,处理后仍有相当数量的有机物质残留在土壤中,成为土壤有机质的一部分,可提高土壤有机质含量,改善土壤结构^[82]。经 RSD 处理后蔬菜地土壤氮的转化过程发生显著变化,加快无机氮周转速率,提高氮的有效性^[83]。研究表明,严重酸化的大棚蔬菜地土壤,经过强烈还原处理后,pH 均大幅度提高,随着有机物料施用量的增加而升高,最高可达 6.49^[84]。RSD 处理的强烈还原环境使硝态氮迅速反硝化为 N_2 和 N_2O 逸出土壤^[85]。大棚土壤次生盐渍化的盐主要为硝酸盐和硫酸盐,前者来源于大量施用的氮肥,经硝化过程产生,后者直接来源于大量施用的含硫酸盐肥料,尤其是硫酸钾肥料^[86]。强烈还原的土壤环境可使部分硫酸盐还原成含硫气体,或者被微生物同化为有机硫,从而降低硫酸盐含量,如 RSD 在淹水条件下进行,且处理中发生水分的向下渗透,RSD 可能还有洗盐作用^[87]。RSD 创造的强烈厌氧环境使土传好氧病原菌无法生存,有机物料厌氧发酵产生对土传病原菌有毒有害物质,可杀灭土传病原菌^[88-89]。

3 展望

针对连作障碍,人们研究了很多防控方法,但每种方法均有它的不足,可能对于某一种特殊问题,具有一定的防治或缓解作用,但由于这些方法作用单一,并不能解决多因素造成的连作障碍。如土壤熏蒸灭菌只能杀灭病原菌,并不能改善土壤的理化性状,而且同时还可能杀灭有益微生物;轮作等农艺种植方式,虽然方法比较简单环保,但是常需要数年时间才能起一定的防控效果,有时效果也不明显;施用石灰可以提高土壤 pH,中和土壤酸性,但不一定能降低土传病原菌数量;RSD 处理需要大量有机物料、长期淹水、薄膜等,这些都会耗费大量资源和人工投入,可能产生大量 CH_4 、 N_2O 、 H_2S 及其它含硫具有臭味气体,且在淹水条件下,未彻底分解的水溶性有机质、硝酸盐和硫酸盐均可能向下迁移,对地下水环境产生不利影响。目前,土地及灌溉水资源日益紧缺,过度灌溉和施肥造成了严重的环境破坏和食品安全问题,因此为了防控土壤连作障碍,应针对所种植设施土壤的理化环境及种植历史,明确造成连作障碍的主要因素,在合理灌溉与施肥的基础上,选择具有针对性的一种或多种简单有效、绿色可持续的连作障碍防控方法。

参考文献

- [1] 郑良勇,胡剑飞,林昌华,等.作物连作障碍的产生及防治[J].热带农业科学,2005,25(2):58-62.
- [2] 邵孝侯.农业环境学[M].南京:河海大学出版社,2005.
- [3] WANG D, XU Z H, ZHAO J Y, et al. Excessive nitrogen application decreases grain yield and increases nitrogen loss in a wheat-soil system[J]. Acta Agriculture Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science, 2011, 61(8): 681-692.
- [4] JIANG H M, ZHANG J F, YANG J C, et al. Effects of different treatments of nitrogen fertilizer on yield, quality of tomato and soil NO_3^- accumulation in vegetable-greenhouse[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(12): 2338-2345.
- [5] 胡元,刘亚峰,吴坤,等.黄瓜连作土壤微生物区系变化研究[J].土壤通报,2006,37(1):126-129.
- [6] 杜茜,卢迪,马琨.马铃薯连作对土壤微生物群落结构和功能的影响[J].生态环境学报,2012,21(7):1252-1256.
- [7] 苏生平,丁同华,陈晋国,等.设施蔬菜连作障碍综合治理措施[J].中国蔬菜,2013(19):29-30.
- [8] 吴凤芝,赵凤艳,刘元英.设施蔬菜连作障碍原因综合分析防治措施[J].东北农业大学学报,2000,31(3):241-247.
- [9] 韩晓增,许艳丽.大豆连作减产主要障碍因素的研究[J].大豆科学,2002,39(2):253-287.
- [10] 王柳,张福慢,高丽红.京郊日光温室土壤养分特征的研究[J].中国农业大学学报,2003(8):62-66.
- [11] 刘兆辉,李小林,祝洪林.保护地土壤养分特点[J].土壤通报,2001(25):206-208.
- [12] EGAMBERDIEVA D, RENELLA G, WIRTH S, et al. Secondary salinity effects on soil microbial biomass[J]. Biology Fertilizer Soils, 2010, 46: 445-449.
- [13] 李春格,李晓鸣,王敬国.大豆连作对土体和根际微生物群落功能的影响[J].生态学报,2006,26(4):1144-1150.
- [14] 马琨,张丽,杜茜,等.马铃薯连作栽培对土壤微生物群落的影响[J].水土保持学报,2010,24(4):229-233.
- [15] 耿士均,刘刊,商海燕,等.园艺作物连作障碍的研究进展[J].北方园艺,2012(7):190-195.
- [16] 马云华,魏斌,王秀峰.日光温室连作黄瓜根区微生物区系及酶活性的变化[J].应用生态学报,2004,15(6):1005-1008.
- [17] 陈石,李春雨,易干军,等.尖镰孢菌致病机理研究进展[J].中国农学通报,2011,27(13):74-78.
- [18] 阮维斌,王敬国,张福锁.接种孢囊线虫对大豆生长的影响[J].应用与环境生物学报,2000,6(1):24-27.
- [19] YU J Q, MATSUI Y. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) & allelochemicals on ion uptake by cucumber seedling[J]. J Chem Ecol, 1997, 23: 817-827.
- [20] 冯志红,闫立英,王久兴,等.连作栽培中自毒物质对黄瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J].种子,2005(6):48.
- [21] 马国斌,林德佩,王叶筠,等.西瓜枯萎病菌镰刀菌酸对西瓜苗作用机制的初步探讨[J].植物病理学报,2000,30(4):373-374.
- [22] 杨广超,吕卫光,朱静,等.西瓜根、茎、叶水浸提液对西瓜种子萌发及幼苗中酶活性的影响[J].西北农业学报,2005,14(1):46-51.
- [23] 周志红,骆世明,牟子平.番茄植株中几种化学成分的化学效应[J].华南农业大学学报,1998,19(3):56-60.
- [24] 马彦霞.日光温室番茄栽培基质的根际环境及化感作用研究[D].兰州:甘肃农业大学,2013.
- [25] 韩丽梅,阎飞,王树起,等.重迎茬大豆根际土壤有机化合物的初步鉴定及对大豆种子萌发的化感作用[J].应用生态学报,2000,11(4):582-586.
- [26] 杨瑞秀,高增贵,姚远,等.甜瓜根系分泌物中酚酸物质对尖孢镰孢菌的化感效应[J].应用生态学报,2014,25(8):2355-2360.
- [27] 郑良勇,胡剑非,林昌华,等.作物连作障碍的产生及防治[J].热带农业科学,2005(2):58-61.
- [28] 王芳.茄子连作障碍机理研究[D].北京:中国农业大学,2003.
- [29] TUOMINEN L, KAIRESAALO T, HARTIKAINEN H. Comparison of methods for inhibiting bacterial activity in sediment[J]. Appl Environ Microbiol, 1994, 60: 3454-3457.
- [30] JENNEMAN G E, MCINERNEY M J, CROCKER M E, et al. Effect of sterilization by dry heat or autoclaving on bacterial penetration through *Berea sandstone*[J]. Appl Environ Microbiol, 1986, 51: 39-43.
- [31] ROZYCKI M, BARTHA R. Problems associated with the use of azide as an inhibitor of microbial activities in soil[J]. Appl

Environ Microbiol, 1981, 41: 833-836.

[32] CLARK F E. Changes induced in soil by oxide sterilization [J]. Soil Sci, 1950, 70: 345-349.

[33] LABEDA D P, BALKWILL D L, CASIDA L E J. Soil sterilization effects on *in situ* indigenous cells in soil [J]. Can J Microbiol, 1975, 21: 263-269.

[34] STOTZKY G, REM L T. Influence of clay minerals on microorganisms [J]. Can J Microbiol, 1966, 12: 547-563.

[35] ENO C F, POPENO H. γ -Radiation compared with steam and methyl bromide as a soil sterilizing agent [J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1964, 28: 533-535.

[36] JENKINSON D S, POWLSON D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil II Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation [J]. Soil Biol Biochem, 1976, 8: 179-188.

[37] 黄志君, 陶笑, 袁建玉. 设施茄果类蔬菜连作障碍的克服与生态修复技术 [J]. 中国瓜菜, 2006(6): 47-48.

[38] 杨凤娟, 吴焕涛, 魏琨. 轮作与休闲对日光温室黄瓜连作, 土壤微生物和酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2983-2988.

[39] 武际. 水旱轮作条件下秸秆还田的培肥和增产效应 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.

[40] 宋尚成, 李敏, 刘润进. 种植模式与土壤管理制度对作物连作障碍的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 231-235.

[41] 何超. 葱蒜类植物对辣椒疫病发生的影响 [D]. 扬州: 扬州大学, 2012.

[42] 赵尊练. 线辣椒/小麦套作高产机理研究及陕西线辣椒病毒病原鉴定 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.

[43] 李继华. 植物嫁接 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977.

[44] 冯春梅, 莫云彬, 陈海平. 不同砧木嫁接对黄瓜抗病性及主要经济性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 283-284.

[45] 吕卫光, 余廷园, 诸海涛, 等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究 [J]. 中国生态农业学报, 2006(14): 119-121.

[46] 蒋有条. 我国瓜类嫁接栽培进展及展望 [J]. 中国蔬菜, 1998(6): 1-3.

[47] 郭超, 董孝立, 温丙林. 西瓜嫁接栽培的防病增产效果 [J]. 中国蔬菜, 1995(6): 25-27.

[48] 翁祖信. 嫁接对茄子黄萎病抗性及早产量影响 [J]. 中国蔬菜, 1997(2): 34-35.

[49] 王杰, 张大伟, 戴生贤. 无籽西瓜嫁接技术及其对病毒病抗性的研究 [J]. 安徽农业科学, 2002, 30(5): 662-623.

[50] 李志英, 卢育华, 徐立. 土壤低温对嫁接黄瓜生理生化特性的影响 [J]. 园艺学报, 1998(3): 25-31.

[51] ZENG S X, WANG Y R, LI M R. Comparison of the changes of membrane protective system in rice seedlings during enhancement of chilling resistance by different stress pretreatment [J]. Acta Botanica Sinica, 1997, 39(4): 308-314.

[52] XU X, MAO G L, LI S H, et al. Effect of salt stress and abscisic acid on membrane lipid peroxidation and resistant-oxidation enzyme activities of *Lycium barbarum* callus [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(5): 745-749.

[53] 张恩平, 张淑红, 司龙亭, 等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗子叶膜

脂过氧化的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(6): 446-448.

[54] 王冉, 陈贵林, 梁静, 等. 盐胁迫对黑籽南瓜和白籽南瓜种子萌发特性的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 42-44.

[55] 张娟. 番茄砧木及其嫁接苗抗冷性鉴定与生长发育规律研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.

[56] 李能芳, 荀琳, 郭学君, 等. 嫁接对茄子植株过氧化物酶同工酶的影响 [J]. 西南园艺, 1999, 27(4): 24-25.

[57] 周宝利, 高艳新, 林桂荣, 等. 嫁接茄子抗病性与电导率、脯氨酸含量及苯丙氨酸解氨酶活性的关系 [J]. 园艺学报, 1998, 25(3): 300-302.

[58] 王茹华, 周宝利, 张启发, 等. 嫁接对茄子根际微生物种群数量的影响 [J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 124-126.

[59] RECEP C, ULVIYE C. Yield, water use and yield response factor of flue-cured tobacco under different levels of water supply at various growth stages [J]. Irrigation and Drainage, 2010, 59(4): 453-464.

[60] GRAVEL V, BLOK W, HALLMANN E, et al. Differences in N uptake and fruit quality between organically and conventionally grown greenhouse tomatoes [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(4): 797-806.

[61] CHANG T T, SHAO X H, ZHANG J, et al. Effects of bio-organic fertilizer application combined with subsurface drainage on soil salinity in secondary salinized greenhouse soil [J]. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2013, 11(1): 457-460.

[62] 侯松泽, 张书. 保护地滴灌黄瓜节水灌溉模式试验研究 [J]. 黑龙江水利科技, 2001(4): 11-13.

[63] 杜文波. 日光温室番茄应用滴灌水肥一体化技术初探 [J]. 山西农业科学, 2009, 37(1): 58-60.

[64] 杨丽娟, 张玉龙, 须晖, 等. 灌溉方法对保护地土壤耗水量与番茄水分利用效率的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2004(3): 49-51.

[65] 宋卓琴, 焦晓燕. 不同水肥管理对土壤生态及番茄生长的影响 [J]. 山西农业科学, 2012, 40(1): 48-52.

[66] 李建明, 王平, 李江. 灌溉量对亚低温下温室番茄生理生化与品质的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 129-134.

[67] 唐首峰, 张玉龙, 袁德玲, 等. 保护地不同灌溉方式下土壤碳库管理指数的研究 [J]. 灌溉排水学报, 2009(3): 39-41.

[68] 丁希泉, 郑秀梅, 路琴华, 等. 大豆滴灌增产省水效果及原因 [J]. 节水灌溉, 1983(3): 27-31.

[69] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.

[70] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响 [J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 89-96.

[71] SMITH F A, GRACE E J, SMITH S E. More than a carbon economy: Nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses [J]. New Phytol, 2009, 182: 347-358.

[72] SRIPONTAN Y, TAN C W, HUNG M H, et al. Effects of plant-growth-promoting microorganisms and fertilizers on growth of cabbage and tomato and *Spodoptera litura* performance [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2014, 17(3): 587-593.

[73] MEEN V S, MAURY B R, VERMA J P. Does a rhizospher-

ic microorganism enhance K^+ availability in agricultural soils? [J]. Microbiological Research, 2014, 169(5-6): 337-347.

[74] LI S X, WANG Z, STEWART B A. Chapter three-differences of some leguminous and nonleguminous crops in utilization of soil phosphorus and responses to phosphate fertilizers [J]. Advances in Agronomy, 2011, 110: 125-249.

[75] LING N, DENG K Y, SONG Y, et al. Variation of rhizosphere bacterial community in watermelon continuous mono-cropping soil by long-term application of a novel bioorganic fertilizer [J]. Microbiological Research, 2014, 169(78): 570-578.

[76] LOH S K, JAMES S, NGATIMAN M, et al. Enhancement of palm oil refinery waste spent bleaching earth (SBE) into bio organic fertilizer and their effects on crop biomass growth [J]. Industrial Crops and Products, 2013, 49: 775-781.

[77] 刘素慧, 刘世琦, 张自坤. EM对连作大蒜根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 718-723.

[78] XIAO T J, CHEN F, GAO C, et al. *Bacillus cereus* X5 enhanced bio-organic fertilizers effectively control root-knot nematodes (*Meloidogyne* sp.) [J]. Pedosphere, 2013, 23(2): 160-168.

[79] 罗静静, 刘小龙, 李克梅, 等. 几种微生物菌剂对连作棉田枯萎病的防病效应[J]. 西北农业学报, 2015, 24(7): 136-143.

[80] ZHENG N, XIN H E, ZHANG J, et al. Suppression of *Fusarium* wilt of banana with application of bio-organic fertilizers [J]. Pedosphere, 2014, 24(5): 613-624.

[81] 李登绚, 张红霞, 贺宏伟. 保护地辣椒疫病的发生规律及无公害防治技术[J]. 辣椒杂志, 2005, 3(3): 27-28.

[82] McCARTY D G. Anaerobic soil disinfestation: Evaluation of

anaerobic soil disinfestation (ASD) for warm-season vegetable production in Tennessee [D]. Tennessee: University of Tennessee, 2012.

[83] ZHU T B, DANG Q, ZHANG J B, et al. Reductive soil disinfestation (RSD) alters gross N transformation rates and reduces NO and N_2O emissions in degraded vegetable soils [J]. Plant and Soil, 2014, 382(1): 269-280.

[84] 朱同彬, 孟天竹, 张金波, 等. 强还原方法对退化设施蔬菜地土壤的修复[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2619-2624.

[85] 朱同彬, 张金波, 蔡祖聪. 淹水条件下添加有机物料对蔬菜地土壤硝态氮及氮素气体排放的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 109-114.

[86] SHI W M, YAO J, YAN F. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in south-eastern China [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 83(1): 73-84.

[87] 黄新琦, 温腾, 孟磊, 等. 土壤快速强烈还原对于尖孢镰刀菌的抑制作用[J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4526-4534.

[88] MOMMA N, YAMAMOTO K, SIMANDI P, et al. Role of organic acids in the mechanisms of biological soil disinfestation (BSD) [J]. Journal of General Plant Pathology, 2006, 72(4): 247-252.

[89] MOMMA N, USAMI T, AMEMIYA Y, et al. Factors involved in the suppression of *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici by soil reduction [J]. Soil Microorganisms, 2005, 59: 27-33.

Research Progress on Prevention and Control Techniques of Continuous Cropping Obstacle in Facility Soil

MIAO Qisong^{1,2}, ZHANG Cong¹, GUANG Jianfang¹, CHEN Lihua¹, SHAO Xiaohou¹, ZHANG Yanyan²

(1. Water Resources and Hydropower College, Hehai University, Nanjing, Jiangsu 210098; 2. Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract: With the development of Chinese modern agriculture, large-scale specific crops planted continuously on limited land resources, resulted in a large area of continuous cropping obstacles. According to the continuous cropping obstacle, there has been a lot of researches, such as the use of soil sterilization technology, crop rotation, intercropping, intercropping, anti cropping varieties selection and grafting cultivation, irrigation and fertilization, biological control and strong reducing soil sterilization etc. Although these methods have certain control effects, but there are also shortcomings, so efficient, sustainable, multi-functional prevention and control methods are still the research focus of facilities soil continuous cropping obstacle prevention and control technology.

Keywords: continuous cropping obstacles; irrigation and fertilization; microbial agents; prevention and control