

# 连作障碍调控技术研究进展

李贺勤<sup>1,2</sup>, 李星月<sup>1</sup>, 刘奇志<sup>1</sup>, 张林林<sup>1</sup>, 白鹏华<sup>1</sup>, 白春启<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 青岛农业大学 农学与植物保护学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:**连作障碍已成为制约农业可持续发展的关键因素。该文在阐述连作障碍发生原因的基础上总结了针对连作障碍调控的几种主要技术, 包括轮作与间作、清园与消毒、改土与施肥、施用有机物等, 指出了连作障碍调控技术研究中存在的主要问题, 展望了今后应进一步关注的热点问题。

**关键词:**连作障碍; 调控技术; 综合利用

**中图分类号:**S 344.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)23-0193-05

目前随着世界人口数量的增长和社会经济的发展, 耕地面积正逐渐减少, 特别是近年来设施农业的迅速发展, 导致连作障碍发生严重。许多粮食作物、经济作物、药用植物、园艺植物等都存在不同程度的连作障碍现象。因此连作障碍已成为制约农业可持续发展的关键因素。

## 1 连作障碍发生因素

有关连作障碍发生的因素一般有以下几方面: 一是

土壤理化性状劣变, 土壤养分不均衡; 二是土壤微生物群落结构发生变化, 某些寄生能力强的种群在根际土壤中占突出优势, 一些病原细菌和真菌等种群数量激增, 致使原有的根际微生态平衡被打破; 三是植物的化感作用, 植物分泌的化感物质在土壤中大量聚积, 对植物本身或微生物的生长发育产生影响; 四是植物寄生线虫的增多, 线虫吸收植物体内营养而影响植物正常的生长发育, 线虫代谢过程中的分泌物还会刺激寄主植物的细胞和组织, 导致植株畸形等, 从而使农产品减产和质量下降。因此, 如何对连作障碍进行调控是农业生产上急需解决的问题。现对目前比较适用的调控技术进行总结, 以为农业生产上连作障碍的缓解和进一步研究提供参考。

**第一作者简介:**李贺勤(1981-), 女, 博士研究生, 研究方向为土壤连作障碍及其修复。E-mail: hqliaau@163.com.

**责任作者:**刘奇志(1959-), 女, 博士, 教授, 现主要从事土壤连作障碍及其修复等研究工作。

**收稿日期:**2013-07-31

[37] 张玉秀, 柴团耀. 植物耐重金属机理研究进展[J]. 植物学报, 1999, 41(5): 453-457.

[38] 孙新, 杨志敏, 徐朗莱. 镉诱导油菜叶片氧化胁迫及硫化物的络合作用[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1506-1511.

## Research Advances on the Effect of Cadmium on Vegetables Growth and Vegetable Cadmium-Resistance Breeding

KONG Wei-ping, CHENG Hong

(Lanzhou Research Station of Horticultural Crop Biology and Germplasm Enhancement, Ministry of Agriculture, Institute of Vegetable, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070)

**Abstract:** Due to human activity, Cd pollution in water and soil in vegetable planting areas must improve the Cd residue in vegetable. Trace Cd accumulation into the human body through the food chain to a certain concentration, it will produce a series of injuries to the human body. From the impact of Cd on the growth of vegetables, vegetable resistant to Cd and other aspects, the research progress of vegetable Cd pollution prevention was described, and the focus of future research in this area in the future were prospected in order to provide a basis for the further research.

**Key words:** cadmium; stress; tolerance; phytoremediation

## 2 连作障碍调控技术

### 2.1 轮作与间作

合理的轮作和间作制度是解决土壤连作障碍最为简单和有效的方法。轮作或间作是传统的农艺措施,合理轮作或间作可以改变土壤微生态环境,减轻病害的发生,同时还可以改善土壤结构和土壤肥力,从而提高作物产量和品质。如苹果园更新期间轮作小麦可减少腐霉属和丝核属真菌对苹果根系的侵染,促进苹果生长<sup>[1]</sup>。通过苜蓿与作物(草谷子、春小麦、马铃薯、豌豆和玉米)的轮作和常规耕作比较发现,轮作的土壤微生物量碳氮比高,原因可能是苜蓿地上部分产量提高后会促进较多的苜蓿根系残留物及苜蓿根系分泌物进入土壤,有利于微生物的生长<sup>[2]</sup>。苏世鸣等<sup>[3]</sup>研究表明,西瓜与旱作水稻间作,西瓜根际尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)数量显著降低,根际微生物区系向细菌与放线菌占主导的趋势发展,能有效地防止西瓜枯萎病发生,改善西瓜连作障碍。王玉彦等<sup>[4]</sup>研究表明,黄瓜与小麦、大豆和燕麦间作处理均使土壤容重显著降低、土壤总孔隙度显著提高;整个生育期内各间作处理均显著降低了土壤盐分积累,生育后期黄瓜-小麦处理的土壤导电率 EC 值下降幅度最大,比对照减小了 38.96%;黄瓜-小麦和黄瓜-燕麦处理的土壤有机质含量显著高于对照;各间作处理明显改善了土壤微生物的区系组成,使细菌和放线菌数量增加,土传病菌数量降低,以黄瓜-小麦间作处理最明显,尖孢镰刀菌 3 个时期的平均数量比对照下降了 69.44%;各间作处理明显促进了黄瓜生长和提高了产量。吴艳飞等<sup>[5]</sup>研究表明,夏季温室休闲期在连作 8 a 黄瓜的土壤种植大蒜和菠菜及白菜的处理可以显著降低土壤盐分积累,增加土壤微生物数量,抑制镰刀菌的增殖。时安东等<sup>[6]</sup>研究表明,“年内间作,年间就地轮作系统”单位面积烟叶产量和产值连续 6 a 显著高于烤烟单作,产量和产值平均提高 11.3%和 20.4%,作物总产值显著提高,并显著降低青枯病发病率约 11.0%,烟叶化学成分含量适中,比例协调。在加利福尼亚州的传统草莓栽培模式和有机草莓栽培模式下,西兰花与草莓轮作,采取“草莓+西兰花+西兰花”的轮作模式,大丽轮枝菌(*Verticillium dahliae*)种群密度降低 44%<sup>[7]</sup>。日本千叶县和北海道利用水稻-草莓轮作可有效减少土壤大丽轮枝菌微菌核数量,降低草莓黄萎病的发生<sup>[8]</sup>。我国南方草莓-水稻水旱轮作可降低黄萎病的发生,提高土壤酶活性,增加草莓产量及效益,改善土壤微生物群落结构<sup>[9]</sup>。西奥大学的研究人员发现西红柿与草莓轮作可以减轻草莓枯萎病发生<sup>[10]</sup>。

作物轮作是避免或消除连作障碍的有效方法,但要消除连作障碍的影响,往往要求轮作年限比较长,在集约化设施栽培条件下,作物复种指数高,轮作难度较大。

不同轮作或间作作物的缓解效应差异较大,各地气候及耕作习惯的影响,有效轮作作物选择的局限性比较大,推广难度比较大。

### 2.2 清园与消毒

植物残体及枯枝落叶中含有大量的病原菌,它们的存在会成为病害发生的侵染原,另外植株残体腐解后产生的自毒物质也是连作障碍产生的重要原因之一。因此应尽量消除残根、落叶,集中烧毁或深埋。

许多试验证明土壤生物因素是连作障碍产生的原因之一,采用土壤消毒可以减轻连作危害。在新西兰,长期滋生蜜环菌根腐病和其它土传病害的桃园内,采用溴甲烷熏蒸处理可以促进植株的生长<sup>[11]</sup>。但是,由于溴甲烷是一种严重消耗臭氧层的物质,毒性极强,易造成人员伤亡,对环境造成严重污染,目前逐渐被淘汰。Tustin 等<sup>[12]</sup>用氯化苦消毒后,盆栽苹果“M26”植株的生长与新土差异不大,而且再植土或新土,土壤熏蒸后对植株生长都有促进作用。曹塬程等<sup>[13]</sup>研究表明威百亩(异硫氰酸甲酯的衍生物)、威百亩+VIF(不渗透膜)与溴甲烷对河北满城草莓连作障碍的作用效果均无显著差异。硫酰氟 25~50 g/m<sup>2</sup> 对土壤真菌、线虫也均有良好的杀灭效果,施用后番茄产量与施用溴甲烷 50 g/m<sup>2</sup> 的相当<sup>[14]</sup>。在西班牙 Mogue 和 Palos de la Frontera 的草莓产区,用 1,3-二氯丙烯+氯化苦、二甲基硫、二甲基硫+氯化苦与溴甲烷+氯化苦均能成功地防治草莓土传致病真菌和线虫,并均有提高草莓植株高度、冠直径和产量的作用<sup>[15]</sup>。目前常用的溴甲烷的替代产品有氯化苦、威百亩、棉隆、1,3-二氯丙烯、二甲基二硫、碘甲烷和福尔马林等。另外,土壤蒸汽消毒和太阳能消毒也是生产上常用的土壤消毒方法,镰刀菌、疫霉、腐霉、丝核菌、轮枝菌等属的病原菌以及线虫可以被高温杀死<sup>[16-17]</sup>。在对北京一品香山御香园连作 3~4 a 的草莓温室调查发现,经太阳能高温消毒 1 个月的连作土壤再加石灰氮、高锰酸钾和吡虫啉消毒,植株的死亡率可分别降至 2%和 16%<sup>[18]</sup>。

土壤消毒虽然是一种比较有效的方法,但是消毒不仅消除土壤里的有害生物,也影响了土壤里的有益生物,长期使用消毒剂还会对土壤物理结构造成破坏,影响土壤根际微环境和根系生长<sup>[19]</sup>。有些消毒措施工作量大,生产成本低,有些受气候因素影响大,局限性大,并不能从根源上解决土壤连作障碍。

### 2.3 改土与施肥

连续种植同种或同属植物的情况下最好深翻改土,如不能客土,最好避开原来栽植穴的位置。无土栽培也是控制连作障碍的一项重要措施,以充分满足作物对矿物质、水分、气体条件的需求,从而可以有效防止土壤连作病害及土壤盐渍等问题的出现,进而克服土壤连作障

碍。但无土栽培鉴于成本等因素限制,生产实践中较少采用。养分失衡是连作障碍的重要原因之一,故合理施肥是缓解连作障碍的一项重要措施。根据土壤供肥能力,作物目标需肥量而计算出需要 N、P、K 甚至微肥的施用量,严格控制化肥的用量,尤其要减少氮素化肥的用量,杜绝偏施氮肥现象,注意微量元素肥料的使用。如三七连作土采用“低氮+钙镁磷+高钾+石灰+微肥”的平衡施肥方式可显著提高连作条件下三七的存苗率,促进植株生长,并显著提高三七单株生物量和总产量<sup>[20]</sup>。

#### 2.4 施用有机物

增施有机肥可增加土壤有机质的含量,改良土壤的物理状况,有利于微生物活动,并可以促进有益菌的繁殖。袁飞等<sup>[21]</sup>在已感染立枯病、枯萎病的连作黄瓜土壤上,接种病原菌菌丝,施入不同比例的有机物(稻草、木屑、猪粪),结果表明,抗病效果为稻草>猪粪>木屑处理,并随其用量的增加抗病效果更好。Mazzola 等<sup>[22]</sup>在苹果再植前,掺入菜籽饼改良土壤,配合淋溶洗土,在一个果园中有效抑制了再植病,几乎与化学消毒效果相当,但在另一个果园中效果较差。另外 Mazzola 等<sup>[23]</sup>还发现,不同种类油菜饼处理对根腐霉数量和对根系侵染率的作用差异很大。温室和大田苹果连作土壤中施入有机肥,可以促进植株的生长<sup>[24]</sup>。水稻秸秆、花生饼肥、猪粪、生物有机肥皆可不同程度地提高烟株移栽后 30~60 d 土壤环境中有效氮、速效磷、速效钾的含量,保持土壤肥力及改善作物品质<sup>[25]</sup>。在连作土中施入腐熟鸡粪、羊粪和牛粪等有机物可以显著提高连作土壤酶活性。与对照相比,处理的土壤脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性均有不同程度提高,土壤细菌和放线菌数量均显著增加,真菌数量各处理均显著降低<sup>[26]</sup>。芬兰普遍使用泥炭改善园艺作物土壤结构,Kukkonen 等<sup>[27]</sup>研究发现,连作草莓大田施用泥炭可以增加蚯蚓的数量,并且对微生物量无显著影响。

课题组实验室研制的土壤修复剂 SA(Soil Amendment)主要由昆虫体和昆虫代谢物组成,可以提高连作草莓土壤的脲酶、蔗糖酶和多酚氧化酶活性,与对照相比,可以提高 37.85%~89.00%、55.19%~98.81%和 78.43%~165.38%;周长勇等<sup>[28]</sup>研究发现可以使连作草莓土壤对羟基苯甲酸、阿魏酸、对香豆酸、苯甲酸、丁香酸和香草酸的含量降低 40.05%~54.48%、35.53%~49.80%、18.43%~42.96%、28.47%~37.91%、24.00%~36.36%和 18.18%~41.64%,从而缓解酚酸类物质对草莓的毒害作用。另外,刘奇志等<sup>[18]</sup>研究还发现,该土壤修复剂 SA 还能促进土壤中有有益细菌的生长和繁殖,对有害真菌的种群数量有抑制作用,促使细菌与真菌数量的比值(B/F)升高,且土壤修复剂 SA 中的有机酸对草

莓致病菌尖孢镰刀菌、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)和大丽轮枝菌有明显的抑制作用,起到改善土壤微生态环境的作用。

添加有机物料是目前生产上比较适用的方法,但是要根据不同的植物种类和土壤环境等情况选择合适的有机物料。

#### 2.5 嫁接

嫁接可以增强植株抗病能力,有利于克服连作危害,并提高产量。番茄嫁接换根后,对几种主要病害的抗性明显提高,尤其对枯萎病、青枯病、晚疫病、白绢病的抗性与自根苗的相比,均有极显著差异<sup>[29]</sup>。郝俊杰等<sup>[30]</sup>对嫁接棉花和接穗对照相比,棉花黄萎病明显减轻,有些嫁接组合的抗病性达到高抗水平。黄瓜嫁接后与对照相比,嫁接增加连作土与正茬土中微生物总量、细菌及放线菌数量,减少了真菌数量并增强了土壤中多酚氧化酶、过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶的活性<sup>[31]</sup>。但嫁接的成活率及风味的改变也在一定程度上影响其推广。

#### 2.6 施用有益菌

在土壤中增施有益菌可增强植株抗病虫害及抗逆能力,提高作物产量。高志华等<sup>[32]</sup>研究表明,Mycokick 菌剂能显著增加盆栽草莓的叶绿素含量,促进草莓的生长,提高草莓的生物量;同时,使超氧化物歧化酶(SOD)活性上升,丙二醛(MDA)含量下降,细胞膜相对透性降低,根系活力增强,这表明 Mycokick 菌剂能显著增强草莓抗连作障碍的能力。Porras 等<sup>[33]</sup>研究表明,草莓移栽前以滴灌和蘸根方式向土壤接入木霉可使土壤中病原菌恶疫霉(*Phytophthora cactorum*)数量减少 88.9%~99.0%;薛清等<sup>[34]</sup>研究表明放线菌 Act 12 菌剂可以提高连作草莓的开花数和果实数,显著增强草莓抗连作障碍的能力;Harender 等<sup>[35]</sup>在苹果再植苗圃接种菌根后,枝条生长量增加了 78%~113%,根系总长增加了 81%~84%。与对照相比,EM(Effective Microorganisms)对盆栽大蒜连作土壤细菌、真菌和过氧化氢酶活性促进率随大蒜发育期的延长均呈现先升后降的趋势;EM 对放线菌、土壤多酚氧化酶、脲酶和磷酸酶活性促进率随发育期的延长而呈现持续上升的趋势。刘素慧等<sup>[36]</sup>研究表明,EM 处理有利于改善土壤微生物群落结构,提高土壤微生物数量和土壤酶活性,增加干物质的累积量。肖逸等<sup>[37]</sup>研究表明,盆栽条件下,施加角担子菌 B6 的活菌丝显著减少连作西瓜土壤中真菌的数量、增加细菌/放线菌的比例,提高了土壤脲酶、蔗糖酶和多酚氧化酶的活力,也提高了西瓜超氧化物歧化酶和过氧化物酶(POD)活性,减少了丙二醛含量,改善了土壤微环境,提高西瓜植株的抵抗力,进而增加产量。徐淑霞等<sup>[38]</sup>在连续种植 7 a 黄瓜的大棚土壤中,施入黄孢原毛平革菌菌剂后,土壤中对羟基苯甲酸、香草酸及阿魏酸的含量都有所降



低,降解率为 54.46%。修复处理后黄瓜株高、茎粗、鲜重量及干重量无明显变化,黄瓜根部病害明显减轻,枯萎病及根结线虫病相对病情指数分别降低 10.2%和 14.6%。表明施入黄孢原毛平革菌剂对黄瓜连作障碍的解除具有一定的效果。谢灵军等<sup>[39]</sup>研究表明,菌株 B3512 能通过降解对羟基苯甲酸,增强草莓根系活力、降低根系细胞膜渗透性,明显提高组培苗根长、单株叶面积、株高和植株干重等生长指标,有效缓解羟基苯甲酸对植物产生的自毒作用。施用放线菌 Ha8 菌株能够有效缓解苯丙烯酸对水培黄瓜的抑制作用,表现为显著促进黄瓜茎和根系的生长,提高开花数、产量等<sup>[40]</sup>。

### 2.7 选育抗性品种

随着育种技术的发展,国内外相继育成了一批可供选用的抗病品种。应用抗性品种是防止连作障碍的有效措施。目前国内外已选育出很多对一些病虫害具有抗性的品种,如大豆花叶病毒、大豆胞囊线虫,黄瓜白粉病、炭疽病,番茄的根结线虫,玉米大斑病、黑穗病等具有抗性的品种。另外,如果土壤出现积盐现象,可选择耐盐性较强的蔬菜,如菠菜、芹菜、韭菜、茄子等;土壤酸性较强时,应种植空心菜、芋头、西洋菜等耐酸性较强的蔬菜,从而尽量减少连作障碍带来的危害。抗性品种培育工作难度较大,周期较长<sup>[41]</sup>,短期内依靠育种途径无法从根本上解决连作障碍。

### 2.8 施用植物源农药

植物源农药是利用药用植物具有杀虫、杀菌、除草及生长调节等特性的功能部位,或提取其活性成分,加工而成的药剂。由于植物源农药来源于自然,具有对人、畜安全,不污染环境,不易引起抗药性,在自然环境中易于降解等优点,具有广阔的开发潜力。草莓再植病害主要病原菌为尖孢镰刀菌、立枯丝核菌和大丽轮枝菌,抑菌活性试验发现丁香(*Eugenia caryophyllata*)、川芎(*Ligusticum sinense*)、百部(*Stemona japonica*)、五倍子(*Rhus chinensis*)和苦参(*Sophora flavescens*)5 种药用植物材料腐解物的提取液分别对 3 种病原真菌有较强的抑制作用;盆栽试验显示,该 5 种药用植物提取液可将草莓的死苗率降低 22.4%~33.2%,产量提高 32.6%~33.8%<sup>[42]</sup>。枯萎病菌(*Fusarium oxysporum*)是黄瓜再植病害的重要病菌,离体抑菌活性试验发现甘草甲醇提取物有较强的抑菌活性,达 64.20%<sup>[43]</sup>。采用菌丝生长速率法发现辣蓼(*Polygonum lapathi folium*)、白花油茶(*Camellia oleifera*)甲醇提取物(干粉)10 mg/mL 处理荔枝霜疫霉病菌(*Peronophythora litchi*)7 d 后抑菌率分别达 74.37%、77.02%,而甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)根甲醇提取物相同质量浓度时的抑菌率达到 97.83%<sup>[44]</sup>。

植物源农药由于药效慢,成分复杂,对光不稳定等因素,目前对它的研究只限于试验阶段,真正要应用到

生产上还需广大科研人员的不断努力。

### 3 结语与展望

连作障碍是一个极其复杂的问题,它涉及土壤养分、土壤理化性状、病害、根际微生物、根系分泌物等多个方面,不同作物产生连作障碍的主因不同。以上大多数调控方法虽然能有效地缓解作物的连作障碍问题,但还不能根除连作障碍的危害,且每种方法都有不足之处,有些技术还处于试验阶段,有些技术费工费时,在实际生产上不容易实现,有些制剂虽然有效,但尚未产业化生产。总之,虽然前人围绕土壤连作障碍的调控技术措施已进行了大量研究,但距完全解决土壤连作障碍仍有很大差距。目前生产上需综合多种措施,扬长避短,才能收到较理想的控制效果。

今后仍需重点开展好以下研究工作:一是研究植物化感作用,缓解连作障碍;二是研究生物多样性,利用生物多样性缓土壤连作障碍;三是通过近缘野生种根际微生物、抗性品种研究,缓解土壤连作障碍;四是开发有益菌,缓解土壤连作障碍。

(该文作者还有王玉玲,单位为中国农业大学农学与生物技术学院。)

### 参考文献

- [1] Mazzola M, Gu Y H. Impact of wheat cultivation on microbial communities from replant soils and apple growth in greenhouse trials[J]. *Phytopathology*, 2000, 90: 114-119.
- [2] 王晓凌, 李凤民. 苜蓿草地与苜蓿-作物轮作系统土壤微生物量与土壤轻组碳氮研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 132-142.
- [3] 苏世鸣, 任丽轩, 霍振华, 等. 西瓜与旱作水稻间作改善西瓜连作障碍及对土壤微生物区系的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(3): 704-712.
- [4] 王玉彦, 吴凤芝, 周新刚. 不同间作模式对设施黄瓜生长及土壤环境的影响[J]. *中国蔬菜*, 2009(16): 8-13.
- [5] 吴艳飞, 张雪艳, 李元, 等. 轮作对黄瓜连作土壤环境和产量的影响[J]. *园艺学报*, 2008, 35(3): 357-362.
- [6] 时安东, 李建伟, 袁玲. 轮间作系统对烤烟产量、品质和土壤养分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(2): 411-418.
- [7] Subbarao K V, Kabir Z, Martin F N, et al. Management of soilborne diseases in strawberry using vegetable rotations[J]. *Plant Disease*, 2007, 91(8): 964-972.
- [8] Ebihara Y, Uematsu S, Nomiya S. Control of *Verticillium dahliae* at a strawberry nursery by paddy-upland rotation[J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2010, 76(1): 7-20.
- [9] 杨祥田, 周翠, 李建辉, 等. 不同轮作方式下大棚草莓产量及土壤生物学特性[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(2): 312-315.
- [10] Fang X L, You M P, Barbeti M J. Reduced severity and impact of *Fusarium wilt* on strawberry by manipulation of soil pH, soil organic amendments and crop rotation[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2012, 134(3): 619-629.
- [11] Layne D R, Sehnabel G. Preplant practices to manage *Armillaria* root rot disease and other soil pathogens on a commercial peach replant site[J]. *Hort Science*, 2006, 41: 1028-1029.
- [12] Tustin D S, Horner I J, Breen K, et al. Growth responses of young apple

replants induced by soil remediation treatments for specific apple replant disease[J]. Acta Horticulturae, 2008, 772: 407-411.

[13] 曹勘程, 郭美霞, 段霞瑜, 等. 溴甲烷在草莓田的替代及减少其散发的技术[J]. 植物保护学报, 2006, 33(3): 291-297.

[14] 曹勘程, 褚世海, 郭美霞, 等. 一种潜在的溴甲烷土壤消毒替代品-异硫氰酸烯丙酯[J]. 农药, 2006(7): 461-462.

[15] López-Aranda J M, Miranda L, Medina J J, et al. Methyl bromide alternatives for high tunnel strawberry production in Southern Spain[J]. Hort Technology, 2009, 19(1): 187-192.

[16] 宫本重信, 小玉孝司. 利用太阳热进行土壤消毒技术的开发与应用[J]. 农业科技情报, 1997(1): 1-6.

[17] 胡学博, 曹勘程. 太阳能消毒防治植物土传病害[J]. 世界农业, 2001(5): 44-47.

[18] 刘奇志, 李星月, 刘艳斌, 等. 国内外草莓连作障碍与综合治理研究进展[J]. 中国果树, 2012(6): 58-62.

[19] 李英梅, 曹红梅, 徐福利, 等. 土壤消毒措施对土壤物理特性及黄瓜生长发育的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1189-1193.

[20] 欧小宏, 金航, 郭兰萍, 等. 平衡施肥及土壤改良剂对连作条件下三七生长与产量的影响[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(13): 1905-1911.

[21] 袁飞, 彭宇, 张春兰, 等. 有机物料减轻设施连作黄瓜苗期病害的微生物效应[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 867-870.

[22] Mazzola M, Granatstein D M, Elfving D C, et al. Suppression of specific apple root pathogens by *Brassica napu* seed meal amendment regardless of glucosinolate content[J]. Phytopathology, 2001, 91: 673-679.

[23] Mazzola M, Mullinix K. Comparative field efficacy of management strategies containing *Brassica napus* seed meal or green manure for the control of apple replant disease[J]. Plant Disease, 2005, 89(11): 1207-1213.

[24] Wilson S, Andrews P, Nair T S. Non-fumigant management of apple replant disease[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 102: 221-231.

[25] 王军, 詹振寿, 谢玉华, 等. 有机物料对植烟土壤速效养分含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(2): 31-35.

[26] 苏立涛, 沈向, 郝云红, 等. 有机物料对连作平邑甜茶幼苗生长及微生态环境的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 187-192.

[27] Kukkonen S, Palojarvi A, Rakkolainen M, et al. Cropping history and peat amendment-induced changes in strawberry field earthworm abundance and microbial biomass[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(8): 2152-2161.

[28] Li H Q, Liu Q Z, Xie F, et al. Effects of soil amendment on phenolic acids content and enzyme activities in rhizosphere soil of continuous cropping

strawberry(abstract)[C]. Organizing Committee of International Strawberry Symposium. Book of Abstracts VII International Strawberry Symposium ISHS [M]. China Agriculture Press, 2012: 79.

[29] 周长勇, 张秀清, 尹旭彬. 番茄嫁接苗与自根苗的对比试验[J]. 中国蔬菜, 2001(4): 32-33.

[30] 郝俊杰, 马奇祥, 刘焕民, 等. 嫁接棉花对棉花黄萎病抗性、产量和纤维品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3974-3980.

[31] 董林林, 左元梅, 李晓林, 等. 嫁接对黄瓜土壤生化特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(4): 51-56.

[32] 高志华, 葛会波, 李青云, 等. Mycokick 菌剂对连作草莓的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 188-190.

[33] Porras M, Barran C, Arroyo F T, et al. Reduction of *Phytophthora cactorum* in strawberry fields by *Trichoderma* spp. and soil solarization[J]. Plant Disease, 2007, 91(2): 142-146.

[34] 薛清, 来航线. 放线菌制剂对连作草莓开花及结果的影响[J]. 北方园艺, 2010(6): 177-179.

[35] Harender R, Sharma S D. Integration of soil solarization and chemical sterilization with beneficial microorganisms for the control of white root rot and growth of nursery apple [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 119(2): 126-131.

[36] 刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 等. 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, 7(3): 718-723.

[37] 肖逸, 王兴祥, 王宏伟, 等. 施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1185-1192.

[38] 徐淑霞, 张世敏, 尤晓颜, 等. 黄孢原毛平革菌对黄瓜连作土壤酚酸物质的降解[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2480-2484.

[39] 解灵军, 尹宝重, 高峰, 等. 草莓根系自毒物质降解菌的筛选及降解效果研究[J]. 河北农业大学学报, 2009, 32(4): 76-78, 87.

[40] 喻国辉, 谢银华, 陈燕红, 等. 利用微生物缓解苯丙烯酸对黄瓜生长的抑制[J]. 微生物学报, 2006, 46(6): 934-938.

[41] Particka C A, Hancock J F. Breeding for increased tolerance to black root rot in strawberry[J]. Hort Science, 2008, 43(6): 1698-1702.

[42] 甄文超, 曹克强, 代丽, 等. 利用药用植物源土壤添加剂控制草莓再植病害的研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 730-735.

[43] 赵飞龙, 董海龙, 仲嘉伟, 等. 三种植物提取物对黄瓜枯萎病菌的离体抑菌活性测定[J]. 山西农业科学, 2009, 37(2): 50-52.

[44] 罗建军, 翁群芳, 胡美英. 抑菌植物的筛选及甘草对 5 种植物病原真菌抑菌活性的研究[J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(3): 356-360.

## Research Progress on the Regulation Technology of Continuous Cropping Obstacle

LI He-qin<sup>1,2</sup>, LI Xing-yue<sup>1</sup>, LIU Qi-zhi<sup>1</sup>, ZHANG Lin-lin<sup>1</sup>, BAI Peng-hua<sup>1</sup>, BAI Chun-qi<sup>1</sup>, WANG Yu-ling<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193; 2. College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109)

**Abstract:** The continuous cropping obstacle has become the key factor restricting the sustainable development of agriculture. Based on the causes of continuous cropping obstacle, the main regulation techniques for the continuous cropping obstacles such as crop rotation and intercropping, cleaning and disinfection, garden soil and fertilizer, application of organic matter etc were summarized in this paper. The main problems and prospects in regulation techniques for the continuous cropping obstacles were put forward on the basis of review.

**Key words:** continuous cropping obstacles; regulation techniques; comprehensive utilization