

填闲作物阻控设施菜田土壤功能衰退研究进展

田永强^{1, 2} 高丽红^{1*}

(¹中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; ²中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 土地集约化经营的设施农业是我国农业的重要组成部分。然而, 集约化种植体系中传统的连作和简单轮作更多地依赖农药和化肥, 由此引发了温室土壤质量的下降和作物生长障碍, 从而使得作物产量下降。如何阻控土壤功能衰退, 修复并保持土壤健康, 实现设施蔬菜产业可持续发展是设施蔬菜生产上亟待解决的问题。填闲作物是维持集约化种植体系土壤功能的生物途径, 随着填闲作物改善土壤养分循环研究的深入, 人们对填闲作物生态效应及其机制的认识也越来越深入。本文阐述了国内外填闲作物阻控土壤功能衰退研究进展, 并在此基础上分析了填闲作物阻控设施菜田土壤功能衰退的可行性。

关键词: 设施蔬菜; 土壤功能; 填闲作物; 衰退阻控; 综述

中图分类号: S62 文献标识码: A 文章编号: 1000-6346 (2012) 18-0026-10

Research Progress on Catch Crop Planting for Reducing Soil Function Degradation in Greenhouse Vegetable Field

TIAN Yong-qiang^{1, 2}, GAO Li-hong^{1*}

(¹College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; ²College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The intensive facility agriculture is an important part in Chinese agricultural production systems. However, continues cropping and simple rotation, these 2 conventional practices are relying on limited land area with large input of chemical fertilizer and pesticide, and have caused soil degradation and brought obstacles to plant growth, resulting in a reduction of plant production. Thus, how to reduce the soil function degradation, improve soil quality and realize the sustainable development of greenhouse vegetable production becomes an issue demanded be solved. Catch crop is a biological tool to minimize soil degradation. With the continuous studies on soil nutrient cycling by catch crop, people's understanding about catch crop mechanism and its ecological efficiency has become more and more thoroughly. The paper expounded the research progress made both in China and foreign countries about effects of catch crops on reducing soil function degradation and analyzed the feasibility of using catch crop to reduce soil function degradation in greenhouse vegetable field.

收稿日期: 2012-06-13; 接受日期: 2012-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30972034), 现代农业技术体系北京果类蔬菜创新团队项目

作者简介: 田永强, 男, 博士后, 专业方向: 设施退化土壤修复与农业废气物循环利用, E-mail: tianyq1984@gmail.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 高丽红, 女, 教授, 博士生导师, 专业方向: 设施菜田退化土壤生物修复与水肥高效利用, E-mail: gaolh@cau.edu.cn

Key words: Greenhouse vegetable; Soil function; Catch crop; Reduction of degradation; Review

资源和环境问题是世界各国农业生存和发展面临的首要问题。如何协调人口、生产资源和环境三者的关系,是农业可持续发展的重中之重。随着人口增长,有限的土地已经不能满足国民对蔬菜需求的生产 (Vitousek et al., 2009); 于是,提高土地利用率和土地集约化经营的设施农业成为我国农业的重要组成部分 (Guo et al., 2010),其面积由 20 世纪 80 年代的 0.03 万 hm^2 发展到 2010 年的 467 万 hm^2 (刘步洲和陈端生, 1989; 喻景权, 2010)。与露天种植体系相比,日光温室所创造的人工环境通常适于蔬菜生长,并能增加蔬菜产量和为农户创造更多的经济效益 (李天来等, 2006)。但是,连作、简单轮作和肥料的过分投入是日光温室蔬菜生产中的常见现象,由此带来的土壤理化性状恶化、微生物区系失衡和植物源有害物累积等问题普遍引起了土壤质量退化和作物产量下降 (Yao et al., 2006; Guo et al., 2010)。温室土壤质量下降问题越来越受到人们的关注,如何阻控土壤功能衰退,修复并保持土壤健康,实现设施蔬菜产业可持续发展是设施蔬菜生产上亟待解决的问题。

夏季休闲是我国北方日光温室蔬菜种植体系中用来改良土壤环境的传统措施 (Guo et al., 2008)。传统的休闲在改良退化土壤中的作用非常有限。此外,在夏季休闲期日光温室常常进行揭膜晒地,而夏季又是我国北方的多雨季节,土壤养分随雨水下渗而污染地下水。取代传统休闲的方法之一是在夏季种植生长周期短、耐热的深根系作物阻控养分流失 (Guo et al., 2008)。这种作物被称为夏季填闲作物。已有许多深根系作物被欧洲、美国 (Logsdon et al., 2002; Thomsen, 2005) 和中国 (Guo et al., 2008; Tian et al., 2009, 2010) 科技工作者分别用作冬季和夏季填闲作物来阻控硝酸盐淋失、防治土壤退化和促进作物生长。国外有关填闲作物的研究由来已久,且较深入。我国有关夏季填闲作物对蔬菜生长影响的研究不多,且相关研究多不涉及土壤生物学环境,或涉及但研究不够深入。本文重点从土壤生物学环境入手,综述夏季填闲作物改良退化设施菜田土壤,实现蔬菜生产可持续发展的可能性,为我国蔬菜产业发展提供参考。

1 土壤生物学环境是维系设施菜田土壤功能的关键

土壤生物学环境恶化是土壤功能衰退的主要原因之一 (Bagayoko et al., 2000),在设施菜田尤为典型 (Yao et al., 2006)。良好的土壤生物学环境,如土壤微生物结构和功能多样性增加、土壤碳素与氮素矿化-固定平衡、植物寄生线虫的减少、植物非寄生线虫增加等,能够有效阻控土壤功能衰退并提高土壤-作物系统生产力 (Wardle et al., 2004; Hines et al., 2006)。一般来讲,设施菜田土壤生物学环境主要包括土壤微生物、土壤动物 (主要是线虫) 以及土壤养分。设施蔬菜生产中物理调控、病虫害的防治和养分的供给能力基本依赖人为投入而不是自然的生态过程,然而在高投入的设施菜田生态系统中,土壤生物学环境的重要性常常被忽视 (李琪等, 2007)。因此,在集约化种植体系下,根据作物生长需求将土壤生物学环境作为一种资源来认识和保护,并按照其对菜田生态系统服务进行管理是设施蔬菜生产向可持续农业转变的最关键途径。

土壤微生物群落是土壤中的活性组分,其群落的变化能够引发土壤一系列生态系统过程的改变,如养分循环、能量流通、有机质转换等,进而影响地上部植株生产力 (Wardle et al., 2004; Manzoni et al., 2008)。因此,土壤微生物群落被广泛认作土壤质量不可分割的一部分 (Schutter et al., 2001)。土壤微生物不仅控制着土壤有机质和重要营养元素的生物转化,还深刻影响着土壤物理-化学性质,如土壤容重、pH 值和 EC 值的变化 (Kemmitt et al., 2006),以及其他生物的活动 (Bagayoko et al., 2000)。此外,土壤微生物群落与土壤线虫密切相关。例如 Griffiths 等 (1993) 研究发现微生物活性的增加能使大麦农田土壤中食细菌线虫雌虫的比例迅速增大,最

终导致整个线虫种群数量的增加。

土壤线虫作为土壤中数量最丰富的后生动物,是土壤有机质分解和养分矿化等生态过程的主要调节者(李琪等,2007)。线虫群落组成在一定程度上能够反映出植被变化和人为管理扰动下土壤质量的变化(Wheeler et al., 2008)。植被是决定植物寄生线虫分布的主要因素之一(Klironomos, 2002)。蔬菜作物一旦受到植物寄生线虫入侵,其寄主作物生产力迅速下降(Tian et al., 2011)。此外,土壤微生物,如真菌、细菌和放线菌等,都可作为蔬菜寄生线虫的天敌或与其存在互惠共生的关系(Wardle et al., 2004)。虽然植物寄生线虫对作物产量有深刻影响,但其绝对数量与作物产量并不一定呈简单的负线性相关。例如, Bagayoko等(2000)调查非洲尼日尔农田发现,虽然多雨区植物寄生线虫数与作物产量呈显著正相关,但是沙地低肥区较低的植物寄生线虫数依旧能严重为害作物根系而造成减产。因此,在集约化种植体系下,探讨设施菜田植物线虫影响作物生产力的机制显得尤为重要。

综上所述,土壤生物是一个丰富的资源库,土壤生物群落与土壤-作物系统生产力和生物修复密切相关。所以,研究设施菜田土壤生物学环境与体系生产力之间的关系将有助于更好地对退化菜田土壤进行修复,进而提高和维持菜田生态系统生产力。根据已有的研究,植被及其残体(地上部和根)的引入能够显著影响土壤生物、物理和化学过程(Klironomos, 2002)。因此,通过引入填闲作物及其残体还田来改良主栽蔬菜土壤生物学环境具有可操作性。

2 填闲作物是维持种植体系土壤功能的生物途径

在高投入的农田体系中,由于土壤的物理调控、病虫害防治和养分供给基本依赖人为而不是自然的生态过程,时空上的能量流动和养分循环常常被忽视(郭瑞英,2007)。为了保证高产的同时获得优质,集约化种植时需要投入足够的养分;但是,集约化种植体系下作物生长迅速,根系不发达,使得养分供给时处于相对较高的临界水平(Chen et al., 2004)。此外,集约化种植体系中传统的连作和简单轮作更多的是依赖农药化肥。然而,过量施用氮肥使得我国北方很多集约化农田不但氮肥利用效率相当低(Ju et al., 2009),而且造成土壤严重酸化(Guo et al., 2010)。因此,发展环境友好的种植体系是增强生态系统自我修复功能的有效途径。然而,由于集约化种植对于作物种类以及产品质量和数量要求的局限,大幅度改变原有种植体系并不可行。因此,充分利用传统种植体系休闲间隙,选择适宜的作物进行种植,使得在不改变主栽作物生长期的情况下实现种植体系的环境友好变为可能(Guo et al., 2008)。利用休闲期种植深根作物阻控氮素淋失(Ju et al., 2007),或提高土壤中磷素的有效性(Maroko et al., 1999),或改善土壤微生物和线虫环境(Tian et al., 2011),或通过生物固氮输入额外氮素(van Noordwijk, 1999),提高体系内养分循环方面的作用效果已得到了国内外科研工作者的普遍认可。

2.1 填闲作物由来、概念及发展

植草休耕(Vegetated fallows)是许多热带农业生态系统不可或缺的一部分(Bunemann et al., 2004)。在传统的种植周期中,主要的经济作物收获后,为了土壤培肥和降低杂草虫害,通常有一段长时间(可长达15 a)的植草休耕期,即这段时间任由自然发生的木本植被生长(Szott et al., 1999)。即便是对食物需求很大的人口密集区,自然休耕现象也很普遍(Swinkels et al., 1997)。但是,在对食物需求量较大的种植区,由于休闲期相对较短,休闲期植被主要由牧草和杂草构成,而这些植被对土壤有机质的贡献相当有限。在这种情况下,如果种植豆科作物,可以使土壤获得额外的氮素输入(van Noordwijk, 1999)。事实上,早在20世纪初,利用休闲期种植作物来减少氮素淋溶的思想就已被提出了。据笔者所知,1996年,Hartemink等(1996)首次在公开发表的文献中称具有深根系的田菁属植物能够从表层土壤捕获硝态氮。1997年,Vos和van der

Putten (1997) 提出氮素捕获作物 (Nitrogen-catch crop) 的概念: 主要作物收获后, 在多雨季节种植的作物以吸收土壤氮素、降低耕作系统中的氮素淋溶损失, 并将所吸收的氮素转移给后季作物。Sanchez (1999) 称氮素捕获作物为改良休耕作物 (Improved fallow-crop), 而 Szott 等 (1999) 称之为“管理休耕作物” (Managed fallow-crop)。氮素捕获作物包含于覆盖作物 (Cover crop) 中。由于在字面意思上, “填闲作物”较“覆盖作物”更能直观体现其“为填补休闲期空白而种植的作物”之意, 因此, 本文将休闲期种植的氮素捕获作物和覆盖作物 (包括生物固氮作物) 统称为填闲作物 (Catch crop)。与已有文献中填闲作物侧重调控土壤养分循环方面的作用有所不同, 本文中填闲作物的作用主要体现在其阻控集约化设施菜田土壤质量衰退或修复退化土壤功能上。严格意义上, 填闲也属于轮作范畴。但是, 与传统轮作相比, 填闲并没有大幅度改变集约化生产体系主栽经济作物的种植习惯, 是一种简单、特殊而有效的轮作模式。我们称这种利用短期空闲进行轮作的种植模式为填闲。那么, 本文中, 填闲作物可以定义为: 在设施菜田中, 主栽蔬菜作物收获后, 在轮换种植间隙较短的时间内种植的修复并保持土壤功能, 改善后季作物生长发育的作物。

2.2 填闲作物阻控种植体系土壤功能衰退的可行性

虽然利用填闲作物阻控氮素损失和提高磷素利用效率的思想提出较早, 但一直不是科学研究中的热点。随着非洲土地植草休耕引起的有效磷素亏缺现象加重 (Niang et al., 2002), 及美国 (Strock et al., 2004)、欧洲 (Thomsen, 2005) 和中国 (Ju et al., 2007) 等地氮素过量施入及硝酸盐淋失的加重, 填闲作物的研究又引起研究者的兴趣。在集约化生产中, 填闲作物的种植能够实现在不大幅度改变种植体系的情况下有效提高土壤的贮存能力和养分循环能力, 实现环境友好。例如, 在非洲传统的植草休耕生产体系中, 磷素常常是玉米地的限制因子, 如果增施氮肥的同时忽略增施磷肥, 玉米难以增产 (Jama et al., 1997)。然而, 即使没有额外的磷素输入, 引入填闲作物 (豆类) 的玉米-豆类轮作体系的玉米年产量要显著高于没有休闲期的玉米连作或玉米-休闲轮作体系 (Smestad et al., 2002)。说明豆类作为填闲作物提高了土壤中磷素的有效性, 阻控了玉米地有机质损失, 增强了养分循环能力 (Bunemann et al., 2004)。从草地和灌木生产系统到现代集约耕作系统, 有关填闲作物的实践与理论表明, 填闲作物对维持非自然生态系统生产力具有重要作用。

与诸多陆地生态系统外来植物与土著植被因为同时空存在而常常引起竞争 (Callaway & Ascheloug, 2000; Packer & Clay, 2000) 的情况不同, 填闲作物与主栽作物不存在时空上的碰撞; 因此, 二者之间的同时竞争也就不存在可能性。然而, 二者是不同时间出现在同一土地上的植物群体, 由于不同时间对于相同地块土壤养分、微生物、线虫的作用使得间接的相互影响必然存在, 或正或负。因此, 有效的填闲作物的选择显得尤为重要。在环境友好的基础上, 保证主栽作物健康地生长是填闲作物的唯一使命。不同植物物种对土壤环境的影响不同, 因此, 应根据不同时期土壤质地的变化, 在相同或不同时间选择多种填闲作物才能综合阻控土壤功能衰退。现有的研究表明, 生物多样性是保证生态系统持续运行的基础 (van der Heijden et al., 1998; Klironomos, 2002)。尽管在集约化种植体系中难以实现同一地块同一时间植物多样性, 但根据生产需要不断改变填闲作物种类可以使同一地块在时空转换中呈现植物多样性。

根据持续农业的理念, 在作物种植体系引入一种或多种有效的填闲作物来阻控土壤功能衰退提高系统生产力具有十分重要的意义。我国设施蔬菜栽培大面积推广不过二十多年, 但是造成的土壤功能衰退问题已经相当严重 (Guo et al., 2010)。虽然人们也认识到连作带来的土壤和产品质量下降问题, 但是由于生存的需要, 农户常常依靠过量施用化肥或在大量施肥的基础上进行果菜类不同物种的简单轮作来实现对于产量和效益的追求, 但这不利于设施土壤健康保持

及其可持续利用。因此,在设施蔬菜生产的休闲期种植填闲作物将成为阻控土壤功能衰退、提高主栽作物产量的有效途径。

2.3 填闲作物维持和修复土壤功能的有效性

通过促进养分循环来改良后季作物土壤养分的供求状况是研究者们普遍关注的问题。与填闲作物阻控氮素损失的研究相比,这方面的研究并不明确。事实上,在集约化种植体系中,后季作物土壤功能的强弱直接关系到系统生产力的高低。来自非洲西部半干旱地区的研究显示,填闲期种植豆类作物常常对主栽谷类作物产量产生影响(Bagayoko et al., 1996; Bationo et al., 1998)。普遍认为,豆类生物固氮的行为提高了土壤中有效氮的含量,而这些有效氮能够被谷类作物利用。但是,在非洲萨赫勒地区,在增施氮肥的情况下,填闲期种植豆类作物依然能够提高谷类作物(粟和高粱)的产量(Bationo et al., 1998)。也有报道显示在豆类对土壤全氮的影响不明显的情况下,种植豆类后谷类作物的产量也提高了(Bationo et al., 1998)。因此,有学者认为,填闲作物增加主栽作物产量是因为其引起了种植体系内土壤微生物群落结构与活性及其生物量的变化(Klose & Tabatabai, 2000)。一方面,作物根系的分泌物和死亡的根是微生物丰富的能源物质,其地上部可以为土壤微生物提供大量凋落物(Ferris et al., 2004)。另一方面,这些物质也可能对病原生物构成威胁,如夏季休闲期种植青蒜可降低黄瓜致病菌的积累(吴艳飞等, 2006)。更多的研究表明,微生物多样性可能是维持土壤功能的基础(Mader et al., 2002; Stocking, 2003)。此外,填闲作物-土壤线虫互作机制也可能是影响后季作物生产力的主要因素。Wheeler等(2008)研究指出,冬季休闲期种植填闲作物不存在阻控后季玉米植物病原线虫为害机制,必须使用其他的阻控手段减小植物病原线虫给后季玉米带来的危害。不过,McSorley和Dickson(1995)的研究表明,利用冬季填闲作物阻控后季作物受寄生线虫为害是可行的,但仅仅针对某一关键病原线虫种群(如根结线虫)的填闲作物的引入是危险的,因为其导致其他病原线虫为害加重。因此,能够阻控后季作物受多种寄生线虫为害的填闲作物才是有效的。

综上,填闲作物对土壤功能和后季作物生产力的影响是多因素综合作用的结果。因此,单纯以土壤生物圈中的某一因素来预测填闲作物的有效性并不可靠。土壤-植物系统的复杂性决定了判定填闲作物是否有效必须综合考虑其给土壤生物圈各种因素带来的影响。在一个高投入的农业生态系统中,特别是设施菜田体系,人为管理的过分干扰可能会混淆或者掩盖某些参数与作物生产力的关系。这也就增加了评判填闲作物有效性的难度。如丛枝菌根真菌促进植物对磷素吸收和增加植物多样性的效果只有在低肥力土地上才能显现出来(Wardle et al., 2004)。尽管如此,多尺度研究填闲作物的有效性是必要的。

3 设施蔬菜种植体系中填闲作物的选择

在设施生产中,主要的蔬菜多属于浅根系(Guo et al., 2008; Verma et al., 2007)。设施蔬菜地常处在半封闭状态下,这种土地种植蔬菜几年以后,土壤肥力状况将发生显著变化,主栽作物因土壤障碍而造成产量下降的问题普遍存在(Yao et al., 2006)。因此,填闲作物应具备两点要求:一是在较短生长期内,地上部及根系生长迅速、生物量大、根系深(深根系有利于接触更广的土壤容积)等特点;二是能有效地改变土壤中养分的分布、改良土壤结构和土壤生物学环境,对下茬作物根系生长产生友好影响。我国北方温室栽培茬口决定了填闲作物种植应在6月中旬至9月上旬,所选填闲作物要求生长期更短,耐高温及耐涝性强。由于代谢途径的差异,C4作物较C3作物光合作用强,生长迅速且生物量大,根系较发达,其中苋菜、青贮玉米、糯玉米或甜玉米依其生物学特性,较适合作为填闲作物(任智慧等, 2003)。研究表明,非豆科的双子叶植物(油菜、普通白菜)优于麦类,这是由于双子叶植物属于主根系,由主根轴发展

根系, 而麦类是冠状的须根系。Garand 等 (2001) 认为, 从阻控氮素损失的角度看, 苜蓿是豆科作物, 自身可以固氮, 属于无效的填闲作物, 但它可以作为绿肥为春小麦提供更多的氮素, 在一定程度上能够达到填闲作物的效果。Tian 等 (2011) 根据多年定位研究认为, 在温室夏季休闲期配套种植苋菜和茼蒿, 不仅可以有效改善退化连作土壤微生物环境, 而且可以通过提高非植物寄生线虫/线虫比值增加主栽作物产量。而窄叶羽扇豆之类的豆科作物, 由于其种子价格较高, 即使能够作绿肥也不可能作为一种常规的填闲作物; 但是, 它可以用来修复较差的土壤结构。但也有研究显示豆科的生物固氮功能并不影响其作为填闲作物的优越性, 因为它能够提高土壤中后季作物可利用的有效氮含量 (Bationo et al., 1998)。十字花科比麦类根系深并且生长迅速, 在非豆科的双子叶植物中最有可能找到根系迅速下扎的作物 (Thoroup- Kristensen, 1993)。对于受植物病原线虫为害的设施菜田而言, 前面提到的选择依据必须做出相应的调整。在这个时候, 选择能够阻控后季作物受多种寄生线虫为害的填闲作物才是有效的 (McSorley & Dickson, 1995)。当然, 对于受某单一植物病原线虫为害的地块而言, 选择能够作为该线虫寄主的填闲作物也是有效的 (Tzortzakakis & Trudgill, 2005)。主栽作物病原线虫为害严重的地块, 即便选择了适宜的填闲作物, 可能仍需要其他手段辅助, 如杀线虫剂 (Wheeler et al., 2008), 才能获得理想的产出。

可见, 放之各地而有效的填闲作物并不存在。生产中, 应根据土壤生物圈的实际情况下针对性地选择。找到能够同时具备所有修复土壤功能需要的机制的填闲作物几乎不可能, 因此, 同时选择多种填闲作物, 或不断变换填闲作物的种类, 或与其他可行的措施相结合, 应该是未来从根本上解决集约化种植体系所面临问题的有效途径。

4 填闲作物残体还田是阻控土壤功能衰退的生物措施

填闲作物的另一个重要作用是通过残体还田改良后季作物土壤环境。填闲作物收获后, 将其残体作为绿肥翻入土壤, 对土壤养分循环、土壤结构、土壤微生物和线虫的分布等都构成影响 (Guo et al., 2008; Tian et al., 2011)。例如, 填闲作物残体还田使微生物量显著提高, 从而刺激了食细菌和真菌线虫的繁殖 (Ferris et al., 2004)。对于植物残体而言, 其 C/N 比在研究中比较重要。填闲作物残体 C/N 比降低会引起食细菌和真菌线虫的成倍繁殖 (Ilieva-Makulec et al., 2006)。中等 C/N 比 (16 ~ 18) 的残体能够最大限度地促进土壤线虫营养循环而提供更多的有效氮素供作物吸收 (Porazinska et al., 1999)。因此, C/N 比适度的填闲作物残体还田有助于使养分循环维持在一个比较稳定的水平 (Dupont et al., 2009)。事实上, 在持续农业中, 对于集约化种植体系而言, 填闲作物残体还田是控制氮素矿化-固定平衡的最佳手段。例如, 在后季作物生长初期, 并不需要过多矿质氮, 这个时候, C/N 比适度的残体促使微生物固定氮素而避免了矿质氮素过分淋失 (Lal, 2008)。在生长中期, 作物也能通过强有力的根系吸收足够的矿质氮素。对于 C/N 比过高的残体而言, 其促使微生物过分固定无机氮素而大大减少了土壤中后季作物可利用的有效氮素, 可能不利于作物生长 (Jensen, 1997)。当然, 也有研究指出这种影响并不存在 (Guo et al., 2008)。

综上, 在选择适宜的填闲作物的基础上对残体进行科学管理能够阻控土壤功能衰退。但是对于那些严重受植物病原线虫为害的设施菜田而言, 病原线虫的过分干扰可能会混淆或者掩盖残体还田与作物生产力的关系。即使其阻控土壤功能衰退的机制确实存在, 填闲作物残体对于后季作物生产力的贡献仍有可能被掩盖。这个时候, 表象并不一定真实。所以, 透过现象看本质才是揭示填闲作物残体还田的根本原则。

5 研究展望

5.1 填闲作物对作物-土壤互作反馈机制的影响

蔬菜作物与其生长的土壤环境互作是联结土壤和蔬菜作物生态的纽带。在设施蔬菜种植体系中,与外界不同的高温高湿环境以及养分循环速率高(吴凤芝,2000)等因素都直接影响蔬菜作物-土壤互作机制。蔬菜作物-土壤体系互作反馈机制不仅影响体系内各生物学因子,如主栽蔬菜作物、微生物和线虫等对外界人为干扰(包括种植填闲作物)的响应机制,且能够创造大规模的反馈机制以改变人为干扰尺度的大小。

5.2 土壤线虫与设施蔬菜种植体系生产力的关系

我国有关不同填闲作物阻控设施菜田土壤功能衰退的相关研究,多从植物营养和土壤微生物学角度入手(Guo et al., 2008; Tian et al., 2011),忽视了土壤线虫对体系生产力存在的重要作用。线虫与土壤微生物和植物营养元素间存在普遍关联。因此,未来研究应从线虫相关的土壤食物网(Nematode-based soil food webs)入手,进一步揭示线虫作用的潜在机制。如线虫物种和功能多样性、营养类群或线虫生活史等与设施蔬菜种植体系生产力的关系。此外,在设施菜田种植普遍引起土壤有机质矿化加速的情况下,线虫对于土壤碳素矿化和固持的影响亦应当引起重视。

5.3 微生物多样性与设施蔬菜种植体系生产力的关系

尽管一些研究认为微生物群落功能和结构多样性可能是主导作物生产力的主因;但是,微生物多样性在作物生产力方面的作用还不明确。在填闲作物的相关研究中,微生物多样性指数不能被单独作为评价蔬菜土壤-作物体系生产力高低的指标,需结合其他指标进行多尺度综合评价。此外,鉴于微生物多样性研究方法间存在不同的优缺点,采用不同研究方法综合评价微生物多样性可有效消除或削弱研究方法误差对潜在作用机制的掩盖。

5.4 根际土壤生物学环境与设施蔬菜种植体系生产力的关系

非根际土壤(bulk soil)生物学环境是目前有关设施菜田研究的切入点,但是作物生产力与根际土壤(rhizosphere soil)生物学环境的关系大于其与非根际的关系已是多数研究者的共识(Kowalchuk et al., 2002; Lu & Conrad, 2005)。未来有关设施菜田填闲作物的研究,应当综合考虑根际和非根际生物学环境与种植体系生产力的关系;而根际调控可能不仅是植物营养学关注的重点,也是土壤生物学关注的重点。

5.5 多因素综合研究与单因素多尺度研究

毫无疑问,设施蔬菜种植体系主栽作物生产力不可能是单因素调控的结果。在设施菜田相关研究中,有必要进行多因素综合研究和大面积调查,同时运用数学手段,评价各指标优缺点和等级,即为菜田评价制定全国统一或局部地区标准。在某一因素的研究中,不同方法的采用常常使得研究结果发生变异;因此,单因素多尺度研究也是必要的。

5.6 不同填闲作物对同一菜田退化土壤的交替改良

在实际生产中,生产者常常在同一菜田交替采用不同填闲作物改良其退化土壤。而在科学研究中,学者们多从单一填闲作物入手。因此,未来研究有必要探究不同填闲作物在同一菜田的交替采用对退化土壤改良的作用机制,以便为蔬菜生产提供更实际可靠的理论依据。

5.7 健康或可持续设施菜田标准

虽然几乎所有研究均设置对照作为评判不同填闲作物改良效果的标准,但是不同研究中对照处理千差万别。目前我国设施菜田土壤健康缺乏统一标准,因此,应通过大面积调查并运用数学手段制定健康设施菜田国家或地区标准。国家或地区标准可使研究目标具体化,也助于比

较不同填闲作物的优略性。

5.8 填闲作物改良设施菜田长期效应研究

有关设施菜田填闲作物的研究,报道年限多小于五年,而填闲作物的长期采用是目前生产中比较常见的现象。因此,有必要研究填闲作物改良设施菜田的长期效果。

参考文献

- 郭瑞英. 2007. 设施黄瓜根层氮素调控及夏季种植填闲作物阻控氮素损失研究 [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学.
- 李琪, 梁文举, 姜用. 2007. 农田土壤线虫多样性研究现状及展望. 生物多样性, 15 (2): 134-141.
- 李天来, 齐红岩, 齐明芳. 2006. 我国北方温室园艺产业的发展方向——现代日光温室园艺产业. 沈阳农业大学学报, 37 (3): 265-269.
- 刘步洲, 陈端生. 1989. 发展中的中国设施园艺. 农业工程学报, 5 (3): 38-41.
- 任智慧, 陈清, 李花粉, 张宏彦, 李晓林. 2003. 填闲作物防治菜田土壤硝酸盐污染的研究进展. 环境污染治理技术与设备, 4 (3): 13-16.
- 吴凤芝. 2000. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析及防治措施. 东北农业大学学报, 31 (3): 241-247.
- 吴艳飞, 高丽红, 李红岭, 司立珊, 李元, 张雪艳. 2006. 连作温室夏季不同利用模式对黄瓜产量及土壤环境的影响. 中国农业科学, 39 (12): 2551-2556.
- 喻景权. 2010. “十一五”我国设施蔬菜生产和科技进展及展望. 中国蔬菜, (2): 11-23.
- Bagayoko M, Mason S C, Traore S, Eskridge K M. 1996. Pearl millet/cowpea cropping systems yield and soil nutrient levels. African Crop Science Journal, 4: 453-462.
- Bagayoko M, Buerkert A, Lung G, Bationo A, Romheld V. 2000. Cereal/legume rotation effects on cereal growth in Sudano-Shahelian West Africa: soil mineral nitrogen, mycorrhizae and nematodes. Plant and Soil, 218: 103-116.
- Bationo A, Lompo F, Koala S. 1998. Research on nutrient flows and balances in West Africa: state-of-the-art. Agriculture Ecosystem & Environment, 71: 19-35.
- Bunemann E K, Smithson P C, Jama B, Frossard E, Oberson A. 2004. Maize productivity and nutrient dynamics in maize-fallow rotations in western Kenya. Plant and Soil, 264: 195-268.
- Callaway R M, Aschelow E T. 2000. Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion. Science, 290: 521-523.
- Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, Christie P, Li X L, Horlacher D, Liebig H P. 2004. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region. Nutrient Cycling in Agroecosystem, 69: 51-58.
- Dupont S T, Ferris H, Horn M V. 2009. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. Applied Soil Ecology, 41: 157-167.
- Ferris H, Venette R C, Scow K M. 2004. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralization function. Applied Soil Ecology, 25: 19-35.
- Garand M J, Simard R R, MacKenzie A F, Hamel C. 2001. Underseeded clover as a nitrogen source for spring wheat on a Gleysol. Canadian Journal of Soil Science, 81 (1): 93-102.
- Griffiths B S, Ekelund F, Ronn R, Christensen S. 1993. Protozoa and nematodes on decomposing barley roots. Soil Biology & Biochemistry, 25: 1293-1295.
- Guo R Y, Li X L, Christie P, Chen Q, Jiang R F, Zhang F S. 2008. Influence of root zone nitrogen management and summer catch crop on cucumber yield and soil mineral nitrogen dynamics in intensive production systems. Plant and Soil, 313: 55-70.
- Guo J H, Liu Z J, Zhang Y, Shen J L, Han W X, Zhang W F, Christie P, Gouling K W T, Vitousek P M, Zhang F S. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. Science, 327: 1008-1010.
- Hartemink A E, Buresh R J, Jama B, Janssen B H. 1996. Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallows, weed fallows, and maize. Soil Science Society of America Journal, 60: 568-574.
- Hines J, Megonigal J P, Denno R D. 2006. Nutrient subsidies to belowground microbes impact aboveground food web interactions. Ecology, 87: 1542-1555.
- Ilieva-Makulec K, Olejniczak I, Szanser M. 2006. Response of soil micro- and mesofauna to diversity and quality of plant litter. European Journal of Soil Biology, 42: S244-S249.
- Jama B, Swinkels R A, Buresh R J. 1997. Agronomic and economic evaluation of organic and inorganic sources of phosphorus in western Kenya. Agronomy Journal, 89: 597-604.
- Jensen E S. 1997. Nitrogen accumulation and residual effects of nitrogen catch crops. Acta Agriculture Scandinavica, 41: 333-344.
- Ju X T, Gao Q, Christie P, Zhang F S. 2007. Interception of residual nitrate from a calcareous alluvial soil profile on the North China Plain by

- deep-rooted crops: a ^{15}N tracer study. *Environment Pollution*, 146: 534–542.
- Ju X T, Xing G X, Chen X P, Zhang S L, Zhang L J, Liu X J, Cui Z L, Yin B, Christie P, Zhu Z L, Zhang F S. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, 106: 3041–3046.
- Kemmitt S J, Wright D, Goulding K W T, Jones D L. 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 898–911.
- Klironomos J N. 2002. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities. *Nature*, 417: 67–70.
- Klose S, Tabatabai M A. 2000. Urease activity of microbial biomass in soil as affected by cropping systems. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 46–54.
- Kowalechuk G A, Buma D S, Boer W D, Klinkhamer P G, Veen J A V. 2002. Effects of above-ground plant species composition and diversity on the diversity of soil-borne microorganisms. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81: 509–520.
- Lal R. 2008. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 363: 815–830.
- Logsdon D, Kaspar T C, Meek D W, Prueger J H. 2002. Nitrate leaching as influenced by cover crops in large soil monoliths. *Agronomy Journal*, 94: 807–814.
- Lu Y, Conrad R. 2005. In situ stable isotope probing of methanogenic archaea in the rice rhizosphere. *Science*, 309: 1088–1090.
- Mader P, FlieBach A, Dubois D, Gunst L, Padruot F, Niggli U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296: 1694–1697.
- Manzoni S, Jackson R B, Trofymow J A, Porporato A. 2008. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. *Science*, 321: 684–686.
- Maroko J B, Buresh R J, Smithson P C. 1999. Soil phosphorus fractions in unfertilized fallow-maize systems on two tropical soils. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 320–326.
- McSorley R, Dickson D W. 1995. Effect of tropical rotation crops on *Meloidogyne incognita* and other plant-parasitic nematodes. *Supplement to the Journal of Nematology*, 27 (4s): 535–544.
- Niang A I, Amadalo B A, de Wolf J, Gathumbi S M. 2002. Species screening for short-term planted fallows in the highlands of western Kenya. *Agroforestry Systems*, 56: 145–154.
- Packer A, Clay K. 2000. Soil pathogens and spatial patterns of seedling mortality in a temperate tree. *Nature*, 404: 278–281.
- Porazinska D L, Duncan L W, McSorley R, Graham J H. 1999. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Applied Soil Ecology*, 13: 69–86.
- Sanchez P A. 1999. Improved fallows come of age in the tropics. *Agroforestry Systems*, 47: 3–12.
- Schutter M E, Sandeno J M, Dick R P. 2001. Seasonal, soil type, alternative management influences on microbial communities of vegetable cropping systems. *Biology and Fertility of Soils*, 34: 397–410.
- Smestad B T, Tiessen H, Buresh R J. 2002. Short fallows of *Tithonia diversifolia* and *Crotalaria grahamiana* for soil fertility improvement in western Kenya. *Agroforestry Systems*, 55: 181–194.
- Stocking M A. 2003. Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*, 202: 1356–1359.
- Strock J S, Porter P M, Russelle M P. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern US Corn Belt. *Journal of Environment Quality*, 33: 1010–1016.
- Swinkels R A, Franzel S, Shepherd K D, Ohlsson E, Ndufa J K. 1997. The economics of short rotation improved fallows: evidence from areas of high population density in western Kenya. *Agroforestry Systems*, 55: 99–121.
- Szott L T, Palm C A, Buresh R J. 1999. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. *Biomedical and Life Sciences*, 47: 163–196.
- Thomsen I K. 2005. Nitrate leaching under spring barley is influenced by the presence of a ryegrass catch crop: results from a lysimeter experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111: 21–29.
- Thoroup-Kristensen K. 1993. Root development of nitrogen catch crops and of a succeeding crop of broccoli. *Acta Agriculture Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 43: 58–64.
- Tian Y Q, Zhang X Y, Liu J, Chen Q, Gao L H. 2009. Microbial properties of rhizosphere soils as affected by rotation, grafting, and soil sterilization in intensive production systems. *Scientia Horticulturae*, 123: 139–147.
- Tian Y Q, Liu J, Zhang X Y, Gao L H. 2010. Effects of summer catch crop, residue management, soil temperature and water on the succeeding cucumber rhizosphere nitrogen mineralization in intensive production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88: 429–446.
- Tian Y Q, Zhang X Y, Liu J, Gao L H. 2011. Effects of summer cover crop and residue management on cucumber growth in intensive Chinese production systems: soil nutrients, microbial properties and nematodes. *Plant and Soil*, 339: 299–315.
- Tzortzakakis E A, Trudgill D L. 2005. A comparative study of the thermal time requirements for embryogenesis in *Meloidogyne javanica* and

- M. incognita*. *Nematology*, 7: 313–315.
- van der Heijden M G A, Klironomos J N, Ursic M, Moutoglou P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders L R. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396: 69–72.
- van Noordwijk M. 1999. Productivity of intensified crop–fallow rotations in the Trenbath model. *Agroforestry Systems*, 47: 233–237.
- Verma P, George K V, Singh H V, Singh R N. 2007. Modeling cadmium accumulation in radish, carrot, spinach and cabbage. *Applied Mathematical Modelling*, 31: 1652–1661.
- Vitousek P M, Naylor R, Crews T, David M B, Drinkwater L E, Holland E, Johnes P, Kazenberger J, Martinelli L A, Matson P A, Nziyheba G, Ojima D, Palm C A, Robertson G P, Sanchez P A, Townsend A R, Zhang F S. 2009. Nutrient imbalance in agricultural development. *Science*, 324: 1519–1520.
- Vos J, van der Putten P E L. 1997. Field observations on nitrogen catch crops. I. Potential and actual growth and nitrogen accumulation in relation to sowing date and crop species. *Plant and Soil*, 195 (2): 299–309.
- Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall D H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304: 1629–1633.
- Wheeler T A, Leser J F, Keeling J W, Mullin B. 2008. Effect of a terminated cover crop and aldicarb on cotton yield and *Meloidogyne incognita* population density. *Journal of Nematology*, 40 (2): 147–151.
- Yao H, Jiao X, Wu F. 2006. Effects of continuous cucumber cropping and alternative rotations under protected cultivation on soil microbial community diversity. *Plant and Soil*, 284: 195–203.

· 新书推荐 ·

两岸学者鼎力合作 历时五年精心打造 《中国蔬菜作物图鉴》(全彩版) 出版发行

《中国蔬菜作物图鉴》是由中国农业科学院蔬菜花卉研究所、台湾中兴大学园艺学系联合编著，两岸园艺界150余位专家、学者历时五年倾力打造的一部关于中国蔬菜作物种类资源的鸿篇著作。本书集科学性、全面性、知识性和实用性于一体，图文并茂地介绍了中国蔬菜作物的概貌，是蔬菜产业界朋友们不可缺少的一部大型蔬菜应用技术著作，也是广大读者不可多得的一座蔬菜作物大观园。

科学整理，种类齐全

按照农业生物学分类法，本书收录的蔬菜作物包括：根菜类、白菜类、甘蓝类、芥菜类、茄果类、豆类、瓜类、葱蒜类、叶菜类、薯芋类、水生类、多年生及杂类、食用菌类、香草类、芽苗菜共15类238种（亚种、变种）蔬菜作物及部分野生蔬菜，利用彩色照片，表现出每一种蔬菜作物的幼苗、植株、花、果实、种子、栽培生长情况和产品类型。

图文解说，内容丰富

书中附有1800余幅彩色图片，图片真实、精美，编者力图直观、多角度、科学地表达各种蔬菜作物的形态特征和生态多样性，尤其是通过各种蔬菜作物的种子（果实）、花器放大图像，为有效鉴别蔬菜种类提供方便。精美图片解说的同时还配以简短的文字，内容包括各种蔬菜作物的名称、别名、学名、英文名、染色体数、起源或分布、生育周期与授粉习性、类型、植株性状、栽培分布、栽培环境与方法、收获及采后处理、病虫害、营养及用途。依据传统中医学的观点，分别介绍各种蔬菜的气（寒、凉、温、热）、味（酸、辛、咸、甘、淡、苦）及其医疗保健作用。

本书由中国农业科学院蔬菜花卉研究所方智远院士、台湾中兴大学园艺学系张武男教授担任编委会主任，2012年由凤凰出版集团江苏科学出版社出版。

定价：390元，邮购价：400元。

邮购地址：北京市海淀区中关村南大街12号 《中国蔬菜》编辑部

邮编：100081 电话：010-82109550