

土壤生物退化及其修复技术研究进展

薛泉宏, 同延安

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:在阐述土壤生物退化概念和退化机理的基础上,论述了土壤生物退化的不可避免性和防治的重要性;比较了土壤生物退化治理与生态恢复;提出了土壤生物退化的防治措施;建议按照恢复生态学的原理组织植物保护学、土壤学、植物营养学、土壤微生物学、植物生态学及化学生态学多学科联合攻关,从微观生态恢复角度对土壤生物退化问题展开研究。

关键词:土壤退化;土壤生物退化;连作障碍

中图分类号:S158.1

文献标识码:A

文章编号:1008-0864(2008)04-0028-08

Research Progress on Soil Biological Degradation and its Remediation Technology

XUE Quan-hong, TONG Yan-an

(College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Shaanxi Yangling 712100, China)

Abstract: On the basis of expounding the concept and mechanism of soil biological degradation, this paper discusses the unavoidability of soil biological degradation and the significance of controlling it. The paper also compares the control measures of soil biological degradation with ecological restoration, puts forward measures for preventing and curing soil biological degradation, suggests to organize united task forces with multiple disciplines of plant protection, soil science, plant nutrition, soil microbiology, plant ecology and chemical ecology, according to the principles of restoration ecology. Studies on soil biological degradation from micro ecological restoration view point are carried out.

Key words: soil degradation; soil biological degradation; replant obstacle

土壤是人类赖以生存的重要物质基础。土壤退化则是人类活动诱导和加速的一种自然过程。土壤退化现已成为全世界面临的环境问题之一,全球有 20 亿 hm^2 土壤资源受到土壤退化的影响^[1]。研究认为,在全球范围内,土壤退化的主要形式为土壤侵蚀、化学退化及物理退化^[1],土壤退化还可细分为土壤侵蚀、土壤盐碱化、土壤荒漠化、土壤沙化、土壤贫瘠化、土壤潜育化、土壤污染、土壤破坏、土壤生产力丧失等类型^[2,3]。生物因素引起的土壤退化尚未引起普遍的重视和关注。

土壤生物退化会导致土壤生产力大幅度下降甚至绝收。鉴于由生物障碍引起的土壤生物退化速度快、危害大,主要发生于集约化、设施化和专业化程度高及经济效益好的作物(如蔬菜、水果、

中药材、棉花及大豆等)种植区,且人们对土壤生物退化概念还存在不同看法,对土壤生物退化及其危害性重视不够,影响了对土壤生物退化的研究及预防控制,故有必要对土壤生物退化问题进行讨论,以引起科技工作者和有关方面的重视,加强土壤生物退化机理和修复技术研究,寻求有效解决方案,阻止土壤生物退化进一步发展。

1 土壤生物退化概念及发生原因

1.1 土壤生物退化概念

土壤生物退化指由连茬种植的农作物和土壤微生物共同导致的一种土壤生物障碍。其表现为:在同一田块连续多年种植同一作物会导致该作物产量和品质下降,病虫害加重,连茬作物生产

收稿日期:2008-02-24;修回日期:2008-07-07

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD05B07)资助。

作者简介:薛泉宏,教授,主要从事微生物生态与资源利用研究。E-mail: xuequanhong@nwsuaf.edu.cn

力下降或绝收,而改种其他作物却能够正常生长。所以由连茬种植的农作物和土壤微生物共同引起的土壤生物退化是土壤的相对退化,不同于由土壤侵蚀、土壤盐碱化、土壤荒漠化及土壤沙化引起的任何作物均不能生长的绝对退化。由于土壤生物退化仅抑制连茬作物,对其他作物无影响或影响不大,故长期以来并未引起研究者高度关注。

1.2 土壤生物退化发生的原因及其实质

土壤发生生物退化的主导因素是生物,包括连茬种植的农作物和在作物根区、根表土壤中生长的大量土壤微生物。由于土壤生物退化是由生物连作引起的,故该退化也被称作土壤连作障碍(succession cropping obstacle)、再植病害或连茬病害。该退化的实质是农作物连茬种植引起土壤微观生态系统发生了两个方面的异常变化:土壤中的微生物区系异常和化学物质异常。

土壤中微生物区系异常主要指作物根区、根表土壤中病原菌数量大幅度增加,达到或超过发病阈值,有益微生物数量下降,土壤原有的微生物生态平衡遭到破坏,导致作物土传病害发生,其原因在于作物根系分泌物和根系的生理生化活动。

土壤化学物质异常包括四个方面:一是农作物在其生长过程中通过根系、叶片等器官将其产生的某些代谢产物通过不同途径释放到土壤中,其中的根系分泌物起主要作用;二是土壤中的有害微生物向土壤中分泌有害代谢产物;三是作物在生长过程中对某种营养元素的偏好吸收导致营养平衡失调,某种元素亏缺;四是作物残体腐解后向土壤中释放有害成分。所以引起土壤化学成分异常的因素与在土壤中连茬生长的作物和土壤微生物密切相关。

2 土壤生物退化的机理

2.1 作物根区、根表土壤中病原菌大量繁殖

土壤中作物根系密集分布的区域称为根区,根区是一个不同于远离根系区域的“特殊区域”。根区内与根系密切接触、受根系生理生化影响很大的土壤称为根区土壤;根表面紧密附着的薄层土壤受根系影响最大,称为根表土壤(root surface soil, RSS)。传统的“根际”指根周围2~3 mm 内的范围,因此,根区范围要大于根际,根区土壤也不同于根际土壤。

作物在旺盛生长期,其根系不断向土壤中分泌各种代谢产物(有机酸、氨基酸、糖类、CO₂等),在根系周围形成一个特殊的区域(根区、根表)。不同作物根系的分泌物不同,其根系周围的“特殊区域”对土壤中的微生物而言,就是一个“天然的选择性培养基”。凡营养需求与该“天然选择培养基”成分吻合、且受某些根系分泌物刺激的微生物,则在根区、根表土壤中大量繁殖,成为该特殊区域微生物区系中的优势类群(数量最多);其他微生物数量相对减少。如果上述大量繁殖的微生物为有益菌,则促进作物生长;如为病原菌,则从根部或茎部侵染作物,导致作物发病。土壤中有少量病原菌时,作物并不发病;当病原菌的累积数量超过发病“阈值”时,作物发病。连作的生产方式为某些根系特定病害微生物提供了赖以生存的寄主和繁殖场所,导致土壤中病原菌数量不断增加,根区、根表土壤微生物生态失衡,最终引起连茬种植土传病害的发生。常见的连茬种植土传病害有十字花科的软腐病,茄果类和瓜类的猝倒病、立枯病、疫病、根腐病、枯(黄)萎病,番茄、辣椒的青枯病及线虫等。

2.2 土壤中有毒物质累积

有毒物质有两个来源:一是作物向土壤中释放的自毒物质,二是土壤中病原微生物分泌的有毒有害物质。

2.2.1 植物释放自毒物质 植物通过释放化学物质到环境中而产生对植物直接或间接的有害及有益作用,属于植物化感作用(allelopathy)的一种形式。目前,国内外学者已对化感作用的现象和机理作了大量研究,表明植物释放的化学物质对自身和其他植物的生长发育影响很大,其中的有些成分对植物自身产生毒害作用,被称为自毒物质。自毒作用(allelopathy)也是连作土壤生物退化的重要原因之一。

植物毒素来源有三:一是作物根系分泌有毒物质;二是作物地上茎叶分泌的有毒物质通过降水淋溶进入土壤;三是植株残体腐解累积有毒物质。其中根系分泌和残体腐解是自毒物质的主要来源。

自毒物质的种类主要包括酚酸、含氮化合物、香豆素、脂肪酸类及类萜等。关于植物的自毒物质,目前已有大量研究。

阮维斌等^[4]利用高效液相色谱检测大豆根际土壤和残茬腐解液中对羟基苯乙酸和间羟基苯乙酸的含量,并在培养皿内研究两种酚酸对大豆生长的抑制效应。研究表明,在大豆根际土壤和残茬腐解物中存在对羟基苯乙酸,两种羟基苯乙酸对大豆根系生长有明显抑制效应,间羟基苯乙酸的抑制效应更强。

韩丽梅等^[5]采用 GC-MS 分析法对大豆根茬腐解 2 周、4 周的腐解产物的成分进行了鉴定,并对其化感作用进行了初步研究,发现大豆根茬腐解产物(含微生物菌源根际土中的有机化合物)十分丰富,有酸类、酯类、醇类、醛类、酚类和烃类等物质,其中有些有机化合物已被证明就是化感物质。

喻景权等^[6]研究了豌豆根系分泌物的自毒作用,发现豌豆根系分泌物中的生长抑制物质主要在花前分泌,分泌物中酸性、中性和碱性物质均具有较强的生长抑制活性;分泌物中含有苯甲酸、对羟基苯甲酸、香草酸、肉桂酸、香豆酸、3,4-二羟基苯甲酸和 3,5-二甲羟基香豆酸等 7 种生长抑制物质。

研究表明,自毒物质通过影响根系生理活性等途径影响植物生长。甄文超等^[7]研究了连作草莓根系分泌物的自毒作用,结果表明,在含有根系分泌物的生根培养基中定植的草莓组培苗,其生根、根系生长均受到不同程度的抑制,生物量显著下降,而且根系分泌物对草莓幼苗根系生理活性具有抑制作用,主要表现为根系 TIE 还原活性下降、相对电导率增大、SOD 酶活性降低及 MDA 生成量增多,并导致草莓幼苗生长发育不良、病害加重。

另一方面,植物根系分泌物对根区病原菌也会产生巨大影响。丛登立等^[8]采用砂培、水培和室内培养等试验方法研究了连作大豆根系分泌物对根腐病病原菌的化感作用,结果表明,连作和轮作大豆根系分泌物对半镰孢菌,粉红粘菌和尖镰孢菌尤其是对半裸镰孢菌的生长有明显的促进作用($P < 0.05$);低浓度时,连作大豆根分泌物对半裸镰孢菌和粉红粘菌生长的促进作用明显大于轮作大豆($P < 0.05$)。同一茬口,高浓度根系分泌物对半裸镰孢菌生长的促进作用小于低浓度,而且在连作大豆中差异达显著水平;高浓度的邻苯二甲酸和丙二酸对半裸镰孢菌,粉红粘菌和

尖镰孢菌尤其是对半裸镰孢菌的生长有抑制作用($P < 0.05$),而低浓度邻苯二甲酸和丙二酸对半裸镰孢菌,粉红粘菌和尖镰孢菌的生长有促进,部分差异达显著水平。

韩丽梅等^[9]研究了两种基因型大豆根分泌物中的糖、氨基酸、有机酸对大豆根腐病菌的化感作用,发现供试大豆根分泌物(糖、氨基酸、有机酸组分)与根腐病害发生密切相关,其中大豆根分泌物中的糖组分表现出低浓度显著促进、高浓度显著抑制半裸镰孢菌、尖镰孢菌的生长;氨基酸组分对供试病原菌的作用不同,大豆 9536 基因型根分泌物氨基酸组分的中、高浓度处理对半裸镰孢菌、粉红粘菌及尖镰孢菌的生长表现出显著的抑制作用,而吉林 30 表现出显著的促进作用;有机酸组分对半裸镰孢菌、粉红粘菌、尖镰孢菌生长都有显著的抑制作用;大豆基因型不同,根分泌物对根腐病菌的促进或抑制作用有差异。

黄奔立等^[10]用土壤浸提法、根系淋洗法和营养液培养法收集茄根分泌物,制成含有根系分泌物的 PDA 培养基,研究了茄根分泌物及其浸提液对 3 种土传病原菌生长的促进作用。结果表明:茄根分泌物对大丽轮枝菌(*Verticillium dahliae* Kelb.)和核盘菌[*Sclerotinia sclerotiorum*(Lib.) de Bary]生长均具有明显的促进作用;部分处理对灰葡萄孢(*Botrytis cinerea* Pers.)的生长有促进作用;根浸提液对上述 3 种病原菌的生长均产生明显的促进作用。

刘素萍等^[11]研究了棉花根系分泌物中糖和氨基酸对棉花枯萎菌的影响,发现棉花感病品种根系分泌物中葡萄糖和蔗糖的含量是抗病品种的 2~3 倍;在所测定的 6 个棉花品种中,共含有 12 种氨基酸,其种类和含量依棉花品种不同而异;在所测定的 12 种氨基酸中,丙氨酸、天冬氨酸、组氨酸、脯氨酸和异亮氨酸对棉枯萎菌生长略有刺激作用,精氨酸、谷氨酸、赖氨酸、丝氨酸则有抑制作用。

甄文超等^[12]研究草莓根系分泌物和腐解物中的氨基酸及其化感作用时发现,根系分泌物和腐解物水提液中氨基酸含量高于醇提液;检测出的 6 种氨基酸中,丝氨酸、苏氨酸、脯氨酸和精氨酸对 *Fusarium oxysporum* 和 *Rhizoctonia solani* 的菌丝生长有明显促进作用。苏氨酸、脯氨酸和精氨酸对 *F. axysporum* 有明显促进作用,天冬氨酸和

谷氨酸对 3 种病原菌菌丝生长均有明显的抑制作用;谷氨酸、天冬氨酸、丝氨酸、脯氨酸和精氨酸对 *Verticillium dahliae* 孢子萌发有明显促进作用,而苏氨酸对其孢子萌发有抑制作用。天冬氨酸和苏氨酸对 *F. axysporum* 的孢子萌发有明显抑制作用,谷氨酸对 *F. axysporum* 孢子萌发无明显作用,其余 3 种能明显促进 *F. axysporum* 孢子萌发。

贾新民等^[13]研究了重迎茬条件下大豆根系分泌物对根腐病病原菌的影响,发现重迎茬大豆根系分泌物对立枯丝核菌影响最大,而病原菌分泌物对土壤中微量元素 Mn、Zn、Cu 元素有活化作用。

以上研究表明,具有连作障碍的大豆、棉花和草莓等作物,其根系分泌物中的糖和氨基酸等组分在低浓度下促进多种病原菌生长,在高浓度下有抑制作用。实际上,土壤中的根系分泌物浓度因土壤吸附和微生物吸收利用等影响,其浓度不会很高,正好保持在促进病原菌生长的浓度范围内,因而能刺激根区土壤中病原菌大量繁殖。上述结果解释了大豆、棉花和草莓等作物连续种植时根区土壤中病原菌大量累积的原因。

2.2.2 病原微生物分泌有害物质 作物连作后,其根区、根表土壤中会富集特定的病原微生物,这些病原微生物分泌的有毒物质也会对作物的生长产生影响。目前关于病原微生物分泌的有毒物质研究很少。胡江春等^[14]研究了大豆连作,土壤紫青霉毒素的作用,发现连作大豆根际土壤真菌富集,以其优势真菌回接大豆,发现紫青霉能强烈抑制大豆生长发育;在实验室条件下获得该菌产生的毒素粗结晶,在水培液中:5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时大豆根系受害,根毛很少生长;30 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时大豆主根褐变严重,侧根几乎不生长;200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时导致一些大豆品种幼苗在 2 周内死亡。

在传统的轮作制中,某种作物一个生长周期产生的自毒物和病原菌产生的有毒物质质量一般不会达到危害所需阈值,如果下一季改种其他作物,这些有毒物质不会对后茬作物产生毒害作用;但如果继续种植同一作物,会导致有毒物质在土壤中累积,当其量超过危害阈值时,作物的生长即受到抑制,导致严重减产甚至绝收。

2.3 营养平衡破坏

不同作物的营养需求存在一定差异。连续种植同一作物时,由于该作物对某些营养元素的偏

好吸收会导致土壤中这些元素缺乏,营养平衡破坏,影响作物生长。某些元素亏缺造成的营养胁迫会诱导作物产生更多的特定根系分泌物,以活化土壤中的特定难溶态元素。这些因为养分胁迫诱导产生的根系分泌物中,有些就属于自毒物质。即养分亏缺促进了某些自毒物质的大量分泌,加重了自毒作用。

综上所述,可以看出,土壤生物退化的实质是连作作物根区土壤微观生态系统退化,不单是病原菌的问题。因此,只有按照恢复生态学的理论从多个角度探索其退化的原因,并寻求解决方案,才有可能从根本上解决这一难题。

3 土壤生物退化治理与生态恢复

生态恢复研究起源于 19 世纪 30 年代,自 1980 年 Cairns 主编的《受损生态系统的恢复过程》出版以后,生态恢复就成为生态学的一个分支,目前称之为《恢复生态学》。该学科是研究生态系统退化原因、退化生态系统恢复与重建的技术与方法的科学。生态恢复指改良和重建退化的自然生态系统,使其生产力恢复到退化前的水平。目前人们已在宏观尺度上进行了大量的生态恢复研究,例如森林生态系统恢复、水域生态系统恢复、草地生态系统恢复及海洋和海岸带生态系统恢复等,但微观尺度的生态恢复研究尚未引起重视。

土壤中的无机物质与土壤动物、土壤微生物及土壤上生长的植物共同构建的土壤生态系统(soil ecosystem)是地球陆地表面物质能量交换最活跃的宏观生态系统。该系统中作物根系密集分布的微小区域可称之为“根区微观土壤生态系统(rhizosphere microcosmic soil ecosystem, RMSE)”,RMSE 是一个空间范围很小的“特殊生态系统”,受作物根系生理生化影响很大,系统内土壤微生物及根系分泌物的种类和数量与远离根系的根外土壤相比,差异很大。RMSE 中微生物种类与数量直接决定着作物的生长发育与健康状态。因此, RMSE 的健康状态对土壤生产力至关重要。

土壤生物退化的主要问题是 RMSE 发生退化:病原菌数量增加,有益菌数量下降,连作作物根系分泌、残体腐解向土壤中释放自毒化学物质,营养元素由于连作作物对某些元素的偏好吸收而

失衡等。因此,土壤生物退化的修复主要是RMSE的恢复。

由连作引起的土壤生物退化由来已久,且随着设施化、专业化种植面积和年限增加,有愈演愈烈之势。由于认识的原因,过去对连作障碍的克服主要从土传病害防治方面考虑,提出了许多措施,但仍未从根本上解决问题。特别是,有时作物并不发病,但生长差,施肥、灌溉效果不明显。这些现象充分表明,病害并不是引起连作障碍的唯一因素,目前单从防病途径解决该问题的思路需要改变。鉴于恢复生态学采用从生态系统整体恢复出发考虑解决方案,因此,只有恢复或改善作物根区微观土壤生态系统的健康状况,才有可能从根本上解决土壤生物退化。

4 土壤生物退化的防治

因物理化学因素引起的土壤退化治理技术较为成熟,采用传统的方法即可,如防止土壤侵蚀流失,提高肥力,消除障碍因素等。与之相比,土壤生物退化的防治难度较大。但从生态恢复的角度看, RMSE 的恢复较之于传统的宏观尺度的生态系统恢复更易进行。思路如下:通过特定程序筛选出能在作物根区土壤中定殖、对病原菌有较强抑制作用、对人类健康无害、对作物生长有促进作用、对土壤中作物产生的自毒物质有降解作用的有益微生物,通过工业发酵制成活菌制剂,再利用苗床育苗接种、移栽蘸根接种或拌种等方式,将这些有益菌引入作物根区微观土壤生态系统,改变该系统的生物组成,分解该系统中连茬作物释放的自毒物质,再加上平衡施肥、施用有机肥料,供给土壤有益菌营养物质等,使已退化的根区微观土壤生态系统得到恢复或改善,使“病态”的微观生态系统恢复到健康状态。

4.1 控制病原菌增殖,降低土壤中病原菌数量,改善作物根区微生物生态

与地上部病害不同,根系病害一旦发生,一般很难控制。因此必须减少根区微观土壤生态环境中病原菌数量从而提高植株抗病性。可以采用的主要措施包括:

4.1.1 采用轮作减少病原菌 轮作是解决连作障碍最为简单和有效的方法。通过轮作改种其他作物,使前茬作物根区土壤中的大量病原菌失去

寄主植物和适宜的微观土壤环境,使土壤中的病原菌数量减少。

4.1.2 采用土壤化学物理消毒法消灭病原菌 化学消毒常用的药剂有甲醛、氯化苦等。也可以利用太阳能提高土壤温度消灭土壤中的有害微生物。应该强调和注意的是,这些物理化学方法难以在生产中实施,而且可能会带新的来环境污染问题,引起土壤中有益生物死亡,破坏微生态平衡等,只能作为一种权宜之计。

4.1.3 采用拮抗性微生物抑制病原菌 向连作作物根区土壤中接种生防菌活菌制剂(微生态调节剂),使拮抗菌在 RMSE 中大量繁殖,成为优势微生物;并利用这些菌产生的抗性物质或重寄生等作用抑制土壤中特定病原菌生长;利用营养和空间竞争等途径减少病原菌数量,使 RMSE 中的微生物区系保持在正常状态。

利用皿内拮抗和生物试验双重筛选程序,以特定病原菌(不同作物,引起连作病害的病原菌不同)为靶标菌,从已发生生物退化的土壤或其他类似生态区的土壤中筛选能产生抗生素、并在连茬作物根区根表土壤中定殖的有益菌;通过工业发酵人工大量繁殖有益菌,制备成微生态修复剂(专性生防放线菌活菌制剂);将微生态修复剂接种到作物根区土壤中,抑制病原菌生长繁殖,调整失衡的微生物生态,将病害降低到不影响生产的程度。

利用拮抗性微生物,通过“以菌治菌、以菌解毒”的生态学方法修复土壤生物退化也是一种有望从根本上解决问题的思路。我国著名学者尹莘耘在 20 世纪 60 年代就进行过抗生肥料的研究工作,主要利用生防菌控制病原菌,证明抗生肥料有效^[15]。

近十年来,本项目组已对青藏高原、黄土高原土壤放线菌生态进行了一系列研究^[16-32],筛选到大量对土传病害病原菌有较强拮抗性的放线菌,用其中产生特定抗生素、生长刺激素、能在辣椒根内及根区土壤中定殖的放线菌制成活菌制剂,用来抑制辣椒、草莓根区土壤中病原微生物大量繁殖,增加有益微生物的数量与比例。研究表明,通过放线菌接种,对连作造成的辣椒、草莓根区土壤微生态退化进行修复(ecological rehabilitation)和生态改良(ecological reclamation),可有效控制辣椒、草莓连作障碍发生,提高辣椒叶片和根系的保

护性酶活性,获得显著的防病促生效果。

4.2 降解作物根系分泌和作物残体腐解形成的有毒有害物质

采取微生物技术,可分解自毒物质。无土栽培培养液中的自毒物质可通过活性炭吸附降低毒害作用,但有关大田栽培中自毒作用的克服方法至今未见报道。如何利用有益微生物的分解作用消除自毒物质、解决自毒危害是目前正在进行的课题,并取得了一些进展。例如,喻国辉等^[33]研究发现 1 株放线菌能够有效缓解黄瓜自毒物质苯丙烯酸对水培黄瓜的抑制作用,显著促进黄瓜茎和根系的生长,提高开花数和产量;在土培实验中,该菌株与有机肥联合施用,还能进一步促进黄瓜对营养的吸收、提高黄瓜的根系脱氢酶活力、促进黄瓜根系微生物活性及增加有益菌群等。吕卫光等^[34]研究了有机肥减轻连作黄瓜自毒作用的机制。结果表明,有机肥能减轻苯丙烯酸对连作黄瓜生长的抑制,促进黄瓜的生长,提高黄瓜根系脱氢酶和 ATP 酶活性,促进黄瓜根系对养分的吸收,提高连作黄瓜土壤微生物活性,减轻黄瓜由于自毒作用产生的连作障碍。这些研究表明,利用某些微生物分解自毒物质或者向土壤中施入有机物均能有效减轻自毒物质的作用。

4.3 补充单一种植造成的某种营养元素的缺乏

研究连作引起的营养元素平衡失调状况,合理施用化肥,增施有机肥和亏缺的元素,实现土壤营养平衡。

5 微生物在土壤生物退化修复中的前景展望

土地承包制的推行和市场需求的增加,使经济作物种植业向着集约化、专业化和设施化方向快速发展,连茬已成为一种不可避免的种植方式,所造成的土壤生物退化已成为现代农业发展的重大限制因素之一。在现行条件下,农户可用来轮作的土地面积有限,日光温室不能经常移动,耕作层换土工作量过大,难以推广;另外,化学农药施入土壤后,会在土壤中发生吸附固定、灌溉淋失及微生物分解等过程,农药有效成分大量损失,防效下降;对于土传病害,通常发生于根部,采用常规叶面喷药,药物难以到达根部,因此喷药对病害防

效甚微;直接向土壤中施用农药时农药需要量很大,防治费用很高,即化学农药难以从根本上解决连茬种植产生的土壤生物退化难题。另外,土壤生物退化主要发生在种植效益较高的作物上,如园艺作物(如辣椒、草莓、西甜瓜、苹果等),经济作物(大豆、棉花、油菜等)及中药材(人参、丹参、白术等)等,由于经济作物产值高,故造成的损失十分惨重,已成为当前亟待解决的重要问题。

土壤生物退化主要是由作物根区特定病原菌数量增多和作物根系分泌的自毒物质大量累积引起的微生态退化,因此,土壤退化的修复实质是作物根区微生态恢复与重建。前人的研究和本项目组多年的探索表明,利用有益微生物修复退化的土壤微生态在理论和实践上均是可行的,该技术符合微生物生态原理,可以通过工业发酵获得大量的微生物修复剂,施用技术简单,可以获得良好的经济、生态效益和社会效益。根据现有研究,利用微生物技术修复土壤生物退化可以解决下列问题。

5.1 修复或缓解日光温室连作障碍

2003 年底,中国温室总面积 186 万 hm^2 ;陕西温室种植面积 8.4 万 hm^2 ,产值 86 亿元;2005 年陕西省设施蔬菜栽培面积 8.5 万 hm^2 ,产值 90 亿元。日光温室连作障碍已成为限制设施农业发展的瓶颈。日光温室水肥热条件好,微生物修复剂接种后有益菌繁殖快、数量多,防病增产效果较露地明显。

5.2 解决或缓解大宗经济和粮食作物商品生产面临的连作障碍

新疆是我国优质棉花的商品生产基地,种植面积和产量约占全国的 40%。2007 年,新疆的棉花面积就达到 133.3 万 hm^2 左右。长期连作不仅导致棉花黄萎病大面积流行,而且即使不发病,也出现生长状况变差、产品品质下降、改善施肥灌溉效果不明显的现象。东北是我国最大的大豆商品生产基地。2006 年,仅黑龙江和吉林两省的大豆种植面积就达到 433.3 万 hm^2 左右。大豆连作已在生产上造成严重损失。棉花是重要的工业原料和战略物资,大豆是重要的植物蛋白,是食品工业和饲料工业的原料。由于新疆棉花和东北大豆商品基地已经形成,连作不可避免。微生物生态修复剂的使用将有效缓解棉花和大豆连作产生的土

壤生物退化。

5.3 解决或缓解大宗园艺作物的连作障碍

西瓜、甜瓜、草莓、辣椒、芹菜等大宗园艺作物的连作问题长期困扰着种植业。通过育苗或移栽接种微生物修复剂,可以有效解决连作造成的土壤退化,降低发病率,提高产量^[22~32]。

5.4 解决或缓解中药种植的连作障碍

人参、丹参、三七、地黄及桔梗等中药的连作障碍也困扰着中药种植业。从原理上讲,中药的连作障碍与已研究过的园艺作物等有相同的机理,也可以通过用微生物制剂进行微生态修复的方法加以克服。鉴于中药的药用成分是通过口服发挥作用,中药栽培中不能施用农药,故微生物制剂的修复作用更具有不可替代的优势。

5.5 降低某些蔬菜、水果类农产品的农药残留

利用微生物制剂修复连作引起的土壤生物退化,可减少或部分替代化学农药,降低某些蔬菜和水果中的化学残毒,生产出无公害食品,解决农产品出口的农药超标问题。

6 结论与建议

综上所述,通常所谓的土壤连作障碍实质是一种由连茬作物和土壤微生物共同引起的土壤生物退化。该退化不仅与土壤中病原菌数量增加有关,而且与根区微观土壤生态平衡失调、土壤中自毒化学物质累积有关。因此,连作障碍应归于土壤生物退化,建议在现有的土壤退化分类体系中新增“土壤生物退化类型”,将连作障碍纳入土壤退化研究领域;从恢复生态学的角度来看,应从目前关注的宏观尺度拓展到根区土壤的微观生态系统中,组织从事植物保护学、土壤学、植物营养学、土壤微生物学、恢复生态学及化学生态学多学科的学者从微观生态恢复角度对此问题展开研究,联合攻关,对退化土壤进行微观生态调整,引入有益菌控制病原菌数量、降解自毒物质、平衡施肥等,通过生态恢复技术从根本上解决土壤生物退化问题。

参 考 文 献

[1] 龚子同,陈晶中,檀满枝,等. 严重威胁可持续发展的土壤退化问题[J]. 地球科学进展,2002,17(5):720-728.

[2] 张荣群,刘黎明,张凤荣. 我国土壤退化的机理与持续利用管理研究[J]. 地域研究与开发,2000,19(3):52-54.

[3] 张学雷,龚子同. 人为诱导下中国的土壤退化问题[J]. 生态环境,2003,12(3):317-321.

[4] 阮维斌,刘默涵,黄斌,等. 两种羟基苯乙酸对大豆萌发的化感效应研究[J]. 应用生态学报,2003,14(5):785-788.

[5] 韩丽梅,阎雪. 大豆根茬腐解产物的鉴定及化感作用的初步研究[J]. 生态学报,2000,20(5):771-778.

[6] 喻景权,松井佳久. 豌豆根系分泌物自毒作用的研究[J]. 园艺学报,1999,26(3):175-179.

[7] 甄文超,曹克强,代丽,等. 连作草莓根系分泌物自毒作用的模拟研究[J]. 植物生态学报,2004,28(6):828-832.

[8] 丛登立,王树起,韩丽艳,等. 连作大豆根分泌物对根腐病病原菌的化感作用[J]. 应用生态学报,2002,13(6):723-727.

[9] 韩丽梅,鞠会艳,杨振明. 两种基因型大豆根分泌物对大豆根腐病菌的化感作用[J]. 应用生态学报,2005,16(1):137-141.

[10] 黄奔立,朱键鑫,许云东,等. 茄根分泌物及其浸提液对3种土传病原菌生长的促进作用[J]. 江苏农业学报,2005,21(4):301-305.

[11] 刘素萍,王汝贤. 根系分泌物中糖和氨基酸对棉花枯萎菌的影响[J]. 西北农业大学学报,1998,26(6):30-35.

[12] 甄文超,王晓燕,曹克强,等. 草莓根系分泌物和腐解物中氨基酸的检测及其化感作用研究[J]. 河北农业大学学报,2004,27(2):76-80.

[13] 贾新民,姜述君. 重迎茬条件下大豆根系分泌物对根腐病病原菌的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1997,9(3):12-15.

[14] 胡江春,王书锦. 大豆连作障碍研究 I. 大豆连作土壤紫青霉菌的毒素作用研究[J]. 应用生态学报,1996,7(4):396-400.

[15] 尹莘耘. 抗生素肥料及其应用[M]. 北京:农业出版社,1965.

[16] 张晓琳,朱铭莪,谭志远,等. 西藏土壤放线菌初步研究[J]. 西北农业大学学报,1999,27(1):28-32.

[17] 蔡艳,薛泉宏,陈占全,等. 青海省保护地辣椒根际土壤和根表放线菌研究[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):92-96.

[18] 薛泉宏,蔡艳,陈占全,等. 青海高原东部土壤中拮抗性放线菌的生态分布特征[J]. 中国抗生素杂志,2004,29(4):203-205.

[19] 蔡艳,薛泉宏,陈占全,等. 青海高原东部几种自然土壤放线菌的生态分布[J]. 应用与环境生物学报,2004,10(3):378-383.

[20] 高鹏,薛泉宏,常显波,等. 拮抗性放线菌的筛选培养基与筛选方法研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(1):59-63.

[21] 司美茹,薛泉宏,陈占全,等. 青海高原土壤拮抗性放线菌的生态分布[J]. 应用与环境生物学报,2005,11(1):104-111.

[22] 司美茹,薛泉宏,余博,等. 36株生防菌对辣椒疫霉等4种病原真菌的拮抗作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(1):49-54.

[23] 牛晓磊,薛泉宏,涂璇,等. 6株生防放线菌对辣椒疫霉的

- 皿内拮抗作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(1):55-58.
- [24] 梁军锋,薛泉宏,牛小磊,等. 7株拮抗性放线菌在辣椒根部定殖及对辣椒叶片PAL与PPO活性的影响[J]. 西北植物学报,2005,25(10):2118-2123.
- [25] 司美茹,薛泉宏,余博,等. 辣椒疫霉生防菌的双重筛选研究[J]. 植物保护学报,2006,33(1):41-46.
- [26] 孙敬祖,薛泉宏,梁军锋,等. 辣椒疫病生防真菌F1的生物学特性及生防作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(12):163-168.
- [27] 蔡艳,薛泉宏,陈占全,等. 青海高原东部土壤辣椒疫霉生防菌的初步筛选[J]. 西北农业学报,2007,16(2):241-244.
- [28] 涂璇,薛泉宏,张宁燕,等. 辣椒疫病生防放线菌筛选及其对辣椒根系微生物区系的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(6):141-146.
- [29] 许英俊,薛泉宏,邢胜利,等. 3株放线菌对草莓的促生作用及对PPO活性的影响[J]. 西北农业学报,2007,16(6):146-153.
- [30] 郭志英,薛泉宏,张晓鹿,等. 生防菌苗床接种对辣椒根域微生态及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(4):159-165,170.
- [31] 张晓鹿,薛泉宏,郭志英,等. 混合接种对辣椒疫病生防菌定殖、辣椒生长及诱导抗性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(4):151-158.
- [32] 周永强,薛泉宏,杨斌,等. 生防放线菌对西瓜根域微生态的调整效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(4):143-150.
- [33] 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.
- [34] 吕卫光,张春兰,袁飞,等. 有机肥减轻连作黄瓜自毒作用的机制[J]. 上海农业学报,2002,18(2):52-56.

【新书推介】



《中国土地可持续利用论》

刘彦随,郑伟元 著 科学出版社

出版日期: 2008.3

I S B N: 978-7-03-021063-0

定 价: 55.00 元

开 本: 16 开

页 数: 258 页

本书是全面、系统地开展中国土地可持续利用战略与模式研究的学术专著。主要内容包括土地可持续利用研究的背景及意义、土地可持续利用战略研究的理论基础、不同国家或地区土地利用战略及其借鉴、中国土地资源态势及其利用特点、中国经济社会发展与土地利用需求、中国土地可持续利用的供求总体态势、中国土地可持续利用战略导向与目标、中国土地可持续利用战略模式及其选择、实施土地可持续利用战略的关键措施。

本书率先提出中国特色土地可持续利用战

略体系构想、战略研究“环扇模型”、战略实施“八大模式”,把体现土地资源优化配置、土地资源节约与集约利用、统筹区域城乡用地和面向国家重大安全需求等现代战略理念贯穿于整个著作之中,拓展和深化了土地科学的应用基础研究,对于落实科学发展观和强化土地资源规划与管理,具有重要的指导意义和价值。

本书可作为高等院校地理学、资源科学、土地科学、土地资源管理、城乡规划等学科的教学参考书,也可供国土资源管理人员、规划研究与技术人员参考。