

设施菜地土壤污染现状及防治对策

高波, 李红阳, 王凯*, 孙星星, 张俊喜, 顾慧玲, 马晶晶 (江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏盐城 224002)

摘要 分析了设施菜地土壤次生盐渍化、重金属污染、抗生素污染现状, 强调科学施肥管理的重要性, 提出了微生物技术的田间推广及针对设施土壤环境质量标准的完善对策, 为保障设施蔬菜产业可持续发展提供参考文献。

关键词 设施菜地; 土壤污染; 防治对策

中图分类号 X53 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)04-0064-03

Pollution Situation and Control Strategies of Greenhouse Vegetable Field Soil

GAO Bo, LI Hong-yang, WANG Kai* et al (Jiangsu Institute of Agricultural Sciences in Coastal Areas, Yancheng, Jiangsu 224002)

Abstract Several major pollution problems like soil secondary salinization, heavy metal pollution and antibiotic pollution in greenhouse vegetable field were analyzed. To solve these problems, we emphasized the importance of scientific fertilization management, suggested that the microbial technology should be intensively developed and soil environmental quality standards should be perfected for facility cultivation soil specifically, in order to provide reference for the greenhouse vegetable industry sustainable development.

Key words Greenhouse vegetable field; Soil pollution; Control strategies

设施栽培作为一项提高蔬菜产量的有效途径, 对我国反季节和跨地区的蔬菜种植起着重要作用^[1]。设施菜地的土壤质量不仅直接决定蔬菜的产量和品质, 还影响着设施蔬菜种植的可持续发展。在当前土地资源日益紧张背景下, 健康、高效地发展设施蔬菜生产显得尤为重要。因此, 认识设施菜地土壤污染现状与成因, 合理利用现有的改良与修复技术, 是保障蔬菜的安全生长及实现蔬菜生产和土地资源利用可持续发展的关键。笔者分析了近年来设施菜地土壤存在的3种主要污染问题, 介绍了设施土壤现有的改良与修复技术, 展望了微生物技术在设施菜地土壤改良中的应用前景, 以期对设施蔬菜生产可持续发展提供参考文献。

1 设施菜地的污染现状

目前, 设施栽培方式主要有塑料大棚、玻璃温室、日光温室、小拱棚等, 设施栽培高投入、高产出的集约化种植方式带来了巨大的经济效益。然而, 随着种植年限的增加, 设施菜地土壤也存在一系列环境问题。

1.1 土壤次生盐渍化 由于缺少雨水的淋洗和高肥料施用, 设施菜地土壤多余的肥力极易残留在土壤中, 温室大棚的温度相对较高, 土壤水气蒸发量大, 盐分离子随着土壤水分的向上运动逐渐向表层迁移和积聚^[2], 土壤次生盐渍化成为蔬菜设施栽培面临的重要问题。

设施菜地土壤次生盐渍化对蔬菜生产的危害主要表现在以下2方面: 一方面, 会影响土壤的养分供应平衡。设施土壤次生盐渍化容易引起作物生理性病害, 土壤中轻度硝酸盐积累可造成蔬菜对各种营养元素的吸收不平衡, 在酸性土壤上可引起Mn中毒, 在碱性土壤上则可引起缺Fe、Zn、Cu等症^[3]; 土壤中Na⁺过多会影响植株对K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等离子的吸收; Cl⁻与SO₄²⁻吸收过多, 则可降低对HPO₄²⁻吸收, 这种不平衡的吸收, 不仅会造成营养失调, 还可能造成单

盐毒害作用, 在积盐严重时黄瓜会有明显的苦味, 番茄的僵果率也会明显增加。另一方面, 会改变土壤微生物的状况。土壤微生物群落和数量的变化可作为土壤肥力状况的重要生物学指标, 其变化有赖于土壤的肥料水平和环境状况^[4]。土壤次生盐渍化会降低土壤中硝化细菌活性, 抑制氮的氨化和硝化作用。张金锦等^[5]研究表明, 当土壤中NaCl达到2.0 g/kg时, 氨化作用大为降低, 达到10.0 g/kg时, 氨化作用几乎完全被抑制, 从而导致蔬菜产量和品质下降。

设施菜地土壤的次生盐渍化现象是一个普遍存在的问题, 是目前限制设施蔬菜健康生长的主要影响因子之一。我国多个省市都有与设施菜地土壤次生盐渍化相关的报道。余海英等^[6]通过对山东、辽宁、江苏、四川的实地调查后发现, 设施栽培条件的土壤表面均有不同程度的白色盐霜出现, 有的甚至出现土壤盐化板结致使作物无法正常生长, 以山东和江苏设施土壤的盐渍化程度最为严重。Shi等^[7]在对长江三角洲地区宜兴、苏州、常州、镇江、扬州5市的抽样调查表明, 大棚蔬菜土壤有近1/3出现次生盐渍化, 连续种植4年以上的土壤就有可能发生次生盐渍化。

1.2 土壤重金属污染 土壤重金属污染是土壤环境科学的重点研究内容, 我国非常重视对菜地土壤重金属的污染研究, 有学者分别在不同区域对菜地土壤重金属污染情况开展了调查与评价。近年来, 由于设施蔬菜对市场供应量不断增长, 设施菜地土壤的重金属污染也逐渐受到关注^[8]。菜地土壤的重金属含量不仅会直接影响蔬菜品质, 还会通过食物链对人体健康造成威胁。目前, 我国部分区域的设施菜地存在重金属富集或超标现象, 具有不同程度的污染与生态风险^[9]。侯鹏程^[10]对上海市松江区“浦南”典型设施菜地的研究表明, 耕层土壤中重金属均出现了不同程度的累积, 且研究区设施菜地各剖面中Cu、Pb、Cd、Cr、As含量均高于露地栽培; 曾希柏等^[11]对不同类型菜地土壤中重金属含量分析表明, 设施菜地中Cu、Cr含量高于其他类型菜地, 这表明设施菜地土壤的重金属污染风险要高于其他种植类型。山东寿光是我国重要的设施蔬菜生产基地, 学者对该地区不同农

基金项目 江苏沿海地区农业科学研究所基金项目(YHS201507)。
作者简介 高波(1989—), 男, 江苏宝应人, 研究实习员, 硕士, 从事农业土壤环境质量研究。*通讯作者, 副研究员, 从事农业资源环境研究。
收稿日期 2016-12-14

业利用方式下的土壤重金属调查研究结果显示,设施菜地 0~20 cm 表层土壤样本 Pb、As、Cr、Cu、Zn 的平均含量分别为 17.96^[12]、9.62^[13]、53.00^[14]、33.91、124.20 mg/kg^[15],均高于露天菜地等其他土地利用类型,虽然其平均含量低于我国土壤环境质量标准,但部分种植年限较长的设施菜地土壤重金属含量已超过了我国土壤环境质量 I 级标准(GB 15618—1995)。这表明设施菜地出现了较为明显的重金属富集趋势,由种植年限增加而导致的重金属累积的环境风险尤其值得重视^[16-18]。

一般认为,土壤重金属来源于工业“三废”、城市生活垃圾、农用化学品的投入及大气沉降等^[19],设施菜地土壤重金属的来源与露天菜地类似,但设施菜地更加追求经济效益,复种指数高,肥料投入大,从而增大了重金属的输入量。研究表明,肥料投入是设施菜地土壤重金属的重要来源^[20],其中磷肥是土壤中 Cd 的最大来源^[21]。有机肥中的有机质可以对重金属离子产生络合作用,合理施用有机肥可以增强土壤对重金属的吸附能力,但有机肥的投入也会带来一定的重金属污染。乔德波^[22]研究表明,设施菜地土壤 Zn 和 Cd 的全量随着有机肥施用量的增加而增大,长期施用有机肥可明显增加土壤有效态重金属在表土层的积累。笔者在对江苏沿海地区多个大棚种植农户调查发现,有机肥已成为部分农户施用的主要肥料,但由于缺乏科学的处理和施用方式,许多有机肥未经过必要的处理被施用到田间,极易造成 Cu、Zn、Cr 等重金属在土壤中的富集^[23]。除肥料来源外,设施栽培过程中使用的塑料大棚和地膜中往往含有 Cd 和 Pb,也容易造成重金属污染^[24]。

1.3 土壤抗生素污染 近年来,土壤环境出现了多种新型污染物,抗生素就是其中之一。抗生素作为治疗和预防动物疾病的药物被广泛运用于畜禽养殖,又因为能刺激和促进动物生长,而被添加到饲料中。据统计,我国每年用于畜禽养殖的抗生素约占世界总产量的 70%^[25]。而畜禽粪便便是有机肥的主要来源之一,大量进入土壤的抗生素通过对土壤微生物的毒性作用,可破坏土壤的生态系统平衡,并通过生物链被人体摄入,威胁人类健康^[26]。

目前,我国设施菜地畜禽有机肥使用较为普遍,一些地区设施菜地的有机粪肥用量高于无机肥^[27],为节约成本,一些粪肥经过简单处理后施用于设施菜地,给蔬菜生产带来了安全隐患。张慧敏等^[28]研究指出,施用畜禽粪肥农田表层土壤土霉素、四环素和金霉素的平均残留量分别是未施畜禽粪肥农田的 38、13、12 倍,说明畜禽粪肥是农田土壤抗生素的重要来源。

2 设施菜地土壤改良与防治

设施菜地土壤环境质量的防与治是贯穿设施蔬菜生产过程的一项重要问题。近年来,人们越来越重视土壤改良与修复的研究,尽管许多新技术的引入提升了这类研究的科学性,但考虑到设施栽培成本等因素,部分技术并不利于大面积推广,农户更愿意接受简单易行的防治措施。

2.1 科学的施肥管理 科学合理的施用肥料不仅能节约资

源,还能从根本上预防土壤污染的发生。肥料投入是设施菜地土壤污染的来源,蔬菜是典型的喜肥作物,农户为追求高产和高效,往往会过量施用肥料,造成浪费的同时也给设施土壤造成严重危害。

长期以来,人们对施肥方式、肥料用量、肥料品种做了大量研究,设施菜地由于缺少自然降雨的冲刷和淋洗,多余的肥料更容易在土壤中累积。秦巧燕等^[29]研究表明,设施栽培土壤表层硝态氮的累积量远高于相邻露地。沈灵凤等^[30]将当地设施栽培习惯施肥量减半后施用,蔬菜的产量并未降低,却极显著降低了硝态氮的积累量,可见设施菜地如何精准有效施肥应引起重视。张乐平等^[31]研究指出,在减氮处理下,添加消化抑制剂、脲酶抑制剂也能有效降低蔬菜中 38% 以上的亚硝酸盐的积累。越来越多的研究表明,适量有机肥的投入能有效提高化肥利用率、促进作物生长,过多施用有机肥非但不能增产,还会对土壤环境造成影响。张迪等^[32]研究显示,当有机肥投入量过大时会造成设施菜地土壤中硝态氮不同程度的累积。综上,合理减少肥料用量,适当添加土壤改良剂,规范有机肥施用可显著减少土壤硝酸盐积累;同时,有机肥的科学管理也是减少重金属输入及降低抗生素污染风险的重要手段。

2.2 微生物技术的应用 微生物修复是指利用天然存在或筛选培养的功能微生物群,在人为优化的适宜环境条件下,促进或强化微生物代谢功能,从而达到降低有毒污染物活性或降解成无毒物质来修复受污染土壤的技术^[33]。化学农药是保证作物生长不可或缺的物资,但同时也带来了严重的土壤污染,设施菜地也同样如此。对于土壤农药污染的修复,微生物技术是一种被普遍认可的安全有效的方法。化学农药在微生物的作用下被转化和降解,从而达到对污染土壤的修复。此外,微生物还可以通过改变环境的理化特征来改变有机污染物的有效性,进而间接达到修复土壤的作用^[34]。与化学农药等有机污染物不同,重金属离子并不会发生微生物或者化学降解,微生物对重金属污染土壤的修复主要通过重金属的迁移或钝化来实现^[35]。微生物通过生物吸附和富集作用、氧化还原作用、溶解和沉淀作用以及微生物-植物相互作用 4 个方面来影响土壤重金属的活性,以吸附和富集作用为例,微生物中的阴离子型基团与带正电的重金属离子通过离子交换、络合、螯合、静电吸附及共价吸附等作用进行结合,从而实现土壤重金属离子的固定^[36]。

尽管目前针对设施菜地土壤抗生素的污染和修复研究相对匮乏,但设施菜地长期大量施用有机肥导致的抗生素污染不容忽视。微生物能使抗生素残留物的结构发生变化,使其物理、化学性质发生改变,将抗生素残留物的大分子化合物降解为小分子化合物,最终成为 H₂O 和 CO₂,实现对环境污染的无害化^[37]。堆肥是一种降低有机粪肥对土壤和作物污染的有效方法^[38],该方法利用多种微生物的作用,将生物残体、粪便和药渣等进行矿化、腐殖化和无害化,同时利用堆积时产生的高温杀死粪便中的病菌等有害物质^[39]。Wu 等^[40]研究表明,堆肥可有效降解粪肥中 70% 以上的四环素

类抗生素。微生物技术以其高效、环保等特点在土壤污染的治理和修复过程中扮演着重要角色,近年来微生物药肥的研制逐步深入,越来越多的微生物产品和技术应用于田间,对保护土壤环境质量起到重要作用,在设施蔬菜种植中具有广阔的应用前景。

2.3 设施菜地土壤质量标准的完善 建立和完善土壤环境质量标准是保证农业健康持续发展的重要环节。然而,现行的土壤质量标准适用于农田、茶园、果园等土壤,并未专门针对设施农业设置具体要求,随着设施农业的迅猛发展,设施土壤环境质量标准的制定和完善值得关注。监管部门应及时更新设施土壤环境中各类污染物标准,如重金属的限制值。随着国家对高效农业和循环农业的大力扶持,畜禽有机肥越来越得到农场主的青睐^[41]。但越来越多的研究表明,过多施用有机肥非但不能增产,还会对土壤环境造成影响^[9]。对此,需要科学管理设施菜地生产过程中有机肥的使用,完善设施菜地有机肥质量监测体系。《土壤污染防治行动计划》^[42](简称“土十条”)中明确提出“推进土壤污染防治立法,建立健全法规标准体系”的要求,修订肥料、饲料、灌溉用水中有毒有害物质限量标准,建立一套与设施菜地相适宜的药肥投入标准势在必行。

3 展望

土壤环境安全是蔬菜质量安全的基础,也是农业生态安全的核心,提升设施土壤环境质量既要从污染来源入手,科学管理药肥质量与投入,又要注重生产过程中的实时监控,及时对污染土壤进行治理与修复。合理开发利用微生物环保技术,研发推广环境友好型农药^[43],也是保障设施菜地土壤质量的重要课题。

参考文献

- [1] 周建斌,翟丙年,陈竹君,等.设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境效应[J].农业环境科学学报,2004,23(2):332-335.
- [2] 侯云霞,钱光熹,王建民,等.上海蔬菜保护地的土壤盐分状况[J].上海农业学报,1987,3(4):31-38.
- [3] 薛继澄,毕德义,李家金,等.保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J].土壤肥料,1994(1):4-9.
- [4] 章家恩,刘文高,胡刚.不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J].土壤与环境,2002,11(2):140-143.
- [5] 张金锦,段增强.设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J].土壤,2011,43(3):361-366.
- [6] 余海英,李廷轩,周健民.设施土壤盐分的累积、迁移及离子组成变化特征[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):642-650.
- [7] SHI Y C, HU Z Y, HANEKLAUS S, et al. Suitability of soil electrical conductivity as an indicator of soil nitrate status in relation to vegetable cultivation practices in the Yangtze River Delta of China[J]. Landbauforschung volkenrode, 2009, 59(2): 151-158.
- [8] 李德成,李忠佩,周祥,等.不同使用年限蔬菜大棚土壤重金属含量变化[J].农村生态环境,2003,19(3):38-41.
- [9] 王登启.设施菜地土壤重金属的分布特征与生态风险评价研究[D].泰安:山东农业大学,2008.
- [10] 侯鹏程.上海松江“浦南”地区设施菜地土壤重金属含量及其风险评价[J].浙江农业学报,2014,26(6):1609-1614.
- [11] 曾希柏,李莲芳,梅旭荣.中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J].中国农业科学,2007,40(11):2507-2517.
- [12] 李莲芳,曾希柏,白玲玉,等.山东寿光不同农业利用方式下土壤铝的累积特征[J].农业环境科学学报,2010,29(10):1960-1965.
- [13] 曾希柏,李莲芳,白玲玉,等.山东寿光农业利用方式对土壤砷累积的影响[J].应用生态学报,2007,18(2):310-316.
- [14] 李树辉,李莲芳,曾希柏,等.山东寿光不同农业利用方式下土壤铬的累积特征[J].农业环境科学学报,2011,30(8):1539-1545.
- [15] 李莲芳,曾希柏,白玲玉.不同农业利用方式下土壤铜和锌的累积[J].生态学报,2008,28(9):4372-4380.
- [16] 楚纯洁,王章涵,周金凤,等.设施菜地和露天菜地的土壤重金属含量及累积特征[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(4):125-132.
- [17] 万红友,周生路,赵其国.不同种植年限菜地土壤基本性质和重金属含量变化[J].河南农业科学,2006(11):79-82.
- [18] 陈碧华,杨和连,周俊国,等.大棚菜田种植年限对土壤重金属含量及酶活性的影响[J].农业工程学报,2012,28(1):213-218.
- [19] 李树辉,曾希柏,李莲芳,等.设施菜地重金属的剖面分布特征[J].应用生态学报,2010,21(9):2397-2402.
- [20] 陈永,黄标,胡文友,等.设施蔬菜生产系统重金属累积特征及生态效应[J].土壤学报,2013,50(4):693-702.
- [21] MCLAUGHLIN M J, TILLER K G, NAIDU R, et al. Review: The behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers [J]. Australian journal of soil research, 1996, 34(1): 3091-3102.
- [22] 乔德波.施用有机肥对设施菜地土壤养分、重金属含量及其分布特征的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2014.
- [23] 卢东,宗良纲,肖兴基,等.华东典型地区有机与常规农业土壤重金属含量的比较研究[J].农业环境科学学报,2005,24(1):143-147.
- [24] 郑喜坤,鲁安怀,高翔,等.土壤中重金属污染现状与防治方法[J].土壤与环境,2002,11(1):79-84.
- [25] HEILIG S, LEE P, BRESLOW L. Curtailling antibiotic use in agriculture: It is time for action: This use contributes to bacterial resistance in humans [J]. Western journal of medicine, 2002, 176(1): 9-11.
- [26] 张志强,李春花,黄绍文,等.农田系统四环素类抗生素污染研究现状[J].辣椒杂志,2013(2):1-9.
- [27] 张彦才,李巧云,翟彩霞,等.河北省大棚蔬菜施肥状况分析与评价[J].河北农业科学,2005,9(3):61-67.
- [28] 张慧敏,章明奎,顾国平.浙江地区畜禽粪便和农田土壤中四环素类抗生素残留[J].生态与农村环境学报,2008,24(3):69-73.
- [29] 秦巧燕,贾东忠,同延安,等.施用氮肥对设施栽培土壤硝态氮累积量的影响[J].安徽农业科学,2007,35(1):152-153.
- [30] 沈灵凤,白玲玉,曾希柏,等.施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1350-1356.
- [31] 张乐平,廖鸿卿,刘煜,等.氮肥减施对蔬菜硝酸盐含量及品质的影响研究[J].湖南农业科学,2011(7):48-51.
- [32] 张迪,牛明芳,王少军,等.不同有机肥处理对设施菜地土壤硝态氮分布影响[J].农业环境科学学报,2010,29(S1):156-161.
- [33] 钱林波,元妙新,陈宝梁.固定化微生物技术修复 PAHs 污染土壤的研究进展[J].环境科学,2012,33(5):1767-1776.
- [34] 周际海,黄荣霞,樊后保,等.污染土壤修复技术研究进展[J].水土保持研究,2016,23(3):366-372.
- [35] 张彩丽.微生物修复重金属污染土壤的研究进展[J].安徽农业科学,2015,43(16):225-229.
- [36] 吴敏,王锐,关阳,等.土壤重金属污染的微生物修复机理研究进展[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2014,30(3):147-150.
- [37] 刘伟,王慧,陈小军,等.抗生素在环境中降解的研究进展[J].动物医学进展,2009,30(3):89-94.
- [38] DOLLIVER H, GUPTA S, NOLL S L. Antibiotic degradation during manure composting [J]. Journal of environmental quality, 2008, 37(3): 1245-1253.
- [39] 刘元望,李兆君,冯瑶,等.微生物降解抗生素的研究进展[J].农业环境科学学报,2016,35(2):212-224.
- [40] WU X F, WEI Y S, ZHENG J X, et al. The behavior of tetracyclines and their degradation products during swine manure composting [J]. Biore-source technology, 2011, 102(10): 5924-5931.
- [41] 李淑仪,郑惠典,廖新荣,等.蔬菜施不同肥料对产量和土壤肥力的贡献[J].生态环境,2005,14(2):266-270.
- [42] 图解:国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知[A/OL]. (2016-05-31) [2016-10-11]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-05/31/content_5078445.htm.
- [43] 黄标,胡文友,虞云龙,等.我国设施蔬菜产地土壤环境质量问题及管理对策[J].中国科学院院刊,2015,30(Z1):194-202.