



吕望,张敬晓,王艳华,等.日光温室土壤次生盐渍化研究进展[J].黑龙江农业科学,2021(8):112-116.

日光温室土壤次生盐渍化研究进展

吕 望¹,张敬晓²,王艳华¹,景 明¹,胡亚伟¹

(1.黄河水利委员会黄河水利科学研究院/河南省农村水环境治理工程技术研究中心/河南省黄河流域生态环境保护与修复重点实验室,河南 郑州 450003;2.河北水利电力学院,河北 沧州 061000)

摘要:为加强日光温室土壤次生盐渍化的防治,促进设施农业的可持续发展,本文从积盐和返盐两个方面概述并分析了引起日光温室土壤次生盐渍化的原因和防治措施,进一步探讨了当前研究的不足,提出今后的研究重点应放在对日光温室土壤的水盐动态监测、次生盐渍化机理及微灌下土壤水、热、盐迁移规律,建立以节水微灌技术为主的综合防治体系。

关键词:日光温室;次生盐渍化;防治措施

日光温室作物种植是一种人为创造适宜的生长环境,实现高产高效的现代设施农业生产方式,近年来广泛应用于光照资源丰富的北方大部分地区^[1]。但由于日光温室改变了土壤微环境,相较于露地土壤,其长期处于封闭状态,温度高、湿度大,水分蒸发量大,而又缺少降雨的淋洗,加之不合理的施肥和灌水,土壤次生盐渍化现象严重,影响作物的正常生长,已成为制约现代设施农业发展的重要限制因子^[2-3]。因此,对日光温室土壤次生盐渍化的成因分析,并进一步探索防治和减缓土壤次生盐渍化的措施显得尤为迫切。因此,针对日光温室土壤次生盐渍化,本文从积盐及返盐两个方面进行了总结,提出了相应的防治措施,旨在为今后土壤次生盐渍化的防治提供参考。

1 日光温室土壤次生盐渍化的原因

温室土壤次生盐渍化的原因主要有两种,一是土壤从外部摄入大量盐分,导致积盐现象严重;二是深层土壤的可溶性盐分随水分运移至表层,返盐现象严重。

1.1 日光温室土壤积盐原因

1.1.1 施肥 温室种植条件下,蔬菜生长周期短、复种指数高、茬数多,农户为了追求高产量、高效益,往往凭经验进行大量的施肥,施肥量比露地

栽培要高许多倍。山东寿光市是闻名国内外的“中国蔬菜之乡”,李俊良等^[4]对寿光保护地蔬菜施肥现状的调查研究表明,在不计算有机肥施用量的情况下,平均施 N 88.7 kg·667 m⁻²、P₂O₅ 85.2 kg·667 m⁻²、K₂O 32.0 kg·667 m⁻²,施肥量大大超过了蔬菜可以吸收利用的上限。王辉等^[5]认为长期过量施用有机肥和化肥是南京市南郊大棚蔬菜地土壤盐分累积的主要原因,实际生产中施入的 N、P 量分别超过蔬菜作物吸收的 1~2 倍和 4~6 倍。周建斌等^[6]对西安市郊 100 余个日光温室栽培番茄的施肥现状的调查结果表明,当地番茄种植中 N、P₂O₅、K₂O 的施用量分别为 600,623 和 497 kg·hm⁻²,过量施肥,尤其以过量施用磷肥最为严重。由此可见,各地区的温室生产中普遍存在着过量施肥的现象。过量施肥不仅没有达到增产的目的,反而导致蔬菜产量和品质下降,肥料得不到充分吸收利用,造成盐分在土壤中大量累积,产生次生盐渍化问题,严重阻碍了日光温室的可持续发展。

1.1.2 耕作管理制度 日光温室种植是一种在有限空间内,高度集约化的种植模式,不同于传统的露天大田种植^[7],不适用大型农业机械化作业,农民人工耕作频繁^[8],温室内土壤的践踏频率远高于露地土壤。相关研究表明^[9],栽培年限 5 年和 9 年的温室土壤次表土层(16~30 cm)平均容重分别为 1.48 和 1.54 mg·m⁻³,说明在土壤的次表土层可能形成了一个容重较大的紧密层,阻碍了毛管水携盐下渗的通路,使得盐分在此累积。温室内土壤深耕通常为季一次^[7],以浅耕为主,这就造成了表层土壤板结,通透性差,影响作物根

收稿日期:2021-03-02

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(HKY-JBYW-2020-13);河南省水利科技攻关项目(GG202063)。

第一作者:吕望(1990—),男,硕士,工程师,从事灌溉排水理论与节水新技术研究。E-mail:ysgzlw@163.com。

通信作者:胡亚伟(1980—),男,硕士,高级工程师,从事农业水土环境研究。E-mail:huyawei168@126.com。

系生长发育以及对有效养分的吸收利用,加剧了土壤盐分在表层的累积。

1.1.3 种植年限 温室中不同种植年限土壤耕层含盐量、盐分离子的组成及其含量均高于露地土壤。余海英等^[10]对山东寿光设施土壤盐分变化调查表明,设施土壤连续种植 4 a 左右,盐分累积含量达到最大值,而吕福堂等^[11]调查认为该临界值出现在种植 2~3 a 的大棚土壤,冯永军等^[12]研究认为积盐高峰值出现在棚龄 3~5 a 的大棚。李刚等^[13]对昆明地区不同年限的大棚土壤调查研究也表明,随着大棚年限的增长,耕层土壤的盐分在增加,盐分组成以 Ca^{2+} 和 NO_3^- 为主。陈碧华等^[14]对新乡不同种植年限的大棚土壤研究认为,大棚土壤中水溶性总盐的增幅与棚龄的增长呈极显著相关,其中 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等离子是造成土壤次生盐渍化的主要原因。

1.2 日光温室土壤返盐原因

相关研究表明^[15],设施土壤中盐分运移存在明显的向底层迁移和表层聚集的现象,但以表聚为主。综合前人研究结果,将造成温室土壤向表层返盐的原因归结为 4 个方面。

1.2.1 温室内环境特殊 日光温室的封闭性或半封闭性决定了温室内独特的小气候环境^[1]。由于长期处于封闭状态,缺少降雨补给,灌溉几乎成了温室土壤水分的唯一来源,而水分是盐分运动的载体,土壤中的盐分具有“盐随水来,盐随水去;盐随水聚,水去盐留”的基本运行规律,因此土壤中水分的变化直接决定着盐分的累积和迁移变化^[16]。

由于温室内温度高、作物蒸发蒸腾量大,使得深层土壤的水分不断通过毛细管作用上移,基于“盐随水动”的原理,土壤中的可溶性盐分也随之迁移至表层而造成返盐现象^[17],加之缺少有效的降雨淋洗,灌水结束后,水分向下运移的路径受阻,更加剧了土壤的返盐,引发土壤的次生盐渍化。程美廷^[18]研究表明,灌水 1 d 后,土壤水分在耕层内的运行方向都是向着地表的方向,越接近地表盐分越高。

1.2.2 灌溉制度 灌溉制度是指导作物水分管理的重要支撑^[19],而在实际温室种植中,为了保持一定的土壤湿度和温度,达到增产增收目的,农户往往靠生产经验采用“小水勤浇”的方法^[20],由于次灌水量较少,水分携盐下渗深度较浅,导致盐分留在土壤耕作层。灌水次数频繁,破坏了土壤的团粒结构,改变了土体的物理性状^[21],造成表

层土壤板结,影响水分携盐下渗。

1.2.3 灌水方法 灌水方法与温室土壤次生盐渍化程度有很大关系^[22],而目前我国日光温室种植中大多采用传统的地面灌水方法,管理粗放,灌水多以经验为主。这种粗放的灌水方法不仅造成了水资源的大量浪费,还会引起表层土壤的返盐。张玉龙等^[23]对保护地蔬菜栽培采用滴灌、渗灌、沟灌 3 种不同灌水方法,结果表明沟灌条件下表层土壤(0~20 cm)全盐含量最高,王为木等^[24]的研究也有类似结论。

1.2.4 排水 我国日光温室栽培,普遍存在灌水量大,深层渗漏严重等问题^[25],而温室中相应的排水设施不完善,灌水后将导致地下水位的上升,加之温室内蒸发剧烈,在非灌溉时间,容易引起土壤的返盐现象。

2 日光温室土壤次生盐渍化的防治措施

2.1 减少积盐的措施

2.1.1 科学合理地施肥 “大水大肥”是我国长期以来温室种植的传统模式^[19],过量施肥是温室土壤盐分累积的主要来源,所以治理温室土壤次生盐渍化问题,关键在于“调肥和减肥”。一是控制化肥用量,郭全忠等^[26]对杨凌和西安两地日光温室番茄种植调查表明,与常规施肥相比,配方施肥可大幅降低氮、磷、钾肥的施用量。与农民习惯施肥相比,测土施肥、优化施肥、施入腐殖酸和沸石均能降低土壤电导率和全盐含量,以优化施肥配合施用腐殖酸和沸石效果最佳^[27],施用碳调节剂能够改善盐分离子组成,降低土壤总盐含量^[28]。二是合理施用有机肥,孟艳玲等^[29]研究认为增施有机肥,温室土壤剖面含盐量显著降低, SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量均有不同程度下降。但有研究表明,长期施用牲畜粪肥会增加土壤中重金属的含量,大量施用会引起土壤次生盐渍化^[30]。因此,有机肥的施用需谨慎,不可盲目施用。三是配合施用微生物肥料,适当地施用微生物肥料可减少化肥的使用量,可降低硝酸盐含量^[31]、降低土壤盐分浓度^[21]。

2.1.2 改善耕作制度 合理轮作。根据当地温室土壤主要盐分离子以及不同作物对盐分离子的吸收、利用情况,选择合适的轮作制度。施毅超等^[32]对江苏省宜兴市典型大棚的轮作制度研究表明,该地主要盐分离子为 SO_4^{2-} 和 NO_3^- ，“辣椒—白菜—辣椒”轮作模式能降低土壤中 SO_4^{2-} 的积累,可使土壤电导率下降 33%。杨祥田等^[33]对浙

江省临海市草莓种植大棚研究表明,“草莓—闷棚”和“草莓—水稻”轮作,有利于减轻大棚土壤的酸化和盐分积累。轮作制度应因地制宜,而目前关于此方面的系统研究还较少,以后应深入研究。

夏季填闲种植耐盐性强、吸肥能力高的植物。王金龙等^[34]研究发现,填闲种植毛茛子,对黄瓜温室土壤次生盐渍化的改良效果最好。王芝义等^[35]通过土柱模拟试验,认为对氮素的吸收量总和表现为豌豆>糯玉米>燕麦>苋菜。

2.1.3 客土置换 对于重度次生盐渍化土壤,可以采用客土置换温室耕层积盐土壤的方法^[36]。但该法工程量较大,花费大量的人力、物力和财力,故一般较少采用^[37]。针对传统的客土置换存在的问题,胡萍等^[38]提出了一种改进的客土置换的方法,将盐渍土和非盐渍土按照 1:1 的比例混合,既能有效降低原有土壤次生盐渍化的程度,又能提高西瓜的产量和品质,同时该方法成本低,简单易行。

2.2 防止返盐的措施

2.2.1 灌溉措施 制定科学的灌溉制度。改变传统的“小水勤浇”方法,减少灌水次数,每次浇足、灌透,有利于土壤盐分下移,可有效抑制表层土壤的返盐^[8]。李卫等^[39]对不同次生盐渍化土壤的土柱灌水试验表明,从防治土壤次生盐渍化的角度,应该加大灌水量,1 000 mL 可作为当地灌水量的下限,但灌水量过多,易引起深层渗漏,对具体的灌水上限指标有待做进一步的研究。

大力推广微灌技术的应用。微灌是按照作物需求,通过管道系统与安装在末级管道上的灌水器,将水和作物生长所需的养分以较小的流量,均匀、准确地直接输送到作物根部附近土壤的一种灌水方法。微灌技术是当前世界节水效率最高的灌溉技术^[40],具有省水、省工、省地、高产、高效、节肥、抑盐等特点,很适合日光温室蔬菜生产的灌溉。膜下滴灌:将先进的工程节水技术(滴灌)和农艺节水技术(覆膜)有机地结合起来,具有显著的节水和洗盐、抑盐的效果。灌溉过程中,水分携盐下渗,在滴头附近土壤形成脱盐区,有效地淋洗了作物根区的盐分;灌溉结束后,由于覆膜减少了地表水分的蒸发,抑制和减缓了返盐过程,为作物生长创造了良好的水盐环境^[41-42]。研究表明,滴灌可有效降低表层土壤(0~10 cm)全盐含量,起到节水与防止土壤次生盐渍化双重作用^[24]。但滴灌为小定额连续供水,长期使用,可能会导致地下水位上升,再次引发土壤次生盐渍

化问题^[43]。目前,日光温室膜下滴灌技术参数的确定,主要围绕提高作物产量、品质、水分利用效率等方面开展^[44-46],而从减缓和抑制土壤次生盐渍化的角度研究较少。因此,亟需进一步深入研究温室膜下滴灌条件下水盐迁移的规律,制定防止土壤次生盐渍化的淋盐水量、施肥量、滴头流量、灌水频率、灌水定额等合理灌溉参数。渗灌:起源于地下浸润灌溉,可以看作是滴灌的一种特殊形式,又被称为地下滴灌^[47],和传统灌溉方法相比,渗灌可以减缓土壤积盐速度^[48-49]。渗灌条件下,水分运动不同于滴灌的点源向下单方向的入渗,如果渗灌管的埋深、间距、灌水量、灌水周期等技术参数控制不当,容易引起深层渗漏、引发表层土壤次生盐渍化等一系列问题。王淑红等^[47]研究认为,在保护地种植中渗灌管的埋深越浅、灌水周期越短,盐分积累最多,埋深 30 cm,且渗灌管下铺设防渗槽,抑盐效果最好。张玉龙等^[50]研究认为渗灌合适的灌水下限应控制在土壤水吸力 16~25 kPa,可以达到节水、增产、减少灌水次数、抑制盐分累积的良好效果。微润灌:核心材料是半透膜^[51],利用膜内外的水势差及土吸力,可以根据作物生理需求,实现自动连续灌水,具有节能、节水、灌水均匀度高、抗堵塞能力强,在一定程度上可以抑制盐分的累积等特点,应用前景广阔。微润灌作为一种新型的微灌技术,目前已经取得了一定的理论成果。牛文全等^[52]室内土箱模拟试验表明,微润灌流量和土壤湿润体形状分别由压力水头和微润管埋深决定,粘壤土微润灌最适宜埋深为 15~20 cm。薛万来等^[53]研究认为土壤含水率的最大值出现在微润灌带附近,压力水头越大,土壤水分分布范围越广,平均含水率越高。现阶段微润灌溉已应用于沙漠地带、草坪及花卉、温室番茄种植的灌溉中^[52,54],然而利用微润灌溉改良温室土壤次生盐渍化的研究还较少^[55],有待进一步研究并制定合理的淋盐、抑盐等灌溉参数。

2.2.2 暗管排水措施 暗管排盐是在有降水或灌溉发生时,盐随水运移至暗管处,排出土体达到淋盐洗盐的效果,同时埋设暗管可将地下水位控制在临界深度,有效抑制了高矿化度地下水的上移,减轻了土壤次生盐渍化。但该措施工程量大、成本高,一般多用于滨海盐碱地的改良,而用于温室中改良次生盐渍化土壤较少^[36]。张洁等^[56]研究认为暗管排水对改良大棚土壤次生盐渍化有利,以埋深 70 cm、间距 8 m 的暗管铺设模式效果最好。

3 结语

日光温室土壤次生盐渍化的原因主要有积盐和返盐两方面,而积盐和返盐并不是各自独立的,两者为相互影响的动态变化过程,土壤次生盐渍化造成耕地退化、果蔬产量及品质降低,严重阻碍了设施农业的可持续发展。虽然目前关于土壤次生盐渍化的防治措施取得了一定成效,但还有许多问题需进一步研究。应进一步探明温室土壤次生盐渍化发生的机理,以往关于土壤次生盐渍化的研究多在露天大田条件下进行,而温室土壤的质地、容重、离子成分等理化性质较露地土壤有很大不同,以后应深入温室土壤的次生盐渍化发生机理及动态监测研究。而关于防治温室土壤次生盐渍化的研究多集中于单一措施,应综合农艺、灌排、化学等措施,深入开展研究,探讨综合措施的交互作用对土壤次生盐渍化的改良效果。微灌技术在日光温室种植中广泛应用,但现有研究多集中于从产量、品质、水分利用效率等方面制定合理的灌溉参数,而从防止土壤次生盐渍化角度的研究还较为薄弱,亟需加强该方面的研究。在今后的研究中,应深入研究微灌条件下温室土壤的水、热、盐迁移规律,建立以微灌为主的防治土壤次生盐渍化的综合技术体系。

参考文献:

- [1] 李天来. 我国日光温室产业发展现状与前景[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(2): 131-138.
- [2] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J]. 土壤, 2004, 36(3): 235-242.
- [3] 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁, 等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤, 2004, 36(1): 25-29.
- [4] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞, 等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 126-128.
- [5] 王辉, 董元华, 安琼, 等. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究——以南京市南郊为例[J]. 土壤, 2005, 37(5): 530-533.
- [6] 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 等. 西安市郊区日光温室大棚番茄施肥现状及土壤养分累积特性[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 2287-2290.
- [7] 黄毅, 张玉龙. 保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 212-215.
- [8] 邵孝侯, 杨红, 徐征. 温室土壤盐分累积原因及调控措施研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2010, 38(2): 237-239.
- [9] 王国庆, 何明, 封克. 温室土壤盐分在浸水淹灌作用下的垂直再分布[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(3): 51-54.
- [10] 余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 571-576.

- [11] 吕福堂, 司东霞. 日光温室土壤盐分积累及离子组成变化的研究[J]. 土壤, 2004, 36(2): 208-210.
- [12] 冯永军, 陈为峰, 张蕾娜, 等. 设施园艺土壤的盐化与治理对策[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 111-114.
- [13] 李刚, 张乃明, 毛昆明, 等. 大棚土壤盐分累积特征与调控措施研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 44-47.
- [14] 陈碧华, 杨和连, 李亚灵, 等. 不同种植年限大棚菜田土壤水溶性盐分的变化特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 241-245.
- [15] 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.
- [16] 曾礼, 郑子成, 李廷轩, 等. 设施土壤水-盐运移的研究进展[J]. 土壤, 2008, 40(3): 367-371.
- [17] KITAMURA Y, YANO T, HONNA T, et al. Causes of farmland salinization and remedial measures in the aral sea basin—research on water management to prevent secondary salinization in rice-based cropping system in arid land[J]. Agricultural Water Management, 2006, 85(1-2): 1-14.
- [18] 程美廷. 温室土壤盐分积累、盐害及其防治[J]. 土壤肥料, 1990(1): 1-4.
- [19] 罗勤, 陈竹君, 闫波, 等. 水肥减量对日光温室土壤水分状况及番茄产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 449-457.
- [20] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J]. 土壤, 2004, 36(3): 235-242.
- [21] 刘金党. 塑料大棚土壤的次生盐渍化及防御对策[J]. 山东农业科学, 2010(10): 77-78.
- [22] 刘子英. 保护地蔬菜栽培中土壤次生盐渍化演变规律研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [23] 张玉龙, 张继宁, 张恒明, 等. 保护地蔬菜栽培不同灌水方法对表层土壤盐分含量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(1): 41-44.
- [24] 王为木, 高缙. 不同灌溉方式对温室表层土壤盐分积累的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(12): 6434-6435.
- [25] 范凤翠, 张立峰, 李志宏, 等. 日光温室番茄控制土壤深层渗漏的灌水量指标[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 83-89.
- [26] 郭全忠, 张建平, 陈竹君, 等. 肥水调控对日光温室番茄土壤养分和盐分累积的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(7): 111-117.
- [27] 李杰, 姬景红, 李玉影, 等. 不同改良措施对保护地土壤盐分积累及离子组成的影响[J]. 北方园艺, 2012(7): 159-164.
- [28] 陆畔丰, 盛海君, 钱晓晴, 等. 碳调节剂对次生盐渍化土壤理化性质的影响及适宜用量的确定[J]. 北方园艺, 2018(24): 110-117.
- [29] 孟艳玲, 王丽萍, 杨合法, 等. 长期施用有机肥对温室土壤盐分积累的抑制作用[J]. 长江蔬菜, 2008(5): 54-56.
- [30] HAO X, CHI C. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2003, 94(1): 89-103.

- [31] 王素英,陶光灿,谢光辉,等.我国微生物肥料的应用研究进展[J].中国农业大学学报,2003,8(1):14-18.
- [32] 施毅超,胡正义,龙为国,等.轮作对设施蔬菜大棚中次生盐渍化土壤盐分离子累积的影响[J].中国生态农业学报,2011(3):548-553.
- [33] 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.
- [34] 王金龙,阮维斌.4种填闲作物对天津黄瓜温室土壤次生盐渍化改良作用的初步研究[J].农业环境科学学报,2009,28(9):1849-1854.
- [35] 王芝义,郭瑞英,李凤民.不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响[J].生态学报,2011,31(9):2516-2523.
- [36] 常婷婷,张洁,吴鹏飞,等.设施土壤次生盐渍化防治措施的研究进展[J].江苏农业科学,2011,39(4):449-452.
- [37] 刘旭,李丽,周永波.温室土壤盐分累积规律及调控措施的研究进展[J].江苏农业科学,2009(6):390-392.
- [38] 胡萍,严秀琴,虞冠军,等.设施土壤次生盐渍化客土修复技术初探[J].上海交通大学学报(农业科学版),2005,23(1):46-51.
- [39] 李卫,郑子成,李廷轩,等.设施灌溉条件下不同次生盐渍化土壤盐分离子迁移特征[J].农业机械学报,2011,42(5):92-99.
- [40] 鹿毅,李明,靳智,等.微灌标准体系研究概述[J].节水灌溉,2012(3):64-68.
- [41] 王全九,王文焰,吕殿青,等.膜下滴灌盐碱地水盐运移特征研究[J].农业工程学报,2000,16(4):54-57.
- [42] 王全九,王文焰,汪志荣,等.盐碱地膜下滴灌技术参数的确定[J].农业工程学报,2001,17(2):47-50.
- [43] 薛万来,牛文全,张俊.膜下滴灌土壤水盐运移研究进展[J].灌溉排水学报,2013,32(4):114-118.
- [44] 李玉义,逢焕成,陈阜,等.膜下滴灌对加工番茄水分利用效率与品质的影响[J].灌溉排水学报,2009,28(4):83-86.
- [45] 刘浩,孙景生,段爱旺,等.温室滴灌条件下水分亏缺对番茄生长及生理特性的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(3):53-57.
- [46] 张辉,张玉龙,虞娜,等.温室膜下滴灌灌水控制下限与番茄产量、水分利用效率的关系[J].中国农业科学,2006,39(2):425-432.
- [47] 王淑红,张玉龙,虞娜,等.渗灌技术的发展概况及其在保护地中应用[J].农业工程学报,2005,21(S1):92-95.
- [48] NOORY H, LIAGHAT A, CHAICHI M R, et al. Effects of water table management on soil salinity and alfalfa yield in a semi-arid climate[J]. Irrigation Science, 2009, 27(5): 401-407.
- [49] 王淑红,张玉龙,虞娜,等.保护地渗灌管的埋深对土壤水盐动态及番茄生长的影响[J].中国农业科学,2003,36(12):1508-1514.
- [50] 张玉龙,张继宁,黄毅,等.塑料大棚番茄栽培不同渗灌量对耕层土壤性质的影响[J].农业工程学报,2004,20(2):105-108.
- [51] 杨文君,田磊,杜太生,等.半透膜节水灌溉技术的研究进展[J].水资源与水工程学报,2008,19(6):60-63.
- [52] 牛文全,张俊,张琳琳,等.埋深与压力对微润灌湿润体水分运移的影响[J].农业机械学报,2013,44(12):128-134.
- [53] 薛万来,牛文全,张俊,等.压力水头对微润灌土壤水分运动特性影响的试验研究[J].灌溉排水学报,2013,32(6):7-11.
- [54] 吕望,牛文全,古君,等.微润管埋深与密度对日光温室番茄产量及品质的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(12):1663-1673.
- [55] 牛文全,吕望,古君,等.微润管埋深与间距对日光温室番茄土壤水盐运移的影响[J].农业工程学报,2017,33(19):131-140.
- [56] 张洁,常婷婷,邵孝侯.暗管排水对大棚土壤次生盐渍化改良及番茄产量的影响[J].农业工程学报,2012,28(3):81-86.

Research Progress on Soil Secondary Salinization in Solar Greenhouse

LYU Wang¹, ZHANG Jing-xiao², WANG Yan-hua¹, JING Ming¹, HU Ya-wei¹

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission/Henan Engineering Research Center of Rural Water Environment Improvement/Henan Key Laboratory of Yellow River Basin Ecological Protection and Restoration, Zhengzhou 450003, China; 2. Hebei University of Water Resources and Electric Engineering, Cangzhou 061000, China)

Abstract: In order to strengthen the prevention and control of soil secondary salinization in solar greenhouse and promote the sustainable development of facility agriculture, we summarized and analyzed the causes and control measures of soil secondary salinization in solar greenhouse from two aspects of salt accumulation and return salt, further discussed the shortcomings of current research, and put forward that the future research should focus on the dynamic monitoring of soil water and salt in solar greenhouse, the mechanism of secondary salinization, the migration law of soil water, heat and salt under micro irrigation, and the establishment of a comprehensive control system based on water-saving micro irrigation technology.

Keywords: sunlight greenhouse; secondary salinization; prevention and control measures