

设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响^①

余海英^{1,2} 李廷轩^{1,2} 周健民²

(1 四川农业大学环境与资源学院 四川雅安 625014; 2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 设施土壤次生盐渍化是我国设施农业生产中的一个重要限制因子。本文根据近年来的相关研究进展,综述了设施土壤次生盐渍化的基本特征、形成原因及其影响因素,并阐述了设施土壤次生盐渍化对土壤理化性质以及土壤微生物状况的影响。

关键词 设施土壤; 次生盐渍化; 影响因素; 土壤性质

中图分类号 S153

由于设施栽培(主要是塑料大棚、日光温室和地膜覆盖技术)在我国蔬菜和其他重要经济作物的反季节和跨地区种植中所起的重要作用,设施农业在全国各地得到了大面积的推广应用,栽培面积从1981年的0.72万 hm^2 发展到现今的210万 hm^2 ,占世界设施栽培面积的70%,成为世界上设施栽培面积及其总产量最大的国家^[1,2]。然而与当前设施栽培迅猛发展所不相适应的是在设施栽培系统中,至今尚无一套与之相适宜的土肥管理措施。由于温室、大棚等栽培条件下的土壤缺少雨水淋洗,且温度、湿度、通气状况和水肥管理等均与露地栽培有较大差别^[3],加之设施栽培又长期处于高集约化、高复种指数、高肥料施用量的生产状态下,其特殊的生态环境与不合理的水肥管理措施导致了土壤次生盐渍化、养分不平衡、土壤酸化等诸多生产问题的产生,其中最为突出的是土壤次生盐渍化,它不仅直接危害作物的正常生长,而且也易引发其他相关生产问题。因此,了解设施土壤次生盐渍化的基本特征、成因、影响因素及其对土壤性质的影响,对于认识我国设施土壤环境质量的变化,指导合理生产,实现设施土壤的可持续利用具有十分重要的现实意义。

1 设施土壤次生盐渍化的基本特征

1.1 土壤次生盐渍化的表现现象及其对作物的危害

次生盐渍化土壤干燥时其表面会出现白色盐霜,土壤发生板结,破碎后呈灰白色粉末状;土壤湿润时,颜色发暗。当土壤含盐量超过10 g/kg时,

土面会有块状紫红色胶状物(紫球藻)出现^[4,5]。在土壤次生盐渍化条件下,作物会出现明显的生理性干旱和生长不良反应。如一般植物在土壤盐分含量达到1 g/kg时,其正常生长就会受到影响;达到2~5 g/kg时,根系吸水困难;高于4 g/kg时,植物体内水分易外渗,生长速率显著下降,甚至导致植物死亡^[6]。土壤盐分积累过多会造成作物根际土壤溶液渗透势下降,从而使作物发芽及根系对水、肥的吸收受到影响。蔬菜受害时,最初表现为生长矮小,发育迟缓,产量降低,严重者叶片开始干枯变褐,边缘变枯黄,根毛变褐或腐烂,不能立苗,植株枯萎死亡^[7]。如黄瓜遭受盐害时,常常是苗老而不发,根系生长受阻,侧根少而粗短,根间钝似截断状,土壤表层根系呈锈红状,龙头(茎生长点)萎缩,心叶褪绿,植株早衰,细尾瓜、苦瓜等较多^[8,9];番茄苗期若受高浓度盐类物质危害,则会引起幼苗老化并产生畸形果^[10]。

1.2 设施土壤盐分离子的组成特点

由于设施土壤次生盐渍化的形成受其特殊棚室环境和人为水肥管理措施的影响,故其盐分组成与滨海及内陆盐渍土存在着明显的差异。在引起设施土壤次生盐渍化的8种盐分离离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^-)中,除 HCO_3^- 外,其余7种离子的含量在设施土壤中均比露地高,且差异达显著或极显著水平^[11]。 Na^+ 已不是土壤中的主要盐分离离子,其累积量远远小于 Ca^{2+} 和 NO_3^- 。研究表明,设施土壤中 Ca^{2+} 的含量约占阳离子总量的60%以上, Mg^{2+} 在15%~20%之间;阴离子以

^①国家自然科学基金重点项目(30230250)、四川省科技厅应用基础项目(03JY029-0301)和四川省教育厅重点项目(2003A022)资助。

NO₃⁻为主,其含量约为阴离子总量的 56%~76%^[5,7,12]。其中硝酸盐的积累既是设施土壤次生盐渍化的主要特征之一^[5,13],同时也是引起设施作物生理障碍的主导因子^[13,14],造成蔬菜作物生长受阻,产量降低以及植株体内硝酸盐的大量累积^[15]。但也有报道,设施土壤中的主要阴离子是 SO₄²⁻ 或 Cl⁻,这与设施栽培中施用化肥的种类和用量有关^[16-21]。

1.3 设施土壤的积盐特征及其变化规律

土壤全盐含量高、盐分表聚是设施土壤次生盐渍化的主要特征。由于设施土壤不受雨水淋洗,施入的多余肥料则全部残留于土壤中并逐年累积。因此,随着棚室使用年限不断延长,土壤中盐分的累积量也不断增加,且由于棚室内的温度相对较高,土壤蒸发量大,盐离子便会随着土壤水分的向上运动而逐渐向表层迁移、积聚^[7]。据报道,大棚土壤总盐量是露地的 2.1~13.4 倍^[22],0~5 cm 的表层土壤含盐量约占土壤剖面总盐量的 40%~75%^[16],多数土壤表层盐分含量超过了 1.5 g/kg 的临界值^[23],出现了不同程度的次生盐渍化。江苏省张家港市的蔬菜园艺场耕层土壤盐分含量达 3.8 g/kg,比露地土壤含盐量高 168%,且表土层(0~5 cm)盐分含量比亚表土层(5~20 cm)高 65%^[24];上海市郊区玻璃和塑料温室耕层土壤(0~25 cm)的含盐量分别是露地的 11.8 倍和 4.0 倍^[5]。在设施栽培初期,土壤盐分向 0~5 cm 表层积聚,随使用年限的延长,盐分积聚层的厚度亦随之增加,在 0~30 cm 土层内(即作物根系分布最密集土层),盐分都有不同程度的积聚^[25]。新建大棚经 1 年种植后,土壤表层含盐量较露地增加 1 倍,种植 5 年后,土壤盐分则较露地增加了 4~5 倍,表土层(0~5 cm)含盐量在 3 g/kg 左右^[7]。冯永军等^[12]研究表明,1~2 年棚龄的表层土壤电导率(EC)在 0.21~1.27 mS/cm 之间,平均为 0.57 mS/cm,积盐程度较轻;3~5 年棚龄的表层土壤 EC 可高达 4.06 mS/cm,平均为 1.21 mS/cm,且大部分作物均出现盐害。

设施土壤含盐量受作物生长的季节性影响明显。3~5 月,由于处于作物生长的初期,养分投入量大,土壤中盐分含量可达 3~4 g/kg,是积盐的高峰期;6~8 月,因蔬菜旺盛生长,养分吸收量增加,盐分含量可降至 2 g/kg 以下,而后随着蔬菜生长逐渐衰退,土壤含盐量会略有回升,至次年春季,土壤含盐量又会大幅度上升到 3~4 g/kg^[13]。

设施土壤的全盐含量与土壤 EC 值及各盐分离

子的含量均显著相关^[12,21]。童有为^[26]分析表明,大棚土壤的 EC 与全盐量、主要盐离子 NO₃⁻ 和 Ca²⁺ 的含量均呈极显著正相关($r = 0.9907^{**}, 0.9635^{**}$ 和 0.9703^{**} , $n = 73$)。李文庆等^[21]报道,设施土壤盐离子中的 Cl⁻、NO₃⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻ 与土壤全盐量相关系数分别为: 0.66^{*}、0.80^{**}、0.92^{**}、0.80^{**}、-0.64^{*};另据杜连凤^[18]分析表明,设施土壤的 EC 值与 HCO₃⁻、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺ 的相关系数分别为: -0.6278^{**}、0.3722^{**}、0.9047^{**}、0.6567^{**}、0.9952^{**}、0.9524^{**}、0.5357^{**}。

2 设施土壤次生盐渍化的成因及其影响因素

设施土壤次生盐渍化的形成及其盐渍化程度与设施环境及人为耕作管理密切相关。温室、大棚条件下,设施土壤的水、肥、气、热等肥力因素及耕作管理措施与露地栽培存在着明显的差异。其最大的特点就在于设施栽培环境的封闭性以及栽培管理上的高集约化、高复种指数和高施肥量。在设施生产中,种植户常过量施用化肥和大量施用有机肥,一些未被作物吸收利用的肥料及其副成分便大量残留于土壤中,成为土壤盐离子的主要来源,加之设施栽培较自然条件下的水分淋洗作用弱,土壤蒸发和作物蒸腾量大,长期使用则导致土壤盐分的积累。

2.1 温度和湿度对设施土壤次生盐渍化形成的影响

设施栽培条件下,由于作物生长环境密闭,棚室内部的温度和湿度明显高于露地。高温高湿的环境条件促进了土壤固相物质的快速分解与盐基离子的释放,同时也提高了硝化细菌的活性,使土壤中残留的 NO₃⁻-N 含量增加,从而加重了土壤的次生盐渍化^[27],成为导致设施土壤次生盐渍化的一个重要因素^[12,21]。据马光恕等^[28]报道:在 0~20 cm 的土层内,棚内土壤温度均高于棚外,地表平均温度比棚外高 6~8℃,其中冬季高 7~8℃,早春高 6℃左右;在 5~20 cm 土层,棚内土壤的日平均温度比棚外高 3~5℃,且在一天内的不同时段土壤温度的变幅较小;在距地表 5、10 cm 处的土壤温度受外界天气状况的影响较大,晴天棚内比棚外高 4~5℃,阴天和阴雨天高 3~4℃,而在距地表 15、20 cm 处的土壤温度受外界影响较小,且较为稳定,一般棚内的土温均高于棚外 4℃左右。另据测定,

设施大棚内空气相对湿度一般保持在 60% ~ 100%，尤其是在冬季不通风条件下，地面蒸发和蔬菜蒸腾的水分不能外散，空气湿度通常在 80% ~ 90% 之间，夜间更可高达 100%^[29,30]。

2.2 地下水水位及其矿化度对设施土壤次生盐渍化形成的影响

设施栽培条件下，由于不合理的耕作栽培措施所造成的土壤水文条件恶化，地下水位上升，以及土壤水分蒸发剧烈等也是引发土壤次生盐渍化的一个重要原因^[31]，且土壤的积盐程度与地下水水位及其矿化度的高低密切相关^[32]。不合理的灌水措施会抬高地下水水位，从而影响设施土壤中盐分的运移和累积：一方面，地下水位过高不利于土壤排水，这样既妨碍了盐分的淋洗，也阻滞了淋洗水的下降，从而延长了盐分在土体中的滞留时间；另一方面，上升的地下水溶解了土层中的盐分并将其运移至较浅的上层土体，加速了盐分的表聚。当地下水位相同时，其矿化度越高，土壤积盐量就越大^[33]，设施土壤的次生盐渍化就越易产生。

2.3 施肥对设施土壤次生盐渍化形成的影响

盲目大量施肥和偏施 N 肥是造成设施土壤次生盐渍化的另一重要因素^[34]。由于设施栽培蔬菜的生长速度快、产量高、茬数多、效益好，种植户往往在每茬都要施用大量化肥和有机肥，且普遍存在重施 N、P 肥而轻施 K 肥的现象，N、P 养分远远超出了蔬菜本身的吸肥量^[1, 21]。据调查，大棚中化肥与有机肥的投入量是露地的 4 ~ 10 倍，是蔬菜需要量的 6 ~ 8 倍^[35]。山东省用于设施栽培的有机肥年用量达 75000 ~ 150000 kg/hm²，化肥的年投入量在 6000 ~ 9000 kg/hm² 的现象非常普遍，有的甚至高达 15000 kg/hm²^[12]。王学军等^[36]对山东寿光、苍山、泰安市等地日光温室的调查结果表明，温室中有机肥的年平均施用量达 198750 kg/hm²，化肥为 6825 kg/hm²，已严重超量，其中绝大多数为 N 肥，K 肥仅有 960 kg/hm²。程美廷等^[8]对河北永年县设施栽培的调查结果表明，黄瓜一般追施硝铵 10500 ~ 12000 kg/hm²，按 112500 ~ 150000 kg/hm² 的黄瓜或西红柿产量来估算，设施栽培中作物对 N 肥利用率不足 10%，其余 90% 以上被积累在土壤或进入地下水或以其他形式损失掉。江苏省张家港市设施栽培施肥量一般比露地多 4 ~ 5 倍，且化肥占总施肥量的 30% ~ 60%，常达到 7500 kg/hm²^[24]。据夏立忠等^[37]报道，江苏无锡市设施栽培年有机肥施用量

达 300000 ~ 325000 kg/hm²，复合肥在 450 kg/hm² 以上；苏州工业园艺场设施栽培年有机肥施用量达 50000 kg/hm²，复合肥 2000 kg/hm²，过磷酸钙 2000 kg/hm²，在生长中后期还要追施一定量的尿素^[20]。陈新平等^[38]对京郊 23 个蔬菜生产点的调查结果表明，其每季蔬菜有机肥的施用量在 7500 ~ 11200 kg/hm² 之间，施 N 量为 782 kg/hm²，P 肥达 615 kg/hm²，K 肥为 393 kg/hm²。由此可见，设施栽培条件下肥料的高投入是设施土壤中养分与可溶性盐分增加的一个根本原因^[19]。此外，畜禽粪便的生施、多施也对土壤的次生盐渍化造成了一定的影响^[39]。由于设施大棚内温度高，人畜粪尿迅速分解后，大量的氨被挥发掉，一些硫化物、硫酸盐、有机盐和无机盐等残留于耕层土壤中，造成大棚内土壤盐化、板结^[40]。

2.3 设施类型及其使用方式对设施土壤次生盐渍化形成的影响

设施土壤盐分含量会因设施类型的不同而有所差异。玻璃温室和连栋大棚是全年性覆盖设施，由于缺乏雨水淋洗作用，加之土壤水分经常性的向上运动并不断地从地表蒸发，使得土壤终年处于积盐过程中，因而盐害发生早且重，通常种植 2 ~ 3 年即出现盐害^[5]。据测定，此类设施种植 3 年以上的耕层土壤含盐量可超过 2.08 g/kg，14 年和 36 年的表土层（0 ~ 5cm）含盐量可达 3.14 g/kg 和 7.11 g/kg，是露地的 4 ~ 10 倍^[41]。而普通塑料大棚（包括日光温室）由于受季节性揭棚和雨水的淋洗作用，盐分含量在 1 年中会出现明显的季节性消积变化现象，即冬春覆棚时表土盐分积累，夏季揭棚后，表土含盐量明显下降。但随着使用年限的增长，整个土体内盐分仍呈逐年累积趋势，所以土壤积盐的潜在威胁较大，若不注意防治，一般使用 5 年左右便会出现明显的盐害^[5]。

大棚内采用地膜覆盖对于保持地温、减少水分蒸发、控制盐分积累、降低棚内湿度、减少病虫害等均具有明显的效果^[12]，尤其对土壤盐分积累的影响最为明显。吴志行等^[42]研究表明，大棚 + 小棚 + 地膜的土壤 EC 值最小，土壤含水量最高；其次为大棚 + 地膜，大棚 + 小棚的设施；而仅有大棚覆盖的土壤 EC 值最高，其含水量也最少。由此可知，土壤覆盖的层次越多，其保水性愈好，EC 值愈低。

除上述各种影响因素外，设施土壤次生盐渍化的形成还与设施栽培条件下的连作重茬、灌水频

繁^[12]以及无法引入大型耕作机械造成的耕层变浅等因素有关,这些都加剧了土壤次生盐渍化的形成^[25]。

3 设施土壤次生盐渍化对土壤性质的影响

3.1 对土壤物理性质的影响

有研究表明,随着种植年限的增加,设施土壤的结构性得到明显改善,水稳性团粒结构(0.25~2 mm)的数量明显增加,土壤毛管孔隙增多,土壤持水性增强,但土壤非活性孔隙比例相对降低,耕作层变浅,土壤板结严重,通气透水性变差^[43, 44]。

3.2 对土壤化学性质的影响

3.2.1 对土壤酸度的影响 据报道,设施土壤的 pH 值随设施种植年限的增加而呈逐年下降趋势^[44, 45]。孟鸿光等^[45]对沈阳城郊 110 个具有代表性的温室大棚土壤进行的分析结果表明,土壤 pH<6.5 的大棚占调查总数的 70.9%,有的大棚土壤 pH 值甚至可低至 4.1,超过了蔬菜出现生理障碍的临界土壤 pH 5.52^[46]。设施土壤随着种植年限的延长而普遍发生酸化主要有以下两方面的原因。其一是由于常用肥料中往往带有 Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 等强酸性离子,这些离子会随着 KCl、NH₄Cl、K₂SO₄、(NH₄)₂SO₄、Ca(H₂PO₄)₂ 等肥料的大量施用而进入土壤,它们中仅部分被作物吸收,而大部分则残留于土壤中,成为土壤次生盐渍化和土壤 pH 值下降的主要原因^[47]。其二则是由设施栽培中重施 N 肥以及土壤硝酸盐的大量累积所致。Malhi 等^[48, 49]研究表明,重施 N 肥,特别是铵态氮肥的施用会导致土壤严重酸化,并能显著提高土壤活性 Al 的含量。设施土壤 pH 值的降低受土壤硝酸盐积累的影响较大, pH 值随 NO₃-N 含量的增加而降低^[45],两者呈极显著负相关($r = -0.37^{**}$, $n = 110$)。此外,由设施土壤的硝化作用强烈而引起的土壤中 H⁺ 含量增多也是导致土壤酸化的原因之一。

3.2.2 对养分失衡的影响 土壤次生盐渍化程度的高低对于土壤养分的平衡供应以及作物对养分的均衡吸收都有明显的影响,主要表现为:①土壤中盐分与养分离子的交互作用,导致某些养分的有效性降低,从而破坏了土壤中养分的平衡供应,如 Ca²⁺ 对 P 有固定作用,从而降低了 P 的有效性^[50]。②次生盐渍化土壤中某些盐分离子的累积破坏了作物对养分的均衡吸收,造成作物营养失衡甚至单盐毒害^[51]。土壤中轻度硝酸盐积累即可造成蔬菜对各

种营养元素的吸收不平衡,在酸性土壤上可引起缺 Fe 症和 Mn 中毒,石灰性土壤上可引起缺 Fe、Zn、Cu 等症^[13]。同时,土壤硝酸盐的积累也影响作物对 Ca、Mg 的吸收,导致 Ca 生理病害加重^[51, 52],且造成体内 NO₃⁻-N 含量增高^[53]。此外,Cl⁻ 对 NO₃⁻、H₂PO₄⁻, Na⁺ 对 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺, 以及 K⁺ 对 Mn、Mg 的吸收都有一定的抑制作用^[50, 51, 54]。③土壤盐渍化不利于作物根系的正常生长,致使根系的吸收能力显著降低,从而改变了作物对土壤养分浓度的要求,故只有当土壤养分浓度达到一定水平时才可能被作物吸收利用,这就必然要求外界增大对土壤中养分的投入量以保证作物正常生长发育对养分的需求。然而外界养分的过高投入又加剧了土壤的次生盐渍化,因而随着设施年限的延长,土壤养分的累积和不平衡问题也越来越突出。

3.3 对土壤微生物群落及数量的影响

土壤微生物群落及其数量的变化可以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力水平和环境状况^[55]。设施土壤次生盐渍化不仅会直接影响土壤微生物的活性,还会通过改变土壤的部分理化性质来间接地影响土壤微生物的生存环境,从而导致设施内的土壤微生物在其种群、数量及活性上均与露地有较大差别。研究表明,土壤中的盐分含量与微生物活性呈负相关,当土壤 EC 值在 0.5~2.0 mS/cm 之间时,盐分对土壤微生物活性影响不大,此时葡萄糖分解活跃;当 EC 值增加到 5.0 mS/cm 以上时,土壤微生物活性则会受到强烈抑制,葡萄糖分解速率也显著下降。硝化细菌对盐分变化十分敏感,且随着土壤盐分含量的增大,硝化速率会急剧下降,当土壤 EC 值增加到 2.0 mS/cm 时,硝化反应即变得极其微弱^[56]。

同时,随着设施土壤次生盐渍化的发生所出现的土壤酸化、养分不平衡等土壤环境条件的改变,同样也改变了设施土壤的微生物状况,从而对整个土壤环境造成了不利影响。大多数微生物比较适宜于中性或微碱性环境,土壤酸性越强越不利于土壤微生物的生长,在 pH 值 4~7 范围内,其数量随着 pH 值的提高而增加^[56],并且生长在土壤 pH 为 5.5~7.5 环境条件下的土壤微生物其适应环境 pH 变化的能力也更强^[57]。此外,土壤微生物总数变化与土壤养分含量(除全 K 和速效 P 含量外)也明显相关^[55]。

总之,设施土壤次生盐渍化已经成为我国设施栽培中普遍存在的问题,并已严重制约了设施农业

的可持续发展, 因此深入研究设施土壤次生盐渍化的成因及防治措施具有十分重要的现实意义。

参考文献

- 秦巧燕, 贾陈忠, 曲东, 同延安, 王荣堂. 我国设施农业发展现状及施肥特点. 湖北农学院学报, 2002, 22 (4): 373~376
- 张真和, 李伟建. 我国设施蔬菜产业的发展态势及可持续发展对策探讨. 沈阳农业大学学报, 2000, 31 (1): 4~8
- 殷永娴, 刘鸿雁. 设施栽培下土壤中硝化、反硝化作用的研究. 生态学报, 1996, 16 (3): 246~250
- 李海云, 王秀峰, 禹贤. 设施土壤盐分积累及防治措施的研究进展. 山东农业大学学报, 2001, 32 (4): 535~538
- 童有为, 陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径研究. 园艺学报, 1991, 18 (2): 159~162
- 杨月红, 孙庆艳, 沈浩. 植物的盐害和抗盐性. 生物学教学, 2002, 27 (11): 1~2
- 侯云霞, 钱光熹, 王建明, 朱建忠. 上海蔬菜保护地的土壤盐分状况. 上海农业学报, 1987, 3 (4): 31~38
- 程美廷. 温室土壤盐分积累、盐害及其防治. 土壤肥料, 1990, (1): 1~4
- 吴凤芝, 刘德, 王东凯, 栾非时, 王伟, 刘元英. 大棚蔬菜连作年限对土壤主要理化性状的影响. 中国蔬菜, 1998, (4): 5~8
- 吴凤芝, 赵凤艳, 刘元英. 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, 2000, 31 (3): 241~247
- 李文庆, 刘家芬. 大棚栽培后土壤盐分的变化. 土壤, 1995, 27 (4): 203~205
- 冯永军, 陈为峰, 张蕾娜, 吴安民. 设施园艺土壤的盐化与治理对策. 农业工程学报, 2001, 17 (2): 111~114
- 薛继澄, 毕德义, 李家金, 殷永娴, 吴志行. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策. 土壤肥料, 1994, (1): 4~9
- 张俊侠, 孙德平, 司友斌. 设施土壤蔬菜栽培的障碍因子研究. 安徽农学通报, 2001, (4): 52~54
- Wang ZH, Li SX. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. *Pedosphere*, 2003, 13 (4): 309~316
- 孙松发, 陈剑中, 盛正国, 孙传璐. 温室土壤次生盐渍化的研究. 上海农学院学报, 1992, 10 (2): 132~140
- 李先珍, 王耀林, 张志斌. 京郊蔬菜大棚土壤盐离子积累状况研究初报. 中国蔬菜, 1993, (4): 15~17
- 杜连凤, 刘建玲, 刘文科, 廖文华. 河北省藁城市大棚土壤盐分累积状况研究. 中国农学通报, 2002, 18 (2): 30~33
- 郭文忠, 李丁仁. 宁夏日光温室土壤次生盐渍化发生原因及治理. 长江蔬菜, 2003, (4): 39~40
- 施秀珠, 奚振邦, 朱建萍. 不同棚龄塑料大棚表聚盐分特征及其预防. 上海蔬菜, 1989, (3): 35~36, 46
- Li WQ, Zhang M, Van Der Zee D. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China. *Pedosphere*, 2001, 11 (4): 359~367
- 刘德, 吴凤芝. 哈尔滨市郊蔬菜大棚土壤盐分状况及影响. 北方园艺, 1998, (6): 1~2
- 王平, 刘淑英. 兰州市安宁区蔬菜保护地土壤盐分的含量及其剖面分布规律. 甘肃农业大学学报, 1998, 33 (2): 186~189
- 张振华, 姜冷若, 胡永红, 隆小华, 徐刚. 设施栽培大棚土壤养分、盐分调查分析及其调控技术. 江苏农业科学, 2003, (1): 73~75
- 那伟民, 陈杏禹. 蔬菜保护地土壤次生盐化的形成与防治. 辽宁熊岳农业高等专科学校学报, 1999, 1 (2): 28~31
- 童有为. 蔬菜大棚土壤盐渍特征及其防治. 上海蔬菜, 1990, (3): 6~8
- 张昌爱, 毕军, 夏光利. 大棚土壤的理化状况和微生物状况. 安徽农业科学, 2002, 30 (2): 275~276
- 马光恕, 廉华. 设施内环境要素的变化规律及对蔬菜生长发育的影响. 黑龙江八一农垦大学学报, 2002, 14 (3): 16~20
- 刘广明, 杨劲松. 土壤蒸发量与地下水作用条件的关系. 土壤, 2002, 34 (3): 141~144
- 程冬玲, 林性粹. 园艺设施内的水分调控. 西北园艺: 果树, 2001, (1): 21~21
- 刘广明, 杨劲松. 地下水蒸发生理规律及其与土壤盐分的关系. 土壤学报, 2002, 39 (3): 384~389
- 刘广明, 杨劲松. 地下水作用条件下土壤积盐规律研究. 土壤学报, 2003, 40 (1): 65~69
- 刘广明. 地下水作用条件下土壤水盐运移规律及其机制研究 (硕士学位论文). 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2000
- 刘善江. 目前保护地蔬菜施肥存在的问题及对策. 北京农业科学, 1999, 17 (1): 31~32
- 李文庆, 张民, 李海峰, 咎林生. 大棚土壤硝酸盐状况研究. 土壤学报, 2002, 39 (2): 283~287

- 36 王学军. 日光温室土壤次生盐渍化分析. 北方园艺, 1998, (3): 12 ~ 13
- 37 夏立忠, 杨林章, 王德建. 苏南设施栽培中旱作人为土养分与盐分状况的研究. 江苏农业科学, 2001, (6): 43 ~ 46, 69
- 38 陈新平, 张福锁. 北京地区蔬菜施肥的问题与对策. 中国农业大学学报, 1996, 1 (5): 63 ~ 66
- 39 何明, 王国忠, 陆峥嵘, 王国庆, 陈宗慧. 日本环境保护型设施农业土肥管理技术的研究动态. 上海农业学报, 2002, 18(4): 92 ~ 96
- 40 姚静, 邹志荣, 杨猛, 冯嘉玥. 设施栽培中土壤次生盐渍化问题及解决途径. 陕西农业科学, 2003, (4): 39 ~ 41
- 41 胡克伟, 贾冬艳, 王东升. 保护地土壤次生盐渍化及其调控措施. 北方园艺, 2002, (1): 12 ~ 13
- 42 吴志行, 石海仙, 董明光, 苏小俊. 几种保护地设施对辣椒生育和产量的影响. 上海蔬菜, 1992, (3): 27 ~ 28
- 43 吴凤芝, 赵风艳. 设施蔬菜连作障碍原因综合分析防治措施. 北京农业大学学报, 2000, 31 (3): 241 ~ 247
- 44 赵风艳, 姚禾雨, 吴凤芝, 刘德. 大棚菜地土壤理化特性的研究. 土壤肥料, 2000, (2): 11 ~ 13
- 45 孟鸿光, 李中, 刘乙俭, 金福兰, 尹长安, 姜文君, 张基迁, 王洪凤. 沈阳城郊温室土壤特性调查研究. 土壤通报, 2000, 31(2): 70 ~ 72
- 46 史桂芳, 毕军, 夏光利, 张昌爱, 张萍, 毕研文, 朱国梁, 孙国波. 保护地蔬菜土壤障碍指标界定及应用研究. 耕作与栽培, 2003, (3): 49 ~ 50
- 47 Wang HY, Zhou JM, Chen XQ, Li ST, Du CW, Dong CX. Interaction of NPK fertilizers during their transformation in soils: I. Dynamic changes of soil pH. *Pedosphere*, 2003, 13 (3): 257 ~ 262
- 48 Malhi SJ, Nyborg M, Harapiak JT. Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay. *Soil & Tillage Research*, 1998, 48: 91 ~ 100
- 49 徐仁扣. 某些农业措施对土壤酸化的影响. 农业环境保护, 2002, 21 (5): 385 ~ 388
- 50 Grattan SR, Grieve CM. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 1999, 78: 127 ~ 157
- 51 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁, 赵顺山. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望. 土壤, 2004, 36 (1): 25 ~ 29
- 52 高秀兰, 肖千明, 娄春荣. 日光温室栽培番茄引起生理障碍 NO₃⁻-N 浓度的研究. 辽宁农业科学, 1997, (1): 8 ~ 12
- 53 Wang ZH, Li SX. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. *Pedosphere*. 2003, 13 (4): 309 ~ 316
- 54 朱国鹏, 刘士哲, 王玉彦, 罗健, 林东教. 蔬菜设施栽培土壤的盐分累积及其调控. 热带农业科学, 2002, 22 (3): 57 ~ 61, 69
- 55 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. 土壤与环境, 2002, 11(2): 140 ~ 143
- 56 王龙昌, 玉井理. 水分和盐分对土壤微生物活性的影响. 垦殖与稻作, 1998, (3): 40 ~ 42
- 57 Chen GC, He ZL, Wang YJ. Impact of pH on microbial biomass carbon and microbial biomass phosphorus in red soils. *Pedosphere*. 2004, 14 (1): 9 ~ 15

SECONDARY SALINIZATION OF GREENHOUSE SOIL AND ITS EFFECTS ON SOIL PROPERTIES

YU Hai-ying^{1,2} LI Ting-xuan^{1,2} ZHOU Jian-min²

(1 Department of Land Resource and Agrichemistry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract Secondary salinization of soil is an important factor limiting the greenhouse cropping system. On the basis of some research findings in recent years, the paper summarizes characteristics and causes of greenhouse soil salinization, and its effects on soil properties, including physical and chemical properties and microorganisms as well.

Key words Greenhouse soil, Secondary salinization, Soil properties, Affecting factors