

典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究*

余海英^{1,2} 李廷轩^{1,2} 周健民²

(1 四川农业大学资源环境学院, 四川雅安 625014)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘 要 研究了山东寿光设施土壤盐分的变化规律。结果表明:(1)设施土壤的盐分含量高,变化幅度大。耕层盐分含量为 2.69 g kg^{-1} ($CV = 58\%$),而相应的露地仅为 0.61 g kg^{-1} ($CV = 14\%$)。(2)设施土壤连续种植到 4 a 左右,其耕层的盐分含量则可达限制作物正常生长的临界点,此后盐分含量随采取的各种管理措施而有所降低。土壤次生盐渍化是造成温室可持续利用周期较短的主要原因。(3)除 HCO_3^- 外, NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 在剖面的累积明显高于露地,且以 NO_3^- 和 Ca^{2+} 的相对富集为主要特征,两者可占耕层盐分离子总量的 47.4% 和 19.3%。(4)与露地相比,盐分离子在设施土壤剖面存在着明显的累积和向下迁移现象,同时在剖面的分布还具有明显的表聚特征,其中 NO_3^- 的大量累积和向下层迁移已严重影响到当地地下水水质。

关键词 设施土壤;盐分累积;离子组成;环境效应
中图分类号 S153 **文献标识码** A

设施农业是当今最具活力的农村新产业,在蔬菜和其他重要经济作物的反季节和跨地区种植中发挥着重要的作用。我国的设施农业已成为许多地区的支柱产业,产生了良好的经济和社会效益。然而,在设施栽培高投入、高产出的生产模式下,人们往往忽视了由此所产生的环境问题,尤其是土壤环境质量的恶化,不仅影响了设施农业的可持续发展,也对农产品安全及生态环境造成了不利影响^[1]。

山东寿光作为我国最大的设施蔬菜生产基地,目前已发展了日光温室大棚 30 多万个,占地 2.33 万 hm^2 ,生产的设施蔬菜畅销全国 200 多个大中城市,并出口到海外市场。虽然其发展模式在全国具有很强的示范作用,但其在生产中出现的问题也同在我国具有一定的代表性和典型性。因此,开展山东寿光设施土壤盐分变化规律及其潜在的环境效应研究,旨在揭示设施土壤次生盐渍化的发生机理及盐分离子的迁移变化规律,为有效防治和解决生产中出现的土壤与环境问题,指导设施栽培的科学管理,实现设施土壤的可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验选取山东省寿光市具有代表性的洛城镇、文家镇和孙集镇的设施(日光温室)土壤及相邻的露地土壤进行调查研究。供试日光温室及相邻露地土壤的成土母质和地下水位等自然成土条件相同,且当地不同日光温室在栽培模式和水肥管理措施等方面都相对一致。寿光洛城镇、文家镇、孙集镇的设施蔬菜种植分别以黄瓜—丝瓜或辣椒—茄子、西红柿—茄子、黄瓜—苦瓜的连年轮作为主。每年每个温室的化肥和有机肥的年施用量分别可高达 $11.5 \sim 28.1 \text{ t hm}^{-2}$ 和 $153.9 \sim 240.0 \text{ t hm}^{-2}$,其中化肥主要以施用复合肥、磷酸氢二铵、过磷酸钙、硫酸钾为主,有机肥来源为当地饲养场的新鲜畜禽粪便。相邻露地为时令蔬菜的常规种植,化肥和有机肥的年施用量分别仅为 $0.75 \sim 1.50 \text{ t hm}^{-2}$ 和 $0 \sim 0.15 \text{ t hm}^{-2}$,化肥主要为复合肥、尿素。

* 国家自然科学基金重点项目(30230250)、中国科学院知识创新方向性项目(KZCW3-SW-439)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金(055124)、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

作者简介:余海英(1980~),女,硕士研究生,主要从事设施农业养分管理等方面的研究

收稿日期:2005-05-30;收到修改稿日期:2005-10-18

1.2 采样设计

在各研究区设置以下两种采样处理:(1)不同种植年限的设施土壤(2 a、4 a、8 a 和 13 a 等)及相邻的露地土壤,取耕层(0~20 cm)土样;(2)当地最长种植年限的设施土壤及其相邻的露地土壤,按0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 分层,取剖面土样。设施土样的采集均根据温室的大小按“之”字形布点,每个温室内取一个混合耕层土样,剖面土样为单个温室内取多个剖面(5~7个)按土层分别混合所得。采样的同时走访农户调查各采样点的施肥及栽培管理情况。

1.3 测定方法

待测液的制备:采用去离子水,按土水比1:5提取,振荡5min,离心,过0.45 μm 滤膜所得^[2]。

电导率采用电导率仪(DDS-320型)测定法;CO₃²⁻、HCO₃⁻采用双指示剂中和滴定法;NO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻采用DIONEX离子色谱(LC20 Chromatography Enclosure; GP50 Gradient Pump; ED40 Electrochemical Detector)测定^[3];K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺采用ICP-AES测定;盐分总量采用离子加和法^[2]。

2 结果与讨论

2.1 设施土壤含盐量与电导率的变化特点

设施栽培后,土壤含盐量与电导率较露地土壤有明显增高,但其盐分的累积变化量却因设施使用年限的不同而有较大差异,表现出土壤含盐量高且变化幅度大的特点。试验分析表明,研究区设施栽培土壤含盐量在0.69~6.01 g kg⁻¹之间,平均为2.69 g kg⁻¹(CV=58%);而相对应的露地土壤含盐量则在

0.51~0.66 g kg⁻¹范围内,平均仅为0.61 g kg⁻¹(CV=14%),前者是后者的4.4倍。电导率与盐分总量的变化趋势一致,两者呈极显著正相关($y = -0.014 + 0.0003x, r = 0.981^{**}, n = 57$)。设施栽培后,土壤的平均电导率由露地的0.12 dS m⁻¹(CV=16%)增加到0.71 dS m⁻¹(CV=54%),明显影响了蔬菜作物的正常生长^[4]。

据实地调查,设施栽培条件下,种植户为了追求设施利用率及作物高产,通常都在棚室内进行连续种植,作物复种指数高且肥料投入量大,化肥和有机肥的年投入量远远高于露地栽培,并超过了作物的实际需要量,从而使得一些未被作物吸收利用的养分及肥料的副成分大量残留于土壤中,成为土壤盐分离子的主要来源^[5]。此外,有机肥的肥源均为当地饲养场新鲜的畜禽粪便,未腐熟的畜禽粪便的大量施用也对土壤的次生盐渍化造成了一定的影响^[6]。由于棚室内温度高,畜禽粪尿迅速分解后,一些无机盐则残留于土壤中,加重了棚内土壤的盐化、板结^[7]。

2.2 设施土壤耕层含盐量及其组成变化特点

2.2.1 不同栽培年限设施土壤耕层含盐量的变化特点 由图1可知,不同种植年限设施土壤耕层含盐量、盐分离子的组成及其含量与露地相比均有明显变化。含盐量均高于露地土壤,但其在不同栽培年限间的差异明显(图1)。山东寿光三个镇的调查结果显示,连续使用到4a左右的日光温室,土壤的盐分累积量最大。洛城镇连续种植了4a的设施土壤含盐量为3.73 g kg⁻¹,分别高达露地土壤以及2a和8a设施土壤的5.6倍、2.4倍、2.5倍;文家镇连续种植了4a的设施土壤其含盐量为6.01 g kg⁻¹,分别为露地及

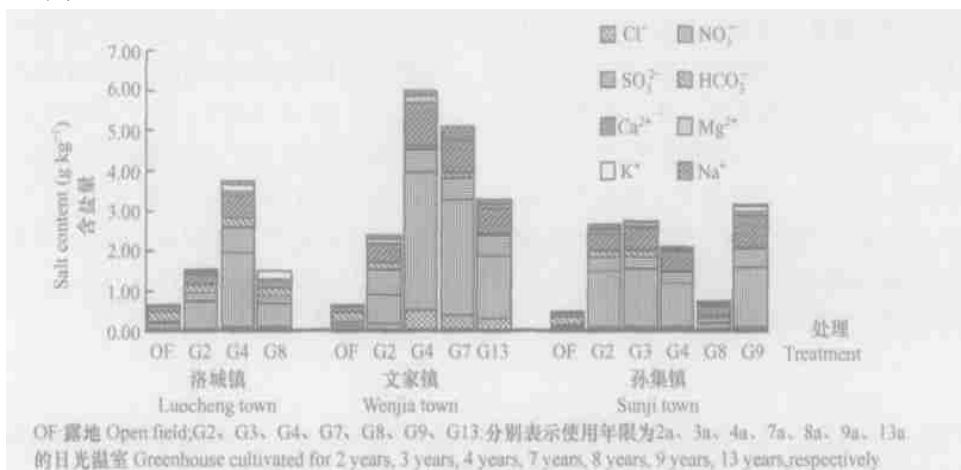


图1 山东寿光不同年限设施栽培土壤含盐量及组成

Fig. 1 Ion composition of greenhouse soils different in duration of crop cultivation in Shouguang Shandong Province

使用了 2 a、7 a、13 a 的设施土壤的 9.2 倍、2.5 倍、1.2 倍、1.8 倍;孙集镇使用了 3 a 的设施土壤含盐量达 2.75 g kg^{-1} ,略高于 2 a、4 a 的设施土壤,使用了 8 a 的设施土壤含盐量最低,与露地差异不大,而使用了 9 a 的设施土壤,含盐量又明显增高,达 3.15 g kg^{-1} 。

引起不同栽培年限设施土壤含盐量波动变化的原因主要与种植户在生产上的管理状况有关。据调查,设施(日光温室)的可持续利用周期较短。一般温室使用到 4 a 左右,生产上就会普遍出现作物生长不良、病害严重等问题,从而导致作物减产甚至绝收,这与温室土壤环境质量的恶化密切相关。由于设施栽培长期处于高集约化、高复种指数、高肥料施用量的生产状态下,加之设施生产至今仍缺乏与温室环境条件及生产模式相适应的科学管理措施,连年养分的过量投入使土壤盐分在设施栽培初期呈逐年累积趋势,当盐分含量累积到限制作物正常生长的临界浓度时,种植户便会在生产上减少投入并采取一些相应的措施来减少损失,如揭棚、翻耕甚至闲置不用等,待土壤条件稍有改善,种植户又会继续加大投入,从而使盐分又有所积累。

2.2.2 设施土壤耕层盐分离子的组成变化特点

设施栽培后,土壤耕层盐分离子的含量以及离子的相对组成较露地有明显变化(图 1)。除 HCO_3^- 大量减少外,其余各盐分离子均较露地有明显增加,其中增幅最大且含量最高的为 NO_3^- ,其平均含量为露地的 14.4 倍,最高的可达 3.38 g kg^{-1} ,其次为 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} ,分别为露地的 6.6 倍、6.2 倍、5.0 倍、4.8 倍、4.8 倍、4.6 倍。土壤中 NO_3^- 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 等的大量积累与当地设施栽培中大量施用氮肥、过磷酸钙和硫酸钾等有关。此外,在设施栽培条件下,由设施内 CO_2 供应不足和作物大量消耗所造成的棚室内部 CO_2 浓度的大大降低,也打破了土壤中 CO_2 与 HCO_3^- 的平衡,从而导致设施土壤中 HCO_3^- 含量较露地明显减少,其平均含量由露地的 0.253 g kg^{-1} 降低为 0.131 g kg^{-1} ,仅占盐分总量的 6.9%。分析表明,露地土壤以 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 为主,其含量分别占耕层盐分离子总量的 42.1% 和 17.9%。设施土壤则以 NO_3^- 和 Ca^{2+} 为主,分别占耕层盐分离子总量的 47.4% 和 19.3%,其中 NO_3^- 的含量变化在很大程度上决定了不同设施种植年限土壤盐分的含量变化。相关分析表明,土壤盐分总量除与 HCO_3^- 呈极显著负相关外,与其余 7 种离子的

含量均呈极显著正相关(表 1),且相关系数的大小与该离子在土壤中的含量有关,相关程度最大的为 NO_3^- ($r=0.993^{**}$) 和 Ca^{2+} ($r=0.977^{**}$)。

表 1 设施土壤各盐分离子(x)与盐分总量(y)间的相互关系($n=57$)

测定项目 Items	回归方程 Regression equation	相关系数 r Correlation coefficient r
Cl^-	$y = 10.20x + 0.522$	0.877 ^{**}
NO_3^-	$y = 1.641x + 0.491$	0.993 ^{**}
SO_4^{2-}	$y = 6.720x + 0.223$	0.885 ^{**}
HCO_3^-	$y = -9.655x + 3.489$	-0.525 ^{**}
Ca^{2+}	$y = 5.460x + 0.003$	0.977 ^{**}
Mg^{2+}	$y = 38.84x + 0.046$	0.939 ^{**}
K^+	$y = 11.47x + 1.194$	0.423 ^{**}
Na^+	$y = 31.44x + 0.088$	0.844 ^{**}

设施土壤中盐分离子浓度的增高、某些离子的相对富集以及离子含量间相对比例的变化,不仅会对作物产生直接的高盐危害,同时也破坏了土壤—植物的养分供需平衡,从而对作物产量和品质的提高以及土壤环境质量的演变都将产生不利影响。土壤中盐分离子与养分的交互作用,导致某些养分的有效性降低,如 Ca^{2+} 对磷有固定作用,因而 Ca^{2+} 的大量累积也降低了土壤磷的有效性^[8]。此外,某些盐分离子的累积也会影响作物对养分的均衡吸收,造成作物营养失衡甚至单盐毒害^[11],如土壤硝酸盐的积累会影响作物对钙、镁的吸收,导致钙生理病害加重^[9,10],且造成体内硝态氮含量增高^[10]。 K^+ 对 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} , Na^+ 对 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 以及 Cl^- 对 NO_3^- 、 HPO_4^- 的吸收都有一定的抑制作用^[8,11],且当 Cl^- 的含量达到 0.100 g kg^{-1} 时,便会对蔬菜作物产生抑制作用^[12],本研究中,50% 以上的设施土壤其耕层 Cl^- 的含量超过了此临界点。由此可见,如何控制盐分的累积,协调养分的供需平衡成为保证设施作物高产、优质的关键。

2.3 设施土壤剖面盐分总量及盐分离子的变化特点

2.3.1 设施土壤剖面盐分的含量变化特点及成因

由图 2 分析可知,设施栽培后,土壤剖面 0~100 cm 内各土层的含盐量均较相邻露地土壤明显增加,其含盐量分别为露地对应土层的 5.3~7.8 倍、2.7~3.2 倍、2.2~3.8 倍、2.0~2.6 倍和 1.8~2.6 倍,差异均达极显著水平,因此,在设施土壤剖面,盐分离子较露地

存在着明显的累积和向下迁移现象。虽然设施土壤各土层含盐量均显著高于露地,但其增加量却随着土层深度的增加而有所降低,盐分在设施土壤剖面的累积分布具有明显的表聚特征(图 2)。设施土壤表层(0~20 cm)的平均含盐量甚至高于相邻露地土壤 0~100 cm 内的盐分总量,同时也显著高于其下各层;在 20~100 cm 内,含盐量明显降低,各土层间的含盐量无显著差异。露地土壤含盐量在 0~100 cm 内各土层间均无显著差异,盐分在剖面的分布相对均一,平均含盐量仅为 0.59 g kg^{-1} 。

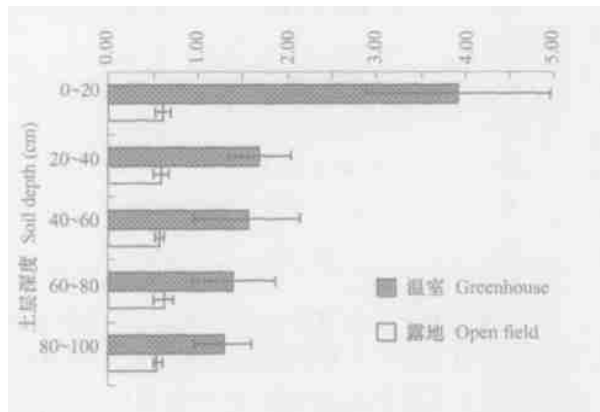


图 2 山东寿光设施土壤盐分的剖面变化图

Fig. 2 Spatial variation of salt content in greenhouse soils in Shouguang, Shandong Province

由此可见,设施土壤中,盐分的运移同时存在着明显的向底层迁移和向表层聚集两种方式,但以表聚为主。一方面,设施栽培中大量施肥及灌水增加了盐分离子的向下淋洗量,从而使整个土壤剖面以至在 80~100 cm 的土壤底层,含盐量仍显著高于露地;另一方面,由于棚室内的温度相对较高,土壤蒸发量和作物蒸腾量大,盐离子又会随着土壤水分的向上运动而逐渐向表层迁移和聚积,出现明显的表聚现象。

2.3.2 盐离子在设施土壤剖面的累积迁移及环境效应 由表2和表3可知,露地土壤各盐分离子的含量较低,在剖面各土层间无显著差异。设施土壤中,除 HCO_3^- 外,其余 7 种盐离子在 0~100 cm 土层内均有大量累积。盐离子的含量随土层深度的增加而降低,且这 7 种离子在 0~20 cm 耕层的累积量均显著高于 20 cm 以下各层,出现明显的表聚现象,这与设施土壤中特殊的水分运移方式有关,即盐离子会随着水分的不断向上蒸发而被带至土表聚集。此外,由于受到大量灌水的淋溶作用,这些盐离子又会向底层迁移,因此尽管其含量随土层深度的增加而有所降低,但在 80~100 cm 的土壤底层, Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 的含量仍高于露地的对应层次,分别是露地 80~100 cm 土层的 2.8 倍、8.0 倍、3.1 倍、3.0 倍、1.8 倍、1.8 倍。其中 NO_3^- 的累积迁移量最大,是山东寿光设施栽培土壤的一个显著特征,其在剖面的累积不仅加大了地下水水质的污染,同时还可能成为痕量温室气体的源,从而对环境产生不利影响。分析表明,当地地下水中的 NO_3^- 含量高达 39.96 mg L^{-1} ,超过了世界卫生组织及我国国家饮用水标准中 10 mg L^{-1} 的水质标准^[13]。另据报道^[14],土壤 pH 值降低受硝酸盐积累量的影响较大,且两者呈极显著负相关关系 ($r = -0.37^{**}$, $n = 110$)。在本研究中,设施栽培土壤的 pH 值普遍降低,平均 pH 由露地的 7.52 降至 6.89,表层酸化明显,这与设施土壤中 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 等强酸性离子的积累密切相关^[15~17]。与阴离子相比,阳离子的累积虽然不会对环境产生直接的危害,但某些离子的大量累积却会影响其他离子在土壤中的迁移和转化。如设施土壤中 K^+ 的累积会减少土壤对 NH_4^+ 的固定,从而增大了氮素的挥发和淋溶,对环境造成潜在的不利影响^[18]。

表 2 山东寿光设施土壤剖面阴离子的组成及其含量

Table 2 Anion distribution in greenhouse soil profiles in Shouguang, Shandong Province (g kg^{-1})

土层 Soil depth (cm)	Cl^-		NO_3^-		SO_4^{2-}		HCO_3^-	
	露地 Open field	设施 Greenhouse	露地 Open field	设施 Greenhouse	露地 Open field	设施 Greenhouse	露地 Open field	设施 Greenhouse
0~20	0.038 a	0.226 a	0.100 a	2.067 a	0.064 a	0.462 a	0.253 a	0.131 a
20~40	0.036 a	0.114 b	0.073 ab	0.766 b	0.057 a	0.202 b	0.275 a	0.141 a
40~60	0.026 a	0.091 b	0.071 ab	0.672 b	0.049 a	0.208 b	0.284 ab	0.174 ab
60~80	0.033 a	0.091 b	0.119 a	0.576 bc	0.065 a	0.182 b	0.246 a	0.190 abc
80~100	0.031 a	0.087 b	0.059 ab	0.466 bcd	0.057 a	0.177 b	0.268 a	0.214 abc

注:同一列中数据后的字母相同表示未达 5% 差异显著水平。下同。Note: In a column, data followed by the same letters denote LSD less than 5%. The same below

表 3 山东寿光设施土壤剖面阳离子的组成及其含量

Table 3 Cation distribution in greenhouse soil profiles in Shouguang, Shandong Province (g kg^{-1})

土层 Soil depth (cm)	Ca^{2+}		Mg^{2+}		K^+		Na^+	
	露地 Open field	设施 Greenhouse	露地 Open field	设施 Greenhouse	露地 Open field	设施 Greenhouse	露地 Open field	设施 Greenhouse
0~20	0.107 a	0.711 a	0.017 a	0.107 a	0.011 a	0.119 a	0.016 a	0.094 a
20~40	0.099 a	0.322 b	0.017 a	0.051 b	0.008 a	0.039 b	0.018 a	0.049 b
40~60	0.091 a	0.308 b	0.018 a	0.041 bc	0.011 a	0.017 b	0.021 a	0.049 b
60~80	0.090 a	0.277 b	0.022 ab	0.034 bcd	0.020 a	0.006 b	0.023 a	0.048 b
80~100	0.087 a	0.260 b	0.017 a	0.030 bcd	0.012 a	0.004 b	0.026 a	0.048 b

3 结 论

1) 设施土壤含盐量与电导率均较露地栽培明显增加,且具有变化幅度大的特点。这些土壤如不及时治理,将严重制约该地区设施农业的可持续发展。

2) 设施土壤耕层含盐量因其设施使用年限的不同而差异明显,连续种植到 4 年左右的设施土壤盐分累积量可达到最大值,之后因设施使用率的降低以及采取的措施而有所降低,但仍高于露地土壤。设施的连续使用最终导致的是土壤环境质量的不断恶化。

3) 除 HCO_3^- 外, NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 在剖面的累积明显高于露地。盐分的大量累积以及 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 等的相对富集对于土壤—植物的养分供需平衡以及土壤环境质量的演变都将产生不利影响,如何控制盐分累积,协调养分的供需平衡成为保证设施作物高产、优质的关键。

4) 盐分在设施土壤剖面的运移存在着明显的累积和向下迁移现象,且在剖面的分布具有明显的表聚特征。其中,硝酸盐的大量累积和向底层迁移已造成地下水中硝酸盐含量超过了国家饮用水水质标准,应引起有关部门的重视。

参 考 文 献

[1] 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.土壤,2004,36(1):25~29. Guo W Z, Liu S F, Li D R, et al. Mechanism of soil secondary salinization in protected cultivation (In Chinese). Soils, 2004, 36(1): 25~29

[2] 鲁如坤主编.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科技出版社,1999. 86~91. Lu R K. ed. Analytical Method of Soil Agricultural Chemistry (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999. 86~91

[3] 匡晓帆,吴江.离子色谱法测定土壤中可溶盐与水质矿化度.四川大学学报(自然科学版),1998,35(6):937~941. Kuang X F, Wu J. Ion chromatographic analysis of soluble salt in soil and degree of mineralization of water (In Chinese). Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 1998, 35(6): 937~941

[4] 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.土壤,2004,36(2):208~210. L Ü F T, Si D X. Study on soil salinity accumulating and ion constitution changing of sunlight greenhouse (In Chinese). Soils, 2004, 36(2): 208~210

[5] Li W Q, Zhang M S, Van Der Zee. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China. Pedosphere, 2001, 11(4): 359~367

[6] 何明,王国忠,陆峥嵘,等.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. He M, Wang G Z, Lu Z R, et al. Research progress of environmentally responsible soil and fertilizer management technique of protected agriculture in Japan (In Chinese). Acta Agriculturae Shanghai, 2002, 18(4): 92~96

[7] 姚静,邹志荣,杨猛,等.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. Yao J, Zhou Z R, Yang M, et al. Soil secondary salinization and countermeasures in greenhouse horticulture (In Chinese). Shaanxi Agricultural Sciences, 2003(4): 39~41

[8] Grattan S R, Grieve C M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 1999 (78): 127~157

[9] 高秀兰,肖千明,娄春荣.日光温室栽培番茄引起生理障碍 NO_3^- 浓度的研究.辽宁农业科学,1997(1):8~12. Gao X L, Xiao Q M, Luo C R, et al. The NO_3^- N contents causing physiological barriers of tomato in sunlight greenhouse (In Chinese). Liaoning Agricultural Sciences, 1997(1): 8~12

[10] Wang Z H, Li S X. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. Pedosphere, 2003, 13(4): 309~316

[11] 朱国鹏,刘士哲,王玉彦,等.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. Zhu G P, Liu S Z, Wang Y Y, et al. Salt accumulation in the soil under equipped vegetable cultivation and its regulation (In Chinese). Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2002, 22(3): 57~61, 69

[12] 谢建昌,陈际型.菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥.南京:河海大学出版社,1997. 43~46. Xie J C, Chen J X. Soil Fertility and

- Fertilization of Vegetable Soils (In Chinese). Nanjing: Hehai University Press, 1997. 43~46
- [13] 金赞芳,王飞儿,陈英旭,等.城市地下水硝酸盐污染及其成因分析.土壤学报,2004,41(2):252~258. Jin Z F, Wang F E, Chen Y X, *et al.* Nitrate pollution of groundwater in urban area (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 252~258
- [14] 孟鸿光,李中,刘乙俭,等.沈阳城郊温室土壤特性调查研究.土壤通报,2000,31(2):70~72. Meng H G, Li Z, Liu Y J, *et al.* Investigation on characteristics of greenhouse soils in Shenyang region (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(2): 70~72
- [15] Wang H Y, Zhou J M, Chen X Q, *et al.* Interaction of NPK fertilizers during their transformation in soils: . Dynamic changes of soil pH. *Pedosphere*, 2003, 13(3): 257~262
- [16] Malhi S J, Nyborg M, Harapiak J T. 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
- [17] 徐仁扣, Coventry D R. 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. Xu R K, Coventry D R. Soil acidification as influenced by some agricultural practices (In Chinese). *Agro-environmental Protection*, 2002, 21(5): 385~388
- [18] 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.农业环境科学学报,2004,23(2):332~335. Zhou J B, Zhai B N, Chen ZJ, *et al.* Nutrient accumulations in soil profiles under canopy vegetable cultivation and their potential environmental effects (In Chinese). *Journal of Agro-environmental Science*, 2004, 23(2): 332~335

SALT IN TYPICAL GREENHOUSE SOIL PROFILES AND ITS POTENTIAL ENVIRONMENTAL EFFECTS

Yu Haiying^{1,2} Li Tingxuan^{1,2} Zhou Jianmin²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

(2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Salt in greenhouse soils was studied in Shouguang, Shandong Province. The results indicate that 1) the salt content in greenhouse soils was much higher than that in open field soils, with an average value being 2.69 g kg^{-1} (CV = 58%) and only 0.61 g kg^{-1} (CV = 14%), respectively, in 0~20 cm soil layer; 2) the salt content in greenhouse soils might reach the threshold value for normal growth of crops after 4 years of cultivation, and secondary salinization of the soil is a main limiting factor for sustainable development of greenhouse cropping; 3) apart from HCO_3^- , the contents of NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ increased significantly in greenhouse soils, and Ca^{2+} and NO_3^- were the major ions in the soils, accounting for 47.4% and 19.3% of the total salt in the topsoil, respectively; and 4) compared with neighboring open field soils, greenhouse soils displayed apparent phenomena of salts leaching downwards to the bottom of the soil (80~100 cm) and salts accumulating in the topsoil (0~20 cm), especially NO_3^- that has seriously affected quality of the groundwater in the area.

Key words Greenhouse soil; Salt accumulation; Ion composition; Environmental effects