

文章编号:1004-8227(2010)10-1226-06

# 武汉市郊设施栽培土壤盐分累积特征

艾天成<sup>1</sup>, 武美燕<sup>1</sup>, 胡学玉<sup>2\*</sup>

(1. 长江大学农学院, 湖北 荆州 434025; 2. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 采用野外调查和取样分析相结合的方法,对武汉市郊部分设施蔬菜栽培地土壤盐分特征进行了研究。结果表明:(1)在研究区,轻度盐化土壤占52.63%,中度盐化土壤占21.05%,重度盐化土壤占5.26%,另有15.79%的设施土壤盐分含量超过了10 g/kg,达到盐土的标准。(2)设施栽培土壤的可溶性盐含量与电导率(EC)均明显高于露天栽培菜地及植棉地土壤,且变化幅度大,平均值分别为6.6 g/kg和0.31 mS/cm。其中,10.5%的设施土壤表层EC值达到了作物生长障碍临界点(>0.6 mS/cm)。表层土壤中以NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和Ca<sup>2+</sup>的相对富集为主要特征。(3)盐分的运移同时存在着向下迁移和向表层聚集两种方式,且以表聚为主。除HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>外,其它盐分离子的含量随土层深度的增加而有所降低,其中,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>累积迁移量较大,在0~100 cm各土层内的含量都高于露天菜地和植棉地,硝酸盐的大量累积和向下迁移势必对地下水造成不利影响。(4)设施地栽培的土壤水溶性盐含量与电导率( $r=0.9512^{**}$ )以及硝态氮含量( $r=0.6442^{*}$ )分别呈极显著和显著正相关。

**关键词:** 设施土壤; 盐分累积; 土壤盐渍化  
**文献标识码:** A

设施栽培(塑料大棚、日光温室和地膜覆盖)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得到了大面积的推广应用,其栽培面积及其总产量均居世界首位,现已成为许多地区的支柱产业,极大地增加了农民收入,取得了良好的社会和经济效益<sup>[1,2]</sup>。然而,由于设施栽培缺乏科学合理的管理,设施的可持续利用周期较短。随着设施使用年限的延长,土壤盐分积累问题严重。据报道,日本在20世纪70年代,由于保护地土壤盐分积累,适宜蔬菜生长的设施土壤面积仅占设施蔬菜栽培总面积的20%~30%,可溶性盐分浓度为10.0~16.0 g/kg的土壤占保护地总面积的40%以上<sup>[3]</sup>。山东、辽宁、江苏、四川、武汉等地实地调查结果表明,设施土壤表面均有大面积白色盐霜出现,其中以山东、江苏设施土壤的盐渍化程度最为严重<sup>[4]</sup>。对哈尔滨市和大庆市不同种植年限的大棚土壤调查结果显示,温室、大棚耕层土壤(0~25 cm)盐分为露天菜地的11.8和4倍、其中硝态氮(NO<sub>3</sub>-N)是露天菜地的

16.5和5.9倍<sup>[5]</sup>。

武汉市城郊设施蔬菜栽培的发展速度大大快于同期全国设施蔬菜的发展速度,设施栽培在市郊蔬菜生产中的比重日益增大。而与设施栽培迅速发展不相适应的是设施栽培系统中的养分、水分管理,多年来缺乏科学系统的指导,普遍存在将大田水肥管理习惯直接移植到设施栽培中去的现象。设施栽培投入/产出比增加,环境负荷加大,产品品质下降,土壤次生盐渍化问题相继出现,影响设施栽培土壤资源的可持续利用。因此,有必要了解武汉市郊土壤盐分累积状况,为武汉市城郊蔬菜设施栽培的可持续利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品的采集与分析<sup>[6]</sup>

采取走访调查和定点观察相结合的方法,选取武汉市东西湖区具有代表性的蔬菜种植基地慈惠农

收稿日期:2010-01-25;修回日期:2010-05-11

基金项目:国家十一五科技支撑计划课题(2008BADA7B03);武汉市重点科技攻关项目(200720422150);湖北省教育厅支持项目(2003G001)

作者简介:艾天成(1959~),男,湖北省仙桃人,教授,硕士,主要从事土壤施肥与环境、土壤改良与利用方面的研究工作。

E-mail:cjdxatc@yahoo.com.cn

\* 通讯作者 E-mail:huxueyu@cug.edu.cn

场为研究区域,并根据设施栽培的不同年限,结合 GPS 定位技术,采集设施蔬菜地土壤表层样品 19 个(17 个大棚、2 个地膜)、露天菜地土壤表层样 3 个以及 1 个植棉地表层土壤样。各分析土样均采用多点(5~7 个)混合而成。同时选择其中 3 个不同棚龄的土壤进行剖面取样,取样层次分别为 0~5、5~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。另外,在采样的同时,调查了各采样点的施肥及其它栽培管理措施。

土壤样品经风干、研磨后分别过 1、0.5 和 0.149 mm 筛,白色广口玻璃瓶保存备用。全盐量采用重量法(土水质量体积比为 1:5);钾、钠采用火焰光度法测定;钙、镁采用原子吸收分光光度法测定;碳酸氢根离子采用双指示剂-中和滴定法测定;氯离子采用硝酸银滴定法测定;硫酸根离子采用 EDTA 间接络合滴定法测定;硝酸根采用酚二磺酸比色法测定。电导率采用电导率仪法。

## 2 结果与分析

### 2.1 武汉市郊设施土壤盐渍化程度分析

对武汉市郊不同样点土壤盐分含量进行分级,分级标准及分级频率见表 1 和表 2。可以看出,在研究区域,设施蔬菜土壤盐渍化现象比较严重,根据盐渍化分级标准(表 1),52.63% 为轻度盐化,

21.05% 为中度盐化,5.26% 为重度盐化,另外还有 15.79% 的设施土壤盐分含量超过了 10 g/kg,达到盐土标准。

表 1 土壤盐化程度分级标准

Tab. 1 Grade Standard Content of Soil Salinity Degree

项目	1	2	3	4	5
盐化程度	非盐化	轻度盐化	中度盐化	重度盐化	盐土
含盐量(g/kg)	<2	2~5	5~7	7~10	>10

表 2 武汉市郊不同样点土壤盐分分级频率(%)

Tab. 2 Soil Salinity Grade Frequency of Different Area in Wuhan Suburb

样品数	非盐化	轻度盐化	中度盐化	重度盐化	盐土
19	0.00	52.63	21.05	5.26	15.79

### 2.2 设施土壤耕层含盐量及其组成变化特点

#### 2.2.1 设施土壤耕层含盐量变化特点

由表 3 可以看出,设施栽培土壤可溶性全盐含量在 2.1~24.4 g/kg,平均 6.6 g/kg(CV=90.6%),露天菜地土壤可溶性全盐含量变幅在 1.7~7.1 g/kg,平均为 3.9 g/kg(CV=74.1%),而植棉地土壤全盐含量仅为 1.8 g/kg,可见,设施栽培后耕层土壤盐分含量上升较快,含盐量变化范围也较大,出现了次生盐渍化现象。电导率与盐分总量的变化趋势相同。设施栽培后,菜地土壤电导率在 0.11~0.92 mS/cm,平均为 0.31 mS/cm(CV=68.4%),比露天菜地土壤电导率增加了 60.3%,比旱地增加了 1.8 倍。

表 3 武汉市郊设施土壤耕层(0~20 cm)含盐量及电导率

Tab. 3 Salt Content and EC in the Topsoil (0~20 cm) of Greenhouse Soil in Wuhan Suburb

类型	测定项目	土样数量	平均	最大值	最小值	方差	变异系数(%)
设施菜地	含盐量(g/kg)	19	6.6	24.4	2.1	0.600	90.6
	EC <sub>25</sub> (mS/cm)	19	0.31	0.92	0.11	0.211	68.4
露天菜地	含盐量(g/kg)	3	3.9	7.1	1.7	0.29	74.1
	EC <sub>25</sub> (mS/cm)	3	0.19	0.295	0.132	0.897	46.7
植棉地	含盐量(g/kg)	1	1.8	—	—	—	—
	EC <sub>25</sub> (mS/cm)	1	0.11	—	—	—	—

#### 2.2.2 不同种植方式土壤耕层盐分离子含量及组成变化特点

不同种植方式耕层土壤水溶性阴、阳离子含量及组成变化列于表 4。表 4 可以看出,设施栽培后,土壤中各盐分离子的含量较露地土壤有较大变化。除 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 有大幅度降低外其余各盐分离子在设施土壤中均有明显累积,但累积程度有较大差异。其中,累积量最大的阴、阳离子分别为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup>,在大棚设施土壤中,这两种离子含量分别比旱地土壤增加了 3.7 倍和 0.9 倍,分别比露天菜地增加了

0.4 倍和 0.4 倍;在地膜设施土壤中,NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 含量分别比棉田土壤增加了 7.9 和 2.8 倍,分别比露天菜地增加了 1.7 和 1.8 倍。

各种离子的大量累积以及某些离子的相对富集也导致土壤中离子组成的变化。不同种植方式耕层土壤阴离子主要为 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,其中,大棚设施中两种离子分别占阴离子总量的 54.1% 和 28.8%,地膜设施中两种离子分别占阴离子总量的 55.1% 和 17.6%。不同种植方式耕层土壤中阳离子主要为 Ca<sup>2+</sup>,在大棚设施和地膜设施中分别占水溶性阳离子总量的 59.2% 和 67.2%。

表 4 不同种植方式耕层土壤阴、阳离子含量变化(mg/kg)

Tab. 4 Change of Anions and Extractible Cations Content of Greenhouse Soil in Different Crop Mode of Wuhan Suburb

种植方式	统计数值	阴离子				阳离子			
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
大棚菜地	平均值	0.22	0.46	1.15	2.16	0.49	0.53	1.66	0.12
	最大值	0.52	0.86	1.24	3.77	1.06	0.81	4.49	0.15
	最小值	0.11	0.33	1.13	0.98	0.08	0.32	0.67	0.10
	标准差	0.12	0.15	0.03	0.90	0.31	0.11	0.95	0.01
地膜菜地	平均值	0.11	1.93	1.32	4.12	0.95	0.55	3.33	0.13
	最大值	0.12	2.84	1.38	4.68	1.35	0.56	3.86	0.13
	最小值	0.10	1.02	1.26	3.55	0.54	0.53	2.80	0.13
	标准差	0.01	1.29	0.08	0.80	0.57	0.02	0.75	0.00
露天菜地	平均值	0.29	0.46	1.14	1.53	0.17	0.46	1.18	0.12
	最大值	0.45	0.51	1.14	2.11	0.26	0.53	1.88	0.13
	最小值	0.15	0.38	1.13	0.77	0.03	0.39	0.83	0.11
	标准差	0.15	0.07	0.01	0.69	0.13	0.07	0.60	0.01
植棉地		0.41	0.31	1.13	0.46	0.04	0.32	0.87	0.09

### 2.3 设施土壤剖面盐分含量及盐分离子组成变化特点

#### 2.3.1 设施土壤剖面盐分含量及电导率的变化特点

设施栽培后,0~100 cm 各土层的含盐量均较露地栽培有明显增加;盐分含量随土壤深度的增加基本呈现下降趋势,表层(0~20 cm)盐分的累积量远远高于其下各层,出现明显的盐分表聚现象(图1)。而盐分在露地土壤剖面的含量低且分布相对均一,均维持在0.5%左右,各土层间含量差异较小。在0~5、5~10、10~20 cm 土层中,设施栽培土壤盐分含量分别比露地栽培增加了2.2、4.0和0.7倍。

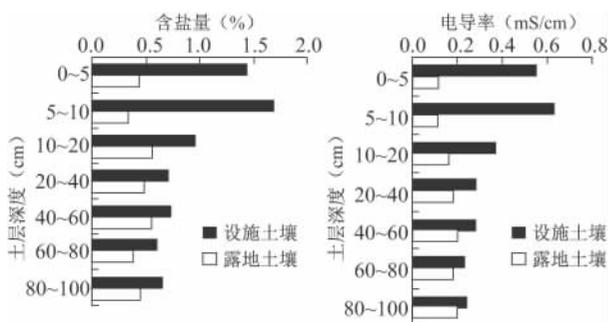


图 1 武汉市郊设施土壤盐分含量及电导率的剖面变化

Fig. 1 Vertical Variation of Salt Content and EC in Greenhouse Soils of Wuhan Suburb

设施栽培后,土壤电导率的变化与盐分含量变化趋势一致,随土层深度的增加基本呈现下降趋势,在0~5、5~10、10~20 cm 土层中,设施栽培土壤电导率分别比露地栽培增加了4.0、4.7和1.3倍。

#### 2.3.2 设施栽培土壤剖面盐分离子的累积迁移状况

设施栽培后,虽然土壤剖面各层的盐分总量均高于对应露地土层,但各盐分离子在整个土壤剖面的累积迁移状况有较大差异。对当地设施栽培土壤剖面的分析结果表明(见表5),在盐分离子中,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>在土壤剖面均有大量累积,并且都表现为明显的表聚特征,在0~5、5~10 cm 土层中,这些离子的含量分别是露天菜地土壤的2.9和4.1倍、0.98和0.81倍、3.9和4.1倍、1.2和1.2倍、11.1和39.8倍,远远高于露天菜地及其下各层。但它们在土壤剖面的累积迁移因离子种类不同有较大差别,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>向下迁移量较大。而露地土壤盐分离子的累积迁移量相对较低,各离子在土壤剖面各层的含量变化也较小。

设施栽培和露天菜地土壤剖面中盐分离子分布存在差异的原因应该与栽培方式、气候条件、地下水埋深等因素有关。于设施栽培地土壤,每年的10月至次年5月为覆膜栽培期。在此期间,一方面雨水不能进入土壤,设施土壤中的盐分离子得不到有效地淋洗;另一方面,气候因素决定了此期蒸发量大于降水量,又因设施内温度相对较高,设施内作物的蒸腾作用较强;再则,武汉市市郊许多蔬菜种植区都属于水网洼地,地下水位埋深较浅,随大量水分蒸发,土壤溶液中以及地下水中的阴、阳离子易于向表层聚集,水分蒸发后盐分滞留在表层土壤中。多种因素的叠加作用,导致设施土壤中各盐分离子不仅高于露地土壤,而且表聚特征明显。此外,K<sup>+</sup>在表层土壤中含量明显高于下部土层的原因主要是受施肥的影响<sup>[7]</sup>。

表 5 不同深度土壤盐分离子含量及电导率变化(mg/kg)  
Tab. 5 Ion Component and EC in Different Depth of Soil Profile

类型	土层 (cm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
设施菜地	0~5	0.14	0.66	1.20	4.60	1.06	0.71	3.30	0.14
	5~10	0.11	0.62	1.19	4.70	1.14	0.62	3.23	0.14
	10~20	0.13	0.52	1.19	3.46	0.64	0.62	2.36	0.13
	20~40	0.21	0.43	1.18	1.94	0.07	0.50	2.11	0.12
	40~60	0.20	0.42	1.19	2.34	0.02	0.52	2.20	0.12
	60~80	0.25	0.37	1.16	1.52	0.03	0.42	1.80	0.11
	80~100	0.34	0.39	1.17	1.47	0.05	0.50	1.93	0.12
露天菜地	0~5	0.22	0.33	1.16	1.17	0.09	0.32	0.67	0.11
	5~10	0.19	0.34	1.13	0.93	0.03	0.28	0.63	0.11
	10~20	0.20	0.50	1.15	0.75	0.04	0.49	1.43	0.11
	20~40	0.25	0.56	1.17	0.89	0.01	0.46	1.52	0.11
	40~60	0.19	0.58	1.16	0.72	0.03	0.49	1.73	0.11
	60~80	0.17	0.62	1.17	0.61	0.00	0.46	1.53	0.10
	80~100	0.25	0.45	1.14	0.53	0.04	0.49	1.66	0.11

#### 2.4 土壤水溶性盐含量与电导率、硝态氮的相关关系

对 19 个耕层土样的水溶性盐含量与电导率及硝态氮含量进行了相关性分析(图 2),结果表明,水

溶性盐含量与电导率呈极显著正相关关系,方程为: $Y=0.3342x+0.0868$ ( $r=0.9512^{**}$ ,  $n=19$ ),而水溶性盐与硝态氮含量呈显著正相关关系,方程为: $Y=64.866x+104.37$ ( $r=0.6442^*$ ,  $n=19$ )。

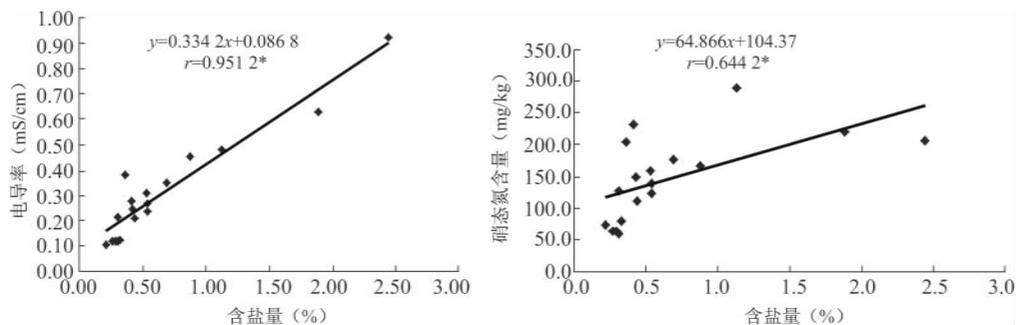


图 2 水溶性盐含量与电导率、硝态氮含量的相关性

Fig. 2 Correlation of Soil Salinity, EC and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

### 3 结论与讨论

(1) 按照土壤盐化程度分级标准,以武汉市郊设施菜地土壤盐分平均含量为量度指标,轻度盐化土壤占 52.63%,中度盐化土壤占 21.05%,重度盐化土壤占 5.26%,另外还有 15.79%的设施土壤盐分含量超过了 10 g/kg,达到盐土标准。

(2) 本研究中,设施栽培耕层土壤的可溶性盐含量与电导率均较露天菜地和植棉地土壤明显增加,且变化幅度大。据报道<sup>[8]</sup>,常见设施栽培作物黄瓜、番茄、辣椒等的生育障碍和枯死临界点分别是 0.48、0.60、0.60 mS/cm 和 1.2、1.28、1.40 mS/cm。我们的研究表明,10.5%的设施土壤耕层 EC 值达到

了作物生长障碍临界点(>0.6 mS/cm),表明在武汉市郊设施土壤盐分离子大量累积导致的土壤次生盐渍化已成为制约设施农业生产的一个重要障碍因子。另外,在研究区域设施土壤中,盐分离子是以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 的相对富集为主要特征。硝酸盐的积累可引发设施作物生理障碍、造成蔬菜中硝酸盐含量超标,严重影响到设施作物产量和品质的提高,同时还会造成蔬菜对各种营养元素的吸收不平衡<sup>[9]</sup>。

(3) 武汉市郊设施土壤剖面中盐分有大量累积,且同时存在着向底层迁移和向表层聚集两种迁移方式。可能的原因是:一方面,在设施栽培中大量的施肥及灌水,增加了盐分在土壤中的累积和向下迁移量,从而使设施土壤剖面各层的盐分含量均高于露地土壤。另一方面,由于频繁的灌溉以及设施

内部强烈的蒸腾作用,盐分离子又会随水分的不断向上蒸发而向土壤表层迁移、积聚,从而出现明显的盐分表聚现象<sup>[10]</sup>。此外,在本研究中,设施栽培土壤已有酸化趋势,土壤 pH 值比旱地降低了 0.88 个单位,这可能与设施土壤中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等离子的累积相关<sup>[11,12]</sup>。

(4) 本研究表明,设施栽培土壤水溶性盐含量与电导率呈极显著的正相关关系,与硝态氮含量呈显著正相关关系。可见,氮肥的过量施用,引起硝态氮在土壤中积累,继而提高土壤盐分总量和电导率,人们可以根据电导率的变化直接判断土壤硝态氮含量状况<sup>[13]</sup>,并以此作为土壤养分和环境管理的参考指标。

(5) 设施栽培土壤的次生盐渍化已是一个较为普遍的问题。指导菜农进行合理施肥与灌溉、有效利用土壤中已经累积的养分、以及采取生态以及生物的方法减轻或抑制土壤盐渍化的发展趋势是改变这种现状的关键。

## 参考文献:

[1] 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.
- [2] 张真和,李建伟. 我国设施蔬菜产业的发展态势及可持续发展对策探讨[J]. 沈阳农业大学学报,2000,31(1):4~8.
- [3] 内海修一. 保护地园艺:环境与作物生理[M]. 王志刚,汪维慷译. 北京:农业出版社,1984:16.
- [4] 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.
- [5] 赵风艳,吴凤芝,刘 德. 大棚菜地土壤理化特性的研究[J]. 土壤肥料,2002(2):3~11.
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000,156~157.
- [7] 许健民,吕开宇,姜博杰. 农业生产对土壤盐渍化影响的经济分析[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(2):132~138.
- [8] 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.
- [9] 曹林奎,陆贻通,林 玮. 生物有机肥料对温室蔬菜硝酸盐和土壤盐分累积的影响[J]. 农村生态环境,2001,17(3):45~57.
- [10] 余海英,李廷轩. 辽宁设施栽培土壤盐分累积变化规律研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):80~83.
- [11] WANG H Y, ZHOU J M, CHEN X Q, et al. Interaction of NPK fertilizers during their transformation in soils: I. Dynamic changes of soil pH[J]. Pedosphere, 2003, 13(3):257~262.
- [12] MALHI S J, NYBORG M, HARAPIAK J T. Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in brome grass hay[J]. Soil Tillage Res, 1998(48):91~100.
- [13] 艾天成,李方敏,黄志新. 设施土壤盐分组成特征分析[J]. 湖北农业科学,2006,45(3):316~317.

## CHARACTERISTIC OF SALT ACCUMULATION IN GREENHOUSE SOIL OF WUHAN SUBURB

AI Tian-cheng<sup>1</sup>, WU Mei-yan<sup>1</sup>, HU Xue-yu<sup>2</sup>

(1. School of Agriculture, Yangtze University, Jinzhou 434025, China; 2. School of Environmental Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The characteristic of salt accumulation in greenhouse soils of Wuhan suburb was studied in this paper. The results showed as follow: (1) Soils in greenhouse suffered from varying degrees of salinity. 52.63% of 19 greenhouse soils was mildly salinization, while 21.05% was moderately salinization, 5.26% severe, and remaining 15.79% of research area soils was solonchak with more than 10 g/kg of salts content. (2) The salts content of greenhouse soils was much higher than that of the unmulched cultivation soils. The averages of the salts contents and EC value in 0~20 cm layer of greenhouse soils were 6.6 g/kg and 0.31 mS/cm, respectively. And the salts was characterized by the accumulation of both  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  ion. (3) There were two patterns of upward and downward for the salts to move in the soil profile of greenhouse soils, but it was dominated by upwards to the top soil. The content of all ions was decreased with the deep of soil profiles, except for  $\text{HCO}_3^-$ . In addition, the concentration of  $\text{NO}_3^-$  in all of layers of 0~100 cm was much higher in the greenhouse soils than that in the unmulched cultivation soils. The accumulation of  $\text{NO}_3^-$  in soil profile of the greenhouse would have negative effects on the groundwater quality. (4) The significant positive correlation was observed between the salts content and EC value ( $r=0.9512^{**}$ ) and also between the salts content and the content of  $\text{NO}_3^-$  ( $r=0.6442^*$ ) in greenhouse soils.

**Key words:** greenhouse soil; salt accumulation; soil salinization