

# 上海市郊保护地土壤盐分研究

姚春霞<sup>1,2</sup>, 陈振楼<sup>1\*</sup>, 许世远<sup>1</sup>

(1. 华东师范大学地理信息科学系教育部重点实验室, 上海 200062; 2. 中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复研究中心, 南京 210008)

**摘要:** 研究了上海市郊部分旱作农田土壤盐分特征. 结果表明, 上海市郊部分种植瓜果、蔬菜的土壤出现盐渍化趋势. 其中, 非盐化土壤占 88.52%, 轻度盐化土壤占 10.37%, 中度盐化土壤占 0.74%, 重度盐化土壤占 0.37%. 盐分组成中, 阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 其次为  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ , 阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  离子为主, 其次为  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  离子. 这些离子成分除了少量的土壤原始沉积量外, 大多为化肥的副成分或转化物. 沪郊设施栽培土壤次生盐渍化的形成与化肥使用不当或过量施用密切相关. 不同种植方式 0~20 cm 耕层土壤中盐分从高到低依次为: 大棚菜地、大棚瓜地、大棚瓜-菜轮作地和露天菜地. 随着设施利用时间的增长, 同一区域设施土壤全盐量持续升高, 下层土壤盐分逐步向上层富集, 且这种自下而上的富集速度有加快的趋势.

**关键词:** 上海市郊; 土壤; 盐分

中图分类号: X131.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)06-1372-05

## Soils Salinity Content of Greenhouse in Shanghai Suburb

YAO Chun-xia<sup>1</sup>, CHEN Zhen-lou<sup>1</sup>, XU Shi-yuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Geographical Information Science of Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Soil and Environment Bioremediation Research Center, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Salinity content and characteristic of farmland soil in Shanghai suburb was studied. Result indicates that soils in greenhouse in Shanghai suburb are partially salted. Soils of suburb where melons or vegetables grow in Shanghai city, 88.52% soil is non-salted while 10.37% mildly salted, 0.74% obviously salted and 0.37% badly salted. Anions component of salt salinity in soil are mainly  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and cations component are mainly  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ . These ions are mostly from fertilizer auxiliary component or fertilizer transformation component besides some original deposition in soil. The formation of soil secondary salted in greenhouse cultivation in suburbs of Shanghai has a close relationship with improper fertilization or employing too much fertilizer. Soil salinity is different with different cultivation mode and utilization time. From high to low, sequence of soil salinity content in 0~20 cm cultivation layer of different crop mode is greenhouse vegetable soil, melon soil, vegetable melon rotation soil and hypaethral vegetable soil respectively. In the same region, salinity in greenhouse soil continually increases and accumulates from underlayer to surface along with more utilization years.

**Key words:** Shanghai suburb; soil; salinity

近年来, 国内外有关保护地菜田土壤盐分障碍问题的研究和报道越来越多<sup>[1,2]</sup>. 20 世纪 70 年代, 日本保护地菜田土壤盐分积累问题比较严重<sup>[3]</sup>, 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. 据统计, 近 20 a 来, 我国的设施农业栽培面积已突破 210 万  $\text{hm}^2$ , 与 1980 年相比增长了近 3 000 倍. 根据北京、济南、南京等地土壤表层 0~20 cm 全盐量测定结果<sup>[4]</sup>, 露天菜地均小于 1.0 g/kg, 大棚为 1.0~3.4 g/kg, 温室为 7.5~9.4 g/kg. 哈尔滨市和大庆市不同种植年限的大棚土壤调查结果表明, 温室、大棚耕层土壤(0~25 cm)盐分为露天菜地的 11.81 倍和 4 倍,  $\text{NO}_3^-$ -N 是露天菜地的 16.5 倍和 5.9 倍<sup>[2]</sup>. 玻璃温室如使用不当, 2~3 a 就会出现盐分障碍, 塑料大棚约 5 a 出现程度不同的障碍.

上海郊区的农业生产无论从农田化肥施用量、复种指数, 还是从农产品的产出水平、产出价值等方面分析都处于高强度开发状态, 自 1996 年以来全市累计建成各类保护地面积超过 4 000  $\text{hm}^2$ , 占常年菜田的 1/3. 由于地下水位高、施肥多、自然淋洗少和温度高、蒸发快等原因, 设施农业大棚土壤出现不同程度的次生盐渍化和盐害, 且减产幅度不断扩大, 并使作物生长发育出现生理障碍, 严重威胁设施栽培的可持续发展. 目前, 还鲜见文献对上海市郊的设施农业进行全面的盐分调查, 因此有必要了解有关上海市郊土壤盐分状况和机理, 探讨施肥对农田生态

收稿日期: 2006-06-13; 修订日期: 2006-08-31

**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目(40571006, 40131020); 上海市基础研究重点项目(05JC14059); 上海市科委“十五”重大科技攻关项目(05DZ12007); 上海市环保局招标项目; 江苏省博士后科研资助计划项目

**作者简介:** 姚春霞(1976~), 女, 博士后, 主要研究方向为土壤重金属污染与风险评估, E-mail: chxyao@mail.issas.ac.cn

\* 通讯联系人, E-mail: zlchen@geo.ecnu.edu.cn

系统环境的影响.

1 材料与方法

2002~2003年,在上海市郊的浦东新区、南汇、金山、奉贤、青浦5个地区,采集蔬菜、瓜果等主要旱作土壤样品,分析了340个土壤样品的全盐量,并选择了其中122个土壤样品分析盐分组成离子,同时以水稻土作为对照样.另外选择不同使用年限的瓜果、蔬菜生产基地,包括大棚和露天基地,在每个大棚内采集24个土壤剖面的0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm土壤样品,分析了不同深度土壤的盐分及离子组成含量.采集的土壤样品由多点取样混合而成.

土壤样品采回后于室内风干,土样经风干磨碎后分别过20目、60目和100目筛保存备用.土壤样品分析方法见文献[5].土壤全盐用烘干残渣法;电导率采用土:水为1:5(质量体积比)电导仪法测定; $\text{NO}_3^-$ 含量测定用土:溶液为1:10(质量体积比) $\text{CaCl}_2$ 溶液浸提土壤硝态氮,锌还原法测定; $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 用双指示剂滴定法, $\text{Cl}^-$ 用硝酸银滴定法, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 用EDTA容量法测定, $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 量为差减法计算值,土壤水分含量采用烘干法测定.

2 结果与讨论

2.1 上海市郊土壤盐渍化程度分析

分析上海市郊浦东新区、南汇、金山区、奉贤、青

浦旱作农田土壤盐分可知,大棚内土壤有部分出现盐渍化趋势.所调查的上海市郊瓜果、蔬菜的土壤盐分平均含量为1.156 g/kg,变幅为0.14~8.8 g/kg.根据盐渍化分级标准(表1),上海市郊旱作土壤盐渍化程度分级结果见表2.按照土壤盐化程度分级标准,88.52%为非盐化土壤,10.37%为轻度盐化土壤,0.74%为中度盐化土壤,0.37%为重度盐化土壤.各区分级见表3.根据盐分分级,非盐化土壤除奉贤区以外,都在86%以上,奉贤区轻度盐化土壤占了38.88%,土壤次生盐渍化比较严重.浦东新区和南汇中度盐化土壤分别为1.46%和1.75%.另外,浦东新区发现大棚设施土壤有盐分超过7 g/kg以上的重度盐化土壤,是全区1.46%.

表1 土壤盐化程度分级标准

| Table 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 <sup>-1</sup> )                              | <2  | 2~5  | 5~7  | 7~10 | >10 |

表2 不同区域旱作土壤盐分分级频率/%

| Table 2 Soil salinity grade frequency of different area/% |       |       |      |      |
|-----------------------------------------------------------|-------|-------|------|------|
| 区域                                                        | 非盐化   | 轻度盐化  | 中度盐化 | 重度盐化 |
| 上海市郊                                                      | 88.52 | 10.37 | 0.74 | 0.37 |
| 浦东                                                        | 86.86 | 10.22 | 1.46 | 1.46 |
| 奉贤                                                        | 61.12 | 38.88 | 0.00 | 0.00 |
| 金山                                                        | 86.84 | 13.16 | 0.00 | 0.00 |
| 青浦                                                        | 91.43 | 8.57  | 0.00 | 0.00 |
| 南汇                                                        | 91.23 | 7.02  | 1.75 | 0.00 |

表3 盐分及组成离子相关关系矩阵(n=122)

Table 3 Correlativity matrix of soil salinity and its ion component (n=122)

|                    | 盐度                  | $\text{NO}_3^-$     | $\text{HCO}_3^-$    | $\text{Cl}^-$       | $\text{SO}_4^{2-}$  | $\text{Ca}^{2+}$    | $\text{Mg}^{2+}$    | $\text{K}^+$        | $\text{Na}^+$       |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 电导率                | 0.894 <sup>1)</sup> | 0.848 <sup>1)</sup> | 0.262 <sup>1)</sup> | 0.759 <sup>1)</sup> | 0.842 <sup>1)</sup> | 0.808 <sup>1)</sup> | 0.594 <sup>1)</sup> | 0.728 <sup>1)</sup> | 0.638 <sup>1)</sup> |
| 盐度                 | 1.000               | 0.790 <sup>1)</sup> | 0.305 <sup>1)</sup> | 0.707 <sup>1)</sup> | 0.855 <sup>1)</sup> | 0.849 <sup>1)</sup> | 0.581 <sup>1)</sup> | 0.674 <sup>1)</sup> | 0.577 <sup>1)</sup> |
| $\text{NO}_3^-$    |                     | 1.000               | 0.199               | 0.635 <sup>1)</sup> | 0.761 <sup>1)</sup> | 0.798 <sup>1)</sup> | 0.500 <sup>1)</sup> | 0.691 <sup>1)</sup> | 0.513 <sup>1)</sup> |
| $\text{HCO}_3^-$   |                     |                     | 1.000               | 0.070               | 0.293 <sup>1)</sup> | 0.378 <sup>1)</sup> | 0.2162)             | 0.289 <sup>1)</sup> | 0.287 <sup>1)</sup> |
| $\text{Cl}^-$      |                     |                     |                     | 1.000               | 0.601 <sup>1)</sup> | 0.527 <sup>1)</sup> | 0.453 <sup>1)</sup> | 0.493 <sup>1)</sup> | 0.570 <sup>1)</sup> |
| $\text{SO}_4^{2-}$ |                     |                     |                     |                     | 1.000               | 0.754 <sup>1)</sup> | 0.586 <sup>1)</sup> | 0.740 <sup>1)</sup> | 0.614 <sup>1)</sup> |
| $\text{Ca}^{2+}$   |                     |                     |                     |                     |                     | 1.000               | 0.492 <sup>1)</sup> | 0.636 <sup>1)</sup> | 0.505 <sup>1)</sup> |
| $\text{Mg}^{2+}$   |                     |                     |                     |                     |                     |                     | 1.000               | 0.601 <sup>1)</sup> | 0.333 <sup>1)</sup> |
| $\text{K}^+$       |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     | 1.000               | 0.540 <sup>1)</sup> |
| $\text{Na}^+$      |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     | 1.000               |

1)相关系数在0.01水平上显著; 2)相关系数在0.05水平上显著

2.2 土壤全盐量与各离子相关性

在次生盐渍化土壤形成过程中,不同离子与全盐量的内在关联性不尽相同,了解这一点有助于辨析不同地区设施栽培土壤盐分积累的构成特点,从

而可为次生盐渍化土壤的治理提供必要的技术支持.在浦东新区、南汇、金山区、奉贤4个区域采集的大棚土壤102个、16个大田蔬菜地土壤、4个水稻土壤(不同基地的设施栽培耕作下的0~20 cm样品),

共 122 个土壤进行盐分的离子组成分析.

土壤离子组成平均含量分析结果表明,上海市郊设施栽培土壤盐渍化的盐分组成中,阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主,其次为  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ ;阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  离子为主,其次为  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  离子.统计分析结果表明,上海市 0~20cm 耕层土壤全盐含量与阴离子  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  的相关系数分别为 0.790、0.305、0.707、0.855(表 3).土壤阴离子  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  含量和全盐含量具有很好的正相关关系,这一现象揭示了土壤盐分主要与  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  离子含量水平的高低有关.从  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  离子来源分析可知,这些盐分物质除了土壤原始沉积量不同外,大多为化肥的副成分或转化物<sup>[6]</sup>.由此可见,沪郊设施栽培土壤次生盐渍化的形成与化肥使用不当或过量施用密切相关.调查区域设施栽培中土壤盐渍化基本属于  $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Na}^+$  型.研究表明,土壤盐分离子对作物生长的抑制作用强弱依次为  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ ,土壤阴离子浓度越高,抑制作用越明显.因此,关于

设施栽培土壤次生盐渍化成因不能仅仅只关注  $\text{NO}_3^-$  离子对作物的危害,同时也应加强对  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  离子积累的控制.

按易溶盐组成的盐土分类,上海市郊大部分土壤的阴离子当量比( $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ )均小于 1,属于氯化物-硫酸盐盐土.阳离子当量比 $[(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]$ 为 0.2~1.2,  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  都小于 2,又属于  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Na}^+$  盐土.这与土壤质地、气候特点、施肥情况和建棚年限有关<sup>[7]</sup>.

**2.3 不同种植方式土壤盐分及离子组成变化特点**  
对不同种植方式归类,分析土壤盐分离子组成变化特点(表 4),包括大棚瓜地、大棚瓜-菜轮作、大棚菜地、露天菜地,并以水稻田土壤作为对比.统计结果表明,0~20 cm 的耕层土壤盐分大棚菜地含量最高,大棚瓜-菜轮作的土壤盐分比大棚瓜地、大棚菜地的单一种植方式含量低.露天菜地平均值最低.另外,瓜茬连作的土壤障碍又明显高于非瓜茬连作的土壤.

表 4 不同种植方式盐分及离子组成变化/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$   
Table 4 Change of soil salinity and its ion component in different crop mode/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

| 种植方式    | 统计数值 | 盐度    | $\text{NO}_3^-$ | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{K}^+$ | $\text{Na}^+$ |
|---------|------|-------|-----------------|------------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------|---------------|
| 大棚瓜地    | 最小值  | 0.49  | 0.01            | 0.01             | 0.04          | 0.15               | 0.02             | 0.01             | 0.01         | 0.02          |
|         | 最大值  | 8.02  | 0.73            | 0.02             | 0.53          | 3.78               | 0.87             | 0.56             | 0.58         | 0.48          |
|         | 平均值  | 2.11  | 0.17            | 0.01             | 0.17          | 0.71               | 0.23             | 0.11             | 0.09         | 0.19          |
|         | 标准差  | 1.97  | 0.18            | 0.00             | 0.11          | 0.93               | 0.20             | 0.13             | 0.12         | 0.12          |
| 大棚瓜-菜轮作 | 最小值  | 0.84  | 0.01            | 0.01             | 0.04          | 0.09               | 0.02             | 0.01             | 0.01         | 0.06          |
|         | 最大值  | 1.99  | 0.10            | 0.02             | 0.23          | 0.25               | 0.20             | 0.04             | 0.04         | 0.21          |
|         | 平均值  | 1.31  | 0.05            | 0.01             | 0.08          | 0.20               | 0.07             | 0.03             | 0.02         | 0.12          |
|         | 标准差  | 0.42  | 0.03            | 0.00             | 0.06          | 0.05               | 0.06             | 0.01             | 0.01         | 0.05          |
| 大棚菜地    | 最小值  | 0.63  | 0.01            | 0.01             | 0.05          | 0.25               | 0.01             | 0.02             | 0.01         | 0.06          |
|         | 最大值  | 6.38  | 0.93            | 0.02             | 0.57          | 2.23               | 0.74             | 0.34             | 0.24         | 0.91          |
|         | 平均值  | 2.18  | 0.31            | 0.01             | 0.22          | 0.73               | 0.22             | 0.10             | 0.07         | 0.22          |
|         | 标准差  | 1.57  | 0.22            | 0.00             | 0.14          | 0.62               | 0.18             | 0.08             | 0.06         | 0.19          |
| 露天菜地    | 最小值  | 0.15  | 0.01            | 0.01             | 0.06          | 0.10               | 0.03             | 0.02             | 0.00         | 0.09          |
|         | 最大值  | 0.58  | 0.08            | 0.02             | 0.15          | 0.54               | 0.09             | 0.09             | 0.10         | 0.24          |
|         | 平均值  | 0.36  | 0.03            | 0.01             | 0.10          | 0.28               | 0.07             | 0.04             | 0.02         | 0.16          |
|         | 标准差  | 0.15  | 0.03            | 0.00             | 0.03          | 0.14               | 0.02             | 0.02             | 0.03         | 0.06          |
| 稻田土壤    | 平均值  | 0.146 | 0.01            | 0.01             | 0.09          | 0.46               | 0.08             | 0.08             | 0.02         | 0.12          |

设施栽培中的光热条件和土壤盐分运行状况与露天菜地栽培有明显差异,这种种植方式通常具有复种指数高、用肥多、土壤不受降水的淋洗以及土壤水分蒸发量大的特点,因而土壤中的盐分易随水分的蒸发而上升至表层聚积而发生次生盐渍化,表现为硝酸盐含量增多、电导率增大、作物因营养失调和盐害而引起生理性和病理性的障碍.大棚生产中出

现的盐渍化趋势,并非原生的,是由于对肥料使用不当,加上无配套的灌排自然淋溶的设施条件,盐分逐渐在土体中积聚而导致的.  
保护地土壤与大田土壤中可溶性盐的组成差异明显.随着盐渍化程度的加深,土壤中  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  等离子的浓度也随之增加.且可溶性盐分中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{NO}_3^-$  离子的浓度与盐渍化程

度显著相关,NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的含量随全盐量的增加而增加.因此保护地土壤次生盐渍化的特点是硝酸盐积累<sup>[8]</sup>,这是与滨海盐土、内陆盐碱土的最大区别,也是蔬菜生理障碍的主导因子.调查的盐渍化土壤 0~20 cm 表层硝酸盐含量高的达 0.86 g/kg.氮肥的过量使用,造成土壤氮素过剩,在硝化作用下转化为硝酸盐,积聚土壤表层,并导致蔬菜、瓜果等食用农产品体内硝酸盐和亚硝酸盐的积累,从而成为食物链中的不安全因素<sup>[9,10]</sup>.

2.4 不同种植年限土壤剖面盐分离子特点

同一区域不同种植年限设施土壤全盐量随着设施利用时间增加而不断积累升高.以利用 3 a 的南汇现代农业园区连栋大棚为例,连种 3 茬瓜的耕作层土壤电导率要比只种 2 茬的约高 122.9%,Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 等主要离子的含量均高于只种 2 茬的土壤.

不同种植年限下土壤剖面盐分离子差异显著程

度从高到低依次是耕层 0~20cm,20~40cm 和 40~60cm.耕层 0~20cm 的盐分第 1 a、2 a、3 a 平均值分别是 0.86、1.45、2.79 g/kg(表 5).单因子方差分析发现,不同年限盐分含量具有较显著的变化( $p < 0.05$ ).20~40 cm 的第 1 a 和第 2 a 的盐分和各离子变化相差不大,分别是 0.67 g/kg 和 0.68 g/kg,第 3 a 是 1.17 g/kg.40~60 cm 的也呈相似变化,第 1 a 和第 2 a 的盐分和各离子变化相差不大,分别是 0.41 g/kg 和 0.42 g/kg,第 3 a 是 1.02 g/kg,说明一般在耕作 2 a 后 40 cm 和 60 cm 处的盐分开始积累.不同种植年限设施土壤盐分含量分析结果表明,种植 1 a 的设施土壤各层次盐分含量差异不大,分布较为均匀,盐分总量水平相对较低但下层土壤盐分已有逐步向上层富集趋势.随着种植年限的延长土壤剖面中盐分总量不断增加,盐分由下层向上层集聚的速度加快.

分析盐分含量积累的时间和区域分布可知,相

表 5 不同种植年限土壤 0~20 cm 盐分及离子组成/g·kg<sup>-1</sup>  
Table 5 0~20 cm soil salinity and its ion component of different crop age/g·kg<sup>-1</sup>

| 年限/a | 统计参数 | 盐度    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|-------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| 1    | 最小值  | 0.146 | 0.01                         | 0.01                          | 0.04            | 0.17                          | 0.06             | 0.03             | 0.01           | 0.06            |
|      | 最大值  | 1.34  | 0.11                         | 0.02                          | 0.24            | 0.54                          | 0.2              | 0.09             | 0.1            | 0.21            |
|      | 平均值  | 0.86  | 0.04                         | 0.01                          | 0.11            | 0.33                          | 0.12             | 0.06             | 0.03           | 0.13            |
| 2    | 最小值  | 0.49  | 0.01                         | 0.01                          | 0.04            | 0.17                          | 0.02             | 0.01             | 0              | 0.07            |
|      | 最大值  | 3.12  | 0.37                         | 0.02                          | 0.22            | 0.58                          | 0.34             | 0.29             | 0.1            | 0.16            |
|      | 平均值  | 1.47  | 0.11                         | 0.01                          | 0.11            | 0.32                          | 0.14             | 0.07             | 0.043          | 0.12            |
| 3 以上 | 最小值  | 0.53  | 0.01                         | 0.01                          | 0.03            | 0.1                           | 0.06             | 0.03             | 0.01           | 0.02            |
|      | 最大值  | 8.02  | 0.73                         | 0.02                          | 0.53            | 3.78                          | 0.87             | 0.56             | 0.58           | 0.48            |
|      | 平均值  | 2.79  | 0.22                         | 0.01                          | 0.20            | 1.13                          | 0.29             | 0.15             | 0.12           | 0.22            |

同种植年限设施土壤盐分的积累量存在着一定的差异,说明不同区域设施栽培土壤次生盐渍化形成过程与耕作施肥的人为控制因素密切相关.同时,随着利用年限增加,土壤有酸化趋势,且 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的含量递增非常明显<sup>[11]</sup>.剖面盐分离子含量分析结果表明,不同种植年限设施西瓜栽培,设施栽培与大田土壤的耕层 0~20 cm 土壤盐分离子组成中均不含有 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 离子,在其它盐分离子中除 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Na<sup>+</sup> 离子含量基本相同外,K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量基本都高于大田土壤,且随着种植年限的延长不断增加.通过盐分离子在土壤剖面迁移富集过程的分析可以发现,不同种植年限的设施土壤除 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Na<sup>+</sup> 外,其它离子含量均表现出下层逐步向上层升高的分布特征.不同种植年限设施耕层土壤盐分阴阳离子质量比例分别以 (Cl<sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> +

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/(Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>) 为主.复种指数越高的设施栽培田块,其次生盐渍化程度也越高.

一般来说,土壤盐渍化程度与土壤类型、质地和大棚使用年限以及年使用肥料总量有一定的相关性.如粘质的黄泥土比沙质的夹沙土盐分高;使用年限短的盐分少,使用年限长的盐分相对较高.但本次调查发现,大棚使用年限仅 3 a 的孙桥基地,因其化肥年用量远远高于年平均使用量,其盐分积累在 0~20 cm 高达 7.1 g/kg,0~5 cm 更高达 9.5 g/kg,成为本次调查中高盐分之最.表明年化肥投入量过高,是加速大棚生产中土壤盐渍化的主导因素.

2.5 土壤剖面不同深度盐分离子特点

为研究不同深度土壤盐分,选择了 24 个土壤剖面的 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 的盐分进行比较(表 6),结果发现,0~20 cm 的土壤盐分总量和

表 6 土壤剖面不同深度盐分及离子组成/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$   
Table 6 Soil salinity and its ion component in different depth of soil profile/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

| 采样深度/cm | 统计数值 | 盐度   | $\text{NO}_3^-$ | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{K}^+$ | $\text{Na}^+$ |
|---------|------|------|-----------------|------------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|--------------|---------------|
| 20      | 最小值  | 0.14 | 0.01            | 0.01             | 0.03          | 0.09               | 0.01             | 0.01             | 0.00         | 0.02          |
|         | 最大值  | 8.02 | 0.93            | 0.02             | 0.57          | 3.78               | 0.87             | 0.56             | 0.58         | 0.91          |
|         | 平均值  | 1.72 | 0.14            | 0.01             | 0.16          | 0.57               | 0.18             | 0.08             | 0.06         | 0.18          |
|         | 标准偏差 | 1.65 | 0.18            | 0.00             | 0.12          | 0.07               | 0.18             | 0.10             | 0.09         | 0.14          |
| 40      | 最小值  | 0.19 | 0.01            | 0.01             | 0.04          | 0.06               | 0.01             | 0.01             | 0.00         | 0.07          |
|         | 最大值  | 4.32 | 0.39            | 0.02             | 0.29          | 0.91               | 0.51             | 0.68             | 0.26         | 0.40          |
|         | 平均值  | 0.96 | 0.07            | 0.01             | 0.14          | 0.31               | 0.11             | 0.08             | 0.04         | 0.18          |
|         | 标准偏差 | 0.82 | 0.08            | 0.00             | 0.07          | 0.11               | 0.11             | 0.03             | 0.06         | 0.09          |
| 60      | 最小值  | 0.15 | 0.01            | 0.01             | 0.02          | 0.11               | 0.01             | 0.01             | 0.00         | 0.07          |
|         | 最大值  | 2.04 | 0.22            | 0.02             | 0.22          | 2.08               | 0.24             | 0.22             | 0.21         | 0.47          |
|         | 平均值  | 0.81 | 0.04            | 0.01             | 0.11          | 0.36               | 0.07             | 0.04             | 0.03         | 0.17          |
|         | 标准偏差 | 0.58 | 0.04            | 0.00             | 0.05          | 0.14               | 0.05             | 0.04             | 0.05         | 0.09          |

各离子组成均高于 20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm 土壤。0 ~ 20 cm 土壤 pH 相对较低,盐分平均值分别高出 20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm 土壤的盐分平均值 0.96 g/kg和 0.81 g/kg。

3 结论

(1)上海市郊种植瓜果、蔬菜的土壤盐分平均含量按照土壤盐化程度分级标准,非盐化土壤占 88.52%,轻度盐化土壤占 10.37%,中度盐化土壤占 0.74%,重度盐化土壤占 0.37%。上海市郊旱作农田大棚内有部分土壤出现盐渍化趋势。土壤盐渍化程度与土壤类型、质地和大棚使用年限以及年使用肥料总量有一定的相关性。

(2)土壤全盐量与各离子相关性较好。上海市郊设施栽培土壤盐渍化的盐分组成中,阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主,其次为  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ ,除不同土壤原始沉积量外,大多为化肥的副成分或转化物,沪郊设施栽培土壤次生盐渍化的形成与化肥使用不当或过量施用密切相关。

(3)同一区域不同种植年限设施土壤全盐量随着设施利用时间增加而不断升高。不同种植年限设施土壤盐分含量分析表明,种植 1 a 的设施土壤各层次盐分含量差异不大,分布较为均匀,盐分总量水平相对较低。下层土壤盐分已有逐步向上层富集趋

势。随着种植年限的延长,土壤剖面中盐分总量不断增加,盐分由剖面下层向上层富集的速度加快。

参考文献:

[ 1 ] Ladenburger C G, Hild A L, Kazmer D J, *et al.* Soil salinity patterns in Tamarix invasions in the Bighorn Basin, Wyoming, USA [J]. Journal of Arid Environments, 2006, 65(1): 111 ~ 128.

[ 2 ] 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.

[ 3 ] 内海修一著,王志刚,汪维憬译.保护地园艺:环境与作物生理[M].北京:农业出版社,1984.216.

[ 4 ] 谢建昌,陈际型.菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥[M].南京:河海大学出版社,1997.289 ~ 293.

[ 5 ] 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,1999.156 ~ 157.

[ 6 ] 李文庆,李光德,骆洪义,等.大棚栽培对土壤盐分状况影响的研究[J].山东农业大学学报,1995, 26(2): 165 ~ 169.

[ 7 ] 陈德明,杨劲松.土壤盐渍环境与养分管理[J].土壤学进展,1995,23(5): 7 ~ 13.

[ 8 ] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等.山东寿光蔬菜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.

[ 9 ] Katerji N, van Hoom J W, Hamdy A, *et al.* Salinity effect on crop development and yield: analysis of salt tolerance according to several classification methods[J]. Agricultural Water Management, 2003, 62(1): 37 ~ 66.

[ 10 ] 李文庆,张民,李海峰,等.大棚土壤硝酸盐状况研究[J].土壤学报,2002, 39(2): 283 ~ 287.

[ 11 ] 杨丽娟,张玉龙.大棚菜田土壤硝酸盐积累及其调控措施的研究进展[J].土壤通报,2001, 32(2): 66 ~ 69.