

宜兴市温室土壤理化性质的调查和分析^①

高视芳^{1,2}, 段增强^{1*}, 郇恒福^{1,2}

(1 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; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 对宜兴市的温室和露天土壤的理化性质 (包括 pH, 电导率, 各种水溶性离子的含量以及全盐量) 进行调查测定, 结果表明: 宜兴市温室土壤 pH 值 0~20 cm 土层比深层低, 有酸化趋势; 土壤全盐量显著高于露天土壤, 盐分已明显在 0~20 cm 土层富集, 表层土壤全盐含量均在 2.00 g/kg 以上; 在盐分的离子组成中, 阳离子以 Ca^{2+} 为主, 平均占全盐总量的 14%, 阴离子以 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主, 分别平均占全盐总量的 56% 和 23%。说明该地区温室土壤已达到中度盐渍化水平。

关键词: 温室土壤; 次生盐渍化; 宜兴市

中图分类号: S714.8

设施蔬菜栽培是一种人工建造并且能人为控制其生态条件的栽培方式。近 20 年来, 设施种植发展迅速, 但随之设施内的土壤理化性状产生了很大的变化, 甚至有些变化成为设施栽培作物的生长障碍^[1], 其中土壤次生盐渍化问题显得比较突出。设施土壤次生盐渍化是指在设施蔬菜作物生产过程中, 设施土壤含盐量增加, 特别是硝酸盐含量的增加。其将引起栽培蔬菜作物的生长发育受到抑制, 产量和品质下降^[2], 蔬菜生产者的收益下降, 以及不合格产品对人们身体健康的危害^[3]。有研究表明, 与露天土壤比较, 不管利用年限如何, 设施土壤硝酸盐含量均显著增加, 且硝酸盐含量随施肥量的增加而增加, 盐分随硝酸盐含量的增加而增加^[4]。可以说, 设施土壤次生盐渍化是当前设施蔬菜种植障碍的一个主要因子, 是造成温室可持续利用周期较短的主要原因^[5]。

宜兴市位于太湖之滨, 是有名的“鱼米之乡”, 农副产品丰富。目前农业产业化、农业园区建设势头良好, 涌现出了一批蔬菜生产特色村和一批专业生产基地, 呈现出蔬菜生产基地化、设施化和多样化的态势。全市蔬菜种植面积 9200 hm^2 , 复种面积 18.5 万 hm^2 , 其中大棚栽培 1133 hm^2 , 年产蔬菜 42 万 t, 瓜豆 32 万 t, 建成无公害蔬菜基地 1333 hm^2 ^[6]。但该地区温室土壤已经不同程度地发生了次生盐渍化现象, 影响了作物的生长, 给农民带来一定损失。为了了解该地区设施栽培条件下土壤理化性质的状况, 我们于 2005 年 6 月对该地区进行了采样调查。

1 材料与方法

1.1 土壤采样及前处理

采样地点位于江苏省西太湖宜兴观光农业科技示范园, 土壤为潮土, 质地以砂壤为主^[7]。该地区温室大棚棚龄已有 5 年, 主要种植作物为番茄和黄瓜。每个大棚长约 36 m, 宽为 6 m。传统施肥量为有机肥料 ($\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O} \geq 5\%$, 有机质 $\geq 30\%$) 约 4630 kg/hm^2 , 硫酸钾型复合肥 1160 kg/hm^2 , 过磷酸钙 1160 kg/hm^2 , 尿素 230 kg/hm^2 。

选取 8 个设施栽培土壤与相邻的 4 个露天土壤进行对比分析。每个温室和田间均采用“S”形选点取样, 取样深度分别为 0~20、20~30、30~40、40~50 cm。土样经混匀, 风干, 过 2 mm 筛, 置于聚乙烯封口袋中密封保存, 备用。

1.2 测定方法^[8]

土壤可溶性盐分的测定采用水土比 5:1 提取, 可溶性全盐总量采用质量法, 盐分组成中的 K^+ 、 Na^+ 采用火焰光度计法, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用电感耦合高频等离子体发射光谱法 (ICP), CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 采用双指示剂滴定法, Cl^- 采用硝酸银滴定法, SO_4^{2-} 采用 EDTA 间接滴定法测定。

2 结果与分析

2.1 各土层理化特性变化

2.1.1 pH 变化 土壤酸碱度是土壤重要的基本性质之一, 是反映土壤理化性质的重要指标。从表 1 中可以看出, 不管是温室还是露天土壤, 随土壤深度的增加, pH 都是增加的趋势。从 0~20 cm 到 40~50 cm 土层, pH 值增加约 2 个单位。就同一剖面层而言, 露天土壤 pH 也基本上高于温室土壤。这与吕福堂等^[9]、孟鸿光等^[10]的结果基本一致。其主要原因是化肥的大

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-439) 资助。

* 通讯作者 (zqduan@issas.ac.cn)

作者简介: 高视芳 (1981—), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 主要从事温室土壤次生盐渍化发生与发展规律研究。E-mail: yfgao@issas.ac.cn

量施用，如 N 素化肥的大量施用，形成 NO₃⁻，只能部分被吸收，其余残存于土壤中，且不被雨水淋洗而积聚；再是大量酸性肥料和生理酸性肥料的施用，化肥中的副成分及转化物，如 SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 的残留等使土壤 pH 值下降^[9]。

表 1 温室土壤与露天土壤 pH 值
Table 1 pH values of greenhouse soil and open field soil

深度	0~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm
温室土壤	5.08	6.15	6.96	7.30
露天土壤	5.53	6.26	6.97	7.17

2.1.2 电导率及全盐量的变化 土壤电导率的变化反映了土壤盐分累积的情况。盐分的过量累积，不仅严重危害蔬菜生长发育，而且会破坏土壤结构，还影响温室土壤的持续利用^[11]。由表 2 可以看出，温室条件下土壤全盐量明显高于露天土壤，随深度增加分别为露天土壤的 9.6、5.2、1.8、2.0 倍。温室土壤 0~20

cm 土层全盐量比 20~30 cm 土层平均高出 1.55 g/kg，占全部剖面土层盐分含量的 55%。随深度增加温室土壤全盐量急剧下降，而露天土壤全盐量的变化无明显规律。这主要有两方面的原因：①在温室栽培环境下，复种指数高，过量施肥导致大量剩余肥料及其副成分在土壤中积聚，使土壤溶液浓度升高；②封闭的环境下，长期没有雨水淋洗，使土壤中的肥料不能随雨水淋洗到土壤深层，而残留在土壤耕层；同时，大棚内温度较高，土壤水分蒸发较严重，导致土壤深层的离子随水分上升至表层，从而增加了土壤表层盐分含量。此外，生施畜禽粪便也会造成温室土壤板结，造成次生盐渍化。根据滨海盐土划分标准，盐分含量介于 1.0~2.0 g/kg 的为轻度盐化土壤，盐分含量介于 2.0~4.0 g/kg 的为中度盐化土壤，盐分含量介于 4.0~6.0 (10.0) g/kg 的为强度盐化土壤^[12]。宜兴地区温室土壤表层 (0~20 cm) 含盐量>2.0 g/kg，表明其已达到中度盐渍化水平。设施蔬菜生长受到抑制作用，有的出现枯萎现象，甚至绝产，应予以重视。

表 2 温室土壤与露天土壤电导率及全盐量
Table 2 Electrical conductivity and total salt contents in greenhouse soil and open field soil

	土层深度 (cm)	电导率 (μS/cm)		全盐量 (g/kg)	
		平均值	浮动范围	平均值	浮动范围
温室土壤	0~20	660.26	539.46~960.04	2.59	1.92~3.26
	20~30	326.49	248.98~429.55	1.04	0.78~1.34
	30~40	217.44	115.07~274.48	0.51	0.75~1.07
	40~50	169.34	85.12~245.62	0.58	0.35~0.80
露天土壤	0~20	83.10	50.47~96.34	0.27	0.22~0.34
	20~30	76.87	53.16~88.97	0.20	0.17~0.24
	30~40	88.12	74.92~102.62	0.29	0.21~0.45
	40~50	85.10	61.35~101.05	0.29	0.22~0.41

另外，相关分析表明 (图 1)，宜兴地区采集的 48 个土壤样品水溶性全盐量和电导率呈极显著正相关，盐分电导曲线为 $y = 3.6438x + 9.3209$ ， $R^2 = 0.8876$ 。

2.1.3 主要水溶性阳离子含量变化 从表 3 中可以看出，各种阳离子明显在温室土壤表层 (0~20 cm) 中富集，其 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 含量分别比同一层次露天土壤高出 656%、962%、1005%、825%。随深度增加，温室土壤中各种阳离子含量递减，其中，0~20 cm 土层与 20~30 cm 土层之间降幅最大，K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 分别降低 76%、30%、69%、56%；而 30~40 cm 土层与 40~50 cm 土层之间变化幅度最小，仅稍有下降。在温室土壤的水溶性阳离子中，以 Ca²⁺ 的含量最高，约占水溶性阳离子总量的 68%。而对露地土壤来说，这 4 种阳离子含量均比较低，而且在 4 个不同的土壤剖面层中含量差异也不大。

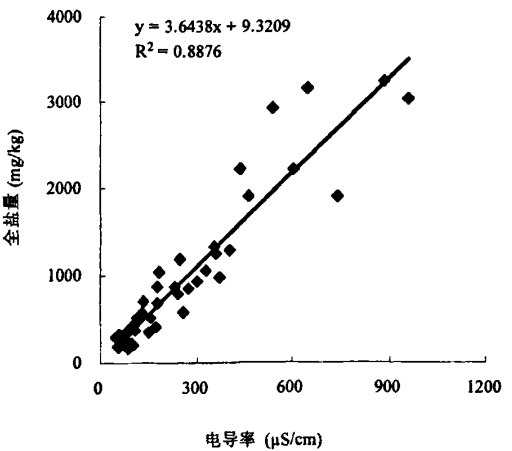


图 1 电导率与全盐量关系
Fig. 1 Correlation between electric conductivity and total salt content

表 3 温室土壤与露天土壤主要水溶性阳离子含量 (mmol/kg)

Table 3 Contents of the main water soluble cations in greenhouse soil and open field soil

	土层深度 (cm)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
温室土壤	0~20	0.99	2.65	9.37	2.12
	20~30	0.23	1.85	2.94	0.93
	30~40	0.11	1.07	2.77	0.85
	40~50	0.08	0.80	2.36	0.73
露天土壤	0~20	0.13	0.25	0.85	0.23
	20~30	0.05	0.32	1.11	0.31
	30~40	0.06	0.48	0.92	0.29
	40~50	0.06	0.73	1.04	0.34

2.1.4 主要水溶性阴离子含量变化 对温室土壤和露天土壤水溶性阴离子调查分析 (表 4), 可以看出, HCO₃⁻ 和 Cl⁻ 含量在两种土壤中的各个剖面层差异不显著, 变幅分别为 0.93~1.59 mmol/kg 和 0.68~0.97 mmol/kg。温室土壤中, NO₃⁻ 和 SO₄²⁻ 含量随土层深度的增加而明显下降, 其中, 0~20 cm 土层明显高于 20~30 cm 土层, 分别高出 150% 和 199%; 相对于同一土层的露天土壤则分别高出 435% 和 2272%。从表 4 中数据不难看出, 宜兴市温室土壤水溶性阴离子中以 NO₃⁻ 和 SO₄²⁻ 为主, 在 0~20 cm 土层中分别占阴离子总量的 68% 和 27%。但也有报道, 设施土壤中的主要阴离子是 SO₄²⁻ 或 Cl⁻, 这可能与设施栽培中施用化肥的种类和用量有关^[13]。

表 4 温室土壤与露天土壤各主要水溶性阴离子含量 (mmol/kg)

Table 4 Contents of the main water soluble anions in greenhouse soil and open field soil

	土层深度 (cm)	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
温室土壤	0~20	1.59	0.90	6.01	23.14
	20~30	1.16	0.97	2.01	9.24
	30~40	1.47	0.89	1.46	6.20
	40~50	1.28	0.86	1.41	4.07
露天土壤	0~20	0.93	0.96	1.12	0.98
	20~30	1.02	0.68	1.02	0.48
	30~40	1.16	0.88	1.05	0.41
	40~50	1.21	0.91	1.40	0.47

注: CO₃²⁻ 在各试验土壤中均未检出。

2.2 温室土壤 0~20 cm 土层主要可溶性离子含量百分比

由图 2 可以看出, 在温室土壤 0~20 cm 土层中, 阴离子以 NO₃⁻ 和 SO₄²⁻ 为主, 分别占离子总量的 56% 和 23%; 阳离子中以 Ca²⁺ 为主, 占离子总量的 14%; 而其他离子之和约占离子总含量的 7%。

2.3 主要离子与全盐量和电导率之间的关系

由图 3 和图 4 可知, 土壤 NO₃⁻ 含量与全盐量和

电导率呈极显著相关, 相关系数 *r* 分别为: 0.9913、0.9232。可见, N 肥的过量施用引起 NO₃⁻-N 的土壤积累, 继而提高了土壤盐分总量和电导率^[14]。图 5~8 是 SO₄²⁻ 和 Ca²⁺ 含量分别与全盐量和电导率的相关分析。可以看出, 这两种离子的含量也和全盐量及电导率呈极显著相关。因此可以说明, NO₃⁻、SO₄²⁻ 和 Ca²⁺ 的含量对全盐量和电导率的影响很大, 是宜兴地区温室土壤中可溶性离子的主要组成部分。

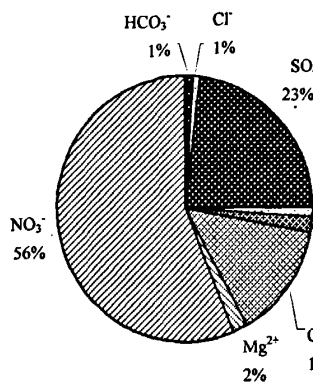
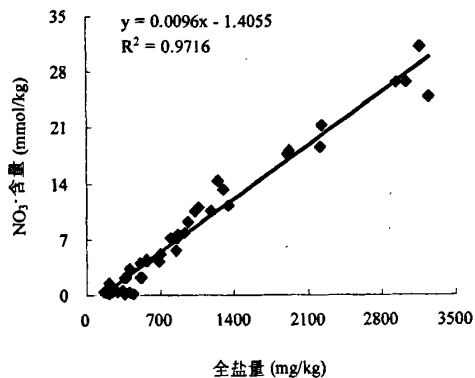
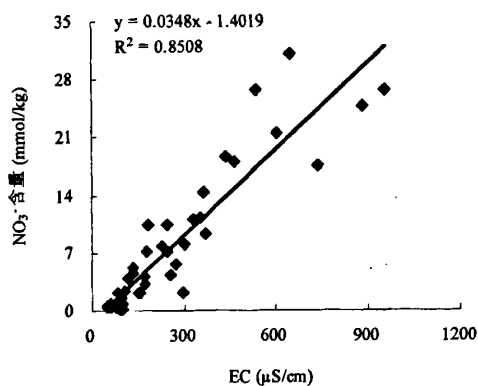
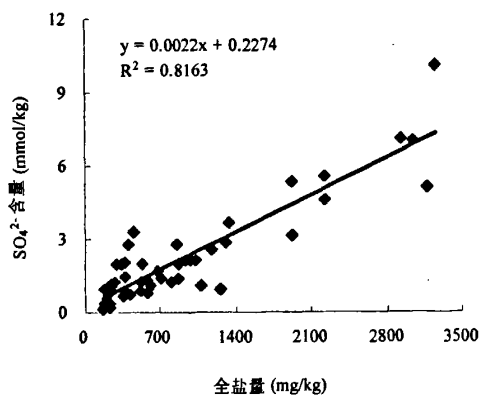
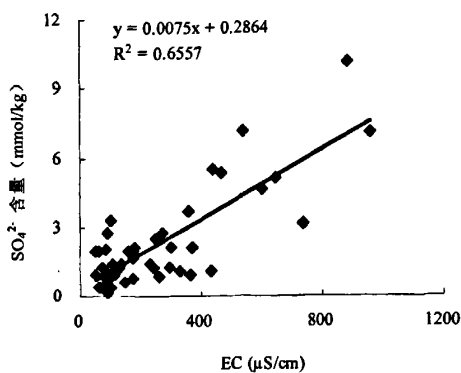
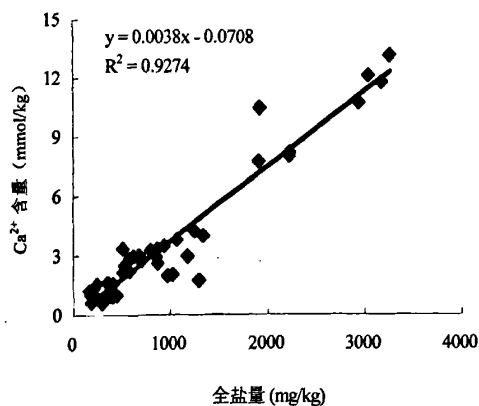
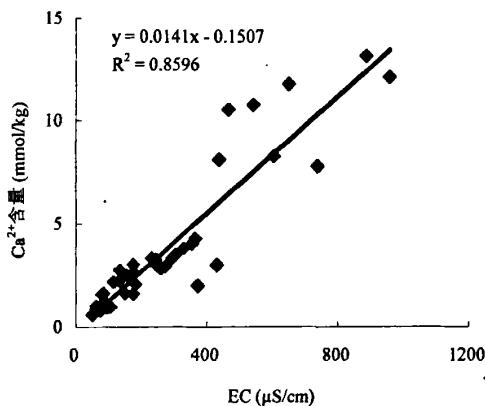


图2 0~20 cm 土层中主要可溶性离子含量百分比

Fig. 2 Percentages of the main soluble ions in 0~20 cm horizon soil

图3 NO_3^- 与全盐量关系Fig. 3 Correlation between NO_3^- content and total salt content图4 NO_3^- 与电导率关系Fig. 4 Correlation between NO_3^- content and electrical conductivity图5 SO_4^{2-} 与全盐量关系Fig. 5 Correlation between SO_4^{2-} content and total salt content图6 SO_4^{2-} 与电导率关系Fig. 6 Correlation between SO_4^{2-} content and electrical conductivity图7 Ca^{2+} 与全盐量关系Fig. 7 Correlation between Ca^{2+} content and total salt content

图 8 Ca^{2+} 与电导率关系Fig. 8 Correlation between Ca^{2+} content and electrical conductivity

3 结论

(1) 通过对 pH 和全盐量的测定, 我们可以得出宜兴市温室土壤表层 pH 值较小, 盐分已经在表层明显富集, 土壤有明显酸化和盐渍化趋势。

(2) 对比各种水溶性离子含量, 宜兴温室土壤 0~20 cm 土层中阳离子以 Ca^{2+} 为主, 阴离子以 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主, 这 3 种离子含量和全盐量之间均呈极显著相关。

(3) 宜兴土壤电导率与全盐量存在极显著相关, 盐分电导曲线为: $y = 3.6438x + 9.3209$, $R^2 = 0.8876$ 。

参考文献:

[1] 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

- [2] Wang ZH, Li SX. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. *Pedosphere*, 2003, 13(4): 309-316
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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. *土壤学报*, 2006, 43(4): 571-576
- [6] 王玉华, 周玲, 徐亚娣. 宜兴市蔬菜地地力现状与对策. *上海农业科技*, 2004 (6): 15-16
- [7] 王彩绒, 吕家珑, 胡正义, 高义明, 杨林章. 太湖流域典型蔬菜地土壤养分及 pH 空间变异特征研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 33 (7): 121-124
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 孟鸿光, 李中, 刘乙俭, 金福兰. 沈阳城郊温室土壤特性调查研究. *土壤通报*, 2000, 31(2): 70-72
- [11] 朱国鹏, 王玉彦, 刘士哲, 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
- [12] 中国土壤学会盐渍土专业委员会编. 中国盐渍土分级分类文集. 江苏: 江苏科学技术出版社, 1988: 1-2
- [13] 余海英, 李廷轩, 周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响. *土壤*, 2005, 37(6): 581-586
- [14] 夏立忠, 杨林章, 王德建. 苏南设施栽培中旱作为土养分与盐分状况的研究. *江苏农业科学*, 2001 (6): 43-46, 69

On Physico-Chemical Properties of Greenhouse Soil in Yixing Region

GAO Yan-fang^{1,2}, DUAN Zeng-qiang¹, HUAN Heng-fu^{1,2}

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

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Some physical and chemical properties including pH, electric conductivity, water soluble total salt and water soluble ions of the greenhouse soil and open field soil in Yixing region were studied. The results indicated the obvious tendencies of acidification and salt accumulation in the greenhouse soil at the 0~20 cm horizon. The main cation was Ca^{2+} , accounting for 14% of the total salt content; while the main anions were NO_3^- and SO_4^{2-} , accounting for 56% and 23% of the total salt content respectively; The greenhouse soil in this region has reached the level of moderate secondary salinization.

Key words: Greenhouse soil, Salinization, Yixing