

# 上海市浦东新区设施菜地土壤盐分变化规律研究<sup>①</sup>

杨业凤<sup>1,2</sup>, 徐阳春<sup>1\*</sup>, 姚政<sup>2</sup>, 金海洋<sup>2</sup>, 徐四新<sup>2</sup>, 杨建军<sup>2</sup>

(1 南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095; 2 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201106)

## Salinity Characteristics of Greenhouse Vegetable Soils in Shanghai Pudong New Area

YANG Ye-feng<sup>1,2</sup>, XU Yang-chun<sup>1</sup>, YAO Zheng<sup>2</sup>, JIN Hai-yang<sup>2</sup>, XU Si-xin<sup>2</sup>, YANG Jian-jun<sup>2</sup>

(1 College of Resources & Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 Eco-Environmental Protection Research Institute, SAAS, Shanghai 201106, China)

**摘要:** 以上海市浦东新区为例, 研究了设施菜地土壤盐分的变化规律。结果表明: 设施菜地耕层土壤已有 60% 轻度盐化, 26% 中度盐化。盐分组成中, 阳离子以 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  为主, 阴离子以 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主。 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  与盐分总量无明显相关性, 但它可能间接导致了其他盐分离子在土壤中的积累。除 $\text{HCO}_3^-$  外, 在耕层范围内土壤盐分、电导率及各盐分离子都有表聚的趋势, 且含量大部分是在种植 3 年时达到最大。浦东设施栽培土壤的主要问题是盐分大量累积和养分不均衡。

**关键词:** 浦东新区; 设施菜地土壤; 盐分

**中图分类号:** S316; S155.4+1

近年来国内外关于设施栽培出现的障碍问题和土壤盐分变化规律的报道越来越多<sup>[1-4]</sup>。虽然各地蔬菜保护地土壤的盐分特征有许多相似之处, 但由于生态条件、耕作制度、施肥等方面的差异, 各地的情况又不完全一致, 详细调查分析特定区域的具体情况有利于针对性地采取措施解决问题<sup>[5]</sup>。上海浦东新区设施农业发展迅速, 目前已经累积建成设施菜田 500 多公顷。然而根据调查, 许多大棚蔬菜施肥存在盲目性, 缺乏适宜的管理措施, 随着种植年限的增加, 出现了大棚内土壤盐分大量累积、土壤酸化严重、土壤养分不平衡等一系列土壤障碍问题, 造成蔬菜产量降低、品质恶劣, 严重威胁设施蔬菜生产的可持续发展<sup>[6]</sup>。长期过量施肥使当季不能被作物利用的养分不断累积到土壤中, 但减少肥料投入却会影响下茬蔬菜生长, 棚室内除了普遍出现的盐渍化, 部分大棚种植的十字花科蔬菜出现了因土壤酸化引起的根肿病。所以浦东新区设施菜地栽培的主要问题是土壤中盐分大量积累, 但

同时供给作物的养分不均衡, 以及由此引起的土壤酸化、盐化和土壤结构破坏等问题。因此, 研究浦东新区设施栽培条件下土壤盐分的组成特点、盐分的迁移与积累的变化规律以及土壤盐渍化发生的机制, 对有效防治和解决浦东蔬菜生产中出现的土壤与环境问题, 指导设施栽培菜地的科学管理具有重要意义, 也可为上海市设施农业的健康可持续发展提供参考。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区域位于浦东新区的川沙新镇, 为长江三角洲冲积平原, 土壤类型以黄泥土为主, 常年地下水位在 0.8~1.0 m。该区设施菜地主要是叶菜类和茄果类轮作, 不同的园艺场有不同的茬口安排, 施肥量一般为:

茄果类: 基施复合肥 (15-15-15) 1125 ~ 1500 kg/hm<sup>2</sup>, 分 3 次追施尿素 375~525 kg/hm<sup>2</sup>。

叶菜类: 基施复合肥 (10-7-8) 300 ~ 450 kg/hm<sup>2</sup>,

①基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划课题项目 (2006BAD05B08) 资助。

\* 通讯作者 (ycxu@njau.edu.cn)

作者简介: 杨业凤 (1984—), 女, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要从事植物营养和土壤生态研究。E-mail: yyf2901@126.com

视长势情况追施尿素 150~225 kg/hm<sup>2</sup> 1 次。

豆类：基施复合肥 (10-7-8) 750 ~ 900 kg/hm<sup>2</sup>，分 2 次追施尿素 225~300 kg/hm<sup>2</sup>。

叶菜类一般不施有机肥，茄果类和豆类一般都基施，因作物不同稍有差异，一般为每公顷 30000 kg 左右。

## 1.2 研究方法

1.2.1 土样 2007 年 7 月底在上海市浦东新区选取 21 个园艺场，每个园艺场选 3~5 个具典型代表性的大棚，总计 89 个，每个大棚多点 (6~10 点) 分 0~5、5~10 cm 和 10~20 cm 土层采集土壤样品。混匀的新鲜土样用四分法留取 1 kg 左右，装入聚乙烯塑料袋，标记封口，带回实验室。同时在各场内采集露地种植的土壤样品作为对照。

土壤风干后研磨过筛保存。测定了 498 个土壤样品的全盐量和电导率，并选择了其中 93 个土壤样品分析土壤各盐离子含量。

1.2.2 分析方法 土样分析均用常规方法进行<sup>[7]</sup>。其中：土壤全盐用烘干残渣法；电导率用电导仪法 (土：水为 1：5)；NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 用 CaCl<sub>2</sub> 溶液 (土：水 =1：10) 浸提土壤，紫外分光光度法；K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 用火焰光度法；Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 用原子吸收分光光度法；HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 用电位滴定法；Cl<sup>-</sup> 用硝酸银滴定法；SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 用 EDTA 间接络合滴定法；H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> 用 Olsen 法测定。

1.2.3 数据分析 采用 SPSS11.0 软件对所有数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 浦东设施菜地耕层土壤盐化程度

测定结果表明，浦东新区设施栽培土壤已经出现不同程度的盐化 (表 1)。在所调查的 21 个园艺场的 89 个大棚的耕层土壤中，以轻度盐化的土壤居多，占 60%，中度盐化土壤占 26%，重度盐化土壤占 4%，盐土占 1%，非盐化的土壤只有不到 10%，说明设施栽培土壤多数已经轻度盐化，并有向重度盐化发展的趋势。究其原因是在设施栽培条件下，种植户为了追求高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，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中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<sup>[8]</sup>。随着种植年限的增加，大棚内极强的蒸发作用和极差的淋洗作用以及高量肥料投入必然导致土壤盐分的增加和积累，这也是大棚中土壤发生次生盐渍化的根本原因。

表 1 土壤盐化程度分级

盐化程度	含盐量 (g/kg)	棚数	所占比例 (%)
盐土	>10	1	1
重度盐化	7~10	4	4
中度盐化	5~7	23	26
轻度盐化	2~5	53	60
非盐化	<2	8	9
总计		89	100

研究发现，浦东新区出现盐渍化的基本为种植黄瓜 3 年以上和瓜菜轮作 5 年以上的大棚，由于受经济效益的驱使，黄瓜连作以及高投入高产出的生产模式，使得黄瓜地比其他蔬菜类轮作的大棚菜地更容易发生盐渍化。所以，轮作栽培不同蔬菜品种，根据耐盐能力、不同蔬菜的科属类型、根系深浅、吸肥特点等特性的不同尽可能种植耐盐性较强的蔬菜，制定合理的蔬菜轮作制度，实行有计划地轮作换茬是延缓设施菜地土壤盐化的有效措施。

### 2.2 设施菜地耕层土壤盐分离子组成及变化规律

2.2.1 设施菜地耕层土壤各盐分离子含量变化 比较设施菜地和露天菜地耕层土壤各盐分离子的含量 (表 2)，发现设施菜地耕层土壤含盐量变幅在 1.20~24.67 g/kg 之间，平均为 5.40 g/kg；而露天菜地土壤盐分含量变幅在 1.85~1.92 g/kg 之间，平均为 1.90 g/kg，大棚是露地的 2.84 倍。电导率与盐分总量呈极显著正相关，土壤的平均电导率由露天菜地的 185 μS/cm 增加到设施菜地的 678 μS/cm，增加了 2.66 倍。

设施菜地耕层土壤盐分离子的含量和相对组成较露天栽培土壤发生了明显变化。露天菜地土壤以 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、K<sup>+</sup> 为主 (表 2)，设施菜地耕层土壤中则以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 为主。

2.2.2 设施菜地耕层土壤中阴阳离子含量的变化规律 对设施菜地耕层土壤中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 8 种离子含量变化的研究表明，8 种离子占总盐分的比例为 65.8% (表 3)，土壤盐分离子组成中以阴离子为主，占总离子量的 61.4%，占盐分总量的 38.6%；阳离子占总离子量的 40.4%，占盐分总量的 25.4%。阴离子中无 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>，以 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 为主，阳离子以 Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> 为主。在所有调查的离子中，NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 最多，分别占耕层离子总量的 34.9% 和 14.4%，这和余海英等<sup>[9]</sup> 调查的山东寿光设施菜地土壤盐分含量变化规律的结果相似。土壤盐分离子对作物生长的抑制作用强弱依次为 Cl<sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，土壤阴离子浓度越高，抑制作用越明

表2 设施菜地和露天菜地耕层土壤中各盐分离子的组成变化 (g/kg)

土壤	统计参数	盐度	电导率	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
设施菜地	最小值	1.20	122	0.18	0.12	0.04	0.01	0.03	0.06	0.08	0.05
	最大值	24.67	1583	1.19	0.46	2.42	0.85	1.87	0.34	1.39	6.40
	平均值	5.40	678	0.44	0.28	0.51	0.14	0.31	0.16	0.48	1.24
	标准差	3.52	389	0.18	0.07	0.46	0.14	0.30	0.06	0.30	1.23
露天菜地	最小值	1.85	134	0.18	0.07	0.08	0.02	0.04	0.23	0.08	0.08
	最大值	1.92	284	0.23	0.15	0.11	0.04	0.05	0.31	0.35	0.17
	平均值	1.90	185	0.20	0.10	0.09	0.03	0.05	0.26	0.20	0.13
	标准差	0.04	86	0.03	0.05	0.02	0.01	0.01	0.04	0.14	0.05

注：电导率单位为 μS/cm，下同。

表3 设施菜地耕层土壤阴、阳离子含量变化

离子	平均含量 (g/kg)	占总离子百分比 (%)	占盐分百分比 (%)
K <sup>+</sup>	0.44	12.4	8.1
Na <sup>+</sup>	0.28	7.9	5.2
Ca <sup>2+</sup>	0.51	14.4	9.4
Mg <sup>2+</sup>	0.14	3.9	2.6
Cl <sup>-</sup>	0.30	8.5	5.6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.16	4.5	3.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.48	13.5	8.9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.24	34.9	23.0
总和	4.03	100.0	65.8

显<sup>[10]</sup>，因此，对于设施栽培土壤次生盐渍化成因问题不能仅仅关注NO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子对作物的危害，也应加强对Cl<sup>-</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子积累的控制。

**2.2.3 土壤全盐量与各离子相关性** 对设施菜地耕层土壤全盐量和各盐分离子的相关性进行了分析(表4)。结果表明，土壤盐分总量除与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>呈显著负相关，与H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>无明显相关性外，与其余7种离子含量均呈极显著正相关。Mg<sup>2+</sup>含量在所有盐分离子中最低，但与盐分总量的相关性最好，其余依次为NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、K<sup>+</sup>。土壤中的阴离子含量越高，其与盐分的相关系数越大。

表4 设施菜地耕层土壤盐分含量和各离子相关关系矩阵 (n = 84)

	电导率	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
盐	0.718**	0.289**	0.646**	0.803**	0.869**	0.614**	-0.359**	0.626**	0.814**	0.063
电导率	1	0.348**	0.825**	0.900**	0.849**	0.735**	-0.461**	0.705**	0.875**	0.011
K <sup>+</sup>		1	0.350**	0.295**	0.330**	0.507**	0.159	0.196	0.308**	0.609**
Na <sup>+</sup>			1	0.691**	0.696**	0.840**	-0.426**	0.632**	0.674**	0.167
Ca <sup>2+</sup>				1	0.952**	0.647**	-0.386**	0.687**	0.900**	-0.039
Mg <sup>2+</sup>					1	0.687**	-0.350**	0.656**	0.908**	0.080
Cl <sup>-</sup>						1	-0.298**	0.559**	0.614**	0.300**
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>							1	-0.461**	-0.392**	0.035
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>								1	0.512**	-0.017
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>									1	0.036
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>										1

注：\*\*表示在p<0.01水平显著相关。

这些盐分离子除了土壤原始沉积量不同外，大多为化肥中的副成分或转化物。土壤中的盐分离子与养分的交互作用，会导致某些养分的有效性降低，如K<sup>+</sup>对Mn<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>，Na<sup>+</sup>对K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>以及Cl<sup>-</sup>对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>的吸收都有一定的抑制作用<sup>[11-12]</sup>。由于Ca<sup>2+</sup>对P有固定作用，Ca<sup>2+</sup>的大量累积会降低土壤P的有效性

<sup>[13]</sup>，所以虽然H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>与盐分含量无明显相关性，但P素大量积累，很可能与其他离子大量增加有关，而P素的累积势必会影响其他营养元素的有效性，增加了它们在土壤中的累积，又间接造成盐害。

**2.3 设施菜地土壤表层不同层次盐分离子的变化规律**

对 0~5、5~10、10~20 cm 的土层盐分含量进行了分层分析。结果表明所有调查土样的盐分、电导率及各盐分离子含量除  $\text{HCO}_3^-$  外均有 0~5 cm>5~10 cm>10~20 cm 的变化规律(表 5),  $\text{HCO}_3^-$  含量的变化趋势则相反, 随深度增加而增大。耕层盐分的强表聚,

表现为硝酸盐含量增多、电导率增大, 可能会造成蔬菜中硝酸盐含量超标, 严重影响设施蔬菜产量和品质的提高, 同时还会造成蔬菜对各种营养元素的吸收失衡<sup>[14]</sup>。因此, 设施蔬菜和环境生态方面的研究也需进一步加强。

表 5 设施菜地不同深度耕层土壤中盐分及离子组成 (g/kg)

土层 (cm)	统计参数	盐度	电导率	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$
0~5	最小值	2.37	197	0.29	0.19	0.05	0.03	0.05	0.06	0.14	0.15
	最大值	24.67	1583	1.19	0.46	2.42	0.85	1.87	0.26	1.38	6.40
	平均值	7.87	949	0.50	0.34	0.76	0.22	0.53	0.14	0.62	2.03
	标准差	4.35	399	0.19	0.07	0.58	0.19	0.41	0.04	0.32	1.51
5~10	最小值	1.50	132	0.23	0.15	0.04	0.02	0.03	0.08	0.11	0.05
	最大值	13.42	1326	1.04	0.38	1.28	0.41	0.62	0.32	1.39	3.89
	平均值	4.82	631	0.44	0.26	0.49	0.12	0.23	0.16	0.48	1.09
	标准差	2.37	344	0.17	0.06	0.38	0.09	0.15	0.05	0.31	1.03
10~20	最小值	1.20	122	0.18	0.12	0.04	0.01	0.03	0.11	0.08	0.05
	最大值	9.35	957	0.97	0.32	0.83	0.16	0.33	0.34	0.80	1.79
	平均值	3.52	453	0.39	0.23	0.27	0.07	0.15	0.19	0.34	0.59
	标准差	1.76	238	0.18	0.05	0.19	0.04	0.08	0.06	0.18	0.49

鉴于浦东设施菜地土壤耕层盐分大量积累, 土壤板结严重, 深翻 30~35 cm 的土壤, 将会有效降低表层土壤盐分, 改良土壤结构, 促进作物根系健康生长。

#### 2.4 不同种植年限设施菜地耕层土壤盐分离子变化

对不同种植年限的设施菜地耕层土壤中盐分的变化规律的分析(表 6)表明: 随种植年限的增加, 各盐分离子的含量基本是在 3 年时增加到最大, 之后随种植年限的增加又有所回落, 但均高于露天菜地土壤中的含量。引起不同栽培年限设施菜地土壤盐分含量变化的主要原因是种植户的生产管理状况。据调查, 浦东新区大棚的可持续利用周期较短, 温室大棚一般

使用 3 年后, 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, 这与大棚内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, 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, 当盐分和养分累积到限制作物正常生长时, 农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, 如由黄瓜番茄换种几茬叶菜、揭棚、翻耕甚至休闲, 待土壤条件稍有改善, 种植户又会继续加大投入, 从而使养分又继续积累<sup>[9]</sup>。

表 6 不同种植年限设施菜地土壤盐分及离子含量变化 (g/kg)

棚龄	盐度	电导率	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$
露天	1.90	185	0.20	0.10	0.09	0.03	0.05	0.26	0.20	0.13
1 年	3.14	430	0.27	0.26	0.23	0.04	0.17	0.16	0.38	0.49
2 年	5.42	750	0.36	0.28	0.58	0.15	0.28	0.16	0.53	1.35
3 年	9.35	894	0.55	0.32	0.85	0.28	0.43	0.16	0.64	2.36
4 年	5.99	824	0.50	0.31	0.69	0.17	0.40	0.15	0.63	1.56
5 年以上	4.68	524	0.51	0.25	0.31	0.09	0.29	0.16	0.34	0.86

### 3 结论

(1) 上海市浦东新区设施菜地轻度盐化的土壤占60%，中度盐化土壤占26%，非盐化土壤占9%，重度盐化占4%，盐土占1%，非盐化土壤占不到10%。设施菜地土壤多数都已经发生轻度盐化，并有向中度盐化发展的趋势。

(2) 设施菜地耕层土壤盐分组成中，阳离子以 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 为主，阴离子以 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 为主， $\text{NO}_3^-$ 和 $\text{Ca}^{2+}$ 含量在所有调查的离子中最多，分别占耕层离子总量的34.9%和14.4%。耕层盐分总量与 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$  7种离子含量均呈极显著正相关，与 $\text{HCO}_3^-$ 呈极显著负相关，与 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 无明显相关性。P素在棚室内大量积累，虽与土壤盐分积累无直接相关性，却可能同其他养分离子相互作用间接导致土壤盐化的发生。

(3) 在耕层范围内，盐分、电导率及各盐分离子含量都存在 $0 \sim 5 \text{ cm} > 5 \sim 10 \text{ cm} > 10 \sim 20 \text{ cm}$ 的规律， $\text{HCO}_3^-$ 的变化趋势则相反。浦东设施菜地土壤中各盐分离子含量基本都在种植3年时增加到最大，这与种植户的种植管理状况有关。

#### 参考文献:

- [1] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展. 土壤, 2004, 36 (3): 235-242
- [2] 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
- [3] 吴忠红, 刘凤兰. 设施土壤养分和盐分累积状况研究. 中国农学通报, 2007, 23 (4): 237-240
- [4] 姚春霞, 陈振楼, 许世远. 上海市郊旱作农田土壤养分资源状况. 水土保持学报, 2007, 21 (1): 131-134
- [5] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 耿增超. 日光温室蔬菜地土壤主要养分含量及其累积特征分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36 (3): 129-135
- [6] 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
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [8] Li WQ, Zhang MS, Van Der Zee. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China. *Pedosphere*, 2001, 11 (4): 359-367
- [9] 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
- [10] 姚春霞, 陈振楼, 许世远. 上海市郊旱作农田土壤盐分研究. 环境科学, 2007, 28 (6): 1372-1376
- [11] 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
- [12] 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
- [13] Grattan SR, Grieve CM. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulture*, 1999 (78): 127-157
- [14] Wang ZH, Li SX. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. *Pedosphere*, 2003, 13(4): 309-316