

# 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究 以南京市南郊为例

王 辉<sup>1,2,3</sup> 董元华<sup>1,2,3\*</sup> 安 琼<sup>1,2</sup> 孙红霞<sup>4</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室 南京 210008; 3 中国科学院研究生院 北京 100049; 4 南京市雨花台区农业局 南京 210012)

**摘 要** 本文研究了在目前农田大量施用化肥及有机肥的情况下南京市南郊蔬菜地土壤 pH 和盐分含量的变化。研究表明: 在露天农田土壤 pH 略有上升的基础上, 南京市南郊大棚蔬菜地土壤的 pH 值比露天农田下降了约 0.30 ~ 0.87, 比第二次土壤普查时的露天蔬菜地下降了约 0.12 ~ 0.52; 同时, 大棚蔬菜地土壤盐分累积也较为严重, 主要表现为  $\text{NO}_3^-$  在土壤中的大量累积。

**关键词** 土壤 pH; 土壤盐分; 蔬菜地土壤; 南京南郊

**中图分类号** S153

近年来, 随着蔬菜种植业的快速发展, 有关蔬菜地土壤尤其是大棚蔬菜地土壤的酸化及次生盐渍化的报道越来越多, 如黄锦法等<sup>[1]</sup>的研究结果显示, 嘉兴地区稻麦轮作田改为保护地菜地后, 土壤 pH 值平均下降了约 1 个单位, 刘德等<sup>[2]</sup>的研究表明了哈尔滨郊区温室大棚土壤的总盐含量是露天土壤的 2.1 ~ 13.4 倍。严重的土壤酸化将导致土壤营养元素的淋失并影响到植物的生长<sup>[3]</sup>, 改变原有的土壤生态环境, 而过多的土壤盐分则是植物生长的重要障碍因子<sup>[4]</sup>。因此, 2002 年我们对南京市南郊蔬菜地土壤的酸化及次生盐渍化进行了研究, 以期能够为农业生产采取合理的调控措施提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

调查区域选在南京市南郊北纬  $31^\circ 55'$  ~  $32^\circ 05'$ 、东经  $118^\circ 37'$  ~  $118^\circ 53'$  之间, 区内地势东南高, 西北低, 年降水量约 990 mm。本区为南京市主要的蔬菜种植基地, 有几十年甚至上百年的蔬菜种植历史。近年来随着城市化的发展, 其土地利用空间分布格局发生了较大的变化, 农业用地在空间上主要表现为星罗棋布的城镇、交通和工业用地之间夹杂着呈碎块状分布的农业用地。农业用地类型绝大部分为

蔬菜地, 土壤类型主要为长江冲积物上发育的菜园土。我们选取了 3 片蔬菜地分布相对集中的区域, 其面积分别为 15、14、7.5  $\text{km}^2$ , 采用网格法布置采样点, 网格间距根据采样点实际情况调整为 50 ~ 300 m, 每个采样点用 GPS 定位。同时在附近采集水稻田土壤作为比较。

### 1.2 材料与分析方法

采样时间为 2002 年 5 月中旬, 采样时尽量采集前季蔬菜已收获、下季蔬菜尚未种植的裸露土壤, 采回有效样品蔬菜地土壤 82 个 (包括 10 个蔬菜大棚土壤), 水稻田土壤 3 个, 合计 85 个样品。在每个样点的覆盖面积上, 多点 (6 ~ 10 点) 采集耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤混合, 混匀的鲜土用四分法留取 1 kg 左右, 装入聚乙烯塑料袋, 标记密封, 尽快带回实验室, 部分土样放入冰箱, 在 0 ~ 4 °C 保存用于测定土壤的  $\text{NO}_3^-$ -N, 其他土样风干后研磨过筛用于土壤 pH、总盐及离子组成的测定。

土壤 pH 用水浸提 (水土比为 2.5:1), pH 计测定<sup>[5]</sup>; 土壤总盐用烘干法测定<sup>[5]</sup>; 土壤  $\text{Cl}^-$  等 8 种离子的分析方法参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[5]</sup>; 土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 用 1mol/L 的 KCl 浸提, 浸提液用微量连续液体式自动化学分析仪 (美国 Astoria 公司) 进行测定; 土壤电导率用 5:1 水土比浸提, 浸提清液

用电导电极法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 蔬菜地土壤的 pH 状况

水稻土在连续种植水稻的情况下, 土壤 pH 值趋向于中性范围 (6.0~7.5)<sup>[6]</sup>, 而南京市南郊水稻田土壤的 pH 介于 6.25~8.25 之间, 与第二次土壤普查资料相比 (表 1), 土壤 pH 的平均值略有上升; 露天蔬菜地土壤的 pH 介于 5.13~8.35 之间, 在 72 个露天蔬菜地样品中, 土壤 pH 高于第二次土壤普

查时菜园土 pH 的所占比例为 63 %, 高于第二次土壤普查时水稻土 pH 的所占比例为 56 %, 土壤 pH 的平均值也略有上升; 大棚蔬菜地土壤的 pH 介于 5.25~7.93, 平均值比第二次土壤普查时水稻田土壤和露天蔬菜地土壤 pH 分别下降了 0.52、0.12, 比现今水稻田土壤和露天蔬菜地土壤 pH 分别下降了 0.87、0.30。黄锦法等<sup>[1]</sup>研究表明, 嘉兴地区稻麦轮作田改为保护地菜地后, 土壤 pH 值比第二次土壤普查蔬菜地或现今仍为水稻种植的土壤下降了约 0.9, 反映了大棚土壤的酸化是一个普遍的问题。

表 1 土壤 pH 及盐分状况  
Table 1 pH and salinity of the soils tested

	pH			盐分			
	平均值	标准差	变异系数	总盐 (g/kg)	标准差	变异系数	电导率 (mS/cm)
1985 年水稻田*	7.45						
1985 年菜园土*	7.05						
水稻田 (3)	7.80	0.16	0.02	0.43	0.43	1.01	0.6196
露天蔬菜地 (72)	7.23	0.87	0.12	0.77	0.68	0.89	0.1391
大棚蔬菜地 (10)	6.93	0.89	0.13	2.27	1.44	0.63	0.2391

\*1985 年第二次土壤普查资料, 见《南京市雨花台区土壤志》。

因蔬菜大棚多由水稻田或露天蔬菜地改建而来, 以上分析说明南京市郊区的水稻田土壤与露天蔬菜地土壤的 pH 与历史相比有上升的趋势, 这可能与使用受工业污染而 pH 较高的灌溉水有关, 南京市农业部门近年来调查了南京市附近地表水的 pH 值, 发现与历史数据相比, 地表水的 pH 值有一定的上升; 而大棚土壤则有明显的下降趋势, 经统计检验 3 种现代农业土壤之间 pH 值差异没有达到显著性水平。

### 2.2 蔬菜地土壤的次生盐渍化状况

水稻田土壤的总盐含量介于 0.12~0.92 g/kg 之间, 露天蔬菜地土壤的总盐含量介于 0.06~3.26 g/kg 之间, 大棚土壤的总盐含量介于 0.58~4.88 g/kg 之间。与文献报道的其他地区大棚蔬菜地土壤盐分总量相比, 南京市郊区大棚土壤盐分含量除低于山东寿光 (0.72~12.02 g/kg, 均值 4.70 g/kg)<sup>[7]</sup>外, 与东北哈尔滨 (1.03~4.68 g/kg, 均值 2.49 g/kg)<sup>[2]</sup>、浙江嘉兴 (0.97~6.12 g/kg, 均值 2.97 g/kg)<sup>[1]</sup>基本处于同一水平。

根据滨海盐土的定义<sup>[8]</sup>, 土壤表层含盐量 4~6 g/kg, 为强度盐化土, 2~4 g/kg 为中度盐化土, 1~2 g/kg 为轻度盐化土。按此标准, 露天蔬菜地土壤

有 6.6 % 为中度盐化土, 21 % 为轻度盐化土; 大棚蔬菜地土壤中 10 % 为强度盐化土, 40 % 为中度盐化土, 30 % 为轻度盐化土。

从土壤盐分平均值看 (表 1), 露天蔬菜地土壤盐分比现今水稻田土壤增加了 79 %, 大棚蔬菜地土壤比现今水稻田土壤增加了 428 %, 比露天蔬菜地土壤增加了 195 %。经统计检验, 露天蔬菜地土壤总盐含量与现今水稻田土壤之间没有差异, 而大棚土壤总盐含量与水稻田土壤和露天蔬菜地土壤差异达极显著水平。说明南京市南郊大棚蔬菜地土壤与水稻田和露天蔬菜地土壤相比有明显的盐分累积。

### 2.3 蔬菜地土壤盐分的离子组成

从土壤盐分离子组成上来看 (表 2), 水稻田土壤  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  占了土壤盐分总量的将近 60 %,  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  的含量远高于  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$ , 露天蔬菜地土壤和大棚蔬菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  占了盐分总量的将近 67 %~75 %, 其中  $\text{NO}_3^-$  含量又远高于  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ 。从不同种植类型土壤盐分离子的含量上来看 (表 2), 水稻土的  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  高于蔬菜地土壤, 蔬菜地土壤的  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$  高于水稻田土壤, 大棚蔬菜地土壤的  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$  又高于露天蔬菜地土壤。反映出水稻田土壤盐分的阴离子组成主

要以  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 而蔬菜地土壤积盐主要以  $\text{NO}_3^-$  为主,  $\text{Cl}^-$  也有一定的累积。3 种类型土壤

的阳离子除露天蔬菜地土壤的  $\text{Na}^+$  明显高于其他两种类型土壤外,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  变化不是很大。

表 2 土壤 8 种离子含量 (cmol/kg) 及占总盐百分比 (%)

Table 2 Contents of major ions in the soil and their percentages to total salt

		$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
水稻田 (3)	平均值	0.0032	0.0022	0.0131	0.0180	0.0076	0.0022	0.0005	0.0032
	百分比	6.05	4.46	24.76	34.03	14.37	4.16	0.95	6.05
露天蔬菜地 (72)	平均值	0.0630	0.0196	0.0218	0.0127	0.0244	0.0037	0.0016	0.0143
	百分比	39.98	12.25	13.63	7.94	15.25	2.31	1.00	8.94
大棚蔬菜地 (10)	平均值	0.1327	0.0507	0.0437	0.0032	0.0546	0.0131	0.0034	0.0055
	百分比	43.61	16.66	14.36	1.05	17.94	4.30	1.12	1.81

长期过量施用有机肥和化肥以及人为调控下的耕作管理措施是导致大棚蔬菜地土壤 pH 变化与盐分累积的主要原因。夏立忠等<sup>[9]</sup>调查了苏州市某园艺场设施大棚, 开始时施用 50 t/hm<sup>2</sup> 鸡猪粪等有机物料用于改良土壤, 以后则每年每茬施用 2000 kg/hm<sup>2</sup> 复合肥和 2000 kg/hm<sup>2</sup> 过磷酸钙作为基肥, 并适当追施 150 ~ 300 kg/hm<sup>2</sup> 尿素。我们在南京市郊区的调查结果表明, 露天蔬菜地每年施用有机肥 2000 ~ 5000 kg/hm<sup>2</sup>、每茬施用复合肥 750 ~ 1500 kg/hm<sup>2</sup>, 大棚施肥量更高。上述施入的 N、P 量分别超过蔬菜作物吸收的 1 ~ 2 倍和 4 ~ 6 倍。含 N 肥料在好气条件下经硝化作用转化为  $\text{NO}_3^-$ , 同时释放出  $\text{H}^+$ , 过量  $\text{H}^+$  超出土壤对酸的缓冲能力后有可能导致土壤 pH 的下降, 而大量超过作物吸收的  $\text{NO}_3^-$  则滞留在土壤中。南京市地处湿润的亚热带季风气候区, 全年降水丰沛, 自然状态下接受雨水淋洗的土壤很难积盐, 而大棚栽培是一种受人为因素作用十分强烈的利用方式, 大棚薄膜的覆盖不仅阻挡了降水对土壤盐分的自然淋洗, 而且提高了棚内和土壤的温度, 增加了土壤水分的蒸发, 导致以  $\text{NO}_3^-$  为主要组分的盐分在土壤表层的累积和土壤 pH 的下降。同时, 蔬菜作物多长期施用酸性肥料, 如氯化钾、过磷酸钙、含氯及含硫复合肥等, 以及大量有机肥分解产生的有机酸、营养阳离子被作物吸收产生的生理酸等, 又进一步加剧了土壤的酸化。

### 3 主要结论

(1) 南京市南郊露天农用地土壤 pH 与历史相比有上升的趋势, 而大棚蔬菜地土壤由于过量施用有

机肥和化学肥料, 土壤有酸化的趋势。

(2) 南京市南郊大棚蔬菜地土壤积盐状况较为严重, 按照滨海盐渍土的定义, 80 % 的土壤为轻度以上盐化土, 50 % 的土壤为中度以上盐化土, 10 % 的土壤为强度盐化土。

(3) 南京市南郊大棚蔬菜地土壤次生盐渍化主要表现为  $\text{NO}_3^-$  在土壤中的大量累积。

### 参考文献

- 1 黄锦法, 曹志洪, 李艾芬, 张蚕生. 稻麦轮作田改为保护地菜田土壤肥力质量的演变. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 (1): 19 ~ 25
- 2 刘德, 吴凤芝. 哈尔滨市郊蔬菜大棚土壤盐分状况及影响. 北方园艺, 1998, (2): 1 ~ 2
- 3 戎秋涛, 杨春茂, 徐文彬. 土壤酸化研究进展. 地球科学进展, 1996, 11 (4): 396 ~ 401
- 4 薛继澄, 毕德义, 李家金, 殷永娴, 吴志行. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子及对策. 土壤肥料, 1994, (1): 4 ~ 9
- 5 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, 156 ~ 157
- 6 朱祖祥主编. 土壤学. 北京: 农业出版社, 1983, 71 ~ 72
- 7 李文庆, 骆洪义, 丁方军, 刘加芬. 大棚栽培后土壤盐分的变化. 土壤, 1995, 27 (4): 203 ~ 205
- 8 熊毅, 李庆逵. 中国土壤. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 1990, 242 ~ 243
- 9 夏立忠, 杨林章, 王德建. 苏南设施栽培旱作人为土养分与盐分状况的研究. 江苏农业科学, 2001, (6): 43 ~ 46, 69

## CHANGE IN pH AND SALINITY OF VEGETABLE SOIL UNDER INTENSIVE CULTIVATION

— A CASE STUDY OF SOUTHERN SUBURBS OF NANJING

WANG Hui<sup>1, 2, 3</sup> DONG Yuan-hua<sup>1, 2, 3</sup> AN Qiong<sup>1, 2</sup> SUN Hong-xia<sup>4</sup>

( 1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; 2 Institute of Soil Science, Chinese Academy

of Sciences & Hongkong Baptist University Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Nanjing 210008;

3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

4 Nanjing Yuhuatai District Agriculture Bureau, Nanjing 210012)

**Abstract** Change in pH and salinity of the vegetable soil in the southern suburbs of Nanjing was investigated. The results showed that pH of the soil under plastic greenhouse reduced by 0.30 ~ 0.87 unit, compared to that of the soil in open vegetable fields. The salinity of the soil in plastic greenhouses rose drastically, which largely resulted from increase in nitrate.

**Key words** Soil pH, Salinity, Vegetable soil, Southern suburbs of Nanjing

\*\*\*\*\*

## 欢迎订阅 2006 年《土壤学报》

《土壤学报》是中国土壤学会主办、中国科学院南京土壤研究所承办、科学出版社出版的学术性期刊，主要刊登土壤科学各分支学科及相关领域（如植物营养科学、肥料科学、环境科学、国土资源等领域）的最新研究成果，包括学术论文、研究简报、综述与专论、问题讨论等。读者对象主要为土壤学及相关学科的科技人员、高等院校师生和管理干部等。

《土壤学报》2006 年为双月刊，大 16 开，160 页，国内外公开发行。国内统一刊号：CN 32-1119/P，国际标准刊号：ISSN 0564-3929。国内邮发代号：2-560，每期定价 50.00 元，全年定价 300.00 元；国外邮发代号：BM45，每期定价 50.00 美元，全年定价 300.00 美元。订购处：全国各地邮局。总发行：科学出版社；地址：北京东黄城根北街 16 号；邮政编码：100717；电话：010-64034563；E-mail: journal@cspg.net。

编辑部地址：南京市北京东路 71 号 中国科学院南京土壤研究所《土壤学报》编辑部。邮政编码：210008；电话：025-86881237，86881238；传真：025-86881000；E-mail: actapedo@issas.ac.cn；网址：<http://trxb.periodicals.net.cn>，<http://trxb.chinajournal.net.cn>。