

# 高度集约化利用下蔬菜地土壤养分累积状况<sup>①</sup>

## 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>, 刘庆淮<sup>5</sup>, 刘正柱<sup>5</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; 5 淮安市农业局, 江苏淮安 223001)

**摘 要:** 本文以南京市南郊蔬菜地土壤为研究对象, 全面调查了蔬菜地土壤有机质、全 N、全 P、全 K、速效 P、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 等养分指标的累积状况。调查结果显示, 与水稻田土壤相比, 土壤养分均有不同程度的累积, 尤以大棚土壤速效 P、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积为甚; 但与第二次土壤普查资料相比, 土壤有机质、全 K 均有不同程度的下降, 全 P 略有上升。平衡的施肥制度和合理的耕作管理体系是保持土壤养分平衡的关键。

**关键词:** 南京市南郊; 蔬菜地; 土壤养分

**中图分类号:** S158.3; S155.4<sup>†</sup>1

蔬菜种植是一种高度集约化的农业土地利用方式, 其农药、肥料、农膜等农业生产资料的投入是一般粮食作物的数倍甚至数十倍。蔬菜地施肥往往具有肥料施用量过大, N、P、K 比例不协调的特点<sup>[1]</sup>。超过蔬菜生长需求的土壤养分不仅造成肥料资源的大量浪费, 滞留在土壤中的养分还会造成土壤的“富营养化”和养分的“非均衡化”<sup>[2]</sup>; 土壤中大量易溶于水的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、速效 P 不仅影响农产品的品质<sup>[3]</sup>, 而且往往还成为周边大气和水环境的污染源<sup>[4]</sup>。目前, 我国蔬菜的播种面积已经超过 1.1×10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>, 占全国农作物播种面积的 1/10<sup>[5]</sup>, 因此, 需要对蔬菜地的土壤养分状况进行调查, 以为能够建立科学的平衡施肥制度和合理的耕作管理体系提供依据。2002 年我们以南京市郊区为例, 以水稻田土壤为对照, 对蔬菜地土壤养分状况进行了调查研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

调查区域选在南京市南郊, 地理位置介于北纬 31°55′~32°05′, 东经 118°37′~118°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快速发展, 南

京市南郊的土地利用空间分布格局发生了较大的变化, 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。

### 1.2 材料与方法

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 km<sup>2</sup>, 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。同时在附近有水稻田分布的地方采集水稻田土壤作为对照。采样时间为 2002 年 5 月中旬左右, 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, 因南京市南郊有一定面积的葡萄园, 故也将其归入蔬菜地土壤一并调查, 采回蔬菜地土壤 82 个 (包括 10 个蔬菜大棚土壤、72 个露天蔬菜地土壤), 水稻田土壤 3 个, 葡萄园土壤 3 个, 合计 88 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 1kg 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 ℃ 下保存用于测定土壤的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, 其余土壤风干后研磨装袋用于测定土壤速效 P、有机质、全 N、全 P、全 K。

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-417) 和江苏省环境保护厅项目 (2004020) 资助。

\* 通讯作者

作者简介: 王辉 (1971—), 男, 江苏盐城人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事土壤环境与污染生态研究。

土壤养分的分析方法参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[6]</sup>, 其中土壤  $\text{NO}_3^-$ -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。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤速效养分

与一般农田土壤 (水稻田土壤) 相比, 蔬菜地土壤的  $\text{NO}_3^-$ -N、速效 P 含量均高于水稻田土壤 (图 1、2)。大棚蔬菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 介于 10.4 ~ 67.5 mg/kg 之间, 其平均值比水稻田土壤高出近 36 倍, 与水稻田土壤达极显著差异 (表 1); 露天蔬菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 介于 0.40 ~ 71.2 mg/kg 之间, 其平均值比水稻田土壤高出近 15 倍, 葡萄园土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 介于 3.2 ~ 21.9 mg/kg 之间, 其平均值比水稻田土壤也高出 10 倍。上述 4 种土壤中应予关注的是大棚蔬菜地土壤, 其  $\text{NO}_3^-$ -N 含量远高于其他 3 种类型的土壤, 统计检验达极显著差异水平, 而露天蔬菜地土壤、葡萄园土壤、水稻田土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量经统计检验差异不显著。与近期文献报道的全国其他地区相比, 南京市郊区大棚蔬菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 水平除高于沈阳郊区<sup>[7]</sup> (5.0 mg/kg) 大棚土壤外, 均低于山东寿光 (430.0 mg/kg)<sup>[8]</sup>、浙江嘉兴<sup>[3]</sup> (272.2 mg/kg)、江苏无锡<sup>[9]</sup> (79.0 mg/kg) 和苏州太仓<sup>[10]</sup> (44.9 mg/kg) 的调查结果。除不同地区的施肥水平差异外, 采样时间的不同可能也是造成土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 差异的原因之一, 离施肥时间越近, 土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量越高。

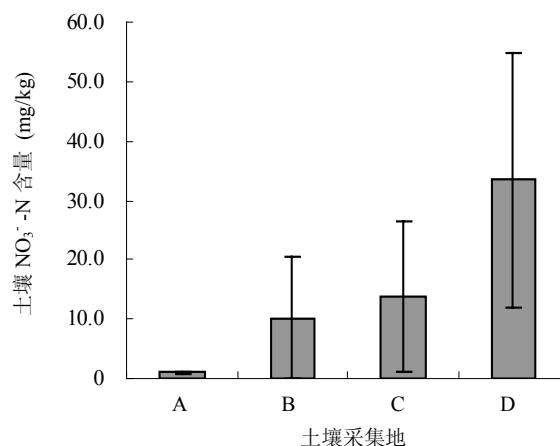


图 1 土壤  $\text{NO}_3^-$ -N (A: 水稻田, B: 葡萄园, C: 露天蔬菜地, D: 大棚蔬菜地, 下同。)

Fig. 1  $\text{NO}_3^-$ -N of soils

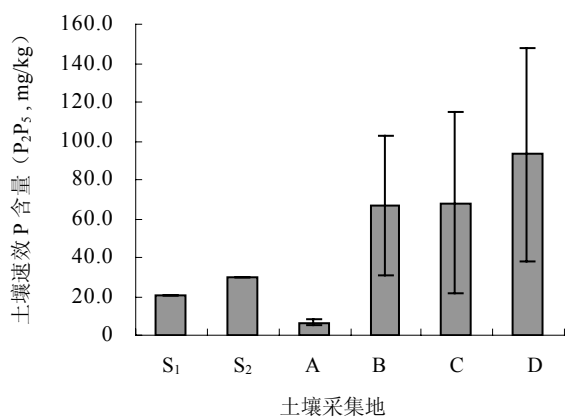


图 2 土壤速效 P (S<sub>1</sub>: 第二次土壤普查水稻田, S<sub>2</sub>: 第二次土壤普查菜园土, 下同)

Fig. 2 Redaily available P of soils

表 1 土壤养分的差异性分析 (0.05/0.01) \*

Table 1 Statistic analysis of soil nutrients

	$\text{NO}_3^-$ -N	速效 P ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	有机质	全 N	全 K ( $\text{K}_2\text{O}$ )	全 P ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )
水稻田	a/A	a/A	a/A	a/A	a/A	a/A
葡萄园	a/A	b/AB	a/A	a/A	b/B	b/B
蔬菜地	a/AB	b/AB	a/A	a/A	b/B	b/B
大棚蔬菜地	b/B	b/B	a/A	a/A	b/B	b/B

\*Duncan 检验, 小写字母为  $P < 0.05$ ; 大写字母为  $P < 0.01$ 。

大棚蔬菜地土壤速效 P 含量介于 50.0 ~ 219.0 mg/kg 之间, 露天蔬菜地土壤介于 11.0 ~ 227.0 mg/kg 之间, 葡萄园土壤介于 40.0 ~ 107.0 mg/kg 之间, 分别比作为对照的水稻田土壤高出 15、10、10 倍; 大棚土壤、露天蔬菜地土壤、葡萄园土壤与水稻田土壤的差异均达到显著水平 (表 1); 与第二次土壤普查相比 (图 2), 水稻田土壤速效 P 含量有较大幅度

的下降, 而蔬菜地土壤有较大幅度的上升, 这在一定程度上反映了南京市郊区蔬菜地土壤速效 P 普遍富余的问题。

近年来, 随着蔬菜种植业和设施农业的快速发展, 蔬菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ -N、速效 P 的累积问题比较突出, 概括起来主要的原因是大量有机肥和化学肥料的投入, 远远超出了作物生长的需求, 尤其是蔬菜

温室大棚，其特殊的人为环境及不同于露天蔬菜地的施肥、耕作管理措施，更有利于土壤速效养分的富集。就南京市郊区的情况来说，露天蔬菜地土壤的  $\text{NO}_3^-$ -N 富余问题尚不是很突出， $\text{NO}_3^-$ -N 的含量基本上均低于有关学者推荐的种植蔬菜时土壤无机 N 的含量标准<sup>[11]</sup>：60 (矿质土壤，有机质含量 25 g/kg) ~ 90 mg/kg (有机土壤，有机质含量 50 g/kg)；大棚土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 富余问题应引起重视，尤其是少部分较大规模的设施农业基地，其肥料的投入往往要高于一般农户管理的大棚，在调查的 10 个大棚土壤中，高于平均值的样品为 2 个，均为当地农业管理部门经营管理的规模化园艺场，其  $\text{NO}_3^-$ -N 含量分别达到了 66.7 mg/kg 和 67.5 mg/kg。

## 2.2 土壤有机质

与一般农田相比，除葡萄园土壤有机质含量稍低于水稻田土壤外，蔬菜地土壤的有机质含量均高于水稻田土壤，其中大棚蔬菜地土壤有机质含量介于 8.70 ~ 40.0 g/kg，其平均值比水稻田土壤高出近 49%，露天蔬菜地土壤有机质含量介于 10.9 ~ 35.4 g/kg，其平均值比水稻田土壤高出近 36% (图 3)；4 种土壤有机质含量经统计检验差异未达显著水平 (表 1)。与第二次土壤普查资料相比 (图 3)，本次调查的水稻田土壤和蔬菜地土壤有机质含量均有不同程度的下降，其中水稻田土壤比第二次土壤普查时水稻田土壤有机质含量下降了 28%，露天蔬菜地土壤比第二次土壤普查时蔬菜地土壤有机质含量下降了 30%，大棚土壤也比第二次土壤普查时蔬菜地土壤有机质含量下降了 24%，说明目前南京市郊区蔬菜地土壤有机质含量虽然高于现在水稻田土壤，但

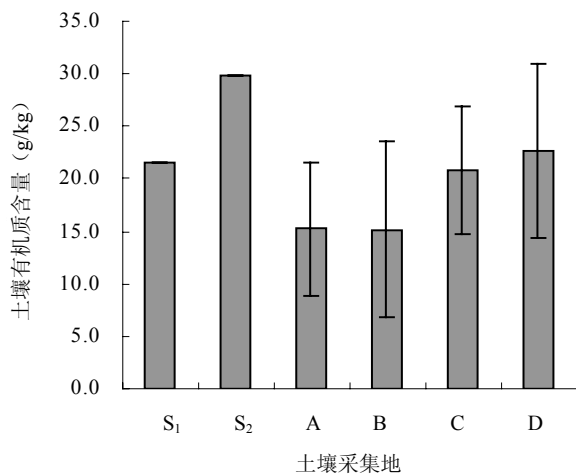


图 3 土壤有机质

Fig. 3 Organic matter of soils

与第二次土壤普查时蔬菜地土壤的有机质含量相比，均有不同程度的下降，结合蔬菜地土壤速效养分的富余特点，可在一定程度上反映南京市郊区蔬菜地土壤肥料使用上重施无机肥、轻施有机肥的特点。

## 2.3 土壤全 N、全 P、全 K

土壤全 N 与土壤有机质有类似的变化规律，平均值以大棚土壤最高，其次分别为露天蔬菜地土壤、葡萄园土壤、水稻田土壤，其中大棚蔬菜地土壤全 N 量介于 0.79 ~ 2.66 g/kg 之间，露天蔬菜地土壤介于 0.69 ~ 2.58 g/kg 之间，葡萄园介于 0.73 ~ 2.40 g/kg 之间，水稻田土壤介于 1.35 ~ 1.94 g/kg (图 4)，它们之间经统计检验差异未达到显著水平 (表 1)；4 种土壤的全 N 含量也分别低于第二次土壤普查时 (图 4) 的相应种植类型土壤的全 N 含量。

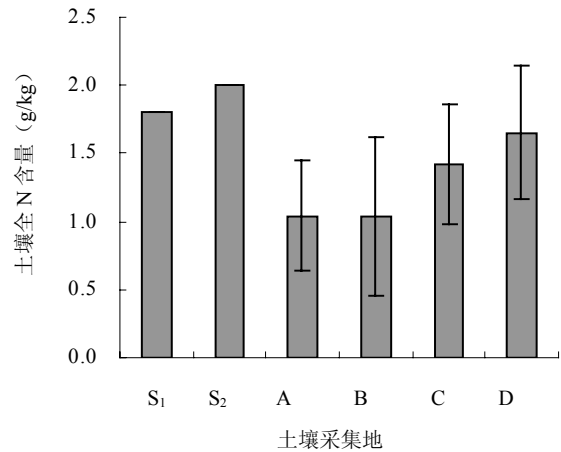


图 4 土壤全 N

Fig. 4 Total N of soils

与一般农田相比，蔬菜地土壤的全 P 含量均明显高于水稻田土壤 (图 5)，经统计检验其差异达极显著水平 (表 1)。大棚蔬菜地土壤、露天蔬菜地土

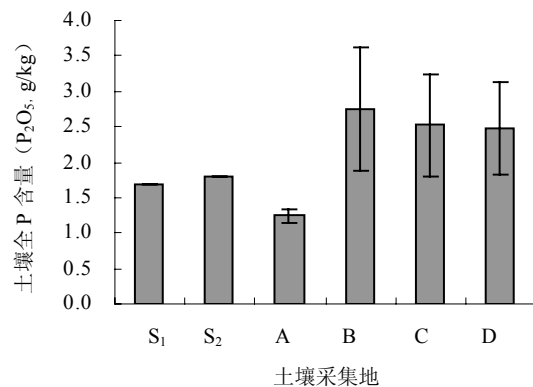


图 5 土壤全 P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Fig. 5 Total P of soils

壤、葡萄园土壤全 P 含量分别介于 1.42 ~ 3.23 g/kg、1.54 ~ 4.93 g/kg、2.12 ~ 3.73 g/kg 之间, 分别比水稻田土壤高出 99%、100%、121%; 与第二次土壤普查相比, 水稻田土壤全 P 含量有所下降, 而 3 种蔬菜地土壤全 P 含量则高于第二次土壤普查时的水稻田和蔬菜地土壤 (图 5); 3 种蔬菜地土壤全 K 含量也高于水稻田土壤, 分别比水稻田土壤高出 51%、50%、54%; 3 种蔬菜地土壤全 P、全 K 含量在排序上均为葡萄园土壤 > 露天蔬菜地土壤 > 大棚蔬菜地土壤 (图 6)。从 3 种蔬菜地土壤全 P、全 K 含量排序上反映出葡萄园可能施入了较多的 P、K 复合肥。

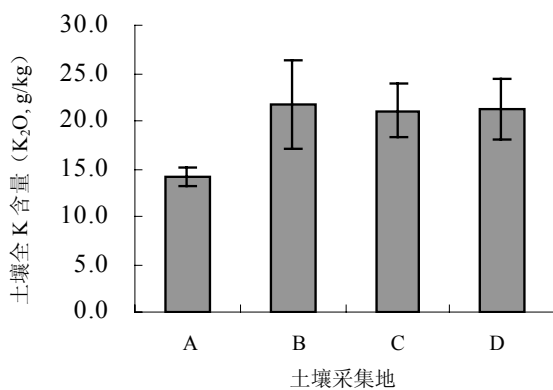


图 6 土壤全 K (K<sub>2</sub>O)

Fig. 6 Total K of soils

## 2.4 土壤养分的标准差和变异系数

标准差可用来表示一个样本群体内的变异或离散程度, 变异系数则可用来表示平均数或单位不同的多个样本间的变异程度。比较不同用地类型和比较不同土壤养分的标准差和变异系数, 能在一定程度上反映土壤样品所代表的用地类型和土壤不同化学组分的组内和组间的变异程度和均一性。从表 2 可以看出, 大棚蔬菜地土壤样品间的变异程度 (标准差) 最大, 说明大棚土壤养分与露天土壤相比, 受相对均一的自然条件影响较小而更多地受农户千差万别的人为管理措施的影响; 组间差异水稻田土壤养分的变异系数小于蔬菜地土壤养分的变异系数, 反映水稻田的土壤养分性状较均一, 土壤速效养分的变异系数要大于土壤有机质和土壤全量的变异系数, 在调查土壤速效养分时应多采一些样本。

## 3 主要结论

(1) 与一般农田相比, 南京市郊区蔬菜地土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、速效 P 均有不同程度的累积, 尤以大棚蔬菜地土壤为甚, 但与全国部分其他地区相比, 大棚蔬菜地土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积水平要低于其他地区, 只要采取适当的耕作管理和施肥措施, 完全可以解决土壤速效养分的累积问题。

表 2 土壤养分的标准差和变异系数 (SD/CV)\*

Table 2 SD and CV of soil nutrients

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	速效 P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	有机质	全 N	全 K (K <sub>2</sub> O)	全 P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	平均
水稻田 (3)	0.26/0.27	1.66/0.26	6.44/0.42	0.40/0.39	0.95/0.07	0.10/0.08	1.64/0.25
葡萄园 (3)	10.28/1.02	35.72/0.53	8.34/0.55	0.58/0.56	4.66/0.21	0.87/0.32	10.08/0.53
蔬菜地 (76)	12.64/0.92	46.72/0.69	6.03/0.29	0.44/0.31	2.77/0.13	0.72/0.29	11.55/0.44
大棚蔬菜地 (10)	21.36/0.64	54.71/0.59	8.31/0.37	0.49/0.30	3.11/0.15	0.65/0.26	14.77/0.38
平均	11.14/0.71	34.70/0.52	7.28/0.41	0.48/0.39	2.87/0.14	0.58/0.24	

\* SD/CV: SD 为标准差; CV 为变异系数, 其值 = 标准差/平均值。

(2) 南京市郊区蔬菜地的土壤有机质、全 N、全 P、全 K 含量均高于水稻田土壤, 但与第二次土壤普查相比, 有机质、全 N 含量有不同程度的下降, 全 P 含量略有上升。

(3) 从所调查样品的变异系数看, 水稻田土壤的变异系数小于蔬菜地土壤, 土壤速效养分的变异系数要大于土壤有机质和全量, 在调查不同种植方式的土壤或不同土壤化学组分时应予以注意。

## 参考文献:

- [1] 秦巧燕, 贾陈忠, 曲东, 同延安, 王荣堂. 我国设施农业发展现状及施肥特点. 湖北农学院学报, 2002, 22 (4): 373-376
- [2] 黄锦法, 曹志洪, 李艾芬, 张蚕生. 稻麦轮作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
- [3] 任祖淦, 邱孝焯, 蔡元呈. 化学肥料对蔬菜硝酸盐污染

- 影响的研究. 中国环境科学, 1997, 17 (4): 326-329
- [4] 张新明, 李华兴, 吴文良. 氮素肥料对环境与蔬菜的污染及其合理调控途径. 土壤通报, 2002, 33 (6): 471-475
- [5] 中国农业统计年鉴. 2002
- [6] 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: 156-157
- [7] 孟鸿光, 李中, 刘乙俭, 金福兰, 尹长安, 姜文君, 张基迁, 王洪凤. 沈阳城郊温室土壤特性调查研究. 土壤通报, 2000, 31 (2): 70-73
- [8] 李文庆, 骆洪义, 丁方军, 刘加芬. 大棚栽培后土壤盐份的变化. 土壤, 1995, 27 (4): 203-205
- [9] 夏立忠, 杨林章, 王德建. 苏南设施栽培旱作为人为土养分与盐份状况的研究. 江苏农业科学, 2001 (6): 43-46, 69
- [10] 王霞, 董元华, 王辉, 安琼. 太仓菜地土壤硝态氮状况. 土壤, 2004, 36 (1): 68-70
- [11] 杨丽娟, 张玉龙. 保护地菜田土壤硝酸盐积累及其调控措施的研究进展. 土壤通报, 2001, 32 (2): 66-69

## Nutrient Accumulation in Intensively Vegetable Soils in the Southern Suburb 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>, LIU Qing-hai<sup>5</sup>, LIU Zheng-zhu<sup>5</sup>

( 1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences & Hongkong Baptist University Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Nanjing 210008, China; 3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4 Nanjing Yuhuatai District Agriculture Bureau, Nanjing 210012, China; Huaian Agriculture Bureau, Huaian, Jiangsu 223001, China )

**Abstract:** Nutrients in vegetable soils in south suburb of Nanjing were investigated. The results showed that nutrients in vegetable soil accumulated, compared to those in paddy soil.  $\text{NO}_3^-$ -N and readily available P accumulated the most in the soil in plastic greenhouse. But organic matter, total nitrogen and total potassium decreased below those in 1980s. Total phosphorus increased over those in 1980s.

**Key words:** Vegetable soil, Nutrient, Nanjing South Suburb