

## 蔬菜温室土壤某些化学性质的演变特征\*

刘艳军<sup>1,2</sup> 姜勇<sup>1\*\*</sup> 梁文举<sup>1</sup> 李琪<sup>1,2</sup> 闻大中<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100039)

**Soil chemical property changes in vegetable greenhouse fields.** LIU Yanjun<sup>1,2</sup>, JIANG Yong<sup>1</sup>, LIANG Wenju<sup>1</sup>, LI Qi<sup>1,2</sup>, WEN Dazhong<sup>1</sup> (*<sup>1</sup>Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; <sup>2</sup>Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(11):2218~2220.

To explore the changes of soil chemical properties in vegetable greenhouse, a comparative study was carried out with the samples gathered from vegetable greenhouse fields and their adjacent upland fields in Damintun Town, Xinming County, Liaoning Province. The results showed that compared with upland fields, the contents of soil organic carbon and total nitrogen in greenhouse fields increased significantly. At the depth of 0~30 cm, soil organic carbon in greenhouses of 1-, 4- and 10-year increased by 31.09%, 35.44%, and 66.80%, respectively, compared with the upland soil. Soil nitrate content at the depth of 0~30 cm in greenhouse fields was 5.05~12.49 times as much as that in upland fields. The nitrate content in different soil layers increased with the increasing age of greenhouse field, *e. g.*, at the depth of 20~30 cm, soil nitrate content was significantly higher in 10-year than in 1- and 4-year greenhouse field, with an increase of 65.73% and 50.89%, respectively, and 6.55 times as much as that in upland field, which indicated that soil nitrate transported downwards, and obviously enriched in deeper soil layers under heavy application of fertilizer. Also with the increasing age of greenhouse field, soil pH decreased, while soil soluble salts accumulated.

**Key words** Vegetable greenhouse, Upland vegetable field, Soil chemical property, Nitrate enrichment.

文章编号 1001-9332(2005)11-2218-03 中图分类号 S153, S158.5 文献标识码 A

### 1 引言

温室蔬菜生产具有许多露地栽培无可比拟的优点,如通过人工调节水、肥、气、热条件,充分利用光能进行高效生产,使土地生产力和光能利用率成倍提高.然而,由于温室土壤常处于半封闭状态下,气温高,湿度大,水分蒸发量大,缺少雨水淋洗,化肥及有机肥投入量大,土壤利用频度高,与露地土壤环境条件存在明显差别<sup>[2,9,10,16]</sup>.蔬菜栽培几年后,温室土壤的基本性状会发生明显变化,从而导致土壤化学性质发生明显变化,并进一步影响蔬菜的生长发育及产量、品质等<sup>[2~5,7,13]</sup>.本文对辽宁省新民市大民屯蔬菜基地不同使用年限蔬菜温室的不同深度土壤化学性质的变化进行对比研究,旨在了解高量施肥条件下温室土壤基本化学性质的演变特征,为蔬菜温室土壤健康与可持续利用、促进我国北方寒区温室蔬菜生产发展提供理论依据.

### 2 材料与方法

#### 2.1 试验设计

研究地点位于辽宁省新民市大民屯镇朱家房村(41°50'N, 122°55'E).大民屯镇是沈阳市最大的蔬菜生产基地,有蔬菜温室 2 000 hm<sup>2</sup>,发展大规模温室蔬菜生产已有 10 年历史,在温室蔬菜生产方面具有很好的代表性.研究地点土壤类型为耕型淤黄壤质草甸土.试验所选择的蔬菜温室分别建

于 1994、2000 和 2003 年,对应的使用年限分别为 10、4 和 1 年.每个温室的面积约为 0.1 hm<sup>2</sup>,供试蔬菜为番茄,每年施腐熟有机肥 80 t·hm<sup>-2</sup>,化肥 4 000 kg·hm<sup>-2</sup>.实地调查后,从不同使用年限的温室中各选择一个管理措施相对稳定且具有代表性的温室作为研究对象.选择相邻的露地菜田作对照(CK).2004 年 10 月 16 日采集土壤样品,在每个温室内按 3~5 m 的间距随机 3 点和 0~10、10~20 和 20~30 cm 3 个深度采集土样.每个处理 4 次重复.

#### 2.2 测定方法

土壤有机碳采用 TOC-5000A 型固体有机碳分析仪测定;全 N 采用开氏蒸馏法测定;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 用 MgO-代氏合金蒸馏法测定;土壤含盐量以水土比为 5:1 的土壤溶液,经振荡 3 min 放置澄清 0.5 h 后,用电导仪测定的电导率(EC)值来表示;土壤 pH 值用酸度计法测定(水土比 2.5:1)<sup>[12]</sup>.数据处理和统计分析采用 Microsoft Excel 和 SPSS 10.0 软件.

### 3 结果与分析

#### 3.1 高量施肥条件下土壤有机碳的变化

与相邻的露地蔬菜田土壤相比,不同种植年限温室土壤

\* 国家“863”计划重大项目(2004AA246020)和辽宁省博士启动基金资助项目(20031008).

\*\* 通讯联系人.

2004-12-30 收稿,2005-03-28 接受.

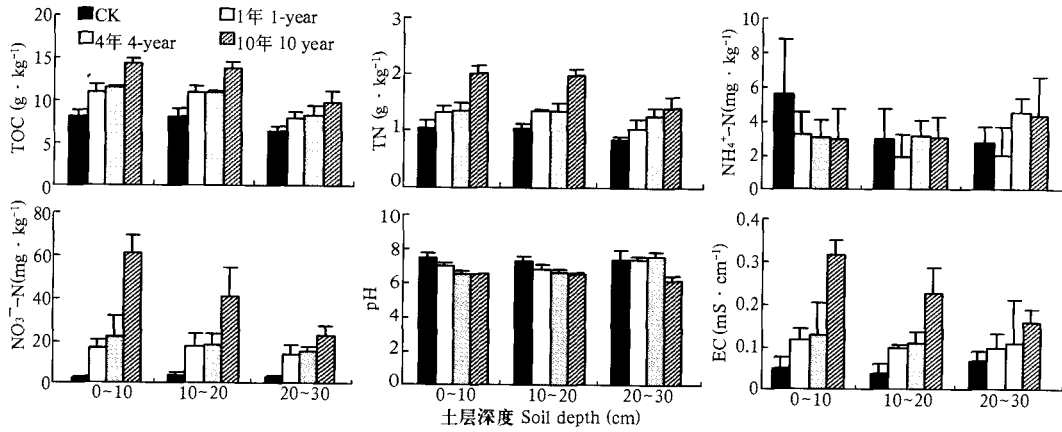


图1 不同处理及不同深度土壤化学性质的变化趋势  
Fig. 1 Change of soil chemical parameters among treatments and depths.

有机碳(TOC)含量均显著提高(图1).使用年限为1、4和10年的蔬菜温室 TOC 含量分别比露地菜田土壤增加 31.09%、35.44%和 66.80%,而随着土层深度的增加,TOC 含量均呈下降趋势.多因素方差分析表明,不同处理及不同土层深度之间 TOC 含量差异均极显著( $P < 0.001$ )(表1).

表1 不同处理及不同深度土壤化学性质差异显著性检验  
Table 1 Univariate analysis of variance for soil chemical properties among treatments and depths

项目 Item	处理 Treatment		深度 Depth	
	F 检验 F-test	P	F 检验 F-test	P
有机碳 TOC	66.121	<0.001	63.565	<0.001
全 N Total N	57.93	<0.001	18.079	<0.001
铵态氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$	1.639	0.195	1.296	0.284
硝态氮 $\text{NO}_3^-\text{-N}$	21.545	<0.001	4.601	0.016
pH	15.926	<0.001	1.485	0.238
电导率 EC	24.33	<0.001	1.926	0.158

肖千明等<sup>[14]</sup>对辽宁省4个重点蔬菜产区不同种植年限保护地耕层土壤养分进行比较也发现,TOC 含量随保护地种植年限的延长而增加的趋势明显.赵风艳等<sup>[17]</sup>的研究也表明,温室菜地 TOC 含量较露地土壤明显增加,种植5年以上的温室与露地 TOC 含量差异均极显著,TOC 随种植年限增加而增加.温室 TOC 含量高,主要是由于蔬菜温室每年大量施用有机肥的结果,另外与温室周年进行多茬生产,残留在土壤中的根系量很大,有机碳含量增加<sup>[1]</sup>也有一定关系.

3.2 高量施肥条件下土壤 N 素的变化

0~30 cm 温室土壤全 N 含量显著高于露地菜田(图1).使用年限为1、4和10年的蔬菜温室土壤全 N 含量分别比露地菜田土壤增加 26.26%、35.35%和 83.84%.多因素方差分析表明,不同处理及不同土层深度之间土壤全 N 含量差异均极显著( $P < 0.001$ )(表1).土壤全 N 含量随土壤深度的增加而下降,随蔬菜温室使用年限增加而上升(图1).不同处理土壤全 N 变化趋势及变化幅度与 TOC 的变化趋势相近.土壤全 N 含量与 TOC 含量呈显著正相关(表2).

温室与露地菜田相比,土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量显著提高,是露地菜田土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量的 5.05~12.49 倍.随着温室种植年限的增加,土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量在各土层均呈增加的趋势;

表2 温室土壤不同化学指标间的相关性

Table 2 Correlation coefficients for soil properties in different greenhouses

项目 Item	有机碳 TOC	全 N Total N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	pH	电导率 EC
有机碳 TOC	1.000					
全 N Total N	0.843 **	1.000				
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	-0.122	-0.042	1.000			
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	0.642 **	0.709 **	-0.039	1.000		
pH	-0.459 **	-0.443 **	0.080	-0.333 *	1.000	
电导率 EC	0.491 **	0.717 **	-0.074	0.786 **	-0.241	1.000

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

随着土壤深度的增加,各处理土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量呈下降的趋势(图1).土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量在不同处理及不同土壤深度之间差异显著(表1).土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量与 TOC、土壤全 N、EC 等呈极显著正相关,与土壤 pH 呈显著负相关(表2).使用年限为10年的温室土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  在 20~30 cm 土层显著高于1和4年温室,分别比1和4年温室增加 65.73%和 50.89%,是露地菜田土壤的 6.55 倍,说明高量施肥条件下蔬菜温室土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  向下层移动,出现明显的积累现象.

与  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量相比,蔬菜温室土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量相对较低(图1).土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量与温室的使用年限及土壤深度之间没有明显的相关性,而且与 TOC、土壤全 N、pH、EC 等化学性质间也没有明显的相关性(表2).

硝态氮含量是旱田土壤有效氮的强度因子,直接影响作物的产量和品质,也是评价氮肥环境效应的重要指标.研究发现,蔬菜温室土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量显著增加.孟鸿光等<sup>[11]</sup>等调查也发现,沈阳市于洪区大田改建成蔬菜温室后,土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量发生明显的积累.Jiang 等<sup>[5]</sup>研究表明,沈阳市近郊菜田土壤由于高量施肥,不仅使菜田土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量显著增加,导致蔬菜硝酸盐含量超标,同时也会引起地下水  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量大幅增加.温室土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量显著提高,主要是由于在温室栽培条件下,为了使蔬菜高产,人们往往大量施用氮肥,从而在缺少降雨淋洗的半封闭条件下,残留的氮肥大部分以  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的形态滞留在土壤中;同时,硝化作用最适宜的温度为 30~35  $^{\circ}\text{C}$ ,而蔬菜温室内较高的空气和土壤温度,间接地为土壤硝化作用创造了条件;另外,蔬菜温

室内温度较高,土壤水分蒸发强烈,深层土壤中的  $\text{NO}_3^-$ -N 随水分上移,导致  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤表层聚集<sup>[15]</sup>。从表 2 可以看出, $\text{NO}_3^-$ -N 含量与 EC 呈显著正相关,说明土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量对土壤可溶性盐浓度有直接的影响。

### 3.3 高量施肥条件下土壤 pH 和盐分的变化

蔬菜温室土壤与露地菜田土壤 pH 差异极显著 ( $P < 0.001$ )。随着温室种植年限的增加,土壤 pH 呈下降趋势(图 1),而且不同土层间 pH 差异不明显 ( $P = 0.238$ ) (表 1)。温室土壤 pH 降低是由于大量施用有机肥的结果。以鸡粪、猪粪和牛粪为主的有机肥施入土壤后,有机肥腐解和微生物代谢产物产生大量的有机酸类物质,导致土壤 pH 下降<sup>[8]</sup>。

在 0~30 cm 土层中,蔬菜温室土壤 EC 值是露地菜田土壤的 2.2~4.8 倍,而且随着温室使用年限的增加土壤 EC 值逐渐增高(图 1)。从不同土层深度看,露地菜田土壤 EC 值在 20~30 cm 的土层中最高;而在蔬菜温室中,土壤 EC 值在 0~10 cm 的表土层中含量最高。其主要原因是:一方面,温室蔬菜栽培施肥量大,特别是以氮肥为主的化肥施用量大,使土壤耕层内的含盐量增加,并长期在土壤耕层积累;另一方面,温室栽培土壤长年覆盖或季节性覆盖改变了自然状态下的水热平衡,土壤得不到雨水充分淋洗,致使盐分在土壤表层中聚集<sup>[5,6]</sup>。土壤盐分浓度障碍是温室蔬菜生产过程中普遍存在的问题。连续多年栽培蔬菜的温室土壤可溶性盐积累都比较严重,已成为限制蔬菜生长的主要因子。研究表明,随温室使用年限的增加,土壤 EC 值增高,说明蔬菜温室土壤具有一定的盐渍化趋势。温室土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量也随温室使用年限的增加而显著增加,其在土壤中的积累与总盐量的积累呈极显著正相关(表 2)。由于硝酸盐是致癌物质,土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量过高,会导致蔬菜中硝酸盐含量严重超标,危害人类的身体健康。

## 4 结 论

4.1 与露地菜田土壤相比,蔬菜温室土壤有机碳含量随使用年限的增加而上升,说明在高量施用有机肥和化肥的条件下,蔬菜温室土壤有机碳含量显著提高。

4.2 土壤全 N 含量随蔬菜温室使用年限的增加而显著提高,土壤全 N 的变化与土壤有机碳变化趋势一致。随蔬菜温室使用年限的增加,土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量上升的趋势较明显,但不同使用年限的蔬菜温室之间及与露地菜田之间土壤  $\text{NH}_4^+$ -N 含量无明显差异。

4.3 蔬菜温室土壤与露地菜田土壤相比,土壤 pH 随蔬菜温室使用年限的增加呈下降趋势,说明随蔬菜温室使用年限的增加,土壤出现酸化,这主要与高量施用有机肥和化肥有关。土壤盐分随着蔬菜温室使用年限的增加而逐渐提高,盐分积累现象明显,并逐渐出现土壤盐渍化趋势。

## 参考文献

1 Chen Z-H(陈宗慧), Hu P(胡 萍), Shao Y-P(邵燕萍), et al.

2003. Physico-chemical properties of the main agro-soils in Jiading District, Shanghai. *J Shanghai Jiaotong Univ (Agric Sci)* (上海交通大学学报·农业科学版), 21(4): 313~319 (in Chinese)
- 2 Huang Y(黄 毅), Zhang Y-L(张玉龙). 2004. The soil degradation problem in greenhouse and control countermeasures. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), 35(2): 212~216 (in Chinese)
- 3 Jiang Y(姜 勇), Liang W-J(梁文举), Zhang Y-G(张玉革), et al. 2003. Status of DTPA-extractable Fe, Mn, Cu, and Zn contents in vegetable greenhouse soils. *J Agro-Environ Sci* (农业环境科学学报), 22(6): 700~703 (in Chinese)
- 4 Jiang Y(姜 勇), Zhang Y-G(张玉革), Liang W-J(梁文举). 2004. Soil exchangeable Ca and Mg contents and Ca/Mg ratio in greenhouse vegetable fields in Shenyang suburbs. *Rural Eco-Environ* (农村生态环境), 20(3): 24~27 (in Chinese)
- 5 Jiang Y, Zhang YG, Chen LJ. 2003. Status of fertilizer input and its influence on the qualities of farm produce and environment in Shenyang, China. In: Ji LZ, eds. Fertilizer, Food Security and Environmental Protection—Fertilizer in the Third Millennium-12th World Fertilizer Congress. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press. 515~523
- 6 Jiao K(焦 坤), Li D-C(李德成). 2003. Changes in soil properties and environment in vegetable greenhouses. *Soils* (土壤), 35(2): 94~97 (in Chinese)
- 7 Li W-Q(李文庆), Zhang M(张 民), Li H-F(李海峰), et al. 2002. The study of soil nitrate status in fields under plastic house gardening. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 39(2): 283~287 (in Chinese)
- 8 Liu J-L(刘建玲), Liao W-H(廖文华), Gao Z-L(高志岭), et al. 2004. The status and impact factors of accumulating in cover vegetable field in Hebei Province. *J Hebei Agric Univ* (河北农业大学学报), 27(1): 19~24 (in Chinese)
- 9 Liu Z-X(刘作新), Du Y-D(杜尧东), Cai C-G(蔡崇光), et al. 2002. Seeping irrigation effect in sunlight greenhouse. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(4): 409~412 (in Chinese)
- 10 Ma Y-H(马云华), Wei M(魏 珉), Wang X-F(王秀峰). 2004. Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(6): 1005~1008 (in Chinese)
- 11 Meng H-G(孟鸿光), Li Z(李 中), Liu Y-J(刘乙俭), et al. 2000. Survey on soil properties of greenhouse in Shenyang suburbs. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), 31(2): 70~72 (in Chinese)
- 12 Page AL, Miller RH, Keeney DR. 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd eds. Wisconsin, USA: ASA and SSSA.
- 13 Wu F-Z(吴凤芝), Liu D(刘 德), Wang D-K(王东凯), et al. 1998. Effect of continuous vegetable cropping in plastic greenhouse on the soil physico-chemical properties. *China Veget* (中国蔬菜), (4): 5~8 (in Chinese)
- 14 Xiao Q-M(肖千明), Gao X-L(高秀兰), Lou C-R(娄春荣), et al. 1997. Status of soil fertility in vegetable greenhouse field of Liaoning Province. *J Liaoning Agric Sci* (辽宁农业科学), (3): 17~21 (in Chinese)
- 15 Yang L-J(杨丽娟), Zhang Y-L(张玉龙). 2001. Research advance of soil nitrate accumulation and control methods in the greenhouse soil. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), 32(2): 66~69 (in Chinese)
- 16 Zhuge Y-P(诸葛玉平), Zhang Y-L(张玉龙), Zhang X-D(张旭东), et al. 2004. Effects of lower limit of subsurface drip irrigation on tomato growth and its yield in plastic tunnel. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(5): 767~771 (in Chinese)
- 17 Zhao F-Y(赵凤艳), Wu F-Z(吴凤芝), Liu D(刘 德). 2000. Study on soil properties in vegetable greenhouses. *Soil Fert* (土壤肥料), (2): 11~13 (in Chinese)

作者简介 刘艳军,男,1965年12月生,博士生,高级工程师。主要从事土壤生态学研究。E-mail: liuyanjun726@sohu.com.cn