

# 保护地土壤盐分积累及其离子组成 对土壤 pH 值的影响

范庆锋<sup>1</sup>, 张玉龙<sup>1\*</sup>, 陈 重<sup>1</sup>, 王丽娜<sup>1</sup>, 娄翼来<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 农业部东北土壤与环境重点开放实验室, 辽宁 沈阳 110161;

2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:** 在沈阳市于洪地区采集保护地土壤样品, 测定土壤盐分含量、离子组成和土壤 pH 值, 研究保护地土壤盐分积累及其与土壤 pH 值变化的关系。结果表明: (1) 保护地土壤的盐分含量和电导率均明显高于露地土壤, 露地土壤平均盐分含量为 0.29 g/kg, 改为保护地 10 年左右土壤的平均含盐量上升至 1.56 g/kg, 相应的电导率 (EC) 值达到 0.53 mS/cm, 已超过作物的生育障碍临界点 (EC > 0.50 mS/cm); (2) 保护地土壤酸化趋势明显, 建成保护地栽培蔬菜 6 年, 土壤 pH 值从 6.5 降低至 5.5 以下, 超过了蔬菜出现生理障碍的临界土壤 pH 值 (5.52), 保护地土壤酸化与土壤的次生盐渍化已成为限制当地保护地生产可持续发展的重要因素; (3) 保护地土壤  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  等盐基离子含量均较露地土壤大大增加, 但  $\text{HCO}_3^-$  低于露地土壤或与露地土壤持平,  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  数量与土壤 pH 值下降关系密切,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  在全盐中的相对比例下降也是导致土壤 pH 值下降的重要原因。

**关键词:** 保护地土壤; 土壤盐渍化; 土壤酸化

**中图分类号:** S151.9; S153.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0016-05

保护地蔬菜栽培是采用人工措施改变局部生态环境, 以充分利用光能和热能, 延长作物生长时间, 甚至实现作物周年生产并能提高蔬菜产量的一类生产方式。保护地生产不仅丰富了城乡居民的菜篮子, 也极大地提高了农民的收入, 它已成为我国农业生产的重要组成部分, 在许多地区甚至成为当地的支柱产业。保护地集约栽培、复种指数高、肥料用量大, 加上缺少雨水淋洗和保护地室内空气温度高、湿度大、通气状况差和过量灌水等特殊条件<sup>[1]</sup>, 导致了土壤酸化、次生盐渍化、养分不平衡等诸多生产问题的产生<sup>[2]</sup>。这不仅影响了保护地生产可持续发展, 也对农产品安全及生态环境造成了不利影响。

据研究, 土壤酸化和次生盐渍化是保护地土壤退化的两个主要特征; 与自然状态下的盐土或碱地不同, 伴随着保护地土壤盐分累积过程出现的不是土壤 pH 值升高而是 pH 的下降<sup>[3~5]</sup>。已有的研究多集中于保护地土壤酸化以及次生盐渍化的原因和危害, 对于盐分含量及其离子组成比例的变化与 pH 值关系的研究尚少见报道。因此本文对沈阳地区保护地生产状况进行调查的基础上, 在该市的于洪区保护地采集土壤样品, 测定了土壤 pH 值和盐分含

量及其盐分组成, 探讨了盐分积累及其离子组成与土壤 pH 值之间的关系, 其目的在于认识保护地土壤质量变化的趋势及其特点, 为保护地作物栽培合理地进行水肥管理、抑制和治理保护地土壤退化提供理论依据与技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

供试土壤样品于 2006 年 5 月中旬采自辽宁省沈阳市于洪区蔬菜种植区, 当地保护地栽培模式和水肥管理措施相对一致, 栽培蔬菜以黄瓜、西红柿为主; 施用的化肥以复合肥、尿素、硫酸钾、磷酸氢二铵、过磷酸钙为主, 施用的有机肥主要为以当地规模化养殖场排放的鸡粪为原料加工而成的商品有机肥。

在采样地点的选择上充分考虑到改为保护地后不同种植年限及其代表性; 在采集保护地土壤样品的同时, 也采集了相邻地块同一土类的露地旱田土壤, 共采集保护地土壤样品 18 个和露地土壤样品 7 个。采样深度为 0~20 cm, 采样时按“S”形布点, 每一保护地(地块)取一个混合土样。采集的土样带回

收稿日期: 2008-05-31

基金项目: 辽宁省重大农业攻关项目(2006215005); 辽宁省教育厅资助项目(05L386); 辽宁省教育厅创新团队资助项目(2007T156)

作者简介: 范庆锋(1980-), 男, 辽宁抚顺人, 在读博士, 从事土壤改良与农业节水方面的研究。E-mail: fanqingfeng1@163.com。

通讯作者: 张玉龙, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤改良、水资源与农业节水方面的研究。

实验室,用于测定  $\text{NO}_3^-$ -N 的部分土样放入冰箱,在  $0\sim 4^\circ\text{C}$  保存,其它土样风干后研磨过筛,用于土壤 pH 值、全盐及离子组成等土壤理化性质的测定。采样的同时走访农户调查各采样点的施肥、灌溉及其他栽培管理情况。

## 1.2 测定项目及方法

土壤酸碱度(pH 值)测定采用电位法(水土比为 2.5:1)测定,电导率(EC)测定采用电导仪测定法(水土比为 5:1)测定,土壤全盐用去离子水(水土比为 5:1)浸提,烘干法测定。 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  采用双指示剂中和法测定, $\text{Cl}^-$  采用硝酸银滴定法测定, $\text{SO}_4^{2-}$  采用 EDTA 间接滴定法测定, $\text{NO}_3^-$  以 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  提取,用 AA<sup>3</sup> 连续流动分析仪测定, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  采用 EDTA 络合滴定法测定, $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  采用火

焰光度法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤含盐量与 pH 值

土壤含盐量、电导率与 pH 值的统计结果列于表 1。由表 1 可知,保护地土壤含盐量在  $0.47\sim 2.96\text{ g/kg}$ ,平均为  $1.40\text{ g/kg}$ ,而露地土壤含盐量变化范围在  $0.26\sim 0.34\text{ g/kg}$ ,平均为  $0.29\text{ g/kg}$ ,保护地土壤平均盐分含量是露地土壤的 4.8 倍。可见保护地土壤盐分含量显著高于露地土壤。另外,由于受种植年限及种植户栽培管理措施等多种因素的影响,同是保护地土壤其盐分的累积程度也不相同,土壤含盐量变化范围很大。电导率与盐分含量的变化趋势相同,两者呈极显著正相关关系。

表 1 土壤 EC、pH 值及盐分含量

Table 1 EC, pH and salinity of soil samples

类型 Type	EC (mS/cm)	pH			全盐 Total salt		
		范围 Range	平均值 Average	变异系数 CV	范围 Range(g/kg)	平均值 Average(g/kg)	变异系数 CV
露地 (n=7) Fields	0.09	6.50~6.72	6.53	0.01	0.26~0.34	0.29	0.08
保护地 (n=18) Protected field	0.42	4.47~6.47	5.48	0.09	0.47~2.96	1.40	0.44

保护地土壤 pH 值介于  $4.47\sim 6.47$ ,其平均值比露天蔬菜地下降了 1.05 个单位。按照 pH5.6~6.5 为微酸性、pH4.6~5.5 为酸性和 pH<4.5 为强酸性的土壤酸度分类标准,对 18 个保护地土样进行分类,有 3 个土样属于强酸性,占全部土样的 16.67%;有 10 个土样属于酸性,占全部土样的 55.55%;有 5 个土样属于微酸性,占全部土样的 27.78%。酸性和强酸性土壤样本共有 13 个,占全部供试土样的 72.22%,这说明当地保护地土壤的酸化现象已经相当严重<sup>[6]</sup>。

### 2.2 种植年限与保护地土壤含盐量及 pH 值的关系

将土壤含盐量、pH 值与由露地改为保护地后的种植年限之间关系做图,得图 1。从图 1 可以看出,不同种植年限保护地土壤的盐分含量均高于露地土壤,且表现出随种植年限的延长而逐渐递增的趋势。露地改为保护地栽培 10 年后,土壤的平均含盐量上升至  $1.56\text{ g/kg}$ ,相应的 EC 值达到  $0.53\text{ mS/cm}$ ,已超过人们通常作为作物的生育障碍临界点的  $\text{EC}>0.50\text{ mS/cm}$ <sup>[7]</sup>。

由图 1 还可看出,土壤 pH 值呈现出随种植年限的延长而逐渐下降的趋势。建成保护地栽培蔬菜 3 年,土壤 pH 值由 6.53 下降至 6.00;连续种植 6

年,土壤 pH 值进一步降低至 5.5,已经低于蔬菜出现生理障碍的临界土壤 pH 5.52<sup>[8]</sup>;之后随种植年限的延长下降速度有所变缓,当连续种植超过 16 年时已降至 5 以下。

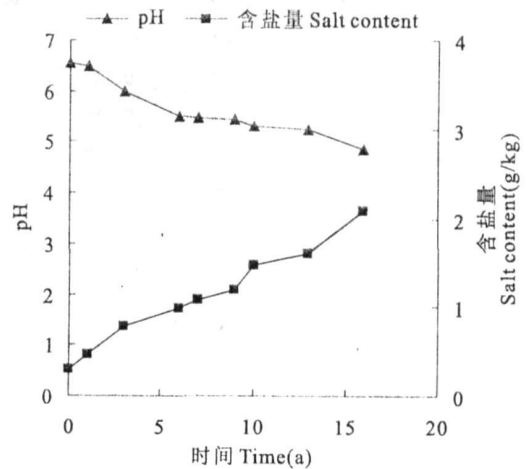


图 1 不同种植年限保护地土壤的含盐量及 pH 值

Fig. 1 Ion constitution and content in the soil of protected field under different planting years

对 25 个土壤样品的 pH 值与其盐分含量之间关系做相关分析,结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,土壤 pH 值与含盐量间呈极显著对数负相关关

系( $r=0.954^{**}$ ,  $n=25$ ,  $r_{0.01}=0.505$ ), 即土壤 pH 值随着土壤含盐量的增加而降低, 但降低速度不断下降。据报道<sup>[9]</sup>, 土壤 pH 值降低受硝酸盐积累量的影响较大, 且两者呈极显著负相关关系( $r=-0.370^{**}$ ,  $n=110$ ,  $r_{0.01}=0.243$ )。从本研究土壤积累盐分的离子组成可以看出, 阴离子  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  含量显著增加, 这些离子浓度升高是引起土壤酸化的原因。

### 2.3 土壤盐分离子的组成变化及其与土壤 pH 值的关系

不同种植年限保护地土壤含盐量及其离子组成的统计结果列于表 2。由表 2 可以看出, 由露地改为保护地栽培蔬菜后, 土壤中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  等 7 种盐分离子含量比当地露地土壤明显增加, 且表现出随种植年限的延长而逐渐递增的趋势; 与上述 7 种阴离子、阳离子不同,  $\text{HCO}_3^-$  的含量呈逐渐减少的变化趋势。露地土壤盐分的离子组成, 阴离子以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主,  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$  很少; 阳离子以  $\text{Ca}^{2+}$  最多,  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  次之,  $\text{Mg}^{2+}$  最少; 而改为保护地栽培蔬菜后, 土壤盐分

的离子组成发生了明显变化, 阴离子以  $\text{NO}_3^-$  含量最高,  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  次之,  $\text{HCO}_3^-$  的含量最少; 阳离子以  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  最多,  $\text{Na}^+$  次之,  $\text{Mg}^{2+}$  最少。其中阴离子中增幅最大且含量最高的是  $\text{NO}_3^-$ , 占阴离子总量的 23.9%~58.8%; 阳离子中增幅最大且含量最高的是  $\text{K}^+$ , 占阳离子总量的 29.0%~55.0%。

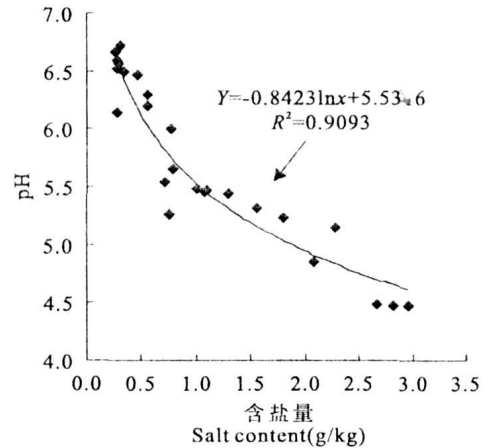


图 2 土壤 pH 值与盐含量的关系

Fig. 2 The correlation between total salts and pH in the soil of protected field

表 2 不同种植年限保护地土壤离子含量

Table 2 Ion content in the soil of protected field under different planting years

种植年限 Planting years (a)	离子含量 Ion content (g/kg)							全盐 Total salt (g/kg)	
	$\text{NO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$		$\text{Na}^+$
露地 Field	0.023	0.069	0.012	0.050	0.069	0.018	0.027	0.033	0.301
1	0.055	0.067	0.024	0.083	0.075	0.024	0.076	0.049	0.467
3	0.159	0.061	0.096	0.139	0.091	0.031	0.136	0.060	0.773
6	0.254	0.059	0.132	0.169	0.110	0.054	0.161	0.056	0.996
7	0.280	0.044	0.139	0.203	0.117	0.056	0.171	0.069	1.079
9	0.311	0.035	0.154	0.263	0.130	0.050	0.166	0.081	1.290
10	0.410	0.030	0.167	0.344	0.127	0.049	0.240	0.093	1.560
13	0.581	0.020	0.187	0.358	0.138	0.052	0.281	0.083	1.801
16	0.763	0.018	0.219	0.392	0.147	0.057	0.293	0.115	2.084

保护地土壤盐分浓度的增高, 不仅会对作物产生直接的高盐危害, 同时某些离子的相对富集以及离子含量相对比例的变化, 也降低了土壤的 pH 值, 导致了土壤酸化的发生。土壤各盐分离子含量在全盐含量中所占比例列于表 3, 土壤各盐分离子含量在全盐含量中所占比例与 pH 值的相关关系列于表 4。

相关分析结果表明, 土壤 pH 值与  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  在全盐中的比例呈极显著负相关关系。说明保护地土壤 pH 值逐年降低, 与土壤中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  等强酸性离子的大量积累密切相关。在

保护地土壤中虽然  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  等离子大量增加, 但三者在全盐中的相对比例却随保护地栽培年限延长而逐渐下降; 保护地土壤  $\text{Ca}^{2+}$ /全盐、 $\text{Mg}^{2+}$ /全盐、 $\text{Na}^+$ /全盐与 pH 值均呈极显著正相关关系, 说明  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  在全盐中所占比例的下降是导致土壤 pH 值下降的重要原因。

通径分析可以进一步了解土壤各盐分离子含量在全盐含量中所占比例对土壤 pH 值的直接和间接影响。由通径分析的数学原理可知, 通径系数是标准化后的自变量对因变量的偏回归系数, 是反映自

表 3 不同种植年限保护地土壤各盐分离子在全盐含量中所占比例

Table 3 Ion constitution and content in the soil of protected field under different planting years

种植年限 Planting years (a)	盐分离子组成(占全盐百分比) Ion composition(%)							
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
露地 Field	7.64	22.92	3.99	16.61	22.92	5.98	8.97	10.96
1	11.78	14.35	5.14	17.77	16.06	5.14	16.27	10.49
3	20.57	7.89	12.42	17.98	11.77	4.01	17.59	7.76
6	25.50	5.92	13.25	16.97	11.04	5.42	16.16	5.62
7	25.95	4.08	12.88	18.81	10.84	5.19	15.85	6.39
9	24.11	2.71	11.94	20.39	10.08	3.88	12.87	6.28
10	26.28	1.92	10.71	22.05	8.14	3.14	15.38	5.96
13	32.26	1.11	10.38	19.88	7.66	2.89	15.60	4.61
16	36.61	0.86	10.51	18.81	7.05	2.74	14.06	5.52

表 4 土壤 pH 值(y)与各盐分离子含量在全盐含量中所占比例(x)的相关关系

Table 4 Correlation between ion proportion of total salts(x) and pH(y) in the soil of protected field

盐分离子组成 (占全盐百分比) Ion composition(%)	相关方程 Correlation equation	相关系数 r Correlation coefficient
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$y = -5.2499x + 6.9133$	-0.935**
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	$y = -29.969x + 11.048$	-0.686**
Cl <sup>-</sup>	$y = -9.8214x + 6.7484$	-0.660**
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$y = 7.4298x + 5.0142$	0.911**
Ca <sup>2+</sup>	$y = 10.225x + 4.2915$	0.910**
Mg <sup>2+</sup>	$y = 36.446x + 4.0674$	0.759**
Na <sup>+</sup>	$y = 21.878x + 3.9943$	0.882**
K <sup>+</sup>	$y = -7.9256x + 6.8602$	0.342

注 Note: n=25, r<sub>0.01</sub>=0.505, r<sub>0.05</sub>=0.396; \*\* 表示差异达 1% 极显著水平。\* \* stands for difference at 1% significance level.

变量对依变量影响大小的一个重要量度,由通径链系数可清楚地了解变量间相关发生的影响程度和途径。对土壤各盐分离子含量在全盐含量中所占比例与土壤 pH 值做通径分析,其通径系数绝对值大小依次为(括号内为通径系数): NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐 (-0.746) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/全盐 (-0.157) > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐 (0.131) > Na<sup>+</sup>/全盐 (0.127) > Ca<sup>2+</sup>/全盐 (-0.108) > Cl<sup>-</sup>/全盐 (0.079) > Mg<sup>2+</sup>/全盐 (0.014)。其中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/全盐、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐、Na<sup>+</sup>/全盐的通径系数较大,表明 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup> 在全盐中所占比例对土壤 pH 值变化的贡献较大。主要致酸因子(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/全盐)通径系数之和为 -0.903; 主要致碱因子(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐、Na<sup>+</sup>/全盐)通径系数之和为 0.258, 表明保护地土壤 pH 值受致酸、致碱因子两方面的影响,且致酸因子的影响占主导地位。在致酸因子中,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐的通径系数比 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/全盐的通径系数大很多,说明在长期保护地蔬菜栽培中,NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子在全盐中所占比例的

不断上升是保护地土壤酸化的主要原因。

为进一步证明通径分析得出的结果,将土壤各盐分离子含量在全盐含量中所占比例与土壤 pH 值进行逐步回归分析,得出:

$$Y = 8.035 - 4.698X_4 + 0.592X_5 - 7.408X_6$$

$$(R^2 = 0.986)$$

式中: X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub> 分别代表 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐, Cl<sup>-</sup>/全盐, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/全盐。

从方程可以看出, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/全盐是影响土壤 pH 值的主要因素。方差分析表明, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/全盐的偏回归系数达 0.01 显著水平, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/全盐接近 0.05 显著水平, Cl<sup>-</sup>/全盐不显著。

因此,由以上分析可知, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子的含量在全盐中所占比例的不断上升导致了保护地土壤酸化的发生。而 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子主要源于人们的大量施肥,因为常用肥料中往往带有 Cl<sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 等强酸性离子,这些离子随肥料的大量施用而进入土壤,它们中仅部分被作物吸收,而大部分则残留于

土壤中,成为土壤次生盐渍化和土壤 pH 值下降的原因之一。另外,人们往往偏重施用氮肥,加上保护地内土壤硝化作用强烈,这就极易产生大量的  $H^+$  和  $NO_3^-$ 。Malhi 等的研究表明,大量施用氮肥,特别是铵态氮肥会导致土壤严重酸化<sup>[10,11]</sup>。

### 3 结 论

1) 保护地土壤的盐分含量和电导率均明显高于露地土壤,露地土壤平均盐分含量为  $0.29\text{ g/kg}$ ,改为保护地 10 年左右土壤的平均含盐量上升至  $1.56\text{ g/kg}$ ,相应的 EC 值达到  $0.53\text{ mS/cm}$ ,已超过作物生育障碍临界点( $EC > 0.50\text{ mS/cm}$ )。

2) 保护地土壤酸化趋势明显,建成保护地栽培蔬菜 6 a,土壤 pH 值从 6.5 降低至 5.5 以下,超过了蔬菜出现生理障碍的临界土壤 pH 值(5.52);保护地土壤酸化与土壤的次生盐渍化已成为限制当地保护地生产可持续发展的重要因素。

3) 保护地土壤  $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$  和  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  等盐基离子含量均较露地土壤大大增加,但  $HCO_3^-$  低于露地土壤。相关分析、通径分析和逐步回归分析结果表明, $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$  离子含量在全盐含量中所占比例的不断上升是保护地土壤酸化的主要原因,而  $Ca^{2+}$ 、 $Na^+$  等盐基离子在全盐中的相对比例下降也是导致土壤 pH 值下降的重要因素。

总之,盐分的大量积累以及  $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$  的相对富集对于土壤—植物的养分供需平衡以及土

壤环境质量的演变都将产生不利影响,如何控制盐分累积,防止土壤酸化成为保证保护地生产可持续发展的关键。

### 参 考 文 献:

- [1] LI Wen-qing, ZHANG Min, et al. VAN DER ZEE. Salt Contents in Soils Under Plastic Greenhouse Gardening in China [J]. *Pedosphere*, 2001, 11(4): 359—367.
- [2] 李文庆,李光德,骆洪义. 大棚栽培对土壤盐分状况影响的研究 [J]. 山东农业大学学报, 1995, 26(2): 165—169.
- [3] 邓玉龙,张乃明. 设施土壤 pH 值与有机质演变特征研究 [J]. 生态环境, 2006, 15(2): 367—370.
- [4] 王 辉,董元华,李德成,等. 不同种植年限大棚菜地土壤养分状况研究 [J]. 土壤, 2005, 37(4): 460—464.
- [5] 杜连凤,张维理,武淑霞,等. 长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 133—137.
- [6] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 70—81, 190—205.
- [7] 李先珍,王耀林,张志斌. 京郊蔬菜大棚土壤盐离子积累状况研究初报 [J]. 中国蔬菜, 1993, (4): 15—17.
- [8] 史桂芳,毕 军,夏光利,等. 保护地蔬菜土壤障碍指标界定及应用研究 [J]. 耕作与栽培, 2003, (3): 49—50.
- [9] 孟鸿光,李 中,刘乙俭,等. 沈阳城郊温室土壤特性调查研究 [J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 70—72.
- [10] Malhi S J, Nyborg M, Harapiak J T. Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay [J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 48: 91—100.
- [11] 徐仁扣. 某些农业措施对土壤酸化的影响 [J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 385—388.

## Effects of soil salinity accumulating and ion constitution on pH in the soil of protected field

FAN Qing-feng<sup>1</sup>, ZHANG Yu-long<sup>1</sup>, CHEN Zhong<sup>1</sup>, WANG Li-na<sup>1</sup>, LOU Yi-lai<sup>2</sup>

(1. College of Land and Environmental Science, Shenyang Agricultural University,

Key Open Laboratory of Northeastern Soil and Environment of Ministry of Agriculture, Shenyang, Liaoning 110161, China;

2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China)

**Abstract:** The relationship of soil salinity accumulating and pH was studied by measuring salinity content, ion constitution and pH in the soil of protected field in Shenyang of Liaoning Province. The results indicated: (1) The salinity content and EC value in the soil of protected field were much higher than those in the corresponding open field. The average of the salinity content was  $0.29\text{ g/kg}$  in open field soil and  $1.56\text{ g/kg}$  in protected field. Corresponding EC had exceeded the scope of that was  $0.53\text{ mS/cm}$ . (2) Soil acidification took on a clear trend of increase after protected field had been set up, and soil pH declined from 6.5 to 5.5 six years after protected field had been set up. The pH value of 5.52 was a critical point when vegetables appeared physical obstacles. (3) Apart from  $HCO_3^-$ , the content of  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  and  $Na^+$  increased significantly in protected field. The soil pH had a close relationship with the content of  $NO_3^-$  and  $SO_4^{2-}$ . It was an important factor that the proportion of  $Ca^{2+}$  and  $Na^+$  to total salts was decreased which caused soil acidification.

**Key words:** soil in protected field; soil salinization; soil acidification