

山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化

曾希柏*, 白玲玉, 苏世鸣, 李莲芳

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081)

摘要:以山东寿光不同种植年限设施菜地为对象,研究并分析了土壤的酸化与盐渍化状况,结果表明:设施菜地土壤 pH 值平均为 6.86,全盐含量为 $2.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,与露天菜地、自然土相比有较明显的酸化与盐渍化现象;设施菜地在连续种植 0—12.7a 间,土壤 pH 值随种植年限增加而降低,12.7a 后则出现随种植年限增加而升高的现象,土壤全盐含量则表现出与 pH 值相反的变化趋势,其发生变化的转折年限约为 8.4a;设施土壤中的 Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 含量随种植年限的变化均表现出与土壤全盐量相同的趋势,且与种植年限的相关性均达到显著水平,这 4 种离子含量的变化可能是导致土壤全盐量随种植年限变化的重要原因;从土壤盐分离子组成来看,设施菜地土壤主要以 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 为主,分别占全盐量的 62.4%、10.6%、9.3%,设施菜地中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 含量与全盐量均呈极显著相关,其中相关性程度最大的为 SO_4^{2-} ($r=0.9291$) 和 Mg^{2+} ($r=0.7224$)。设施菜地中 SO_4^{2-} 含量与 pH 值变化存在极显著相关 ($r=-0.5508$),其大量累积可能是造成调查区域设施土壤酸化的重要原因。

关键词:寿光; 设施菜地; 酸化; 盐渍化

Acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating years from Shouguang City, Shandong

ZENG Xibai*, BAI Lingyu, SU Shiming, LI Lianfang

Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-Environment & Climate Change, Ministry of Agriculture in China, Beijing 100081, China

Abstract: The acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating years of Shouguang City in Shandong province were studied. The results showed that the pH and total salts in greenhouse soil were 6.86 and $2.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively, and the significant acidification and salinization were found in greenhouse soil compared with open vegetable soil and natural soil; In two planting periods of 1—12.7a and 12.7—15a of greenhouse soil, the trends of pH values were observed to decrease gradually and then it increased again, but the opposite changing trend with pH was observed for the total salts and the turning point was 8.4a. With the increasing of cultivating years the contents of Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} showed ($P<0.05$) to increase gradually and then it had decreasing trends and it had similar trends with the changing trend of the total salts, the change in Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} contents brought about the change for the total salts with the increasing of cultivating years. Studies on salt ions in greenhouse soil indicated that a large part of total salts was accounted by SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} , the proportions were 62.4%、10.6%、9.3%, respectively. The very significantly correlations were obtained between SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 Na^+ and total salts, However, it was most to SO_4^{2-} ($r=0.9291$) and Mg^{2+} ($r=0.7224$) among these correlations; The correlation between SO_4^{2-} and pH was very remarkable, and a large accumulation of SO_4^{2-} was one of the important reasons for the acidification in greenhouse soil.

Key Words: greenhouse soil; acidification; salinization; Shouguang City

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD05B01)

收稿日期: 2009-01-23; 修订日期: 2009-06-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengxb@caj. org. cn

设施栽培是我国蔬菜生产的重要方式之一,具有单产高、受季节影响小等优点,不仅大大提高了土地的利用效率,也有效解决了人多地少地区农业持续发展的问题,大幅度提高了农民的收入,因而在我国北方地区发展十分迅速。但是,设施栽培在持续一定年限后,普遍出现了土壤酸化和盐渍化等现象,极大地影响了蔬菜的产量和品质,如据王辉等的研究结果,南京市郊设施土壤有较明显的酸化与盐渍化现象,主要表现为 NO_3^- 在土壤中的大量累积^[1];Li 等的研究认为,设施菜地由于复种指数高且肥料投入量大,一些未被作物吸收利用的营养及肥料的副成分成为土壤盐基离子的主要来源^[2];余海英等对山东寿光设施土壤耕层盐分含量变化研究表明,盐分离子在设施土壤剖面存在着明显的累积和向下迁移现象,在剖面的分布还具有明显的表聚特征^[3]。山东寿光是我国著名的蔬菜之乡,近年来设施蔬菜发展十分迅速,但长年集约化经营引起的土壤酸化与盐渍化问题,已对农业持续发展、农产品质量安全及生态环境带来了一定的负面影响。因此,通过开展相关研究,明确土壤酸化及盐渍化的原因和机理,提出相应的防治措施,对指导设施土壤科学管理,保证设施农业可持续发展具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

寿光市是山东省的农业大县(市),也是中国著名的蔬菜之乡,该市属“春季干旱少雨,夏季炎热多雨,冬季干冷少雪”的暖温带季风性大陆气候,多年平均气温 12.4°C ,年平均日温 0°C 以上的持续时间为 276d,无霜期 195d,年均降雨量 608.2mm ^[4]。寿光市土壤成土母质主要为来自于弥河的冲积物,质地较轻、沙性较强,洪积、冲积物在土层堆积较厚,多数地区土层深达百米以上,为农业生产创造了很好的土壤条件^①。

1.2 样品的采集

土壤样品采集选择了寿光市南部设施蔬菜生产区具有代表性的洛城镇、文家镇、孙家集镇和古城街道,样品采集区的设施已连成一片,所采集样本的成土母质相同,土壤类型主要为潮土,其基本理化性质为:有机质, $22.7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;全氮, $1.77\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;全磷 $1.64\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;全钾 $22.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。对调查区域设施蔬菜的农户就肥料施用种类、结构、比例、用量及作物种植情况等进行的问卷调查表明,该区域主要以黄瓜、西红柿、豆角、白菜等蔬菜轮作为主,种植方式与管理具有较大的相似性,研究区域设施菜地中历年施用的化肥主要为磷酸二氢铵、尿素和过磷酸钙等,有机肥主要是畜禽粪便,近年来随着肥料供应等因素的改变,所施用的化肥主要为氮磷钾复合肥($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:15:15$),年均投入量 $10.6\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,最高为 $38.9\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,有机肥的平均施用量达到 $207.2\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (以鲜重计)。

所采集的样品包括不同种植年限的设施菜地样 28 个、相邻的露天菜地样 3 个、自然土样 3 个。土壤样本采集按等距离原则进行,各采样点均按“S”型布点采集 0—20cm 表层土壤,经混合均匀后,用四分法处理,剩余约 1.5kg 样品带回实验室自然风干,去掉植物根系、落叶、石块等,用玛瑙研钵研磨后,先过 20 目尼龙筛,混匀后取 50—100g 土壤,再用玛瑙研钵研磨后全部过 100 目尼龙筛,分别贮存备用。

1.3 土壤样品分析

土壤样品用无二氧化碳蒸馏水(水土比 5:1)浸提,振荡 5min, $150\text{ r}/\text{min}$ 离心,取上清液测定,其具体方法为:pH 值-玻璃电极法(水土比 2.5:1);全盐量-离子加和法;电导率-电导率仪(Hanna EC-320 型)测定法;碳酸根、重碳酸根-电位滴定法;氯离子-硝酸银滴定法;硫酸根-EDTA 间接滴定法;钾、钠-火焰光度计法^[5];钙、镁-原子吸收分光光度计法^[6]。

1.4 数据处理

本研究中,相关数据的处理及统计检验应用 Excel 2003 和 SAS8.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 设施菜地的 pH 值与盐分含量状况

从表 1 可以看出:设施菜地土壤 pH 值平均为 6.86,而露天菜地与自然土则分别为 7.86、7.68,设施栽培

① 《寿光县农业自然资源调查和农业区划报告-土壤资源》,昌潍地区寿光县第二次土壤普查试点工作队编,1980 年。

后土壤的 pH 值明显低于露天菜地和自然土;不同利用方式下土壤盐分含量比较,设施菜地的总盐分则明显高于露天菜地和自然土,设施栽培后土壤全盐量从露天菜地的 $1.17\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $2.47\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,明显影响了蔬菜的正常生长^[7]。本研究中,还对设施土壤的电导率进行了分析,并根据全盐量与电导率结果,对二者进行了相关及回归分析,结果表明两者间有极显著相关关系,且可用方程式表示为: $y = 2.2696x + 0.8655$ ($n = 28, r = 0.8371^{**}$, 式中, y 为土壤全盐含量 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), x 为土壤电导率 ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)。据实地调查,研究区域内设施菜地化肥平均投入量为 $10.6\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,最高达 $38.9\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,有机肥平均施用量达 $207.2\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,最高达 $493.8\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[4],化肥和有机肥的年投入量均远远高于露地栽培,可能使得一些未被作物吸收利用的养分及肥料的副成分大量残留于土壤中,成为土壤盐基离子的主要来源^[8-9];同时,设施栽培条件下土壤缺少雨水淋洗及相应的水分运移现象,也可能是造成表层土壤盐分累积的重要原因^[3, 10]。

表 1 山东寿光市设施菜地的 pH 值与盐分含量
Table 1 The pH and total salts content in greenhouse soil from Shouguang City, Shandong

土壤利用类型 Soil using styles	调查样本数 Sample numbers	pH			总盐分/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) Total salts		
		平均值 Average	标准差 Std Dev	变异系数 CV%	平均值 Average	标准差 Std Dev	变异系数 CV%
设施菜地 Greenhouse soil	28	6.86	0.63	9.16	2.47	0.70	28.29
露天菜地 Usual vegetable field	3	7.86	0.32	3.52	1.17	0.59	50.19
自然土 CK	3	7.68	0.59	7.67	1.41	0.44	30.82

2.2 设施菜地 pH 值、全盐含量及各盐离子含量随种植年限的变化

2.2.1 设施菜地 pH 随种植年限的变化

根据不同设施种植年限下耕层土壤 pH 值的变化(图 1),可以发现:在种植年限达到 12a 左右时,土壤 pH 值有随设施种植年限延长而下降的趋势,但在种植年限大于 12a 以后,土壤 pH 值又呈现出一定的上升趋势。在上述基础上,对种植年限和土壤 pH 值数据进行相关和回归分析,可得出相互间的回归关系式为: $y = 0.0069x^2 - 0.1895x + 7.7696$ ($n = 28, r = 0.5877^{**}$),式中, y 为土壤 pH 值, x 为设施种植年限。根据此方程式,可以计算出当设施土壤种植年限达 12.7a 时,土壤 pH 值达到最低值 6.47,该数值与刚开始进行设施栽培的菜地(种植年限为 0a)相比,下降了约 1.30,下降幅度达 16.73%。这种结果也进一步说明,设施土壤在连续

种植一段时间后,其 pH 值将在一定程度上出现下降现象,且其降低幅度与种植年限显著相关。这与杜新民等^[10]研究所得山西临汾设施菜地土壤 pH 值在 1—8a 内随种植年限增加而下降,周生路等^[11]对昆山设施菜地研究随种植年限(0—15a)增加土壤 pH 下降、酸化明显等结果是相一致的。由于在设施栽培过程中,肥料、特别是氮肥的投入量是普通大田的数倍甚至更高,可导致 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等在土壤中残留,加速了土壤的酸化,同时,有机肥用量较少、土壤有机质含量较低也在一定程度上加速了土壤的酸化。

2.2.2 土壤全盐含量随种植年限的变化

对不同种植年限土壤全盐含量的结果进行相应分析,发现其含量有随种植年限的增加而上升的趋势(图 2)。可以看出,在约 0—8a 时随着种植年限的增加,土壤全盐含量呈现增加的趋势,而在 8—15a 间,则有随种植年限增加而降低的趋势。进一步对种植年限和土壤全盐含量数据进行相关和回归分析,可得出二者间的回归关系式为: $y = -0.0213x^2 + 0.3873x + 1.2388$ ($n = 28, r = 0.6469^{**}$),式中, y 为土壤全盐含量 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), x

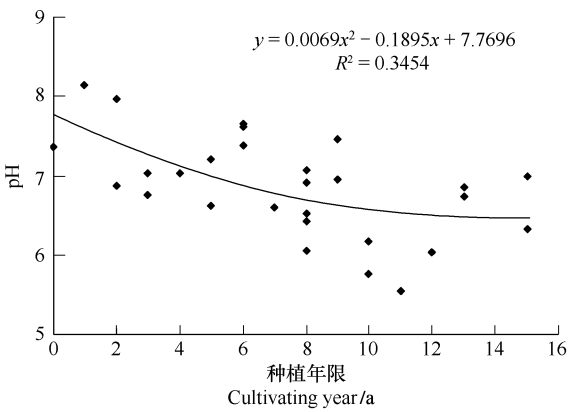


图 1 山东寿光市设施菜地土壤 pH 值与种植年限关系
Fig. 1 The relationship between pH and cultivating years of greenhouse soil from Shouguang City, Shandong

为种植年限。由此方程式可计算得出,当种植年限为 8.4a 时,耕层土壤全盐含量最高,达到 $3.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,该数值与刚开始进行设施栽培的菜地(种植年限为 0a)相比增加了约 $1.76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加幅度为 141.94%。同时,根据分析结果,所调查区域内 96.4% 的调查点全盐含量高于 $1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,78.6% 的调查点全盐含量在 $2.00\text{—}5.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,调查区域内土壤的盐渍化现象已对作物正常生长带来了较大影响^[7]。据调查,在山东寿光一般设施种植 4a 左右后,蔬菜就会出现生长不良、病害加重等现象,并进而影响其产量与品质。设施蔬菜生产的复种指数明显增加,养分的投入量也大大提高,可能是导致调查区域内土壤盐分总量随种植年限增加(1—8a)而升高的主要原因;而当土壤盐分含量累积到影响作物正常生长的状况时,农户一般会在生产中自觉减少肥料的投入,并采取揭棚、深翻甚至夏季休闲暴晒等措施,肥料的施用量也随之降低,因此,在连续种植约 8a 后土壤的全盐含量往往出现下降趋势。

2.2.3 土壤各盐分离子含量与种植年限的相互关系

对设施土壤中各盐分离子含量与种植年限进行相关分析结果表明,设施土壤中的 K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 含量随种植年限的增加均表现出同土壤全盐量变化相同的趋势,即在一定时间内随种植年限的增加而增加,之后又随种植年限增加而降低, Ca^{2+} , HCO_3^- 含量变化则相反。进一步对土壤各盐分离子含量和种植年限进行相关和回归分析,得出以下的回归关系式(表 2, $n=28$),式中, y 为土壤各盐分离子含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), x 为种植年限(a)。其中, Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 含量与种植年限的相关性均达到显著水平,通过方程式可计算得出,该 4 种盐分离子含量分别在种植年限为 7.8、8.3、7.5a 和 8.7a 时达到最大

值,与全盐含量变化具有一定的相似性。该结果表明,调查区域设施土壤中 Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 含量的变化是造成土壤全盐量随种植年限变化的重要原因。 Ca^{2+} , HCO_3^- 含量随种植年限的增加表现出与其它盐分离子及全盐量相反的趋势,其中 HCO_3^- 与种植年限的相关性达到显著水平,这可能是随种植年限的增加,土壤酸化现象日趋严重,大量的 H^+ 打破了土壤中 CO_2 与 HCO_3^- 的平衡,从而使得 HCO_3^- 含量随种植年限的增加表现出先降低后增加的趋势。

2.3 设施菜地土壤的离子组成及其与总盐分的相互关系

设施栽培后,土壤中各离子含量与露天菜地相比均有较明显的变化,除 HCO_3^- 、 K^+ 外,设施菜地中的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 含量分别比露天菜地增加了约 191.5%、152.6%、24.4%、470.2%、535.3%,而 HCO_3^- 、 K^+ 则分别降低了约 24.0%、37.5%,设施菜地相对于露天菜地施肥大幅度增加、复种指数显著提高等,可能是造成该现象的主要原因。此外,灌溉或雨水淋洗等会造成露天菜地土壤中盐分离子的向下运移,而设施菜地特殊的经营方式极易引起表土返盐,这也可能是造成设施菜地土壤中某些盐分离子含量明显高于露天菜地的重要原因^[7]。设施菜地土壤中 HCO_3^- 、 K^+ 含量相对较低,这可能是由于设施菜地的连续经营造成土

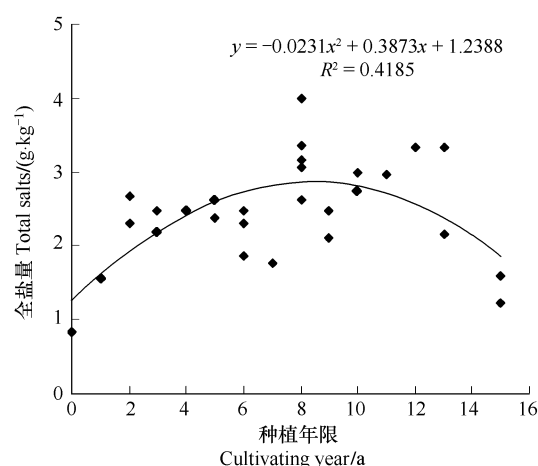


图 2 山东寿光市设施菜地土壤全盐含量与种植年限关系

Fig. 2 The relationship between total salts and cultivating years of greenhouse soil from Shouguang City, Shandong

表 2 设施菜地土壤各盐分离子与种植年限的相互关系

Table 2 The relationship between cultivating years and ions in greenhouse soil

离子 Ions	与种植年限关系 Relationship with cultivating years	相关系数 r Correlation coefficient r
K^+	$y = -0.1023x^2 - 1.0274x + 60.551$	0.1982
Na^+	$y = -1.3487x^2 + 21.056x + 36.139$	0.3745 *
Ca^{2+}	$y = 0.0248x^2 + 3.6898x + 201.63$	0.1356
Mg^{2+}	$y = -1.5665x^2 + 25.916x + 23.64$	0.5539 **
Cl^-	$y = -4.2364x^2 + 63.831x + 89.935$	0.5036 **
SO_4^{2-}	$y = -16.779x^2 + 292.84x + 564.01$	0.5875 **
HCO_3^-	$y = 0.9504x^2 - 18.985x + 262.87$	0.3764 *

* * 与 * 分别表示两者相关性达到 1% 与 5% 显著水平

壤酸化,大量的 H^+ 离子打破了土壤中 CO_2 与 HCO_3^- 的平衡,从而导致设施土壤中 HCO_3^- 含量较露地明显减少^[3],而设施菜地比露天菜地较高的复种指数及钾素施用的相对不足很可能是造成设施土壤中 K^+ 含量降低的原因。从土壤离子组成来看,设施菜地中的阳离子以 Ca^{2+} 为主,占全盐量的 9.3%,阴离子主要以 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为主,分别占全盐量的 62.4%、10.6%。对各种离子含量与土壤全盐量进行相关分析, SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 的含量均与全盐含量呈极显著相关,其中相关性最大的为 SO_4^{2-} ($r=0.9291^{**}$) 和 Mg^{2+} ($r=0.7224^{**}$)。设施土壤中盐分离子浓度的增高、某些离子的相对富集以及离子含量间相对比例的变化,不仅会对作物生长产生直接的高盐危害,同时也可能破坏土壤—植物的养分供需平衡,从而对作物产量和品质的提高以及土壤环境质量的演变产生不利影响^[3]。

表 3 设施菜地土壤盐分离子组成及其与总盐分的相互关系
Table 3 The ions composition in greenhouse soil and relationship between ions and total salts

离子 Ions	平均值/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) Average	占全盐量/% Percent from the total salts	与全盐量关系 Relationship with total salts	相关系数 r Correlation coefficient r
K^+	0.05	1.90	$y = 0.7078x + 2435.2$	0.0548
Na^+	0.09	3.90	$y = 5.0048x + 1986.1$	0.4922 ^{**}
Ca^{2+}	0.23	9.30	$y = 0.0794x + 2449.2$	0.0141
Mg^{2+}	0.10	4.20	$y = 9.2536x + 1503.5$	0.7224 ^{**}
Cl^-	0.261	0.6	$y = 2.6628x + 1771.2$	0.5937 ^{**}
SO_4^{2-}	1.506	2.4	$y = 1.1009x + 772.78$	0.9291 ^{**}
HCO_3^-	0.19	7.70	$y = -2.9648x + 3030.6$	-0.2881

* * 表示两者相关性达到 1% 显著水平

2.4 设施菜地中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 离子含量与 pH 变化的相关性分析

相关分析结果表明,设施菜地中 SO_4^{2-} 与 pH 变化存在极显著负相关($r = -0.5508^{**}$);而 Cl^- 与 HCO_3^- 离子含量与 pH 变化的相关性则不显著。该结果表明,调查区域设施土壤中的 SO_4^{2-} 是造成土壤酸化的重要原因,这可能与该地区农民大量施用硫酸铵、硫酸镁等含硫的生理酸性肥或复混肥等有关。Huan 等研究表明,某些设施蔬菜栽培土壤中 SO_4^{2-} 含量达到 $1.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,占全盐量的 35%, SO_4^{2-} 的大量累积已经对土壤的酸化造成了一定影响^[12];Shi 等的研究也认为,土壤中 SO_4^{2-} 的累积与土壤 pH 值的降低有较密切的关系,并认为 SO_4^{2-} 对土壤酸化的作用需要进行较深入的研究^[13];Wang 与 Li 等认为,设施土壤中大量的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 是土壤次生盐渍化和土壤 pH 值下降的主要原因,并认为这与设施栽培中施用化肥的种类和用量有一定关系^[2],该结论与本研究结果相符。但也有专家从硝酸盐对土壤酸化影响的角度进行了研究,并认为设施土壤 pH 值的下降受硝酸盐积累的影响较大,pH 值随 NO_3^- 含量的增加而降低^[14-15],并认为是设施土壤中氮肥过量施用导致硝酸盐大量累积所致。亦有关资料表明,无论施用含有何种阴离子的化肥,随着施肥量的增加均可能会出现土壤 EC 值上升,而 pH 值下降的现象,且不同离子的影响顺序是 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ ^[16]。本研究中,考虑到 NO_3^- 随土壤含水量、氮肥施用时间、季节及氮肥类型等一系列因素的影响较大,且在土体中的移动性很强,以及实地测定误差较大等原因,故未对 NO_3^- 的含量变化进行相应研究。但无论是从已有研究结果,还是其重要性分析,今后研究中均应更多地关注 SO_4^{2-} 、 Cl^- 对土壤酸化的影响。

3 讨论

设施蔬菜栽培是建立在人为控制环境的基础之上,人工干预性很强的栽培系统,具有复种指数高、养

表 4 设施菜地土壤中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 离子含量与 pH 的相互关系

Table 4 The relationship between Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- and pH in greenhouse soil

阴离子 Anions	与 pH 关系 Relationship with pH	相关系数 Correlation coefficient r
Cl^-	$y = -75.132x + 776.76$	$r = -0.3032$
SO_4^{2-}	$y = -0.0006x + 7.7618$	$r = -0.5508^{**}$
HCO_3^-	$y = 0.0019x + 6.4902$	$r = 0.2095$

* * 表示两者相关性达到 1% 显著水平

分投入量大、产量高等特点,同时,进行设施生产的环境又具有一定的封闭或半封闭性,而且相对于大田土壤的露天经营方式,设施菜地很少有雨水淋洗,温度、湿度以及栽培模式等都具有较大的特殊性,因此该系统内某些因子的变化,特别是土壤养分平衡被破坏,系统的正常运行就会受到一定限制,与大田土壤相比,设施土壤在连续经营数年之后就有可能出现一些影响设施农业正常生产的现象,如土壤的酸化、盐渍化等。本文中山东寿光市设施菜地经过长期的集约化经营后,其土壤与露天菜地、自然土相比已有较明显的酸化、盐渍化现象,且已影响到设施蔬菜生产的正常进行。对该区域设施土壤 pH 值、全盐含量与种植年限关系的研究表明,在连续种植 10 a 左右,土壤 pH 值变化呈降低趋势,而全盐含量则随年限的增加而增加;在连续种植约 10 a 后,土壤 pH 值出现上升趋势,而全盐含量则呈现出缓慢下降趋势。由此可见,设施菜地土壤的酸化与盐渍化具有一定的同步性,原因可能在于,进行设施生产的农户们为追求高产与高利润,加大了肥料的使用量,使养分的投入远远高于作物对养分的需求量,从而导致了土壤全盐含量的升高,而酸性肥料等的大量施用又影响了土壤的缓冲性能,使得土壤出现缓慢酸化的现象。另外,土壤中某些盐分的累积也可使 pH 值下降,如 Ca^{2+} 将酸性胶基上的 H^+ 置换到土壤溶液中,也可加快土壤酸化过程^[17]。所以,盐渍化与酸化对设施土壤来说,是一个同时发生的过程。邹长明等对安徽蚌埠地区设施土壤酸化与盐渍化状况研究认为,pH 值降低是设施土壤次生盐渍化的共同特征^[17];王辉等对南京市郊设施菜地酸化与盐渍化的研究也得出相同结论^[1]。

设施菜地的酸化与盐渍化直接影响着土壤的物理与化学性质,特别是对土壤养分的平衡供应以及作物对养分的均衡吸收方面^[7]。调查区域设施土壤中的致酸离子 SO_4^{2-} 含量达到全盐量的 62.4%,而其余离子总量尚不足土壤全盐量的 40%, SO_4^{2-} 在设施土壤中的大量累积,不仅破坏了土壤的酸碱平衡,导致调查区域土壤的酸化,而且因大量积累造成的 SO_4^{2-} 单盐毒害,也可能打破土壤的养分平衡,从而给作物对养分的均衡吸收带来了一定影响,最终可能导致作物产量与品质下降; Cl^- 含量虽然与设施土壤 pH 值变化相关性不显著,但研究发现,93% 调查点的 Cl^- 含量超过 $0.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中纪台镇东埠村、营里镇西浊北村的设施土壤 Cl^- 含量分别达到 0.75 、 $0.62 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有资料表明,当 Cl^- 的含量达到 $0.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,便会对蔬菜作物生长产生抑制作用^[18]。由此可见,设施生产中,必须有效地控制盐分的累积,维持土壤的酸碱平衡,协调养分的供需平衡才能保证设施作物的高产、优质,也才能真正实现设施农业的可持续发展。因此,对于设施土壤中发生的酸化、盐渍化问题必须予以高度重视。对设施菜地而言,为保证其理化性质和生产力不断优化、提高,建议采取如下措施:(1)合理施肥,即采用配方施肥技术,有机肥与无机肥配合,氮磷钾肥与微量元素肥料配合施用,防止偏施氮磷肥;(2)采用科学合理的灌溉排水技术,做到“盐随水去”;(3)排土客土,即排掉积盐较重的表层土,换上肥力较高的露地土壤;(4)采用水旱轮作或与生物量高、吸肥量大的作物进行轮作,防止养分累积。

4 结论

(1)山东寿光设施菜地与露天菜地、自然土相比有明显的酸化与次生盐渍化现象,如不及时治理,将可能影响蔬菜的产量和品质,并严重制约该地区设施农业的可持续发展。

(2)设施菜地的 pH 值和全盐含量变化的转折点出现在连续种植 10a 左右,即在连续种植约 10a 前,随着种植年限的延长,土壤 pH 值下降、全盐含量增加;但连续种植约 10a 后,随着管理等的改变,土壤 pH 值和全盐含量随种植年限的变化呈现出相反的趋势。设施土壤中的 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量随种植年限的增加均表现出与土壤全盐含量变化相同的趋势,是造成土壤全盐含量随种植年限变化的重要原因。

(3)设施菜地中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 的含量均与全盐含量呈极显著正相关,其中 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 含量与全盐含量的相关系数更高,但 K^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 与全盐含量间的相关性不大。

(4) SO_4^{2-} 含量与设施菜地 pH 值的变化呈极显著负相关,但 Cl^- 与 HCO_3^- 含量与 pH 值变化相关性不显著。由于 SO_4^{2-} 与 Cl^- 这两种阴离子在土壤中含量高,因此,今后研究应更加关注它们对土壤酸化的影响。

References:

- [1] Wang H, Dong Y H, An Q, Sun H X. Change in pH and salinity of vegetable soil under intensive cultivation — a case study of southern suburbs

- of Nanjing. *Soils*, 2005, 37(5): 530-533.
- [2] Li W Q, Zhang M, Van Der Zee S. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China. *Pedosphere*, 2001, 11(4): 359-367.
- [3] Yu H Y, Li T X, Zhou J M. Salt in typical greenhouse soil profiles and its potential environmental effects. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(4): 572-576.
- [4] Zeng X B, Li L F, Bai L Y, Mei X R, Yang J B, Hu L J. Arsenic accumulation indifferent agricultural soils in Shouguang of Shandong Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(2): 310-316.
- [5] Lu R K. *Soil Agricultural Chemical Analysis Method*. Soil science society of China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 86-98.
- [6] Bao S D. *Soil Agricultural Chemical Analysis*. Beijing: China Agricultural Press, 1981: 191-193.
- [7] Yu H Y, Li T X, Zhou J M. Secondary salinization of greenhouse soil and its effects on soil properties. *Soils*, 2005, 37(6): 581-586.
- [8] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, Christie P, Li X L, Horlacher D, Liebig H P. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertilizer in vegetable production in the Beijing region. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2004, 69(1): 51-58.
- [9] Stigter T Y, Olijen S P J V, Post V E A, Appelo C A J, Dill A M M C. A hydrogeological and hydrochemical explanation under irrigated land in a Mediterranean environment, Algarve, Portugal. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 1998, 208: 262-279.
- [10] Du X M, Wu Z H, Zhang Y Q, Pei X X. Study on changes of soil salt and nutrient in greenhouse of different planting years. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2): 78-80.
- [11] Zhou S L, Lu C F, Wan H Y. Study on the characteristic and cause of vegetable soil acidification in the area of southern Jiangsu Province. *Journal of Henan Normal University (Natural science)*, 2005, 33(1): 69-72.
- [12] Huan H F, Zhou J M, Duan Z Q, Wang H Y, Gao Y F. Contribution of greenhouse soil nutrients accumulation to the formation of the secondary salinization: a case study of Yixing City, China. *Agrochimica*, 2007, 51(4): 207-221.
- [13] Shi W M, Yao J, Yan F. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 83(1): 73-84.
- [14] Wang Z H, Li S X. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. *Pedosphere*, 2003, 13(4): 309-316.
- [15] 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. *Soil & Tillage Research*, 1998, 48(1): 91-100.
- [16] Li C B, Ji G L. Interactions of Cl^- , SO_4^{2-} and H_2PO_4^- anions with soils as inferred from conductivity dispersion. *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(1): 54-59.
- [17] Zou C M, Zhang D S, Zhang X H, Tang Y L, Sun S J, Zou H M. Soil acidification and salinization measurement and evaluation in Bengbu district. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2006, 12(9): 54-55.
- [18] Xi J C, Cheng J X. *Greenhouse soil fertility and vegetable reasonable fertilization*. Nanjing: Hehai University Press, 1997: 43-46.

参考文献:

- [1] 王辉,董元华,安琼,孙红霞. 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. *土壤*, 2005, 37(5): 530-533.
- [3] 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): 572-576.
- [4] 曾希柏,李莲芳,白玲玉,梅旭荣,杨佳波,胡留杰. 山东寿光农业利用方式对土壤砷累积的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 310-316.
- [5] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 中国土壤学会. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 86-98.
- [6] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 1981: 191-193.
- [7] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响. *土壤*, 2005, 37(6): 581-586.
- [10] 杜新民,吴忠红,张永清,裴雪霞. 不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 78-80.
- [11] 周生路,陆春锋,万红友. 苏南菜地土壤酸化特点及成因分析. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(1): 69-72.
- [16] 李成保,季国亮. 用电导频散法研究 Cl^- , SO_4^{2-} 和 H_2PO_4^- 阴离子与土壤的相互作用. *土壤学报*, 1999, 36(1): 54-59.
- [17] 邹长明,张多姝,张晓红,汤永玲,孙善军,邹海明. 蚌埠地区设施土壤酸化与盐渍化状况测定与评价. *安徽农学通报*, 2006, 12(9): 54-55.
- [18] 谢建昌,陈际型. *菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥*. 南京: 河海大学出版社, 1997: 43-46.