

# 辽宁地区保护地土壤酸化现状研究

范庆锋<sup>1</sup>, 张玉龙<sup>1</sup>, 张玉玲<sup>1</sup>, 虞娜<sup>1</sup>, 杨春璐<sup>2</sup>, 高晓宁<sup>3</sup>

(1. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 土肥资源高效利用国家工程实验室, 辽宁 沈阳 110866;

2. 辽宁大学 环境学院, 辽宁 沈阳 110036; 3. 辽宁省环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110031)

**摘要:**以采集于辽宁省朝阳市、铁岭市、沈阳市于洪区、沈阳市东陵区、丹东市 5 个地点的蔬菜保护地及其相邻露地旱田土壤样品为研究对象, 研究测定了不同采样地土壤的酸化现状。结果表明: 辽宁省朝阳市、铁岭市、沈阳市东陵区、沈阳市于洪区地表层土壤 pH 值由露地改为保护地种植蔬菜后均呈显著下降趋势( $P < 0.05$ ), 土壤 pH 平均值分别比相应露地降低了 0.96、0.69、1.05、0.75 个单位; 而丹东市保护地土壤 pH 值平均值为 5.93, 比露天蔬菜土壤提高了 0.46 个单位, 但差异不显著, 说明随种植年限的增加, 保护地土壤的 pH 值呈持续下降趋势; 朝阳市、铁岭市、沈阳市东陵区、沈阳市于洪区保护地土壤的 pH 值均随土层深度的增加而增加, 土层越深越接近露地土壤的 pH 值, 表层土壤(0~20 cm)的 pH 值显著低于其下各土层的 pH 值( $P < 0.05$ ); 而丹东市保护地土壤 0~80 cm 各土层的 pH 值表现出表层土壤高于深层土壤, 即随着土层深度的增加, 其 pH 值呈逐渐降低的趋势。

**关键词:**土壤 pH; 土壤酸化; 保护地土壤; 辽宁省

**中图分类号:**S 156 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)22-0173-04

随着人们生活水平的日益提高, 果蔬市场需求量也在不断扩大, 保护地栽培作为一种高投入、高效益的农业生产模式, 在丰富城乡居民“菜篮子”、增加农民收入、推进农业结构调整等方面起到了十分重要的作用。但近年来保护地蔬菜栽培因长期连作常出现如下问题, 如土壤酸化、次生盐渍化、硝酸盐积聚、土壤养分失衡、微生物种群受损、农药残留富集等<sup>[1-4]</sup>。这些问题造成了蔬菜产量下降、品质变劣, 严重制约了土地的可持续利用<sup>[5]</sup>。

围绕这些问题, 许多科研工作者已开展了大量的调查研究。已有研究表明, 土壤酸化是保护地土壤退化的重要表现形式和主要特征之一<sup>[6-9]</sup>。土壤酸化过程本是土壤形成和发育过程中普遍存在的自然过程, 是一个速度非常缓慢的过程<sup>[10]</sup>。但近几十年来, 由于人为活动的影响, 不合理的农业耕种制度、管理措施以及工业化进

程加快致使土壤酸化速度不断加快。保护地土壤酸化问题很早就引起了人们的关注, 有人将土壤酸化作为保护地的主要障碍因子之一, 这是因为在调查中发现几乎所有生产力下降的保护地都伴随着土壤 pH 值的下降。郑子成等<sup>[11]</sup>的研究表明, 保护地内土壤酸化是比较普遍和严重的障碍, 土壤中氢离子含量常比正常土壤高出 10 倍多, 严重影响了作物生长; 曹晓燕等<sup>[12]</sup>甚至发现蔬菜的连作障碍(或自毒作用)与土壤 pH 值的变化有伴随或相关关系, 随着种植年限的延长, 保护地土壤的 pH 值呈下降趋势, 并且这种酸化趋势与连作障碍有一定的相关性。可见, 为保证保护地土地资源的可持续利用, 在加强保护地土壤质量研究的过程中土壤酸化研究应引起足够的重视。现以采集于辽宁省朝阳市、铁岭市、沈阳市于洪区、沈阳市东陵区、丹东市 5 个地点的蔬菜保护地及其相邻露地旱田土壤样品为研究对象, 研究测定不同采样地土壤的酸化现状, 以期探讨保护地蔬菜栽培对土壤酸度的影响, 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。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

根据辽宁地区土壤类型及保护地栽培分布现状, 分别选取辽宁省朝阳市、铁岭市、沈阳市于洪区、沈阳市东陵区、丹东市 5 个地区具有代表性的保护地蔬菜种植基地的土壤进行研究。采样点选择上述各地区保护地蔬

**第一作者简介:**范庆锋(1980-), 男, 辽宁抚顺人, 博士, 讲师, 现主要从事土壤改良等研究工作。E-mail: fanqingfeng1@163.com.

**责任作者:**张玉龙(1954-), 男, 辽宁朝阳人, 博士, 教授, 现主要从事土壤改良及水资源与农业节水等研究工作。

**基金项目:**辽宁省设施蔬菜产业创新团队资助项目; 辽宁省教育厅科研资助项目(L2011116); 沈阳市科技攻关资助项目(F11-117-3-00; F11-264-1-02; 1091108-3-02); 沈阳农业大学青年基金资助项目(20111005)。

**收稿日期:**2013-09-05

菜种植相对集中、栽培模式和水肥管理措施相对一致的保护地蔬菜种植基地,选取不同种植年限保护地及相邻露地的土样。采样深度为耕层 0~20 cm。采样时按“S”形布点,每个保护地(地块)取 5 点混合成 1 个土样。在铁岭市保护地蔬菜种植基地内取 10 个保护地土样和 5 个露地土样,沈阳市东陵区取 9 个保护地土样和 5 个露地土样,沈阳市于洪区取 33 个保护地土样和 13 个露地土样,朝阳市取 19 个保护地土样和 18 个露地土样,丹东市取 9 个保护地土样和 6 个露地土样。同时,在每个地区选取种植年限较长的保护地土壤及其相邻露地土壤,按 0~20、20~40、40~60、60~80 cm 分层取剖面土样。同时走访农户调查各采样点的施肥及栽培管理情况。

## 1.2 试验方法

土壤 pH(H<sub>2</sub>O)采用水浸提电位法测定:用无 CO<sub>2</sub> 去离子水浸提,液土比为 2.5:1,搅拌 1 min,静止 30 min 后,用 pH 计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同区域保护地耕层土壤 pH 值比较

从表 1 可以看出,保护地蔬菜栽培条件下,铁岭市、沈阳市东陵区、沈阳市于洪区、朝阳市 4 个地区耕层土壤的 pH 较露地显著降低,丹东市保护地土壤 pH 较露地土壤有升高趋势,但差异不显著。其中朝阳市保护地土壤 pH 值普遍较高,变幅为 5.85~7.70,平均值为 6.84,比相应露地下降了 0.96 个单位;其次为铁岭

表 1 不同地区保护地表层(0~20 cm)土壤 pH 比较

Table 1 Comparison of soil pH in protected field in different areas

地区 Location	土类 Soil type/cm	类型 Types	采样点 Number of soil samples/个	pH 范围 Range of pH	pH 平均值 Average
铁岭市 Tieling city	棕壤 Brown soil	保护地 Protected field	10	5.28~6.30	5.99±0.36b
		露地 Open field	5	6.46~7.01	6.68±0.24a
沈阳市东陵区 Shenyang, Dongling district	草甸土 Meadow soil	保护地 Protected field	9	4.92~6.18	5.70±0.41 b
		露地 Open field	5	6.68~6.79	6.75±0.07 a
沈阳市于洪区 Shenyang, Yuhong district	草甸土 Meadow soil	保护地 Protected field	33	4.47~6.18	5.45±0.43 b
		露地 Open field	13	5.94~6.56	6.20±0.21 a
朝阳市 Chaoyang city	褐土 Cinnamon soil	保护地 Protected field	19	5.85~7.70	6.84±0.56 b
		露地 Open field	18	6.98~8.23	7.80±0.34 a
丹东市 Dandong city	棕壤 Brown soil	保护地 Protected field	9	5.32~6.80	5.93±0.53 a
		露地 Open field	6	5.37~5.64	5.47±0.12 a

注:根据最小显著差异法(LSD),同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different small letters within a column denote significance according to LSD test( $P<0.05$ ).

市保护地土壤,其 pH 值变幅为 5.28~6.30,平均值为 5.99,比相应露地下降了 0.69 个单位;沈阳市东陵区保护地土壤 pH 值介于 4.92~6.18,平均值为 5.70,其平均值比露地下降了 1.05 个单位;沈阳市于洪区地区保护地土壤 pH 值介于 4.47~6.18,平均值为 5.45,比露天蔬菜地下降了 0.75 个单位;而丹东市保护地土壤 pH 值介于 5.32~6.80 之间,平均值为 5.93,其平均值比露天蔬菜地提高了 0.46 个单位。通过以上分析可知,露地改为保护地栽培蔬菜后,除丹东市外,其它各地的土壤 pH 值普遍降低。测定结果说明,辽宁省不同区域保护地耕层土壤的 pH 值相差较大,pH 最大值为朝阳市的保护地土壤 7.70,最小值为沈阳市于洪区的保护地土壤 4.47,相差 3.23 个单位。

### 2.2 保护地土壤剖面 pH 值变化特点

由图 1 可以看出,不同地区保护地土壤 pH 与露地土壤 pH 差异主要表现在 0~20 cm 与 20~40 cm 土层,40~80 cm 土层差异较小。朝阳市、铁岭市、沈阳市东陵区、于洪区保护地土壤 0~20、20~40 cm 土层的 pH 较露地相应土层明显下降,且差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。朝阳市保护地土壤 0~20、20~40 cm 土层的 pH 较露地相应土层下降了 0.92、0.35 个单位;铁岭市保护地 0~20、20~40 cm 土层的 pH 较露地相应土层下降了 0.70、0.40 个单位;沈阳市东陵区保护地 0~20、20~40 cm 土层的 pH 较露地相应土层下降了 0.61、0.12 个单位;沈阳市于洪区保护地 0~20、20~40 cm 土层的 pH 较露地相应土层下降了 0.49、0.30 个单位;而丹东市保护地土壤 0~20、20~40 cm 土层的 pH 较露地土壤有所升高,分别提高了 0.32、0.21 个单位。

朝阳市、铁岭市、沈阳市东陵区、于洪区保护地土壤的 pH 值均随土层深度的增加而增加,土层越深越接近露地土壤的 pH 值。表层土壤(0~20 cm)的 pH 值要远远低于其下各土层,且差异达显著水平,而其它各土层 pH 值间的差异较小,这是保护地栽培蔬菜后土壤发生酸化的结果。由于 0~20 cm 土层是耕作层,作物根系在该层的广泛分布以及人为的施肥、耕锄等保护地田间管理措施对该层有较大的影响,加之保护地内特殊的环境条件对该层难以忽视的作用,使得 0~20 cm 土层的 pH 值普遍低于其它深度的土层。在所测定的土样中,大部分土样表现出随土层深度的增加,其 pH 值也随之增大的趋势。这说明保护地土壤酸化是一个由表及里的过程,保护地不仅表层土壤酸化严重,而且深层土壤也面临酸化。

而丹东市保护地土壤 0~80 cm 各土层的 pH 值表现出表层土壤高于深层土壤,即随着土层深度的增加,其 pH 值逐渐降低的趋势。根据对丹东的实地调查资料分析,呈现这种趋势的原因主要与保护地的管理措施、

地理位置(地形部位,地下水层分布)及土壤质地有关。在丹东市,露地土壤的 pH 较低,人们在露地改为保护地的最初几年往往对保护地耕作层(0~20 cm)施入大量有机肥和生石灰,加上精耕细作,使土壤的肥力较高、结构较好。因此,土壤对 pH 值变化的缓冲性能有所增加,使土壤耕层的 pH 值有所上升。另外,在丹东市采集保护地土样时发现,保护地深层土壤质地较沙,而表层质地较好,地下水源也很丰沛。如果说保护地人为管理措施可能是造成耕层土壤 pH 值偏高的外部原因的话,那么保护地的地理位置、土壤质地,尤其是地下水层的分布则可能是产生深层土壤 pH 值远低于耕层土壤 pH 值的内部地质因素。具体原因尚待进一步深入研究。

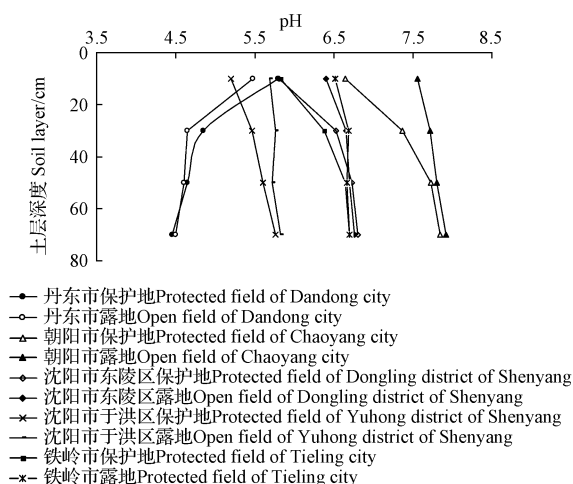


图1 各地区保护地土壤不同土层的 pH 值变化

Fig. 1 Spatial variation of pH in protected field soils in different areas

### 2.3 不同年限保护地土壤 pH 值变化特征

保护地种植年限对土壤 pH 值有不同的影响。从图 2 可以看出,各地区保护地表层土壤 pH 值随种植年限的变化曲线基本相似,趋势线的斜率都是负值,表明表层土壤 pH 值随保护地种植年限的增加而下降。随着种植年限的增加,朝阳市、沈阳市于洪区、沈阳市东陵区、铁岭市保护地土壤的 pH 值呈持续下降趋势。但是,在前 4 a 左右 pH 值下降速度缓慢,可能因为在刚开始建保护地的 1~4 a,人们在保护地管理过程中大量施入有机肥,化肥投入适中,加上精耕细作,土壤的肥力较高、结构较好,土壤对 pH 值变化的缓冲性强,因此土壤的 pH 值下降缓慢,甚至有所上升。但随着保护地种植年限的延长(大于 4 a),pH 值下降速度加快,在随后的保护地栽培中,虽然有的年份 pH 值有所回升,但总体上土壤 pH 值是随着保护地种植年限的增加而不断下降的。

丹东市保护地土壤 pH 值随种植年限的变化趋势与上不同。从图 2 可以看出,随着保护地年限的增加,

丹东市保护地土壤 pH 值呈增加-下降-增加-下降的趋势。由于丹东市土壤本身 pH 值较低,在刚开始建保护地的前几年,人们在保护地管理过程中大量施入有机肥,化肥投入较少,加上精耕细作,土壤的肥力较高、结构较好,土壤对 pH 值变化的缓冲性强,因此土壤的 pH 值有所上升;然而随着保护地种植年限的增加(大于 4 a),高度集约化生产使得土壤中的养分减少较快,化肥投入逐渐加大,特别是氮肥的大量投入,使得土壤 pH 开始下降,到达 12 a 左右的时候,土壤 pH 值已经低于建保护地前的土壤 pH 值,土壤酸化严重,直接影响到作物的生长,农户采取施用石灰、灌水洗田等方法使得土壤 pH 值有所回升,但随着保护地种植年限的增加,土壤的 pH 值又持续下降。总体来说,保护地土壤 pH 值的变化趋势是随着年限的增加而降低的。

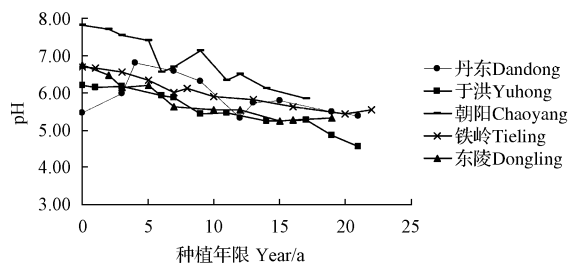


图2 各地区不同年限保护地表层土壤 pH 值

Fig. 2 pH in protected field soils under different planting years in different areas

### 3 讨论与结论

土壤酸碱度是土壤形成过程中所产生的一种属性,因此,土壤酸碱度具有区域性的特点。辽宁省不同地区土壤酸碱度区域性差异极大,由东南方的酸性土到西北方的碱性土,土壤 pH 值约相差 3 个单位。保护地土壤与露地土壤有密切关系,也有其自身的特点。保护地土壤的 pH 值是反映保护地土壤酸化程度的重要指标,从辽宁地区保护地土壤的 pH 值统计特征可了解保护地土壤的酸化程度,为保护地土壤酸化防治工作提供信息。pH 是土壤的一种重要化学性质,它对土壤肥力性质有多方面的影响。例如土壤中微生物的活动,有机质的分解,氮、磷等营养元素的转化和释放,某些微量元素的有效性,土壤保持养分的能力,以及土壤发生过程中元素的迁移等,都与 pH 有关。各种植物都有其适宜的 pH 值范围,超出这个范围则生长不良。

目前辽宁大部分地区露地改为保护地种植蔬菜后土壤 pH 值均显著下降(丹东除外),且大部分保护地土壤 pH 值有小于 5.50 的特点。这表明目前辽宁地区保护地土壤普遍存在严重的酸化问题。这无疑将在很大程度上降低和限制辽宁地区保护地蔬菜总体产量和品质的提高。究其原因,主要是由于保护地内大量施入化

学肥料,从施肥情况看,保护地农户虽然重视施用有机肥,但仍然大量施用化肥,基本均是基肥 667 m<sup>2</sup> 施尿素 20 kg,磷酸二铵 30 kg,硫酸钾 25 kg。除大量基肥外,基本每隔 10 d 都要冲施肥 1 次,冲施肥主要以尿素、NPK 复合肥料为主。在土壤中施用硫酸钾、硫酸铵、尿素、硝酸钾、硝酸铵和氯化铵等,都会使土壤的酸度有不同程度的增大,偏施化肥加剧土壤酸化程度。日本有资料认为无机化肥中的副成分 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 及 Cl<sup>-</sup> 等强酸性阴离子,一部分被作物吸收,大部分残存在土壤里,成为 pH 下降及盐渍化的主要原因。因此,保护地的土壤酸化与自然土壤酸化的重要区别在于保护地盐分离子中强酸阴离子的大量积累,强酸阴离子的含量大大超过存在的盐基离子总量,与 H<sup>+</sup> 结合成强酸<sup>[13]</sup>。另外,保护地农户大量施用氮肥,加上保护地内土壤硝化作用强烈,这就极易产生大量的 H<sup>+</sup> 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。徐仁扣<sup>[14]</sup>、Malhi 等<sup>[15]</sup> 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,并显著提高土壤铝、铁含量。

辽宁省朝阳市、铁岭市、沈阳市东陵区、沈阳市于洪区土壤 pH 值由露地改为保护地种植蔬菜后均出现下降趋势,且随着保护地种植年限的延长,pH 值持续下降。化肥的大量施用尤其是大量氮肥的施用是保护地土壤酸化的主要原因。保护地土壤酸化主要表现在 0~40 cm 土层,其下各土层 pH 值与露地土壤相应土层的差异较小。保护地土壤的 pH 值随土层深度的增加而增加,土层越深越接近露地土壤的 pH 值。而丹东市保护地土壤 0~80 cm 各土层的 pH 值表现出表层土壤高于深层土壤,即随着土层深度的增加,其 pH 值逐渐降低的趋势。呈现这种趋势的原因主要与保护地的管理措施、地理位置(地形部位,地下水层分布)及土壤质地有关。

## 参考文献

- [1] 范庆峰,张玉龙,陈重,等. 保护地土壤酸度特征及酸化机制研究[J]. 土壤学报,2009,46(3):466-471.
- [2] 冯永军,陈为峰,张蕾娜,等. 设施园艺土壤的盐化与治理对策[J]. 农业工程学报,2001,17(2):111-114.
- [3] 李文庆,张民,李海峰,等. 大棚土壤硝酸盐状况研究[J]. 土壤学报,2002,39(2):283-287.
- [4] 余海英,李廷轩,张锡洲. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征[J]. 中国农业科学,2010,43(3):514-522.
- [5] Bouwman A F. Soil and greenhouse Effect[M]//Chichester, John Wiley and Sons Brady N C. The Nature and Properties of Soils, 11st Ed. New York: Macmillan Publishing Co, 1990:343-355.
- [6] 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地菜地土壤质量初探[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):133-137.
- [7] 曾路生,高岩,李俊良,等. 寿光大棚菜地酸化与土壤养分变化关系研究[J]. 水土保持学报,2010,24(4):157-161.
- [8] 王辉,董元华,安琼,等. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究[J]. 土壤,2005,37(5):530-533.
- [9] 郭文龙,党菊香,吕家珑,等. 不同年限大棚土壤性质演变与施肥问题的研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):85-89.
- [10] 杨忠芳,余涛,唐金荣,等. 湖南洞庭湖地区土壤酸化特征及机理研究[J]. 地学前缘,2006,13(1):105-112.
- [11] 郑子成,李廷轩,何淑勤,等. 保护地土壤生态问题及其防治措施的研究[J]. 水土保持研究,2006,13(1):18-20.
- [12] 曹晓燕. 保护地土壤调理剂的应用研究[M]//植物保护与植物营养研究进展,中国农学会. 北京:中国农业出版社,1999.
- [13] 余海英,李廷轩,周建民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报,2006,43(4):571-576.
- [14] 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.
- [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 brome grass hay[J]. Soil and Tillage Research, 1998, 48:91-100.

## Study on Soil Acidification Status of Protected Field in Liaoning Province

FAN Qing-feng<sup>1</sup>, ZHANG Yu-long<sup>1</sup>, ZHANG Yu-ling<sup>1</sup>, YU Na<sup>1</sup>, YANG Chun-lu<sup>2</sup>, GAO Xiao-ning<sup>3</sup>

(1. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Land and Environmental Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866; 2. College of Environment, Liaoning University, Shenyang, Liaoning 110036; 3. Liaoning Academy of Environmental Sciences, Shenyang, Liaoning 110031)

**Abstract:** The soil acidification status were studied in this paper by measuring pH of the protected field soil in Chanyang, Tieling, Yuhong, Dongling and Dandong of Liaoning province. The results indicated that the soil pH sharply decreased after the field began vegetable cultivation under protection in Chaoyang, Tieling, Dongling, Yuhong, and the sampling point was 0.96, 0.69, 1.05, 0.75 lower respectively. The soil pH increased with soil depth increasing in Chanyang, Tieling, Yuhong and Dongling. The soil pH increased and closed to open field with soil depth increasing, and topsoil (0~20 cm) pH was far below the under layer. But the pH of topsoil layer was higher than other soil layers in protected field. The soil pH declined with soil depth increasing in Dandong 0~80 cm. With replanting time prolonging, the soil pH in top soil was higher than the under layer.

**Key words:** soil pH; soil acidification; protected field soil; Liaoning