

王媛华,段增强,汤 英,等. 碱性大棚土壤剖面 pH 值与盐分的相关性[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):537-540.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.153

碱性大棚土壤剖面 pH 值与盐分的相关性

王媛华^{1,2}, 段增强¹, 汤 英^{1,2}, 薛 鹤^{1,2}, 闫秋艳^{1,2}, 李 汛¹

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:为深入了解碱性大棚土壤剖面上 pH 值与盐分的相关性,对定点试验基地的 54 个剖面样品进行综合分析。结果显示,电导率(EC 值)、全盐量以及 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 含量均随着土壤剖面深度的增加而减少,pH 值、 HCO_3^- 含量则随着土壤剖面深度的增加而增大。土壤耕层(0~20 cm)的可溶性盐分离子主要为 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ ,而下层土壤(20~80 cm)的可溶性盐分离子主要为 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 。pH_w 值(去 CO_2 去离子水浸提测定的 pH 值)与 EC 值、全盐量、离子含量总和以及 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 离子的含量均具有显著的负线性相关性,而 pH_{Ca} 值(0.01 mol/L $CaCl_2$ 浸提测定的 pH 值)与各盐分指标的相关性总体弱于 pH_w 值;在整个剖面上, HCO_3^- 含量与 EC 值呈显著负相关,与 pH_w 值呈显著正相关。以上结果表明,pH 值与盐分含量具有显著相关性,且 HCO_3^- 含量与 pH_{Ca} 值可综合反映碱性大棚土壤剖面的酸化与次生盐渍化状况;尽管大棚土壤酸化与次生盐渍化现象明显,但目前更应关注次生盐渍化的控制和治理。

关键词: pH 值;酸化;设施土壤;盐分积累;次生盐渍化;剖面

中图分类号: S153;S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0537-04

设施栽培是目前发展最快的农业生产栽培模式,在蔬菜的反季节栽培和跨地区种植中起重要作用。设施栽培已成为我国很多地区的支柱产业,极大增加了农民收入,产生了良好的经济效益和社会效益,越来越多的良田被用于建设日光温室或大棚。由于设施内土壤长期处于高肥料施用量、高集约化、高复种指数、高温高湿、无降水淋洗的环境中,土壤质量严重退化,中性、碱性土壤的快速酸化与次生盐渍化是其重要特征,对设施农业的可持续发展、农产品安全、生态环境均造成不利影响^[1-4]。江苏省太仓市陆渡镇现代农业示范园自 2007 年建造以来大力发展大棚蔬菜,是江苏省苏州市、上海市等地蔬菜的重要供应点。高强度的连作使新建大棚在 5 年内即出现土壤板结、表层泛盐、地表发红、杂草丛生、土传病害严重、蔬菜严重减产等现象。以该示范园内一试验基地的土壤(碱性)为研究对象,探讨 pH 值、盐分组成在土壤剖面的分布特征,以及 pH 值与盐分积累量之间的相关性,为合理控制并治理当地大棚土壤的酸化及次生盐渍化提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

江苏省太仓市地处北亚热带南部季风性湿润气候区,四季分明,历年平均气温 15.5℃、降水量 1 078.1 mm、日照时数 1 960.9 h、无霜期 226 d。太仓市位于江苏省东南部、长江

口南岸,东北濒长江,古代为滨海村落,是长江三角洲冲积平原,自古以来为水稻生产基地,土壤肥沃。

试验于 2012 年 9 月进行,选取江苏省太仓市陆渡镇现代农业示范园区内闲置的八连栋大型塑料大棚作为试验基地,开展定点试验,监测土壤 pH 值及盐分的剖面分布状况。棚内土壤为渗育型水稻土,基本理化性质见表 1。由于土壤质量问题,该大棚内地表大面积泛红,叶菜类无法正常生长,被菜农闲置。大棚坐北朝南,南北总长 40 m、东西总长 64 m、单栋棚宽 8 m、高 5 m。大棚常年覆膜,但棚顶两侧可卷起透气通风。棚内可覆 2 层膜,膜高 4.5 m。地面上有钢管搭建的小拱棚,宽 4.0 m、高约 1.8 m,可于严冬加盖 3 层膜以保温。棚内开展 6 个施肥处理,进行土壤质量及作物生长影响试验。小区宽 1.5 m、长 16.0 m,每个处理设 3 次重复,随机排列。对作物进行常规管理,轮茬顺序为青椒(2012 年 9 月至 2013 年 5 月)—玉米(2013 年 6—8 月)—青椒(2013 年 8 月至 2014 年 5 月),采用滴灌带进行灌溉,灌溉水为河水。

1.2 样品的采集

每茬作物收获后,于每个小区取 3 个剖面混成一个样品,3 个剖面沿中心线等距分布,剖面分 6 层,分别为 0~5、5~10、10~20、20~40、40~60、60~80 cm。3 茬共采集 54 个剖面样品。

1.3 样品分析项目

土壤采回后风干并除杂,过 1 mm 筛,保存备用。样品的测定项目包括电导率、pH 值(H_2O)、pH 值($CaCl_2$)以及 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 HCO_3^- 离子的含量,各盐分离子含量的计算结果均以干土质量计。pH 值采用 pH S-3C 型酸度计测定,液土比(质量比)为 5:1。当浸提剂为去二氧化碳去离子水且振荡时间为 5 min 时,测定值记为 pH_w 值;当浸提剂为 0.01 mol/L $CaCl_2$ 且振荡时间为 1 h 时,测定

收稿日期:2015-04-07

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2014BAD14B04)。

作者简介:王媛华(1986—),女,湖北荆州人,博士研究生,主要从事温室土壤的酸化与次生盐渍化研究。E-mail:ahwang@issas.ac.cn。

通信作者:段增强,研究员,主要从事设施栽培研究。E-mail:zqduan@issas.ac.cn。

值记为 pH_{Ca} 值。EC 值采用 DDS-11A 型电导仪测定, 液土比为 5:1。各盐分离子含量的测定水土比均为 5:1, 其中 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 的含量采用 ICP 测定, Cl⁻、HCO₃⁻ 的

含量采用滴定法测定^[5], NO₃⁻ 的含量采用双波长比色法测定^[6]。全盐量为 8 种盐分离子质量之和, 离子含量总和为 8 种盐分离子摩尔含量之和。

表 1 土壤剖面的基本理化性质

剖面深度 (cm)	pH _w 值	pH _{Ca} 值	电导率 (μS/cm)	全盐量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)	硝态氮(NO ₃ ⁻ -N) 含量 (mg/kg)
0~5	8.22±0.16	7.43±0.03	521.14±206.54	422.62±181.22	20.62±1.31	28.33±22.32
5~10	8.33±0.15	7.40±0.01	258.03±82.21	310.95±91.58	19.81±0.88	13.42±12.81
10~20	8.53±0.05	7.54±0.04	237.53±52.51	388.91±103.42	16.16±1.06	14.74±7.31
20~40	8.63±0.07	7.73±0.04	234.69±61.52	304.10±34.27	9.51±0.90	19.35±6.52
40~60	8.64±0.08	7.70±0.07	187.01±28.46	247.58±52.16	8.43±0.81	17.64±3.43
60~80	8.70±0.12	7.78±0.03	154.53±19.02	233.34±47.61	7.92±1.00	12.31±3.91

注: n=8, 每栋大棚 1 个数据。pH_w 值为水浸提测定的 pH 值, pH_{Ca} 值为 0.01 mol/L CaCl₂ 浸提测定的 pH 值。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0、Sigmaplot 10.0、Excel 2003 软件进行统计分析并作图, 采用 Duncan's 法进行多重比较 (P<0.05)。本研究不考虑土样来源于何种处理, 仅分析剖面深度对土壤 pH 值及盐分分布的影响。

2 结果与分析

2.1 pH 值及盐分的剖面分布状况

由表 2 可知, pH_w 值、pH_{Ca} 值均随剖面深度的增加显著升高, 且 pH_w 值与 pH_{Ca} 值的差值显著增大; EC 值、全盐量均随剖面深度的增加显著下降。在 0~20 cm 范围内, pH 值、EC 值、全盐量的变化幅度较为剧烈; 而在 20~80 cm 范围内, pH 值、EC 值、全盐量的变化幅度较小, 表现出明显的耕层酸化和积盐现象。与初始全盐量 (表 1) 相比, 整个剖面的全盐量均

显著增加, 但 20~80 cm 的 EC 值无显著差异。

K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻ 离子含量及其占总量的比例 (贡献率) 均随剖面深度的增加逐渐下降, 而 HCO₃⁻ 离子的含量及其占总量的比例 (贡献率) 随之逐渐增加 (图 1)。阳离子中, Na⁺ 与 Ca²⁺ 是主要的贡献离子; 阴离子中, 在 0~20 cm 范围内, SO₄²⁻ 与 NO₃⁻ 是主要的贡献离子, 而在 20~80 cm 范围内, HCO₃⁻ 是最主要的贡献离子。阴离子 (不包含 HCO₃⁻) 在剖面上的变化幅度显著高于阳离子, 0~5 cm 阳离子含量是 60~80 cm 阳离子含量的 2.43~4.55 倍, 阴离子 (不包含 HCO₃⁻) 则为 6.47~9.69 倍, HCO₃⁻ 在底层的离子含量是表层的 1.36 倍。阳离子对离子总量的贡献率在剖面上波动较小, 而阴离子的贡献率在剖面上波动较大, 且 Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻ 贡献率的下降与 HCO₃⁻ 贡献率的上升相平衡。

表 2 pH 值及盐分的剖面分布状况

剖面深度 (cm)	pH _w 值	pH _{Ca} 值	EC 值 (μS/cm)	全盐量 (mg/kg)
0~5	7.66±0.03	7.31±0.01	693.05±57.60	1 904.11±178.06
5~10	7.77±0.03	7.28±0.02	384.18±26.16	1 019.79±81.33
10~20	7.95±0.03	7.38±0.01	312.00±17.96	895.39±92.82
20~40	8.30±0.02	7.63±0.01	257.41±11.57	751.01±37.33
40~60	8.43±0.02	7.67±0.01	195.57±9.75	577.86±27.60
60~80	8.51±0.02	7.68±0.01	146.86±6.27	464.40±20.41

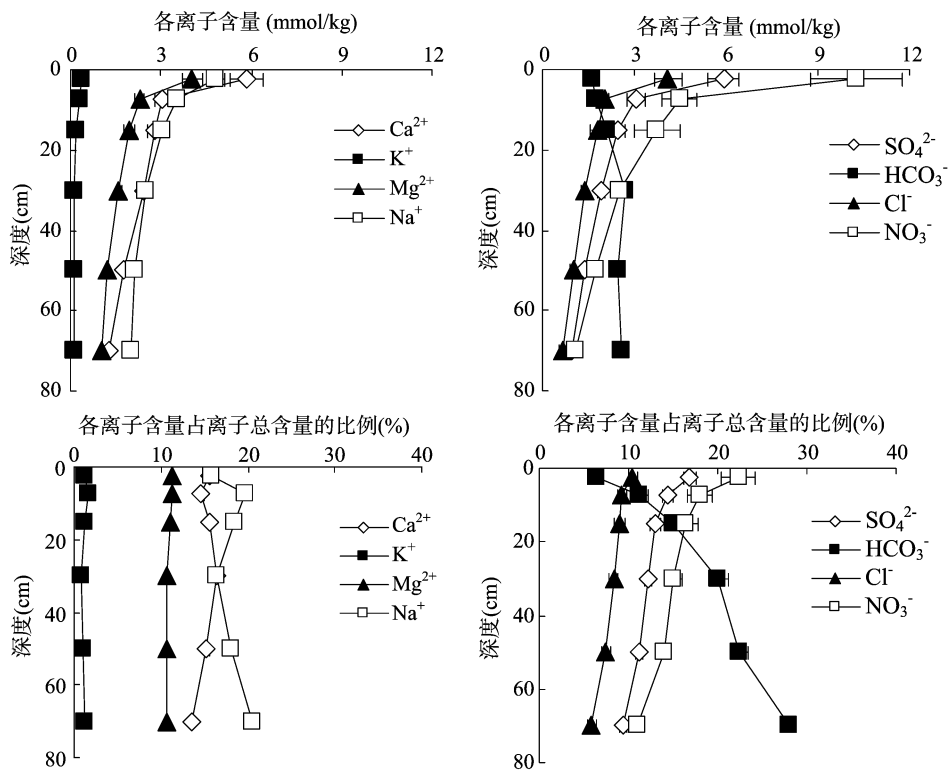
注: 表中数据为同一土层 54 个土样的平均值, 括号内数据为标准差。

2.2 pH 值与盐分、各离子含量的相关性

对整个剖面 and 每一层样品的 pH_w 值、pH_{Ca} 值、pH_w-pH_{Ca} 值与其相对应的 EC 值、全盐量、离子总量、各离子含量进行相关性分析。结果表明, 在整个剖面 and 每一层土壤中, pH_w 值与 EC 值、全盐量、离子总量及 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻ 的含量均有显著的负线性相关性; HCO₃⁻ 在整个剖面上与 pH_w 值呈显著正相关, 而在 20~40 cm 土壤上与 pH_w 值呈显著负相关, 在 0~5、5~10、10~20、40~60、60~80 cm 土壤上与 pH_w 值不相关 (表 3)。pH_{Ca} 值与各盐分指标的相关性总体弱于 pH_w 值与各盐分指标的相关性, 在 40~60 cm 土壤上, pH_{Ca} 值与 EC 值、全盐量、离子总含量均不相关。尽管如此, 在整个剖面上 and 每一层土壤中, pH_w 值与 pH_{Ca} 值的差值均表现出与 EC 值、全盐量、离子总量显著负相关性。

3 讨论

灌溉方式及灌溉水性质影响盐分在土壤剖面的分布^[7-8], 本试验基地所处园区内河网纵横, 地下水位在 80~100 cm 之间, 距离长江入海口不足 70 km, 地下水的 EC 值可达 800 μS/cm 以上。大棚长期处于高温状态, 有利于地下水向上迁移, 以致于作物在几乎不灌溉的情况下正常生长, 这有利于可溶性盐向地表迁移, 造成盐分表聚现象。由于灌溉量小, 盐分不易向下迁移, 且土壤在长期的水稻栽培中形成坚硬的犁底层, 使盐分较难向下迁移。表 2 和图 1 均显示, 盐分的剧烈变化主要出现在 0~20 cm, 20 cm 以下的 EC 值、全盐量、各离子含量下降幅度均大幅减小。本研究中只有 0~5 cm 土壤的 EC 值大于 600 μS/cm, 属于中盐度土壤^[4], 可使多数作物生长受阻, 尤其是浅根系叶菜类作物; 因此, 这类土壤应尽



图中数据为同一土层 54 个土样的平均值，误差线为标准差。
图1 各离子在土壤剖面的分布状况

表 3 土壤 pH 值与盐分指标间的皮尔逊相关性系数

深度 (cm)	pH 值	皮尔逊相关性系数										
		EC 值	全盐量	总量	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
0 ~ 80 (n = 6)	pH _w 值	-0.883	-0.864	-0.871	-0.862	-0.934	-0.883	-0.940	-0.881	0.934	-0.873	-0.861
	pH _{Ca} 值	<u>-0.776</u>	<u>-0.752</u>	-0.760	<u>-0.746</u>	-0.873	<u>-0.777</u>	-0.858	<u>-0.775</u>	0.927	<u>-0.763</u>	<u>-0.750</u>
	pH _w - pH _{Ca} 值	-0.956	-0.944	-0.948								
0 ~ 5 (n = 54)	pH _w 值	-0.604	-0.656	-0.653	-0.639	-0.606	-0.637	-0.361	-0.534	<u>-0.123</u>	-0.585	-0.629
	pH _{Ca} 值	-0.404	-0.449	-0.428	-0.397	-0.538	-0.392	<u>-0.072</u>	-0.363	<u>-0.032</u>	-0.309	-0.472
	pH _w - pH _{Ca} 值	-0.502	-0.540	-0.547								
5 ~ 10 (n = 54)	pH _w 值	-0.717	-0.735	-0.746	-0.700	-0.565	-0.698	-0.535	-0.566	<u>-0.138</u>	-0.687	-0.694
	pH _{Ca} 值	-0.490	-0.554	-0.546	-0.489	-0.688	-0.540	-0.311	-0.482	<u>-0.048</u>	-0.463	-0.501
	pH _w - pH _{Ca} 值	-0.574	-0.559	-0.577								
10 ~ 20 (n = 54)	pH _w 值	-0.527	-0.529	-0.547	-0.542	-0.487	-0.602	-0.559	-0.534	<u>-0.110</u>	-0.557	-0.429
	pH _{Ca} 值	-0.346	<u>-0.248</u>	<u>-0.245</u>	<u>-0.178</u>	-0.551	-0.253	<u>-0.119</u>	<u>-0.212</u>	<u>-0.212</u>	-0.268	<u>-0.237</u>
	pH _w - pH _{Ca} 值	-0.391	-0.449	-0.472								
20 ~ 40 (n = 54)	pH _w 值	-0.499	-0.639	-0.643	-0.642	-0.507	-0.641	-0.549	-0.557	-0.260	-0.560	-0.515
	pH _{Ca} 值	<u>-0.179</u>	-0.303	-0.278	<u>-0.235</u>	-0.522	-0.290	<u>-0.147</u>	<u>-0.248</u>	-0.275	<u>-0.072</u>	-0.296
	pH _w - pH _{Ca} 值	-0.413	-0.481	-0.501								
40 ~ 60 (n = 54)	pH _w 值	-0.548	-0.636	-0.630	-0.614	-0.425	-0.611	-0.520	-0.574	-0.063	-0.494	-0.613
	pH _{Ca} 值	<u>-0.088</u>	<u>-0.132</u>	<u>-0.105</u>	<u>-0.050</u>	-0.437	<u>-0.093</u>	<u>-0.005</u>	<u>-0.108</u>	-0.311	<u>-0.023</u>	<u>-0.063</u>
	pH _w - pH _{Ca} 值	-0.503	-0.569	-0.576								
60 ~ 80 (n = 54)	pH _w 值	-0.530	-0.647	-0.626	-0.568	-0.389	-0.591	-0.534	-0.672	<u>-0.219</u>	-0.462	-0.534
	pH _{Ca} 值	<u>-0.169</u>	-0.354	-0.306	-0.271	-0.481	-0.329	<u>-0.171</u>	-0.384	-0.454	<u>-0.027</u>	<u>-0.100</u>
	pH _w - pH _{Ca} 值	-0.449	-0.450	-0.461								

注:下划线数据表示 $P > 0.05$; $n = 6$, 表示 6 个土层, 每个土层为该土层 54 个样品的平均值; $n = 54$, 表示每个土层 54 个样品的测定值。

量种植深根系、较耐盐的蔬菜作物。在整个土壤剖面上, HCO_3^- 以外的 7 种离子含量均随土壤深度的增加而减少, 但从各离子所占盐分总量的比例来看, 阳离子所占比例相对稳定; Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 贡献率的下降与 HCO_3^- 贡献率的上升相

平衡, 表明阴离子受剖面深度的影响更大。可能的原因为碱性土壤带负电荷较多, 同性相斥, 有利于阴离子向下迁移。

当地施肥以复合肥和尿素为主, 本研究中部分处理施有有机肥, 因此在土壤主要的盐分离子中, NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 K^+

主要来自于化肥和有机肥,而 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 主要来自于土壤本身或地下水。在这些离子中, K^+ 易被矿物固定,导致其在可溶性盐中所占比例最小;其他 3 种人为添加的离子 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 对耕层盐分的贡献率最大,这与已有研究的结论^[1,9]相一致,表明次生盐渍化主要由大量施肥所致。可溶性盐中 Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 结合成的硫酸钙是微溶盐,而浸提可溶性盐的土水比远大于田间状况,较高的 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 含量并不代表其在土壤溶液中具有高浓度;因此,本研究中大棚土壤内可能对作物生长产生危害的盐分离子应以 Na^+ 、 NO_3^- 为主, Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 次之。已有研究表明,钠盐对作物生长的危害明显高于钙盐^[10-12],因此在盐害的控制与治理中要更加关注钠的影响。

在土壤发生盐分积累的同时,土壤 pH 值也有所降低^[1,13],通常将 pH 值降低这一现象称为酸化。在该试验基地,1 kg 土壤(土壤容重为 1.21 g/cm³)每下降 1 个单位的 pH 值需要 164.98 mmol H⁺。在所施氮肥为尿素且所有氮均转化为硝态氮的理想条件下,0~5 cm 层土壤的 pH_w 值由 8.22 下降至 7.66(表 1、表 2),尿素施用量须达 6 810 kg/hm²,而在 3 茬作物的栽培中不可能达到该施肥量,因此土壤 pH_w 值下降幅度过大无法完全用质子贡献解释。前期研究发现, pH_w 值的测定极易受盐分影响,少量盐的存在即可使 pH 值下降 0.5 个单位或更多,不同类型的盐对 pH 值测定的影响程度因盐的离子组成和土壤类型而异^[12,14]。大量研究表明, pH_w 值与盐分总量、各离子含量(不包含 HCO_3^-)具有显著负相关性(表 4)^[1,15];因此,盐分积累在一定程度上使 pH_w 值下降,且与质子无关。 pH_{Ca} 值受盐分影响的程度显著弱于 pH_w 值(表 4)^[12,14,16-17],0~5 cm 土壤的 pH_{Ca} 值由 7.43 下降至 7.31(表 1、表 2),尿素施用量仅需 1 455 kg/hm²,而 3 茬作物的施氮量往往超过这一水平;因此,采用 pH_{Ca} 值指示大棚含盐土壤因质子增加导致的酸化更为合理^[12,14]。 HCO_3^- 主要来源于土壤本身,可与质子反应,在整个剖面上 HCO_3^- 与 pH_w 值、 pH_{Ca} 值均呈极显著正相关(表 4)^[13],又因酸化同时伴随着盐分积累,使 HCO_3^- 在整个剖面上与 EC 值呈极显著负相关(表 3)。已有研究表明,随着种植年限的延长, HCO_3^- 含量、pH 值下降,EC 值上升^[1,13]。可见, HCO_3^- 含量及其对盐分总量的贡献率可在一定程度上反映碱性土壤剖面的酸化、次生盐渍化状况。如果生产过程中向土壤施入大量含碳酸盐或碳酸氢盐的物质(如石灰、含石灰的有机肥), HCO_3^- 含量可能随着剖面深度的加深而逐渐减少^[3],则 HCO_3^- 对酸化、次生盐渍化的意义有待重新评价。

综上所述,在大棚生产过程中,耕层土壤盐分积累现象和酸化现象明显,主要由肥料的大量施用导致。由于本研究中的土壤为碱性土壤,且酸碱缓冲容量较大,轻微的酸化使土壤 pH 值趋于中性化,有利于土壤中养分的活化; HCO_3^- 的减少可增加大棚内空气的二氧化碳体积分数,起到气肥的作用,有利于作物生长。在这一类土壤上,应加强对土壤次生盐渍化问题的关注,并主要关注 Na^+ 和 NO_3^- 的危害。

4 结论

在作物的生产管理过程中,大棚土壤表现出明显的耕层酸

化和次生盐渍化现象。EC 值、全盐量及 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的含量均随着土壤剖面深度的增加而减少,pH 值、 HCO_3^- 含量则随着剖面深度的增加而增大。土壤耕层(0~20 cm)可溶性盐分离子主要为 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ ,从土壤溶液中离子浓度的角度考虑,蔬菜生产中应重点关注 Na^+ 和 NO_3^- 的危害。 pH_w 值的测定受盐分含量影响较大,而 pH_{Ca} 值的测定受盐分含量影响较小,后者可更好地反映含盐土壤因质子增加导致的土壤酸化现象。在整个剖面上, HCO_3^- 含量与 EC 值呈显著负相关,与 pH_w 值呈显著正相关,可在一定程度上综合反映大棚土壤剖面的酸化、次生盐渍化状况。

参考文献:

- [1] 范庆锋,张玉龙,陈 重. 保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及 pH 值的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(1):103-106.
- [2] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science,2010,327:1008-1010.
- [3] 李廷轩. 设施栽培条件下土壤质量演变及调控[M]. 北京:科学出版社,2011:38-91.
- [4] 黄绍文,王玉军,金继运,等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性 and 肥力状况[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):906-918.
- [5] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978:142-195.
- [6] 宋 歌,孙 波,教剑英. 测定土壤硝态氮的紫外分光光度法与其他方法的比较[J]. 土壤学报,2007,44(2):288-293.
- [7] 李 卫,郑子成,李廷轩,等. 设施灌溉条件下不同次生盐渍化土壤盐分离子迁移特征[J]. 农业机械学报,2011,42(5):92-99.
- [8] 吴昌娟,张玉龙,虞 娜,等. 保护地节点渗灌下水肥耦合对土壤全盐量的影响[J]. 土壤通报,2013,44(4):897-904.
- [9] 杨春霞,张 艳,李彩虹,等. 宁夏设施土壤盐分离子组成及含量变化特点[J]. 西北农业学报,2014,23(1):201-206.
- [10] 王丽萍,孙 锦,郭世荣,等. 白籽南瓜嫁接对不同盐胁迫下黄瓜幼苗氮代谢和蛋白表达的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(3):689-698.
- [11] 王丽萍,孙 锦,郭世荣,等. 黄瓜砧用白籽南瓜对不同盐胁迫的耐性评价[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1311-1318.
- [12] 王媛华,段增强,董金龙,等. 可溶性盐对土壤 pH 测定的影响及消除初探[J]. 土壤学报,2014,51(6):1298-1308.
- [13] 曾希柏,白玲玉,苏世鸣,等. 山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化[J]. 生态学报,2010,30(7):1853-1859.
- [14] 王媛华,段增强,董金龙,等. 温室土壤酸化评估的不同 pH 测定方法比较研究[J]. 农业环境科学学报,2014,33(11):2164-2170.
- [15] Ju X T, Kou C L, Christie P, et al. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain[J]. Environmental Pollution,2007,145(2):497-506.
- [16] Miller R O, Kissel D E. Comparison of soil pH methods on soils of North America[J]. Soil Science Society of America Journal,2010,74:310-316.
- [17] Minasny B, Mcbratney A B, Brough D M, et al. Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration[J]. European Journal of Soil Science, 2011,62:728-732.