植物营养与肥料学报 2011,17(4):906-918
Plant Nutrition and Fertilizer Science

我国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况

黄绍文,王玉军,金继运,唐继伟
(农业部植物营养与肥料重点开放实验室,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081)

摘要:从全国主要菜区采取1201个典型菜田耕层土壤样品,对主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力(有机质、NO_3^--N及速效磷和速效钾)状况进行了研究。结果表明:(1)全国温室和大棚菜田土壤次生盐渍化严重,土壤硝酸根的积累是引起土壤次生盐化的重要原因之一,而土壤硝酸盐积累是氮肥过量施用所致。全国主要菜区温室和大棚土壤电导率高于蔬菜正常生长土壤电导率临界值(600 μs/cm)的土样数分别占其总土样数的28.1%和29.3%,居于超高盐度水平(≥1000 μs/cm)的土样数分别占9.5%和14.9%。温室和大棚土壤电导率与土壤硝态氮含量之间均呈极显著的正相关(温室:n = 285, r = 0.76**;大棚:n = 348, r = 0.86**)。(2)全国主要菜区土壤有机质含量普遍处于中低水平,土壤有机质含量低于其临界值(20 g/kg)的土样数占总土样数的36.9%,处于高含量水平(≥40 g/kg)的仅为10.0%。(3)温室和大棚土壤硝态氮和速效磷大量积累,对生态环境构成了严重威胁。全国主要菜区温室和大棚土壤硝态氮含量居于高含量水平(≥150 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的33.0%和30.7%,土壤速效磷含量居于高含量水平(≥150 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的59.3%和35.3%。(4)北方温室和大棚菜田土壤酸碱度中性化明显,北方主要菜区温室和大棚土壤pH值(分别平均为7.2和7.3;温室:n = 270,大棚:n = 143)显著低于露地土壤(平均7.7,n = 155)。

关键词:主要菜区;土壤盐分;土壤酸碱性;土壤肥力
中图分类号:S153.6　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2011)04-0906-13

Status of salinity, pH and nutrients in soils in main vegetable production regions in China

HUANG Shao-wen, WANG Yu-jun, JIN Ji-yun, TANG Ji-wei
(*Ministry of Agriculture Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: This study was conducted to determine status of salinity, pH and fertility (OM, NO_3^--N, and available P and K) of 1201 representative plow layer soil samples from the main vegetable production regions in China. The results showed that: (1) serious secondary salinization was found in the vegetable soils for greenhouse with wall and greenhouse without wall in the main vegetable production regions in China, with 28.1% and 29.3% of respective total soil samples from the greenhouse with wall (n = 285) and the greenhouse without wall (n = 348) for soil electrical conductivity value beyond the critical value (600 μs/cm) for vegetable in normal growth, and 9.5% and 14.9% of respective total soil samples at very high salinity evaluation level (≥1000 μs/cm). One of the most important reasons accounting for this was due to soil nitrate accumulation resulting from long-term use of excessive nitrogen fertilizer. Significant correlation relationships between soil electrical conductivity values and soil nitrate-N contents were observed in the vegetable soils for the greenhouse with wall and the greenhouse without wall, with correlation coefficients being 0.76 for the vegetable soils of the greenhouse with wall (n = 285) and 0.86 for the vegetable soils of the greenhouse without wall (n = 348). (2) Medium and low OM

收稿日期:2011-03-23　　**接受日期**:2011-05-14
基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-25-C-11);IPNI项目资助。
作者简介:黄绍文(1964—),男,湖南桃源人,研究员,博士,主要从事蔬菜营养与高效安全施肥研究。
Tel:010-82108662, E-mail:swhuang@caas.ac.cn
土壤样品采取由国家大宗蔬菜产业技术体系各综合试验站站长负责,其他岗位专家参与并给予了指导,在此一并感谢。

evaluation levels in most soils in the main vegetable production regions in China were found, with 36.9% of soil samples (n = 1201) in OM contents below its critical value (20 g/kg) and only 10.0% of the soil samples at high OM evaluation level (≥40 g/kg), respectively. (3) High accumulations of nitrate-N and available P were observed in the vegetable soils for the greenhouse with wall and the greenhouse without wall in the main vegetable production regions in China, with 33.0% and 30.7% of respective total soil samples from the greenhouse with wall (n = 285) and the greenhouse without wall (n = 348) for soil nitrate-N at high evaluation level (≥150 mg/kg), and 59.3% and 35.3% of respective total soil samples for soil available P at high evaluation level (≥150 mg/kg). These data indicated that high accumulations of nitrate-N and available P in the vegetable soils for the greenhouse with wall and the greenhouse without wall would lead to potential threat to vegetable and environment. (4) Significant neutralization of pH was found in the vegetable soils for the greenhouse with wall and the greenhouse without wall in northern main vegetable production regions in China, with lower pH values in the vegetable soils for the greenhouse with wall (pH 7.2, n = 270) and the greenhouse without wall (pH 7.3, n = 143) compared with the open vegetable soils (pH 7.7, n = 155).

Key words: main vegetable production regions; soil salinity; soil pH; soil fertility

一个国家土壤质量的升降是国家的重大国情之一，它涉及到农业、工业等一系列问题的战略走向，也涉及到人类的生存环境[1]。近些年来，土壤质量状况及其发展趋向对农产品质量和生态环境的影响受到极大关注。控制土壤质量状况，并调节好发展趋势，就从“源头上”保护了生态环境，从根本上控制了面源氮、磷等对农产品和生态环境的污染。

当前我国蔬菜生产中普遍存在着化肥用量过大、有机肥用量不足和质量难以保证、氮磷钾施用不平衡、中微量元素肥料的施用未引起重视、施肥方法不当等现象，导致了菜田土壤肥力退化、施肥环境效应令人担忧、蔬菜产品安全性降低等一系列较为严重的问题[2-3]。蔬菜尤其是设施蔬菜肥料施用超量严重，一般施肥量超过蔬菜需要量的 3 ～ 5 倍。据刘宏斌[4]对北京市 1996 ～ 2000 年 5 年肥料使用情况的调查，蔬菜的施肥量（养分）大约为粮食作物的 10 倍。山东省惠民设施蔬菜产区氮（N）、磷（P_2O_5）和钾（K_2O）年均施入量分别为 4670、1409 和 1916 kg/hm^2，分别相当于对照农田的 7.0、12.8 和 18.6 倍，超过蔬菜需要量的数倍[5]。余海英等[6]对山东寿光温室蔬菜种植情况调查显示，有机肥以鸡粪和猪粪为主，56% 的温室全部用高浓度复合肥（N－P_2O_5－K_2O = 15－15－15），温室栽培每年 N、P_2O_5 和 K_2O 的平均投入量分别达到 4088、3656 和 3438 kg/hm^2。Huang 和 Jin[3]对北京市、天津市、河北省和山东省 4 个省市 10 个区市县的肥料使用情况调查表明，设施蔬菜和露地蔬菜的总施肥量（养分）分别为粮食作物的 5.2 倍和 2.5 倍。蔬菜要求钾多磷少，一般 N∶P_2O_5∶K_2O 吸收比例为 1∶0.3 ～ 0.5∶1.0 ～ 1.5，而施用比例为 1∶0.6 ～ 1.0∶0.4 ～ 0.7，养分比例严重失衡[3-4,7]。刘兆辉等[8]对山东省寿光市设施菜田土壤样品的分析表明，土壤硝态氮的平均含量是粮田土壤的 6.5 倍，硝态氮在土壤剖面中淋洗下移明显；土壤速效磷含量比粮田土壤高出几倍至几十倍，磷在剖面有向下移动的现象。对天津市设施菜田调查结果表明，土壤硝态氮含量是相邻农田的 4 ～ 10 倍，土壤速效磷含量竟然高达 20 倍以上[9]。设施菜田土壤中高量的硝态氮和速效磷含量对生态环境构成了严重威胁。肥料的过量和不合理使用带来的巨大经济损失和环境风险已成为制约我国蔬菜可持续发展的瓶颈。了解菜田土壤肥力状况是蔬菜合理施肥的基础。虽然各地菜田土壤的肥力特征有许多相似之处，如耕层土壤盐分和硝态氮累积、速效磷显著增加等，但由于生态条件、栽培方式、栽培制度、施肥等方面的差异，各地菜田土壤肥力状况并不一致。然而，目前有关全国主要菜区土壤养分状况方面的研究鲜见报道。为此，2009 ～ 2010 年国家大宗蔬菜产业技术体系开展了全国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况的普查工作，为全国主要菜区肥料资源合理配置和开展测土配方施肥提供了基础，对于我国蔬菜产业可持续发展具有至关重要的意义。

1　材料与方法

1.1　土壤样品采集

调查范围包括北方 3 个区域（东北、黄淮海和西北地区）和南方 4 个区域（华中、西南、华东和华南地区）。调查对象为温室（有后墙）、大棚（无后

墙)和露地菜田3种栽培方式。土壤样品由国家大宗蔬菜产业技术体系34个综合试验站负责采取,从每个示范基地县选择代表性栽培方式和栽培制度下7～8个典型菜田作为取样地块(每个综合试验站3～5个示范基地县,1个地块1个混合样),每个试验站采取35个左右耕层土壤样品。取样时间是作物收获后或蔬菜施肥前或生长后期。取样方法是在地块内按S形布点或梅花形布点(要避开路边、田埂、沟边、肥堆等特殊部位),用不锈钢或木质或塑料工具采取耕层0～20 cm土壤样品。从全国主要菜区共采取1201个耕层土壤样品,其中温室、大棚和露地菜田土壤样品数分别为285、348和568个;按北方主要菜区和南方主要菜区分别统计,北方主要菜区温室、大棚和露地菜田土壤样品数分别为270、143和155个,南方主要菜区温室、大棚和露地菜田土壤样品数分别为15、205和413个;不同栽培方式下各区域土壤样品数目见表1。土壤样品风干,磨碎,过筛(2 mm用于土壤pH和硝态氮测定,1 mm用于土壤盐分及速效磷和速效钾测定,0.149 mm用于土壤有机质测定),备用。

表1 不同菜区土壤样品数目

Table 1 Number of soil samples for different vegetable production regions surveyed

栽培方式 Land use pattern	东北 North-eastern	黄淮海 Huang-huaihai	西北 North-western	华中 Central China	西南 South-western	华东 East China	华南 South China
温室土壤样品数 Soil samples from GH with wall	62	174	34	0	3	12	0
大棚土壤样品数 Soil samples from GH without wall	49	87	7	41	12	144	8
露地土壤样品数 Soil samples from open field	34	72	49	131	60	68	154
地区土壤样品总数 Total soil samples	145	333	90	172	75	224	162

注(Note):GH—温室 Greenhouse.

1.2 土壤样品分析

土壤样品分析由国家大宗蔬菜产业技术体系土壤肥料团队负责。土壤盐分用5∶1水土比,电导仪测定(直接用土壤浸出液的电导率来表示土壤水溶性盐总量);土壤pH用2.5∶1水土比,酸度计测定;土壤有机质用重铬酸钾-浓硫酸氧化(外加热法),硫酸亚铁溶液滴定法测定;土壤硝态氮用2 mol/L氯化钾溶液浸提,双波长紫外分光光度法测定;土壤速效磷用0.5 mol/L $NaHCO_3$溶液浸提,钼锑抗比色法测定;土壤速效钾用1 mol/L中性NH_4OAc溶液浸提,原子吸收分光光度计测定。

1.3 土壤盐分、酸碱性和肥力分级指标

菜田土壤盐分分级和酸碱性分级参考标准见表2[10]和表3[11]。

虽然国内外许多学者都认为菜田土壤养分的丰缺指标一般要高于禾谷类等其它大田作物,但至今尚未提出较为系统的分级指标。本文根据国内外有关文献的报道资料[11-13],并根据多年的实践和研究,整理得出了菜田土壤养分丰缺状况分级的一般性参考标准[10](表4)。

1.4 数据处理

本研究采用Microsoft Excel 2003和SPSS16.0进行数据分析。

按北方主要菜区和南方主要菜区分别分析不同栽培方式菜田土壤盐分、酸碱性和肥力状况时,由于南方主要菜区温室菜田土壤样品数小于30个(仅有15个),为增强数据统计的可靠性,对南方温室菜田的各测试项目不作统计。

全国主要菜区温室土壤样本数大于30个的区域为北方3个地区(东北、黄淮海和西北),大棚土壤样本数大于30个的区域为东北、黄淮海、华中和华东4个地区,本研究7个区域露地土壤样本数均大于30个(表1)。在分析土壤盐分、酸碱性和肥力的区域分异特征时,对不同栽培方式下区域的土壤样本数小于30个的各测试项目不作统计。

表 2　菜田土壤盐分分级参考标准(土水比 1∶5 测定电导率)

Table 2　Classes of salinity contents in vegetable soils (Soil electrical conductivity was measured in a 5∶1 of water soil suspension)

项目 Item	电导率和等级 Electrical conductivity and class (μS/cm)				
	<250 极低盐度 Very low salinity	250～600 低盐度 Low salinity	600～800 中盐度 Medium salinity	800～1000 高盐度 High salinity	≥1000 超高盐度 Very high salinity
对作物的影响 Effect of soil salinity on vegetable growth	一般作物生长正常 Normal growth for common vegetables	对敏感作物有障碍 Growth inhibited for sensitive vegetables	多数作物生长受阻 Growth inhibited for most vegetables	仅耐盐作物能生长 Only growth for high salt tolerant vegetables	仅极耐盐作物能生长 Only growth for very high salt tolerant vegetables

注(Note): 蔬菜正常生长的 EC 临界值为 600 μS/cm Critical value of soil electrical conductivity for vegetable in normal growth is 600 μS/cm.

表 3　菜田土壤酸碱性分级参考标准

Table 3　Classes of pH values in vegetable soils

pH 值 pH value	<4.5	4.5～5.5	5.5～6.5	6.5～7.5	≥7.5
等级 Class	强酸性 Strong acidity	酸性 Acidity	微酸性 Weak acidity	中性 Neutrality	碱性 Alkalinity

表 4　菜田土壤养分含量分级参考标准

Table 4　Classes of OM (organic matter) and available nutrient contents in vegetable soils

项目 Item	临界值 Critical value	极低 Very low	低 Low	中 Medium	较高 Relatively high	高 High
有机质 OM (g/kg)	20	<10	10～20	20～30	30～40	≥40
硝态氮 NO_3^--N (mg/kg)	50	<25	25～50	50～100	100～150	≥150
速效磷 Available P (mg/kg)	50	<25	25～50	50～100	100～150	≥150
速效钾 Available K(mg/kg)	150	<100	100～150	150～200	200～300	≥300

2　结果与分析

2.1　全国主要菜区不同栽培方式菜田土壤盐分、酸碱性和肥力状况

2.1.1 全国主要菜区土壤盐分状况　表 5 和表 6 表明,温室和大棚土壤盐分含量显著高于露地土壤,居于中盐度以上水平的比例较大。温室和大棚土壤电导率分别平均为 523.6 和 540.1 μS/cm,较露地土壤(229.9 μS/cm)分别平均高 1.28 和 1.35 倍。温室和大棚土壤电导率高于蔬菜正常生长的土壤电导率临界值(600 μS/cm)的土样数分别占其总土样数的 28.1% 和 29.3%,而露地土壤仅为 4.9%。其中温室和大棚土壤电导率居于高盐度水平(800～1000 μS/cm)的土样数分别占其总土样数的 6.7% 和 5.7%,居于超高盐度水平(≥1000 μS/cm)的土样数分别占 9.5% 和 14.9%。

本研究菜田土壤盐分与土壤硝态氮含量之间呈极显著的正相关,全国主要菜区土壤电导率与土壤硝态氮含量之间的相关系数为 0.85(n = 1201),其中温室、大棚和露地土壤电导率与土壤硝态氮含量之间的相关系数分别为 0.76、0.86 和 0.85(温室: n = 285; 大棚: n = 348; 露地: n = 568)。

2.1.2 全国主要菜区土壤酸碱性状况　由表 7 和表 8 可见,温室土壤 pH 值(7.2) > 大棚土壤(6.9) > 露地土壤(6.7)。强酸性土壤(pH < 4.5)仅占 2.2%(该等级的土样数占总土样数的比例),酸性土壤(pH 4.5～5.5)占 14.2%。微酸性土壤(pH 5.5～6.5)占 20.3%,中性土壤(pH 6.5～7.5)占 22.6%,碱性土壤(pH≥7.5)占 40.6%。

表5 全国主要菜区不同栽培方式菜田土壤EC(电导率,μS/cm)的统计特征值

Table 5 Soil electric conductivity under different patterns of land use in main vegetable production regions in China

栽培方式 Land use pattern	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均 Mean	变异系数 *CV* (%)	高于临界值的土样占总土样的百分数(%) % of soil samples above the critical value
温室土壤 Soils from GH with wall	74.8	2800.0	523.6 b	83.1	28.1
大棚土壤 Soils from GH without wall	51.8	3370.0	540.1 b	93.6	29.3
露地土壤 Soils from open field	30.3	2150.0	229.9 a	82.6	4.9
全部土壤 All soils	30.3	3370.0	389.5	102.3	17.5

注(Note): GH—温室 Greenhouse. 蔬菜正常生长EC临界值为600 μS/cm Critical value of soil electrical conductivity for vegetable in normal growth is 600 μS/cm; 温室、大棚和露地土壤样品数分别为285、348和568个. 285, 348 and 568 soil samples were respectively collected from the vegetable field of greenhouse with wall, the vegetable field of greenhouse without wall, and the open vegetable field; 不同字母表示不同栽培方式间土壤属性值在 $P<0.05$ 水平差异显著 Means with different letters are significantly different at $P<0.05$ for different land use patterns.

表6 全国主要菜区不同栽培方式菜田土壤盐度(EC)分级的分布频率(%)

Table 6 Distribution frequency of soil electrical conductivity under different patterns of land use in main vegetable production regions in China

栽培方式 Land use pattern	电导率及等级 Electrical conductivity and class (μS/cm)				
	<250 极低盐度 Very low salinity	250～600 低盐度 Low salinity	600～800 中盐度 Medium salinity	800～1000 高盐度 High salinity	≥1000 超高盐度 Very high salinity
温室土壤 Soils from GH with wall	25.3	46.7	11.9	6.7	9.5
大棚土壤 Soils from GH without wall	31.9	38.8	8.6	5.7	14.9
露地土壤 Soils from open field	68.7	26.4	2.8	1.2	0.9
全部土壤 All soils	47.7	34.8	6.7	3.8	7.0

注(Note): GH—温室 Greenhouse. 温室、大棚和露地土壤样品数分别为285、348和568个. 285, 348 and 568 soil samples were respectively collected from the vegetable field of greenhouse with wall, the vegetable field of greenhouse without wall, and the open vegetable field; 蔬菜正常生长EC临界值为600 μS/cm Critical value of soil electrical conductivity for vegetable in normal growth is 600 μS/cm.

表7 全国主要菜区不同栽培方式菜田土壤pH的统计特征值

Table 7 Soil pH under different patterns of land use in main vegetable production regions in China

栽培方式 Land use pattern	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均 Mean	变异系数(%) *CV*
温室土壤 Soils from GH with wall	4.5	8.6	7.2 c	12.7
大棚土壤 Soils from GH without wall	4.3	8.7	6.9 b	16.2
露地土壤 Soils from open field	3.7	9.3	6.7 a	19.4
全部土壤 All soils	3.7	9.3	6.9	17.2

注(Note): GH—温室 Greenhouse.

表 8　全国主要菜区不同栽培方式菜田土壤酸碱性分级的分布频率(%)

Table 8　Distribution frequency of soil pH under different patterns of land use in main vegetable production regions in China

栽培方式 Land use pattern	土壤 pH 值及等级 Soil pH value and class				
	<4.5 强酸性 Strong acidity	4.5～5.5 酸性 Acidity	5.5～6.5 微酸性 Weak acidity	6.5～7.5 中性 Neutrality	≥7.5 碱性 Alkalinity
温室土壤 Soils from GH with wall	0.0	5.6	19.3	28.4	46.7
大棚土壤 Soils from GH without wall	2.0	13.2	17.0	29.6	38.2
露地土壤 Soils from open field	3.5	19.2	22.9	15.3	39.1
全部土壤 All soils	2.2	14.2	20.3	22.6	40.6

注(Note): GH—温室 Greenhouse.

2.1.3 全国主要菜区土壤有机质、硝态氮、速效磷和速效钾状况　从表 9 和表 10 可以看到,主要菜区土壤有机质含量普遍处于中低水平,温室和大棚土壤有机质含量显著高于露地土壤。主要菜区土壤有机质含量平均为 25.6 g/kg,低于土壤有机质临界值(20 g/kg)的土样数占总土样数的 36.9%,居于中等水平(20～30 g/kg)的占 35.1%,处于高水平(≥40 g/kg)的仅为 10.0%。温室和大棚土壤有机质含量分别平均为 26.4 和 27.4 g/kg,较露地土壤(24.2 g/kg)分别平均高 9.1% 和 13.2%; 低于其临界值的土样数分别占其总土样数的 34.0% 和 34.2%,处于高含量水平(≥40 g/kg)的分别占 10.5% 和 13.8%。

表 9　全国主要菜区不同栽培方式菜田土壤有机质、NO_3^--N、速效磷和速效钾的统计特征值

Table 9　Contents of OM, NO_3^--N, and available P and K in soils under different patterns of land use in main vegetable production regions in China

项目 Item	栽培方式 Land use pattern	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均 Mean	变异系数 *CV* (%)	低于临界值的土样占总土样的百分数(%) % of soil samples below the critical value
有机质 OM (g/kg)	温室土壤 Soils from GH with wall	5.7	69.0	26.4 b	44.9	34.0
	大棚土壤 Soils from GH without wall	8.7	120.2	27.4 b	51.1	34.2
	露地土壤 Soils from open field	3.7	86.8	24.2 a	45.6	40.0
	全部土壤 All soils	3.7	120.2	25.6	47.7	36.9
硝态氮 NO_3^--N (mg/kg)	温室土壤 Soils from GH with wall	5.4	656.1	144.4 b	87.9	22.8
	大棚土壤 Soils from GH without wall	4.1	689.8	138.5 b	106.1	32.5
	露地土壤 Soils from open field	0.5	660.9	56.6 a	126.0	65.5
	全部土壤 All soils	0.5	689.8	101.2	118.0	45.8
速效磷 Avail. P (mg/kg)	温室土壤 Soils from GH with wall	6.5	675.8	201.1 c	62.3	11.2
	大棚土壤 Soils from GH without wall	4.3	610.3	140.3 b	77.6	19.8
	露地土壤 Soils from open field	4.5	274.2	67.8 a	75.0	46.0
	全部土壤 All soils	4.3	675.8	120.4	88.4	30.1
速效钾 Avail. K (mg/kg)	温室土壤 Soils from GH with wall	41.2	1113.8	334.6 c	62.9	15.4
	大棚土壤 Soils from GH without wall	53.3	1072.6	243.8 b	67.2	32.5
	露地土壤 Soils from open field	9.6	1272.1	161.0 a	74.8	58.1
	全部土壤 All soils	9.6	1272.1	226.2	76.6	40.5

注(Note): GH—温室 Greenhouse; 土壤养分肥力评价的临界值,有机质为 20 g/kg, NO_3^--N 为 50 mg/kg,速效 P 为 50 mg/kg,速效 K 为 150 mg/kg The critical value of soil nutrient fertility evaluation was 20 g/kg for OM, 50 mg/kg for NO_3^--N, 50 mg/kg for available P, 150 mg/kg for available K. 不同字母表示不同栽培方式间土壤属性值在 $P<0.05$ 水平差异显著 Means with different letters are significantly different at $P<0.05$ for different land use patterns.

表10 全国主要菜区不同栽培方式菜田土壤有机质、NO_3^--N、速效磷和速效钾含量分级的分布频率

Table 10 Distribution frequency of soil OM, NO_3^--N, and available P and K contents under different patterns of land use in main vegetable production regions in China

项目 Item	栽培方式 Land use pattern	极低 Very low	低 Low	中 Medium	较高 Relatively high	高 High
		等级 Class (g/kg)				
		<10	10～20	20～30	30～40	≥40
有机质 OM	温室土壤 Soils from GH with wall(%)	2.8	31.2	35.8	19.6	10.5
	大棚土壤 Soils from GH without wall(%)	0.6	33.6	33.9	18.1	13.8
	露地土壤 Soils from open field(%)	4.6	35.4	35.4	17.3	7.4
	全部土壤 All soils(%)	3.0	33.9	35.1	18.1	10.0
		等级 Class (mg/kg)				
		<25	2550	50～100	100～150	≥150
硝态氮 NO_3^--N	温室土壤 Soils from GH with wall(%)	7.0	15.8	24.2	20.0	33.0
	大棚土壤 Soils from GH without wall(%)	15.2	17.2	22.1	14.7	30.7
	露地土壤 Soils from open field(%)	38.4	27.1	19.4	7.4	7.7
	全部土壤 All soils(%)	24.2	21.6	21.3	12.5	20.4
		等级 Class (mg/kg)				
		<25	25～50	50～100	100～150	≥150
速效磷 Avail. P	温室土壤 Soils from GH with wall(%)	4.6	6.7	11.2	18.2	59.3
	大棚土壤 Soils from GH without wall(%)	6.3	13.5	25.6	19.3	35.3
	露地土壤 Soils from open field(%)	22.5	23.4	31.5	13.9	8.6
	全部土壤 All soils (%)	13.6	16.6	25.0	16.5	28.4
		等级 Class (mg/kg)				
		<100	100～150	150～200	200～300	≥300
速效钾 Avail. K	温室土壤 Soils from GH with wall(%)	3.5	11.9	14.4	24.9	45.3
	大棚土壤 Soils from GH without wall(%)	11.5	21.0	21.8	19.8	25.9
	露地土壤 Soils from open field(%)	28.3	29.8	19.4	15.5	7.0
	全部土壤 All soils(%)	17.6	23.0	18.9	19.0	21.6

注(Note): GH—温室 Greenhouse.

温室和大棚土壤硝态氮含量显著高于露地土壤,居于高含量水平的比例大。温室和大棚土壤NO_3^--N含量分别平均为144.4和138.5 mg/kg,较露地土壤(56.6 mg/kg)分别平均高1.55和1.45倍;低于土壤NO_3^--N临界值(50 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的22.8%和32.5%,而露地土壤达到65.5%;居于高含量水平(≥150 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的33.0%和30.7%,而露地土壤仅为7.7%。

菜田土壤速效磷含量是温室土壤>大棚土壤>露地土壤,温室和大棚土壤速效磷含量居于高水平的比例大。温室、大棚和露地土壤速效磷含量分别平均为201.1、140.3和67.8 mg/kg,温室土壤速效磷含量较大棚和露地土壤分别平均高43.3%和196.6%,大棚土壤速效磷含量较露地土壤平均高106.9%;温室和大棚土壤速效磷含量低于土壤速效磷临界值(50 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的11.2%和19.8%,而露地土壤达到46.0%;温室和大棚土壤速效磷含量居于高水平(≥150 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的59.3%和35.3%,而露地土壤仅为8.6%。

菜田土壤速效钾含量是温室土壤>大棚土壤>露地土壤,温室和大棚土壤速效钾含量居于高水平的比例大。温室、大棚和露地土壤速效钾含量分别平均为334.6、243.8和161.0 mg/kg,温室土壤速效钾含量较大棚和露地土壤分别平均高37.2%和107.8%,大棚土壤速效钾含量较露地土壤平均高51.4%;温室和大棚土壤速效钾含量低于土壤速效

钾临界值(150 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的 15.4% 和 32.5%，而露地土壤达到 58.1%；温室和大棚土壤速效钾含量居于高水平(≥300 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的 45.3% 和 25.9%，而露地土壤仅为 7.0%。

2.2　北方和南方主要菜区不同栽培方式菜田土壤盐分、酸碱性和肥力状况

按全国主要菜区统计的与按北方和南方主要菜区分开统计的不同栽培方式菜田土壤电导率及有机质、硝态氮、速效磷和速效钾含量的趋势基本一致，均是温室和大棚土壤显著高于露地土壤，而土壤酸碱性的趋势有所不同。

从表 11 可以看出，北方主要菜区温室和大棚土壤盐分含量(分别为 524.0 和 456.0 μS/cm)显著高于露地土壤(231.2 μS/cm)，温室和大棚土壤有机质含量(分别为 26.3 和 27.7 g/kg)显著高于露地土壤(20.0 g/kg)，温室和大棚土壤硝态氮含量(分别为 143.5 和 134.1 mg/kg)显著高于露地土壤(46.3 mg/kg)，温室土壤速效磷含量(203.7 mg/kg) > 大棚土壤(179.7 mg/kg) > 露地土壤(62.0 mg/kg)，温室土壤速效钾含量(339.0 mg/kg) > 大棚土壤(276.4 mg/kg) > 露地土壤(189.1 mg/kg)。

土壤 pH 与降水量、土壤的淋溶与风化程度、土壤类型等关系密切，总体上南方土壤偏酸北方土壤偏碱。因此，按北方和南方主要菜区分开统计不同栽培方式菜田土壤 pH，有利于正确评价不同栽培方式菜田土壤 pH 状况。表 11 表明，北方温室和大棚菜田土壤中性化明显，温室和大棚土壤 pH 值(分别为 7.2 和 7.3)显著低于露地土壤(7.7)，北方主要菜区温室土壤 pH 值与种菜历史之间呈极显著的负相关($n = 270$, $r = -0.23^{**}$)关系。

南方主要菜区大棚土壤盐分含量(598.7 μS/cm)显著高于露地土壤(229.4 μS/cm)，大棚与露地土壤 pH 值(分别为 6.6 和 6.4)差异不显著，大棚土壤有机质含量(27.3 g/kg)稍高于露地土壤(25.7 g/kg)，大棚土壤硝态氮含量(141.6 mg/kg)显著高于露地土壤(60.5 mg/kg)，大棚土壤速效磷含量(112.7 mg/kg)显著高于露地土壤(70.0 mg/kg)，大棚土壤速效钾含量(221.0 mg/kg)显著高于露地土壤(150.5 mg/kg)。

表 11　按北方和南方主要菜区分别统计的不同栽培方式菜田土壤电导率、pH 值、有机质含量及速效养分(硝态氮、速效磷和钾)含量的均值

Table 11　Average electrical conductivity, pH value, and contents of OM and available nutrients (NO_3^--N, P and K) in soils calculated by different land use patterns of southern and northern main vegetable production regions in China, respectively

项目 Item	北方主要菜区 Northern main vegetable production regions			南方主要菜区 Southern main vegetable production regions	
	温室土壤 Soils from GH with wall	大棚土壤 Soils from GH without wall	露地土壤 Soils from open field	大棚土壤 Soils from GH without wall	露地土壤 Soils from open field
电导率 EC(μS/cm)	524.0 b	456.0 b	231.2 a	598.7 b	229.4 a
pH	7.2 a	7.3 a	7.7 b	6.6 a	6.4 a
有机质 OM(g/kg)	26.3 b	27.7 b	20.0 a	27.3 a	25.7 a
硝态氮 NO_3^--N(mg/kg)	143.5 b	134.1 b	46.3 a	141.6 b	60.5 a
速效磷 Avail. P(mg/kg)	203.7 c	179.7 b	62.0 a	112.7 b	70.0 a
速效钾 Avail. K(mg/kg)	339.0 c	276.4 b	189.1 a	221.0 b	150.5 a

注(Note)：GH—温室 Greenhouse. 北方温室、大棚和露地土壤样品数分别为 270、143 和 155 个，南方温室、大棚和露地土壤样品数分别为 15、205 和 413 个 Soil samples collected from the vegetable field of greenhouse with wall, the vegetable field of greenhouse without wall, and the open vegetable field were 270, 143 and 155 for northern China, and 15, 205 and 413 for southern China, respectively；不同字母表示不同栽培方式间土壤属性值在 $P < 0.05$ 水平差异显著(北方和南方分别作显著性检验) Means with different letters are significantly different at $P < 0.05$ for different land use patterns (Data were analyzed by northern and southern China, respectively)；对南方温室菜田的各测试项目不作统计(土壤样品数小于 30 个) Data was not calculated for soil samples below 30.

2.3 不同栽培方式菜田土壤盐分、酸碱性和肥力的区域分异

2.3.1 土壤盐分的区域分异 表12表明,温室土壤EC值是西北地区的土壤(730.0 μS/cm) > 黄淮海地区的土壤(544.8 μS/cm) > 东北地区的土壤(352.8 μS/cm);大棚土壤EC值是华东地区的土壤较高(630.2 μS/cm),东北和华中地区的土壤次之(分别为597.3和547.1 μS/cm),黄淮海地区的土壤较低(340.3 μS/cm);露地土壤EC值是华中和西北地区的土壤较高(分别为291.2和268.5 μS/cm),其次是黄淮海和西南地区的土壤(分别为237.2和225.3 μS/cm),东北、华南和华东地区的土壤相对较低(分别为164.9、191.5和199.8 μS/cm)。

表12 菜田不同栽培方式下不同区域土壤电导率(EC)和pH值的均值

Table 12 Average electrical conductivity (EC) and pH values in soils under different land use patterns for different vegetable production regions

栽培方式 Land use pattern	东北 North-eastern	黄淮海 Huang-huaihai	西北 North-western	华中 Central China	西南 South-western	华东 East China	华南 South China
				土壤电导率 EC(μS/cm)			
温室土壤 Soils from GH with wall	352.8 a	544.8 b	730.0 c				
大棚土壤 Soils from GH without wall	597.3 b	340.3 a		547.1 b		630.2 b	
露地土壤 Soils from open field	164.9 a	237.2 ab	268.5 bc	291.2 c	225.3 ab	199.8 a	191.5 a
地区全部土壤 All soils	391.4	424.8	492.4	352.2	240.0	493.7	222.5
				土壤 pH Soil pH values			
温室土壤 Soils from GH with wall	6.9 a	7.1 b	7.9 c				
大棚土壤 Soils from GH without wall	6.7 a	7.6 b		6.7 a		6.6 a	
露地土壤 Soils from open field	6.5 bc	7.9 d	8.3 d	6.6 c	6.3 ab	6.5 bc	6.1 a
地区全部土壤 All soils	6.7	7.4	8.1	6.7	6.3	6.6	6.2

注(Note):GH—温室 Greenhouse. 对不同栽培方式下区域的土壤样本数小于30个的各测试项目不作统计 Data was not calculated for soil samples below 30;不同字母表示同一栽培方式下不同区域间土壤属性值在 $P<0.05$ 水平差异显著 Means with different letters are significantly different at $P<0.05$ for different regions under same land use pattern.

2.3.2 土壤酸碱性的区域分异 表12还可看出,温室土壤pH值是西北地区的土壤(7.9)显著高于东北和黄淮海地区的土壤(分别为6.9和7.1);大棚土壤pH值是黄淮海地区的土壤(7.6)显著高于东北、华中和华东地区的土壤(平均在6.6～6.7之间);露地土壤pH值是黄淮海和西北地区的土壤(分别为7.9和8.3)显著高于东北地区和南方4个地区(华中、西南、华东和华南)的土壤(平均在6.1～6.6之间)。

2.3.3 土壤有机质、硝态氮、速效磷和速效钾的区域分异 从表13可以看到,温室土壤有机质含量是东北地区的土壤(33.2 g/kg)显著高于西北和黄淮海地区的土壤(分别为26.0和23.9 g/kg);大棚土壤有机质含量是东北地区的土壤(44.2 g/kg) > 华中和华东地区的土壤(分别为27.4和26.9 g/kg) > 黄淮海地区的土壤(18.6 g/kg);露地土壤有机质含量是东北地区和南方4个地区(华中、西南、华东和华南)的土壤较高(平均在24.2～27.0 g/kg之间),西北和黄淮海地区的土壤较低(分别为19.7和17.0 g/kg)。

温室土壤硝态氮含量是黄淮海地区的土壤(157.4 mg/kg) > 西北地区的土壤(133.6 mg/kg) > 东北地区的土壤(109.9 mg/kg);大棚土壤硝态氮含量是东北地区的土壤(192.1 mg/kg) > 华中和华东地区的土壤(分别为146.4和140.9 mg/kg) > 黄淮海地区的土壤(93.2 mg/kg);露地土壤硝态氮含量是华中地区的土壤(92.7 mg/kg) > 其他地区的土壤(东北、黄淮海、西北、西南、华东和华南地区,平均在40.0～51.4 mg/kg之间)。

表 13　菜田不同栽培方式下不同区域土壤有机质、硝态氮、速效磷和速效钾含量的均值

Table 13　Average contents of OM, NO_3^--N, and available P and K in soils under different land use patterns for different vegetable production regions

项目 Item	栽培方式 Land use pattern	东北 North-eastern	黄淮海 Huang-huaihai	西北 North-western	华中 Central China	西南 South-western	华东 East China	华南 South China
有机质	温室土壤 Soils from GH with wall	33.2 b	23.9 a	26.0 a				
OM	大棚土壤 Soils from GH without wall	44.2 c	18.6 a		27.4 b		26.9 b	
(g/kg)	露地土壤 Soils from open field	26.8 b	17.0 a	19.7 a	27.0 b	24.2 b	25.1 b	25.5 b
	地区全部土壤 All soils	35.4	21.1	22.4	27.1	25.3	26.1	26.1
硝态氮	温室土壤 Soils from GH with wall	109.9 a	157.4 b	133.6 ab				
NO_3^--N	大棚土壤 Soils from GH without wall	192.1 c	93.2 a		146.4 bc		140.9 b	
(mg/kg)	露地土壤 Soils from open field	40.0 a	50.8 a	44.2 a	92.7 b	51.4 a	44.3 a	43.7 a
	地区全部土壤 All soils	121.3	117.5	93.0	105.5	61.8	112.0	52.7
速效磷	温室土壤 Soils from GH with wall	208.8 b	211.9 b	152.6 a				
Avail. P	大棚土壤 Soils from GH without wall	276.8 c	126.6 b		90.7 a		123.4 ab	
(mg/kg)	露地土壤 Soils from open field	96.8 d	59.5 ab	41.6 a	71.6 bc	45.9 a	78.5 cd	74.3 c
	地区全部土壤 All soils	205.5	156.6	92.8	76.1	55.4	110.6	76.0
速效钾	温室土壤 Soils from GH with wall	320.0 a	352.1 a	306.7 a				
Avail. K	大棚土壤 Soils from GH without wall	350.4 b	229.7 a		220.0 a		223.8 a	
(mg/kg)	露地土壤 Soils from open field	238.4 d	173.9 bc	177.3 bc	178.5 c	135.0 ab	163.7 bc	126.8 a
	地区全部土壤 All soils	311.1	281.6	238.7	188.4	140.1	207.8	134.7

注(Note): GH—温室 Greenhouse. 对不同栽培方式下区域的土壤样本数小于 30 个的各测试项目不作统计 Data was not calculated for soil samples below 30; 不同字母表示同一栽培方式下不同区域间土壤属性值在 $P<0.05$ 水平差异显著 Means with different letters are significantly different at $P<0.05$ for different regions under same land use pattern.

温室土壤速效磷含量是东北和黄淮海地区的土壤较高(分别为 208.8 和 211.9 mg/kg),西北地区的土壤相对较低(152.6 mg/kg); 大棚土壤速效磷含量是东北地区的土壤(276.8 mg/kg) > 黄淮海和华东地区的土壤(分别为 126.6 和 123.4 mg/kg) > 华中地区的土壤(90.7 mg/kg); 露地土壤速效磷含量是东北地区的土壤较高(96.8 mg/kg),其次是华中、华南和华东地区的土壤(平均在 71.6 ~ 78.5 mg/kg 之间),西南、西北和黄淮海地区的土壤相对较低(平均在 41.6 ~ 59.5 mg/kg 之间)。

温室土壤速效钾含量是黄淮海地区的土壤稍高于东北和西北地区的土壤,3 个地区土壤速效钾平均含量均在 300 mg/kg 以上(居于高含量水平,平均在 306.7 ~ 352.1 mg/kg 之间); 大棚土壤速效钾含量是东北地区的土壤(350.4 mg/kg)显著高于黄淮海、华中和华东地区的土壤(平均在 220.0 ~ 229.7 mg/kg 之间); 露地土壤速效钾含量是东北地区的土壤(238.4 mg/kg) > 黄淮海、西北、华中和华东地区的土壤(平均在 163.7 ~ 178.5 mg/kg 之间) > 西南和华南地区的土壤(分别为 135.0 和 126.8 mg/kg)。

3　讨论与结论

1) 全国温室和大棚菜田土壤次生盐渍化严重,全国主要菜区温室和大棚土壤电导率高于蔬菜正常生长土壤电导率临界值(600 μs/cm)的土样数分别占其总土样数的 28.1% 和 29.3%,居于超高盐度水平(≥1000 μs/cm)的土样数分别占 9.5% 和 14.9%。土壤硝酸根的积累是引起土壤次生盐化的重要原因之一,也是造成设施蔬菜生理障碍的主要土壤因子。土壤盐分组成中阴离子主要有 NO_3^-、SO_4^{2-}、Cl^-等,一般以 NO_3^- 为主。硝化作用的适宜温

度为30～35℃,温室和大棚通过人为控制,可提高温室和大棚内空气和土壤温度,间接为土壤硝化作用创造条件,温室和大棚土壤硝化指数和硝化强度均高于一般大田土壤。章霁[14]报道,在盐分组成中以 NO_3^--N 含量增加最为明显。土壤盐分阴离子中的70%～80%是 NO_3^-[15]。温室和大棚耕层土壤 NO_3^- 分别是露地的16.5倍和5.9倍,一般种植3～5年便出现盐害,严重影响蔬菜产量和品质[16]。本研究表明,温室和大棚菜田土壤 NO_3^--N 含量分别是露地菜田土壤的2.6倍和2.5倍;温室和大棚土壤电导率与土壤硝态氮含量之间均呈极显著的正相关(温室:$n = 285$, $r = 0.76^{**}$;大棚:$n = 348$, $r = 0.86^{**}$)。温室和大棚积盐的主要原因是氮肥过量施用,多余氮肥与其它蔬菜不吸收的离子,在缺少降水淋洗的半封闭条件下积累在地表,导致土壤次生盐渍化。温室和大棚内气温、地温较高,对水分需要量很大,土壤表面蒸发强烈,水分上行是温室和大棚土壤盐分积聚的外在动力。

2)全国主要菜区土壤有机质含量普遍处于中低水平,露地土壤 NO_3^--N 及速效磷和速效钾含量缺乏程度明显高于温室和大棚土壤。全国主要菜区土壤有机质含量低于其临界值(20 g/kg)的土样数占总土样数的36.9%,处于高含量水平(≥40 g/kg)的仅为10.0%;温室、大棚和露地土壤 NO_3^--N 含量低于其临界值(50 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的22.8%、32.5%和65.5%,土壤速效磷含量低于其临界值(50 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的11.2%、19.8%和46.0%,土壤速效钾含量低于其临界值(150 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的15.4%、32.5%和58.1%。全国主要菜区土壤有机质含量普遍较低,仅10.0%的菜田达到肥沃菜田土壤有机质含量40～50 g/kg的标准,这与有机肥尤其是秸秆的施用不足、蔬菜复种指数高、化肥用量大等密切相关。蔬菜种植过程中大量施用氮肥和不合理施用有机肥,导致土壤C/N比下降,土壤环境恶化[17]。我国菜田一般施用的有机肥以鸡粪、猪粪为主,此类肥料含速效性养分多,纤维素较少,分解速度快,对土壤腐殖质的形成贡献有限。因此,对于种植年限较长的温室和大棚,要在增施有机肥的基础上,增施含纤维素较多的作物秸秆、厩肥、马粪、牛粪等,协调好菜田土壤养分与能量间(土壤C/N比)的平衡,改善土壤质量,以保持温室和大棚的高效生产和持续利用。

3)温室和大棚土壤硝态氮和速效磷大量积累,全国主要菜区温室和大棚土壤硝态氮含量处于较高以上含量水平(≥100 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的53.0%和45.4%,居于高含量水平(≥150 mg/kg)的分别占33.0%和30.7%;主要菜区温室和大棚土壤速效磷含量处于较高以上水平(≥100 mg/kg)的土样数分别占其总土样数的77.5%和54.6%,居于高含量水平(≥150 mg/kg)的分别占59.3%和35.3%。硝酸盐是进入地下水中最频繁的污染物质,土壤硝态氮含量过高会引起地下水污染。董章杭等[18]2005年对典型集约化蔬菜种植区山东省寿光市的653个地下水水样的检测指出,地下水平均硝态氮(NO_3^--N)含量高达22.6 mg/L,超出我国饮用水标准的水井比例为36.5%,超出最高允许含量(MAC,10 mg/L)的水井比例达59.5%。高伟等[9]2010年对天津市设施蔬菜主产区的调查表明,设施菜田地下水硝态氮的平均含量为25.0 mg/L,其中种植年限超过10年的地下水硝态氮含量达到33.7 mg/L,而粮田地下水硝态氮含量仅为0.25 mg/L。土壤磷素积累有其有利的一面,即增加土壤磷的供应能力,为作物高产优质提供了物质基础,但积累超过一定限度就会对水体环境产生危害。磷在土壤中移动性很小,向深层渗透主要通过裂隙或孔隙的优先流,土壤速效磷含量低时,磷的淋失很少。但当土壤磷累积到一定值时,土壤吸附磷达到饱和,磷的移动性增大,尤其是有机磷,土壤吸附能力弱,移动性更强[19]。土壤磷素的流失是水体磷素污染的重要来源,一般认为土壤Olsen-P只要不超过60 mg/kg即可防止通过渗漏造成的水体污染,而对于设施蔬菜需要土壤Olsen-P在100 mg/kg以上才能满足蔬菜高产需要,因此,兼顾环境和高产的设施蔬菜土壤Olsen-P含量为100 mg/kg,超过此值将构成对水体环境污染的风险[1,20]。本研究结果显示,目前我国主要菜区温室和大棚菜田土壤中如此高的硝态氮和速效磷(Olsen-P)含量对生态环境构成了严重威胁。减少农田氮、磷对水体环境影响的根本途径是调节农田氮磷平衡,控制农田氮、磷的过量积累。一般当季作物收获后,施磷量的70%～80%残留在土壤,产生土壤磷素积累,以轮作为单位施磷是充分利用磷肥后效和减少磷素积累的重要途径[1]。因此,鉴于全国主要菜区温室和大棚土壤硝态氮和速效磷大量积累的现状,并依据蔬菜需肥规律,合理减施氮、磷肥,协调氮磷钾等养分之间的平衡,以一个轮作周期为单位统筹考虑施肥量,实现土壤养分供应和蔬菜养分吸收的同步调控。

4) 多数研究者发现,与露地栽培土壤相比,不论是全年性覆盖还是季节性覆盖的温室和大棚,随着种植年限的延长,土壤 pH 值有下降趋势,存在土壤酸化,土壤的缓冲性能也降低[16,21]。而本研究表明北方温室和大棚菜田土壤酸碱度中性化(pH 值 6.5～7.5)明显,北方主要菜区温室和大棚土壤 pH 值(分别平均为 7.2 和 7.3; 温室: $n = 270$,大棚: $n = 143$)显著低于露地土壤(平均 7.7,$n = 155$)。温室和大棚菜田土壤 pH 下降主要是由于氮肥或生理酸性化肥长期施用过多造成的[16]。一般适宜蔬菜生长的土壤 pH 值为 5.5～6.5,pH 值过低会抑制蔬菜生长,病虫害增多。本研究结果显示北方温室和大棚菜田土壤中性化将有利于蔬菜的正常生长,但现今温室和大棚管理措施使得土壤正发生酸化,为此,北方主要菜区温室和大棚土壤酸碱度趋于中性的这种现象应予以高度重视。

5) 全国主要菜区温室和大棚土壤电导率及有机质、硝态氮、速效磷和速效钾含量均显著高于露地土壤。全国主要菜区温室和大棚土壤电导率较露地土壤分别平均高 1.28 和 1.35 倍,土壤有机质含量较露地土壤分别平均高 9.1% 和 13.2%,土壤硝态氮含量较露地土壤分别平均高 1.55 和 1.45 倍,土壤速效磷含量较露地土壤分别平均高 1.97 和 1.07 倍,土壤速效钾含量较露地土壤分别平均高 1.08 倍和 51.4%。

6) 土壤盐分、酸碱性和肥力状况区域分异亦明显。(1)温室土壤 EC 值和 pH 值是西北地区的土壤较高,黄淮海地区的土壤次之,东北地区的土壤相对较低; 土壤有机质含量是东北地区的土壤显著高于西北和黄淮海地区的土壤; 土壤硝态氮含量是黄淮海地区的土壤较高,西北地区的土壤次之,东北地区的土壤相对较低; 土壤速效磷含量是东北和黄淮海地区的土壤较高,西北地区的土壤较低; 土壤速效钾含量是东北、黄淮海和西北 3 地区间的差异不显著。(2)大棚土壤 EC 值是华东、东北和华中地区的土壤较高,土壤 pH 值是黄淮海地区的土壤较高,土壤有机质、硝态氮及速效磷和速效钾含量是东北地区的土壤较高,土壤 EC、有机质和硝态氮含量是黄淮海地区的土壤较低,土壤速效磷含量是华中地区的土壤较低,土壤速效钾含量是黄淮海、华中和华东地区的较低。(3)露地土壤 EC 值是华中和西北地区的土壤较高,土壤 pH 值是黄淮海和西北地区的土壤较高,土壤有机质含量是东北地区与南方 4 个地区的土壤较高,土壤硝态氮含量是华中地区的土壤较高,土壤速效磷和速效钾含量是东北地区的土壤较高,土壤速效磷含量是西南、西北和黄淮海地区的土壤较低,土壤速效钾含量是西南和华南地区的土壤较低。

参 考 文 献:

[1] 鲁如坤. 土壤 P 素水平和水体环境保护[J]. 磷肥与复肥, 2003,18(1): 4-8.
Lu R K. The phosphorus level of soil and environmental protection of water body[J]. Phosph. Comp. Fert., 2003, 18(1): 4-8.

[2] Huang S W, Jin J Y, Bai Y L, Yang L P. Evaluation of nutrient balance in soil-vegetable system using nutrient permissible surplus or deficit rate. [J]. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 2007, 38: 959-974.

[3] Huang S W, Jin J Y. Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use[J]. Environ. Monit. Ass., 2008, 139: 317-327.

[4] 刘宏斌. 施肥对北京市农田土壤硝态氮积累与地下水污染的影响[D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文,2002.
Liu H B. Influence of fertilization on NO_3^--N accumulation and pollution in soil and groundwater of Beijing rural area[D]. Beijing: PhD dissertation, The graduate school of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2002.

[5] 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[J]. Environ. Poll., 2007, 145: 497-506.

[6] 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.
Yu H Y, Li T X, Zhang X Z. Budget and soil nutrient status in greenhouse system[J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(3): 514-522.

[7] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报,2002,33(2): 126-128.
Li J L, Cui D J, Meng X X *et al*. The study of fertilization condition and question in protectorate vegetable in Shouguang, Shandong[J]. Chin. J. Soil Sci., 2002, 33(2): 126-128.

[8] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 氮、磷、钾在设施蔬菜土壤剖面中的分布及移动研究[J]. 农业环境科学学报,2006,25(增刊): 537-542.
Liu Z H, Jiang L H, Zhang W J *et al*. N, P, K distributions and movement in soils for greenhouse and outdoor field[J]. J. Agro-Environ. Sci.. 2006, 25(Supply): 537-542.

[9] 高伟,朱静华,高宝岩,等. 天津市设施蔬菜不同种植年限土壤及地下水养分特征[J]. 华北农学报,2010,25(2): 206-211.
Gao W, Zhu J H, Gao B Y *et al*. Characteristic of soil and groundwater nutrient in different age greenhouse vegetable cultivation in Tianjin [J]. Acta Agric. Bor.-Sin., 2010, 25(2): 206-211.

[10] 高峻岭,宋朝玉,黄绍文,等. 青岛市设施蔬菜施肥现状与土壤养分状况[J]. 山东农业科学,2011,(3): 68-72.

Gao J L, Song C Y, Huang S W *et al*. Status of fertilizer application and soil nutrients in protected vegetable production in Qingdao[J]. Shandong Agric. Sci., 2011, 03: 68-72.

[11] 张乃明,常晓冰,秦太峰. 设施农业土壤特性与改良[M]. 北京: 化学工业出版社,2008.
Zhang N M, Chang X B, Qin T F. Soil characteristics and amelioration in facility agriculture[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.

[12] 章永松,倪吾钟,林咸永,等. 杭州市郊菜园土壤的有效养分状况与施肥对策[A]. 谢建昌,陈际型. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥[M]. 南京: 河海大学出版社,1997. 43-46.
Zhang Y S, Ni W Z, Lin X Y *et al*. The state of the available nutrients of the vegetable garden soils in the suburb of Hangzhou and fertilizing countermeasures[A]. Xie J C, Chen J X. Soil fertility and rational fertilization for vegetable fields[M]. Nanjing: Hehai University Press, 1997. 43-46.

[13] 肖千明,高秀兰,娄春荣,等. 辽宁省保护地土壤肥力现状分析[A]. 谢建昌,陈际型. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥[M]. 南京: 河海大学出版社,1997. 52-56.
Xiao Q M, Gao X L, Lou C R *et al*. Fertility of protected soils in Liaoning[A]. Xie J C, Chen J X. Soil fertility and rational fertilization for vegetable fields[M]. Nanjing: Hehai University Press, 1997. 52-56.

[14] 章雯. 保护地蔬菜施肥特点探讨[J]. 安徽农学通报,2002,8(1): 48-49.
Zhang W. Characteristic of fertilization in protectorate vegetable[J]. Anhui Agric. Sci. Bull., 2002, 8(1): 48-49.

[15] 刘兆辉,李晓林,祝洪林,等. 保护地土壤养分特点[J]. 土壤通报,2001,32(5): 206-208
Liu Z H, Li X L, Zhu H L *et al*. Nutrient properties in protected soils[J]. Chin. J. Soil Sci., 2001, 32(5): 206-208.

[16] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J]. 土壤,2004,36(3): 235-242.
He W S. Soil problems and countermeasure in facility agriculture in China[J]. Soils, 2004, 36(3): 235-242.

[17] Qiu S J, Ju X T, Ingwersen J. Changes in soil carbon and nitrogen pools after shifting from conventional cereal to greenhouse vegetable production[J]. Soil Till. Res., 2010, 107(2): 80-87.

[18] 董章杭,李季,孙丽梅. 集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究——以"中国蔬菜之乡"山东省寿光市为例[J]. 农业环境科学学报,2005,24(6): 1139-1144.
Dong Z H, Li J, Sun L M. Nitrate contamination in the groundwater of intensive vegetable cultivation areas in Shouguang city, Shandong province, China [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2005, 24(6): 1139-1144.

[19] Edwards A C, Ron vaz M D, Porter S, Ebb S. Nutrient cycling in upland catchment areas: the significance of organic forms of N and P[A]. Anderson M G, Brooks S M. Advances in hillslope processes[M]. New York: Wiley, 1996. 253-262.

[20] 何传龙,马友华,于红梅,等. 减量施肥对保护地土壤养分淋失及番茄产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(4): 846-851.
He C L, Ma Y H, Yu H M *et al*. Effect of reducing fertilizer application on soil nutrient leaching loss and tomato yield in plastic house[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(4): 846-851.

[21] 黄锦法,李艾芬,马树国,等. 浙江嘉兴保护地土壤障碍的农化性状指标研究[J]. 土壤通报,2001,32(4): 160-162.
Huang J F, Li A F, Ma S G *et al*. Some soil and nutritional properties of mulched field [J]. Chin. J. Soil Sci., 2001, 32(4): 160-162.