

山东寿光不同利用方式下农田土壤有机质 和氮磷钾状况及其变化

曾希柏*, 白玲玉, 李莲芳, 苏世鸣

(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:通过对山东省寿光市不同利用方式下土壤相关性质的比较,探讨了农田土壤有机质和氮磷钾含量状况,并分析了设施菜地种植年限与有机质、全量氮磷含量的相互关系。研究结果表明:山东寿光农田土壤有机质和全量氮磷含量与第二次土壤普查时比较均有较大幅度增加,其中以设施菜地增加幅度最大,分别达 120%、160% 和 364%,但全钾含量的增加幅度很小、仅为 17.5%;不同利用方式比较,设施菜地土壤有机质、全氮、全磷含量均明显高于露天菜地、小麦/玉米地及棉花地,而全钾含量则低于小麦/玉米地和棉花地;从养分含量的分级结果看,设施菜地有机质、全量氮磷钾含量主要分布于 $> 20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $> 1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $> 1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $20 \sim 25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的级别中;设施菜地种植年限与土壤有机质、全量氮磷含量变化间有显著相关性,且均可用 $Y = a + bX + cX^2$ 的形式来表示,即随种植年限增加,有机质与氮磷含量首先呈逐步增加的趋势,并分别在第 9.6 年、8.9 年和 11.4 年时达到最高值,之后则有随种植年限延长而下降的趋势。

关键词: 寿光;不同利用方式;有机质;氮磷钾

文章编号:1000-0933(2009)07-3737-10 中图分类号:S158.3 文献标识码:A

The status and changes of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium under different soil using styles of Shouguang of Shangdong Province

ZENG Xi-Bai*, BAI Ling-Yu, LI Lian-Fang, SU Shi-Ming

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

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3737 ~ 3746.

Abstract: The contents of organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium in different agricultural soils were analyzed to study the status and changes of these nutrients. The relationship between nutrient contents and cultivated years was also studied. The results indicated that compared with the results from the Second National Soil Survey, the contents of organic matter, total nitrogen and phosphorus were largely increased, which even increased by 120%, 160% and 364%, respectively, in greenhouse soils; while the potassium content was only increased by 17.5%. In comparison with those among different-used soils, the content of Organic Matter, Nitrogen, Phosphorus in greenhouse soil was higher than that in other used soils, while the content of potassium in greenhouse soil was lower than that in the soil of wheat/corn field and cotton field. The contents of Organic Matter, Nitrogen, Phosphorus, Potassium were respectively in the levels of $> 20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $> 1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $> 1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $20 \sim 25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ in greenhouse soil. The studies on the relationship between cultivating years and the contents of nutrients indicated that with the increasing of cultivating years, the contents of Organic Matter, Nitrogen, Phosphorus in greenhouse soil were increased, and the greatest levels of them appeared after 9.6, 8.9, and 11.4 years of cultivation, respectively. Thereafter the contents of nutrients were found to decrease. The decrease of greenhouse soil quality has been a very prevalent problem after a long farming time.

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD05B01)

收稿日期:2008-04-04; 修订日期:2008-12-05

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

Key Words: Shouguang; different soil using styles; soil nutrients

20 世纪 90 年代以来,随着我国农业结构调整的不断深入,以高集约化、高投入和高产出为主的日光温室不断发展,为促进主要农产品、特别是蔬菜生产做出了重要贡献,也成为农业增效、农民增收的重要方式之一。日光温室的显著特点是土壤的高强度利用,以及特殊的栽培、灌溉、施肥及环境条件,这也是导致其土壤的特性与传统耕作方式下有较大差异的重要原因^[1-3]。Ju 等^[4]研究了中国华北平原设施土壤性质的变化,认为设施菜地土壤每年 NPK 盈余量分别可达 4328,1337 kg·hm⁻²和 1466 kg·hm⁻²,因此,土体中有大量矿化 N、速效 P 和 K 累积,并沿土壤剖面向下移动,土壤质量退化的速度也比普通大田快得多;Liu 等^[5]研究了设施土壤不同种植年限线虫群落的变化,发现线虫数量随设施年限增加而增加;吴凤芝等^[6,7]对微生物群落和土壤酶活性的研究结果认为,土壤微生物群落多样性、丰富度、均匀度指数及土壤酶活性等均有随设施年限增加而降低的趋势;也有研究者^[8-10]对种植 1~10a 甚至更长年限的设施土壤养分变化研究认为,随着设施种植年限的增加,土壤有机质和养分含量呈增加趋势,但多数表现为前期增加快、后期增加慢甚至下降。本文在上述研究的基础上,首先对山东寿光市不同利用方式农田土壤有机质和全量氮磷钾含量进行了分析和比较,然后以该市南部设施种植年限最长、成土母质相同的古城、洛城、孙家集、文家等镇为重点,系统研究并分析了土壤有机质和全氮、全磷的含量随设施种植年限的变化,旨在为设施土壤的管理与培肥提供进一步的参考依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

寿光市位于山东半岛北部,是山东省的农业大县(市),也是中国著名的蔬菜之乡,其地理位置为 36°41′~37°19′N,118°32′~119°10′E,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℃,年平均日温 0℃ 以上的持续时间为 276d,5℃ 以上的持续时间为 241d,无霜期 195d,年均降雨量 608.2mm^[11]。调查区域的土壤类型为潮土,约占全市可利用土地面积的 62.2%,成土母质为来自弥河的冲积物,主要分布在古城、洛城、城关、台头、田柳等乡镇,土壤质地较轻、沙性较强,洪积、冲积物堆积层深达百米以上,为农业生产创造了很好的土壤条件^①。

1.2 样品的采集及相关信息调查

根据调查区域土地的农业利用现状,结合不同利用方式下的面积比例,寿光市土地的利用类型分为蔬菜地(62 个设施、29 个露天菜地样本)、棉花地(12 个调查样本)、小麦/玉米地(17 个调查样本),并采集自然土^②为对照(8 个调查样本),具体采样点分布见文献^[11]。土壤样本采集按基本等距离原则布点,各采样点均按“S”型采集 0~20cm 表层土壤,经混合均匀后,用四分法处理,将最后剩余约 1.5kg 样品带回实验室风干,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。

本研究针对寿光农业产业结构中设施蔬菜发展比重不断提高的特点,对生产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了问卷调查,并对调查结果进行相应的汇总。调查表明,该区域农户设施蔬菜经营的主要类型为:西红柿(*Lycopersicon esculentum*)、黄瓜(*Cucurbita maxima*)、辣椒(*Lycium chinese*)、苦瓜(*Telfairia occidentalis*)、豆角(*Vigna unguiculata*)等,且复种指数较高,一般每年种植 2~3 茬,设施建设年限为 1~16a 不等。肥料施用方面,化肥主要为氮磷钾复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)和硫酸铵、硫酸钾,年均投入量为 10.6t·hm⁻²·a⁻¹,最高为 38.9t·hm⁻²·a⁻¹;有机肥以猪粪、鸡粪为主,平均施用量达 207.2 t·hm⁻²·a⁻¹(鲜重,下同),最高施用量为 493.8 t·hm⁻²·a⁻¹。

1.3 土壤样品分析

为便于比较,本文中土壤有机质和全量氮磷钾的分析方法与第二次土壤普查时相一致,其中有机质采用

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。

② 自然土,为位于采样点附近没有开垦和农业利用的土壤。

重铬酸钾容量法;全氮采用开氏法;全磷采用酸溶-钼锑钨比色法;全钾采用氢氧化钠碱熔-火焰光度法^[12]。

1.4 数据处理

本研究中,应用 Excel 2003 和 SPSS11.0 软件对相关数据进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 农田土壤有机质含量状况

从表 1 可以看出,山东寿光市农田土壤有机质含量变幅为 7.06 ~ 39.36 g·kg⁻¹,平均值为 18.83 g·kg⁻¹。根据山东省第二次土壤普查结果,该市 1980 年时土壤有机质含量仅 10.3 g·kg⁻¹^①,说明经过 26a 的耕作后,寿光市耕地土壤有机质的整体水平有较大幅度提高。由于寿光市农田种植格局具有北部为小麦/玉米地和棉花地,南部为蔬菜种植地、特别是设施蔬菜地的特点,因此不同利用方式下的施肥、特别是有机肥施用的巨大差别,决定了全市农田土壤有机质含量具有北低南高的特点。不同土壤利用方式比较,有机质含量为设施菜地 > 小麦/玉米地 > 露天菜地 > 棉花地 > 自然土,设施菜地有机质平均含量为 22.70 g·kg⁻¹,而小麦/玉米地、露天菜地和棉花地则分别为 16.16、15.51 g·kg⁻¹和 12.85 g·kg⁻¹,均低于全市平均含量水平。很显然,人们对设施菜地的集约化经营和有机肥的大量投入,是导致其有机质含量大于其它利用方式土壤的主要原因。根据本次调查结果,设施菜地土壤有机质的平均含量与 1980 年全市平均含量比较增加了约 1.2 倍,但仍仅为部分研究者^[13]提出的适宜含量(30 g·kg⁻¹)的 2/3 左右。调查表明,寿光市蔬菜地中有机肥的平均施用量虽然较大,达到 207.2 t·hm⁻²·a⁻¹(以鲜重计),但其中大多为含速效养分多且分解较快的鸡粪、猪粪,此类肥料中木质素和纤维素含量相对较低,对土壤腐殖质形成的贡献不大,这也是寿光市菜地土壤有机质含量难以有较大幅度提高的可能原因。

表 1 山东寿光市农田土壤有机质与全氮、全磷、全钾含量

不同土地 利用方式 Different soil using styles	有机质(g·kg ⁻¹) Organic matter			全氮(g·kg ⁻¹) Total nitrogen			全磷(g·kg ⁻¹) Total phosphorus			全钾(g·kg ⁻¹) Total potassium		
	变幅 Change range	平均值 Average	变异系 数 CV (%)	变幅 Change range	平均值 Average	变异系 数 CV (%)	变幅 Change range	平均值 Average	变异系 数 CV (%)	变幅 Change range	平均值 Average	变异系 数 CV (%)
自然土 CK	11.20 ~ 24.04	15.45	0.25	0.67 ~ 1.68	0.97	0.35	0.48 ~ 1.80	0.72	0.61	13.16 ~ 25.17	19.06	0.25
设施蔬菜 Greenhouse land	9.28 ~ 39.36	22.70	0.36	0.63 ~ 4.32	1.77	0.36	0.69 ~ 2.92	1.64	0.34	14.67 ~ 35.81	22.80	0.17
露天蔬菜 Open vegetable land	11.04 ~ 25.18	15.51	0.21	0.66 ~ 1.58	1.02	0.23	0.56 ~ 2.90	0.96	0.54	14.73 ~ 31.34	20.72	0.19
小麦/玉米地 Wheat/ corn land	8.96 ~ 23.21	16.16	0.21	0.67 ~ 1.45	1.08	0.19	0.58 ~ 0.94	0.74	0.14	16.26 ~ 35.58	24.03	0.28
棉花地 cotton land	7.06 ~ 27.98	12.85	0.42	0.41 ~ 1.42	0.71	0.38	0.49 ~ 0.87	0.62	0.16	19.60 ~ 43.87	24.06	0.29
全市平均值 Average of all soil using styles	7.06 ~ 39.36	18.83	0.39	0.41 ~ 4.32	1.36	0.46	0.48 ~ 2.92	1.21	0.52	13.16 ~ 43.87	22.37	0.22

从不同利用方式农田土壤有机质含量分级情况来看(表 2),设施菜地调查样本的 58.0% 在有机质含量 > 20 g·kg⁻¹ 的级别中,其平均值为 28.11 g·kg⁻¹;小麦/玉米地的 47.0% 位于有机质含量 15 ~ 20 g·kg⁻¹ 的级别中,其平均值为 17.15 g·kg⁻¹;露天菜地的 96.6% 位于有机质含量 10 ~ 20 g·kg⁻¹ 的级别中,其平均值为 15.16 g·kg⁻¹;棉花地调查样本的 58.4% 位于有机质含量 10 ~ 15 g·kg⁻¹ 的级别中,其平均值为 12.05 g·kg⁻¹。据有关资料^[14],该市 1980 年蔬菜地有机质含量主要位于 10 ~ 15 g·kg⁻¹ 之间,旱田土壤有机质主要为 8 ~ 10 g·kg⁻¹,说明寿光市土壤的有机质含量水平与 1980 年相比有了较大的提高,且设施菜地有机质含量明显高于其它利用方式。

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。

表 2 不同利用方式农田土壤有机质含量分级

Table 2 The Levels of Organic Matter in Farmland of Different Using Styles

项目 Item		级别 Levels				
		1	2	3	4	5
		含量范围 Contents ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)				
		>20	15~20	10~15	8~10	6~8
自然土 CK	样本数 Samples	1	3	4	—	—
	比例 Ratio (%)	12.5	37.5	50.0	—	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	24.04	15.86	12.99	—	—
设施菜地 Greenhouse land	样本数 Samples	36	14	10	2	—
	比例 Ratio (%)	58.0	22.6	16.1	3.3	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	28.11	17.25	13.53	9.35	—
露天菜地 Open vegetable land	样本数 Samples	1	14	14	—	—
	比例 Ratio (%)	3.4	48.3	48.3	—	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	25.18	17.41	12.91	—	—
小麦/玉米地 Wheat/corn land	样本数 Samples	2	8	6	1	—
	比例 Ratio (%)	11.8	47.0	35.3	5.9	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	22.23	17.15	14.02	8.96	—
棉花地 Cotton land	样本数 Samples	1	1	7	2	1
	比例 Ratio (%)	8.3	8.3	58.4	16.7	8.3
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	27.98	16.43	12.05	9.16	7.06

有机质与全量氮磷钾养分分级标准同第二次普查时山东省采用的分级标准 The nutrient standard of nitrogen, phosphorus and potassium was divided according to the one in Shandong province used in the Second National Soil Investigation

2.2 农田土壤全氮含量状况

从表 1 可知,研究区域土壤全氮含量表现出与有机质相同的趋势,即呈现出南高北低的特征,该结果从一定程度上说明了土壤全氮含量与有机质含量之间的密切关系以及不同利用方式对土壤中全氮含量的影响。从实际测定结果看,调查区域土壤全氮含量平均为 $1.36\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,与第二次土壤普查时平均 $0.68\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^①相比增加了约 1 倍。不同土地利用方式比较,土壤全氮含量平均值为设施菜地土壤 > 小麦/玉米地 > 露天菜地 > 自然土 > 棉花地,其中设施菜地土壤全氮变幅为 $0.63\sim 4.32\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均值为 $1.77\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,与第二次土壤普查时相比增加了约 1.6 倍,分别是小麦/玉米地、露天菜地及棉花地的 1.64、1.74 倍和 2.5 倍,该结果也与设施菜地土壤有机质含量明显高于其它类型农田土壤的规律类似。设施生产蔬菜本身具有较高的复种指数,农户为追求高产、高收入又加大了磷酸二氢铵、尿素、复合肥和有机肥等的投入^[15],从而使得土壤中氮素含量远远超过作物生长需求,最终造成了氮素在设施土壤中的含量明显高于其它利用方式的土壤。

从不同利用方式土壤全氮含量分级情况来看(表 3),在所调查的样本中 80.6% 的设施菜地样本全氮含量高于 $1.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而 47.1% 的小麦/玉米地、69.0% 的露天菜地和 41.7% 的棉花地样本的全氮含量则主要分别位于 $1.0\sim 1.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.75\sim 1.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.5\sim 0.75\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间。据山东省第二次土壤普查结果^[14],寿光市 1980 年时蔬菜地全氮含量主要位于 $0.5\sim 1.0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,旱田土壤全氮含量主要为 $0.5\sim 0.75\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,研究区域的全氮含量与 1980 年相比有了较大的提高,设施菜地土壤的全氮含量级别明显高于其它利用方式的土壤。有关研究表明^[16]:熟化程度较高的老菜田,其表层土壤全氮含量一般可达 $1.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,很显然,寿光市多数菜地土壤全氮含量已经达到该水平,这可能与该市菜地长期以来氮素施用水平较高有关。

2.3 农田土壤全磷含量的状况

从表 1 可以看出,研究区域农田土壤全磷含量为 $1.21\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,变幅为 $0.48\sim 2.92\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,与 1980 年第二次普查的 $0.45\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[14]相比,增加了 1.69 倍,由于南北间农田土壤利用方式的不同,寿光市土壤全磷含量呈

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。

现北低南高的现象,且差异较大,根据分析测定结果统计分析,寿光市南部设施菜地全磷平均含量为 $1.64\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,露天菜地为 $0.96\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,北部小麦玉米地和棉花地则分别为 $0.74,0.62\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同土地利用方式比较,土壤全磷含量设施菜地 > 露天菜地 > 小麦/玉米地 > 自然土 > 棉花地,其中设施菜地全磷含量与第二次土壤普查时相比增加了 3.64 倍。通常认为,在菜田土壤演变过程中,养分含量变化最为突出的表现是磷的积累,这种现象在设施土壤中表现最为明显^[17,18],寿光市设施菜地平均种植年限在 7a 以上,且常年肥料投入量很大,因此,对蔬菜地的高量投入可能是导致菜地土壤磷积累的重要原因。研究还发现,同一区域内菜地土壤的全磷含量也存在较大差异,如在该市化龙镇,尽管成土母质、利用方式相同,但小王庄村设施土壤中全磷含量达 $2.92\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而务本村设施土壤的全磷含量则仅 $0.93\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,导致这种现象的重要原因一是前者设施种植年限较长(10a),而后者设施种植年限相对较短(5a);二是前者单位面积肥料施用量达化肥 $16\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、有机肥 $160\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,而后者单位面积肥料施用量仅为化肥 $3.6\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。很显然,肥料施用量的差距不仅会导致单位面积蔬菜产量的巨大差距,也使土壤养分含量出现了很大的差别。

表 3 不同利用方式农田土壤全氮含量分级
Table 3 The levels of total nitrogen in farmland of different using styles

项目 Item		级别 Levels				
		1	2	3	4	5
		含量范围 Contents ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)				
		> 1.2	1.0 ~ 1.2	0.75 ~ 1.0	0.5 ~ 0.75	0.3 ~ 0.5
自然土 CK	样本数 Samples	2	—	4	2	—
	比例 Ratio (%)	25	—	50	25	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.47	—	0.85	0.70	—
设施菜地 Greenhouse land	样本数 Samples	50	8	2	2	—
	比例 Ratio (%)	80.6	13.0	3.2	3.2	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.95	1.10	0.97	0.67	—
露天菜地 Open vegetable land	样本数 Samples	5	9	11	4	—
	比例 Ratio (%)	17.2	31.0	38.0	13.8	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.39	1.11	0.88	0.71	—
小麦/玉米地 Wheat/corn land	样本数 Samples	4	8	4	1	—
	比例 Ratio (%)	23.5	47.1	23.5	5.9	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.35	1.07	0.91	0.67	—
棉花地 Cotton land	样本数 Samples	1	—	3	5	3
	比例 Ratio (%)	8.3	—	25	41.7	25
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.42	—	0.83	0.64	0.45

从不同利用方式土壤养分分级情况来看(表 4),在所调查样本中 82.2% 的设施菜地样本全磷含量 > $1.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而露天菜地、小麦/玉米地和棉花地的全磷量则主要分别位于 $0.6\sim1.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.6\sim0.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.4\sim0.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,与第二次普查时绝大多数农田全磷量位于 $0.2\sim0.6\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间相比,研究区域全磷含量级别均有较大的提高,且在设施菜地上表现最为明显。

2.4 农田土壤全钾含量状况

从表 1 及图 4 的结果来看,寿光市土壤全钾含量由北到南变化不明显,全市土壤全钾平均含量为 $22.37\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,变幅在 $13.16\sim43.87\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间。不同土地利用方式比较,全钾平均含量为棉花地 > 小麦/玉米地 > 设施菜地 > 露天菜地 > 自然土,但相互间的差异相对氮磷要小。第二次土壤普查时研究区域土壤含钾量平均为 $19.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[14],与其相比,小麦/玉米地和棉花地均增加了约 24.0%,而设施菜地和露天菜地土壤仅分别增加了 17.5% 和 6.8%,其平均全钾含量分别为 $22.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $20.72\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。出现该结果的主要原因可能有三:一是因为蔬菜种植密度大、复种指数高、单产高,吸收并带走了大量的钾素;二是钾素化肥施用量较低、难以满足蔬菜生长的需要;三是寿光市蔬菜地所施的有机肥(鸡粪、猪粪)中钾素的含量也较低(缺乏用作物秸

杆制作的堆肥),尤其是在南部广大设施菜地集中区域,尽管其肥料投入量大,但由于蔬菜地产出高,因肥料施用带来钾的输入量可能不足以平衡蔬菜收获造成的钾输出量,甚至会导致钾亏缺的现象^[16],从而使得菜地土壤中钾素含量的增加量低于小麦/玉米地和棉花地,同时也导致调查地区农田土壤全钾含量北部高南部低的分布特点。

表 4 不同利用方式农田土壤全磷含量分级

Table 4 The levels of total phosphorus in farmland of different using styles

项目 Item		级别 Levels			
		1	2	3	4
		含量范围 Contents ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
		> 1.0	0.81.0	0.60.8	0.40.6
自然土 CK	样本数 Samples	1	—	1	6
	比例 Ratio (%)	12.5	—	12.5	75.0
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.80	—	0.75	0.54
设施菜地 Greenhouse land	样本数 Samples	51	7	4	—
	比例 Ratio (%)	82.3	11.3	6.4	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.81	0.89	0.75	—
露天菜地 Open vegetable land	样本数 Samples	6	10	9	4
	比例 Ratio (%)	20.7	34.5	31.0	13.8
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.71	0.89	0.71	0.58
小麦/玉米地 Wheat/corn land	样本数 Samples	—	5	11	1
	比例 Ratio (%)	—	29.4	64.7	5.9
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	—	0.87	0.70	0.58
棉花地 Cotton land	样本数 Samples	—	1	6	5
	比例 Ratio (%)	—	8.3	50.0	41.7
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	—	0.87	0.64	0.55

从不同利用方式全钾量分级情况来看(表 5),设施菜地和露天菜地全钾量主要为 $20 \sim 25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $15 \sim 20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。而小麦/玉米地和棉花地全钾量则分别为 $> 25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $> 20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。与其它利用方式相比,蔬菜地全钾量级别相对较低。研究还发现,设施菜地中还存在部分区域间全钾含量差异较大的现象,这可能与该区域设施蔬菜的种植年限、钾肥施用水平及种植的蔬菜类型等有关。

表 5 不同利用方式农田土壤全钾含量分级

Table 5 The levels of total potassium in farmland of different using styles

项目 Item		级别 Levels			
		1	2	3	4
		含量范围 Contents ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
		> 25	20 ~ 25	15 ~ 20	10 ~ 15
自然土 CK	样本数 Samples	1	2	3	2
	比例 Ratio (%)	12.5	25.0	37.5	25.0
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	25.2	23.8	17.6	13.4
设施菜地 Greenhouse land	样本数 Samples	15	31	15	1
	比例 Ratio (%)	24.2	50.0	24.2	1.6
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	27.54	23.07	18.03	14.67
露天菜地 Open vegetable land	样本数 Samples	4	11	12	2
	比例 Ratio (%)	13.8	37.9	41.4	6.9
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	27.33	22.58	17.79	14.81
小麦/玉米地 Wheat/corn land	样本数 Samples	7	3	7	—
	比例 Ratio (%)	41.2	17.6	41.2	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	31.3	21.4	17.9	—
棉花地 Cotton land	样本数 Samples	3	8	1	—
	比例 Ratio (%)	25	66.7	8.3	—
	平均值 Average ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	32.9	21.3	19.6	—

2.5 设施土壤种植年限与土壤有机质和氮磷的相互关系

对不同种植年限的设施土壤有机质和全量氮磷进行研究发现,在设施种植初期土壤有机质和氮磷累积量随种植年限的增加而增加,后期则随种植年限增加而呈缓慢下降趋势。进一步对设施种植年限与土壤有机质和氮磷含量分别进行回归分析,发现其相互关系可用二次多项式表示(图 1),其中有机质为: $y = -0.087x^2 + 1.666x + 16.56$, $R^2 = 0.892^{**}$;全氮为: $y = -0.011x^2 + 0.195x + 1.454$, $R^2 = 0.719^{**}$;全磷为: $y = -0.012x^2 + 0.274x + 0.679$, $R^2 = 0.857^{**}$ 。经方差分析可知,以上 3 个方程的回归系数均达到极显著水平。根据所得回归方程计算,寿光市设施菜地分别在种植后第 9.6 年、8.9 年和第 11.4 年时,土壤有机质和全氮、全磷累积量达到最高值,其含量分别为 24.53 、 $2.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,此后则出现下降。该结果与熊汉琴等^[19]对陕西汉中,吴忠红等^[10]对山西太原的研究相类似。该结论意味着:设施土壤在利用一段时间(一般为 10a 左右)后,长期的高养分投入,及农田经营过程中的土壤曝晒、撂荒和种植消耗地力作物等措施使得土壤有机质与氮磷钾养分含量发生了一定的变化,而该种变化对土壤地力和生产力又会产生何种影响?其结果值得进一步研究。

3 讨论

3.1 不同利用方式下有机物和养分投入的差异及其对土壤质量的影响

不同的土地利用方式决定了农业生产中有机物料和养分投入的不同。据寿光市设施蔬菜地施肥情况的调查问卷及其它相关资料^[20],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($\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 15:15:15$),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),常年的高养分投入最终使得设施菜地有机质与氮磷含量显著高于露天菜地,小麦/玉米地和棉花地。由于蔬菜对氮、磷、钾的需求比例一般是 $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ 为 $1:0.5:1.25$ ^[20],因此寿光市设施菜地存在养分投入不平衡的问题,即氮、磷肥施用比例较高、钾肥比例较低。氮、磷及有机质等养分的过量施用,不仅造成了养分的浪费,也直接影响蔬菜的产量与品质,并会对环境带来潜在威胁^[16, 17]。土壤养分在不同耕地利用类型的变异状况能够较好地反映耕地利用对不同类型土壤养分含量变化的影响,在调查分析的 5 种土壤利用类型中,设施菜地有机质,全量氮磷含量的变异系数均相对较高,农户施用肥料种类,数量,施肥方式等方面的差异是形成设施菜地有机质与全量氮磷平均水平高且个体间差异较大的重要原因。

调查区域设施土壤中肥料的大量投入,使得土壤中有机质与氮磷含量均有较大幅度的提高,但其必然影响土壤原有的化学与生物学特性,近而对土壤质量产生较大的影响^[21]。养分长期的不平衡投入,可能出现土壤中某一或某些营养元素含量的相对匮乏,即所谓的“木桶效应”,最终可能造成土壤质量的退化,影响作物的正常生长;设施土壤有机质与氮磷等养分含量的大幅提高与累积,也可能使土壤发生酸化与盐渍化现象,本研究对寿光市设施土壤酸化与盐渍化情况进行了分析,结果表明:设施土壤与小麦/玉米地、棉花地相比已

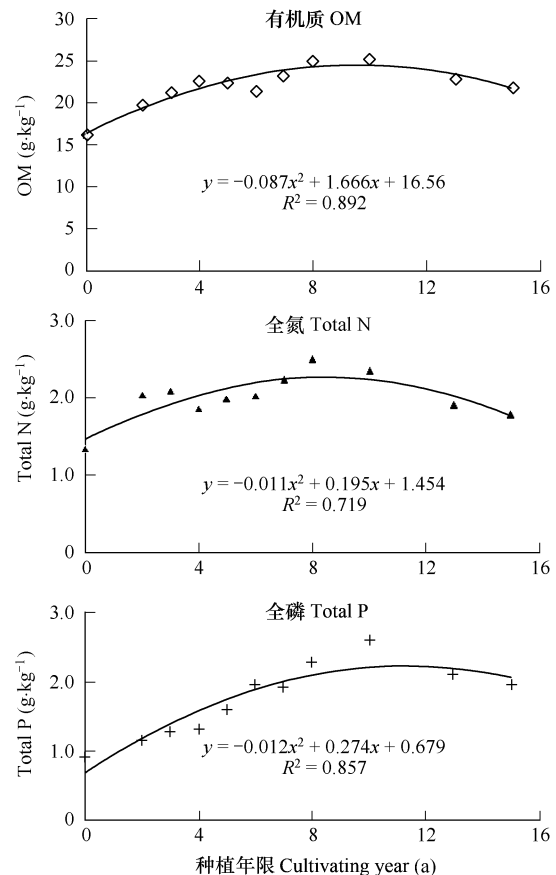


图1 种植年限对寿光市设施菜地土壤有机质和全量氮磷含量的影响

Fig. 1 The effects of cultivating years on the contents of organic matter and total nitrogen, phosphorus in greenhouse soil of shouguang

经有较明显的酸化现象,表层土壤平均全盐量达到 $2.47 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,可见,设施生产中不合理地施用化肥与有机肥已最终影响到设施土壤质量的提高;此外,设施土壤表层氮磷等养分的矿化、移动也可能造成土壤质量的退化,同时,矿质态氮、有效磷钾等随水向下淋洗,还可能使得浅层地下水营养化,进而给水环境质量带来影响^[22];设施生产施用的肥料中还可能伴随着某些重金属及有机污染物,该类物质在土壤中长期积累可能会极大地影响土壤的环境质量,最终给设施土壤的安全生产带来隐患^[23]。综上所述,设施农业的集约化经营,虽然使得土壤中有机质及氮磷等含量有了较大的提高,但该过程中土壤质量的变化也应该引起较多的关注。

3.2 设施种植年限与土壤有机质及养分的变化

设施菜地中土壤有机质、全量氮磷含量均在连续种植 10a 左右出现明显的下降趋势,这是设施菜地种植中出现的一种较为普遍的现象,且这种趋势与土壤病害增多、微生物群落改变、作物产量下降等现象的发生是一致的^[7, 8]。导致出现该现象的原因,主要是由于设施菜地经过多年的连续种植后,土壤中病原微生物增多、微生物多样性下降、氮磷钾养分不平衡加重(土壤氮磷含量增加较大、钾含量基本维持不变)等,使得蔬菜产量严重下降,致使农户对生产的投入大幅度减少;同时,出现这种情况后,农户在生产过程中需要经常利用通风、翻土、晒土等措施来改善土壤条件。随着有机物和养分投入量的减少,以及频繁翻耕、土壤通气性提高等,必然加速了其中有机质和养分的消耗,出现相应的下降趋势也就在所难免了。

为解决设施菜地连续种植后出现的上述现象,当地农户一般是通过晒土、撂荒(1~2a)、种植消耗地力作物(玉米等)等方法来调节。但是,这些措施的应用也直接影响了菜地土壤的养分含量,晒土过程中相对丰富的微生物活动更加有效地促进了有机质的矿化分解,也增加了养分的向深层淋洗;撂荒(1~2a)过程直接降低了土壤的有机质和养分含量;玉米等消耗地力作物的种植过程中,由于没有有机肥和化肥的投入,种植作物大量吸收和消耗了土壤中的养分,最终均将导致土壤肥力的快速衰退。但如果不采取这种措施,土壤障碍因素增多、有机质和养分同样出现下降,且蔬菜产量也大幅度降低,很显然也将严重影响设施蔬菜的生产。所以,设施菜地长期、连续种植蔬菜条件下的施肥、耕作与管理,以及在该条件下土壤肥力和生产力的保持等问题,是值得长期、深入研究的重要课题。

针对寿光市设施菜地有机质和养分含量的现状,结合对近年来施肥情况的分析,在设施菜地施肥与管理方面,应进一步强调合理施用化肥,根据不同类型蔬菜的需肥规律,结合土壤养分测试及肥料利用率等相关数据,调整氮磷钾养分的施用量和施用比例,保证全面合理的养分供应,以最大限度地发挥作物的增产潜力,提高农产品质量和农业生产经济效益,避免养分资源浪费。

4 结论

通过对山东寿光市不同利用方式农田土壤有机质和氮磷钾状况研究,结果表明:

(1)寿光市农田土壤有机质、全量氮磷含量变化呈现由北到南逐渐增高趋势,而全钾含量变化不明显;与第二次土壤普查时比较,全市土壤有机质、全氮、全磷平均含量均有较大幅度的提高,但全钾含量增幅较小,这种趋势在南部设施菜地土壤上表现最为明显,有机质、全氮、全磷含量增幅分别达到 1.2、1.6 倍和 3.64 倍,而全钾含量增幅仅 17.5%。

(2)不同土地利用方式比较,有机质表现为设施菜地 > 小麦/玉米地 > 露天菜地 > 棉花地 > 自然土;全氮表现为设施菜地 > 小麦/玉米地 > 露天菜地 > 自然土 > 棉花地;全磷表现为设施菜地 > 露天菜地 > 小麦/玉米地 > 自然土 > 棉花地;全钾含量则表现为棉花地 > 小麦/玉米地 > 设施菜地 > 露天菜地 > 自然土。与其它利用方式比较,寿光市南部设施菜地具有高有机质和氮磷、低钾的特点。

(3)不同利用方式的土壤养分级别比较,蔬菜地土壤养分含量水平要高于小麦/玉米地和棉花地。其中设施菜地有机质、全量氮磷钾含量分别主要分布于 $>20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $>1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $>1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 $20 \sim 25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 级别中;露天菜地则分别为 $10 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.0 \sim 1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.6 \sim 1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $15 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(4)随着设施菜地种植年限的延长,土壤有机质和全量氮磷含量分别出现相应的变化趋势,且均可用二次多项式表示。根据所求得的回归方程进行计算,发现在设施利用年限分别为 9.6、8.9、11.4 时,土壤有机质

和全量氮磷达到最高值,其含量分别为 24.53 、 $2.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,此后其含量可能会随种植年限的增加而降低。

References:

- [1] Pulgar G, Moreno D A, VÍllora G, *et al.* Production and composition of Chinese cabbage under plastic rowcovers in southern Spain. J. Hortic. Sci. Biotech., 2001, 76 (6): 608—611.
- [2] Wurr C E, Fellows J R. Leaf production and curd initiation of winter cauliflower in response to temperature. J. Hortic. Sci. Biotech., 1998, 73 (5): 691—697.
- [3] Yuan B Z, Sun J, Nishiyama S. Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse. Biosystems Engineering, 2004, 87(2): 237—245.
- [4] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, *et al.* Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive systems on the North China Plain cropping. Environmental Pollution, 2006, 143: 117—125.
- [5] Liu Y, Hua J, Jiang Y, *et al.* Nematode communities in greenhouse soil of different ages from Shenyang suburb. Helminthologia, 2006, 43(1): 51—55.
- [6] Wu F Z, Wang X Z. Effect of monocropping and rotation on soil microbial community diversity and cucumber yield, quality under protected cultivation. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(10): 2274—2280.
- [7] Wu F Z, Meng L J, Wang X Z. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under Shed Protection. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 554—558.
- [8] Wang H, Dong Y H, Li D C, *et al.* Nutrient variation in plastic greenhouse soils with the years of cultivation. Soils, 2005, 37(4): 460—464.
- [9] Li R, Li X H, Yuan L, *et al.* Accumulative regularity of organic matter and nitrogen content in sheltered ground. Shandong Agricultural Sciences, 2006, (2): 64—67.
- [10] Wu Z H, Zhou J B. Changes of soil physical and chemical characters under greenhouses cultivation in Shanxi Province. Journal of Northwest A & F University(Nat. Sci. ed.), 2007, 35(5): 136—140.
- [11] Zeng X B, Li L F, Bai L Y, *et al.* Arsenic accumulation in different agricultural soils in Shouguang of Shandong Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 310—316.
- [12] Lu R K. Soil agricultural chemical analysis method. Soil Science Society of China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 12—19, 106—109, 146—195.
- [13] Cheng L S, Lu J L. Vegetable nutrition and fertilization techniques. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2002.
- [14] Soil and fertilizer workstations in Shandong Province. Shandong Soil. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1994. 354—390.
- [15] Zhu J H, Li X L, Christie P, *et al.* Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. Agriculture. Ecosystems and Environment, 2005, 111: 70—80.
- [16] Ge X G. Vegetable soil and fertilizer. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2002. 24—35.
- [17] Guo W L, Dang J X, Lu J L, *et al.* Soil properties and fertilization in vegetable greenhouse at different ages. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(1): 85—89.
- [18] Huang S W, Jin J Y, Yang L P, *et al.* Spatial variability and regionalized management of soil nutrient in the train crop region in YuTian County. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 79—88.
- [19] Xiong H Q, Wang Z H, Zai S M. Influence of cropping duration on soil fertility in vegetable green-house. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(3): 137—139.
- [20] Li J L, Cui D J, Meng X X, *et al.* The study of fertilization condition and question in protectorate vegetable in Shouguang, Shandong. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(2): 126—128.
- [21] 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. Environmental Pollution, 2007, 145: 497—506.
- [22] Leinweber L, Meissner R, Eckhardt KU, *et al.* Management effects on forms of phosphorus in soil and leaching losses. European Journal of Soil Science, 1999, 50: 413—424.
- [23] McLaughlin M J, Parker D R, Clarke J M. Metals and micronutrients food safety issues. Field Crops Research, 1999, 60: 143—163.

参考文献:

- [6] 吴凤芝, 王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2274

~2280.

- [7] 吴凤芝, 孟立君, 王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 554 ~ 558.
- [8] 王辉, 董元华, 李德成, 安琼. 不同种植年限大棚蔬菜地土壤养分状况研究. 土壤, 2005, 37(4): 460 ~ 464.
- [9] 李润, 李絮花, 袁亮, 路超, 赵朋. 设施栽培土壤有机质和氮素含量的积累规律. 山东农业科学, 2006, (2): 64 ~ 67.
- [10] 吴忠红, 周建斌. 山西设施栽培条件下土壤理化性质的变化规律. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(5): 136 ~ 140.
- [11] 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.
- [12] 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. 12 ~ 19, 106 ~ 109, 146 ~ 195.
- [13] 陈伦寿, 陆景陵. 蔬菜营养与施肥技术. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [14] 山东省土壤肥料工作站. 山东土壤. 北京: 中国农业出版社, 1994. 354 ~ 390.
- [16] 葛晓光. 菜田土壤与施肥. 北京: 中国农业出版社, 2002. 24 ~ 35.
- [17] 郭文龙, 党菊香, 吕家珑, 郭俊炜, 权定国, 刘思春, 马勤安. 不同年限蔬菜大棚土壤性质演变与施肥问题的研究. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 85 ~ 89.
- [18] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 79 ~ 88.
- [19] 熊汉琴, 王朝辉, 宰松梅. 种植年限对蔬菜大棚土壤肥力的影响. 水土保持研究, 2007, 14(3): 137 ~ 139.
- [20] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞, 李晓林, 张福锁. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究. 土壤通报, 2002, 33(2): 126 ~ 128.