

曾艳,李征,张静涵,等.不同施肥类型下设施农业土壤质量的累积特征[J].江苏农业科学,2016,44(6):465-469.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.136

不同施肥类型下设施农业土壤质量的累积特征

曾艳¹,李征¹,张静涵²,安树青¹,冷欣¹,李宁¹

(1.南京大学生命科学学院,江苏南京210046;2.南京大学常熟生态研究院,江苏常熟215500)

摘要:以江苏省南京地区设施农业土壤为对象,研究了施化肥为主和施有机肥2种施肥类型下,设施农业土壤的基本性质和养分含量在纵向剖面的累积特征。结果表明:设施农业中,施化肥为主表层土壤酸化现象明显,施有机肥表层土壤盐渍化现象明显。2种施肥类型下表层土壤各养分含量均显著高于露天土,施有机肥耕作方式在提高土壤养分方面整体优于施化肥为主。设施农业土壤在纵向剖面累积特征明显,施化肥为主的酸化现象在0~20 cm土层明显,盐分含量在各土层中稳定,土壤全氮、全磷含量同时出现表层聚集和向下迁移的特征,其中底层累积更为明显;施有机肥耕作方式下土壤酸化主要集中在20~60 cm,土壤盐分、全氮、全磷含量变化均在0~20 cm土层累积较多。设施农业中长期高投入的施肥,无论施化肥为主或有机肥为主,土壤均出现不同程度的酸化、盐渍化和养分累积现象,因此设施农业中应采取合理施肥措施,减少持续施肥时间较长区域的有机肥、氮肥、磷肥的施用量,以改善土壤质量恶化状况。

关键词:设施农业;有机肥;化肥;养分;累积

中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)06-0465-05

设施农业是通过现代农业工程和技术改变自然环境,使植物获取生长所需的温度、湿度、光照、水肥等条件,进而达到有效生产并获得较高产出的农业^[1]。设施农业因其单产高、受季节影响小等优点,可大幅提高土地利用效率,有效解决人多地少地区的农业持续发展问题,是我国蔬菜生产的重要方式之一^[2]。在设施农业高投入、高产出的生产模式下,人们

往往忽视了由此产生的环境问题,尤其是土壤环境质量恶化,它不仅影响了设施农业可持续发展,也对农产品安全及生态环境造成了不利影响^[3]。设施农业高温、高湿、高蒸发、无雨水淋溶的特性容易诱发土壤质量问题的产生,土壤酸碱性变化、盐分积累、养分富集、蔬菜品质下降甚至导致部分种植年限较长的大棚不适宜蔬菜生产^[4-6]。不同类型肥料合理施用对于保障设施农业土壤环境健康具有重要意义。化肥是采用化学或物理方法制成,含有农作物生长需要的一种或几种营养元素,施用见效快,但容易造成土壤质量下降、营养失调,加剧土壤磷、钾的耗竭,导致硝态氮累积^[7]。有机肥通常是指农牧业的废弃物(包括动植物的残体、粪便等)经过发酵、腐熟等过程制成的肥料,不仅含有植物所必需的大量元素、微量元素,还含有丰富的有机养分,能促进土壤中微生物的繁殖,

收稿日期:2015-04-30

基金项目:公益性行业(环保)科研专项(编号:20110918)。

作者简介:曾艳(1989—),女,贵州德江人,硕士研究生,从事湿地生态多样性研究。E-mail:zengyan2206@163.com。

通信作者:李宁,博士后,从事群落生态学研究方向。E-mail:lining196@126.com。

参考文献:

- [1] 李志刚,于卫平,李健.我国油茶研究与产业化现状综述[J].农业科技通讯,2011(6):8-11.
- [2] 胡冬南,游美红,袁生贵,等.不同配方施肥对幼龄油茶的影响[J].西北林学院学报,2005,20(1):94-97.
- [3] 赵中华,郭晓敏,李发凯,等.不同施肥处理对油茶光合生理特性的影响[J].江西农业大学学报,2007,29(4):576-581.
- [4] 胡玉玲,胡冬南,周城师,等.施肥对赣无系列油茶叶片SPAD值及养分的影响[J].林业科技开发,2011,25(2):20-23.
- [5] 胡冬南,胡玉玲,牛德奎,等.施肥配比与芸薹素内酯对油茶生长的影响研究[J].林业科学研究,2011,24(4):505-511.
- [6] Moscatelli M C, Fonck M, de Angelis P, et al. Mediterranean natural forest living at elevated carbon dioxide: soil biological properties and plant biomass growth[J]. Soil Use and Management, 2001, 17(3): 195-202.
- [7] 章家恩,刘文高,胡刚.不同土地利用方式下土壤微生物数量

- 与土壤肥力的关系[J].土壤与环境,2002,11(2):140-143.
- [8] 陶水龙,林启美,赵小蓉.土壤微生物量研究方法进展[J].土壤肥料,1998(5):15-18.
- [9] 周国英,陈小艳,李倩茹,等.油茶林土壤微生物生态分布及土壤酶活性的研究[J].经济林研究,2001,19(1):9-12.
- [10] 郝艳,刘君昂,周国英,等.不同抚育措施对油茶林土壤养分微生物及酶活性的影响[J].林业资源管理,2008(6):97-101.
- [11] 郭春兰,张露,雷蕾,等.不同林龄油茶林土壤酶活性及养分特征[J].草业科学,2012,29(11):1647-1654.
- [12] 周裕新,胡玉玲,甘青,等.施肥与芸薹素内酯对赣无油茶叶片养分和生长的影响[J].西南林业大学学报,2012,32(2):1-6.
- [13] 林贵贵.土壤微生物研究原理与方法[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [14] 关松荫.土壤酶及其研究方法[M].北京:农业出版社,1986:260-332.
- [15] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006:54-74.

是改善土壤理化性质的重要物质,对提高土壤肥力、作物产量和品质及增强作物抗逆性具有重要作用,其缺点是肥效慢^[8-10]。李吉进等研究表明,施用适量有机肥可以提高蔬菜产量,降低蔬菜硝酸盐含量^[11]。刘朴方等研究表明,有机肥更有利于改善土壤性质^[12]。基于有机肥在肥养地等方面良好作用,设施菜地有机肥的施用量不断增加^[13]。本研究通过比较不同施肥类型下设施农业土壤质量状况,分析长期施用化肥为主或有机肥条件下土壤化学性质和养分的纵向剖面累积特征,以期设施农业土壤肥料的合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江苏省南京市地处我国东南部长江下游,属于北亚热带季风气候区,四季分明,降水充沛,年平均温度 16.2℃,年平均降水量 1 298.4 mm,市域面积 6 587 km²,行政区划包括 11 区 2 县。其中,江宁区试验区是长期种植水稻而形成的水耕人为土,经营方式主要为公司经营和分散式农户承包,设施种植年限集中在 7~8 年,底肥以化肥为主,辅以少量农家肥,每年施 2~5 次,各种化肥的季总施用量为 2 000 kg/hm²。追肥以复合肥、尿素为主,追肥 1~2 次,追肥中复合肥的季施用量为 600 kg/hm²,尿素的季施用量为 450 kg/hm²。溧水区试验区以黄泥土为主,是一个成立于 2002 年的有机蔬菜生产公司,底肥与追肥均施用生物有机肥,每季施用量达 3 300 kg/hm²。

1.2 样品采集

供试土壤样品采集于 2011 年 12 月,根据每个大棚的实际大小,在均匀分布点原则基础上,通过多点法(3~5 点)采集表层土壤(0~20 cm),将混匀的鲜土用四分法留取 1 kg 左右,装入聚乙烯塑料袋,标记密封,带回实验室。共采集表层土壤样品 90 个,其中设施菜地 78 个,露天菜地(种植过程中不使用塑料大棚和地膜覆盖的区域)样本 12 个。设施菜地土壤样品中以化肥为主 54 个,有机肥 24 个。同时,为了进一步研究设施农业土壤纵向剖面的化学性质以及氮、磷累积特征,在表层土壤取土附近,对可能产生污染来源的区域随机选取 27 个不同施肥类型样点。利用土钻多点钻取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 深 5 层土样,分别将同一大棚同一土层土样混匀装袋,密封保存,带回实验室进行测定。设施农业不同剖面土壤样品中以化肥为主 15 个,有机肥 7 个,露天土 5 个。

1.3 样品分析

野外采集的土壤样品经风干后,在室内剔除石块、植物根茎等杂质,研磨后分别过 10、60、100 目筛,供土壤样品分析。其中,表层(0~20 cm)土壤测定 pH 值、EC 值、有机质含量、全氮含量、全磷含量、有效磷含量、速效钾含量等指标;剖面(0~100 cm)土壤测定不同土层土壤样品的 pH 值、EC 值、全氮、全磷含量。采用常规方法^[14]测定所有指标。采用玻璃电极法测定 pH 值;采用电导率仪法测定电导率(EC);采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定有机质含量;采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定土壤有机质含量;采用高氯酸-硫酸消化-凯氏定氮法测定全氮含量;采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定全磷含量;采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定速效

磷含量;采用乙酸铵提取-火焰光度法测定有效钾含量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010、SPSS 19.0 软件处理与分析数据,非参数 Kolmogorov-Smirnov 检验数据分布规律,运用非参数检验中 2 个或多个独立样本分析,通过 Kruskal-Wallis 单因素 ANOVA 成对比较进行显著性检验, $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同施肥类型表层土壤 pH 值与 EC 值

设施农业中施有机肥的表层土壤 pH 值最高,其平均值接近中性水平,与露天土差异不显著。施化肥为主的表层土壤 pH 平均值为 5.12,显著低于有机肥和露天土(图 1)。不同施肥类型下表层土壤 EC 值由高到低依次为有机肥>化肥为主>露天土。设施农业土壤 EC 值显著高于露天土。其中,施有机肥的土壤 EC 值最高,为 1.78 mS/cm,分别是施化肥为主和露天土土壤 EC 值的 4.6 倍、5.1 倍。

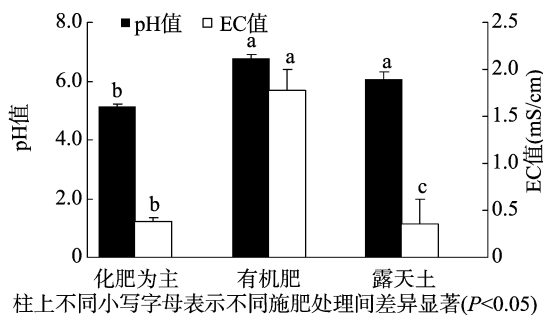


图 1 不同施肥类型下表层土壤 pH 值与 EC 值的变化

2.2 不同施肥类型表层土壤各养分含量的特征

由表 1 可以看出,设施农业中施有机肥、施化肥、施露天土土壤的有机质含量范围分别为 23.46~65.04、20.05~39.99、11.69~42.29 g/kg。施有机肥表层土壤的有机质含量显著高于施化肥和露天土。

设施农业和露天土表层土壤全氮和速效钾含量的变化规律与有机质含量的变化规律一致。设施农业表层土壤的含氮量和速效钾含量均高于露天土。其中,施有机肥土壤全氮的平均含量为 2.45 g/kg,显著高于施化肥为主和露天土。施有机肥土壤速效钾的平均含量为 0.84 g/kg,分别是施化肥为主和露天土速效钾含量的 2.9 倍、3.2 倍。不同施肥类型下表层土壤全磷含量和有效磷含量变化规律一致。设施农业中 2 种施肥类型的全磷含量、有效磷含量均显著高于露天土,2 种施肥类型间全磷含量、有效磷含量均无显著差异。施化肥为主的土壤全磷含量变异系数较大,其次为露天土,施有机肥土壤最低。有效磷含量方面,施化肥为主的表层土壤最高,其次为施有机肥土壤,露天土有效磷含量最低。

2.3 不同施肥类型下设施农业土壤 pH 值、EC 值

由图 2 可知,设施农业土壤 pH 值纵向累积的变化比露天土壤更加剧烈。施化肥为主土壤 pH 值在 0~20 cm 土壤酸化现象明显,且 pH 值随土壤深度的增加而升高。其中 0~20 cm 的土层 pH 值为 5.53,明显低于 20~40 cm 土层的 pH 值。20~40 cm 及更深土层 40~60 cm 和 60~80 cm 间 pH 值差异不大。施有机肥土壤的纵向累积状况与施化肥为主土壤相反,0~60 cm 土壤 pH 值随着土层深度的增加而降低,其中

表 1 不同施肥类型表层土壤各养分含量

施肥类型	数值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	有效磷含量 (g/kg)	速效钾含量 (g/kg)
化肥为主	平均值±标准差	28.49±0.63b	1.68±0.04b	1.29±0.07a	0.18±0.01a	0.29±0.03b
	范围	20.05~39.99	1.07~2.49	0.65~3.54	0.05~0.57	0.10~1.18
	变异系数	16%	16%	41%	54%	66%
有机肥	平均值±标准差	48.36±2.03a	2.45±0.13a	1.23±0.07a	0.14±0.01a	0.84±0.07a
	范围	23.46~65.04	1.19~4.01	0.61~1.91	0.03~0.22	0.41~1.70
	变异系数	21%	25%	29%	35%	39%
露天土	平均值±标准差	26.08±2.64b	1.39±0.11b	0.75±0.07b	0.06±0.01b	0.26±0.11b
	范围	11.69~42.49	0.75~1.93	0.33~1.13	0.01~0.15	0.06~1.46
	变异系数	35%	27%	32%	71%	149%

注:同列数据后不同小写字母表示不同施肥类型间差异显著($P<0.05$)。下同。

0~20 cm 土壤 pH 值为 6.72,20~40 cm 土壤 pH 值为 6.52,40~60 cm 土层土壤 pH 值为 6.15,60~80 cm 土层土壤 pH 值为 6.65。

由图 2 可知,设施土壤中施化肥为主的土壤 EC 值随着土层深度的增加变化不大。施有机肥土壤的土壤 EC 值在不同土层深度中的变化规律近似“S”形曲线,且 EC 值在各土层深度均高于施化肥为主土壤。其中,0~60 cm 剖面施有机肥土壤 EC 值随着土层深度的增加逐渐降低,由 0~20 cm 的 0.69 mS/cm 降低到 40~60 cm 的 0.35 mS/cm,在 60~80 cm 土层深度 EC 值又有所增加,是同等土层施化肥为主土壤的 2.4 倍。80~100 cm 土层 EC 值相较 60~80 cm 有所降低,为 0.43 mS/cm。

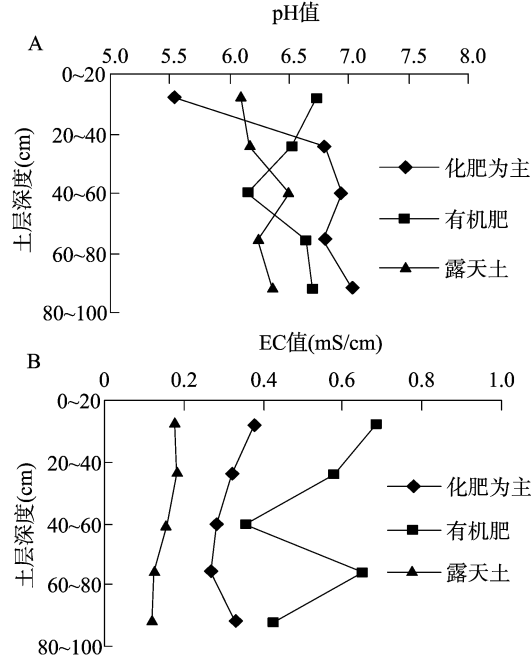


图2 不同施肥类型下设施农业土壤pH值、EC值

2.4 不同施肥类型下设施农业土壤全氮、全磷含量

由图 3 可知,设施农业中施有机肥和化肥为主土壤全氮、全磷平均含量在各土层均高于露天土。0~20 cm 土层深度施有机肥全氮、全磷含量分别是同等土层施化肥为主的 1.2 倍、1.1 倍。施有机肥土壤全氮、全磷含量随着土层深度的变

化呈现近似“S”形变化曲线,0~60 cm 土壤随着土层深度的增加,全氮、全磷的含量相应减少,40~60 cm 土壤的平均含氮量为 0.67 g/kg。60~80 cm 土层含氮量增加,其含氮量增加到 1.13 g/kg,80~100 cm 土层含氮量继续降低至 0.93 g/kg。施化肥为主的土壤全氮和全磷含量变化规律均为 0~20 cm 土层全氮和全磷含量高于 20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm,后 3 个土层的各指标含量相差不大,但在土层 80~100 cm 全氮和全磷含量又有所增加,并且为所有土层的最大值。

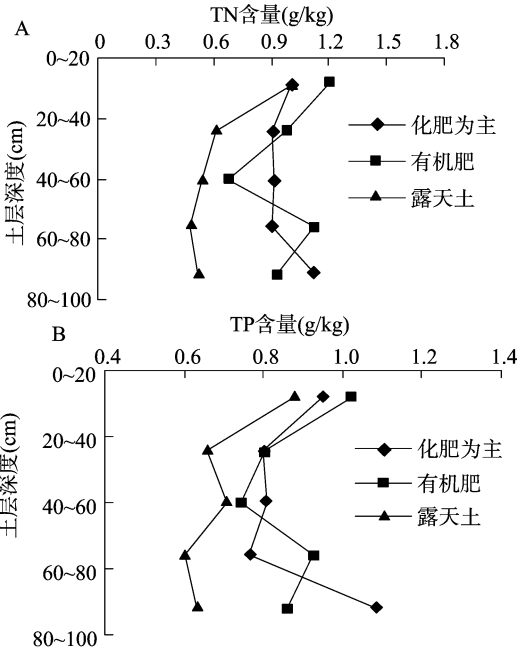


图3 不同施肥类型下设施农业土壤全氮、全磷含量纵向累积状况

3 结论与讨论

3.1 不同施肥类型设施农业表层土壤 pH 值和 EC 值的累积特征

本研究结果显示,设施农业中施有机肥表层土壤的 pH 值接近中性水平,与露天土差异不显著。有机肥由于自身的组成成分,有助于微生物的存活,能增强土壤的缓冲能力,缓解土壤酸化速度,一定程度上起到了维持土壤 pH 值稳定的效果^[15]。相反,施化肥为主的表层土壤 pH 值显著低于施有

机肥土壤,仅为 5.12,甚至低于蔬菜生理障碍的临界土壤酸碱性 5.52^[16]。这主要是由于设施农业种植方式下,化学肥料高投入、复种指数多、施用频率高等特征,导致肥料中自带的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等强酸性离子残留在土壤中引起土壤酸性增加^[2]。电导率(EC)是衡量土壤盐渍化程度的指标,通常与含盐量表现为正相关关系,可以反映土壤盐分情况^[17]。与露天土相比,不管是施有机肥还是施化肥为主种植方式下,其表层土壤的 EC 值均显著增加。Chen 等指出,过量施用有机肥和化肥可能使得某些未被作物吸收利用的养分及肥料的副成分大量残留在土壤中,导致土壤盐基离子增加^[18]。同时,设施大棚内的高温、高蒸发量,导致水分的运动方向总是由下向上移动,深层水分不断通过毛细管作用上移,溶解其中的盐分,随后移至土壤表层聚积,离子浓度增加^[19],从而导致土壤 EC 值升高。何文寿提出,当设施农业土壤电导率大于 0.5 mS/cm 时,标志土壤盐分开始超标;当电导率达到 1.0 mS/cm 时,土壤已经盐渍化;当电导率达 3.0 mS/cm 时,土壤已经严重盐渍化^[20]。本研究表明,施有机肥土壤 EC 值为 1.78 mS/cm,表明长期大量施用有机肥导致表层土壤出现盐渍化现象。

3.2 不同施肥类型设施农业表层土壤各养分含量的累积特征

有机质含量是衡量菜地土壤肥力高低的主要指标。本研究表明,设施农业施有机肥表层土壤的有机质含量分别是化肥为主和露天土的 1.7 倍、1.9 倍。有机肥在提高土壤有机质含量方面效果显著。同时土壤中有机质含量高,并不意味着就对农作物生长有利,过量有机质累积不但浪费肥料,也是土壤酸化、盐渍化发生的来源^[21]。本研究表明,设施农业表层土壤全氮、速效钾含量变化与有机质含量的规律相同。施有机肥土壤全氮含量分别是施化肥为主和露天土的 1.5 倍和 1.6 倍。梁国庆等通过长期试验也证实了有机肥料区的土壤含氮量最高,而化肥区仅略高于不施肥区^[22]。这可能是由于大量施用氮肥提高了作物根茬和根分泌物的量,亦即增加了归还土壤的有机氮量,这部分氮比土壤原有的有机氮易矿化。化肥中无机形态的氮较多,在浇灌过程中容易流失。相反,土壤持续获得有机肥的施入,有机氮在土壤中完成其全部分解过程需要经过漫长岁月,导致有机氮残留逐渐累积形成丰富的氮库^[23]。充足的钾对于增加蔬菜产量、提高蔬菜品质具有良好效果,连续施用有机肥对提高土壤速效钾含量发挥了重要作用。胡田田等指出,速效钾含量在 150 ~ 250 mg/kg 之间为适应范围,大于 350 mg/kg 为过量^[24]。本研究中施有机肥的表层土壤速效钾含量为 840 mg/kg,是参考值的 2.4 倍,这与研究区的黄泥土母质钾素含量丰富有关,并且高投入量的有机肥也增加了钾素的含量。鲁如坤提出,菜地土壤有效磷含量的丰缺指标为:小于 33 mg/kg 为严重缺乏,33 ~ 60 mg/kg 为缺乏,60 ~ 90 mg/kg 为适宜,大于 90 mg/kg 为偏高^[25]。本研究表明,在有机肥(140 mg/kg)和化肥为主(180 mg/kg)2 种施肥类型下,土壤有效磷含量均超过正常值 2 倍左右。长期施用化肥或有机肥均能有效增加设施农业表层土壤中的磷素含量。因此,笔者认为,肥料的高投入量是导致设施农业土壤磷素积累的关键原因。有效磷是植物体吸收磷素的直接来源,土壤有效磷是评价土壤磷素供应水平的重要指标,它的动态变化除了受土

壤自身的理化性质和自然因素等影响以外,还与施肥量和作物吸磷量有很大关系^[26]。在设施农业栽培条件下,土壤几乎不受雨水淋溶,加之大量施入有机肥,虽然作物吸收利用的带出量很大,但仍然会造成磷素在土壤表层的累积。

3.3 不同施肥类型设施农业土壤质量纵向累积特征

本研究表明,0 ~ 20 cm 施化肥为主土壤酸化现象明显,施有机肥土壤出现不同的酸化趋势主要集中在 20 ~ 60 cm 2 个土层。施化肥为主或有机肥的耕作方式下上层土壤 pH 值的降低或增加与肥料自身的性质有关。施有机肥的耕作方式下 20 ~ 60 cm 土层出现不同程度酸化,这可能是由于该区域过量的有机肥矿化分解过程中产生大量有机酸,在设施农业特殊的环境条件下,植物根系和土壤微生物的代谢作用旺盛,产生大量的 CO_2 ,土壤酸性增加;施化肥为主的耕作方式下下层土壤 pH 值增加,可能是由于大量化肥在表层快速分解,少量农家肥在下层土壤作用增加,提高了土壤的缓冲性能;随着土层加深,无论施化肥为主或有机肥,受表层影响较小,土壤的酸化程度均越来越轻^[27]。本研究表明,施化肥为主的耕作方式下,土壤 EC 值在纵向剖面的变化波动不大,各土层含盐量较低且均匀分布,这可能是由于该研究区中添加的部分有机肥缓慢分解进入深层土壤,促进了土壤矿质-有机复合体,有利于增加土壤对盐分的缓冲性,土壤电导率水平稳定有关^[28]。笔者发现,本研究区农户习惯于通过接棚晾晒与雨水灌溉达到除盐的效果,缓慢降低了土壤深层的盐分累积速度。施有机肥土壤 EC 值在 0 ~ 20 cm 和 60 ~ 80 cm 土层处较高,其值分别为 0.69、0.65 mS/cm,是同类土壤中施化肥为主的 1.8、2.4 倍,说明长期施有机肥设施农业土壤盐分同时存在向底层迁移和向表层聚集 2 种聚集方式,但表层土壤的累积量更高。这符合盐分随水运动规律:一方面,设施土壤中有有机肥的高投入量增加了盐分离子的向下淋洗量;另一方面,设施农业的高温、高蒸发特征导致盐分离子又随着土壤水分的向上运动而逐渐向表层迁移、聚积。电导率随纵向剖面的变化规律可能与设施农业投入使用的年限有关,设施农业种植时间越长,土壤越容易出现表层和底层盐分的累积^[29]。本研究中设施农业有机肥种植年限达到 10 年左右,其土壤含盐量的纵向剖面累积特征与周鑫鑫等的研究结果^[30]一致。

施肥不仅影响设施农业土壤表面各养分含量的变化,随着施肥年限的增加,养分的向下迁移也会影响其垂直分布。设施农业中,施有机肥土壤的全氮、全磷含量在纵向剖面的变化规律与 EC 值相同,即在 0 ~ 20 cm 和 60 ~ 80 cm 发生养分累积现象,并以表层聚集为主;施化肥为主的土壤全氮、全磷含量在 0 ~ 20 cm 和 80 ~ 100 cm 出现累积,且底层聚集现象更明显。有机肥和化肥长期的高投入量,导致设施农业土壤养分在表层聚集,但随着种植时间的延长以及设施灌溉的方式不同,氮、磷养分开始向深层土壤转移,施有机肥研究区种植年限长达 10 年,且实行严格的滴灌,土壤水分向下运动,60 ~ 80 cm 土层发生弱淋溶淀积,养分含量升高。由于过量施用氮肥和磷肥,施化肥为主土壤中氮、磷元素向下的迁移量或迁移速度可能高于施有机肥,所以施化肥为主土壤底层累积量较高。党廷辉研究结果表明,氮肥或氮肥与有机肥配施都可能引起硝态氮的深层淋溶,氮肥用量越大,淋溶量及深度

愈大,且有机肥的长期施用产生的硝态氮累积深度较浅、累积量较低^[31]。Elrashidi 等研究发现,长期施肥引起土壤表层磷的富集,在较大的降水量条件下,表层土壤富集的磷可迁移到地下水层^[32]。也有研究表明,氮、磷养分含量的增加一定程度上可能会引起地下水的污染^[33]。因此明确不同施肥类型下土壤养分在剖面的累积规律,对于评价不同施肥类型养分的有效性和可能引起的环境质量问题也具有重要意义。

本研究结果表明,设施农业土壤因施肥类型不同而呈现差异。表层土壤中长期施用有机肥有助于维持土壤正常 pH 值,但会引起土壤 EC 值的增加,盐分累积而出现盐渍化现象;施用化肥为主的表层土壤酸化明显。施化肥为主或施有机肥表层土壤养分含量累积明显。设施农业土壤纵向剖面发生盐分和养分累积并有向下迁移的现象,其中施化肥为主土壤盐分积累在表层和底层,但未出现盐渍化现象,氮、磷在底层累积量增加。施有机肥土壤酸化现象发生在 20~60 cm, 0~20 cm 和 60~80 cm 土层盐分累积并发生盐渍化,同时养分也积聚在含盐量增加的土层。因此,针对不同施肥类型下设施农业土壤质量恶化的现象,提倡合理施用化肥和有机肥^[34],尤其是减少单施有机肥区域的肥料施用量,适当降低氮肥、磷肥的持续投入,并根据季节变化和蔬菜种植模式的需肥条件,结合精确滴灌技术,有效改善土壤质量问题,提高设施农业的施肥效率,最终达到保障农产品种植安全的目的。

参考文献:

- [1] 张英,徐晓红,田子玉. 我国设施农业的现状、问题及发展对策[J]. 现代农业科技,2008(12):83-86.
- [2] 曾希伯,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.
- [3] 郭文忠,刘声锋,李丁仁,等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤,2004,36(1):25-29.
- [4] 杜新民,吴忠红,张永清,等. 不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2):78-80.
- [5] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报,2008,45(2):296-303.
- [6] 郭春霞. 设施农业土壤次生盐渍化污染特征[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2011,29(4):50-54.
- [7] 姜慧敏,张建峰,杨俊诚,等. 不同氮肥用量对设施番茄产量、品质和土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(12):2338-2345.
- [8] 李培军,蒋卫杰,余宏军. 有机肥营养元素释放的研究进展[J]. 中国蔬菜,2008(6):39-42.
- [9] 薛峰,颜廷梅,杨林章,等. 施用有机肥对土壤生物性状影响的研究进展[J]. 中国生态农业学报,2010,18(6):1372-1377.
- [10] 刘睿,王正银,朱洪霞. 中国有机肥料研究进展[J]. 中国农学通报,2007,23(1):310-313.
- [11] 李吉进,宋东涛,邹国元,等. 不同有机肥料对番茄生长及品质的影响[J]. 土壤肥料科学,2008,24(10):300-305.
- [12] 刘朴方,王宏燕. 农家肥和化肥施用对大豆根瘤菌多样性的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(6):1468-1472.

- [13] 张彦才,李巧云,翟彩霞. 河北省大棚蔬菜施肥状况分析与评价[J]. 河北农业科学,2005,9(3):61-67.
- [14] 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.
- [15] 丁玉梅,李宏光,何金祥,等. 有机肥与复合肥配施对烟株根际土壤 pH 值的影响[J]. 西南农业学报,2011,24(2):635-639.
- [16] 史桂芳,毕军,夏光利,等. 保护地蔬菜土壤障碍指标界定及应用研究[J]. 耕作与栽培,2003(3):49-50.
- [17] 李彬,王志春,梁正伟,等. 吉林省西部苏打碱土区地下水的地球化学特征[J]. 水土保持学报,2006,20(4):148-151.
- [18] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, et al. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2004,69(1):51-58.
- [19] 曾礼,郑子成,李廷轩,等. 设施土壤水-盐迁移的研究进展[J]. 土壤,2008,40(3):367-371.
- [20] 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.
- [21] 高新昊,刘革,刘兆辉,等. 寿光设施菜地土壤养分累积与农产品硝酸盐污染研究[J]. 江西农业学报,2013,25(6):125-128.
- [22] 梁国庆,林葆,林继雄,等. 长期施肥对石灰性潮土氮素形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(1):3-10.
- [23] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京:中国农业出版社,1998:475-476.
- [24] 胡田田,李生秀. 土壤剖面中的起始 NO_3^- -N 可靠的土壤氮素有效性指标[J]. 干旱地区农业研究,1993,11(3):74-82.
- [25] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京:化学工业出版社,1998.
- [26] 王婷婷,王俊,赵牧秋,等. 有机肥对设施菜地土壤磷素状况的影响[J]. 土壤通报,2011,42(1):132-135.
- [27] 苏友波,李刚,毛昆明,等. 昆明地区主要花卉蔬菜基地设施栽培土壤养分变化特点[J]. 土壤,2006,36(3):303-306.
- [28] 徐力刚,杨劲松,张妙仙,等. 微区作物种植条件下不同调控措施对土壤水盐动态的影响特征[J]. 土壤,2003,35(3):227-231.
- [29] 李宝富,熊黑刚,张建兵,等. 不同耕种时间下土壤剖面盐分动态变化规律及其影响因素研究[J]. 土壤学报,2010,47(3):429-438.
- [30] 周鑫鑫,沈根祥,钱晓雍,等. 不同种植模式下设施菜地土壤眼托的累积特征[J]. 江苏农业科学,2013,41(21):343-345.
- [31] 党廷辉. 黄土区旱地深层硝酸盐累积机理,生物有效性与环境效应[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [32] Elrashidi M A, Alva A K, Huang Y F, et al. Accumulation and downward transport of phosphorus in Florida soil and relationship to water quality[J]. Comm Soil Sci & Plant Anal,2001,32(19/20):3099-3119.
- [33] 袁丽金,巨晓棠,张丽娟,等. 设施蔬菜土壤剖面氮磷钾积累及对地下水的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(1):14-19.
- [34] 汪海燕,王辉. 不同施肥处理对番茄根际土壤铜形态变化及生物有效性的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):245-249.