

DOI: 10.5846/stxb201305070963

高新昊, 张英鹏, 刘兆辉, 江丽华, 林海涛, 石璟, 刘苹, 李彦. 种植年限对寿光设施大棚土壤生态环境的影响. 生态学报, 2015, 35(5): 1452-1459.

Gao X H, Zhang Y P, Liu Z H, Jiang L H, Lin H T, Shi J, Liu P, Li Y. Effects of cultivating years on soil ecological environment in greenhouse of Shouguang City, Shandong Province. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1452-1459.

种植年限对寿光设施大棚土壤生态环境的影响

高新昊¹, 张英鹏^{1,2}, 刘兆辉^{1,2}, 江丽华¹, 林海涛¹, 石璟¹, 刘苹^{1,2}, 李彦^{1,2,*}

1 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 济南 250100

2 农业部黄淮海平原农业环境重点实验室, 济南 250100

摘要:为探讨不同种植年限对设施大棚土壤生态环境的影响,研究了不同种植年限的大棚土壤物理性状、化学性状以及微生物区系的差异变化,并对种植年限与土壤理化性状和微生物数量之间的相关性进行了统计分析。结果表明,随种植年限增加,土壤容重和 pH 值均明显下降,而土壤孔隙度、土壤 EC 值和土壤盐分含量则显著升高,有机质含量也呈增长的趋势;土壤全氮和全磷量均持续升高,土壤全钾、硝态氮和速效钾均先升高后降低;随着设施大棚种植年限的增长,细菌数量先上升后下降,放线菌数量先迅速升高后保持相对稳定,只有真菌数量呈持续增加的趋势。这说明由于大量的有机无机肥料投入,种植年限不同的设施大棚土壤均出现一定酸化现象,养分失衡,微生态平衡遭到破坏,盐分含量显著升高,存在明显的环境风险。应提倡合理科学施肥,以保证设施大棚土壤的生态环境安全。

关键词:种植年限;设施大棚;生态环境;理化性状;土壤微生物

Effects of cultivating years on soil ecological environment in greenhouse of Shouguang City, Shandong Province

GAO Xinhao¹, ZHANG Yingpeng^{1,2}, LIU Zhaohui^{1,2}, JIANG Lihua¹, LIN Haitao¹, SHI Jing¹, LIU Ping^{1,2}, LI Yan^{1,2,*}

1 Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

2 Key Laboratory of Agro-Environment in Huang-Huai-Hai Plain, Ministry of Agriculture, Jinan 250100, China

Abstract: Greenhouse farming is one of the important ways to produce vegetables in the world. This technology is characterized by that it may produce high yield of vegetable and would be less affected by the seasons. In addition, it could improve the land-use efficiency and agricultural sustainability in the regions with a large population but not enough arable land. Therefore, it could significantly raise the income of the farmers and was extended quickly in northern China. In China, Shandong province is the major vegetable production region, accounting for nearly 50% in terms of greenhouse area. In recent years, the vegetable production in greenhouse farming system has developed rapidly and brought good economic revenue and social benefits in Shouguang, Shandong Province. Now, Shouguang has been one of the most important vegetable production bases of China and obtained the title “the village of Chinese vegetable”. However, due to the lack of scientific and reasonable fertilization guidance, many problems has also arisen in vegetable production including excessive fertilization nutrient imbalance, and low fertilizer use efficiency, resulting in nutrient accumulation in soil, significant decrease in vegetable quality, and serious deterioration of soil under greenhouse conditions. Thus, the greenhouses for years in some regions are no longer suitable for vegetable production. This situation had brought certain negative impact on the agricultural sustainability, vegetable quality and ecological environment. To examine the effect of different cultivating years

基金项目:环保公益性行业科研专项重大项目(201109018);“泰山学者(农业面源污染防控)”建设工程专项经费

收稿日期:2013-05-07; **网络出版日期:**2014-04-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nkyliyan@126.com

on soil ecological environment under the greenhouse conditions, this study was conducted to investigate the differences of soil physical and chemical properties, microflora, and the correlations between cultivating years and soil physic-chemical properties and microbial quantity under the greenhouse conditions. The results showed that with the increase of cultivating years, soil bulk density and pH value were significantly reduced, while the soil porosity, electrical conductivity, soil salt content and organic matter content were significantly increased. The contents of soil total nitrogen and total phosphorus were kept rising. The amounts of total potassium, nitrate nitrogen and available phosphorus in soils increased in the first years, and then followed by a gradual reduction. With the increase of cultivating years, the number of bacteria tended to decrease after a rise in the first years; the number of actinomycetes remained relatively constant after a rapid rise in the first years; only the number of fungi had been continuously increasing. It can be concluded that the large inputs of organic and inorganic fertilizers lead to the soil acidification, nutrient imbalance, a decrease in micro-ecological balance, and significant increases in soil salt content and environmental risk in the greenhouse soils of different cultivating years. Thus, some reasonable and scientific fertilization strategies should be proposed and recommended to the vegetable producers to coordinate the balance between nutrient and energy of soil, improve soil quality and ensure the security of soil ecological environment in greenhouse. Main strategies may include the alteration of the fertilization habit of farmers, reductions in the amounts of nitrogen fertilizers, phosphorus fertilizers and some physiologically acid fertilizers, and properly combined application of organic and inorganic fertilizers.

Key Words: cultivating years; greenhouse; ecological environment; physic-chemical properties; soil microorganism

土壤是农业生产和人类生存发展所必需的自然资源和物质基础。植物吸收的营养物质绝大部分来自土壤,因此土壤环境污染是农产品不安全的源头,不仅直接影响农业生产效益,而且污染物能够通过食物链传递及生物的浓缩富集作用,影响畜禽产品品质,威胁人类健康^[1]。从以往研究看,土壤物理和化学属性一直被用来作为表征土壤生产力、肥力和健康质量的指标,但传统的理化指标已难以满足对土壤质量研究的需要^[2]。研究表明土壤理化性状和生物性状的变化是导致土壤质量下降的重要原因^[3]。因此,评价土壤质量及生态环境安全时要综合考虑土壤物理、化学与生物性状。

设施栽培是我国蔬菜生产的重要方式之一。具有单产高、受季节影响小等优点,不仅提高了土地的利用效率,也有效解决了人多地少地区的农业持续发展问题,大幅度提高农民收入,因而在我国北方地区发展十分迅速^[4]。随着设施栽培面积的迅速扩大及栽培年限的延长,设施土壤环境出现许多新的特点,例如设施土壤环境高温、高湿、高蒸发量、无雨水淋洗、复种指数高、持续施肥且施肥量大等。

山东省是我国蔬菜主产区,常年蔬菜种植面积占全国 10% 以上,设施蔬菜面积占全国面积的近 50%^[5]。尤其寿光市更是全国的重要蔬菜生产基地,有“中国蔬菜之乡”之称^[6]。近年来,寿光蔬菜生产发展迅速,带来了很好的经济效益和社会效益。但是在蔬菜生产中,由于缺乏科学合理的施肥指导,普遍存在盲目过量施肥、养分比例失调、肥效不高等问题,造成蔬菜大棚土壤养分富集、蔬菜品质下降现象日趋严重,部分种植年限较长的大棚已不能进行蔬菜生产^[5,7-8],这种现状已对当地农业持续发展、农产品质量及生态环境安全带来一定的负面影响。

目前已有一些关于寿光设施蔬菜大棚生态环境恶化的报道:余海英等^[7]研究表明山东寿光设施土壤耕层盐离子在设施土壤剖面存在着明显的累积和向下迁移现象;曾希柏等^[4]报道设施菜地土壤 pH 值随种植年限增加先降低而后升高,土壤全盐含量则表现出与 pH 值相反的变化趋势;雷宝坤等^[9]报道寿光设施菜地出现土壤碳、氮含量的增加和 C/N 比下降,伴随着菜田土壤明显的酸化和盐渍化,同时也伴随着土壤氮磷钾养分的富集。这些研究只集中在对寿光设施大棚土壤部分理化性状的研究,缺乏对土壤生态环境的系统研究。而唐海滨的研究^[10]相对系统一些,但所涉及的大棚年限最高仅有 12a。

本研究拟以寿光市 53 个不同种植年限(1—25a)的设施蔬菜大棚为研究对象,分析不同种植年限对设施

大棚土壤物理、化学及微生物等生态环境因子的影响,从而为指导寿光地区蔬菜生产中土壤管理和肥水资源的有效利用,改善设施大棚土壤生态环境提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

寿光市位于山东半岛中部,渤海莱州湾南畔,属暖温带半湿润气候,光照充足,四季分明,年平均气温 12.4℃左右,0℃以上积温 4375.5℃,年平均降雨量约 614 mm,无霜期 195 d^[11]。土壤类型为潮土,成土母质来自弥河冲积物,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。

研究区域选取古城、孙家集、洛城、纪台、稻田、文家共 6 个寿光市具有代表性的乡镇,于 2011 年 7—8 月份在 6 个乡镇 23 个村中选取了共计 53 个农户的蔬菜大棚进行调查研究。研究区域位于东经 118°39′40.9″—118°56′57.4″以及北纬 36°57′46.5″—36°57′23.1″的坐标范围。调查区域是以设施蔬菜为典型种植模式,蔬菜种植分别以番茄、黄瓜、辣椒、茄子连年轮作为主,施用肥料种类主要包括鸡粪、商品有机肥、复合肥以及冲施肥(注:发酵鸡粪、发酵猪粪、鹌鹑粪(鲜)、稻壳禽粪按每方 0.3 t(干重),干鸡粪、鹌鹑粪按每方 0.8 t(干重)计算。商品有机肥一律按 N-P₂O₅-K₂O=2-1-1 的养分含量计算,含腐植酸类冲施肥料一律按 N-P₂O₅-K₂O=10-4-6 的养分含量计算,不表明含量的复合肥一律按 N-P₂O₅-K₂O=15-15-15 计算,氮磷钾施用量均以纯养分干基计),每种作物下一茬栽培模式相对一致。各个调查大棚的相关信息见表 1。

表 1 调查大棚的相关信息

Table 1 Related information of investigated greenhouse

种植年限 Cultivating years	取样点数 Amounts of samples	施氮量(N) N fertilizer rate / (kg/hm ²)	施磷量(P ₂ O ₅) P fertilizer rate/ (kg/hm ²)	施钾量(K ₂ O) K fertilizer rate/ (kg/hm ²)	施肥总量 Amounts of fertilizer/ (kg/hm ²)	占样本比重 Ratio to samples/%
1	3	3593.7	1928.3	3776.2	9298.2	5.66
2	3	3456.9	1863.9	3738.4	9059.2	5.66
3	5	3538.9	1978.8	3317.5	8835.2	9.43
4	2	3500.4	1352.9	4145.1	8998.4	3.77
5	6	3414.4	1807.6	3164.2	8386.2	11.32
6	5	4399.2	2103.8	4531.6	11034.6	9.43
7	2	2669.5	1528.9	3043.5	7241.9	3.77
8	3	3314.3	1985.1	3452.1	8751.5	5.66
9	4	2772.2	1136.8	2987.0	6896.0	7.55
10	10	3748.7	1863.1	4119.7	9731.5	18.87
11	3	1855.3	1065.5	2138.2	5059.0	5.66
12	1	1521.4	1099.6	1139.6	3760.7	1.89
13	1	2251.8	1046.6	1956.6	5255.0	1.89
16	1	3731.8	1718.3	3868.4	9318.5	1.89
17	2	2783.2	1880.3	2880.5	7544.0	3.77
20	1	1046.6	761.8	1118.1	2926.5	1.89
25	1	3507.5	1945.4	2242.3	7695.1	1.89

取样的蔬菜大棚以种植年限为 10a 所占比重最大,其次为种植年限 5a 和 6a。从施肥调查统计结果看,种植年限在 10a 以下(含 10a)的大棚施肥量(以纯养分计)平均为 8823.3 kg/hm²,而多年的种植棚(种植年限超过 10a)平均施肥量为 5937.0 kg/hm²,施肥量比 10a 以下的大棚平均施肥量下降了 30%左右。而调查的 53 个大棚的平均施用肥料养分折纯 N 3006.2 kg/hm²,P₂O₅1592.2 kg/hm²和 K₂O 3036.4 kg/hm²。

1.2 样品采集与分析

每个温室或地块取由东向西取 3 次重复,取样点位于南北向栽培畦中间位置,即由东向西一条直线上均匀分布的 3 个点,分别单独标记作为 3 个重复;每个点取土深度为 30 cm(耕层深度),每个点单独装袋。将土样混匀,风干、研磨,土壤有效养分的测定过 1 mm 筛,全量养分的测定过 0.25 mm 筛。

另外采用环刀在以上相近取样点,同样是南北向栽培畦中间位置,取得 3 个重复表层土样,以测土壤容重。

常规土壤理化性状测定参照中国土壤学会农业化学专业委员会的方法^[11]:土壤容重采用环刀法测定,比重瓶法测定比重,计算土壤孔隙度;105 ℃烘干法测定鲜土含水量。风干土以去二氧化碳水按 2.5:1 水土比溶解,搅拌 1min,数显酸度计(PHS-2C)测定 pH 值;采用去离子水按土水比 1:5 提取,以 180 次/min 振荡 5min,13000 r/min 离心 3 min,用电导仪(DDS-11A 型)测定土壤电导率;土壤全盐含量采用重量法测定;土壤有机质采用外加热重铬酸钾氧化-容量法测定;土壤全氮采用开氏蒸馏法测定(FOSS Kjeltac 2300 自动定氮仪),土壤全磷采用 NaOH 熔融法-钼锑抗比色法分光光度法测定;土壤全钾采用 NaOH 熔融法-火焰光度法测定;土壤硝态氮采用流动分析仪测定,土壤有效磷采用 NaHCO₃浸提-分光光度法测定,速效钾采用 NH₄OAC 浸提-火焰光度法测定。

土壤微生物数量的测定:采用稀释平板法进行培养计数,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用马丁氏培养基,放线菌用高氏一号培养基^[12]。

1.3 数据处理与分析

试验数据的统计和作图用 Microsoft Excel2007 软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限对设施大棚土壤物理性状的影响

土壤容重大小可说明土壤结构和透气透水性能的好坏,作为土壤熟化程度指标之一。由图 1 可知,随着大棚种植年限的增加,土壤容重呈极显著降低的变化趋势,大棚土壤容重值每年以 0.007 g/cm³ 的速度在递减,说明在目前大棚种植模式下,大棚土壤熟化程度在升高。

孔隙度也是表征土壤物理性状的重要指标。由图 2 可以看出,大棚土壤孔隙度与种植年限呈显著的正相关关系,孔隙度约以每年 0.256% 的速度增加,这可能是造成土壤容重升高(图 1)的主要原因之一。

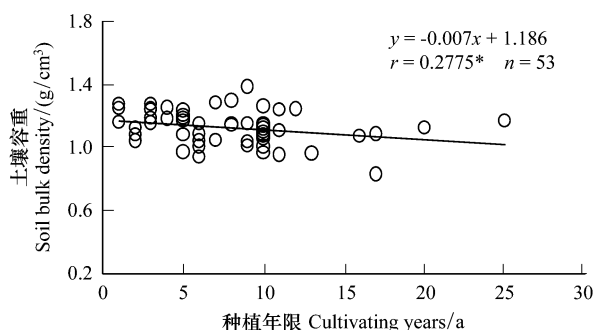


图 1 设施大棚土壤容重与不同种植年限的关系

Fig.1 The relationship between soil bulk density and cultivating years of greenhouse soil

** 表示差异达到极显著水平(1%), * 表示差异达到显著水平(5%),无 * 表示差异不显著

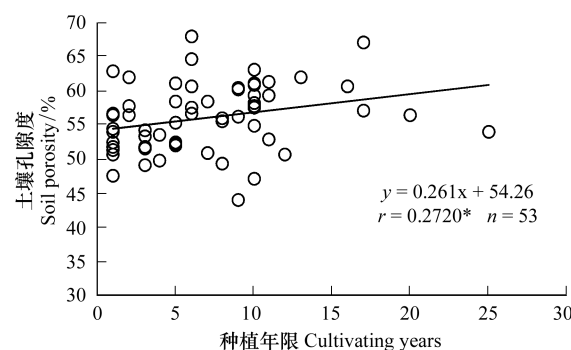


图 2 设施大棚土壤孔隙度与种植年限的相关性

Fig.2 The correlation between soil porosity and cultivating years of greenhouse

2.2 不同种植年限对设施大棚土壤化学性状的影响

土壤酸碱度对土壤肥力及植物生长影响很大。由图 3 可知,大棚土壤 pH 值随着种植年限的增加呈缓慢

下降趋势,每年 pH 值下降幅度约为 0.014 个单位,而在大棚种植的 5—10a 里,下降幅度则较明显。同时大棚土壤 EC 值随着种植年限的增加呈明显上升的趋势(图 3)。在调查的 53 个大棚中,尽管土壤 EC 值并不高,但随着种植年限增加,其 EC 值以每年约 4.562 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 的速度在升高。

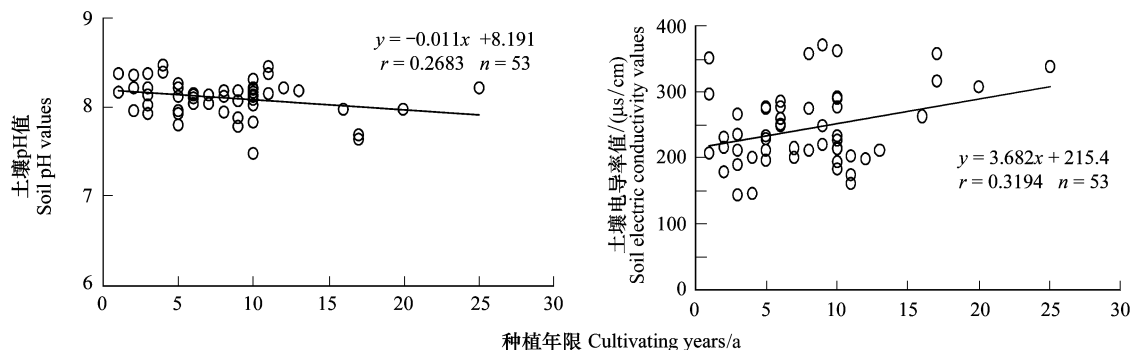


图 3 不同种植年限对大棚土壤 pH 值和 EC 值的影响

Fig.3 Effect of cultivating years on soil pH and EC value of greenhouse

由图 4 可知,调查区的设施大棚土壤盐分含量随着种植年限的延长而明显升高,两者之间呈极显著正相关关系,这可能由于设施大棚的施肥量偏高,土壤残留养分随着种植年限增加而逐渐积累,造成大棚土壤盐分含量逐渐升高。

土壤有机质含量是衡量土壤肥力高低的重要指标之一。由图 5 可见,种植年限较短的大棚土壤有机质含量随年限增长迅速升高,而后随着棚龄增加,有机质含量增幅减缓,保持相对恒定。这与寿光地区大棚种植过程中每年都要投入大量有机肥有关,起初大棚的有机质消耗少于其积累,而后随着种植过程中每年大棚多茬蔬菜的生长消费,造成有机质积累与消耗相对均衡所致。

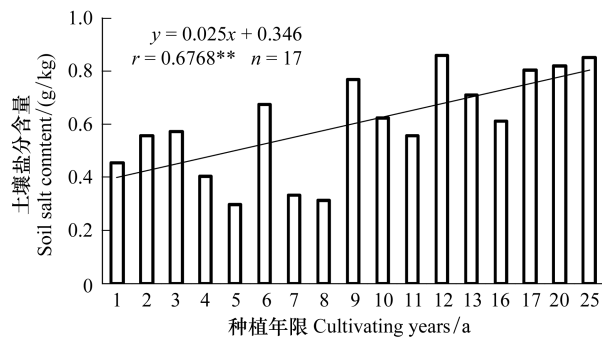


图 4 不同种植年限对大棚土壤盐分含量的影响

Fig.4 Effect of cultivating years on soil salt content of greenhouse

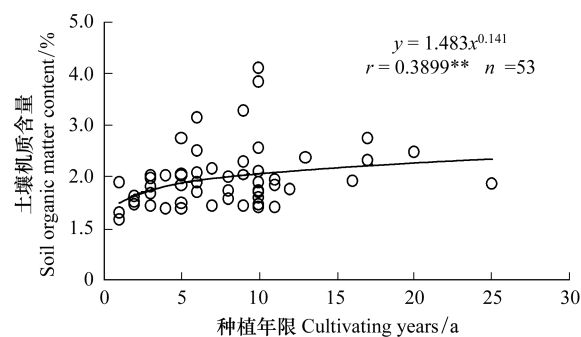


图 5 不同种植年限对大棚土壤有机质含量的影响

Fig.5 Effect of cultivating years on soil organic matter content of greenhouse

土壤全氮磷钾和速效氮磷钾均是衡量土壤肥力的主要指标。在本研究中,随着大棚种植年限的增长,土壤全氮和全磷含量均呈持续增加的趋势,且增长幅度相对恒定;土壤硝态氮、全钾和速效钾含量则呈先升高后下降的趋势;而土壤有效磷含量则随种植年限增长变化不明显,含量相对稳定。随着种植年限的增长,土壤氮磷比降低速度持续增加,降幅越来越大;氮钾比呈持续增加的趋势,且增幅相对稳定;而磷钾比则呈先升高后下降的趋势(表 2)。

2.3 不同种植年限对设施大棚土壤微生物性状的影响

一般认为细菌型土壤是土壤肥力提高的一个生物学标志。由表 3 可知,大棚细菌数量随着种植年限增长呈先增加后下降的趋势。在 1—6 a 的大棚土壤里细菌数量快速升高,而后在 11—12 a 左右的种植大棚中数量达到最高,约为 3.0×10^7 个/g 土;而再随着种植年限增长迅速下降。大棚土壤放线菌数量起初随着棚龄的

增长迅速升高,而后其数量趋于平稳;而大棚土壤真菌数量随着种植年限增长呈持续增加的趋势,且增长幅度比较恒定。

表 2 种植年限对设施大棚土壤养分含量的影响

Table 2 Effect of cultivating years on soil nutrient contents of greenhouse

养分因子 Nutrient factor	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	有效大棚数量 Amount of available greenhouse
土壤全氮 Soil total-N	$Y = 0.102x^{0.118}$	0.3674 **	51
土壤全磷 Soil total-P	$Y = 0.126x^{0.198}$	0.5745 **	48
土壤全钾 Soil total-K	$Y = -0.000x^2 + 0.019x + 1.912$	0.2345	53
土壤速效氮 Soil alkal-N	$Y = -0.048x^2 + 1.625x + 24.52$	-0.2627 *	53
土壤有效磷 Soil avail-P	$Y = 66.44x^{-0.09}$	-0.1225	53
土壤速效钾 Soil avail-K	$Y = -0.860x^2 + 22.16x + 490.8$	-0.255	53
氮磷比 Ratio of N/P	$Y = 0.796e^{-0.02x}$	-0.3521 **	53
氮钾比 Ratio of N/K	$Y = 0.052x^{0.103}$	0.3162 *	51
磷钾比 Ratio of P/K	$Y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0.003x + 0.071$	0.5187 **	48

表 3 种植年限与大棚土壤微生物数量的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between cultivating years and soil microorganism amounts

微生物种类 Microflora types	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	有效大棚数量 Amount of available greenhouse
细菌 Bacteria	$Y = -0.128x^2 + 2.857x + 13.85$	0.2530	52
放线菌 Actinomycetes	$Y = 2.560\ln(x) + 13.70$	0.1643	52
真菌 Fungi	$Y = 6.174x^{0.295}$	0.3606 **	53

3 讨论

土壤的理化性状是评价土壤生态环境好坏的重要指标。本研究发现随着种植年限的增长,大棚土壤容重呈极显著降低的趋势(图 1),土壤孔隙度明显上升(图 2),这说明在调查区的种植模式下,大棚土壤物理性状得到改善,土壤熟化程度在升高。杜连凤等^[3]也报道随着蔬菜种植年限的延长,容重有降低趋势,10a 保护地比 3 a 保护地降低 0.28 g/cm³,降低了 22%;周德平等^[13]报道随种植年限增加,土壤容重逐渐降低与多年的土地耕作和种植过程中有机肥的大量施用有关。但蔡彦明等的研究结论^[14]则相反,随着种植年限延长,蔬菜地土壤的容重变大,土壤结构性变差,这可能与不同蔬菜种植地区施肥习惯不同有关。

长期以来,土壤酸化是一个令人关注的问题,它是限制大多数作物生长的主要环境胁迫因子^[15],土壤酸化也是设施栽培中普遍存在的障碍因子。刘兆辉等^[5]对寿光露地土壤和设施菜地调查表明,露地土壤 pH 值为 8.0 左右,种植 7a 后,土壤 pH 值降至 6.85 左右。种植年限 10a 以下的设施蔬菜土壤 pH 值与种植大田作物的土壤相差不多,但是种植年限超过 10a 的设施土壤开始累积活性酸,出现了酸化趋势^[16]。蔡彦明等^[14]也报道随着种植年限延长,天津市蔬菜地土壤呈逐渐酸化的趋势。本研究发现大棚土壤 pH 值随着种植年限增长呈极显著的下降趋势,每年 pH 值降低约 0.014 个单位(图 3),与上述的研究结论相吻合。设施大棚的土壤酸化可能一方面是由于农民长期投入大量化肥,造成土壤硝酸盐累积,另一方面也与蔬菜大量吸收钙导致土壤含钙量降低有关系。

次生盐渍化也是设施栽培中普遍存在的障碍因子。周德平等^[13]研究发现当 pH 值从 1a 棚的 7.6 下降至 11a 棚的 5.0,土壤出现次生盐渍化状况,土壤 EC 值随种植年限增加快速上升,8a 棚 EC 值高达 1a 棚的 5—10 倍,其土壤表层可见明显盐霜;大棚土壤溶液的 EC 值随种植年限的增长呈明显上升的趋势(图 3),这与陈碧华等报道^[17]大棚土壤在连续种植不同年限后,水溶性盐总量上升幅度与种植年限呈极显著相关的结论一致;曾希柏等曾报道^[4]随着种植年限的增长,大棚土壤全盐含量表现出先升高后下降的趋势,这可能由于随种植

年限的增长,土壤中积累的硝酸盐和硫酸盐等离子随水向下迁移的程度加重有关。这与本研究的结果略有不同,在本研究中发现土壤全盐含量随着种植年限的延长极显著增加(图4),这可能是由于施肥量超过了蔬菜吸收量,造成养分在土层中积累,从而引起土壤全盐量上升。另外,在本研究所调查的53个设施大棚中土壤盐分含量均未达到低度盐渍化水平(1 g/kg),表明本区的大棚土壤目前尽管不存在土壤盐渍化现象,但其全盐含量随种植年限迅速升高的趋势不容忽视。

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^[18]。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^[19]。在本研究中,大棚土壤有机质随着种植年限的增长先迅速升高后增幅变缓(图5),总体有机质提高不大,这可能与调查地区施用有机肥一般以鸡粪为主,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。

王辉等报道^[20]随着种植年限的增加,土壤全 N、全 P 等理化性状随着种植年限的增加而逐渐增加;土壤氮、磷、钾养分含量随种植年限的延长总体上呈增加趋势^[21]。熊汉琴等报道^[22]大棚菜地土壤 3a 以后已明显出现 N、P 严重富集, K 含量降低。黎宁等^[23]也表明土壤全磷和全钾含量随年限而显著增加,全氮总体上随年限增长呈增加的趋势。与其他养分元素相比,磷在土壤中被固定,导致磷在老菜园土壤中积累较多,因此在本研究中出现随种植年限的增长,全磷含量呈持续上升的趋势(表2)。同时,土壤全氮随着种植年限增长而呈持续增加的趋势,与前人的研究结论基本吻合,土壤速效氮含量则呈先升高后降低的变化趋势,这可能由于前期大量氮在耕层累积,后随着种植年限增长,随水向下层迁移;同时,多年棚在种植过程中氮肥投入量下降(表1)也是影响耕层速效氮含量的原因之一。本研究中,土壤全钾和速效钾含量则随着大棚种植年限增长先升高后下降(表2),可能是由于种植年限较短时,大棚养分投入很高,全钾和速效钾在土壤中得到了一定的积累,但连续多年的复种模式引起作物生长对土壤钾素的大量消耗,导致土壤钾素逐渐下降。土壤氮磷比、氮钾比和磷钾比则出现不同的变化趋势,则可能主要由于土壤全氮尽管持续增加,但增幅较小且恒定;全磷的增幅较大,且持续增加;而全钾含量则是先升高后下降的变化趋势。

土壤是微生物的良好生存场所,当土壤的生态环境恶化,微生物的种类和数量都会发生明显的改变,因此微生物区系变化是土壤生态环境变化的主要参数。随着设施种植年限的增加,土壤细菌、放线菌和微生物总数先增加后降低,以种植6—8a 时最高而20a 时最低;真菌数量持续增加^[2]。而本研究发现,土壤细菌数量随着种植年限的增长而先升高后降低,约在10—12a 时数量最高,而放线菌则是先迅速升高而后保持相对稳定,而真菌数量则保持持续增长,增幅稳定(表3)。细菌数量大于放线菌,放线菌数量高于真菌,这与赵小宁等^[24]的结论相吻合。与土壤理化性状相比,微生物特性受外界的影响更为敏感。由于真菌对环境不利因素的抗逆能力较强^[25],而细菌相对就较弱,意味着细菌更适合在环境质量较好的土壤中生长。以上研究结果表明种植年限短的大棚土壤生态环境较好,有利于细菌和放线菌的快速增长,而种植年限较长后,大棚土壤老化,微生物的生存环境趋于恶劣,引起细菌数量下降和放线菌数量增长变慢,而真菌对外界胁迫的忍耐能力较强,则随种植年限的增长而数量持续稳定增长。张乃明等也报道^[26]种植年限长的大棚中细菌、放线菌数量较种植年限短的有所下降,可能与棚内耕层土壤有较高盐分累积量有关,即盐分积累可能对土壤微生物产生抑制作用。

4 结论

(1)随种植年限增长,土壤容重和 pH 值均明显下降,而土壤孔隙度、EC 值和盐分含量则显著升高,有机质含量也呈增长的趋势;而土壤全氮和全磷量均持续升高,土壤全钾、硝态氮和速效钾均先升高后降低。

(2)随着设施大棚种植年限的增加,土壤细菌数量先上升后下降,放线菌先迅速升高后保持相对稳定,只有真菌数量呈持续增加的趋势。

(3)由于设施大棚种植区每年投入大量的有机和无机肥料,不同种植年限的设施大棚土壤均出现一定的

酸化现象,养分失衡,微生态平衡遭到破坏,盐分含量也显著上升,存在明显的环境风险。应提倡合理施肥,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,以保证设施大棚土壤的生态环境安全。

参考文献(References):

- [1] 李东坡,武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1158-1165.
- [2] 董艳,董坤,郑毅,田芝花,鲁耀,汤利. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 527-532.
- [3] 杜连凤,张维理,武淑霞,黄锦法,张继宗. 长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探. 植物营养与肥科学报, 2006, 12(1): 133-137.
- [4] 曾希柏,白玲玉,苏世鸣,李莲芳. 山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化. 生态学报, 2010, 30(7): 1853-1859.
- [5] 刘兆辉,江丽华,张文君,郑福丽,王梅,林海涛. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律. 土壤学报, 2008, 45(2): 296-303.
- [6] 牟子平,吴文良,雷红梅. 寿光农业结构类型与资源可持续利用的技术对策. 资源科学, 2004, 26(6): 152-157.
- [7] 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. 中国农业科学, 2010, 43(3): 514-522.
- [8] 杜新民,吴忠红,张永清,裴雪霞. 不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究. 水土保持学报, 2007, 21(2): 78-80.
- [9] 雷宝坤,陈清,范明生,张福锁,甘延东. 寿光设施菜田碳、氮演变及其对土壤性质的影响. 植物营养与肥科学报, 2008, 14(5): 914-922.
- [10] 唐海滨. 山东寿光蔬菜大棚土壤性质变化规律研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2011.
- [11] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京:科学出版社, 1983.
- [12] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术. 北京:科学出版社, 2006.
- [13] 周德平,褚长彬,刘芳芳,范洁群,姜震方,吴淑杭. 种植年限对设施芦笋土壤理化性状、微生物及酶活性的影响. 植物营养与肥科学报, 2012, 18(2): 459-466.
- [14] 蔡彦明,沃飞,方望,师荣光. 天津市不同种植年限蔬菜地土壤物理性质分析. 华北农学报, 2011, 26(1): 167-171.
- [15] Cregan P D, Scott B J. Soil acidification-an agricultural and environmental problem // Pratley J E, Robertson A, eds. Agriculture and the Environmental Imperative. Melbourne: CSIRO Publishing, 1998: 98-128.
- [16] 高伟,朱静华,高宝岩,李明悦,赵秋,郑鹤龄. 天津市设施蔬菜不同种植年限土壤及地下水养分特征. 华北农学报, 2010, 25(2): 206-211.
- [17] 陈碧华,杨和连,李亚灵,李新峥,周俊国. 不同种植年限大棚菜田土壤水溶性盐分的变化特征. 水土保持学报, 2012, 26(1): 241-245.
- [18] Qiu S J, Ju X T, Ingwersen J, Qin Z C, Li L, Streck T, Christie P, Zhang F S. Changes in soil carbon and nitrogen pools after shifting from conventional cereal to greenhouse vegetable production. Soil & Tillage Research, 2010, 107(2): 80-87.
- [19] 黄绍文,王玉军,金继运,唐继伟. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况. 植物营养与肥科学报, 2011, 17(4): 906-918.
- [20] 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.
- [21] 唐海滨,廖超英,孙长忠. 山东寿光蔬菜大棚土壤养分的时空变化特征. 西北农业学报, 2011, 20(4): 134-137.
- [22] 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.
- [23] 黎宁,李华兴,朱凤娇,邝培锐,梁友强,张育灿,林日强. 菜园土壤的理化性质和微生物生态特征与种植年限的关系. 生态环境, 2005, 14(6): 925-929.
- [24] 赵小宁,吕家珑,柏延芳,薛泉宏. 不同种植年限蔬菜日光温室土壤养分与生物活性研究. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 54-59.
- [25] Hiroki M. Effects of heavy metal contamination on soil microbial population. Soil Science & Plant Nutrition, 1992, 38(1): 141-147.
- [26] 张乃明,董艳. 施肥与设施栽培措施对土壤微生物区系的影响. 生态环境, 2004, 13(1): 61-62.