

不同种植年限对设施栽培土壤 养分累积及其环境的影响

伊 田, 梁东丽, 王松山, 吴雄平, 陈宏森

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探讨不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响, 为设施栽培土壤的养分管理提供依据。【方法】以农田和菜地土壤为对照, 测定了陕西杨凌地区 5 个不同种植年限(1, 3, 5, 7, 10 年)的 25 个大棚不同土层深度(0~10, 10~20, 20~40 cm)土壤的 pH、电导率及养分含量, 通过分层聚类分析筛选出最有代表性的土壤养分指标。【结果】相对于农田和菜地土壤, 种植 1~5 年的设施栽培土壤的速效氮、速效磷、速效钾、有机质及有效态锰、铜、锌含量均随种植年限的增长而升高, 种植 5~10 年后各养分含量则趋于稳定, 其含量均随土层深度的增加而降低。种植 1~3 年时, 土壤硝态氮含量及电导率均随种植年限的增加而显著升高; 各种种植年限各层土壤硝态氮含量与电导率均呈极显著正相关($P < 0.01$), 说明设施栽培土壤的硝态氮累积形成了一定的硝酸盐淋溶和次生盐渍化的风险。随种植年限的增加, 设施栽培土壤 pH 呈下降趋势, 且与土壤硝态氮和速效磷含量均呈极显著负相关($P < 0.01$), 说明硝态氮和速效磷的累积是导致土壤 pH 下降的主要原因。提出以 pH、有机质、速效磷和有效锌为典型指标, 来表征土壤养分随栽培年限的变化状况。【结论】与农田和菜地土壤相比, 设施栽培土壤 pH 下降、电导率上升且养分含量相对较高, 存在一定的环境风险, 应提倡合理施肥, 以保证设施栽培的持续发展和利用。

【关键词】 设施栽培; 种植年限; 土壤; 养分累积; 环境影响

【中图分类号】 S626.5; S153

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)07-0111-07

Effect of different cultivation years on nutrients accumulation and environmental impacts of facilities cultivation soil

YI Tian, LIANG Dong-li, WANG Song-shan, WU Xiong-ping, CHEN Hong-sen

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The impacts of different years of facility cultivated soils on nutrients accumulation and environment were studied to provide scientific guidelines for soil nutrients management in facility cultivation. 【Method】 Soil pH, EC and various kinds of soil nutrients of different depths in 25 greenhouses with 5 cultivated years (1, 3, 5, 7 and 10 years) were measured, soils from grain field and normal vegetable land were taken as control. Soil nutrients parameters were classified by Hierarchical Cluster to select the most representative index. 【Result】 Available phosphorus, nitrogen and potassium, organic matter, available manganese, copper and zinc content in facility cultivation soil increased during the first 5 years and then leveled off from 5th to 10th years, and which decreased with the increase of soil depth. Soil nitrate and EC content raised significantly with the increase of cultivation year. There was a significant correlation between soil nitrate content and EC in different soil depths, and this indicated that nitrate accumulation formed a risk on nitrate leaching and secondary salinization in soil. Soil pH declined significantly with the increase of

* [收稿日期] 2009-12-24

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2008BADA4B09)

[作者简介] 伊 田(1984—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 在读硕士, 主要从事土壤环境化学研究。E-mail: yt1325@tom.com

[通信作者] 梁东丽(1963—), 女, 陕西铜川人, 副教授, 博士, 主要从事土壤环境化学研究。E-mail: dongliliang2005@yahoo.com

cultivation years. The decrease of soil pH resulted from the accumulation of nitrate nitrogen, available phosphorus and organic matter. Soil pH, organic matter, available phosphorus and available zinc were the sensitive indexes to characterize the variation of soil with cultivation years. 【Conclusion】 Soil pH decreased while EC increased and soil nutrients accumulated significantly in facility cultivation soil compared with grain field and vegetable land, and it formed certain environment impacts. Advocating rational fertilization is necessary for sustainable development of facility cultivated soil.

Key words: facility cultivation; cultivation year; soil; nutrient accumulation; environment impact

设施栽培技术在我国蔬菜生产中占有重要地位,设施栽培总面积从 1981 年的 0.72 万 hm^2 猛增到 2000 年的 179 万 hm^2 ^[1];截至 2003 年底,全国含小拱棚在内的设施园艺面积达 250 余万 hm^2 ^[2];2007 年,我国设施园艺栽培面积已突破 330 万 hm^2 ,总面积居世界第一^[3]。我国设施栽培生产的特点是高投入、高产出、高效益的集约化、规模化生产^[4],如果管理不当,必然会导致土壤养分不平衡、污染加剧、蔬菜产量和品质下降、土壤综合质量退化等问题^[5-8]。许多研究结果都证明,设施栽培存在土壤酸化和次生盐渍化问题^[9-12];此外,过量施用氮肥会导致硝态氮累积,以及由此引发的地下水或蔬菜的硝酸盐污染^[7,13-14]。陕西关中地区是传统的蔬菜生产基地,近年来设施栽培发展迅速,种植面积已达 1 万多 hm^2 ,其中以番茄日光温室栽培发展尤为突出^[15]。近年来,一些学者对该地区设施栽培土壤的施肥量、养分累积、硝态氮累积及 pH、电导率变化进行了研究^[10,15-16],但对设施栽培土壤养分累积随种植年限变化及其环境效应的系统性研究尚未见报道。本研究对陕西杨凌地区 5 个不同种植年限(1,3,5,7 和 10 年)的 25 个大棚不同深度土壤的养分进行了分析,并以农田和菜地土壤为对照,以期为设施栽培合理施肥及可持续生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集与测定

在对陕西杨凌地区设施栽培所采取的种植、施肥和管理等措施进行充分调研的基础上,于 2008-10-12 采集了种植年限分别为 1,3,5,7 和 10 年的 25 个大棚(每年限 5 个)不同深度(0~10,10~20,20~40 cm)的土壤样品,按蛇形采样法采集 5~7 个点混合,所有大棚种植的作物均为番茄,并采集了农田土壤(4 个)和菜地土壤(5 个)作为对照。将土壤样品带回实验室风干、研磨、过筛后备用。

土壤养分含量测定采用常规分析方法^[17]:pH 采用电极法(V(蒸馏水)):m(土壤)=1:1)测定,有

机质含量采用重铬酸钾外加热法测定,土壤速效氮含量采用 1 mol/L KCl 浸提-流动注射分析仪测定,速效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸钠浸提-钼蓝比色法(Olsen 法)测定,速效钾含量采用 1 mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度计测定,电导率采用电导率仪测定,土壤有效铁、锰、铜和锌含量采用 DTPA 浸提-火焰原子吸收分光光度计测定。

1.2 数据处理

试验数据用 Excel 和 SPSS13.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 种植年限对设施栽培土壤有机质及速效氮、磷、钾含量的影响

2.1.1 有机质 土壤有机质是判断土壤肥力的重要指标^[18]。表 1 显示,在 0~10 和 10~20 cm 土层,设施栽培土壤有机质含量在 1~5 年呈上升趋势,5~10 年趋于稳定,其含量无显著差异;在 20~40 cm 土层,土壤有机质含量在 1~3 年呈上升趋势,3~10 年趋于稳定。种植 10 年后,设施栽培土壤有机质含量与菜地和农田土壤无显著差异。在同一种植年限,土壤有机质含量均随土层深度的增加而下降。据调查,设施栽培番茄为一年两茬,平均每茬施用有机肥 60~80 t/ hm^2 ,所施有机肥以鸡粪、猪粪为主,其中速效养分多,木质素、纤维素及单宁等结构复杂的大分子有机化合物含量较少,对土壤有机质的形成贡献不大^[4],加之大棚内高温高湿的微气候条件,加速了土壤有机质的矿化,这可能是设施栽培土壤有机质含量较农田和菜地土壤无大幅度提升的主要原因^[18-19]。

2.1.2 速效氮 土壤的速效氮分为硝态氮和铵态氮两部分,是土壤最重要的肥力指标。表 1 显示,在 0~40 cm 土层,设施栽培土壤速效氮含量在 1~3 年迅速升高,3~10 年相对稳定。种植年限为 3 年的 0~10,10~20,20~40 cm 土层土壤速效氮含量分别为菜地土壤的 7.33,6.15,4.26 倍,为农田土壤

的4.11,3.52,4.02倍。同一种植年限土壤速效氮含量均随土层深度的增加而下降,造成这种现象的主要原因是长期大量施用化肥,使得土壤氮素含量远远超过生长作物的吸收能力^[4,20],导致氮素在土

壤中累积^[19,21-22],由此增加了土壤氮素挥发和淋溶损失的风险,带来潜在的环境危害^[23]。因此,应提倡合理施肥,以降低农民生产成本和环境污染风险。

表 1 不同种植年限对设施栽培土壤有机质及速效养分含量的影响

Table 1 Effects of different ages on contents of organic matter and available nutrients in facility cultivation soils								
指标 Index	土层 深度/cm Soil depth	种植年限/年 Cultivated year					菜地 Vegetable field	农田 Farmland
		1	3	5	7	10		
有机质/ (g·kg ⁻¹) Organic matter	0~10	12.84±3.12 c	17.38±2.83 bc	22.43±1.06 a	21.94±1.25 ab	22.81±4.03 a	20.21±2.46 ab	20.05±1.17 ab
	10~20	11.39±1.16 b	15.85±3.00 ab	17.38±3.70 a	17.21±2.58 a	15.16±2.96 ab	15.84±1.64 ab	12.91±0.14 ab
	20~40	8.64±0.57 b	12.04±3.74 a	10.52±1.43 ab	11.27±2.39 ab	10.48±3.11 ab	10.44±0.57 ab	10.97±0.81 ab
速效氮/ (mg·kg ⁻¹) Available N	0~10	131.86±47.24 bc	226.30±49.13 a	172.49±17.65 ab	188.71±51.80 ab	167.80±32.38 ab	30.86±10.92 d	55.10±22.64 cd
	10~20	111.64±20.05 a	146.76±44.95 a	116.97±20.67 a	137.49±58.09 a	113.35±56.62 a	23.86±3.74 b	41.69±14.34 b
	20~40	82.47±20.67 ab	115.69±55.08 a	81.08±13.73 ab	99.22±36.95 ab	102.47±32.45 ab	27.12±10.25 c	28.75±10.82 c
速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Available P	0~10	89.78±28.00 b	110.60±24.29 b	190.50±27.60 a	184.46±19.83 a	184.05±14.64 a	82.76±25.24 b	14.81±3.64 c
	10~20	58.93±17.39 d	89.37±32.56 cd	143.08±34.57 a	154.50±35.85 a	134.43±25.02 ab	91.82±26.07 bcd	3.01±1.31 e
	20~40	32.08±4.73 c	48.97±18.82 bc	90.11±26.05 a	88.72±21.95 a	65.70±9.35 ab	42.60±8.12 bc	1.32±0.63 d
速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available K	0~10	284.01±62.77 bc	409.38±90.29 ab	514.52±241.28 a	583.27±109.45 a	571.14±98.80 a	227.39±75.23 c	266.57±48.73 bc
	10~20	303.22±76.25 bc	331.53±74.09 b	370.96±131.46 ab	492.28±144.07 a	438.70±40.50 ab	192.01±55.84 cd	131.35±17.99 d
	20~40	147.52±20.03 de	197.06±57.08 cde	219.30±46.14 bcd	322.43±149.08 a	297.15±34.91 ab	167.74±30.62 de	108.60±2.92 e

注:同行数据后标不同小写字母者表示多重比较差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Different lowercases in a row mean significant differences ($P<0.05$). The same as below.

2.1.3 速效磷 表1显示,在0~40 cm土层,设施栽培土壤速效磷含量在1~5年呈上升趋势,5~10年趋于平稳。种植5年的设施栽培土壤0~10,10~20,20~40 cm土层中速效磷含量分别为菜地土壤的2.30,1.56,2.11倍,为农田土壤的12.86,47.53,68.26倍。种植1年的设施栽培土壤速效磷含量最低,与菜地土壤速效磷含量相当,但仍显著高于农田土壤。有研究指出,菜地土壤速效磷含量小于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^[15]。按照该标准,本研究中25个设施栽培土壤0~10和10~20 cm土层速效磷含量偏高的土壤样品数分别占总样品数的80%和68%,这反映了设施栽培土壤磷肥投入量较高,因此设施栽培中磷肥管理是一个值得关注的问题。

2.1.4 速效钾 表1显示,随着种植年限的增加,设施栽培土壤速效钾含量在1~7年逐渐增加,7~10年呈减少趋势。种植7年的设施栽培土壤在0~10,10~20,20~40 cm土层速效钾含量最高,分别为菜地土壤的2.57,2.56,1.92倍,为农田土壤的2.19,3.75,2.97倍。据调查,杨陵区设施栽培土壤每年施入有机肥120~160 t/hm²,番茄年产量21~22.5 t/hm²;每生产100 kg番茄需K₂O 0.50 kg,鸡粪和人粪中的K₂O含量分别为11.0和9.30 g/kg,而猪粪中钾素含量更高^[19];以K₂O含量最低的人

粪计算,每年以有机肥施入土壤中的K₂O含量为1.12~1.49 t/hm²,而番茄生产需要的K₂O为105~112.5 kg/hm²。由此可见,过量施用钾肥是造成设施栽培土壤速效钾含量不断上升的主要因素。国内外普遍认为,蔬菜地土壤速效钾含量在150~250 mg/kg为宜,大于350 mg/kg则过量^[15]。按照此标准,本研究中25个设施栽培土壤0~10和10~20 cm土层速效钾含量大于350 mg/kg的土壤样品数分别为19和15个,占样品总数的76%和60%。

2.2 种植年限对设施栽培土壤微量元素含量的影响 表2结果显示,设施栽培土壤微量元素有效态锌、铜、锰的含量在1~5年迅速上升,5~10年趋于稳定;且随土层深度的增加明显降低。在同一土层,各种植年限设施土壤有效铁含量基本无显著差异。另外,除20~40 cm土层有效锰外,种植10年的设施栽培土壤微量元素含量与菜地土壤无显著差异,但普遍高于农田土壤。参照陕西关中地区土壤有效态微量元素丰缺标准^[24],25个设施栽培土壤中,0~10和10~20 cm土层土壤有效锌含量丰富的土壤样品数分别占土壤样品总数的92%和68%;0~10和10~20 cm土层土壤有效铜含量丰富的土壤样品数分别占样品总数的80%和56%;0~10 cm土层土壤有效锰含量适量及以上的土壤样品数占样品总数的64%;0~10 cm土层土壤有效铁含量适量及以上的土壤样品数占样品总数的88%。说明该地区

设施栽培土壤有效态微量元素含量较丰富。

表 2 不同种植年限对设施栽培土壤有效微量元素含量的影响

Table 2 Effects of different ages on available microelements content in facilities cultivation soils								mg/kg
指标 Index	土层 深度/cm Soil depth	种植年限/年 Cultivated year					菜地 Vegetable field	农田 Farmland
		1	3	5	7	10		
有效锌 Available Zn	0~10	2.88±1.18 c	3.36±0.87 bc	5.42±1.71 a	4.79±0.96 ab	5.62±1.57 a	4.01±0.77 abc	0.64±0.15 d
	10~20	1.76±0.59 b	2.42±0.68 ab	2.94±1.67 ab	4.03±1.01 a	3.17±1.46 ab	2.76±0.93 ab	0.13±0.10 c
	20~40	0.58±0.31 ab	0.92±0.56 ab	1.30±0.54 a	1.38±1.10 a	1.05±0.78 ab	1.29±1.13 a	0.06±0.05 b
有效铜 Available Cu	0~10	0.87±0.12 c	1.11±0.32 bc	2.06±0.89 ab	1.70±0.30 abc	2.33±1.68 a	2.04±0.56 ab	0.80±0.11 c
	10~20	0.72±0.06 c	0.93±0.19 bc	1.29±0.67 abc	1.59±0.15 a	1.32±0.49 abc	1.84±0.58 a	0.82±0.06 c
	20~40	0.64±0.04 c	0.82±0.14 abc	1.03±0.21 ab	1.03±0.27 ab	0.75±0.27 bc	1.04±0.14 ab	0.66±0.09 c
有效锰 Available Mn	0~10	9.39±2.51 ab	9.05±1.88 ab	13.82±5.09 a	10.33±2.58 ab	13.81±6.34 a	11.03±1.17 ab	7.42±0.95 b
	10~20	7.97±1.65 ab	7.84±0.38 ab	10.82±2.36 a	9.19±1.32 a	8.08±2.46 ab	9.28±0.52 a	5.28±0.46 b
	20~40	5.94±1.03 ab	4.97±0.68 b	6.24±0.75 ab	5.73±1.68 ab	4.21±1.65 b	7.10±0.55 a	4.39±1.30 b
有效铁 Available Fe	0~10	7.07±2.26 a	5.59±1.93 a	7.42±2.60 a	6.68±1.29 a	7.51±2.73 a	6.37±0.81 a	2.77±0.16 b
	10~20	6.45±2.15 b	5.66±1.34 b	6.56±1.49 b	7.04±0.83 ab	5.32±1.03 b	6.31±1.00 b	3.13±0.47 c
	20~40	5.63±1.23 a	4.54±1.16 abc	4.90±1.04 ab	5.57±1.38 a	3.48±1.11 bc	4.96±0.62 ab	2.84±0.85 c

研究表明,土壤有效态微量元素含量与 pH、有机质含量密切相关。陆继龙等^[25]指出,土壤有效态微量元素与有机质各组分之间关联密切;魏孝荣等^[26]研究表明,不同地形条件下土壤有效态微量元素的剖面分布特征主要受有机质含量差异的影响,有效态微量元素含量与有机质含量达到极显著相关;周国华等^[27]认为,较高含量的土壤有机质有利于微量元素的活化,而土壤酸性增加能提高微量元素的生物有效性。本研究中,土壤 pH 与有效锌、铜、锰、铁含量均达到极显著相关($P<0.01$, $r=0.254$),相关系数分别为 -0.710 , -0.335 , -0.542 和 -0.524 ;土壤有机质含量与有效锌、铜、锰、铁含量达到极显著相关($P<0.01$, $r=0.254$),相关系数分别为 0.802 , 0.662 , 0.793 和 0.490 。说明在设施栽培条件下,有机肥施用量的增加,在一定程度上提高了土壤有效态微量元素的含量;同时土壤 pH 的下降也从另一方面增加了微量元素含量,这两者共

同作用,使得设施栽培土壤微量元素含量较为丰富。

2.3 种植年限对设施栽培土壤环境效应的影响

土壤次生盐渍化是设施栽培中普遍存在的一个主要障碍因子^[15,20],过量施用氮肥会引起土壤中硝态氮的大量累积,不但会降低肥料利用率^[21-22],而且会导致土壤含盐量升高,进而阻碍作物生长^[28],降低蔬菜品质^[14],且易引起硝态氮的淋溶^[23],引发水体富营养化^[22,29],增加环境危害的风险^[7-8]。由表 3 可知,设施栽培土壤硝态氮的累积非常明显,尤其在 0~10 cm 土层,土壤硝态氮含量最高达 207.68 mg/kg。土壤硝态氮含量在 1~3 年迅速上升,3~10 年基本趋于平稳。种植 3 年的设施栽培土壤 0~10,10~20,20~40 cm 土层硝态氮含量分别为菜地的 12.38,12.66,7.08 倍,为农田土壤的 4.57,4.05,5.08 倍。不同种植年限设施栽培土壤硝态氮含量显著高于菜地和农田土壤($P<0.05$),这可能是因为设施栽培比较重视氮肥的投入所致^[8]。

表 3 不同种植年限对设施栽培土壤硝酸盐含量和电导率的影响

Table 3 Effects of different ages on nitrate nitrogen content and conductivity value in facility cultivation soils								
指标 Index	土层 深度/cm Soil depth	种植年限/年 Cultivated year					菜地 Vegetable field	农田 Farmland
		1	3	5	7	10		
硝态氮/ (mg·kg ⁻¹) Nitrate nitrogen	0~10	108.54±60.22 bc	207.68±47.16 a	151.87±19.91 ab	159.88±55.26 ab	141.58±113.61 ab	16.77±10.48 d	45.40±21.40 cd
	10~20	93.83±28.56 ab	132.01±44.69 a	96.47±22.84 a	116.72±58.87 a	87.98±58.92 ab	10.42±4.06 c	32.56±13.31 bc
	20~40	70.58±21.02 ab	104.35±54.98 a	67.07±14.82 ab	83.00±36.88 ab	82.29±31.67 ab	14.73±9.24 c	20.52±9.23 c
电导率/ (ms·cm ⁻¹) Conduc- tivity	0~10	3.49±1.04 bc	6.36±1.68 a	4.43±0.96 abc	5.26±2.28 ab	5.56±4.65 ab	1.42±0.14 c	1.70±0.29 c
	10~20	2.93±0.44 abc	4.39±2.19 a	3.20±0.77 ab	3.77±1.40 a	3.55±1.719 a	1.34±0.07 c	1.60±0.16 bc
	20~40	2.35±0.35 ab	3.14±1.17 a	2.46±0.33 a	3.09±0.92 a	3.13±0.48 a	1.45±0.14 b	1.44±0.16 b

由表 3 还可以看出,设施栽培土壤电导率在 1~3 年迅速上升,3~10 年趋于平稳。种植 1 年的设施栽培土壤 0~10,10~20,20~40 cm 土层的电导率较菜地土壤分别增加了 146%,119%和 63%,较农

田土壤分别增加了 105%,83%和 64%;种植 3 年的设施栽培土壤 0~10,10~20,20~40 cm 土层的电导率较种植 1 年的设施栽培土壤相应各层分别提高了 82%,49%和 33%。在各土层,设施栽培土壤

硝态氮含量与电导率均达到了极显著相关($P<0.01,r=0.449$),说明硝态氮的累积是该地区设施栽培土壤电导率上升的主要原因,这与已有的研究结论相一致^[10]。

2.4 种植年限对设施栽培土壤 pH 的影响

表 4 显示,除 20~40 cm 土层外,设施栽培土壤

表 4 不同种植年限对设施栽培土壤 pH 值的影响

Table 4 Effects of different ages on soil pH value in facility cultivation soils

土层深度/cm Soil depth	种植年限/年 Cultivated year					菜地 Vegetable field	农田 Farmland
	1	3	5	7	10		
0~10	7.56±0.21 b	7.47±0.12 b	7.42±0.05 b	7.43±0.20 b	7.48±0.15 b	7.87±0.04 a	7.91±0.10 a
10~20	7.71±0.07 bc	7.58±0.12 c	7.59±0.07 c	7.58±0.23 c	7.65±0.16 bc	7.85±0.13 b	8.06±0.06 a
20~40	7.84±0.05 cd	7.81±0.18 cd	7.83±0.10 cd	7.76±0.17 d	7.86±0.08 bcd	8.06±0.08 ab	8.20±0.06 a

由图 1 和图 2 可以看出,土壤 pH 与土壤硝态氮含量和土壤速效磷含量均呈极显著负相关($P<0.01,r=0.254$), R^2 值分别为 0.657 1 和 0.615 1。

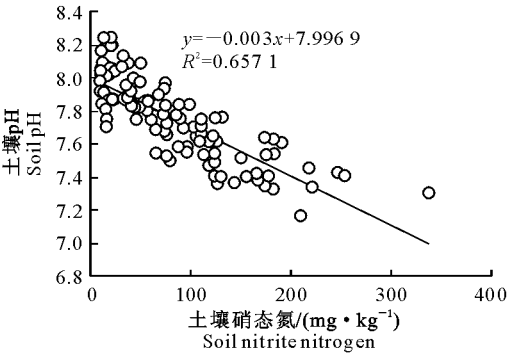


图 1 不同种植年限设施栽培土壤硝态氮含量与 pH 的关系
Fig. 1 Relationship between pH and nitrate nitrogen content in facility cultivation soil at different cultivated years

2.5 土壤养分变化特征指标的筛选

通过分层聚类分析,将各深度土层土壤养分指标进行分类,选出最具代表性的指标来表征土壤养分随种植年限的变化规律,从而达到用少数指标来

0~10 和 10~20 cm 土层的 pH 值随种植年限的增加基本呈下降趋势,且以种植 7 a 的土壤 pH 值下降幅度较大。不同土层中,各年限设施栽培土壤 pH 值均低于菜地和农田土壤,说明随种植年限增加,设施栽培土壤有酸化的趋势。

土壤有机质含量与土壤 pH 的相关系数为-0.560,由此可见,土壤硝态氮和速效磷及有机质的累积,是导致设施土壤 pH 下降的主要原因。

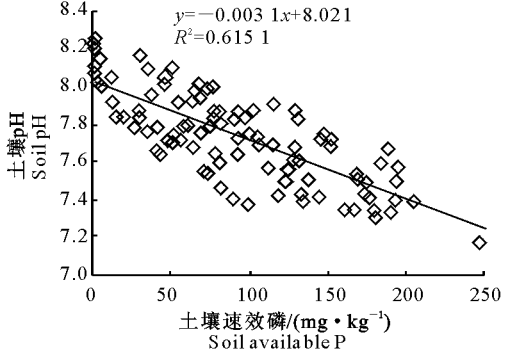


图 2 不同种植年限设施栽培土壤速效磷含量与 pH 的关系
Fig. 2 Relationship between pH and available phosphorous in facility cultivation soil at different cultivated years

表征土壤综合肥力特征的目的。用 SPSS13.0 中 Hierarchical Cluster 过程将 11 个变量(土壤养分指标)分为 3 类,结果见表 5。

表 5 各深度土层土壤养分分层聚类分析结果

Table 5 Hierarchical cluster analysis of soil nutrient in different depths

土层深度/cm Soil depth	类别 Type		
	1	2	3
0~10	pH	有机质 Organic matter	电导率,硝态氮,速效磷钾,有效铁、锰、铜、锌 Conductivity,nitrate nitrogen,available potassium,available iron,available magnesium,available copper,available zinc
10~20	pH	—	电导率,有机质,硝态氮,速效磷钾,有效铁、锰、铜、锌 Conductivity,organic matter,nitrate nitrogen,available potassium,available iron,available magnesium,available copper,available zinc
20~40	pH,有机质 pH,organic matter	—	电导率,硝态氮,速效磷钾,有效铁、锰、铜、锌 Conductivity,nitrate nitrogen,available potassium,available iron,available magnesium,available copper,available zinc

由于第 3 类别中有较多指标,需继续进行筛选。计算各指标与其他指标相关系数的均值($\bar{R}^2$),选择均值较大者作为典型指标,结果见表 6。在各土层

深度土壤的第 3 类养分指标中,速效磷和有效锌的 $\bar{R}^2$ 值接近且最大,故选择速效磷和有效锌为第 3 类的典型指标。结合前两类养分指标,选择 pH、有机

质、速效磷和有效锌为典型指标来表征土壤养分随种植年限的变化。需要指出的是,在 10~20 cm 土

层,为了兼顾其他两个土层深度的土壤,选择第 3 类中的有机质作为典型指标。

表 6 不同土层各土壤养分指标的相关系数均值

Table 6 Average values of correlation coefficient for tested indexes in different soil depths

土层深度/cm Soil depth	电导率 EC	有机质 Organic matter	硝态氮 Nitrate N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	有效锌 Available Zn	有效铜 Available Cu	有效锰 Available Mn	有效铁 Available Fe
0~10	0.34	—	0.29	0.60	0.45	0.58	0.39	0.50	0.44
10~20	0.32	0.27	0.29	0.55	0.46	0.55	0.28	0.38	0.37
20~40	0.30	—	0.24	0.39	0.31	0.38	0.30	0.26	0.27

3 结 论

1) 在种植 1~5 年内,设施栽培土壤速效氮、速效磷、速效钾、有机质及有效态铜、锌、锰含量随种植年限增大有逐渐上升的趋势,种植 5~10 年后趋于平稳,且各养分含量在 0~40 cm 土层中随土层深度的增加而下降。

2) 设施栽培土壤硝态氮含量和电导率随种植年限的增加呈先上升后下降的趋势,且显著高于菜地和农田。不同土层深度硝态氮含量与电导率间有极显著的正相关($P<0.01$),说明该地区土壤硝态氮的累积是电导率上升的主要原因,同时存在一定的硝酸盐淋溶和次生盐渍化的风险。

3) 设施栽培土壤 0~10 和 10~20 cm 土层的 pH 值随种植年限(种植年限 ≤ 7 年)的增加基本呈下降趋势,设施栽培土壤酸化是土壤硝态氮、速效磷长期累积的结果。

4) 通过分层聚类分析筛选出最具代表性的土壤养分指标,建议以 pH、有机质、速效磷和有效锌为典型指标,来表征设施栽培土壤养分随种植年限的变化状况。

[参考文献]

[1] 李式军. 设施园艺学 [M]. 北京:中国农业出版社,2002.
Li S J. Protected horticulture [M]. Beijing: China Agriculture Press,2002. (in Chinese)

[2] 李天来. 我国日光温室产业发展现状与前景 [J]. 沈阳农业大学学报,2005,36(2):131-138.
Li T L. Current situation and prospects of green house industry development in China [J]. Journal of Shenyang Agriculture University,2005,36(2):131-138. (in Chinese)

[3] 毛罕平. 设施农业的现状与发展 [J]. 农业装备技术,2007,33(5):4-9.
Mao H P. Situation and development of green house industry [J]. Agricultural Equipment & Technology,2007,33(5):4-9. (in Chinese)

[4] 曾希柏,白玲玉,李莲芳,等. 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 [J]. 生态学报,2009,29(7):

3737-3746.
Zeng X B,Bai L Y,Li L F,et al. The status and changes of organic matter,nitrogen,phosphorus and potassium under different soil using styles of Shouguang of Shandong Province [J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(7):3737-3746. (in Chinese)

[5] 葛青萍. 大棚土壤的理化性状 [J]. 土壤通报,1998,29(1):88-90.
Ge J P. Physical and chemical properties of greenhouse soil [J]. Chinese Journal of Soil Science,1998,29(1):88-90. (in Chinese)

[6] 何传龙,刘 枫,王道中,等. 合肥地区大棚土壤肥力特征研究 [J]. 土壤通报,2006,37(4):680-683.
He C L,Liu F,Wang D Z,et al. Fertility status of plastic greenhouse soil in Hefei region [J]. Chinese Journal of Soil Science,2006,37(4):680-683. (in Chinese)

[7] 李文庆,张 民,李海峰. 大棚土壤硝酸盐状况研究 [J]. 土壤学报,2002,39(2):283-287.
Li W Q,Zhang M,Li H F,et al. The study of soil nitrate status in fields under plastic house gardening [J]. Acta Pedologica Sinica,2002,39(2):283-287. (in Chinese)

[8] 秦巧燕,贾陈忠,曲 东,等. 我国设施农业发展现状及施肥特点 [J]. 湖北农学院学报,2002,22(4):373-376.
Qin Q Y,Jia C Z,Qu D,et al. Advances and characters of fertilizer application of protected field agriculture in China [J]. Journal of Hubei Agricultural College,2002,22(4):373-376. (in Chinese)

[9] 赵风艳,吴凤芝,刘 德,等. 大棚菜地土壤理化特性的研究 [J]. 土壤肥料,2000(2):11-13.
Zhao F Y,Wu F Z,Liu D,et al. Research of physical and chemical characteristics in green house field [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2000(2):11-13. (in Chinese)

[10] 魏迎春,李新平,刘 刚,等. 杨凌地区大棚土壤硝态氮累积效应研究 [J]. 水土保持学报,2008,22(2):174-177.
Wei Y C,Li X P,Liu G,et al. Effect of nitric nitrogen on different greenhouse soil in Yangling area [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2008,22(2):174-177. (in Chinese)

[11] 杜连凤,刘建玲,刘文科,等. 河北省藁城市大棚土壤盐分累积状况研究 [J]. 中国农学通报,2002,18(2):30-33.
Du L F,Liu J L,Liu W K,et al. The research on the greenhouse soil salt status of Gaocheng City in Hebei Province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2002,18(2):30-33. (in Chinese)

[12] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性

- 质的影响[J]. 土壤, 2005, 37(6): 581-586.
- Yu H Y, Li T X, Zhou J M. Secondary salinization of green house soil and its effects on soil properties [J]. Soils, 2005, 37(6): 581-586. (in Chinese)
- [13] 张乃明, 李刚, 苏友波, 等. 滇池流域大棚土壤硝酸盐累积特征及其对环境的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 215-217.
- Zhang N M, Li G, Su Y B, et al. Characteristics of nitrate accumulation in the greenhouse soil of Dianchi basin and its effect on the environment [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 215-217. (in Chinese)
- [14] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 等. 蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 79-83.
- Wang Z H, Zong Z Q, Li S X, et al. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields [J]. Environmental Science, 2002, 23(3): 79-83. (in Chinese)
- [15] 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 等. 西安市郊区日光温室大棚番茄施肥现状 & 土壤养分累积特性[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 287-290.
- Zhou J B, Zhai B N, Chen Z J, et al. Fertilizers application and nutrient accumulations in tomato-grown soils under greenhouse condition in the suburban of Xi'an City [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(2): 287-290. (in Chinese)
- [16] 秦巧燕, 贾陈忠, 同延安, 等. 陕西关中蔬菜设施栽培土壤中硝态氮的累积现状[J]. 长江大学学报: 自科科学版, 2005, 2(11): 12-15.
- Qin Q Y, Jia C Z, Tong Y A, et al. The status of nitrate-N accumulation in vegetables protected fields in Guanzhong Area of Shaanxi Province [J]. Journal of Yangtze University: Nat Sci Ed, 2005, 2(11): 12-15. (in Chinese)
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. 3th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [18] 司东霞, 吕福堂, 张敏, 等. 设施栽培条件下土壤养分及有机质组成变化趋势的研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 566-569.
- Si D X, Lü F T, Zhang M, et al. Study on soil nutrient and organic matter composition changing tendency of protected cultivation [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(5): 566-569. (in Chinese)
- [19] 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.
- Liu Z H, Jiang L H, Zhang W J, et al. Evolution of fertilization rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shandong [J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(2): 296-303. (in Chinese)
- [20] 焦坤, 李德成. 蔬菜大棚条件下土壤性质及环境条件的变化[J]. 土壤, 2003(2): 94-97.
- Jiao K, Li D C. Changes in soil properties and environment conditions in vegetable greenhouses [J]. Soils, 2003(2): 94-97. (in Chinese)
- [21] 郭春霞, 沈根祥, 黄丽华, 等. 精确滴灌施肥技术对大棚土壤盐渍化和氮磷流失控制的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(2): 287-291.
- Guo C X, Shen G X, Huang L H, et al. Control of soil salinization and reduction of N&P loss with drip fertigation in greenhouse [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(2): 287-291. (in Chinese)
- [22] 项琳琳, 赵牧秋, 王俊, 等. 双氰胺对设施菜地土壤硝酸盐淋溶和苦苣硝酸盐累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(9): 1965-1969.
- Xiang L L, Zhao M Q, Wang J, et al. Effects of dicyandiamide on soil nitrate leaching and nitrate accumulation in chicory under protected cultivation [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(9): 1965-1969. (in Chinese)
- [23] 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]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(Suppl): 537-542. (in Chinese)
- [24] 郭兆元. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- Guo Z Y. Shaanxi soil [M]. Beijing: Science Press, 1992. (in Chinese)
- [25] 陆继龙, 周永昶, 周云轩. 吉林省黑土某些微量元素环境地球化学特征[J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 365-368.
- Lu J L, Zhou Y C, Zhou Y X. Environmental geochemical characteristics of some microelements in the Black soil of Jilin Province [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(5): 365-368. (in Chinese)
- [26] 魏孝荣, 邵明安. 黄土沟壑区小流域不同地形下土壤微量元素分布特征[J]. 环境科学, 2009, 30(9): 2741-2746.
- Wei X R, Shao M A. Distribution of micronutrients in soils as affected by landforms in a loessial gully watershed [J]. Environmental Science, 2009, 30(9): 2741-2746. (in Chinese)
- [27] 周国华, 吴小勇, 周建华. 浙北地区土壤元素有效量及其影响因素研究[J]. 第四季研究, 2005, 25(3): 316-322.
- Zhou G H, Wu X Y, Zhou J H. Available element contents and factors influencing their availability in northern Zhejiang [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(3): 316-322. (in Chinese)
- [28] 王金龙, 阮维斌. 4种填闲作物对天津黄瓜温室土壤次生盐渍化改良作用的初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(9): 1849-1854.
- Wang J L, Ruan W B. Study of the improvement effects of four catch crops on the secondary salinization of Tianjin cucumber greenhouse soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(9): 1849-1854. (in Chinese)
- [29] 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 等. 设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境效应[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(2): 332-335.
- Zhou J B, Zhai B N, Chen Z J, et al. Nutrient accumulations in soil profiles under canopy vegetable cultivation and their potential environmental impacts [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(2): 332-335. (in Chinese)