

长期施肥条件下设施蔬菜地土壤养分变化研究

史春余^{1,2}, 张夫道^{1*}, 张俊清¹, 何绪生¹, 张 骏¹

(1 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081; 2 山东农业大学农学院, 山东泰安 271018)

摘要: 设施蔬菜地土壤与其相邻露地菜田土壤比较, 有机质、N、P、K、有效 S、有效 Mg、有效 Mn、有效 B、有效 Zn 和有效 Cu 含量随着设施蔬菜地使用时间延长而增加, 其中有机质和 N、P、K 增加幅度为: 磷>钾>氮>有机质; 但土壤有效 Ca 和有效 Fe 含量明显下降, 且种植蔬菜时间越长含量越低。设施蔬菜地土壤及其地下水硝态 N 含量也显著增加, 其中土壤耕作层和地下水硝态 N 含量分别增加 2.10~8.44mg/kg 和 5.56~49.25mg/L。

关键词: 设施蔬菜地; 土壤肥力; 地下水; 硝态氮

中图分类号: S626.153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2003)04-0437-05

Change of soil nutrients under greenhouses under long-term fertilization condition

SHI Chun-yu^{1,2}, ZHANG Fu-dao^{1*}, ZHANG Jun-qing¹, HE Xu-sheng¹, ZHANG Jun¹

(1 Soil and Fertilizer Inst., CAAS, Beijing 100081, China; 2 Agronomy college, Shandong Agric. Univ., Taian 271018, China)

Abstract: The content of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium in covered soils were increased compared with uncovered soils nearby, the rate of increase was P>K>N>OM, and the contents of available S, Mg, Mn, B, Zn and Cu in covered soils were also increased. There was a tendency that the contents of organic matter and most nutrients were increase with the cultivating years. The contents of available Ca and Fe in covered soils were distinctly decreased compared with uncovered soils nearby, and there was a tendency that the longer the soils were cultivated, the lower the content of available Ca and Fe were. The NO₃⁻-N content in the top layer of covered soils and in the groundwater of covered soils increased by 2.10 - 8.44mg/kg and 5.56 - 49.25mg/kg compared with uncovered soils nearby, respectively.

Key words: covered soil; soil fertility; groundwater; nitrate nitrogen

设施蔬菜地常处在半封闭状态下, 具有气温高、湿度大、肥料投入量多等特点。因此, 这种土地种植蔬菜几年以后, 土壤肥力状况将发生显著变化。20世纪 70 年代, 日本在设施蔬菜生产中就出现了因土壤障碍而造成产量下降的问题, 主要表现为土壤盐分含量过高、盐基饱和度降低, 土壤酸化, 土壤病原菌数量增加, 土壤中有效营养元素比例失衡等^[1,2]。近几年, 国内一些研究单位对设施蔬菜地土壤肥力状况进行了一些调查和研究工作, 他们发现设施蔬菜地化肥和有机肥的施用量过大, 土壤速效氮和速效磷含量成倍增加; 随着棚龄的增长, 耕层的盐分含量已达到或超过限制蔬菜生长发育的临界值, 微

生物组成也发生了明显变化, 突出表现为放线菌数量降低, 细菌和真菌数量增加, 其中以硝化细菌和反硝化细菌的数量增加幅度最大^[3~9]。这些变化直接导致蔬菜病虫害加重、产量下降、品质变劣。为进一步了解设施蔬菜地土壤的肥力特征, 选择设施蔬菜栽培具有代表性的寿光市和苍山县, 开展不同利用年限的设施蔬菜地土壤肥力状况和硝态氮污染现状的调查研究, 以便为采取相应的农业措施克服土壤障碍因素、提高蔬菜产量和改善蔬菜品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

收稿日期: 2002-10-14

作者简介: 史春余(1964—), 男, 山东人, 副教授, 博士后, 主要从事作物营养生理和无公害作物专用肥料研究。* 通讯作者

供试土壤分别采自寿光市孙家集镇(S_1)、古城镇(S_2)、苍山县项城镇(S_3)日光温室土壤和苍山县光明乡(S_4)塑料拱棚土壤以及与日光温室或塑料拱棚相邻的露地菜田土壤。 S_1 和 S_3 的土壤类型为棕壤,质地为砂质壤土; S_2 和 S_4 的土壤类型为棕壤,质地为壤质粘土。日光温室和塑料拱棚中的蔬菜一般施有机肥 120~225 t/(hm²·a)、磷酸二氨 1~1.5t/(hm²·a)、NPK 复合肥(15-15-15)3~5 t/(hm²·a),塑料拱棚的施肥量少于日光温室;露地中的蔬菜一般施有机肥 90~150 t/(hm²·a)、磷酸二氨 0.75 t/(hm²·a)、NPK 复合肥(15-15-15)1~2 t/(hm²·a)。日光温室和塑料拱棚中的种植方式,寿光为一年一季或两季蔬菜,苍山为一年一季蔬菜加一季玉米。栽苗前(9 月份、尚未施基肥)取样,每个土样均为同一棚内的 3 点混合土样,供硝态氮测定土壤的采样深度为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100cm;供其它项目测定土壤的采样深度为 0~20cm。

供试地下水分别采自寿光市孙家集镇、古城镇和苍山县项城镇、光明乡设施蔬菜栽培区域内的井水和普通粮田内的井水,水井深度 20~30m。每种类型的水样均为 5 个井水的混合样。

1.2 测定方法

土壤硝态 N 用氯化钾浸提,紫外分光光度法分析;地下水硝态 N 直接用紫外分光光度法分析。开氏法测土壤全 N,钼锑抗法测土壤全 P,火焰光度法测土壤全 K,扩散皿法测定土壤碱解 N。应用联合浸提剂和实验室系列化操作测定土壤其它速效养分、活性有机质、pH 和活性酸^[10]。

1.3 土壤速效养分分级指标

参照《精准农业与土壤养分管理》一书中提出的标准进行。

2 结果与分析

2.1 设施蔬菜地土壤养分变化

2.1.1 不同棚龄土壤有机质和氮磷钾含量 与露地菜田土壤相比,设施蔬菜地土壤有机质和氮磷钾含量发生了明显的变化,其变化趋势与设施蔬菜地使用年限有关(表 1)。土壤有机质、全 N、碱解 N、全 P、有效 P 和有效 K 含量均高于各自邻近露地菜田土壤,栽培蔬菜年限越长,含量越高;10 年(或 6 年)棚龄土壤的活性有机质含量增加 0.1~0.49 个百分点,全氮含量增加为 0.021~0.051 个百分点,全 P 含量增加为 0.06~0.22 个百分点;碱解 N 含量增加 60.9~107.8mg/kg,有效 K 含量增加 28.6~223.6mg/L,有效 P 含量增加 63.1~253.2 mg/L;利用 5 年(或 3 年)左右的设施蔬菜地土壤全 K 含量则高于邻近露地菜田 0.015~0.325 个百分点;而利用 10 年(或 6 年)左右则呈下降趋势。

根据分级指标^[10],有效 P 含量,除了 S_2 露地菜田在临界值(12mg/L)以下和 S_4 露地菜田为中等(12~24mg/L)、3 年棚龄塑料拱棚为高(24~60 mg/L)外,其它均达到极高水平(>60mg/L)。有效 K 含量,各取样点露地菜田都在临界值(80mg/L)左右, S_4 塑料拱棚为中等(80~120mg/L),日光温室均为极高水平(>160mg/L)。

表 1 土壤有机质和氮磷钾含量
Table 1 The contents of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium in soils

采样地点 Sites	棚龄 ¹⁾ Years	活性有机质 Active OM (%)	全氮 Total N (%)	全磷 Total P (%)	全钾 Total K (%)	碱解氮 Available N (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/L)	有效钾 Available K (mg/L)
S_1	0	0.59	0.050	0.052	0.360	46.90	60.4	70.2
	5	0.71	0.062	0.140	0.375	86.80	188.0	249.8
	10	0.73	0.071	0.150	0.355	154.70	211.6	293.7
S_2	0	0.44	0.062	0.062	0.485	59.50	5.0	84.0
	5	0.69	0.088	0.260	0.585	89.60	62.7	232.2
	10	0.93	0.129	0.282	0.455	137.90	68.1	298.7
S_3	0	0.60	0.073	0.071	0.350	94.50	85.6	81.4
	5	0.73	0.088	0.237	0.445	154.00	284.7	209.1
	10	0.75	0.124	0.239	0.360	155.40	338.8	233.6
S_4	0	1.32	0.069	0.046	0.495	46.20	17.1	79.8
	3	1.31	0.080	0.084	0.820	74.90	34.0	90.1
	6	1.42	0.090	0.106	0.705	117.60	103.5	108.4

1)0 年为露地土壤,下同。0 year means uncovered soil,same as follows

2.1.2 不同棚龄土壤中、微量元素含量 表 2 看出,设施蔬菜地土壤有效 S 含量普遍高于相邻露地菜田土壤,其增幅为 32.79%~1431.11%;随着土地使用年限延长,土壤有效硫含量大幅增加,10 年(或 6 年)棚龄是 5 年(或 3 年)棚龄的 2~16 倍;设施蔬菜地土壤有效 Mg 含量也比相邻露地菜田土壤高,其增幅为 11.99%~64.20%,棚龄增大,增幅减小;但是,土壤中的有效 Ca 含量下降,比各自相邻露地菜田土壤低 3.38%~32.28%。

表 2 还看出,设施蔬菜地土壤有效 Mn 和有效

B 含量均高于各自邻近露地菜田土壤,种植蔬菜年限越长,含量越高,其中有效 Mn 含量增幅为 8.3%~1765%,有效 B 含量增幅为 2.3%~490.9%;有效锌含量增幅 16.7%~157.1%,有效铜含量增幅 2.8%~180.0%,但是部分采样点 10 年棚龄日光温室(或 6 年棚龄塑料拱棚)土壤的有效 Zn 和有效 Cu 含量低于 5 年(或 3 年)棚龄。设施蔬菜地土壤有效 Fe 含量明显低于相邻露地菜田,种植蔬菜时间越长降幅越大,其降幅为 2.5%~96.9%。

表 2 土壤中、微量营养元素含量

Table 2 The contents of secondary and micro elements in soils

采样地点 Sites	棚龄 Years	养分含量 (mg/L)Nutrient contents							
		Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu
S ₁	0	3035.9	283.6	3.9	35.7	1.4	0.50	2.1	1.5
	5	2672.0	317.6	6.4	14.3	4.1	0.75	5.4	2.9
	10	2361.1	398.2	45.7	5.6	10.2	1.49	4.3	3.4
S ₂	0	4659.5	362.7	4.5	88.1	1.2	0.33	1.7	0.9
	5	4502.2	496.1	15.7	6.9	1.3	0.67	2.9	1.7
	10	3523.1	476.1	68.9	4.8	1.4	1.95	2.7	1.6
S ₃	0	2266.3	193.0	6.1	187.3	10.1	0.17	4.0	3.6
	5	1893.6	316.9	8.1	182.7	15.9	0.24	5.9	5.2
	10	1804.9	241.9	10.7	7.1	25.6	0.38	5.3	3.7
S ₄	0	5500.1	368.9	5.1	170.2	2.0	0.43	1.2	1.0
	3	4550.9	551.9	7.1	17.9	8.2	0.44	1.4	1.8
	6	3724.6	531.8	14.7	5.3	37.3	0.77	2.7	2.8

根据分级指标^[10],土壤有效 S 含量,只有寿光市 10 年棚龄日光温室达极高水平(>40mg/L),其它大部分采样点低于临界值(12mg/L)。土壤有效 Mg 含量,大部分采样点都处在高水平(300~1460mg/L)。露地菜田和设施蔬菜地有效钙含量都在高水平范围之内(1200~4800mg/L)。有效 Mn 含量,大部分露地菜田在临界值(5mg/L)以下;除了寿光古城镇以外,多数设施蔬菜地在临界值以上。有效 B、Zn 和 Cu 含量,除了部分露地菜田低于临界值,其它多在临界值以上。有效 Fe 含量,10 年棚龄日光温室、6 年棚龄塑料拱棚以及寿光古城 5 年棚龄日光温室均低于临界值(10mg/L),其它为中(10~30mg/L)或高(30~300mg/L)。说明设施蔬菜地土壤普遍缺乏有效 Fe。

2.2 设施菜地土壤及其地下水 pH 值和硝态 N 含量

2.2.1 不同棚龄土壤 pH 值和硝态 N 含量 对设施蔬菜地及其相邻露地菜田耕作层土壤 pH 值和活

性酸的测定结果表明,日光温室和塑料拱棚土壤的 pH 值均低于相邻露地菜田,栽培年限越长,pH 值越低,但降低幅度各取样点表现不一。寿光市孙家集(S₁)5 和 10 年棚龄土壤分别下降了 0.6 和 1.1 个单位,苍山县项城镇(S₃)分别降低了 1.4 和 1.5 个单位;寿光市古城镇(S₂)和苍山县兴明乡(S₄)5 年棚龄土壤无变化,只有 10(6)年棚龄的降低了 0.1 和 2.1 个单位。除了寿光市古城镇,日光温室使用 10 年或塑料拱棚使用 6 年后,耕作层土壤开始积累活性酸;而除了苍山县项城镇,日光温室使用 5 年或塑料拱棚使用 3 年后,耕作层土壤尚没有活性酸积累。苍山县两个取样点设施蔬菜地土壤的 pH 值较低、活性酸含量较高,这可能与当地的生态条件和施肥习惯有关。

在设施蔬菜生产中,当地农民有夏季揭棚习惯。因此,取样时设施蔬菜地土壤已经历了一个夏季的雨水淋洗。表 3 看出,虽然经历了一个夏季的雨水

淋洗,设施蔬菜地耕作层(0~20cm)土壤中的硝态 N 含量仍然明显高于相邻的露地菜田,随着种植蔬菜年限延长,硝态 N 含量增加;10 年棚龄日光温室(或 6 年棚龄塑料拱棚)的土壤硝态 N 含量是其相邻露地菜田的 2 倍左右;寿光市设施蔬菜地的硝态 N 含量增幅和绝对含量都高于苍山县。可能与苍山县夏季在设施蔬菜地上种一季玉米的轮作方式有关。

耕层以下露地菜田土壤的硝态 N 含量急剧下降,而设施蔬菜地则下降缓慢,10 年棚龄日光温室(或 6 年棚龄塑料拱棚)20~100cm 各层的硝态 N 含量基本与耕作层持平(表 3)。说明经过夏季的雨水淋洗,硝态 N 下移。因此,夏季揭棚对于防止耕作层中硝态 N 含量过高、减少硝酸盐在蔬菜体内积累有重要意义,但将会增加 20cm 以下土层和地下水硝酸盐的积累。

表 3 土壤硝态氮含量
Table 3 The content of NO₃⁻-N in soils

地点 Sites	棚龄 Years	硝态氮含量 (mg/kg) NO ₃ ⁻ -N content				
		0~20cm	20~40 cm	40~60cm	60~80cm	80~100cm
S ₁	0	6.97	3.90	1.18	0.47	0.75
	5	13.83	6.04	5.75	5.58	8.49
	10	15.41	15.66	13.98	14.39	14.77
S ₂	0	6.60	2.78	0.67	0.77	0.00
	5	14.92	7.59	3.73	4.22	3.31
	10	14.79	14.49	15.18	14.77	14.03
S ₃	0	6.81	4.25	3.93	1.45	1.47
	5	13.79	12.07	9.20	10.30	10.88
	10	13.66	13.67	13.66	13.49	12.70
S ₄	0	6.73	3.35	1.23	0.38	0.98
	3	8.83	3.15	0.66	0.85	1.11
	6	12.39	12.06	11.97	13.19	14.50

2.2.2 不同棚龄的地下水 pH 值和硝态 N 含量
设施蔬菜地区域内地下水的 pH 值与普通粮田区域内地下水的 pH 值差别不大,均在 7~8 之间。而设施蔬菜地区域内地下水中的硝态 N 含量明显高出普通粮田区,且种植蔬菜时间越长,含量越高。世界卫生组织(WHO)和欧美各国关于饮用水中 NO₃⁻-N 的允许含量为 10 或 11.3mg/L^[11],相当于硝酸盐(NO₃⁻)45 或 50mg/L。我国 1986 年制定的饮用水硝态 N 含量标准:一级为 NO₃⁻-N 10mg/L,即 NO₃⁻ 45mg/L;二级为 NO₃⁻-N 20mg/L,即 NO₃⁻ 90mg/L。本调查资料表明,普通粮田区域内地下水 NO₃⁻-N 含量均在 2.52~6.06mg/L 均达到一级饮用水标准,而设施蔬菜地区域内 S₁、S₂、S₃、S₄ 5(3)年棚龄地下水 NO₃⁻-N 含量分别为 11.6、13.95、30.58、17.49mg/L;10(6)年棚龄分别为 14.62、53.76、40.82、39.83mg/L 全部超过 10mg/L,有的已超过 20mg/L。

3 讨论

了解设施蔬菜地肥力状况及其变化规律是设施

蔬菜合理施肥的基础。虽然各地设施蔬菜地土壤的肥力特征有许多相似之处,例如耕作层盐分积累、土壤酸化、速效氮和速效磷成倍增加、硝态氮积累、细菌和真菌数量增加等^[1~9]。但是由于生态条件、耕作制度、施肥等方面的差异,各地设施蔬菜地肥力状况并不完全一致,而且以往只重视大量营养元素的调查研究,忽视中、微量营养元素的研究^[9,12]。研究表明,与露地菜田相比,设施蔬菜地土壤有机质和氮磷钾含量增加,其中有效磷和全磷含量增幅最大,一般地块均达极高水平;有效钾含量次之,塑料拱棚土壤达中等水平,日光温室土壤达极高水平;再次是碱解氮和全氮;活性有机质增幅最小。因此,在设施蔬菜生产中应降低磷肥施用量、控制钾肥和氮肥的使用,增施有机肥、尤其是 C/N 比高的有机肥。

在本试验条件下,设施蔬菜地土壤有效硫和有效镁含量均增加,一般地块的土壤不缺镁,但是大部分地块的土壤有效硫含量在临界值以下;虽然所有设施蔬菜地土壤有效钙含量都在高水平范围内,但是其土壤有效钙含量低于相邻露地菜田,棚龄越长,

降幅越大,而且设施蔬菜地土壤有酸化趋势,这可能与设施蔬菜生产中施用的肥料含钙量较低有关。因此,设施蔬菜生产中应根据具体情况使用少量石灰、并增施硫肥。微量元素中,设施蔬菜地土壤有效锰、硼、锌和铜含量均高于相邻露地菜田,但是不同地区、不同地块表现不一,而且大部分处在中到高的水平上。所以设施蔬菜生产中可以暂时不考虑这几种养分的调整;设施蔬菜地土壤有效铁含量低于相邻露地菜田,种植蔬菜时间越长,有效铁含量越低,而且10年棚龄日光温室和6年棚龄塑料拱棚甚至部分5年棚龄日光温室均低于临界值。这可能与设施蔬菜生产中施用过磷肥有关,生产中在降低磷肥用量的同时,有必要增施铁肥。

硝态氮是蔬菜所吸收氮素的主要形态,土壤中较高的硝态氮含量有利于蔬菜的生长发育^[13],但是土壤中硝态氮含量过高会造成硝酸盐在蔬菜体内积累,同时伴随着土壤酸化,将引起地下水污染^[12]。本研究表明,设施蔬菜地耕作层和下层土壤硝态氮含量显著提高,地下水硝态氮含量也大幅度增加,超过国家饮用水一级标准、甚至超过二级标准。设施蔬菜地土壤pH值明显下降,10年棚龄日光温室和6年棚龄塑料拱棚土壤开始积累活性酸,土壤出现酸化现象。初步分析认为土壤酸化一方面是由于土壤硝酸盐积累,另一方面是由于蔬菜对钙的大量吸收、土壤含钙量下降。因此,设施蔬菜生产中控制氮肥使用量、增施适量钙肥、改善施肥技术,既有利于

满足蔬菜的需要,又有利于减少硝态氮污染和土壤酸化趋势。

参考文献:

- [1] 田永生. 蔬菜营养生理与土壤[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1982.
- [2] 内海修一. 环境与作物生理[M]. 北京: 农业出版社, 1984.
- [3] 李先珍, 王耀林, 张志斌. 京郊蔬菜大棚土壤盐离子积累状况初报[J]. 中国蔬菜, 1993, (4): 15-17
- [4] 张振武, 龙平扬, 刘秀茹, 等. 施肥量对大棚黄瓜产量及土壤浸出液电导率的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1984, (1): 29-36.
- [5] 童有为, 陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径[J]. 园艺学报, 1991, 18(2): 159-162.
- [6] 施秀珠, 奚振邦, 朱建萍. 上海郊区蔬菜塑料大棚的土壤障碍问题[J]. 上海农业科技, 1991, (2): 28-31.
- [7] 李文庆, 骆洪义, 丁方军, 等. 大棚栽培后土壤盐分的变化[J]. 土壤, 1995, 27(4): 203-205.
- [8] 薛继澄, 毕德义, 李家金, 等. 设施蔬菜地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J]. 土壤肥料, 1994(1): 4-7.
- [9] 李文庆, 杜秉海, 骆洪义, 等. 大棚栽培对土壤微生物区系的影响[J]. 土壤肥料, 1996(2): 24-31.
- [10] 金继运, 自由路. 精准农业与土壤养分管理[M]. 北京: 中国大地出版社, 2001. 152-159.
- [11] Foreman J K, Goodhead K. The formation and analysis of N-nitrosamine[J]. J. of the Sci. of Food and Agric., 1975, (26): 1771.
- [12] 庄舜尧, 孙秀廷. 氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响[J]. 土壤学进展, 1995, 23(3): 29-35.
- [13] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京: 农业出版社, 1991.