

不同种植年限番茄大棚土壤理化性质的演变^①

——以山东海阳地区为例

万欣^{1,2}, 董元华^{1,2,3*}, 王辉^{1,2,3}, 李建刚^{1,2,3}, 宋丽芬⁴

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008;

4 中国农业大学(烟台)理工学院, 山东烟台 264670)

摘要:为了解山东省海阳地区蔬菜大棚土壤理化性质变化情况,测定了该地区150个不同种植年限(1~17年)番茄大棚土样的理化指标。结果得出,随着种植年限的增加,土壤体积质量(容重)逐渐降低但在种植11年后略微增加。土壤pH在17年间降低了25%,酸化程度日益严重。土壤有机碳含量在种植1~10年间增加了86.8%,但在之后的7年降低了69.7%。全氮的含量在种植1~9年间升高了1.41倍,但在之后的8年降低了52.3%。土壤碱解氮含量在种植1~8年间增加了79.5%,而在之后的9年降低了41.8%。土壤速效磷含量在种植1~9年增加了38.6倍,在之后8年又降低了68.9%。土壤速效钾含量在种植1~9年间增加了4.4倍,但在之后的8年间降低了77.7%。

关键词:施肥;大棚;理化性质;变化趋势

中图分类号:S316;S626

近年来,蔬菜大棚由于具备延长蔬菜生长期、保护其免遭大气污染中有害物质的侵害及高产率等优点,在国内外被广泛应用。为保证高产量,农民们施用大量的肥料。例如在山东寿光地区,氮肥的施用量均大于1200 kg/hm²^[1]。然而,大棚土壤质量退化的报道也日益增多,大棚土壤质量问题也逐渐被人们关注。曾有报道指出高施肥量和低营养利用率(如氮的利用率低于10%)会导致土壤的退化^[1]。

土壤物理性质是土壤岩土力学的一个指标。通常认为土壤有机质的增加能改善土壤物理性质。例如,长期施用粪肥能改善腐蚀土壤的保水性并提高产量^[2]。Herencia等^[3]发现在温室大棚中连续施用10年有机肥,土壤的体积质量会逐渐变低。此外,Ishaq等^[4]指出土壤压实对土壤物理性质具有不利影响,而且会影响产量并降低养分利用率。

经过多年持续的高施肥量的投入,大棚土壤的化学性质也会发生变化。曾有报道指出温室大棚土壤的有机质、碱解氮、速效磷、速效钾均有明显的富集现

象^[5-6],大棚土壤酸化问题也日益明显^[7]。王辉等^[8]指出2004年江苏太仓地区大棚土的pH比露天土壤的pH低8.72%,主要原因是肥料的高投入及大棚的环境没有得到降雨的淋洗。但是也有报道称施肥量的增加对土壤有机碳和全氮含量的影响因地而异,主要是因为地理环境的不同,包括气候、土壤母质、耕作方式及土壤碳氮的本底值等^[9]。地理位置的不同也会导致土壤化学性质的不同。例如,有研究表明,在岛屿中央的大棚土壤有机碳含量明显高于在岛屿沿海的大棚土壤中有机碳的含量^[10]。

目前有关大棚土壤理化性质随栽培年限演变的研究较多,但在多数研究中栽培年限的时间跨度多在10年以内,而且样品数有限^[5-6, 11-12]。山东省海阳地区是我国农业生产使用蔬菜大棚最早的地区。但目前为止,尚无对该地区大棚土壤理化性质的研究报道。因此,本文通过测定该地区150个栽植年限在1~17年的番茄大棚土壤的理化性质,更全面、系统地研究番茄大棚土壤理化性质随栽培年限的变化规律,为我

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-JC405, KSCX2-EW-B-6)和国家公益性行业(农业)科研专项项目(200903011)资助。

* 通讯作者 (yhdong@issas.ac.cn)

作者简介:万欣(1983—),女,山东兖州人,博士研究生,主要研究方向为生态调控。E-mail: wanxin1983@126.com

国农业可持续发展提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 土样采集与处理

土壤均取自山东省海阳地区的番茄大棚。采样时间为 2009 年 8 月, 分别采集连作年限为 1 ~ 17 年的土壤样品, 具体的种植年限和每个种植年限的样品数如表 1 所示。各大棚土壤各设 3 个重复, 每个大棚按蛇行法确定 5 个采样点, 采集番茄根系 0 ~ 20 cm 耕层土壤, 各采样点土壤混合均匀后用四分法留取约 1 kg 土样, 在室内风干并过 100 目筛保存。同时为测定土壤的体积质量, 采用环刀法采集土壤以待测定。

1.2 试验方法

土壤 pH 采用 pH 计(水土比 2 : 1)测定; 土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾湿氧化法测定^[13]; 全氮(TN)采用凯式定氮法测定^[13]; 速效磷(AP)采用钼蓝比色法测定^[13]; 速效钾(AK)采用醋酸铵提取, 然后用火焰光度计法测定^[13]; 碱解氮(AHN)采用碱液溶解法测定^[13]。土壤体积质量采用环刀法测定^[13]。此外土壤的活性有机碳(SLOC)含量的测定采用 KMnO_4 氧化法^[13]; 土壤非活性有机碳(SIOC)的计算公式为:

$$C_{\text{SIOC}} = C_{\text{SOC}} - C_{\text{SLOC}}$$

1.3 数据分析

采用 Excel 2003 软件对试验数据进行处理并绘图, 采用 SPSS 16.0 软件进行样本平均值的 t 检验和单因素方差分析。

2 结果与讨论

2.1 土壤理化性质的描述及分析

表 2 是海阳 150 个大棚土壤理化性质指标的数据描述。此外, 通过频数分布统计得出, 在 150 个土样中, 有 74.4% 土样的体积质量在 1.20 ~ 1.40 g/cm^3 之间; 96% 的土样均呈酸性($\text{pH} < 7$); 土壤有机碳含量大于 10 g/kg 的土样占 63.3%; 全氮的含量超过 1 g/kg 的土样占 73%; 土壤碱解氮的含量在 90.0 ~ 130.0 mg/kg 的土样占 82.7%; 土壤速效磷含量在 160.0 ~ 800.0 mg/kg 的土样占 65.3%; 土壤速效钾含量大于 100.0 mg/kg 的土样占 70%。

表 3 是土样 pH、有机碳、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾等指标的相关性分析结果。由表 3 可以看出, 土壤有机碳与全氮的含量有显著的正相关关系($r = 0.681^{**}$); 碱解氮与全氮含量的相关性较显著($r = 0.598^{**}$); 速效磷和速效钾也有较显著的相关性($r = 0.662^{**}$)。

表 1 采样土的种植年限及样品数

Table 1 Planting ages and sample numbers of studied soils

| 种植年限 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|---|----|----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 样品数 | 4 | 15 | 12 | 3 | 5 | 7 | 4 | 19 | 34 | 8 | 13 | 11 | 3 | 4 | 4 | 4 |

表 2 山东海阳地区大棚土壤理化性质的统计描述($n = 150$)

Table 2 Statistical descriptions of soil physical and chemical properties in greenhouses in Haiyang, Shandong

| 统计项目 | 体积质量 (g/cm^3) | pH 值 | 有机碳 (g/kg) | 全氮 (g/kg) | 碱解氮 (mg/kg) | 速效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) |
|---------|------------------------------------|-------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 平均值 | 1.31 | 5.44 | 11.92 | 1.27 | 98.0 | 428.6 | 172.9 |
| 最大值 | 1.82 | 9.86 | 28.07 | 2.35 | 222.7 | 1 541.0 | 647.9 |
| 最小值 | 0.77 | 4.00 | 1.04 | 0.54 | 32.9 | 8.4 | 35.7 |
| 标准误差 | 0.15 | 0.85 | 4.63 | 0.36 | 27.4 | 306.7 | 116.0 |
| 变异系数(%) | 11.45 | 15.62 | 38.84 | 28.35 | 28.0 | 71.6 | 67.1 |

表 3 山东海阳地区土壤酸碱度、有机碳、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾之间的相关性分析($n = 150$)

Table 3 Correlation analysis for pH, SOC, TN, AHN, AP and AK in greenhouse soils in Haiyang, Shandong

| | pH | 有机碳 | 全氮 | 碱解氮 | 速效磷 | 速效钾 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| pH | 1 | 0.054 | 0.025 | -0.130 | -0.161* | -0.001 |
| 有机碳 | 0.054 | 1 | 0.681** | 0.407** | 0.464** | 0.370** |
| 全氮 | 0.025 | 0.681** | 1 | 0.598** | 0.643** | 0.612** |
| 碱解氮 | -0.130 | 0.407** | 0.598** | 1 | 0.416** | 0.377** |
| 速效磷 | -0.161* | 0.464** | 0.643** | 0.416** | 1 | 0.662** |
| 速效钾 | -0.001 | 0.370** | 0.612** | 0.377** | 0.662** | 1 |

注: * 代表在 $P < 0.05$ 水平上显著相关, ** 代表在 $P < 0.01$ 水平上显著相关。

2.2 不同种植年限的大棚土壤理化性质指标的变化规律

2.2.1 土壤体积质量 从图1可看出,土壤体积质量在种植年限为1~11年间有逐渐降低的趋势,之后又略微增加。土壤体积质量降低说明土壤变得越来越松弛,这样能降低根系渗透阻力,改善土壤通气性及促进根系生长^[14]。

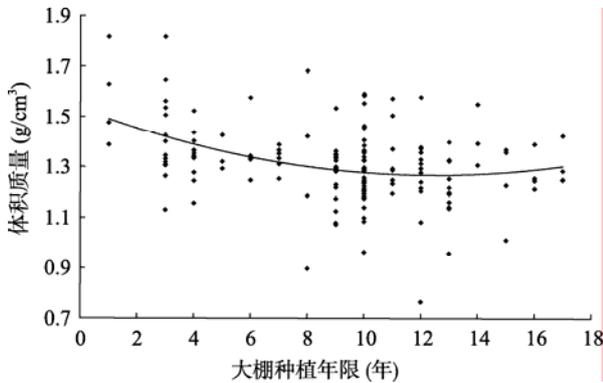


图1 山东海阳地区大棚土壤体积质量随时间变化的规律
Fig. 1 Changes of soil bulk density in greenhouses in Haiyang, Shandong

研究认为土壤体积质量变化与土壤非活性有机碳的增减变化有关。相关性分析结果得出土壤体积质量与土壤非活性有机碳呈显著的负相关关系($r = -0.841^{**}$)。即土壤非活性有机碳增加,土壤体积质量就会降低;反之则增加(图1、图2)。此外,合理的耕作管理也会改善土壤结构使体积质量降低^[15]。

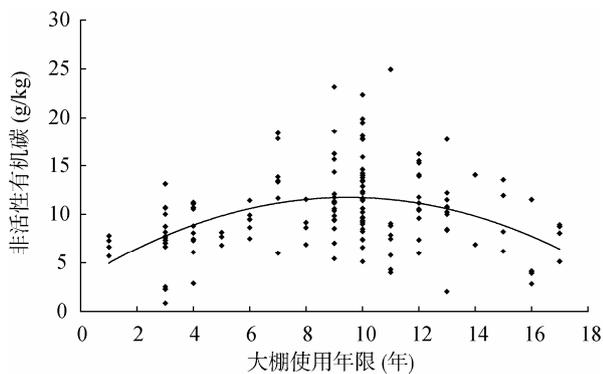


图2 山东海阳地区大棚土壤非活性有机碳随时间变化的规律
Fig. 2 Changes of soil inactive organic carbon in greenhouses in Haiyang, Shandong

2.2.2 土壤 pH 从图3可以得出,大棚土壤随着种植年限的增加,土壤酸化程度越严重。这样会导致土壤的离子交换能力并影响土壤生物活性。

比较国内其他地区不同种植年限大棚土壤的 pH

变化情况,各地区的大棚土壤酸化程度和变化范围均不同。山东海阳地区 pH 年变化率为每年降低 1.47%, 17 年间平均变化幅度在 6.35 ~ 4.76 之间。而在中国西部关中地区,大棚土壤 pH 年变化率是每年降低 0.94%, 10 年间 pH 变化范围在 8.32 ~ 7.54 之间^[5]。在中国东北沈阳地区,大棚土壤 pH 年变化率为每年降低 1.67%, 10 年间 pH 变化幅度在 7.80 ~ 6.50 之间^[6]。在江苏苏南地区,大棚土壤 pH 年变化率为每年降低 0.95%, 10 年间 pH 变化幅度在 5.70 ~ 6.30 之间^[6]。可见山东海阳地区大棚土壤的酸化程度最为严重。分析各地区酸化程度不同的原因,主要跟不同的地理位置和不同的土壤类型有关^[10]。山东海阳地区地处中国东部黄海沿岸地区,土壤多为棕壤土;而关中地区位于中国西部,土壤多为黄土;东北地区的土壤多为褐土。

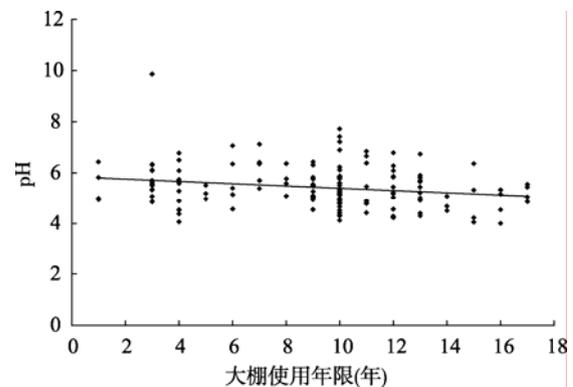


图3 山东海阳地区大棚土壤 pH 值随时间变化的规律
Fig. 3 Changes of soil pH in greenhouses in Haiyang, Shandong

此外,本研究认为导致该地区大棚土壤酸化日益严重的原因主要是该地区长期施用单一肥料尤其是酸性肥料硫酸钾、过磷酸钙及氮肥导致土壤氢离子累积, pH 降低^[7]。而且,植物的根系分泌物也有可能造成土壤的酸化。有报道已证实了油菜籽的根系分泌物会使土壤酸化^[17],至于番茄的根系分泌物是否会造土壤酸化,有待进一步考证。

2.2.3 土壤有机碳和全氮 土壤有机碳和全氮是影响土壤质量和农业可持续发展的重要因素,在碳氮循环中起到重要作用。由图4和图5可以看出,该地区大棚土壤随着种植年限的增加呈现先增后减的抛物线趋势。即土壤有机碳在种植年限1~10年间增加了86.8%,之后的7年间降低了69.7%。土壤全氮在种植年限1~9年间增加了1.41倍,而在之后的8年间下降了52.3%。此外,土壤有机碳和全氮成显著正相关的关系($r = 0.681^{**}$)(表2)。

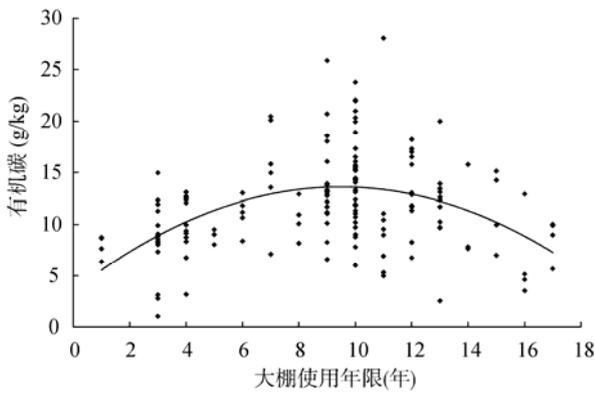


图 4 山东海阳地区大棚土壤有机碳含量随时间变化的规律

Fig. 4 Changes of soil organic carbon in greenhouses in Haiyang, Shandong

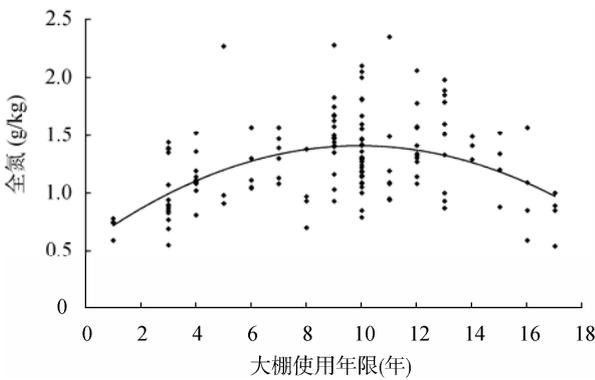


图 5 山东海阳地区大棚土壤全氮含量随时间变化的规律
Fig. 5 Changes of soil total N in greenhouses in Haiyang, Shandong

有研究报道在陕西省泾阳地区的不同种植年限大棚土壤中,土壤有机碳和全氮的含量也是先增后减的变化趋势^[5]。本研究认为,在种植初期土壤有机碳和全氮的增加主要是前期有机肥料和氮肥的投入导致,后期由于高温高湿的大棚环境加速了土壤有机碳和氮的分解,造成有机碳和全氮的含量开始下降。另外,也可能是土壤生物及酶活性的影响。有报道指出土壤中多种酶的活性与有机碳的水平具有明显的相关性^[18],而且能促进土壤酶积累的生态系统也会促使土壤有机质增加并进而改善土壤结构^[19-20]。

2.2.4 土壤速效磷、速效钾、碱解氮 由图 6、图 7 和图 8 可知,随着种植年限的增加,大棚土壤速效磷、速效钾、碱解氮的含量呈现先增后减的抛物线趋势。即土壤速效磷的含量在种植年限 1~9 年间增加了 38.6 倍,之后的 8 年间降低了 68.9%。土壤速效钾在种植年限在 1~9 年间增加了 4.4 倍,而在之后的 8 年间下降了 77.7%。土壤碱解氮的含量在种植年限在 1~8 年间增加了 79.5%,之后的 9 年间降低了 41.8%。而且,三者呈显著正相关的关系(表 2)。

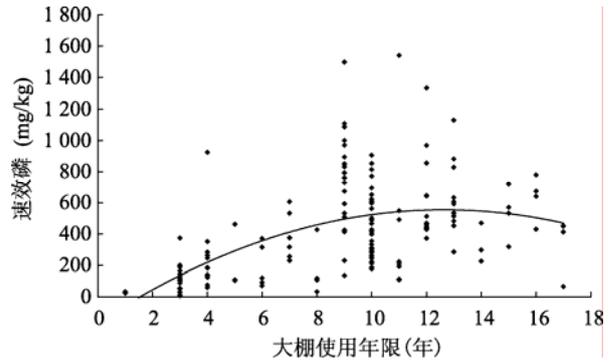


图 6 山东海阳地区大棚土壤速效磷含量随时间变化的规律

Fig. 6 Changes of soil available K in greenhouses in Haiyang, Shandong

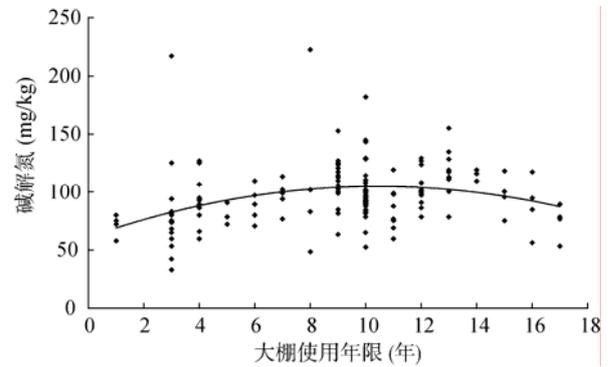


图 7 山东海阳地区大棚土壤碱解氮含量随时间变化的规律

Fig. 7 Changes of soil alkali-hydro nitrogen in greenhouses in Haiyang, Shandong

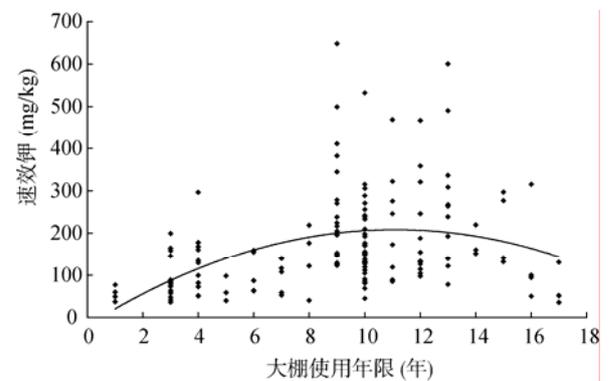


图 8 山东海阳地区大棚土壤速效钾含量随时间变化的规律

Fig. 8 Changes of soil available K in greenhouses in Haiyang, Shandong

统计结果显示,土壤速效磷的富集最为显著。150 个大棚土样中的速效磷含量的平均值为 428.6 mg/kg,明显高于其他地区的大棚土壤速效磷的平均含量。例如关中地区大棚土样的速效磷平均值为 170.3 mg/kg^[5]。本研究认为该地区速效磷富集的主要原因是过量施用磷肥及含磷量大的复合肥会直接导

致土壤磷的富集。经当地调查,多数农户施用动物粪便而且施用量在 $1\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 以上,而动物粪便由于其饮食和生理因素含磷量很高^[21]。而且,植物对磷的吸收率较低,一般在 $10\% \sim 25\%$,所以土壤中磷的残留量也会增加,势必会造成土壤养分的失衡。而种植年限在 $10 \sim 17$ 年间,速效磷的含量开始减少,其原因可能是土壤酶活性在起作用^[22]。因此,及时减少磷肥施用量是必要的。

土壤碱解氮能反映土壤为作物提供氮素养分的能力。研究结果表明,大棚土壤在种植 $1 \sim 8$ 年间碱解氮的含量逐年增加,而在种植年限为 $9 \sim 17$ 年有降低的趋势。有研究报道,在我国陕西和甘肃地区也有类似规律^[5,12],但是变化幅度不同。例如,在陕西泾阳地区大棚土壤碱解氮含量在种植年限为 $1 \sim 5$ 年间增加了 48% ,在种植年限为 $6 \sim 10$ 年间降低了 20% ;在甘肃庆阳地区大棚土壤碱解氮含量在种植年限 $1 \sim 6$ 年间增加了 44% ,在 $7 \sim 11$ 年间降低了 13.5% 。究其原因,大量施用氮肥和有机肥以及大棚环境缺少降雨淋洗是导致种植前期碱解氮含量增加的主要原因。不同形态的氮素,包括有机氮和无机氮,一旦进入土壤后都会通过土壤微生物和矿化作用转变成硝态氮。而且约三分之一的碱解氮多以硝态氮的形式存在^[23-24]。因此种植初期,由于氮肥的大量投入导致土壤碱解氮逐渐积累。而在种植年限达到一个阶段后,土壤微生物活性开始旺盛,发挥其分解作用,造成种植后期土壤碱解氮的含量开始降低^[25]。

此外,随着种植年限的增加,大棚土壤速效钾的变化也是先增后减的趋势。这可能与过量施用碳酸钾及富含钾的复合肥料有关,国内也有类似规律的研究报道^[23]。因此,在大棚种植过程中,应适量施用钾肥并使其保持在一个平稳的水平。

3 结论

(1) 山东海阳地区番茄大棚土壤各养分含量中速效磷含量的平均值高达 $428.6\ \text{mg}/\text{kg}$,明显高于其他地区的大棚土壤速效磷的平均含量。这主要可能是该地区过量施用磷肥以及施用含磷量大的复合肥和含磷量高的动物粪便导致的。因此,在今后的农业生产中,应严格控制含磷较高的肥料的投入,做到平衡施肥。

(2) 番茄大棚土壤的体积质量在种植年限为 $1 \sim 11$ 年间有逐渐降低的趋势,而在 $11 \sim 17$ 年间略微增加。土壤体积质量的变化应该与土壤非活性有机碳的增减变化有关。土壤 pH 随着种植年限的增加呈逐渐

降低的趋势,酸化程度较为显著。土壤有机碳、全氮、速效磷、速效钾和碱解氮的含量均呈先增后减的趋势。

(3) 有研究指出土壤酶活性和土壤营养成分有密切的关系^[18],但在本文中并没有涉及。因此有关该地区大棚土壤营养成分和酶活性的关系有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Zhu JH, Li XL, Christie P, Li JL. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2005, 111(1/4): 70-80
- [2] Mallory JJ, Mohtar RH, Heathman GC, Schulze DG, Braudeau E. Evaluating the effect of tillage on soil structural properties using the pedostructure concept[J]. Geoderma, 2011, 163: 141-149
- [3] Herencia JF, García-Galavís PA, Maqueda C. Long-term effect of organic and mineral fertilization on soil physical properties under greenhouse and outdoor management practices[J]. Pedosphere, 2011, 21(4): 443-453
- [4] Ishaq M, Hassan A, Saeed M, Ibrahim M, Lal R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan I. Soil physical properties and crop yield[J]. Soil and Tillage Research, 2001, 59(1/2): 57-65
- [5] 郭文龙, 党菊香, 吕家珑, 郭俊伟, 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[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 85-89
- [6] 刘艳军, 姜勇, 梁文举, 李琪, 闻大中. 蔬菜温室土壤某些化学性质的演变特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2 218-2 220
- [7] Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding KWT, Vitousek PM, Zhang FS. Significant Acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1 008-1 010
- [8] Wang H, Dong YH, Li DC, Velde B, An Q, Guo ZX, Zuo QD. Evolution of soil chemical properties in the past 50 years in the Tai Lake Region, China[J]. Soil and Tillage Research, 2008, 100(1/2): 54-59
- [9] Tong CL, Xiao HA, Tang GY, Wang HQ, Huang TP, Xia HA, Keith SJ, Li Y, Liu SL, Wu JS. Long-term fertilizer effects on organic carbon and total nitrogen and coupling relationships of C and N in paddy soils in subtropical China[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 106(1): 8-14
- [10] Deenik JL, Yost RS. Chemical properties of atoll soils in the Marshall Islands and constraints to crop production[J]. Geoderma, 2006, 136(3-4): 666-681

- [11] 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[J]. 土壤, 2005, 37(4): 460–462
- [12] 范小峰, 俞诗源, 范亚娜, 刘建新, 王小玉, 王贵. 黄土高原大棚黄瓜不同年限连作对土壤主要理化性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2006, 6(1): 20–22
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [14] Xu MG, Lou YL, Sun XL, Wang W, Baniyamuddin M, Zhao K. Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47(7): 745–752
- [15] Pabin J, Lipiec J, Wlodek S, Biskupski A, KausA. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 46(3/4): 203–208
- [16] Howeler RH, Ezumah HC, Midmore DJ. Tillage systems for root and tuber crops in the tropics[J]. *Soil & Tillage Research*, 1993, 27(1/4): 211–240
- [17] Zhou N, Liu P, Wang ZY, Xu GD. The effects of rapeseed root exudates on the forms of aluminum in aluminum stressed rhizosphere soil[J]. *Crop Protection*, 2011, 30(6): 631–636
- [18] Madejón E, Moreno F, Murillo JM, Pelegrín F. Soil biochemical response to long-term conservation tillage under semi-arid Mediterranean conditions[J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 94(2): 346–352
- [19] 吕美蓉, 李忠佩, 刘明, 江春玉, 车玉萍. 长期有机无机肥配合施用土壤中添加不同肥料养分后土壤微生物短期变化[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(4): 69–73
- [20] Vallejo VE, Roldan F, Dick RP. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2010, 46(6): 577–587
- [21] Chang J, Wu X, Liu AQ, Wang Y, Xu B, Yang W, Meyerson LA, Gu BJ, Peng CH, Ge Y. Assessment of net ecosystem services of plastic greenhouse vegetable cultivation in China[J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(4): 740–748
- [22] Lou Y, Xu M, Wang W, Sun X, Liang C. Soil organic carbon fractions and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse vegetables [J]. *Soil Use and Management*, 2011, 27(2): 163–169
- [23] 袁伟, 董元华, 王辉. 植物氨基酸多元素肥料生物效应的研究进展[J]. 土壤, 2009, 41(1): 16–20
- [24] 袁伟, 董元华, 王辉. 氨基酸态氮和硝态氮混合营养下番茄生长及其生态化学计量学特征[J]. 土壤, 2010, 42(4): 664–668
- [25] Shen WS, Lin XG, Shi WM, Min J, Gao N, Zhang HY, Yin R, He XH. Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese polytunnel greenhouse vegetable land[J]. *Plant and Soil*, 2010, 337(1/2): 137–150

Temporal Changes of Soil Properties in Vegetable Greenhouses in Haiyang, Shandong Province

WAN Xin^{1,2}, DONG Yuan-hua^{1,2,3*}, WANG Hui^{1,2,3}, LI Jian-gang^{1,2,3}, SONG Li-fen⁴

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;* 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;* 3 *Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences and Hongkong Baptist University, Nanjing 210008, China;* 4 *College of Science and Technology, China Agricultural University (Yantai Campus), Yantai, Shandong 264670, China*)

Abstract: In order to understand more about the changes in vegetable greenhouse soils in coastal areas of China, 150 soil samples were collected in vegetable greenhouses aged from 1a to 17a from Haiyang County, Shandong Province. Results showed soil bulk density decreased first but increased slightly after 11a. Soil pH decreased by 25.0% over 17a. Organic carbon content increased by 86.8% in the first 11a and then dropped by 69.7% in the last 6a. Total nitrogen content increased by 1.41 times over the first 8a and then declined by 52.3% in the last 9a. AHN content increased by 79.5% in the first 8a and declined by 41.8% in the last 9a. AP content increased by 38.6 times in the first 8a and declined by 68.9% in the last 9a. AK content increased by 4.4 times in the first 11a and declined by 77.7% in the last 6a.

Key words: Fertilization, Greenhouses, Physical and chemical changes, Variation trend