

渭河上游地区温室菜地土壤肥力演变特征研究

俄胜哲^{1,2}, 黄涛¹, 王亚男², 曾希柏², 袁金华¹, 车宗贤¹, 郭永杰¹

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘 要: 在陇东南渭河上游地区的天水市武山县, 通过田间采样的方法, 以不同种植年限的温室和露地的耕层土壤(0~20 cm)为研究对象, 研究了长期连作温室蔬菜对土壤 pH、全盐、有机质及氮磷钾养分的影响。结果表明: 不同种植年限温室菜地的土壤 pH 都明显低于其露地大田, 而且随种植年限的延长, pH 逐渐降低, 与种植年限显著负相关, 年均降低 0.05 个单位。而土壤全盐含量与种植年限呈显著正相关, 年均增加 0.091 个百分点。连续 14 年种植温室蔬菜土壤全盐含量达到 0.34%, 是露地土壤的 6.35 倍。土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、全钾、速效磷和速效钾含量也随种植年限逐渐增加, 与种植年限显著正相关, 连续 14 年种植温室蔬菜后, 土壤的速效氮、速效磷和速效钾含量分别达到 230.17、342.17 mg·kg⁻¹ 和 263.00 mg·kg⁻¹, 显著的高于大田。

关键词: 渭河上游, 温室菜地, 土壤肥力
中图分类号: S158.2 **文献标志码:** A

Study on greenhouse soil fertility characteristics of Weihe River upstream

E Sheng-zhe^{1,2}, HUANG Tao¹, WANG Ya-nan², ZENG Xi-bai², YUAN Jin-hua¹, CHE Zong-xian¹, GUO Yong-jie¹
(1. Institute of Soil and Fertilizer and Save water Agricultural, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

Abstract: The effects of long-term continuous cropping greenhouse vegetables on soil pH, total salt, organic matter, and N, P and K nutrients content of topsoil (0~20 cm) were studied through open field and greenhouse topsoil sampling during different cropping years in Wushan county Tianshui city located upstream of Weihe River. The results showed that pH of topsoil (0~20 cm) in greenhouse vegetable field during different cultivation years was all significantly lower than that of the open field, and with the extension of cultivation years, soil pH become declined significantly. Moreover, soil pH was significantly negatively related with cultivation years, 0.05 pH decline per year. In contrast, the soil total salt content was significantly positively related to cultivation years with 0.091% increase per year. For 14 years continuous cropping with greenhouse vegetables, soil total salt content reached to 0.34%, 6.35 times as much as that in the open field. Soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, total potassium, available phosphorus and available potassium contents were also gradually increased with the increase of cultivation years. After 14 years of continuous cropping with greenhouse vegetables, soil available N, available P and available K contents reached to 230.17, 342.17 mg·kg⁻¹ and 263.00 mg·kg⁻¹, respectively, significantly higher than those in the open field.

Keywords: Weihe River upstream; greenhouse vegetable; soil fertility

设施蔬菜利用特殊覆盖结构克服了传统露地蔬菜生产的季节性气候限制, 使蔬菜在较适宜的环境条件下常年生产, 均衡供应, 从而大幅提高了土地利用效率和农民的收入, 在我国广大地区迅速发展。据统计, 目前我国设施蔬菜种植面积已逾 270 万 hm², 产量达 1.68 亿 t, 年产值超过 4 000 亿元, 成为世界上设施蔬菜栽培面积最大的国家^[1-2]。我国设

施蔬菜栽培的特点是高投入、高产出、高效益。在利益驱动下, 菜农一味追求高产, 长期盲目过量施肥, 可能会导致土壤养分大量积累且不均衡, 引起蔬菜品质下降、土壤污染加剧、土壤综合质量退化等问题^[3]。长期设施栽培可导致土壤酸化、次生盐渍化、硝态氮大量累积及土壤质量退化等问题^[4-7]。长期种植温室蔬菜对土壤质量的影响已成为不容忽视的

收稿日期: 2015-05-22
基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAD05B06)
作者简介: 俄胜哲(1978—), 男, 甘肃庆阳人, 博士, 主要从事植物营养与土壤生态等方面研究。E-mail: eshengzhe@163.com。
通信作者: 曾希柏。E-mail: zengxibai@caas.cn。

问题。

武山县位于甘肃省东南部,渭河上游。以渭河流域为主的河谷川道地区地势平坦、水源充足、光照条件好、气候温和,蔬菜生产历史悠久,蔬菜生产发展较快,已成为农民增收、农业增效的支柱产业。目前全县蔬菜种植面积达到 1.4 万 hm^2 ,产量达 64 万 t,总产值超过 4 亿元、占农业总收入的 40% 以上^[8-9],然而,有关此区域设施菜地土壤质量变化的报道鲜见。本文以武山县马力镇北顺村不同种植年限的温室菜地为研究对象,探讨设施菜地的长期高强度耕作和大量施肥对土壤质量的影响,以期为该区域设施蔬菜的科学施肥、土壤管理和设施蔬菜产业的可持续发展提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

供试土样采于天水市武山县马力镇北顺村的无公害蔬菜生产基地,东经 $105^{\circ}08'$,北纬 $34^{\circ}57'$ 。此区域属大陆性半湿润半干旱季风气候区,海拔 2 370 m,年降水量 530 mm 左右,年均气温 8.9°C ,无霜期 160 d, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 $3\,400^{\circ}\text{C}$ 。土壤类型为黄绵土。日光温室多为干打垒土温室,建棚前为小麦~玉米轮作大田。温室内种植的蔬菜种类多为黄瓜连作,其茬口一般为每年 10 月底到翌年 6 月底,7~10 月休闲晒田。温室施用的化肥主要为氮磷钾复合肥($\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=15:15:10$),年均投入量为 $5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,最高为 $8\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。氮磷钾复合肥中氮源为尿素,磷源为磷酸二氢铵,钾源为硫酸钾。有机肥为纯动物粪便,平均施用量为 $25\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (干重),最高可达 $50\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。大田主栽作物是小麦和玉米,一年一熟。小麦氮施用量为 $\text{N}\,0.15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷施用量为 $\text{P}_2\text{O}_5\,0.1\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,玉米施肥量是小麦的 2 倍左右。小麦秸秆直接还田,玉米秸秆移除用作饲料。

1.2 样品采集与处理

2013 年 12 月份在天水市武山县马力镇北顺村的无公害蔬菜生产基地选择种植年限为 2、6、11 年和 14 年日光温室和露地。同一年限选的 3 个栽培管理措施相近、且近 1 周内无灌水和施肥的日光温室。露地对照同样选择栽培管理措施相近的 3 块。温室于黄瓜植株的行间按照“S”型采样路线,在温室的前部、中部和尾部选择 5 个采样点,露地同样在田块的前部、中部和尾部选择 5 个采样点,去除表层秸秆、杂草等杂质后,采用直径为 5.0 cm 土钻采集 0~20 cm 表层土壤,5 个采样点的样品混合均匀后,采用四分法留样约 1.0 kg 左右,装入聚乙烯塑料自

封袋,标记密封,带回实验室风干。去掉植物根系、落叶、石块等,过 100 目筛后,用于测定分析。

1.3 分析测定

pH 采用电位法(水:土为 2.5:1)测定;水溶性盐总量测定采用电导法(水土比 5:1)测定;全氮采用开氏法;全磷和全钾采用 NaHCO_3 熔融,钼锑抗比色法和火焰光度法测定;有机质含量采用重铬酸钾外加热法;碱解氮含量采用碱解扩散法;速效磷含量采用 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 碳酸氢钠浸提-钼蓝比色法;速效钾含量采用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸铵浸提,火焰分光光度计测定。

1.4 统计与分析

应用 Excel 2007 和 SPSS11.0 分析软件制作图表和对数据进行统计分析,多重比较采用 LSD 法,图表中不同字母表示处理间差异在 $P\leq 0.05$ 水平上显著。

2 结果与分析

2.1 设施土壤 pH 和全盐随年限变化

不同种植年限设施菜地土壤(0~20 cm)的 pH 明显低于露地大田,但种植 2 年的设施菜地土壤 pH 与露地大田相比差异不显著,连续种植 6、11 年和 14 年的设施土壤 pH 显著低于露地大田(图 1)。连续种植 2、6 年和 11 年的设施土壤 pH 也存在显著性差异,而 11 年与 14 年土壤 pH 差异不显著(图 1)。设施菜地土壤随种植年限的延长,土壤 pH 逐渐降低。如将露地视为设施菜地种植年限为 0 年,设施菜地土壤 pH(y)随种植年限(x)变化可用 $y=-0.05x+8.19$ 较好地拟合,拟合度达极显著水平($R^2=0.99^{**}$, $P<0.01$)(图 1),由此表明,设施土壤 pH 年均降低 0.05 个单位。

不同种植年限设施土壤全盐含量都显著的高于露地大田土壤。不同种植年限设施土壤全盐含量差异也达到显著水平(图 1)。设施土壤的全盐含量随种植年限延长逐渐增加。露地大田土壤(0~20 cm)的全盐含量为 0.05%,连续种植蔬菜 14 年后,土壤全盐含量达到 0.34%,是露地土壤的 6.35 倍。视露地为设施菜地种植年限 0 年,土壤全盐(y)随种植年限(x)的变化可由线性模型 $y=0.091x+0.018$ 拟合, $R^2=0.91^{**}$, $P<0.01$ 。

2.2 设施土壤养分随年限变化

设施土壤(0~20 cm)的有机质、全氮和碱解氮含量显著的高于露地土壤相应有机质及氮含量,不同种植年限设施土壤有机质、全氮和碱解氮平均含量是露地土壤的 1.68、1.84 和 2.34 倍(表 1)。不同

种植年限设施土壤的有机质、全氮和碱解氮含量也存在明显差异。设施土壤的有机质、全氮和碱解氮含量都随种植年限的延长明显增加,碱解氮的增幅最大,其次为全氮。全氮的增幅大于有机质的增幅,

致使碳氮比随种植年限延长逐渐降低,但不同年限间差异不显著。若视露地为设施菜地种植年限 0 年,有机质、全氮和碱解氮含量随年限的变化可用一元线性模型较好地拟合(表 2)。

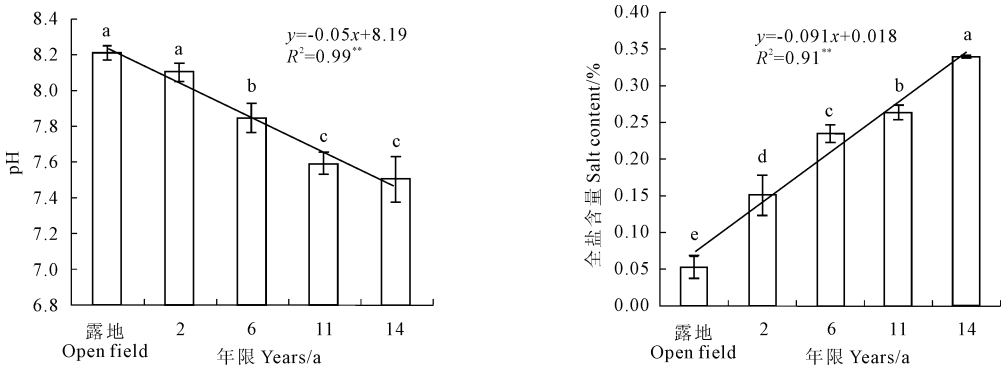


图 1 设施土壤 pH 和全盐随种植年限的变化

Fig.1 Changes of soil pH and salt contents in greenhouse to cultivating years

表 1 种植年限对土壤养分含量的影响

Table 1 Effects of greenhouse cultivation years on topsoil nutrient contents

年限 Years	有机质 Organic matter /%	全氮 Total N /%	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	全磷 Total P /%	全钾 Total K /%	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	碳氮比 C:N
0 (露地 Crop field)	1.78e	0.12e	76.27e	0.08d	1.81 d	14.79d	150.00d	8.58a
2	2.60d	0.18d	115.72d	0.11c	2.06c	188.27c	175.67cd	8.39a
6	2.76cd	0.19cd	176.48c	0.18b	2.12bc	247.42b	180.00bcd	8.42a
11	2.951bc	0.22b	188.74bc	0.28a	2.25abc	308.60a	212.00bc	7.77a
14	3.65a	0.28a	230.17a	0.32a	2.43a	342.17a	263.00a	7.57a

注:同列字母不同表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著。
Note :The letters in the table indicate the data in different years are significantly different on the level $P < 0.05$.

表 2 土壤养分含量与种植年限的相互关系

Table 2 Relationship between greenhouse cultivation years and nutrient contents

土壤养分 Soil nutrition	拟合模型 Fitting model	决定系数 R^2 square R^2	显著性检验 (P 值) Significance test (P value)
有机质 Organic matter	$y = 0.105x + 2.08$	0.84 *	0.03
全氮 Total N	$y = 0.010x + 0.134$	0.91 *	0.01
全磷 Total P	$y = 0.018x + 0.074$	0.99 * *	< 0.01
全钾 Total K	$y = 0.037x + 1.89$	0.91 *	0.01
碱解氮 Available N	$y = 10.11x + 91.44$	0.94 * *	< 0.01
速效磷 Available P	$y = 19.96x + 88.55$	0.83 *	0.03
速效钾 Available K	$y = 6.99x + 150.00$	0.90 *	0.01

注:*, ** 表示拟合度达到 $P < 0.05$ 水平显著和 $P < 0.01$ 水平显著。
Note: The *, ** in the table indicate the fitting degree are significantly on the level $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

同样,设施土壤(0 ~ 20 cm)全磷、全钾、速效磷和速效钾的含量亦明显高于露地大田土壤,其中全磷、全钾和速效磷与露地大田相比差异达到显著水平。虽然种植年限为 2 年和 6 年设施土壤速效钾含量与露地大田差异不显著,但连续种植 11 年后,其

差异也达到极显著水平(表 1)。设施土壤全磷、全钾、速效磷和速效钾含量随着种植年限的延长而逐渐增加,设施菜地连续种植 14 年土壤全磷、全钾、速效磷和速效钾含量是露地大田的 4.31、1.34、23.13 倍和 1.75 倍,速效磷的增幅最大,其次为有效钾。

同样,若视露地为设施菜地种植年限 0 年,设施土壤全磷、全钾、速效磷和速效钾含量随种植年限变化同样可用一元线性模型拟合(表 2),拟合度均达到极显著或显著水平。

2.3 设施土壤化学性质的相互关系

设施菜地长期过量施肥,氮磷钾和有机质等养分大量累积,由表 3 可以看出,不同种植年限设施土

壤(0~20 cm)的全盐、pH、有机质、全氮、全磷、全钾及碱解氮、速效磷和速效钾含量间存在极显著的相关关系,其中 pH 与全盐、有机质、全氮、全磷、全钾及碱解氮、速效磷和速效钾含量显著负相关,而与全盐、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾含量显著正相关。

表 3 设施土壤质量参数间的相关系数
Table 3 Relationships between greenhouse soil fertility characteristics

项目 Item	全盐 Salt	pH	有机质 Organic matter	全氮 Total N	碱解氮 Available N	全磷 Total P	速效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K
全盐 Salt	1.00								
pH	-0.93**								
有机质 Organic matter	0.94**	-0.82**							
全氮 Total N	0.96**	-0.89**	0.95**						
碱解氮 Available N	0.98**	-0.94**	0.92**	0.94**					
全磷 Total P	0.91**	-0.98**	0.84**	0.90**	0.92**				
速效磷 Available P	0.96**	-0.88**	0.93**	0.92**	0.95**	0.86**			
全钾 Total K	0.83**	-0.81**	0.85**	0.90**	0.82**	0.84**	0.82**		
速效钾 Available K	0.86**	-0.77**	0.89**	0.92**	0.84**	0.81**	0.81**	0.80**	1.00

注:*,**表示相关性达到 $P<0.05$ 水平显著和 $P<0.01$ 水平显著。
Note: The *,** in the table indicate the relationship degree are significantly on the level $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

3 结论与讨论

3.1 设施种植对土壤 pH 和盐渍化的影响

设施土壤酸化可能与长期过量施有机肥和化肥有关,有机肥经过微生物的降解和氨化作用产生大量的 NH_4^+ ,无机氮肥(尿素、磷酸二铵)也含有大量的 NH_4^+ ,其中一部分 NH_4^+ 被土壤胶体吸附和植物吸收,绝大部分则是在硝化细菌的作用下转化为 NO_3^- ,同时释放出 H^+ [6]。同时某些盐分离子的累积也可使土壤 pH 降低,如 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} , Ca^{2+} 将酸性胶基上的 H^+ 置换到土壤溶液中,也可加快土壤酸化过程 [7]。李粉茹等 [10] 研究报道,安徽黄潮土菜地和黑姜土设施菜地土壤 pH 年均降低 0.05~0.06 个单位,与本研究结果相似。本研究结果也显示, pH 随种植年限逐渐降低,可用 $y = -0.05x + 8.19$ 较好的拟合 ($P<0.01$),年均降低 0.05 个单位。而曾路生等 [11] 在山东寿光潮土上研究得出,设施菜地连作 8 年 pH 就降低 1 个单位,年均降幅是本研究的 2 倍左右;曾希柏等 [5] 进一步指出,设施种植年限 12 年前,土壤 pH 值有随种植年限逐渐降低,12 年后土壤 pH 值又呈现出一定的上升趋势,与本研究的变化趋势略有不同。这些研究结果差异的原因可能与土壤母质、土壤缓冲性能、施肥量及最大种植年限不

同有关,该研究最大种植年限为 14 年,可能未达到 pH 值再次上升的年限。

日光温室高温、高湿和强蒸发的环境条件促进了土壤盐分的积累和表聚,也促进了土壤固相物质的快速分解与盐基离子释放,更进一步加深设施菜地土壤次生盐渍化 [4]。但是长期不合理地大量投肥,是造成设施菜地土壤次生盐渍化的重要原因之一 [7]。设施栽培条件下,菜农追求高产,往往超量施肥,化肥的投入远远超过了蔬菜正常生长需要的量而逐渐在土壤中积累,从而导致了土壤全盐含量的升高 [12]。本研究结果表明,设施土壤全盐含量与种植年限显著正相关,随种植年限的变化可由线性模型 $y = 0.091x + 0.018$ 拟合,连续种植蔬菜 14 年后,土壤全盐含量达到 0.34%,是露地土壤的 6.35 倍。陈碧华等 [4] 在 新乡潮土上研究发现,设施土壤水溶性盐总量上升幅度与种植年限极显著相关,连续种植 30 年后,可溶性盐含量达 1.2%,而且 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的含量均与土壤水溶性盐总量呈极显著相关,而且致酸离子 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 是造成土壤含盐总量随种植年限增加的重要原因,由此表明,设施菜地酸化和次生盐渍化具有同步性。而伊田等 [3] 在陕西杨凌地区研究结论与本研究则不同,设施土壤电导率在 1~3 年迅速上升,3~10 年

趋于平稳,研究结果差异可能与土壤理化性状、种植制度及施肥量不同有关。杜新民等^[13]进一步研究指出,黄瓜、番茄、辣椒的生育障碍临界点分别为 1.2、1.5、1.5 mS·cm⁻¹,临汾市种植 8 年的日光温室土壤盐分累积量达到 0.47%,土壤电导率 1.08 mS·cm⁻¹,已接近黄瓜的生育障碍临界点。本研究区域温室菜地最大种植年限为 14 年,土壤全盐含量为 0.35%,虽在生育障碍临界点以下,但已出现轻微的盐渍化现象,应考虑通过深翻,灌溉排盐等措施,控制盐渍化进一步发展。

3.2 设施种植对土壤养分的影响

设施种植肥水投入是普通大田的几倍甚至十几倍,远远超出当季作物的需求量,而且注重有机肥的施用,致使肥料利用率不高,其中磷肥的利用率仅为 11%,甚至更低,土壤中氮、磷、钾等养分出现大量盈余^[1]。刘建霞等^[12]研究表明,温室土壤中有有机质、碱解氮、速效磷、速效钾及有效态铁、锌含量与种植年限表现出不同程度的正相关关系,养分随种植年限在土壤中都有不同程度的累积。吕福堂等^[14]研究报道 5、10 年和 14 年日光温室表层土壤速效 P 含量都超过 200 mg·kg⁻¹,速效钾的含量均超过 300 mg·kg⁻¹。这些结论与本研究结论相似,本研究结果亦显示设施土壤(0~20 cm)的有机质、全氮、碱解氮、全磷、全钾、速效磷和速效钾含量显著的高于露地,而且随种植年限逐渐增加,特别是磷和钾,连续 14 年种植设施蔬菜土壤速效磷含量达到 342.17 mg·kg⁻¹,是大田土壤的 10 倍左右,速效钾含量也达 263.00 mg·kg⁻¹,对水体环境和土壤环境都构成一定威胁,该产区菜农应根据蔬菜的养分需求选择性的施肥,适当减少肥料的投入量,以降低蔬菜种植生产成本和土壤环境污染风险。

4 结 论

陇东南渭河上游地区长期连作温室蔬菜,土壤有明显酸化和次生盐渍化现象,土壤 pH 年均降低 0.05 个单位,全盐含量年均增加 0.091 百分点。土

壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、全钾、速效磷和速效钾等养分含量也随种植年限延长明显增加,连续 14 年设施种植,土壤速效磷含量高达 342.17 mg·kg⁻¹,有向下层土壤淋失风险。长期大量不合理投肥是造成设施菜地土壤次生盐渍化、土壤 pH 降低和土壤养分大量积累的主要原因,因此,设施种植应根据蔬菜的养分需求选择施肥种类,调整施肥量,降低生产成本和环境污染风险,同时应结合深翻、覆盖及灌溉排盐等措施控制土壤盐渍化。

参 考 文 献:

[1] 刘 伟,武美燕,胡学玉,等.设施栽培地土壤富营养化及其潜在的环境影响[J].环境科学与技术,2011,34(5):20-23.

[2] 史 静,张乃明,包 立.我国设施农业土壤质量退化特征与调控研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(7):787-794.

[3] 伊 田,梁东丽,王松山,等.不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(7):111-117.

[4] 陈碧华,杨和连,李亚灵,等.不同种植年限大棚菜田土壤水溶性盐分的变化特征[J].水土保持学报,2012,26(1):241-245.

[5] 曾希柏,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.

[6] 沈灵凤,白玲玉,曾希柏,等.施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1350-1356.

[7] 张金锦,段增强.设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J].土壤,2011,43(3):361-366.

[8] 郭万明.武山县蔬菜产业发展现状、存在问题及对策[J].现代农业,2007,(8):49-50.

[9] 汪云霞.武山县蔬菜生产与营销现状及对策[J].甘肃农业,2014,(14):15-16.

[10] 李粉茹,于群英,邹长明.设施菜地土壤 pH 值、酶活性和氮磷养分含量的变化[J].农业工程学报,2009,25(1):217-222.

[11] 曾路生,崔德杰,李俊良,等.寿光大棚菜地土壤呼吸强度、酶活性、pH 与 EC 的变化研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(4):865-870.

[12] 刘建霞,马 理,李博文,等.不同种植年限黄瓜温室土壤理化性质的变化规律[J].水土保持学报,2013,27(5):164-168.

[13] 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,2007,27(2):78-80.

[14] 吕福堂,张秀省,董 杰.日光温室土壤速效养分剖面分布和累积特征研究[J].土壤通报,2010,41(5):1110-1114.