

河西走廊日光温室土壤肥力质量演变研究

赵天鑫¹, 俄胜哲^{1, 2*}, 王玉忠³, 袁金华², 姚佳璇¹, 王钰轩¹

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 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; 3. 武威市农业技术推广中心, 甘肃 武威 733000)

摘要: 通过田间调查取样的方法系统研究了不同种植年限(1~5、6~10、11~15、16~20年)对石羊河流域凉州区日光温室土壤肥力质量的影响。结果表明, 长期日光温室栽培虽显著降低了pH, 但土壤可溶性盐含量显著增加, 土壤pH和可溶性盐含量呈负相关, 土壤pH增加一个单位, 土壤可溶性盐含量降低1.35 g/kg。长期日光温室栽培较露地显著增加了土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的含量, 日光温室土壤有效磷、碱解氮和速效钾平均含量分别为353.67、208.44和627.33 mg/kg, 分别是露地土壤的21.42、1.85和5.54倍, 但4个种植年限间土壤的pH及可溶性盐、有机质、速效氮磷钾含量差异不显著。温室种植1~5年, 土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的含量迅速增加, 5年后随着种植年限延长其含量趋于稳定, 这可能是温室增肥不增产的主要原因。

关键词: 种植年限; 日光温室; 土壤肥力质量

设施农业是我国调整农业结构的重要方向之一, 实现了农户的增产、增收和农业的增效。近年来, 以高技术、高投入、高产出为特征的高度集约化设施农业在我国得到快速的发展和大规模推广应用^[1]。目前, 日光温室、玻璃温室、塑料大棚是我国设施栽培的3种主要类型, 其中在北方最常见的栽培方式是日光温室, 其已成为不少地区农民经济收入的主要来源^[1-2]。在日光温室特殊的环境条件下, 农户在蔬菜栽培过程中不合理施肥造成蔬菜产量和质量下降、土壤养分累积以及一系列土壤肥力和环境问题备受人们关注^[3-5]。大量研究表明, 农户的盲目施肥使温室内土壤养分累积日趋严重, 土壤盐渍化和蔬菜硝酸盐大量累积, 导致设施蔬菜生产中增肥不增产, 产量和品质下降已经影响了温室蔬菜的发展和销售, 制约了设施农业的可持续发展^[3, 5-7]。

近些年, 很多学者开始关注日光温室土壤养分含量状况, 已对不同地区的温室土壤养分含量进行

了测定研究。不同地区的土壤理化性质、温室栽培管理方式不同, 其研究结果不尽相同。曹齐卫等^[8]对山东济南地区日光温室土壤养分变化的研究表明, 温室土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量显著高于露地土壤, 增幅分别为77.0%、66.7%、472.0%、173.4%, 而pH低于露地土壤0.23; 温室土壤有机质、碱解氮无明显累积规律, 但是有效磷、速效钾、pH与棚龄间有明显的累积规律; 温室土壤有明显的酸化和盐渍化现象, 各种养分大量累积。刘晓军等^[9]的研究表明, 日光温室土壤有机质、有效磷和速效钾等养分含量随着温室年限的增加而增加; 有机质、有效磷和速效钾含量在土壤耕层随温室年限的增幅分别达56.2%、254.1%和36.5%, 同时, 0~20 cm土壤耕层的盐分积累量随着日光温室年限的延长而显著增加。杜新民等^[10]的研究表明, 日光温室土壤可溶性盐含量是大田土壤的1.22~3.19倍, 且随着种植年限的增加而增加, 可溶性盐与种植年限呈极显著正相关; 温室土壤pH低于大田土壤, 且随种植年限的增加逐渐下降, 二者呈极显著负相关, $r=-0.9967$; 温室土壤有机质、有效磷和速效钾含量高于大田土壤, 且随种植年限的增加逐年增加。

武威市位于甘肃省河西走廊东部, 深居大陆腹地, 属于温带大陆性干旱气候, 太阳辐射强、日照时间长, 温差大、降水少, 有利于日光温室产业的发展^[11]。石羊河是河西走廊三大内陆河之一, 由

收稿日期: 2020-08-24; 录用日期: 2021-01-01

基金项目: 甘肃省重点研发计划项目(20YF3FG046); 兰州市人才创新项目(2016-RC-112); 临泽县凹凸棒石产业开发开放课题(LZKFKT-1804)。

作者简介: 赵天鑫(1992-), 女, 甘肃白银人, 在读硕士研究生, 主要从事农业资源利用研究。E-mail: 1451628281@qq.com。

通讯作者: 俄胜哲, E-mail: eshengzhe@163.com。

此形成了重要的绿洲生态区,所以石羊河流域的问题关系到国家生态安全的整体问题^[12]。武威市作为石羊河流域的主属区,把日光温室建设作为石羊河流域综合治理的一项重要措施^[11-12]。近年来,凉州区日光温室生产规模不断扩大,生产区域从城郊扩展到了偏远乡镇,日光温室生产已经成为农民增加经济收入的支柱产业之一^[13]。长期设施栽培土壤肥力质量演变规律研究对武威市农业可持续发展和综合治理尤为重要,而目前鲜见有关研究报告。为此,以武威市凉州区为研究区域,通过测定不同种植年限日光温室土壤养分常规指标,以期明确土壤肥力质量演变规律,为该地区日光温室可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

凉州区位于河西走廊东部,其地势东北低西南高,东北部为腾格里沙漠,西南部为祁连山地,中部为走廊平原,属温带干旱区。年平均降水量 210 mm, 年均蒸发量 2020 mm, 年平均气温 8℃, 昼夜温差大, 全年无霜期为 150 d, 是典型的温带大陆性气候; 海拔为 1450 ~ 2100 m, 地势平坦, 土地肥沃。研究区域的土壤类型为灌漠土, 露地土壤全氮、有机质、有效磷和速效钾的平均含量分别为 1.15 g/kg、20.08 g/kg、35.46 mg/kg 和 152.6 mg/kg, 根据全国第二次土壤普查技术规程规定的养分分级标准, 全氮含量处于中等水平, 有效磷和速效钾含量都处于高水平^[14]。

1.2 试验设计

选择近年来武威市凉州区日光温室快速发展和种植面积较大的柏树乡、长城乡、大柳乡、发放镇、高坝镇、和平镇、中坝镇、双城镇、四坝乡、张义镇、金羊乡、黄羊镇、怀安乡和清水乡等乡镇不同种植年限的日光温室土壤和附近露地土壤为研究对象。将其划分为露地 (n=26), 日光温室种植 1 ~ 5 年 (n=23)、6 ~ 10 年 (n=25)、11 ~ 15 年 (n=19) 和 16 ~ 20 年 (n=11) 4 个阶段, 分别采集土壤样品, 测定土壤 pH、可溶性盐、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾。

1.3 栽培管理措施

凉州区日光温室多为干打垒土温室, 建棚前普遍为小麦-玉米轮作露地大田, 一年一熟制。氮

磷钾肥配施的比例一般为 $N:P_2O_5:K_2O=1:1:0.5$ 。小麦施氮 (N) 量为 120 ~ 150 kg/hm², 玉米的施肥量是小麦的 2 倍。小麦于每年 3 月中旬播种, 播量为 300 kg/hm², 氮肥、磷肥及钾肥均作基肥, 播种前一次施入。玉米于每年 4 月中旬或下旬播种, 密度为 75000 株/hm²。氮肥采用尿素或硝酸铵, 磷肥采用普通过磷酸钙、重过磷酸钙或磷酸二铵, 钾肥采用硫酸钾。温室内种植的蔬菜种类多为西红柿、辣椒、黄瓜和茄子, 其茬口一般为每年 2 月底到 7 月底, 8 月到翌年 1 月, 每年 2 茬。日光温室施用的化肥多为尿素、磷酸二铵和硫酸钾。年 N 素施用量为 252 ~ 1059 kg/hm², 平均为 650 kg/hm²; 年 P_2O_5 施用量为 207 ~ 1068 kg/hm², 平均为 709 kg/hm²; 年 K_2O 施用量为 177 ~ 852 kg/hm², 平均为 650 kg/hm²。有机肥为腐熟纯动物粪便, 施用量为 30000 ~ 105000 kg/hm², 平均为 87000 kg/hm²。

1.4 样品采集与处理

于 2012 年 6 月中下旬蔬菜拉秧歇棚期在凉州区柏树乡、长城乡、大柳乡、发放镇、高坝镇、和平镇、中坝镇、双城镇、四坝乡、张义镇、金羊乡、黄羊镇、怀安乡、清水乡、金塔乡、金沙乡, 根据建棚时间将 1992 ~ 2011 年搭建种植的设施二代日光温室按 1992 ~ 1996、1997 ~ 2001、2002 ~ 2006、2007 ~ 2011 年分为 4 个发展阶段采样。用不锈钢土钻采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤, 采样时采用“梅花”形布点取样。每个棚取 5 个样, 同时在每个日光温室周边采集大田土壤样品, 采样方法同日光温室。土壤样品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、石块等杂物, 过土壤筛后, 用于分析测定。

1.5 分析测定

土壤 pH 采用电位法 (水:土为 2.5:1) 测定; 可溶性盐总量采用电导法 (水:土为 5:1) 测定; 有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定; 碱解氮含量采用碱解扩散法测定; 有效磷含量采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼蓝比色法测定; 速效钾含量采用 1 mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度计测定。

1.6 统计与分析

应用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 对相关数据进行处理和统计分析, LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 和可溶性盐

图 1 是日光温室种植年限对土壤 pH 和可溶性盐的影响, 可以看出, 露地土壤 pH 为 8.21 ($n=26$), 而不同种植年限的日光温室土壤 pH 为 7.16 ~ 7.19。长期的设施种植显著降低了土壤的 pH, 但不同种植年限间土壤的 pH 差异不显著。土

壤可溶性盐含量与土壤 pH 变化趋势相反, 露地土壤可溶性盐含量为 0.69 g/kg, 而不同种植年限土壤可溶性盐平均含量 1.41 g/kg, 显著高于露地土壤, 但不同年限间土壤可溶性盐含量差异不显著。长期日光温室种植, 且连续超量施用肥料, 但未引起不同种植年限间土壤 pH 和土壤可溶性盐的显著差异。

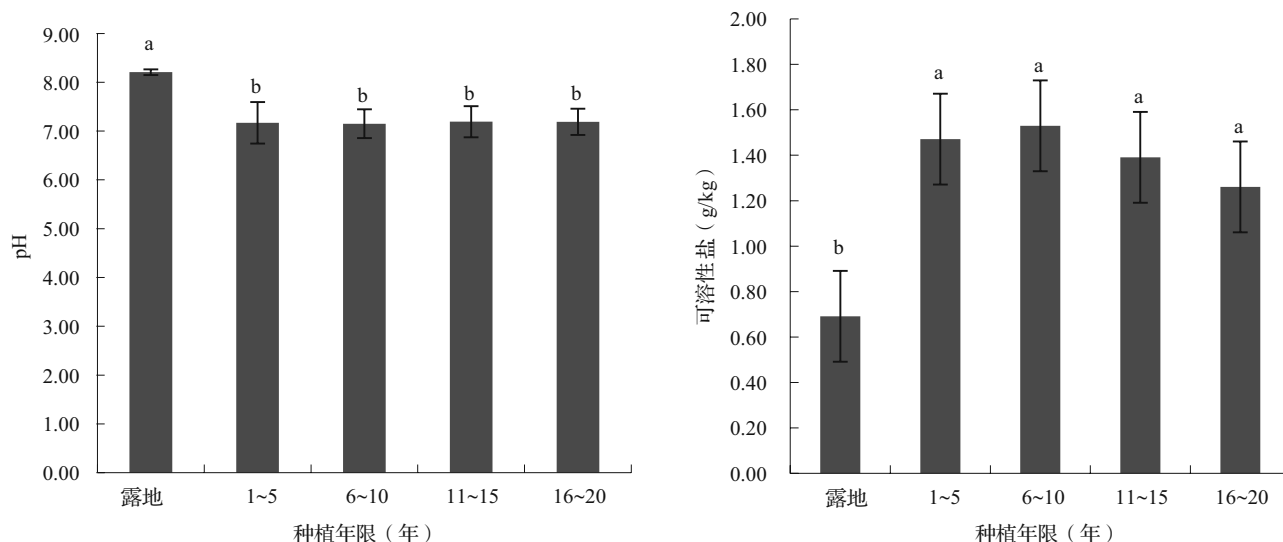


图 1 日光温室种植年限对土壤 pH 和可溶性盐含量的影响

注: 不同小写字母代表达到差异显著水平 ($P<0.05$)。下同。

图 2 是土壤 pH 和可溶性盐含量关系, 可以看出, 随着土壤 pH 逐渐降低, 土壤可溶性盐含量逐渐增加, 两者呈负相关, 土壤 pH 增加一个单位, 土壤可溶性盐的含量将降低 1.35 g/kg, 说明长期的日光温室种植、大量的施用化肥在引起土壤酸化的同时也导致了土壤次生盐渍化。

6 ~ 10、11 ~ 15 和 16 ~ 20 年 4 个种植年限日光温室土壤有机质平均含量分别为 44.36、49.56、45.26 和 50.45 g/kg, 分别是露地土壤的 2.15、2.40、2.19 和 2.44 倍, 但不同年限间日光温室土壤的有机质含量差异不显著。

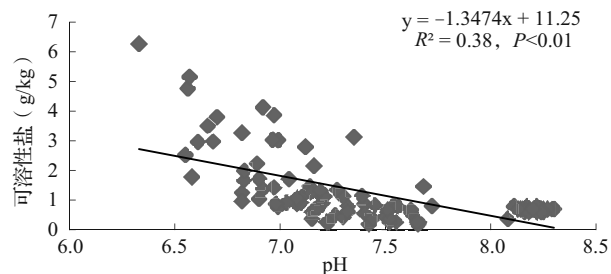


图 2 土壤 pH 和可溶性盐含量关系

2.2 土壤有机质

图 3 是日光温室种植年限对土壤有机质含量的影响, 露地土壤有机质含量为 20.61 g/kg, 长期种植日光温室显著增加了土壤有机质含量, 1 ~ 5、

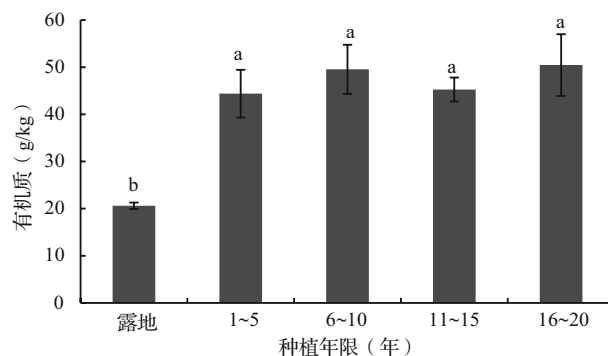


图 3 日光温室种植年限对土壤有机质含量的影响

2.3 土壤速效氮磷钾

表 1 是日光温室种植年限对土壤速效氮磷钾含量的影响, 表明土壤速效氮磷钾含量随种植年限的

变化趋势与土壤有机质相似,日光温室种植后,土壤速效氮磷钾含量都显著增加,与相邻露地土壤差异显著,但不同种植年限之间没有显著差异。不同种植年限日光温室有效磷平均含量为 353.67 mg/kg,

增幅最大,是露地土壤的 21.42 倍左右。不同种植年限日光温室碱解氮和速效钾的平均含量分别是 208.44 和 627.33 mg/kg,分别是露地土壤的 1.85 和 5.54 倍。

表 1 日光温室种植年限对土壤速效氮磷钾含量的影响

(mg/kg)

种植年限(年)	碱解氮	有效磷	速效钾
露地	112.47b	16.51b	113.26b
1 ~ 5	221.04a	335.28a	759.74a
6 ~ 10	200.75a	391.83a	698.20a
11 ~ 15	199.81a	292.83a	580.00a
16 ~ 20	212.17a	394.74a	471.36a

注:同列数据后字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 设施栽培对土壤 pH 和可溶性盐的影响

有研究表明,温室土壤 pH 低于大田,有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量均高于大田,且随种植年限的增加逐年增加^[10, 15]。在本研究中,温室土壤有机质、速效氮磷钾含量均高于大田土壤,温室土壤 pH 小于大田土壤,这与有关研究结论一致,但不同种植年限间的变化不显著。

长期日光温室种植造成土壤 pH 下降,这是由于大量施用氮素肥料,形成的 NO_3^- 不能被完全吸收,在不受雨水淋洗的条件下发生积聚,同时施用硫酸钾等生理酸性肥料, SO_4^{2-} 、 Cl^- 等强酸性阴离子大部分残留在土壤中,使得土壤酸化^[7, 10, 16];其次, NH_4^+ 硝化导致土壤中 H^+ 增加,并且大量施用有机肥,有机肥腐解和微生物代谢产生大量的有机酸,使土壤 pH 下降^[17]。因凉州区土壤属石灰性土壤,土壤 pH 呈微碱性,而土壤 pH 的适度降低有利于提高石灰性土壤 P、Fe、Mn、Cu、Zn 等营养元素的活性^[10, 18]。温室土壤表层积盐明显,原因一是施肥量大;二是温室内温度高,土壤水分上升,使盐分表聚^[10]。有研究表明,在盐分离子的作用下,设施土壤 pH 有不同程度的降低^[1, 17]。本研究中,土壤 pH 和可溶性盐含量呈负相关,这与有关研究结果一致,原因可能是土壤盐基阳离子与土壤胶体上的 H^+ 或 Al^{3+} 发生了交换^[1]。

3.2 设施栽培对土壤有机质及氮磷钾含量的影响

有研究者提出理想菜地的土壤有机质含量应

达 30 g/kg 以上^[5],本研究中温室土壤有机质含量较大田土壤显著提高,这是因为当地在栽培过程中大量施用有机肥,但是不同种植年限温室土壤有机质含量稳定在 40 ~ 50 g/kg,很有可能是土壤有机碳数量达到了平衡点,掩盖了不同种植年限间的差异。

根据全国第二次土壤普查及有关标准,大田土壤碱解氮含量处于中等水平(90 ~ 120 mg/kg),温室土壤碱解氮含量极丰富(>150 mg/kg)^[19]。温室土壤碱解氮含量较大田土壤显著增加,这是大量施用氮肥的原因。温室种植 1 ~ 5 年后,碱解氮含量达到最高,随着种植年限延长其含量趋于稳定,有可能是土壤中碱解氮含量达到饱和。

有研究者提出菜地土壤有效磷含量的丰缺指标: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^[5]。按这一标准,温室土壤有效磷含量均偏高,与之对应的大田土壤严重缺乏。土壤中有有效磷大幅度上升趋势的主要原因是农户施用了大量的磷肥,而蔬菜作物大多需磷又较少,导致土壤磷素富集^[3, 20]。温室种植 1 ~ 5 年后,有效磷含量达到最高,随着种植年限延长其含量趋于稳定。不同种植年限温室土壤有效磷含量差异不显著,很有可能是因为大量磷肥的投入使得土壤中有有效磷在 1 ~ 5 年迅速达到了饱和状态,后期施入的磷素不能被土壤固定而随灌溉水淋失。

有学者指出,菜地土壤速效钾含量适宜范围是 150 ~ 250 mg/kg,大于 350 mg/kg 为过量^[5]。若按这一标准衡量,温室土壤速效钾含量严重过量,发生这种现象的主要原因是由施肥引起的,农户为

了提高产量大量施用钾肥,远远超过了作物的吸收量。刘晓军等^[9]研究表明,0~40 cm 土层速效钾含量随年限的变化未达显著水平,而40~60 cm 土层速效钾含量随年限的变化达显著水平。研究地温室种植1~5年后,速效钾含量达到最高,后期虽然也投入了大量的钾肥,其含量不但没有增加反而有下降的趋势,这与有关研究结果一致,可能是因为土壤中速效钾易随灌溉水向土层深处淋溶^[9]。

4 结论

(1) 长期日光温室种植显著降低了土壤的 pH,显著增加了土壤可溶性盐含量,土壤的 pH 和可溶性盐含量呈负相关,土壤 pH 增加一个单位,土壤可溶性盐的含量将降低 1.35 g/kg。

(2) 4 个种植年限日光温室土壤有机质平均含量分别为 44.36、49.56、45.26 和 50.45 g/kg,分别是露地土壤的 2.15、2.4、2.19 和 2.44 倍,不同种植年限日光温室土壤有机质较露地土壤有显著变化,但是不同年限间日光温室土壤的有机质含量差异不显著。

(3) 日光温室有效磷、碱解氮和速效钾平均含量分别为 353.67、208.44 和 627.33 mg/kg,分别是露地土壤的 21.42、1.85 和 5.54 倍,不同种植年限日光温室土壤速效氮磷钾较露地土壤均有显著变化,但是各种种植年限间差异不显著。

(4) 盲目施肥是造成温室土壤养分积聚的主要原因。温室耕层土壤速效氮磷钾含量达到饱和状态后,施入肥料中的养分元素不能被土壤固定,易随灌溉水向下淋溶,污染地下水。因此,要改变栽培管理方式、合理施肥,改善土壤环境,以提高作物产量和品质,促进设施农业可持续发展。

参考文献:

- [1] 韩江培. 设施栽培条件下土壤酸化与盐渍化耦合发生机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [2] 唐莉莉, 陈竹君, 周建斌. 蔬菜日光温室栽培条件下土壤养分累积特性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 70-74.
- [3] 吴忠红, 刘凤兰. 设施土壤养分和盐分累积状况研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 237-240.
- [4] 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.
- [5] 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及土壤养分累积特性[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 287-290.
- [6] 王艳萍, 李松龄, 秦艳, 等. 不同年限日光温室土壤盐分及养分变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 161-164.
- [7] 李东坡, 武志杰, 梁成华, 等. 设施土壤生态环境特点与调控[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 192-197.
- [8] 曹齐卫, 姜惠玲, 张卫华, 等. 日光温室土壤养分变化状况及累积特征的研究[J]. 华北农学报, 2008, 23(S2): 340-344.
- [9] 刘晓军, 陈竹君, 张英莉, 等. 不同栽培年限日光温室土壤养分累积特性研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(2): 285-289.
- [10] 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, 89(2): 78-80.
- [11] 陈其兵. 石羊河流域日光温室产业优势分析及种植结构调整对策[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2015(1): 14-18.
- [12] 罗彩虹. 石羊河流域日光温室蔬菜病虫害发生特点及综合治理对策[J]. 植物保护, 2009, 35(4): 176-178.
- [13] 钱军. 凉州区日光温室发展现状与前景展望[J]. 农业开发与装备, 2016(12): 26.
- [14] 于安芬, 李瑞琴, 车宗贤, 等. 河西走廊凉州绿色农业示范区耕地土壤养分及栽培模式影响分析[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 128-131.
- [15] 杨建军, 康恩祥, 陈年来. 不同种植年限日光温室土壤肥力与土壤酶活性的变化规律[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(9): 141-146.
- [16] 吕福堂, 司东霞. 日光温室土壤盐分积累及离子组成变化的研究[J]. 土壤, 2004, 36(2): 208-210, 214.
- [17] 王子璐. 天津设施(蔬菜)土壤酸化与次生盐渍化变化特征及成因分析[D]. 天津: 天津师范大学, 2017.
- [18] 郭俊伟, 郭文龙. 蔬菜日光温室施肥与土壤养分状况研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(13): 243-246.
- [19] 王蓉, 王礼焦, 孙潇潇. 连云港市设施蔬菜施肥与土壤养分状况分析[J]. 山西农业科学, 2016, 44(2): 204-208, 231.
- [20] 郭文龙. 蔬菜温室土壤环境特征变化与施肥问题的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.

Study on soil fertility quality evolution of solar greenhouse in Hexi corridor

ZHAO Tian-xin¹, E Sheng-zhe^{1, 2*}, WANG Yu-zhong³, YUAN Jin-hua², YAO Jia-xuan¹, WANG Yu-xuan¹

(1. College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070; 2. Institute of Soil and Fertilizer and Save Water Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070; 3. Extension Center of Wuwei Agricultural Technology, Wuwei Gansu 733000)

Abstract: The effects of different planting years (1 ~ 5, 6 ~ 10, 11 ~ 15, 16 ~ 20 years) on soil fertility quality of solar greenhouse in Liangzhou district of Shiyang river basin were systematically studied by the method of field sampling. The results indicated that the long-term cultivation of greenhouse significantly reduced the soil pH, and significantly increased the soluble salt content in soil. Soil pH and soluble salt content were negative by related, soil soluble salt content reduced 1.35 g/kg when soil pH increased by 1. The long-term planting of the greenhouse had significantly increased the contents of soil organic matter, available N, available P and available K. The average contents of available P, available N and available K were 353.67, 208.44 and 627.33 mg/kg respectively, which were 21.42, 1.85 and 5.54 times of those in open soil. The differences in the pH, soluble salt, organic matter and available N, P, K content of soil among different planting years were not significant. During the 1 ~ 5 years of greenhouse cultivation, and the contents of soil organic matter, available N, available P and available K have increased rapidly, the contents tend to stabilize with the extension of the planting period after 5 years, which may be the main reason why the yield does not increase with increased fertilizer application in greenhouse production.

Key words: planting years; solar greenhouse; quality of soil fertility