

网络出版时间:2016-08-09 09:40 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.09.012
网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160809.0940.024.html>

陕西日光温室养分平衡及土壤养分累积特征研究

蔡红明,王士超,刘 岩,陈竹君,周建斌

(西北农林科技大学 资源环境学院/农业部西北植物营养与农业环境重点实验室,陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】评价陕西不同地区日光温室系统养分平衡及土壤养分累积状况,为当地日光温室土壤养分管理提供技术指导。【方法】2013年7月和2014年7月连续2年分别在陕西杨凌(壤土)、安塞(黄绵土)和靖边(风沙土)3个区县调查了193个日光温室的施肥状况,分析日光温室的养分总投入量、养分携出量及表观养分盈余量变化;并采集日光温室土壤样品,测定土壤养分含量及基本理化指标。【结果】(1)研究区域日光温室养分总投入量因地区而异,年均氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)养分总投入量分别为1 933.3, 1 587.2和1 799.2 kg/ hm^2 ,而养分携出量仅占氮、磷、钾养分总投入量的22%,7%和36%;年均氮、磷、钾的表观盈余量分别高达1 503.2, 1 473.1和1 155.2 kg/ hm^2 。(2)研究区域日光温室土壤有机质含量整体处于中、低水平,这与研究地区土壤基础肥力低有关;杨凌、安塞和靖边地区温室土壤0~200 cm土层硝态氮累积量分别达到1 451.5, 1 647.2和498.5 kg/ hm^2 ,0~60 cm土层硝态氮累积量分别仅占0~200 cm硝态氮累积量的37.8%,36.9%和37.9%,其中0~2 m土层土壤剖面累积的硝态氮有60%以上分布在60~200 cm土层,难以被作物根系吸收利用;研究区土壤速效磷、钾多处在高及较高水平,其中土壤速效磷含量处于中、高水平(≥ 50 mg/kg)的样本所占比例达77%~91%,土壤速效钾含量处于中、高水平(≥ 150 mg/kg)的样本数所占比例为35%~91%。(3)温室土壤pH整体偏碱性,这与土壤发育于黄土母质及碳酸盐含量高有关;不同土层相比,表层土壤pH明显小于下层土壤;土壤电导率整体低于蔬菜生长临界值600 $\mu S/cm$,不同土层相比,表层土壤电导率显著高于下层土壤。(4)与杨凌壤土及安塞黄绵土相比,靖边风沙土养分含量相对较低,故日光温室生产中应注意有机肥及化肥的有效施用。【结论】陕西不同地区日光温室系统普遍存在过量施肥问题,导致土壤中氮、磷、钾养分过量累积,由此带来的环境问题值得关注,同时适当控制日光温室养分投入应是陕西不同地区日光温室养分管理的重点。

[关键词] 日光温室;过量施肥;养分平衡;土壤养分累积;环境风险

[中图分类号] S626.5

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)09-0083-09

Nutrient balance and accumulation in soil of solar greenhouse in Shaanxi

CAI Hongming, WANG Shichao, LIU Yan, CHEN Zhujun, ZHOU Jianbin

(College of Natural Resources and Environment, Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】This study evaluated nutrient balance and soil nutrient accumulation in greenhouse systems at different areas of Shaanxi to provide technical support for the nutrient management in local greenhouses.【Method】The application of fertilizers in 193 greenhouses over two consecutive years from July 2013 to July 2014 in Yangling, Ansai, and Jingbian was surveyed for analyzing the changes of total nutrient input, crop yield, and apparent nutrient surplus in greenhouse system. Nutrient contents and

[收稿日期] 2015-02-23

[基金项目] 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD15B04);高等学校学科创新引智计划资助项目(B12007);中英农业国际合作项目

[作者简介] 蔡红明(1989—),女,山东潍坊人,硕士,主要从事日光温室水肥调控研究。E-mail:1002925743@qq.com

[通信作者] 周建斌(1964—),男,陕西大荔人,教授,博士,主要从事植物营养及调控研究。E-mail:jbzhou@nwsuaf.edu.cn

basic physical-chemical properties in greenhouse soils were also determined. 【Result】 (1) Total nutrient inputs from manures and chemical fertilizers varied with regions. The average annual input amounts of N, P₂O₅ and K₂O were 1 933.3, 1 587.2 and 1 799.2 kg/hm², respectively. The N, P₂O₅ and K₂O uptake amounts by crops accounted for only 22%, 7% and 36% of nutrient inputs, resulting in surplus of N 1 503.2 kg/hm², P₂O₅ 1 473.1 kg/hm² and K₂O 1 155.2 kg/hm² in greenhouse system. (2) The contents of organic matter in soils were in medium or low levels, which was related to low soil fertility. Nitrate-N accumulations in 0—2 m soil profile of Yangling, Ansai and Jingbian greenhouses were 1 451.5, 1 647.2 and 498.5 kg/hm², and 37.8%, 36.9% and 37.9% of the accumulated nitrate in the three regions were distributed in 0—60 cm soil layer. More than 60% of nitrate accumulation in 0—2 m soil profile was distributed below 60 cm layer, which was difficult to be absorbed by crops. Soil available P and K contents were at high levels, and 77%—91% and 35%—91% of soil available P and K contents were higher than the critical value (≥ 50 mg/kg P₂O₅ and ≥ 150 mg/kg K₂O). (3) Soil pH was weakly alkaline, which was related to local soil developed from loess parent material with high carbonate content. Soil pH in topsoil was significantly lower than that of the subsoil. The soil electrical conductivity was lower than 600 μ S/cm, which is the critical value influencing growth of vegetables. Electrical conductivity of topsoil was significantly lower than that of the subsoil. (4) Compared with the Lou soil and Loessal soil, the nutrient contents in aeolian sandy soil was relatively low. Therefore, attention should be paid to the effective application of organic manure and chemical fertilizers in this soil in Northern Shaanxi. 【Conclusion】 Excessive fertilization is a problem in sunlight greenhouse systems at different areas of Shaanxi, leading to large surplus of nitrogen, phosphorus and potassium nutrient in soil and causing environmental problem. Decreasing nutrient inputs properly in greenhouse should be the focus of nutrient management at different areas of Shaanxi.

Key words: solar greenhouse; excessive fertilization; nutrient balance; soil nutrient accumulation; environmental risk

自 20 世纪 80 年代以来,我国设施栽培技术发展相当迅速;截至 2010 年底,全国设施蔬菜年种植面积约达 466.7 万 hm²,栽培面积及总产量均居世界首位^[1-2]。设施栽培中的日光温室栽培,由于保温效果好,在我国北方地区设施栽培中占有重要地位,已成为北方不少地区的农业支柱产业。

日光温室栽培属高投入高产出的集约化栽培模式,生产中盲目施肥,特别是过量施肥现象较为普遍^[3-5]。如在日光温室栽培发展较早的山东寿光,每年因蔬菜栽培投入的氮、磷和钾养分分别高达 2 539, 2 183 和 2 202 kg/hm²^[1]。过量施肥导致温室土壤发生诸多障碍问题^[6],包括土壤酸化、盐渍化、养分平衡失调、重金属污染以及蔬菜品质下降等^[7-9],严重制约了这一产业的健康持续发展。因此,有必要研究日光温室栽培下养分的有效管理问题。

陕西是黄土高原夏秋蔬菜主产区之一,近年来,随着黄土高原地区退耕还林还草工程的实施,日光温室栽培成为这一地区农业产业结构调整的主要模式之一。因此,以日光温室为代表的设施栽培在陕西特别是陕北地区发展得相当迅速。目前,陕西已

成为西北地区设施栽培规模最大的省份,截至 2013 年,陕西省设施蔬菜面积达到 16.3 万 hm²,产量 1 525 万 t^[10]。过量施肥问题在这一地区生产中也比较普遍。据周建斌等^[11]对西安市郊区 100 余个温室的施肥调查发现,氮、磷、钾过量施用的比例分别占调查温室的 1/3, 2/3 及 1/4。白新禄等^[12]对陕西杨凌示范区日光温室栽培基地的调查发现,番茄氮、磷、钾平均用量分别超出推荐用量的 20%, 157% 及 91%。已有的关于陕西日光温室栽培体系养分平衡及土壤养分累积特征的研究多集中在陕西关中地区,对陕北地区的研究相对较少。

陕西黄土高原地区温室土壤类型多,其中陕北地区土壤类型以黄绵土、风沙土为主,土壤基础肥力低,合理施肥与作物产量和品质具有密切关系。虽然黄土高原地区土层深厚,但过量施肥也会给当地相对脆弱的生态环境带来压力。因此,有必要研究陕西不同地区日光温室栽培体系中的养分平衡状况及土壤养分累积特征,以评价这一栽培体系土壤养分累积程度以及可能产生的环境影响,实现日光温室可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究范围由南向北,涉及陕西杨凌、延安市安塞县及榆林市靖边县等3个区县,其中杨凌位于黄土高原南部,海拔520 m左右,年平均气温12.9℃,年平均降雨量632 mm,属于半湿润易干旱地区,土壤类型属壤土。安塞县位于黄土高原腹地,平均海拔为1 371.9 m,年平均气温8.8℃,年平均降水量505 mm,属中温带大陆性半干旱季风气候,土壤类型为黄绵土。靖边县位于黄土高原北部,年平均气温7.8℃,年平均降水量395 mm,属于半干旱内陆性季风气候,土壤类型属风沙土。

1.2 土样的采集与分析

1.2.1 田间调查及土样采集 2013年7月和2014年7月连续2年分别在杨凌、安塞及靖边日光温室换茬期采用随机走访方式进行施肥状况调查,调查内容包括温室的栽培年限、栽培作物种类及产量,施用肥料的种类及用量等。

在调查的基础上采集温室土壤样品。连续2年在杨凌、安塞及靖边分别采集土壤样品58,83及52份,共计193份,建棚时间分布在2009—2010、1998—2012和2008—2012年,其中杨凌58份样品均为2 m深度土壤样品;安塞和靖边2 m深度土壤样品分别为18和20份,其余为0~20 cm表层土样。采集2 m深度土壤样品主要用来评价土壤剖面硝态氮累积情况,采样时每个温室随机采集2个点,按每20 cm为一层,相同土层2个点的土样组成一个混合样。耕层土样采集时,采用“S”形五点采样法。

1.2.2 土样的分析 采用玻璃电极法(水土体积质量比为2.5:1)测定土壤pH,采用DDS-307型电导率仪(水土体积质量比为4:1)测定土壤电导率,采用重铬酸钾-外加热法测定土壤有机质含量,采用凯氏法消解-流动分析仪测定土壤全氮含量,采用1 mol/L氯化钾溶液浸提-流动分析仪测定土壤硝态氮含量,采用0.5 mol/L碳酸氢钠溶液浸提-钼锑抗比色法测定土壤速效磷含量,采用1 mol/L醋酸铵浸提-火焰光度计测定土壤速效钾含量。其中土壤硝态氮含量测定0~2 m土层土样,pH、电导率测定0~1 m土层土样,其余指标测定0~20 cm土层土样。

1.3 养分平衡的计算方法

不同地区温室养分收支平衡计算公式为:

表观养分平衡值(即表观养分盈余量)=养分投入量-养分携出量。

(1)养分投入量。主要计算化肥和有机肥总施用量的折纯量。投入的养分总量(N、P₂O₅、K₂O)即用各肥料的施用量乘以其有效养分的含量,其中化肥养分含量按照标示的化学配比计算,有机肥的养分含量参考《中国有机肥料养分志》的参数^[13]进行计算。

(2)养分携出量。养分携出量主要是作物收获后所带走的养分含量。用《肥料使用技术手册》中作物经济产量与养分吸收量的参数^[14]计算。

1.4 数据分析

数据采用SAS 8.0软件进行统计分析,采用LSD法对试验数据进行方差分析,利用Excel 2003软件和SigmaPlot 12.0进行表格及图形处理。

2 结果与分析

2.1 陕西不同区域日光温室栽培中的施肥状况

本研究调查发现,陕西日光温室栽培中有机肥施用种类及用量因地域不同而异。杨凌地区多以当地畜禽养殖场提供的新鲜鸡粪、猪粪为主,其次为牛粪、蚯蚓粪、沼液、沼渣等。而安塞和靖边则以新鲜羊粪为主,辅以牛粪、鸡粪等。杨凌、安塞和靖边年平均有机肥投入量(烘干基)分别为54.0,44.7和21.0 t/hm²。不同地区和相同地区不同农户间有机肥投入量存在很大差异,调查用户中有约1%不施用有机肥,而有些农户有机肥投入量则高达112.5 t/hm²。化肥施用种类多以高浓度复合肥、过磷酸钙、硫酸钾为主,尿素、磷酸二铵次之。并且3个地区农民均表现出充施肥种类繁杂,以量大搏高产的施肥习惯。

由表1可知,杨凌地区化肥投入的氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)量分别占养分总投入量的49.0%,52.1%和66.8%。安塞地区占61.8%,65.6%和59.8%,靖边地区占63.0%,66.2%和60.4%,说明3个地区养分总投入量一半以上来自化肥。杨凌氮、磷、钾养分投入比为1:0.87:1.24,安塞为1:0.80:0.75,靖边为1:0.79:0.75,氮、磷、钾平均投入比为1:0.82:0.93。

2.2 陕西不同区域日光温室的养分平衡状况

由表1可知,3个研究区域氮、磷、钾平均携出量为430.1,114.1和644.0 kg/hm²,且靖边养分携出量明显低于杨凌及安塞。另外,杨凌温室氮、磷、钾的养分携出量仅占养分总投入量的24.9%,7.0%和31.3%,安塞为24.5%,8.1%和48.1%,而靖边为13.7%,5.7%和25.2%,其中,磷养分投入携出比失调最严重,仅占5.7%~8.1%,说明温

室生产中应注意磷肥累积问题。杨凌、安塞和靖边氮、磷、钾养分携出比分别为 $1 : 0.24 : 1.56$, $1 : 0.26 : 1.47$ 和 $1 : 0.33 : 1.38$, 养分平均携出比为

$1 : 0.27 : 1.50$, 对比平均养分投入比例 $1 : 0.82 : 0.93$ 可知, 3 个区域存在磷(P_2O_5)投入比例过重, 钾比例过轻的情况。

表 1 陕西日光温室栽培系统的施肥及养分平衡状况

Table 1 Nutrient budgets of greenhouse system in Shaanxi

kg/hm²

指标 Index		地点(样本量) Site(sample number)			平均值 Average
		杨凌(58) Yangling (58)	安塞(83) Ansai(83)	靖边(52) Jingbian(52)	
有机肥投入量 Input of organic fertilizer	N	1086.1 ± 501.2	915.5 ± 368.5	472.8 ± 169.5	824.8
	P_2O_5	883.5 ± 409.2	657.2 ± 327.2	339.8 ± 123.6	626.8
	K_2O	887.0 ± 403.5	719.7 ± 305.1	380.9 ± 144.2	659.2
化肥投入量 Input of chemical fertilizer	N	1042.5 ± 483.9	1478.7 ± 1686.3	804.2 ± 336.9	1108.5
	P_2O_5	961.4 ± 419.6	1255.7 ± 843.9	664.0 ± 250.6	960.4
	K_2O	1767.2 ± 921.9	1072.0 ± 889.3	580.8 ± 327.9	1140.0
养分总投入量 Input of nutrient	N	2128.6	2394.2	1277.1	1933.3
	P_2O_5	1844.8	1912.9	1003.8	1587.2
	K_2O	2644.2	1791.7	961.7	1799.2
养分携出量 Uptake of nutrient	N	529.9 ± 186.5	585.4 ± 198.6	175.1 ± 51.5	430.1
	P_2O_5	129.9 ± 41.3	154.8 ± 63.7	57.6 ± 19.3	114.1
	K_2O	828.4 ± 310.4	861.7 ± 309.1	241.9 ± 80.3	644.0
表观养分盈余量 Balances	N	1598.7 ± 691.6	1808.8 ± 1709.4	1102.0 ± 438.1	1503.2
	P_2O_5	1715.0 ± 596.0	1758.1 ± 922.5	946.2 ± 336.9	1473.1
	K_2O	1815.8 ± 980.0	930.0 ± 1021.9	719.9 ± 388.7	1155.2

日光温室养分总投入量远远大于养分携出量的施肥特点必将导致大量的养分盈余, 3 个研究区域氮、磷、钾年平均表观养分盈余量高达 1503.2, 1473.1 和 1155.2 kg/hm², 氮、磷、钾平均盈余量分别为养分携出量的 3.5, 12.9 和 1.8 倍。靖边地区养分盈余量虽然低于杨凌和安塞, 但氮、磷、钾盈

余量依然达到养分携出量的 3~16 倍, 说明关中地区和陕北地区温室栽培系统中养分过量投入现象非常普遍。

2.3 陕西不同区域日光温室土壤养分的累积状况

2.3.1 土壤有机质和全氮 3 个研究区域日光温室土壤有机质和全氮含量见图 1。

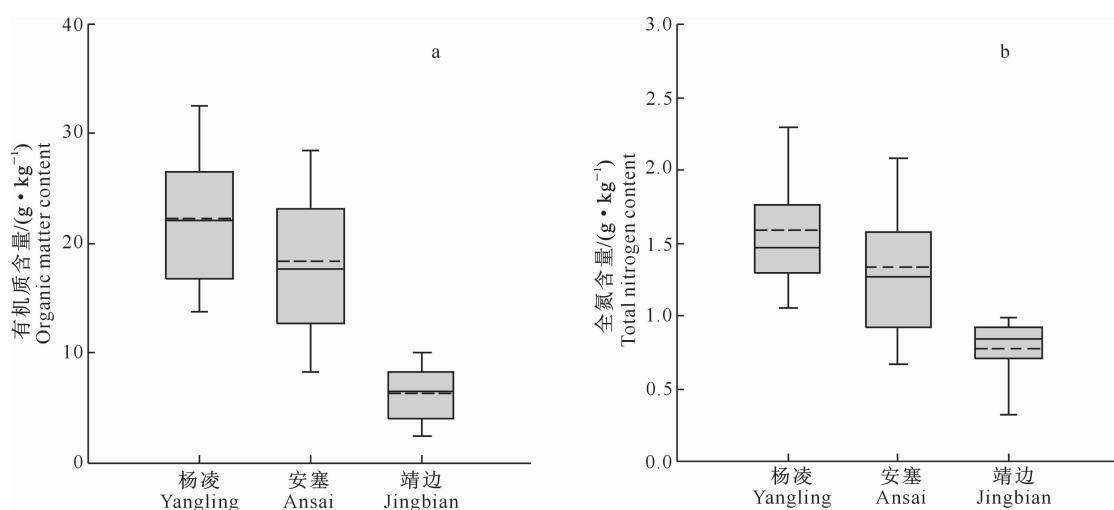


图 1 陕西不同地区日光温室土壤有机质(a)和全氮(b)含量

箱式图内部黑实线表示中位数, 黑虚线表示平均值, 离群值未显示, 图 4 同

Fig. 1 Contents of organic matter (a) and total nitrogen(b) in greenhouse at different regions of Shaanxi

Black solid line indicates the median, black dotted line inside the box plot represents the average value,

outliers from sample are not shown. The same for Fig. 4

研究区域日光温室土壤有机质含量表现为杨凌>安塞>靖边, 分别为 22.21 g/kg ($CV=31\%$),

CV 为变异系数, 下同), 18.42 g/kg ($CV=50\%$), 6.87 g/kg ($CV=56\%$)(图 1-a), 与表 1 中 3 个地区

有机肥投入量变化趋势一致。根据黄绍文等^[15]提出的菜区养分丰缺标准可知, 土壤有机质含量分为极低($< 10 \text{ g/kg}$)、低($\geq 10 \sim < 20 \text{ g/kg}$)、中($\geq 20 \sim < 30 \text{ g/kg}$)、较高($\geq 30 \sim < 40 \text{ g/kg}$)和高($\geq 40 \text{ g/kg}$)5个级别, 由此可知, 杨凌、安塞和靖边土壤有机质含量分别处于中、低和极低水平。其中, 杨凌日光温室土壤有机质含量为 $10.2 \sim 40.7 \text{ g/kg}$, 91%的样本处于中等偏下水平; 安塞土壤有机质含量为 $1.1 \sim 64.0 \text{ g/kg}$, 变异较大, 92%的样本处于中等偏下水平; 靖边地区为风沙土, 有机质含量最低, 为 $1.2 \sim 14.2 \text{ g/kg}$, 全部样本有机质含量均低于临界值。

土壤全氮与土壤有机质含量之间关系紧密, 表现出基本一致的规律, 总体表现为杨凌>安塞>靖边(图 1-b), 分别为 1.59 g/kg ($CV=33\%$), 1.34 g/kg ($CV=56\%$), 0.8 g/kg ($CV=37\%$)。杨凌日光温室土壤全氮含量变幅 $0.6 \sim 3.9 \text{ g/kg}$, 安塞为 $0.2 \sim 5.6 \text{ g/kg}$, 靖边为 $0.1 \sim 1.3 \text{ g/kg}$, 这可能是由于农户间管理水平和施肥习惯不同导致土壤养分变异较大。

2.3.2 土壤硝态氮

由图 2 可知, 研究区域日光温室土壤表层硝态氮含量表现为安塞>杨凌>靖边, 分别为 122.3 mg/kg ($CV=92\%$), 103.7 mg/kg ($CV=103\%$), 24.7 mg/kg ($CV=142\%$), 不同日光温室间表层土壤硝态氮含量变异较大, 并且 3 个地区硝态氮含量在 $0 \sim 60 \text{ cm}$ 土层呈递减趋势, $60 \sim 200 \text{ cm}$ 土层硝态氮含量基本趋于稳定。其中杨凌和安塞 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层硝态氮含量明显高于 20 cm 以下土层, 靖边 $0 \sim 200 \text{ cm}$ 土层土壤硝态氮含量没有显

著性差异。说明日光温室栽培不仅增加了表层土壤硝态氮的累积, 同时也促进了其在土壤剖面的迁移。

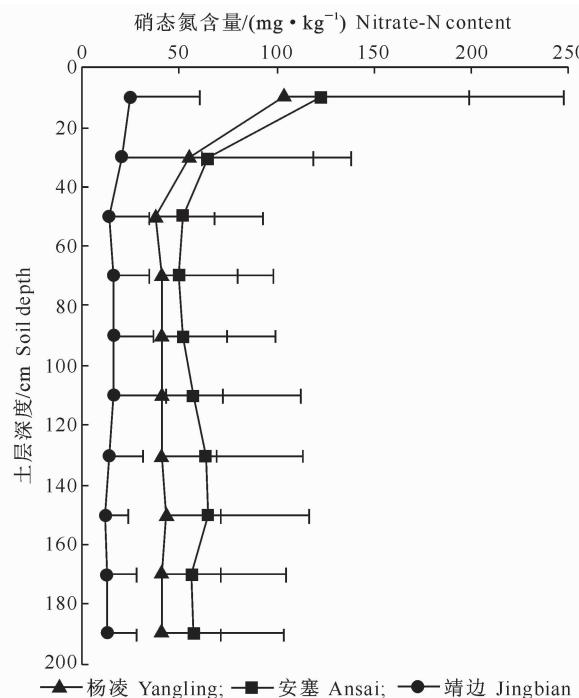


图 2 陕西不同地区日光温室土壤硝态氮在 $0 \sim 200 \text{ cm}$ 土层的分布情况

Fig. 2 Distribution of soil nitrate-N in the $0 \sim 200 \text{ cm}$ profile of greenhouse in Shaanxi

由图 3 可知, 杨凌、安塞和靖边日光温室在 $0 \sim 200 \text{ cm}$ 土层土壤硝态氮累积量分别达到 1451.5 , 1647.2 和 $498.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 其中 $0 \sim 60 \text{ cm}$ 土层硝态氮累积量分别仅占 $0 \sim 200 \text{ cm}$ 硝态氮累积量的 37.8% , 36.9% 和 37.9% , 说明研究区域日光温室 60% 以上的硝态氮累积于 $60 \sim 200 \text{ cm}$ 土层。

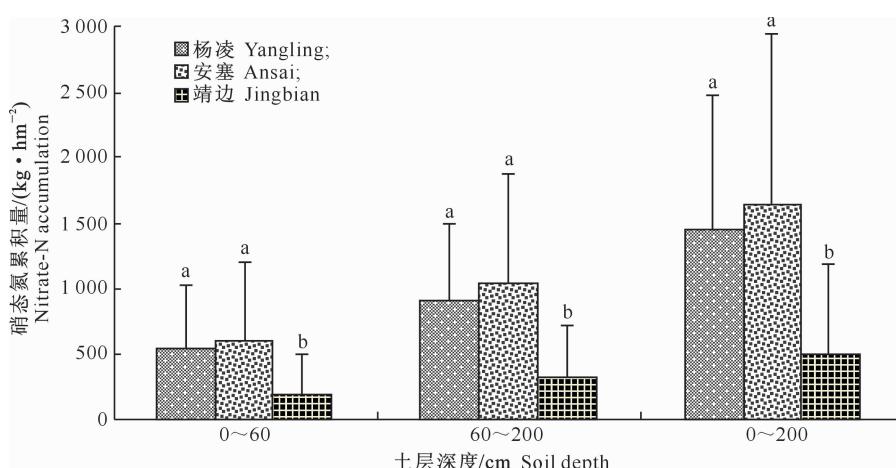


图 3 陕西日光温室不同土层土壤硝态氮的累积状况

图柱上标不同字母表示相同土层不同区域间差异达显著水平($P<0.05$)

Fig. 3 Nitrate-N accumulation at different soil profiles in greenhouse of Shaanxi

Different letters at each soil layer mean significant difference ($P<0.05$)

2.3.3 土壤速效磷和速效钾 由图 4-a 可知,研究区域日光温室土壤速效磷含量表现为杨凌>安塞>靖边,分别为 235.6 mg/kg (CV=53%), 161.6 mg/kg (CV=72%) 和 122.4 mg/kg (CV=94%),根据黄绍文等^[15]提出的养分丰缺标准,土壤速效磷分为极低(<25 mg/kg)、低(≥25~<50 mg/kg)、中(≥50~<100 mg/kg)、较高(≥100~<150 mg/kg)和高(≥150 mg/kg)5 个级别,临界值为 50 mg/kg,可知杨凌、安塞和靖边土壤速效磷含量分别处于高、高和较高水平。其中,杨凌、安塞和靖边土壤速效磷含量变幅分别为 27.0~540.8, 12.3~541.4 和 11.83~644.41 mg/kg, 分别有 91%, 84% 和 77% 的样本土壤速效磷含量高于临界值, 处于适中水平的仅占 3%~33%, 不足总样本的 1/3。

由图 4-b 可知,土壤速效钾含量规律总体表现

为安塞>杨凌>靖边,土壤速效钾含量分别为 336.6 mg/kg (CV=43%)、329.5 mg/kg (CV=79%) 和 158.5 mg/kg (CV=59%)。根据前人标准^[15],土壤速效钾也可分为极低(<100 mg/kg), 低(≥100~<150 mg/kg)、中(≥150~<200 mg/kg)、较高(≥200~<300 mg/kg) 和 高(≥300 mg/kg)5 个级别, 临界值为 150 mg/kg, 则可知杨凌、安塞和靖边土壤速效钾含量分别处于高、高、中等水平。杨凌和安塞土壤速效钾变化范围为 97.27~602.1, 87.91~1 610 mg/kg, 分别有 91%, 83% 的样本土壤速效钾含量高于临界值, 处于适中水平的样本仅占 14% 和 16%。靖边土壤速效钾含量变幅为 55.67~521.19 mg/kg, 有 35% 的样本土壤速效钾含量高于临界值, 说明靖边土壤速效钾累积程度低于杨凌和安塞地区。

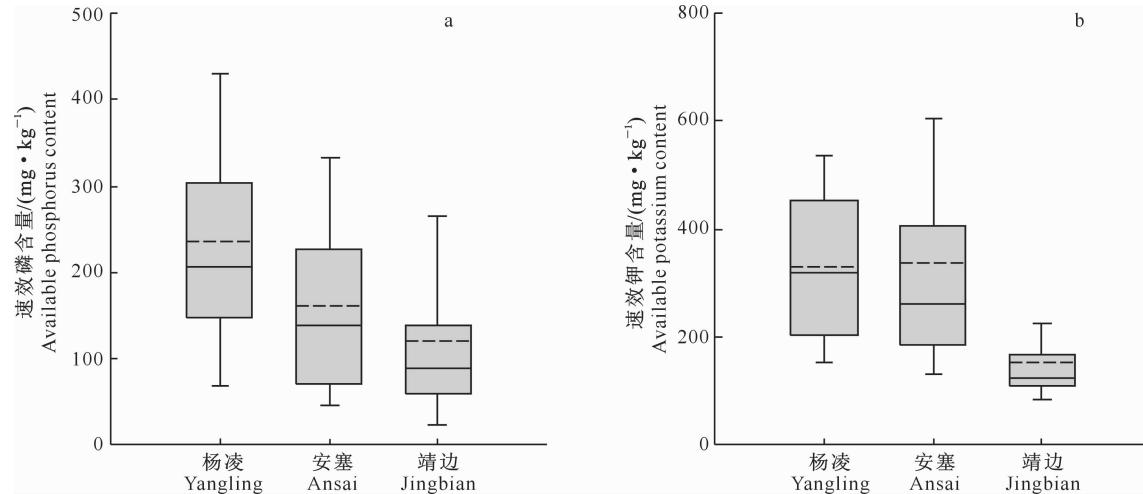


图 4 陕西不同地区日光温室土壤的速效磷(a)、速效钾(b)含量

Fig. 4 Contents of soil available phosphorus (a) and available potassium (b) in greenhouse at different regions of Shaanxi

2.4 陕西不同区域日光温室土壤 pH 和电导率的变化特点

由图 5-a 可知,研究区域日光温室土壤 pH 总体表现为偏碱性,杨凌、安塞和靖边表层土壤(0~20 cm)pH 分别为 7.95, 7.76 和 8.20, 随着土层深度的增加,pH 呈逐渐增大趋势,其中杨凌和安塞表层土壤 pH 明显小于下层土壤。研究地区土壤发育于黄土母质,富含碳酸钙,土壤 pH 本身呈偏碱性,所以多年日光温室栽培土壤 pH 整体依然处在 7.0 以上,但随着日光温室栽培年限的延长,采样日光温室 pH 最低达到 7.03, pH 表现出从偏碱性转化为中性的趋势,土壤存在酸化的潜在威胁。

土壤电导率可以表征土壤水溶性盐总量,用以判定土壤中盐类离子是否为限制作物生长的因素。有研究指出,蔬菜正常生长的 EC 临界值为 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^[15]。本研究发现,杨凌、安塞和靖边温室表层土壤电导率分别为 439.8, 540.2 和 227.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 均处于低盐度水平, 仅对敏感作物生长有障碍, 未超过蔬菜正常生长临界值, 但是有 4%~19% 的土壤样本已经开始出现盐渍化征兆。另外, 随着土层深度增加, 不同地区土壤电导率均有所下降(图 5-b), 说明研究区域日光温室表层土壤盐分富集明显。

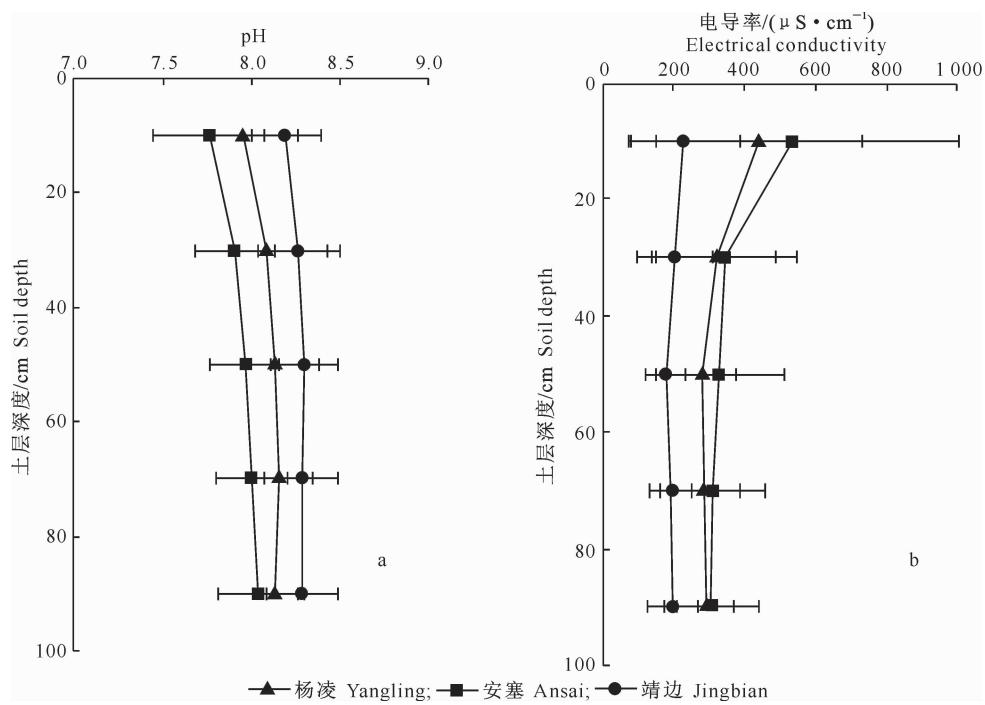


图 5 陕西不同地区日光温室土壤的 pH(a)、电导率(b)水平

Fig. 5 Soil pH (a) and soil electrical conductivity (b) in greenhouse at different regions of Shaanxi

3 讨 论

3.1 日光温室栽培中过量施肥问题突出

本研究结果表明,3个研究区域日光温室年平均氮、磷、钾投入量高达1 933.3,1 587.2和1 799.2 kg/hm²,而氮、磷、钾的携出量仅占养分总投入量的22%,7%和36%,导致温室土壤氮、磷、钾的表观盈余量分别为1 503.2,1 473.1和1 155.2 kg/hm²,养分收支严重失衡。白新禄等^[12]在杨凌的研究也发现,新建日光温室氮、磷、钾投入量分别为1 485,1 380和1 359 kg/hm²,这与本研究结果相近,说明陕西地区日光温室栽培中过量施肥问题严重。我国其他地区温室栽培中也有类似问题,如余海英等^[1]对山东寿光日光温室的研究表明,温室栽培年平均氮、磷、钾投入量分别为4 088,3 656,3 438 kg/hm²,养分理论盈余量为3 214,3 401和2 322 kg/hm²,其养分投入量是本研究的2倍左右,这可能与山东寿光温室栽培集约化程度更高有关。可见过量施肥是我国日光温室栽培中普遍存在的问题,造成大量的养分盈余,这不仅造成宝贵的养分资源的浪费,还提高了生产成本,同时带来环境污染问题。

从养分投入比例看,蔬菜作物生长N:P₂O₅:K₂O的吸收比例一般为1:0.3~0.5:1.0~

1.6^[16],吸收的钾多磷少。本研究调查结果显示,研究地区蔬菜氮、磷、钾投入比为1:0.82:0.93。黄化刚等^[17]在山东的研究显示,温室系统氮磷钾投入比例为1:0.89:0.84。与蔬菜实际所需氮磷钾相比,实际温室栽培中施肥时均存在磷投入比例过高的问题,本研究中土壤速效磷的测定结果也验证了这一判断;研究区钾的投入比例似乎偏低,但从土壤速效钾的测定结果看,研究区域日光温室土壤速效钾整体处在中高水平,这可能与研究地区土壤发育于黄土母质,土壤钾素含量丰富有关。

虽然本研究中不同地区日光温室均存在过量施肥问题,但不同地区日光温室过量施肥的状况存在差异。与杨凌及安塞日光温室相比,靖边日光温室养分投入量低,这与该地区日光温室主要种植果树,且果树多未达盛果期有关。与安塞日光温室相比,杨凌日光温室钾素投入量明显偏高,这与菜农施用的化肥中钾肥比例较高有关。

3.2 日光温室土壤养分过量累积问题普遍

从本研究测定结果看,研究地区土壤有机质含量整体处在中低水平,其中以靖边风沙土有机质含量最低,这一特征与该研究区有机肥的大量投入不成比例,除受当地土壤类型影响外,可能也与当地农户施用有机肥种类多为猪粪、鸡粪等,纤维素含量较低,对土壤有机质含量贡献较小,加上日光温室系统

高温高湿条件下有机质易矿化难累积有关。由于菜地土壤有机质含量与其肥力状况具有紧密关系,因此,生产中仍应大力提倡有机肥的施用。

硝态氮是作物直接吸收利用的主要形式,不易被土壤胶体吸附,通过灌溉水发生淋溶后会进入地下水。硝态氮在土壤中的大量累积,会增加种植蔬菜中的硝酸盐含量,给人体健康造成危害。本研究结果表明,杨凌及安塞地区日光温室 0~2 m 土层硝态氮累积严重,平均累积量在 1 549 kg/hm²,与周建斌等^[4]在西安和杨凌地区得到的研究结果类似。从累积的硝态氮在土壤剖面的分布看,60~200 cm 土层硝态氮累积量占 0~200 cm 土层硝态氮累积量的 60%以上。由于蔬菜作物根系较浅,主要集中在 0~60 cm 土层,硝态氮淋溶到 60 cm 以下土层便很难再被作物吸收利用。因此,淋溶的硝态氮不仅造成养分资源浪费,并对环境造成一定危害,尤其对地下水污染产生严重威胁。

本研究同时发现,杨凌及安塞土壤速效磷及速效钾含量高,测定日光温室有 84%~91% 的样本土壤速效磷处于中高水平,有 83%~91% 的样本土壤速效钾含量高于临界值。但土壤磷累积会影响其他元素特别是微量元素的吸收^[18],在地下水位较浅或者砂质土壤地区还可能会加剧水体的富营养化风险。钾离子含量过高则会减少土壤对铵离子的固定,增加铵离子的有效性,加大氮素挥发和淋溶损失的风险^[19]。在半封闭的日光温室系统,过量施用的磷钾肥主要通过影响其他养分吸收效率而间接产生环境效应。因此,杨凌及安塞温室生产中应适当降低磷钾肥的施用量。值得注意的是,靖边风沙土速效磷、钾含量均相对较低,生产中应注意磷钾肥的施用。

日光温室栽培为半封闭系统,施肥量又普遍较高,因此,土壤盐渍化及酸化是土壤退化的常见问题^[16,20]。从本研究结果看,虽然研究区表层土壤 pH 与下层土壤相比有酸化的趋势,但仍属偏碱的范围,这与黄土属石灰性土壤,缓冲能力较强有关。另外,虽然研究区域土壤电导率未超过蔬菜正常生长的 EC 临界值,但表层土壤电导率显著高于下层土壤,随着日光温室栽培年限的延长,土壤盐渍化问题也应给予关注。

由于缺乏针对性的研究地区日光温室的养分丰缺指标,本研究采用有关专家提出的全国菜区的分级标准对测定温室土壤养分供应状况进行了评价,但土壤养分丰缺指标会因地区、土壤质地和作物种

类不同而异。因此,有必要在研究地区开展日光温室土壤养分丰缺指标的研究,以更加准确地评价研究地区温室土壤养分的供应状况。

3.3 陕西日光温室区域养分管理对策

综合本研究中陕西不同地区日光温室的施肥状况调查、养分累积状况及土壤养分测定结果,可知研究地区日光温室生产中过量施肥问题相当普遍。因此,适当控制日光温室养分投入应是陕西不同地区日光温室养分管理的重点。高佳佳等^[21]在杨凌进行的田间试验表明,与农户常规施肥相比,将日光温室番茄氮、磷、钾肥用量分别减少了 9%~40%,26%~46% 和 18%~47%,对番茄果实产量无明显影响,但明显降低了土壤养分累积量。陕北地区由于土壤类型及种植作物种类等不同,减量施肥的具体方案需要进一步研究。

与杨凌相比,位于陕北安塞和靖边的日光温室土壤为黄绵土及风沙土,质地相对较粗。因此,施肥时应重视有机肥的有效施用;同时,施用化肥特别是氮、钾肥时,应采取少量多次的施肥方式。

4 结 论

从养分平衡现状看,陕西日光温室生产中养分总投入量显著高于养分携出量,说明过量施肥现象普遍;过量施肥导致土壤有效养分含量多处在高及较高水平,由此带来的环境风险值得关注。与壤土及黄绵土相比,风沙土养分含量相对较低,日光温室生产中应注意有机肥及化肥的有效施用。

[参考文献]

- [1] 余海英,李廷轩,张锡洲. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征 [J]. 中国农业科学,2010,43(3):514-522.
Yu H Y,Li T X,Zhang X Z. Nutrient budget and soil nutrient status in greenhouse system [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010,43(3):514-522.
- [2] 喻景权.“十一五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望 [J]. 中国蔬菜,2011(2):11-23.
Yu J Q. Progress in protected vegetable production and research during ‘The Eleventh Five-year Plan’ in China [J]. China Vegetables, 2011(2):11-23.
- [3] 周博,陈竹君,周建斌. 水肥调控对日光温室番茄产量品质及土壤养分含量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):58-59.
Zhou B,Chen Z J,Zhou J B. Effect of different fertilizer and water managements on the yield and quality of tomatoes and nutrient accumulations in soil cultivated in sunlight greenhouse [J]. Jour of Northwest A&F Univ(Natural Science Edition), 2006,34(4):58-59.

- [4] 周建斌,陈竹君,唐莉莉. 日光温室土壤剖面矿质态氮的含量累积及其分布特性 [J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(5):675-680.
- Zhou J B,Chen Z J,Tang L L. Mineral nitrogen content and accumulation in soil profiles under sunlight greenhouse cultivation [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2006,12(5):675-680.
- [5] 陈竹君,王益权,周建斌. 日光温室栽培对土壤养分累积及交换性养分含量和比例的影响 [J]. 水土保持学报,2007,21(1):39-43.
- Chen Z J,Wang Y Q,Zhou J B. Nutrient accumulations and changes of exchangeable cation ions in soils under sunlight greenhouse vegetable cultivation [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2007,21(1):39-43.
- [6] 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.
- Li D P,Wu Z J,Liang C H,et al. Characteristics and regulation of greenhouse soil environment [J]. Chinese Journal of Ecology,2004,23(5):192-197.
- [7] 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.
- Tang L L,Chen Z J,Zhou J B. Characteristics of soil nutrient accumulations under solar greenhouse cultivation condition [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2006,24(2):70-74.
- [8] 黄治平,徐斌,张克强,等. 连续四年施用规模化猪场猪粪温室内土壤重金属积累研究 [J]. 农业工程学报,2007,23(11):239-244.
- Huang Z P,Xu B,Zhang K Q,et al. Accumulation of heavy metals in the four years' continual swine manure-applied greenhouse soils [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2007,23(11):239-244.
- [9] 高吉江,白晓玲,周斌,等. 新建太阳能温室土壤养分含量及养分平衡 [J]. Nutr Cycl Agroecosyst,2012,94:63-72.
- Gao J J,Bai X L,Zhou B,et al. Soil nutrient content and nutrient balances in newly-built solar greenhouses in northern China [J]. Nutr Cycl Agroecosyst,2012,94:63-72.
- [10] 张仁华. 陕西年鉴:2013 [M]. 西安:陕西年鉴社,2013:130.
- Zhang R H. Shaanxi yearbook: 2013 [M]. Xi'an: Shaanxi Yearbook Press,2013:130.
- [11] 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.
- Zhou J B,Zhai B N,Chen Z J,et al. Fertilizers application and nutrient accumulations in tomato-grown soils under greenhouse condition in suburban of Xi'an city [J]. Chinese Journal of Soil Science,2006,37(2):287-290.
- [12] 白新禄,高佳佳,雷金繁,等. 杨凌新建日光温室番茄施肥现状调查与分析 [J]. 西北农业学报,2013,22(2):148-151.
- Bai X L,Gao J J,Lei J F,et al. Survey of fertilizer application of tomato in new-established greenhouse in Yangling [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2013,22(2):148-151.
- [13] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志 [M]. 北京:中国农业出版社,1999:6,20,22,59.
- Station for Popularizing Agricultural Techniques. Chinese nutrient records of the organic fertilizer [M]. Beijing: China Agriculture Press,1999:6,20,22,59.
- [14] 马国瑞. 肥料使用技术手册 [M]. 北京:中国农业出版社,2012;7-9.
- Ma G R. Fertilizer use technology handbook [M]. Beijing: China Agriculture Press,2012;7-9.
- [15] 黄绍文,王玉军,金继运,等. 我国主要菜区土壤盐分酸碱度和肥力状况 [J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):906-918.
- Huang S W,Wang Y J,Jin J Y,et al. Status of salinity,pH and nutrients in soils main vegetable production regions in China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2011,17(4):906-918.
- [16] Ju X T,Kou C L,Christie P,et al. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China [J]. Environ Poll,2007,145:497-506.
- [17] 黄化刚,张锡洲,李廷轩,等. 典型设施栽培地区养分平衡及其环境风险 [J]. 农业环境科学学报,2007,26(2):676-682.
- Huang H G,Zhang X Z,Li T X,et al. Nutrient balance and its environmental risks in typical greenhouse system [J]. Journal of Agro-Environment Science,2007,26(2):676-682.
- [18] 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 protected vegetable crop cultivation and their potential environmental impacts [J]. J of Agro-Environment Science,2004,23(2):332-335.
- [19] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥 [M]. 北京:化学工业出版社,1998.
- Lu R K. Soil-plant nutrition principle and fertilizer [M]. Beijing: Chemical Industry Press,1998.
- [20] 曾路生,高岩,李俊良. 寿光大棚菜地酸化与土壤养分变化关系研究 [J]. 水土保持学报,2010,24(4):157-161.
- Zeng L S,Gao Y,Li J L. Changes of acidification and nutrient accumulation in greenhouse vegetable soils in Shouguang [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2010,24(4):157-161.
- [21] 高佳佳,雷金繁,陈竹君,等. 施肥对新建日光温室番茄产量及土壤养分含量的影响 [J]. 干旱地区农业研究,2012,30(1):19-24.
- Gao J J,Lei J F,Chen Z J,et al. Effects of fertilization on the yield of tomato and soil nutrient contents in newly-built sunlight greenhouse [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2012,30(1):19-24.