

白银市日光温室土壤养分累积特征及重金属污染现状评价

章圣强¹, 郭瑞英¹, 曹靖¹, 南忠仁², 刘文婷¹

(1.兰州大学生命科学院干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000; 2.兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要:以甘肃省白银市的日光温室土壤为研究对象,调查分析了土壤剖面养分累积状况和土壤电导率、pH 值的变化;对土壤重金属 Cd、As、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Ni 含量进行了测定,采用单项质量指数与综合质量指数相结合的方法对土壤重金属的环境质量状况进行了评价。结果表明,日光温室土壤有机质、硝态氮、速效磷和速效钾含量显著高于农田土壤,其中速效磷在 0~40 cm 土层和速效钾在 0~60 cm 土层累积尤为明显。温室栽培条件下土壤电导率高于农田土壤,雒家滩温室土壤表层 EC 值为 $0.94 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$,超过蔬菜的生育障碍临界点 ($EC > 0.50 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)。大部分温室土壤 Cd 含量超过国家土壤环境质量三级标准,其中雒家滩温室土壤 Pb、Zn、Cd、As 含量超过温室蔬菜地土壤环境质量评价标准(HJ 333—2006)限量值。根据各重金属的单项与综合质量指数,靖远日光温室土壤环境质量为 2 级,属于尚清洁水平,而雒家滩和重坪日光温室土壤环境质量为 3 级,属于超标水平,不适宜发展无公害蔬菜。

关键词:日光温室;土壤养分累积;重金属;白银市

中图分类号:X825 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)04-0711-06

Characteristic of Nutrient Accumulation and Heavy Metal Pollution Assessment in Greenhouse Soils in Baiyin City

ZHANG Sheng-qiang¹, GUO Rui-ying¹, CAO Jing¹, NAN Zhong-ren², LIU Wen-ting¹

(1.School of Life Science, Ministry of Education Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou 730000, China; 2.Ministry of Education Key Laboratory of Western China's Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: A survey was made to investigate on soils for greenhouse vegetable production in Baiyin region, Gansu to characterize nutrient accumulations in soil profile, electrical conductivity (EC) and pH values. The contents of heavy metals such as Cd, As, Pb, Cr, Cu, Zn and Ni in soil were determined and further assessed using methods combining single quality index and comprehensive quality index. The results showed that contents of soil organic matter, nitrate-N, available P, available K in greenhouse soils were significantly higher than those in open field soils. An increased available P and K concentrations in layers of 0~40 cm in greenhouse soils were noted. Soil EC was higher in greenhouse culture than in open field. Soil collected in Luojiatan had the EC value of $0.94 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, exceeding the threshold value of vegetable growth ($0.5 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$). The soil Cd concentration in soils collected from most of greenhouses exceeded the third-class threshold set in the National Soil Environmental Quality Standard GB 15618—1995. The concentrations of Pb, Zn, Cd, As in soils collected from Luojiatan exceeded the standard threshold set for greenhouse vegetable production HJ 333—2006. According to the single quality index and comprehensive quality index of soil heavy metals, the Jingyuan soil belonged to the second class, and was considered to be clean. By contrast, the soils collected from Luojiatan and Chongpin belonged to the third class, exceeding the threshold, and was considered to be not suitable for the cultivation of pollution free vegetables.

Keywords: greenhouse vegetable; soil nutrient accumulation; heavy metal; Baiyin City

我国是世界最大的蔬菜生产国和消费国。上世纪 90 年代日光温室的开始应用,实现了反季节蔬菜的

供应,改善了城乡居民的生活水平。甘肃省处于西北干旱与半干旱地区,其设施蔬菜发展与全国同步。近几年来,受节水高效政策导向和新农村建设的带动,甘肃省蔬菜生产保持了持续快速发展的良好势头,成为甘肃农村的一项主要支柱产业,也是农民增收、农业增效的重要途径。然而,设施栽培条件下,由于温室、大棚等设施内部具有气温高、湿度大、水分蒸发量

收稿日期:2009-10-24

基金项目:国家自然科学基金项目(40671167,40801110);教育部高等学校骨干教师资助项目;兰州大学学生创新创业行动项目

作者简介:章圣强(1985—),女,江西南昌人,主要从事农业生态环境方面研究。E-mail:zhangshq2007@lzu.cn

通讯作者:曹靖 E-mail:caojing@lzu.edu.cn

大不同于露地栽培的固有特点,加之菜农对设施环境特性缺乏系统了解,在生产过程中盲目追求高产而过量施用化肥,导致菜田土壤盐渍化程度加重^[1]、土壤养分比例严重失调^[2],这不仅造成了资源的浪费,影响蔬菜品质,而且随着种植年限的延长,对土壤、水体和大气等生态环境构成了潜在威胁。此外,大量有机肥以及含重金属的农药、低品位化肥的施用,将导致温室土壤中某些重金属如 Pb、Hg、Cd、As 等元素超标^[3]。由于过量施肥等不合理管理所造成的设施蔬菜温室土壤质量和环境退化在我国已成为一个普遍的问题,严重影响耕地质量和食品安全。

白银市位于甘肃五大蔬菜产区之一的沿黄灌区,灌溉条件好,设施蔬菜发展较早,农户经营技术也比较高。白银市日光温室蔬菜种植面积已由 1992 年的 12.3 hm²,增加到 2008 年的 5 613.33 hm²。由于菜农片面追求当年产量,普遍存在盲目过量施肥的情况,这种掠夺的经营方式对菜田土壤养分状况和环境质量的影响如何并未见报道。本研究以地处沿黄灌区的白银市日光温室土壤为对象,旨在揭示沿黄灌区日光温室蔬菜施肥及一系列生产措施对土壤养分累积的影响以及可能带来的环境效应,并评价重金属污染特征和程度,以为设施大棚蔬菜的土壤养分管理和可持续生产提供科学参考依据。

1 样地自然概况和研究方法

1.1 研究地区概况

白银市位于甘肃省中部,地理位置为 103°54′24″~104°24′55″E,36°14′~36°47′29″N,海拔为 1 400~2 100 m,属陇中黄土高原丘陵区,光照充足,干旱多风,降雨稀少。年均气温 8.9℃,年均降水量少,为 202.2 mm,年蒸发量 1 997.1 mm,年均无霜期 183.8 d。土壤类型主要为灰钙土,易于耕作。

1.2 样品采集

供试土壤样品于 2008 年 7 月上旬(作物收获后土地翻耕前)采自白银市重坪示范园区、王岷镇的雒家滩和靖远县的三合村、大坝村和中堡村。重坪蔬菜示范园区建棚时间为 1993—2000 年,种植蔬菜种类主要为茄子,雒家滩建棚时间为 2005 年,种植蔬菜种类主要为黄瓜,靖远县建棚时间为 1999 年,种植蔬菜种类主要为辣椒和黄瓜。在重坪、靖远温室邻近选取玉米地为对照分别标记为 CK1、CK2。雒家滩位于白银市郊区,过去是山地,2005 年推山改建日光温室种植蔬菜。每个大棚土壤样品按 0~20 cm、20~40 cm、

40~60 cm 分层取样,根据“S”型布点采集 6~8 个点,组成一个混合样,装入自封袋中,带回实验室。部分土样放入冰箱在 0~4℃下保存用于测定土壤 NO₃-N,其余土壤风干后研磨过筛保存,用于测定速效磷、速效钾、有机质、pH 值、电导率及重金属含量。在采集样品的同时走访农户,对施肥、灌溉和种植模式等情况进行问卷调查。

1.3 测定项目及方法

土壤 pH 采用电位法(水土比 5:1);电导率测定采用 DDS-307A 型电导率仪测定,水土比为 5:1;土壤有机质测定采用重铬酸钾滴定法;土壤硝态氮测定采用蒸馏水提取,酚二磺酸比色法;速效磷测定采用 Olsen 法;速效钾采用 1 mol·L⁻¹ NH₄OAc 浸提火焰光度法测定;Cu、Cr、Ni、Zn 采用火焰原子吸收分光光度法;Cd、Pb 采用石墨炉原子吸收分光光度法;As 采用二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法测定。

数据分析采用 Excel 2003。

1.4 土壤重金属环境质量评价方法

采用国家环境保护总局颁布的《温室蔬菜产地环境质量评价标准》(HJ 333—2006)推荐的评价方法与相关标准进行评价^[4]。

单项质量指数=单项实测值/单项标准值

各环境要素综合质量指数=

$$\sqrt{\frac{(\text{平均单项质量指数})^2 + (\text{最大单项质量指数})^2}{2}}$$

2 结果与分析

2.1 菜田土壤 pH 值和 EC 的变化

图 1 表明,雒家滩、重坪、靖远县表层土壤 pH 值分别为 7.79、7.87、8.21,呈碱性。温室土壤 pH 值低于农田土壤,表层土壤 pH 值低于亚表层。农田土壤 0~60 cm 各土层间 pH 几乎没有变化,而日光温室土壤

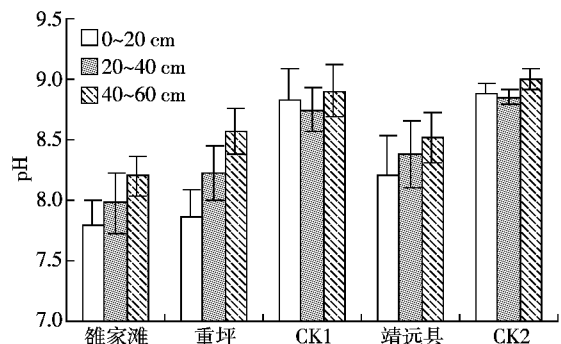


图 1 土壤 pH 变化

Figure 1 Change of soil pH

耕作层(表层)pH 值明显低于下层(20~60 cm)土壤。焦坤等^[5]认为,大量酸性肥料(如硝铵、碳铵)的施用可能是导致土壤变酸、pH 降低的主要原因;过多的氮肥投入,把土壤吸附的 Ca^{2+} 代换到土壤溶液中而随水流失,也会造成 pH 下降^[6]。由于白银市土壤类型属于灰钙土,土壤富含 CaCO_3 ,温室土壤 pH 值在 8.0 左右,不存在土壤酸化的危害问题。土壤 pH 值适当降低,一方面提高了土壤中 P、Fe、Mn、Zn 等营养元素的有效性,另一方面增加了土壤重金属元素的溶解性,在重金属元素含量较高的环境中,将加大重金属向生物体内迁移的数量。

土壤电导率反映了土壤盐分的累积状况。由图 2 可以看出,温室土壤 EC 值均高于农田土壤,主要原因一是大量化肥的施用,远远超过了蔬菜作物的吸肥量,化肥的副成分残留及转化物造成可溶性盐分含量

增加^[1]。郭文忠等^[7]研究表明,羊粪和鸡粪的 EC 值分别为 $10.44 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 和 $6.37 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。据此,连续多年大量施用农家肥势必会引起日光温室土壤盐分的积累。二是大棚内温度过高,土壤水分蒸发比露地强烈,土壤盐分随水分自下而上运动逐渐向土表聚集,使盐分含量增加^[8]。雒家滩表层土壤 EC 值达 $0.94 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$,远远高于重坪和靖远县。其主要原因可能是雒家滩位于白银市郊区,一方面该黄河段距离污染源较近,污染较严重,据测定黄河白银段水中 Cd、Pb、Cr、亚硝酸盐、硝酸盐的含量比较高^[9];另一方面从该地点硝态氮和速效钾测定结果表明(表 1),雒家滩施用的氮肥和钾肥量较高,说明过量施用化肥特别是氮肥是引起土壤盐分累积的主要原因,这一结果与周建斌等^[10]研究相一致。

2.2 菜田土壤养分状况

表 1 表明,不同地点间土壤有机质含量存在明显差异,重坪样地各层土壤有机质含量最高,0~20 cm 土层平均为 $48.55 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是雒家滩和靖远县,分别为 $23.56 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $19.25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。温室中各层土壤有机质含量均显著高于露地农田土壤,日光温室土壤有机质含量较高的原因主要是有机肥的大量施入,造成在土壤中不断累积。根据走访调查结果,雒家滩和重坪农家肥主要施用羊粪,每年施用 $1.56\times 10^4\sim 1.92\times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,靖远县主要施用鸡粪,每年约施用 $2.36\times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。按菜田有机质评级标准衡量^[11],重坪日光温室土壤有机质含量属于过高水平,雒家

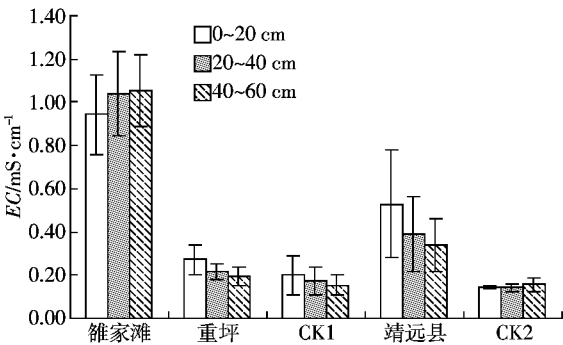


图 2 土壤电导率变化
Figure 2 Change of soil Electric conductivity

表 1 日光温室及露地土壤养分含量

Table 1 Nutrient contents in greenhouses soil and open fields

样地	样本数	种植年限/a	土层/cm	有机质/g·kg ⁻¹	硝态氮/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹
雒家滩	8	3	0~20	23.56±4.80	76.53±29.20	123.77±34.87	778.63±260.42
			20~40	18.36±6.60	57.36±33.35	64.21±27.62	740.13±199.17
			40~60	11.36±6.25	52.37±33.94	18.22±8.21	698.59±198.74
重坪	10	8~15	0~20	48.55±12.97	50.02±26.14	236.31±65.53	520.45±143.12
			20~40	27.24±10.22	29.46±16.49	180.14±54.84	443.87±83.53
			40~60	15.55±7.58	21.35±13.72	136.33±63.82	387.71±77.33
CK1	3	10~12	0~20	9.60±1.89	23.25±3.89	16.33±5.25	181.10±16.69
			20~40	4.83±1.14	14.00±3.54	6.92±2.25	151.55±32.88
			40~60	3.66±1.10	10.25±4.60	2.62±2.56	108.30±33.66
靖远	16	9	0~20	19.25±9.15	162.38±150.90	144.74±51.79	548.42±223.78
			20~40	14.52±8.55	70.76±57.06	103.84±50.77	448.40±181.17
			40~60	10.38±6.43	54.44±36.92	57.32±39.82	330.12±137.08
CK2	3	9~10	0~20	11.57±4.50	5.25±1.06	12.22±2.63	146.00±45.68
			20~40	6.77±2.00	3.25±1.06	6.40±3.43	129.00±24.32
			40~60	5.03±1.35	4.25±0.35	1.45±1.41	121.15±2.90

注:表中数据为平均值±标准差。

滩处于高和适宜范围,靖远县处于适宜和缺乏之间,这可能与菜农施用农家肥的种类有关,靖远施用的主要是鸡粪,研究表明鸡粪在土壤中分解较快,不利于有机质在土壤中积累^[2]。

与农田土壤相比,土壤剖面各层硝态氮含量显著增加(表1),表明温室栽培条件下,由于大量施用氮肥,硝态氮在土壤中出现明显的积累,并受长期频繁灌水的影响,已逐渐淋洗到下层土壤,如靖远县40~60 cm 土层的硝态氮含量平均值达 $54.44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤中大量硝酸盐积累,容易引起盐渍化,降低蔬菜品质,而且土壤硝酸盐的淋洗会造成地下水污染^[12-13]。雒家滩、重坪、靖远县日光温室表层土壤中硝态氮含量表现为靖远日光温室>雒家滩>重坪,分别为 162.38 、 76.53 、 $50.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。调查表明这主要取决于不同地点的农民经济条件、施肥观念和技术水平;另一方面,靖远县施用的有机肥主要是鸡粪,根据郭新勇等^[14]对甘肃有机肥的调查结果表明,鸡粪中氮含量是羊粪的2倍。

各采样点土壤速效磷含量差异较大,一般随着土层深度的增加逐渐降低。日光温室各层土壤速效磷含量均明显高于露地农田土壤,0~20 cm 土层的大约是农田的2~6倍;雒家滩、重坪、靖远县表层土壤速效磷含量分别为 123.77 、 236.31 、 $144.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,远远超出鲁如坤^[15]提出的蔬菜需磷量一般在 $60 \sim 90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的标准,尤其是重坪日光温室40~60 cm 土层速效磷高达 $136.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,说明磷素随灌水向下迁移较明显。通常磷肥在石灰性土壤中容易固定,迁移速度缓慢,但在磷肥过量施用,加之有机肥和腐植酸肥的共同作用,使土壤pH值下降(图1),导致设施土壤磷素有效化程度比露地高;受长期大量灌水的影响,表层土壤磷素不断向下迁移而在深层土壤累积^[1]。试验结果显示,重坪蔬菜地土壤存在磷素向下淋失的趋势,长期作业可能对环境造成潜在威胁。尽管磷素在土壤中移动性很小,但在施肥量远远超过土壤最大吸附量时(具体数据根据不同性质土壤和环境条件来定),磷素也会发生类似 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的下移现象。Heckrath 等^[16]对英国不同质地的土壤研究表明,磷素淋溶的“阈值”从 $11 \sim 119 \text{ P mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 变化不等,如粘土中速效磷含量高于 $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,磷素淋失量会急剧增加,从而污染地下水。因此,在实际生产中,应考虑磷肥的经济效益及其对生态环境造成的潜在威胁,根据作物对养分的需求规律,推广科学的施肥技术。

研究表明,钾不仅能提高蔬菜的产量,而且能有

效改善蔬菜的品质^[17]。因此,近年来钾肥的施用越来越受到人们的重视。表1结果显示,温室土壤剖面速效钾含量显著高于农田土壤,且明显高于国内学者对农田土壤提出的 $150 \sim 250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 适宜水平范围,当土壤速效钾含量大于 $350 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时为过量^[15]。从测定结果看,温室表层土壤中的速效钾含量几乎都大于 $350 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,只有个别日光温室因种植年限较短,未超过 $350 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,说明该研究区域土壤钾素供应水平普遍过量,这与菜农重视钾肥的施用密切相关。该区域日光温室蔬菜栽培,一方面要考虑黄土母质本身钾素含量丰富,另一方面要根据不同蔬菜类型对钾素需求量而合理施肥,避免因盲目施用造成钾肥资源浪费和生产成本增加。

2.3 土壤重金属含量及污染评价

表2表明,雒家滩、重坪、靖远县日光温室表层土壤中Cd的平均含量分别为 8.39 、 1.14 、 $0.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别超过温室蔬菜地土壤环境质量限值的19.98倍、1.85倍、0.35倍;雒家滩日光温室土壤Zn、As、Pb平均含量已超过温室蔬菜地土壤环境质量限值,重坪和靖远县的未超过。雒家滩蔬菜基地重金属Cd、Zn、As、Pb含量高,可能原因是雒家滩位于白银市郊区,靠近有色金属冶炼与加工工业基地,在雒家滩东面有大面积的矿渣堆积物,有可能造成了附近土壤重金属污染;另一方面,白银市工业废水和生活污水经东、西大沟未经处理排入黄河,污染程度较严重,长期引灌黄河水也是造成土壤重金属累积的原因之一。调查地点的Cu、Cr、Ni的平均含量高于甘肃土壤背景值,但并未超过温室蔬菜地土壤环境质量限值。可见,本文测定的7种重金属Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni和As在研究区中已有不同程度的累积,其中Cd在土壤中积累量最大,如雒家滩温室土壤Cd含量最大值是国家土壤环境质量三级标准的22倍。刘苹等^[3]对山东寿光日光温室重金属调查研究认为,土壤重金属可能来源于施用的化肥、畜禽粪便等有机肥。有研究表明^[18],鸡粪中的As可能是设施菜地土壤As累积的重要来源,有机肥是蔬菜温室土壤Zn累积的重要来源^[19]。据西方学者估计,人类活动对土壤Cd的贡献中,磷肥占54%~58%^[20]。根据走访调查结果显示,大多数农户都使用当地生产的廉价且品位较低的磷肥和附近养殖场的畜禽粪便有机肥。靖远县距离白银区较远,受工业污染程度较轻,其重金属主要来源可能是化肥、各种来源的有机肥和农药的输入。

以温室蔬菜产地土壤环境质量为评价标准,结果

表 2 白银市日光温室表层土壤重金属含量(mg·kg⁻¹)

Table 2 Heavy metal contents in topsoil of greenhouse vegetable production in Baiyin region(mg·kg ⁻¹)		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	As
采样点	平均值							
	最大值							
	最小值							
	标准差							
	C.V(%)							
雒家滩	平均值	58.59	149.13	380.04	8.39	70.00	33.26	25.49
	最大值	80.00	270.50	749.10	22.04	74.4	35	29.80
	最小值	44.30	79.30	165.90	2.33	67.3	31.90	22.90
	标准差	10.72	64.79	216.49	6.30	2.12	1.07	2.49
	C.V(%)	18.30	43.44	56.97	75.10	3.03	3.22	9.76
重坪	平均值	36.52	34.33	109.98	1.14	73.76	36.43	18.41
	最大值	52.90	51.50	137.4	1.640	76.40	61.80	21.10
	最小值	29.60	27.70	95.60	0.63	70.00	30.90	17.30
	标准差	7.04	6.41	11.93	0.39	2.04	8.99	1.23
	C.V(%)	19.27	18.67	10.85	33.89	2.76	24.67	6.69
靖远县	平均值	36.87	27.87	97.30	0.54	75.06	34.09	18.48
	最大值	46.90	30.90	124.00	2.02	86.60	39.70	20.10
	最小值	28.60	23.10	76.10	0.05	65.70	28.30	16.80
	标准差	6.24	2.02	14.54	0.54	5.44	3.25	0.77
	C.V(%)	16.92	7.25	14.94	99.26	7.25	9.53	4.17
甘肃土壤背景值		24.1	18.8	69.3	0.116	70.2	35.20	12.6
温室蔬菜产地土壤环境质量限值(HJ 333—2006)		100	50	300	0.40	250	60	20
土壤环境质量标准 GB 15618—1995		二级	100	350	300	0.60	250	60
		三级	400	500	500	1	400	200

表 3 白银市蔬菜大棚土壤重金属的单项质量指数
与综合质量指数

Table 3 Single quality indexes and comprehensive quality indexes
of heavy metals in soils of greenhouses in Baiyin

采样点	<i>Pi</i>							<i>P</i> 综	污染 水平
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	As		
雒家滩	0.59	2.98	1.27	20.97	0.28	0.55	1.27	15.09	超标
重坪	0.37	0.69	0.37	2.86	0.30	0.61	0.92	2.11	超标
靖远	0.37	0.56	0.32	0.92	0.30	0.57	0.92	0.79	尚清洁

表明(表 3),雒家滩日光温室土壤重金属污染程度具有 Cd>Pb>Zn≥As>Cu>Ni>Cr 的特征。重坪和靖远日光温室土壤重金属污染程度具有 Cd>As>Pb>Ni>Cu≥Zn>Cr 的特征。土壤重金属 Cu、Cr、Ni 单项污染指数均小于 0.7。雒家滩重金属 Zn、Pb 的单项污染指数分别为 1.27、2.98,雒家滩、重坪、靖远日光温室土壤 Cd 的单项污染指数分别为 20.97、2.86、0.92。由此可见,土壤重金属 Cd、As、Pb 污染较为严重,而这 3 种元素都是蔬菜产地土壤环境质量严格控制的指标。雒家滩、重坪、靖远日光温室土壤重金属的综合污染指数分别为 15.09、2.11、0.79。结合各重金属的单项与综合质量指数(表 4),将雒家滩、重坪日光温室土壤环境质量等级定为 3 级,土壤环境质量污染较严重,靖远日光温室土壤环境质量等级定为 2 级,属于尚清洁水平。

表 4 温室蔬菜土壤环境质量分级标准(HJ 333—2006)

Table 4 Grading standards of soil environment quality in
greenhouse vegetable production

环境质量等级	土壤各单项或综合质量指数	等级名称
1	<0.7	清洁
2	0.7~1.0	尚清洁
3	>1.0	超标

3 结 论

- (1)白银市日光温室土壤有机质、硝态氮、速效磷和速效钾含量明显累积,且有向下迁移的发展趋势,其中速效磷和速效钾尤为突出。
- (2)温室栽培条件下土壤电导率明显高于农田土壤,以雒家滩土壤最为明显。雒家滩温室土壤表层 EC 值达 0.94 mS·cm⁻¹,已超过作物的生育障碍临界点(EC>0.50 mS·cm⁻¹)。
- (3)对白银市日光温室土壤重金属含量及污染评价结果表明:从单因子评价结果来说,Cd 污染最严重,其次为 Zn、As、Ni、Cu、Cr、Pb;综合评价结果表明,雒家滩日光温室土壤污染最严重,重坪土壤污染较严重,这两个温室种植基地已不适宜进行蔬菜作物生产,建议对其修复。靖远县日光温室土壤属于尚清洁水平。

参考文献:

- [1] 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, 21(2): 96-98.
DU Xin-min, WU Zhong-hong, ZHANG Yong-qing, et al. Study on changes of soil salt and nutrient in greenhouse of different planting years [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2): 96-98.
- [2] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 296-303.
LIU Zhao-hui, JIANG Li-hua, ZHANG Wen-jun, et al. Evolution of fertilization rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shandong[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 296-303.
- [3] 刘 苹, 杨 力, 于淑芳, 等. 寿光市蔬菜大棚土壤重金属含量的环境质量评价[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 66-71.
LIU Ping, YANG Li, YU Shu-fang, et al. Evaluation on environmental quality of heavy metal contents in soil of vegetable greenhouse in Shouguang City[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(5): 66-71.
- [4] 国家环境保护总局. 温室蔬菜产地环境质量评价标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
Environmental quality evaluation standard for farmland of greenhouse vegetables production[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.
- [5] 焦 坤, 李德成. 蔬菜大棚条件下土壤性质及环境条件的变化[J]. 土壤, 2003(2): 94-97.
JIAO Kun, LI De-cheng. Changes soil properties and environment in vegetable greenhouse[J]. *Soil*, 2003(2): 94-97.
- [6] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞, 等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 126-128.
LI Jun-liang, CUI De-jie, MENG Xiang-xia, et al. The study of fertilization condition and question in protectorate vegetable in Shouguang, Shandong[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(2): 126-128.
- [7] 郭文忠, 李丁仁. 宁夏日光温室土壤次生盐渍化发生原因及治理[J]. 长江蔬菜, 2003, 4: 39-40.
GUO Wen-zhong, LI Ding-ren. The reason of soil secondary salinization and its control in greenhouse in Ningxia[J]. *Journal of Changjiang Vegetable*, 2003, 4: 39-40.
- [8] 李式军. 设施园艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 126-128.
LI Shi-jun. Protected horticulture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 126-128.
- [9] 郭淑文. 白银市农业面源污染现状与防治对策[J]. 中国水土保持, 2007(10): 24-26.
GUO Shu-wen. Current situation and prevention measure of area-pollution in agriculture in Baiyin[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2007(10): 24-26.
- [10] 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 Jian-bin, ZHAI Bing-nian, CHEN Zhu-jun, et al. Nutrient accumulations in soil profiles under canopy vegetable cultivation and their potential environmental impacts[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(2): 332-335.
- [11] 余海英. 设施土壤养分状况及盐分的累积、迁移特征[J]. 四川农业大学学报, 2006.
YU Hai-ying. Nutrient state and characteristics of accumulation and translocation of salt in greenhouse soil profiles[J]. *Sichuan Agricultural University*, 2006.
- [12] 吕殿青, 同延安, 孙本华. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8-15.
LV Dian-qing, TONG Yan-an, SUN Ben-hua. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(1): 8-15.
- [13] 张维理, 田哲旭, 张 宁, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87.
ZHANG Wei-li, TIAN Zhe-xu, ZHANG Ning, et al. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in north China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1995, 1(2): 80-87.
- [14] 郭新勇, 张树清. 甘肃省有机肥资源分布与利用潜力[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 677-680.
GUO Xin-yong, ZHANG Shu-qing. Distribution and utilization of organic manure resources in Gansu[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(4): 677-680.
- [15] 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 Ru-kun. Soil-plant nutrition principle and fertilization[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998.
- [16] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, et al. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk Experiment[J]. *J Environ Qual*, 1995, 24: 904-910.
- [17] 郭熙盛, 叶舒娅, 王文军, 等. 钾肥品种与用量对黄瓜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 292-297.
GUO Xi-sheng, YE Shu-ya, WANG Wen-jun, et al. Effect of different K sources and rates on the yield and quality of cucumber[J]. *Plant and Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(3): 292-297.
- [18] 曾希柏, 李莲芳, 白玲玉, 等. 山东寿光农业利用方式对土壤砷累积的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 310-316.
ZENG Xi-bai, LI Lian-fang, BAI Ling-yu, et al. Arsenic accumulation in different agricultural soils in Shouguang of Shandong Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(2): 310-316.
- [19] 王 俊, 郭 颖, 吴 蕊, 等. 不同种植年限和施肥量对日光温室土壤锌累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 89-94.
WANG Jun, GUO Ying, WU Rui, et al. Effects of different planting years and organic manure fertilization on Zn accumulation in greenhouse soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(1): 89-94.
- [20] 郑国璋. 农业土壤重金属污染研究的理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
ZHENG Guo-zhang. Theory and practice of research on heavy metal pollution in agricultural soil[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.