

保护地长期定位灌水方法土壤重金属研究

肖质秋, 张玉龙, 王 芳

(沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁省农业资源与环境重点实验室, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要:试验研究了蔬菜保护地长期定位渗灌、沟灌、滴灌处理 0~80 cm 层次土壤 Cu、Zn、Cd、Cr、Pb 5 种金属元素有效态含量和全量的剖面分布特征, 以同一试验区棚外露地大田土壤样本作为对照。结果表明: 棚外露地大田与保护地棚内土壤重金属全量、有效态含量变化随土层加深而降低。棚内 0~40 cm 土层土壤重金属全量、有效态含量明显高于棚外土壤。棚内 3 种灌水处理 0~40 cm 土层土壤间重金属全量、有效态含量差异明显, Cd、Cr 全量以沟灌处理含量最高, Pb、Zn 全量以渗灌处理含量最高; 而 Cu、Cd、Cr、Pb 的有效态含量均以沟灌处理最高、渗灌处理最低。土壤 Cu、Zn、Cd、Cr、Pb 有效态含量与其全量间呈正相关关系, 重金属全量随着土壤有机质含量增加而增加、有效态含量随 pH 值降低而增加。灌溉和施肥影响土壤有机质含量及 pH 值变化, 进而影响到土壤重金属全量及其有效态含量的高低。

关键词:保护地; 不同灌水方式; 土壤重金属

中图分类号:S 606⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)23-0047-05

一般来说, 保护地蔬菜生产具有较好的经济效益和社会效益。为了获得更高的产量, 人们往往过量施肥, 且施用肥料品种单一, 这不仅造成肥料的浪费, 还会引起土壤酸化、次生盐渍化和蔬菜品质下降、环境污染等问题。土壤重金属污染是指由于人类活动, 如农业施用含有重金属的农药、化肥和工业排放废渣、废气等, 将重金属带入土壤, 致使这些重金属含量明显高于其背景值、甚至超过污染标准, 从而造成环境质量恶化的现象^[1]。已有研究表明, 造成农田土壤污染的因素主要有三类: 一是工业区和人类活动密集区排放的污染颗粒在农田沉降, 以工业区周围最为严重; 二是利用未处理的城市污水进行灌溉; 三是肥料使用不当而将重金属带入农田^[2-5]。

土壤有效态重金属是指土壤重金属中最易被农作物吸收利用的那部分, 具有较强的可溶性。目前对露地菜田土壤重金属的研究报道较多, 而对保护地土壤的研究则相对较少。由于保护地蔬菜栽培连续大量施入有机肥和化肥, 并以灌溉的方式大量补充土壤水分, 所以可以预见保护地土壤重金属含量特别是有效态含量受保护地种植年限、灌溉和施肥等因素影响而变化。

现以连续 12 a 进行长期定位灌溉试验的蔬菜塑料大棚土壤为试材, 研究土壤重金属有效态含量的剖面分布, 探讨引起重金属剖面分布变化的原因, 以期为当地合理进行保护地灌溉、施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试作物 供试番茄品种为‘L402’。

1.1.2 供试土壤 试验在沈阳农业大学蔬菜科研基地塑料大棚内进行(41°49′N, 123°33′E)。供试土壤为草甸土, 肥力较高, 性状均匀。1998 年试验开始前采集土壤样本, 测得的基本性质见表 1、2。

1.1.3 试验灌溉设备 试验所用微孔渗灌管为河南省济源华源渗灌有限公司生产, 直径 20 mm。滴灌带为中国科学院上海植物生理所研制的薄膜滴灌管, 直径 20 mm; 出水孔间距 30 cm。连接渗灌管和滴灌管的输水支管为聚乙烯硬塑管, 直径 64 mm。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 试验设渗灌、滴灌、沟灌 3 种灌水方法, 每种灌水方法为 1 个处理。2 次重复, 小区随机排列, 小区面积为 16.5 m², 为防止水分相互渗透, 在小区之间埋入 70 cm 深的塑料薄膜相隔。渗灌管埋深 30 cm, 管下铺设塑料槽以防止水分下渗。渗灌管上铺设 1 cm 厚锯末未做过滤层, 以防泥土进入而堵塞渗灌管壁上的渗水孔。滴灌管铺放在地表, 出水孔(间距为 30 cm)安放在番茄植株附近(距植株约 10 cm)。每个小区选具有代表性一点按 10、20、30、40、50 cm 深度埋设张力计, 在张力计的同侧按 5、10、15、20、25 cm 深度埋设地温计。于番茄冠层之上悬挂干湿球温度计观测保护地室内湿度。沟灌和滴灌计划湿润层为 40 cm, 即

第一作者简介: 肖质秋(1985-), 女, 辽宁鞍山人, 硕士, 现主要从事水资源与农业节水等研究工作。E-mail: friendxzqgirl@yahoo.com.cn。

责任作者: 张玉龙(1954-), 男, 教授, 博士生导师, 现主要从事土壤改良及早作农业方面的研究工作。E-mail: ylzsau@163.com。

基金项目: 辽宁省农业科技攻关重大资助项目(2008212003); 沈阳市科技攻关资助项目(1091108-3-02)。

收稿日期: 2011-09-26

0~40 cm;渗灌计划湿润层为 30 cm,即 10~40 cm。沟灌计划湿润比为 1.0,渗灌和滴灌计划湿润比为 0.5。计划湿润层灌溉控制上限、下限分别为土壤水分吸力 6 kPa(相当于田间持水量)和 40 kPa。试验开始前于试验田间分层采集 0~40 cm 土层原状土样,测得代表性土壤持水特征曲线;由该曲线求得相应的土壤含水量,再算出灌水时的单次灌水量。每年 5 月中、上旬定植;番茄定植株距 30 cm,行距 50 cm,每小区定植 100 株。定植后统一灌 1 次缓苗水,然后开始试验水分处理。每天上午 9:00 20 cm 深处土壤水分吸力达到或超过 40 kPa 时即开始灌水,灌水时用水表计量。各处理

灌水时间不同,灌水量亦不一致。2010 年整个番茄栽培季,滴灌灌水共 11 次、灌水量为 1 912.73 m³/hm²,沟灌灌水共 6 次、灌水量为 2 295.90 m³/hm²,渗灌灌水共 12 次、灌水量为 1 691.52 m³/hm²。3 种灌水处理的基肥种类、用量相同。整地时每 667 m²撒施腐熟的有机肥 6 000 kg,定植前沟施磷酸二铵 35 kg、硫酸钾 25 kg。有机肥的养分含量见表 3。其余田间管理同当地保护地栽培。从 1998 年以来至今,每年采用的灌水方法(滴灌、沟灌、渗灌)、供试作物、施肥量和田间管理连续 12 a 是一致的。

表 10~20 cm 土层土壤的部分化学性质及养分含量

Table 1Nutrients and basic chemistry properties of soil in 0~20 cm depth

有机质	pH	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾
Organic matter/g·kg ⁻¹		Total N/g·kg ⁻¹	Total P/g·kg ⁻¹	Total K/g·kg ⁻¹	Available N/mg·kg ⁻¹	Available P/mg·kg ⁻¹	Available K/mg·kg ⁻¹
22.70	6.80	1.30	1.86	17.60	96.91	103.10	164.00

表 20~45 cm 土层土壤的物理性质

Table 2Basic physical properties of soil in 0~45 cm depth

土壤层次	孔隙度	机械组成 Mechanical composition/%			
		>0.2 mm	0.02~0.2 mm	0.002~0.02 mm	<0.002 mm
Depth/cm	Porosity/%				
0~15	51.08	14.26	46.33	24.23	14.98
15~30	48.81	16.29	42.95	21.95	18.81
30~45	43.82	18.01	41.98	22.09	17.92

表 3有机肥料养分含量

Table 3Content of nutrients in organic fertilizer

水分	氮	全磷	全钾	速效磷	速效钾	有机质
Moisture/%	N/g·kg ⁻¹	P ₂ O ₅ /g·kg ⁻¹	K ₂ O/g·kg ⁻¹	Available P/mg·kg ⁻¹	Available K/mg·kg ⁻¹	Organic matter/g·kg ⁻¹
44.5	5.2	3.5	2.4	2 560.0	3 225.0	261.2

1.2.2 样品处理 土壤样品于 2010 年 5 月春季整地前采集。采样时,棚外露地和棚内每个小区按“S”形布点,多点采集土壤后再混合成一个土壤样品,采样深度共 8 个:0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80 cm。土样除去动植物残体和石砾等杂物,风干后过筛,用于土壤理化性质的测定。土壤 Cu、Zn、Cr、Cd、Pb 元素有效态含量,用 Mehlich3 通用浸提剂浸提^[6-7],使用等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)测定。土壤 Cu、Zn、Cr、Cd、Pb 元素全量,采用盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸消煮后,使用等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)测定。

1.2.3 数据处理 数据采用 Excel 2003 及 DPS 数据处理软件完成。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属全量

由图 1 可知,除 Pb 外的其它重金属元素含量变化基本以 50 cm 深处为分界线,棚外菜田 0~50 cm 土层土壤 Cd、Cu、Zn、Cr 全量低于棚内 3 种灌水方式处理土壤,而 50~80 cm 土层棚外、棚内相接近。棚外菜田

各层次土壤全 Pb 含量均明显高于棚内 3 种灌水方式处理土壤,且层次间变化较大。这可能与试验地离交通繁忙的高速公路和市区较近,棚外菜田受到汽车尾气等大气污染有关;而保护地常年被塑料薄膜所覆盖,减少了金属铅的沉降^[8]。

棚内 3 种灌水处理间比较,沟灌处理 0~80 cm 土层土壤 Cd、Cr 全量明显高于其它 2 种灌水处理,而渗灌和滴灌处理间差异不大。0~40 cm 土层土壤 Zn 全量排列顺序为渗灌>滴灌>沟灌处理,且处理间差异明显;40~80 cm 土层沟灌处理土壤 Zn 全量明显高于渗灌和滴灌处理,且沟灌上、下土层间差异小于其它 2 种处理,这可能与沟灌 1 次灌水量多、Zn 元素移动性相对较大有关。

保护地棚内 3 种灌水处理土壤 Cd、Cr、Pb、Zn、Cu 含量的剖面分布规律为表层高、下层低,即呈随土层深度增加而降低的变化趋势。而棚外露地菜田土壤重金属含量在 0~40 cm 深度内也呈随深度增加而降低的趋势,但其下降速率也明显低于棚内土壤。这与前人研究得出的重金属集中分布在表层的结果相一致^[9]。

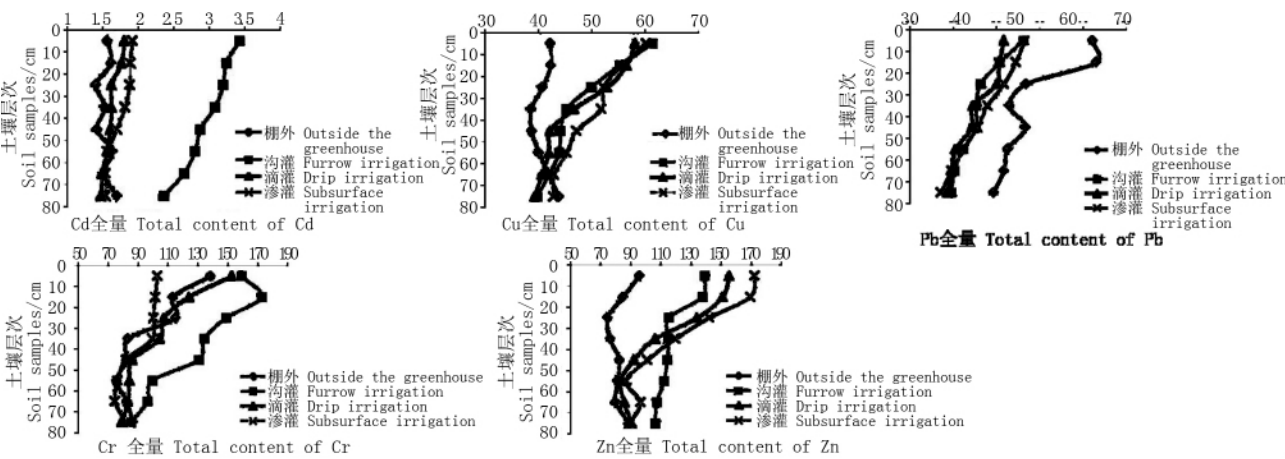


图 1 各土层不同处理土壤重金属全量变化

Fig. 1 The total content of heavy metals in different soil depth under different treatments

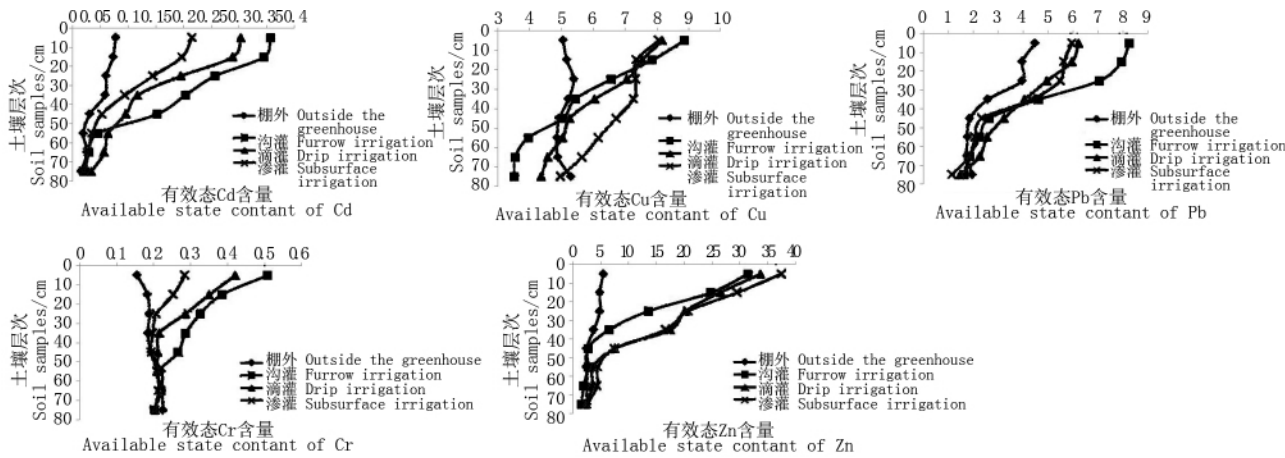


图 2 各土层不同处理土壤重金属有效态含量变化

Fig. 2 The available state content of heavy metals in different soil depth under different treatments

2.2 土壤重金属有效态含量

由图 2 可知,在所测定的 5 种重金属中,棚外露地菜田土壤 Cd、Pb 和 Zn 有效态含量表现出了随土层深度增加而降低的变化趋势,Cu 和 Cr 有效态含量则相反,表现出了随土层深度增加而减少的趋势;但上、下土层间差异相对较小、曲线变化平缓。而棚内 3 种灌溉处理土壤的 5 种重金属有效态含量均呈随土层深度增加而下降的趋势,且在 0~40 cm 土层下降很快。

棚内菜田与棚外菜田相比,同一土层棚外菜田土壤 Cd、Cr、Pb、Cu、Zn 有效态含量明显高于棚内土壤,且越接近地表二者相差越大;其中,以 0~10 cm 土层有效态 Zn 元素含量最大,该层次棚内渗灌处理土壤有效 Zn 含量是棚外露地的 7 倍之多。在 40~80 cm 土层,除 Cu 之外,Cd、Cr、Pb、Zn 元素有效态含量各个处理间差异不大。

由图 2 还可知,在 0~40 cm 土层,除 Zn 外的 Cd、Cr、Pb、Cu 有效态含量均以沟灌处理为最高,渗灌处理最低;土壤有效 Zn 含量则以沟灌处理最低、且与滴灌和渗灌处理差异明显。在 40~80 cm 土层棚外与棚

内、棚内试验处理间土壤重金属有效态含量均相差较小。这说明人们耕种生产活动、特别是作为保护地栽培蔬菜,致使土壤重金属含量上升,且不同水肥管理措施重金属含量上升幅度不一,但其影响范围大体上限于 0~40 cm 土层,其下受到的影响较小;也说明土壤重金属有效态含量的高低除与其全量有关外,还与土壤 pH 等多种因素有关。

2.3 土壤重金属全量与有效态含量间关系

土壤中有效态重金属元素易于转化和迁移,也易于被农作物吸收而随之进入食物链,从而对环境 and 人畜造成更大危害。因此,了解重金属有效态的含量及其与全量之间的关系,探讨影响重金属有效性的因素,对于采取措施、控制污染有着重要的意义。由表 4 可知,棚外土壤 Cr、Zn 和 Pb 3 种元素的全量与有效态含量间存在着显著、极显著的正相关关系,而 Cd 和 Cu 的全量与有效态含量间的相关系数则未达到 5% 显著水平。

棚内 3 种灌水处理土壤 Cd、Cu、Pb、Zn 的全量与有效态含量间均呈现极显著正相关关系,Cr 的全量与

有效态含量间相关系数也达到了 5% 显著水平。可见菜田土壤中 5 种供试重金属元素的全量越高,其有效态含量也越高、环境风险随之增大,而且该关系随土壤中重金属含量增加而变得更加紧密。

表 4 土壤中金属元素全量与有效态含量相关性

Table 4 The relationship between soil total content and available state content of heavy metals

处理 Treatment	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
棚外 Outside the greenhouse	0.500	0.812 *	0.366	0.836 **	0.716 *
沟灌 Furrow irrigation	0.963 **	0.917 **	0.982 **	0.916 **	0.961 **
滴灌 Drip irrigation	0.961 **	0.964 **	0.995 **	0.981 **	0.966 **
渗灌 Subsurface irrigation	0.985 **	0.760 *	0.965 **	0.971 **	0.984 **

注:n=8, **表示极显著相关($P<0.01$); *表示显著相关($P<0.05$)。

Note:n=8, ** express very significant correlation ($P<0.01$); * express significant correlation ($P<0.05$)。

3 讨论与结论

露地大田菜地改为保护地种植后,土壤重金属元素全量、有效态含量均明显增加;经过 12 a 间以不同灌溉方法进行灌溉、栽培番茄,灌水处理间土壤有效态重金属含量也产生了明显差异。沟灌、滴灌和渗灌 3 种灌水方法相比较,除 Zn 外,其它金属元素 0~40 cm 土层土壤重金属有效态含量以沟灌处理为最高,渗灌处理最低。Zn 元素则以渗灌处理土壤重金属有效态含量最高,滴灌处理次之,沟灌最低。

大量研究结果表明,土壤有机质与 pH 值是影响土壤重金属含量、形态变化的最为重要的因素。土壤重金属含量、特别是其有效态含量与土壤有机质含量存在显著的正相关关系。这是由于土壤有机质能够大量地吸附重金属离子,并形成化学或生物学稳定性不同的络合物,从而影响着土壤重金属的移动性、生物有效性^[10]。另一方面,由于生物富集作用,有机肥中一般都含有较高浓度的重金属,有机肥的施用就成了土壤重金属增加的重要来源;供试保护地连年大量施用了有机肥,致使耕层土壤有机质含量显著高于其下层土壤。供试保护地 0~80 cm 土层土壤有机质含量的变化范围为 8.47~36.48 g/kg,且灌水处理间也表现出差异、沟灌处理土壤有机质含量明显高于滴灌和渗灌处理^[11]。因此,可以认为大量有机肥的施用不仅增加了供试菜田土壤中重金属的数量,也提高了其有效性。

在一般土壤上,随 pH 值下降,土壤中重金属含量升高、种植在其上的蔬菜植株体内的重金属含量也会随之增加^[12-13]。供试保护地渗灌、滴灌、沟灌处理的 0~10 cm 土层土壤 pH 值分别为 6.49、6.46、6.36;40~80 cm 土层土壤的 pH 值为 7.22、7.18、7.15;可见,表层土壤已经表现出了明显的酸化趋势。而不同灌水方法处理上层土壤的 pH 值为渗灌>滴灌>沟灌处理,这与土壤中重金属有效态含量变化趋势相反;即

pH 值越低,土壤重金属有效态含量越高。可见灌水方法不同,土壤中盐分积累的数量和种类不同,有机质积累上也表现出差异,致使酸度等土壤理化性质改变,水分管理措施也就成了影响土壤中重金属数量、有效性的重要原因。

长期大量施用有机肥使得重金属在土壤中累积,而不同的灌溉方法、不同的水分管理措施也会影响土壤中重金属含量剖面分布及其有效性,这应引起人们的足够重视。今后,应通过加强对保护地生产中有机肥使用管理和选择适合的灌水方式、抑制土壤酸化等措施,减少土壤金属元素积累、降低其有效性,保护保护地土壤,控制其对农产品的污染,使保护地土壤得到可持续利用。

试验结果表明,棚外露地菜田土壤与保护地棚内土壤的重金属全量及有效态含量剖面分布特点相似,基本上呈现出随土层加深而降低的变化趋势。但棚外露地 0~80 cm 土层土壤重金属全量、有效态含量变化较小,棚内保护地 0~40 cm 土层土壤重金属全量、有效态含量明显高于棚外露地菜田土壤且随土层加深而快速降低。棚内保护地 3 种灌水处理土壤间重金属全量、有效态含量也表现出较为明显差异。0~40 cm 土层 Cd、Cr 全量沟灌处理明显高于渗灌和滴灌,Pb、Zn 全量以渗灌处理最高;该层次 Cd、Cr、Pb 和 Cu 有效态含量以沟灌处理为最高,滴灌次之,渗灌处理最低。而 40~80 cm 土层无论是重金属全量、还是有效态含量都相对较低,处理间差异也较小。

土壤重金属有效态含量不仅与其全量呈正相关关系,还与土壤有机质含量、pH 关系密切。土壤有机质含量越高,重金属全量、有效态含量也越高,这与表层土壤重金属含量高于下层土壤的剖面分布特点是一致的;土壤 pH 值越小,土壤重金属有效态含量越高。而土壤有机质含量、pH 值变化不仅与是否改作保护地种植有关,还受到了灌溉等水分管理措施的影响。

参考文献

- [1] 高砚芳,段增强,邹恒福.太湖地区温室土壤重金属污染状况调查及评价[J].土壤,2007,39(6):910-914.
- [2] Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G. Cadmium concentration in vegetables grown on urban soil irrigation with untreated municipal sewage [J]. Environment, Development and Sustainability, 2002(2):11-19.
- [3] Abdel-Haleem A S, Sroor A, El-Bahi S M, et al. Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental neutron activation analysis[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2001, 55: 569-573.
- [4] 郑国璋.关中姜土剖面中重金属元素的垂直分布规律研究[J].地球学报,2008,29(1):109-115.
- [5] 阎伍玖,吕成文,陈飞星.芜湖城市郊区土壤重金属污染危害及其对策研究[J].土壤学报,2002,37(1):137-141.
- [6] 刘肃,李西开. M3 通用浸提剂的研究[J].土壤学报,1995,32(2):132-141.
- [7] 席家军,聂凯华. M3 法对土壤有效磷钾锰铜锌铁的联合测定结果[J].甘肃农业科技,2007(7):15-17.
- [8] 李风平,姜冀来,李琪,等.沈阳南部沿城乡梯度土壤铅时空分布

研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(4): 935-937.

[9] 陈新明, 蔡焕杰, 孙爱华, 等. 污水灌溉后土壤重金属汞和砷积累变化规律及对番茄的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 831-837.

[10] John O Agbenin. Lead in a Nigerian savanna soil under long-term Cultivation [J]. The Science of the Total Environment, 2002, 286: 1-14.

[11] 姬景红, 张玉龙, 张玉玲, 等. 不同灌溉方法对保护地土壤有机质及氮素影响的研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1105-1109.

[12] 王金达, 王艳, 任慧敏, 等. 沈阳市城乡结合部土壤-作物系统铅含量水平及其影响因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 261-265.

[13] 夏增禄, 李森照, 穆从如, 等. 北京地区重金属在土壤中的纵向分布和迁移[J]. 环境科学学报, 1985(1): 1-10.

Research on Soil Heavy Metals of Long-term
Positioning Greenhouse under Different Irrigation Methods

XIAO Zhi-qiu, ZHANG Yu-long, WANG Fang

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Liaoning Key Laboratory of Agricultural Resource and Environment, Shenyang, Liaoning 110161)

Abstract: The objective of this study was to research the distribution of both the total contents and available contents of element Cu, Zn, Cd, Cr, Pb under three irrigation patterns (subsurface irrigation, drip irrigation and furrow irrigation) at the 0~80 cm soil profile. Soil samples were collected both inside and outside the greenhouse. The results showed that the total contents and available contents of soil heavy metals both inside and outside the greenhouse were increased with soil depth. The total contents and available contents inside the greenhouse were higher than the soil outside at 0~40 cm soil depth obviously. There were significant differences both the total contents and available contents within 3 irrigation patterns. In the total content aspects, the furrow irrigation had the highest contents of element Cd and Cr; subsurface irrigation had the highest contents of element Pb and Zn. In available contents of element Cu, Cd, Cr, Pb aspects, shown the furrow irrigation>drip irrigation>subsurface irrigation. The relationship between the total contents and available contents of soil Cu, Zn, Cd, Cr, Pb were positive correlation. The content of soil organic matter was conducive to improve the total contents of soil heavy metal. However, the increase of the pH value was conducive to decrease the available content of soil heavy metal. The factors affect the content of soil organic matter and pH values were irrigation and fertilizer which also affects the soil total contents and available contents.

Key words: greenhouse; irrigation patterns; soil heavy metals

七种蔬菜种子保存年限

番茄种子:可存放 3~4 a,最好不要超过 4 a,否则会降低出芽率。鉴别方法:新种子上有很多小茸毛,而且有番茄味;陈种子外皮茸毛较少或脱落,气味也小。

黄瓜种子:最多存放 2~3 a。超过此期限出芽率降低 20%~30%;即使能出苗,也往往无真叶,不易成活。

茄子种子:存放 6 a 以内都可以用。新种子外皮有光泽,其光泽随存放期延长而变淡。

辣椒种子:存放时间不可超过 3 a,否则出芽率明显降低。新种子呈金黄色,陈种子呈杏黄色。

香菜种子:必须存放 1 a 以后才能用,但最多不能超过 3 a。新种子香菜气味浓厚,陈种子气味变淡。

芹菜种子:可存放 3 a。当年结的种子必须存放 1 a 后才能用。

白菜种子:可存放 2 a。当年收可以当年用,超过 2 a 则出芽率降低 20%~30%,且抗病力弱。