

天津市典型污灌区冬小麦各生育期的重金属分析*

马传鑫 汪志荣** 高琼 金星龙 何莎

(天津理工大学环境科学与安全工程学院, 天津, 300384)

摘要 通过对天津市冬小麦生长的各个阶段的各个部位及土壤中重金属含量的分析, 评价了污灌区农田土壤-植被系统的污染状况, 运用转运系数和富集系数表征了重金属元素在作物中迁移和积累的能力. 结果表明, 冬小麦田土壤质量属2级尚清洁标准, 土壤中Cd污染最严重, Hg污染次之. 返青期、拔节期、抽穗期和成熟期, 同一时期冬小麦不同部位的重金属含量整体呈现自下至上递减的趋势, 即根>茎>叶>果实, 而同一部位冬小麦的不同时期的重金属含量各有特点. 从转运系数和富集系数上看, 根富集重金属的能力要大于茎、叶和果实; 重金属由土壤向根迁移的过程中, 迁移能力顺序为: Pb>Cd>Hg>Cr>As, Pb迁移能力最强. 冬小麦果实中As, Cd, Cr, Hg, Pb和Se含量均超过《食品中污染物限量》中规定的限值, 说明研究区域目前已经不宜再种植冬小麦.

关键词 冬小麦, 污灌区, 土壤-植物系统, 生育期, 重金属.

近几十年农业大面积实施污水灌溉, 土壤污染, 特别是重金属污染已成为我国的重要环境问题之一. 重金属具有持久、有毒、形态多变、毒性效应的浓度范围低、隐蔽性和滞后性、蓄积性等特点. 土壤被重金属污染后, 其中的动物、微生物种群、数量、酶都会受到影响, 打破了原有生态平衡, 导致农业生产能力下降和农产品品质降低, 通过食物链威胁人类健康. 研究表明, 重金属的环境危害取决于其在食物链中的迁移性和生物活性^[1].

天津市污灌土壤中重金属研究表明^[2-5], 天津市北排污河污灌区的蔬菜无论从平均值, 还是最大值上, Cd的污染都高于其它地区; 而小麦根部的Cd, Cu, Pb, Zn, Cr和Ni等重金属含量均高于小麦茎、叶及果实, 说明小麦根部富集重金属的能力最强; 污灌区冬小麦穗实重金属Cd的平均含量超过了食品卫生限量标准. 但对作物不同生育期体内各组织的重金属变化规律尚未见相关报道.

本文分析了天津市典型污灌区冬小麦生长的主要4个阶段(返青期、拔节期、抽穗期和成熟期)重金属对土壤、冬小麦的影响以及冬小麦在各生长阶段不同部位对重金属的富集特征, 对深入认识污灌对冬小麦各个生长阶段的污染程度、各器官的蓄积规律、全面评价土壤-农产品重金属环境安全性具有重要意义, 同时, 也对冬小麦秸秆的科学处置提供理论基础.

1 实验方法

1.1 样品的采集

采样点为天津市西青区(N39°1.855', E116°6.904')的冬小麦田. 根据《土壤环境检测技术规范》(HJ/T166-2004), 随机法分别采集各生长阶段的冬小麦, 即返青(2月)、拔节(3月下旬)、抽穗(4月上旬)、成熟(5月底)的植物和表层土样, 测定土壤的pH值, 冬小麦的根、茎、叶和果实4部分及土壤的重金属含量.

1.2 样品预处理和测定方法

土壤和冬小麦样品预处理过程见图1. 将预处理后的样品采用ETHOSA型微波消解仪, 应用不同消解程序消解、定容(表1). 定容后的消解液用Vista MPX ICP-OES测定其重金属Zn, Cu, As, Pb, Hg, Cr和Cd的含量.

2009年5月9日收稿.

*天津市教委项目(20060520)资助.

**通讯作者: E-mail: wangzr@tjut.edu.cn

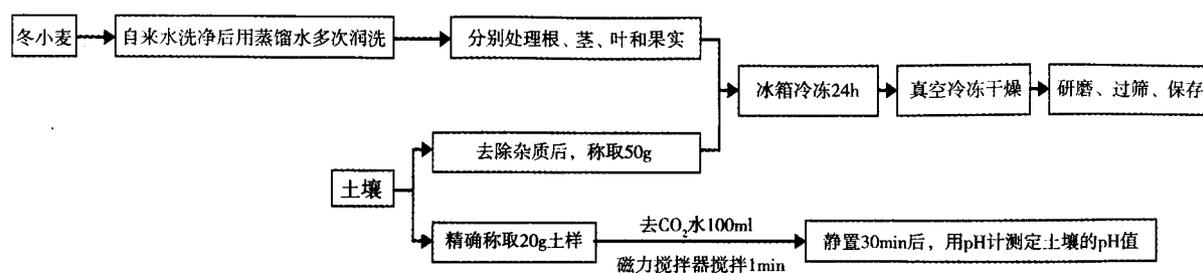


图 1 样品预处理过程

Fig. 1 Process of preparatory management

表 1 冬小麦和土壤的消解过程

Table 1 Digestion process of winter wheat and soil

步骤	土壤	冬小麦
称量	0.2g	0.2g
酸系	8ml HNO ₃ + 1ml H ₂ O ₂ + 2ml HF	9ml HNO ₃ + 1ml H ₂ O ₂
消解	15min 升温至 210℃, 保持 30min, 降温过程	5min 升温至 150℃, 5min 升温至 190℃, 保持 25min, 降温过程
赶酸	170℃—180℃间赶酸, 待消解液剩 1—2ml, 追加两次 1ml 浓 HNO ₃ 再次赶酸	170℃—180℃间赶酸, 至消解液余 1—2ml
定容	用 5% HNO ₃ 定容于 10ml 的比色管中	用 5% HNO ₃ 定容于 10ml 的比色管中

2 结果与讨论

2.1 土壤中重金属元素的分析

采用 DELTA 320 型 pH 计测定土壤的 pH 值为 7.92, 因此, 执行《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) 的二级标准, 各重金属的标准值和实测值见表 2. 根据重金属在土壤中标准值和实测值, 计算单因子指数, 进而得出该土壤的重金属污染物综合指数 PI 为 0.7288. 按照《天津市土壤环境质量评价标准》, 该地区污染程度为 2 级属尚清洁水平. 但从表 2 单因子指数评价结果看, As, Cd, Cu, Hg 分别超标 1.14, 4.50, 1.66, 3.61 倍, 其中 Cd 超标最严重, Hg 次之.

表 2 土壤中重金属含量的标准值、实测值和单因子指数

Table 2 Standard values, measured values and single-factor Index of heavy mental in soil

重金属	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
土壤标准值 (pH > 7.5) /mg · kg ⁻¹	20	1.0	350	100	1.0	350	300
土壤中重金属实际值/mg · kg ⁻¹	22.74	4.50	92.21	165.60	3.61	133.71	191.81
单因子指数	1.1370	4.4974	0.2692	1.6560	3.6109	0.3820	0.6394

2.2 冬小麦中重金属元素的分析

表 3 为冬小麦不同时期各部位的重金属含量测定结果. 表 3 显示, 在 4 个主要生育期过程中, 冬小麦的根、茎、叶和果实重金属含量具有一定的分布规律.

返青期 从表 3 可见, 冬小麦叶中的重金属浓度小于根, 其中 Cr 在根中富集最为明显. Pb 在叶中含量略高于根 0.99 mg · kg⁻¹, 主要原因是冬小麦田距公路较近, 汽车尾气中的 Pb 通过大气沉降到叶表面, 并由张开的气孔进入叶内, 导致冬小麦叶中 Pb 含量比根中要高.

拔节期 As 和 Cr 在叶中浓度分别比茎中高 0.64 mg · kg⁻¹ 和 0.94 mg · kg⁻¹. Cd 和 Hg 在叶和茎中的浓度几乎一致, 分别相差 0.09 和 0.05 mg · kg⁻¹, 说明这两种元素在冬小麦体内具有相似的迁移能力. 但从总的趋势来看, 重金属含量基本都呈现根 > 茎叶的趋势. 值得指出的是 Cr 在根中浓度高出茎和叶约 8—10 倍, 说明冬小麦根部对于重金属元素 Cr 具有较强的富集能力.

抽穗期 抽穗期冬小麦体内重金属 Cd, Cr 和 Pb 在各部位的浓度变化为根部 > 茎 > 叶 > 果实. 虽然整体趋势为自下至上重金属含量逐渐减少, 但是 Hg 和 As 在叶中含量均高于茎中, 分别高出 2.04 和 1.03 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 此外, Pb 在根部含量约为果实的 7 倍, 说明在抽穗期冬小麦根部对于 Pb 有较强的富集能力.

成熟期 成熟期冬小麦体内各部分重金属 As, Cd, Cr, Hg 和 Pb 的变化规律与抽穗期大致相同, Hg 在根、茎和叶中含量没有明显变化, 分别为 2.47, 2.57, 2.75 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 在果实部分达到最小为 0.23 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Cr 在叶中的含量比茎中高 3.33 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pb 在成熟期的根部浓度分别为茎、叶和果实浓度的 15.8, 12.37 和 37.26 倍, 与抽穗期相比根部对于 Pb 元素的富集略有增加.

表 3 冬小麦在生育期各部位重金属含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 3 Heavy metal content of winter wheat at different stage ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

重金属	返青期		拔节期			抽穗期				成熟期				
	叶	根	叶	茎	根	果实	叶	茎	根	果实	叶	茎	根	土壤
As	6.4	15.77	6.44	5.80	15.34	1.91	5.13	4.10	7.36	3.24	1.51	3.74	9.64	22.74
Cd	0.82	1.63	0.91	1.00	2.51	2.17	2.58	4.02	3.61	1.09	2.49	2.43	3.24	4.50
Cr	3.89	28.30	4.57	3.63	36.73	6.53	17.16	18.44	23.51	11.21	16.4	13.07	44.83	94.21
Hg	2.00	4.48	4.11	4.06	6.16	2.71	5.27	3.23	3.78	0.23	2.75	2.57	2.47	3.61
Pb	5.09	4.10	4.29	4.82	6.91	14.00	23.31	51.23	97.43	2.77	8.36	6.52	103.35	133.71
Se	3.30	0.25	ND	ND	ND	ND	6.73	15.82	4.92	5.25	9.76	14.58	2.41	8.16

从小麦不同部位重金属含量来看, 4 个部位中, 都以 Cr 和 Pb 浓度为高, 其它浓度相差不大. 在根部, As, Cd, Cr, Hg 和 Pb 在整个生育期均呈现增长的趋势; Pb 从返青期至拔节期变化不大, 抽穗期迅速增加至 97.43 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 成熟期含量较抽穗期略增长 5.92 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 在茎中, As 和 Hg 从拔节期到成熟期含量呈现减小趋势; Cd, Cr 和 Pb 变化趋势相似, 均为抽穗期浓度最大分别为 4.02, 18.44, 51.23 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 至成熟期有不同程度降低. 在叶中, 在返青期和拔节期, 除了 Hg 为增长较大为 2.11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 外, 其它几种元素含量都相差不大, As 随后其含量逐渐降低, 在成熟期达到最小为 1.51 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Cr, Hg 和 Pb 在抽穗期出现峰值, 成熟期各元素含量均有所下降, 并以 Pb 下降最多, 较成熟期下降了 14.95 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Cd 在整个生育期含量呈现增加的趋势, 在抽穗期骤增而成熟期时趋于平稳. 果实中, As 和 Cr 的含量均有所增加, 而 Cd, Hg 和 Pb 含量均不同程度下降.

根据《食品污染物限量标准》(GB2762-2005) 的评价结果, As, Pb, Hg, Cr, Cd 和 Se 在冬小麦果实中都不同程度超过了标准规定限量, 其中 As 含量最高为 3.24 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 超标 32.4 倍, Se 次之, 超标 17.5 倍, 其它重金属元素亦超标 10 倍以上.

2.3 转运系数和富集系数

转运系数和富集系数可以用来表征重金属在植物体内的积累特征及迁移难易程度^[6,7], 表 4 给出了冬小麦中各重金属的转运系数和富集系数.

表 4 重金属在冬小麦体内的富集系数和转运系数
Table 4 Bio-concentration factor and transportation factor in winter wheat

重金属元素	富集系数				转运系数			
	根/土壤	茎/土壤	叶/土壤	果实/土壤	根/土壤	茎/根	叶/茎	果实/叶
As	0.424	0.164	0.067	0.142	0.424	0.388	0.405	2.141
Cd	0.720	0.540	0.554	0.243	0.720	0.540	1.026	0.440
Cr	0.476	0.139	0.174	0.119	0.476	0.292	1.255	0.683
Hg	0.685	0.712	0.761	0.064	0.685	1.040	1.069	0.085
Pb	0.773	0.049	0.063	0.021	0.773	0.063	1.281	0.332

从表 4 可以发现, 冬小麦根/土壤的富集系数 (Hg 除外), 均大于茎、叶和果实的富集系数, 且

Pb > Cd > Cr > As, Hg 在茎和叶中的富集系数要略高于根的富集系数, 在果实中富集系数最低. 从转运系数看, 重金属由土壤向根迁移的过程中, Pb 的转运系数最大, 最易迁移, 迁移能力顺序为: Pb > Cd > Hg > Cr > As; 在根-茎迁移过程中, Hg 具有最大迁移能力, Pb 迁移能力最小; 茎-叶迁移过程中, Pb, Cd, Hg, Cr 的迁移能力都较大, As 最小; 叶-果实迁移过程中, Pb, Cd, Cr 的迁移能力都较小, 以 Hg 为最小, As 却最大.

3 结论

通过实验及数据分析, 天津市西青区冬小麦田土壤质量属于 2 级尚清洁标准, 土壤中 Cd 污染最严重, Hg 污染次之. 经分别测定返青期、拔苗期、抽穗期和成熟期冬小麦各部分的重金属含量后, 得出同一时期冬小麦不同部位的重金属含量整体呈现自下至上递减的趋势, 即根 > 茎 > 叶 > 果实, 在果实中达到最小值.

通过转运系数和富集系数分析可知, 根中富集重金属的能力要大于茎、叶和果实; 重金属由土壤向根迁移的过程中, 迁移能力顺序为: Pb > Cd > Hg > Cr > As.

参 考 文 献

- [1] Sardar Khan, Cao Qing, Chen Bao-Dong et al. , Humic Acids Increase the Phytoavailability of Cd and Pb to Wheat Plants Cultivated in Freshly Spiked, Contaminated Soil. *J. Soils Sediments*, 2006, 6 (4) : 236—242
- [2] 李宗梅, 天津市污灌区土壤-小麦系统重金属污染评价及相关分析. 天津师范大学硕士学位论文, 2006
- [3] 田丽梅, 贾兰英, 韩建华等, 天津市土壤重金属污染现状与综合治理对策. 天津农业科技, 2006, 8 (4) : 33—34
- [4] 田丽梅, 臧山水, 天津市污灌区蔬菜重金属污染调查及防治途径. 天津农林科技, 1999, (6) : 21—22
- [5] 王祖伟, 王景刚, 刘佐等, 天津污灌区土壤重金属含量与理化性质对小麦吸收重金属的影响. 农林科学学报, 2007, 26 (1) : 1406—1410
- [6] 崔妍, 芦苇对湿地中重金属吸收的研究. 大连海事大学硕士学位论文, 2005
- [7] 李法云, 曲向菜, 吴龙华, 污染土壤生物修复理论基础与技术. 北京: 化学工业出版社, 2005

HEAVY METAL ANALYSIS OF WINTER WHEAT AT EACH STAGE IN TYPICAL SEWAGE IRRIGATED AREA OF TIANJIN

MA Chuan-xin WANG Zhi-rong GAO Qiong JIN Xing-long HE Sha

(School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin, 300384, China)

ABSTRACT

Based on the analysis of heavy metal content of wheat and soil at different period, the contamination extent of soil-plant system is assessed, and transportation factor (TF) and bio-concentration (BCF) are used to describe heavy metal ability of transportation and deposition in winter wheat. From the results, soil quality of winter wheat field in xiqing district, Tianjin, belongs to levels 2, the highest pollutant is Cd, Hg is second. At different stages, including turn green, jointing, heading and ripeness, the content of heavy metals in different parts of winter wheat presents the declining trend from bottom to top, root > stem > leaf > fruit, but in the whole process of growth, the trend of heavy metals in the same parts is different respectively. According to transportation factor (TF) and bio-concentration (BCF), the ability of roots to absorb heavy metals is stronger than that of stems, leaves and fruits; the ability of heavy metals' transportation from soil to root is Pb > Cd > Hg > Cr > As. As, Cd, Cr, Hg, Pb and Se all exceed the limited values which are enacted by maximum levels of containment in food, so it is clear that planting winter wheat is inappropriate in this area at present.

Keywords: winter wheat, sewage irrigated area, soil-plant system, growth period, heavy metals.