

农作物根系土对农产品安全的影响分析 ——以保定东部地区为例

邢怡,张素荣,刘继红,王昌宇

(1.中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170; 2.华北地质科技创新中心,天津 300170)

摘要:农作物中重金属含量过高势必影响人类健康与生态安全,通过对农作物与其根系土调查,对污染元素进行生态效应评价具有重要的实际意义。本文以土壤重金属超标地区——保定东部地区的大宗农作物小麦、玉米及其根系土为研究对象,开展了元素含量测试和统计分析。结果表明:小麦、玉米样品中有富硒样品;部分小麦样品存在重金属元素超标现象,玉米样品全部不超标。农作物可食部分对元素的吸收能力为小麦>玉米。通过调查农作物对不同元素的吸收能力,对土壤重金属超标地区的农产品种植具有指导作用,有利于研究区土地资源的安全利用。

关键词:根系土;农作物;重金属;生态效应评价;保定

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2019)03-0219-07

随着工农业生产的发展,由重金属引起的土壤和农作物的污染问题日益严重,农作物中重金属含量过高势必影响人类健康与生态安全^[1-3]。近20年来通过土地质量地球化学调查的不断深入,我国基本完成了平原耕地区1/25万地球化学调查工作,初步摸清了我国土地(耕地)环境质量状况,建立了全国耕地质量动态档案和数据库,可为保护耕地红线划定、科学制订土地利用规划提供数据;为脱贫攻坚、精准扶贫提供服务与支撑;为实现土地质量和生态综合管护提供依据^[4-5]。

近几十年来,土壤重金属环境污染和生态效应评价一直是研究热点。主要侧重于土壤重金属污染特征分析^[6-8],潜在生态危害评价^[9-11],土壤重金属污染修复^[12-15]。1/25万土地质量地球化学调查资料显示保定东部地区存在土壤重金属超标,通过实地调查和分析认为土壤重金属超标主要与该区域数量众多的小型金属冶炼厂、加工厂、化工厂有关^[16-17]。虽然现在绝大部分工厂已经关闭,已形成的土壤重金属污染仍值得进一步重视。

本文依据该区1/5万地球化学调查资料,重点对研究区大宗农作物和根系土的元素含量进行了测试和统计分析,以期查明研究区大宗农作物重金属超

标情况和富硒特征,以及农作物对重金属和硒的富集能力及其影响因素,并在此基础上提出了土地资源安全利用区划和农产品安全生产建议。

1 研究区概况

研究区位于河北省保定市东部地区清苑、安新和高阳三县(区)交界地带,西邻保定市,东接白洋淀,范围由三个区县下辖的石桥、孙村、望亭、老河头、芦庄和同口等10个乡镇组成(图1),总面积约508 km²,属大陆季风性气候,四季分明,适合农作物生长,主要农作物有玉米、小麦、辣椒、棉花、蔬菜等。受地形地貌的影响及控制,工作区成土母质主要是第四系冲洪积物。土壤类型相对简单,主要以潮土、盐潮土为主。研究区种植模式主要为“小麦-玉米”轮作。

2 方法与技术

本次研究在研究区1/5万土地质量地球化学调查评价工作的基础上,系统采集了小麦籽实、玉米籽实及相应的根系土样品进行测试分析(图2)。农作物采集处理的具体方法参照中华人民共和国地质矿产行业标准《土地质量地球化学调查评价规范》(DZ/T 0295-2016)与《生态地球化学评价样品分析技术

收稿日期:2019-04-04

资助项目:中国地质调查局项目“京津冀鲁耕地区土地质量地球化学调查(DD20160325)”

作者简介:邢怡(1983-),女,高级工程师,毕业于中国地质大学(北京)地球探测与信息技术专业,主要从事应用地球物理、地球化学研究,E-mail:75701244@qq.com。

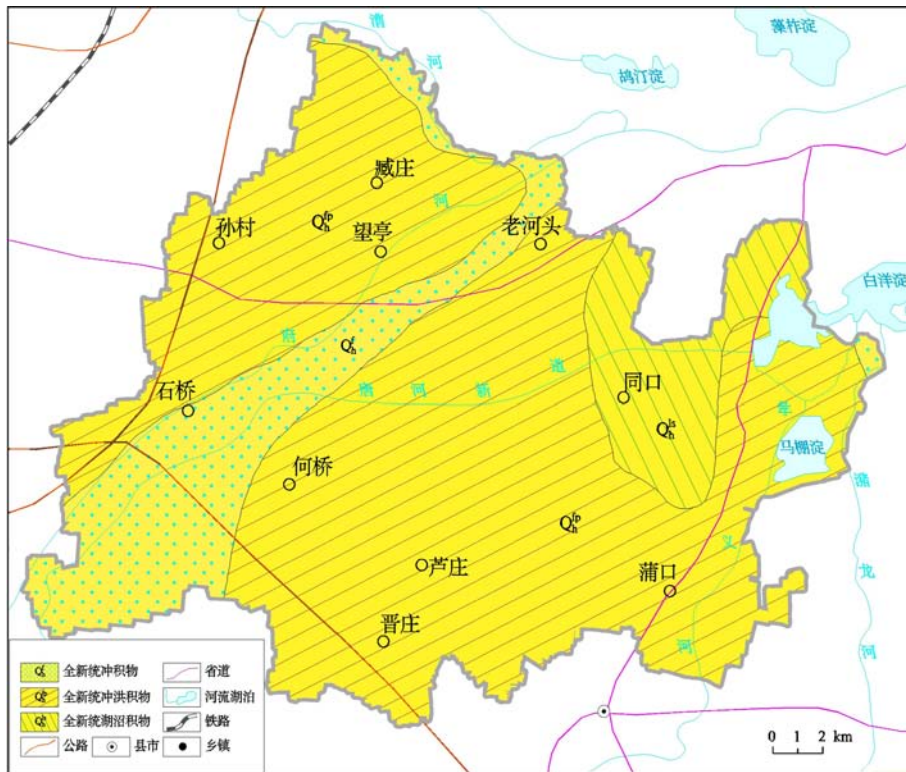


图1 研究区第四系地质与交通位置图^①

Fig.1 Quaternary geology and traffic location map in the research area

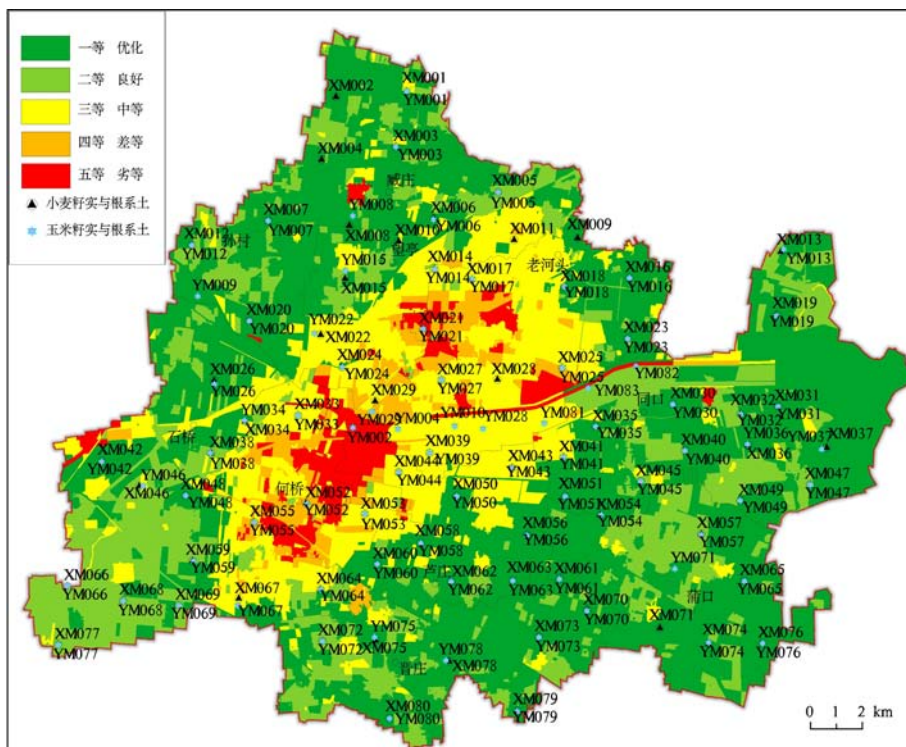


图2 研究区土壤质量地球化学综合等级及采样分布图^②

Fig.2 Geochemical grade evaluation and sampling distribution map of the soil quality in the study area

要求(试行)》(DD 2005-03)^[18-19],先了解整个地块形状、面积及农作物长势,目测种植密度、高矮、穗大小及成熟度等,据此选择有代表性的位置进行采样。采用对角线法选取5个样点,中间为主采样点,四角为副采样点,5点混装为1件样品。采集农作物样品的同时,取其根系土,根系土采集深度为0~20 cm,样品重量约为2 kg。

采集的根系土样品需要在自然条件下阴干,同时用木槌轻轻敲打,然后全部过10目(2 mm)尼龙筛,过筛后将样品混匀,称取300 g根系土样品装入送样袋。小麦、玉米样品在无污染、无扬尘、通风的条件下自然风干、脱粒装入送样袋。

所有样品送实验室做进一步处理和测试,实验室通过从GBW系列植物样标准物质中选取2个(尽可能合理)重复插入50件样中,进行准确度的日常监控,采用重复性检验方法,控制样品分析的精密度。此次研究选取了I、F、Se、As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn等测试指标进行测试,所有分析采用国家一级标准物质进行质量监控,分析数据报出率、准确度和精密度合格率均达到100%,各测试指标分析方法及检出限见表1。

3 结果与分析

对农作物根系土和籽实样品测试结果进行统计分析

^①《河北省北京市天津市区域地质志》[R].河北省区域地质矿产调查研究所.2015.

^②张素荣,邢怡,刘继红,等.《保定东部地区土地质量地球化学调查成果报告》[R].中国地质调查局天津地质调查中心.2018.

表1 农作物及根系土样品分析指标与检出限统计

Tab.1 Analysis index and detection limit statistics of crop and root soil samples

项目(元素)	分析方法	检出限/(mg/kg)	允许限/(mg/kg)
As、Cr	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.1	0.5
Hg	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.005	0.01
Ni	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.02	0.3
Cu	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.1	10
Zn	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.1	20
Cd	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.01	0.05
Pb	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.02	0.2
Se	电感耦合等离子体质谱法(MS)	0.05	
F	扩散-氟试剂比色法(离子计)	0.10	
I	催化比色法(COL)	0.16	
Corg	蒸馏容量法(VOL)	0.07	
pH	pH计法(ISE)	绝对误差≤0.1	

(表2、表3),可以得出,农作物籽实与其根系土中元素含量具有较高的相关性,籽实中除了Ni元素以外,小麦的其他测试元素含量均高于玉米的相应元素含量。

3.1 污染元素分析

参照有关国家食品安全或卫生标准已有的食品中重金属污染物限量值(表4)^[20-25],可知在研究区采集的玉米样品重金属污染元素含量均在限量值以下;小麦样品中Cd、Pb和Zn重金属元素存在超标样品。

对小麦样品进一步统计分析,发现共有14个样

品超标,占小麦样品数的17.5%,其中XM039样品三种重金属污染元素都超标,XM021、XM041和XM053样品有两种重金属污染元素都超标。对于超标元素结合农作物根系土对80件小麦样品做相关性分析(图3),得出小麦籽实和其根系土有一定的正相关关系。

在同等土壤环境下,农作物对不同元素的吸收会受到多重因素的影响,既有土壤自身理化性质,如元素形态、元素全量、pH值、有机质含量、阳离子交换量等的影响,又有外界种植条件的影响^[26-29]。在同一自然环境条件下,不同作物吸收同种元素的能力也存在明显差异^[30]。

由于土壤中各种元素含量差异较大,以吸收系数研究区内土壤pH值和有机碳含量对农作物超标元素吸收能力的影响。将农作物可食部分元素含量占根系土中该元素含量的百分比作为吸收系数,即吸收系数=100*(农作物可食部分X元素含量/根系土X元素含量)。

结果显示小麦籽实对Cd、Zn元素的吸收能力与有机碳呈现负相关关系,对Pb元素的吸收能力与有机碳无相关关系(图4);小麦籽实对于三个重金属污

表2 不同农作物可食部分As、Cd、Hg等元素含量统计表/(mg/kg)

Tab.2 Statistical data of As, Cd, Hg and other elements in edible parts of different crops/(mg/kg)

农作物名称	统计值	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Se	I	F
小麦 (n=80)	最大值	0.40	0.23	0.28	7.07	0.003	0.25	0.91	62.50	0.765	0.18	1.10
	最小值	0.02	0.02	0.12	4.12	0.001	0.09	0.04	23.70	0.016	0.05	0.14
	平均值	0.08	0.05	0.18	5.48	0.002	0.16	0.12	36.61	0.099	0.09	0.46
	标准离差	0.05	0.03	0.03	0.71	0.000	0.04	0.11	8.75	0.130	0.02	0.19
玉米 (n=82)	最大值	0.04	0.01	0.15	2.66	0.002	0.40	0.05	31.60	0.445	0.14	0.61
	最小值	0.02	0.00	0.07	0.92	0.001	0.12	0.02	13.45	0.017	0.03	0.12
	平均值	0.02	0.00	0.10	1.43	0.001	0.22	0.03	21.46	0.051	0.09	0.31
	标准离差	0.00	0.00	0.02	0.29	0.000	0.05	0.01	3.68	0.058	0.02	0.11

表3 不同农作物根系土As、Cd、Hg等元素含量统计表/(mg/kg)

Tab.3 Statistical data of As, Cd, Hg and other elements in root soils of different crops/(mg/kg)

农作物名称	统计值	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Se	Corg	pH
小麦 (n=80)	最大值	43.55	1.60	101.00	194.50	0.090	51.10	136.00	513.50	1.165	2.26	9.15
	最小值	6.21	0.12	53.35	18.60	0.015	23.90	17.30	56.65	0.125	0.28	8.01
	平均值	15.38	0.49	74.05	46.32	0.049	36.42	41.58	130.01	0.333	1.34	8.44
	标准离差	5.72	0.35	10.63	27.48	0.017	6.83	22.61	78.82	0.152	0.36	0.21
玉米 (n=82)	最大值	56.40	3.34	94.30	270.00	0.125	49.10	124.50	697.50	1.04	9.04	9.04
	最小值	9.58	0.23	58.20	25.55	0.024	26.10	24.50	72.50	0.17	0.73	7.83
	平均值	18.23	0.71	74.74	57.64	0.057	37.14	47.17	158.31	0.39	1.73	8.38
	标准离差	8.66	0.66	8.64	44.51	0.028	5.67	23.70	119.76	0.19	1.71	0.20

表4 国家食品安全或卫生标准中食品中重金属污染物限量值/(mg/kg)

Tab.4 The food limit value of contaminants in national food safety or hygiene standards/(mg/kg)

农作物名称	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn
小麦	0.5	0.1	1	10	0.02	0.2	1	50
玉米	0.5	0.1	1	10	0.02	0.2	1	50

染元素吸收能力与pH值的相关关系非常弱,几乎不相关。说明研究区土壤中随着有机碳含量增加,Cd、Zn的生物有效性含量降低,高含量的有机碳抑制了小麦对于Cd、Zn元素的吸收,而有机碳的这种抑制对于小麦吸收Pb元素不起作用;同样土壤中pH值的大小不影响小麦籽实对Cd、Zn、Pb元素的吸收能力。

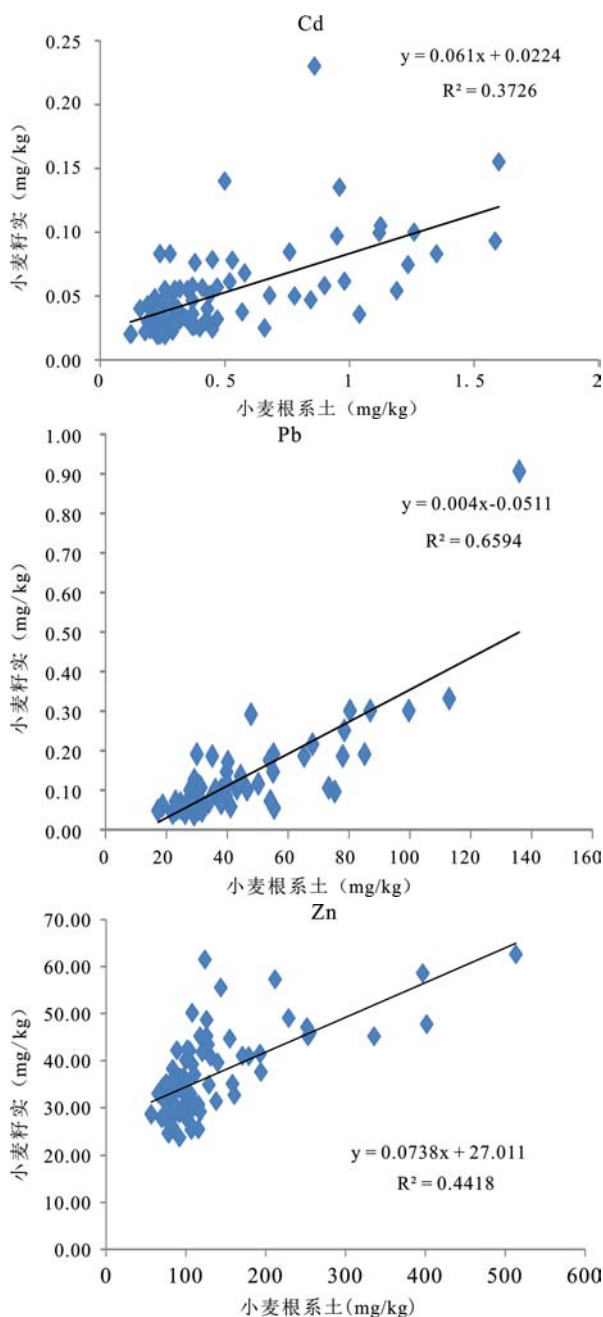


图3 研究区小麦籽实与根系土Cd、Pb和Zn元素含量关系图

Fig.3 Relation map of Cd、Pb and Zn element contents between wheat seed and root soil in the study area

研究区小麦超标样品所在位置的土壤质量大部分为三等和四等,土壤环境主要为轻微污染和轻度污染,这可能是导致小麦籽实样品可食用部分重金属污染元素超标的主要因素(图2)。在14件小麦籽实超标样品中,有10件在采样的原地块内也采集了玉米籽实,玉米籽实样品的重金属元素含量均无超标。说明对于Cd、Pb和Zn这三个重金属元素,小麦

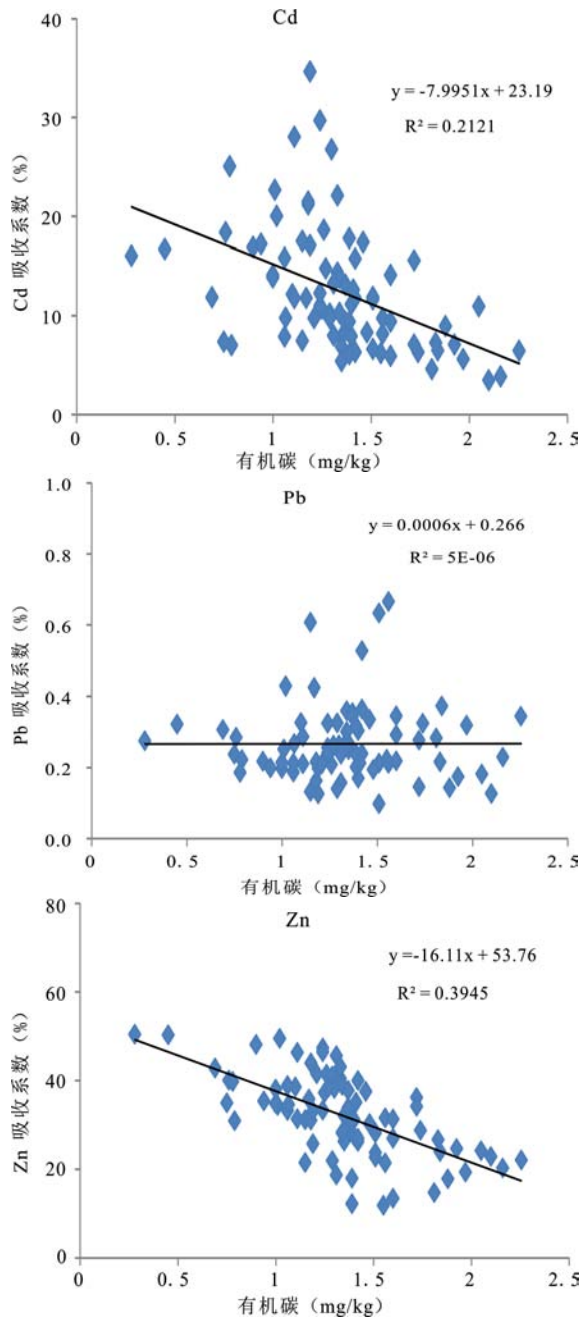


图4 研究区小麦籽实Cd、Pb和Zn元素含量与根系土有机碳关系图

Fig.4 The relationship between the contents of Cd、Pb and Zn in wheat seeds and the organic carbon of the root soil in the study area

的生物有效性要强于玉米。因此,建议在这些地块可以通过种植玉米代替小麦作物,以保证大宗农作物的安全性。

3.2 有益元素分析

在研究区除了重金属元素,此次研究也检测了对人体有益的元素Se。参照国家《食品中硒限量卫生标准 GB 13105-1991》和《富硒稻谷 GB/T 22499-

2008》的相关评价标准(表5)^[31-32],小麦和玉米样品中都有达到富硒标准的样品,其中小麦样品有40件达到富硒标准,占样品数的50%;玉米样品有30件达到富硒标准,占样品数的36.59%。

结合农作物根系土对所有小麦和玉米样品中Se元素做相关性分析,得出小麦和玉米可食部分的Se元素含量和其根系土存在一定的正相关关系,而且玉米与其根系土的正相关强度要高于小麦(图5)。

分析小麦和玉米Se吸收系数与根系土中pH值、有机碳的相关关系,可知两种农作物Se的吸收系数与根系土有机碳均呈现负相关关系(图6),可知两种农作物Se的吸收系数与根系土有机碳均呈现负相关关系,随着土壤有机质含量增加,农作物对Se的吸收

表5 国家食品中硒限量卫生标准和富硒农产品标准 / (mg/kg)

Tab.5 National hygienic standard for selenium limit in food and standard for selenium-rich agricultural products / (mg/kg)

	小麦	玉米
富硒稻谷GBT 22499-2008	0.04 ~ 0.3	0.04 ~ 0.3
食品中硒限量卫生标准GB 13105-1991	≤0.3	≤0.3

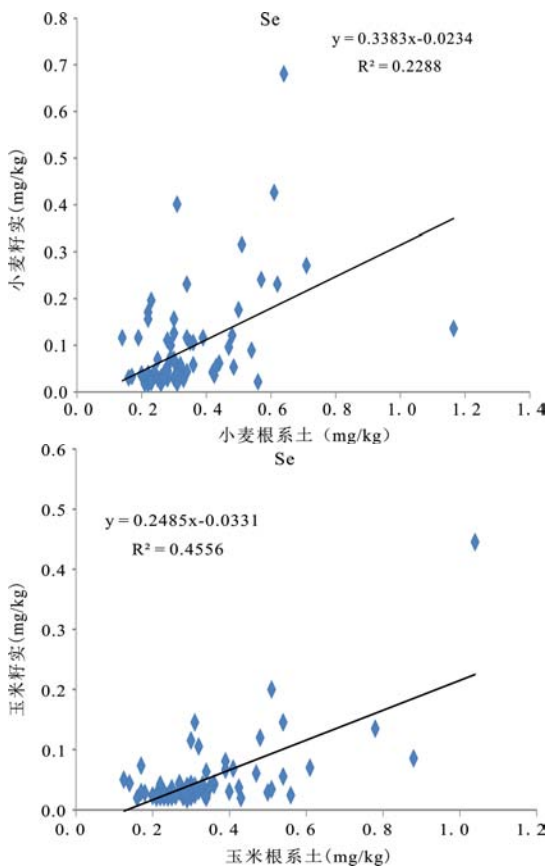


图5 研究区不同农作物籽实与根系土Se元素含量关系图
Fig.5 Relation map of Se element content between seed and root soil of different crops in the study area

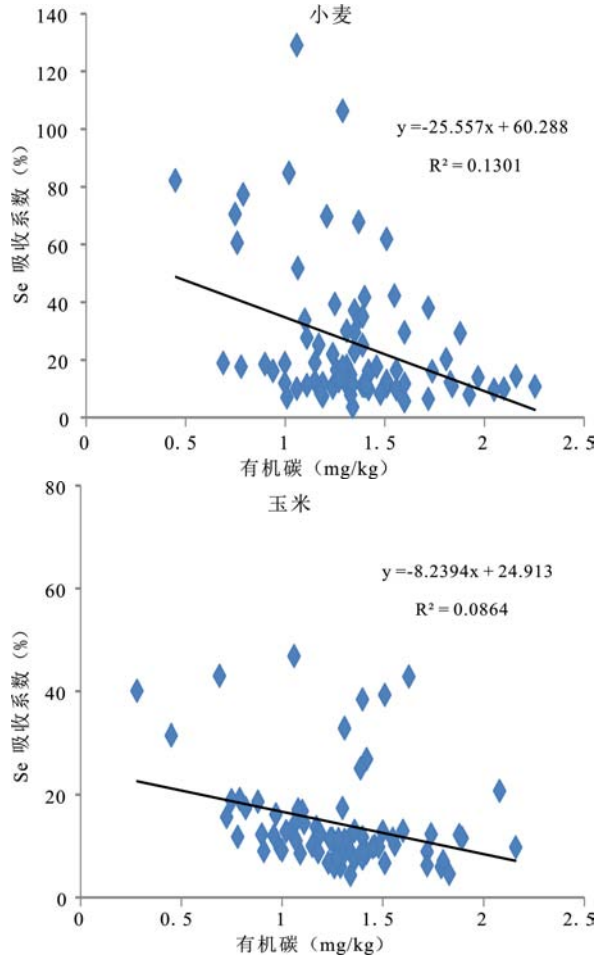


图6 研究区不同农作物籽实Se吸收系数与根系土有机碳关系图

Fig.6 Relationship between Se absorption coefficient of different crops and organic carbon of root soil in the study area

系数下降,这说明土壤中有有机质对于Se的生物活性起到了抑制作用,表现出有机碳对Se较强的吸附性,这与前人研究结果一致^[33-36]。两种农作物Se的吸收系数与根系土pH值也都呈现负相关关系,但两者相关关系非常弱,尤其是玉米,说明在这种碱性环境中生长的农作物,增强土壤碱性环境并不能提高土壤中Se的生物有效态含量增加,很难提高农作物对Se的吸收。

通过对研究区小麦与玉米重金属元素和有益元素(Se)的分析可以看出,研究区土壤质量等级较高且富硒的地块可以种植生物有效性较强的农作物,例如:小麦。对于这些地区,建议当地可以创建富硒农作物品牌。同理,土壤质量等级较低的地块建议种植生物有效性较弱的农作物,如:玉米。这样可以保证当地的大宗农作物安全。

4 结论

综上所述,通过对保定市东部地区大宗农作物小麦、玉米及其根系土进行研究,探讨了农作物-根系土系统As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn和Se元素的迁移转化特征及其影响因素,结果表明:(1)研究区小麦和玉米所含元素水平受其土壤质量的影响;(2)土壤中高含量有机质能抑制小麦对Cd、Zn元素的吸收;小麦对Cd、Zn、Pb元素的吸收能力受土壤pH值影响较小;(3)小麦和玉米对Se元素的吸收受土壤中有有机碳和pH值影响,土壤高有机质或强碱性环境都会抑制小麦和玉米对Se元素的吸收;(4)研究区小麦的元素生物有效性要比玉米强,为保证大宗农作物食品安全,建议在土壤质量等级较低的地块种植玉米或生物有效性较弱的农作物。

致谢: 特别感谢河北省地矿中心实验室,协助完成了此次研究的样品测试工作!

参考文献:

- [1] 梁海燕,张谦元.我国土壤污染与食品安全问题探讨[J].山东省农业管理干部学院学报,2012,29(5):42-43+52.
- [2] 谷阳光,高富代.我国省会城市土壤重金属含量分布与健康风险评价[J].环境化学,2017,36(1):62-71.
- [3] 王丹,魏威,王松山,等.铜、铬单一及复合污染对小白菜种子萌发及根长的生态毒性[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(12):63-74.
- [4] 杨晓波,曲亚军,王文清,等.新时期农业发展需要土地质量地球化学评估[J].国土资源,2008,(2):28-29.
- [5] 张亚峰,马凤娟,邱瑜,等.青海土地质量地球化学调查服务地方经济的若干思考[J].中国矿产,2017,26(S1):132-133.
- [6] 李小牛,周长松,杜斌,等.北方污灌区土壤重金属污染特征分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(6):205-212.
- [7] 李芳,钱秋芳.土壤重金属污染研究进展[J].安徽农学通报,2011,17(10):80-82.
- [8] 王岩,王楠,周洁玮,等.河北曹妃甸不同类型农田土壤重金属含量、分布及其相关性研究[J].河南农业科学,2016,45(7):61-66.
- [9] 张庆辉,王贵,朱晋,等.包头南郊污灌区农田表层土壤重金属潜在生态风险综合评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(7):181-186+192.
- [10] 王昌宇,张素荣,刘继红,等.河北省饶阳县富锌、硒特色土地及其生态效应评价[J].地质调查与研究,2019,42(1):53-60.
- [11] 骆永明.土壤环境与生态安全[M].北京:科学出版社,2009.
- [12] Alina K P, Honry K P. Trace elements in soil and plants, CRC Press, London, 1996, 67-291.
- [13] 董彬.中国土壤重金属污染修复研究展望[J].生态科学,2012,31(6):683-687.
- [14] 杨洋,陈志鹏,黎红亮,等.两种农业种植模式对重金属土壤的修复潜力[J].生态学报,2016,36(3):688-695.
- [15] 杨扬,王晓燕,王江,等.物种多样性对植物生长与土壤镉污染修复的影响[J].环境科学学报,2016,36(6):2103-2113.
- [16] 崔邢涛,秦振宇,栾文楼,等.河北省保定市平原区土壤重金属污染及潜在生态危害评价[J].现代地质,2014,28(3):523-530.
- [17] 张秀芝,马忠社,魏静,等.利用元素地球化学特征研究河北平原第四纪沉积环境的探讨与实践[J].地学前缘,2012,19(4):194-205.
- [18] 中华人民共和国地质矿产行业标准.DZ/T 0295-2016 土地质量地球化学调查评价规范[S].北京:中华人民共和国国土资源部,2016.
- [19] 中国地质调查局地质调查技术标准.DD 2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)[S].北京:中国地质调查局,2005.
- [20] 中华人民共和国国家标准.GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].北京:中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 国家食品药品监督管理总局,2017.
- [21] 中华人民共和国国家标准.GB 13106-1991 食品中锌限量卫生标准[S].北京:中华人民共和国卫生部,1991.
- [22] 中华人民共和国国家标准.GB 14961-1994 食品中铬限量卫生标准[S].北京:中华人民共和国卫生部,1994.
- [23] 中华人民共和国国家标准.GB 15199-1994 食品中铜限量卫生标准[S].北京:中华人民共和国卫生部,1994.
- [24] 中华人民共和国国家标准.GB 15200-1994 食品中铁限量卫生标准[S].北京:中华人民共和国卫生部,1994.
- [25] 中华人民共和国国家标准.GB 15201-1994 食品中镉限量卫生标准[S].北京:中华人民共和国卫生部,1994.
- [26] 李应生,李亚男,陈大清.硒的生物学功能及植物的富硒机理[J].湖北农学院学报,2003,23(6):476-480.
- [27] 朱薇,杨守祥,刘庆.影响植物富硒因素的研究进展[J].山东农业大学学报:自然科学版,2016,47(4):636-640.
- [28] 赵少华,宇万太,张璐,等.环境中硒的生物地球化学循环和营养调控及分异成因[J].生态学杂志,2005,24(10):1197-1203.
- [29] 王延亮,侯伟,侯占清,等.略论吉林省大骨节病与地质环境的关系[J].中国地质,2010,37(3):577-581.
- [30] Fleming G. A. Selenium in Irish soils and plants[J]. Soil Science, 1962, 94(1): 28-35.
- [31] 中华人民共和国国家标准.GBT 22499-2008 富硒稻谷[S].北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国标准化委员会,2008.
- [32] 中华人民共和国国家标准.GB 13105-1991 食品中硒限量卫生标准[S].北京:中华人民共和国卫生部,1991.
- [33] 刘小明.土壤中硒的生物可利用性研究进展[J].江西农业学报,2012,24(9):120-123.
- [34] 李金峰,聂兆君,赵鹏,等.土壤-植物系统中硒营养的研究进展[J].南方农业学报,2016,47(5):649-656.
- [35] 尹宗义,王会峰,任蕊,等.陕西省石头河一带土壤及植物富硒特征[J].物探与化探,2014,38(2):349-353.
- [36] 谢邦廷,贺灵,江官军,等.中国南方典型富硒区土壤硒有效性调控与评价[J].岩矿测试,2017,36(3):273-281.