

小麦对土壤铬富集和转运的品种差异性研究

王彦苏, 李士伟, 于学臻, 李合莲, 马义兵

引用本文:

王彦苏, 李士伟, 于学臻, 等. 小麦对土壤铬富集和转运的品种差异性研究[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(1): 19-27.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0575>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同小麦品种灌浆期生长和镉积累的差异研究

潘建清, 陆敏, 杨肖娥

农业环境科学学报. 2021, 40(4): 756-765 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0967>

Cd胁迫下小麦的形态生理响应及Cd积累分布特征

张大众, 杨海川, 菅明阳, 隗书伟, 赵越, 张一阳, 丁勤, 马翎健

农业环境科学学报. 2019, 38(9): 2031-2040 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1612>

土壤镉污染北方小麦生产阈值及产区划分初探

管伟豆, 肖然, 李荣华, 刘翔宇, 潘君廷, 黄永春, 张增强, 郭堤

农业环境科学学报. 2021, 40(5): 969-977 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1151>

小麦株高和茎秆不同部位砷镉磷含量与籽粒砷镉磷含量的关系

史高玲, 马鸿翔, 姜来清, 蔡庆生

农业环境科学学报. 2017, 36(1): 8-15 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016-1044>

不同小麦品种对大田中低量镉富集及转运研究

熊孜, 李菊梅, 赵会薇, 马义兵

农业环境科学学报. 2018, 37(1): 36-44 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0811>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王彦苏, 李士伟, 于学臻, 等. 小麦对土壤铬富集和转运的品种差异性研究[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(1): 19–27.

WANG Y S, LI S W, YU X Z, et al. Wheat cultivar difference in bioconcentration and translocation of chromium in soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(1): 19–27.



开放科学 OSID

小麦对土壤铬富集和转运的品种差异性研究

王彦苏¹, 李士伟¹, 于学臻¹, 李合莲^{1*}, 马义兵²

(1. 济南大学水利与环境学院, 济南 250022; 2. 澳门科技大学澳门环境研究院, 澳门 999078)

摘要:为了筛选铬(Cr)的低累积小麦品种从而为农产品安全生产提供依据,本文通过生物试验研究了小麦对土壤Cr富集和转运的品种差异性。设置0(CK)、5.6 mg·kg⁻¹(T1)和10.0 mg·kg⁻¹(T2)3个浓度的Cr(VI)处理,采用温室盆栽试验研究山东潮土和江西红壤中12个品种的小麦对土壤Cr的富集和转运规律。结果表明:在Cr(VI)处理浓度相同的情况下,同一品种小麦秸秆和籽粒Cr含量在两种土壤之间存在显著差异($P<0.05$),山东潮土中的小麦籽粒Cr含量是江西红壤中的1.07~2.50倍。山东潮土中,不同品种小麦秸秆Cr含量在T1和T2处理下均无显著差异,籽粒Cr含量在T2处理下除轮选988和百农AK58外,其他品种间均有显著差异($P<0.05$);江西红壤中,小麦秸秆Cr含量仅在扬麦20和轮选988中有显著差异($P<0.05$),籽粒Cr含量在不同品种间无显著差异。T1和T2处理下,山东潮土和江西红壤中12个品种小麦的生物富集系数(小麦Cr含量与土壤有效态Cr浓度的比值)分别为0.19~1.38和0.18~2.08,Cr从秸秆到籽粒的转运系数(TF)分别为0.14~0.61和0.04~0.49。研究发现,小麦籽粒Cr含量和TF值呈显著正相关($P<0.05$),土壤性质对小麦籽粒Cr含量影响的贡献率最大($P<0.001$),山东潮土中有效态Cr浓度更高,对小麦的生物有效性更大。研究结果表明,山农17是Cr的低累积小麦品种,百农AK58是Cr的高累积小麦品种。

关键词:土壤;铬;小麦;生物富集系数;转运系数

中图分类号:X173;S512.1 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2022)01-0019-09 doi:10.11654/jaes.2021-0575

Wheat cultivar difference in bioconcentration and translocation of chromium in soil

WANG Yansu¹, LI Shiwei¹, YU Xuezhen¹, LI Helian^{1*}, MA Yibing²

(1. School of Water Conservancy and Environment, University of Jinan, Jinan 250022, China; 2. Macao Environmental Research Institute, Macao University of Science and Technology, Macao 999078, China)

Abstract: Screening of wheat cultivars with low chromium (Cr) accumulation as a basis for the safe agricultural products and elucidating the differences of wheat cultivars in bioconcentrating and translocating soil Cr were carried out through biological experiments. In this study, Shandong fluvo-aquic soil and Jiangxi red soil were spiked with three concentrations of Cr(VI): 0(CK), 5.6(T1), and 10.0 mg·kg⁻¹(T2). A greenhouse pot experiment was conducted to investigate the bioconcentration and translocation of Cr by growing 12 wheat cultivars in the two different soils. The results showed that at the same concentration of Cr(VI), the Cr contents recorded in the wheat straw and grain of the same wheat cultivar were significantly different between the two soils ($P<0.05$). The Cr contents in the grains of wheat planted in Shandong fluvo-aquic soil were 1.07 to 2.50 times higher than that in Jiangxi red soil. No significant difference was observed in wheat straw Cr content among different wheat cultivars planted in Shandong fluvo-aquic soil under T1 and T2 treatments, whereas there was a

收稿日期:2021-05-17 录用日期:2021-08-27

作者简介:王彦苏(1996—),女,山东淄博人,硕士研究生,主要研究方向为土壤重金属安全阈值。E-mail:1024946797@qq.com

*通信作者:李合莲 E-mail:chm_lihl@ujn.edu.cn

基金项目:澳门特别行政区科学技术发展基金项目(0159/2019/A3);国家重点研发计划项目(2016YFD0800407);国家自然科学基金项目(41771524)

Project supported: The Science and Technology Development Fund, Macao SAR(0159/2019/A3); The National Key Research and Development Program of China(2016YFD0800407); The National Natural Science Foundation of China(41771524)

significant difference ($P<0.05$) in grain Cr content among the cultivars under T2 treatment except for Lunxuan 988 and Bainong AK58. In Jiangxi red soil, significant differences in wheat straw Cr content ($P<0.05$) were observed between Yangmai 20 and Lunxuan 988, and there was no significant difference in grain Cr content among the different cultivars. Under T1 and T2 treatments, the bioconcentration factors (the ratio of Cr content in wheat to available Cr concentration in soil) of the 12 wheat cultivars in Shandong fluvo-aquic soil and Jiangxi red soil were 0.19~1.38 and 0.18~2.08, respectively. The translocation factors (TF) of Cr from straw to grain were 0.14~0.61 and 0.04~0.49, respectively. There was a positive correlation between the wheat grain Cr content and TF value ($P<0.05$). Moreover, soil properties contributed the most to the wheat grain Cr content ($P<0.001$). The available Cr concentration in Shandong fluvo-aquic soil was higher, and thus, the bioavailability to wheat plants was increased. The Shannong 17 variety had a low accumulation of Cr, while Bainong AK58 variety had a high accumulation of Cr.

Keywords: soil; chromium; wheat; bioconcentration factor; translocation factor

铬(Cr)存在多种形态(-2~+6),环境中最常见和最稳定的形态是六价铬[Cr(VI)]和三价铬[Cr(III)]^[1]。Cr(III)被认为是对人和动物有益的微量营养元素,而Cr(VI)被认为是A类人类致癌物^[2]。农田土壤Cr污染不仅会对生态环境造成影响,还会增加Cr在作物可食部分的累积,进而通过食物链给人类健康带来潜在危害^[3]。

作物对Cr的吸收和转运因品种而异^[2,4]。例如CAO等^[5]研究了水稻基因型对Cr吸收的影响,发现天优805、Ⅱ优904、甬优412(甬优17号)为Cr的高累积品种,春江糯6、嘉优08-1和川香优H11为Cr的低累积品种。陈惠君等^[6]比较了37个菜心品种对Cr/Pb复合污染土壤中Cr和Pb的累积,发现累积量最高和最低的品种可食用部分Cr含量之比为4.2,低累积品种根际分泌的溶解性有机碳和H⁺少,钙离子通道不活跃,对重金属的活化和吸收能力弱。李智鸣^[7]通过田间试验比较了347个花生品种籽粒中Cr的富集情况,发现花生籽粒中Cr的含量为0.02~10.62 mg·kg⁻¹,高、低累积品种之间累积能力差异巨大。

物种敏感性分布方法(SSD)是采用统计分布函数对试验中获得的不同物种的毒理数据进行拟合,以获得不同保护水平对应的浓度阈值或者对应不同浓度的风险水平的方法^[8]。SSD方法常用于制定环境质量基准及进行生态风险评估^[9-11]。近年来,SSD方法也用于化学物质毒性的比较^[12]。此外,若以生物富集系数(BCF)为评价终点,SSD曲线还可以用于比较不同作物品种对污染物的富集能力差异,这为鉴定低累积品种提供了可能性^[11]。

小麦在世界各地广泛种植且品种繁多,不同品种对Cr的富集情况尚不清楚。因此,本研究选择土壤性质差异较大的山东潮土和江西红壤作为受试土壤,外源添加一定浓度的Cr(VI),通过盆栽试验研究了12个

品种的小麦对Cr的累积和转运,以BCF作为评价终点,构建SSD曲线,对不同小麦品种的富集能力进行比较。研究结果可以为Cr的低累积小麦品种筛选及中、低浓度污染土壤中农产品安全风险评估提供依据。

1 材料和方法

1.1 土壤采集及理化性质分析

供试土壤(山东潮土和江西红壤)均采自未受污染的农田表层(0~20 cm)。样品风干,混匀,过2 mm的尼龙筛后备用。土壤pH使用0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂(固液比为1:2.5)提取,用pH计测定;土壤有机质使用重铬酸盐法测定;土壤阳离子交换量(CEC)用乙酸铵法测定;土壤中黏粒含量用移液管法测定;土壤无定形Fe、Al用草酸铵溶液提取,并用紫外可见分光光度计测定;土壤中总Cr采用硝酸-高氯酸-氢氟酸(体积比为15:2:2)进行消解,并利用火焰原子吸收光谱法测定。土壤理化性质测定结果见表1。

1.2 污染土壤的制备及老化处理

本研究重点关注的是中、低污染水平的非毒害效应浓度下小麦对土壤Cr的吸收和富集,而非生态毒害作用。根据预试验结果,外源Cr(VI)添加浓度为45

表1 土壤基本理化性质

Table 1 Selected physicochemical properties of soil

土壤性质 Soil property	山东潮土 Shandong fluvo-aquic soil	江西红壤 Jiangxi red soil
pH	8.24±0.1	4.91±0.1
有机质/(g·kg ⁻¹)	8.04±0.2	10.11±0.5
CEC/(cmol·kg ⁻¹)	9.3±0.1	24.1±0.6
黏粒含量/%	5.34±0.1	38.56±0.9
无定形铁/(g·kg ⁻¹)	0.35±0.4	3.45±0.8
无定形铝/(g·kg ⁻¹)	0.29±2.4	2.12±0.5
总Cr/(mg·kg ⁻¹)	49.35±0.01	83.07±0.02

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 并老化3个月后,山东潮土中小麦幼苗的生长仍然有明显的毒害效应产生。此外,CHEN等^[13]发现,土壤中Cr(VI)浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,小麦根系生长受到明显的抑制。综合以上结果,本研究最终确定设置3个Cr(VI)添加浓度:0(CK)、 $5.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (T1)和 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (T2)。将一定量的 K_2CrO_4 以溶液形式分多次加入土壤,混匀,在70%的田间持水量下老化90 d。

1.3 盆栽试验

供试小麦共计12个品种,其中济麦22、石麦14、百农AK58、山农17、鲁原502、中麦895、周麦27、良星77和轮选988为半冬性品种,烟农19为冬性品种,扬麦20和川麦104为春性品种。将小麦种子在去离子水中浸泡24 h,然后在25℃的潮湿条件下催芽12 h。将萌发的种子进行播种,每盆播种10颗,每个处理3个重复。盆栽前,所有处理均施加N $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (尿素)、P $0.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (磷酸二氢钙)、K $0.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (硫酸钾)作为底肥。盆栽试验于2018年10月中旬至2019年6月初在济南大学温室进行。试验期间土壤含水量保持在田间持水量的70%左右。

1.4 样品采集和分析

小麦成熟后收获秸秆和麦穗,对麦穗进行脱壳,获取小麦籽粒。分别用自来水和去离子水进行彻底清洗,用滤纸吸去表面水分,称取鲜质量。鲜样在105℃下杀青20 min,然后70℃条件下烘干至恒质量,记录干质量,将样品粉碎,装入纸袋中储于干燥器内。称取0.3 g秸秆或0.8 g小麦籽粒于消解管中,加入10 mL 1:1硝酸和1 mL双氧水,用石墨消解仪进行消解,消解液经赶酸、定容至50 mL后过滤、稀释,用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Agilent-7500a)测定Cr浓度。

收获小麦的同时进行土壤采样,样品风干后研磨过2 mm筛,用于测定有效态Cr含量。准确称取土壤样品1.00 g于50 mL离心管中,加入10.0 mL $0.050 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ EDTA- Na_2 ,40℃恒温摇床内 $180 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 振荡12 h,13 500 g离心,取上清液过 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜,稀释后利用ICP-MS进行有效态Cr(EDTA-Cr)含量的测定。

整个分析过程中,用小麦标准物质(GBW10046)和土壤标准物质(GBW07424)进行质量控制,小麦中Cr的回收率为92%~103%,土壤中总Cr的回收率为95%~110%。

1.5 数据处理与分析

1.5.1 数据处理

由于本研究中外源Cr(VI)添加水平远低于土壤

的总Cr背景值,在计算小麦秸秆或籽粒对土壤中Cr的生物富集系数(BCF)时,采用土壤EDTA-Cr含量而不是总Cr含量来计算:

$$BCF = C_{\text{plant}} / C_{\text{soil}} \quad (1)$$

式中: C_{plant} 为小麦秸秆或籽粒中Cr的含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; C_{soil} 为土壤EDTA-Cr的含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

土壤Cr从小麦秸秆向籽粒的转运系数(TF):

$$TF = C_{\text{grain}} / C_{\text{straw}} \quad (2)$$

式中: C_{grain} 和 C_{straw} 分别为小麦籽粒和秸秆中Cr的含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.5.2 SSD曲线的拟合

SSD方法中累积概率分布的拟合常采用log-logistic、log-normal和Burr-Ⅲ分布函数,而Burr-Ⅲ分布是一种更灵活的函数,可以对log-logistic、log-normal等分布函数进行很好的逼近^[14]。因此本研究采用Burr-Ⅲ函数对1/BCF数据进行拟合,建立12种小麦对Cr元素的富集能力敏感性分布曲线。SSD曲线的拟合采用BurliOZ软件(<http://www.cmis.csiro.au/envir/burlioz/>)完成。

1.5.3 统计分析

用SPSS 22软件对数据进行统计分析。采用单因素方差分析(ANOVA)检验不同处理间的差异,运用多因素方差分析检验小麦品种与土壤类型及其交互作用对小麦秸秆和籽粒Cr含量的影响,秸秆和籽粒Cr含量的相关性以及籽粒Cr含量和TF之间的相关性通过皮尔逊相关分析进行确定。

2 结果与分析

2.1 不同土壤中有有效态Cr含量的差异

土壤中EDTA-Cr浓度见表2。小麦品种影响土壤中EDTA-Cr含量,山东潮土中T1和T2处理的EDTA-Cr含量分别为 $0.39 \sim 0.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.68 \sim 1.84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;江西红壤中T1和T2处理的EDTA-Cr含量分别为 $0.20 \sim 0.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.26 \sim 1.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。除T1处理下种植山农17和周麦27的土壤和T2处理下种植山农17、中麦895和轮选988的土壤外,都表现出山东潮土中EDTA-Cr含量高于江西红壤的现象。

山东潮土中,除种植济麦22、石麦14、百农AK58和良星77的T1处理土壤外,其余土壤中EDTA-Cr含量均显著高于对照土壤。江西红壤中,除种植济麦22的土壤及种植烟农19和百农AK58的T1处理土壤外,其余土壤中EDTA-Cr含量均显著高于对照土壤。此外,除个别小麦品种外,T2处理土壤中EDTA-Cr含

表2 山东潮土和江西红壤中有效态Cr含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 2 Available Cr concentration in Shandong fluvo-aquic soil and Jiangxi red soil($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

小麦品种 Wheat cultivar	山东潮土 Shandong fluvo-aquic			江西红壤 Jiangxi red soil		
	CK	T1	T2	CK	T1	T2
济麦 22	0.21±0.12b	0.57±0.13b	1.11±0.52a	0.15±0.03a	0.24±0.05a	0.26±0.07a
烟农 19	0.17±0.03c	0.39±0.03b	0.72±0.10a	0.12±0.01b	0.20±0.01b	0.48±0.13a
石麦 14	0.24±0.08b	0.41±0.02b	1.19±0.65a	0.09±0.00c	0.23±0.01b	0.31±0.03a
扬麦 20	0.21±0.04c	0.53±0.12b	1.28±0.13a	0.08±0.00c	0.21±0.00b	0.48±0.15a
川麦 104	0.17±0.02b	0.53±0.04a	0.68±0.13a	0.08±0.02c	0.21±0.01b	0.32±0.02a
百农 AK58	0.12±0.04b	0.40±0.09b	0.82±0.17a	0.12±0.01b	0.19±0.06b	0.34±0.02a
山农 17	0.12±0.03c	0.70±0.07b	0.98±0.23a	0.13±0.00b	1.00±0.30a	1.26±0.11a
鲁原 502	0.10±0.06c	0.76±0.10b	1.00±0.06a	0.11±0.02b	0.75±0.20a	0.99±0.04a
中麦 895	0.14±0.02c	0.67±0.06b	1.11±0.07a	0.10±0.04c	0.63±0.11b	1.21±0.15a
周麦 27	0.11±0.05c	0.64±0.02b	1.13±0.15a	0.11±0.05c	0.71±0.06b	1.11±0.16a
良星 77	0.31±0.20b	0.75±0.19b	1.84±0.45a	0.13±0.02c	0.71±0.07b	1.11±0.17a
轮选 988	0.11±0.01c	0.64±0.13b	1.07±0.18a	0.07±0.05c	0.64±0.06b	1.09±0.04a

注:同一行的不同小写字母表示不同浓度Cr(VI)处理下土壤有效态Cr含量差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same line indicate significant difference at $P<0.05$ level among different concentrations of Cr(VI) treatments.

量均显著高于T1处理土壤。总体上看,尽管本研究外源Cr(VI)添加浓度较低,却显著增加了土壤中EDTA-Cr的含量。

2.2 小麦中Cr含量及影响因素

图1为山东潮土和江西红壤中12个品种小麦秸秆和籽粒Cr含量。T1和T2处理下,山东潮土中秸秆Cr含量分别为0.73~2.45 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和0.97~2.56 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,籽粒Cr含量分别为0.31~0.59 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和0.31~0.58 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同品种小麦秸秆Cr含量无显著差异。T1处理下,良星77和轮选988与其他小麦品种籽粒Cr含量有显著差异;T2处理下,除轮选988和百农AK58两种小麦外,其他小麦品种间籽粒Cr含量有显著差异($P<0.05$)。T1和T2处理下,江西红壤中12个品种小麦秸秆Cr含量分别为0.97~6.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和0.22~5.19 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,籽粒Cr含量分别为0.21~0.37 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和0.22~0.31 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。扬麦20和轮选988与其他小麦品种间秸秆Cr含量有显著差异;不同小麦品种籽粒Cr含量无显著差异。

根据《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2017),谷物中总Cr的最高允许含量为1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。山东潮土和江西红壤中的小麦籽粒Cr含量分别仅为限量值的31%~59%和21%~37%。总体来说,山东潮土中12个品种的小麦籽粒中Cr含量均显著高于江西红壤中相应品种的籽粒Cr含量,山东潮土中小麦籽粒Cr含量是江西红壤中的1.07~2.50倍。

图2为小麦对Cr的TF计算结果。相同浓度Cr(VI)

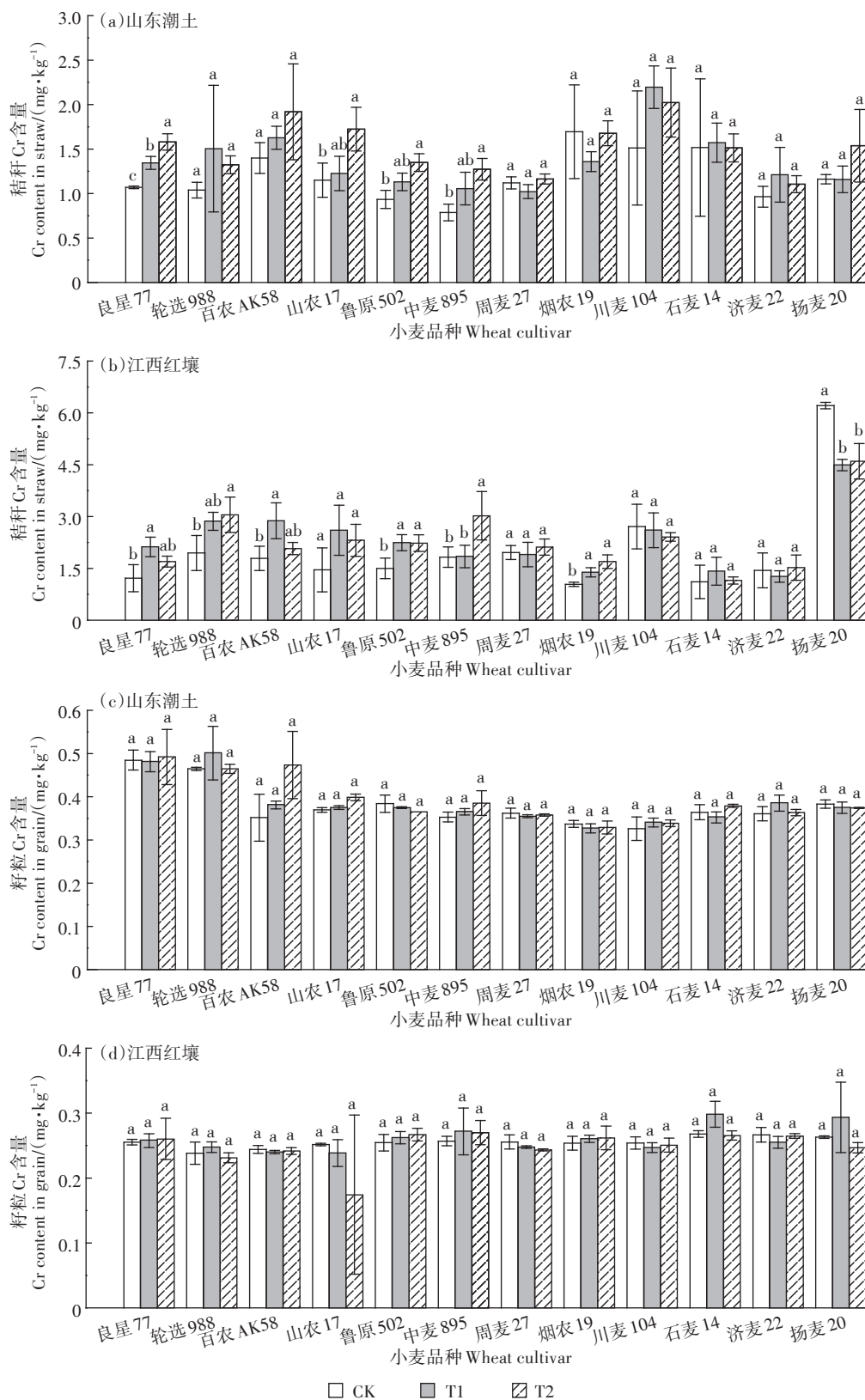
处理下,山东潮土和江西红壤中秸秆到籽粒的TF值在不同品种的小麦间均存在显著差异($P<0.05$),同一品种的小麦在两种土壤中的TF值也有较大的差异。外源添加Cr(VI)处理下,山东潮土和江西红壤中不同小麦品种的TF值变化范围为0.14~0.61和0.04~0.49,其变异系数为2.50%~67.36%。小麦籽粒Cr含量与Cr从秸秆到籽粒的TF值呈极显著正相关($P<0.01$)。

表3为小麦品种和土壤类型对小麦籽粒Cr含量影响的方差分析结果。T1和T2处理下,品种和土壤类型及品种和土壤类型互作均显著影响小麦籽粒中Cr含量。从各因子和两个因子互作对Cr含量变化的贡献(平方和,SS)可以看出,土壤类型对小麦籽粒Cr含量影响最大。

2.3 不同品种小麦对土壤Cr的富集能力差异

根据公式(1)计算不同品种小麦基于土壤EDTA-Cr浓度的BCF值,用BurrliOZ软件对1/BCF进行累积概率分布拟合,分别得到T1和T2处理下不同品种小麦BCF值的SSD曲线(图3)。两种土壤中不同品种的小麦对Cr的富集能力存在很大差异。此外,小麦对Cr的富集受土壤中Cr(VI)添加浓度的影响,随着Cr(VI)添加浓度增大,小麦的BCF值降低。

山东潮土中的鲁原502、济麦22、川麦104、扬麦20、石麦14和江西红壤中的济麦22在敏感性分布曲线中的位置在不同Cr(VI)添加浓度下变化较大,这可能是因为本研究Cr(VI)总体添加浓度较低,导致富集规律性不够明显。轮选988对Cr的富集在两种



不同小写字母表示同一小麦品种在不同浓度Cr(VI)处理下差异显著($P<0.05$)。下同
Different lowercase letters indicate significant differences in the same wheat cultivar among different concentrations of Cr(VI) treatments($P<0.05$). The same below

图1 小麦秸秆和籽粒Cr含量

Figure 1 Contents of Cr in wheat straw and grain

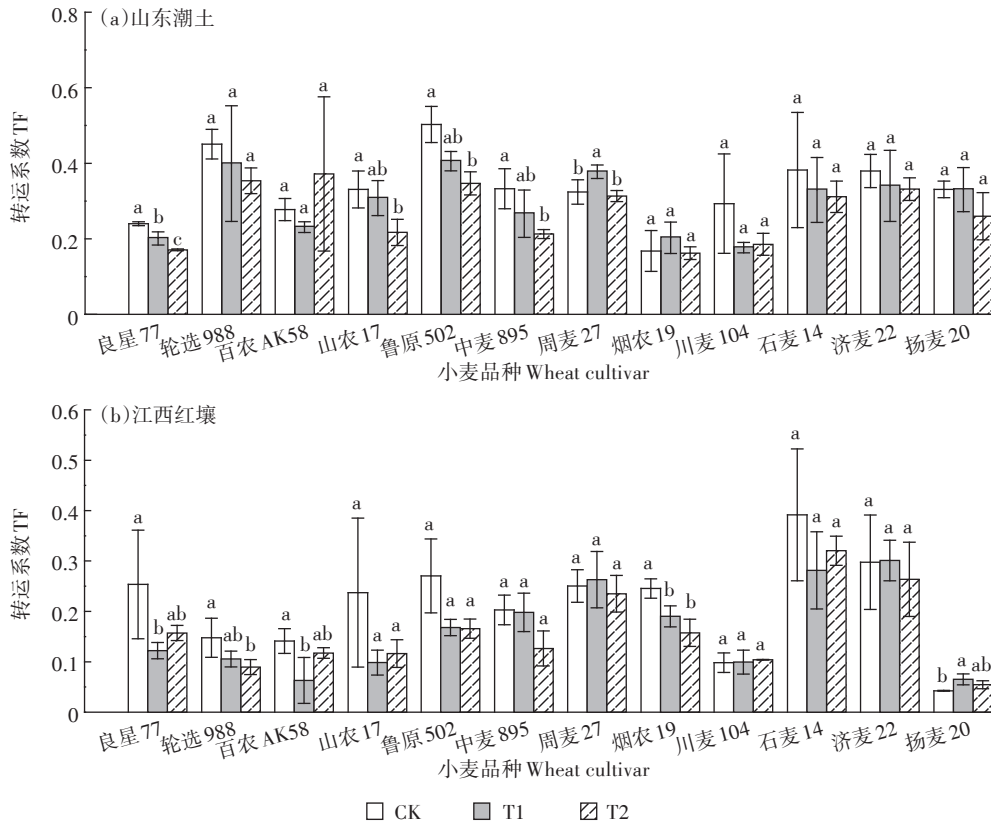


Figure 2 Translocation factor(TF) from wheat straw to grain

表3 品种和土壤类型对小麦籽粒Cr含量影响的方差分析

Table 3 Variance analysis on the effects of cultivars, soil types, and their interaction on the Cr contents in wheat grains

变量 Variate		T1			T2		
		平方和SS	均方差SD	F	平方和SS	均方差SD	F
作物	品种	0.048	0.004	6.195***	0.043	0.004	4.576***
	土壤类型	0.275	0.275	392.907***	0.342	0.342	396.161***
	品种×土壤类型	0.061	0.006	7.954***	0.058	0.005	6.160***
	误差	0.034	0.001		0.041	0.001	

注:***表示显著性水平 $P<0.001$ 。
Note:*** indicates significant difference at $P<0.001$ level.

土壤中差异较大,在江西红壤中富集较少,位于敏感性分布曲线的上端,而在山东潮土中富集较多,位于敏感性分布曲线的下端;山农17对Cr的富集在两种土壤中变化较小,均位于敏感性分布曲线的上端。山东潮土和江西红壤中12个品种的小麦BCF值分别为0.19(石麦14)~1.38(百农AK58)和0.18(山农17)~1.62(济麦22)。

在山东潮土中,T1和T2处理下,百农AK58位于SSD曲线的下端,富集Cr的能力最强,其BCF值分别为1.01和0.60。鲁原502和济麦22位于SSD曲线的

上端,富集Cr的能力较弱,其BCF值分别为0.50和0.26。在江西红壤中,低浓度Cr(VI)处理下,扬麦20位于SSD曲线底端,是富集Cr最高的品种($BCF=1.42$),山农17位于SSD曲线顶端,是富集Cr最低的品种($BCF=0.20$)。高浓度Cr(VI)处理下,济麦22是富集Cr最高的品种($BCF=1.11$),轮选988为富集Cr最低的品种($BCF=0.20$)。

百农AK58在两种土壤中T1和T2处理下均位于SSD曲线的下端,富集Cr的能力较强,是Cr的高累积小麦品种;山农17在两种土壤中T1和T2处理下均位

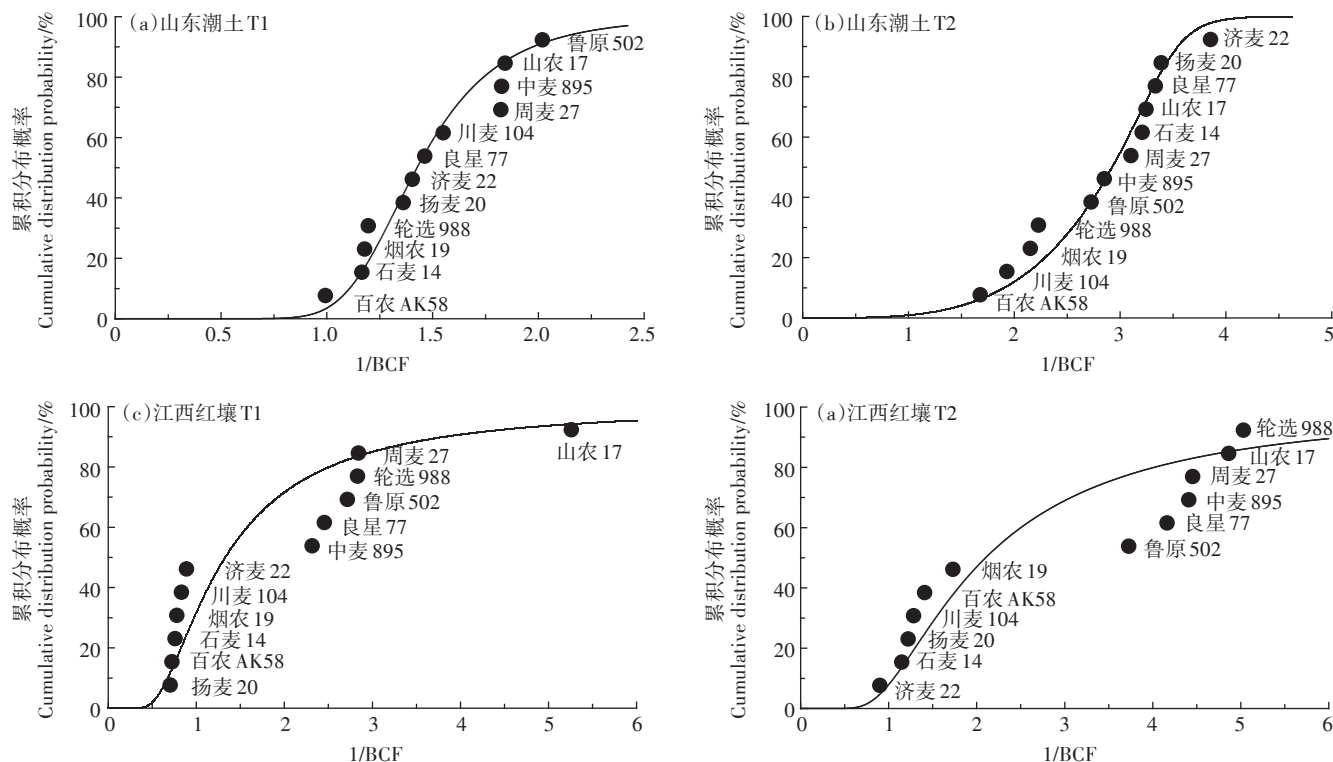


图3 基于土壤有效态Cr的小麦生物富集系数物种敏感性分布曲线

Figure 3 Species sensitivity distribution curve of wheat bioconcentration factor based on soil available Cr

于SSD曲线的上端,富集Cr的能力较弱,是Cr的低累积小麦品种。

3 讨论

3.1 土壤类型对小麦Cr含量的影响

本研究发现小麦Cr含量受土壤类型影响最大,这与张国庆^[15]的研究结果一致。此外,程旺大等^[16]研究了水稻籽粒中Cr含量与基因型和环境变异的关系,亦发现环境对籽粒Cr含量的影响最大。而伍钧等^[17]则发现影响玉米籽粒富集Cr能力的因素排序为环境与品种互作>品种>环境。以上不同的结论可能是源于供试作物种类不同以及土壤理化性质的差异。

本研究中,山东潮土中的小麦籽粒Cr含量显著高于江西红壤中的小麦籽粒Cr含量,这与土壤中Cr的存在形态和土壤性质有着密切关系。相同Cr(VI)污染水平下,土壤老化1a后,山东潮土中有效态Cr的浓度显著高于江西红壤^[18]。这可能是因为两种土壤对Cr(VI)的还原容量存在较大差异。Cr(VI)向Cr(III)的还原反应是影响土壤中Cr(VI)生物有效性的关键过程,该过程与土壤pH、有机质含量及土壤颗粒组成等因素关系密切。低pH值、高有机质及高黏

粒含量有利于Cr(VI)向Cr(III)的还原^[19]。由于江西红壤与山东潮土相比pH较低,有机质含量高,黏粒占比大,因此还原Cr(VI)能力较强,这在本课题组先前的研究中已经得到证实^[18]。因此,Cr在山东潮土中具有更高的生物有效性,更容易在小麦中累积。

3.2 品种对小麦Cr含量的影响

大多数Cr是通过植物吸收必需离子的载体而进入植物体内的,植物吸收Cr的能力取决于植物类型^[20]。本研究中同一浓度下,山东潮土中良星77和轮选988两个品种籽粒Cr含量和江西红壤中轮选988和扬麦20秸秆Cr含量与其他绝大多数小麦品种间存在显著差异。与本研究的結果类似,陈启航^[21]发现不同品种的小麦对土壤背景Cr中Cr(III)及总Cr的富集程度存在很大差异,这主要是因为不同品种的生理特性及基因差异。

一般来说,土壤源重金属在植物各器官中的分布规律为根>秸秆>籽粒。本研究中也发现了同样的规律,山东潮土和江西红壤中的小麦秸秆Cr含量分别约为籽粒Cr含量的8倍和4倍,秸秆和籽粒Cr含量之间存在显著差异,这说明秸秆和籽粒富集Cr的能力不同。与本研究结果类似,TIWARI等^[22]发现Cr在豌

豆不同器官中的累积顺序为:根>茎>叶>籽粒。同时,本研究发现,不同品种小麦籽粒中Cr含量的差异主要是秸秆中的Cr迁移转运到籽粒能力的差异引起的。这与YE等^[23]的观点类似,即稻米对镉(Cd)的累积与茎叶到籽粒的转运系数相关。

3.3 土壤污染水平对小麦Cr含量的影响

在本研究中,由于外源Cr(VI)添加水平较低,且土壤老化时间较长,小麦秸秆和籽粒Cr含量在CK、T1和T2处理下未观察到显著差异。而赵鲁等^[24]研究发现,随土壤中Cr添加量的增加,小麦籽粒Cr含量呈逐渐升高的趋势,且显著高于对照处理。这说明小麦籽粒Cr含量受土壤Cr含量的影响。

4 结论

(1)小麦品种的富集顺序受土壤性质的影响,在山东潮土和江西红壤中呈现出不同的规律。外源添加Cr(VI)后,山东潮土(碱性)中Cr的化学浸提性和生物有效性都高于江西红壤(酸性)。

(2)不同小麦品种对Cr的吸收富集和转运能力存在显著差异。不同品种籽粒Cr含量的差异主要源于转运能力的不同。

(3)山农17是Cr的低累积小麦品种,百农AK58是Cr的高累积小麦品种。

参考文献:

- [1] ASHRAF A, BIBI I, NIAZI N K, et al. Chromium (VI) sorption efficiency of acid-activated banana peel over organo-montmorillonite in aqueous solutions[J]. *International Journal of Phytoremediation*, 2017, 19(7):605-613.
- [2] DING C F, LI X G, ZHANG T L, et al. Phytotoxicity and accumulation of chromium in carrot plants and the derivation of soil thresholds for Chinese soils[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 108: 179-186.
- [3] BROADWAY A, CAVE M R, WRAGG J, et al. Determination of the bioaccessibility of chromium in Glasgow soil and the implications for human health risk assessment[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, 409(2):267-277.
- [4] NABULO G, BLACK C R, CRAIGON J, et al. Does consumption of leafy vegetables grown in peri-urban agriculture pose a risk to human health?[J]. *Environmental Pollution*, 2012, 162(1):389-398.
- [5] CAO F B, WANG R F, CHENG W D, et al. Genotypic and environmental variation in cadmium, chromium, lead and copper in rice and approaches for reducing the accumulation[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 496:275-281.
- [6] 陈惠君, 谭玲, 李取生, 等. Cr/Pb低累积菜心品种筛选及其根际机理研究[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(7):1249-1256. CHEN H

- J, TAN L, LI Q S, et al. Screening and preliminary rhizosphere mechanisms of low Cr/Pb accumulation cultivars of Chinese flowering cabbages (*Brassica parachinensis* L.)[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(7):1249-1256.
- [7] 李智鸣. 不同花生品种对铬的吸收差异及调控措施研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016: 17-19. LI Z M. Study on the absorption of chromium by different peanuts varieties and its regulation measures [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016: 17-19.
- [8] DING C F, MA Y B, LI X G, et al. Determination and validation of soil thresholds for cadmium based on food quality standard and health risk assessment[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 619:700-706.
- [9] 孙聪, 陈世宝, 马义兵, 等. 基于物种敏感性分布(Burr-III)模型预测Cd对水稻毒害的生态风险阈值HC5[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(12):2316-2322. SUN C, CHEN S B, MA Y B, et al. Ecological hazard concentration (HC5) of cadmium (Cd) to rice cultivars under hydroponic culture as determined with species sensitivity distribution model (Burr-III) [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(12):2316-2322.
- [10] 孙聪, 陈世宝, 宋文恩, 等. 不同品种水稻对土壤中镉的富集特征及敏感性分布(SSD)[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(12):2384-2394. SUN C, CHEN S B, SONG W E, et al. Accumulation characteristics of cadmium by rice cultivars in soils and its species sensitivity distribution[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(12):2384-2394.
- [11] DING C F, MA Y B, LI X G, et al. Derivation of soil thresholds for lead applying species sensitivity distribution: A case study for root vegetables[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, 303:21-27.
- [12] GARNER K L, SUH S, LENIHAN H S, et al. Species sensitivity distributions for engineered nanomaterials[J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 49(9):5753-5759.
- [13] CHEN N C, KANAZAWA S, HORIGUCHI T. Effect of chromium on some enzyme activities in the wheat rhizosphere[J]. *Soil Microorganisms*, 2001, 55(1):3-10.
- [14] SONG W E, CHEN S B, LIU J F, et al. Variation of Cd concentration in various rice cultivars and derivation of cadmium toxicity thresholds for paddy soil by species-sensitivity distribution[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(9):1845-1854.
- [15] 张国庆. 土壤-小麦系统中汞和铬生态毒理效应的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013:28-34. ZHANG G Q. Ecotoxicological effects of mercury and chromium in soil-wheat system[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013:28-34.
- [16] 程旺大, 张国平, 姚海根, 等. 晚粳稻籽粒中As、Cd、Cr、Ni、Pb等重金属含量的基因型与环境效应及其稳定性[J]. *作物学报*, 2006, 32(4):573-579. CHENG W D, ZHANG G P, YAO H G, et al. Genotypic and environmental variation and their stability of As, Cr, Cd, Ni and Pb concentrations in the grains of Japonica rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(4):573-579.
- [17] 伍钧, 吴传星, 孟晓霞, 等. 重金属低积累玉米品种的稳定性和环境适应性分析[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(11):2160-2167. WU J, WU C X, MENG X X, et al. The analysis of stability and adaptability on low accumulation of heavy metals in various cultivars of zeamays[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(11):2160-

2167.

- [18] 牟祖廷, 张延一, 马义兵, 等. 我国典型农田土壤中Cr(VI)的老化过程及主控因子[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(1): 62–73. MU Z T, ZHANG Y Y, MA Y B, et al. Aging kinetics and main controlling factors of Cr(VI) in typical farmland soils in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(1): 62–73.
- [19] 肖文丹. 典型土壤中铬迁移转化规律和污染诊断指标[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 4–11, 31–33. XIAO W D. Transformation and movement characterization and diagnostic index of chromium pollution in representative Chinese soils[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014: 4–11, 31–33.
- [20] SHAHID M, SHAMSHAD S, RAFIQ M, et al. Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review[J]. *Chemosphere*, 2017, 178: 513–533.
- [21] 陈启航. 不同品种小麦中铜、镉、铬的含量及其与生长土壤的相关性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008: 42–47. CHEN Q H. Determination of copper, germanium and chromium contents in wheats and correlation research with their growth soil[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2008: 42–47.
- [22] TIWARI K K, DWIVEDI S, SINGH N K, et al. Chromium(VI) induced phytotoxicity and oxidative stress in pea (*Pisum sativum* L.): Biochemical changes and translocation of essential nutrients[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2009, 30(3): 389–394.
- [23] YE X X, MA Y B, SUN B. Influence of soil type and genotype on Cd bioavailability and uptake by rice and implications for food safety[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, 24(9): 1647–1654.
- [24] 赵鲁, 李旭军, 穆真, 等. Cr(III)胁迫对大豆、小麦生长及铬吸收和转运的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(1): 63–67. ZHAO L, LI X J, MU Z, et al. Effect of chromium stress on the growth and uptake characteristics of chromium in soybean and wheat[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2015(1): 63–67.

GREEN

绿色生活, 低碳出行



《农业环境科学学报》公益宣传