

文章编号: 1674-9057(2019)03-0706-07

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2019.03.024

南宁市典型耕地区水稻籽实微量元素生物富集差异分析

钟晓宇¹, 李方林², 李杰¹, 陈彪¹, 柴龙飞¹

(1. 广西壮族自治区地质调查院, 南宁 530023, 2. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 武汉 430074)

摘要:通过分析南宁典型耕地区557套水稻籽实及根系土相关元素含量, 计算水稻籽实中As、B、Cd、Cr、Cu、Hg、Mo、Ni、Pb、Se、Zn等11项元素的生物富集系数显示: 早稻及晚稻籽实之间, 早晚稻根系土之间元素含量相差较小, 各元素富集能力有一定差异, Mo、Cd、Zn、Se元素的生物富集能力最强, 其中Mo元素BCF大于50%; As、Cr、Ni、Pb元素最小, BCF小于1%。金属元素超标率与BCF之间无明显相关性。土壤中Mo、Zn含量与水稻籽实中As、Cu、Cr的BCF, 土壤中Mo、P、Zn含量与水稻籽实中Mo、Zn的BCF之间均呈现一定的负关联性。

关键词: 微量元素; 生物富集系数(BCF); 水稻籽实; 南宁

中图分类号: P595; X142

文献标志码: A

生物富集系数(bioconcentration factors, BCF)是表征化学物质被生物浓缩或富集于体内程度的指标。生物富集系数反映生态系统中的生物要素和非生物要素对生物富集作用的影响, 是研究元素土壤—作物迁移转换的重要途径^[1], 亦是区域风险评价的重要环节^[2-5]。水稻元素富集系数指元素在水稻籽实中的含量与其根系土含量的比值, 即 $BCF = \text{籽实中元素含量} / \text{根系土中的元素含量}$ 。受元素性质、物质来源、土壤性质、作物耕作方式和气候条件的影响, 水稻籽实的元素富集特征差异明显^[6-8]。

研究土壤中元素对生物体的影响一直是环境化学、农业地质等诸多学科的研究热点^[9], 分析作物本身特性的吸收机制可以较好地预测作物对土壤元素的富集规律^[10-11]。水稻作为南宁地区重要的农产品, 研究籽实内元素含量与其根系土中元素含量以及相互作用规律, 不但能够评判农作物长势、产量, 有效评价土壤安全及农作物生态安全, 在实际生产中, 更能起到指导科学规范种植, 提高、优化水稻质量及效率的作用^[12-13]。

1 研究区概况

研究区位于南宁市周边地区, 主要粮食作物为水稻, 一年两作, 种植面积大且品质较好, 是广西的主要粮食产区。该地区全年高温多雨, 属亚热带季风型海洋性气候。地貌类型主要以平地为主, 地质背景较为复杂, 除奥陶系、志留系缺失外, 寒武系至第四系均有出露, 其中第四系分布较广。南宁地区土壤CaO、MgO、Ni、K₂O、Zn、Cd、P的平均含量低于全国土壤平均含量, 仅为全国土壤平均值的3%~48%; Cu、F、Cr等较低于全国平均含量, 为全国平均值的51%~77%; As、Mo、Pb、Hg与全国平均含量相当; 而B明显高于全国平均含量, 为全国平均值的1.5倍左右。

2 研究方法

2.1 样品采集

综合南宁市水稻种植情况、地质背景、地貌以及土壤地球化学特征, 配套采集水稻籽实及其

收稿日期: 2018-04-23

基金项目: 广西国土资源厅土地质量地球化学评价项目

作者简介: 钟晓宇(1983—), 硕士, 工程师, 地球化学专业, 53544595@qq.com。

通讯作者: 李方林, 博士, 教授, fanglinli@cug.edu.cn。

引文格式: 钟晓宇, 李方林, 李杰, 等. 南宁市典型耕地区水稻籽实微量元素生物富集差异分析[J]. 桂林理工大学学报, 2019, 39(3): 706-712.

根系土各 557 件，其中早稻及其根系土各 183 件，晚稻及其根系土各 374 件，样点分布于江南区、邕宁区、武鸣区、横县等地，为南宁市典型耕地地区，亦为主要产粮区，详见图 1。采集时间集中于 7 月及 11 月，为水稻主要收获盛期。

水稻籽实采集以 0.1 ~ 0.2 hm² 为采样单元，在单元内选取 5 ~ 20 个植株，视不同情况采用棋盘法、梅花点法、对角线法、蛇形法等进行多点取样，用剪刀采取稻穗，等量混匀成样。当采集的样品可能受到施肥、喷药污染等外界影响时，则用自来水冲洗，然后用湿布擦净表面，再用蒸馏水冲洗 1 ~ 2 次。采样过程尽量避免人为因素干扰。

采集的根系土取自己剪取籽实的水稻植株，挖出水稻根部周围适当面积 0 ~ 20 cm 深度的土壤，将根系附着的泥土装进样袋中。

2.2 样品加工及分析测试

水稻籽实样品在室温下自然风干后脱壳、去精、磨碎，在烘箱内 80 ℃ 下烘干至恒重，用塑封袋装保存，用于分析测试。所有水稻籽实通过微波消解法提取样本，用等离子体质谱法测定 As、B、Cd、Cr、Ni、Cu、Pb、Zn、Mo 元素含量，采用原子

荧光法测定 Se、Hg 元素含量。

根系土样品先室温下自然风干，经研磨过 10 目(2 mm)尼龙筛后分析测定。具体测定方法：Mo、Cd、Co 用电感耦合等离子体质谱法(ICP - MS)，B 用电感耦合等离子体质谱法(ICP - MS)，Cu 用等离子体发射光谱法(ICP - OES)，Pb、Zn、Cr 用 X 射线荧光光谱法(XRF)，As、Hg、Se 用原子荧光光谱法(AFS)，Corg 用容量法(VOL)，pH 值用玻璃电极法(pH)，土壤理化性质采用常规方法分析^[13]。所有样品的测定均由广西壮族自治区地矿测试研究中心完成。

3 结论与讨论

3.1 早晚稻及根系土元素含量

南宁市典型耕地地区早晚稻及其根系土元素含量样本空间特征差异较大。大部分样本空间分布较为均匀，只有少量样本呈现较强的不均匀分布特征。早晚稻籽实同一元素含量以及早晚稻根系土同一元素含量相差较小。南宁市早晚稻籽实及根系土元素含量详见表 1。

早晚稻籽实中的Cd,早稻籽实中的Ni,晚稻籽

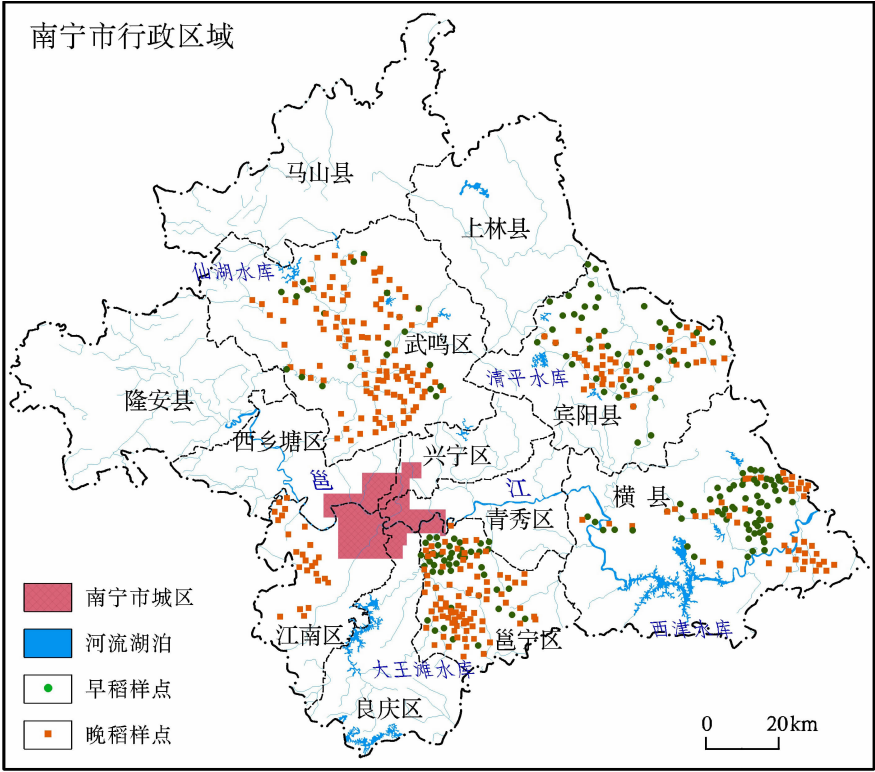


图 1 南宁市典型耕地地区早晚稻籽实 - 根系土采样点位图

Fig. 1 Sampling sites of early and late rice seeds and their root soil in typical cultivated area of Nanning

表 1 南宁市早晚稻籽实及根系土元素含量

Table 1 Elements concentrations of early and late rice seeds and their root soil in Nanning					$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$
元素	水稻籽实		根系土		
	早稻	晚稻	早稻	晚稻	
As	0.16 ± 0.078 **	0.1 ± 0.037 8 **	37.05 ± 54.1 **	21.77 ± 27.33 **	
B	0.82 ± 0.349 5 **	0.59 ± 0.226 8	70.67 ± 28.3 **	67.89 ± 26.64	
Cd	0.19 ± 0.345	0.14 ± 0.145 **	0.55 ± 0.726	0.41 ± 0.479 **	
Cr	0.1 ± 0.039 1 **	0.12 ± 0.05 **	156.58 ± 206.5 **	101.4 ± 74.66 **	
Cu	2.48 ± 1.099	2.93 ± 2.77 **	27.8 ± 18.13	26.16 ± 13.44 **	
Hg	0.004 ± 0.002 3 **	0.003 2 ± 0.001 5	0.15 ± 0.097 **	0.15 ± 0.2	
Mo	0.74 ± 0.347 *	0.66 ± 0.66 **	2.58 ± 3.62 *	1.66 ± 2.14 **	
Ni	0.19 ± 0.172 *	0.21 ± 0.157 **	29.31 ± 25.68 *	24.98 ± 14.55 **	
Pb	0.03 ± 0.023 **	0.06 ± 0.029 **	42.17 ± 26.77 **	36.81 ± 38.4 **	
Se	0.07 ± 0.045 7 **	0.06 ± 0.041 8 **	0.5 ± 0.26 **	0.45 ± 0.22 **	
Zn	18.43 ± 4.485 **	15.46 ± 3.59 **	95.36 ± 96.69 **	84.32 ± 58.72 **	

注：**和*分别表示回归模式在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

实中的 Cu、Mo 以及早晚稻根系土中的 As、Cr、Mo 等元素含量标准差相对其平均值占比较高，显示其强分异性，其中早稻籽实中的 Cd 以及早稻根系土中的 As 分异性最强，其变异系数分别为 182%、146%；而早晚稻籽实中的 As、B、Cr、Zn 等元素以及早晚稻根系土中的 B、Zn 等元素含量标准差则占比较小，其变异系数均小于 50%，表现出一定的均匀性。相对于水稻籽实，根系土中元素含量空间离散性相对较大。

横向比较，同一介质间的元素含量相差较小，早晚稻籽实以及早晚稻根系土各元素含量绝对双插的平均值分别为 0.26%、0.21%，其中，根系土中 B、Cu、Hg 元素的绝对双插值最小，仅为 0.01~0.06。由此可见，南宁地区水稻根系土大部分元素含量受季节变化因素影响较小。

3.2 元素生物富集系数(BCF)分布特征

不同元素生物富集系数(以下简称富集系数)统计结果见表 2，南宁地区早晚稻籽实中元素 BCF 既有共同点，也有差异之处。

早晚稻籽实同一元素富集能力横向对比，大部分元素富集能力差别较小，表现在早晚稻 As、B、Cd、Cr、Mo、Ni、Se、Zn 元素 BCF 双插绝对值皆小于 30%，Cu、Hg 元素双插值仅为 8%。与其他元素相比，早晚稻籽实中 Pb 含量相差较大，其中早稻的 Pb 元素富集系数中位数为 0.15%，而晚稻中位数为 0.06%，双插绝对值约为 80%。

晚稻各元素 BCF 略大于早稻，早晚稻籽实中各元素富集能力，按 BCF 中位值排序为：Mo > Cd > Zn > Se > Cu > Hg > B > As > Ni > Cr > Pb。其中，Mo 元素富集能力最强，其富集系数中位数为 69%，远高

表 2 南宁市早晚稻籽实中不同元素生物富集系数(BCF)统计结果

Table 2 Statistical results of different element bioconcentration factors in early and late rice seeds in Nanning												%
元素	早 稻						晚 稻					
	Min	Max	中位数	离差	变异系数	主要值域	Min	Max	中位数	离差	变异系数	主要值域
As	0.08	7.98	0.87	1.48	95.8	0.29~2.85	0.05	7.72	0.99	1.02	86.4	0.34~1.94
B	0.22	6.37	0.89	0.71	54.6	0.78~1.67	0.13	8.75	1.2	0.76	67.2	0.65~1.49
Cd	0.3	590	40	101	129	5.44~139	0.3	590	29.64	77.64	122	7.42~101
Cr	0.01	0.5	0.14	0.1	72.5	0.05~0.21	0.01	0.96	0.11	0.1	68	0.06~0.22
Cu	0.86	37.4	9.63	7.71	64.8	4.77~16.85	0.86	106.09	10.49	10.49	85.9	5.72~15.9
Hg	0.78	18.9	3.01	2.71	74.6	1.73~4.81	0.26	18.94	2.84	2.89	74.2	1.66~5.68
Mo	3.69	447	55.3	73.33	86.2	20.16~138	3.32	566.34	69	61.25	85.7	26.66~101
Ni	0.06	8.32	0.79	1.38	126	0.23~1.57	0.05	8.32	0.6	1.27	111	0.31~1.57
Pb	0.01	0.48	0.15	0.08	89.5	0.03~0.13	0.01	0.84	0.06	0.14	83.6	0.06~0.26
Se	2.97	62.5	12.4	10.6	60.2	9.37~24.1	2.64	112	15.14	9.64	63	8.5~20.18
Zn	2.74	135	21.2	20	63.8	15.25~46.5	2.74	135.19	26.16	17.34	63.5	13.44~39.3

注：主要值域为剔除最高 20% 和最低 20% 样品的 BCF 值分布范围。

于其他元素，其次 Cd、Zn、Se 元素，BCF 均大于 10%；B、Cu、Hg 元素，BCF 介于 1% ~ 10%，而 As、Cr、Ni、Pb 元素 BCF 则小于 1%。

早晚稻 BCF 空间分布表现出中等分异性及强分异性，变异系数区间为 0.546 ~ 1.29，其中，As、Cd、Pb 等重金属元素的变异性大于其他元素。

3.3 农产品元素含量超标率与 BCF

南宁地区早晚稻籽实均发现有重金属元素超标现象，超标元素主要为 Cd 元素，其次为 Hg 元素(仅在 1 件早稻样品中发现)。其中早稻籽实中 Cd 元素超标率为 29%，晚稻为 21%，早稻超标样品的 BCF 为 0.3% ~ 590%，晚稻超标样品的 BCF 为 0.04% ~ 520%，与正常样 BCF 区间相比较差别不大，超标率与 BCF 之间无明显相关性。元素超标率统计结果见表 3。

3.4 影响 BCF 因数分析

前人对 BCF 影响因数做过诸多研究，受水稻品种^[16-17]、土壤理化性质及元素含量等因子差异的影响，不同地区间水稻籽实元素 BCF 影响因数存在差异。廖启林等发现江苏地区水稻籽实 Cd、Mn 元素富集系数与土壤 pH 线性相关，且呈负相关性^[18]；Zhu 等研究表明，水稻与土壤中重金属 Cd 含量的相关性不显著，而与不同提取液提取的 Cd 含量有较好的相关性^[19]；杨忠芳等发现成都地区稻谷中 Cd 元素 BCF 与土壤 pH 呈显著负相关^[20]；王恒的研究报道称，重金属 Zn、Cd 的富集系数显著高于 Cu、Ni 等其他元素^[21]；Santiago 等及 Carter 等发现随着 pH 值的降低，Mn、Zn 元素有效量增加，作物对重金属的吸收量增加^[22-23]。

根据采集水稻的品种特点，剔除一定离散样点，分别就籽实中元素 BCF 与土壤中 CaO、MgO、B、Mo、Zn 等，以及 pH、Corg 等土壤理化性质进

行相关性分析，结果显示，南宁市周边水稻籽实中元素 BCF 与土壤根系土元素含量以负相关为主。

(1) 水稻籽实中 As、Cr、Mo、Zn 4 种元素 BCF 与土壤中 Zn 元素含量呈一定的负相关性(图 2)，其中 Zn 元素 BCF 与土壤中 Zn 元素含量相关性最大，*R* 值为 -0.85，幂函数方程组拟合性最佳；As、Cr、Mo 相关系数分别为 -0.71、-0.72 及 -0.73。水稻籽实中 As、Cr、Mo 元素 BCF 还与土壤中 Mo 元素含量呈显著负相关性，相关系数分别为 -0.65、-0.68、-0.81。此外，本次研究还发现 Mo 元素 BCF 还与 P 元素含量呈一定的负相关性，相关系数分别为 -0.67。

(2) 晚稻籽实中 As、Mo 元素 BCF 均与土壤中 Mo 元素含量呈一定的负相关性，相关系数分别为 -0.73、-0.76(图 3)。Zn 元素 BCF 则分别与土壤中 Cu、Zn 含量线性相关，其中与土壤中 Zn 元素含量相关性最高，相关系数为 -0.91，与 Cu 元素含量相关系数为 -0.71(图 4)。此外，籽实中 As、Hg 元素 BCF 还与土壤中 Zn 元素含量呈弱相关性，相关系数分别为 -0.7、-0.69。

(3) 通过早晚稻籽实中各元素 BCF 影响因子相比较发现，在南宁市典型耕地区，土壤中 Mo、Zn 元素含量与自身 BCF 线性关系较强，两者间呈负相关性；土壤中 Mo、Zn 元素含量亦与 As、Cd、Hg 元素 BCF 有一定的相关性，Mo、Zn 元素含量增大不但能抑制水稻籽实中重金属元素的累积，亦会抑制水稻籽实对其本身的吸附累积，其中以 Zn 元素表现得尤为明显。整体上，各水稻籽实中元素的 BCF 与土壤中 pH、Corg 理化性质以及 CaO、MgO 等氧化物相关性较差，但如果单独就某一特定区域水稻籽实样本进行分析，却又存在一定关联性，对单一区域(南宁市宾阳县)采集的早稻籽实及根系土元素含量进行研究发现，Cd、Ni

表 3 南宁市早晚稻籽实中元素 BCF 与超标率统计结果

Table 3 Statistical results of BCF and standard above rate of elements in early and late rice seeds in Nanning									%
元素	限量标准 ^[15]	早 稻				晚 稻			
		超标数	超标率	超标样	正常样	超标数	超标率	超标样	正常样
As	≤0.5	0	0		0.08 ~ 7.98	0	0		0.05 ~ 7.72
Cd	≤0.2	53	29	0.08 ~ 590	0.3 ~ 590	78	21	0.04 ~ 520	0.4 ~ 520
Cr	≤1.00	0	0		0.01 ~ 0.50	0	0		0.01 ~ 0.96
Hg	≤0.02	1	0.6	0.02	0.78 ~ 18.94	0	0		0.26 ~ 16.89
Pb	≤0.2	0	0		0.01 ~ 0.48	0	0		0.02 ~ 0.84

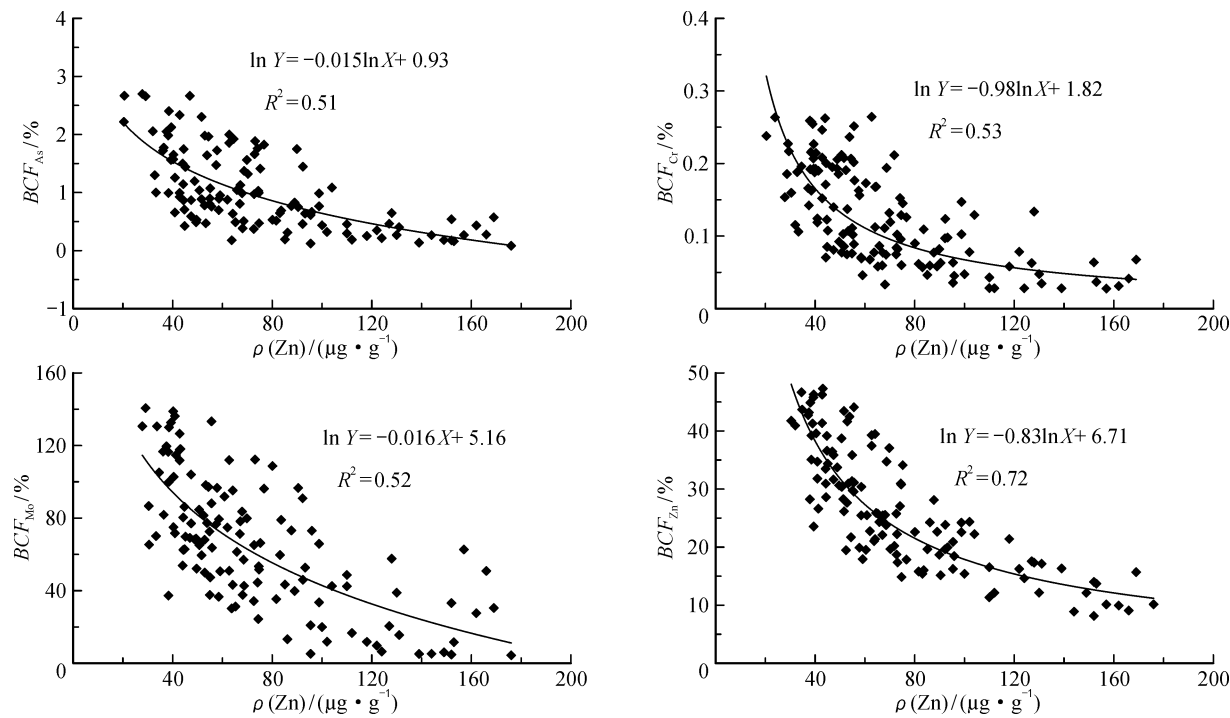


图2 早稻籽实中 As、Cr、Mo、Zn 元素生物富集系数与根系土中 Zn 元素含量相关性分析
Fig.2 Relationships of BCF of As, Cr, Mo and Zn of early and late rice seeds and B content in its root soil

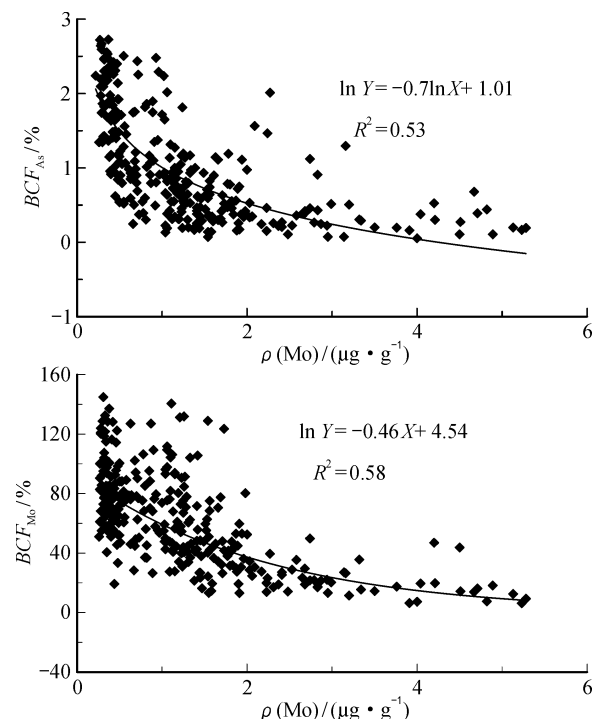


图3 晚稻籽实中 As、Mo 元素生物富集系数与根系土中 Mo 元素含量相关性分析
Fig.3 Relationships of BCF of As and Mo(a), BCF of Mo and Mo(b) content in its root soil of late rice seeds

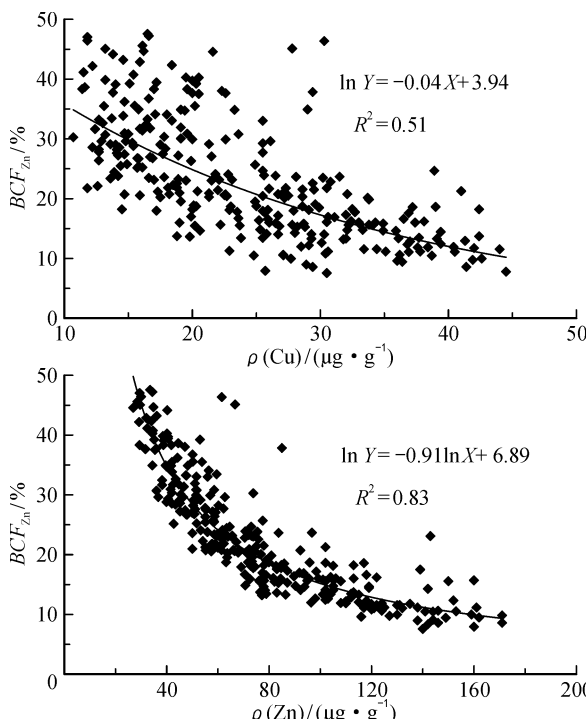


图4 晚稻籽实中 Zn 元素生物富集系数与根系土中 Cu、Zn 元素含量相关性分析
Fig.4 Relationships of BCF of Zn and Cu, Zn content in their root soil of late rice seeds

元素 BCF 与土壤 CaO 含量相关性较强, 相关系数均为 -0.81 左右, 这与采集区域土质、地质背景、水稻种类有关, 对于南宁地区某一特定种类水稻籽实的元素富集系数影响因素, 有待于进一步研究。

(4) 前人发现 pH、Corg 含量等理化性质在元素迁移转化过程中起重要作用^[24-27], 但从本次研

究来看, 南宁耕地区背景下该因数对水稻籽实元素富集影响线性关系不强。

4 结 论

(1) 南宁市主要耕地区早稻及晚稻籽实之间, 早晚稻根系土之间 As、B、Cd、Cr、Cu、Hg、Mo、Ni、Pb、Se、Zn 等元素含量相差不大。

(2) 早晚稻籽实同一元素富集能力横向对比, 除 Pb 元素外, 其他元素间差异不大。早晚稻籽实中各元素富集能力差异明显: Mo、Cd、Zn、Se 元素的生物富集能力最强, 其中 Mo 元素 BCF 大于 50%; As、Cr、Ni、Pb 元素最小, BCF 小于 1%。

(3) 水稻重金属元素超标率与 BCF 之间无明显相关性。

(4) 南宁地区水稻籽实元素生物富集系数与土壤理化性质间线性关系不强, 主要影响因素为根系土中某些特定元素的含量, 两者之间均呈负相关性。其中, 以 Mo、Zn 元素最为活跃、明显, 当土壤中 Mo、Zn 元素的含量升高时, 不仅水稻籽实对 As、Cu、Cr 元素的富集能力明显降低, 同时会抑制作物对 Mo、Zn 自身的吸收。产生负相关性的机理机制有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 23–45.
- [2] USEPA. Methodology for deriving ambient water quality criteria for the protection of human health [S].
- [3] Liao Q L, Evans L J, Gu X Y, et al. A regional geochemical survey of soils in Jiangsu Province, China: preliminary assessment of soil fertility and soil contamination [J]. *Geoderma*, 2007, 142 (1–2): 18–28.
- [4] Jalali M, Khanlari Z V. Environmental contamination of Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb from industrial areas in Hamadan Province, western Iran [J]. *Environmental Geology*, 2008, 55 (7): 1537–1543.
- [5] Zhao K L, Fu W J, Ye Z Q, et al. Contamination and spatial variation of heavy metals in the soil-rice system in Nanxun County, Southeastern China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015, 12 (2): 1577–1594.
- [6] Provoost J, Cornelis C, Swartjes F. Comparison of soil cleanup standards for trace elements between countries: why do they differ? [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2006, 6 (3): 173–181.
- [7] Chen W P, Li L Q, Chang A C, et al. Characterizing the solid-solution partitioning coefficient and plant uptake factor of As, Cd, and Pb in California croplands [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 129: 212–220.
- [8] Efromson R A, Smaple B E, Suter G W II. Uptake of inorganic chemicals from soil by plant leaves: regressions of field data [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, 20 (11): 2561–2571.
- [9] 张红振, 骆永明, 章海波, 等. 水稻、小麦籽粒砷、镉、铅富集系数分布特征及规律 [J]. *环境科学*, 2010, 31 (2): 488–495.
- [10] 曾希柏, 徐建明, 黄巧云, 等. 中国农田重金属问题的若干思考 [J]. *土壤学报*, 2013, 50 (1): 186–194.
- [11] 李杰, 郑国东, 杨志强, 等. 北部湾沿海经济区水稻根系土重金属元素潜在生态风险评价 [J]. *桂林理工大学学报*, 2013, 33 (1): 129–135.
- [12] Simmons R W, Noble A D, Pongsakul P, et al. Analysis of field-moist Cd contaminated paddy soils during rice grain fill allows reliable prediction of grain Cd levels [J]. *Plant and Soil*, 2008, 302 (1–2): 125–137.
- [13] 詹杰, 魏树和, 牛荣成. 我国稻田土壤镉污染现状及安全生产新措施 [J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31 (7): 1257–1263.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [15] GB 2762—2012, 食品安全国家标准 食物中污染物限量 [S].
- [16] 蔡秋玲, 林大松, 王果, 等. 不同类型水稻镉富集与转运能力的差异分析 [J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35 (6): 1028–1033.
- [17] 杨菲, 唐明凤, 朱玉兴. 水稻对镉的吸收和转运的分子机理 [J]. *杂交水稻*, 2015, 30 (3): 2–8.
- [18] 廖启林, 刘聪, 蔡玉曼, 等. 江苏典型地区水稻与小麦籽实中元素生物富集系数 (BCF) 初步研究 [J]. *中国地质*, 2013, 40 (1): 331–340.
- [19] Zhu Q H, Huang D Y, Liu S L, et al. Assessment of single extraction methods for evaluating the immobilization effect of amendments on cadmium in contaminated acidic paddy soil [J]. *Plant Soil and Environment*, 2012, 58 (2): 98–103.
- [20] 杨忠芳, 奚小环, 成杭新, 等. 区域生态地球化学评价核心与对策 [J]. *第四纪研究*, 2005, 25 (3): 275–284.
- [21] 王恒. 吉林省土壤—水稻系统环境质量分析评估及重金属复合污染研究 [D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2014.
- [22] Santiago A, Quintero J M, Delgado A. Long-term effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese, and zinc in a Spanish Vertisol [J]. *Soil and Tillage Research*,

2008, 98 (2): 200 – 207.

[23] Carter M R, Gupta U C. Micronutrient concentrations in barley and soybean under minimum tillage on podzolic soils in a cool climate [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science, 1997, 47 (4): 7 – 13.

[24] Zhao K L, Liu X M, Xu J M, et al. Heavy metal contaminations in a soil-rice system: identification of spatial dependence in relation to soil properties of paddy fields [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 181 (1 – 3): 778 – 787.

[25] 赵科理, 傅伟军, 戴巍, 等. 浙江省典型水稻产区土壤 – 水稻系统重金属迁移特征及定量模型 [J]. 中国生态农业学报, 2016, 24 (2): 226 – 234.

[26] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展 [J]. 生态学报, 2001, 21 (7): 1196 – 1203.

[27] 陶笈汛, 张学洪, 罗昊, 等. 李氏禾对电镀污泥污染土壤中铬铜镍的吸收和积累 [J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30 (1): 144 – 147.

Difference analysis of bioconcentration of trace elements in rice seeds in typical cultivated areas of Nanning

ZHONG Xiao-yu¹, LI Fang-lin², LI Jie¹, CHEN Biao¹, CHAI Long-fei¹

(1. Guangxi Institute of Geological Survey, Nanning 530023, China; 2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The contents of related elements in 557 sets of rice seeds and root soils in typical cultivated areas of Nanning were analyzed. The bioaccumulation coefficients of As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se and Zn in rice seeds were calculated. The results showed that the there is little difference of elements contents between early and late rice seeds, and so is that between early and late rice root soils. There are some differences in the accumulation ability of each elements. Among them, the bioaccumulation ability of Mo, Cd, Zn and Se is the strongest. BCF of element Mo is more than 50%. As, Cr, Ni and Pb are the smallest and their BCF is less than 1%. There is no significant correlation between the standard-above rate of heavy metals and BCF. There is a negative correlation among the contents of Mo and Zn in soil and BCF of As, Cu and Cr in rice seeds. The same happens among the contents of Mo, P and Zn in soil and BCF of Mo and Zn in rice seeds.

Key words: trace elements; bioconcentration factors(BCF); rice seed; Nanning