

文章编号: 0379-1726(2000)01-0043-07

43-48
渔塘坝微地域硒分布的景观地球化学研究朱建明¹, 郑宝山¹, 毛大均², 苏宏灿³

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 湖北省恩施州卫生防疫站, 湖北 恩施 445000; 3. 湖北省恩施州妇幼保健院, 湖北 恩施 445000)

摘 要: 选取迄今世界上唯一发生过人群硒中毒爆发性流行的地区——湖北恩施市双河乡渔塘坝为研究区。研究表明, 在表生中—强风化环境中, 硒是一个相当活泼的元素。在渔塘坝 0.01 km² 的微地域内, 土壤硒、玉米硒的分布存在着显著的不均一性。微地形、淋失条件是影响二者硒含量及其分布的主要因素。土壤硒含量基本决定了玉米硒含量。渔塘坝中硒在玉米中的基本分布规律是雄花、雌蕊 > 叶 > 籽 > 根 > 茎, 上部叶片 > 下部叶片、上部茎节 > 下部茎节、果穗外表皮硒 > 果穗内表皮硒。上述规律不仅间接证明硒有可能是植物生长中的必需元素, 而且还表明, 高硒背景、无蓄硒指示植物条件下, 植物中相对累积硒的器官可以作为环境硒水平的敏感指标。

关键词: 土壤硒; 玉米硒; 硒分布; 渔塘坝微地域; 湖北省
中图分类号: X142; P596 **文献标识码:** A

景观地球化学 硒

中毒提供可靠的依据。

0 引 言

湖北恩施是中国最早发现的高硒地区^[1]。数 10 年间, 人硒中毒已发生 477 例, 猪硒中毒估计发病数已在 1 万头以上, 并且至今仍有发生^[1]。渔塘坝是恩施地区较为典型的高硒地区之一^[2,3], 也是迄今世界上唯一发生过人群硒中毒爆发性流行的地区^[1]。坝中出露地层主要有三叠系、二叠系。硒主要赋存于其北部 210 m 处的二叠系茅口组顶部碳质硅质岩中。在此层位, 郑宝山等^[4]、宋成祖等^[5]分别采到过含硒量为 6 471 mg/kg、8 390 mg/kg 的富硒碳质硅质岩样品, 而杨光圻等^[1]在坝中曾采到高达 84 123 mg/kg 的石煤样品。坝内基岩是含硒量一般在 1 mg/kg 以下的三叠系大冶组石灰岩^[4]。渔塘坝因其发育的特殊地貌形态, 构成了一个完整的、高硒的地球化学景观。其北部出露的、含硒极高的二叠系茅口组、吴家坪组碳质硅质岩、碳质页岩, 为渔塘坝中的土壤和植物提供了硒的物质来源。本研究旨在探讨渔塘坝微景观中硒的分布规律、影响因素、土壤-植物中硒的关系, 为当地政府和有关部门防治硒

1 样品采集和分析

渔塘坝地处鄂西南恩施市双河乡北部, 是一近于封闭的、北东—西南向延伸的条状小盆地, 总面积约 0.03 km²。研究区在渔塘坝上坝, 面积约 0.01 km² (图 1), 在此范围内布置了 7 条采样线, 33 个采样点。每条样线上布置 3~7 个采样点, 样点间距一般为 10~15 m。每一样点分别采集土壤和玉米的根、茎、叶、籽等器官样品。样品总量为 208 个。土壤样品是采自耕作层 0~30 cm 的混合样。样品经自然风干, 剔除植物残根后, 用四分法取 100~200 g, 研磨至过 100 目(0.15 mm)筛, 于室温下贮存。植物样品用自来水快速冲洗 3 次, 再用去离子水冲洗 3 次, 于 40~50 °C 低温烘干后, 用植物碎样机研碎至过 80 目(0.2 mm)筛。所有样品分析主要用荧光分析法, 使用仪器是岛津 RF-540 荧光检测仪。方法精密度 3.6% (n=6), 硒回收率 90.8%~100.6%。分析数据以大于空白测定值 10 倍标准偏差 0.17 mg/kg 为定量检出数据^[6], 结果见表 1。

收稿日期: 1999-06-14; 修订日期: 1999-12-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49373186)

作者简介: 朱建明(1969-), 男, 博士研究生, 环境地球化学专业。

1) 恩施州猪硒中毒的研究工作概要(内部资料), 1997。

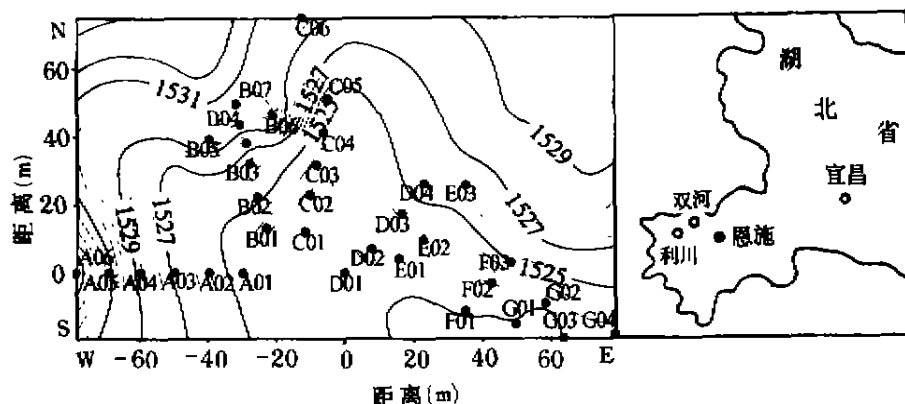


图1 渔塘坝上坝地形图及采样点位图

Fig. 1 Sampling sites and topographic map of the upper part of Yutangba

表1 土壤-玉米各器官硒含量分析结果 (mg/kg)

Table 1 Analytical data of Se in soil and in different organs of corn (mg/kg)

样号	土壤硒含量	样号	根硒含量	样号	茎硒含量	样号	叶硒含量	样号	籽硒含量
A01	6.54	A01-1	8.94	A01-2	5.28	A01-3	14.33	A01-4	14.51
A02	5.87	A02-1	6.94	A02-2	7.35	A02-3	9.71	A02-4	12.35
A03	3.94	A03-1	7.18	A03-2	4.34	A03-3	14.05	A03-4	9.80
A04	4.70	A04-1	5.95	A04-2	5.19	A04-3	16.88	A04-4	11.36
A05	3.82	A05-1	4.06	A05-2	2.44	A05-3	9.51	A05-4	10.55
A06	3.47	A06-1	0.14	A06-2	0.09	A06-3	1.50	A06-4	0.79
B01	4.62	B01-1	3.39	B01-2	3.90	B01-3	11.11	B01-4	11.60
B02	4.02	B02-1	5.99	B02-2	4.49	B02-3	2.32	B02-4	5.27
B03	3.13	B03-1	4.17	B03-2	1.68	B03-3	3.52	B03-4	13.03
B04	4.03	B04-1	1.58	B04-2	0.82	B04-3	5.92	B04-4	3.29
B05	3.65	B05-1	3.72	B05-2	1.55	B05-3	7.77	B05-4	8.50
B06	3.88	B06-1	2.78	B06-2	2.56	B06-3	13.45	B06-4	8.02
B07	3.14	B07-1	1.09	B07-2	0.48	B07-3	2.71	B07-4	1.66
C01	5.99	C01-1	16.26	C01-2	7.42	C01-3	12.56	C01-4	15.86
C02	4.47	C02-1	4.93	C02-2	2.93	C02-3	8.30	C02-4	6.59
C03	4.03	C03-1	1.36	C03-2	0.73	C03-3	3.95	C03-4	2.22
C04	3.44	C04-1	2.05	C04-2	0.08	C04-3	1.12	C04-4	0.30
C05	缺失	C05-1	1.51	C05-2	1.51	C05-3	5.94	C05-4	3.29
C06	缺失	C06-1	2.01	C06-2	1.14	C06-3	3.80	C06-4	4.83
D01	4.37	D01-1	6.04	D01-2	4.43	D01-3	9.07	D01-4	11.39
D02	3.51	D02-1	3.97	D02-2	3.35	D02-3	12.73	D02-4	9.76
D03	3.26	D03-1	5.53	D03-2	2.55	D03-3	9.80	D03-4	8.51
D04	1.40	D04-1	0.38	D04-2	0.10	D04-3	1.07	D04-4	0.40
E01	4.49	E01-1	4.93	E01-2	2.40	E01-3	9.64	E01-4	6.43
E02	4.23	E02-1	3.45	E02-2	2.38	E02-3	12.71	E02-4	6.57
E03	2.59	E03-1	0.61	E03-2	0.31	E03-3	1.07	E03-4	0.57
F01	4.67	F01-1	4.48	F01-2	6.52	F01-3	21.81	F01-4	12.59
F02	3.74	F02-1	7.52	F02-2	3.87	F02-3	12.05	F02-4	10.34
F03	1.67	F03-1	1.09	F03-2	0.47	F03-3	2.30	F03-4	1.21
G01	6.91	G01-1	5.18	G01-2	6.25	G01-3	5.45	G01-4	9.06
G02	缺失	G02-1	7.92	G02-2	6.51	G02-3	30.46	G02-4	16.29
G03	缺失	G03-1	缺失	G03-2	4.46	G03-3	32.41	G03-4	16.88
G04	缺失	G04-1	缺失	G04-2	3.32	G04-3	14.12	G04-4	12.62
28	4.06 ± 1.24	31	4.36 ± 3.27	33	3.06 ± 2.24	33	9.79 ± 7.62	33	8.07 ± 5.02

2 渔塘坝微地域中硒的分布

2.1 渔塘坝土壤硒的分布

由表 1 可知，渔塘坝中土壤硒含量的变化范围为 1.40~6.91 mg/kg，平均值为 (4.06 ± 1.24) mg/kg，变异系数 30.5%，这表明土壤中硒的分布是显著不均一的。研究中以渔塘坝土壤硒平均值加减 1 倍标准偏差的值 3 mg/kg 和 5 mg/kg 为界限值，将研究区划分出相对的低、中、高硒的土壤硒分布区 (图 2)。

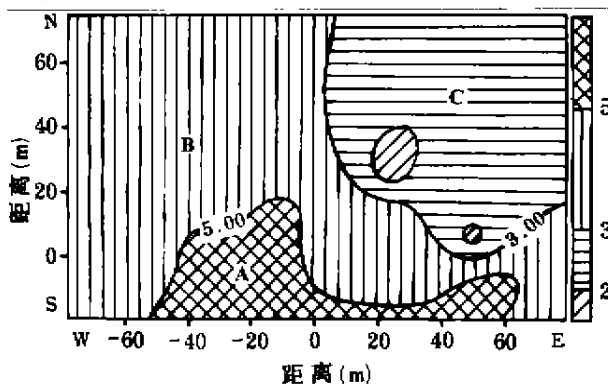


图 2 渔塘坝上坝土壤硒水平分布图

Fig. 2 Spatial distribution of Se in soil in the upper part of Yutangba
A. 高硒分布区; B. 中硒分布区; C. 低硒分布区。

由图 2 可看出，渔塘坝中土壤硒分布是东北低，西南和南部较高，并且随着地形由高到低的变化 (图 1)，呈现出相反分布趋势，而且距离富硒岩层出露区越远的土壤硒含量相对也越高。

2.2 渔塘坝玉米硒的分布

相对于世界及中国其他地区^[7]，渔塘坝玉米是比较富硒的。玉米根、茎、叶、籽中的平均硒含量分别是 (4.36 ± 3.27) mg/kg、(3.06 ± 2.24) mg/kg、(9.79 ± 7.62) mg/kg、(8.07 ± 5.02) mg/kg (表 1)，

玉米硒值为 (6.47 ± 4.29) mg/kg (根 - 茎 - 叶 - 籽硒含量的算术均值)。由于玉米是恩施州内农村居民的主粮，根据玉米硒、器官硒与土壤硒的线性关系 (表 2)，研究中给出玉米硒水平分布图 (图 3)，由图 3 可知，玉米硒的分布是东北低，西南和南部高，总趋势是南高北低，与渔塘坝中土壤硒的分布类似。玉米根 - 茎 - 叶 - 籽的硒水平分布类似与玉米硒水平分布，也存在相同分布规律 (表 2)。不过，玉米硒水平相对于土壤硒的变化，呈现两极分化的趋势，即土壤硒低时，玉米硒更低；土壤硒高时，玉米硒则趋向更高，土壤硒的微小变化在玉米硒上表现为较大幅度的变化 (表 2)。

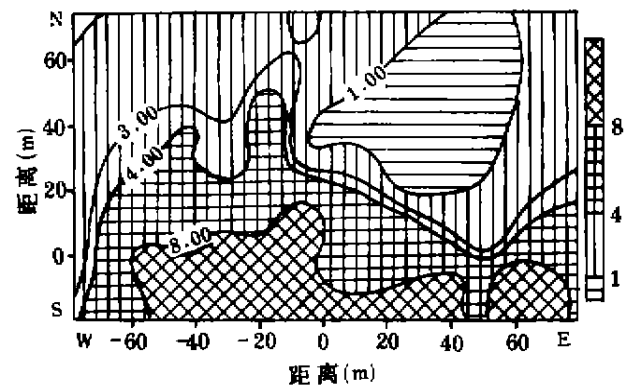


图 3 渔塘坝玉米均硒水平分布图

Fig. 3 Spatial distribution of the mean Se in corn in the upper part of Yutangba

图 3 中从相对低硒至高硒区时，玉米硒表现为倍数级增长，并且两者间的中硒分布区非常窄小，与土壤硒的中硒分布区明显不同，而且低硒分布区中，3.0 mg/kg 和最低硒分布区的划分值 1.0 mg/kg 也已相当于谭见安等所给的高含量、过剩区划分的标准值^[8]。

2.3 硒在玉米中的分布

由表 1 可以看出，硒倾向在玉米叶和籽中累积，根其次，茎最低。根、茎、叶硒的平均含量分别是籽

表 2 玉米根 - 茎 - 叶 - 籽硒与土壤硒的线性关系 (n = 28)

Table 1 Linear regression equations between Se in soil and in different organs of corn (n = 28)

玉米器官	拟合方程	$X_{\pm 3} = 3 \text{ mg/kg}$	$X_{\pm 5} = 5 \text{ mg/kg}$	r	P
玉米根	1. $Y_{\text{根}} = -2.65 + 1.74 X_{\pm 3}$	2.58(3)	6.07(6)	0.656	0.000 15
玉米茎	2. $Y_{\text{茎}} = -2.94 + 1.46 X_{\pm 3}$	1.45(1.5)	4.38(4.5)	0.798	< 0.000 1
玉米叶	3. $Y_{\text{叶}} = -0.40 + 2.18 X_{\pm 3}$	6.14(6)	10.58(10)	0.497	0.007 1
玉米籽	4. $Y_{\text{籽}} = -2.51 + 2.49 X_{\pm 3}$	4.96(5)	9.94(10)	0.655	0.000 15
玉米均硒(算)	5. $Y_{\text{均}} = -2.13 + 1.97 X_{\pm 3}$	3.78(4)	7.72(8)	0.696	< 0.000 1

注：括号内为玉米各器官硒分布区划分选取的近似值。

硒的 0.54、0.38 和 1.21 倍，玉米中硒的分布是叶 > 籽 > 根 > 茎。就同株玉米不同茎节及不同器官硒含量而言，由表 3、表 4 可知，在不同土壤硒水平 (F02 点、F03 点) 条件下，都是越向植株上部，越新鲜的茎、叶和其他器官硒含量越高。这说明生长代谢比较旺盛的器官中硒容易累积。硒在玉米中的基

本分布规律是雄花、雌蕊 > 叶 > 籽 > 根 > 茎，上部叶片 > 下部叶片、上部茎节 > 下部茎节、果穗外表皮硒 > 果穗内表皮硒。

此外，研究中还发现另一有趣的现象(图 4)，在采样线上，从样线起点、处于地势低处或洼地处土壤富含硒的样点向地势高处，特别是向样线终点、土壤

表 3 F02、F03 点同株玉米不同茎节、叶片硒含量 (mg/kg)

Table 3 Se in different leaves and cornstalk fractions of one piece of corn on sampling sites F02 and F03 (mg/kg)

F02 点茎节	硒含量	F03 点茎节	硒含量	F02 点叶片	硒含量	F03 点叶片	硒含量
1, 2 节	1.58	1, 2 节	0.45	3, 4 叶	5.85	3, 4 叶	1.54
3, 4 节	2.41	3, 4 节	0.40	5, 6 叶	11.49	5, 6 叶	2.48
5, 6 节	3.10	5, 6 节	0.22	7, 8 叶	10.72	7, 8 叶	3.14
7, 8 节	5.60	7, 8 节	0.47	9, 10 叶	18.31	9 以上	2.05
9, 10 节	6.70	9 以上	0.79	11, 12 叶	13.85		
11, 12 节	6.21						
算术平均	4.27		0.47		10.97		2.30
标准偏差	2.17		0.21		6.56		0.68
样品数	6		5		5		4

表 4 F02、F03 点同株玉米不同部位器官碘含量 (mg/kg)

Table 4 Se in different organs of corn on sampling sites F02 and F03 (mg/kg)

F02 点玉米植株				F03 点玉米植株			
采样部位	硒含量	其他部位硒		采样部位	硒含量	其他部位硒	
雄花(顶花)	11.16	土壤硒	3.74	雄花(顶花)	5.54	土壤硒	1.67
雌蕊(玉米糊)	16.52	玉米根硒	7.52	雌蕊(玉米糊)	2.31	玉米根硒	1.09
果穗内包皮	2.72	玉米叶硒	12.05	果穗内包皮	0.33	玉米叶硒	2.30
果穗外包皮	4.74	玉米籽硒	10.34	果穗外包皮	0.46	玉米籽硒	1.21

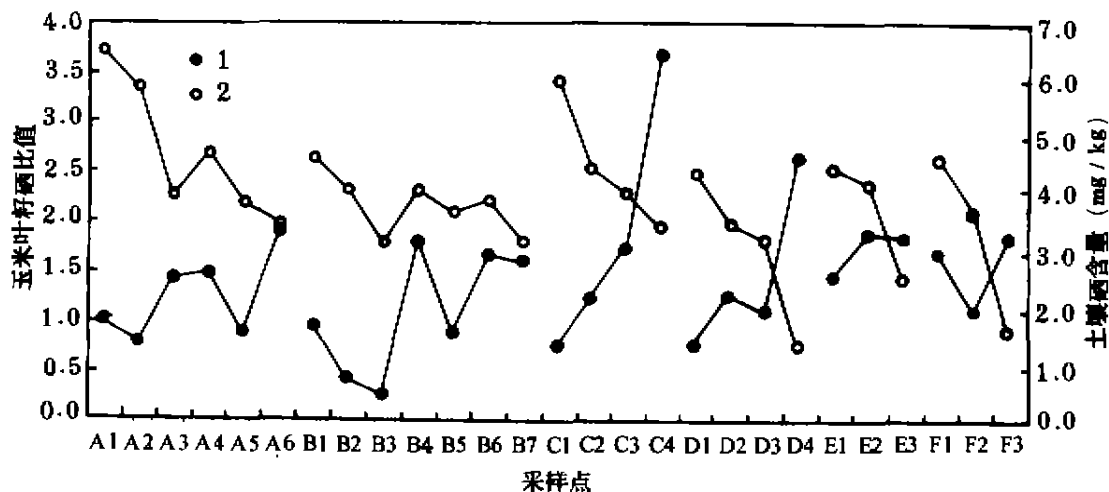


图 4 各样线样点土壤硒含量与玉米叶/籽硒对比图

Fig. 4 Plot showing the relationship between the corn leaf-Se/seed-Se ratio and Se in soil on every sampling line

1. 叶硒/籽硒; 2. 土壤硒。

含硒较低的样点过渡时, 玉米叶硒与籽硒比值明显增大, 呈现出递增趋势, 表现出倾向在叶中累积; 反之, 地势较低处的玉米, 其叶硒与籽硒比值却偏小 (≤ 1), 倾向在叶籽中均匀分布或在籽中累积。这种现象在水系近侧 C 样线上 C01 ~ C04 点表现的尤为明显。这表明高硒环境中, 玉米对土壤硒的吸收会达到某种程度上的饱和, 但对于产生这种现象的原因, 还有待我们进一步的研究。

3 分析与讨论

已有的研究成果显示, 硒在土壤中的地球化学行为主要受 pH、Eh、土壤组成及微生物的影响^[9-11]。在渔塘坝面积仅为 0.01 km²、最大样间距为 150 m 的微地域内, pH、Eh、土壤组成及微生物量不可能有显著的差异, 但土壤硒含量的分布存在如此大的差异, 这说明还存在其他的影响因素。业已证明, 渔塘坝基岩影响土壤硒的含量, 微地形则是控制土壤硒分布和再分配的主要因素^[3]。土壤硒主要赋存于有机及硫化物结合态和残余态中。Zawislanski *et al.*^[12]、Tokunaga *et al.*^[13,14] 的研究均表明, 土壤、沉积物中硒极易在空气中氧化, 发生赋存状态的转变, 并认为时间和温度是影响土壤残余态硒转化为水溶态硒的主要因素。渔塘坝年平均降雨量超过 1 300 mm, 平均温度 12.7 ~ 17.2 °C, 属中-强化学风化区, 这样的表生环境能够使硒成为一个相当活泼的元素, 鄂西新鲜富硒岩石的含硒量远远高于风化岩石的含硒量也证实了这一点^[2,4,15]。所以, 土壤硒可以从不可给态 (有机及硫化物结合态和残余态硒) 转化为水溶及可交换态硒 (水溶硒) 而淋溶流失。淋失条件影响着土壤硒的含量, 又受着地形的控制^[3,16]。这样, 渔塘坝中处于高地势土壤中的硒 (土壤水不饱和) 易于氧化、淋溶流失而贫化, 处于低地势土壤中的硒 (土壤水相对饱和) 则容易积累而富集, 从而形成土壤硒分布的显著差异。

植物对土壤硒的可利用性取决于植物种类、硒形态、土壤组成及 pH、Eh 等条件^[9,10,17,18]。渔塘坝微地域中土壤组成及 pH、Eh 条件不存在明显差异, 研究中选择的玉米是单一植物。由表 2 可知, 土壤硒与玉米均硒之间存在显著的正相关关系, 但土壤硒的微小变化而导致玉米硒显著变化的原因可能取决于水溶硒在土壤中的滞留时间和滞留量。本研究中玉米硒与土壤水溶硒的关系并不明显, 但并不否认玉米利用土壤硒的主要方式是水溶性硒。Gissel-

Nielsen *et al.*^[19] 的实验研究证明, 在开放的田间, 植物与土壤水溶性硒的相关性并不明显, 而在相对封闭的盆栽实验中二者却有显著的相关性。因此, 我们在研究中认为, 相对动态 (水溶硒迁移或流动速率大) 和封闭 (水溶硒迁移或流动速率微小) 环境条件下, 植物硒与水溶硒的关系并不相同。玉米吸收土壤硒的主要方式仍是水溶硒, 并受微地形和淋失条件的影响。所以, 一方面高地势土壤的水溶硒易淋溶流失, 另一方面土壤中存在不可给态硒向水溶态硒的转化, 这部分硒滞留时间短, 滞留量小且易淋失; 而低地势处的土壤硒恰恰相反, 因此, 在渔塘坝中形成了土壤硒低, 玉米硒更低; 土壤硒高, 玉米硒更高的分布格局。

硒在植物中的分布受植物生长期、种类、气候及土壤等诸因素的影响^[9,10]。一般条件下, 植物蓄积硒的最大部位是植物根组织。Johnson *et al.*^[20] 的研究结果都表明牧草和作物的根部比顶部易累积硒 (低硒条件), 但在渔塘坝这种特殊的高硒环境中, 硒在玉米中的分布与上述结果并不符合, 而且与正常条件下农作物中根硒 > 茎叶硒 > 果实硒^[10] 的分布也并不相同。这说明高硒环境中, 植物对硒的吸收及其生理机理有别于低硒环境。从硒在渔塘坝玉米各器官中的分布来看, 不同土壤硒含量条件下生长的玉米雄花、雌蕊中硒含量均相对最高 (表 4)。这表明玉米不同器官、不同部位中, 生命活动越旺盛的部位硒含量越高。延续与繁殖是生命活动的核心, 也是生命的本质所在, 一棵植物整个生长的中心是保证延续和繁殖过程的进行。因此有理由相信, 凡是参与植物繁殖过程, 为其所不可缺少的物质, 在完成植物繁殖过程的器官中也应相对富集。硒在玉米中的分布规律间接地证明硒不仅是人和动物生命的必需元素, 也有可能是植物生长中的必需元素。

研究表明, 土壤硒与植物硒之间一般存在正相关关系^[9,10], 本研究中也不例外。由方程 (表 2) 可以看出, 土壤硒含量基本决定了玉米硒含量, 但土壤硒的较小变化, 即可以引起玉米硒含量的急剧变化, 尤其是玉米叶硒、籽硒含量的变化, 而且后者更灵敏地反映了土壤硒水平的变化。这不仅表明植物的器官硒 (繁殖器官硒) 是环境硒水平的良好标志, 同时也说明我国科学工作者长期以来对中国粮食硒水平与缺硒性疾病关系的研究在研究思路和结果上是正确的。在无蓄硒指示植物的情况下, 一般植物的器官硒, 特别是植物中相对累积硒的器官, 有可能可以作为环境硒水平变化的敏感指标。

4 结 论

(1) 渔塘坝中土壤硒、玉米硒的分布类似,均可划分出相对低、中、高硒的分布区。土壤硒与玉米硒间为显著正相关关系,土壤硒含量基本决定了玉米硒含量。

(2) 渔塘坝中硒在玉米中的基本分布规律是雄花、雌蕊 > 叶 > 籽 > 根 > 茎,上部叶片 > 下部叶片,上部茎节 > 下部茎节、果穗外表皮硒 > 果穗内表皮硒,总体规律是玉米上部硒含量 > 下部硒含量。上述规律间接证明硒有可能也是植物生长中的必需元素。

(3) 表生环境中,硒是一个相当活泼的元素。微地域中地形、淋失条件不仅影响土壤硒的分布,而且还影响植物硒的含量及其分布。

(4) 高硒环境,植物对硒的吸收有别于低硒环境。在无蓄硒指示植物条件下,植物中相对累积硒的器官可能可以作为环境硒水平的敏感指标。

写作过程中得到党志研究员、王世杰研究员的帮助和指导,谨此致谢。

参考文献:

- [1] Yang Guangqi, Wang Shunzhen, Zhou Ruihus, *et al.* Endemic selenium intoxication of humans in China [J]. *Am J Clin Nutr*, 1983, 37: 872 ~ 881.
- [2] 郑宝山, 严良荣, 毛大钧, 等. 鄂西的硒资源及其开发战略研究 [J]. *自然资源学报*, 1993, 8(3): 204 ~ 212.
- [3] 朱建明, 郑宝山, 王中良, 等. 渔塘坝微地域高硒环境中土壤硒的分布规律及其影响因素 [J]. *环境科学*, 1998, 19(6): 33 ~ 36.
- [4] 郑宝山, 洪业汤, 赵伟, 等. 鄂西的富硒碳质硅质岩与地方性硒中毒 [J]. *科学通报*, 1992, 37(11): 1 027 ~ 1 029.
- [5] 宋成祖. 鄂西南渔塘坝沉积性硒矿化区概况 [J]. *矿床地质*, 1989, 8(3): 83 ~ 88.
- [6] 蒋子刚, 顾雪梅. 分析测试中的数据统计与质量保证 [C]. 上海: 华东化工学院出版社, 1991. 216 ~ 219.
- [7] 郑宝山, 张杰, 余孝颖. 在最新分析结果基础上对硒克拉克值的修正 [J]. *地球化学*, 1997, 26(6): 8 ~ 17.
- [8] Tan Jian'en, Huang Yijian. Selenium in geo-ecosystem and its relation to endemic diseases in China [J]. *Water Air Soil Pollut*, 1991, 57/58: 59 ~ 65.
- [9] 彭安, 王子健, Whanger P D, 等. 硒的环境生物无机化学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 1 ~ 43.
- [10] Severson R C, Fisher J R, Scott E, *et al.* Proceeding of the 1990 Billings land reclamation symposium on selenium in arid and semiarid environments, western United States [C]. U. S. Geological Survey Circular 1064. s. l.: s. n. 1991. 55 ~ 64, 83 ~ 105.
- [11] Jayaweera G R, James W B. Role of redox potential in chemical transformations of selenium in soils [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1996, 60: 1 056 ~ 1 063.
- [12] Zawislanski P T, Zavarin M. Nature and rates of selenium transformation: A laboratory study of Kesterson Reservoir soil [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1996, 60: 791 ~ 800.
- [13] Tokunaga T K, Lopton D S, Benson S M, *et al.* Soil selenium fractionation, depth profiles and time trends in a vegetated site at Kesterson Reservoir [J]. *Water Air Soil Pollut*, 1991, 57/58: 31 ~ 41.
- [14] Tokunaga T K, Pickering I J, Gordon E, *et al.* Selenium transformation in ponded sediments [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1996, 60: 781 ~ 790.
- [15] 苏宏灿. 鄂西自治州环境硒及高硒区成因的调查 [A]. 刘培棣. 硒资源及其综合利用 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 278 ~ 289.
- [16] 李继云, 陈代中, 任尚学, 等. 影响人体硒低的环境因素——陕西渭北高塬大骨节病区的调查 [J]. *环境科学*, 1992, 13(6): 16 ~ 22.
- [17] Arvy M P. Some aspects of selenium relationships in soils and plants [J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 1992, 23(13/14): 1 397 ~ 1 407.
- [18] Johnson L. Selenium uptake by plants as a function of soil type, organic matter content and pH [J]. *Plant Soil*, 1991, 133: 57 ~ 64.
- [19] Gissel-Nielsen G, Bisbjerg B. The uptake of applied selenium by agriculture plants: The utilization of various selenium compounds [J]. *Plant Soil*, 1970, 32: 382 ~ 396.
- [20] Combs G F Jr, Combs S B. The role of selenium in nutrition [M]. Orlando, FL, USA: Academic Press Inc, 1986. 21 ~ 28.

Landscape geochemistry of distribution of selenium in Yutangba mini-landscape, Enshi, Hubei Province, China

ZHU Jian-ming¹, ZHENG Bao-shan¹, MAO Da-jun², SU Hong-can³

(1. State Key Laboratory of Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Sanitary and Antiepidemic Station of Enshi Prefecture, Enshi, Hubei 445000, China; 3. Maternity and Child Care Center in Enshi

Prefecture, Enshi, Hubei 445000, China)

Abstract: Yutangba, where a sudden incidence of selenium poisoning occurred in 1963, is located in the northern part of Shuanghe Township about 81 km east of Enshi City in the southwest of Hubei Province, China. The average concentrations of selenium in Yutangba are (4.06 ± 1.24) mg/kg for soil, (4.36 ± 3.27) mg/kg for corn root, (3.06 ± 2.24) mg/kg for corn stem, (9.79 ± 7.62) mg/kg for corn leaf and (8.07 ± 5.02) mg/kg for corn seed. The study shows that selenium is an active element in the supergene moderate - strong chemically weathering environment in a small area of 0.01 km² in Yutangba. The spatial distribution of selenium in soil and corn is significantly uneven. Relatively low-Se, median-Se and high-Se subregions can be distinguished according to soil and corn Se concentrations. Microtopographic features and leaching conditions are the primary factors not only governing the selenium concentration in soil and corn, but also affecting its distribution. Selenium concentration in soil basically controls that in corn.

Selenium concentrations differ significantly among the organs of corn and decrease in the following order: tassel (male flower), silk (female flower) > leaf > seed > root > stalk > leafy husk of the ear. The selenium concentrations in the upper leaves and stalks are greater than those in their lower cognates, and the outer leafy husk of the ear has a greater selenium concentration than the inner leafy husk. This distribution not only indicates that selenium is probably an essential element for corn, but also that, under high-Se background and no Se-accumulating indicator plant conditions, these plant organs with relatively high selenium concentrations may be used as a sensitive indicator of selenium levels in the environment.

Key words: selenium in soil; selenium in corn; selenium distribution; Yutangba mini-landscape; Hubei Province