

三峡水库蓄水对库区弃耕地土壤 7 种金属元素质量分数的影响

沈雅飞^{1,2}, 程瑞梅^{1,2}, 肖文发^{1,2}, 王娜^{1,2}, 刘泽彬^{1,2}, 王晓荣^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 2. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037)

摘要: 为探究淹水对三峡库区土壤金属元素质量分数的影响, 以典型消落带中的弃耕地为研究区域, 于 2009 年和 2013 年, 研究不同海拔(145~155, 155~165, 165~175 m), 不同深度(0~5, 5~10, 10~20 cm)土壤的重金属(铜、铁、锌、锰), 碱性金属(钙、镁、钠)分布特征及与 pH 值的相互关系, 旨在为该地区生态恢复提供科学理论依据。研究发现: 2009 年 145~165 m 土壤 4 种重金属质量分数为 10~20 cm 层最高, 2013 年为 0~5 cm 层质量分数最高, 钙质量分数的最高值均出现在 10~20 cm 层; 经历过 4 个淹水周期后, 2013 年 165~175 m 高程土壤铜、铁、锌和锰质量分数依次为 0.065, 59.37, 0.068 和 0.069 g·kg⁻¹, 其质量分数比 2009 年分别增加了 50.75%, 18.84%, 27.46%, 27.44%。淹水导致钙、锰质量分数增多, 钠质量分数减少, 其中钠质量分数变化幅度最大, 随着海拔的升高, 2013 年较 2009 年分别减低了 60.02%, 60.09%和 59.82%; 另外, 除钠与 pH 值呈极显著负相关($r=-0.615$, $P<0.01$)之外, 所测金属指标均与 pH 值呈正相关。淹水不仅导致不同年份土壤金属的分布特征不完全相同, 还导致土壤铜、铁、锌、锰、钙、镁等的累积及钠的流失。图 3 表 1 参 18

关键词: 土壤学; 三峡库区; 消落带; 弃耕地; 金属; 相关性分析

中图分类号: S151.9; X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2017)04-0662-08

Content of seven soil metals on abandoned farmland in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir

SHEN Yafei^{1,2}, CHENG Ruimei^{1,2}, XIAO Wenfa^{1,2}, WANG Na^{1,2}, LIU Zebin^{1,2}, WANG Xiaorong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: To provide a theoretical reference for soil ecological restoration in the Three Gorges Reservoir area, the impact of fluctuating water levels on the content of metals was explored in typical abandoned farmland from the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir study area. Distribution characteristics of heavy metals (Cu, Fe, Zn, and Mn) and alkaline metals (Ca, Mg, and Na) at different altitudes (145–155, 155–165, and 165–175 m) for three soil layers (0–5, 5–10, and 10–20 cm) on abandoned farmland were examined in 2009 and 2013. At the same time, Pearson's correlation coefficients between soil pH and the content of seven soil metals were assessed. Results showed that the content of the four heavy metals was highest in the 10–20 cm soil layer among three soil layers at 145–165 m in 2009; whereas, those at the 0–5 cm layer were highest among three soil layers in 2013. Ca content was highest in the 10–20 cm soil layer among three soil layers both

收稿日期: 2016-08-03; 修回日期: 2016-10-07

基金项目: 中国林业科学研究院中央级公益院所专项基金(CAFYBB2017ZA002); “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD07B04); “十二五”国家林业科技支撑计划项目(2011BAD38B04)

作者简介: 沈雅飞, 博士研究生, 从事生态环境监测与生态恢复研究。E-mail: yafeishen126@126.com。通信作者: 程瑞梅, 研究员, 博士, 从事生态环境监测与生态恢复研究。E-mail: chengrm@caf.ac.cn

in 2009 and 2013. At 165–175 m, compared with 2009, in 2013 Cu ($0.065 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) increased 50.8%, Fe ($59.37 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) increased 18.8%, Zn ($0.068 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) increased 27.5%, and Mn ($0.069 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) increased 27.4% (mean value of the three soil layers). Meanwhile, as altitude increased, fluctuating water levels resulted in growing content of Ca and Mn whereas the content of Na reductions of 60.0% at 145–155 m, 60.1% at 155–165 m, and 59.8% (mean value of the three soil layers) at 165–175 m. In addition, the relationship between Na content and pH value was significantly negative ($r = -0.615$, $P < 0.01$); whereas, the other six metals were positive. So, fluctuating water levels led to differences in distribution characteristics of soil metal contents after different years, as well as in accumulation of Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, and Mg contents and losses in Na content. [Ch, 3 fig. 1 tab. 18 ref.]

Key words: soil science; Three Gorges Reservoir area; hydro-fluctuation belt; abandoned farmland; metal content; correlation analysis

土壤重金属污染物因其难以降解, 进而通过水生系统、土壤-植物系统进入食物链, 最终危害生态环境与人类健康^[1-2]。同时, 土壤中也包含了大量的碱性金属, 一旦碱性金属匮乏, 会威胁植物正常的生长发育。这些金属的存在与土壤的淋溶程度、pH 值等密切相关^[3]。消落带土壤因受反复间断式淹水、裸露和冲刷, 积累在土壤中的重金属元素, 可以通过溶解、交换、扩散等方式进入水体而引起水质变化, 而江水中的重金属通过吸附、沉淀等形式迁移至消落带土壤中引起其环境的改变^[4-5], 因此, 三峡水库周期性蓄水对消落带土壤重金属和碱性金属的影响规律更加值得深入研究。目前, 国内外学者对消落带土壤中金属的变化规律的研究^[6-8], 主要集中在通过模拟消落带来研究土壤金属含量的分布特征, 库区不同土壤类型重金属的含量与风险评价和库区土壤重金属背景值等方面, 如郭沛等^[9]模拟淹水条件下三峡库区消落带土壤重金属形态变化时发现, 淹水导致土壤铁、锰、有效铜含量增加; 熊俊等^[10]研究显示在三峡水库运行初期, 消落带土壤重金属物污染处于低级生态风险; 另外, 唐将等^[11]在大规模、系统采样的基础上, 通过比较不同均值的计算方法, 提出了三峡库区土壤重金属含量的背景值。已有研究表明: 土壤中的碱性阳离子可以维持植物的生长需求^[3]; 重金属间的迁移会对库区水环境产生影响, 而土壤的酸碱性控制着重金属元素的活性, 进而影响土壤中重金属的含量^[8]。自三峡水库运行至今, 尽管对消落带土壤金属元素特征的研究不断增加, 但是关于较长蓄水周期的消落带土壤中金属含量变化的研究鲜有报道。因此, 本试验分别于 2009 年和 2013 年, 测定了三峡库区消落带秭归段弃耕地的不同高程、不同深度土壤碱性金属元素(钙、镁和钠), 重金属元素(锌、锰、铁和铜)的质量分数以及土壤的 pH 值, 揭示其空间分布特征, 比较 2009 年与 2013 年间(经历过 4 个淹水周期)的土壤金属质量分数的差异, 进一步探讨水淹对土壤金属元素质量分数的影响, 以为库区土地的合理利用、生态恢复提供科学理论依据。

1 研究区概况

本研究样地位于湖北省宜昌市秭归县茅坪镇, 紧邻三峡库区, 其地理位置为 $30^{\circ}38'14''\sim 31^{\circ}11'31''\text{N}$, $110^{\circ}00'04''\sim 110^{\circ}18'41''\text{E}$, 年平均气温为 18.0°C , 年均均降水量为 $1\ 100.0 \text{ mm}$, 年日照时数为 $1\ 632.0 \text{ h}$, 年无霜期约为 260.0 d 。属于亚热带大陆性季风气候, 温暖湿润, 四季分明, 雨热同季。土壤类型为花岗岩母质风化而成的黄壤土, 土层厚度约为 40 cm 。

2 材料与方法

2.1 样地设置

2009 年, 在研究区域内选择 3 块生境类型相似的弃耕地, 各设置 1 块 $40 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ 的样地, 其底边设置在海拔 145 m , 最高设置在海拔 175 m 。由于不同的高程受水淹情况不同, 将样地在高程上划分为 3 个梯度, 分别为 $145\sim 155$, $155\sim 165$ 和 $165\sim 175 \text{ m}$, 各个高程均埋设水泥桩做标记。

根据水库的运行, 2009 年和 2013 年样地被水淹区域均为高程 $145\sim 175 \text{ m}$ 。

2.2 土壤样品采集及测定

于2009年和2013年的9月,在3块样地内进行采样,均沿着每个高程区域的对角线,分别用土钻取土12次,每次均取3层(0~5, 5~10, 10~20 cm)土壤,将同一层的土壤混合,作为此高程的土壤样品,装袋标记后,带回实验室进行金属元素质量分数和pH值的测定。

将新鲜的土壤样品平铺在干净且透气的纸上,放在室内阴凉处通风干燥,待土样风干后,剔除石块和动植物残体等杂物,倒入研钵中磨细,过2 mm筛子。土壤铜、铁、锰、锌、钙、镁和钠质量分数均根据氢氟酸-高氯酸消煮-ICP法测定^[12];土壤pH值采用pH酸度计法测定^[13]。

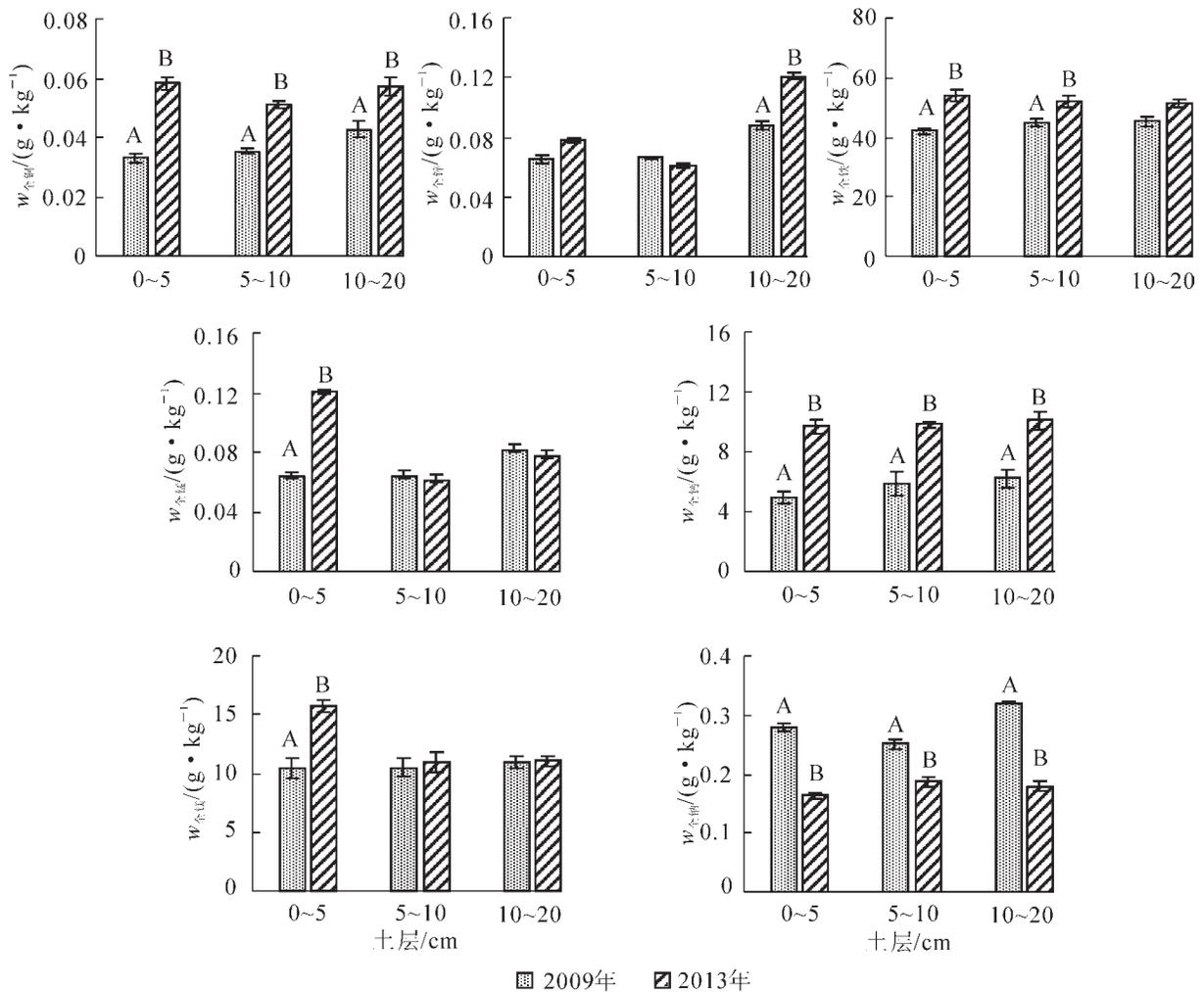
2.3 数据处理与分析

采用SPSS 19.0对所测得的数据进行处理和分析,应用Excel 2013进行图表制作。

3 结果与分析

3.1 水淹对土壤金属质量分数的影响

3.1.1 水淹对145~155 m区域金属质量分数的影响 从图1可以看出:弃耕地海拔144~155 m区域内,所测量的7种元素质量分数在土壤0~5, 5~10和10~20 cm层之间存在空间差异性。无论是2009年还是2013年,土壤锌、钙和钠质量分数,大体上随着土壤深度的增加而增多;土壤铜、铁、锰和镁质量分数,2009年表现为随土壤深度的增加而增多,2013年其空间分布与2009年不同,其变化幅度较小,随着土壤深度的增加呈缓慢的减少。显著性检验结果显示,土壤周期性淹水对弃耕地此区域土壤所测金



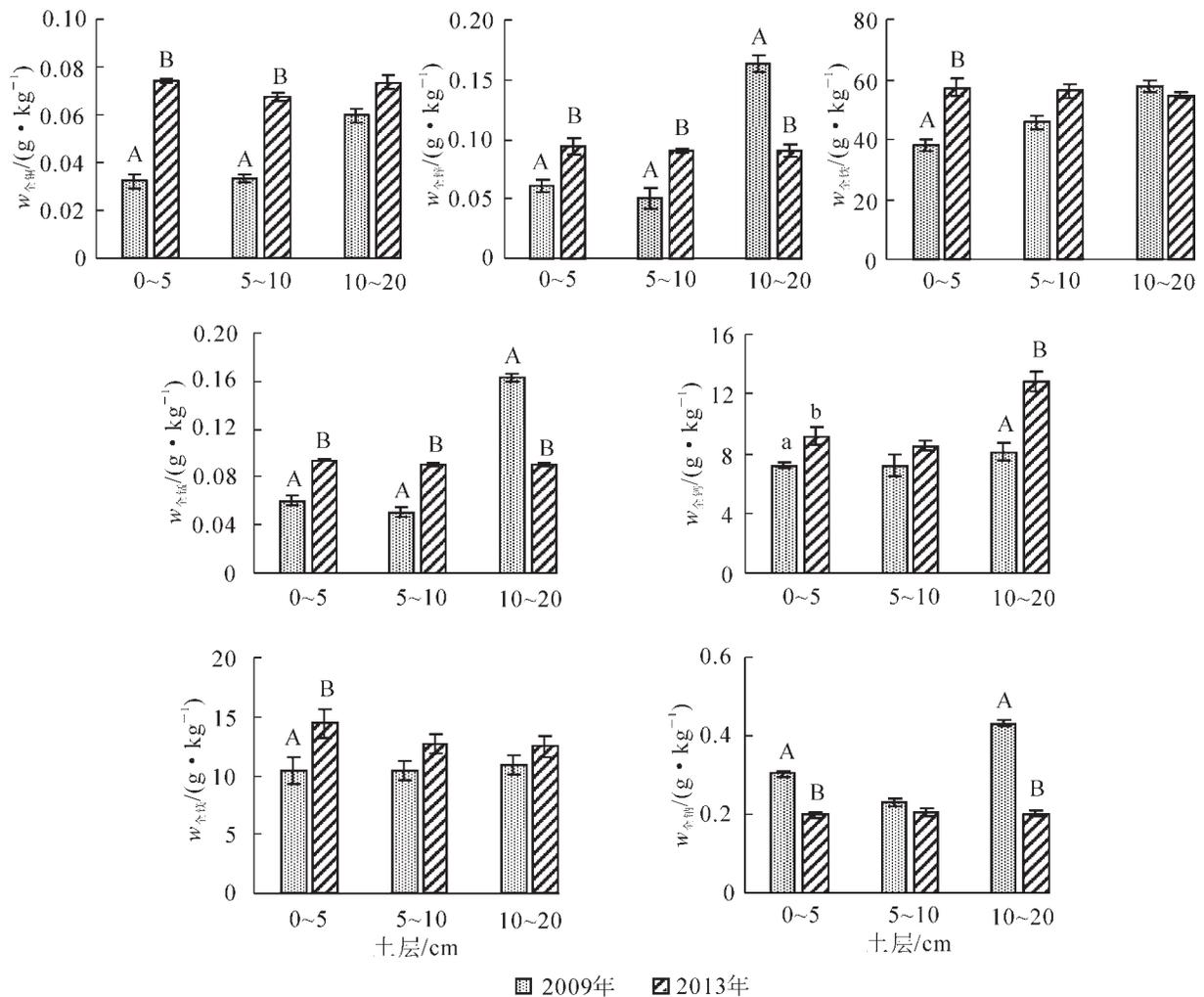
不同大写字母表示相同土层不同年份间存在极显著差异($P < 0.01$);
未标字母表示相同土层不同年份间无显著差异

图1 2009年和2013年海拔145~155 m区域土壤剖面中的金属质量分数分布

Figure 1 Distribution of metal contents in the soil profiles at an elevation of 145-155 m above sea level in 2009 and 2013

属质量分数影响均极显著($P<0.01$)。由多重比较结果可知：土壤经历过 4 个水淹周期后，在弃耕地海拔 144~155 m 区域内，2009 年与 2013 年各层土壤之间铜和钙质量分数的差异均达到极显著水平($P<0.01$)，均为 2013 年高于 2009 年；土壤钠质量分数受水淹后的变化趋势与铜和钙的变化趋势相反，表现为 2009 年各土层钠质量分数极显著高于 2013 年；土壤铁、镁和锰质量分数均于 2009 年和 2013 年的 0~5 cm 层之间达到极显著差异水平，10~20 cm 层土壤锌质量分数经过 4 a 的水淹周期后，其质量分数差异达到极显著水平($P<0.01$)；此外，2013 年 5~10 cm 层土壤铁质量分数显著高于 2009 年($P<0.05$)，其余层土壤之间差异不明显。

3.1.2 水淹对 155~165 m 区域金属质量分数的影响 从图 2 可见：在弃耕地 155~165 m 区域内，2009 年土壤铜、锌、铁和锰质量分数随着土层的加深而增多，而 2013 年这 4 种元素的质量分数在各层土壤之间基本保持不变，空间分布差异较小；2009 年各层土壤镁和钙质量分数之间大体保持不变，2013 年则分别随着土层的加深而表现为降低趋势和上升趋势。所测的金属元素中，2009 年各层土壤锌、锰和钠质量分数的变化幅度较大，变化范围依次为 0.16~0.06, 0.16~0.06 和 0.29~0.30 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。与 2009 年相比，2013 年土壤各层铜、钙和镁质量分数均明显增多，钠质量分数明显减少。土壤周期性淹水对弃耕地此区域土壤所测金属质量分数影响均极显著($P<0.01$)。多重比较结果显示：弃耕地 155~165 m 高程区域，土壤经历过 4 个水淹周期后，2013 年 0~5 cm 和 5~10 cm 层土壤的锌、锰质量分数均极显著高于 2009 年($P<0.01$)，但其质量分数在 10~20 cm 层土壤中则表现为与其相反，即 2009 年极显著高于 2013 年($P<0.01$)；2013 年 0~5 cm 和 5~10 cm 层土壤铜质量分数均极显著高于 2009 年($P<0.01$)，0~5 cm 土



不同大写字母表示相同土层不同年份间存在极显著差异($P<0.01$)；
不同小写字母表示相同土层不同年份间存在显著差异($P<0.05$)；
未标字母表示相同土层不同年份间无显著差异

图 2 2009 年和 2013 年 155~165 m 区域土壤剖面中的金属质量分数分布

Figure 2 Distribution of metal contents in the soil profiles at an elevation of 155–165 m above sea level soil in 2009 and 2013

层的镁极显著高于2009年($P < 0.01$); 除去5~10 cm层土壤, 钠质量分数在其余2层内均表现为2009年极显著高于2013年($P < 0.01$); 2013年5~10 cm层土壤锌和镁质量分数显著高于2009年($P < 0.01$); 此外, 2013年0~5 cm层土壤的钙质量分数显著高于2009年($P < 0.05$)。

3.1.3 水淹对165~175 m区域金属质量分数的影响 2009年, 在弃耕地165~175 m区域, 锰和钙元素质量分数, 不同土层间的空间变化范围较大, 分别为0.02~0.07 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和7.45~22.99 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最高质量分数分别出现在5~10 cm和10~20 cm层土壤; 2013年钙和镁元素质量分数在此区域内, 不同土层间的空间变化范围较大, 依次为7.96~32.80 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 11.86~15.73 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最高质量分数分别出现在10~20 cm和0~5 cm层。可见经过4个水淹周期后钙均表现出的空间分布特征相一致。2009年和2013年, 土壤铁和钙质量分数均随着土层加深, 整体上表现出缓慢上升趋势, 土壤铜、锌、镁和钠表现相反, 即随着土层加深整体上表现出缓慢的减少(图3)。由显著性检验和多重比较结果得到, 土壤周期性淹水对弃耕地此区域土壤所测金属质量分数影响均显著, 对铜、铁、锰、钙、镁和钠质量分数影响均极显著($P < 0.01$)。2013年各层土壤的铜、镁质量分数均极显著高于2009年($P < 0.01$), 钠质量分数极显著低于2009年($P < 0.01$); 2013年0~5 cm层土壤, 锰、铁质量分数均极显著高于2009年($P < 0.01$); 10~20 cm层土壤钙质量分数于2013年极显著高于2009年($P < 0.01$); 5~10 cm土壤铁和钙质量分数于2009年和2013年间的差异达到显著性水平, 分别表现为2013年显著高于2009年和2009年显著高于2013年($P < 0.01$); 10~20 cm层土壤锌和铁质量分数均呈现为2013年显著高于2009年($P < 0.05$)。

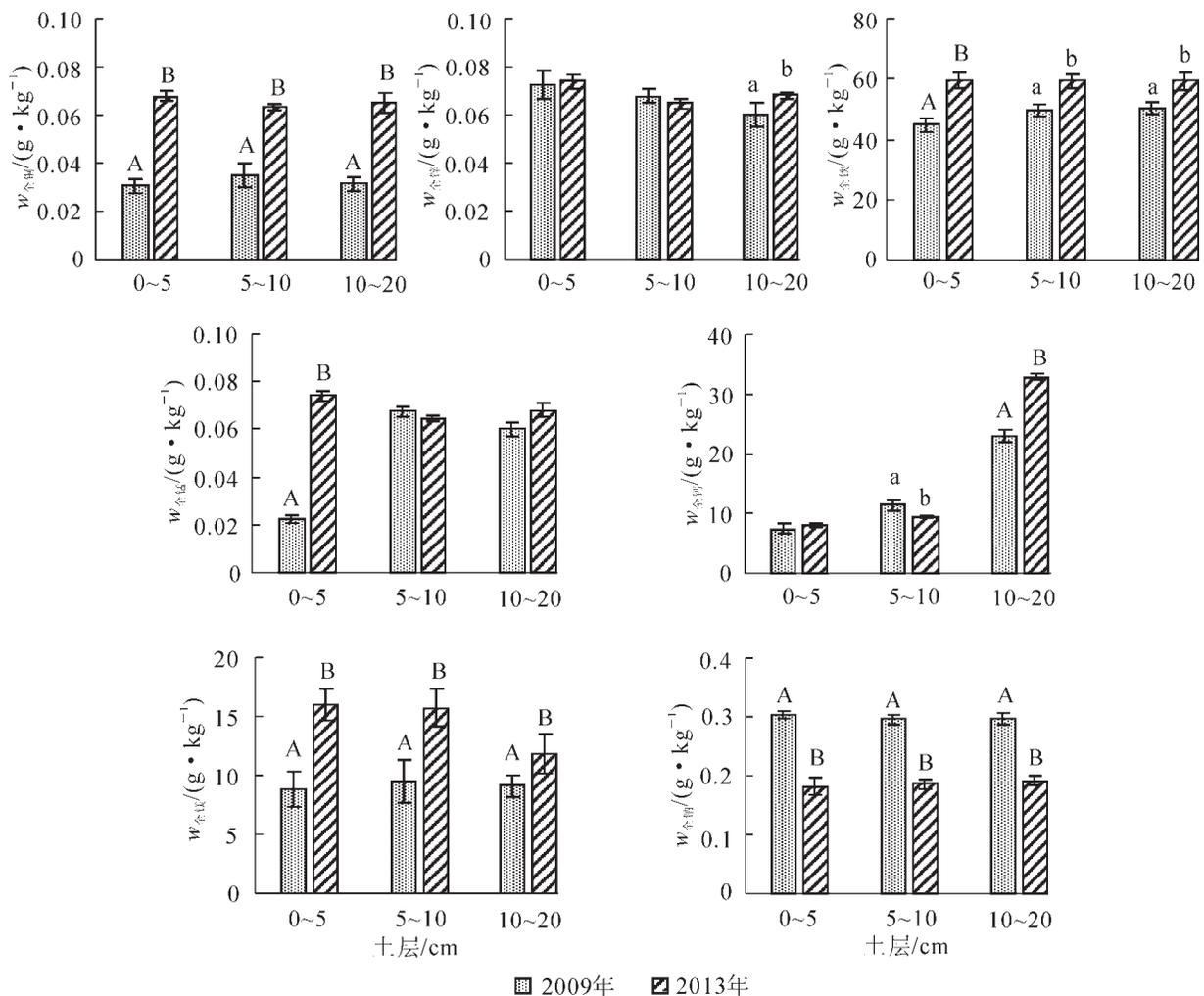


图3 2009年和2013年165~175 m区域土壤剖面中的金属质量分数分布

Figure 3 Distribution of metal contents in the soil profiles at an elevation of 165–175 m above sea level in 2009 and 2013

3.2 土壤的金属元素与 pH 的相关性分析

为了进一步了解消落带土壤金属元素之间的关系以及各个金属元素质量分数与土壤 pH 值之间的关系, 本试验通过对 2009 和 2013 年的不同海拔的各个土层的 7 种所测金属元素与之对应的土壤 pH 值进行了相关性分析(表 1)。

表 1 重金属以及碱性金属与 pH 值的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between heavy metals, or alkaline metals and soils pH values

相关系数	铜	铁	锰	锌	钙	镁	钠
铜	1						
铁	0.863**	1					
锰	0.433	0.350	1				
锌	0.439	0.355	0.990**	1			
钙	0.779**	0.744**	0.022	0.032	1		
镁	0.765**	0.676**	0.208	0.226	0.528*	1	
钠	-0.507*	-0.401	0.415	0.395	-0.589**	-0.620**	1
pH 值	0.589**	0.469*	0.198	0.234	0.475*	0.595**	-0.615**

说明: * 代表达到 0.05 水平显著性, ** 代表达到 0.01 水平显著性。

由表 1 可以看出: 土壤铜、铁、镁之间存在极显著正相关($P < 0.01$), 锰与锌、钙与镁存在显著正相关($P < 0.05$)。钠与镁呈极显著负相关($r = -0.620$), 钠与铜显著性负相关($r = -0.507$), 其他金属元素之间相关性不明显。土壤 pH 值与镁之间存在极显著正相关($r = 0.595$), 与铜和铁呈显著性正相关($r = 0.589$ 和 0.469)。可见土壤 pH 值的大小与其金属元素质量分数密切相关。

4 讨论与结论

土壤在淹水条件下, 重金属易生成沉淀而降低其生物有效性, 从而减少土壤重金属解吸, 使重金属在土壤中累积而未释放至水体^[14]。本研究发现: 145~155, 155~165 和 165~175 m 高程区域, 与 2009 年相比较, 在经历过 4 个淹水周期后, 2013 年 6 种所测金属元素(除去钠)质量分数总体上表现为增多的趋势, 尤其是铜和镁元素; 土壤铜、铁、锌和锰质量分数的变幅最大的均出现在高程 165~175 m 区域, 分别增加 50.75%, 18.84%, 27.46% 和 27.44%(3 个土层的均值), 可见淹水导致重金属在土壤中的累积, 高海拔高程表现更为明显。所测的碱性金属中, 随着海拔的升高, 土壤的钠质量分数变化幅度最大, 2013 年较 2009 年分别减低了 60.02%, 60.09% 和 59.82%(3 个土层的均值); 淹水导致土壤中钙、镁质量分数呈明显上升, 且钙质量分数上升的幅度较大, 145~155, 155~165, 165~175 m 区域土壤分别上升 42.44%, 26.47% 和 16.68%(3 个土层的均值)。可见, 土壤中释放的钠质量分数要大于从水中吸附量, 而土壤中钙、镁质量分数释放大于吸附量。

本研究揭示了消落带土壤 7 种金属质量分数的空间分布状况, 在 145~155, 155~165 和 165~175 m 高程, 2013 年土壤的铜、铁、锌和锰质量分数的最高值均出现在 0~5 cm 土层; 在 145~155 m 和 155~165 m 高程, 2009 年土壤中 4 种重金属最高质量分数均出现在 10~20 cm 土层。无论 2009 年还是 2013 年, 随着海拔的升高, 土壤铜、锌和锰质量分数, 均呈现先升高后降低, 铁质量分数则一直升高。一般情况下, 重金属质量分数随着土壤层次的增加而降低^[15], 但本研究结果发现, 2013 年 3 个高程区域的土壤中铜、铁、锌和锰质量分数均为 0~5 cm 土层最高, 在 145~165 m 高程区间, 2009 年土壤中 4 种重金属质量分数均为 10~20 cm 土层最高, 在 165~175 m 高程区域, 没有表现出统一的规律, 这与裴廷权等^[16]的研究结果相类似, 可见消落带弃耕地土壤经过长时间的淹水, 导致其重金属质量分数在空间上分布不同。

土壤 pH 值是影响土壤重金属质量分数的关键性因子, 几乎所有的金属离子在土壤中的吸附解吸都是 pH 值依赖型的, 它主要是通过影响重金属化合物在土壤溶液中的溶解度来影响重金属的行为, 进而影响其质量分数^[17]。三峡库区秭归段土壤受到周期性水淹后, 其 pH 值增高并趋于中性^[18]。本研究中, 除钠质量分数与 pH 值呈极显著负相关之外, 所测金属指标均与 pH 值呈正相关, 且与铜、铁和钙呈显

著性正相关。pH值增大,导致土壤4种重金属、钙和镁质量分数增多,钠质量分数减少。这也与前人的研究结果相吻合^[3]。

5 参考文献

- [1] 吉方英,王图锦,胡学斌,等.三峡库区消落区水体-沉积物重金属迁移转化特征[J].环境科学,2009,30(12): 3481 - 3487.
JI Fangying, WANG Tujin, HU Xuebin, *et al.* Movement and transformation of heavy metals in water sediment in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir Area [J]. *Environ Sci*, 2009, 30(12): 3481 - 3487.
- [2] 储立民,常超,谢宗强,等.三峡水库蓄水对消落带土壤重金属的影响[J].土壤学报,2011,48(1): 192 - 196.
CHU Limin, CHANG Chao, XIE Zongqiang, *et al.* Effect of impounding of the Three Gorges-Reservoir on soil heavy metals in its hydro-fluctuation belt [J]. *Acta Pedol Sin*, 2011, 48(1): 192 - 196.
- [3] 程瑞梅,王晓荣,肖文发,等.三峡库区消落带水淹初期土壤物理性质及金属含量初探[J].水土保持学报,2009,23(5): 156 - 161.
CHENG Ruimei, WANG Xiaorong, XIAO Wenfa, *et al.* Study on the soil physical properties and metal content in the early submerged water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir [J]. *J Soil Water Conserv*, 2009, 23(5): 156 - 161.
- [4] 傅杨武,陈明君,祁俊生.重金属在消落带土壤-水体系中的迁移研究[J].水资源保护,2008,24(5): 8 - 11.
FU Yangwu, CHEN Mingjun, QI Junsheng. Experimental study on migration of heavy metals in soil-water system of water level-fluctuating zone [J]. *Water Resour Prot*, 2008, 24(5): 8 - 11.
- [5] 许书军,魏世强,谢德体.三峡库区耕地重金属分布特征初步研究[J].水土保持学报,2003,17(4): 64 - 66.
XU Shujun, WEI Shiqiang, XIE Deti. Characteristics of heavy metals distribution in cultivated soil in Three Gorge Reservoir Area (TGRA) [J]. *J Soil Water Conserv*, 2003, 17(4): 64 - 66.
- [6] 李其林,黄昀,刘光德,等.三峡库区主要土壤类型重金属含量及特征[J].土壤学报,2004,41(2): 301 - 304.
LI Qilin, HUANG Yun, LIU Guangde, *et al.* The contents and character of heavy metals of main soil types in Three Gorge Reservoir [J]. *Acta Pedol Sin*, 2004, 41(2): 301 - 304.
- [7] SHOTBOLT L, HUTCHINSON S M, THOMAS A D. Sediment stratigraphy and heavy metal fluxes to reservoirs in the southern Pennine uplands, UK [J]. *J Paleolimnol*, 2006, 35(2): 305 - 322.
- [8] 喻菲,张成,张晟.三峡水库消落区土壤重金属含量及分布特征[J].西南农业大学学报(自然科学版),2006,28(1): 165 - 168.
YU Fei, ZHANG Cheng, ZHANG Sheng. Contents and distribution of heavy metals in the draw-down zone of the Three Gorge Reservoir Area [J]. *J Southwest Agric Univ Nat Sci*, 2006, 28(1): 165 - 168.
- [9] 郭沛,朱强,王素梅,等.模拟淹水条件下三峡库区消落带土壤重金属形态变化[J].华中农业大学学报,2013,32(6): 70 - 74.
GUO Pei, ZHU Qiang, WANG Sumei, *et al.* Changes of soil heavy metals forms of Three Gorges Reservoir water-level fluctuation zone under the flooding simulation [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2013, 32(6): 70 - 74.
- [10] 熊俊,王飞,梅朋森,等.三峡库区香溪河消落区土壤重金属生态风险评价[J].环境科学研究,2011,24(11): 1318 - 1324.
XIONG Jun, WANG Fei, MEI Pengsen, *et al.* Ecological risk assessment of heavy metal pollution in soils from the fluctuation belt of Xiangxi River in the Three Gorges Reservoir [J]. *Res Environ Sci*, 2011, 24(11): 1318 - 1324.
- [11] 唐将,钟远平,王力.三峡库区土壤重金属背景值研究[J].中国生态农业学报,2008,16(4): 848 - 852.
TANG Jiang, ZHONG Yuanping, WANG Li. Background value of soil heavy metal in the Three Gorges Reservoir District [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2008, 16(4): 848 - 852.
- [12] 潘海燕,张鑫.原子吸收法测定土壤中铜锌铅镉[J].环境工程,2005,23(1): 68 - 69.
PAN Haiyan, ZHANG Xin. Determination of copper, zinc, lead and cadmium in soil by atomic absorption spectrometry [J]. *Environ Eng*, 2005, 23(1): 68 - 69.
- [13] 李强,文唤成,胡彩荣.土壤pH值的测定国际国内方法差异研究[J].土壤,2007,39(3): 488 - 491.
LI Qiang, WEN Huancheng, HU Cairong. Difference between international and domestic methods in determining soil pH [J]. *Soils*, 2007, 39(3): 488 - 491.

- [14] BERTIN C, BOUGR A C M. Trends in the heavy metal content (Cd, Pb, Zn) of river sediments in the drainage basin of smelting activities [J]. *Water Res*, 1995, **29**(7): 1729 – 1736.
- [15] 曹会聪, 王金达, 张学林. 东北地区污染黑土中重金属与有机质的关联作用[J]. 环境科学研究, 2007, **20**(1): 36 – 41.
CAO Huicong, WANG Jinda, ZHANG Xuelin. Study on the association between heavy metals and organic matter in polluted black soil northeast China [J]. *Res Environ Sci*, 2007, **20**(1): 36 – 41.
- [16] 裴廷权, 王里奥, 韩勇, 等. 三峡库区消落带土壤剖面中重金属分布特征[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(5): 72 – 78.
PEI Tingquan, WANG Li'ao, HAN Yong, *et al.* Distribution characteristics form soil profile heavy metal of water-level-fluctuating zone in Three Gorges Reservoir Area [J]. *Res Environ Sci*, 2008, **21**(5): 72 – 78.
- [17] 王晓荣. 三峡库区消落带土壤理化性质及种子库研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
WANG Xiaorong. *Soil Physical and Chemical Properties and Seed Bank of Water-Level-Fluctuation Zone in Three Gorges Reservoir Area* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010.
- [18] 郭泉水, 康义, 赵玉娟, 等. 三峡库区消落带土壤氮磷钾、pH 值和有机质变化[J]. 林业科学, 2012, **48**(3): 7 – 10.
GUO Quanshui, KANG Yi, ZHAO Yujuan, *et al.* Changes in the content of N, P, K, pH and organic matter of the soil which experienced the hydro-fluctuation in the Three Gorges Reservoir [J]. *Sci Silv Sin*, 2012, **48**(3): 7 – 10.

“铁皮石斛品种选育与高效栽培”获浙江省科学技术进步奖一等奖

2017 年 4 月 19 日上午, 浙江省科学技术奖励大会在浙江省人民大会堂举行。浙江农林大学林业与生物技术学院斯金平教授主持完成的“铁皮石斛品种选育与高效栽培”项目获浙江省科学技术进步奖一等奖。

“铁皮石斛品种选育与高效栽培”是国家科技攻关项目。历时 19 年研究, 科研人员攻克了铁皮石斛结实难、发芽难等繁育难题, 实现了铁皮石斛种苗工厂化生产; 揭示了铁皮石斛遗传变异规律, 育成了 5 个专用品种(品系); 制定了国内首个铁皮石斛栽培行业标准, 研发出铁皮枫斗颗粒、胶囊等 5 个保健产品及系列日用化学品。该项目获国家发明专利 9 项, 近 3 年繁育组培种苗 6.4 亿株, 建立基地 640 hm², 新增产值 32.0 亿元, 建立了一种不砍树也能致富的新模式, 为百亿铁皮石斛产业提供了技术支撑。

尧 甜, 沈晓婷