

胶州湾滨海湿地中的 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 及碱蓬 (*Suaeda salsa*) 对其的“重力分馏”^{*}

宋金明¹ 张 默^{1,2} 李学刚¹ 袁华茂¹ 李 宁¹
段丽琴^{1,2} 许思思^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 通过对胶州湾东北部滨海湿地 5 个站点盐渍土壤和其上生长的碱蓬中的微量碱金属、碱土金属 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 的系统研究, 发现盐渍土壤中 Li、Sr 和 Ba 的含量高于我国土壤背景值, Rb、Cs 的含量特别是 Cs 的含量低于我国土壤的背景含量, 盐渍土壤中 Li/Cs 比值和 Ba/Sr 比值较为接近, 并且 Li 和 Cs、Sr 和 Ba 之间具有显著的正相关关系, 表明这一区域的盐渍土壤有相似的成土母质。碱蓬对碱土金属的积累量明显高于碱金属, 但对它们的富集系数都小于 1, 碱蓬生物富集系数 $Sr > Li > Rb > Cs > Ba$, 碱蓬对这五种元素从盐渍土壤中迁出的能力随着它们原子序数的增加明显降低, 即越重的元素越不易被迁离地面移出盐渍土壤, 相反, 越轻的元素越易被迁离地面移出盐渍土壤, 碱蓬可造成盐渍土壤 Li、Rb、Sr、Cs、Ba 明显的“重力分馏”。

关键词 微量碱金属与碱土金属, 盐渍土壤, 碱蓬, 重力分馏

中图分类号 X174

滨海湿地盐渍土主要经过毛细作用和蒸发作用使海相盐土母质所含的盐分大量上升至地表残留和凝聚并经海水浸渍而成, 对其上生长的植物作物产生盐害, 可导致根系吸水困难, 茎叶细小, 严重时根系向体外渗水, 影响植物对养分的吸收和转化, 使其萎蔫或枯死(孔令安等, 2000)。但有些盐生植物如碱蓬可忍受较高盐分的胁迫, 在滨海湿地盐渍土壤中正常生长, 它们可用来修复受损的盐渍土壤(李扬等, 2008; Dushenkov *et al.*, 1995; Glenn *et al.*, 1998; Williams *et al.*, 1994), 所以研究探讨盐生植物碱蓬对化学物质的迁移作用意义重大。

胶州湾作为黄海中部山东半岛南部的一个半封闭型海湾(王倩等, 2010), 近年来, 人为活动特别是工业以及生活污染已经对其生态环境产生了重要影响, 研究探讨作为胶州湾近岸优势盐生植物碱蓬对

化学物质的富集、迁移、转化和生物修复具有重要的科学意义和实际价值。胶州湾滨海湿地主要有河口海湾湿地、浅海水域湿地、潮间滩涂湿地、湖泊湿地、河流沼泽、盐田池塘湿地 6 种生态类型, 目前, 其总面积 34825.09 公顷, 其中 10 公顷以上的湿地 18 块, 面积 34580 公顷(宋金明, 2000; Song, 2010)。胶州湾东北部沿岸属于充填型河口海湾湿地, 主要有“沧口、女姑口潮间滩涂湿地”、“红岛河套潮间滩涂湿地”、“女姑口河口海湾湿地”、“城阳区上马盐田湿地”、“城阳区南万盐田湿地”和“白沙河河流沼泽湿地”等, 其上部盐渍土多为粘质砂土或砂质粘土, 这一区域上的优势植物为碱蓬, 碱蓬为藜科一年生高耐盐真盐生草本植物, 一般株高 50—80cm, 为无限花序, 种子双凸镜形, 直径 0.5—1.0mm(宋洪海等, 2010)。

^{*} 国家海洋公益性项目资助, 201205008 号; 国家自然科学基金委员会创新群体项目资助, 41121064 号。宋金明, 研究员, 博士生导师, E-mail: jmsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-01-21, 收修改稿日期: 2011-06-26

本文选择胶州湾东北部沿岸 5 个站点的盐渍土壤和其上生长的碱蓬中的微量碱金属、碱土金属 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 为研究对象, 首次探讨了它们在盐渍土壤和碱蓬的分布特征、碱蓬对其的运移规律, 发现了碱蓬对这五种微量碱金属和碱土金属随着原子序数的增加向地上运移的相对量明显降低的“重力分馏”现象, 这将为系统揭示作为盐碱土壤先锋植物的碱蓬生理作用、开发利用碱蓬作为盐渍土壤修复植物奠定基础。

1 采样与分析

2008 年 8 月, 于胶州湾东北部滨海湿地五个点采集盐渍土壤和碱蓬样品(图 1)。其中 T1 位于双埠入海口浅滩, 取样附近植物种类繁多, 附近有输油管道, 水面上有油污。T2 为女姑河入海口西附近浅滩, 稍偏离主河道, 潮滩有养殖虾池蟹地, 采样时为落潮时段。采样点 T2-1 位于女姑河口近水点, 采样于河道旁的斜坡上, 碱蓬根在水中, 茎叶露出水面。T3 位于白沙河入海口附近, 采样点植被完好, 碱蓬生长十分旺盛, 强烈的木质化, 株高也高于其它采样点。T4 及 T4-1 位于墨水河周边, 其附近有垃圾堆, 地面干裂, T4 位于潮滩地带, T4-1 为近水地带。T5 及 T5-1 位于上马污水处理厂外围的盐碱滩, T5 距离污水厂很近, 植物分布不规则, T5-1 位于附近盐场盐池土坝上, 碱蓬的生长繁茂, 处于地势低、盐度大区域的碱蓬尤为明显。

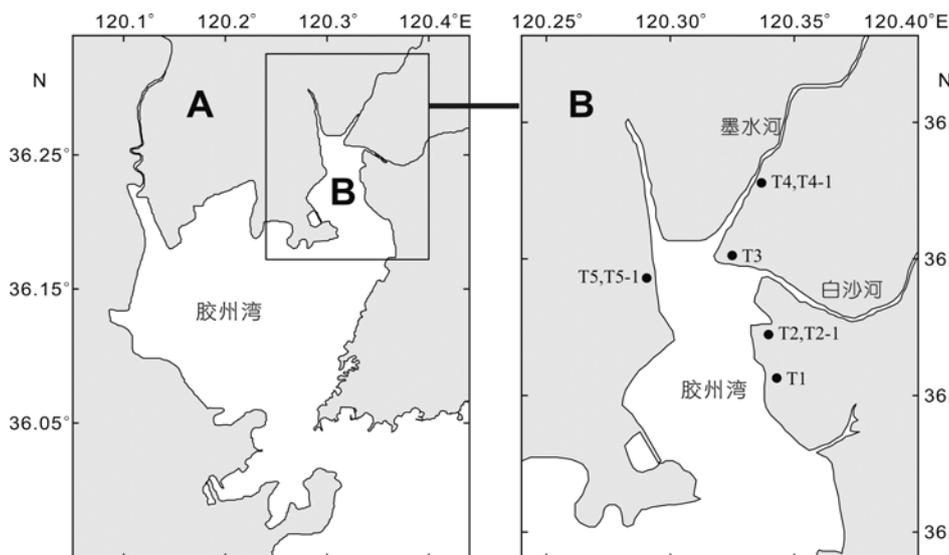


图 1 胶州湾东北部滨海湿地盐渍土壤和碱蓬样品采集站位图

Fig.1 Sampling sites of the saline soils and *S. salsa* in the northeastern coastal wetland of the Jiaozhou Bay

1.1 盐渍土壤样品的处理与分析测定

盐渍土壤样品采集后, 自然风干 3d 后, 置于 50℃ 烘箱中烘干至恒重, 用玛瑙研钵研磨过 120 目筛备用。准确称取 40mg 于 Teflon 溶样罐中, 加入 0.6ml HNO₃ + 2ml HF 封盖后, 震荡样品, 静置 2h 后, 于 150℃ 电热板上溶样 24h, 然后加入 0.5ml HClO₄ 于 120℃ 电热板上敞开蒸发至半干, 再加入 1ml HNO₃ + 1ml H₂O 密闭于 120℃ 电热板回溶 12h, 用 ICP-MS 测定 Li、Rb、Cs、Sr 和 Ba 的含量等。ICP-MS 测定条件输出功率为 1300W, 射频电浆耦合器电压为 1.6V, 采样深度为 7mm, 采样锥孔与焰炬的水平距离为 0mm, 采样锥孔与焰炬的垂直距离为 0.4mm, 载气流速为 1.15L/min, 辅助气流量为 0L/min, 蠕动泵转速为 0.1r/s。

1.2 碱蓬样品的处理与分析测定

碱蓬样品采集带回实验室立即用自来水冲洗 3 遍, 蒸馏水冲洗 2 遍, 以除去茎叶部分表面黏着的泥沙, 用小毛刷小心清理根毛附近的土壤, 后用塑料剪刀将植物样品分离为根、茎、叶三部分, 分装后 40℃ 烘箱中烘至恒重, 以玛瑙研钵研碎, 过 120 目筛。准确称取碱蓬样品 0.1g, 用盐渍土壤同样的样品处理方式和条件测定碱蓬中 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 的含量。

2 结果与讨论

2.1 盐渍土壤中 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 的水平

Li、Rb、Cs 属于典型的亲岩碱金属元素, Sr、Ba 属于碱土金属, 这五种元素 Li、Sr 可形成单独的矿物, 其它三种则呈分散状态分散在岩石矿物中。土壤中的碱金属与碱土金属容易从土壤中淋溶而进入附近海域的海水中, 从而引起海水中这些元素浓度的变化, 溶解度低的风化产物如 BaSO₄ 又可在土壤中积聚, 输入到海水中的这些元素就会减少, 所以近岸滨海湿地盐渍土中 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 的研究对揭示胶州湾生态环境变化也会有所帮助。胶州湾东北沿岸盐渍土壤中 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 的分布见图 2。

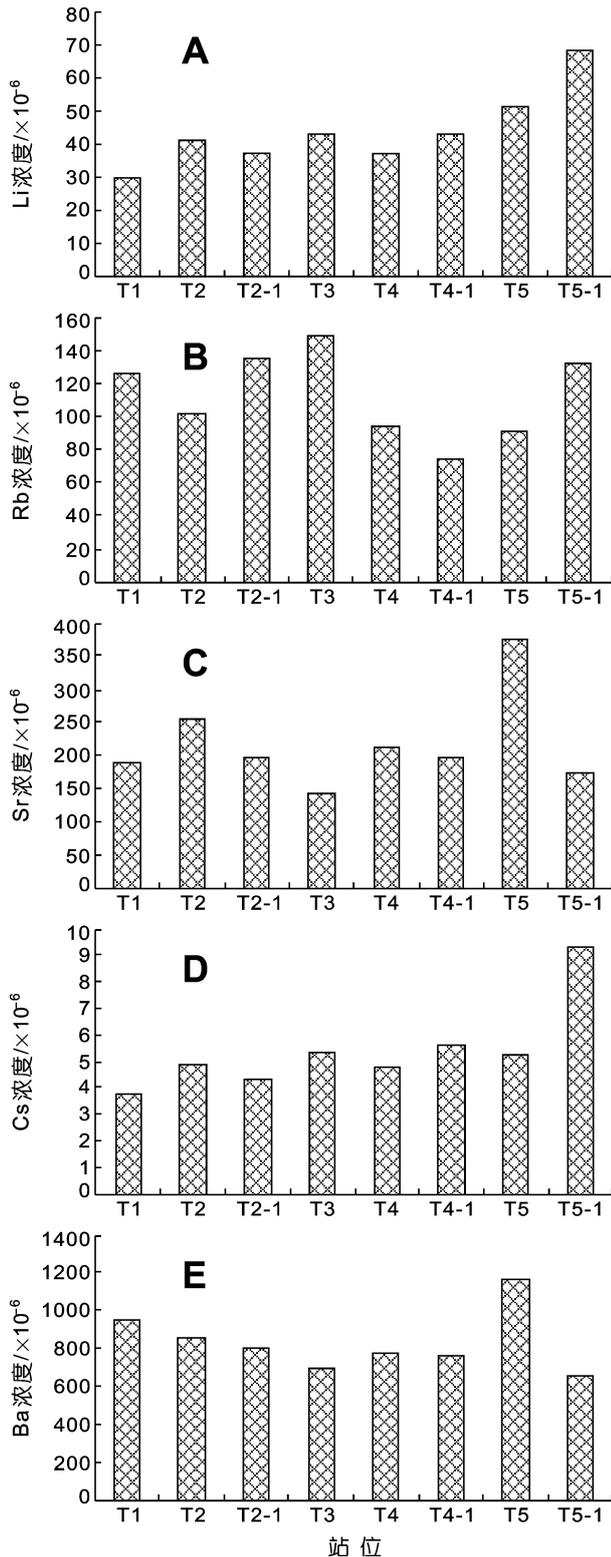


图2 胶州湾东北沿岸盐渍土壤中Li、Rb、Cs、Sr、Ba的分布(mg/kg)

Fig.2 Distributions (mg/kg) of Li, Rb, Cs, Sr, Ba in the northeastern coastal wetland saline soils of the Jiaozhou Bay

从图2可见,各采样站点Li的含量变化不大,采样区域的北部稍高于南部,Li的含量在大部分站位高

于我国土壤背景值(32.5mg/kg),这可能与青岛地区的土壤的成土母质为花岗岩有关。除T4-1站土壤中Rb含量较低外,其它变化不大,并且与大部分的黑土、白浆土、沼泽土、黑钙土、潮土等类型土壤中Rb含量及我国土壤的背景含量接近(姜志斌,2009)。Cs的含量研究区域的北部高于南部,但除含量最高的T5-1站外,其它各站的含量变化不大,低于我国大部分类型土壤中Cs的含量,也低于我国土壤的背景含量。Sr、Ba的含量较高,高于我国土壤中的背景值,研究区土壤中高含量的Sr、Ba与青岛地区土壤的成土母质主要为花岗岩的结果一致。

2.2 盐渍土壤中Li、Rb、Cs、Sr、Ba的来源

表1是胶州湾东北沿岸盐渍土壤微量碱金属与碱土金属的比值,由表1可见,盐渍土壤中Li/Cs比值和Ba/Sr比值较为接近,表明这一区域的土壤有相似的母质。虽然母质在成土过程中碱金属Li、Rb、Cs都容易形成可溶盐而流失,但它们也容易被粘土颗粒所吸附,从而在风化过程中保留下来。因粘土颗粒在不同条件下对同一元素或相同条件下对不同元素的吸附效率不同(赵秀芳等,2010),导致Rb/Li比值和Rb/Cs比值稍有变化。Ba与Sr在化学性质上十分相似,但Sr主要与Ca产生类质同象,Ba主要与K产生类质同象,研究区土壤中Ba含量较高可能与母质中含有较多的云母、钾长石等含钾较高的矿物有关。另外,Ba与Sr在风化过程中的行为也不同,一般来说,Ba化合物的溶解度较低,导致较多的Ba残留在原地土壤中,因此,研究区内土壤中Ba含量较高可能不是人为输入的结果,而主要与成土母质为花岗岩有关。

元素间线性相关分析表明,Li和Cs,Sr和Ba之间具有显著的正相关关系,这除了说明Li和Cs,Sr和Ba之间具有相似的化学性质外,也说明这一区域

表1 胶州湾东北沿岸盐渍土壤微量碱金属与碱土金属的比值

Tab.1 The ratios of alkaline metals and alkaline-earth metals in the northeastern coastal wetland saline soils of the Jiaozhou Bay

站位	Rb/Li	Li/Cs	Rb/Cs	Ba/Sr
T1	4.20	7.93	33.33	5.02
T2	2.48	8.46	20.94	3.34
T2-1	3.62	8.67	31.37	4.10
T3	3.46	8.12	28.06	4.91
T4	2.54	7.51	19.03	3.75
T4-1	1.69	7.70	13.02	3.84
T5	1.78	9.87	17.52	3.11
T5-1	1.94	7.35	14.29	3.72

的土壤具有相似的成土母质。Li 和 Rb, Rb 和 Ce 之间较差的相关关系在一定程度上说明这一区域的土壤在形成过程中经历的不同的风化历程, 导致它们的相关性较差。

2.3 碱蓬中 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 的水平

图 3 是碱蓬根、茎、叶部分碱金属和碱土金属的含量分布。由图 3 中可以看出, 碱蓬根、茎和叶中含量随站位不同变化各异, Li 在 T1、T2、T2-2 及 T4-1 站位碱蓬叶中的含量明显高于根和茎, 但在 T3 和 T5-1 站其在根中的含量明显高于茎叶, 在 T4 和 T5 站其在根和叶中的含量相当, 但都高于茎中的含量。Rb 在 T2、T2-2 和 T4-1 站碱蓬叶中的含量明显高于根和茎, 但在 T3、T4、T5 和 T5-1 站其在根中的含量明显高于茎叶, 在 T1 站其在根和叶中的含量相当, 但都高于茎中的含量。Cs 在 T2 和 T4-1 站碱蓬叶中的含量明显高于根和茎, 但在其余各站其在根中的含量明显高于茎叶。

与其它各碱金属和碱土金属不同, Sr 在 T1、T2、T2-2、T4 和 T5 站碱蓬茎中的含量高于根和叶, 在 T5-1 站碱蓬叶中的含量明显高于根和茎, 但在 T3 站其在根中的含量明显高于茎叶。T4-1 站其在各部分中的含量相当。Ba 在 T1、T2-2、T3、T4、T5 及 T5-1 站位碱蓬根中的含量明显高于叶和茎, 但在 T4-1 站其在叶中的含量明显高于根茎, 在 T2 站其在茎和叶中的含量相当, 但都高于根中的含量。

2.4 碱蓬对 Li、Rb、Cs、Sr、Ba 的“重力分馏”

一般而言, 植物地上部分生物富集系数(enrichment factors, EFs)越大, 越有利于植物摄取该元素, 因为地上部分生物量容易收获。植物地上部分生物富集系数大于 1, 意味着植物地上部分某种元素含量大于所处土壤中该元素的有效含量, 这是累积植物区别于普通植物对元素累积的一个重要特征(朱鸣鹤等, 2006, 2009, 2010; Kumar *et al.*, 1995; Dushenkov *et al.*, 1995)。如果以植物地上部分平均含量与沉积物有效平均含量的比值作为计算生物富集系数的依据的话, 可知, 其生物富集系数表现为 $Sr > Li > Rb > Cs > Ba$, 碱蓬地上部分对 Li、Rb、Cs、Sr 和 Ba 的生物富集系数均小于 1, 因而不具备累积植物的一般特征。但 Li、Rb、Sr 的地上部分含量大于根部, Cs 和 Ba 的地上部分含量略小于地下部分, 表明碱蓬对 Li、Rb、Sr 从地下往地上迁移的能力要强于 Cs 和 Ba。

元素主要通过碱蓬根系吸收并在植株体内发生

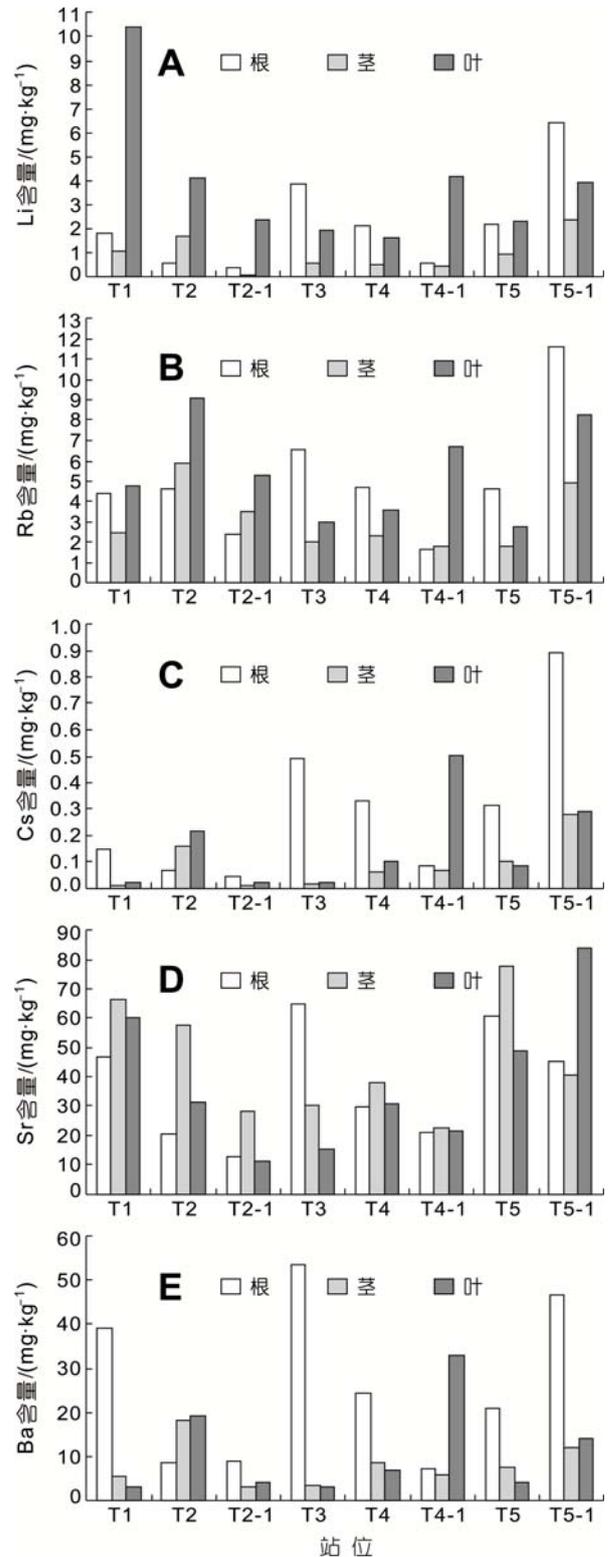


图 3 碱蓬根、茎、叶部分碱金属和碱土金属的含量分布 (mg/kg)

Fig.3 Concentrations (mg/kg) of alkali and alkaline-earth metals in the root, stem and leaf of *S. salsa*

再分配, 根系中所占百分含量越小, 说明金属通过植物根系吸收以后向茎叶中的迁移能力越大, 向地上

部分的迁移效率越高。表 2 是碱蓬根、茎和叶 Li、Rb、Cs、Sr 和 Ba 的相对百分含量(%)。

整体而言,碱蓬对 Li 和 Sr 的迁移效率较高,大部分被迁移至地上部分,其中 Li、Rb 在叶中的富集效率较高,而对 Cs 和 Ba 的迁移能力较低,大部分的 Cs 和 Ba 被集中在根部。仔细分析这些结果发现, Li、

Rb、Sr、Cs 和 Ba 随着原子序数的增加,碱蓬叶子中的相对含量明显减低,根中的相对含量增加,即越重的元素越不易被迁离地面移出盐渍土壤,相反,越轻的元素越易被迁离地面移出盐渍土壤,也就是说碱蓬可造成盐渍土壤 Li、Rb、Sr、Cs、Ba 明显的“重力分馏”,图 4 的结果明显说明了这一点。

表 2 碱蓬根、茎和叶中 Li、Rb、Cs、Sr 和 Ba 的相对百分含量(%)
Tab.2 The relative percent compositions (%) of Li, Rb, Cs, Sr, and Ba in the root, stem, and leaf of the *S. salsa*

站位	Li			Rb			Cs			Sr			Ba		
	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
T1	13.8	7.9	78.4	37.9	21.3	40.8	84.1	5.7	10.2	27.0	38.4	34.6	82.0	11.4	6.6
T2	9.5	26.0	64.5	23.6	30.1	46.3	15.1	36.1	48.8	18.8	52.6	28.6	19.1	39.3	41.6
T2-2	13.6	2.4	84.0	21.2	31.1	47.6	60.8	8.1	31.1	24.5	54.2	21.3	54.1	20.2	25.7
T3	60.3	9.0	30.6	56.6	17.5	25.9	93.3	2.7	4.0	58.8	27.2	14.0	88.6	6.0	5.4
T4	49.7	11.9	38.4	44.5	21.8	33.6	66.9	12.7	20.4	30.3	38.5	31.2	60.8	21.9	17.3
T4-1	10.3	8.9	80.8	16.1	17.6	66.3	12.6	10.1	77.3	32.1	34.7	33.2	15.4	13.0	71.6
T5	40.0	17.6	42.3	50.4	19.7	29.9	63.3	20.2	16.5	32.4	41.5	26.1	63.8	23.2	13.0
T5-1	50.6	18.7	30.7	46.9	19.7	33.4	61.1	19.0	19.9	26.6	24.0	49.3	64.3	16.5	19.3
平均	31.0	12.8	56.2	37.2	22.4	40.5	57.2	14.3	28.5	31.3	38.9	29.8	56.0	18.9	25.1

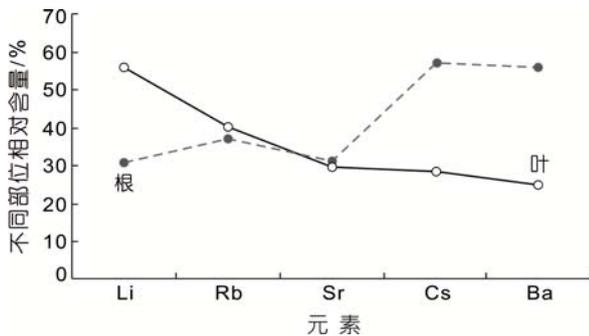


图 4 胶州湾东北沿岸滨海湿地碱蓬根和叶中 Li、Rb、Sr、Cs、Ba 的相对平均含量

Fig.4 The relative percent compositions of Li, Rb, Cs, Sr, and Ba in the root, stem and leaf of the *S. salsa*

3 结论

(1) 胶州湾东北沿岸盐渍土壤中 Li、Rb、Cs、Sr 和 Ba 的含量变化不大, Li、Sr 和 Ba 的含量高于我国土壤背景值, Rb、Cs 的含量特别是 Cs 的含量低于我国土壤的背景含量。盐渍土壤中 Li/Cs 比值和 Ba/Sr 比值较为接近, 且 Li 和 Cs、Sr 和 Ba 之间具有显著的正相关关系, 表明这一区域的盐渍土壤有相似的母质, 均来自含有较高的钾长石等含钾高矿物的花岗岩。

(2) 碱蓬对碱土金属的积累量明显高于碱金属,

碱蓬对 Sr 的富集作用最为显著, 其次是 Li、Rb 和 Cs, 对 Ba 的富集作用最小, 但其富集系数都小于 1。碱蓬地上部分对 Li、Rb、Cs、Sr 和 Ba 的生物富集系数均小于 1, 因而碱蓬不是 Li、Rb、Cs、Sr 和 Ba 的累积植物。

(3) Li、Rb、Sr、Cs 和 Ba 随着原子序数的增加, 碱蓬叶子中的相对含量明显减低, 根中的相对含量增加, 即越重的元素越不易被迁离地面移出盐渍土壤, 相反, 越轻的元素越易被迁离地面移出盐渍土壤, 碱蓬可造成所摄取盐渍土壤中 Li、Rb、Sr、Cs、Ba 明显的“重力分馏”, 碱蓬对 Li、Rb 和 Sr 的迁移效率较高, 大部分被迁移至地上部分, 其中 Li、Rb 在叶中的富集效率较高, 而对 Cs 和 Ba 的迁移能力较低, 大部分的 Cs 和 Ba 被集中在根部。

致谢 邢军武高级工程师在样品采集、处理及分析中给予大力帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王 倩, 孙 松, 霍元子等, 2010. 胶州湾毛颚类生态学研究. 海洋与湖沼, 41(4): 639—644
孔令安, 郭洪海, 2000. 不同生态条件下盐地碱蓬形态结构变化的研究. 植物营养与肥料学报, 6: 62—66
朱鸣鹤, 丁永生, 丁德文, 2006. 翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)根

- 际与非根际沉积物常见重金属总量及化学形态变化术. 海洋与湖沼, 37(5): 393—400
- 朱鸣鹤, 张效龙, 黄绍堂等, 2009. 海三菱蓼草(*Scirpus mariqueter*)根际沉积物中重金属生物有效性的影响因素. 海洋与湖沼, 40(3): 373—379
- 朱鸣鹤, 方颀雄, 丁永生等, 2010. 常见重金属在翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)根际沉积物系统季节迁移变化. 海洋与湖沼, 41(5): 784—790
- 李 扬, 张士荣, 2008. 真盐生植物囊果碱蓬(*Suaeda physophora*)脱水种子子叶叶绿素特征及其对植物萌发阶段适应盐渍环境的生态意义. 中国科学 C 辑: 生命科学, 38(3): 285—292
- 宋金明, 2000. 蔚蓝色的希望——海洋开发技术. 济南: 山东科技出版社, 1—196
- 宋洪海, 梁漱玉, 2010. 土壤条件对翅碱蓬生长发育的影响. 现代农业科技, 3: 290—296
- 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江, 2010. 基于典范对应分析的苏北滩涂土壤春季盐渍化特征研究. 土壤学报, 3: 422—428
- 姜志斌, 2009. 新疆盐渍土中盐分迁移规律与工程性质初步探讨. 新疆化工, 4: 39—42
- Dushenkov V, Kumar P B A, Motto H, 1995. The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. Environmental Science and Technology, 29: 1239—1245
- Glenn E P, Brown J J, O'Leary J W, 1998. Irrigating crops with Seawater. Scientific American, 279: 76—81
- Kumar P B, Dushenkov V, Motto H, 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science and Technology, 29: 1232—1238
- Song J M, 2010. Biogeochemical Processes of Biogenic Elements in China Marginal Seas. Springer-Verlag GmbH & Zhejiang University Press, 1—662
- Williams T P, Bubbs F M, Lestr J N, 1994. Metal accumulation within salt marsh environment: a review. Marine Pollution Bulletin, 28(5): 277—290

Li, Rb, Cs, Sr, Ba, AND THEIR GRAVITY FRACTIONATION IN SALINE SOILS AND *SUAEDA SALSA* IN THE NORTHEASTERN COASTAL WETLAND OF THE JIAOZHOU BAY

SONG Jin-Ming¹, ZHANG Mo^{1,2}, LI Xue-Gang¹, YUAN Hua-Mao¹, LI Ning¹,
DUAN Li-Qin^{1,2}, XU Si-Si^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

Abstract In this paper, we report the distributions of alkali metals (Li, Rb, and Cs) and alkaline-earth metals (Sr and Ba) in saline soils and *Suaeda salsa* and the accumulation characteristics of these elements in *S. salsa* from the northeastern coastal wetland of the Jiaozhou Bay. The variations in both the alkali metal and alkaline-earth metal concentrations were relatively small. Among these metals, the concentrations of Li, Sr, and Ba were higher than the background values of China's soils, whereas the concentrations of Rb and Cs, especially that of Cs, were lower than the background values. Li/Cs ratio was close to Ba/Sr ratio. Moreover, there were significant positive correlations between Li and Cs and between Sr and Ba, suggesting that the soils in this area mainly came from weathering of minerals that had high potassium content (e.g., potash feldspar), which was coincident with the parent materials (i.e., granite) widely distributed in the Qingdao area.

Although the accumulation of alkaline-earth metals by *S. salsa* was more than that of alkali metals, all enrichment factors (EFs) were less than one, suggesting that *S. salsa* posed no accumulative ability for either alkali metals or alkaline-earth metals. The order of EFs was: Sr > Li > Rb > Cs > Ba, and the EFs in aboveground tissues of *S. salsa* were less than one, suggesting that *S. salsa* had no general characteristics of accumulation plants. Transfer efficiencies of Li, Rb, and Sr by *S. salsa* were large and most of them were transferred into the aboveground tissues, and Li accumulation was high in leaves. The accumulation of Cs and Ba by *S. salsa* was low and most of the accumulation was limited in roots. A new conclusion is that *S. salsa* may cause “gravity fractionation” of Li, Rb, Cs, Sr, and Ba, e.g. the larger the atomic number, the less of the migrated amount to the aboveground tissues in *S. salsa*.

Key words Alkali metals and alkaline-earth metals, Saline soils, *Suaeda salsa*, Gravity fractionation