

福建罗源湾海滩互花米草盐沼中 18 种金属元素的分布

钦 佩 谢 民 仲崇信

(南京大学大米草及海滩开发研究所, 南京)

关键词 互花米草, 盐沼, 微量元素

提要 本文对福建罗源湾可湖海滩互花米草盐沼中的 18 种金属进行了测试, 结果表明, 罗源湾可湖海滩的环境质量基本是好的, 并探讨了开发利用互花米草的新途径。

Windom 所做的美国东南沿海河口盐沼中重金属动态变化的有关研究指出, 互花米草在控制某些重金属进入河口食物链方面起着重要作用。Gallagher 和 Dunstan 关于某些矿质元素和微量元素在互花米草体内积累和输出的动态研究又揭示了互花米草生产力与这些金属元素的相关性及其对河口盐沼生境的影响。国内近年来虽做了一些米草吸收积累重金属的有关工作, 仅是室内的。本文用 ICP 等离子发射光谱仪对该地盐沼生态系统中 18 种金属元素: 钠、镁、铝、钾、钙、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、砷、硒、锶、钼、铅 (海水测了 16 种元素, 缺镉和铅) 的分布动态进行了研究, 以期为罗源湾环境质量分析和互花米草的发展利用提供一些依据。同时, 对互花米草群落生物现存量进行了测定。材料和方法见文献^[1]。

一、罗源湾海水中的金属元素

由图 1 看出, 海水中的金属元素含量普遍低。其中钠含量最高, 与土壤、植物中的钠同处一个数量级, 镁、钙、锶的含量比土壤、植物中的含量低 1 个数量级, 钾含量低 2 个数量级, 而铝、锰、钴、镍、铜、锌、砷、硒、钼等 9 种元素的含

量则比土壤、植物中的含量低 3—4 个数量级,

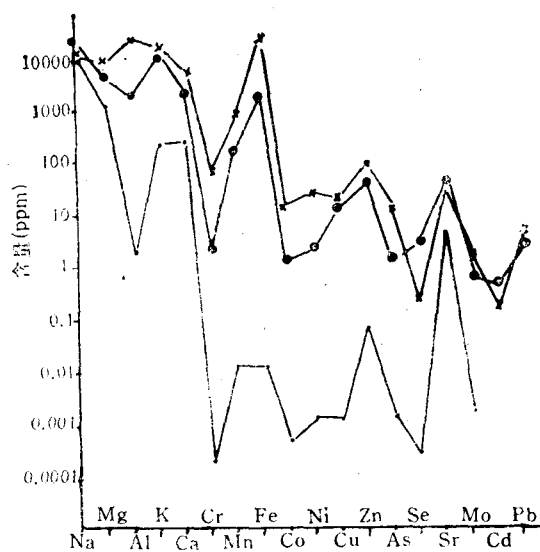


图 1 罗源湾可湖海滩盐沼中 18 种金属元素的平均含量分布 (ppm)

Fig. 1 The distribution contents of 18 metal elements in salt marsh, Kechu, estuary Luoyuan (ppm)

—×—示土壤中值; —○—示互花米草中值;
—•—示海水中值

(互花米草的含量为其地上部分平均含量)
(The contents in *S. alterniflora* are the average content in its upper part)

海水中的铬、铁与土壤、植物中的差距最大,比后者低5—6个数量级。

图2中的两条曲线相当接近,某些部分甚至重合或接近重合。可以看出,曲线中相差最大的是铝元素,罗源湾海水中的铝含量比大洋水含量超出2个数量级,其次是锌,比大洋水含量高1个数量级,铜和锰含量稍高,为大洋水含量的3—8倍。

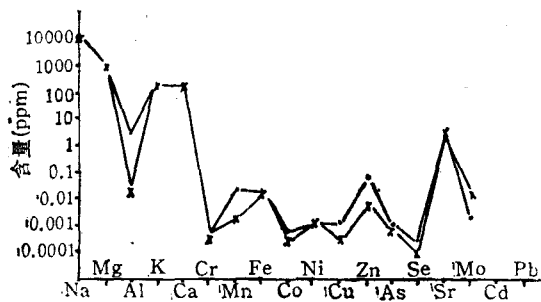


图2 罗源湾海水与大洋水中16种金属元素含量比较 (ppm)

Fig.2 A comparison of the contents of 16 metals in the estuary water and the sea water (ppm)

—·—示罗源湾海水中值; —×—示大洋水中值

二、罗源湾盐沼土壤中的金属元素

在图1中,土壤中的金属含量曲线与植物(地上部分)中的相当接近,除了钠、硒和镉三点

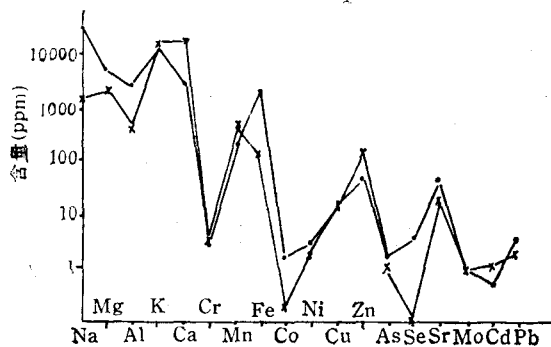


图3 罗源湾盐沼土与世界土壤18种金属含量比较 (ppm)

Fig.3 A comparison of the contents of 18 metals in the estuary marsh and soil (ppm)

—·—示罗源湾盐沼土中值; —×—示世界土壤中值

较低外,整个土壤含量曲线处于植物含量曲线的上方。

由图3看出,罗源湾海滩盐沼土壤中的有关金属含量与世界土壤金属平均检出值差距不大。其中常量元素钠、镁和钾的含量为世界土壤均值的2倍左右,而铝、钙和锶的水平则是世界土壤均值的1/2—1/6。此外,盐沼土壤中的锌、硒、钴、砷和镉的含量比世界土壤均值高2—5倍,也显示出一定的差距。

三、罗源湾互花米草体内的金属元素

总的来看,互花米草体内(地上部分)18种金属元素含量与被子植物的含量均值^[7]相差不大(图4),其中,互花米草的钠、镁含量较高,而钙含量较低,此外,互花米草的铝、铁、硒、钴等微量元素含量也较高。

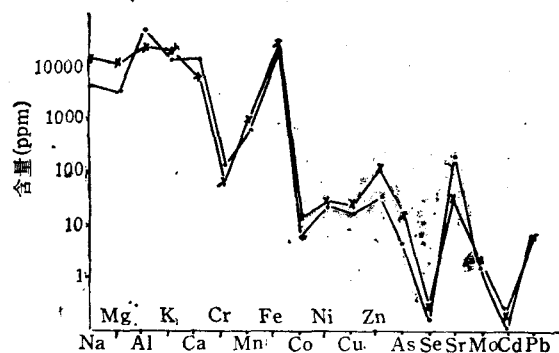


图4 互花米草与被子植物18种金属含量比较 (ppm)

Fig.4 A comparison of the contents of 18 metals in *S. alterniflora* and angiosperm (ppm)

—·—示互花米草值; —×—示被子植物均值

表1列出了三个生态型的互花米草体内18种金属元素的含量。其中,N型和G型的含量大致相当。除了钾元素外,其余17种元素的含量在这两个生态型与F型的米草间都有一定的差异,仅钙、铁、砷、锶的含量,以F型较低,另外的13种元素含量,都以F型较高。然而,三个生态型互花米草金属含量均值的方差分析表明,仅有锌的含量在F型与另两个生态型间的

表 1 三个生态型的互花米草体内 18 种金属元素的含量(干重, ppm)
Tab. 1 The contents of 18 metals in 3 ecotypes of *S.alterniflora* (dw., ppm)

生态型	N			G			F		
植株部位	地上部分	地下部分	均值	地上部分	地下部分	均值	地上部分	地下部分	均值
Na	42550	28563	34158	44025	30763	35468	65834	25077	41379
Mg	7666	6790	7140	6849	6432	6600	6634	8288	7626
Al	3864	8217	7483	2663	9224	6599	3940	10782	8045
K	14925	17855	16683	14257	18643	16889	13290	16058	14951
Ca	4847	2734	3579	3805	3224	3457	2413	3984	2559
Cr	3.3	7.03	5.54	3.35	10.4	7.58	4.7	12.73	9.52
Mn	285.7	307.4	298.7	201.6	368.9	301.96	226.2	650.3	480.7
Fe	4707.5	15807	11367	1919	16210	10494	2914	13293	9141
Co	2.1	10.6	7.2	0.8	9.17	5.82	1.95	34.47	21.46
Ni	5.35	7.97	6.92	2.25	9.4	6.54	3.9	11.17	8.26
Cu	13.5	32.23	24.74	13.65	24.43	20.12	18	42	32.4
Zn	31.85	71	55.34	21.5	60	44.62	143.6	260.8	213.9
As	2.65	39.03	24.48	1.45	50.37	30.8	0.9	34.94	21.34
Se	3.5	9.1	6.3	5	7.8	6.4	9.1	7.3	8.04
Sr	78.3	38.57	54.46	62.2	39.87	48.8	46.75	38.47	41.78
Mo	0.35	1.37	0.96	0.25	1.23	0.84	2.2	1.73	1.92
Cd	0.55	0.87	0.74	0.55	1.07	0.86	0.9	1.43	1.22
Pb	4.35	15.2	10.86	3.85	15.53	10.86	7.15	19.4	14.5

注: 均值, 指米草的叶、茎、茎状物、根茎和根五个部位金属含量的平均值

差异显著。

三个生态型的互花米草对 18 种金属元素的吸收和分布显然具有共同的规律, 这在图 5 中得以具体体现。图 5 方框中所列的元素是在

植物有关部位含量较高的元素, 其中, 钠在米草中分布较均匀, 每个方框中都有; 其次是铝和锌; 铝, 除了茎部方框没有, 锌, 除了叶部方框没有, 它们都各占了 4 个方框。有 7 个元素集中分布在三个方框中, 如钾、铬、钴、镍、砷和铅。其余的元素在米草中的分布就更为集中了, 而钠仅出现在地上部分的两个方框中, 镁、锰和钼只出现在叶部和根部的方框, 钙和锶集中在叶部方框, 铜和镉则集中在根部方框。

四、罗源湾互花米草群落生物量

表 2 列出了罗源湾三个生态型的互花米草群落生物量。其中, G 型米草生物量最大, 为 $4111\text{g}/\text{m}^2$, N 型次之, 为 $2524\text{g}/\text{m}^2$, F 型最小, 为 $1900\text{g}/\text{m}^2$ (以上均为干重)。与生物量相应的是茎叶比, 比值也数 G 型最大, F 型最小。另外两种比值则有一定的变化, 如地上部分与地下部分的比值, 虽数 G 型最大, 但 F 型已与 N 型彼此相当, 根茎与根的比例仍以 G 型为大, 但 F

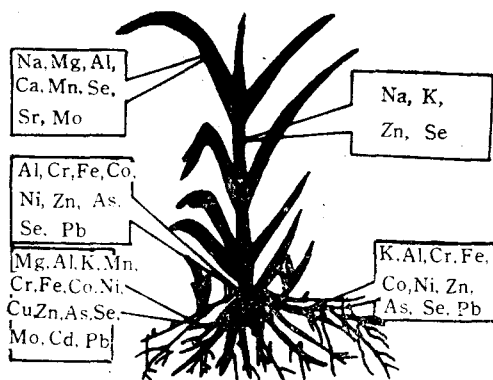


图 5 互花米草体内 18 种金属元素分布模式
Fig. 5 The distribution model of 18 metals in *S. alterniflora*

(方框中所列元素属该部位含量较高者)
(The elements in frames of Fig.5 are higher contents in the part of the plant)

表 2 三个生态型互花米草群落生物量 $[g(dw)/m^2]$ 及其有关比值Tab.2 The community biomass $(g(dw)/m^2)$ and relative ratio of 3 ecotypes of *S. alterniflora*

生态型	样方号	地上部分	地下部分	总生物量	茎/叶	根茎/根	地上/地下部分
N	1	1555	1179	2734	0.59	1.74	1.32
	2	1103	1111	2214	0.69	1.20	0.99
	3	1209	1416	2625	0.73	1.75	0.85
	$\bar{x}$	1289	1235	2524	0.67	1.56	1.05
G	1	2248	1369	3617	0.88	2.77	1.64
	2	2736	1390	4126	0.78	2.22	1.97
	3	3251	1339	4590	0.88	2.32	2.43
	$\bar{x}$	2745	1366	4111	0.85	2.44	2.01
F	1	935	880	1815	0.14	2.09	1.06
	2	860	1044	1904	0.22	2.50	0.82
	3	1120	861	1981	0.19	1.89	1.30
	$\bar{x}$	972	928	1900	0.18	2.16	1.06

型却明显超出N型,接近G型的比值。

五、讨 论

1. 罗源湾可湖海滩的环境质量

根据海水样测试结果(参看图 2)来看,可湖海滩附近海水中的大多数金属元素含量相当接近大洋水的平均检出值,唯有铝元素的含量(2.56ppm)比大洋水平均值高出 2 个数量级。本文的海水样是从环境条件剧烈变化的潮间带采集的,涌潮时,潮间带土壤的 Eh, pH变化都可能在沉积物泛起时给海水增加大量的铝。此外,铝是海水中被浮游生物富集倍数最高的元素,富集倍数可达海水中含量的 10^5 。

另据土样测试结果(参看图 3),可湖盐沼土壤中的锌、硒、钴、砷和镉的含量比世界土壤均值要高。然而,其锌、镉含量属于我国土壤正常值范围¹⁾。又据江苏沿海底质及第四纪沉积物中 4 种重金属的调查²⁾来看,滨海相沉积物上的重盐土中的砷含量范围为 10.0—18.9ppm(沉积化学正常值),与可湖盐沼土中的砷含量(17.5ppm)是接近的。由此可见,可湖盐沼土中的锌、镉、砷的高含量很可能是沉积化学原因引起的;而硒和钴的含量略高,和世界土壤均值处于同一数量级,则是海滩盐沼土的特点了。

植物样品的分析(如图 4)表明,互花米草所含 18 种金属中的大部分含量接近被子植物均值水平,特别是砷、镉、铅等有毒元素含量相当接近被子植物均值,仅铝、铁、钴、硒和钠等 5 种元素明显比被子植物的含量均值要高。当然,钠的高含量是盐生植物的特色,铝的高含量可能和当地海水的高铝有关。而铁、钴、硒等的含量较高,看来与潮水淹渍的还原环境,黄熟季节的老叶增多以及互花米草富集这些元素的能力有关。

综上所述,从可湖盐沼 18 种金属元素的含量分析来看,罗源湾可湖海滩的环境质量是比较好的。

2. 互花米草的抗逆性

互花米草吸收 18 种金属的分析数据(见图 4,表 1)表明,这种植物对金属的吸收和富集能力是很强的。

作为 C₄ 植物的互花米草的高生产力(见表 2),也是其抗逆性的反映和补充。互花米草通

1) 斯元正等, 1981。江苏省海涂土壤中铜、锌、锰、镍、铅、镉的火焰原子吸收测定。江苏海岸带、海涂资源综合考察及综合开发利用学术论文选编。第二集。

2) 南京大学自然地理教研室, 1978。江苏沿海及湖泊底质中重金属的含量和分布与主要土壤及第四纪沉积物关系的初步研究。

过发达的地下部分固定了大量的有毒或过剩金属(见表 1), 通过每年脱落的大量有机碎屑迁移走体内许多不需要的成分, 又通过纵横绵延的地下走茎, 分蘖出许多新苗, 利用群体优势来抵抗逆境。

比较三个生态型的抗逆性, 应数 F 型较高。除了 13 种金属含量超过其他二型外(表 1), F 型米草个体或群体高度较低, 地下走茎发达(表 2)且粗壮, 而且地上部分四季常青(其他二型冬季枯黄), 显示其突出的抗逆优势。

3. 互花米草对金属元素的富集特点及其开发利用

由于特定的生境及长期适应, 互花米草对金属元素具较强的吸收和富集能力。这种生物富集作用部分是对逆境的被动反应, 将介质中较高含量的重金属摄入体内, 阻滞于地下部分(如上所述)。这种作用部分还是代谢的积极反应, 将必需的营养元素泵入体内, 运输、转化、积累, 乃至发挥其生物活性作用, 如富钾(本文中互花米草钾含量和沉淀物中含量接近)可维持根压, 增强抗性, 而不断吸收和积累铁、锰、锌等多价元素是为了保证供给植物有效价态的营养, 以促使光合作用, 蛋白质合成等生理反应正常进行。据此, 互花米草新的开发利用可以从下述两方面进行探讨。

(1) 净化环境 大米草的净化环境作用已有探讨。作为大米草亲本的互花米草也具有富集多种重金属的能力, 而且主要固定在植物的地下部分(表 1, 图 5), 因此, 可以设想用互花米草或米草属植物对污染源附近的河口进行生物治理。

(2) 生物矿质元素的提取和利用 Hamilton 以大量的数据证明, 海水中的化学元素比地壳岩石中的化学元素更接近人血的元素水平^[12]。互花米草以“两栖”的方式生活在海滩潮间带, 每天从环境中吸收大量的矿质营养, 并加以富集和生物加工, 成为其生物活性和良好的细胞膜通透性的“生物矿质元素”, 这些生物矿质元素在互花米草体内是丰富的, 如硒、锶、钴、锌、锰、铜、铁等人体必需的微量元素。笔者认为, 以互花米草的地上部分提取这些为人体必需的生物矿质元素, 在食用或医用上补充人体的缺素是这一植物资源非常有前景的开发利用途径。我们的初步工作证明, 生物矿质元素的提取是成功的, 提取液的毒理学试验证明是无毒的, 它的元素含量比海水更接近人血的元素水平。初步利用已经开始。

必须提出的是, 用以开发的互花米草的盐沼环境必须是清洁的。

参 考 文 献 (略)

THE DISTRIBUTION OF 18 METALS IN THE SALT MARSH OF ESTUARY LUOYUAN, FUJIAN

Qin Pei, Xie Min and Zhong Chongxin

(Institute of Spartina & Tidal Land Development, Nanjing Univ.)

Key Words: *Spartina alterniflora*, Salt marsh, Trace elements

Abstract

The determination of the contents of 18 metals in the salt marsh Kehu, estuary Luoyuan, Fujian Province showed that quality of the environment of Kehu tidal land was good generally. The contents of most metals in the sea water, soil, and *S. alterniflora* are close to that in sea water, soil and angisperm. *S. alterniflora* is a special salt tolerant species with high productivity, hence an important resource plant. It has long been used not only in fodder and fertilizer, but in environmental purification also. This paper also proposes a new way for the plants utilization.