

互花米草盐沼矿质元素的迁移变化*

钦 佩 谢 民 仲崇信

(南京大学生物系, 210093, 南京)

摘要 互花米草盐沼中矿质元素的季节变动较明显,春季以植物吸收为主;夏季有部分吸收,开始释放;秋季、冬季以释放为主,冬季部分转移并贮存在根茎中。深秋至初冬的盐沼土壤和海水中矿质的元素的含量略高于春季。1990年春夏之交互花米草所含 Ca、Mg、Sr、Mn、K、Na 等元素的总量与互花米草生物量呈正相关关系。

关键词 互花米草,盐沼,矿质元素,动态

分类号 Q142

由于海滩盐沼属高产生态系统^[1],互花米草(*S. alterniflora*)作为优势种在其中的作用又很重要,故对互花米草体内及盐沼中的矿质元素的研究相当活跃。较为典型的是 Whiteney 对盐沼中 N、P 循环的研究^[2];Gallagher 对互花米草体内矿质元素积累和输出动态的研究^[3];Drifmeyer 对互花米草碎屑和微生物中的某些金属元素的研究^[4];Windom 对河口与盐沼中金属元素迁移流动的研究^[5];以及钦佩等对我国福建罗源湾 N、P、K 及 18 种金属元素分布的研究^[6,7]等。本项目则设计了对苏北海滩互花米草盐沼 11 种矿质元素连续两年多迁移变化动态的观察研究,企图不仅获得我国苏北盐沼矿质元素迁移变化模式,而且对有关矿质元素与互花米草初级生产的相互关系等进行初步的探讨。

1 材料和方法

1.1 取样 于 1989 年 11 月份、1990 年 3~11 月共 10 次在苏北滨海县废黄河口 6—7 年生互花米草人工群落中,择 6 个样方取植物样(分地上部和地下部);于 1990 年 11 月、1991 年 7 月、9 月和 11 月共 4 次在苏北射阳县大喇叭口 6~7 年生互花米草人工群落中,择 6 个样方取植物样(多为地上部分);于 1989 年 11 月、1990 年 3 月、11 月共 3 次在废黄河口盐沼中取土样和海水样;于 1990 年 11 月和 1991 年 11 月 2 次在大喇叭口盐沼中取土样和海水样。取样方法略^[1,2]。

1.2 样品处理 植物样品烘干后,总称重,粉碎,又称取 0.5g 直接消化,另称取 1g 以去离子

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1993-06-09

第一作者简介: 钦佩,男,1946 年 9 月生,生物系,副教授,发表的论文有“Fe、Cu、Mn、Zn 在互花米草初级生产中的动态研究”等

水 50cm³ 浸泡 1h, 将滤液蒸干后消化。消化方法和土、水样处理均略^[6,7]。

1.3 测试 (略)^[6,7]。

2 试验结果

2.1 互花米草所含 11 种元素的变化动态 滨海废黄河口互花米草所含 11 种重要矿质元素的季节变化动态各有不同, 大致可分成 4 种类型, 如表 1 列出的地上部情况: 其中 N、P、K、Na 变化动态相似, 春季含量升高, 至初夏的 6 月均出现峰值, 之后却日趋下降; Ca、Mg、Sr 的变化情况是, 春季含量升高, 初夏 6 月出现峰值; 7 月跌入低谷后, 秋季又明显回升, 至 10 月出现第二个峰值; 变化相似的 Fe、Mn 与 Ca、Mg、Sr 不同之处在于 7 月开始下降, 8 月出现低谷, 9 月出现第二峰值; 而 Cu 和 Zn 的变化曲折较多, 4 月含量较高, Cu、Zn 分别于 5 月、6 月跌入低谷, 然后回升 Cu 峰就出现在 7 月, 而 Zn 峰却出现在 9 月。表 2 所列地下部情况与地上部大致相同, 不同之处在于 Ca、Mg、Sr 地下部 10 月未出现第二峰值; 再则, 除 Mg、Zn 外, 地下部所含 10 种元素的含量, 3 月份均略高于 4 月份。

表 3 列出射阳互花米草地上部的 10 种元素的变化, 相应月份的含量大多都超过滨海草中的含量。

表 1 1989—1990 年滨海互花米草地上部 11 种元素(两种形态)含量

Table 1 The contents of 11 elements (2 forms) in *S. alterniflora*'s shoots of Binhai county in 1989—1990 ($\times 10^{-6}$)

月份 Months		N	P	K	Na	Ca	Mg	Sr	Fe	Mn	Cu	Zn
1989 年 11 月 Nov., 1989	a		697	2709	14892	2462	2754	26.1	194	87	2.76	10.1
1990 年 4 月 Apr., 1990	a	10830	2158	6831	18595	1683	1669	22.4	407	105	4.00	27.1
5 月 May	a	13670	2297	7428	20945	2016	1980	26.9	686	115	3.51	19.5
6 月 Jun.	a	18460	2336	8848	24530	2753	2671	34.0	812	150	5.08	7.21
	b		701	4930	15077	874	764	9.51	67.5	31.3	1.55	1.52
7 月 Jul.	a	15460	1679	7500	21098	2173	1993	27.5	183	84.0	6.85	13.0
	b		494	3560	12149	686	610	6.75	9.67	23.4	2.03	3.51
8 月 Aug.	a	13450	1201	6004	19415	2299	2367	28.9	143	77.1	3.12	14.8
	b		313	2931	10067	734	706	5.88	1.58	18.0	1.14	4.55
9 月 Sep.	a	12190	1048	4238	16874	2645	2716	32.0	402	113	2.89	32.5
	b		203	2274	9103	787	844	10.5	13.5	32.1	0.72	5.02
10 月 Oct.	a	10980	705	2944	14517	3129	3234	36.5	277	108	2.81	10.6
	b		177	1849	7931	964	1218	8.72	1.56	20.5	1.14	2.95
11 月 Nov.	a		660	2423	12823	2043	2107	25.3	164	57	2.2	9.3

a—全量, b—水溶态量。

'a' is the whole content and 'b' is the aqua-soluble content

表 2 1989~1990 年滨海互花米草地下部 10 种元素(两种形态)含量

Table 2 The contents of 10 elements (2 forms) in *S. alterniflora*'s underground parts of Binhai county in 1989-1990 ($\times 10^{-6}$)

月份 Montho		P	K	Na	Ca	Mg	Sr	Fe	Mn	Cu	Zn
1989 年 11 月 Nov., 1989	a	518	5336	10909	2920	2547	18.9	1234	72.6	6.81	75.8
1990 年 3 月 Mar., 1990	a	647	5412	14712	4756	2967	32.0	5159	95.1	19.3	12.0
4 月 Apr.	a	643	4469	13694	4748	3057	26.1	5045	90.0	16.5	25.0
5 月 May	a	724	5873	21585	4934	3189	41.0	3302	95.0	13.0	41.7
6 月 Jun.	a	991	7730	23677	6608	3703	45.2	3617	96.2	13.0	17.2
	b	328	3074	9664	1052	717	6.97	37.1	12.1	1.87	2.15
7 月 Jul.	a	658	7519	16033	3549	2774	30.1	2195	88.2	18.0	61.5
	b	112	2721	8156	752	686	5.44	14.6	7.28	2.91	6.21
8 月 Aug.	a	601	6571	11847	3431	2746	22.5	425	77.4	11.2	82.4
	b	102	2329	5645	615	664	4.51	8.0	6.30	1.70	8.34
9 月 Sep.	a	483	5700	9956	3155	2634	22.0	3022	89.3	9.34	112
	b	72.4	2082	5195	589	616	4.38	28.2	8.02	1.56	9.87
10 月 Oct.	a	456	5524	8971	2644	2535	19.3	1029	64.4	4.5	70.8
	b	54.5	1893	3848	543	551	3.80	9.8	4.75	0.91	6.91

a—全量, b—水溶态量。

'a' is The whole content and 'b' is the aqua-soluble content

表 3 1990—1991 年射阳互花米草地上部 10 种元素(两种形态)含量

Table 3 The contents of 10 elements (2 forms) in *S. alterniflora*'s shoots of Sheyang county in 1990-1991 ($\times 10^{-6}$)

月份 Months		P	K	Na	Ca	Mg	Sr	Fe	Mn	Cu	Zn
1990 年 11 月 Nov., 1990	a	738	4139	20430	3554	3163	40.3	442	81.6	3.13	18.8
1991 年 7 月 Jul., 1991	a	1870	7940	25705	2175	2785	26.2	225	131	6.71	17.4
	b	417	5370	19173	900	952	10.1	9.82	46.0	2.39	9.16
9 月 Sep.	a	1091	5725	19032	3485	3677	44.1	624	141	3.66	31.2
	b	203	3380	13200	1220	1400	12.7	13.7	50.2	1.42	12.08
11 月 Nov.	a	706	3969	18815	3260	3133	39.0	465	81.3	2.61	22.3
	b	103	2537	13155	1076	1128	7.1	5.84	32.8	1.11	6.01

a—全量, b—水溶态量。

'a' is the whole content and 'b' is the aqua-soluble content

表 4 互花米草盐沼土壤及海水中矿质元素的变化
Table 4 The mineral elements change in the soil of *S. alterniflora*'s salt marsh and in the sea water ($\times 10^{-6}$)

地点 Places	样品 Samples	时间 Times	N	P	K	Na	Ca	Mg	Sr	Fe	Mn	Cu	Zn
滨海 Binhai County	土样 Soil samples	1989年11月 Nov., 1989		732	22336	14757	49356	15217	198	31024	715	30	73
		1990年3月 Mar., 1990	417	637	17893	12003	38060	12068	182	25415	568	20	72
		1990年11月 Nov., 1990	389	711	18200	13322	42523	12400	194	28425	582	27	74
		均值 X	403	693	19476	13360	43313	13228	191	28288	622	26	73
		1990年3月 Mar., 1990	0.36	0.90	433	14506	629	1832	11.6	0.34	0.01	0.02	0.14
射阳 Sheyang County	海水样 Sea water samples	1990年11月 Nov., 1990	0.34	0.92	586	16080	632	1972	11.7	0.42	0.01	0.03	0.4
		均值 X	0.35	0.91	509	15293	631	1902	11.7	0.38	0.01	0.03	0.27
		1990年11月 Nov., 1991		646	19200	16062	53158	17200	177	40250	674	30	68
		1991年11月 Nov., 1991		709	22780	25310	59480	18080	208	54320	798	36	84
		均值 X		678	20990	20686	56319	17640	193	47285	736	33	76
	海水样 Sea water samples	1991年11月 Nov., 1991		0.86	596	21980	643	1529	8.0	0.25	0.01	0.02	0.6

三表格中是各元素水溶态含量与全量的变化趋同;此外,地上部中的水溶态含量一般高于地下部,如 K、Ca、Mn, 元素水溶态占全量的比,地上部中分别大约为 1/2, 1/3 和 1/5;而地下部中分别为 1/3, 1/5 和 1/10;深秋季节植物体内元素水溶态含量有所下降,如地上部 Fe 尤然,10 月份占全量比为 6 月份比值的 1/10 还弱。

2.2 互花米草盐沼土壤和海水中的 11 种元素的变化动态 滨海、射阳 2 县互花米草盐沼土壤和海水中的 11 种元素含量的变化动态如表 4 所示。显然,季节变更引起土壤化学元素全量的变化幅度是不大的。

海水中的元素含量变化则更小,然除了 N 以外,表 4 所列滨海海水中 10 种元素 1990 年的测定数据,11 月份均略高于 3 月份。

两地盐沼土壤和海水中的矿质元素含量对比在图 1 中看得很清楚,a 和 b,c 和 d 这 4 条曲线两两相当接近,说明滨海和射阳盐沼土壤和海水的化学特征趋同。

2.3 互花米草所含矿质元素与初级生产的相关性分析 1990 年 4—10 月测得滨海废黄河口的互花米草群落生物量地上部分为:144、518、1286、1482、1806、2312、2657g·m⁻²(dw);地下部分为:3102、3249、3657、3051、3076、3289、3517g·m⁻²(dw)。本文所测许多矿质元素都和生物量有相当密切的关系。尤其是 Ca、Mg、Sr、Mn、K、Na,在该年春夏之交 3 个月,在互花米草体内所含的总重量与同期生物量均呈显著正相关,前 4 个元素与生物量为极显著正相关(表 5)。

3 讨 论

3.1 互花米草盐沼 11 种元素的分布迁移模式 经过对滨海、射阳两地互花米草盐沼中 11 种矿质元素在植物、土壤和海水中含量动态的分析,发现在盐沼生态系统中矿质元素的分布迁移大致情况如下(图 2)。

3.1.1 春季,互花米草生理活动十分活跃,根的吸收功能增强,除了吸收土壤和海水中的矿质元素外,地下部分的贮藏向上输送以供地上部分的快速生长。此季植物的吸收占优势。

3.1.2 夏季,植物落叶渐多,加上大潮及土壤微生物作用干成 Eh 和 pH 的变化,造成相当部分矿质元素吸收减少,甚至由地上部分向地下转移及向体外释放。但 Cu 和 Zn 的吸收还是占优势。

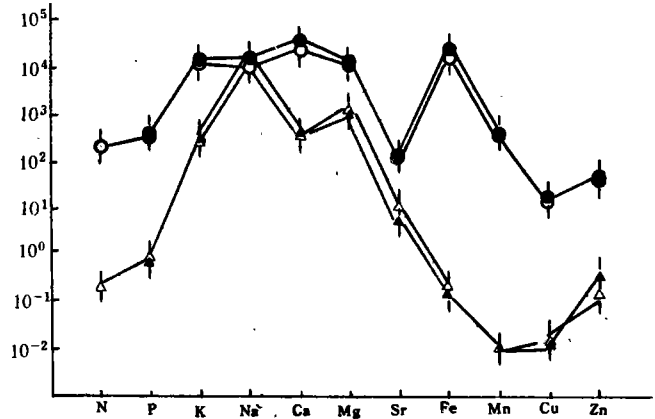


图 1 滨海、射阳盐沼土壤和海水中的矿质元素含量

Fig.1 The contents of mineral elements in salt marsh's soil and sea water of Binhai and Sheyang counties

△、▲—分别为滨海、射阳海水样曲线,○、●—分别为滨海、射阳盐沼土样曲线 '△' '▲' are the sea water curves of Binhai and sheyang respectively and '○' '●' are the salt marsh's soil curves of the two places respectively

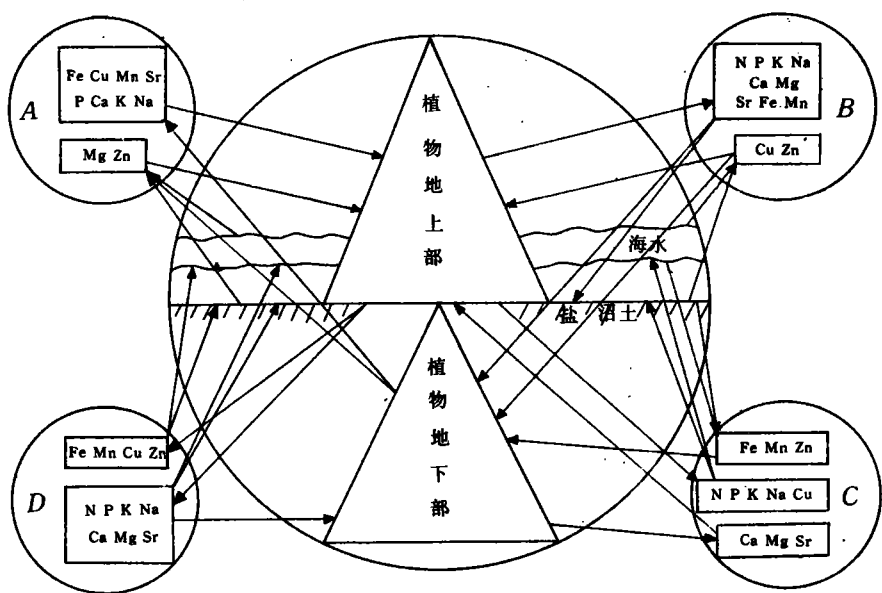


图 2 互花米草盐沼矿质元素的迁移分布模式

Fig.2 The model of migration and distribution of mineral elements in *S. alterniflora*'s salt marsh

a、b、c、d—分别示春、夏、秋、冬四季模式

a,b,c,d are models of spring, summer, autumn and winter respectively

表 5 滨海互花米草 4.5.6 月生物量与 7 种元素总量*的相关性分析

Table 5 The relative analysis between the biomass of Apr., May, Jun. and the contents of 7 elements in *S.alterniflora* of Binhai county

部位 Parts	地上部分 Aboveground part			地下部分 Underground part			r (r0.05 = 0.811 r0.01 = 0.917) 注
月份 Months	Apr.	May	Jun.	Apr.	May.	Jun.	
生物量 Biomass (g.m ⁻² ,dw)	144	518	1286	3102	3249	3657	
Ca	0.2424	1.0961	3.5404	14.7283	16.0306	24.1655	0.95
Mg	0.2403	1.0256	3.4349	9.4828	10.3611	13.5419	0.94
Sr	0.0032	0.0139	0.0437	0.0810	0.1332	0.1653	0.93
Mn	0.0151	0.0596	0.1929	0.2792	0.3087	0.3518	0.97
K	0.9837	3.8477	11.3785	13.8628	19.0814	28.2686	0.91
Na	2.6777	10.8495	31.5456	42.4788	70.1297	86.5868	0.86

* 本表所列元素含量为每平方米植物(地上部或地下部)所含总重量。

This contents of elements in the table are the total quantity of elements in the plant (above or under part) per square meter.

注: 括号内的 r 显著性数值, 凡表列各元素与生物量的相关性系数 r 大于 r0.05 者, 为显著正相关, 大于 r0.01 者, 为极显著正相关。

Note: There are r significance values in the brackets. When the relative coefficient r between these elements and the biomass in the Table is larger than r0.05, it is significant positive relation and the r is larger than r 0.01, it is very significant.

3.1.3 秋季,植物生殖生长进入旺季,地上部的营养器官衰老加剧,造成不少泄漏^[3],此外,落叶越来越多,造成米草体内部分营养元素含量大幅度下降,如 N、P、K 等^[3],部分元素有了新的分配和积聚,如 Ca、Mg、Sr 在地上部分积累较多,Fe、Mn、Zn 在地下部分积累较多。

3.1.4 冬季,植物地上部逐步枯死,矿质元素部分转移至地下部,部分由枯死的茎叶和有机碎屑释放进海水和土壤中,造成海水和土壤中矿质元素含量增加。此季植物对矿质元素的排放占优势。

3.2 互花米草盐沼矿质元素迁移变化的生理意义 由于潮汐、盐度等重要环境因子的作用,使盐沼的营养物质的时空变化有别于淡水和陆地的生态系统,其中植物对营养物质吸收与释放的季节模式是独特的^[8]。这一切首先是为了保证植物矿质营养的不断提供,以适当形态及时输送到有关部位,以保证盐沼植被的高产。一些矿质元素与生物量的相关性研究为此提供了论据。如本文的表 5 及 Gallagher 所指的“灯心草中 P、K、Mg 的累积基本上是其生物量的某种函数。”等。此外,米草矿质元素的迁移变化也许是其对环境长期适应的体现,如若干金属离子的活动所造成的协同作用、拮抗作用,以抵御潮汐等因素给盐沼带来的盐度升高或某些离子的过多输入所造成的影响^[9]等。

3.3 互花米草盐沼矿质元素迁移变化的生态意义 不少学者认为,盐沼是一个营养库^[2,8],主要在于它不断向周围输出矿质营养,不断向周围及河口生态系统提供众多“消费者”所需的有机碎屑^[4]。此外,笔者的多次试验表明,互花米草的许多矿质元素的水溶态(表 1—3)是符合人体需要的^[10],而且其水溶液中还含有具保健作用的生物活性物质^[11]。可见,互花米草盐沼矿质元素迁移变化的生态意义已超出盐沼生态系统,为人所利用开发的前景是广阔的。

致谢 本项目在滨海县的野外工作得到该县环保局马连琨同志,教育局黄仁安同志以及陈太林和杨杰同志的大力支持,在此表示衷心谢意。

参 考 文 献

- 1 Odum E P. The Role of Tidal Marshes in Estuarine production, *The New York State Conservationist* 1961, 15(6):12~15
- 2 Whiteney D E, Wiegert R G The Cycles of Nitrogen and phosphorus, in Pomeroy, L.R. and R.G. Wiegert (eds) *The Ecology of Salt Marsh*, N.Y. Springer-Verlag, 1981, 163~181
- 3 Gallagher J L, Seliskar D.M. Aerial Production, Mortality, and Mineral Accumulation export Dynamics in *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus* plant stands in a georgia salt marsh, *Ecology*, 1980, 61(2): 303~310
- 4 Drifmeyer J E, Rublee P A. Manganese, iron, copper and zinc in *Spartina alterniflora* detritus and microorganisms, *BOT MAR.*, 1981, 24(5): 251~256
- 5 Windom H L. The influence of environmental changes in heavy metal concentrations on *Spartina alterniflora*, ASCE National Water Resources Engineerin Meeting, *Presented at the January 24~28*, 1972
- 6 钦佩, 谢民. 福建罗源湾海滩互花米草盐沼中氮、磷、钾元素分布的研究, *海洋科学*, 1988, 4: 62~67
- 7 钦佩, 谢民, 仲崇信. 福建罗源湾海滩互花米草盐沼中 18 种金属元素的分布, *海洋科学* 1989, 6:23~27

- 8 Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands. New York VNR Company, 1986, 110~120, 183~187
- 9 Chapman V J. *Salt Marshes and Salt Deserts of the World*, N. Y. Leonard Hill (Books) Limited, 1960
- 10 钦佩, 谢民. 米草食用价值的开发研究, 自然杂志, 1988, 10(12): 931~933
- 11 钦佩, 谢民, 周爱堂. 互花米草的初级生产与类黄酮的生成, 生态学报, 1991, 11(4): 293~298

THE DYNAMICS OF TRANSPORT AND CHANGE OF MINERAL ELEMENTS IN SALT MARSH OF *SPARTINA ALTERNIFLORA*

Qin Pei Xie Min Chung Chung-Hsin

(Department of Biology, Nanjing University, 210093, Nanjing, PRC)

Abstract There has been nearly 10000 ha of *Spartina alterniflora* since this plant was transplanted to the coastal land of Fujian, Jiangsu, and other few provinces in China in 1980. These *Spartina* marshes have higher productivity in the coastal ecosystems; so they are important nursery grounds and sources of nutrients for aquatic organisms. They provide food an habitat for wildlife, reduce shoreline erosion, and assimilate excess nutrients from pollutants such as sewage and agricultrual drainage. After our research we have found that *S. alterniflora* contains rich mineral elements which come from sea water and are essential to human health. According to a lot of test on this plant we have got an interesting *Spartina* extract — ‘Biomineral Water’ which contains essential trace elements, vitamins and a few bicactive materials to human body. And we have developed a series of biomineral products using Biomineral Water, such as: Biomineral health drink, Biomineral health tea, Biomineral bath liquid, etc. A number of experiments on animals and men prove biomineral products functioning as cardiotionic, decreasing blood lipid, antiinflammation, enhancing immunity, prolonging life, etc. and drink or use of biomineral products will be of significant benefit to human health.

In order to get ecological and economic benefits from this plant resource in progress we design this dynamics test on transport and change of mineral elements. The test was arranged in two *Spartina* plantations located in Binhai and Sheyang county, Jiangsu province and the samples were collected 13 times from November, 1989 to Nov. 1991. The results were interesting. The dynamics of 11 important mineral elements in the plant was 4 types as follows: the contents of N, P, K, Na increased in spring and their peak values appeared in June and then decreased; Ca, Mg, Sr contents had 2 peaks which appeared in June and October respectively; the 2nd peak of Fe and Mn appeared in September; and the 1st peak of Cu, Zn appeared in April and their 2nd peak appeared in July and September respectively. The seasonal change of mineral elements in *Spartina* salt marsh was significant. In spring the major dynamics was the plant's absorption, in Summer some of the elements were absorbed and others were released from the plant, and in autumn and in winter the major dy-

namics was released, and also in winter some of the elements were transferred and stored in the rhizome. The contents of mineral elements in salt marsh soil and sea water in late autumn and early winter were a little higher than those in spring. During the time of spring to summer in 1990 the weights of Ca, Sr, Mn, K, Na were positively relative to the biomasses of *S. alterniflora*.

Our results will benefit the plant's application. of course we will continue our relative test on the dynamics of other effective contents and we will plan to get a better way to collect the plant's samples in better places and at better time and to develop better biomineral series.

Keywords *Spartina alterniflora*, Salt marsh, Mineral elements, Dynamics