

Fe、Cu、Mn、Zn在互花米草(*Spartina alterniflora*)初级生产中的动态研究*

钦佩 马连琨[✓] 谢民 仲崇信

(南京大学生物系, 南京, 210008)

Q949.714.2

摘要 1989年3—10月对江苏滨海废黄河口互花米草初级生产的测定为总生物量(干重)净增3154.8g m⁻²·a⁻¹。对盐沼中Fe、Cu、Mn、Zn的动态研究表明, Fe、Mn的年变化与互花米草的生物量变化较趋一致, 7—8月份Fe、Mn的供应不足也许是米草生长的限制因子, 9月的Zn峰可能与生殖生长有关, 至于7月的Cu峰是否与强化呼吸有关, 还值得探讨。对高生产力的互花米草盐沼资源应予以重视, 本文提出了有关开发利用的构想。

关键词: 铁, 铜, 锰, 锌, 互花米草, 初级生产, 生产力

Fe、Cu、Mn、Zn这4种微量元素是植物光合、呼吸等多种生理活动所必需的。在互花米草盐沼中, Fe、Cu、Mn、Zn这4种必需微量元素具有复杂的迁转动态和活跃的生理功能。迄今为止, 国外学者已进行了一系列动态方面的研究。如Gallagher关于佐治亚洲一个盐沼的互花米草和灯心草的矿物质积累和输出动态研究指出: 互花米草在一些矿质元素的浓度方面显示了较多的季节变化^[1]; 而Drifmeyer等发现, 互花米草碎屑中的Fe、Cu、Mn、Zn含量与碎屑中的细菌浓度呈正相关^[2]; Boulegue^[3], Shea^[4]等则对盐沼中的硫酸盐还原很有研究, 他们认为这个化学过程与这一系统中的Fe、Cu、Mn等元素的含量有关。国内对互花米草所含的必需微量元素也已做了一些分布和利用方面的研究^[5,6], 但系统的动态研究显然是不够的。本文旨在对江苏滨海废黄河口的互花米草的初级生产及其体内Fe、Cu、Mn、Zn的年变化动态进行测定, 探究这些元素的动态变化与互花米草初级生产的相关关系, 为开发利用海滩盐沼, 特别是高生产力的互花米草提供一些依据。

1 滨海废黄河口的自然状况

江苏滨海县地理位置为34.2°N, 120.3°E, 位于苏北灌溉总渠以北, 属暖温带季风气候区。滨海年均温13.9℃, 最低月均温为0℃, 最高月均温为27℃, 年降雨量981.5mm, 年日照为2342.3h, 无霜期214.5d, 台风(强热带风暴以上)年均1次。废黄河口滩面200mm范围内高程为-1—-1.5m(黄海零点), 正常潮高1.6m, 最高潮位3.45m, 最低潮位-0.89m。废黄河口潮滩原来除高滩位泥滩自然分布连片或不连片的盐蒿群落外, 没有其他植物, 1979年种了部分大米草(*Spartina anglica*), 面积不大, 1982年开始种互花米草(*Spartina alterniflora*), 至1986年发展为约100hm²的互花米草人工植被。1987年6月始, 废黄河口陶湾一带从低滩向岸侵蚀严重, 近年来, 该地互花米草面积几无发展。种植米草的中潮位混合滩土层厚0.5m至1m, 以粉砂为主, 夹淤泥薄层, 土壤含盐量为5%左右, 以盐酸盐为主。

*本文系国家自然科学基金资助项目, 编号3870340。

**江苏省滨海县环保局。

本文于1991年6月2日收到, 修改稿于1992年7月1日收到。

2 材料与方法

2.1 互花米草初级生产的测定^[6]

于废黄河口南测选择一块较稳定的互花米草草滩(约14hm²)为试验观测样地。从1989年3月至10月,每个月采样一次,于样地中取25cm×25cm的样方6个,分取各样方地上部和地下部的草样,洗净,烘干,称重,换算成每平方米面积的群落生物量(地上和地下分计),并计算每月均值。

2.2 Fe、Cu、Mn、Zn的测定^[6]

2.2.1 植物样品的元素分析 在测定群落生物量之后,将烘干的植物样(分地上部和地下部)粉碎,称取0.5g干粉,用HNO₃-H₂SO₄法消化,然后进行Fe、Cu、Mn、Zn的全量分析;称取1g干粉,用去离子水50ml浸泡1h,过滤,取全部滤液蒸干,用同法消化,然后进行水溶态的有关元素的含量分析。本试验全量分析在3—11月共做了9次,水溶态的在6—10月共做了5次。

2.2.2 水样和土样的元素分析 在1989年8月和11月,当废黄河口平潮时,各采集水样3瓶,并于试验样地测定生物量的样方周围取土样各6个。对水样采取过滤(0.65μm滤膜)和不过滤两种处理,都用HNO₃-H₂SO₄法消化,作4种元素的水溶态和全量两种形态分析。对土样烘干后(粉碎成160目),部分做全量分析;部分以15倍去离子水浸泡2h,离心10分钟(3400r/min)后取上清做水溶态分析^[7],两种形态土样均用三酸法消化。本项目4种元素的测定,是用ICP仪进行的。

3 试验结果

3.1 废黄河口互花米草的群落生物量

图1所示系1989年滨海县废黄河口的互花米草群落生物量。由图可见,地上部分生物量(干重)3月份为0,从4月份的144g m⁻²至10月份的2657.2g m⁻²呈明显递增趋势;年净

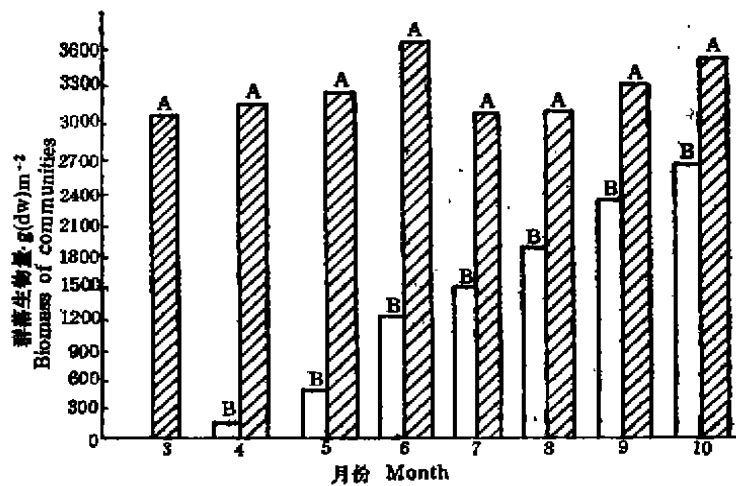


图1 废黄河口互花米草群落生物量
图中, A示地下部分生物量, B示地上部分生物量

Fig.1 The community biomass of *S. alterniflora* near the estuary of old yellow river, note, A is the underground biomass, and B is points the aerial biomass.

增 2657.2g m^{-2} 。地下部分生物量的变化不大, 3月份为 3019.2g , 递增至6月份的 3657g 为一峰值, 然后下降, 至9月份抬升, 10月份又增至 3516.8g ; 地下部分年净增(干重)为 497.6g m^{-2} 。由此可知, 1989年废黄河口互花米草群落总生物量干重为 3154.8g m^{-2} 。

3.2 废黄河口互花米草体内Fe, Cu, Mn, Zn的年变化

从1989年3月至11月的测定结果来看, 废黄河口互花米草体内Fe, Cu, Mn, Zn的含量变化相当复杂, 从总体看, Fe的含量最高, Cu最低, Mn和Zn的含量相近。如图2, Fe和Mn的变化曲线比较相似, Mn的地上部分曲线和Fe的两个部分曲线在8月份出现明显低谷, 而6月和9月都有两个明显的峰。Cu曲线在7月份出现一明显的峰后急速下降, 8月份后无抬升趋势; Zn曲线6月份出现低谷, 9月份达到峰值。

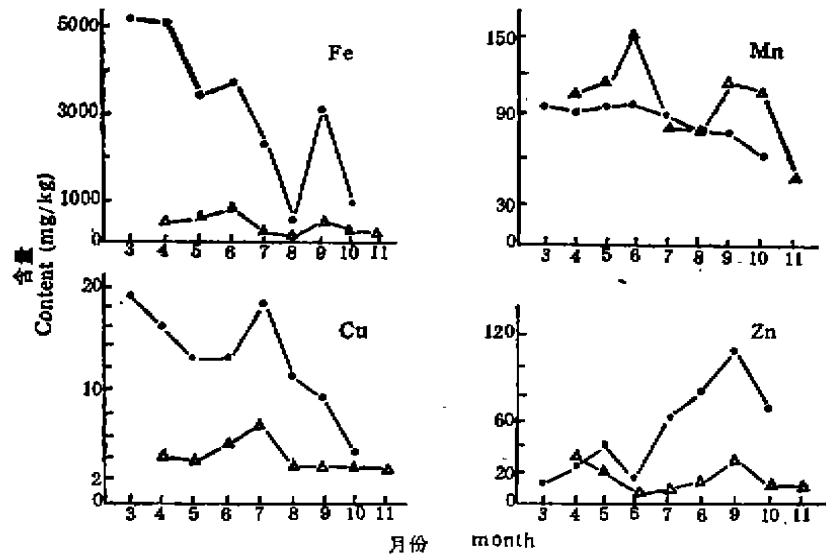


图2 1989年废黄河口互花米草Fe, Cu, Mn, Zn的含量变化

图中, "△"示地上部含量, "●"示地下部含量

Fig.2 The content changes of Fe, Cu, Mn, Zn in *S. alterniflora* of old yellow river in 1989.
Note, "△" points the content of shoots, "●" is that of underground parts.

4种元素水溶态的含量在5个月中的变化, 与其全量变化相似(表1)。无论地上部分或地下部分, 按水溶态含量占全量的比值来看, Fe相对最低(最大值为0.17), Cu相对最高(最大值为0.39)。

3.3 废黄河口环境中Fe, Cu, Mn, Zn的含量

1989年3月和11月两次对废黄河口的水样和盐沼土样的分析显示, 废黄河口环境中两种形态的Fe, Cu, Mn, Zn的含量都是较稳定的, 其中Fe的含量最高, 土壤中的Mn含量也较高(见表2)。

4 结论与讨论

4.1 互花米草是高生产力盐沼植被

由图1可见, 1989年废黄河口互花米草群落生物量是相当高的; 3月至10月, 其总生物

表 1 1989年度黄河口互花米草Fe、Cu、Mn、Zn两种形态含量对比(mg/kg)

Table 1 The comparison of two form's contents of Fe,Cu,Mn,Zn from *S.alterniflora* at the estuary of old Yellow river in 1989

月份		Months	6	7	8	9	10
Fe	地上部分 Aerial parts	全 Whole	812	183	143	402	277
		溶 Aqua-soluble	137	9	1.5	8.3	1.5
		溶/全 A-S/W	0.17	0.05	0.01	0.02	0.005
	地下部分 Underground parts	全 Whole	3617	2195	425	3022	1029
		溶 Aqua-soluble	37	8	9.8	28	13
		溶/全 A-S/W	0.01	0.004	0.02	0.01	0.01
Cu	地上部分 Aerial parts	全 Whole	5	7	3	2.8	2.8
		溶 Aqua-soluble	1.5	2	1	0.7	1.1
		溶/全 A-S/W	0.30	0.29	0.33	0.25	0.39
	地下部分 Underground parts	全 Whole	13	18	11	9	4.5
		溶 Aqua-soluble	1.3	2.9	1.7	1.5	1.4
		溶/全 A-S/W	0.1	0.16	0.15	0.17	0.31
Mn	地上部分 Aerial parts	全 Whole	150	84	77	113	108
		溶 Aqua-soluble	31	23	18	30	20
		溶/全 A-S/W	0.21	0.27	0.23	0.27	0.18
	地下部分 Underground parts	全 Whole	96	88	77	73	64
		溶 Aqua-soluble	12	6	8	4.5	5
		溶/全 A-S/W	0.13	0.07	0.08	0.06	0.08
Zn	地上部分 Aerial parts	全 Whole	4	13	15	32	11
		溶 Aqua-soluble	1.1	3.5	4.5	5	3
		溶/全 A-S/W	0.28	0.27	0.30	0.16	0.27
	地下部分 Underground parts	全 Whole	17	61	82	112	70
		溶 Aqua-soluble	2.5	6	5.4	5.5	5.3
		溶/全 A-S/W	0.15	0.1	0.07	0.05	0.08

量(干重)净增 $3154.8\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。我国福建罗源湾互花米草(3年生)群落年总生物量(干重)为 $3006\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ^[8]。这些数据充分说明互花米草在我国东部海滩引种、繁育、发展很好。

而与我国米草人工植被分布区纬度相近的美国东部沿海则是互花米草的家乡,为该种植物的大面积自然分布区。在那里,互花米草初级生产平均值(干重)约为 $3161\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ^[10]由此可见,我国东部海岸互花米草人工植被发育良好,3年至7年生的互花米草初级生产接近美国自然产地水平。

对比表3可见,以互花米草为优势种的海滩盐沼植被的初级生产是相当高的,它可以列入热带雨林、温带夏绿林、淡水沼泽湿地、耕地等世界高生产力植被^[10]。很显然,互花米

表 2 1989年度黄河口海水和土壤中Fe, Cu, Mn, Zn含量(mg/kg)

Table 2 Fe, Cu, Mn, Zn contents in sea water and soil at estuary of old yellow river in 1989

元 素 Elements			Fe	Cu	Mn	Zn
水 Water	3月 Mar.	全 Whole	0.33	0.01	0.01	0.03
		溶 Aqua-soluble	0.12	0.001	0.007	0.004
	11月 Nov.	全 Whole	0.41	0.02	0.01	0.03
		溶 Aqua-soluble	0.18	0.002	0.007	0.004
土 Soil	3月 Mar.	全 Whole	25415	20	588	72
		溶 Aqua-soluble	18.97	0.53	1.27	0.98
	11月 Nov.	全 Whole	28425	27	582	70
		溶 Aqua-soluble	20.11	0.72	1.31	0.94

表 3 世界净第一性生产(干重)^a(g·m⁻²·a⁻¹)Table 3 Net primary production in the world^a

植被组合 Vegetation component	正常范围 Normal scope	近似平均 Rude average
热带雨林 Tropical forests	1000—3500	2000
雨绿林 Rain green forests	800—3500	1500
夏绿林 Summer green Forests	400—2500	1000
硬叶常绿灌丛 Chaparral	250—1500	800
暖温带混交林 Warm temperate mixed forests	800—2500	1000
北方针叶林 Boreal coniferous forests	200—1500	500
热带草原 Tropical grassland	200—2000	700
温带草原 Temperate grassland	100—1500	500
耕地 Cultivated land	100—4000	850
淡水沼泽湿地 Freshwater marshland	800—4000	2000
湖泊江河 Lake and stream	100—1500	500
海洋 Ocean	2—400	125
海湾 (不包括沼泽) Estuaries(no marsh)	200—4000	1500

*本表取材于H.Lieth和R.H.Whittaker等著,王业道等译《生物圈的第一性生产力》(科学出版社,1985)书中表10.1和表15.1。

*The materials in the Table is from the book PRIMARY PRODUCTIVITY OF THE BIOSPHERE edited by H.Lieth and R.H.Whittaker, and translated by Wang Ye-sui (Science Press, 1985), in which Table 10.1 and Table 15.1 are used.

草的高生产力是与它所处“由太阳和潮汐提供丰富能量，由草滩、运动的水体和土壤沉积物三者组成的具有一定功能的生态系统”^[11]有关。

4.2 Fe、Cu、Mn、Zn在互花米草盐沼中的动态变化

在互花米草盐沼中，这4种元素的数量分布动态是：土壤>植物>海水；在互花米草体内的数量分布动态是：地下>地上(除Mn外)，全量>水容量。4种元素的季节变化动态就较复杂。从植物体内看，Fe、Mn的变化动态较一致，无论地上部分或地下部分，这两种元素的两种形态的含量都在6月份达到一高峰，经过7—8月的低值后，9月份又出现峰值；Cu的峰值出现在7月，Zn的峰值出现在9月。10月份后，这4种元素含量均大大下降。上述变化动态符合海滩盐沼营养物季节变动的特点^[12]，Gallagher对美国佐治亚洲海滩盐沼矿质元素的动态研究结果指出：在互花米草中Mn的浓度是夏天低秋天高，Fe的情况也是如此。而10月份后，4种元素含量的下降则是由于“植物处于衰老期，变‘漏’了，从而释放出一系列的成分进入水里”^[11]。这样的解释与本文的结果是吻合的，如表2，废黄河口的海水和土壤中这4种元素在1989年初和年末的测定数据虽说基本变化不大，但Fe、Cu、Mn 11月份都有所增加，看来与互花米草有机碎屑的分解，相应元素的排放有关。由表2可见，废黄河口土壤中4种元素的水溶态含量占全量比，除Fe较低外(不足全量的1%)，余均较高(占全量的2%—2%之间)，显示了海滩盐沼土壤溶液的化学特点。由于盐沼生境的特殊，其中矿质元素的流向兼有陆地和水生两种生态系统物质循环的特征。如图3所示，互花米草盐沼中的Fe、Cu、Mn、Zn不仅通过食物链流动，而且在生物与多种环境介质的交往中迁移。具特别意义的是，潮水的动力作用增强了盐沼土壤的氧化性，促使潮滩沉渣泛起，造成有关矿质元素向水相迁移；而潮水的淹渍作用却使盐沼土壤呈缺氧状态，厌氧微生物十分活跃，使有关

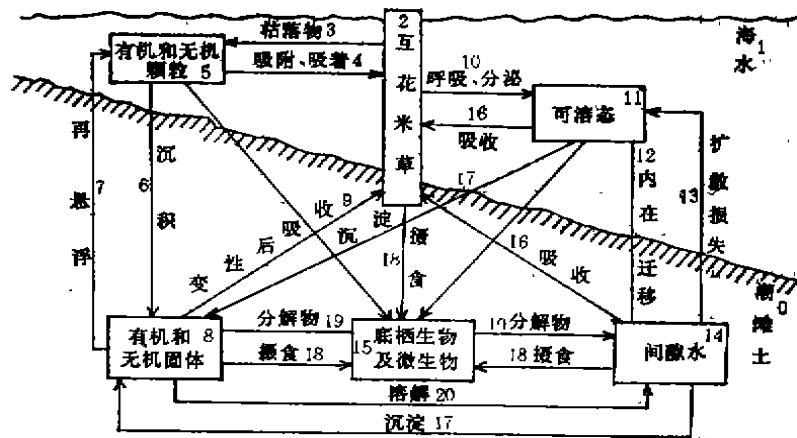


图3 Fe、Cu、Mn、Zn在互花米草盐沼中迁移动态

Fig.3 The migration dynamics of Fe,Cu,Mn,Zn in the salt marsh of *S.alterniflora*

- 0. Tidal land soils; 1. Seawater; 2. *Spartina alterniflora*; 3. Litter; 4. Adsorption;
- 5. organic and inorganic grain; 6. deposition; 7. resuspension; 8. Org.and inorg. Solid;
- 9. Absorbed variability; 10. Respiration and secretion; 11. Dissolved; 12. Inherent migration;
- 13. Diffusion losses; 14. Pore water; 15. Benthon and microrganism; 16. Absorption; 17. Precipitation;
- 18. Predation; 19. Decomposition matter; 20. Dissolution.

金属元素呈还原反应,加剧了矿化或沉积作用。这一对矛盾作用的结果,使盐沼土壤溶液中可溶性Cu, Mn, Zn等元素(主要来自间隙水和附着在沉积物表面的盐类)含量升高^[7],有利于植物的吸收和同化。

4.3 Fe, Cu, Mn, Zn的动态变化与互花米草初级生产的关系

从3月至6月,互花米草的生物量(特别是地上部分)上升幅度很大;7—8月,地上部分生物量增长缓慢,地下部分生物量却略有下跌,至使总生物量出现低值;9—10月,生物量又有一定的回升(见图1)。互花米草生物量的年变化与Fe, Mn二元素的年变化趋势较接近,这说明,二元素对米草生物量积累影响较大;Fe和Mn不仅是影响光合作用的重要因素,而且Fe是细胞色素C的中心原子, Mn是糖酵解过程多种酶的活化剂,直接影响呼吸作用和干物质的积累。如在7—8月份, Fe, Mn的全量和水溶态含量均较低(表1),也就是说,在这段时间,米草体内二元素的补充和活动性均不够,减缓了光化学作用和某些酶促反应的速度,导致了这个时间米草生物量的缓慢增长或降低。正如Gallagher所说,也许Fe是仲夏限制低滩上米草生长的因子^[1]。Zn是植物蛋白质合成的必需元素,9月份时值互花米草的扬花季节,植物吸收较多的Zn对于生殖生长,籽粒的形成,显然是必要的。在Fe, Mn, Zn含量均相对较低的7月, Cu量形成一高峰,这是否由于风暴潮带来潮滩渍时间较长, Eh值较低^[12],导致植物体内较多Cu的积累,增加铜氧化酶的含量,强化呼吸作用;或者就是互花米草自身生理的调节,使若干金属离子的含量达到一定的平衡,还有待进一步探讨。

4.4 互花米草盐沼的开发利用

互花米草盐沼生产力高,无性繁殖速度很快,在我国苏闽2省面积已逾3000hm²,成为我国引种的第二个海滩盐沼优势种(第一个是大米草,在全国海滩已逾30000hm²)。互花米草和大米草一样,不仅可保滩护堤,还可以饲用^[13]。由于米草含从海水中吸收的多种微量元素,如Fe, Cu, Mn, Zn等,其水溶态含量在整个生长期都相当高,不仅为植物所必需,而且为人体所必需;此外,还含有增强机体免疫力的类黄酮等有效成分,值得充分利用。近年来我们对互花米草进行了深度开发利用的研究,如食用^[14]、日用化妆、药用^[15]等,取得一定的成功。我们将进一步把对互花米草的研究和利用结合起来,加强对盐沼生态系统矿质元素的动态和行为的跟踪研究,增补Fe, Mn等必需微量元素的追肥试验,以期把握影响米草生产力的有关因子,把这一海滩盐沼资源的经济潜力更好地发掘出来。

参 考 文 献

- [1] Gallagher, John L. et al. 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
- [2] Drifmeyer, J E and Rublee P A. Mn, Fe, Cu and Zn in *Spartina alterniflora* detritus and microorganisms, *BOT MAR* 1981, 24(5): 251—256
- [3] Boulegue, Jacques, et al. Sulfur speciation and associated trace metals (Fe, Cu) in the pore waters of Great Marsh, Delaware, *Geochim Cosmochim ACTA*, 1982, 46(3): 453—464
- [4] Shea, Damian, et al. The solubility of copper in sulfide waters, *Geochim Cosmochim ACTA*, 1988, 52(7): 1815
- [5] 钦 佩, 谢 民, 钟崇信. 福建罗源湾互花米草盐沼中18种金属元素的分布. *海洋科学*, 1989, (6): 23—27
- [6] Qin Pei, Xie Min. The characteristics of the trace elements in sea water and in biomineral water. *Proceedings of International Symposium on the Coastal Zone* (Beijing, China, August, 1988), Beijing, China Ocean Press, 1990, 546—551

- [7] 王正方. 长江口和浙江沿岸表层沉积物中Cu、Pb和Zn的化学形态研究. 浙江省海岸带资源综合调查论文集. 浙江省海岸资源综合调查队. 杭州, 1986, 97—103
- [8] Odum, W. E., et al. Comparison of the productivity of *Spartina alterniflora* and *Spartina cynosuroides* in Georgia Coastal Marsh. *Acad Sci*, 1973, 31(1): 1—12
- [9] Turner, R. E. Geographic variations in salt marsh macrophyte production. *Mar. Sci.* 1976, 20(1): 48—63
- [10] H. 里思, R. H. 惠特克等著, 王业谨等译. 生物圈的第一性生产力. 北京: 科学出版社, 1986, 192—193, 236—237
- [11] Odum, E. P. Foreword. *The Ecology of a Salt Marsh*. Pomeroy, L. R. and R. G. Weigert (ed). Springer-verlag, N. Y., 1981.
- [12] Mitsch, William J. and James G. Gosselink. *Wetlands*. VNR, N. Y., 1986, 173—207
- [13] 蒋福兴等. 新引进的三种米草植物的生物学特性及其营养成分. 米草研究成果论文集. 南京: 南京大学学报, 1985, 302—308
- [14] 钦佩等. 米草食用价值的开发研究. 自然杂志, 1989, 11(12): 931—933
- [15] 钦佩, 谢民等. 生物矿质溶剂对皮肤的保健作用. 自然杂志, 1989, 12(12): 930—932

A STUDY ON DYNAMICS OF Fe, Cu, Mn, Zn IN PRIMARY PRODUCTION OF *SPARTINA ALTERNIFLORA*

Qin Pei Ma Lian-Kun Xie Min Zhong Chong-Xin

(Department of Biology, Nanjing University, 210009)

The total biomass of *S. alterniflora* growing in the mouth of the old yellow river course in Binhai county, Jiangsu province, was 3154.8g(dw)/m²·a in 1989. The annual changes in Fe and Mn were similar to the biomass change of *S. alterniflora*, and perhaps the lack of Fe and Mn in July and August was the limitation of *Spartina* growing. The highest value of Zn in September was probably correlated with the plant reproduction. It is well worth to enquire whether the highest value of Cu in July is correlative or not with intensifying respiration.

Much attention should be paid to salt marsh of *Spartina* with higher productivity and some suggestion was made on the development and utilization of this plant.

Key words: Fe, Cu, Mn, Zn, *Spartina alterniflora*, primary production.