

三江平原沼泽生态环境的化学特征*

金泰龙

(中国科学院长春地理研究所, 长春)

摘 要

本文研究了三江平原沼泽生态系统的土壤、植物、地表水等生态环境要素中15种植物主要营养元素的含量、分布及其迁移特征。研究表明, (1) 沼泽土壤中, N、P、K、Na、Zn、Co等元素的含量相对较丰富, Ca、Mg、Fe、Ni、Al等元素的含量相对较贫乏, 而且这些元素在垂直分布上呈分层性、水平分布上呈分带性等特征; (2) 沼泽植物具有富集K、Ca、Fe和Mo元素的特点。在15种化学元素中, P、Mo、Mn等元素被生物迁移或转化的能力较强, Co、Na、Al等元素被生物迁移或转化的能力较弱; (3) 沼泽水体中, 除Mo以外的其他元素含量均较其它天然水体中高。在15种化学元素中, Ca、Mg、Cu、Mn等元素的水迁移能力较强, Fe、Mo、K、Zn等元素的水迁移能力较弱。

三江平原位于我国黑龙江省的东北隅, 是由松花江、黑龙江和乌苏里江及其支流多次变迁而形成的冲积低平原, 是我国最大的沼泽分布区之一。

沼泽是一种特殊的自然综合体或生态系统。它从水体或陆地演化而形成, 因而具有半陆半水的或水陆相互作用的复杂的生态环境。这种生态环境赋予了它独特的生物群落结构和物理、化学特征(黄锡畴, 1982)。

本区自然地理各要素的特征对沼泽的广泛发育和分布极为有利(中国科学院长春地理所沼泽室, 1983)。因此, 在平原上沼泽面积广阔, 集中连片, 形成了本区主要的自然生态系统。

本研究主要是在沼泽相对较集中的完达山以北和松花江以东的三江平原东北部地区**'进行的。研究的类型有: 苔草+小叶樟(*Carex + Deyeuxia angustifolia*)-草甸沼泽土-季节性积水系统; 毛果苔草(*C. lasiocarpa*)-腐殖质沼泽土-常年积水系统; 漂筏苔草(*C. pseudo-curaica*)-泥炭沼泽土-常年积水系统; 乌拉苔草(*C. meyeriana*)-泥炭土-季节性积水系统; 芦苇(*Phragmites communis*)-淤泥质沼泽土-常年积水系统(牛焕光等, 1980)。

这项研究将有助于从宏观到微观, 从定性到定量地研究和探索沼泽生态系统的发生、发展及其分布规律。因此对合理开发和利用沼泽这一宝贵资源, 维持生态平衡等方面都具有一定的理论和实践意义。

* 本文在写作过程中得到黄锡畴研究员, 刘兴土、牛焕光副研究员的热情指导和斧正。样品分析过程中曾得到长春地理所中心实验室、长春地质学院实验中心许多同志的热情帮助, 在此一并致谢。

** 狭义的三江平原。

本文于1986年3月6日收到。

一、三江平原沼泽生态环境中化学元素的含量特征

沼泽生态系统如同其他生态系统一样,实际上是一个巨大的生物地球化学反应的“容器”,而构成这种生态系统的生态环境各要素,如土壤、植物和水是该反应中不同性质的介质。

1. 沼泽土壤中的化学元素含量

本区各类沼泽土壤中化学元素的平均含量列于表1。与世界土壤的平均值(袁可能,

表1 三江平原沼泽土壤中的化学元素含量*

Table 1 Contents of chemical elements in mire soils of Sanjiang Plain.

含 量 类 型	%									ppm						
	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Cu	Zn	Co	Ni	Mo	S	
草甸沼泽土	0.49	0.17	3.31	1.47	0.54	0.57	4.40	6.28	431	24.8	103	20.1	32.1	2.26		230
腐殖质沼泽土	0.89	0.090	2.92	1.89	0.65	0.26	3.05	4.48	284	20.5	117	14.3	25.3	1.88		480
泥炭沼泽土	1.26	0.094	2.98	1.25	0.52	0.19	2.34	4.65	357	28.6	107	15.6	26.6	4.92		3000
泥炭土	1.85	0.094	1.53	1.62	0.48	0.15	1.77	3.09	222	18.7	39.6	10.3	19.8	3.85		740
淤泥质沼泽土	1.40	0.028	3.49	3.17	1.99	0.34	4.07	9.83	333	27.5	70.2	19.8	39.0	0.89		310
各类土壤平均	0.93	0.095	2.84	1.88	0.83	0.30	2.98	5.68	325	24.2	87.2	16.0	28.6	2.76		952

* 含量系剖面的平均值,即 $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \text{层含量} \cdot x_i \text{层厚度})}{\sum_{i=1}^n x_i \text{层厚度}}$ 。土壤样品数为60个。

1983) 和本区其他主要土壤中的平均含量(中国科学院南京土壤所, 1978; 中国科学院林业土壤所, 1980) 比较, N、P、K、Na和S等元素的含量显著高些, Al则相反; Ca、Mg、Fe、Mn和Ni 元素的含量虽然低于世界土壤平均值和本区白浆土中的含量, 但比黑土、草甸土和暗棕壤中要高; Cu和Zn的含量虽不如白浆土中丰富, 但却高于世界土壤平均值和其他土壤中的含量。此外, Co的含量虽比世界土壤平均值高, 但却显著低于本区其他土壤中的含量。上述特征反映了本区沼泽土壤因发育在厚层冲、洪积物母质上, 而且在沼泽环境长期的堆积作用下, 植物营养元素和易随水迁移的元素含量较丰富, 而难随水迁移的元素含量相对较低的规律。

2. 沼泽植物中的化学元素含量

构成本区沼泽生态系统的植物优势种均为草本植物。主要有莎草科的毛果苔草、漂筏苔草、灰脉苔草(*Carex appendiculata*)、乌拉苔草、二柱苔草(*C. lithophila*)和禾本科的芦苇、狭叶甜茅(*Glyceria spiculosa*)、忽略野青茅(*Deyeuxia neglecta*)、小叶樟等9种植物。

本区沼泽植物中化学元素的平均含量(表2)与世界陆生植物中的平均含量(袁可能, 1983)相比较, K、Ca、Fe和Mo的平均含量高些, K和Mo尤其显著, 这证实了沼泽植物富集K的结论(侯学煜, 1983), 这与Waughman等(1984)在几种不同营养状况的沼泽中得出的结果也相吻合。沼泽植物富集K的特征与其他生态环境中的植物富集特征有显著差异, 比如长白山高山苔原、山地暗针叶林和山地针阔叶混交林植物中则明显富集Ca(黄锡畴等,

表 2 三江平原沼泽生态系统优势植物中的化学元素含量*

Table 2 Contents of chemical elements in dominant helophytes in the mire ecosystem of Sanjiang Plain

含 量 植 物	%										ppm				
	灰分 (风干重)	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Al		Cu	Zn	Co	Ni	Mo
小 叶 樟	5.56	1.87	14.2	0.760	3.17	1.01	1.18	0.532	2.11		233	524	8.00	29.0	31.2
狭叶甜茅	4.54	2.51	21.6	0.830	3.09	1.05	1.84	0.382	0.926		144	569	8.86	13.2	70.9
芦 苇	5.95	2.00	20.6	0.751	3.55	1.24	2.98	0.319	1.45		162	566	14.7	31.2	43.2
忽略野青茅	4.66	2.88	17.9	0.684	2.98	1.15	1.98	0.680	0.522		151	718	14.2	28.7	50.8
漂筏苔草	4.67	2.64	29.1	0.233	3.61	1.62	3.03	0.820	1.02		134	1124	15.0	25.6	71.2
灰脉苔草	4.96	2.62	25.2	0.260	5.78	1.29	3.55	0.349	0.244		106	537	9.99	24.4	29.2
乌拉苔草	3.64	2.44	25.1	0.226	2.14	1.44	0.896	1.54	0.0867		179	1268	8.00	23.5	36.6
毛果苔草	3.84	2.01	27.9	0.669	4.21	1.23	0.230	1.30	1.07		176	644	14.3	24.8	31.7
二柱苔草	5.23	1.49	19.0	1.91	3.19	1.35	2.69	0.320	2.24		195	224	13.8	34.2	41.1
各种植物平均	4.78	2.27	21.2	0.935	3.53	1.26	2.27	0.693	1.08		165	686	11.9	26.1	45.1

* 以灰分中的含量计算。植物样品数为36个。

1982)。与上述特征相反, P、Na、Mg、Mn、Cu、Zn、Co、Ni 和 Al 等元素的平均含量远低于世界陆生植物中的平均含量, 其中 P、Na、Mg、Zn 和 Ni 等元素尤其显著。其余的元素则略低或接近世界陆生植物中的平均值。

此外, 比较和分析不同优势植物中的化学元素含量, 可以发现不同沼泽植物中某些化学元素的含量差别显著, 而这主要与其生境的积水条件有密切的关系。例如, 在积水效浅或季节性积水的生境中生长的小叶樟、灰脉苔草和乌拉苔草等植物中, 各种易随水迁移的元素, 如 Ca、Na、Mg、K、Mo 和在还原环境中可移动的 Fe 和 Co 等元素 (Беус等, 1982; Перельман, 1975) 的含量显著低于在常年积水或积水较深且有微弱流动的生境中生长的漂筏苔草等植物中的含量。

沼泽植物中的化学元素含量反映了沼泽生态环境中沼泽植物对于不同化学元素的选择性吸收和富集的生理特点, 表明了沼泽植物对不同化学元素生物迁移作用的差别, 对沼泽生态环境的化学演化趋势具有重要的指示性意义。

3. 沼泽水体中的化学元素含量

本区沼泽水体中化学元素的平均含量与世界河水中化学元素的平均含量 (Föstner, 1979) 相比较, 各种元素, 除 Mo 以外, 其含量均高于世界河水中的平均值 (见表 3), 其中 Ca、

表 3 三江平原沼泽水体中的化学元素含量

Table 3 Contents of chemical elements in water bodies of mires in Sanjiang Plain

含 量 类 型	ppm					ppb					
	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Co	Ni	Mo
沼泽地表水	6.41	12.5	18.1	6.00	1.84	423.0	44.7	38.6	8.25	14.5	0.31
沼泽地下水	1.30	26.0	34.2	13.0	0.69	32.5	45.5	88.0	4.00	0.00	0.35
沼泽区河流	1.20	1.70	3.90	2.00	1.36	32.0	52.0	28.0	7.00	10.0	0.93
世界河水平均*	2.30	9.00	1.50	4.10	0.67	5.00	5.00	10.0	0.20	0.30	1.00

1*) 据 Föstner (1979) 的资料。

Mn、Cu、Co和Ni 等元素的含量显著高于该文献值。这主要是由于沼泽水体富含有机酸与还原性的条件(中国科学院长春地理所沼泽室, 1983)提高了这些元素的溶解度。

另外, 与本区某些沼泽的地下水和河流中化学元素的含量相比较, 沼泽地表水中的K 含量较高; Na、Ca、Mg 等元素的含量介于两者之间; 而其他元素则相差不大(表3)。这表明, K的含量主要与从土壤中能够富集K的沼泽植物的残体堆积有关。因为植物有机体中的K元素很容易从植物残体中淋洗释放, 因此使得沼泽地表水中K含量明显增高。Na、Ca、Mg等元素的含量则与沼泽地下水中这些元素的含量有密切关系。因为沼泽地表水与地下水有一定的水力联系(只有在局部地区的沼泽中无水力联系), 因此当富含这些元素的地下水补给沼泽时, 使得这些元素的含量高于河水中的含量(见表3)。此外, 沼泽地表水中这些元素含量的增高可能还与其他因素有关, 比如沼泽土壤中阳离子的置换反应和沼泽水体的蒸发浓缩作用等(柴岫等, 1965)。

二、三江平原沼泽生态环境中化学元素的迁移特征

1. 沼泽土壤中化学元素垂直分布的分层性

本区大部分沼泽土壤的剖面一般具有三个不同的发生层。即, 表层为未充分分解的草根层或分解较好的泥炭层(草根层一般与其下面的土壤发生层之间具有明显的界面, 而泥炭层则不明显或逐渐过渡); 表层之下一般是较薄的(因不同土壤而异)黑色腐殖质层; 腐殖质层以下逐渐变为灰白色或灰蓝色的潜育层。由于沼泽土壤不同发生层的物质组成和其他物理、化学条件, 如温度、积水深度(包括地下水的影响)pH、Eh 等有一定的差异, 且各种元素本身的地球化学行为也有一定的差别, 因此不同的化学元素在剖面垂直方向上产生分异, 呈现出明显的分层性。

一般情况而言, 本区沼泽土壤中N、P、S、Na、Mo 等元素的含量随剖面加深而明显减少; 与此相反, K、Si、Ti、Fe、Cu、Zn、Ni、Co等元素的含量随剖面加深而明显增多(图1)。如果进一步详细剖析各种元素在土壤不同层次中的含量分布特征, 则可以发现, N、S、Mg、

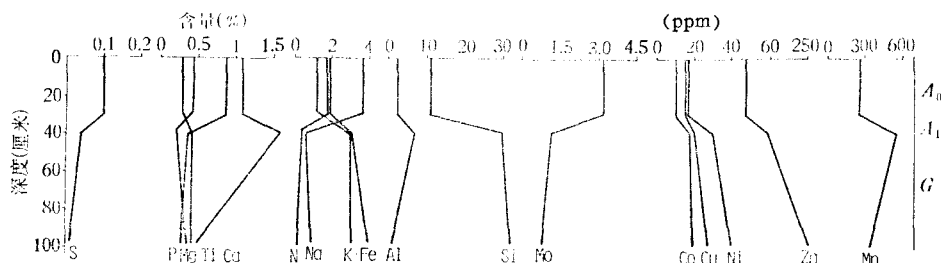


图 1 三江平原沼泽土壤中化学元素的剖面分布特征

Fig 1 Distribution features of chemical elements in mire soil profile of Sanjiang Plain

Mo、P、Na 等元素主要富集在草根层(A₀); Al、Ca、Mn 等元素主要富集在腐殖质层(A₁); 而K、Ti、Si、Fe、Cu、Zn、Co、Ni等元素主要富集在潜育层(G)(见图1)。

2. 沼泽土壤中化学元素水平分布的分带性

本区某些沼泽生态系统是由水体沼泽化而形成的。因此沼泽土壤中化学元素的分布特征

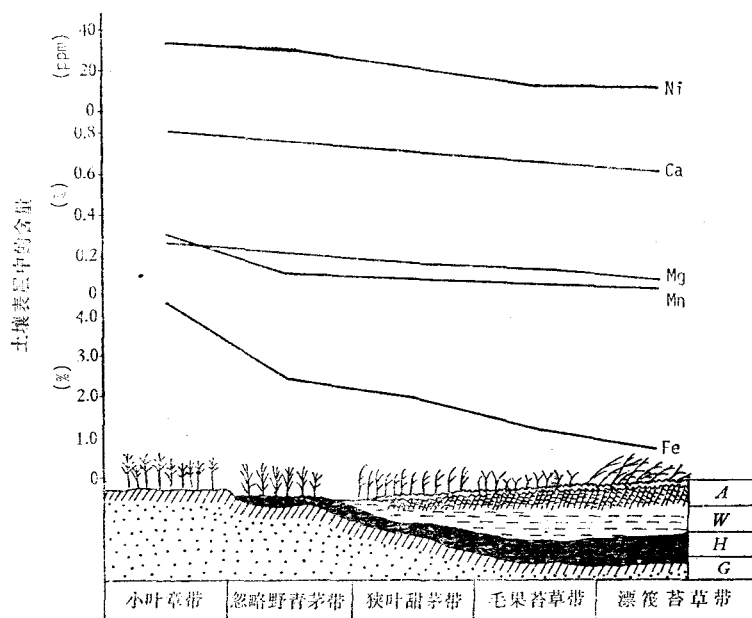


图 2 三江平原沼泽土壤中化学元素水平分布的分带特征

Fig 2. Zonational feature of horizontal distribution of chemical elements in mire soils

A. 草根层 W. 夹水层 H. 泥炭层 G. 潜育层

深受其影响。主要反映在沼泽土壤表层中化学元素的水平分布具有明显的分带性。图2是本区前进农场一碟形洼地中化学元素水平分布特征图。该洼地的沼泽植物群落呈同心圆的带状分布, 自岸边到洼地中心依次出现: 小叶樟带、忽略野青茅带、狭叶甜茅带、毛果苔草带、漂筏苔草带等植物群落。积水从岸边向洼地中心逐渐加深。从岸边到忽略野青茅植物带为止, 土壤的草根层与矿质土壤相接, 但从狭叶甜茅带开始草根层逐渐脱离矿质土壤而形成“浮毡”漂浮于水面, 中间呈夹水层。夹水层以下均积累有薄层泥炭(见图2)。

从图2的上部元素含量变化曲线, 我们不难看出, 各植物带土壤表层中许多元素的含量具有从岸边向中心递减的趋势。因此呈现出化学元素水平分布的分带性规律。例如, Fe、Mn、Ni、Ca、Mg等元素的含量均从岸边的小叶樟群落向洼地中心的漂筏苔草群落有规律地递减。因为从岸边到洼地中心, 积水愈来愈深, 表层土壤与底层土壤的距离愈来愈大, 那些主要从矿质土壤中得到补充的元素愈来愈难以被植物根系吸取, 因此植物中这些元素的含量也愈贫乏。当这些植物死亡之后的残体归还给土壤, 并由它们形成表层土壤时就显示出上述规律。

沼泽土壤中化学元素水平分布的分带性规律在本区各种碟形洼地、湖滨和各种地貌类型的闭流低洼地上, 由水体演化而形成的沼泽中具有普遍性。它制约着植物群落的演替, 从而导致植物群落的带状分布和沼泽水中化学元素的带状分布, 表现出沼泽生态环境中化学元素的迁移特征。

3. 不同化学元素生物迁移的差异性

由于不同的化学元素具有不同的生理作用(吴兆明, 1980), 因而其被生物迁移的程度

也有所不同,这可从元素的生物吸收系数 (A_x) 中表现出来 (表 4)。就各类沼泽植物的平

表 4 三江平原沼泽生态环境中化学元素的生物迁移序列
Table 4 An order of biological migration coefficients of chemical elements in mire ecological environments of Sanjiang Plain

生物迁移次序 类 型	生 物 吸 收 系 数 (A_x)*		
	$n \times 10$	n	$0.n$
苔草 + 小叶樟沼泽	Mo, P, Mn	Cu, Ca, K, Zn, Mg	Ni, Na, Co, Fe, Al
毛果苔草沼泽	Mo, P, Mn	K, Cu, Mg, Ca, Zn	
漂筏苔草沼泽	P, Mn, Mo	K, Zn, Mg, Ca, Cu, Na, Fe	Co, Ni, Al
乌拉苔草沼泽	Mn, P, Zn, K, Ca, Mo	Mg, Cu	Ni, Co, Fe, Na, Al
芦苇沼泽	P, Mo	Mn, Zn, Cu, K, Mg, Ca	Ni, Co, Fe, Na, Al
各类平均	P, Mo, Mn	K, Zn, Cu, Ca, Mg	Ni, Fe, Co, Na, Al

1*) 生物吸收系数 (A_x) 是植物有机灰分中的元素含量与土壤中的元素含量之比。

均情况而言, P、Mo、Mn 等元素的生物吸收系数较大, 即被植物富集和迁移的能力较强; 而 Ni、Fe、Co、Na、Al 等元素的生物吸收系数较小, 即被植物富集和迁移的能力较弱。

4. 沼泽水体中化学元素的迁移性

沼泽生态环境中各种化学元素相对的水迁移特性可用水迁移系数 (Перелрман 1975), 即水的矿物残渣中元素的含量与土壤中元素含量的比值, 加以表征。从表 5 中可知, 本区沼

表 5 三江平原沼泽生态环境中化学元素的水迁移序列
Table 5 An order of water migration coefficients of chemical elements in mire ecological environments of Sanjiang Plain

水迁移次序 类 型	水 迁 移 系 数 (K_w)			
	$n \times 10$	n	$n \times 10^{-1}$	$n \times 10^{-2}$
苔草 + 小叶樟沼泽	Ca	Cu, Mg, Na, Mn, Co	Ni, Zn, Mo, K, Fe,	
毛果苔草沼泽		Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, Na	Co, Mo, Ni, K, Fe,	
漂筏苔草沼泽		Ca, Mn, Mg, Cu, Co, Ni	K, Na, Zn, Fe,	Mo
乌拉苔草沼泽		Cu, Mn, Mg, Ca, Zn, Co, K, Ni	Na, Fe	Mo
芦苇沼泽		Mn, Mg, Cu, Ca, Na, Zn, Ni	Mo, Co, K	Fe
各类平均		Ca, Mg, Cu, Mn, Na, Ni, Co	Zn, K, Mo, Fe	

泽生态环境中, Ca、Mg、Cu、Mn 等元素的水迁移能力较其他元素强, 而 Fe、Mo、K、Zn 等元素的水迁移能力较其他元素弱。这与热带、亚热带地区的还原条件下元素的水迁移次序 (龚子同等, 1985): $Ca > Mn > Mg > Na > P > K > Fe > Si > Al$, 基本吻合。这也说明, 本区沼泽生态环境的下垫面处于还原状态。

5. 生态环境各组成要素中化学元素含量的相关性

本区沼泽生态环境各主要组成要素中的化学元素含量具有明显的相关性。如图 3 所示, 在生态环境不同组成要素之间化学元素的组成含量水平尽管有很大差异, 但各种元素的组成比例具有非常明显的相似性: 土壤中含量相对较高的元素, 植物和水体中也较高, 相对较低的元素, 植物和水体中也较低。这种相关性还表现在, 当沼泽土壤中化学元素的水平分布呈分带性特征时, 其水体 (土壤上部的地表积水) 中化学元素的分布也呈相应的带状特征, 而且植物群落也呈明显的带状分布规律 (参见图 2)。上述的相关性特征是沼泽生态环境化学

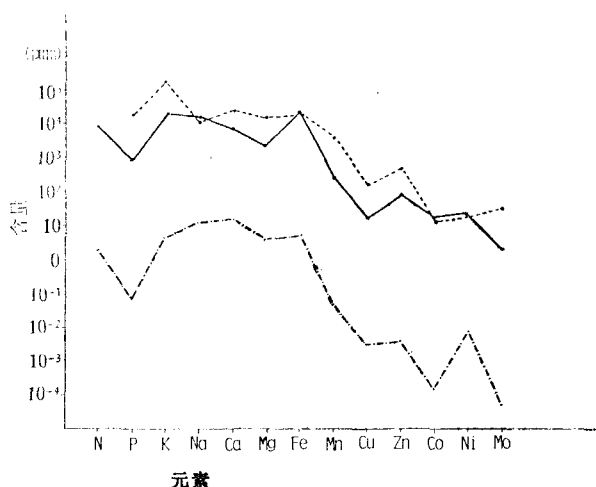


图 3 三江平原沼泽生态环境各组成要素中化学元素含量的相关特征
Fig. 3 Relations of chemical element contents in some major components of mire ecological environment of Sanjiang Plain
——土壤植物 -.-水

特征的最重要的表现之一。

三、小 结

1. 本区沼泽土壤中, N、P、K、Na、Zn、Co 等元素的含量相对较丰富; Ca、Mg、Fe、Ni、Al 等元素的含量相对较贫乏。沼泽土壤中各种元素的垂直分布有明显的分层性特点, 即, N、S、Mo、P、Mg、Na 等元素在表层相对丰富, Al、Ca、Mn 等元素在腐殖质层中较丰富, K、Ti、Si、Fe、Cu、Zn、Co、Ni 等元素在潜育层中较丰富。沼泽土壤中化学元素的水平分布有明显的分带性特点。在碟形洼地等水体演化所形成的沼泽中, 许多化学元素的含量从沼泽边缘向中心有规律地递减。它制约着沼泽植物群落的带状分布和水体的化学特征。

2. 本区各种沼泽植物普遍具有富集 K、Ca、Fe、Mo 等元素的特点。不同沼泽植物中的化学元素含量有一定差别, 而这主要与生境的积水程度有关。沼泽生态环境中, P、Mo、Mn、K 的生物迁移能力较强, Fe、Co、Na、Al 则反之。

3. 沼泽水体中, 大部分元素 (Mo 除外) 的含量比其他天然水体 (如河流) 中高。水化学特征表现出地表水和地下水的过渡性质。沼泽生态环境中, Ca、Mg、Cu、Mn 等元素的水迁移能力较强, Fe、Mo、K、Zn 则反之。

4. 沼泽生态环境各主要组成要素 (土壤、植物、水) 中, 化学元素的含量和分布有非常明显的相关性和一致性。这表明, 本区沼泽是个具有明显生物小循环和半封闭状态特征的生态系统。

参 考 文 献

- 中国科学院长春地理研究所沼泽研究室 1983 三江平原沼泽。1—34页。科学出版社。
中国科学院林业土壤研究所 1980 中国东北土壤。392—415页。科学出版社。
中国科学院南京土壤研究所 1978 中国土壤。科学出版社。

- 牛焕光等 1980 东北地区沼泽. 自然资源 1980(2):53—65.
- 吴兆明 1980 微量元素生理作用的研究现状. 中国科学院微量元素学术交流会汇刊. 1—15页. 科学出版社.
- 袁可能 1983 植物营养元素的土壤化学. 9—10页. 科学出版社.
- 柴岫等 1965 若尔盖高原的沼泽. 29—34页. 科学出版社.
- 侯学煜 1983 中国植物地理及优势植物化学成分. 358—384页. 科学出版社.
- 龚子同等 1985 土壤地球化学的进展和应用. 4—5页. 科学出版社.
- 黄锡畴 1982 试论沼泽的分布和发育规律. 地理科学 2(3):193—199.
- 黄锡畴等 1982 长白山自然保护区生态环境的化学结构. 地理学报 37(1):65—74
- Бейс, А.А. (朱颜明等译) 1982 环境地球化学. 84—85页. 科学出版社.
- Перельман, А.И. (龚子同等译) 1975 后生地球化学. 科学出版社.
- Föstner, U. 1979 Metal Pollution in the Aquatic Environment. New York.
- Waughman, G.J. et al. 1984 The distribution of major elements between some ecosystems components in different peatland zones. *Proc. 7th Int. Peat Cong.* 2:32—48.

THE CHEMICAL CHARACTERISTICS OF ECOLOGICAL ENVIRONMENT OF MIRES IN SANJIANG PLAIN

Jin Tailong

(Changchun Institute of Geography, Academia Sinica, Changchun)

The paper comprehensively explains characteristics of content, distribution and migration for 15 nutrient elements in various ecological environment of mire ecosystems which includes soils, plants and surface water in Sanjiang Plain. It has been shown that:

(1) In mire soils contents of N, P, K, Na, Zn and Co are relatively rich, and that of Ca, Mg, Fe, Ni and Al are relatively poor. The vertical and horizontal distributions of elements in the mire soils are shown as stratification and zonation, respectively.

(2) Helophytes of the region have functions of concentrating K, Ca, Fe and Mo, and the ability of biological migration or transformation of P, Mo and Mn is relatively strong and that of Co, Na and Al is relatively weak among the 15 elements.

(3) In the water body of the various mire ecosystems contents of all chemical elements but Mo are much higher than that in other natural water body, such as some rivers of the region, and the water migration ability of Ca, Mg, Cu and Mn is stronger and that of Fe, Mo, K and Zn is weaker than the others among the 15 elements.