

西江三角洲河口滨海低地土壤 地球化学的初步研究*

白藤定位观测站 黎积祥执笔

(地理系)

摘 要

西江三角洲河口滨海低地土壤富含水分、盐分、和养分，故盐生植物的红树林、茫茫有机体中钠的含量很多，禾本科的蘆葦中则以硅占优势。土壤盐渍地球化学主要特性是雨季脱盐化 ($Cl^-/SO_4^{2-} < 1$)，旱季盐渍化 ($Cl^-/SO_4^{2-} > 1$) 相互更替，而全年中5月和10月是土壤中水、盐运行的转折点，也是水稻生长的重要关键。

珠江三角洲是我国农业生产的重要基地之一，每年为国民经济提供大量商品粮和各种经济作物，因此我们进行定位观测研究西江三角洲土壤水分、盐水和养分的动态，对于发展社会主义农业生产具有主要的意义。

一 影响土壤地球化学过程的因素

西江三角洲河口地处潮湿的热带北缘向亚热带过渡地区，气温高（年平均温度 $21.5-23.0^{\circ}C$ ），雨量多（年雨量 $1500-2000$ 毫米），但全年水热条件的季节性变化明显，春旱秋涝，干湿交替，影响土壤中水分、盐分和养分的转化、迁移和聚积。

西江流域集水面积广大，带来大量泥沙，进入三角洲河口地区发生沉积，另一方面海潮上涨带来大量滨海相沉积物，所有这些物质含有较多的胶体，它们具有很强的吸收性能，吸附保蓄各种灰分元素和氮素而为滨海高等植物定居和发展创造有

* 本文系由中山大学地理系、广东省水电厅水文总站协作建立定位观测站的研究成果，参加工作人员有中山大学谢永泉、汪晋三、黄新华、曾燕祥、郎好善、莫大伦、麦荣基、邓尚桐、广州地理研究所陈澄文等同志，附图由李莹珊同志绘制。此致谢忱。

利条件。

初期形成的白滩, 虽然没有生长高等植物, 但这些河相和滨海相沉积物含有较多的养分和盐分, 当露出低潮线后, 首先生长耐淹耐盐的紅树林 (由秋茄 (*Kandelia Candel*)、桐花树 (*Aegiceras Corniculatum*)、老鼠勒 (*Acanthus ilicifolius*) 等组成) 和荳蔻 (*Cyperus malaccensis*) 的植被类型。土壤生物地球化学过程增强, 随着时间延长, 沉积物的不断淤积和滩地的扩展, 咸潮活动减弱, 逐渐为半盐生的芦苇 (*Phragmites Communis*) 群落所代替, 组成了热带滨海低地植被所特有的生态演替系列。

在滨海荒滩地, 人为修筑堤围栽培水稻, 防咸抗咸, 引淡洗盐, 促进土壤脱盐化过程。

二 土壤与植物之间的物质循环

西江三角洲河口低地土壤中有机物质相当丰富, 含氮量也多, 主要来源于水生

表 1 土壤的一般化学组成
(时间: 1962年1月, 地点: 中山县白荇海堤附近)

地 点	植 被	土 壤	深 度 (厘米)	pH	全盐量 %	有机质 %	全 氮 %	C/N
堤外800米	—	原始盐渍	0—5	7.9	0.490	2.06	0.1057	11.29
		沼泽土	5—20	7.8	0.350	2.02	0.0648	18.13
			20—50	7.8	0.400	1.82	0.0937	11.29
堤外600米	—	原始盐渍	0—8	7.8	0.475	2.35	0.1030	13.24
		沼泽土	8—20	7.6	0.475	2.17	0.0488	25.62
			20—50	7.8	0.385	2.24	0.0809	16.07
堤外50米	荳蔻群落	草甸盐渍	0—10	7.8	0.810	2.32	0.1040	12.90
		沼泽土	10—30	7.8	0.725	2.01	0.1147	10.17
			30—50	7.8	0.400	2.19	0.1039	12.31
堤外15米	蘆葦群落	草甸盐化	0—10	7.5	0.775	2.43	0.1311	10.75
		沼泽土	10—30	7.2	0.625	2.28	0.1112	11.88
			30—50	7.8	0.513	2.16	0.0965	12.67
低围田 (成丰围)	水 稻	咸 田	0—15	6.0	0.210	3.23	0.1434	13.06
			15—30	7.8	0.220	2.10	0.0782	15.57
			30—50	7.2	0.195	2.39	0.1181	11.72
中围田 (和兴围)	水 稻	油 格 田	0—18	5.8	0.075	3.59	0.1742	11.96
			18—35	6.8	0.140	3.06	0.1264	14.03
			35—70	6.8	0.235	3.64	0.1344	15.73

采用常规法测定, 分析者: 麦荣基、邓倚同

动、植物殘体和悬浮物质，在沒有生长植物的原始盐漬沼泽土有机质含量达2.0—2.5%，随着为茫茫芦苇植被系列的更替，以至栽培水稻群落，土壤有机质含量逐渐增加，全氮量相应地提高(0.04—0.18%)，C/N比例变动于10—20之間(表1)，由于土壤脫沼泽化过程，好气性微生物活动增强，有利于有机物质的分解和矿质化作用，轉化为简单的化合物和元素，参与土壤地球化学过程。

根据土壤的光譜分析結果(表2,3)可以看出，由于滩地发展，潮水入侵界限向海推移，以及引淡水的灌溉淋溶作用，土壤中鈣、鎂含量减少。从沼泽盐土演变为咸田、油格田的过程，鈣含量序列由首位退居于末位，这表明了土壤脫盐基化过程的标志。

茫茫是泥滩发展过程的先鋒植物，耐淹性和抗盐性很强，有机体中含鈉量最多(表4、图1)，細胞质还含有較多的硅、鉀、鉄，因此栽培茫茫不仅促进海滩的发展，同时也增加經濟收益。

表4 西江三角洲河口的植物化学組成比例关系(占干物质%)

植 物	化 学 元 素 对 比 关 系
蘆 葦 (花、叶、茎、 根的平均)	$\frac{\text{Si}}{6.25} > \frac{\text{K}}{1.75} > \frac{\text{Na}}{1.63} > \frac{\text{Fe}}{1.45} > \frac{\text{Mg}}{0.85} > \frac{\text{Ca}}{0.39} > \frac{\text{B}}{0.032} > \frac{\text{Al}}{0.25} > \frac{\text{P}}{0.14} > \frac{\text{Mn}}{0.095} >$ $> \frac{\text{Ti}}{0.055} > \frac{\text{V}}{0.024} > \frac{\text{Pb}}{0.017} > \frac{\text{Zn}}{0.015} > \frac{\text{Cr}}{0.0055} > \frac{\text{Y}}{0.0043} > \frac{\text{Cu}}{0.003} >$ $> \frac{\text{Co}}{0.0025} > \frac{\text{Ni}}{0.0015} > \frac{\text{Sn}}{0.00075}$
茫 茫 (叶、茎、 根)	$\frac{\text{Na}}{4.25} = \frac{\text{Fe}}{4.25} > \frac{\text{Si}}{2.5} > \frac{\text{K}}{2.0} > \frac{\text{Mg}}{0.65} > \frac{\text{Al}}{0.25} > \frac{\text{P}}{0.15} > \frac{\text{Ti}}{0.15} > \frac{\text{Ca}}{0.065} > \frac{\text{B}}{0.055} >$ $> \frac{\text{Zn}}{0.043} > \frac{\text{Mn}}{0.041} > \frac{\text{Pb}}{0.017} > \frac{\text{Co}}{0.0075} > \frac{\text{Cr}}{0.0055} > \frac{\text{V}}{0.0055} > \frac{\text{Sn}}{0.0033} >$ $> \frac{\text{Cu}}{0.003} = \frac{\text{Ni}}{0.003}$
紅 樹 林 (叶、茎、 根)	$\frac{\text{Ca}}{5.68} > \frac{\text{Na}}{5.3} > \frac{\text{Mg}}{4.1} > \frac{\text{K}}{3.6} > \frac{\text{Si}}{1.66} > \frac{\text{Al}}{1.04} > \frac{\text{Fe}}{0.52} > \frac{\text{Mn}}{0.21} > \frac{\text{P}}{0.14} > \frac{\text{Zn}}{0.075} >$ $> \frac{\text{B}}{0.022} > \frac{\text{V}}{0.0075} > \frac{\text{Ti}}{0.0065} > \frac{\text{Co}}{0.002} = \frac{\text{Cu}}{0.002} > \frac{\text{Cr}}{0.0017} > \frac{\text{Y}}{0.0017} >$ $> \frac{\text{Sn}}{0.0007} > \frac{\text{Ni}}{0.0003}$

編制人：莫大伦、黎积祥

紅树林也有耐淹抗盐的习性，植株体内富含鈣、鈉、鎂、鉀等碱金属和碱土金属元素，而与潮水和土壤的化学組成相一致。

表 2 土壤的光谱(半定量)分析结果

土壤	元素含量变化平均值 (%)																		
	Si	Fe	Al	Mg	Na	K	Ti	Mn	Ca	Zn	Ni	V	B	Pb	Co	Cr	Y	Cu	Sn
原始盐渍沼泽土	10	9.17	8.75	3.0	2.55	2.0	0.4	0.28	0.065	0.03	0.028	0.028	0.027	0.017	0.0065	0.0055	0.0055	0.0017	0.001
草甸盐渍沼泽土	10	7.5	3.0	2.55	2.0	0.4	0.28	0.18	0.03	0.028	0.028	0.027	0.027	0.017	0.0065	0.0055	0.0055	0.0017	0.001
咸田	10	7.5	3.0	2.55	2.0	0.4	0.28	0.048	0.03	0.028	0.028	0.027	0.027	0.017	0.0065	0.0055	0.0055	0.0017	0.001
油格田	10	8.75	7.5	2.55	2.0	0.48	0.3	0.28	0.03	0.024	0.025	0.028	0.027	0.017	0.0065	0.0055	0.0055	0.0017	0.001

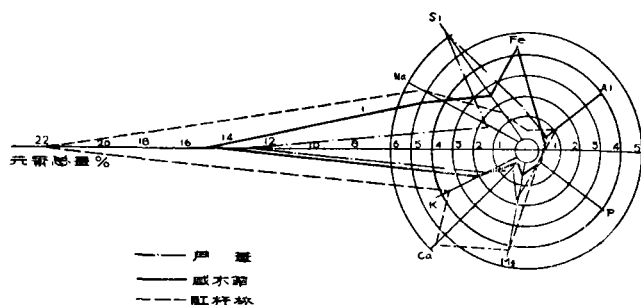
分析者: 谢永泉、麦荣基

表 3 土壤中化学元素迁移累积序列

土壤	元素迁移累积序列																			
	Ca	Al	Na	K	Mg	Si	Sn	Mn	Pb	Ti	Ni	Cr	V	B	Cu	Zn	Co	Y	Fe	
草甸盐渍沼泽土	2.77	>1.17	>1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	>0.87	
咸田	Al	Na	K	Mg	Si	Sn	Mn	Pb	Ti	Ni	Cr	V	B	Cu	Zn	Co	Y	Fe	Ca	
	1.17	>1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	>0.87	>0.73	
油格田	Al	Na	K	Si	Sn	Mn	Pb	Ni	Cr	V	B	Cu	Zn	Co	Y	Fe	Ti	Ca	Mg	
	1.03	>1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	=1.0	>0.87	>0.75	>0.16	

编制人: 莫大伦、黎积祥

图 1 植物灰分组成中的常量元素



芦苇分布在咸水与淡水交错的沼泽地，它的化学组成与红树林有所不同。芦苇是禾本科植物，植株体中硅和钾的含量显著增加。与青海、内蒙的芦苇相比，滨海芦苇中钠的含量较多，另一方面由于亚热带土壤和沉积物中富含铁、铝、锰等，故芦苇组成中的这些元素都较内陆的为多，微量元素的数量级，一般为 10^{-2} ，其中以锡、镍、铜、钴的含量最少。

不同植物所吸收和累积的各种元素，一方面决定于生境条件的特点，另一方与植物生理功能密关联。

茳芏对钠的强烈吸收和累积（表5、6），主要决定于它具有抗盐性的生理功能，而芦苇和红树林对钙的吸收最强，这与咸水淡化和土壤脱盐化过程有关。

表 5 西江三角洲河口滨海植物体中化学元素累积序列

植 物	化 学 元 素 累 积 序 列 (%)
芦 葦	Ca 2.15 > Cu 1.76 > B 1.20 > Pb 1.0 = Cr 1.0 > K 0.88 > V 0.86 > Y 0.78 > Sn 0.75 > Na 0.64 > Si 0.63 > Zn 0.50 > Co 0.38 > Mn 0.31 > Fe 0.18 > Ti 0.14 > Ni 0.054 > Al 0.026
茳 芏	B 2.07 > Na 1.9 > Cu 1.81 > Zn 1.45 > K 1.0 > Pb 1.0 = Cr 1.0 = Y 1.0 > Ca 0.8 > Fe 0.58 > Ni 0.56 > Ti 0.37 > Co 0.37 > Sn 0.33 > Si 0.25 > Mg 0.22 > V 0.19 > Mn 0.15 > Al 0.026
紅 樹 林 (桐花树 老鼠勒)	Ca 31.04 > Zn 2.5 > Na 2.34 > K 1.8 > Mg 1.36 > Cu 1.21 > B 0.84 > Mn 0.72 > Sn 0.70 > Pb 0.66 > Co 0.31 > Y 0.30 > Cr 0.30 > V 0.23 > Si 0.17 > Al 0.10 > Fe 0.069 > Ti 0.016

編制人：莫大伦、黎积祥

表 6 西江三角洲河口滨海植物对矿质营养元素的吸收、累积序列*

植 物 数	蘆	葦	注	苳	紅 樹	林
	$n \cdot 10^1$	$n \cdot 10^0$	$n \cdot 10^1$	$n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10^1$	$n \cdot 10^{-2}$
I、最强烈累积元素 $A_x = n \cdot 10^1$					Ca	
II、强烈累积元素 $A_x = n \cdot 10$	Ca, Cu B		B, Na Cu, Zn		Zn, Na K, Mg Cu	
III、弱累积元素 $A_x = n \cdot 1$	Pb, Cr		K, Pb Cr, Y			
IV、中度摄取元素 $A_x = n \cdot 10^{-1}$		K, V Y, Sn Na, Si Zn		Co Fe Ni		B Mn Sn Pb
V、弱度摄取元素 $A_x = n \cdot 10^{-2}$		Co, Mn Fe, Ti		T, Ca B, Si Mg, V Mn		Co, Y Cr, V Si, Al
VI、极弱摄取元素 $A_x = n \cdot 10^{-3}$					Al	Fe Ti

編制人：莫大伦、黎积祥

* 植物对元素的吸收系数，采用波雷諾夫和彼列尔曼的计算方法。公式： $A_x = \frac{I_x}{n_x}$ 生物累积元素 $A_x > 1$ ，生物摄取元素 $A_x < 1$ （ $A_x =$ 植物吸收系数， $I_x = x$ 元素在植物灰分组成中的含量， $n_x = x$ 元素在土壤中的含量）。

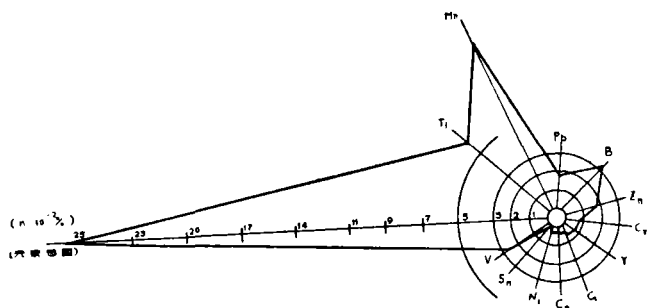


图2 蘆葦灰分組成中的微量元素

各种植物对硼都有强烈吸收，在淹水的嫌气条件下，硼的矿质营养能改善植物根系氧的供应状况，调节植物体内的氧化还原系统，增强酶的活性和糖类的代谢作用，此外，各种植物对铜、铅、铬、锌等的吸收，也许这些微量元素对于植物的抗水性和抗盐性具有特殊的生理功能效应。

尽管热带亚热带土壤含有较多的硅、铁、铝、钛等元素，但植物对于这些元素的吸收是极其微弱的。植物灰分组成中，一般常量元素较多，而微量元素较少，但在生物吸收系列中，某些微量元素吸收增强甚至跃居前列，而某些常量元素却退居于末位，这样充分反映了植物生理营养需要的生物选择吸收性能。

各种常量元素的植物灰分组成及其生物吸收系列的对比关系如下：

紅树林	$\left\{ \begin{array}{l} \text{灰分組成} \\ \text{生物吸收系列} \end{array} \right.$: Ca—Na—Mg—K—Si—Al—Fe
		: Ca Na, K, Mg, Si, Al Fe
荳 苳	$\left\{ \begin{array}{l} \text{灰分組成} \\ \text{生物吸收系列} \end{array} \right.$: Na—Fe—Si—K—Mg—Al—Ca
		: Na, K Ca Fe, Si, Mg Al
芦 葦	$\left\{ \begin{array}{l} \text{灰分組成} \\ \text{生物吸收系列} \end{array} \right.$: Si—K—Na—Fe—Mg—Ca—Al
		: Ca K, Na, Si Ca, Fe, Al

在滨海低地的植被下，土壤中钙的累积比无植被的原始盐渍沼泽土多三倍，这显示了土壤和生物间的元素交换和循环，栽培水稻后，每年从收获物中带走了大量灰分元素和氮素，因而在咸田和油格田中钙的累积显著减少。铝在土壤中累积系列很高，主要是从广大地区富铝化风壳和红壤中淋出氧化铝而在三角洲沉积，另一方面植物对铝的吸收极微，故土壤中引起铝的富集现象。

三 滨海低地土壤盐渍地球化学的特性

西江三角洲河口低地土壤的盐渍地球化学特性与内陆盐土不同，这里咸潮是土壤盐分的主要来源。这些土壤的盐分平衡具有明显的季节性变化，旱季的枯水期（10

月至翌年 4 月) 河水少, 潮水多, 咸潮带来的可溶性盐聚积于土壤中而引起盐渍化过程; 雨季的汛期 (5—9 月) 则以河水占优势, 一方面压制咸潮入侵, 另一方面淋失土壤中的残余盐分, 促进土壤脱盐化过程。

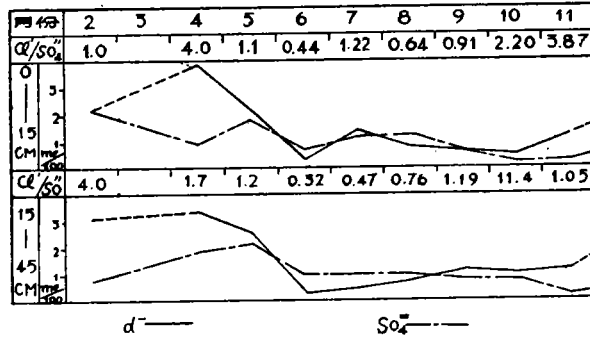


图 3 油格田 Cl⁻ 和 SO₄⁼ 含量季节性变化过程线 (1962 年)

全年各月油格田中 Cl⁻ 和 SO₄⁼ 变化的过程线 (图 3) 可以看出, 其中 Cl⁻ 的含量变幅大, 最大与最小值相差 3.7 毫克当量/100 克土, SO₄⁼ 的变化较为平稳。洪水期 (6—8 月) Cl⁻/SO₄⁼ 比值小于 1, 但旱季开始 (10 月) 直至雨季来临 (5 月), Cl⁻/SO₄⁼ 比值皆在 1 以上, 因此每年 4—5 月和 9—10 月是土壤脱盐化和盐渍化的转折点, 而底土盐渍化在上半年延迟一个月, 下半年则提早一个月, 前期是早稻回青期, 而后期则为晚稻的扬花灌浆期, 在此关键季节采取防止土壤盐渍化是获得水稻高产稳产的重要措施。



图 4 油格田 Cl⁻ 和 SO₄⁼ 含量的季节变化

堤外盐渍沼泽土的脱盐率达 76%, 主要由于水体淡化, 对于可溶性盐的强烈淋洗, 各种离子中以 Cl⁻ 和 Na⁺ 的变幅最大 (表 7、图 5)。

表7 灘地和水田土壤可溶性鹽類的季節變化

採樣地點	植被	土壤	時間	深度 (cm)	水浸堤的可溶性鹽me/100g						Cl'/So ₄ '	脫鹽率% (NaCl)
					Hco ₃ '	Cl'	So ₄ '	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺		
和興圍	水稻	油格田	12月 (旱季)	0-15	0.249	1.200	0.310	0.200	0.850	0.709	3.87	37
				15-45	0.187	1.200	1.140	0.025	0.830	1.447	1.05	
			9月 (雨季)	0-15	0.374	0.500	1.050	0.230	1.010	0.684	0.47	
				15-40	0.311	0.800	1.240	0.550	1.089	0.921	0.64	
				40-50	0.311	0.800	1.050	0.450	0.960	0.751	0.76	
白藤西堤外灘地	荳蔻+蘆葦	草甸鹽漬沼澤土	12月 (旱季)	0-10	0.498	4.600	0.730	0.420	0.790	4.620	6.39	76
				40-50	0.623	2.900	0.330	0.490	0.490	2.980	8.80	
			8月 (雨季)	0-10	0.560	0.570	0.930	0.300	0.850	0.910	0.61	
				10-40	0.623	1.250	1.260	0.270	1.130	0.730	0.99	

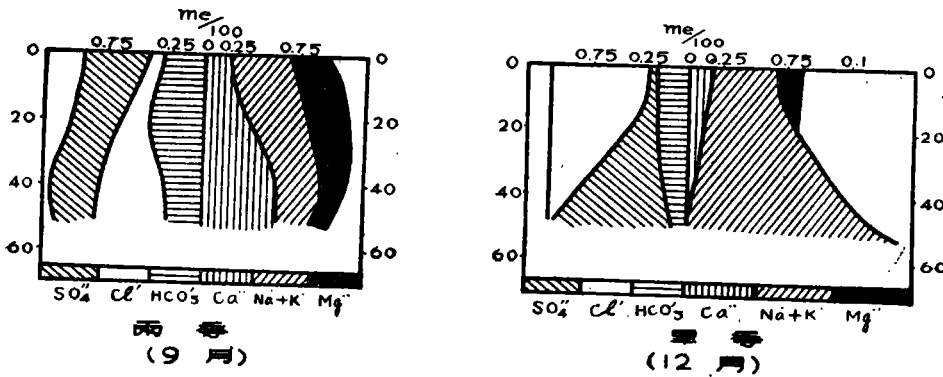


图5 油格田剖面中可溶性鹽組成的變化

堤內的油格田，雨季鹽分淋聚至30厘米深處，各離子均有隨深度而增加趨勢。旱季表土Cl⁻離子增多，而SO₄⁼含量減少，Cl⁻/SO₄⁼比值達3.87，雨季脫鹽率為39%，這表明了水稻土脫鹽化過程的主要特徵。不論堤內或堤外的各種土壤，在強烈淋溶作用條件下，它們皆屬於脫鹽化的鹽分平衡類型。

為了加速土壤脫鹽化過程及其培育土壤肥力，必須修築堤圍，防咸抗咸合理灌溉，引淡洗咸，修建山塘水庫，沖洗鹽分，採取正確的耕作、輪作、施肥制度，改善土壤物理結構性，犁冬晒白，切斷土壤毛細管，防止水鹽向表土運行和聚積，合理布置排灌渠系，平整土地，選育耐咸品種，培育老壯秧，所有這些農業技術措施是獲得作物高額而穩定增產的重要關鍵。

四 結 語

1. 濱海低地紅树林和苕芎的灰分組成以鈉的含量較多, 充分显示了这些植物的抗盐性, 芦葦則以硅占优势, 这是禾本科植物所固有的生物学特性。

2. 各种植物对硼的强烈吸收和累积有利于沼生植物体内氧化还原系统的調节及其糖类的代謝作用。它們从土壤中选择吸收各种常量和微量元素反映了这些植物的沼生、盐生特殊的生理营养功能效应。

3. 濱海低地土壤盐漬地球化学主要特征是: 雨季脫盐化 ($Cl^-/SO_4^= < 1$) 和旱季盐漬化 ($Cl^-/SO_4^= > 1$) 过程, 每年 5 月和 10 月是两者相互更替的轉折点, 同时也是水稻生长发育的关键季节。

4. 土壤中可溶性盐类含量的季节性变化是: 旱季表土增多, 底土减少, 雨季則反之。

参 考 文 献

- [1] B.A. 科夫达 盐漬土的发生与演变 科学出版社
- [2] B.A. 科夫达 中国之土壤与自然条件概論 科学出版社
- [3] A. П. 維諾格拉多夫 动植物生活中的微量元素 (上册) 科学出版社

Предварительное исследование геохимии почв приморской низменности в устьевой области Р. Сицзяня

Ли Ци-сян

Резюме

Почвы приморской низменности в устьевой области Р. Сицзяня обогащены влагой, солями и элементами питания. Растительный организм мангровых зарослей и *Suaeda malacensis* как галофитов содержит большое количество натрия, а в составе тростников преобладает кремний. Основной геохимической особенностью засоления почвы является чередование рассоления в дождливый сезон ($Cl^-/SO_4^= < 1$) и засоления в сухой сезон ($Cl^-/SO_4^= > 1$). В течение года май и октябрь оказываются переломными временами движения влаги и солей в почве, а также важными моментами в росте и развитии риса.