

西江三角洲水稻化學組成及 其和土壤間物質交換

謝永泉 唐永鑾

(地理系)

一 水稻的生態條件

西江三角洲大致包括以羚羊峽為頂點，崖門、橫門的聯綫為底邊的三角形範圍，面積約2000方公里。占珠江三角洲面積五分之一。三角洲內，水稻廣布，如中山、新會兩縣水稻種植面積占耕地總面積91%以上〔1〕。水稻收成好壞，關係全省商品糧的供應。如何提高水稻單位面積產量和擴大種植面積，是西江三角洲農業生產上的關鍵問題。

西江三角洲氣候優越，熱量豐富，日均溫 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ （水稻開始生長的臨界溫度）的積溫達7200—8000 $^{\circ}\text{C}$ ，連續期300—350天，日均溫 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ （水稻結實的臨界溫度）的連續天數為280—320天。即水稻生長季（由水稻生長開始期至生長終止期）一般在290天以上，普遍可種雙季稻，部分地區也有種三季稻的可能。

在水稻生長期中，需要大量水分，雙季稻蒸騰量共約900毫米〔3〕，加上田面蒸發，消耗水量達1750—2000毫米。較西江三角洲雨量（1500—1700毫米）略高。但這裡河汊縱橫，水源充足，潮灌方便。低圍田每天均有潮水上田，中圍田每月有15天，高圍田有6—7天可以潮灌。

三角洲土層深厚，土質肥沃，泥肉田有機質含量為2—5%，礦物質營養元素也很豐富。新圍田三年不施肥，產量不減。

由於西江三角洲不斷向海外伸展，每年外伸可達100米，淤高3至4寸〔4〕。每年露出海灘地有一、二千畝。目前可以圍垦的海灘在10萬畝以上。大都有栽培水稻的條件。

西江三角洲發展水稻也存在一些不利因素。澇、風和咸害較為突出。大致在思賢滯以北，屬於洪潦區，思賢滯和外海、容奇之間，為洪潮頂托區，分汊多，水流

分散, 风、潮、洪均有影响, 旱年咸潮也可波及。外海和容奇以南, 台风和咸潮影响最大, 属台、潮、咸区, 其中以百花头(横门)(距河口23公里), 竹良(磨刀门)(距海25公里)、乾雾冲口(鸡啼门)、梅阁(虎跳门)和三江(崖门)以南, 咸潮影响最大, 含盐量常在3%以上。本文着重咸害的讨论, 分析 Na^+ Cl^- 在水稻和土壤间交换, 附带论述营养元素的交换。

二 水稻的化学组成

水稻主要组成成分为氮、磷、钾、钙、硫、铁、锰、硅、镁等。其中灰分元素含量顺序为: $\text{Si} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{P}$ [4]。根据近两年多次(81个样品)水稻灰分的光谱分析(采用苏式 ИСП-28 型中度色散水晶光谱仪, 用狭缝 $10-12 \mu$, 电流 $12-16 \text{A}$ 进行摄谱, 利用 $2300-4900 \text{\AA}$ 波段进行测量, 常用波段为 $2300-3400 \text{\AA}$), 得到类似结果。惟各个地区水稻灰分元素组成有较大差异, 在无咸害地区, Si 的含量特高, 在10%以上, 其次为K, 占3-10%, Na 的含量很小, 不过0.1%。在咸害区, Na 的含量特高, 可达10-20%, Si 和 K 含量相对减少, 常在3%上下。

例如江门北街广场13号根、茎、叶的灰分分析, 其主要灰分元素平均含量顺序:

$\text{Si} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}, \text{Na} > \text{Fe}, \text{P}, \text{Mn}, \text{Ti} > \text{Al} > \text{B} > \text{Cu}, \text{V}, \text{Sr}, \text{Ba}$
 $\% > 3-5 \quad 2-4 \quad 1 \quad 10^{-1} \quad 10^{-1}-10^{-2} \quad 10^{-2} \quad 10^{-2}-10^{-3} \quad 10^{-3}$

中山张家边神涌大队广场13号谷穗灰分元素含量顺序:

$\text{Si} > \text{K} > \text{Ca}, \text{Mg}, \text{P}, \text{Al}, \text{Mn}, \text{Na} > \text{Fe}, \text{Ba} > \text{B}, \text{Cu}, \text{Mo}$
 $\% > 10 \quad 3 \quad 10^{-1} \quad 10^{-2} \quad 10^{-3}$

乾雾民田水稻根、茎、叶穗灰分元素平均含量顺序:

$\text{Si} > \text{K} > \text{Ca}, \text{Fe} > \text{Mg}, \text{P}, \text{Mn}, \text{Na} > \text{Al}, \text{Ti} > \text{B}, \text{Mo}, \text{V}, \text{Co}$
 $\% > 3-5 \quad 1-3 \quad 1-10^{-1} \quad 10^{-1} \quad 10^{-2} \quad 10^{-3}$

咸田区, 由于土壤和灌溉水的盐分影响, 水稻灰分一般含 Na^+ 和 Cl^- 特高(图1), 如平沙沙尾南特16号水稻水浸提液分析, 叶含 Cl^- 为59.94毫克当量/100克干物质(郑远昌分析)。平沙九顷南特16号叶、茎、根灰分元素平均含量顺序:

$\text{Na} > \text{K} > \text{Si} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Mg}, \text{P} > \text{Mn}, \text{Ti} > \text{Al} > \text{B} > \text{Cu}, \text{Ni}, \text{Co}$
 $\% 5-10 \quad 1-5 \quad 1-3 \quad 10^{-1}-5 \quad 10^{-1}-2 \quad 10^{-1}-1 \quad 10^{-1} \quad 10^{-1}-10^{-2} \quad 10^{-2} \quad 10^{-3}$

斗门新屋南特16号茎、叶、叶鞘、根灰分元素平均含量顺序:

$\text{Na} > \text{Si}, \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}, \text{P}, \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Al}, \text{Ti}, \text{Cu} > \text{Mo}, \text{Ni}$
 $\% 5-10 \quad 1-10 \quad 10^{-1}-3 \quad 10^{-1} \quad 10^{-1}-10^{-2} \quad 10^{-2} \quad 10^{-3}$

谷粒也有类似反映, 竹良、三江以北非咸田区, 谷粒灰分中Na的含量很低, $10^{-2}\%$ 以下, 咸田区则较高, 在 $10^{-1}\%$ 以上。

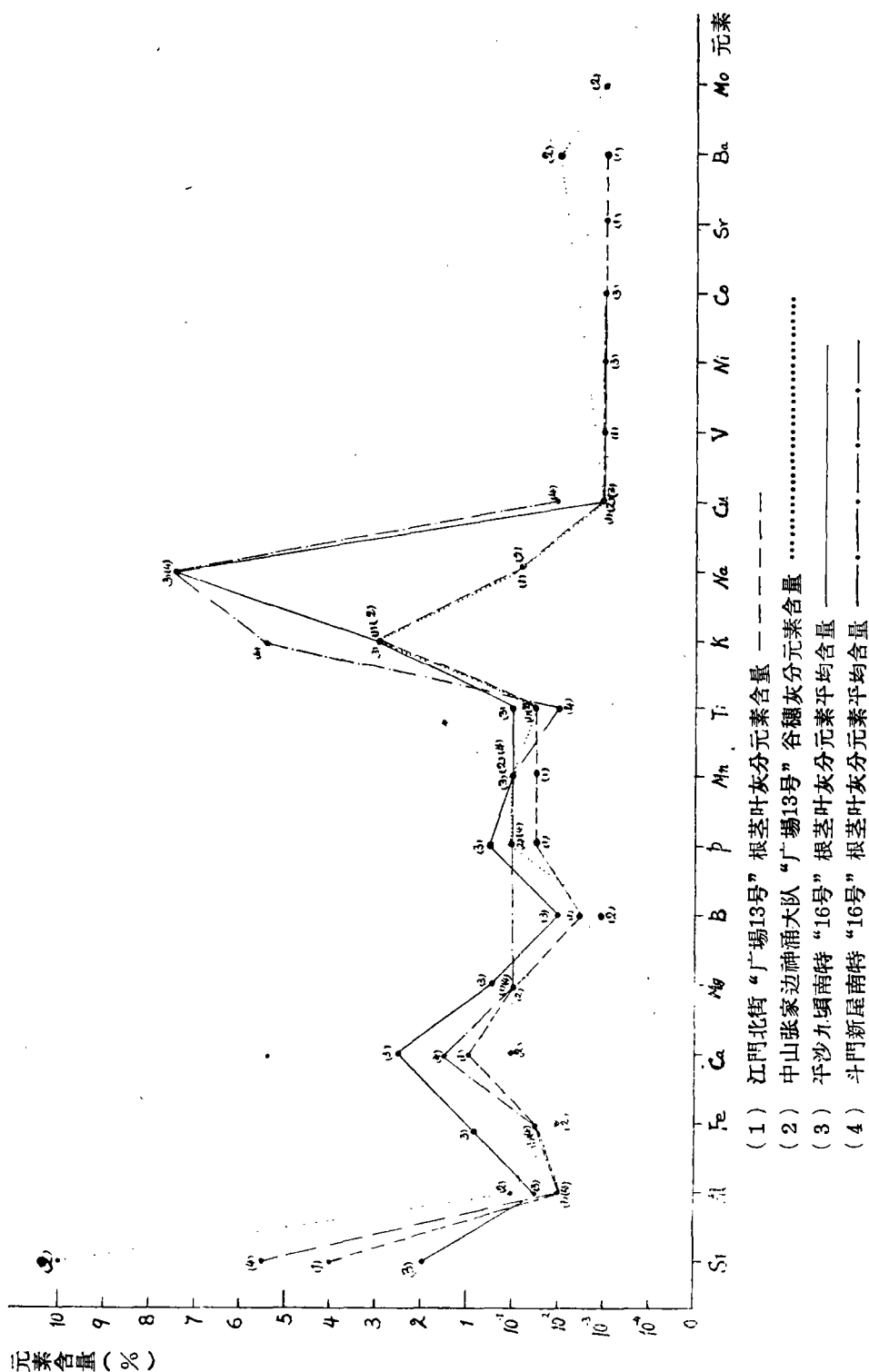


图 1

在咸害地区, 不同品种对土壤盐分吸收有較大差异, 一般抗盐品种, 渗透压高, 盐分較难进入, 生物体内含 Na 和 Cl 远較不耐咸品种少。例如矮脚南特有一定耐盐能力, 广矮六号有較强抗咸力, 灰分中 Na 的含量不过 $10^{-1}\%$, 只及南特16号的 $1/50-1\%$ 。其元素含量順序几和非咸害相似(图 2)。

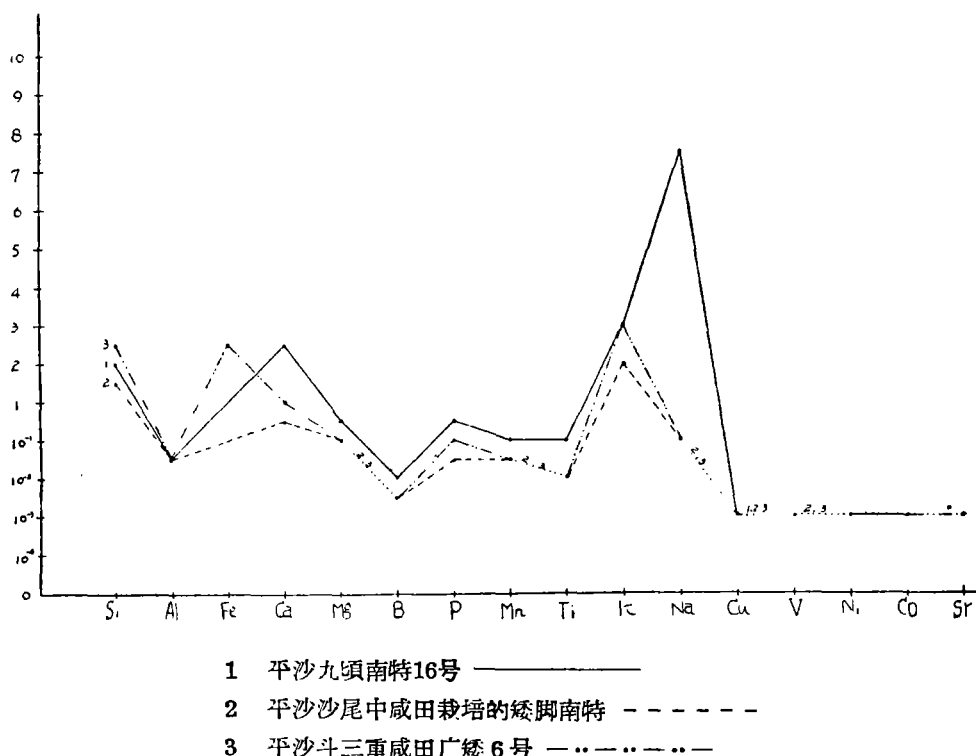


图 2 西江三角洲咸田地区水稻不同品种根、茎、叶灰分元素含量比較图

平沙沙尾中咸田栽培的矮脚南特的根、茎、叶、灰分元素平均含量順序:

$K > Si > Ca > Mg, Na, Fe > P, Mn, Al > Ti > B > V, Cu, Sr$
 $\%1-3 \quad 10^{-1}-3 \quad 10^{-1}-1 \quad 10^{-1} \quad 10^{-1}-10^{-2} \quad 10^{-2} \quad 10^{-2}-10^{-3} \quad 10^{-3}$

平沙斗三重咸田中的广矮六号*, 其根、叶、茎灰分元素平均含量順序:

$K > Si, Fe > Ca > Mg, P, Na > Mn, Al > Ti > B > Cu, V$
 $\%1-5 \quad 10^{-1}-5 \quad 1 \quad 10^{-1}-1 \quad 10^{-1}-10^{-2} \quad 10^{-2} \quad 10^{-2}-10^{-3} \quad 10^{-3}$

水稻各个器官由于功能不一, 化学組成自然有較明显差异(表1图3)。茎叶灰分含量一般为13—20%, 谷粒为4.5—8.0%, 其中谷壳灰分含量很高, 达14—15%, 米粒主要为淀粉和蛋白質, 灰分含量很小, 为0.5—2%。

* 同一地区被咸死的水稻(六財), Na在稻体内占灰分20.14—20.67%(光谱定量分析)。

表 1 西江三角洲水稻各个器官的灰分元素平均量 (光谱分析) (分析者: 谢永泉)

	Si	Al	Fe	Ca	Mg	B	P	Mn	Ti	K	Na	备 注
根	$10^{-1}-5$	$10^{-1}-10^{-2}$	$3-10$	$10^{-2}-1$	10^{-1}	10^{-3}	10^{-1}	$10^{-1}-10^{-3}$	10^{-2}	$1-3$	$10^{-1}-5$	12个样品平均
茎	$>1-5$	10^{-2}	$1-10^{-2}$	$10^{-1}-1$	10^{-1}	10^{-3}	$10^{-1}-10^{-1}$	10^{-3}	10^{-2}	$5-10$	$10^{-1}-10$	11个样品平均
叶	$>3-10$	10^{-2}	10^{-1}	$10^{-1}-5$	$10^{-1}-1$	10^{-2}	$10^{-1}-1$	$10^{-1}-10^{-2}$	10^{-1}	$1-3$	$10^{-1}-10$	13个样品平均
谷粒	≥ 10	$10^{-1}-10^{-3}$	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-1}	$10^{-1}-10^{-2}$	$10^{-2}-10^{-3}$	$1-3$	$10^{-1}-10^{-2}$	22个样品平均
谷壳	>10	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	1	10^{-1}	11个样品平均
· 米	10^{-3}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	1	10^{-2}	×	$5-10$	10^{-1}	1 个样品

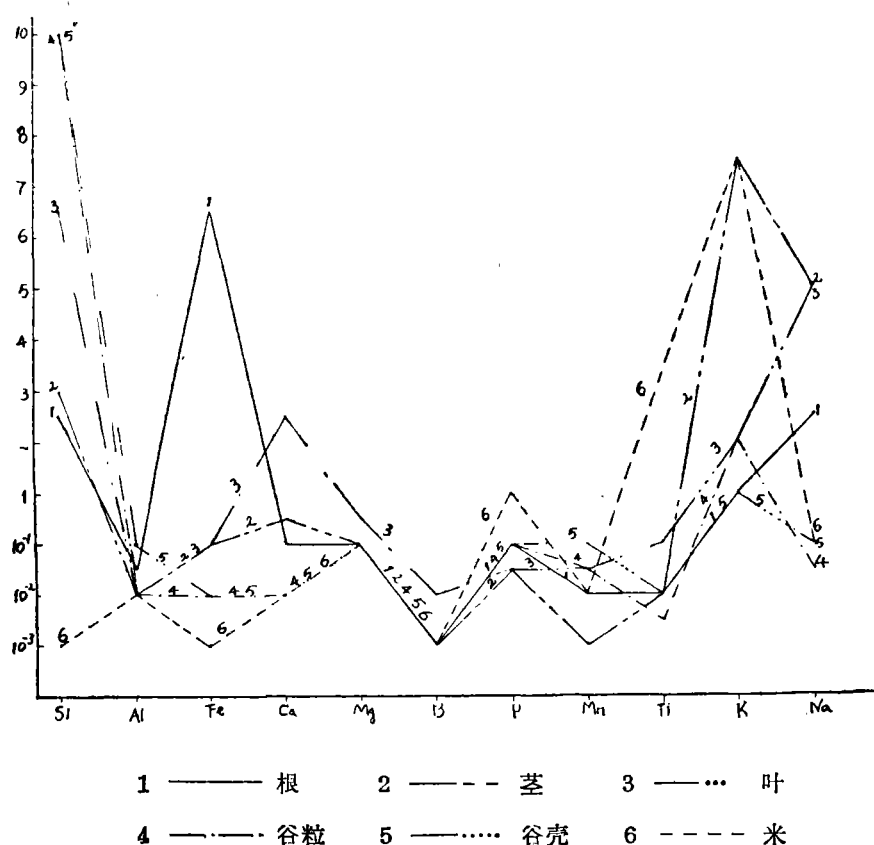


图 3 西江三角洲水稻各个器官灰分元素平均含量

硅在茎叶和谷壳中含量最高，米粒中最少。谷壳中硅占干物质的 12.03—19.57%，占灰分 91.22%—94.85%（表 2），和国外分析很相近〔7〕，糙米中，硅占干物质 0.1002%，占灰分 12.20%。经过显微摄影（图 4—10）和 X-粉末衍射法，均证明含硅很高。硅酸大部蓄积在表皮细胞中，促使表皮细胞发生硅质化，能使茎叶强硬，防止倒伏，防止水分过分蒸腾，防止病虫害。

叶子中铁、镁含量较高，这是很自然的，镁是叶绿素重要组成成分，铁在叶绿素合成中起着特殊触媒作用，根部含铁高，由于强烈吸收和吸附铁离子的结果。

米粒含磷和钾较高。磷和钾是米粒淀粉的合成必要物质。

钙以根茎叶含量最多，由于钙是细胞壁主要组成元素。

钠在米粒中最小。

其他元素差异不大。

表2. 西江三角洲水稻谷壳含硅分析

地 区	試 样	灰分占干重%	硅占干物質重%	硅占灰分重%
中山县平沙沙尾	广矮谷壳	15.63	14.39	91.65
中山县平沙九頃	南特16谷壳	13.06	12.03	91.61
中山县张家边	广矮谷壳	21.28	19.57	91.22
中山县中山农場	广矮谷壳	16.33	15.44	94.85
新会县北街	广矮谷壳	17.98	16.65	92.76

三 水稻的伴生植物和伴生植物的 灰分元素的化学組成

水稻伴生植物俗称稻田杂草，对稻田的生态条件有指示作用。

西江三角洲由海濱至三角洲頂部，随着水化学和土壤条件变化。伴生植物有规律的更替。

在重咸田中的伴生植物，只有稗 (*Echinochloa Crus-galli*) 和光头稗 (*E. Colonum*)，紅毛稗 (*E. Crus-galli* Var. *Crus-pavonis*)。抗咸能力远比水稻强。受咸以后根虽黑腐，只要稍有淡水进入，又可以重新分蘖出根。

中咸田中，水稻伴生植物比重咸田的种类丰富。田边可以看到蜚螞菊 (*Wedelia Chinensis*)，虾蛄菜 (*Alternanthera Sessillia*) 和鋪地黍 (*panicum repens*)。田中有鴨舌草 (*Monochoria Vaginalis*)，苦草 (*Vallisneria spiralis*) 和少量四叶蓮 (*Marsilea quadrifolia*)

輕咸田和三角洲一般不受咸害的稻田伴生植物相似。除稗子属以外，尚有四叶蓮、松毛蘭 (*Heleocharis acicularis*)、哇啤飘拂草 (*Fimbristylis squarrosa*)、夏飘拂草 (*F. aestivalis*)、稜穗飘拂草 (*F. dichotoma*)、紆莖飘拂草 (*F. leptoclada*)、日照飘拂草 (*F. miliacea*)、扁莖飘拂草 (*F. Complanata*)、鴨舌草、葱草 (*xyris pauciflora*)、黄眼草 (*xyris indica*)、草龙 (*Jussiaea linifolia*)、旱田草 (*Ilysanthes Ciliata*) 等。

丘陵山谷鉄锈水田中的水稻伴生植物，除松毛蘭大量生长以外，还有谷精草 (*Eriocaulon Wallichianum*) 和华凤仙 (*Impatiens Chinensis*) 等。反映酸性强，肥力差。平沙、斗門酸性特别强的丘陵附近稻田边，还有猪籠草 (*Nepenthes mirabilis*) 和茅膏菜 (*Drosera burmanni*)。

在深水的低洼积水的低鹽田 (肇庆——三水等地)，水稻伴生植物除稗属以外。較常見的有水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、莎草 (*Cyperus* Sp.)、卡氏画眉草 (*Eragrostis Charis*)、水生黍 (*panicum paludosum*) 以及蓮藕 (*Nelumbo nucifera*) 肇实 (*Euryale ferox*)、水皮蓮 (*Nymphoides Cristatum*)、慈姑 (*Sagittaris Sagittifolia*)、水車前 (*ottelia alismoides*) 等等。多为高秆和地下莖发达。

在伴生植物的化学組成上,也有較明显反映。稗在三角洲水稻田中广泛分布。由于含K和Ca、Mg較高,对土壤中盐分有很大适应性。一般在重咸田中,Na的含量較高,为輕咸田和非咸田中的10—30倍,K、Ca、Mg相对减少。由下列各地稗的根莖、叶灰分元素平均含量可以看出:

平沙斗三重咸田:

$K > Na, Si, Fe > Ca, Mg > P, Mn > Ti, Al > B > Cu, Mo, V$
 % 2—5 1—3 10^{-1} —1 10^{-1} 10^{-1} — 10^{-2} 10^{-2} 10^{-3}

斗門新屋:

$K > Ca > Na, Si > Mg > P, Fe, Mn > Ti > Al > B, Cu, Mo, V$
 % 5—10 3—5 3 1 10^{-1} —1 10^{-1} 10^{-2} 10^{-2} — 10^{-3}

鼎湖罗隐(非咸田):

$K, Si > Ca, Mg > Fe > Na, P, Mn > Al > B > Cu, Ti$
 % 5 1—3 10^{-1} —1 10^{-1} 10^{-2} 10^{-2} — 10^{-3} 10^{-3}

但重咸田中稗的 Na^+ 和 Cl^- 的含量較同一田中的南特16号低,后者灰分中Na的含量为前者2—3倍,水提液中 Cl^- 的含量为前者(35.6毫克当量/100克干物质)的2倍,而K的含量前者为后者的2倍,Ca、Mg略高。此可能是稗子比水稻抗咸力强的原因。

四 水稻和土壤間物质交換

西江三角洲水稻土絕大多数由濱海盐土逐漸演化而成。垦殖历史不长的沙田,一般含盐較多,重咸田含盐量可在3%以上,如平沙农场大虎分场斗十表土含盐量超过10%, Cl^-/SO_4^{--} 比值为2.5, $Na^+ + K^+/Ca^{++} + Mg^{++}$ 比值为1.7,斗四表土含盐量达6%, Cl^-/SO_4^{--} 为2.2, $Na^+ + K^+/Ca^{++} + Mg^{++}$ 比值为1.84。中咸田含盐量为2—3%。輕咸田为2%左右。 Na^+Cl^- 大量进入水稻体内。常引起盐腐现象。其过程可分为两个阶段:1.根部細胞原生质变性,体内物质外流,根部变細,2.纖維素脱水炭化,稻根变黑,重者引起水稻死亡。

咸田区除盐分較多外,由于潛水面較高, Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 相当活跃,在水稻和土壤之间的物质循环中,起着一定作用。特别是稻根中含量最高。

由于有机质丰富,活性磷以及Ca、Mg、K和其他元素在土壤中含量均較多,它們也积极参加水稻和土壤間物质交換,惟因 Na^+Cl^- 和 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 的影响,在水稻生长发育上每不能起着应有的作用。

不过,随着排灌系统的改善,精耕細作,土壤熟化程度逐漸加深,土壤組成和性态及其与水稻間物质交換不断发生变化:

由于脱盐过程加速,土壤盐分逐渐减少, Na^+ 、 Cl^- 在土壤和水稻物质交換中渐失去重要地位。

熟化層加深，潛水面下降，土壤中潛育層逐漸形成，鐵錳下移，趨于固定，轉入水稻中Fe和Mn大大減少。

磷隨着鐵錳趨于固定，有機質分解加強，物質淋移加大，因此土壤中營養元素供應有減少趨向。

由于淡水不断进入（西江河水属 $\text{SiO}_2\text{-HCO}_3^-\text{Ca}^+\text{Na}$ 水化学相），咸潮影响减少，稻田中硅酸态 SiO_2 含量增高，进入水稻中机会加大。Si在水稻灰分中，跃居首位。

可見，土壤由咸田轉变为非咸田以后，物質生物循环发生显著变化， Na^+Cl^- 对水稻威脅虽消除，出现營養元素不足。

五 小 結

通过西江三角洲水稻的化学組成及其与土壤間物質交換的初步分析，可以看出，在咸田区，对水稻生长主要威脅为 Na^+ 、 Cl^- ，其次为 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 和其他还原物質（如 H_2S ）。这里提高水稻产量，在于减少或消除土壤中盐分和降低潛水位。同时須培育抗咸品种，可从两个途径：1.根据抗咸力强的水稻品种和伴生植物的灰分分析，含K、Ca、Mg很高，含Na較少。因此，培育抗咸品种时，試增施K、Ca、Mg等肥料，促使这些元素含量增加，提高滲透压，阻挡 Na^+ 进入。2.加强抗咸品种及伴生植物的生态生理特性研究，选育适合当地品种。

在不受咸害地区， Na^+Cl^- 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 的威脅虽已消除，但由磷的固定，氮的释放，土壤肥力有下降趋向，稳产、增产、高产的关键在于增施有机肥、綠肥等。

本文經董汉飞、黎积祥同志审閱，提出宝贵意見，牟凌云同志协助显微摄影，特此致謝。

参 考 文 献

- 〔1〕 鍾功甫、李次民：珠江三角洲 商务印书馆 1960年。
- 〔2〕 竺可楨：論我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系 人民日报 1964年3月17日。
- 〔3〕 中国农业科学院农业气象研究室：水稻与气候 农业出版社 1963年。
- 〔4〕 唐永鑾、謝永泉：西江三角洲濱海荒滩形成和演化中地球化学过程的初步分析 中山大学学报 1961年第4期。
- 〔5〕 戶蒨义次、松尾孝岭：水稻生理 上海科学技术出版社 1960年。
- 〔6〕 沈学年：水稻 科学出版社 1955年。
- 〔7〕 克里亚金尼切夫：稻的生物化学 1958年（中譯本 1963年）。
- 〔8〕 戶蒨义次、山田登等編：作物的生理生态 科学出版社 1962年。

〔9〕 侯学煜等：中国150种植物的化学成分及其分析方法 高等教育出版社 1959年。

The Chemical Composition of the Rice of
the west-River Delta and Exchange of Matter
between Rice and Soil.

Chie Yung-quan Tong Yung-lain

The soil of the west-River Delta are partly saline and partly salt-free. There, rice is the dominant crop. The dissoluble salt of soil have influence on the chemical composition of rice. In the composition of the rice of the non-saline soil region, SiO_2 is the most abundant ($> 10\%$), but Na does not exceed 0.1% of the total amount of the ash elements of the saline soil region, Na is abundant, and may reach 10%—20% .

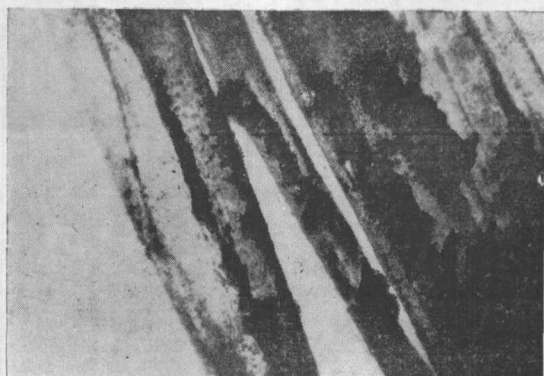


图4. 中山平沙沙尾广矮茎（經灰化未經酸洗）显微摄影（60倍）



图5. 中山平沙沙尾广矮茎（經灰化未經酸洗）显微摄影（60倍）

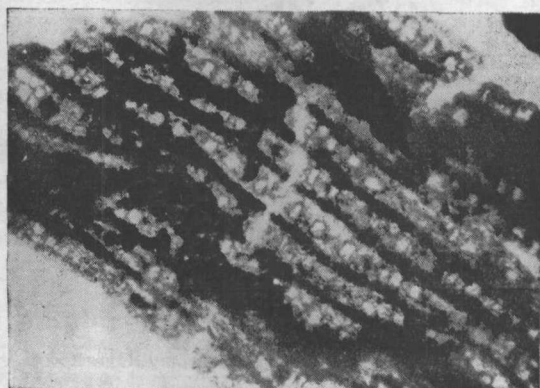


图6. 中山平沙沙尾广矮叶（經灰化未經酸洗）显微摄影（100倍）

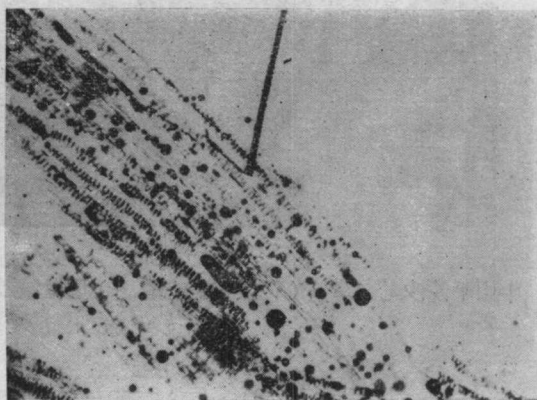


图7. 中山平沙沙尾广矮谷壳(灰化酸洗)显微摄影(60倍)

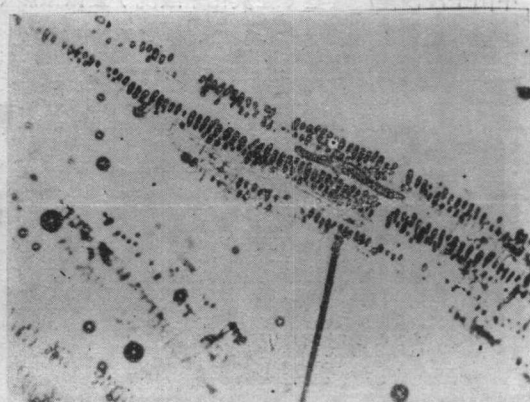


图8. 中山平沙沙尾广矮谷壳(灰化酸洗)的显微摄影(100倍)

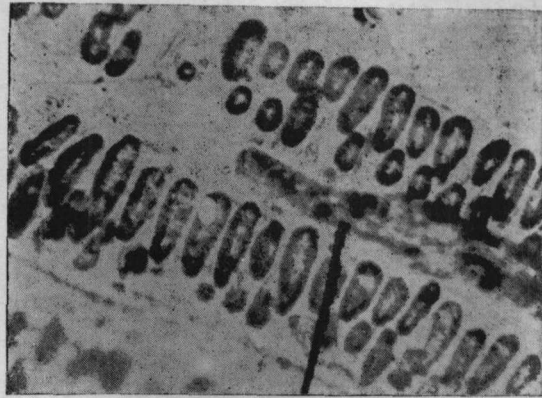


图9. 中山平沙沙尾广矮谷壳(灰化酸洗)的显微摄影(400倍)

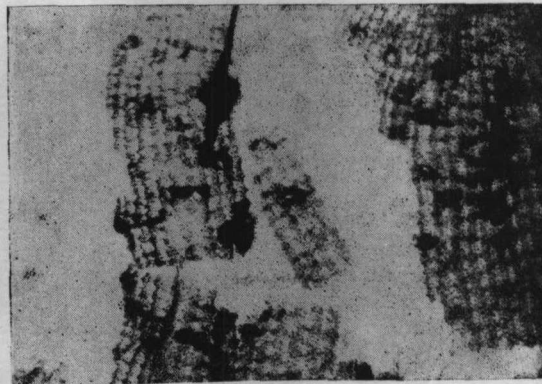


图10. 中山县中山农场广矮谷壳(灰化未经酸洗)的显微摄影(60倍)