

我国典型地区饮水中致突变性表征*

徐凤丹 范美云 宋瑞霞 张秀玲 周世伟 齐顺

(中国预防医学科学院环境卫生监测所,北京 100021) (中国预防医学科学院环境卫生与卫生工程研究所,北京 100050)

摘要 报道上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州、武汉和深圳等城市自来水的致突变性特征,以及上述城市自来水厂源水及其氯化源水致突变性的比较研究。发现7城市自来水中均含有移码型直接致突变物。TA98菌株是最敏感的监测菌株。另外,按水样比活性(reV/L)和浓集物比活性(reV/mg)为指标,则上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州和武汉等6城市自来水厂氯化源水对TA98(干S9)和TA100(干S9)2菌株的致突变性均明显地高于源水,上海市尤为突出。该结果也为研究饮水中氯化过程中有毒有机氯化物的生成机理而选择典型城市提供了科学依据。

关键词 饮用水,氯化,致突变性,Ames试验。

近年来,国内外学者对饮水有机污染可能引起癌症,特别是氯消毒对人体健康潜在影响特别关注。我国许多学者对江、河、湖水为水源的城市自来水进行了调查研究^[1-4]。由于所用吸附剂、洗脱剂及水样处理方法不尽相同,所以各实验结果无法比较。本实验采用XAD-2/8吸附柱、水样酸化处理、乙酸乙酯洗脱的浓集有机物方法^[5]和Ames试验检测方法,对我国南北方不同类型水源(地下水、地面水)和不同污染性质(工业和生活废水、富营养化水)的典型地区——上海、广州、深圳、昆明、武汉、沈阳和哈尔滨等城市自来水进行了致突变性调查,并对水源水及其氯化水样进行了致突变性比较研究。

1 材料和方法

1.1 选点和采样

于1992年3月—1993年4月期间,先后在上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州、武汉和深圳等7城市采集自来水出厂水及其源水。7城市自来水厂制水工艺见表1。

1.2 水样浓集的基本程序

(1)吸附柱 采用进口Amberlite树脂XAD-2和XAD-8各15ml先后装入层析柱中。

(2)水样浓集 本实验所测水样包括自来水、源水及其氯化源水水样3种。水样氯化、酸化

和脱氯均在玻璃瓶中进行。用电解法制备氯气。水样在pH6下加氯至余氯为10mg/L(以有效氯计)。自来水和氯化源水水样需加入硫代硫酸钠去氯。水样过柱前,上述各水样用HCl酸化至pH为2。控制过柱流速为30—60ml/min。

(3)洗脱和浓缩 过柱完毕,吹去柱中水分,加入7倍床体积纯化过的乙酸乙酯(A·R)。洗脱速度控制在3ml/min左右。洗脱液经无水硫酸钠脱水,旋转蒸发(水温控制在50℃左右)浓缩。浓缩液定容为25ml,储存于4℃冰箱内。临用时,吹N₂至干,恒重,溶于二甲基亚砜中,用于Ames试验。

1.3 致突变试验

采用Ames平板掺入法测定^[6]水样有机浓集物的致突变性。所用测试菌株为TA98和TA100菌株。经多氯联苯(PCB)诱导的大鼠肝匀浆(S9)做为体外代谢活化系统。各水样设3—5个剂量组,每个剂量设3皿平行。对于阳性或可疑阳性结果的样品,至少重复实验1次。各样品的致突变结果以MR值(突变率)表示。如果样品MR≥2并呈现剂量-回变反应关系者则判为阳性。根据剂量-回变反应曲线的直线部分进行直线回归分析,并求出水样比活性(回变菌落数/L, reV/L)

* 国家自然科学基金项目

1993年8月27日收到修改稿

表 1 7 城市自来水的制水工艺简介

城 市	自来水厂	源 水	制水工艺流程
上海	杨浦水厂	黄浦江	混凝→预氯→沉淀→过滤→二次加氯
昆明	昆明第五水厂	滇池	混凝→预氯→气浮→除藻→二次加氯→过滤
哈尔滨	市三水厂	松花江	加明矾、炭粉、水玻璃→沉淀→砂滤→氯消毒
沈阳	李官堡西池	浑河补给地下水	沉淀→加氯消毒
广州	西村水厂	珠江	加氨→液氯→明矾→加石灰水→砂滤
武汉	东湖水厂	东湖	预氯→絮凝→气浮→砂滤→二次加氯
深圳	深圳自来水厂	水库水	混凝→加氨、石灰→沉淀→砂滤→氯消毒

和浓集物比活性(回变菌落数/mg, reV/mg), 以表示水样和浓集物致突变性的强弱。

2 结果

2.1 7 城市自来水及其源水的致突变性

将上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州、深圳和武汉等城市自来水及其源水的致突变结果分别列于表 2—7 中。

从表 2 可见, 上海市自来水对 TA98(-S9) 和 TA100(-S9)2 菌株均呈现阳性反应, 说明上

海市自来水含移码型和碱基置换型直接致突变物, 而源水仅含移码型直接致突变物, 且活性远远低于自来水。据以往的研究资料^[7], 该市饮水中有机浓集物的致突变性, 其代谢活化后作用并不比直接作用强。

从表 3 可见, 昆明市自来水含移码型和碱基置换型直接致突变物, 而源水呈阴性反应。

从表 4 可见, 哈尔滨市自来水和源水均含移码型直接致突变物, 但是自来水的致突变活性高于源水。

表 2 上海市自来水及其源水的致突变性(MR 值)

采样日期	残渣量 (mg/L)	水样	菌株	S9	剂量(ml/P)					
					0	50	100	250	500	1000
92-03-25	1.03	自来水	TA98	-	1.00		2.25		3.56	6.38
			TA100	-	1.00		1.63		3.78	1.47
	0.30	杨浦源水	TA98	-	1.00		1.44		2.88	3.88
			TA100	-	1.00		0.98		1.21	1.52
92-06-11	2.04	自来水	TA98	-	1.00	2.40	2.67		6.60	
			TA100	-	1.00	0.73	0.98		1.23	
	2.57	杨浦源水	TA98	-	1.00		1.07	2.27	2.40	
			TA100	-	1.00		0.94	0.98	0.96	

表 3 昆明市自来水及其源水的致突变性(MR 值)

采样日期	残渣量 (mg/L)	水样	菌株	S9	剂量(ml/P)				
					0	100	500	1000	2000
92-10-20	0.88	自来水	TA98	-	1.00	0.92	2.08	2.50	4.46
				+	1.00	1.31	1.37	1.49	2.11
			TA100	-	1.00	1.56	2.25	3.11	3.59
				+	1.00	1.98	1.28	1.83	2.26
	1.25	源水	TA98	-	1.00	1.31	1.31	1.50	1.31
				+	1.00	1.66	1.29	1.63	1.40
			TA100	-	1.00	1.11	0.94	1.12	1.13
				+	1.00	1.14	1.14	1.14	1.17

表 4 哈尔滨市自来水及其源水的致突变性(MR 值)

采样日期	残渣量 (mg/L)	水样	菌株	S9	剂量(ml/P)				
					0	10	250	500	1000
93-02-8	1.94	自来水	TA98	-	1.00	1.15		2.00	3.40
				+	1.00	1.44		1.70	1.63
			TA100	-	1.00	0.99		1.31	1.35
	2.83	源水	TA98	+	1.00	1.12		0.99	0.89
				-	1.00		2.35	1.80	1.70
			TA100	+	1.00	1.78		1.78	1.96
			TA100	-	1.00		1.04	1.11	0.93
				+	1.00	1.38		1.31	1.20

表 5 沈阳市自来水及其源水的致突变性(MR 值)

采样日期	残渣量 (mg/L)	水样	菌株	S9	剂量(ml/P)			
					0	500	1000	1500
93-02-13	1.19	自来水	TA98	-	1.00	1.80	3.20	3.00
				+	1.00	1.41	2.30	1.85
			TA100	-	1.00	1.26	1.39	1.41
	1.28	源水	TA98	+	1.00	1.10	1.13	1.11
				-	1.00	1.30	1.55	1.55
			TA100	+	1.00	1.19	1.26	1.44
			TA100	-	1.00	0.91	1.16	0.88
				+	1.00	1.13	1.20	1.13

表 6 广州和深圳市自来水及其源水的致突变性(MR 值)

城市	采样日期	残渣量 (mg/L)	水样	菌株	S9	剂量(ml/P)						
						0	100	500	1000	1500		
广州	1993-04-12	0.77	自来水	TA98	-	1.00	1.00	1.70	1.87	2.26		
					+	1.00	1.93	4.26	2.48	3.30		
				TA100	-	1.00	1.14	1.39	1.46	1.23		
			0.33	源水	TA98	+	1.00	1.05	1.32	1.29	1.41	
						-	1.00	0.96	1.22	1.48		
					TA100	+	1.00	1.96	1.70	1.63		
			TA100	-	1.00	1.06	1.07	1.03	0.84			
				+	1.00	0.94	1.11	0.98	1.18			
深圳	1993-04-17	0.51	自来水	TA98	-	1.00	1.00	1.78	2.09	2.61		
					+	1.00	1.44	1.63	1.89	2.26		
				TA100	-	1.00	0.91	1.04	1.00	1.27		
						TA98	+	1.00	0.99	1.24	1.16	1.45
							-	1.00				
						TA100	+	1.00				

从表 5 可见,沈阳市自来水含移码型直接致突变物,而源水呈阴性反应。

从表 6 可见,广州市自来水含移码型直接致突变物和间接致突变物,而源水呈阴性反应。深圳市自来水含移码型直接致突变物。

从表 7 可见,武汉市自来水含移码型直接致突变物,而源水含移码型间接致突变物。

综合上述结果,发现上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州、深圳和武汉 7 城市自来水均呈现致突变阳性反应,均含有移码型直接致突变物。除此

特征外,广州市自来水中还含有移码型间接致突变物。TA98菌株为我国7城市饮水致突变性检测最敏感测试菌株,以移码型直接致突变剂为主要特征。

将上述7城市自来水对TA98和TA100菌株的致突变性,按水样比活性和浓集物比活性为指标汇总列于图1中。

从图1可见,上海市自来水对TA98和

表7 武汉市自来水及其源水的致突变性(MR值)

采样日期	残渣量(mg/L)	水样	菌株	S9	剂量(ml/P)				
					0	100	500	1000	1500
1993-04	1.42	自来水	TA98	-	1.00	0.83	1.64	2.38	1.30
				+	1.00	1.19	1.41	1.18	0.96
			TA100	-	1.00	0.97	1.20	1.21	1.38
	1.22	源水	TA98	+	1.00	1.33	1.09	1.30	1.19
				-	1.00	0.93	1.40	1.66	1.49
			TA100	+	1.00	1.20	1.64	2.34	2.15
			TA100	-	1.00	1.00	0.90	1.12	0.87
			TA100	+	1.00	0.88	1.14	1.43	1.22

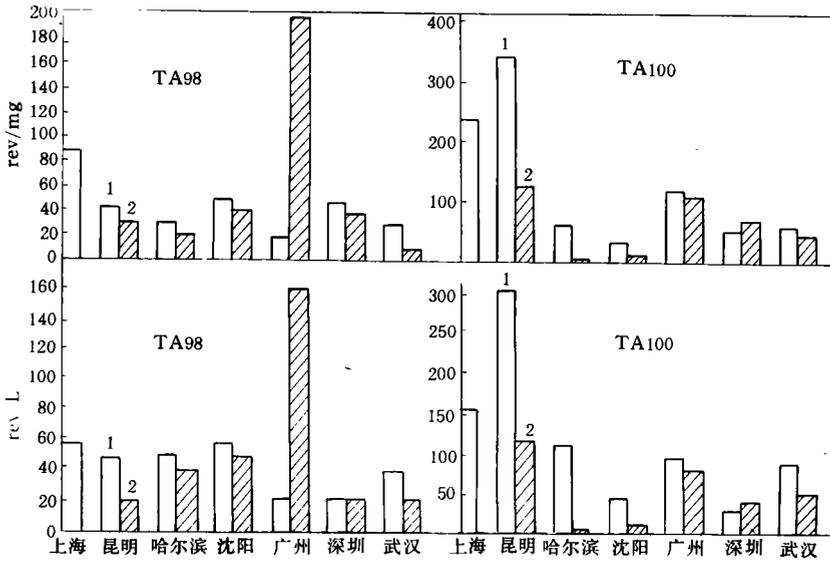


图1 7市自来水的水样比活性和浓集物比活性

1. -S9 2. +S9

TA100两菌株的直接致突变性,无论按水样比活性或者浓集物比活性为指标(理论计算值),均明显高于其它6城市,但昆明市自来水对TA100菌株在直接作用条件下,呈现出高于其它6城市致突变性,说明含有较高活性的碱基置换型直接致突变物。另外,广州市自来水对TA98菌株在代谢活化条件下,呈现高于其它6城市致突变性,说明含有高活性的移码型间接致突变物。

2.2 6城市自来水厂源水及其氯化源水的致突变性的比较

6城市自来水厂源水及其氯化源水中有机残渣含量,经统计学t检验,P值小于0.05,说明氯化使源水产生新的有机化合物。本实验所采用的浓集方法主要为非挥发性有机化合物。

现将上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州和武汉6城市自来水厂源水及其实验室模拟氯化源水

(氯化浓度为 10mg/L,按有效氯计)的致突变性, 8 和图 2 中。

按水样比活性和浓集物比活性为指标汇总于表

表 8 6 城市自来水厂源水及其氯化源水的致突变性

城市	水样	残渣量 (mg/L)	水样比活性(rev./L)		浓集物比活性(rev./mg)	
			TA98	TA100	TA98	TA100
上海	源水	0.30	120	100	400	320
	源水+Cl	0.43	320	1040	737	2418
昆明	源水	1.25	80	150	64	120
	源水+Cl	1.31	112	578	85	438
哈尔滨	源水	2.83	32	25	11	9
	源水+Cl	3.54	264	681	76	194
沈阳	源水	1.28	12	22	9	17
	源水+Cl	1.30	106	110	81	85
广州	源水	0.33	10	20	23	61
	源水+Cl	0.67	43	250	63	373
武汉	源水	1.22	12	22	10	18
	源水+Cl	1.51	25	253	17	167

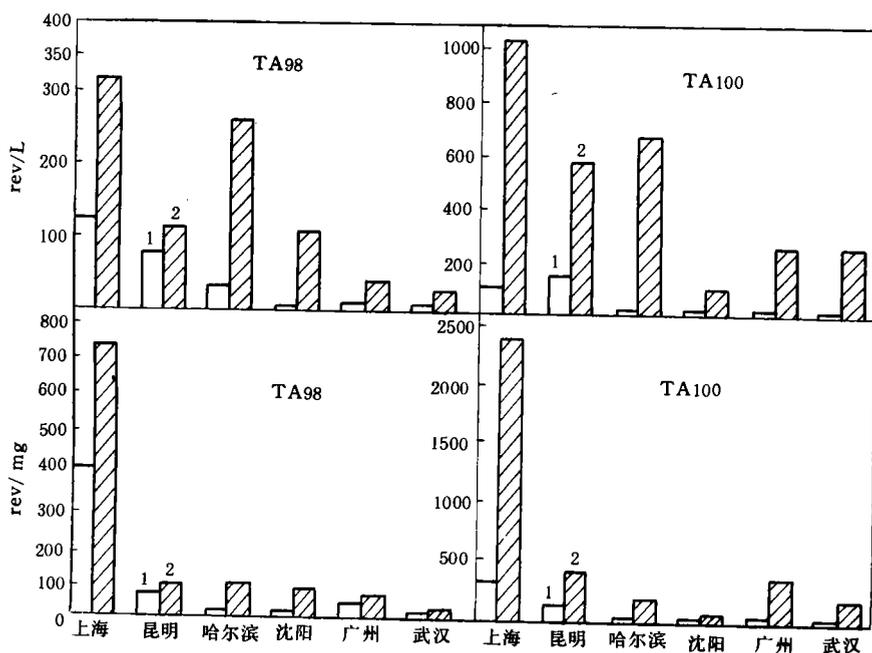


图 2 6 城市自来水厂源水及其氯化源水的致突变性

1. 源水 2. 氯化源水

从表 8 和图 2 可知,上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州和武汉 6 市自来水厂的源水和在实验室模拟条件下氯化后的源水,按水样比活性和浓集物比活性为指标,则氯化后源水对 TA98(干S9)和 TA100(干100)2 菌株的致突变性均明显高于

源水,上海市尤其突出,其次,哈尔滨市和昆明市 2 市,按水样比活性为指标时,无论对 TA98(—S9)和 TA(—S9)2 菌株,氯化源水的致突变性也明显高于源水。该实验结果与 Glatz, D. W. et al. [8-10] 现场检测结果相符合,说明自来水加氯

消毒可产生非挥发性的有机致突变物。

3 结 论

(1)上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州、深圳和武汉 7 市自来水,以含有移码型直接致突变物为其特征。TA98 菌株为最敏感测试菌株。

(2)上海市自来水的直接致突变活性,无论对 TA98 和 TA100 两菌株或者按水样比活性和浓集物比活性为指标,均明显高于其他 6 市。

(3)上海、昆明、哈尔滨、沈阳、广州和武汉 6 市自来水厂,其氯化源水无论对 TA98(干S9)和 TA100(干S9)菌株,按水样比活性和浓集物比活性为指标,均高于源水的致突变活性,上海市尤其突出。

鉴于上述结果,选择有机污染严重、饮水致

突变活性与氯化消毒密切相关的上海市为饮水氯化过程中有毒有机氯化物生成机理研究的现场。

致谢 协助此项研究的有上海市、辽宁省、云南省、哈尔滨市、武汉市、广州市等卫生防疫站和深圳市福田区环保局。

参 考 文 献

- 1 徐凤丹等. 环境科学. 1983, 4(3):61
- 2 王家玲等. 环境科学. 1985, 8(1):2
- 3 朱惠刚等. 中国环境科学. 1986, 8(1):40
- 4 甘卉芳等. 中华预防医学杂志. 1988, 22(1):7
- 5 徐凤丹等. 中国公共卫生学报. 1993, 12(2):84
- 6 Maron D M et al. Mutation Res. 1983, 113(3/4):172
- 7 徐凤丹等. 卫生研究. 1987, 16(2):14
- 8 Glatz B A et al. J. AWWA. 1987, 70(8):465
- 9 Chriswell C D et al. Environ. Sci. Res. 1978, 15:479
- 10 Loper J T et al. Mutation Res. 1980, 76:241

• 环境信息 •

SPACEMAN 特别推荐

全中文高档微机地理信息系统 SPACEMAN 4. 0

SPACEMAN 是一套专为地学及环境专家设计的 GIS 软件工具,国内用户已近 200 家,遍及著名的高等院校及科研院所,该系统以其功能齐全、操作方便、价格适宜及全中文面向用户的开放式设计,赢得了广泛好评。部分成果已打入国际市场,并在国际上获奖。

SPACEMAN 4. 0 主要特点:

中文管理、操作便捷、一看就懂、一用就会
 面向用户设计,无需编程,可实现二次开发
 空间模型自动生成,地学专家好帮手
 立体地形任意角度生成,替代地图及沙盘
 千种图案,矢量汉字,任意缩放,旋转注记
 栅格矢量共存、相互转换、应用面广
 精美彩色制图,进入二维/三维制图新天地
 图表文及排版一体化管理、实现信息现代化
 工作站的效率,微机的价格

可选软件配置:SPACEMAN—scanner;GIS 扫描输入系统

SPACEMAN—mapper;遥感地图制图做系统、SPACEMAN—ptofessor;GIS 教学演示系统

SPACEMAN 提供下列服务:提供各类 GIS 硬件及负责软硬件接口,常年举办 GIS 专业培训班,承接专题图件录入、专题及遥感制图及 GIS 项目设计、软件开发等业务,欢迎垂询!

国内首家 GIS 专业企业

北京天维资源环境新技术研究所

地 址:北京市北京大学畅春园一号二楼 邮 编:100080 寻呼热线:2048888—22342
 电 话:2559461—2168(或 2163) 2571135 2594114—6318(晚) 6895629—419(晚)

基本软件配置:

图形图像采集编辑模块、图形图像分析管理模块
 属性数据库管理模块、图形图像彩色打印制图模
 图形彩色绘图制图模块
 数字地形(DTM)制作模块、统计制图制表模块
 空间模型自动生成运行模块
 应用界面辅助生成模块
 图表文及排版综合管理模块

硬件配置:数字化仪、绘图仪、彩色打印机、喷墨绘图仪、喷墨打印机及各类微型机。

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Characteristics in Mutagenicity of the Drinking Water from Representative Areas in China. Xu Fengdan et al. (Institute of Environmental Health Monitoring, CAPM, Beijing 100021): *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 1—6

The tap waters, raw waters and chlorinated raw waters from the waterworks in Shanghai, Kunming, Harbin, Shengyang, Guangzhou, Wuhan and Shenzhen cities were studied for their characteristics in mutagenicity by using an Ames Test. All the tap waters were found to contain direct mutagens of frameshift, with strain TA98 to be the most sensitive strain for such a monitoring. The chlorinated raw waters from all the cities except for Shenzhen were found to have significantly a stronger mutagenic activity than their raw waters in both strain TA98 and TA100, with and without S9, as evaluated in terms of relative activity by water volume (rev./L) or by weight of water concentrate (rev./mg), particularly in the case of Shanghai. The results provide a scientific basis for selecting representative cities to study the mechanism on the formation of toxic chlorinated organics during chlorination of drinking water.

Key words: drinking water, chlorination, mutagenicity Ames Test.

QSAR Model Parameters Research on Substituted Aromatic Compounds. Wang Lianshen, Liu Zhengtao et al. (Department of Environmental Science, Nanjing University, Nanjing 210008): *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 7—10

The quantitative structure activity relationships (QSAR) between acute toxicities of 47 substituted aromatic compounds to *Daphnia magna* (48h, EC₅₀/LC₅₀) and seven classical parameters of molecules had been investigated. The biological effects were found to be mainly related to K_{ow} (octanol/water partition coefficient), π_x (hydrophobic bonding effects), $^1X^V$ (substituent molecular connectivity index). The contribution rank of the aromatics in quantitative relationships was: hydrophobicity/hydrophilicity > electronic effects > steric effects.

Key words: aromatic derivative, toxicity effects, parameters analysis, QSAR.

Development of the Technology for Immobilizing Microorganism on a PVA Entrapped Activated Carbon and Its Application to Degradation of Isocarbophos. Chen Ming, Luo Qifang (Institute of Environmental Medicine, Tongji Medical University, Wuhan 430030): *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 11—14

A technology has been developed for immobilizing microorganism on an activated carbon which has

been entrapped by using polyvinyl alcohol (PVA) as an entrapping agent. The preferable preparation processes were given for such an immobilization. The trial study on application of this technology to degradation of isocarbophos, an organophosphorus pesticide, was conducted. The results show that the immobilized microorganism can be effective in a wider range of temperatures, pH values, and concentrations of isocarbophos in water. During a 3 month period of continuous operation, 55%—72% of the pesticide were removed from water if it had an initial concentration of 1300—2500mg/L by COD_C in water and was degraded in a thermostatic vibratile table (30°C, 150rpm) for 24 hours (HRT).

Key words: isocarbophos, immobilized microorganism, PVA, activated carbon, organophosphorus pesticides.

Characterization of the Ca-Fe-S-Si-O System as a Final Product of High Temperature Coal Briquet Sulfur Capture. Lin Guozhen, Xiao Peilin et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 15—17

The ash from burning a coal briquet with an additive (Si, Fe) for sulfur capture was characterized by using a X-ray powder diffraction method and a X-ray fluorescent spectrometry, giving the same chemical composition as that derived from the elemental analysis data. The results also indicated that CaSO₄ was the major constituent of the ash; the content of sulfur in the ash was found to be 7.33% by weight; and the ash had a composition of Ca-Fe-S-Si-O showing a higher rate of sulfur capture.

Key words: coal briquet, sulfur capture, XRPD, XRFA.

Simulating Study on an Artificial Clay Layer Suppressed Movement of Waterborne Salt through the Sediments of Oxidative Ponds in Salinized Areas During Dry Seasons. Wang Hong, Ye Changming, Yin Chengqing (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **15**(3), 1994, pp. 18—21

The modelling studies have been qualitatively carried out on the movement of waterborne salt through different stratified structures of the sediment of oxidative ponds in a salinized Xiaoqinghe area during dry seasons by using simulated soil columns in laboratory. The results show that the homogenous earth of original sediment has a high ability to transport water and is prone to allow water to be evaporated, making the waterborne salt to be carried up and largely accumulated on the surface of pond bottom. The maximum suction head to maintain such