

李永玉, 洪华生, 王新红, 等. 厦门海域有机磷农药污染现状与来源分析 [J]. 环境科学学报, 2005, 25(8): 1071 - 1077

LI Yongyu, HONG Huasheng, WANG Xinhong, et al. Estimation of the sources of organophosphorus pesticides in Xiamen sea area [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(8): 1071 - 1077

厦门海域有机磷农药污染现状与来源分析

李永玉, 洪华生, 王新红*, 洪丽玉, 叶翠杏

近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门大学环境科学研究中心 361005

收稿日期: 2004-09-09 修回日期: 2005-05-08 录用日期: 2005-05-15

摘要: 利用 SPE-GC-FPD 对厦门附近海域的微表层、表层、底层海水及九龙江入海口高、低潮水中有机磷农药进行了分析。结果表明, 有机磷农药的含量范围为: 低于检测限 ~ 725.54 ng L⁻¹, 平均值为 136.47 ng L⁻¹。研究海区中马銮内湾有机磷农药污染最为严重 (165.77 ~ 453.42 ng L⁻¹, 平均 296.01 ng L⁻¹), 九龙江口、西海域和西南海域污染水平接近 (16.26 ~ 200.65 ng L⁻¹, 平均 84.59 ng L⁻¹), 东部海域有机磷农药污染最轻 (10.38 ~ 66.01 ng L⁻¹, 平均 38.14 ng L⁻¹)。九龙江入海口高潮水中农药的浓度明显低于低潮水中浓度, 说明海域中多数农药污染来源于九龙江流域输入, 少数农药来源于海域周边地区或九龙江流域和海域周边地区共同输入, 微表层对有机磷农药的富集作用不明显。

关键词: 厦门海域; 有机磷农药; 海水

文章编号: 0253-2468(2005)08-1071-07 中图分类号: X52, X592 文献标识码: A

Estimation of the sources of organophosphorus pesticides in Xiamen sea area

LI Yongyu, HONG Huasheng, WANG Xinhong*, HONG Liyu, YE Cuixing

State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Received 9 September 2004; received in revised form 8 May 2005; accepted 15 May 2005

Abstract: Organophosphorus Pesticides (OPPs) were determined in microsurface water, subsurface water and bottom water in Xiamen sea area with SPE-GC-FPD. The result showed that the levels of all OPPs ranged from below detection limit to 725.54 ng L⁻¹, the mean was 136.47 ng L⁻¹. The pollution in Maluan Bay was the most serious (165.77 ~ 453.42 ng L⁻¹, mean 296.01 ng L⁻¹) and the Eastern Sea was the slightest (10.38 ~ 66.01 ng L⁻¹, mean 38.14 ng L⁻¹). Meanwhile, the levels of OPPs in Jiulong estuary were closed to that in the Western Sea and the Southwestern Sea (16.26 ~ 200.65 ng L⁻¹, mean 84.59 ng L⁻¹). It was clear that the concentrations of OPPs in the high tide were much lower than that in the low tide in Jiulong River where freshwater and seawater mixed. The results indicated that the most contribution of OPPs in Xiamen Sea came from watershed, and minority was input from ambient area in Xiamen sea or from both watershed and sea. The enrichment of OPPs in microlayer sea water was not obvious by comparing the concentrations of subsurface water.

Keywords: Xiamen Sea area; organophosphorus pesticides; sea water

自 20 世纪 80 年代持久性有机污染物——有机氯农药禁用后, 有机磷农药 (Organophosphorus pesticides, OPPs) 是目前在我国农药市场所占份额最大^[1]、农业活动中使用最多最广的一类农药。与有机氯农药相反, 有机磷农药在理论上被认为是在环境中易降解、不易生物富集、对生态效应影响较小的新生代农药。而事实上, 有机磷农药不仅在北极地区能被检测出^[2], 甚至可以转化为某种持久性的有机污染物^[3], 而且有机磷农药在体内与胆碱酯酶形成磷酸化胆碱酯酶, 抑制乙酰胆碱酯酶的生成, 对生物体产生急性毒性效应^[4], 从而对环境产生危害。

当前, 河口和海岸带地区水质问题倍受人们关注。被誉为“海上花园城市”的厦门, 海域是其生命线, 海域水环境质量的好坏直接影响着厦门市的环境质量与经济发展。厦门周边海域, 特别是在水产养殖区的有机污染问题近年来备受重视^[5-10]。有研究发现, 厦门港石油污染问题较为严重, 有机氯农药 (如 DDT) 的污染问题也不容忽视^[6]。然而对新生代有机磷农药的污染问题却鲜有研究。张珞平等利用 EQC 和 Soil Fug 模型研究了农药对厦门海域的风险, 发现有机磷农药如敌敌畏对厦门海域存在潜在的危害^[11, 12]。

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 40106012)

作者简介: 李永玉 (1976—), 女, 硕士研究生, E-mail: liyongyu@yanan.xmu.edu.cn; * 通讯作者 (责任作者)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40106012)

Biography: LI Yongyu (1976—), female, master candidate, E-mail: liyongyu@yanan.xmu.edu.cn; * Corresponding author

本文对厦门海域环境中有机磷农药的污染问题进行了全面的调查,重点集中在污染物的溶解相中,以期对厦门附近海域中有机磷农药的污染状况和来源作较为全面的阐释.

1 材料与方法(Material and method)

1.1 材料

自北京振翔公司购得 17 种有机磷农药标准(Dr. Ehrenstorfer),包括一种混和标样(含 9 种有机磷农药——三乙基磷酸酯、硫磷嗪、甲拌磷、硫特普、乐果、乙拌磷、甲基对硫磷、对硫磷、伐灭磷)和 8 种有单独标样——敌敌畏、甲胺磷、敌百虫、异稻瘟净、马拉硫磷、水胺硫磷、异柳磷,有机磷替代物 triphenylphosphate,乙酸乙酯,甲醇等溶剂为 HPLC 级,所需用水为 MilliQ 水(Millipore, Watford).

1.2 样品采集和处理

2003 年 5 月和 11 月在厦门附近海域采集了 15 个站点的水样,采样的站点如图 1 所示,站点分布在厦门本岛周边海域及九龙江口.其中 17、19、21、24 号站位于厦门西港,26 号位于九龙江入海口,27 号站位于厦门西南海域,29 站位于同安湾内,30 号站位于同安湾口,31 号站位于东部海域,M1、M2、M3 位于刚经过综合整治的马銮内湾.另外,1 月份还采集了九龙江入海口的南港、中港和北港高低潮表层水,在 17、19、21 站点和马銮湾 3 个站点采用自制不锈钢筛网采集了厚度大约有 300 ~ 500 μm 微表层水.采样时用有机玻璃采水器采得距水面 1m 的表层水、距底质高 1 m 的底层水各 1 L,加入有机磷替代物三苯基磷酸酯(TPP),用固相萃取(SPE) [EPA method 3535] C18 小柱^[13]富集海水中的有机磷污染物,而后用 10 mL 乙酸乙酯洗脱 SPE 小柱,经过 450 灼烧 4 h 的无水硫酸钠除去洗脱液中残留水,高纯 N_2 浓缩至 100 μL ,进样 1 μL 用 GC-FPD 分析测定有机磷农药^[15].

1.3 仪器与色谱条件

GC-FPD 的仪器条件:HP6890 气相色谱仪(HP-6890)配有 FPD 检测器;毛细管色谱柱为 HP-5 石英毛细管柱(30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μm);进样口温度:220 ;检测器温度:250 ;载气:氦气;补充气:氮气;点火用气:氢气和空气;载气流速:0.9 mL \cdot min⁻¹;炉温升温程序:60 (2 min),以 20 min^{-1} 升温到 160 ,然后以 10 min^{-1} 升温到 200 ,1 min^{-1} 升温到 210 最后以 10 min^{-1}

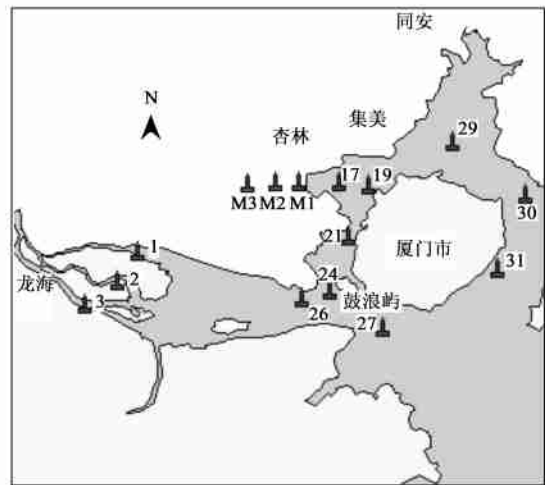


图 1 采样站位图

Fig. 1 Sampling station

升温到 260 ,恒温 5 min.

2 结果与讨论(Results and discussion)

2.1 厦门海域有机磷农药的分布特征

通过对厦门海域 2 个航次 17 种有机磷农药的分析,得出厦门海域中各站点有机磷农药的分布与污染状况(表 1、图 2).5 月份厦门海域各站点表层海水中总有机磷农药浓度为未检出 ~ 209.96 ng L^{-1} ,底层海水为 10.38 ~ 725.54 ng L^{-1} ;11 月份(除九龙江入海口 3 个站点)表层海水总有机磷农药浓度为 48.31 ~ 400.31 ng L^{-1} ,底层海水为 66.01 ~ 200.65 ng L^{-1} .在所有的站点中,位于马銮湾 M1、M2、M3 站位的农药污染较为严重(165.77 ~ 453.42 ng L^{-1} ,平均 296.01 ng L^{-1}),这是因为马銮湾是一封闭型海湾^[16]、水体交换能力差、工业污染和过去几年中超负荷水产养殖均造成了湾内水质恶化.东部海域 31 站位的有机磷农药污染最为轻微(10.38 ~ 66.01 ng L^{-1} ,平均 38.14 ng L^{-1}),是因为海域水动力条件好,作为旅游功能的海区,农药使用也较为慎重.九龙江河口(26 站点)、厦门西海域(17、19、21、24 站点)和西南海域(27 站点)受潮流、潮汐的影响^[4],海水混和很好,有机磷农药污染在这 3 海区中也相对较低(16.26 ~ 200.65 ng L^{-1} ,平均 84.59 ng L^{-1}).位于同安湾口的站点 30,有机磷农药的浓度低于湾内站点 29 的浓度,表明水动力是该海域重要的影响因子,该海域的农药输入主要来自于靠近内湾的周边地区.在西海域,有机磷农药的分布较为复杂:24 号站的浓度最低,随之往北有机磷农药浓

度递增,这是由于水动力条件减弱;向南到河口则有
机磷农药浓度略升,可能是由于九龙江流域农药的

使用.

在传统的农业耕作中,雨季多为农药施用季节,

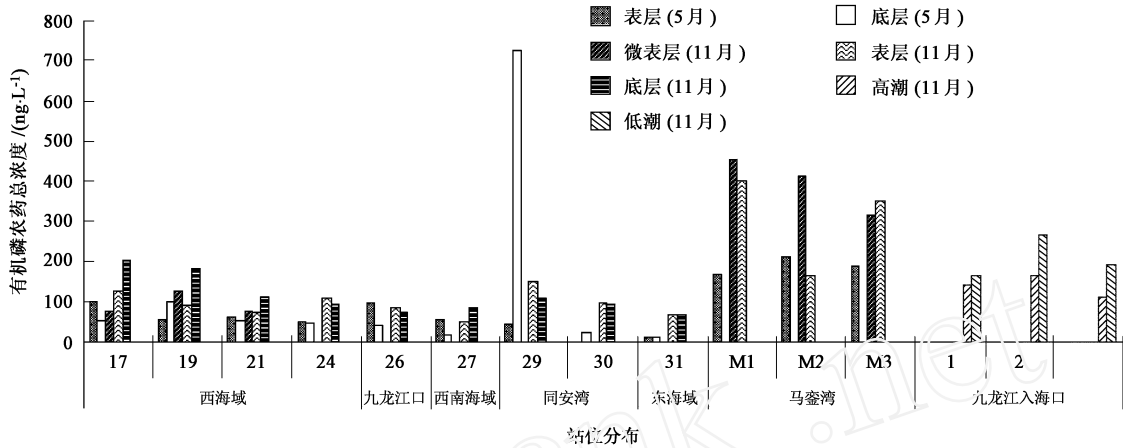


图 2 各站位有机磷农药的分布图

Fig. 2 The distribution of organophosphorus pesticides

河流中农药负荷增加^[17-18]、出现农药峰值^[19]. 本研究区从 5 月份到 10 月份为丰水期,然而在季节分布上,枯水期 11 月份有机磷农药的浓度 (131.98 ng L⁻¹) 高于丰水期 5 月份 (100.47 ng L⁻¹),此结果与 Atoya 河流域的研究结果相似^[20]. 降雨对农药的稀释、农药自身的降解是丰水期农药浓度较低的主要原因. 现代农业的耕作已逐步取代了传统农业耕作,轮作是提高土地利用的有效方式,在农业发达的闽东南地区,晚稻收成后已不再是休耕期,而是种植蔬菜等短期作物. 据 2003 年九龙江流域的初步统计,全流域水稻农药年使用量约为 18 kg · hm⁻²,而蔬菜农药的年使用量约为 45 kg · hm⁻²,是水稻用药量的 2.5 倍. 因此,枯水期短期作物的种植在很大程度上增加了农药的使用,可能也是导致枯水期农药污染较丰水期严重的原因之一.

2.2 农药的主要检出成份

敌敌畏、硫磷嗪、甲拌磷、硫特普、乐果、乙拌磷是厦门海域中典型的有机磷农药的污染物(如表 1 所示),敌敌畏、甲胺磷、硫磷嗪、甲拌磷、乐果、乙拌磷、异稻瘟净在 11 月份常被检出,而 5 月份则更多检出硫磷嗪、甲拌磷、甲胺磷、乙拌磷等.

乐果在多数的样品中都能被检出而且占总有机磷农药浓度的 50% 左右. 乐果是农业生产中常用的有机磷农药,在我国,自从甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷等高毒性有机磷农药禁止使用后,乐果等中等毒性的杀虫剂被更为广泛使用. 从图 3 可看出,农药总浓度和乐果浓度的拟合度较好, R² 为 0.8251 ~

0.9856.

2.3 九龙江流域的农药输入贡献

九龙江入海口 3 个站位的总有机磷农药浓度分布范围为 109.43 ~ 263.89 ng · L⁻¹,其中高潮水为 109.43 ~ 165.34 ng L⁻¹,平均为 137.64 ng L⁻¹,低潮水为 161.74 ~ 263.89 ng · L⁻¹,平均为 205.89 ng L⁻¹,低潮水样农药浓度高于高潮水样浓度.

从水的盐度(见表 1)可以看到,九龙江入海口低潮时水样的盐度低,与淡水相似,可见水流明显从河流到港口,低潮时水样代表着流域现状;而高潮时水流相反,河流水被海水稀释,盐度略低于海水远高于河水,水样则可代表海洋污染状况. 因此,比较高低潮水中有机磷农药的浓度即可得出厦门海域中有机磷农药的污染是否来自九龙江流域. 从表 1 可以看出,在高潮时有机磷农药的总浓度低于低潮时的浓度,大致上呈现污染物从流域汇入到海洋的趋势. 从组分上看,敌敌畏、甲胺磷、乙拌磷、甲基对硫磷、三唑磷和伐灭磷在低潮时的浓度明显比高潮时高,因此,海洋中这几种化合物可能源自九龙江流域输入,而其它组分则来源于厦门市或周边农村.

另外,比较 11 月份采样的九龙江入海口南港、中港、北港 3 个站位的浓度和厦门海域的农药浓度,敌敌畏、甲胺磷、乙拌磷、甲基对硫磷、三唑磷和伐灭磷在九龙江入海口的浓度高于厦门海域的浓度,甲拌磷、硫特普在九龙江入海口未检出,而在厦门附近海域中却能够被检出,由此可见,这 2 种农药的来源并非来自九龙江流域的输入,而是源自于厦门本地

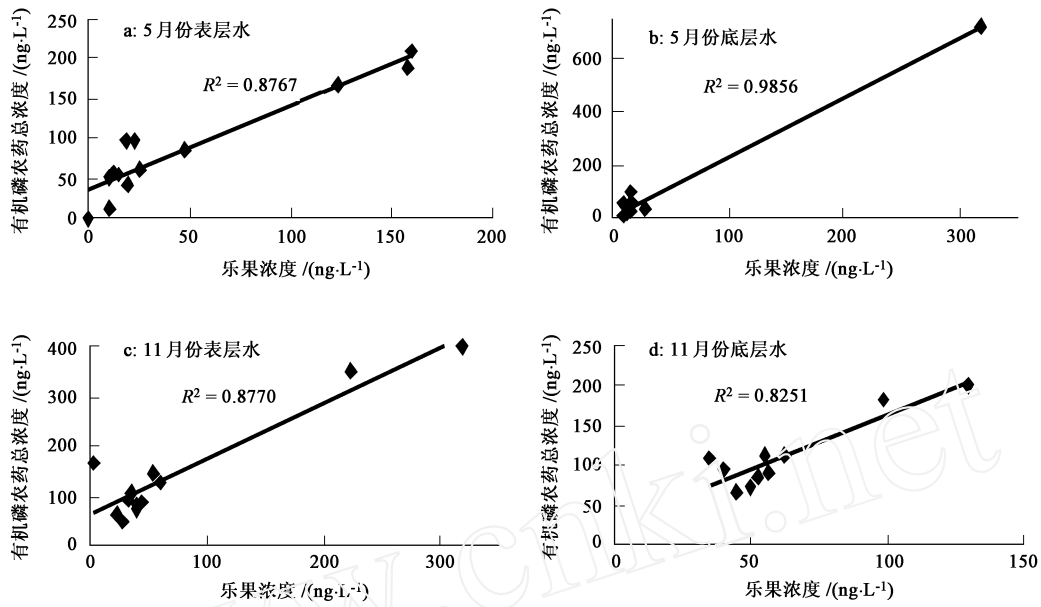


图3 乐果与总有机磷农药的浓度关系

Fig. 3 The relation between Dimethoate and total OPPs

表1 监测农药的平均浓度

Table 1 The mean concentration of each compound

ng L⁻¹

组分	11月份农药的平均浓度								5月份农药的平均浓度							
	九龙江入海口表层水						微表层水		表层水		底层水		表层水		底层水	
	Surface water in Jiulong Estuary						Microlayer		Surface water		Bottom water		Surface water		Bottom water	
	站点1		站点2		站点3		浓度	标准差 (6)	浓度	标准差 (12)	浓度	标准差 (9)	浓度	标准差 (12)	浓度	标准差 (9)
高潮水		低潮水		高潮水		低潮水		高潮水		低潮水		高潮水		低潮水		
三乙基磷酸酯	1.49	2.08	3.20	2.40	5.05	3.38	4.79	3.13	2.09	1.18	6.28	4.60	0.68	1.61	6.19	17.01
敌敌畏	5.77	22.57	4.20	50.12	10.90	6.11	6.72	2.97	4.47	3.64	5.93	4.79	1.54	1.79	5.40	8.07
甲胺磷	6.75	ND	19.05	37.42	7.84	72.82	ND		7.48	10.41	0.64	1.91	0.81	2.80	ND	
敌百虫	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17.25	31.10	1.73	3.61	ND		ND		ND	
硫磷嗪	56.54	32.63	38.72	3.69	39.38	47.94	0.40	0.56	11.47	20.62	2.67	5.32	4.22	5.95	3.80	6.34
甲拌磷	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.07	0.15	17.44	11.44	14.50	6.62	8.58	15.17	1.14	2.27
硫特普	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.05	6.64	1.59	3.21	ND		ND		1.77	3.56
乐果	49.49	68.53	52.30	63.85	39.96	56.82	194.4	137.3	74.95	94.64	62.16	30.93	47.91	60.37	48.52	101
乙拌磷	4.95	18.52	39.09	23.58	2.83	4.99	1.55	1.66	6.44	4.89	6.27	5.84	21.12	12.02	42.43	80.48
异稻瘟净	13.15	13.57	5.27	18.55	ND	ND	8.32	6.31	11.03	8.54	11.59	9.22	ND		ND	
甲基对硫磷	ND	3.84	3.52	8.61	ND	ND	ND		1.24	2.29	0.27	0.80	0.44	0.58	2.91	7.10
马拉硫磷	ND	ND	ND	3.65	ND	ND	ND		1.03	3.13	ND		0.38	0.71	0.24	0.72
对硫磷	ND	ND	ND	2.60	ND	ND	ND		ND		ND		0.31	0.72	ND	
水胺硫磷	ND	ND	ND	4.35	ND	ND	ND		ND		2.32	2.24	0.78	1.93	6.35	19.04
异硫磷	ND	ND	ND	ND	3.47	ND	ND		0.90	2.03	ND		ND		ND	
三唑磷	ND	ND	ND	22.92	ND	ND	2.25	5.04	1.77	6.13	ND		ND		ND	
伐灭磷	ND	ND	ND	22.15	ND	ND	1.06	2.36	2.87	8.04	ND		ND		ND	
总量	138.10	161.40	165.30	263.90	109.40	192.10	242.90		146.50		112.60		86.76		118.70	
盐度	23.5%	3.0%	21.0%	2.1%	22.5%	5.0%										

ND: 低于检测限

区的施用.另外,根据分析结果,乐果在海域和入海口的浓度均很高,因此,乐果不仅在流域的农业活动中使用,在厦门周边的农村和城市居民生活也在使用.总之,九龙江流域并非是厦门海域的有机磷浓度污染唯一来源,厦门地区也含有部分来源,包括居民使用、农业施用、水产养殖及大气沉降等.

2.4 有机磷农药在海水微表层中的富集作用

水体中的许多物质可借助扩散、上升流特别是上升气泡的气-液吸附作用而被富集于水体表面,从而形成一层与水体不相溶的薄膜称为微表层.海洋微表层具有独特的物理、化学、生物性质,其厚度从几十微米到几百微米不等,可以不同程度地富集营养盐、有机物、痕量金属、微生物^[21~23].海洋微表层对芳香烃富集系数达 100^[24],对有机氯农药富集系数达 5.1~15.4^[25,26],在厦门港,经研究发现微表层对烷烃的富集系数为 1.0~21^[27].研究污染物在水体微表层中的富集、迁移、转化、停留时间等,可探知污染物对微表层生物的毒性作用及微表层在气-水交换中所起的作用.通过比较微表层和表层海水中有有机磷农药的浓度,有机磷农药在微表层的富集系数(富集系数 = $c_{\text{微表层}}/c_{\text{表层}}$ ^[27])为 0.593~2.309(表 2、表 3、表 4),而乐果和敌敌畏的富集系数分别为 0.880~16.170 和 0.825~1.443.由于有机磷农药本身的易降解、水溶性等特性,相对于重金属、多环芳烃和有机氯农药,海洋微表层对有机磷农药的富集并不明显.

表 2 17 种有机磷农药微表层的富集系数

站位 Station	$c_{\text{微表层}}/(\text{ng L}^{-1})$ $c_{\text{microlayer}}/(\text{ng L}^{-1})$	$c_{\text{表层}}/(\text{ng L}^{-1})$ $c_{\text{surface}}/(\text{ng L}^{-1})$	富集系数 Enrichment coefficient
17	75.24	126.90	0.593
19	125.40	89.08	1.408
21	75.98	74.10	1.025
M1	453.40	400.30	1.133
M2	414.30	179.40	2.309
M3	313.00	351.70	0.890

2.5 有机磷农药污染水平比较

2000 年 12 月九龙江口和西海域总有机磷农药的污染水平为 134.8~354.6 ng L^{-1} ,平均为 227.2 ng L^{-1} ^[15],3 年后,总有机磷农药浓度为 16.26~263.89 ng L^{-1} ,平均为 128.29 ng L^{-1} ,所以,有机磷农药浓度减少了近 50%.从组分上看,在 2000 年,5 种农药(甲胺磷、敌敌畏、氧乐果、马拉硫磷、乐果)

占了总有机磷农药的一半以上^[15],但在 2003 年 11 月,水体中,甲胺磷和马拉硫磷几乎检测不出.硫磷嗪、甲拌磷、硫特普、乙拌磷、敌敌畏、乐果为常检出农药(因本次未检测氧乐果,所以未作比较),甲胺磷、敌敌畏、马拉硫磷的浓度同前期相比浓度降低而乐果的浓度却有所升高.

表 3 乐果在微表层的富集系数

站位 Station	$c_{\text{微表层}}/(\text{ng L}^{-1})$ $c_{\text{microlayer}}/(\text{ng L}^{-1})$	$c_{\text{表层}}/(\text{ng L}^{-1})$ $c_{\text{surface}}/(\text{ng L}^{-1})$	富集系数 Enrichment coefficient
17	52.62	59.78	0.880
19	88.56	44.15	2.006
21	56.36	40.54	1.390
M1	416.8	318.4	1.309
M2	277.0	17.13	16.170
M3	275.2	222.2	1.239

表 4 敌敌畏在微表层的富集系数

站位 Station	$c_{\text{微表层}}/(\text{ng L}^{-1})$ $c_{\text{microlayer}}/(\text{ng L}^{-1})$	$c_{\text{表层}}/(\text{ng L}^{-1})$ $c_{\text{surface}}/(\text{ng L}^{-1})$	富集系数 Enrichment coefficient
17	3.27	3.74	0.874
19	3.37	3.22	1.047
21	9.91	6.87	1.443
M1	6.49	7.87	0.825
M2	11.1	8.14	1.364
M3	6.17	5.57	1.108

与中国其它河口地区比较,2000 年珠江口总有机磷农药的浓度为 4.44~635 ng L^{-1} ,平均 88.31 ng L^{-1} ,南海为 1.27~122 ng L^{-1} ,平均为 17.72 ng L^{-1} ^[28].本次调查结果显示,厦门海域总有机磷农药的浓度(除马銮湾外其他海域)分布为 16.26~263.89 ng L^{-1} ,平均为 125.53 ng L^{-1} ,总浓度介于南海与珠江口之间,即比南海浓度高而略低于珠江口.从单组分来看,马拉硫磷的浓度在 3 海区最低而乐果的浓度在 3 个海域中最高.与世界其他地区相比,一些常见有机磷农药(甲基对硫磷,马拉硫磷,敌敌畏等)的浓度在厦门海域的浓度均低于德国、英国、洪都拉斯、印度、英国等国家的河流河口地区^[29~33].

3 结论(Conclusions)

对厦门附近海域有机磷农药的研究表明,17 种有机磷农药的浓度均低于 725.54 ng L^{-1} ,平均 136.47 ng L^{-1} ,河口区水动力是影响农药在本海区

分布的重要因素. 在雨季有机磷农药的污染水平低于旱季.

敌敌畏、硫磷嗪、甲拌磷、硫特普、乐果、乙拌磷为厦门海域中常检出的农药, 其中乐果浓度占了 17 种农药总浓度的 50% 以上, 乐果的浓度与有机磷农药的总浓度成正比关系.

厦门附近海域中有机磷农药的输入来源复杂, 九龙江流域是其中重要而不是唯一的农药来源.

海洋微表层对有机磷农药略有富集但富集系数不高.

参考文献 (References):

- [1] Zhang Y B, Sun J, Survey of organic phosphorus pesticide both at home and abroad and suggestion of the development of Domestic organic phosphorus pesticides[J]. *Pesticides*, 1999, 3(7): 1—3 (in Chinese)
- [2] Sergey M, Chernyak, Clifford P, Evidence of currently used pesticides in air, ice, fog, seawater and surface microlayer in Bering and Chukchi Seas [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1996, 32(5): 410—419
- [3] Macdonald R W, Barrie L A, Bidleman T F, Contaminants in the Canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways [J]. *The Science of the total Environment*, 2000, 254: 93—234
- [4] Liu J S, Xiao D R, Ye C, Effects of dipterex on the Ache and ATPase activities in common Carp (*Cyprinus carpio*) Tissues [J]. *Research of Environmental Sciences*, 1997, 10(3): 21—25 (in Chinese)
- [5] Hong H, Xu L, Zhang L, Environment fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Vitoria harbours [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1995, 31: 229—236
- [6] Chen W Q, Zhang L P, Xu L, Concentration and Distribution of HCHs, DDTs and PCBs in soufe sediments of sea area between Xiamen and Jinmen [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1996, 35: 936—940 (in Chinese)
- [7] Chen W Q, Zhang L P, Xu L, Persistent organochlorine residues in sediments of Hong Kong Victoria Harbour and Xiamen Western Bay [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 1998, 16: 36—44
- [8] Chen W Q, Hong H S, Zhang L P. Residue levels and distribution features of organochlorine pollutants in the surface sediments of the sea area between Minjiang Estuary and Mazu [J]. *Marine Science Bulletin*, 2000, 19: 53—58 (in Chinese)
- [9] Zhang Z, Hong H, Maskouki K, Distribution of organochlorine compounds in water, porewater and sediments in Xiamen Harbour [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 19: 93—102
- [10] Zhou J L, Hong H, Zhang Z, Multi-phase distribution of organic micropollutants in Xiamen Harbour, China [J]. *Water Research* 2000, 34: 2132—2150.
- [11] Calamari D, Zhang L, Environmental risk assessment of pesticides on aquatic life in Xiamen [J]. *China, Toxicology Letters*, 2002, 128: 45—53
- [12] Zhang L, Hong H, Chen Z, An Initial Environmental Risk Assessment of Pesticide Application in Xiamen Seas [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1999, 38(1): 96—102 (in Chinese)
- [13] Viana E, Redondo M J, Front G, Disks versus columns in the solid-phase extraction of pesticides from water [J]. *Journal of Chromatography A*, 1996, 733: 267—274
- [14] Yang Y P, Hu M H, Estuarine geochemistry of the Jiulong River// Zhang J (Ed.). *Estuarine biogeochemistry of Main Estuary in China—Chemical transfer and its Environment* [M]. Beijing: Ocean Press, 1996: 54—67
- [15] Zhang Z, Hong H, Wang X, Determination and load of organophosphorus and organochlorine pesticides at water from Jiulong River Estuary, China [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2002, 45: 397—402
- [16] Chen J C, Huang G Y. Research on pollution and control in Xiamen Maluan bay [J]. *Fujian Geography*, 1999, 14(1): 15—19 (in Chinese)
- [17] Sudo M, Kumimatsu T, Okubo T, Concentration and loading of pesticide residues in Lake Biwa basin (Japan) [J]. *Water Research*, 2002, 36(1): 315—329
- [18] Derbalah A S H, Nakatani N, Sakugawa H, Distribution, seasonal pattern, flux and contamination source of pesticides and nonylphenol residues in Kurose River water, Higashi-Hiroshima, Japan [J]. *Geochemical Journal*, 2003, 37(2): 217—232
- [19] Albanis T A, Hela D G, Pesticide concentrations in Louros River and their fluxes into the marine environment [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1998, 70(1-4): 105—120
- [20] Castillo J A A, Fenzl N, Guillen S *et al.* Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in the Atoya river basin, Chinandega, Nicaragua [J]. *Environmental Pollution*, 2000, 110(3): 523—533
- [21] Xia W, Zhang H, Tan J. Biogeochemical cycles of selenium in Antarctic water [J]. *J Environ Sci China*, 1996, 8(1): 120—126
- [22] Narvekar V, Singbal S Y S. Dissolved aluminum in the surface microlayer of the eastern Arabian Sea [J]. *Marine Chemistry*, 1993, 42(2): 485—494
- [23] Liu L S, Zhang Z B, Niu Z Y, Study on sea surface microlayer, Trace metal both in sea surface microlayer and subsurface layer in Nansha sea area [A]. *Study on Chemical process in Nansha Islands sea areas* [C]. Beijing: Science Press, 1996: 45—52 (in Chinese)
- [24] Hardy J, Creclius E, Antrim L, *et al.* Aquatic surface contamination in Chesapeake Bay [J]. *Marine Chemistry*, 1990, 28: 333—351
- [25] Lü C, Zhao Y F, Xu H Z, Contamination of organochlorine pesticides (OCPs) in aquaculture water in Dalian Bay and Liaodong Bay, North China Sea [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2002, 9(1): 73—77 (in Chinese)

- [26] Zhao Y F, Lü J C, Xu H Z. Contamination of Organochlorine Pesticides (OCPs) of Aquaculture Sea Area in Dalian Bay [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 108—112 (in Chinese)
- [27] Chen W Q, Zhang L P, Wang L E. Study on enrichment of alkanes in the sea surface microlayer of Xiamen Harbour [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 1995, 34(1): 127—130 (in Chinese)
- [28] Zhang Z, Dai M, Hong H. Dissolved insecticides and polychlorinated biphenyls in the Pearl River Estuary and South China Sea [J]. J Environmental Monitoring, 2002, 4: 922—928
- [29] Liess M, Schulze R. Determination of insecticide contamination in agriculture headwater streams [J]. Water Research, 1999, 33(1): 239—247
- [30] Cooper C. Insecticides concentration in ecosystem components of an intensively cultivated watershed in Mississippi [J]. Journal of freshwater Ecological, 1991, 6: 237—248
- [31] Kammerbauer J, Mónica J. Pesticide residue assessment in three selected agricultural production systems in the Choluteca River Basin of Honduras [J]. Environmental Pollution, 1998, 103: 171—181
- [32] Suhatha C H, Nair S M, Chacko J. Determination and distribution of Endosulfan and Malathion in an Indian Estuary [J]. Water Research, 1999, 33(1): 109—114
- [33] Zhou J, Fileman T, Evans S. Seasonal distribution of dissolved pesticides and polynuclear aromatic hydrocarbons in the Humber Estuary and Humber coastal zone [J]. Marine Pollution Bulletin, 1996, 32(8/9): 599—608

中文参考文献:

- [1] 张一宾, 孙晶. 国内外有机磷农药的概况及对我国有机磷农药发展的看法 [J]. 农药, 1999, 3(7): 1—3
- [4] 刘洁生, 肖丹, 叶丛容. 敌百虫对鲤鱼组织乙酰胆碱酯酶和腺三磷酶活力的影响 [J]. 环境科学研究, 1997, 10(3): 21—25
- [6] 陈伟琪, 张珞平, 徐力. 厦门-金门海域表层沉积物中 HCHs、DDTs 和 PCBs 的含量与分布 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, 35: 936—940
- [8] 陈伟琪, 洪华生, 张珞平. 闽江口-马祖海域表层沉积物中有机氯污染物的残留水平与分布特征 [J]. 海洋通报, 2000, 19: 53—58
- [12] 张珞平, 洪华生, 陈宗团. 农药使用对厦门海域的初步环境风险评价 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(1): 96—102
- [16] 陈居成, 黄广宇. 厦门马銮湾海域污染治理探讨 [J]. 福建地理, 1999, 14(1): 15—19
- [23] 刘莲生, 张正斌, 牛增元. 海洋微表层化学研究. 南沙海区海洋微表层和次表层的痕量金属 [A]. 南沙群岛海区化学过程研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1996: 45—52
- [25] 吕景才, 赵元凤, 徐恒振. 大连湾、辽东湾养殖水域有机氯农药污染状况 [J]. 中国水产科学, 2002, 9(1): 73—77
- [26] 赵元凤, 吕景才, 徐恒振. 大连湾养殖水域有机氯农药污染研究 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 108—112
- [27] 陈伟琪, 张珞平, 王隆发. 厦门港微表层中烷烃富集规律的研究 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1995, 34(1): 130—137