

南极食物链顶端海鸟卵中 PCBs 和 OCPs 积累水平及其全球意义

卢 冰¹, 王自磐¹, 朱 纯¹, 武光海¹, Walter Vetter²

(1. 国家海洋局海底科学重点实验室, 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012; 2. 德国耶纳大学生物化学与制药学院, 耶纳 25, D-07743)

摘要:采用气相色谱-电子捕获检测器(GC-ECD)内标法定量测定了南极乔治王岛世袭栖息地海鸟(棕贼鸥、灰贼鸥、巨海燕、白眉企鹅)卵样中持久性有机氯污染物多氯联苯(PCBs)和有机氯农药(OCPs)残留量, 研究探讨南极海洋食物链顶级生物体有机毒物积累水平探讨其环境意义。结果显示, 卵样中有机毒物积累水平依次为: 多氯联苯>滴滴涕>氯代苯>六六六。贼鸥卵样多氯联苯含量范围在 91.9~515.5 ng/g, 滴滴涕 56.6~304.4 ng/g, 氯代苯 6.5~70.5 ng/g, 六六六<0.5~2.0 ng/g; 企鹅卵样多氯联苯含量范围在 0.4~0.9 ng/g, 滴滴涕 2.4~10.3 ng/g, 氯代苯 6.0~10.2 ng/g, 六六六 0.1~0.4 ng/g; 巨海燕卵样多氯联苯含量范围在 38.1~81.7 ng/g, 滴滴涕 12.7~53.7 ng/g, 氯代苯 4.2~8.8 ng/g, 六六六 0.5~1.5 ng/g。研究结果还显示, 不同种类海鸟卵样检出多氯联苯和有机氯农药均以七氯、六氯联苯、滴滴涕同系物(P,P'-DDE)和氯代苯化合物为主体。贼鸥、巨海燕卵样检出 9 种多氯联苯同系物(大小依次为 PCB-180>PCB-153>PCB-194>PCB-138>PCB-118>PCB-170>PCB-101>PCB-163>PCB-149)。贼鸥卵样七氯、六氯取代物的多氯联苯同系物含量在 17.5~205.5 ng/g 占其总多氯联苯的 62%; 巨海燕卵样在 14.5~30.5 ng/g, 占其总多氯联苯的 69%; 企鹅卵样检出 5 种多氯联苯同系物相对积蓄较低, 其卵样之间变化相对稳定。对不同种类海鸟卵样的有机污染物数据进行统计分析, 结果显示不同鸟种有机毒物积累水平的差异取决于不同鸟种的生态习性, 如活动范围、迁徙距离、觅食习性以及巢址选择等, 最主要是海鸟在海洋生态食物链中的位置, 其食谱的宽窄, 同时表明海鸟体内 PCBs 和 OCPs 积累通过食物链逐级加强的结果。有机毒物最高积累水平出现在棕贼鸥卵样中, 灰贼鸥和巨海燕次之, 企鹅最低。因为贼鸥不仅食性杂食谱宽, 而且贼鸥与企鹅及其他小型海鸟之间存在着一定的捕食与被捕食的关系。南极海鸟卵样多氯联苯和有机氯农药的检出, 是全球性有机氯污染又一新的重要证据。南极海鸟卵样中有机毒物的检出, 揭示了人造有机污染物在南极鸟类代间转移的存在, 它们在南大洋生态系统中的消除将会需要较长的时间过程, 表明人类活动对南极生物圈与南极海洋环境的持久影响, 南极是全球唯一无污染地区的价值正在丧失。

关键词: 南极; 海鸟; 多氯联苯; 有机氯农药; 积累水平

文章编号: 1000-0933(2005)09-2440-06 **中图分类号:** Q954, Q958, Q959.7 **文献标识码:** A

Residue levels of PCBs and OCPs in eggs of Antarctic seabirds and their global significance

LU Bing¹, WANG Zi-Pan¹, ZHU Chun¹, WU Guang-Hai¹, Walter Vetter² (1. Key Laboratory of Submarine Geoscience, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China; 2. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Lehrbereich Lebensmittelchemie, Dornburger Str. 25, D-07743 Jena, Germany). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2440~2445.

Abstract: Residue levels of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorinated pesticides (OCPs) in eggs of seabirds (Brown Skua *Catharacta lonnbergi*, South Polar Skua *Catharacta maccormicki*, Giant Petrel *Macronectes giganteus* and Gentoo Penguin *Pygoscelis papua*) breeding on King George Island, Antarctica, were measured using a gas chromatography-electron capture detector (GC-ECD) to determine accumulated organochlorine levels in taxa at the top of the marine food chain, and to

基金项目: 国家重点基础研究发展规划专项资助项目(G2000078500); 国家自然科学基金资助项目(40276037)

收稿日期: 2004-06-06; **修订日期:** 2005-05-08

作者简介: 卢冰 (1950~), 女, 浙江省杭州市人, 研究员, 主要从事有机地球化学和古海洋环境研究. E-mail: lubing@ sio. zj. edu. cn

Foundation item: The National Major Basic Research Development Planning (No. G2000078500) and the National Natural Science Foundation of China (No. 40276037)

Received date: 2004-06-06; **Accepted date:** 2005-05-08

Biography: LU Bing, Professor, mainly engaged in organic geochemistry and paleoceanographical environment. E-mail: lubing@ sio. zj. edu. cn

consider their environmental significance. The results show that bio-magnification in levels of anthropogenic chemicals is taking place in the eggs of Antarctic seabirds and total concentrations can be arranged as $\Sigma\text{PCB} > \text{DDT} > \Sigma\text{HCB}$ (hexachlorobenzene) $> \text{HCH}$ (hexachlorocyclohexane). The concentration ranges of ΣPCB , DDT, ΣHCB and HCH in the eggs of skuas were 91.9~515.5ng/g, 56.6~304.4ng/g, 6.5~70.5ng/g and 0.5~2.0ng/g respectively; in the eggs of penguins ranges were 0.4~0.9ng/g, 2.4~10.3ng/g, 6.0~10.2ng/g and 0.1~0.4ng/g; and in Giant Petrel eggs they were 38.1~81.7ng/g, 12.7~53.7ng/g, 4.2~8.8ng/g and 0.5~1.5ng/g respectively.

The results also indicate that PCB-180, PCB-153 and P,P'-DDE and HCB were the main components of the residues. Nine PCB congeners were found in the eggs of the skua and Giant Petrel (arranged as PCB-180>PCB-153>PCB-194>PCB-138>PCB-118>PCB-170>PCB-101>PCB-163>PCB-149); the concentration of PCB-180 and PCB-153 in the skua and Giant Petrel eggs were 17.5~205.5ng/g and 14.5~30.5ng/g, accounting for 62% and 69% of the ΣPCB respectively. Five PCBs were detected in the penguin eggs, in which HCB and P,P'-DDE concentrations were relatively higher.

The original polluter data in seabirds eggs are studied by using statistical analysis. The result shows the differences in the mean accumulated organochlorines reflected the ecological habits of the seabirds, such as nesting areas, extent of movement in non-breeding periods, foraging areas and foraging methods, and the species' positioning and interrelationships within the marine food chain. Importantly, the results show that an accumulation of PCBs and OCPs occurs progressively in the food chain. Thus the highest residue levels of PCBs were found in the eggs of the Brown Skua, while the lowest levels were in the penguins. Skuas have a wide-ranging diet, which also includes eggs and chicks of penguins, and this may be a factor in the bioaccumulation reported here. It is considered that, even without additional burdens, it would take a long time to eliminate this contamination in the Southern Ocean because of the transfer of these pollutants from one generation to the next.

Key words: Antarctica; seabird eggs; organochlorinated pesticides; polychlorinated biphenyls; residue levels

多氯联苯(PCBs)和有机氯农药(OCPs)自 20 世纪 70 年代初在全球范围陆续被禁用,但由于这类带氯的有机污染物其生物化学性质稳定、在环境中残留持久性和远距离输送性使其成为跨国界危害。尤其异构体具有亲脂性特征,极易被生物体吸收、富集、放大(可高达数万倍之多),其中以产卵形式重新分配污染物并继续与生物圈相互作用往复下去,这一生物能流过程决定了一部分有机氯污染物质积累、输出、转移、再循环,是一个重要污染环节,因此欧美科学家十分关注食物链顶级海鸟并利用卵样来研究和监测环境中有机氯污染状况^[1~4]。

南极生态系统中不同种类的海鸟(贼鸥、巨海燕、企鹅)每年夏季在未被冰川覆盖的海岸带营巢繁殖,选择海鸟卵样来监测研究 PCBs 和 OCPs 的残留量,可真实反映海洋生物所摄取食物的污染水平及其南极生态环境状况^[5~6]。我国学者近年也利用水鸟卵来研究环境污染现状,以探讨生物监测的可行性^[7],然而迄今为止,利用南极食物链顶端鸟种的卵样进行对环境污染和全球变化进行指示和监测的研究,在我国尚属空白。

1 材料和方法

1.1 样品采集

样品采集于 2003 年 1~2 月期间,应用 GPS 卫星定位在不同区域逐巢标记确认(图 1),采集海鸟卵样 11 枚:贼鸥 4 个巢取卵样 5 个,其中棕贼鸥(*Catharacta Lonnbergi*)3 个卵;灰贼鸥(*Catharacta maccomicki*)2 个卵(GW06 和 GW06a 是同一贼鸥先后产出的卵);企鹅(*Pygoscelis Papua*)4 个巢取卵样 4 个;巨海燕(*macronertes giganteus*)2 个巢取卵样 2 个。

1.2 处理提取及净化

将鸟卵去壳后,样品分别置于培养皿中搅匀后在恒温烘箱在 40℃ 以下烘至恒重,然后在玛瑙研钵中磨细至粉状(约 80 目),用铝箔(用正己烷处理过)包好存放于冰箱-20℃ 备用。将要提取的样品放置在 250ml 玻璃管内,企鹅卵萃取溶液 80ml 乙酸乙酯/丙烷(体积比 1:1)超声萃取 5h,(贼鸥卵萃取溶液 160ml 超声萃取 10h),静止将上清液转移,用 15ml 环己烷重复萃取 3 次,合并提取液通过装有无水硫酸钠三角漏斗除水,旋转蒸发至 2ml,加入约 2ml 异辛烷(分 3 次进行)在氮气流中改变溶剂。

本次研究样品净化和仪器条件以文献^[8,9]为基础,用 50ml 正己烷淋洗已装好的多级复合层析净化柱(0.8cmID×50cm)底部填少许玻璃棉,依次加入 8g 硅胶、lg 中性氧化铝、lg 弗罗里士、其上再加盖 1g 无水硫酸钠。将抽提浓缩液加入净化分离层析柱内,并用 1ml 正己烷洗容器,重复 3 次。加 60ml 正己烷洗脱,弃去前面 10ml,收集后面 50ml 洗脱液,包含 PCBs 和 P,P'-DDT,再加 50ml 乙酸乙酯/正己烷(1:9)洗脱包含氯化烃农药。洗脱液通过装有 20g 无水硫酸钠漏斗,以除去微量水,然后旋转蒸发,在氮气流下浓缩至 1ml 待测。

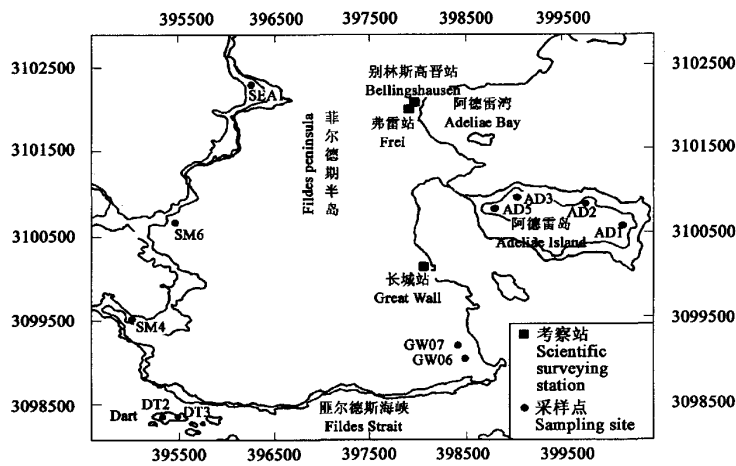


图1 南极海鸟卵样采集点

Fig. 1 Map of the Antarctic with the sampling site

1.3 标样和色谱分析条件

采用美国 ChemService 公司 PCBs 标准品(包括 PCB101、PCB118、PCB138、PCB153、PCB170、PCB180、PC194);六六六(HCH); α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH 和 δ -HCH;六氯苯(HCB);滴滴涕(DDT);P、P'-DDT、P、P'-DDD、P、P'-DDE,六次分析平均保留时间对照各谱峰,保留时间对所测样品有机氯农药进行定性与文献相对保留值相同。内标法定量(为 4,4'-二氯联苯),回收率指示物为 2,4,5,6-四氯间二甲苯和十氯联苯,回收率范围 65.0%~90.8%,相对标准偏差(RSD)为 3.2%,满足痕量有机残留物分析要求。

仪器分析使用 HP-5890 气相色谱仪,配 Ni^{63} 电子捕获检测器(ECD)。色谱柱为 HP-5 型石英毛细管色谱柱(30m $\times$ 0.32mmID,膜厚 0.25 μm),GC 程序升温在 60 $^{\circ}\text{C}$ 后(1.5min),温度以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温到 180 $^{\circ}\text{C}$ (2min),然后 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 230 $^{\circ}\text{C}$ (25min),最后 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 到 290 $^{\circ}\text{C}$ (15min)。氮气作为载气,氮气作为补偿气。

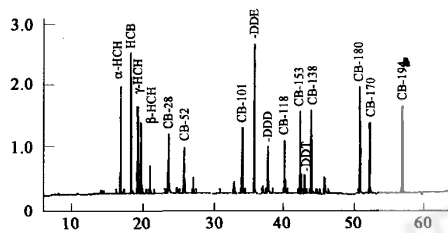


图2 农药混合标准物质色谱图

Fig. 2 A chromatography of organochlorine pesticides standard materials

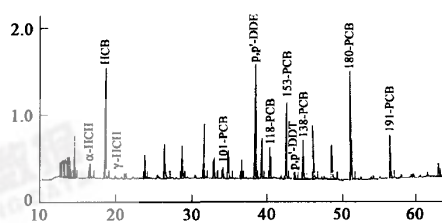


图3 贼鸥卵检出农药色谱图

Fig. 3 A chromatography of organochlorine pesticides in Jager eggs

2 结果和讨论

持久性有机污染物(POPs)从热带和亚热带挥发,一方面通过海洋生物地球化学过程对其进行全球迁移,另一方面通过大气全球蒸馏、冷凝效应、沉降到高纬高寒地区,这类带氯有机化合物具有低水溶性(S_w)和高吸附系数(K_{oc})很容易在低温极地食物链高富集^[10],其中一部分通过食物链顶端海鸟产卵的形式重新分配污染物。

本次研究从南极食物链顶端海鸟-贼鸥(棕贼鸥、灰贼鸥)、巨海燕、企鹅(白眉企鹅)卵中检出多氯联苯(PCBs)和有机氯农药(滴滴涕 DDTs、氯代苯 HCB、六六六 HCHs),从表 1 可见贼鸥卵样含量范围 ΣPCB 在 91.9~515.5ng/g, ΣDDT 56.6~304.4ng/g, HCB 6.5~70.5ng/g, ΣHCH <0.5~2.0ng/g;企鹅卵样含量范围 ΣPCB 在 0.4~0.9ng/g, ΣDDT 2.4~10.3ng/g, HCB 0.0~10.2ng/g, ΣHCH 0.1~0.4ng/g;巨海燕卵样含量范围 ΣPCB 在 38.1~81.7ng/g, ΣDDT 12.7~53.7ng/g, HCB 4.2~8.8ng/g, ΣHCH 0.5~1.5ng/g。最高积累在 GW07 棕贼鸥所产卵样为 ΣPCB 为 515.5ng/g、 ΣDDT 为 304.4ng/g、 ΣHCB 为 70.5ng/g;企鹅卵样积累浓度较低,卵样个体之间的变化相对稳定。

表 1 南极不同种群海鸟卵样中有机农药积蓄(ng/g)

Table 1 Residue level of organochlorine pesticides in seabirds eggs(ng/g)

化合物 Compound	巨海燕			棕贼鸥		灰贼鸥			白眉企鵝		
	<i>macronertes giganteus</i>			<i>Catharacta Lonnbergi</i>		<i>Catharacta maccomicki</i>			<i>Pygoscelis Papua</i>		
	GW07	SM4	SM6	GW06	GWO6a	AD1	AD2	AD3	AD5	DT2	DT3
WW(g)	90.5	76.4	86.2	82.0	81.2	90.0	88.5	70.5	68.7	111.7	118.0
脂肪 fat(%)	6.8	5.9	5.7	4.8	4.6	4.2	7.5	2.8	7.2	7.0	5.7
PCB101	2.2	1.5	0.5	2.0	2.0	nd	nd	nd	nd	1.0	0.3
PCB118	39.5	25.2	7.9	10.7	10.0	0.2		0.1	<0.1	0.7	5.9
PCB138	45.6	29.2	15.6	10.9	7.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.4	10.5
PCB149	2.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	nd	nd	nd	nd	<0.1	0.3
PCB153	140.0	95.4	39.0	17.5	24.5	0.4	0.2	0.3	0.1	14.5	19.4
PCB163	3.0	<1.0	1.0	2.0	1.0	nd	nd	nd	nd	<0.1	0.1
PCB170	30.0	30.1	18.0	9.1	9.0	nd	nd	nd	nd	4.5	4.0
PCB180	205.5	80.3	61.5	35.0	33.0	0.2	0.1	0.1	<0.1	14.6	30.5
PCB194	47.7	28.4	17.5	5.0	4.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	7.4	4.6
ΣPCB	515.5	292.1	162.0	90.2	91.9	0.9	0.4	0.6	0.4	38.1	81.7
HCB	70.5	18.8	13.5	7.2	6.5	9.4	10.2	8.5	6.0	8.8	4.2
ΣHCH	2.0	<0.5	0.8	1.5	1.0	0.4	0.1	0.2	0.1	1.5	0.5
PP'-DDT	10.2	12.5	8.4	6.8	6.1	0.16	0.5	0.5	0.4	0.2	5.0
PP'-DDE	294.2	133.4	116.5	54.6	50.5	10.1	7.4	5.9	2.0	12.5	48.7
ΣDDT	304.4	145.9	124.9	61.4	56.6	10.3	7.9	6.4	2.4	12.7	53.7

PCB (PCB101+PCB118+PCB138+PCB149+PCB153+PCB163+PCB170+PCB180+PCB194); ΣHCH (β-HCH+α-HCH); ΣDDT(P, P'-DDT+P, P'-DDE)

2.1 污染物积累水平与食物链位置

不同污染物在不同的种群间积累水平差异显著,其平均积累浓度依次为:棕贼鸥>灰贼鸥>巨海燕>白眉企鵝(图 4),且棕贼鸥、灰贼鸥和巨海燕三者种群间污染物积累呈良好的线形相关($R^2>0.9$),这与种群在食物链中所处位置关系较大。大量研究已查明南极海鸟类在海洋生态系中的食性与习性^[12~15]:棕贼鸥主要以掠取企鵝卵和幼雏为食;灰贼鸥主要捕食海洋鱼类、浮游动物(如磷虾和其他甲壳类)和小型海鸟,并啄食企鵝和海豹的尸体等;企鵝属于不会飞的鸟,食谱主要是磷虾、小鱼和小型头足类,它们也常是贼鸥和巨海燕啄食对象;巨海燕主要以海洋浮游头足类及鱼类为食;可见棕贼鸥、灰贼鸥和巨海燕处于食物链顶端,与企鵝及其他小型海鸟、鱼类之间存在着一定的捕食与被捕食的关系,海鸟体内 PCBs 和 OCPs 积累通过食物链逐级加强。研究结果还发现灰贼鸥卵样 PCBs 和 OCPs 积累比棕贼鸥要低的多,一方面,可能主要是它们食性上的差别,灰贼鸥以捕食海洋性小动物为主,掠食幼企鵝和卵次之,而棕贼鸥则以捕食企鵝类为主;另一方面,其食量远大于灰贼鸥,也表明棕贼鸥从其他动物体内获得积累的机会更大,可见海鸟消费结构(食性)与消费量(食量)对 PCBs 和 OCPs 的富集能力密切相关。加之棕贼鸥喜觅食人类垃圾,据 2002、2003 和 2004 年生物监测发现在 GW07 巢内、巢四周布满食物垃圾(鸡骨和鱼),人类食物垃圾是人类活动影响南极贼鸥种群生态的主要媒介之一^[16、17]。由此可以推断各种海鸟卵样有机氯污染物积蓄水平的高低,主要取决于不同种类海鸟的食性与食量尤其是在食物链所处位置。需要指出的是,本次研究由于采集卵样数量较少,对于上述推断仍需要作进一步细致的研究。

2.2 不同污染物性质及其生物积累效应

统计表明贼鸥体内除 HCH 外,PCB、DDT、HCB 积累水平均与其脂肪含量显著相关($R^2\geq 0.77$),而白眉企鵝则相关性不明显。污染物在不同种类海鸟卵样总积蓄水平依次为:ΣPCB>ΣDDT>ΣHCB>ΣHC,PCBs 比 DDTs、HCB 和 HCHs 结构稳定,浓缩因子高,更易在生物体内富集;相比之下 HCHs 积累量较低,可能是农业上禁用和其化学结构与 PCBs、DDTs、HCB 相比,易生物转化^[11]。可见污染物性质及种群本身的代谢差异影响有机污染物的积累。

2.2.1 PCB 与同系物 多氯联苯(PCBs)是一系列由若干氯原子取代的联苯化合物,有 210 个同系物,它们与脂肪的亲力和易有差异,但均能溶入生物体脂肪中,富集系数高达 104。南极海鸟贼鸥、巨海燕卵中检出 9 种 PCB 同系物,PCB-180>PCB-153>PCB-194>PCB-138>PCB-118>PCB-170>PCB-101>PCB-163>PCB-149,七氯、六氯取代物的 PCB 同系物 PCB-180(2,2',

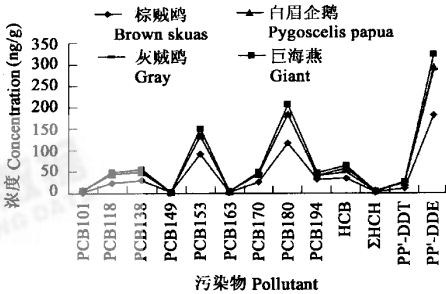


图 4 不同海鸟卵中多氯联苯及有机氯农药积累水平(ng/g)
Fig. 4 Residue levels of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorinated pesticides (OCPs) in eggs of seabirds (ng/g)

3,4,4',5,5'-七氯联苯),PCB-153(2,2',4,4',5,5'-六氯联苯)含量在17.5~205.5ng/g,占总PCB的62%;巨海燕含量在14.5~30.5ng/g,占总PCB的69%;企鹅卵中检出5种PCB同系物,其中PCB-153为最高(图5),这说明生物体内的PCBs同系物主要已高氯取代物为主^[18]。产生这种现象主要是高氯取代物的多氯联苯同系物有较高的脂溶性,不仅易在生物体内富集,而且不易被生物代谢,其毒性也远大于低氯取代的PCBs^[19]。动物实验表明PCBs长期低剂量的生态效应,主要通过生物积累或食物链放大,对生物内分泌、免疫力、生殖和神经系统产生强烈干扰和破坏,影响哺乳动物和鸟类的繁殖^[20],严重破坏了生态平衡。在极地已有的研究证实哺乳动物和鸟类往往雌性动物比雄性动物体内PCBs积累要少,这是因为雌性动物以产仔、产卵的方式排出一定量的PCBs^[21]。

2.2.2 DDT同系物 DDT是双(对氯苯基)-三氯乙烷的简称,P,P'-DDT是工业DDTs中主要成分,不溶于水,易溶于脂肪。贼鸥、巨海燕、企鹅卵样品DDT均以其代谢产物P,P'-DDE形式存在,棕贼鸥卵样品P,P'-DDE在116.5~294.4ng/g、平均181.4ng/g;灰贼鸥50.5~54.6ng/g、平均52.6ng/g;巨海燕12.5~48.7ng/g、平均36.6ng/g;企鹅卵样品P,P'-DDE2.0~10.1ng/g、平均6.4ng/g,与Weichbrodt同类研究相比,卵样中积累量接近。DDTs进入生物体后经脱氯化氢作用降解,转化为P,P'-DDE,少量为P,P'-DDD^[22],几乎所有卵样中含量均在检测限以下(<0.1ng/g)。一定含量的DDT会在鸟类体内引起卵壳腺中的碳酸酐酶抑制,使卵壳变薄易碎,影响胚胎存活和发育毒害作用。

2.2.3 HCH同系物 生态环境中HCH的不同异构体化学行为和生物效应各不同,HCHs异构体氯原子的空间位置决定了它们的热稳定性($\beta>\delta>\alpha>\gamma$)和生物转化速率($\gamma>\alpha>\delta>\beta$)。在所有海鸟卵的样中检出HCH含量较低,在卵样中HCH异构体主要以 β -HCH存在, α -HCH没有明显的积累或稀释作用,几乎所有样品中含量均在检出限以下(贼鸥、巨海燕<0.5ng/g;企鹅<0.1ng/g)。通常HCH一旦被生物吸收,异构体中 β -HCH亲脂性最强, β -HCH所有六个氯原子都处于“赤道键”位置,因为H⁺和Cl⁻消去反应是从键的反应两侧消去,氯原子处于赤道键位置,不易脱氯化氢, β -HCH的逸度随每个营养级而增加,在生物体内积蓄最大,不易被代谢^[23,24]。

2.3 污染物积累水平与营巢栖息地

研究观察到,同种海鸟卵样中污染物积累水平均呈良好的线形相关($0.79<R^2<1$),棕贼鸥和巨海燕卵样污染物积累水平区域间差异显著($p\leq 0.032$),积累大小分别为棕贼鸥WG07>SM4>SM5;巨海燕DT3>DT2。灰贼鸥和白眉企鹅卵样区域间污染物含量无明显差异。WG07相对离考察站最近,贼鸥素有南极拾荒者之称,各国考察站的垃圾和废弃物管理是否严格将直接影响鸟类觅食习惯与生存环境,(由于PCB化学稳定性、热稳定性以及高电阻、低蒸汽压、低水溶性特征,广泛用于变压器、电容器的冷却剂、绝缘材料和涂料)由此可推断海鸟营巢栖息地与人类的关系疏密程度,与它们受到污染的程度有一定的关系。

2.4 因子分析

对4个种群海鸟卵样中13种有机污染物数据(13种 $\times$ 10站位)进行环境因子分析,初步探讨卵样中有机污染物的主要来源,统计软件使用SPSS12.0。结果表明2个主因子涵盖了97.6%的污染物信息。其中认为污染的食物链放大占91%以上,地质成因占5.8%。综上分析,食物链位置,营巢栖息地、代谢差异影响有机污染物的体内积累水平,尤其以食物链位置最为显著。

3 认识与结论

(1)在南极食物链顶级生物海鸟贼鸥、巨海燕、企鹅所产卵样检出持久性有机氯污染物PCBs、DDTs、HCB和HCHs,积累水平依次为 $\Sigma\text{PCB}>\Sigma\text{DDT}>\text{HCB}>\Sigma\text{HCH}$,PCBs,可见在海鸟卵样高积累是显而易见的。企鹅卵样相对积蓄较低,较高积累水平在贼鸥所产卵样中。研究表明海鸟食物链位置、巢址选择、代谢差异及有机污染物性质影响污染物的体内积累水平,尤其以食物链位置最为显著。

(2)PCBs和OCPs经大洋食物网从低等生物到高等生物的积累与转化,使海洋生物能流成为这类有机氯污染物远距离输送的又一重要途径。南极海鸟卵样积累PCBs和OCPs的检出,证明了有机氯农药在动物体积累与代间转移,在相当长的时期内难以消除,这一过程需要大洋生态系各营养层生物体的若干代才能完成?至今无法预测。

(3)南极特有物种贼鸥和企鹅,因其在南极海洋生态系统所处的特殊地位(包括营养地位和能量传递作用),作为全球性

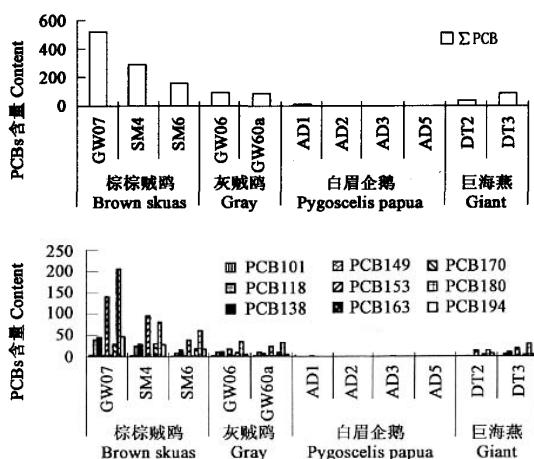


图5 不同海鸟卵中多氯联苯积累量(ng/g)

Fig.5 Residue level of PCBs in seabirds eggs (ng/g)

有机氯污染物质远距离输送和监测的指示生物种具有显著的开发利用潜力(目前,建立南极环境监测网,恰恰缺乏合适的生物指示种),这将对人类认识和监控全球有机污染动态趋势,最终达到消除污染具有重要现实意义。

References:

- [1] Rattner B A, McGowan P C, Hatfield J S, *et al.* Organochlorine contaminant exposure and reproductive success of black-crowned night-herous (*Nycticorax nycticorax*) nesting in baltimore harbor, Maryland. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 2001, **41**(1): 73~82.
- [2] Custer T W, Custer C M. Transfer and accumulation of organochlorines from black-crowned night-herou eggs to chicks. *Environ. Toxicol. Che.*, 1995, **14**(3): 533~536.
- [3] Wiemeyer S N, Bunck C M, Stafford C J. Environmental contaminants in bald eagle eggs-1980-84-and further interpretations of relationships to productivity and shell thickness. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1993, **24**(2): 213~227.
- [4] Powell D C, Aulerich R J, Meadows J C, *et al.* Effects of the 3,3',4,4', 5-pentachlorobiphenyl(PCB126), 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD), or an extract derived from field-collected cormorant eggs injected into double-crested cormorant(*Phalacrocorax auritus*) eggs. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1997, **16**(4): 1450~1455.
- [5] Risebrough R W and Carmignani G M. In: B C, Parker, ed. *proceedings of the colloquium on conservation problems in Autarctica*. Allen Press, Lawrence, Canada, 1972. 63~80.
- [6] Weichbrodt M, Vetter W, Scholz E, *et al.* Determination of organochlorine levels in antarctic skua and penguin eggs by application of combined focused open-vessel microwave-assisted extraction Gel-permeation chromatography, adsorption chromatography and GC/ECD. *Environ. Anal. Chem.*, 1999, **73**(4): 309~328.
- [7] Gong Z M, Dong Y H and An Q. Residue character of polychlorinated biphenyls (PCBs) in eggs of night heron. *China Environmental Science*, 2001, **21**(2): 124~127.
- [8] Ormerod S J, Stephanie J T. Patterns of contamination by organochlorines and mercury in the eggs of two river passerines in Britain and Ireland with reference to individual PCB congeners. *Environ. Pollut.*, 1993, **76**(2): 233~243.
- [9] Vetter W, Weichbrodt M, Hummert K. Combined microwave-assisted extraction and gel permeation chromatography for the determination of chlorinated hydrocarbons in seal blubber and cod livers. *Chemosphere*, 1998, **37**(9~12): 2439~2449.
- [10] Wania F. Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in Polar Regions. *Ambio*, 1993, **22**(1): 10~16.
- [11] Moisey J. Hexachlorocyclohexane (HCH) isomere and chiral signatures of α -HCH in the arctic marine food web of the north water polynya. *Environ. Sci. Technol.*, 2001, **35**(8): 1920~1926.
- [12] Schneider R, Steinhagen G S and Drescher H E. In: W R, Siegfried P R, Condry R M Laws, eds. *Antarctic nutrient cycles and food webs*, Berlin: Springer Verlag, 1985. 652~655.
- [13] Marchoff E, Gonzales B & S Vivequin. Studies on krill from penguin stomach contents at Potter Cove. *Berichte*, 1998, **299**(2): 236~246.
- [14] Peter H-U, Kaiser M & Gebauer A. Ecological and morphological investigations on south polar skuas (*Catharacta maccormicki*) and brown skuas (*Catharacta skua lonnbergi*) on Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands. *Zool. J. b. Syst.*, 1999, **117**(2): 201~218.
- [15] Gonzalez-solis J, Croxall J P & Wood A G. Foraging partitioning between giant petrels *Macronectes* spp. And its relationship with breeding population changes at Bird Island, South Georgia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2000, **204**(2): 279~288.
- [16] Wang Z P and Peter H U. Primary study on using skua as designative species in antarctic environmental monitoring, *Chinese Journal of Polar Research*, 2004, **16**(2): 91~98.
- [17] Wang Z P and Peter H U. Specis and distribution of the birds on fildes peninsula, king george island, antarctica. *Chinese Journal of Polar Research*, 2004, **16**(4): 271~280.
- [18] Vetter W, Natzeck C, Luckas B, *et al.* Chlorinated hydrocarbons in the blubber of a seal (*Phoca caspica*) from the Caspian. *Chemosphere*, 1995, **30**(12): 1685~1696.
- [19] Focardi S, Fossi C, Lari L, *et al.* Induction of mixed function oxidase (MFO) system in two species of antarctic fish from Terra Nova Bay (Ross Sea). *Polar Biol.*, 1992, **12**(4): 721~725.
- [20] Compens J, Mackay D. Fugacity-based model of PCB bioaccumulation in complex aquatic food webs. *Environ. Sci. Technol.*, 1997, **31**(2): 571~583.
- [21] Addison R F and Smith. Trends in Organochlorine residue concentrations in ringed seal (*phoca hispida*) from Holman. Northwest Territories, 1972-91 *Arctic*, 1998, **51**(3): 253~261.
- [22] Anderson P N, Hites R A. OH radical reactions: the major removal pathway for the atmosphere. *Environ. Sci. Technol.*, 1996, **30**(5): 1756~1763.
- [23] Buser H R. Isomer and enantioselective degradation of hexachlorocyclohexane isomer in sewage sludge under anaerobic condition. *Environ. Sci. Technol.*, 1995, **29**(3): 664~672.
- [24] Klaus-Michael Exo Peter H B and Sommer U. Organochlorine and mercury concentrations in eggs of grey plovers (*Pluvialis squatarola*) breeding in the Lena Delta, north-east Siberia, 1997. *Polar. Research*, 2000, 261~265.

参考文献:

- [7] 龚钟明,董元华,安琪.夜鹭卵中几种多氯联苯(PCBs)的残留特征,中国环境科学,2001, **21**(2): 124~127.
- [16] 王自磐, Peter H U. 贼鸥用于南极环境大型指示生物种的初步研究,极地研究,2004, **16**(2): 91~98.
- [17] 王自磐, Peter H U. 南极菲尔德斯半岛海鸟与种群分布. 极地研究,2004, **16**(4): 271~280.