

Review on Forty Years Study on Marine Coastal Environment in Taiwan

Tsu-Chang Hung

Institute of Chemistry, Academia Sinica, Taipei
Email: tchung@gate.sinica.edu.tw

Received: May 22nd, 2012; revised: Jun. 18th, 2012; accepted: Jun. 28th, 2012

Abstract: The marine environmental quality is the key factor to influence the marine ecosystem and the marine biological resources. Marine pollution on Taiwan is primary due to the city sewage, chemical fertilizers and pesticides, as well as industrial wastes that discharged directly into the nearby river system. Most of the downstream rivers as well as the western coast, where is the important Mariculture oysters and marine biological resources area, are already polluted by excessive organic materials from cities and industries. In order to safe guard our coastal environment and to protect our marine resources, since 1970, we (the scientists from physical, biological and geological divisions of Institute) have carried out several programs on hydrological, chemical, biological and geological studies along the western coast of Taiwan. The present paper attempts to review of our thirty years observation on the Taiwan marine environmental quality, especial focus on some events such as oil pollution, green oysters, coral decolorization, fish skeletal deformities, imposex on rock shells, etc.

Keywords: Coastal Environmental Quality; Mariculture; Oyster and Fish Mortalities; Imposex; Taiwan

四十年台湾沿岸海域环境研究之回顾

洪楚璋

中央研究院化学研究所, 台北
Email: tchung@gate.sinica.edu.tw

收稿日期: 2012年5月22日; 修回日期: 2012年6月18日; 录用日期: 2012年6月28日

摘要: 沿岸海域环境质量是影响海洋生态及生物生存生长之重要因子; 该海域质量又与邻近陆域环境质量(如都市及工业废物(水)之排放)有密切关系。台湾西部人口稠密、工厂林立; 不幸西海岸水浅, 海水同化废弃物水能力较差; 水浅的海域又适合鱼贝类养殖业。因此与鱼贝类之生存生长与消费者的健康生命必须重现。不同的调查分析方法, 所得调查结果必然不同。本文综合报导近四十年来台湾沿岸海域环境(包括水体、沉积物及鱼贝类)质量之研究(包括使用之调查分析方法及其质量管理与质量保证)其所发生的重大事故(如海水低温与鱼类死亡, 海水高温与鱼类死亡, 珊瑚白化(死亡)及秘雕鱼等; 耗氧性物质之养殖贝类大量死亡, 油污染, 西施舌中毒等; 以及累积性物质之绿牡蛎, 贝类性变异现象等)回顾及其处理情形, 以及未来研究工作之期望。

关键词: 海域环境质量; 鱼贝类养殖业; 鱼贝类死亡; 性变异; 台湾

1. 调查分析之品管需求及分析方法之研究

1970年代所进行之海域环境质量调查分析方法大都是采用国外文献已发表或美国环保署公告的方法; 1980年代因鉴于环境调查分析的对象非常复杂,

其分析极限值也多在 10^{-6} 和 10^{-12} 的范围; 更何况海域环境受到高浓度氯离子 10^{-2} 的干扰。由于分析物质的超微量性与复杂性, 往往导致不同机构或不同分析人员所获分析结果的不一致, 产生民间与政府

间甚多困扰；笔者等有鉴于此，率先推动环境质量调查分析^[1]，研定国内环境标准分析方法。事实上，任何环境采样与分析均有误差，如何掌握误差与降低误差则是环境调查分析的质量管理与保证的首要宗旨。

贝类栖生于固定的水域(如图 1),可累积化学污染物质(如重金属、农药及石油碳氢化合物等),累积倍率高达千倍或万倍^[2]。笔者等参加国际组织之“国际贝类侦测小组”及“东亚地区环境监测工作”^[3-6]、除进行品管校正与“比测验证”外,并与厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室进行同样品管校正与比测验证后、共同调查金厦海域贝类生长与水质环境等之研究工作^[7,8]。

2. 四十年来沿岸海域环境质量变化

2.1. 耗氧性污染物质变化情形

2.1.1. 物理性(水温)质量的变化情形

1) 导致鱼类死亡事件

1988年11月24日南湾海域发生鱼类大量死亡事件。调查发现水温仅14℃(通常该海域水温介于21℃至23℃),异常寒冷;低温原因系冬季该地区偶发性之“落山风”将深层低温海水搅动至表层所致^[9,10]。

2008年元月澎湖海域及2008年七月猫鼻头海域发生海水低温分别导致鱼类及珊瑚礁鱼类死亡案例。

2) 导致秘雕鱼事件

1993年七月在台湾北部核二厂出水口附近海域发现秘雕鱼事件;即1至2公分大

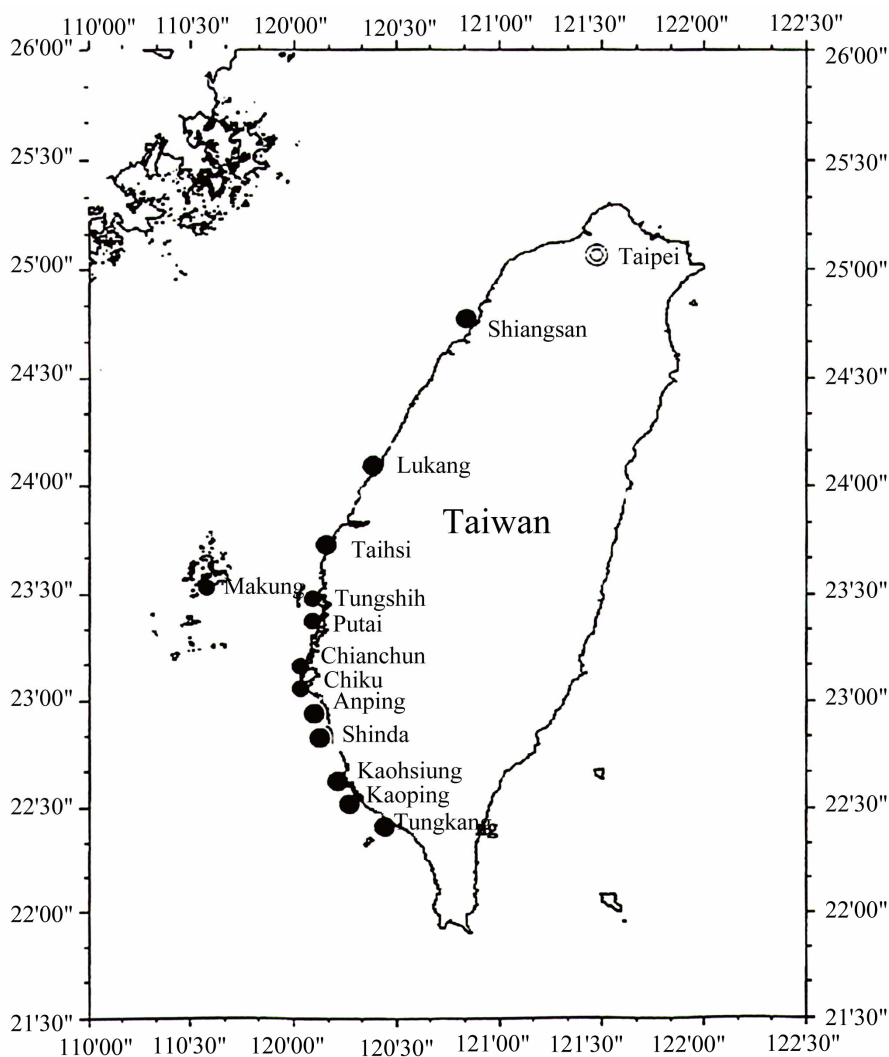


Figure 1. Sampling locations along the western coast of Taiwan
图 1. 台湾西海岸采样分布图

小、数量颇多之花身鸡鱼(*Terapon jarbua*)与大鳞鱼(*Liza macrolepis*)畸形鱼;经调查研究认为水温(37℃~40℃)是秘雕鱼的主要原因;待1995年核二厂出水口改善工程(原出水口面对海岸,现改为面对太平洋)完成后,畸形鱼鲜少发生^[10]。

3) 导致珊瑚白化死亡事件

台湾南部核能电厂两部机组同时于1987年元月同时运转时,7月初旬,在出水口右侧浅湾区,造成礁珊瑚因水温偏高(最高达32℃)发生白化现象,导致南湾海域珊瑚死亡率面积达0.1%,浅湾3公尺深之珊瑚全部白化。次年七月死亡面积扩大占南湾珊瑚0.3%,浅湾5公尺处之珊瑚大都白化。所幸,1989年5月增加10%之帮浦完工,发挥效力,使白化事件未再发生^[10]。

2.1.2. 化学性(溶氧)因子的变化导致鱼贝类死亡情形

1969年以来,台湾西南沿海养殖的牡蛎与文蛤,每年春季都遭致大量毙死,且死亡率每年均有增加之趋势。调查研究结果^[11]显示与都市及畜牧耗氧性废水有关;又因台湾中南部雨季期(每年5~9月)与干旱期(每年10~4月)明显;在干旱季节,河川干枯,此时未经处理之都市与畜牧性耗氧性废水物质流经河床,被河床之泥土砂石累积,待次年春季首次大雨时,冲刷至沿海,消耗水体中溶氧(1976年春季溶氧量最低仅0.6 mg/L),致使鱼贝类大量死亡。1981年元月至5月再度调查,呈现相同结果,溶氧量最低仅0.5 mg/L^[12]。

2.1.3. 生物性因子导致海洋生态变化:

西施舌中毒事件

1986年元月2日在高屏地区不少民众舌尖发麻,全身麻痹、全身发黑、呼吸停止之死亡案例。海研所同仁应卫生署药物食品检验局邀请,参加调查研究工作,发现该等病患系食用该地区养殖之西施舌所致。由于该养殖业者不了解“海洋生态”,仅知西施舌售价高于草虾;为增加西施舌之增量,引进高屏溪水先养殖草虾,使草虾消耗水体中浮游动物,目的在增加浮游植物供西施舌生长;奈何业者所引进之高屏溪水,含有高浓度之耗氧性物质,使水体溶氧降低(最低值趋于零),促使经济性浮游植物淘汰,有巨毒性之涡鞭毛藻类(Dinoflagellate)大量繁殖;西施舌食用这些藻类后,其巨毒转入人体,造成人体中毒死亡。为证明这些因素、本调查研究小组不但在西施舌、养殖池及

患者发现此类巨毒之涡鞭毛藻类,且由GC/MS与NMR等仪器,证实这种巨毒为麻痹性贝毒(Saxitoxin)。

查每年不知有多少类似案例,可惜台湾从事这方面研究人力不足,每项案例均以“不洁海鲜”中毒结案。事实上,这些案例有多少是由于“环境质量恶化”所造成,值得国人深思;笔者亦深信,发生于高屏地区之西施舌中毒事件,绝非是近四十年来唯一的个案。

2.2. 生物累积性物质变化情形

2.2.1. 沉积物与贝类之重金属——绿牡蛎(铜污染)

事件

1986年元月发现茄苳海域养殖牡蛎(*Crassostrea gigas*)含铜量高达2200 μg/g(干重)呈绿色(称:绿牡蛎事件);铜污染源来自二仁溪河川之废五金业区^[13,14]。进一步探讨台湾西部主要养殖区绿牡蛎发生前后各阶段(如1980年3月至1985年12月,1986年元月至1993年12月,1994年元月至1996年12月,及1997年元月至2月)所采集牡蛎,分析铜含量情形,发现1986年元月至1993年12月期间台湾西部养殖之牡蛎,含铜量普遍偏高,但发生绿牡蛎地方仅茄苳(平均高达2190 ± 212 μg/g,干重;最高达4400 μg/g,干重)与香山(平均高达682 ± 101 μg/g,干重)。由于1986年4月茄苳海域养殖牡蛎变绿后,政府明令该海域禁止养殖。笔者等为研究绿牡蛎的发生原因,并进行“海中林”计划,在该海域种植大型藻类,目的在配合环保署在二仁溪“禁止废五金业”后,清除茄苳海域铜污染问题;因此在该海域绿牡蛎事件开始至1996年7月,联络高雄县政府在该海域继续养殖牡蛎,发现由1994年元月至1995年7月该海域养殖牡蛎含铜量(平均为320 ± 189 μg/g,干重)业已明显降低,显示海中林计划成功^[15,16];然而,值得注意的是在同期间香山海域牡蛎含铜(909 ± 224 μg/g,干重)有明显增加现象;1997年元月在香山地区牡蛎体长2~3公分及3~4公分者含铜量分别为558 μg/g及764 μg/g,平均仍高达661 ± 103 μg/g(干重)。牡蛎含铜量超过500 μg/g则开始变绿;铜浓度越高则绿色越深。

笔者等曾使用C-18技术分离海水、沉积物及生物体中有机铜与有机锡^[17-19],分别在无尘实验室使用石墨原子吸光仪及气液层析仪分析(有机铜最低方法侦测极限值与相对偏差分别为<0.15 μg/L与±0.5%);

显示绿牡蛎与有机铜有密切关系；例如在二仁溪河川及其附近海域水体中铜之物种以粒状性铜(最高占总铜量 96.7%)与不活泼性有机铜(最高占溶解性铜量 91.2%)为主。在沉积物方面，河川则以残留有机物型铜(占总铜量 50.9%)为主；海域则以生物交换型与骨骼型铜(占总铜量 33.9%)为主^[19-21]。由河川与海域水体及沉积物中铜物种之组成，充分说明绿牡蛎发生的原因及其预防的方法。

统计往年元月与八月在台湾西部养殖地区牡蛎含重金属情形，发现香山地区牡蛎含锌(最高平均达 $1828 \pm 35 \mu\text{g/g}$, 干重), 铜(最高平均达 $661 \pm 103 \mu\text{g/g}$, 干重), 镉(最高平均达 $4.94 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$, 干重); 澎湖马公含铅(最高平均达 $18.33 \pm 1.95 \mu\text{g/g}$, 干重)之季节性分布, 显示冬季(元月份)含重金属量均高于夏季(八月份)^[21,22]。

2.2.2. 沉积物与贝类之有机氯农药及多氯联苯

笔者等使用超临界流体萃取, 气相层析电子捕捉侦测器(质谱仪)分析沉积物和贝类^[3,4]中有机氯农药及多氯联苯的方法; 调查分析台湾养殖地区贝类与沉积物之 16 种有机氯农药(如 α -虫必死(α -BHC)、 β -虫必死(β -BHC)、 γ -虫必死(γ -BHC)、 δ -虫必死(δ -BHC)、飞布达(Heptachlor)、阿特灵(Aldrin)、环氧飞布达(Heptachlor epoxide)、安杀番-I (Endosulfan-I)、滴滴依(4,4'-DDE)、地特灵(Dieldrin)、安特灵(Endrin)、安杀番-II (Endosulfan-II)、滴滴滴(4,4'-DDD)、安特灵醛(Endrin aldehyde)、安杀番硫酸盐(Endosulfan sulfate)及滴滴涕(4,4'-DDT))中, 以阿特灵的检出频率最高, 而残留量则以滴滴涕较多。多氯联苯(PCBs)及环氧飞布达则多未检出。在生物体方面, 以牡蛎普遍比文蛤含有机氯农药较多。台湾沿海地区(包括主要养殖地区)多未受到有机氯农药之污染; 金门和马祖沿海地区沉积物和贝类中测得之有机氯农药残留量, 较台湾沿海地区为高; 来自面向大陆沿海地区之样品中的残留量较高, 可能是有来自大陆地区之有机氯农药原因。贝类中虽测到少数有机氯农药(主要为 DDT 系列), 但其测值远低于法规管制之残留量, 可再次确定台湾沿海地区多未受到有机氯农药之污染^[7]。值得注意的是, 二仁溪和靠近海口之沉积物中所测得之多氯联苯和戴奥辛残留量, 较文献[23]上所报导台湾 21 条河川之背景值高出许多, 说明以往在此区域燃烧废五金、塑料废品和垃

圾对环境生态的严重影响和破坏, 急待研究解决。

2.2.3. 沉积物与贝类之石油碳氢化合物

于 1994~1998 年与厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室合作参加联合国大学之“国际贝类侦测”亚洲太平洋地区之调查研究计划, 调查分析金厦与马祖以及台湾西南沿海生物与沿岸沉积物标本, 发现金厦没有严重石油碳氢化合物污染, 马祖地区四维所采 1 个生物标本与沉积物标本发现受到污染, 该处为一港口, 船只漏油应可说明这个结果。台湾西南沿岸采自台南、安平港、高屏溪口与大鹏湾之生物标本以及二仁溪口与其河口之沉积物标本发现有严重石油碳氢化合物污染, 此结果可归因于高雄沿岸一带之石化工业与繁忙船只活动^[7]。

值得报导的是台湾历年发生之重大油污污染事件; 例如

1) 布拉格号油轮污染事件

发生于 1977 年 2 月 7 日, 当时科威特油轮布拉格号(Borag)从波斯湾满载三万余吨原油往深澳油港途中, 不幸在基隆与野柳间之新澳触礁沉没, 至少有一万五千余吨原油泄漏, 污染整个北部海域^[24]。当布拉格油轮污染事件发生、政府迅速决定请中油公司与基隆港务局、使用海上拦油设备阻隔油污扩散; 由中油公司抽取船上余油; 并请渔民以人工方式捞取海面上油污; 同时成立「布拉格油灾及渔业调查小组」, 调查项目包括:

- a) 除油剂及油污对海洋生物之毒害的研究;
- b) 食用含油污及除油剂之鱼贝类对人体健康的研究;
- c) 渔业生产损害的评估;
- d) 油污污染对海域生态结构之长期影响调查工作。

主持调查单位包括中央研究院, 台湾大学, 海洋学院(现为海洋大学)等相关之学者专家。这些学者专家大都参与中央研究院之“台湾北部核电厂附近海域生态调查研究计划^[10]”; 油污发生时已有三年背景资料, 国际官司获胜得巨额赔偿。

2) 阿玛斯号货轮污染事件

希腊籍货轮阿玛斯号在屏东鹅銮鼻海域于 2001 年元月 14 日搁浅、一千一百公吨燃料油污染面积达廿公顷, 严重破坏当地海洋生态环境与珍贵的垦丁国家公园的海洋生物资源; 愈一个多月, 方始进行海岸

礁岩中油污工作；但残留在货轮中至少二百余吨余油迄今未知是否抽取处理完毕；可惜当时政府延误时效，污染面扩散，又缺当地海域之背景资料，致使国际官司未能获得应得之赔偿。

海洋油污事件之处理首重明快，如任由污染由点、扩散至线甚或面，处理污染工作将事倍功半。调查小组首先应了解油污扩散范围，处理油污范围内之海水及底泥污染状况，搜集之背景资料及油污生态环境以及生物资源损害资料，交由经济部与外交部负责向船只公司及保险公司索赔。更严重的是油污毒素不仅将产生看得见的海洋生物大量死亡的表相而已，未死亡的生物，包括浮游生物、底栖生物等，都将因油污而累积相当的毒物，并经由生物链、食物链再累积至鱼贝类、最后至消费者。

2.2.4. 沉积物与贝类之有机锡(环境荷尔蒙干扰物)

承前节报导使用 C-18 技术分离海水、沉积物及生物体中有机锡(UNU1994)。在水体中总丁基锡量以高雄港区(697 ng/L)最高(TBT 也有 308 ng/L)；垦丁海域总丁基锡量仅 12 至 18 ng/L^[25,26]。沉积物及生物体之有机锡物种(三丁基锡(TBT)，二丁基锡(DBT)，单丁基锡(MBT)，三酚基锡(TPhT)，二酚基锡(DPhT)及单酚基锡(MPhT))分析，于 1994 年元月至 1995 年元月发现台湾与马祖海域沉积物最高 TBT(2500 ng/g, 干重)含量出现在基隆外海“海抛港区污泥”地区；次高值(624 ng/g, 干重)出现在马祖港^[5]。于 1997 年元月与 8 月发现香山，台西，布袋及东港养殖牡蛎含高量总丁基锡量分别为 1660 与 228 ng/g 干重，433 与 185 ng/g 干重，903 与 260 ng/g 干重及 355 与 173 ng/g 干重；其中 90% 含量为 TBT^[26]。2002 年元月与 8 月同样香山，台西，布袋及东港牡蛎含总丁基锡量分别为 2070 与 843 ng/g 干重，1831 与 1319 ng/g 干重，4139 与 2456 ng/g 干重及 5018 与 1217 ng/g 干重；显示除冬季含量较高外，近五年总丁基锡量增加 4 至 10 倍^[27]；更进一步发现 TBT 及 TPhT 之毒性累积机制与台湾养殖牡蛎(包括与牡蛎同时生长之蚵螺)大量死亡的原因^[28]。

有机锡属为环境荷尔蒙干扰物之一；环境荷尔蒙干扰物与“动情激素”(包括雌激素及雄激素)有类似的化学结构，可以模仿或干扰这些属天然荷尔蒙之“动情激素”的活动，干扰内分泌生理，和畸变的性

别发育(生殖)，行为变异，与免疫功能破坏以及癌症等问题有一定的关联性^[29,30]。近十余年来，欧美地区发生有史以来最严重的海豹与海豚感染犬瘟热病菌死亡；畸型青蛙死亡；雄性鳄鱼的阴茎短小与雌性软件动物出现雄性器官(称为性变异(Imposex))；以及人类男性精子数减少，发生摄护腺癌的机率增加等现象，显示生物族群(包括人类)之免疫系统及生殖系统发生问题^[31-33]，均与环境荷尔蒙干扰物有密切关系；更糟的是，透过母体怀孕和母乳哺育，母亲会将其体中的环境荷尔蒙干扰物传输到下一代的体中。于 1998 年二月在同样牡蛎养殖区发现与牡蛎共同生长之蚵螺具有明显之性变异现象；于 1998 年八月、十一月及 1999 年元月、八月、十一月分别采集牡蛎养殖区生物体，分析有机锡物种发现元月份牡蛎与蚵螺含有有机锡(特别是 TBT，最高量分别达 1510 ng/g 与 1949 ng/g, 干重)比十一月份高出甚多，八月份最低。在 200 个冬季分析资料中，发现性变异蚵螺含 TBT 量最高，雌性次之，雄性最低；性变异指标与 TBT($r = 0.7655, p < 0.001$)、DBT($r = 0.4253, p < 0.05$)及 MBT ($r = 0.5965, p < 0.01$)成正相关性，与 TPhT($r = -0.6160, p < 0.01$)成负相关性^[34]。

台湾牡蛎养殖地区，夏季未发现雌雄同体牡蛎。但在秋季与冬季共 895 个试样中，以香山与鹿港雌雄同体牡蛎(80%)占最多^[34]。有机锡(特别是 TBT)则以雌雄同体含量最高，雌性次之，雄性最低。性变异蚵螺与雌性或雄性蚵螺含 TBT 及 BTs 以及蚵螺与牡蛎含 TBT 及 BTs 均具有良好之线性关系。

3. 结语与期望

沿岸海洋污染与该地区都市发展，经济(包括工业)建设以及科技文明有密切关系(表 1)；台湾也不例外。如 1980 年前污染型态局限于都市废污水(耗氧型)；使用简易设备分析水温、盐度、pH 值、BOD、COD 以 0.01)成负相关性^[34]。及营养盐(如 Phosphate, nitrite, nitrate silicate；分析值小于 10^{-6})等检测耗氧性污染物致生态系统之生物病变。1980 年代随着经济与工业发展，使用原子吸收光谱仪(AA)，气相层析质谱仪(GC/MS)等仪器分所重金属，碳氢化合物等，分析值介于 10^{-6} ~ 10^{-9} ；透过国际合作建立检测分所的质量控制与质量保证(QA/QC)；此时以生物累积性物质(如重金属农药石油)污染源为重点。1995 年迄今，由于污

Table 1. Forty years analytical methods for different type of marine pollution along the Taiwan coastal area
表 1. 四十年来台湾沿岸海洋污染型态之研究

年代	污染型态	检验分析	检验设备	检验值	重大污染
1980 年前	都市废污水(耗氧性, 物质)	养殖生态因子(水温、盐度、pH 值、BOD、COD 以及营养盐)	简易设备(如吸收光谱仪等)	小于 10^{-6}	鱼贝类死亡, 秘雕鱼, 珊瑚白化死亡及西施舌中毒等事件
1980 年代	工业废污水(生物累积性物质)	重金属碳氢化合物等	原子吸收光谱仪(AA), 气相层析质谱仪(GC/MS)等	介于 10^{-6} 至 10^{-9}	绿牡蛎(铜污染), 布拉格号油轮污染, 阿玛斯号货轮污染事件等
1995 年迄今	国际污染型(生物累积性物质)影响全球生物族群(包括人类)的延续及永续发展	环境内分泌物干扰物质(有机锡物种等)	高效能液相层析仪, 液相层析电酒游离质谱仪, 高效能紫外光荧光分析仪等	介于 10^{-9} 至 10^{-12}	蚵螺之性变异及牡蛎之雌雄同体及其死亡事件等

染国际化, 环境内分泌物干扰物质存在于全球环境包括水体, 土壤, 农鱼作物, 加工食品等任何一个角落, 能干扰生物体(包括人类)之内分泌物(荷尔蒙), 促使生物体(包括人类)之性别发生畸变, 生殖功能降低, 严重影响全球生物族群(包括人类)的延续及永续发展。笔者限于人力与经费仅能探讨有机锡对蚵螺之“性变异”及牡蛎之“雌雄同体”以及其死亡均与有机锡物种(特别是三丁基锡)有密切关系; 食用此等养殖海产, 更危及全民消费者生命健康。期望藉此研究, 抛砖引玉建请我国共同探讨并克服这项“环境内分泌干扰物质”危及我养殖地区之永续发展的致死因素, 确保水产物之安全, 以及消费者的健康与生命。

参考文献 (References)

- [1] 洪楚璋. 环境分析化学的品管需求[J]. 中华民国环保学会会志, 1987, 10(1): A1-A10.
- [2] IMC. International mussel watch project: Final report on initial implementation phase—International Mussel Watch Committee, Unesco/IOC, UNEP and USA/NOAA, 63p + Appendices A-F, 1994.
- [3] UNESCO/IOC, UNEP and UNU. International mussel watch: Asian/Pacific phase organizational meeting. The United National University (UNU), Tokyo, 20-22 January 1993.
- [4] UNU. Report and Conclusions of Workshop on Asia-Pacific Mussel Watch: Monitoring, Research and Training, Bali, 18-21 November 1994.
- [5] T. C. Hung, B. P. Liu. Determination of tributyltin in sediments from the Machu and Taiwan coastal area. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 1998, 37(1): 105-112.
- [6] T. C. Hung, T. Y. Lee and T. F. Liao. Determination of butyltins and phenyltins in oysters and fishes from Taiwan coastal waters. *Environmental Pollution*, 1998, 102(2): 197-203.
- [7] T. C. Hung, Y. C. Ling and W. L. Jeng. Asia/Pacific Mussel Watch: Distribution of organic compounds along the Machu-Minjiang estuarine and coastal environment. *Journal of Environmental Protection*, 1998, 21(2): 38-56.
- [8] T. C. Hung, W. L. Jeng, Y. C. Ling and B. C. Han. Distribution of heavy metals along the Machu/Taiwan-Minjiang/China estuary and coastal waters, sediments and bivalves. *Toxicological & Environmental/Chemistry*, 1998, 67: 83-103.
- [9] 苏仲卿等. 台湾南部核能电厂附近海域之生态研究[J]. 中研院国际环科会中国委员会专刊, 1988, 59: 394.
- [10] T. C. Hung, C. C. Huang and K. L. Fan. Some events of ecological survey of coastal water adjacent to nuclear power plants in Taiwan. *Chemical Ecology*, 1998, 15: 129-142.
- [11] 洪楚璋, 陈汝勤, 林良平, 梁乃匡. 台湾西南沿海贝类死亡原因之研究[J]. 台大海研所专刊, 1975, 6: 60.
- [12] 洪楚璋, 陈汝勤, 林良平, 梁乃匡. 台湾西南沿海贝类死亡原因之研究[J]. 国立台湾大学海洋研究所专刊, 1981, 31: 30.
- [13] B. C. Han, T. C. Hung. Green oysters caused by copper pollution on the Taiwan coast. *Environmental Pollution*, 1990, 65: 347-362.
- [14] T. C. Hung, B. C. Han. Relationships among the species of copper, organic compounds and bioaccumulation along the mariculture area of Taiwan. *Science of the Total Environment*, 1992, 125: 359-372.
- [15] T. C. Hung, P. J. Meng, S. J. Wu and A. Chuang. Restoration of the marine ecological environment along the charting coastal area: Chemical study. *Chemical Ecology*, 1996, 12(1-2): 3-14.
- [16] T. C. Hung, S. J. Wu and A. Chuang. Restoration of the marine ecological environment along the Charting coastal area: Primary productivity and biomass. *Chemical Ecology*, 1996, 12(1-2): 15-29.
- [17] T. C. Hung, P. J. Meng and S. J. Wu. Species of copper and zinc in sediments collected from the Antarctic Ocean and the Taiwan Erhjin Chi coastal area. *Environmental Pollution*, 1993, 80(3): 223-230.
- [18] E. D. Goldberg. Marine metal pollutants. *Marine Pollution Bulletin*, 1993, 25: 45-47.
- [19] T. C. Hung, S. C. Tsay and P. J. Meng. Copper organically bound with humic substances and organic residues in Taiwan sediments. *Environmental Geochemistry Health*, 1995, 16: 231-246.
- [20] T. C. Hung, P. J. Meng. Interactions among the copper species in seawater/sediments and bioaccumulation along the mariculture area in Taiwan. *Chemical Ecology*, 1995, 10: 47-60.
- [21] T. C. Hung, P. J. Meng, A. Chuang, S. J. Wu and C. C. Chen. Species of trace metals, organic residues and humic substances in sediments from the Taiwan Erhjin River and coastal area. *Chemical Ecology*, 2000, 17(3): 227-238.
- [22] T. C. Hung, P. J. Meng, B. C. Han, A. Chuang and C. C. Huang. Trace metals in different species of mollusca, water and sediments from Taiwan coastal area. *Chemosphere*, 2001, 44(4): 833-841.

- [23] 袁绍英. 国内持久性有机污染物(POPs)管制现状[A]. 第四届环境荷尔蒙及持久性有机污染物研讨会论文集[C], 2006: 39-48.
- [24] 洪楚璋, 江永棉, 谭天锡, 张昆雄. 油污染对海域生态结构之长期影响——布拉哥油灾渔业调查小组报告[J]. 中研院动物所专刊, 1979, 5: 153-185.
- [25] T. C. Hung, B. P. Liu. Determination of tributyltin in sediments from the Machu and Taiwan coastal area. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 1998, 37(1): 105-112.
- [26] T. C. Hung, T. Y. Lee and T. F. Liao. Determination of butyltins and phenyltins in oysters and fishes from Taiwan coastal waters. *Environmental Pollution*, 1998, 102(2-3): 197-203.
- [27] 刘莉莲, 孟培傑, 洪楚璋. 环境荷尔蒙: 台湾有机锡研究之回顾[A]. 第四届环境荷尔蒙及持久性有机污染物研讨会论文集[C], 2006: 96-105.
- [28] P. J. Meng, J. T. Wang, L. L. Liu, M. H. Chen and T. C. Hung. Toxicity and bioaccumulation of tributyltin and triphenyltin on oysters and rock shells collected from Taiwan mariculture area. *Science of the Total Environment*, 2005, 349: 140-149.
- [29] M. R. Taylor, P. T. C. Horrison. Ecological effects of endocrine disruption: Current evidence and research problems. *Chemosphere*, 1999, 39(8): 1237-1248.
- [30] S. E. Recabarren, P. P. Rojas-García, M. P. Recabarre, V. H. Al-faro, R. Smith, V. Padmanabhan and T. Sir-Petermann. Prenatal testosterone excess reduces sperm count and motility. *Endocrinology*, 2008, 149(12): 6444-6448.
- [31] W. F. Wood. Special report on environmental endocrine disruption: Effects assessment and analysis, 1997: 1-111.
- [32] I. R. Falconer, M. R. Moore, H. F. Chapman and G. R. Ranmut-hugala. Endocrine disrupting compounds: A review of their challenge to sustainable and safe water supply and water reuse. *Environmental Toxicity*, 2006, 21(2): 181-191.
- [33] L. Tumburu, E. F. Shepard, A. E. Strand and C. L. Browdy. Effects of endosulfan exposure and Taura syndrome virus infection on the survival and molting of the marine penaeid shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Chemosphere*, 2011, 86(9): 912-918.
- [34] T. C. Hung, W. K. Hsu, P. J. Meng and A. Chuang. Organotins and imposex in the rock shell, *Thais clavigera*, from the Taiwan oyster mariculture area. *Environmental Pollution*, 2001, 112(2): 145-152.