

密级_____

学校编码: 10384
学号: 22420071150850

典型有机污染物对日本虎斑猛水蚤急、慢性毒性效应研究

厦门大学

硕士学位论文

典型有机污染物对日本虎斑猛水蚤急、慢性
毒性效应研究

Study on the Acute and Chronic Toxicity of Typical Organic
Pollutants on *Tigriopus japonicus*

王蕾

王蕾

指导教师姓名: 郭丰 副教授
专业名称: 海洋生物学
论文提交日期: 2010年 月
论文答辩时间: 2010年 月

指导教师
郭丰 副教授

厦门大学

2010年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要	I
Abstract	III
第一章 绪 论	1
1.1 水体有机污染物的种类和污染现状	3
1.1.1 多氯联苯	3
1.1.2 多环芳烃	4
1.1.3 农药类	5
1.1.4 酚类化合物	8
1.1.5 防污涂料类	9
1.2 有机污染物的毒性效应的研究进展	10
1.2.1 有机污染物的毒性作用机理	10
1.2.2 有机污染物对无脊椎动物的毒性作用研究进展	11
1.3 本研究的目的是和意义	15
第二章 有机污染物对日本虎斑猛水蚤急性毒性实验	18
2.1 引言	18
2.2 材料与方法	18
2.2.1 实验动物的采集	18
2.2.2 实验化合物	18
2.2.3 实验方法	19
2.3 结果	21
2.4 讨论	23
第三章 有机污染物对日本虎斑猛水蚤单世代生活周期的影响	26
3.1 引言	26
3.2 材料与方法	26
3.2.1 实验动物的采集	26

3.2.2 实验化合物	27
3.2.3 实验方法	27
3.3 结果	28
3.3.1 有机污染物对日本虎斑猛水蚤单世代发育时间的影响	28
3.3.2 有机污染物对日本虎斑猛水蚤单世代繁殖的影响	30
3.3.3 有机污染物对日本虎斑猛水蚤单世代存活率、性别比例、第一次产卵时间和体长的影响	32
3.3.4 有机污染物对日本虎斑猛水蚤单世代种群生殖力的影响	34
3.4 讨论	36
第四章 PCB126 对日本虎斑猛水蚤连续两个世代暴露下不同参数敏感性研究	39
4.1 引言	39
4.2 材料与方法	39
4.2.1 实验动物的采集	39
4.2.2 实验化合物	40
4.2.3 实验方法	40
4.3 结果	41
4.3.1 PCB126 对日本虎斑猛水蚤连续两个世代发育时间的影响	41
4.3.2 PCB126 对日本虎斑猛水蚤连续两个世代繁殖的影响	42
4.3.3 PCB126 对日本虎斑猛水蚤连续两个世代存活率、性别比例、第一次产卵时间和体长的影响	42
4.3.4 PCB126 对日本虎斑猛水蚤连续两个世代种群生殖力的影响	43
4.4 讨论	44
第五章 总结与展望	48
5.1 总结	48
5.2 不足与展望	49
参考文献	50

Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Species of Organic Pollutants and their Pollution Status in Aquatic System	3
1.1.1 Polychlorinated Biphenyls (PCBs)	3
1.1.2 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)	4
1.1.3 Pesticides	5
1.1.4 Phenolic Compounds	8
1.1.5 Antifouling Paints	9
1.2 Research Advances on Toxicity Effects of Organic Pollutants	10
1.2.1 Toxicity Mechanisms of Organic Pollutants	10
1.2.2 Advances about Toxicity Effects of Organic Pollutants on invertebrates ..	11
1.3 Purposes and Significances of this Study	15
Chapter 2 Acute Toxicity of Organic Pollutants on <i>Tigriopus</i>	
<i>japonicus</i>	18
2.1 Introduction	18
2.2 Materials and Methods	18
2.2.1 Animals Colletion	18
2.2.2 Chemicals	18
2.2.3 Methods	19
2.3 Results	21
2.4 Discussion	23
Chapter 3 Effects of Organic Pollutants on Single Generation of	
<i>Tigriopus japonicus</i>	26

3.1 Introduction	26
3.2 Materials and Methods	26
3.2.1 Animals Colletion	26
3.2.2 Chemicals	27
3.2.3 Methods	27
3.3 Results	28
3.3.1 Influence of Organic Pollutants on Development Time of <i>T. japonicus</i> ..	28
3.3.2 Influence of Organic Pollutants on Reproduction of <i>T. japonicus</i>	30
3.3.3 Influence of Organic Pollutants on Survival, Sex Ratio, Hatching Time and Body Length of <i>T. japonicus</i>	32
3.3.4 Influence of Organic Pollutants on Intrinsic Population Growth Rate of <i>T.</i> <i>japonicus</i>	34
3.4 Discussion	36
 Chapter 4 Effects of PCB126 on Continuous Two Generations of <i>Tigriopus japonicus</i>	 39
4.1 Introduction	39
4.2 Materials and Methods	39
4.2.1 Animals Collection	39
4.2.2 Chemials	40
4.2.3 Methods	40
4.3 Results	41
4.3.1 Influence of PCB126 on Development Time of Two Generations' <i>T.</i> <i>japonicus</i>	41
4.3.2 Influence of PCB126 on Reproduction of Two Generations' <i>T. japonicus</i>	42
4.3.3 Influence of PCB126 on Survival, Sex Ratio, Hatching Time and Body Length of Two Generations' <i>T. japonicus</i>	43
4.3.4 Influence of PCB126 on Intrinsic Population Growth Rate of Two Generations' <i>T. japonicus</i>	44
4.4 Discussion	44

Chapter 5 Conclusions and Perspectives	48
5.1 Conclusions	48
5.2 Perspectives	49
References	50

厦门大学博硕

摘要

海洋环境中的有机污染问题已成为倍受关注的全球性环境问题,目前亟需开展典型有机污染物对海洋生物毒性效应的研究,为相应的环境风险评价提供依据。桡足类作为海洋生态系统中承上启下的关键动物,研究其个体和种群对环境污染物的响应情况,对污染物的生态效应评价具有重要意义。本研究选择我国近岸海域中被普遍检出且已被我国或其他国家列为环境优先控制的 10 种有机污染物,包括有机磷农药(毒死蜱、马拉硫磷)、有机氯农药(狄氏剂)、多环芳烃(菲、芘、苯并[a]芘)、酚类化合物(壬基酚)、有机锡化合物(三丁基锡)和多氯联苯(PCB77、PCB126),以日本虎斑猛水蚤为实验对象,测定这些有机物对桡足类动物急、慢性毒性效应,对我国近岸海域这些有机污染物的环境风险进行初步分析。所得主要结果如下:

1. 96-h 标准急性毒性实验结果显示,这 10 种有机污染物对日本虎斑猛水蚤无节幼体和成体的存活率均表现出不同程度的抑制作用,且抑制程度与有机污染物的浓度有关,表现出明显的剂量-效应关系。除菲、马拉硫磷和毒死蜱例外,无节幼体表现出比成体更高的敏感性。10 种有机污染物对日本虎斑猛水蚤无节幼体的急性毒性大小为: TBT>苯并[a]芘>毒死蜱>芘>壬基酚>狄氏剂>菲>PCB77>PCB126>马拉硫磷;而对成体的急性毒性大小为: 毒死蜱>TBT>狄氏剂>苯并[a]芘>马拉硫磷>壬基酚>菲>芘>PCB。由于不同类别有机污染物的毒性机制不同,10 种有机污染物的 $\log K_{ow}$ 与其 LC_{50} 之间没有明显的相关性,但是,同一类有机物的 LC_{50} 与其 $\log K_{ow}$ 值呈显著正相关,仍显示其毒性大小与其理化性质密切的相关性。
2. 单世代暴露慢性毒性实验中,发育时间和繁殖是有机物对日本虎斑猛水蚤单世代慢性毒性效应敏感的参数,其中 12 天繁殖力是最敏感的指标。在实验浓度范围内,9 种有机物基本上都使得日本虎斑猛水蚤的发育出现明显的延迟现象,对繁殖也造成不同程度的影响,随浓度增加种群生殖力基本呈下降趋势。有内分泌干扰作用的有机物可能通过激素控制和调节桡足类动物的蜕皮和变态过程,从而影响动物的发育。9 种有机物对日本虎斑猛水蚤产生毒

性效应的最低浓度均低于各自急性毒性的 NOEC，慢性毒性大小为：BaP>毒死蜱>TBT>狄氏剂>壬基酚>马拉硫磷>菲>芘>PCB77，与成体急性毒性结果相似。

3. PCB126 对日本虎斑猛水蚤连续两个世代的暴露中， F_1 代显示比 F_0 更明显的效应， F_1 代产生毒性效应的最低浓度仅有急性毒性 NOEC 的 1/6000。体长和无节幼体时间是最敏感的参数，繁殖和种群生殖力次之，存活率、性别比例和产卵时间则没有显著地影响。有机物对繁殖的影响可能与胁迫条件下，能量的重新分配有关，日本虎斑猛水蚤倾向于能量首先满足生长需求，用于繁殖的能量减少，导致繁殖力的降低。日本虎斑猛水蚤对 PCB 的敏感性随世代发育增强，表明在进行环境风险评价时仅依靠急性毒性或者单个世代的暴露结果是不够的，多世代的连续暴露才能为海洋环境中有机物的风险评价提供科学依据。

关键词：有机污染物；日本虎斑猛水蚤；毒性效应；发育；繁殖

Abstract

The organic pollutants are currently a worldwide concern in the oceanic environment. It needs to carry out the researches on the toxic effects of organic pollutants on marine organisms, which could provide the datas for the corresponding environmental risk assessment. Marine copepods are an important group of species with wide range of biogeographical distributions as they serve as essential food sources for marine organisms at higher trophic levels. Researches on the effects of environmental pollutants on the individual and population of copepods are very important to the ecological effect assessment. In this study, we determined the 96-h acute and chronic toxicity effects on 10 common organic pollutants of *Tigriopus japonicus*, which were measured in the coastal area of China or the list of prior control by other countries and organizations, including organophosphorus pesticides (chlorpyrifos and malathion), organochlorine pesticides (dieldrin), polycyclic aromatic hydrocarbons (phenanthrene, pyrene and benzo[a]pyrene), nonylphenol, tributyltin and polychlorinated biphenyls (PCB77 and PCB126). The main results as followed:

1. The results of 96-h acute toxicity tests showed that all the 10 organic pollutants inhibited the survival of naupliar and adults of *Tigriopus japonicus* to some extent. Obvious dose-effect relationships were found between the inhibitions and the concentrations of pollutants. Compared to adults, naupliar were more sensitive to most of these pollutants except for phenanthrene, malathion, and chlorpyrifos. The order of acute toxicity on the naupliar of *Tigriopus japonicus* was TBT > benzo[a]pyrene > chlorpyrifos > pyrene > nonylphenol > dieldrin > phenanthrene > PCB77 > PCB126 > malathion. The order of acute toxicity on adults of *Tigriopus japonicus* was chlorpyrifos > TBT > dieldrin > benzo[a]pyrene > malathion > nonylphenol > phenanthrene > pyrene > PCB. Because of different mechanisms in various organic pollutants, there was no

significant relationship between $\log K_{ow}$ and LC_{50} of these ten organic pollutants. However, LC_{50} of organic pollutants were positive correlated with $\log K_{ow}$ in the same chemicals group, which demonstrated that the toxicity of pollutants was closely related to their chemical structures and properties.

2. The chronic toxicity of single generation exposed to nine organic pollutants showed that development time and reproduction were relatively sensitive parameters among ten parameters tested for *Tigriopus japonicas*. Of them, fecundity in 12d was the most parameter. The endocrine disrupting chemicals regulated the process of molting and metamorphosis of copepods through hormonal control, thus affecting the animal's development. The order of chronic toxicity of nine pollutants chlorpyrifos > TBT > dieldrin > benzo[a]pyrene > nonylphenol > malathion > phenanthrene > pyrene > PCB77, which was similar to the order of acute toxicity.
3. A two generation chronic toxicity test was conducted in the PCB126 treatment. The results showed that F_1 generation seemed more sensitive than F_0 , and the lowest sensitive concentration in F_1 generation was only 1/6000 of NOEC in acute toxic test. Among the different traits tested, the body size and the nauplius development were the most sensitive parameters. Reproduction (fecundity, clutch size, nauplii/clutch) and intrinsic population growth was also significantly impacted by PCB exposure, whereas the survivorship, sex ratio and the hatching rate were not affected. Under the stress of pollutants, *Tigriopus japonicas* tend to meet the energy demand of growth firstly, thus lead to less energy for reproduction and the reduced fecundity. Copepods became more sensitive to PCB exposure as generation developed. It suggested environmental risk assessment of contaminants must therefore be based on a long-term multigenerational exposure to provide realistic measure of the influences of pollutants on aquatic life.

Keywords: organic pollutants; *Tigriopus japonicas*; toxicity effects; development; reproduction

第一章 绪论

近年来, 有机物污染及其对人体健康和生态系统的危害越来越被人们所认识。其中持久性有机污染物(Persistent Organic Pollutants, 以下简称 POPs)由于大多具有“三致”(致癌、致畸、致突变)效应和遗传毒性, 能干扰人体内分泌系统引起“雌性化”现象, 并且在全球范围的各种环境介质(大气、江河、海洋、底泥、土壤等)以及动植物组织器官和人体中广泛存在, 已经引起了各国政府、学术界、工业界和公众的广泛关注, 成为一个新的全球性环境问题。POPs 一般指可长期存在于环境中, 通过食物网积聚, 对人类健康及环境造成不利影响的有机化学物质^[1]。POPs 具有四个显著的特征: 持久性(长期残留性)、生物蓄积性、半挥发性(长距离传输)、高毒性, 所以 POPs 对生态环境污染的严重性和复杂性远超过无机酸性气体、重金属等物质对环境体系的损害。POPs 不仅对生物体的健康具有致癌、致畸、致突变性, 而且还对生物内分泌系统具有干扰作用, 可直接威胁野生动物或人类的生存和繁衍, 尤其在对人体生殖行为方面, 对子孙后代可能产生的不利影响备受关注^[2-16]。POPs 通常具有低水溶性和高脂溶性, 大部分 POPs 是人工合成的, 其排放与工业生产、使用、废物处置、渗漏、燃料和废物的燃烧有关, 一旦 POPs 进入环境, 就很难清除。

2000 年 12 月, 120 多个国家的代表在南非完成了由联合国环境规划署(UNEP)组织的控制 12 种典型 POPs 国际法律约束条约起草工作。到目前为止, UNEP 制订的持久性有毒化学污染物(Persistent Toxic Substances, PTS)研究清单包括 27 种有毒化学污染物^[17]: 艾氏剂(Aldrin)、氯丹(Chlordane)、滴滴涕(DDT)、狄氏剂(Dieldrin)、异狄氏剂(Endrin)、七氯(Heptachlor)、六氯代苯(Hexachlorobenzene)、灭蚁灵(Mirex)、毒杀芬(Toxaphene)、多氯联苯(PCBs)、二噁英(Dioxins)、多氯代苯并呋喃(Furans)、十氯酮(Chlordecone)、六溴代二苯(Hexabromobiphenyl)、六六六(HCH)、多环芳烃(PAHs)、多溴代二苯醚(PBDE)、氯化石蜡(Chlorinated Paraffins)、硫丹(Endosulphan)、阿特拉津(Atrazine)、五氯酚(Pentachlorophenol)、有机汞(Organic Mercury compounds)、有机锡(Organic Tin compounds)、有机铅(Organic Lead compounds)、酞酸酯(Phthalates)、辛基酚(Octylphenols)、壬基酚

(Nonylphenols)。中国政府于 2001 年 5 月 23 日在瑞典签署了控制持久性有机污染物的国际公约《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》，2004 年 12 月 11 日该公约正式对我国生效。

海洋是陆源排放有害物质的最终储库。不论是直接排放还是通过其他环境介质(大气、水等)的输送,绝大多数污染物的最终归宿都是海洋,这对海洋环境造成不可逆转的破坏,并对海洋生物构成极大的威胁,尤其是具持久性的有毒有害物质对海洋环境的潜在风险更高。经江河入海口和陆源排污口排放入海是海洋环境中有机污染物的主要来源,已成为影响海洋生态安全的主要因素之一^[18]。2009 年中国海洋环境质量公报显示实施监测的 457 个入海排污口中,73.7%的入海排污口超标排放污染物,部分排污口邻近海域环境污染呈加重趋势。与其他污染物相比,有机污染物更易在极低浓度时就对海洋生物产生毒害效应,同时由于许多有机污染物具有较高的辛醇-水分配系数,容易通过食物链生物积累和放大,最终对人类构成威胁。有机污染物对生态系统的危害往往具有复杂性、长期性、隐蔽性和滞后性的特点,因此海洋环境中的有机污染问题已成为备受关注的全球性环境问题^[19,20]。

越来越严重的有机污染不仅威胁我国的食品安全和人体健康,而且严重影响产品的进出口贸易。近年来,我国出口贸易因为六六六和 DDT 等有机氯农药残留问题而被退货、索赔和限制出口的事件时有发生,我国动物产品对欧盟的出口几乎遭到全面禁止;一些国家已陆续要求我国对某些出口产品检测二噁英的含量^[1]。近年来,我国已加强了若干重金属及少数有机污染物的排放控制,但大多数有机污染物仍未被现行的“污水综合排放标准”^[21]和“海水水质标准”^[38]所包含,其主要原因是缺乏相应的环境效应评估研究,导致有机污染物海洋环境效应不明,从而无法确定需优先控制的有机污染物种类和污染排放控制的具体指标。因此,目前亟需对海洋中的重要有机污染物开展环境效应评估研究,而以敏感物种为受试生物的急、慢性毒性实验则是其中的一个重要内容。通过海洋生物(如藻类、轮虫、甲壳类、双壳类和鱼类等)的毒性实验,评价有机污染物的潜在毒性效应,确定某一化学物质能产生毒性效应的最低暴露浓度或身体残留浓度,从而为某一特定条件(特定的化学物质、生物体及暴露状况)下的环境风险评价提供基本数据。

在海洋生态系统中,浮游动物种群变化和生产力的高低,对于整个海洋生态系统结构、功能、以及生物资源的补充都具有十分重要的影响。在庞大、复杂的海洋浮游动物群落中,桡足类因在种类组成和数量上的优势而成为其中最重要的组成部分。桡足类一方面通过下行效应(top-down effect)控制着以浮游植物为代表的初级生产力的产生和规模;另一方面,其自身种群数量的变动会因上行效应(bottom-up effect)导致食物链上一营养级的物种(鱼类等)发生变化。桡足类由于在整个海洋生态系统食物网中承上启下的重要作用,成为当今一些国际重大研究计划(如, GLOBEC、JGOFS 和 LOICS 等)的重点研究内容。通过对桡足类生活史参数的研究,不仅能对自然界桡足类的种群变动和分布有所了解,而且能为桡足类在生态毒理学中的应用奠定理论基础并提供分析依据。

桡足类是一类小型低等甲壳动物,属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、桡足亚纲(Copepoda)。包括:哲水蚤目(Calanoida)、猛水蚤目(Harpacticoida)、剑水蚤目(Cyclopoida)、怪水蚤目(Monstrilloida)、细尾水蚤目(Misophrioida)、背卵囊水蚤目(Notodelphyoida)以及鱼蝨目(Caligoida)^[23]。桡足类的摄食、生殖、存活和发育是造成种群动态变化的关键因素,不仅决定着种群出生率和死亡率,也决定着海洋初级生产力向次级生产力的转换,是建立海洋生态动力学模型的关键参数。因此,桡足类的摄食生态、生殖率、存活率和发育的研究已成为当今海洋生态研究的热点。

1.1 水体有机污染物的种类和污染现状

水体中有毒有机污染物通常以微克级(10^{-6} g/L)或更低级浓度水平存在。生态毒理学的研究表明,这类污染物有些极难被生物分解,能够在水生生物、农作物和其它生物体中迁移和富集,有的具有三致(致癌、致畸、致突变)效应,在长周期、低剂量条件下,往往可以对生态环境和人体健康造成严重的甚至是不可逆的影响^[14, 24]。

1.1.1 多氯联苯

多氯联苯(Polychlorinated Biphenyls, PCBs)是联苯上的氢被氯取代后生成物的总称。一般以 4 氯或 5 氯化合物为最多,理论上 PCBs 的同分异构体多达 209

种。该类污染物在环境中不易分解，一般极难溶于水，易溶于有机溶剂和脂肪，所以一旦侵入机体就不易排泄，可对神经、发育、生殖和免疫系统造成影响，易引起皮肤和肝脏损坏^[22, 25]。多氯联苯具有很高的辛醇-水分配系数，能强烈的分配到沉积物有机质和生物脂肪中，因此即使它在水中浓度很低时，在水生生物体内和沉积物中的浓度仍然可以很高。多氯联苯被广泛用作电器绝缘材料和塑料增塑剂等，是一种稳定性极高的合成化学物质，主要通过工业、城市废水向河、湖、沿岸水体的排放和大气沉降等方式进入水体。由于 PCBs 是一种疏水性化合物，从而决定了其在水中的主要存在方式，除一小部分溶解外，大部分的 PCBs 都是附着在悬浮颗粒物上^[20]。近二十年来，各国都非常重视多氯联苯的生产和使用，对其环境残留要求严格控制。

多氯联苯自二十世纪 20 年代末开始生产和陆续大量使用以来，污染范围已极为广泛。我国自 1956 年开始生产 PCBs 到 80 年代初全部停止生产，在此期间我国生产的 PCBs 总量累计达到万吨，其中约 9000 吨(三氯联苯)用作电力电容器的浸渍剂，约 1000 吨(五氯联苯)用于油漆添加剂^[26]。我国的 PCBs 生产和使用量虽然不及发达国家，但我国局部地区(如主要工业区、电子垃圾回收地和废旧变压器存放地等)PCBs 含量仍很高，并在近几年表现出显著增加的趋势^[27]。王泰等^[28]对海河和渤海湾表层水中溶解态的多氯联苯的污染状况进行了调查，结果表明海河和渤海湾表层水中多氯联苯的含量为 0.06-3.11 $\mu\text{g/L}$ ，认为海河干流流域内的工业废水排放等陆源输入可能是渤海湾中多氯联苯的重要来源。张祖麟等^[29]的调查显示厦门港表层海水多氯联苯的浓度为 0.08-1.69 ng/L ，表明同国内外其他港口相比，污染程度较低。

1.1.2 多环芳烃

多环芳烃(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是含碳化合物(煤、石油、汽油和木柴等)在温度高于 400 $^{\circ}\text{C}$ 时，经热解环化和聚合而成的产物^[30]。由于人类对海洋大陆架上石油资源的开采和运输，原油、燃料油及其他石油产品被直接或者间接地输入海洋，大气中的多环芳烃经沉降和雨洗等途径也进入海洋环境，造成海水环境的不断恶化，致使海洋中自表层生物到底栖生物都受到了很大影响。生物毒性实验表明，许多 PAHs 具有致癌作用，是公认的有毒有机污染物。美国环保局公布 129 种优先控制污染物中，有 16 种是多环芳烃^[31]。PAHs 的种

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

廈門大學博碩