
中国热点地区鸡蛋中的持久性有机污染物（POPs）

捷克共和国Arnika协会有毒物质和废弃物项目

Jindřich Petrlik - 2016年6月



翻译：周勇
校对：毛达 田倩

以上图片来源：<http://www.glennellis.com/uncategorized/a-real-killer-additive-in-our-food/>

北京 – 哥德堡 – 布拉格
2015年1月（第一版）
2016年6月（更新版）

此报告更新版是2014年中捷环保NGO同行参与由德国亚洲之家基金会（Stiftung Asienhaus）组织的中欧民间组织交换项目的一项后续产出。该交换项目得到德国罗伯特·博世基金会（Robert Bosch Stiftung）的资助。

目录

报告精要.....	4
1. 引言.....	7
2. 抽样和分析方法.....	7
3. 热点地区描述.....	9
3.1. 北海——冶金厂.....	10
3.2. 广州李坑——垃圾焚烧厂.....	11
3.3. 齐化——聚氯乙烯（PVC）工厂.....	11
3.4. 深圳——垃圾焚烧厂.....	12
3.5. 武汉——垃圾焚烧厂.....	12
3.6. 资阳——多氯联苯（PCB）贮存.....	13
4. 结果和讨论.....	13
4.1. 欧盟和其他地方对鸡蛋中持久性有机污染物含量的限制.....	14
4.2. 用DR CALUX方法检测分析二噁英和类二噁英多氯联苯.....	16
4.3. 中国和哈萨克斯坦鸡蛋样品中的二噁英、多氯联苯、六氯苯（HCB）和有机农药（OCP）.....	17
4.4. 武汉的鸡蛋样品.....	20
4.5. 鸡蛋所含持久性有机污染物的背景水平.....	21
4.6. 鸡蛋中的溴代二噁英和溴化阻燃剂（BFR）.....	21
5. 结论和建议.....	22
6. 参考文献.....	23
鸣谢.....	26

报告精要

鸡蛋二噁英污染：公众需要知道的十件事

毛达

由中外三家民间环保组织共同完成的《中国热点地区鸡蛋中的持久性有机污染物》报告，其重点在于自由放养鸡蛋受到二噁英类持久性有机污染物污染的情况。围绕这个问题，本文概括出报告的十点关键内容，以便于公众快速获得对他们有价值的信息。

一，二噁英类化合物（dioxin），作为最典型的一种持久性有机污染物（POPs），一部分已被列入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》严格管控的名录，如多氯二苯并-对-二噁英（PCDDs）、多氯二苯并呋喃（PCDFs）、类二噁英多氯联苯（DL-PCBs）、另一部分则还未得到公约及各国环境法规的有效监管，如溴代二噁英（PBDD/Fs）。（中国政府于2001年和2004年分别签署和批准该公约）

二，自由放养鸡蛋（散养鸡蛋、走地鸡蛋）是土壤或灰尘二噁英污染的敏感指示物，以往多项研究显示，来自污染地区的自由放养鸡蛋的二噁英含量很容易超过人体健康安全的标准。

三，我国还未制定鸡蛋二噁英含量限值；想要评估在中国采集的鸡蛋样品的二噁英污染水平，需参考欧盟相关标准。目前，欧盟限定每克鸡蛋脂肪中PCDD/Fs（即PCDDs和PCDFs）的二噁英毒性当量（TEQ）不得超过2.5皮克，PCDDs/F+DL-PCBs二噁英毒性当量不得超过5皮克。（1皮克=10⁻¹²克）

四，三家环保组织于2013-2015年在中国6个可疑二噁英污染源采集了10组自由放养鸡蛋样品，还在北京一家超市采购了1组作为对照的、产自大型养鸡场的鸡蛋样品。6个可疑污染源是：广西北海一座冶金厂、广州李坑一座生活垃圾焚烧厂、齐齐哈尔一座聚氯乙烯厂、深圳一座生活垃圾焚烧厂、武汉一座生活垃圾焚烧厂和一座医疗废物焚烧厂（二者相互紧邻）、四川资阳一处多氯联苯电容器历史使用和贮存场地。

五，11组鸡蛋样品都送往欧洲获得认证的二噁英分析实验室。其中有9组（包含对照组）送往荷兰阿姆斯特丹的实验室，通过DR CALUX方法分析其二噁英水平；5组（包含对照组）送往捷克的实验室，通过标准方法分析其二噁英水平。（DR CALUX是一种已得到欧盟认可的，专门用于可疑产品筛查的生物分析技术，检测结果用生物分析当量（BEQ）表示）

六，通过DR CALUX方法分析的所有9组鸡蛋样品，除购自北京超市的外，全部二噁英生物分析当量（BEQ）都超过欧盟的两项标准限值。其中PCDD/F超标程度为2.3-12倍，PCDD/Fs+DL-PCBs超标程度为1.5-7.4倍。超标最严重的采样点为广西北海冶金厂和武汉垃圾焚烧厂附近。

七，通过标准方法分析的所有5组鸡蛋样品，除购自北京超市的外，全部PCDD/Fs二噁英毒性当量（TEQ）都超过欧盟标准限值，超标程度为1.3-4.9倍，超标最严重的2组样品都来自武汉垃圾焚烧厂附近。与DR CALUX检测结果有所不同，5组样品中，仅有2组采自武汉垃圾焚烧厂附近鸡蛋的PCDD/Fs+DL-PCBs二噁英毒性当量超过欧盟标准限值。

八，武汉垃圾焚烧厂附近采集的自由放养鸡蛋样品受二噁英污染最为严重，按标准方法分析，PCDD/Fs和PCDD/Fs+DL-PCBs二噁英毒性当量超标倍数分别达3.6和2.7倍以上。此外，实验室检测还发现这些样品含有高浓度的溴代二噁英、六氯苯（HCB）和多溴二苯醚（PBDEs），最高含量分别达到每克脂肪29.2皮克二噁英毒性当量、每克鲜重74.5纳克和每克脂肪1053.6纳克。六氯苯和多溴二苯醚（一种溴化阻燃剂）也是《斯德哥尔摩公约》明确要求严格管控的持久性有机污染物。参照欧盟规定的每克鲜重不得高于20纳克的限值，武汉样品六氯苯含量超标近4倍。多溴二苯醚虽然还没有国内外的食品控制标准可以参照，但武汉样品的污染程度已达此前被报道过的中国东部地区受严重污染的电子垃圾拆解场的水平。（1纳克=10⁻⁹克）

九，作为对照组的、购自北京一家超市的鸡蛋样品属本地市场上一著名鸡蛋品牌，生产商常以“生态”、“无污染”描绘其鸡蛋养殖地。实验室分析结果表明，这些样品每克脂肪中PCDD/Fs和PCDD/Fs+DL-PCBs二噁英毒性当量分别为0.2皮克和0.48皮克，都显著低于相应的欧盟标准限值（前者为2.5皮克，后者为5皮克）。

十，报告建议：《斯德哥尔摩公约》应将同样危险的溴代二噁英列入严格管控的污染物清单；中国相关部门应重点监测二噁英类或其他无意产生的持久性有机污染物（如六氯苯）排放源附近生产的食品，并进一步削减相关污染物的排放；相关部门应大力促进基于无毒技术的废弃物循环处理，而非大量建设垃圾焚烧厂，还应参照《斯德哥尔摩公约》最佳可行技术/最佳环境实践（BAT/BEP）指南，有效改善垃圾管理。

二噁英小档案

二噁英（dioxin）常被媒体形容为“世纪之毒”。从科学上理解，这是因为它是一种典型的持久性有机污染物，具有高毒性、持久性、生物积累性和长距离迁移性这四大特征。

所谓高毒性，主要表现在它的“三致效应”上，即对人和动物有致癌性、致畸性和致基因突变性。持久性和生物积累性则相互关联。由于二噁英具有很强的化学稳定性，不容易被自然降解，所以一旦进入动物体内或人体，就会被脂肪组织吸收，长久驻留。科学家估计，二噁英在人体内的半衰期大约为7至11年。此外，二噁英在生物体内的蓄积程度会沿食物链逐级放大，而人类处于食物链的最顶端，因此可能受到的危害最为严重。所谓长距离迁移性，是指二噁英可以通过大气环流被运输到很远的距离之外，特别是从低纬度地区运输到高纬度地区，所以它也被视为是一种全球污染物。

必须注意的是，“二噁英”并不是一种化学物质的名称，而多用来泛指许多具有相似物理、化学和生物特性的化学品。在一般的文献中，“二噁英”主要包含多氯二苯并-对-二噁英（PCDDs）和多氯二苯并呋喃（PCDFs）两类物质。某些多氯联苯（PCBs）类物质因具有和前两类物质相似的毒性，也会被归在“二噁英”名下。目前，大约有419种二噁英类化合物被确定，但其中只有近30种被认为具有较强的毒性，且以2,3,7,8-四氯二苯并-对-二噁英（2,3,7,8-TCDD）的毒性最大。

世界卫生组织的相关网站介绍，二噁英主要来自于工业过程，包括含氯化学品生产、废弃物焚烧、金属冶炼、纸浆氯漂白的副产品，但也可能来自于自然过程，如火山爆发和森林火灾。尽管二噁英来源于一些特定的地方，但其环境分布是全球性的。世界上几乎所有环境媒介都发现有二噁英，蓄积最严重的地方是土壤、沉积物和食品，特别是乳制品、肉类、鱼类和贝壳类食品，而植物、水和空气中的二噁英含量则非常低。

历史上曾经发生过一些非常严重的二噁英污染事件。例如，1976年，意大利塞维索（Seveso）一座氯酚化工厂发生爆炸事故，大量二噁英泄漏到环境中，使方圆15平方公里的范围遭受污染，数不清的动物和牲畜死亡，近200位居民罹患严重的氯痤疮——一种急性二噁英中毒的典型症状。其后，持续30年的健康跟踪研究显示，受害人群中某些癌症的发病率有所增加，其生育能力及子女的健康也受到影响。

1965至1970年间，美国军队在越南战争中利用军用运输机，向战场、农田、营地、交通运输线投撒了大量含二噁英的植物清除农药，名为“橙剂”（Agent Orange），致使无数越南本地军民及许多美军官兵暴露于二噁英。在受害者对美国政府及农药生产商提出索赔、诉讼之后，其健康问题逐步得到研究，他们所患的一些疾病，如某些类型的癌症和糖尿病已被认为和越战二噁英暴露经历有关。

1999年，比利时食品监管部门在家禽和蛋类中发现了高浓度的二噁英。紧接着，遭二噁英污染的动物类食品（家禽、蛋、猪肉）相继在其他国家发现。后来科学家证实，事故的祸根是动物饲料被非法掺入含多氯联苯的工业废油。

曾被报道过的二噁英灾难还有几起人为投毒事件，尤其引人注目的是发生在2004年的乌克兰前总统维克托·尤先科的二噁英中毒悲剧。事后，他的面部因患氯痤疮而被损毁。

1.引言

在以往的许多研究中，自由放养鸡蛋常被用于监测某些地方持久性有机污染物（POPs）的污染程度（Pless-Mulloli、Schilling等，2001年；Pirard、Focant等，2004年；DiGangi和Petrlik，2005年；Shelepchikov、Revich等，2006年；Aslan、Kemal Korucu等，2010年；Arkenbout，2014年）。学界认为，鸡蛋是土壤或灰尘中持久性有机污染物的敏感指标，是土壤污染影响人类健康的一条重要途径，食用来自污染地区的鸡蛋很容易引发超过人体健康保护阈值的暴露（Van Eijkeren、Zeilmaker等，2006年；Hoogenboom、ten Dam等，2014年；Piskorska-Pliszczynska、Mikolajczyk等，2014年）。因此，若要监测评估由持久性有机污染物，尤其是二噁英（PCDD/Fs）和多氯联苯（PCBs）所导致的环境污染，鸡

和鸡蛋可能是理想的“活性采样器”和指标物种。基于这一假设，我们选择了对自由放养鸡蛋进行采样，利用它们来分析某些特定的持久性有机污染物。

本报告讨论的自由放养鸡蛋数据和分析结果主要来自三个非政府组织为期2年零3个月的合作项目，即中欧环境治理项目框架下“加强中国污染受害者和民间组织化学品安全行动能力建设”项目，合作机构分别是瑞典的国际消除持久性有机污染物联盟（IPEN）、中国的源头爱好者环境研究所（简称“源头爱好者”）和捷克共和国的Arnika协会（由该协会有毒物质和废弃物项目组代表实施）。鸡蛋样品于2013-2015年由居住在污染热点地区的当地人提供，或由源头爱好者工作人员在实地考察时所采集。

2.抽样和分析方法

自由放养鸡蛋样品是在中国6个地方采集的。还另有一批样品来自北京市的一家超市，被视作背景样品或对照样品，特点与同类研究相同（DiGangi和Petrlik，2005年）。6个自由放养鸡蛋采样点是研究者假设持久性有机污染物污染已达到一定程度的地方，本报告后文对这6个采样点做了基本描述（见第3章）。

在每个选定采样点都采集了较多的个体鸡蛋样品组成样品池，以获得更有代表性的样品。表1概述了样品量大小和每个样品池脂肪含量水平的基本数据。本研究一共采集了10个自由放养鸡蛋样品池。其中2个样品池于2013年采集，7个于2014年采集，1个于2015年采集。1个对照组样品池则于2014年购买。

确定8个自由放养鸡蛋样品池（多数在2014

年6月前采样）和1个来自北京的商品鸡蛋样品池后，所有样品被送往荷兰一家获得ISO17025认证的实验室（阿姆斯特丹的BioDetection Systems B.V.），采用DR CALUX方法完成二噁英和类二噁英多氯联苯（DL-PCBs）分析。对于BDS DR CALUX®生物测定的流程，曾有文献进行详细介绍（Besselink H，2004年）。简单而言，此法是使用基因转换过后的芳香烃受体（AhR）控制下的基因。这个基因可以制造像萤火虫般荧光的荧光素酶。该法就是利用这个原理，让转换后的细胞和环境中的芳香烃二噁英类物质接触，使它增加合成CYP1A1蛋白质和荧光素酶蛋白质，然后测定荧光素酶的发光量之后，即可获得样品中二噁英毒性当量（TEQ）的浓度。

表1: 特定地点的自由放养鸡蛋样品概述

序号	采样地点	采样时间	样品池鸡蛋数量	养鸡人数量	脂肪含量 (%)
1	北京某超市	2014年10月	3	大型养鸡场	10.14
2	北海I	2014年4月	2	2	18.50
3	北海II	2014年4月	2	1	18.20
4	北海III	2014年4月	2	2	21.90
5	李坑	2013年9月	8	1	22.80
6	李坑II	2015年11月	7	1	16.00
7	武汉1	2014年3月	6	6	15.50
8	武汉2	2014年9月	3	2	12.46
9	齐化1	2013年8月	8	2	15.80
10	资阳	2014年9月	3	3	8.05
11	深圳	2014年5月	4	未分析	8.40

事实证明, DR CALUX生物测定方法非常适于筛查分析, 可以很好地说明污染程度¹。然而为了确认起见, 有必要进行更具体的二噁英和类二噁英多氯联苯同类物分析, 这样也能通过查明二噁英指纹(二噁英同类物分布)鉴别不同的污染源。本研究委托位于布拉格的捷克国家兽医研究所一个获得认证的实验室, 利用高分辨气相色谱/双聚焦磁式质谱联用仪(HRGC/HRMS), 对主要来自第二个采样周期(2014年9月)和2015年在李坑的采集的样品做了分析, 以测定二噁英和更多种类的多氯联苯同类物的含量(即标准方法分析)。一些样品也来自第一次实地采样的区域。

较晚采集的鸡蛋样品在捷克另一获得认证的实验室(化工学院食品化学与分析系)接受了非类二噁英多氯联苯和有机氯农药含量分析。分析物的萃取使用了己烷与二氯甲烷混合有机溶剂(比例为1:1), 将萃取液用凝胶渗透色谱仪(GPC)进行清洗。分析物的测定是通过气相色谱法结合电子电离模式串联质谱法检测完成。

来自武汉的2个自由放养鸡蛋样品和北京超市的对照组样品还在德国明斯特的MAS实验室接受了溴代二噁英(PBDD/Fs)分析, 获得ISO/

IEC17025:2005认证的MAS_PA002方法被用于测定溴代二噁英。分析的基本步骤概括如下:

- 向样品萃取物添加¹³C₁₂标记的溴代二噁英内部标准品;
- 对萃取物实施多步色谱清理;
- 添加¹³C₁₂标记的溴代二噁英回收标准品;
- 高分辨气相色谱/双聚焦磁式质谱联用仪分析;
- 用带标记的溴代二噁英内部标准品定量(同位素稀释法和内标法)。

位于布拉格的捷克国家兽医研究所还采用标准操作程序SOP70.4(AAS-AMA)和原子吸收光谱法, 利用高级汞分析仪(AMA 254, Altec)分析了样品的汞含量。

¹ 生物分析方法是指那些以基于细胞的测定、受体测定或免疫测定这类生物学原理的运用为基础的方法。它们不提供同类物级别的结果, 而仅仅是表明毒性当量(TEQ)水平, 该水平是以生物分析当量(BEQ)来表示, 目的是区分以下事实: 并非所有存在于样品萃取物中并在试验中产生响应的化合物都满足TEQ原理的所有要求(欧盟委员会, 2012年)。2012年3月21日的委员会条例(欧盟)第252/2012号规定了取样和分析方法, 目的是对二噁英、类二噁英多氯联苯和非类二噁英多氯联苯在某些食品中的含量实施官方控制, 并废除了与欧洲经济区(EEA)相关的条例(欧盟委员会)第1883/2006号文本(欧洲共同体官方公报: L84, 23.83.2012, 第2011至2022页)。

3.热点地区描述

采样地点位于中国的不同地区，是源头爱好者在干预污染案例过程中选定的。多数地点的选择也是“加强中国污染受害者和民间组织化学品安全行动能力建设”项目案例研究的一部分。这

些地点的位置可在图1和图2所示地图中找到，所有热点地区都被列为持久性有机污染物的潜在排放源。

图1：选定热点地区的位置（基于谷歌地球）

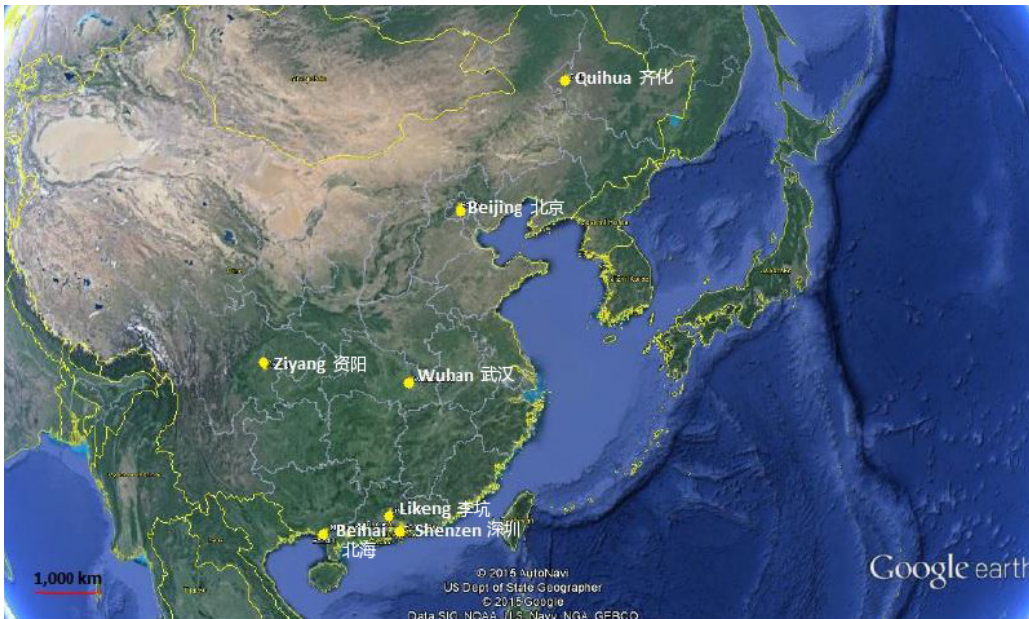


图2：华南3个热点地区的位置：北海兴港的某冶金厂、广州李坑垃圾焚烧厂、深圳垃圾焚烧厂（基于谷歌地球）



3.1. 北海—冶金厂

在建设冶金厂之前，兴港镇是一个宁静的渔村，这里的村民安居乐业。然而，在诚德不锈钢有限公司于2011年开始运营后，这个村庄便迅速失去了往日的宁静。该公司是北海诚德集团的子公司，后者还包括北海诚德金属压延有限公司（热轧机）、北海诚德综微有限公司（加工钢渣水泥）以及广西诚德国际贸易有限公司（原材料采购和产品销售）。据该公司宣传材料介绍，诚德年产120万吨镍铬合金板坯。该大型企业拥有烧结、回转窑、矿热炉、初步提炼、AOD精炼和轧制设

备，以及主要生产设备的配套设施，如氧气站、水处理、供配电等。由于分期建设和环保措施不完备，诚德公司在生产过程中对当地环境造成了严重污染。该热点的更多信息详见IPEN和源头爱好者的案例研究（2015年）。

《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》（以下简称《斯德哥尔摩公约》）把钢铁行业的烧结过程归类为产生并释放较多持久性有机污染物（如二噁英、呋喃、多氯联苯、六氯苯和五氯苯）的行业。²

图3：兴港镇诚德集团冶金厂附近的自由放养鸡蛋样品采集地点（图中黄色“大头针”标识的位置）（基于谷歌地球）



² 《斯德哥尔摩公约》附录C第二部分。

3.2. 广州李坑——垃圾焚烧厂

法国大型跨国公司威立雅于2006年在广州参与建设了李坑垃圾焚烧厂。该厂（一期）每天焚烧大约1,000吨垃圾，发电功率达320-350兆瓦，80%的电能可对外输出。与中国的其他焚烧厂类似，李坑也在焚烧湿垃圾，其中大约60%-70%为有机物（EnviroCentre, 2008年）。

有报纸报道过广东省省情调查研究中心在李坑开展的一次民意调查，该调查发现92%的受访者觉得该焚烧厂给他们的健康和当地自然环境造成了严重威胁，97%的受访者表示他们反对建设该厂，几乎所有受访者都表示他们反对焚烧厂项目，因为他们害怕二噁英。（Qian和Jing, 2009年）

周边社区对垃圾焚烧厂的反对意见反映了焚烧厂投产后公共卫生统计资料的巨大变化。在1989至2005年的六年间，附近一个大约8,000人的

村庄只有9人死于癌症。相比之下，2005至2009年，也就是垃圾焚烧厂投产后，有42人死于癌症，常见的疾病包括鼻咽癌和哮喘。对该厂附近三个村庄卫生记录的分析表明1993至2005年间的呼吸道癌症病例数为零，然而在垃圾焚烧厂投产三年后，共发现13起呼吸道癌病例。

当地政府官员和威立雅坚持认为，该焚烧厂的运营符合欧盟标准，并且焚烧设施中的高温可以摧毁包括二噁英和呋喃在内的所有污染物。然而，2009年对燃烧后炉渣所做的新闻调查意外发现了完整的绳子、布、红色塑料袋和鞋子，说明燃烧并不充分（News.sina.com, 2009年）。

《斯德哥尔摩公约》把垃圾焚烧归类为产生并释放较多持久性有机污染物（如二噁英、呋喃、多氯联苯、六氯苯和五氯苯）的行业。³该热点的更多信息详见IPEN和源头爱好者的案例研究（2015a）。

3.3. 齐化——聚氯乙烯（PVC）工厂

在哈大齐（哈尔滨、大庆、齐齐哈尔）工业走廊昂昂溪工业园区有一家由中国昊华化工集团股份有限公司下属黑龙江昊华化工有限公司经营的聚氯乙烯工厂（又称“齐化”），具体位置在齐齐哈尔市昂昂溪区榆树屯镇榆树屯村。昊华自称生产烧碱（35万吨年产能）、聚氯乙烯（38万吨年产能）、液氯、盐酸、次氯酸钠，并促进社会“和谐健康发展”。

齐化集团和昊华化工利用电石法来合成聚氯乙烯。世界上大多数国家在20世纪60年代已经淘汰这种工艺，原因是能耗高、产生的废物过多。然而，该工艺在中国由于经济原因仍十分流行，因为它可以使用廉价的煤作为原料。在该工艺中，用煤制成的焦炭通过烧碱加热至2000°C以产生电石，电石然后水解，释放大量能量，生成乙炔和大量氢氧化钙废物，接着乙炔与氯化氢和含汞催化剂反应，生成氯乙烯单体，后者再聚合生成聚氯乙烯。

在中国的氯乙烯单体工厂（如齐化集团和昊华化工），汞起着重要作用。2005年，中国工业

消耗了700-800吨汞，并且估计汞的使用量以年均25-30%的速度增加，不过这可能会受到经济增速的影响。中国氯碱工业协会的统计数据显示，截至2010年底，中国有94家聚氯乙烯生产企业，总产能超过20万吨，而采用电石法工厂的产能占比约为80%（IPEN重金属工作组，2013年）。

因长期违法排污，齐化在聚氯乙烯厂南侧制造了一个面积达1200亩的污水湖（当地人称“大泡子”）。目前仍住在污水湖旁边的，唯有村民王福成一家。由于土地和地下水污染，他承包的土地大约5.5公顷已经废弃，只有1公顷还有庄稼生长。此外，在2001年，齐化集团和榆树屯签订过一份28.57公顷土地租赁协议，用于贮存聚氯乙烯生产过程产生的电石衍生浆料。

该热点的更多信息详见IPEN和源头爱好者的案例研究（2015b）。从产品毒性生命周期的角度考虑，齐化集团和昊华化工的生产活动还会引起其他一些担忧，包括添加剂的使用以及二噁英的生成和释放。⁴

³ 《斯德哥尔摩公约》附录C第二部分。

⁴ 《斯德哥尔摩公约》附录C第二部分

3.4. 深圳——垃圾焚烧厂

另一热点是深圳龙岗中心城垃圾焚烧厂。该厂日均处理能力为300吨城市生活垃圾，是中国较早建成的垃圾焚烧厂。深圳是位于珠江三角洲入海口边的一座快速发展的城市。早在1988年，深圳就建成了从日本引进技术的城市生活垃圾焚烧厂。到了2005年，当地每年城市生活垃圾清运量骤增至332.9万吨（是1985年的228倍）（Deng, 2006年），通过总共6座焚烧厂进行处理，焚烧比例超过90%（Wang、Zhao等，2011年）。

曾有学者研究过深圳垃圾焚烧厂的固体残渣特性，但重点都是重金属（Jun Jianguo等，2004年；Li Xiang等，2004年；Jianguo、Maozhe等，2009年）。

截至2006年，深圳有8座垃圾焚烧发电厂，日均处理6,000吨城市生活垃圾。龙岗中心城垃圾焚烧厂在2009年遭到深圳居民的批评（Bradsher,

2009年）。城市生活垃圾焚烧的热工艺可能会向环境释放多种有机污染物，如多环芳烃、多氯联苯和二噁英，它们可能危及周围环境质量和人体健康（Liu Tong等，2010年）。

2009年，有研究监测了深圳环境空气中的二噁英和类二噁英多氯联苯。对于所有样品，二噁英水平都在11.45-370.12 fg I-TEQ⁵/m³，中值为151.24 fg I-TEQ/m³。12种类二噁英多氯联苯的浓度在1.81-19.55 fg WHO-TEQ⁶/m³范围内，中值为12.82 fg WHO-TEQ/m³。深圳的大气二噁英水平接近巴西圣保罗的平均水平，高于台湾、香港和日本及欧洲城市，但低于韩国一些城市以及北京、广州和上海；类二噁英多氯联苯水平接近曼彻斯特，低于韩国京畿道和中国台州（音译）。

此外，Sun等人（2011年）研究显示，垃圾焚烧是深圳地表水沉积物中氯化/溴化多环芳烃（Cl/BrPAH）的来源之一。

3.5. 武汉——垃圾焚烧厂

湖北省省会武汉市是中国华中地区最大的城市，人口达1,022万（截至2013年）。它位于江汉平原东部，在长江中游和汉江的交汇处。武昌、汉口和汉阳是世人熟知的“武汉三镇”⁷。

汉阳有两座垃圾焚烧厂，一座是生活垃圾焚烧厂，另一座是医疗垃圾焚烧厂。前者采用循环流化床技术日均焚烧处理1,500吨生活垃圾，后者日均焚烧50吨医疗废弃物。生活垃圾焚烧厂于2012年12月投入运营，而医疗垃圾焚烧厂则紧邻前者的北侧，于2013年投入运营。

生活垃圾焚烧厂利用焚烧底渣制砖，并把飞灰堆放在武汉市陈家冲垃圾填埋场，此处缺乏相应的环境保护措施。医疗垃圾焚烧厂的灰渣管理方式如下：底渣在陈家冲垃圾填埋场处理，而飞灰则运送到武汉市咸宁垃圾填埋场。

这两座工厂早已成为当地居民的投诉对象。当地社区过去两年发现了超过25个癌症患者，但是目前还不清楚这些疾病是否与这两座焚烧厂有关（Kun和Wei, 2015年）。

根据武汉市环保部门在网上发布的有关文件，由武汉博瑞环保能源发展有限公司经营的生活垃圾焚烧厂于2013年12月被勒令停止运营，而地方主管部门此前未能在必要的卫生防护距离内拆除所有住宅建筑，该厂后来恢复运营。由于该厂把灰渣转移到未经授权的单位进行处理，因此于2013年10月受到环保部的警告（Kun和Wei, 2015年）。

⁵ fg: 飞克。1 fg=10⁻¹⁵ g。I-TEQ: 国际毒性当量。

⁶ WHO-TEQ: 世界卫生组织毒性当量。

⁷ <https://en.wikipedia.org/wiki/Wuhan>。

3.6. 资阳——多氯联苯（PCB）贮存

位于四川省资阳市的原铁道部资阳机车厂在20世纪60年代开始生产机车，并曾使用过至少500台含多氯联苯并经常泄漏的电容器，导致工人暴露在多氯联苯之中。当地居民郭汝中曾是该厂的工人，他注意到工友患癌症和其它严重疾病的比例异常高。他们中有些人甚至在三四十岁时就早早去世。郭汝中怀疑这和职业暴露有关，而含有多氯联苯的电容器则成为了首要嫌疑，于是他开始调查这些电容器的使用和处置情况，以及工友们暴露在多氯联苯中的情况。

该机车厂于2003年承认仍在使用的200多台含多氯联苯电容器。2009年，该厂把这些电容器交给天津合佳威立雅环境服务有限公司处置。然而，郭汝中提醒企业和市民，由于多氯联苯的持久性特征，泄漏的多氯联苯将继续构成威胁。厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室的研究人员

开展了一项研究，确认该机车厂存在严重的多氯联苯污染。该研究结果表明：用于临时贮存电容器的山洞洞口前土壤中的多氯联苯含量很高（约为227 ppm⁸），铸造分厂窗台灰尘也是如此（多氯联苯含量>10 ppm）（Wu、Yin等，2011年）。

2014年3月，郭汝中在工厂的一堆废物里发现了47卷绝缘纸，他认出它们是含多氯联苯电容器的构成部分。

现场还发现了其它工业废料。源头爱好者工作人员请郭汝中提供照片和样品进行检测。2014年，上海SGS-CTSC实验室受委托对郭汝中提供的样品进行了分析，结果表明多氯联苯浸出毒性高达8.11 mg/l⁹，是中国法律允许值的4,000倍。

该热点的更多信息详见IPEN和源头爱好者的案例研究（2015c）。

4. 结果和讨论

在阿姆斯特丹的BDS实验室采用DR CALUX方法对中国热点地区采集的8批鸡蛋样品和北京超市的对照样品进行了筛查，以检测二噁英和类二噁英多氯联苯。使用DR CALUX方法分析的结果总结见表3和图4。使用HRGC-HRMS（标准方法）对其它持久性有机污染物和同类物分析的结果总结见表4。该实验室还采用相同方法对来自哈萨克斯坦和白俄罗斯的自由放养鸡蛋进行分析，因此，我们可以比较来自中国热点地区与其他国家类似地点的数据。对哈萨克斯坦和白俄罗斯样品的DR CALUX分析结果见表3，其它分析结果见表5。

本研究选择GC-HRMS分析技术分析北京超市商品鸡蛋样品和中国两个地点的3个自由放养鸡蛋样品池的二噁英和类二噁英多氯联苯含量，这3个样品池分别来自四川资阳的多氯联苯污染场地，以及武汉汉阳的城市生活垃圾焚烧厂和医疗垃圾焚烧厂周边。

这些样品还用于分析其它持久性有机污染物和某些有机氯农药：六氯苯、六六六、滴滴涕及其代谢产物。六氯苯也被认为是一种无意产生的持久性有机污染物（U-POP），与产生二噁英和类二噁英多氯联苯的过程相同（《斯德哥尔摩公约》，2008年），但它通常与有机氯农药一起检测。

对照组（北京超市）和武汉1鸡蛋样品还接受了溴代二噁英和溴化阻燃剂（多溴二苯醚（PBDEs）、五溴甲苯（PBT）、五溴乙苯（PBEB）、六溴苯（HBB）、1,2-双（2,4,6-三溴苯氧基）乙烷（BTBPE）和八溴三甲基苯基茛满（OBIND））分析，结果总结见表6。

⁸ ppm：百万分之一。

⁹ mg/l：毫克/升。

4.1. 欧盟和其他地方对鸡蛋中持久性有机污染物含量的限制

鸡蛋是中国的常见食材，目前没有发现中国对鸡蛋二噁英和多氯联苯含量的限制规定，不过对食品的有机氯农药含量有所限制（中华人民共和国，2007年）。因此我们选择了欧盟法规作为参考，以便能比较分析鸡蛋中持久性有机污染物

的存在水平。需要注意的是，即使是欧盟法规，也没有包含本研究中所有检测过的化学品限值，鸡蛋的溴化阻燃剂或溴代二噁英就尚未有任何限制性规定。鸡蛋相关限值总结见表2。

表2：鸡蛋中的有机氯农药、多氯联苯和二噁英毒性当量浓度限值

	鸡蛋	
	欧盟限值 ^[1]	欧盟残留物限值 ^[2]
单位	pg/g脂肪	ng/g脂肪
世界卫生组织二噁英毒性当量 (WHO-PCDD/Fs TEQ)	2.5	
世界卫生组织二噁英和类二噁英多氯联苯毒性当量 (WHO-PCDD/Fs+dl-PCB TEQ)	5.0	
多氯联苯	40	
滴滴涕总量 ^[3]		50
γ-六氯环己烷 (γ-HCH, 林丹)		10
α-HCH、β-HCH		20, 10*
六氯苯		20

[1] 欧盟条例（欧盟委员会）第1259/2011号。

[2] 条例（欧盟委员会）第149/2008号。残留物上限（MRL）是指该条例规定的某种农药残留物在食品或饲料中的法定浓度上限，基于良好农业实践和保护易受伤害消费者所需的消费者最低暴露水平。

[3] 中国法律规定的鸡蛋滴滴涕残留物上限为0.1 mg/kg¹⁰脂肪（GB2763-2005）。依照《食品中污染物限量》。数据来源：（中华人民共和国，2007年）。

* 每种同类物的残留物上限均单独规定。

¹⁰ mg/g: 毫克每克。

表3：中国、哈萨克斯坦和白俄罗斯样品DR CALUX生物测定二噁英和类二噁英多氯联苯分析结果（单位：pg/g脂肪）

地点	国别	二噁英和类二噁英多氯联苯 (DR CALUX)	二噁英 (DR CALUX)
北京超市	中国	1.2	未分析
深圳	中国	7.7	5.7
武汉2	中国	8.8	5.8
北海II	中国	8.9	7.4
齐化	中国	9.2	未分析
李坑	中国	17	未分析
北海III	中国	24	20
武汉1	中国	35	31
北海I	中国	37	30
埃基巴斯图兹-索耶茨 (Ekibastuz - Soyuz)	哈萨克斯坦	3.8	1.3
埃基巴斯图兹 - 达查斯 (Ekibastuz - dachas) (南)	哈萨克斯坦	4.8	未分析
埃基巴斯图兹的变电站 (Ekibastuz - substation)	哈萨克斯坦	6.4	未分析
努拉河附近的撒马尔罕村 (Samarkand village; Nura)	哈萨克斯坦	9.2	未分析
努拉河附近的罗斯托夫卡 (Samarkand village; Nura)	哈萨克斯坦	9.4	未分析
巴尔喀什2 (Balkhash 2)	哈萨克斯坦	12	未分析
巴尔喀什 - 西南 B3 (Balkhash - southwest B3)	哈萨克斯坦	15	未分析
沙班拜比 (Shabanbai Bi)	哈萨克斯坦	16	7.6
努拉河附近的奇卡洛沃 (Chkalovo; Nura)	哈萨克斯坦	18	未分析
巴尔喀什 - 伦姆巴扎B1 (Balkhash - Rembaza B1)	哈萨克斯坦	24	未分析
撒马尔罕水库附近的铁米尔套 (Temirtau; Samarkand dam)	哈萨克斯坦	28	未分析
巴尔喀什 - 西南B5 (Balkhash - southwest B5)	哈萨克斯坦	33	未分析
巴尔喀什 - 北B4 (Balkhash - north B4)	哈萨克斯坦	101	未分析
噶托沃 (Gatovo)	白俄罗斯	8.1	5.2
欧盟标准限值		5.0	2.5

4.2. 用DR CALUX方法检测分析二噁英和类二噁英多氯联苯

在讨论DR CALUX方法检测二噁英水平时，必须考虑以下情况。这种基于细胞的报告基因测定方式是按照欧盟委员会条例第EC/252/2012号（欧盟委员会，2012年）确认的一种食品二噁英和类二噁英多氯联苯含量筛查方法。筛查方法通常作为一种豁免措施，用于那些曾被标准方法检测表明低于允许上限（即符合限制规定）并且因此可以上市的产品样品。此外，要选择那些需要确认其二噁英毒性当量水平的样品（即被怀疑不符合规定的）。当生物测定被用作筛查工具时，对所得结果的解释应该考虑以下事实：其它类二噁英持久性有机污染物（如混合卤代二噁英/多氯联苯、N-二噁英）也被此类基于效应的生物分析方法涵盖（van Overmeire、van Loco等，2004年；Gasparini M，2011年）。

本研究利用DR CALUX方法分析了中国9个鸡蛋样品池，以测定其二噁英总体活性。其中，只有来自超市的对照组样品低于欧盟限值，这些样品也被用于审查DR CALUX方法分析结果的可靠

性。所有其它11个样品的二噁英和类二噁英多氯联苯总含量均高于5 pg BEQ/g脂肪的水平，如图4所示。本研究测得的最高数值37 pg BEQ/g脂肪来自标记为北海I（冶金厂西侧）的鸡蛋，该样品是2014上半年在现场采集，且后来没有重复采样。北海III样品是在更靠近冶金厂的位置采集，测得的数值也高达24 pg BEQ/g脂肪。它们的污染水平与采自哈萨克斯坦巴尔喀什市一个污染热点的自由放养鸡蛋相当，后者也存在一座冶金厂。

武汉垃圾焚烧厂附近样品中的二噁英和类二噁英多氯联苯含量也很高。在距离武汉城市生活垃圾焚烧厂300米地点采集的样品的检测数据为35 pg BEQ/g脂肪，距离焚烧厂更远的样品的污染程度则较低，为8.8 pg BEQ/g脂肪。可见，它们与北海样品处于同一范围内（8.9-37.0 pg BEQ/g脂肪）。

深圳的鸡蛋样品表现出的毒性值则高于某项对当地居民食品二噁英含量研究的结果（Zhang、Jiang等，2008年）。

图4：哈萨克斯坦、中国和白俄罗斯不同鸡蛋样品池的二噁英和类二噁英多氯联苯总体含量对比（单位：pg BEQ/g脂肪，完整结果见表3）

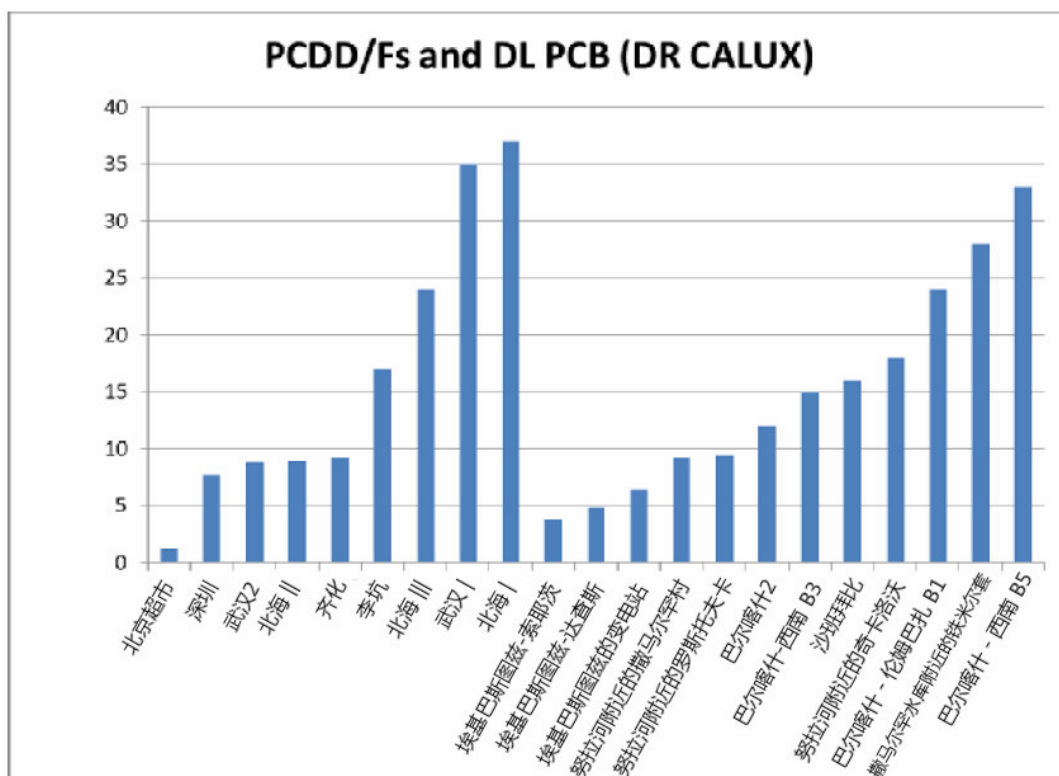
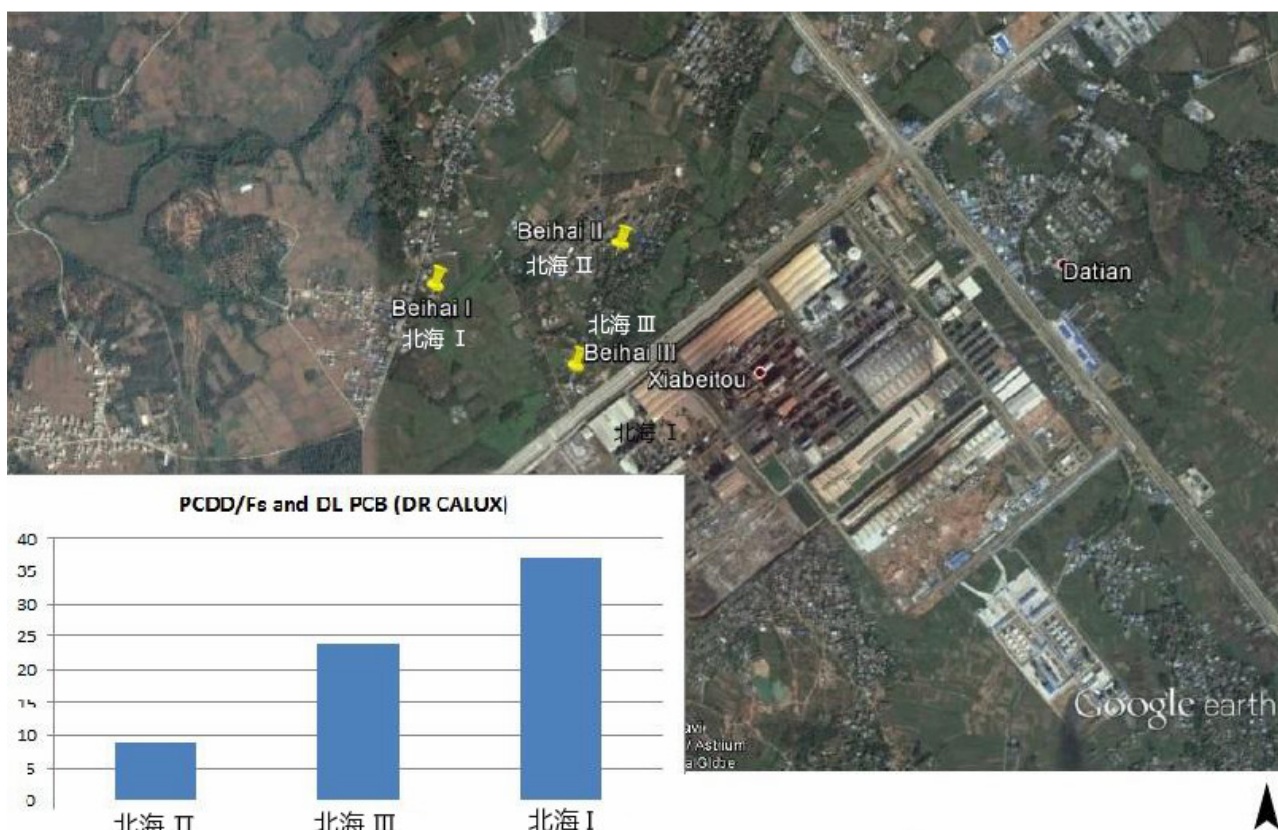


图5：北海采样位置图（左下角是用DR CALUX方法测得的二噁英和类二噁英多氯联苯水平对比图，单位：pg BEQ/g脂肪）



4.3. 中国和哈萨克斯坦鸡蛋样品中的二噁英、多氯联苯、六氯苯（HCB）和有机氯农药（OCP）

二噁英是75种多氯二苯并-对-二噁英（PCDDs）同类物和135种多氯二苯并呋喃（PCDFs）同类物的统称，其中17种毒性显著。多氯联苯（PCBs）是209种同类物的统称，并可以根据它们的毒理学性质分为两类：12种同类物表现出与二噁英相似的毒理学性质，因此通常被称为“类二噁英多氯联苯”（DL-PCBs）；其他多氯联苯未表现出类二噁英毒性，但具有不同的毒

理学特性，被称为“非类二噁英多氯联苯”（NDL-PCBs）（欧盟委员会，2011年）。二噁英和类二噁英多氯联苯的水平均以世界卫生组织总毒性当量来表示，它们是根据世卫组织专家小组于2005年（Van den Berg、Birnbaum等，2006年）规定的毒性当量因子（TEF）来计算的。这些新的毒性当量因子被用来评估中国鸡蛋样品池（见表4）和哈萨克斯坦鸡蛋样品池（见表5）的二噁英毒性。

表4：中国鸡蛋样品的“无意产生的持久性有机污染物”含量分析及与欧盟标准的对比总结（除有说明，都基于脂肪含量）

样品	北京（超市）	资阳	武汉2	武汉1	李坑II	欧盟限值
脂肪含量（%）	10.14	8.05	12.46	15.5	16.0	
二噁英（pg WHO-TEQ/g）	0.20	3.77	8.59	12.17	3.22	2.50
类二噁英多氯联苯（pg WHO-TEQ/g）	0.28	1.04	4.70	3.79	0.95	
二噁英和类二噁英多氯联苯（pg WHO-TEQ/g）	0.48	4.82	13.29	15.96	4.17	5.00
溴代二噁英（pg WHO-TEQ/g）	<1.8		<3.6	27.3-29.2	未分析	-
二噁英和类二噁英多氯联苯（DR CALUX）（pg BEQ/g）	1.2	未分析	8.8	35	未分析	5.00
二噁英（DR CALUX）（pg BEQ/g）	未分析	未分析	5.8	31	未分析	2.50
六氯苯（ng /g）	3.52	<0.05	28.90	480.65	未分析	- ^[1]
6种多氯联苯（欧盟）（pg/g）	2.10	1.08	5.29	1.03	0.79	40.00

[1] 标准是20 ng/g鲜重水平时的每克鲜重。

表5：哈萨克斯坦鸡蛋样品的持久性有机污染物含量分析对比总结

地点	巴尔喀什	埃基巴斯图兹	努拉河 ^[1]	沙班拜比
二噁英（pg WHO-TEQ/g）	4.3 - 9.8	1.6 - 5.7 ^[2]	1.8 - 2.8	9.26
类二噁英多氯联苯（pg WHO-TEQ/g）	2.9 - 22.3	2.9 - 6.5 ^[2]	25.9 -26.5	28.62
二噁英和类二噁英多氯联苯（pg WHO-TEQ/g）	12.7 - 30.1	4.5 - 12.2 ^[2]	27.8 -29.3	37.88
六氯苯（ng/g脂肪）	1.7 - 4.4	1.3 - 5.4 ^[3]	2.3 - 5.0	6.25
六氯联苯（ng/g脂肪）	10.1 - 58.8	10.5 - 23.0 ^[3]	275.5-360.4	1975.97

[1] 罗斯托夫卡村和奇卡洛沃村的2个样品池

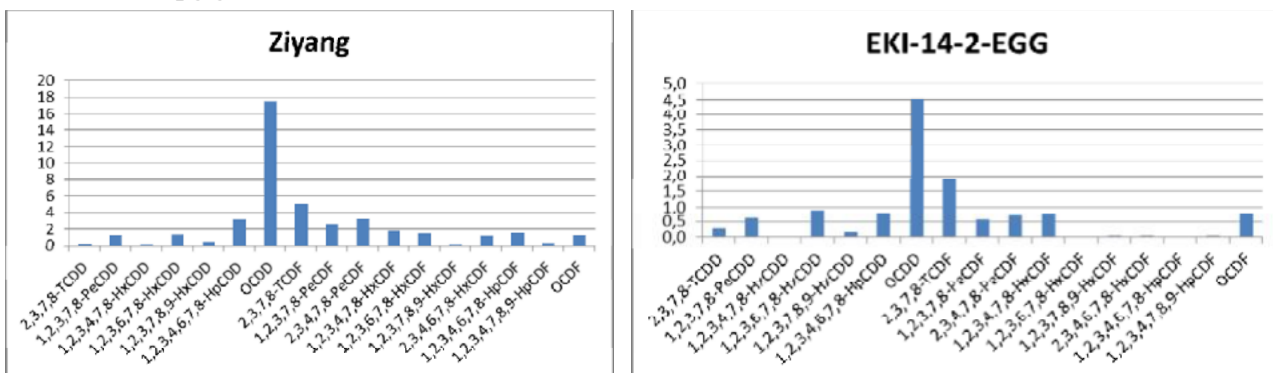
[2] 2个样品池

[3] 3个样品池

资阳的情况与哈萨克斯坦埃基巴斯图兹相似，后者的污染也是由多氯联苯污染场地（被遗弃的变电站）导致的。埃基巴斯图兹的某个鸡蛋样品中的二噁英同类物分布与资阳采集的自由放养鸡蛋样品的观察结果非常相似（见图6和图7）。此外，资阳样品的二噁英总毒性当量值高于哈萨克

斯坦埃基巴斯图兹的第EKI-14-2-EGG号样品（1.57 pg WHO-TEQ/g）。在资阳采集的鸡蛋二噁英水平（3.77pg WHO-TEQ/g）超过欧盟的鸡蛋二噁英限值，这些鸡蛋的污染源很可能是多氯联苯混合物中无意生成的二噁英副产物。

图6和图7：资阳和埃基巴斯图兹自由放养鸡蛋样品（后者为第EKI-14-2-EGG号样品）中的二噁英同类物分布（单位：pg/g脂肪）



哈萨克斯坦的10个样品当中，有7个超过欧盟的鸡蛋二噁英同类物限值，并且有8个超过欧盟的整鸡二噁英和类二噁英多氯联苯限值。哈萨克斯坦自由放养鸡蛋样品的多氯联苯水平较高，而来自中国的鸡蛋则似乎二噁英污染一般更严重（另见表3的DR CALUX测定结果）。

哈萨克斯坦鸡蛋的二噁英最高水平（9.81 pg WHO-TEQ/g脂肪）测自巴尔喀什-西南的样品（第BAL-EGG-14-2号），而沙班拜比样品测得的水平几乎与前者相同，且世界卫生组织总毒性当量水平最高，达到37.88 pg WHO-TEQ/g脂肪，其类二噁英多氯联苯毒性很明显。中国鸡蛋二噁

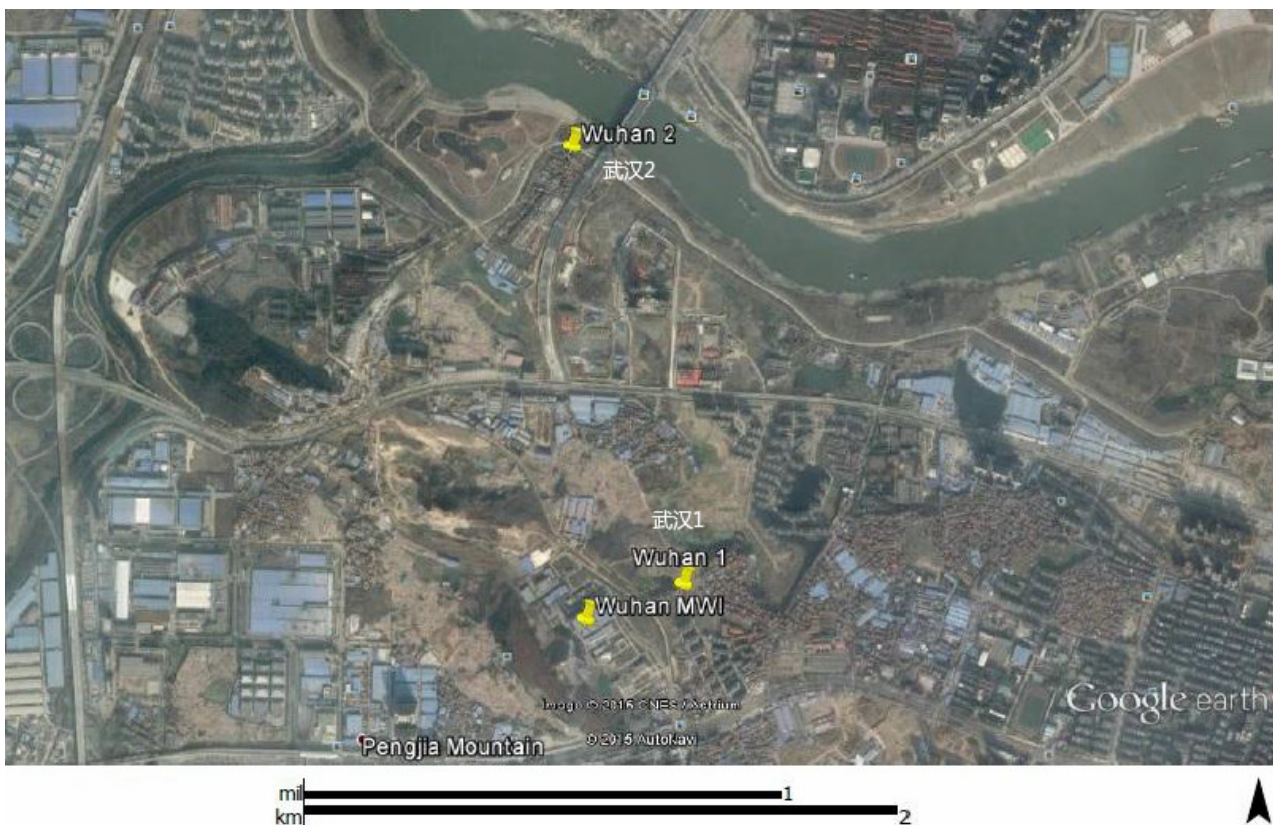
英的最高水平见于武汉1样品，为12.17 pg WHO-TEQ/g脂肪。采自李坑的鸡蛋样品池的二噁英水平达到3.22 pg WHO-TEQ/g脂肪，同样超出了欧盟标准限值。

6种多氯联苯同类物水平在所有来自中国的鸡蛋样品中都相当低，而非类二噁英多氯联苯污染在哈萨克斯坦则更为严重。中国鸡蛋样品的滴滴涕（表示为4种滴滴涕代谢物的总和）和六氯环己烷的情况同样如此，二者均比欧盟标准低一个数量级。武汉鸡蛋的4种滴滴涕代谢物总和是3.3-5.2 ng/g鲜重，而资阳鸡蛋则是0.01 ng/g鲜重。

4.4. 武汉的鸡蛋样品

武汉汉阳的垃圾焚烧厂附近采集了2个样品池（位置见图8），垃圾焚烧厂的介绍见本报告第3章第5节。

图8：武汉汉阳城市生活垃圾焚烧厂的位置（医疗垃圾焚烧厂在城市生活垃圾焚烧厂北侧），鸡蛋样品采集地点（武汉1和武汉2）位于上述垃圾焚烧厂附近



武汉垃圾焚烧厂附近采集的2个样品的二噁英含量分别是欧盟鸡蛋二噁英含量限值（欧盟委员会，2011年）的大约3倍和5倍（见表4）。此外，这些样品的二噁英和类二噁英多氯联苯总水平是欧盟限值的3倍。武汉1样品的六氯苯水平为74.5ng/g鲜重（表4中的值仅基于脂肪含量），这几乎是欧盟鸡蛋六氯苯限值（20 ng/g鲜重）的4倍。武汉1鸡蛋样品池的六氯苯值几乎是IPEN 2015年《鸡蛋报告》样品池六氯苯最高水平的2倍，后者基于脂肪的含量数值为250 ng/g脂肪，鸡蛋来自捷克共和国利贝雷茨（DiGangi和Petrlik，2015年）。

武汉1鸡蛋样品（更靠近汉阳的垃圾焚烧

厂）表现出极高的溴代二噁英水平，额外的溴代二噁英污染可能与采样地自由放养鸡蛋所含的一部分BEQ有关，并解释了采样点鸡蛋BEQ与二噁英及类二噁英多氯联苯毒性当量（TEQ）之间的差距为何如此巨大。本研究的第4章第5节对鸡蛋的溴代二噁英污染也有较多讨论。

垃圾焚烧厂及其管理工作的失误是鸡蛋二噁英污染的推定来源，虽然不能排除其它可能来源，但至少目前尚未查明。武汉1样品还存在严重的溴代二噁英和多溴二苯醚污染，一般原因是存在电子废弃物的处理活动，但源头爱好者团队并未在垃圾焚烧厂周围发现任何此类污染源。

4.5. 鸡蛋所含持久性有机污染物的背景水平

本研究在北京一家超市采集的鸡蛋样品来自某大型养鸡场的鸡，以便获取中国鸡蛋持久性有机污染物背景水平的信息，该样品的分析结果见表3和表4。相比于此前其他相关研究观察到的鸡蛋持久性有机污染物背景水平，本研究测得的二噁英和多氯联苯水平相似（DiGangi和Petrlik，2005年），但在六氯苯等方面则略高（DiGangi和

Petrlik，2005年；IPEN农药工作组，2009年）。相比本研究在北京超市采集的背景样品，发表于《<关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约>国家实施计划》（中华人名共和国，2007年）中的香港鸡蛋样品的二噁英分析结果显示了较低水平（0.137 pg WHO-TEQ/g）。

4.6. 鸡蛋中的溴代二噁英和溴化阻燃剂（BFR）

由于溴化阻燃剂的广泛使用，已出现溴代二噁英的污染问题，人们已在不同的环境中发现了它们（Kannan、Liao等，2012年）。有人还发现它们表现出与二噁英类似的毒性。世卫组织专家小组最近得出结论：多溴代二苯并-对-二噁英（PBDD）、多溴代二苯并呋喃（PBDF），以及某些类二噁英多溴联苯在二噁英总毒性当量的人群日常背景暴露方面可能起着重要作用（van den Berg、Denison等，2013年）。

溴代二噁英目前还不是环境中经常获得监测的化合物，但已有几项研究侧重于它们在中国环境的存在情况。一些研究表明：中国空气样品存在溴代二噁英污染。2006年采集的上海环境空气样品的溴代二噁英浓度介于0.03-4.2（均值为1.0）pg/m³（Li、Yu等，2008年）；2005年在某电子废物拆解场地开展的一项研究则报告了迄今最高的

环境空气溴代二噁英浓度水平——0.91-118（均值为25）pg/m³，根据该研究的分析结果，原始粗放的电子废物回收过程导致了溴代二噁英的释放（Li、Yu等，2007年）。因此，电子废物拆解过程可能是溴代二噁英进入大气环境的重要来源之一，这凸显了未来把中国电子废物拆解场地作为鸡蛋样品采集主要地点的重要意义。武汉自由放养鸡样品中较高的溴代二噁英水平（27.3 pg WHO-TEQ/g脂肪）表明，上述情况同样可能出现在中国城市区域。

本研究只发现了一项关于爱尔兰鸡蛋溴代二噁英的研究，其公布的含量水平为0.244-0.415 pg TEQ/g脂肪（Fernandes、Tlustos等，2009年），这比本研究中武汉1自由放养鸡样品测得的水平低2个数量级。

表6：武汉1自由放养鸡样品（来自武汉汉阳城市生活垃圾焚烧厂附近）和北京超市所购鸡蛋对照样品的不同溴化阻燃剂分析总结

溴化阻燃剂（ng/g脂肪）	武汉1	北京超市
S多溴二苯醚（S PBDE）	1,053.61	0.2
五溴甲苯（PBT）	< 0.1*	< 0.1*
五溴乙苯（PBEB）	< 0.1*	< 0.1*
六溴苯（HBB）	< 0.1*	3.72
1,2-双（2,4,6-三溴苯氧基）乙烷（BTBPE）	51.3	< 0.5*
八溴三甲基苯基茛满（OBIND）	< 10*	< 10*

*低于定量限（LOQ）

关于上海市环境空气溴代二噁英浓度的一项研究强烈建议：由于溴代二噁英在上海大气中的浓度较高，因此应该对这类物质开展更详细更深入的研究（Li、Feng等，2008年），这显然适用于包括武汉在内的更多中国城市。

武汉1鸡蛋样品也检测出很高的多溴二苯醚水

平（1,053.6 ng/g脂肪），相当于Labunska等人研究的电子垃圾拆解场的水平（2013年）。武汉1和北京超市样品的所有溴化阻燃剂检测总结见表6。武汉1样品测出的1,2-双（2,4,6-三溴苯氧基）乙烷（BTBPE）水平明显更高，至少比背景样品高2个数量级（见表6）。

5. 结论和建议

本研究在自由放养鸡蛋样品中发现了高浓度的二噁英和类二噁英多氯联苯，所有自由放养鸡蛋样品不但超过欧盟规定的鸡蛋二噁英限值，而且同时超过鸡蛋二噁英和类二噁英多氯联苯总含量限值。政府主管部门应该更多地定期监测食品样品中二噁英和类二噁英多氯联苯水平。事实证明：基于细胞的筛查试验DR CALUX®方法能够有效发现新的污染区域并评估中国热点地区采集的食品（鸡蛋）样品被二噁英和类二噁英多氯联苯污染的总体情况，而且它还可以显示对更多种类污染物（如溴代二噁英）的反应。

武汉汉阳垃圾焚烧厂附近采集的自由放养鸡蛋样品检测出极高的二噁英水平，并伴随着很高的溴化阻燃剂和六氯苯水平。这一发现引发了如下疑问：关于中国和其他每年处理大量电子垃圾的国家的食品被溴代二噁英和溴化阻燃剂污染的情况，我们究竟了解多少？因为这并非环境中存在高浓度溴代二噁英污染的第一个迹象，这也引起了人们对《斯德哥尔摩公约》是否应将溴代二噁英列入管控清单的疑问，因为这组化学物质表现出与该公约附录C已列明的其他“无意产生的持久性有机污染物”相似的性质（Kannan、Liao等，2012年；van den Berg, Denison等，2013年）。

用生物测定分析方法在采自北海的冶金厂以及中国三处垃圾焚烧厂（分别位于广州李坑、深圳和武汉）附近的鸡蛋样品中，检测出高浓度的二噁英和类二噁英多氯联苯，这凸显出对《斯德哥尔摩公约》附录C所列的各类“无意产生的持久性有机污染物”排放源附近的居民自产食品实施监测是多么重要，尤其是在像中国这样的正经历快速工业化的发展中国家。采取适当措施减少这些排放源产生的“无意产生的持久性有机污染物”，则是更为重要的一步。

几座垃圾焚烧厂附近采集的自由放养鸡蛋样品的持久性有机污染物水平很高，这一事实表明需要开展以下两项工作：一是促进基于无毒技术的废弃物循环处理，而不是大规模建设新的大型垃圾焚烧厂，二是强化对垃圾焚烧残渣的监管，以及和垃圾焚烧相关的其他“无意产生的持久性有机污染物”的释放途径的控制。《斯德哥尔摩公约》的最佳可行技术/最佳环境实践（BAT/BEP）指导方针（《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》，2008年）内含一份很好的废弃物管理潜在措施清单，它可以帮助改善上述领域存在的问题。

6. 参考文献

- Arkenbout, A. (2014). "Biomonitoring of Dioxins/dl-PCBs in the north of the Netherlands; eggs of backyard chickens, cow and goat milk and soil as indicators of pollution." *Organohalogen Compd* 76(2014): 1407-1410.
- Aslan, S., M. Kemal Korucu, A. Karademir and E. Durmusoglu (2010). "Levels of PCDD/Fs in local and non-local food samples collected from a highly polluted area in Turkey." *Chemosphere* 80(10): 1213– 1219.
- Besselink H, J. A., Pijnappels M, Swinkels A, Brouwer B (2004). "Validation of extraction, clean-up and DR CALUX® bioanalysis. Part II: foodstuff." *Organohalogen Compd* 66: 677-681.
- Bradsher, K. (2009). China's Trash Incinerators Loom as a Global Hazard August 12, 2009
<http://www.nytimes.com/2009/08/12/business/energy-environment/12incinerate.html?_r=1&hp>. New York Times.
- Deng, P. (2006). Shenzhen statistical yearbook. China Statistical Publishing House, Beijing.
- DiGangi, J. and J. Petrlik (2005). The Egg Report - Contamination of chicken eggs from 17 countries by dioxins, PCBs and hexachlorobenzene.
- EnviroCentre. (2008, 2008). "China Environmental Markets Study Visit to Guangzhou and Shanghai 23 – 29 April 2008." Retrieved 10-January-2015, 2015, from
<http://www.envirocentre.ie/includes/documents/China%20Environmental%20Markets%20Study%20Visit.pdf>.
- European Commission (2011). Commission Regulation (EU) No 1259/2011 of 2 December 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for dioxins, dioxin-like PCBs and non dioxin-like PCBs in foodstuffs (Text with EEA relevance). European Commission. Official Journal of the European Union. EC 1881/2006: 18-23.
- European Commission (2012). Commission Regulation (EU) No 252/2012 of 21 March 2012 laying down methods of sampling and analysis for the official control of levels of dioxins, dioxin-like PCBs and non-dioxin-like PCBs in certain foodstuffs and repealing Regulation (EC) No 1883/2006 Text with EEA relevance European Commission. Official Journal of the European Communities: L 84, 23.83.2012, p. 2011–2022.
- Fernandes, A. R., C. Tlustos, F. Smith, M. Carr, R. Petch and M. Rose (2009). "Polybrominated diphenylethers (PBDEs) and brominated dioxins (PBDD/Fs) in Irish food of animal origin." *Food Additives & Contaminants: Part B* 2(1): 86-94.
- Gasparini M, B. B., Schinetti M, Di Millo S, Tilola M, Maccabiani G, Menotta S, Losio MN, Ferretti E (2011). "Application of DR-CALUX to Milk and Egg Samples: Comparison Between HRGC-HRMS and Screening Data." *Organohalogen Compounds* 73: 2120-2123.
- Hoogenboom, R., M. ten Dam, M. van Bruggen, M. Zeilmaker, S. Jeurissen, W. Traag and S. van Leeuwen (2014). Dioxines en PCB's in eieren van particuliere kippenhouders. Wageningen, RIKILT (University & Research centre): 25.
- IPEN and Green Beagle (2015). China chemical safety case study: Metals pollution from a steel plant complex in Beihai, Guangxi Province. <http://ipen.org/projects/china-chemical-safety-project-2012-%E2%80%932014#beihai>. Beijing - Gothenburg, International POPs Elimination Network: 26.
- IPEN and Green Beagle (2015a). China chemical safety case study: Likeng incinerator in Guangzhou, Guangdong Province. <http://ipen.org/projects/china-chemical-safety-project-2012-%E2%80%932014#guangzhou>. Beijing - Gothenburg, International POPs Elimination Network: 22.

IPEN and Green Beagle (2015b). China chemical safety case study: Qihua PVC plant in Qiqihar, Heilongjiang Province. <http://ipen.org/projects/china-chemical-safety-project-2012-%E2%80%93-2014#qiqihar>. Beijing - Gothenburg, International POPs Elimination Network: 20.

IPEN and Green Beagle (2015c). China chemical safety case study: PCBs pollution in Ziyang, Sichuan Province. <http://ipen.org/projects/china-chemical-safety-project-2012-%E2%80%93-2014#ziyang>. Beijing - Gothenburg, International POPs Elimination Network: 14.

IPEN Heavy Metals Working Group (2013). Guide to the New Mercury Treaty, IPEN: 28.

IPEN Pesticides Working Group (2009). DDT in Eggs. A Global Review. Keep the Promise, Eliminate POPs. Prague: 32.

Jianguo, J., W. Jun, X. Xin, W. Wei, D. Zhou and Z. Yan (2004). "Heavy metal stabilization in municipal solid waste incineration flyash using heavy metal chelating agents." *Journal of Hazardous Materials* 113(1-3): 141-146.

Jianguo, J., C. Maozhe, Z. Yan and X. Xin (2009). "Pb stabilization in fresh fly ash from municipal solid waste incinerator using accelerated carbonation technology." *Journal of Hazardous Materials* 161(2-3): 1046-1051.

Kannan, K., C. Liao and H.-B. Moon (2012). Polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. Dioxins and health Including Other Persistent Organic Pollutants and Endocrine Disruptors. Third Edition. A. Schecter. USA, Wiley: 255-302.

Kun, L. and X. Wei. (2015, 19-01-2015). "Controversial incinerators are licensed, Wuhan says." *China Daily USA*, from http://usa.chinadaily.com.cn/epaper/2015-01/19/content_19347683.htm

Labunska, I., S. Harrad, D. Santillo, P. Johnston and L. Yun (2013). "Domestic Duck Eggs: An Important Pathway of Human Exposure to PBDEs around E-Waste and Scrap Metal Processing Areas in Eastern China." *Environmental Science & Technology* 47(16): 9258-9266.

Li, H.-R., L.-P. Yu, S.-K. Zhang, M. Ren, G.-Y. Sheng, J.-M. Fu and P.-A. Peng (2008). "Establishment and Application of the Co-analysis Method of PBDD/Fs and PCDD/Fs with Isotope Dilution High Resolution Gas Chromatography-High Resolution Mass Spectrometry in Ambient Air Samples." *Chinese Journal of Analytical Chemistry* 36(2): 150-156.

Li, H., J. Feng, G. Sheng, S. L., J. Fu, P. a. Peng and R. Man (2008). "The PCDD/F and PBDD/F pollution in the ambient atmosphere of Shanghai, China." *Chemosphere* 70(4): 576-583.

Li, H., L. Yu, G. Sheng, J. Fu and P. Peng (2007). "Severe PCDD/F and PBDD/F pollution in air around an electronic waste dismantling area in China." *Environ Sci Technol* 41(16): 5641-5646.

Li, M., J. Xiang, S. Hu, L.-S. Sun, S. Su, P.-S. Li and X.-X. Sun (2004). "Characterization of solid residues from municipal solid waste incinerator." *Fuel* 83(10): 1397-1405.

Liu, G., Y. Tong, J. H. Luong, H. Zhang and H. Sun (2010). "A source study of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Shenzhen, South China." *Environmental monitoring and assessment* 163(1-4): 599-606.

News.sina.com. (2009, 26-11-2009). "广州数百人排队领信访号码反对建垃圾焚烧场 (Guangzhou, hundreds of people queue up petition against the construction of waste incineration plants)." Retrieved 10-January-2015, 2015, from <http://news.sina.com.cn/c/sd/2009-11-26/111519132701.shtml>.

Pirard, C., J. Focant, A. Massart and E. De Pauw (2004). "Assessment of the impact of an old MSWI. Part 1: Level of PCDD/Fs and PCBs in surrounding soils and eggs." *Organohalogen Compounds* 66: 2085-2090.

Piskorska-Pliszczynska, J., S. Mikolajczyk, M. Warenik-Bany, S. Maszewski and P. Strucinski (2014). "Soil as a source of dioxin contamination in eggs from free-range hens on a Polish farm." *Science of The Total Environment* 466–467(0): 447-454.

Pless-Mulloli, T., B. Schilling, O. Paepke, N. Griffiths and R. Edwards (2001). "Transfer of PCDD/F and heavy metals from incinerator ash on footpaths in allotments into soil and eggs." *Organohalogen Compounds* 51: 48-52.

Qian, W. and L. Jing. (2009, 27-11-2009). "Fired up about trash crisis." *China Daily*, from http://www.chinadaily.com.cn/bizchina/2009-11/27/content_9065176.htm.

Shelepchikov, A., B. Revich, D. Feshin, S. Brodsky, V. Zil'nikov and O. Sergeev (2006). "Contamination of chicken eggs from different Russian regions by PCBs and chlorinated pesticides." *Organohalogen Compounds* 68: 1959-1962.

Stockholm Convention on POPs (2008). *Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices Relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Geneva, Secretariat of the Stockholm Convention on POPs.

Sun, J.-L., H.-G. Ni and H. Zeng (2011). "Occurrence of chlorinated and brominated polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments in Shenzhen, South China and its relationship to urbanization." *Journal of Environmental Monitoring* 13(10): 2775-2781.

The People's Republic of China (2007). *National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Beijing: 369.

Van den Berg, M., L. S. Birnbaum, M. Denison, M. De Vito, W. Farland, M. Feeley, H. Fiedler, H. Hakansson, A. Hanberg, L. Haws, M. Rose, S. Safe, D. Schrenk, C. Tohyama, A. Tritscher, J. Tuomisto,

Tysklind, N. Walker and R. E. Peterson (2006). "The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds." *Toxicol Sci* 93(2): 223-241.

van den Berg, M., M. S. Denison, L. S. Birnbaum, M. DeVito, H. Fiedler, J. Falandysz, M. Rose, D. Schrenk, S. Safe, C. Tohyama, A. Tritscher, M. Tysklind and R. E. Peterson (2013). "Polybrominated Dibenzo-p-dioxins (PBDDs), Dibenzofurans (PBDFs) and Biphenyls (PBBs) - Inclusion in the Toxicity Equivalency Factor Concept for Dioxin-like Compounds." *Toxicological Sciences*.

Van Eijkeren, J., M. Zeilmaier, C. Kan, W. Traag and L. Hoogenboom (2006). "A toxicokinetic model for the carry-over of dioxins and PCBs from feed and soil to eggs." *Food Additives & Contaminants: Part A* 23(5): 509 - 517.

van Overmeire, I., J. van Loco, P. Roos, S. Carbonnelle and L. Goeyens (2004). "Interpretation of CALUX results in view of the EU maximal TEQ level in milk." *Talanta* 63: 1241-1247.

Wang, J.-J., H.-W. Zhao, X.-P. Zhong, S.-F. Kong, Y.-S. Liu and H. Zeng (2011). "Investigation of mercury levels in soil around a municipal solid waste incinerator in Shenzhen, China." *Environmental Earth Sciences* 64(4): 1001-1010.

Wu, S. P., H. L. Yin, B. L. Liu, X. H. Wang and L. Y. Hong (2011). "[Characteristics of PCBs in a capacitor storage site and an industrial brownfield]." *Huan Jing Ke Xue* 32(11): 3277-3283.

Zhang, J., Y. Jiang, J. Zhou, D. Fang, J. Jiang, G. Liu, H. Zhang, J. Xie, W. Huang, J. Zhang, H. Li, Z. Wang and L. Pan (2008). "Concentrations of PCDD/PCDFs and PCBs in retail foods and an assessment of dietary intake for local population of Shenzhen in China." *Environment International* 34(6): 799-803.

Zhang J, W. C., Jiang Y, Zhou J, Lu S, Huang H, Li S (2011). "Levels and exposure risk assessment of polychlorinated dioxins, furans (PCDD/Fs) and dioxin-like polychlorinated biphenyls (DL-PCBs) in atmosphere of Shenzhen, South China." *Organohalogen Compd* 73: 1873-1876.

鸣谢

这份文件的制作得益于瑞典国际开发合作署通过瑞典自然保护协会（SSNC）提供的赠款，以及其他捐助者的捐款。此处表达的观点不应被视为反映了包括SSNC或其捐助者在内的上述任何捐助者的官方意见。

本出版物是中欧环境治理项目框架下“加强中国污染受害者和民间组织化学品安全行动能力建设”项目的一部分。它的制作得益于欧盟的帮助。本报告的内容由IPEN、Arnika协会和源头爱好者完全负责，绝不能被视为反映欧盟的观点。

还要鸣谢磐石环境与能源研究所王会女士为本报告提供排版帮助。



“加强中国污染受害者和民间组织化学品安全行动能力建设”项目（“中国化学品安全项目”）由欧盟提供资金。本报告的内容由IPEN和Green Beagle完全负责，绝不能被视为反映欧盟的观点。

欧盟委员会是欧盟的执行机构。“欧盟由27个成员国组成，它们决定把各自的知识、资源和命运逐渐联系在一起。在过去50年的发展壮大期间，成员国已经共同建立了一个稳定、民主和可持续发展的区域，并在同时保持了文化多样性、宽容和个人自由。欧盟致力于与本区域之外的国家和人民分享其成就和价值。”