

## 附件六

### 生物蓄积性评估初步指导文件

(未经秘书处正式编辑)

明治大学, Masaru Kitano

#### 1. 背景

《斯德哥尔摩公约》附件D对生物蓄积性标准规定如下:

“(c) 生物蓄积性:

- (一) 表明该化学品在水生物种中的生物浓缩系数或生物蓄积系数大于5,000, 或如无生物浓缩系数和生物蓄积系数数据, log<sub>kow</sub>值大于5的证据;
- (二) 表明该化学品有令人关注的其他原因的证据, 例如在其他物种中的生物蓄积系数值较高, 或具有高度的毒性或生态毒性; 或
- (三) 生物区系的监测数据显示, 该化学品所具有的生物蓄积潜力足以有理由考虑将其列入本公约的适用范围;”

在这些标准中, (一)是数量标准, 因此运用起来模糊性不强。然而(二)和(三)不是数量标准, 因此不明确如何运用这些标准。由于这种不肯定性, 特别是对于没有达到(一)的标准的那些化学品来说, 人们认真讨论了生物蓄积性, 但没有达成共同的理解。(见附录1:关于现有持久性有机污染物和候选持久性有机污染物的生物蓄积性数据。)

本文件审议在没有达到标准(一)的情况下如何运用生物蓄积性标准(二)和(三)。

#### 2. 以往持久性有机污染物审查委员会上提出的生物蓄积性证据和分类

##### (1) 以往持久性有机污染物审查委员会上提出的生物蓄积性证据

至今为止, 已经有五种化学品被认定符合筛选标准, 尽管其生物浓缩系数较低(<5000)。持久性有机污染物审查委员会评估的重要依据如下: (见附录2-1: 以往持久性有机污染物审查委员会会议上提出的生物蓄积性证据; 以及附录2-2, (二)和(三)下候选持久性有机污染物的生物蓄积性证据)

全氟辛烷磺酸:

- (一) 生物浓缩系数240-1, 300, 生物浓缩系数不是很好地表明生物蓄积性的系数
- (二) 去除率很低和对哺乳动物的发育影响很低(在二代大鼠研究中发现无观察不良反应水平值为每日0.1毫克/公斤体重) 以及(三)生物放大性

林丹:

- (一) 生物浓缩系数13至1,240（环境卫生标准），327至893（日本），43至4,240（其他国家），
- (二) 剧毒（无观察不良反应水平低至每天0.3毫克/公斤体重）-以及生态毒性（无可见效果浓度低于1微克/升）（参考文件5和6），蚯蚓内测得的实地水平（含有80微克/公斤的土壤中为0.3毫克/公斤）相当于哺乳动物毒性数据。
- (三) 据报告在北极的海鸟、鱼类和哺乳动物中也发现林丹。海洋哺乳动物中的浓度相当于或高于据报告在北极的伊努特人乳和海洋哺乳动物中发现的多氯联苯和滴滴涕。

甲型六氯环乙烷

- (一) 生物浓缩性系数为60至2,750（整体干重），313-2,400（湿重）（参考文件8和9），
- (二) 和(三)：不同营养层次（浮游生物、无脊椎动物、鱼类和哺乳动物）的生物放大系数的范围为1-16。对北极海洋食物网的实地研究表明，甲型六氯环乙烷可立体选择性地累积于海洋物种体内，而且具有超过丙型六氯环乙烷的生物放大能力。据报告该生物放大值可高达4,220；在人体血液和脂肪组织中已检测到这种物质。在母乳和胎盘中也发现这种物质，从而使处于关键发育阶段的胎儿和婴儿受到威胁。有资料表明，甲型六氯环乙烷的食物链生物蓄积性高于林丹。

乙型六氯环乙烷:

- (一) 生物浓缩系数为250-1,500（整体干重）
- (二) 和(三)对北极海洋食物网的实地研究表明，乙型六氯环乙烷能够在高营养层次内生物蓄积。乙型六氯环乙烷似乎在受调查的物种内具有持久性。海洋食物网中乙型六氯环乙烷的生物蓄积系数基本上为1-18（最高值为280）。特别是在鸟类和海洋哺乳动物中，乙型六氯环乙烷的生物蓄积性高于其他异构体。在北极陆地食物链中，乙型六氯环乙烷也可以在哺乳动物体内生物放大，而且在人体脂肪组织和母乳中发现这种物质。另外在胎盘组织中也发现乙型六氯环乙烷，因此使处于关键发育阶段的婴儿受到威胁。有资料证实，乙型六氯环乙烷的生物蓄积潜力高于林丹。

八溴二苯醚:

- (一) 商用混合物中同系物的生物浓缩系数很高
- (二) 和(三)瑞典北部和格陵兰游隼蛋中的浓度为220-270纳克/克脂肪重量，估计在人体内的半衰期为100天，根据计算，八溴二苯醚197的土壤生物体蓄积系数为2。

**(2) 证据分类**

以上生物蓄积性证据分类如下：

生物浓缩系数不适用：

全氟辛烷磺酸

长半衰期：

全氟辛烷磺酸和八溴二苯醚

剧毒/生态毒性高：

全氟辛烷磺酸和林丹

生物放大：

全氟辛烷磺酸、甲型六氯环乙烷和乙型六氯环乙烷

在生物系统中检测到：

林丹、甲型六氯环乙烷、乙型六氯环乙烷和八溴二苯醚

在人体（血液、母乳、脂肪组织）中检测到：

林丹、甲型六氯环乙烷和乙型六氯环乙烷

在发育阶段接触：

甲型六氯环乙烷和乙型六氯环乙烷

### 3. 关于生物蓄积性评估的现有指导

现在有关于生物蓄积性评估的几种指导文件，其中包括(一)中没有列入的观点。例如，一份欧盟的指导文件提到如何评估相当于持久性、生物蓄积性和毒性物质和vPvB物质的“B”（生物蓄积性）标准的科学证据（持久性、生物蓄积性和毒性物质的生物浓缩系数=2,000, vPvB为5,000）。日本制定了生物蓄积性标准，以确定《化学物质控制法》规定的生物蓄积潜力，该法律规定如何处理生物浓缩系数低于5,000的情况（见附录3：生物半衰期对于评估生物蓄积性的重要性；以及附录4：利用监测数据评估生物蓄积性。）

#### (1) 欧盟指导文件(关于鉴别极为引人关注的物质的附件十五的材料编写指导:摘要)

- a) 关于包括哺乳动物物种在内的其他物种的实验室研究产生的摄入和新陈代谢的数据
- b) 脂肪分离以外的工艺
- c) 利用监测数据

在生物系统中测量到的数据明确表明，这种物质是一种生物吸收的。然而对于生物体内物质的分析检测其本身并不总是表明，已经出现或正在出现严重的生物浓缩或生物蓄积可能会对生物系统产生影响。

这一方面有用的数据是代表单一食物链中不同营养层次的数据，其中各层次之间浓度的相对差异往往可以就生物蓄积潜力提供有用的资料。

对于监测数据来说，应加以考虑的一个重要因素是数据的质量。许多具有持久性、生物蓄积性和毒性的物质在低浓度时难以加以分析，而且采用低质量数据可能会导致得出错误的结论。

在审议现有数据（某些实验室研究产生的数据和实地数据）时应加以考虑的另一个因素是，在任何特定情况下检测到的蓄积性在很大程度上取决于所涉物种体内的脂肪含量。

在评估所涉物质是否具有相当于为B-标准的生物蓄积潜力时，应该采用重证据的办法，把所有现有数据集中起来。这种评估可以包括审议，在提供了生物浓缩系数数据的情况下，这些物质在多大程度上未能达到实际的B或vB标准。应该强调指出，此方面同样应该关注的是生物蓄积潜力，而不仅仅是生物系统中出现生物蓄积性。

## (2) 日本(用于确定《化学物质控制法》一级监测化学品的生物蓄积性标准)

- a) 生物蓄积性很高  
生物浓缩系数值超过5,000
- b) 生物蓄积性不高  
生物浓缩系数值低于1,000或水分配系数低于3.5。  
水分离系数不适用于表面反应物质、分子量分布混合物、有机金属化合物、低纯度样品（可望采用高效液体色谱办法）和无机化合物
- c) 如果生物浓缩系数值在1,000和5,000之间，如果必须确定生物蓄积潜力，就应该考虑以下试验结果。
  - 去除试验
  - 鱼类身体部分（可食用部分）的生物浓缩系数

## 4. 其他指标

### (1) 生物浓缩系数和生物蓄积系数

生物浓缩系数和生物蓄积系数之间关系得到了审查。一般来说，生物浓缩系数很高的持久性有机污染物显示出很高的生物蓄积系数。然而生物浓缩系数和生物蓄积系数之间的关联性不明确（见附录5:现有持久性有机污染物和候选持久性有机污染物的生物浓缩系数和生物蓄积系数之间的相互关系）

原则上来说，实地产生的高质量生物蓄积系数更多地反映环境生物蓄积性，因为这些系数包括所有接触途径产生的摄入以及新陈代谢过程产生的任何影响。在评估生物蓄积系数和（或）生物浓缩系数数据时应该谨慎地评价采样（生物蓄积系数）和试验（生物浓缩系数）的条件。

### (2) 空气分配系数

空气分配系数是作为陆生动物体内潜在生物蓄积性的一个指标加以讨论的。然而在目前现阶段仅仅讨论了数量有限的表明生物蓄积性的化学品的空气分配系数值。因此尚未确定陆生动物的空气分配系数和生物蓄积性之间的关系。因

此应该鼓励在这一方面展开进一步的研究（见附录6：现有持久性有机污染物和候选持久性有机污染物的生物半衰期）

### (3) 新陈代谢

新陈代谢是生物蓄积性评估中的一个基本要素。一般来说，新陈代谢往往降低生物蓄积性的潜力，但应该考虑到各种物种之间的差别。

代谢物可能在体内累积起来。然后生物蓄积潜力必须考虑到母体和有关代谢物（例如表明累积总合的生物浓缩系数或生物蓄积系数的代谢物）的累积性。

由于生物系统中的新陈代谢作用，不符合所有持久性有机污染物特性的化学品可能会引起关注。例如在生物系统中已经转变成生物可蓄积的毒性代谢物的有可能进行远距离迁移的化学品可能对边远地区的健康和环境构成危险。

## 5. 根据指导文件进行的讨论

根据指导文件，对于以往持久性有机污染物审查委员会的评估中提出的生物蓄积性的证据进行了以下审查：

### 生物浓缩系数不适用

欧盟的指导文件提出了脂肪分离以外的一种生物蓄积机制。由于审议了全氟辛酸磺酸的蛋白质结合的情况，机械学解释可有助于在没有满足(一)标准情况下确定生物蓄积潜力。

### 长期半衰期

日本的标准包括这种概念，而且据认为也已经作为“摄入和新陈代谢”列入欧盟的文件。关于半衰期的资料有助于在没有满足(一)标准的情况下确定生物蓄积潜力。应该指出，这两种指导文件都对供审议的测试数据设定了限制。

### 剧毒/高生态毒性

欧盟《化学品的登记、评估和批准条例》对持久性、生物蓄积性和毒性化学品和vP/vB化学品表示同样的关注。这意味着，对于剧毒和（或）生态毒性高的持久性化学品来说，超过2000的生态浓缩系数或相当水平的生物蓄积潜力应该足以引起高度关注。

### 生物放大

欧盟的指导文件指出，生物放大反映了单一食物链内各种营养层次之间浓度的差异，但没有规定数量标准。生物放大是根据实地监测数据确定的。应该考虑到数据的可靠性和所涉物种的脂肪含量等因素。另外还应该考虑到海洋物种和陆生动物新陈代谢的差别。

### 对生物系统的检测、对人体（血液、母乳、脂肪组织）的检测

欧盟的指导文件指出：“对生物体内各种物质的分析检测其本身并不始终表明，已经出现或正在出现严重的生物浓缩或生物蓄积现象可能会对生物系统产生影响。”因此生物系统或人体中的检测数据其本身将不会被视为表明生物蓄积性的直接证据。然而特别是在监测数据表明这种水平随着年龄而增长或在各种物种中检测到这种水平的情况下，就应该认真审议这种数据。

### 发育阶段的接触

指导文件中没有提到这一点，因此这种资料并不是说明人体（血液、母乳和脂肪组织）检测结果等生物蓄积性的直接证据。但这种情况表明应该加以认真的审议。

## 6. 结论

根据对以往持久性有机污染物审查委员会关于现有指导文件的评估和审议的审查结果，认为应该采取以下办法。

### (1) 重要的证据

为了评估并没有达到(一)标准的那些化学品的生物蓄积潜力，认为以下资料是达到(二)或(三)标准的重要证据。关于将化学品列入附件A、B和C的建议应该表明该化学品数据达到了哪些标准。

#### 生物浓缩系数的某种水平

生物浓缩系数的某种水平，例如1000或2000，可以表明有充分理由认真审议没有达到(一)标准的一种化学品的生物蓄积潜力。

#### 长期的半衰期，生物蓄积性的独特的机制

长期的半衰期和关于为何(一)标准不适用的机械学解释可以表明有充分的理由认真审议没有达到(一)标准的一种化学品的生物蓄积潜力。

#### 其他物种的高生物蓄积性

其他物种的高生物蓄积性可以表明，当所涉化学品没有达到(一)标准时有充分理由进行认真的审议。

#### 浓度随着营养层次而增长（生物放大）

浓度随着单一食物链中的营养层次而增长，这种现象为生物放大提供了有益的资料。这表明了通过食物链产生的生物蓄积性，并可以表明有充分理由认真审议没有达到(一)标准的一种化学品的生物蓄积潜力。代表同一地区不同营养层次的各种研究得出的数据和主要肉食动物体内的高水平也表明有充分理由进行认真的审议。应该指出，资料数据来自监测，因此可能应该认真审议监测数据的使用情况，例如可靠性。

### 剧毒/高生态毒性

应该审议剧毒/高生态毒性。

### 生物系统中的检测结果

生物系统中的检测结果及其在周围环境中的各种水平可以表明有充分的理由进行认真的审议。在生物系统中检测到的数据明确表明，这种物质由一种生物吸收。然而应该考虑到，在食物中检测到一种物质其本身并不总是表明生物蓄积性。较高的检测水平并与现有持久性有机污染物中检测水平相比较可能需要进行认真的审议。

### 将生物系统中发现的浓度与毒性水平相比较

应该将环境中检测到的水平同(生态)毒性的强度作比较。如果这两种水平接近，就可能表明有充分理由进行认真的审议。另一方面，由于这种比较涉及到许多不肯定性，因此应该认真审议其在环境中的水平不同于试验动物体内的影响水平的那些物质。对于这种资料来说，可能需要审议监测数据的可靠性等因素。

### 引起关注的其他理由

濒危物种、弱势群体、人体（血液、母乳、脂肪组织）体内的检测结果和发育阶段的接触是引起关注的其他原因。

## **(2) 确凿证据**

应该考虑采用确凿证据的办法，将所有现有资料集中起来。

## 附录一

## 现有持久性有机污染物和候选持久性有机污染物的生物蓄积性数据

化学品名称	水生物种		生物蓄积系数(生物沉积物蓄积系数)	其他物种 生物蓄积系数(生物沉积物蓄积系数)	生物半衰期(d)	Log Kow <sup>5)</sup> (-)	机制
	生物浓缩系数						
	方法 <sup>1)</sup>	其他					
艾氏剂	1,550 - 20,000	5,500 - 11,700 <sup>2)</sup>				8.08	
狄氏剂	4,860 - 14,500	8,910 - 9,770 <sup>2)</sup>			100 - 592 <sup>4)</sup>	8.90	
异狄氏剂	2,360 - 12,600	5,890 - 7,410 <sup>2)</sup>			2 - 4 <sup>4)</sup>	8.13	
氯丹	13,000 - 27,900	19,500 - 20,900 <sup>2)</sup>			<1 - 140 <sup>4)</sup>	8.92	
滴滴涕	5,100 - 25,900	2,880 - 91,200 <sup>2)</sup>	4,680 - 4,170,000 <sup>2)</sup>		0.2 - 428 <sup>4)</sup>	9.82	
六氯苯	6,000 - 30,000	3,720 - 245,5000 <sup>2)</sup>	1,200 - 550,000 <sup>2)</sup>		12 - 1,095 <sup>4)</sup>	7.38	
七氯	2,020 - 17,300	8,710 - 10,000 <sup>2)</sup>				7.64	
灭蚁灵		20,400 - 41,700 <sup>2)</sup>	224,000 - 5,750,000 <sup>2)</sup>		1.6 - 364 <sup>4)</sup>		
毒杀芬					1 - 19.3 <sup>4)</sup>		
多氯联苯	600 - 21,900	2,690 - 933,000 <sup>3)</sup>	11,000-32,400,000 <sup>2)</sup>		0.3 - 1,020 <sup>4)</sup>		
多氯二苯并对二恶英		36,300 - 38,900 <sup>2)</sup>			<7 - 4,125 <sup>4)</sup>		
多氯二联苯并呋喃		2,570 - 6,030 <sup>2)</sup>			0.001 - 1,168 <sup>4)</sup>		
五溴二苯醚		17,700 <sup>3)</sup>	1.8 <sup>3)</sup>	生物沉积物蓄积系数= 11- 34 <sup>3)</sup>			
全氟辛烷磺酸	200 - 1,500	240 - 3,100 <sup>3)</sup>			13.6 - 1,428 <sup>3)</sup> <sup>4)</sup>		与血蛋白结合
HeBB	4,700 - 16,000	4,700 - 18,100 <sup>3)</sup>			22 - 35,405 <sup>3)</sup> <sup>4)</sup>		
开蓬		6.2 - 60,200 <sup>3)</sup>			8.5 - 165 <sup>4)</sup>		
林丹	327 - 893	3 - 20,000 <sup>3)</sup>	10- 12,600 <sup>2) 3)</sup>		0.71 - 2 <sup>3)</sup> <sup>4)</sup>	7.85	通过空气呼吸缓慢消失
甲型六氯环乙烷		60 - 13,000 <sup>3)</sup>			1.6 - 6.9 <sup>4)</sup>	7.61	通过空气呼吸缓慢消失
乙型六氯环乙烷		250 - 1,500 <sup>3)</sup>			2.5 - 154 <sup>4)</sup>	8.88	通过空气呼吸缓慢消失 通过饮食吸收大量分子
八溴二苯醚		<10 - 36 <sup>3)</sup>	生物沉积物蓄积系数=1(hexa)-3 (hepta) <sup>3)</sup> 生物沉积物蓄积系数=9.1±1.1 (hexa)		100 <sup>3)</sup>		
短链氯化石蜡	2,500 - 11,000	<1- 138,000 <sup>3)</sup>	16,440- 25,650 <sup>3)</sup>	生物沉积物蓄积系数=1.9-6.8	7.1 - 86.6 <sup>3)</sup>		
五氯苯		577 - 23,000 <sup>3)</sup>	125- 117,000 <sup>2) 3)</sup>		53 <sup>3)</sup>		

**参考文献** 1) Chemical Risk information Platform (CHRIP, Japan), 2) Arnot, JA et, al(2006)Supplementary information for “ A review of bioconcentration factor(BCF) and bioaccumulation factor(BAF)assessments for organic chemicals in aquatic organisms”, 3) 对照附件D的评价和候选持久性有机污染物风险简介 4) Hazardous Substances Data Bank (HSDB, U, S,)。5) Shoeib, M et al(2002)Environ, Toxicol, Chem, 21, 5.

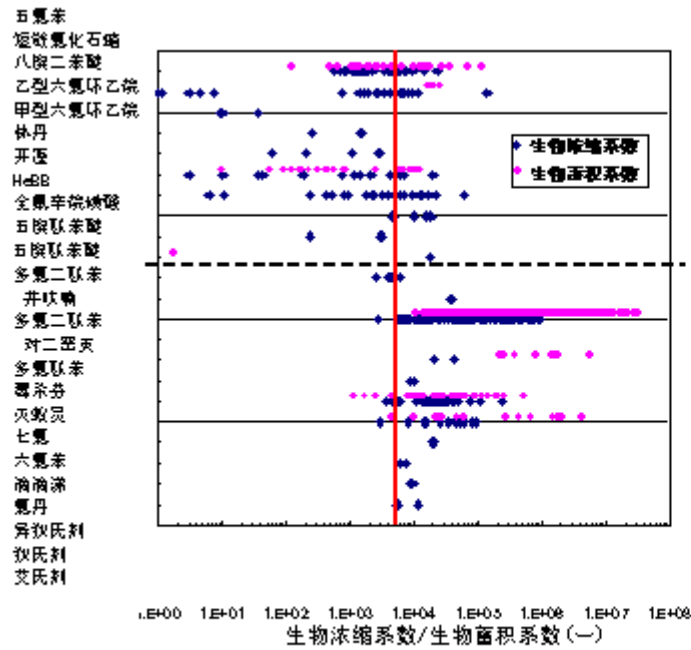


图1. 现有持久性有机污染物和候选持久性有机污染物的浓缩系数和生物蓄积系数数据之间的关联性

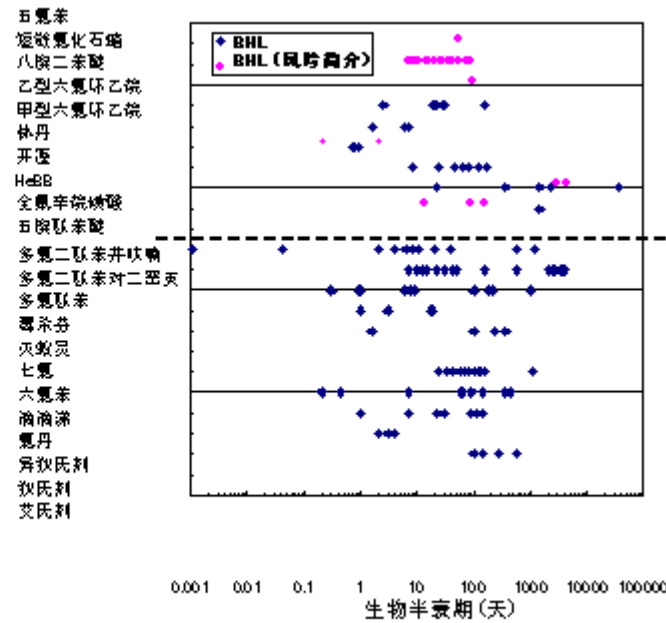


图2. 现有持久性有机污染物和候选持久性有机污染物的生物半衰期数据

附录 2-1

以往持久性有机污染物审查委员会会议上提出的生物蓄积性证据 (生物浓缩系数<5,000)

		五溴二苯醚	全氟辛酸磺酸	HeBB	开蓬	林丹	甲型六氯环乙烷	乙型六氯环乙烷	八溴二苯醚	短链氯化石蜡	五氯苯
其他物种体内的生物蓄积性						<ul style="list-style-type: none"> <li>在多数分类生物中,从植物和藻类到脊椎动物中,观察到了林丹的生物蓄积性</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>狼的模式生物放大系数,取决于其年龄,从 9 至 109 不等。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在土壤生物系统中,八溴二苯醚 197 的土壤生物蓄积系数累积数为 2。</li> </ul>		
毒性	剧毒		<ul style="list-style-type: none"> <li>对哺乳动物的发育影响很低(对于两代大鼠的研究表明,无观察不良影响水平=每天 0.1 毫克/公斤)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>应该考虑到这种生物蓄积潜力与高毒性(无观察不良影响水平每天 0.3 毫克/公斤)和生态毒性(无观察效应浓度&lt;1 微克/升)结合产生的环境后果。如果采用一种现实的食物摄入比例 0.63 将蚯蚓体内测量到的实际水平(含有 80 微克/公斤的土壤为 0.3 毫克/公斤)同哺乳动物毒性数据对照起来,就可以表明一个引起生态毒性关注的领域应该加以进一步的探讨</li> </ul>					
	高生态毒性 毒理动力学		<ul style="list-style-type: none"> <li>去除率很低(对水生和陆上脊椎动物的毒理动力学研究(*)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>哺乳动物毒理动力学数据和生物系统监测数据证实了生物蓄积性潜力(*)</li> </ul>							<ul style="list-style-type: none"> <li>关于家禽的毒理动力学的数据表明了食物接触期间的蓄积性并表明脂肪组织的半衰期为 53 天。(*)</li> </ul>

		五溴二苯醚	全氟辛烷磺酸	HeBB	开蓬	林丹	甲型六氯环乙烷	乙型六氯环乙烷	八溴二苯醚	短链氯化石蜡	五氟苯
生物半衰期	人类								•估计人体内的半衰期为 100 天。		
	动物		•去除力很低 (对水生和陆生脊椎动物的毒理动力学研究)。(*)		•哺乳动物体内的排泄半衰期为几个月						•关于家禽的毒理动力学数据表明了食物接触期间的蓄积性并表明脂肪组织的半衰期为 53 天。(*)
生物系统的监测数据	生物放大系数或营养转移	•世界各地的数据表明,五溴二苯醚各种同系数的水平随着营养程度的上升而上升。最近的出版物证实了北极地区的食物链转移。(*)	•监测数据证实了陆生和海洋哺乳动物体内全氟辛烷磺酸的生物蓄积性和生物放大性。(*)				•不同营养层次(浮游生物、无脊椎动物、鱼类和哺乳动物)的甲型六氯环乙烷的生物放大系数为 1-16。 •在北极海洋食物网中,研究表明,甲型六氯环乙烷可立体选择性地累积于海洋物种体内,而且具有超过丙型六氯环乙烷的生物放大能力。据报告其生物放大值可高达 4,220。	•海洋食物网的生物放大系数基本上为 1-18。			

		五溴二苯醚	全氟辛烷磺酸	HeBB	开蓬	林丹	甲型六氯环乙烷	乙型六氯环乙烷	八溴二苯醚	短链氯化石蜡	五氯苯
	在较高营养层次中检测到		•监测数据证实了陆生和海洋哺乳动物体内全氟辛烷磺酸的生物蓄积性和生物放大性。 (*)		•在鱼类和鸟类体内检测到高水平的化学品	•据报告在北极的海鸟、鱼类和哺乳动物体内发现(*)		•北极海洋食物网的实地研究表明乙型六氯环乙烷可以在高营养层次中具有生物蓄积性。 (*) •在陆生北极生物链中,乙型六氯环乙烷也可以在哺乳动物体内产生生物放大。 (*)	•尽管其分子量很高,但在主要食肉动物中发现的分子水平与四溴二苯醚和五溴二苯醚生物蓄积的水平相类似。 (*) •据报告,瑞典北部和格陵兰的游隼蛋中的浓度为 220-270 纳克/克脂肪重量。 (*)	•据报告,北极各地区以及加拿大和格陵兰的海洋哺乳动物中检测到短链氯化石蜡的水平。 (*)	
	在其他物种体内检测到			•哺乳动物的毒理动力学数据和生物系统的监测数据证实了生物蓄积潜力。 (*)				•乙型六氯环乙烷似乎在受调查物中体内持续存在。	•实地数据就七溴二苯醚的生物蓄积潜力提供了证据。	•另外还有证据证明加拿大安大略湖鱼类物种体内蓄积了短链氯化石蜡。	
	在边远地区或北极检测到	•最近出版物证实了北极地区的食物链转移。 (*)				•据报告在北极的海鸟、鱼类和哺乳动物体内检测到此种物质。 (*)		•对北极海洋食物网的实地研究表明,乙型六氯环乙烷在高营养层次中可能具有生物蓄积性。 (*) •在北极陆地食物链中,乙型六氯环乙烷在哺乳动物中也可能具有生物放大作用。 (*)	•尽管其分子量较高,但在主要食肉动物中发现的分子水平与四溴二苯醚和五溴二苯醚生物蓄积的水平相类似。 (*) •据报告,瑞典北部和格陵兰的游隼蛋中的浓度为 220-270 纳克/克脂肪重量 (*)	•据报告,在北极各地区以及加拿大和格陵兰的海洋哺乳动物中检测到短链氯化石蜡的水平(*)	•另外还在边远地区收集了大量关于北极哺乳动物、鸟类、鱼类、湖底沉淀物和苔藓的监测数据。

		五溴二苯醚	全氟辛烷磺酸	HeBB	开蓬	林丹	甲型六氯环乙烷	乙型六氯环乙烷	八溴二苯醚	短链氯化石蜡	五氯苯
	在母乳中检测到					•据报告在北极伊努特人的人乳和海洋哺乳动物中检测到此种物质	•在人类的血液和脂肪组织中检测到 •在母乳和胎盘中检测到,因此使处在关键发育阶段的婴儿面临危险	•在人类脂肪组织和母乳中检测到 •在胎盘组织中检测到,从而使处在关键发育阶段的婴儿面临危险。		•在母乳中检测到短链氯化石蜡。	
	其他持久性有机污染物的相对检测水平					•在哺乳动物中发现的林丹浓度相当于或者甚至超过某些更具疏水性的污染物,例如多氯联苯和滴滴涕。		•在鸟类体内,特别是在海洋哺乳动物体内,乙型六氯环乙烷蓄积的程度超过其他异构体。			
其他				•密执安州事件提供的进一步的资料	•这种生物蓄积性是该化学品的亲脂性引起的,该化学品的水分配系数值为 4.50-6.00。		•现有资料表明,甲型六氯环乙烷的食物链生物蓄积性高于林丹。	•现有资料证实,乙型六氯环乙烷的生物蓄积潜力高于林丹。	•尽管其分子量很高,但在主要食肉动物中发现的分子水平与四溴二苯醚和五溴二苯醚生物蓄积的水平相类似。 (*)		•在边远地区,包括在北极空气中检测到五氯苯的成分,其浓度为 0.017 至 0.138 纳克/立方米。

带 \* 的项目属于多重类别。

## 附录 2-2

## (二)和(三)下候选持久性有机污染物的生物蓄积性证据

	全氟辛烷磺酸	林丹	甲型六氯环乙烷	乙型六氯环乙烷	八溴二苯醚
(一)表明该化学品在水生物种中的生物浓缩系数或生物蓄积系数大于 5,000,如果没有这种数据,水分配系数值大于 5 的证据;	全氟辛烷磺酸的生物蓄积系数值低于筛选标准(稳态条件下为 240 - 1,300,采用动力学估计办法,则可达 2,796)(参考文件 1)。全氟辛烷磺酸是一种表面活性物质,因此不宜对之进行辛烷水分离系数测定(参考文件 2)。生物蓄积性系数值对于这一物质的生物蓄积性而言,而不是良好的预测参数,因为经认证,食物摄取是此种物质进入水系生物体的通常途径(参考文件 3)。生物蓄积性与亲脂性程度无关,而且所涉蓄积性作用并未主要发生在脂肪组织上。	《环境卫生标准 124》(参考文件 5)载列的数据表明,生物浓缩系数为 13 至 1,240。按照经合组织测试准则由日本获取并经同行审查的生物浓缩系数值为 327 至 893。其他参考资料提供了在贝类、蚤类和鱼类物种中检测到的生物浓缩系数,根据生物的脂肪含量,从 43 到 4,240 不等。就生物蓄积系数而言,所提供的唯一资料是墨西哥提案中的 12,500 值,这可能是以林丹的物理化学特性及环境数据为依据的。墨西哥提案中的水分配系数值为 3.5;	(一)该提案中报告的水分配系数为 3.8(参考文件 1)。无脊椎动物的生物浓缩系数可以为 60 至 2,750 (整体干重)(参考文件 4)。鱼类的生物浓缩系数从 313 - 2,400 不等(湿重)(参考文件 8 和 9);	该提案中报告的水分配系数为 3.7。鱼类的生物浓缩系数被确定为 1,460。其他报告的鱼类的生物浓缩系数从 250 到 1,500 不等(整体干重)(参考文件 5);	商用产品的水分配系数值被确定为 6.29(参考文件 3)。欧洲联盟风险评估报告中提出的试验结果表明,八溴二苯醚和七溴二苯醚的生物浓缩系数很低(低于 (10-36); 这些结果得到了由日本政府提交并经过同行审查的数据的证实。然而试验结果发现,商用八溴二苯醚中存在的其他多溴二苯醚的生物浓缩系数较高,例如,五溴二苯醚的值为 11,700-17,700(参考文件 3),而六溴二苯醚为 1,000-5,600(参考文件 3);

<p>(二) 表明该化学品有令人关注的其他原因的<b>证据</b>,例如在其他物种中的生物蓄积性数值较高,或具有高度的毒性或生态毒性;</p>	<p>对水生和陆生脊椎动物的毒理动力学的研究表明<b>去除力很低</b>(参考文件 1 和 4)。此外,全氟辛烷磺酸表明<b>对哺乳动物的生育影响很低(对两代大鼠的研究表明,无观察不良反应影响水平值为每天 0.1 毫克/公斤体重(参考文件 1);</b></p>	<p><b>(一)在多数生物分类中,从植物和藻类到脊椎动物中观察到林丹的生物蓄积性。</b>应该考虑到这种生物蓄积潜力与高毒性-无观察不良效应水平为每天 0.3 毫克/公斤体重)以及生物毒性-水生生态系统无观察不良影响浓度低于 1 微克/升。(参考文件 5 和 6) 的结合产生的环境后果例如采用实际的 0.63 食物摄入比例(参考文件 7)将蚯蚓体内检测到的<b>实地水准(80 微克/公斤含量的土壤为 0.3 毫克/公斤)</b>对照哺乳动物毒性数据(参考文件 5),就表明了一个需要进一步探讨的生态毒性问题领域。</p>	<p>不同营养层次(浮游生物、无脊椎动物、鱼类和哺乳动物)的<b>甲型六氯环乙烷的生物放大系数从 1 到 16 不等。</b>(参考文件 10 和 11)。北极海洋食物网实地研究表明,甲型六氯环乙烷可立体选择性地累积于海洋物种体内,而且具有超过丙型六氯环乙烷的生物放大能力。据报告,其生物放大值可高达 4,220 (参考文件 12); <b>在人类血液和脂肪组织中已经检测到甲型六氯环乙烷(参考文件 13)。</b>另外还在<b>母乳和胎盘组织中检测到这种物质,因此使处于关键发育阶段的婴儿面临着危险</b>(参考文件 14、15 和 16);现有资料表明,甲型六氯环乙烷的食物链的生物蓄积性高于林丹, (参考文件 12);</p>	<p>对北极海洋食物网的实地研究表明,<b>乙型六氯环乙烷可以在高营养层次中生物累积起来(参考文件 1)。</b>乙型六氯环乙烷似乎在受调查物种体内持续存在(参考文件 1、6 和 7)。 <b>海洋食物网的乙型六氯环乙烷的生物放大系数基本上在 1-18 范围内(最高值为 280)。</b>特别是在鸟类和海洋哺乳动物体内, <b>乙型六氯环乙烷的蓄积值可以高于其他异构体</b>(参考文件 1、6 和 8)。在陆生北极食物链中, <b>乙型六氯环乙烷也可以在哺乳动物体内具有生物放大性。</b>狼的模式生物放大系数根据其年龄而有不同,从 9 到 109 不等, (参考文件 9); <b>在脂肪组织(参考文件 10)和人乳中(参考文件 11、12 和 13)检测到了乙型六氯环乙烷。在胎盘组织中也检测到了此种物质,因此使处于关键发育阶段的婴儿处于危险</b>(参考文件 14);此外,现有资料证实, <b>乙型六氯环乙烷的生物蓄积潜力高于林丹</b>(参考文件 1)。</p>	<p>实地数据提供了七溴二苯醚生物蓄积潜力的证据。 <b>据报告,瑞典北部和格陵兰游隼蛋内的浓度为 220 - 270 纳克/克脂肪重量(参考文件 4 和 5)。</b>这一证据表明,尽管其分子量很大,但在主要食肉动物中发现的这种分子量的水平类似于四溴二苯醚和五溴二苯醚的生物蓄积性。此外, <b>人体中估计的半衰期为 100 天</b>(参考文件 6),表明了生物蓄积的潜力。在土壤生物系统中, <b>八溴二苯醚 197 的土壤生物体蓄积系数被计算为 2</b>(参考文件 2)。</p>
<p>(三)生物系统的监测数据表明,此种化学品的生物蓄积潜力足以证明应该在本公约的范围内审议这一化学品;</p>	<p>监测数据证实了<b>全氟辛烷磺酸在陆生和海洋哺乳动物体内的生物蓄积性和生物放大性(参考文件 4);</b></p>	<p>(二)据报告在北极的海鸟、鱼类和哺乳动物体内检测到了林丹(参考文件 1)。在海洋哺乳动物体内检测到的林丹浓度相当于或甚至高于一些比较疏水的污染物,例如多溴联苯和滴滴涕中 (参考文件 1)。此外据报告,在北极伊努特人的人乳和海洋哺乳动物体内检测到了林丹(参考文件 8);</p>			

## 附录三

### 生物半衰期对于评估生物蓄积性的重要性

#### 1. 生物半衰期数据

生物半衰期是指一种化学品通过新陈代谢和从体内排泄,其原来数量减半所需要的时间。

除了罕见的例外情况以外,随之产生的代谢物比较亲水,因此比母体物质更迅速地排泄出来。因此半衰期是降低生物蓄积潜力的一个重要参数。

#### 2. 生物半衰期数据的重要性

##### 事例1:极其令人关注物质鉴别指南

欧洲化学品管理署(2007)公布了极其令人关注物质鉴别指南。关于生物蓄积标准,水生生物体中的生物浓缩系数作为衡量该物质生物蓄积潜力的一种指标。也可以用来表明或支持与同等关注有关的高生物蓄积潜力的数据包括半衰期数据:“关于其他物种,包括哺乳动物物种的实验室研究产生的摄入和新陈代谢数据”

##### 事例2:利用水分配系数评估生物蓄积潜力

就亲脂物质而言,据认为在水分配系数和生物浓缩系数值之间存在相互关联性。然而已测定和计算的生物浓缩系数值之间显然存在严重差别,而且随着水分配系数的增加而更加明显(联合国(2005))。

造成这些差别的原因是,薄膜渗透动力降低,大型分子生物脂肪溶度降低,未能取得平衡等人工试验结果,以及出现分析误差。

新陈代谢也被认为是其中原因之一。鱼类能够使许多各种外来物产生代谢作用,而且已经查明并确定了一些催化这些反应的酶。生物转变反应所产生的一种代谢物具有与其母体物质所不同的物理和化学特性。通过将一种物质转变成一种比较亲水的衍生物,就可以降低生物蓄积潜力。

##### 事例3:评估生物放大潜力

参阅 [利用监测数据评估生物蓄积性]

#### 3. 影响生物半衰期数据的因素

在鱼类生物浓缩测试中,可以根据化学浓缩的改变或每单位时间的化学品含量(体内负荷)的改变来计算半衰期。造成两个计算单位之间的差别的原因是研究期间体重的增加,即“生长稀释”。在关于受到长期监测的持久性化学品的研究中,生长可以成为一个重要的因素。(Niimi, A. J. (1987))。

此外，各种因素，例如物种之间的差别、化学接触停止和第一次采样之间的时间间隔、采用放射性标志化合物和采用一级和多级动力学可以影响到半衰期估计。

在毒理动力学研究中，半衰期数据通常来自等离子浓度。另外还可以检测到尿、胆汁或粪便排泄。亲脂化学品首先被清除掉，变成粪便，因此半衰期似乎很短。然而体内吸收的那部分可以在脂肪组织里留存很长时间，因此产生时间长得多的半衰期。

### **参考文件**

欧洲化学品管理署（2007），关于极为令人关注的物质的鉴别的附件十五文件编写指南。

Niimi, A. J. (1987), 鱼类体内化学品的生物半衰期。审查环境污染和毒理学, 99, 1—46。

联合国（2005）全球化学品分类和标签统一制度，附件九，关于对水生环境的危险的指南。

## 附录四

### 利用监测数据评估生物蓄积性

#### 1. 利用监测数据

必须谨慎地采用监测数据来评估生物蓄积潜力。欧洲化学品管理署（2007）公布了关于采用实地研究取得的监测数据的指南。

“在生物系统中检测到的数据明确标明了所涉物质是由一种生物体吸收的。然而对生物体中各种物质的分析检测其本身并不始终表明已经出现或正在出现严重的生物浓缩或生物蓄积可能会对生物系统产生影响。”

如果接触的来源和水平（例如通过水和食物）不得而知或无法合理地估计，就特别难以针对实际的生物蓄积性或生物放大系数解释这种数据。”

#### 2. 利用监测数据评估生物蓄积性方面的考虑

##### a) 食物网转移产生的生物放大系数

尽管对于生物放大有各种定义，但持久性有机污染物审查委员会第一届会议（2005）的规定如下：

“生物放大是通常以脂肪正常化表达的化学品浓度的过程。生物放大通过饮食摄入使一种化学品的营养层次从低度转向高度。”

鉴于计算生物放大系数的方法多种多样，在评价生物蓄积标准时，应采用生物放大潜力，而不是生物放大系数。如果已确定一种生物放大潜力，就应该在评价标准1(c)时将之作为一种具体的问题考虑。

在比较生物放大系数各营养层次之间的浓缩时应采用基于脂肪的浓缩值。基于整体体重的生物放大系数值往往低于基于脂肪的生物放大系数。

生物放大系数=所涉化学品在一种生物体内的基于脂肪的浓度/该化学品在食物中基于脂肪的浓度。

Schwarzenbach, R. P. (2003) 列举了一些事例，说明生物体中的一些特定有机氯化合物浓度构成单一的食物链或食物网。如果生物放大系数 $>1$ ，就认为出现了向高层次食肉动物的转移。然而浮游生物等微生物的新陈代谢和净化率很快，因此难以确定各种营养层次之间的不平衡。

生物放大系数往往随着化学品脂肪浓度的增加而增加。这通常是由于去除过程缓慢。对于脂肪溶度较低的化学品，例如六氯环乙烷（水分配系数=3.8）来说，去除过程较快，因此生物放大的潜力也降低。

对于能够使这种化学品产生代谢作用的高层次食肉动物而言，生物放大系数可以低于1。例如，鸟类可以比其被捕食动物更容易在生物上转变六氯环乙烷，因此海鸟体内的六氯环乙烷的生物放大系数为0.3。

#### b) 监测数据的时间趋势

时间趋势数据可以提供非常有用的资料，说明所涉物质的水平是否不断在环境中增强，但对这种数据的解释并非始终是直截了当的。

#### c) 与现有持久性有机污染物检测浓度相比较

与现有持久性有机污染物等高度生物蓄积性物质的检测浓度相比较，就可以为生物蓄积潜力提供标准。

#### d) 在高层次检测到的抽样数据

尽管有机化合物通常在肝或脂肪组织中蓄积起来，但在身体其他部位（例如血红蛋白）中检测到的数据可以有助于确定化学品的特定蓄积行为并解释蓄积机制。

尽管生物浓缩系数通常来自水生生物实验，但在高层次的其他生物（例如陆生生物）中检测到的数据可有助于发现容易发生生物蓄积现象的生物，并解释蓄积机制。

### 3. 评估监测数据的质量

就监测数据而言，一个应加以考虑的重要因素是数据的质量。许多具有持久性有机污染物特性的物质在低浓度时难以加以分析，而且采用低质量数据可能会导致得出错误的结论。北极监测和评估方案（2001年）公布了关于评估用于确定空间和时间趋势和其他数据解释的监测数据的质量的建议。基于保证质量的考虑，提出了以下四种数据：

a) 数据收集过程所有阶段的鉴定证据或书面质量保证。

b) 质量保证/质量控制过程的某些部分可以记载下来（但已发表的报告可能没有加以充分叙述）。

c) 没有关于质量保证/质量控制程序的数据，但结果符合关于同样抽样类型的其他报告。

d) 没有关于质量保证或与经核证的数据通量数据兼容性的证据。

北极监测和评估方案建议，只应该接收A类或B类的数据来调查空间和时间趋势或其他类型的基本数据解释。C类数据可以用来表明相对趋势，假定这些数据是内部一致的。D类数据不应该用于评估过程。

#### 4. 监测数据易变性的因素

有许多因素可能会影响到监测数据，其中一些数据是相互密切关联的。Borga et al等人（2004）将这些因素的影响概述如下：

##### 脂肪

生物体内的脂肪含量随着季节性等环境因素以及年龄、性别、体重和繁殖阶段等具体因素而各有不同。尽管脂肪正常化浓度在生物蓄积性研究中用来说明这种差异，但应该考虑到这些因素的影响。

生活在北极等寒冷地区的生物往往在体内累积大量的脂肪以储存能量，作为在寒冷气候下生存的一种战略。多数持久性有机污染物是高度脂肪可溶的，并分割成脂肪状态，因此在北极生物系统中检测到这些物质的水平很高。

##### 季节性

在北极地区，太阳辐射强度的季节性变化影响到持久性有机污染物的蓄积性。

冰雪的形成和融化或初级生产的季节性增加或减少引起的水中的有机物质含量的变化影响到水柱中持久性有机污染物的生物利用率。

初级生产增强产生了大量的食物，导致生物的体重和（或）脂肪含量的增加。脂肪的增加促使亲脂性化学品的储存量增加。

##### 生命周期

就浮游生物而言，体重增加减少了相对的表面面积，因此降低了通过身体表面的去除率。

就正在生长的生物而言，特别是鸟类和哺乳动物，持久性有机污染物的表面浓缩度随着体重增加而减少（生长稀释）。

就成熟的生物而言，持久性有机污染物的浓度随着年龄而增加，因为许多这些物质难以降解，因此去除过程非常缓慢。

饮食或居住环境随着年龄的变化可以改变持久性有机污染物的蓄积和（或）去除过程。

处于繁殖阶段的雌性哺乳动物通过粪便和乳汁去除在其体内蓄积的持久性有机污染物。

## 生境

生境的特性各异, 例如水生系统的组成（例如水柱和沉淀物的深度）和各转化阶之间的化学品的分割。

持久性有机污染物往往吸收分子并将其沉积到沉积物中, 因此同样营养层次的水底生物中检测到的持久性有机污染物高于浮游生物。生长在沉淀物和水的作用相互作用比较多的生境中的深海鱼类比浅水鱼类蓄积更多的持久性有机污染物。

迁徙生物在其整个生命周期内接触各种水平的持久性有机污染物, 但各地区有所不同。

## 新陈代谢（生物转变）

新陈代谢率而不是摄入决定化学品生物蓄积和生物放大的潜力。

如果化学品可以产生代谢作用, 高生物蓄积系数并不一定代表高生物放大潜力。

生物新陈代谢的能力在很大程度上是因化学品而异的, 而且随着物种、年龄、体重、性别等因素而有所不同。

代谢物可能比母体化合物更持久、更具生物蓄积性和（或）毒性。

## 营养状况

营养状况较高的生物食用其被捕食生物, 即吸收了被捕食生物体内蓄积的化学品。

对于持久性有机污染物等持久性和生物蓄积性物质而言, 每一营养层次的生物体内的缓慢消除过程导致这些生物体的浓度增加, 从而进入下一层次。

生物放大系数物往往随着营养层次的上升而增加, 化学品在食肉动物体内的代谢转变导致食肉动物体内的浓度低于其被捕食动物（营养稀释）。

### **参考文件:**

北极监测和评估方案（2001），北极监测和评估方案第二阶段评估准则。北极监测和评估方案。2001：1报告。

Borga, K., Fisk, A.T., Hoekster, P.F., 和Muir, D.C.G.（2004），生物和化学因素对于北极海洋食物网中持久性有机氯污染物的生物蓄积和营养转移的重要性。 *Environ. Toxicol. Chem.*, 23, 10, 2367–2385。

欧洲化学品管理署（2007），关于极其令人关注的物质鉴别的附件十五文件编写指南。

Schwarzenbach, R.P., Gschwend, P.M., Imboden, D.M (2003), 环境有机化学第二版。Wiley-interscience。

环境署 (2005), 生物浓缩、生物蓄积和生物放大的定义, 持久性有机污染物审查委员会第一次会议。

## 附录五

### 生物浓缩系数和生物蓄积系数之间的关系

#### 1) 生物浓缩系数

- 在受控制条件下在实验室试验里检测。
- 仅仅来自水中的接触—仅仅适用于水生物种。
- 通过呼吸道表面（例如鱼类的鳃膜）摄入的净结果相对通过呼吸、粪便排泄、生物转变等净化。
- 通常计算为生物体内的化学品浓度与稳定状态下水中化学品浓度的比例。如果达不到稳定状态，就采用动力学方法。

#### 2) 生物蓄积系数

- 在实验室（模型生态系统）试验或实地研究中检测。
- 通过环境媒介（空气、水、沉积物、土壤）和饮食的接触—也适用于非水生物种。
- 通过两种途径（呼吸道表面和食物）的摄入的净结果相对净化。
- 计算为生物体内的化学品浓度与环境媒介中的化学品浓度的比例。
- 水底生物的生物蓄积系数表达为生物系统—沉积物蓄积系数。
- 生物体内的化学品浓度与其食物（被捕食生物）的比例的表达为生物放大系数。
- 饮食生物蓄积试验（喂养研究）的结果表达为生物放大系数。

#### 3) 生物浓缩系数和生物蓄积系数值之间的相互关联性

- 许多化学品的生物蓄积系数往往高于生物浓缩系数，可能是因为接触途径有所增加。
- 表1列举了作为比较鱼类物种体内同一种化学品的生物浓缩系数和生物蓄积系数的一种案例研究而选定的五种化学品的摘要统计数据（Arnot, J. A. et al (2006)）。就已知在食物网中具生物放大作用的化学品而言，实地生物蓄积系数可以比实验室试验得出的生物浓缩系数将近高两个数量级。但根据观察结果，某些化学品的生物浓缩系数高于生物蓄积系数。

表1. 5种种化学品的可接收鱼类生物浓缩系数和生物蓄积系数值之间的案例研究比较 (Arnot, J. A. et al (2006) )

化学品 (终点)	水分配系数	<i>n</i>	范围对数值 (SD)	中间对数值	平均对数值 (SE)
氯苯 (生物浓缩系数)	2.84	2	1.13- 1.34(0.15)	1.24	1.24(0.11)
氯苯 (生物蓄积系数)	2.84	3	1.81- 2.88(0.55)	2.09	2.26(0.32)
林丹 (生物浓缩系数)	3.72	33	2.16- 3.32(0.35)	2.84	2.80(0.06)
林丹 (生物蓄积系数)	3.72	4	3.43- 3.97(.025)	3.90	3.80(0.13)
六氯苯 (生物浓缩系数)	5.73	21	3.57- 4.70(0.32)	4.26	4.12(0.07)
六氯苯 (生物蓄积系数)	5.75	26	3.91- 5.74(0.48)	4.75	4.74(0.09)
<i>p,p'</i> -滴滴涕 (生物浓缩系数)	6.91	5	4.17- 4.72(0.27)	4.65	4.48(0.12)
<i>p,p'</i> -滴滴涕 (生物蓄积系数)	6.91	7	5.84- 6.62(0.27)	6.33	6.31(0.10)
DEHP (生物浓缩系数)	7.73	6	2.43- 2.98(0.18)	2.79	2.76(0.07)
BEHP (生物蓄积系数)	7.73	2	1.86- 2.83(0.69)	2.35	2.35(0.49)

注: *n*, 观察次数; SD, 标准偏离; SE, 平均标准误差; *p,p'*-滴滴涕, 1,1-(2,2,2-trichloroethylidene)二(4-氯苯); DEHP, 1,2-羟基间苯二酸,二(2-乙基己基)酯。

#### 4) 评估实地检测到的生物蓄积系数值的不肯定性

- 历史性背景浓缩度不得而知。
- 化学品的生物可利用率取决于现场的具体条件 (温度, 有机碳含量……)
- 时间和空间因素的影响 (季节性、地理特性等。)
- 各物种之间的差异 (饮食、营养状态、生境、新陈代谢等。)
- 各种生物现状的差异 (年龄、性别、繁殖阶段、体重、脂肪含量等)。
- 如果浓度极低 (接近检测限度), 就难以测量环境媒介中的化学品。
- 与其他化学品的同时接触所产生的影响。

#### 参考文件:

Arnot, J.A. 和 Gobas, F.A.P.C (2006), 审查水生生物体内有机化学品的生物浓缩系数和生物蓄积系数评估结果。 *Environ. Rev.* 14:257-297。

## 附录六

### 辛醇/空气分配系数和生物蓄积性

#### 1. 引言

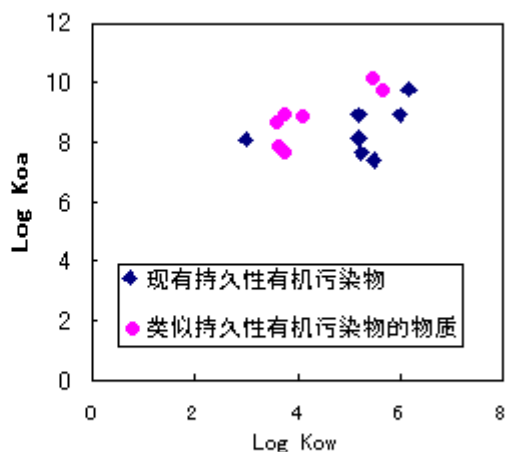
由于类似持久性有机污染物的物质往往会分离成脂肪，而不是水相，辛醇—水分配系数( $K_{ow}$ )一直用来表明生物蓄积潜力。辛醇—水分配系数低的化学品被认为在水生生物中具有很低的生物蓄积潜力，因为这些化学品很容易排除到水中。然而据报告，对于呼吸空气而不是水的陆生生物而言，辛醇/空气分配系数高的化学品尽管其辛醇—水分配系数值较低，但其生物蓄积潜力很高，因为这些化学品不容易排除到空气中。

#### 2. 辛醇/空气分配系数( $K_{oa}$ )和生物蓄积性

Kelly et al. (2007)认为， $K_{ow}$ 值较低的物质，例如在水生食物网中不具有生物放大作用的六氯环乙烷( $K_{ow}=10^{3.8}$ )、四氯苯( $K_{ow}=10^{4.1}$ )和硫丹( $K_{ow}=10^{3.8}$ )，在陆地食物网或在海洋动物食物网呼吸空气的生物中显示出很高的生物放大性。另据报告，全氟辛烷磺酸显示出类似的结果( $K_{ow}<10^5$ )。这可能是由于 $K_{oa}$ 很高( $>10^6$ )，造成呼吸道消除过程缓慢，加上 $K_{ow}$ 不太低( $>10^2$ )，造成呼吸道空气生物的尿或含碳废物的消除过程缓慢。

这些作者的分析表明，呼吸空气的动物的生物放大系数高于在水中呼吸的动物的生物放大系数，因为这些生物具有吸收和消化其饮食的更大的能力，这与消化道生理和体温之间的差别有关。

	log $K_{ow}$	log $K_{oa}$
艾氏剂	3.01	8.08
狄氏剂	5.2	8.9
异狄氏剂	5.2	8.13
顺式氯丹	6	8.92
<i>p, p'</i> -滴滴涕	6.19	9.82
六氯苯	5.5	7.38
七氯	5.27	7.64
林丹	3.7	7.85
甲型六氯环乙烷	3.81	7.61
乙型六氯环乙烷	3.8	8.88
丙型六氯环乙烷	4.14	8.84
硫丹	3.62	8.64
<i>p, p'</i> -DDE	5.7	9.68
<i>p, p'</i> -DDD	5.5	10.1



现有持久性有机污染物和类似持久性有机污染物的物质的 Log  $K_{ow}$  和 Log  $K_{oa}$

### 3. 测量Koa

Shoeib et al. (2002)测量了19种有机氯农药的Koa。

通过在一个高度大约为20公分的圆柱内喷洒，使氮气(流通速度：200—300毫升/分钟)与辛醇饱和起来，然后使氮气通过冷却管进入辛醇阀，确保过量的辛醇在进入发电机圆柱之前凝结起来。

冷却管、辛醇阀和发电机圆柱都浸在由温度器控制的( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ )的恒温槽里，其中的温度始终比用来与气流饱和的辛醇至少低 $10^\circ\text{C}$ 。

发电机圆柱由一些玻璃球组成，这些玻璃球表面镀有300微升的样品混合辛醇溶液。在一个吸收阀里收集到排出发电机圆柱的气流中的平衡气相化学品，该吸收阀中含有大于20克C18-键合硅胶。

在吸收阀的出口测量流通率，以确定全部样品的数量。

从阀门中抽出15毫升50:50已烷：二氯甲烷(v/v)，然后降至到大约500微升，有细微淡气流喷出。然后利用气相色谱仪分析浓缩的抽出物。

### 4. 关于Koa的其他资料

Kelly et al. (2007)报告说，六氯环乙烷的Koa在各种异构体中间的差别很大。相对甲型六氯环乙烷(指定值为1)的Koa值为19、而乙型、丙型和丁型六氯环乙烷异构体的值分别为1.7和22。另外还发现Koa和绝对温度倒数之间的一种对数关系。

#### 参考文件:

Kelly et al. (2007)，持久性有机污染物的具体食物网生物放大性。 *Science*, 317, 236-239。  
Shoeib et al. (2002)。利用检测到的辛醇—空气分配系数来解释有机氯农药的环境分割现象。  
*环境毒理学和化学*, Vol. 21, No. 5, 984-990。