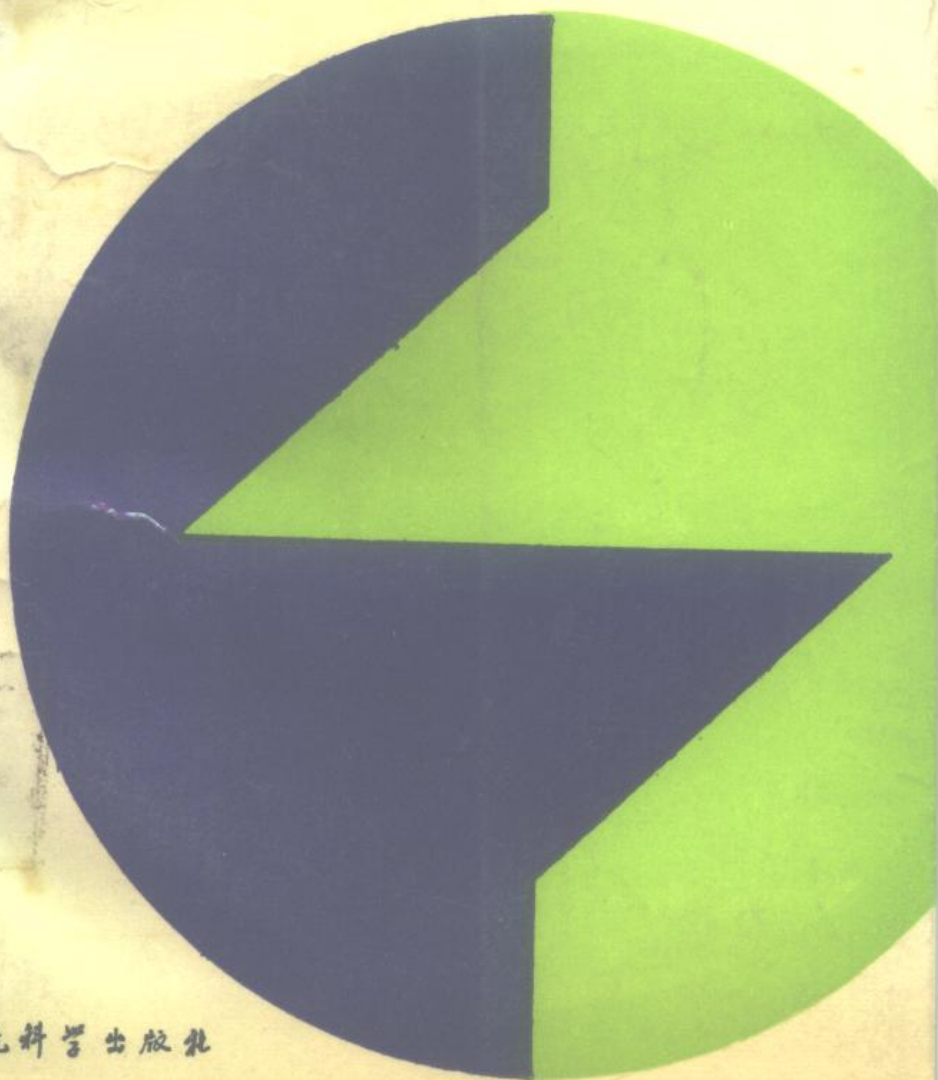


水污染的生物监测

〔美〕J. 凯恩斯等 著



中国环境科学出版社

水污染的生物监测

〔美〕J.凯恩斯等 著

曹凤中 于亚平 译

沈韫芬 审校

中国环境科学出版社

1989

内 容 简 介

本书是目前对生物监测研究的比较系统、全面的一本著作。作者总结了40年来前人研究成果并提出了一些新的理论和方法。其内容包括早期报警系统；接受系统的功能方法、相关性和指数；以群落结构为基础的接受系统方法学；毒性试验；偏爱和回避等五个方面，并对今后的生物监测工作提出了具有战略意义的设想。

本书可供环境保护科研、监测和管理人员以及大专院校有关专业师生阅读。

JOHN CAIRNS, Jr. AND COLLABORATORS
BIOLOGICAL MONITORING IN WATER
POLLUTION
PERGAMON PRESS

1982

水污染的生物监测

【美】J. Cairns 著

曹凤中 译

游福芬 校

游福芬 校

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

北京昌平兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1989年2月第 一 版 开本 787×1092 1/32

1989年2月第一次印刷 印张 8 9/16

印数：1—5000 字数199千字

ISBN 7-80010-219-X/X·157

定价：2.80元

中文版序

本书最初是发表在《水研究》杂志上的六篇系列论文，它回顾和展望了整个监测领域。监测的目的是要确保事先建立的质量控制条件能付诸实施。这一目的是始终不渝的。如果我们想维持一定质量的环境，首先必须限定环境质量的特征，而且要以明确的和专门的术语来表示。对水来说，就必须包含某些化学特征，例如要求一定限量的溶解氧等；物理特征可以包括悬浮颗粒负荷量，要求除了在短暂的瞬间外均不能超过指定的限度。至于对生物来说，人们可以选择大量的特征，例如可以选择有价值的商品种、娱乐种或观赏种等的繁殖、增长率和行为，甚至还可以选择群落或生态系统的特征，例如能量转移和营养循环。恰当特征的选择要求有深思熟虑的专业上的判断，因为生态系统在地球上的不同地区是不尽相同的，区域辽阔、生态学上多样性大的国家，如中华人民共和国和美国之间的生态系统差别就更大了。然而生态系统也有许多相似性，这种相似性取决于能量、营养物及其有效的利用。

数年之前，人们尚在考虑与其检验整个生态系统还不如检验生态系统中的独立成分，例如个别的种类更好。现在人们已经明白，在应用流域或其它较小的系统级观点来判断能否获得环境安逸感之前，我们必须进一步扩大自己的视野。这并非说明发生在单一生态系统中的问题，例如长江流域中的问题是很容易解决的，这种想法离开真理实在太远了。如果对长江这样巨大而重要的生态系统（例如支流、周围的大

量土地、鱼……等)中只选择几个专性的组份,我们将无法洞悉长江,因为完整的、可显示的特征光靠几个组份的检查分析是无法明显表达出来的。长江河流系统的工作必须要包含全球性的内容才能完成。这是因为有许多全球性的变化会对地区生态系统产生重大的效应。它的范畴包括全球性的气候变化,形成酸雨物质的长距离输送,臭氧层的交换,大气中二氧化碳的变化以及其它重大事件引起的变化。

在中华人民共和国,生物监测将要求在不同专业领域内的生物学家中间建立一个有成效的工作关系。气象学家也需要对周期性的现象进行评价和预报。制定城市和区域规划者也要预报人口分布、工业布局以及其它有关方面的变化。化学家需要测定环境质量的变化并对长期趋势作出预报。工程师的重要性是设计废物处理系统,以便排出特定质量的水来维持生态学上的统一性。许多其它专业也具有重要的意义。这些专业在过去很长的时期内彼此是孤立的,但现在要重新学会一起配合工作。没有一个专业能单独解决中国的或是世界的问题!未来的关键是把科学和工程技术有效地融为一体。我多么羡慕今天的学生能生活在这个迎接挑战的和激动人心的时代啊!

有许多问题必须回答:①人们应采用哪种监测类型;②确定哪些地点进行连续监测、周期监测和临时监测;③确定恰当的测试终点、参数或其它一些对保持环境优佳状态有意义的因子;④建立一个专业性的协调委员会来统一适宜的方法,以便一旦选定了试验终点,就能进行各种测量(即发展标准化方法);⑤建立监测优先权。不仅是因为我们不可能去测量每个我们已知如何测量的内容;而且因为有些信息要比其它信息更有利于人们作出精确的判断。建立监测的优先权就将要求在科学家和工程师中进行一次不寻常的、超

脱的评比，特别是对其偏爱的方法将被排除，或者是其方法不象支持者所希望的那样占很大分量的那些人。测试终点的选择是决定全球性的或区域性的环境健康。没有一个方法在每种情况下都是万能的，然而方法的创造者和使用者往往在感情上难以割舍。没有一个方法能够最适于选择的 各种 数据。

第一个问题是选择的监测类型要求能从一系列限定大小的监测定位点上反映出种群、群落或生态系统的质量变化，同时人们也必须设法监测不同生态系统中发生的显著性变化。例如某些地区发生荒漠现象，以致单一类型的生态系统取代了许多不同类型的生态系统。十分重要的是要了解它以何种速度在发生变化，哪些类型的生态系统正在消失，以采取管理技术设法避免在相互之间关系上和各种类型生态系统分布的不平衡。第二个问题是选择连续监测、周期监测和临时监测的地点。要求在深入研究和监测的测定中建立选择地点的基准。这一范畴包括重要的统计学的成分，例如人们要赖以作出管理判断的置信度，所研究的生态系统类型本身所固有的变异性程度的测定等。显然，本序因篇幅所限只能够在这些范畴中举极少几个例子。更详细的评价要依靠中华人民共和国和其它各地的专业人员来提供。第三个问题是监测的测定或采样的参数，它将包括生物学的、化学的和物理学的特征，例如可供选择各种特征或各种测试终点之用的基本原理。第四个问题是能够从所选择的各种测试终点中进行明确的推理，人们不仅知道如何测定，还能在判定过程中知道哪些是应该测定的。这一点特别重要。经常会出现这种情况，选择测试终点的承担者认为这种推理是不言而喻的，要说明它也只是一些陈词滥调而已。这种想法离开真理实在太远了！能广泛地使人明白的推理过程实在是非常重要的，尤其

是对那些已长时期落后于时代的人，要决定群落级和生态系统级的监测方法更为困难，因为直到现在还提不出充分的各种标准方法。因此发展种级以上的生物组织水平的标准方法也是十分重要的。第五个问题要建立可用于判断分析或类似目的的监测优先权，因为判断分析早已为商业或其它裁决部门所普遍采用。在为判断过程的服务中，生物学家和生态学家必须习惯于应用其它学科的方法学。

我有幸和来自中华人民共和国的两位科学家一起工作过。一位是武汉市珞珈山中国科学院水生生物研究所的沈韞芬，另一位是江苏省南京市南京大学环境科学系的金洪钧。此外，我也十分高兴地和中华人民共和国各地的许多专家建立通讯联系。我以极大的兴趣关注着这个国家的事情，尤其是沈韞芬用人工基质方法*进行了富有生气的研究工作。令人鼓舞的是她在中华人民共和国所获得的结果是如此地符合于她在访问我的单位时所得的结果。这表明利用世界性分布的生物，例如原生动物，会提供不同国家间具有可比度的结果，这在较高等的生物，例如鱼和大型无脊椎动物中是难以获得的，因为它们在分布上有较大的限制性。这并非意味着可以忽视后两个生物类群，而只是说用世界性分布的类群能在两个国家中收集基本上是相似的同一性质的数据。我由衷地期望中华人民共和国的生物监测能力能获得飞速的发展！中国近年来的变化已显示出它的灵活性和革新性，我深信许多新的、创造性的思想将会在中国诞生。我盼望美国、中华人民共和国和其它对生物多样性的全球性保护有兴趣的科学家进行国际间的合作。我们大家都生活在一个小而可爱的地球上，如果我们的监测努力失败的话，那么在我们这个时

* 指微型生物群落在生物监测中的应用，简称PFU法——译者注。

代已枯竭的种类资源将会延续好几代。我们要保护我们大家所赖以生存的天然系统，生物监测是这一保护的关键。我衷心祝愿你们的努力会获得最大的成就。

美国弗吉尼亚工程学院和州立大学
环境和危害物研究中心所长、优秀教授

凯恩斯

A handwritten signature in cursive script that reads "John Cairns".

John Cairns, Jr.

译 序

近十余年来，我国已开始重视生物监测工作。1975年中国科学院委托水生生物研究所主持召开了有17个省、市、自治区所属的科研单位、工厂、大专院校参加的全国第一次有关生物监测的学术会议，即“环境保护生物监测与治理科研座谈会”。从此，生物监测的研究工作引起了各界人士的关注。1979年成立了中国环境科学学会，同年成立了隶属于该学会的环境生物专业委员会。嗣后成立了中国环境科学研究院和中国环境监测总站（下设各省、市、自治区的监测机构）。北京大学、清华大学、南京大学、武汉大学、南开大学、山西大学、同济大学、复旦大学、中山大学、北京工业大学等也相继设立了有关环境保护的系所和专业。目前我国已有一支庞大的环境保护队伍。在这支队伍中，生物监测的工作还显得较为薄弱。如果人们能清楚地意识到环境保护的目的是要保护包括人类在内的生物，那么生物监测的重要性也就不言而喻了。

《水污染的生物监测》一书是由凯恩斯（Cairns）教授主编的。凯恩斯教授是国际著名的生态学家和环境生物学家，现任美国弗吉尼亚工程学院和州立大学的环境和危害物研究中心所长。获该大学的优秀教授称号。他主要的研究领域有原生动动物群落的动态；毒性试验和热效应；快速生物信息系统（包括硅藻鉴定自动化，鱼类呼吸信号的早期警报系统，鱼类行为反应的计算机化）；受害生态系统的恢复和重建；公害评价等六个方面。由于他的卓越贡献，曾获得“美国总统赞扬”，“美国材料试验学会Dudly优秀出版物奖”，

“美国环境保护局卓越成就奖”，“环境毒理和化学学会奠基人奖”，美国农业研究服务部颁发的“Morrison奖”，以及美国水资源协会颁发的“Icko Ibén奖”等。1985年被聘为人类环境Rene Dubos基金会理事。他的名字已记载于美国和国际《名人录》、《科学家字典》等33种名人刊物中。他在大学讲授的课程有十几门。此外，还担当了58个国家机构、州立机构、学术团体、企业单位、军事部门的顾问。他所主持的环境研究中心的全部经费来自基金和合同项目，总数已超过1000万美元，最高年份1978年达178万美元。这些经费全都用来开辟新的科学领域。

本书是凯恩斯教授对国际上近40年来开展的生物监测早期警报系统；接受系统的功能方法、相关性和指数；以群落结构为基础的接受系统方法学；毒性试验；偏爱和回避行为等五个方面论文的综述和评论，并对今后的生物监测工作提出了有战略意义的设想，这些经验和观点是值得我们借鉴的。

本书的前言、第一章、第二章、第三章、第六章由于亚平同志翻译，第四章、第五章由曹凤中同志翻译，全书由沈韞芬研究员审订。

凯恩斯教授是一位开拓型的人物，他在环境保护方面的贡献是多方面的，如果能阅读他的一些主要著作，将会发现他的学术思想新颖并富于独创精神。相信本书的翻译出版，对我国的生物监测工作，一定会起到一些有益的作用。衷心希望中国环境科学出版社今后能继续翻译出版他的其他著作，供我国环境科学工作者学习和参考之用。

中国科学院水生生物研究所研究员

沈韞芬

1987年12月7日

目 录

前言.....	(1)
第一章 早期警报系统.....	(11)
一 绪论	(11)
二 讨论	(16)
三 概要	(35)
四 结束语	(43)
参考文献	(44)
第二章 接受系统的功能方法、相关性和指数.....	(50)
一 问题的鉴别	(50)
二 功能方法的评述	(56)
三 结构与功能的关系	(65)
四 群落和生态系统的指数	(66)
五 摘要	(68)
参考文献	(69)
第三章 以群落结构为基础的接受系统方法学.....	(72)
一 绪论	(72)
二 数据来源	(73)
三 群落结构分析方法	(78)
四 群落结构分析在生物监测程序中的应用	(81)
五 分析的方法学	(90)
六 摘要	(96)
参考文献	(97)
第四章 毒性试验.....	(100)
一 历史回顾	(100)
二 受试生物的选择	(102)
三 稀释水的选择	(105)

四	急性毒性试验	(106)
五	急性毒性试验数据	(111)
六	试验的标准化	(125)
七	亚致死慢性试验	(129)
八	生物累积试验	(132)
九	“安全”浓度的导出	(134)
十	毒性试验数据在环境管理中的应用	(140)
十一	结论	(146)
	参考文献	(147)
第五章 偏爱和回避的研究		(152)
一	绪论	(152)
二	方法学的回顾	(158)
三	结果的评述	(175)
四	小结	(225)
	参考文献	(227)
第六章 未来的需要		(235)
一	绪言	(235)
二	单种检验法	(236)
三	关于环境现实性情况	(240)
四	微宇宙和中宇宙	(241)
五	在自然生态系统中的野外检验	(244)
六	建立生态资源区	(245)
七	数学模型	(246)
八	对于废弃物排放以及向环境中引入其它化学品的监测	(247)
九	受害生态系统的恢复	(248)
十	发展预报能力	(250)
十一	流域的管理	(251)
十二	同化容量的测定	(253)
十三	多级与同时试验方法	(256)
十四	结束语	(257)
	参考文献	(261)

前 言

生物监测这一领域之所以存在，是因为人类尚未设计出能够测量毒性的武器，只有有生命的物质能被有效地用于这一目的。但是，在没有化学-物理数据伴随的情况下，生物反应不能为我们提供多少信息。因此，生物监测应与化学-物理监测一起进行。虽然化学-物理试验在本书中不作为重点，但所有讨论到的生物试验均有适宜的化学-物理试验相伴，这是一个绝对必要的条件。

多年来，对毒性的评价都是在化学分析的基础上进行的。逐渐积累起来的足够的证据表明，这一方法不能令人满意。不幸的是，生物学家没有给这个问题以应有的重视，当人们认识到这些试验是需要的时候，却拿不出几个试验来。然而，在人们重视起毒性试验方法后，很快积累起来的附加证据显示了确定毒性时单独使用化学检测手段的不足：(a) 生物效应发生于分析能力所及的浓度之下；(b) 有毒物质和别的压迫来源以混合的面貌出现时与以单项出现时表现差异极大；(c) 环境质量极大地中和了毒性反应。

生物监测这一领域为两个需要所困扰，这两个需要在实际中经常是互不相容的。第一个需要是重现性，以便别人能重复这些实验并验证其效果，同时，亦可收集由相同性质的试验得出的足够证据以进行惯例的统计分析。第二个需要是要求试验结果能够在“真实世界”中应用，而这个“真实世界”是个变化万千的复杂系统，它足以使任何想要重复试验的研究者束手无策。就象大家可以料到的那样，重现性的需要

成功了,即在高度人工的、不变的条件下进行单种毒性试验,这成了生物监测的主要手段。直到最近,试验通常是短期的,并以生物被毒死而告结束。在过去几年中,人们越来越注意延长对毒物的暴露期,并且超过生活史的一个阶段。即使是单种试验的最强烈的支持者也承认这些试验并不确切地反映自然界的多变性及复杂性。重要的问题是如何利用这些试验去预报自然界中的事件,特别是污染效应。

虽然单种毒性试验是在实验室中进行的,人们得出试验结果却是希望用来保护自然界中的生物。人们已经假定了单种试验将给人们提供一种手段来预报对自然界中生物群的损害。奇怪的是,人们并未对这一假定的正确性用科学的无可非议的方法广泛地检验过。毫无疑问,有效地利用单种试验减少了鱼的死亡以及其它灾难性的事件。但是,使人感到遗憾的是,我们尚无实质性的、充分的、能够确定证实在单种试验基础上得出的对生态系统保护的预报的可靠性的证据。虽然人们近年来已经注意到了这一不足并不断地对其给予关注(例如Cairns等,1981),但是人们可以用单种试验的结果来预报更高生物组织水平的有效性的证据量尚不确定。既然生态学家的目的是在对环境的损害发生前阻止它,那么我们就有充分的理由来发展一种预报能力,这一能力将使我们在物质进入环境之前更好地估价损害的可能性。对这些预报准确性的确定也是很重要的,它用来作为修正预报方法的误差的控制。单点排放中的共同要求如图0-1所示。本书中将讨论实现这两种活力的生物学方法。

本书中不同章节的篇幅与详尽程度出入很大,第一章早期报警系统和第五章偏爱与回避的研究,很长,因为写作时还没见到有对这两类文献的综合考查。虽然这两个领域都还处在发展初期,但近年来对早期报警系统和偏爱与回避研究的

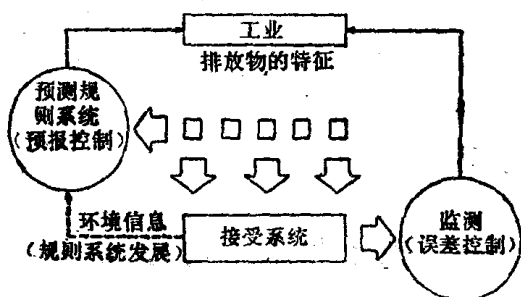


图0-1 环境控制过程中的信息流 (Herricks和Cairns, 1978)

应用增长很快，而且将来还可能进一步增长。由于水污染评价领域里的大多数人对这一文献可能不象他们希望的那样熟悉，我们有意尽量多充实这些方面的文章。而第三章群落结构评价和第四章毒性实验，所谈到的领域的情况就大不相同了，因为关于这两个领域的文献很多，也有许多一般性的评论文章。在这些章节中，我们所使用的方法是给那些不很熟悉这些领域的读者列出一些能提供很好背景信息的早期文献。但是，我们更多地关注的重点是近期重要的发展方向和进展。这两个领域现在都是如此广大，以至于一本大型书也无法包括全部的重要细节及部分。因此，第三四章中讲方法等等的详尽程度与第一五章讲初期发展领域的详尽程度形成了鲜明对照。有关功能评价的第二章是本书最准的部分，这一领域比书中提到的任何领域都处于更初期的发展阶段，至少就生物监测而言是这样。虽然存在不少可供选择的方法来为生物监测确定群落功能，但没有一种方法经过充分试验，它们的效用还不能肯定。从功能方面进行评价的需要是毫无疑问的，但是，这一章主要是要证明这一需要应该得到满足，而不是讲对这一领域我们已有足够的信息基础。对功能评价的定义及水生群落的结构与功能特征之间的关系，目前看来还没有一致的意见。尽管有这些保留与怀疑，这一章中

关于这一主题的内容旨在引起人们重视从方法学上进行更广泛的发展。第六章未来的需要，反映了我在对需要解决的问题的类型上的偏爱。这一章如果能引起别人提出可供选择的行动方案，就算达到目的了。

一 基于技术上的标准

在生物学监测广泛地应用于美国及全世界之前，必须重新强调相对于排放标准的接受系统标准。本世纪70年代美国联邦立法机关强调要加强从工业废水和城市生活污水中去除耗氧物质及含毒有机化学物质的工作。1972年联邦水污染控制法案修正案的目的在于“恢复并保持国家水源在化学、物理及生物方面的完善性”。这一法案要求，排放物以使用目前可行的最实用控制技术（BPT）和经济上允许的最适技术（BAT）的手段来达到排放物限制标准。排入公共处理厂（POTW）的工业废物的预处理标准也要建立起来。这一立法也把颁布限制排放毒性化学物质规定的责任加在美国环境保护局（USEPA）的头上。美国环境保护局没有在限期内完成所有任务，因此，好几个环境团体到法院告了它的状。这一法律案件的解决协议，要求美国环境保护局发展一个项目来颁布最适技术（BAT）排放物限制标准、预处理标准，以及65种和类化学物质的新源特性标准。这65类又细分成129种特定的物质，现在称它们为“优先”污染物（后来，有3种化学物质从这个单子上抹掉了）。

作为上述的结果，工业废水污染物被分成三大类别：①常规的；②毒性的（包括优先污染物）；③非常规的（那些没有被列成毒性和常规的污染物）。毒性及非常规污染物必须用最适技术（BAT）标准，常规污染物必须用最实用控制

技术 (BPT) 标准。前面的论述是想说明, 废水排放的限制、指标及标准主要是基于技术, 而不是基于接受系统的条件。值得强调的是基于技术的执行标准倾向于不重视接受系统条件, 甚至人的健康。这种标准不把注意力集中于, 也不想保持特定的环境质量。要达到这一质量就必须依靠别的规则, 这些规则必须基于被暴露于污染中的生物体或其代用品的反应。进一步讲, 因为随着从单种向更高水平的生物组织 (例如, 群落或生态系统) 的过渡, 那些在低级水平组织中检验时不明显的新的性质变得明显了, 所以要保持质量必须依赖于对所有生物组织级别的反应的估价。不幸的是, 1972 年联邦水污染控制法案的修正案把水质标准归到了二等作用, 而把主要重点放在限制排放物的技术上。除非接受系统的危机得到比现在更多的关注, 生物监测才能得到应有的重视。

基于技术的标准有两个致命的弱点: ①所用的技术将足以保护人类健康和环境, 这一假定从科学上讲是无理的; ②一个统一的全国标准忘记了早已确立的事实: 许多污染物的毒性是地方水质特性的一个函数。后一观点是为美国政府出版物所认可的 (例如, 联邦注册, 1980, 公共工厂及交通委员会下属监察及评论委员会的报告, 1980)。

二 有效性能

本书包括许多各式的野外及实验室方法。所提到的65个作为标准的文件中的大多数 (联邦注册, 1978a, b; 1979a, b; 1980) 都是基于单种实验室试验, 没有任何实质性效力能在“现实世界”中或者在人为设计的模拟自然界许多重要特性的复合微宇宙中得到证实。在没有弄清被保护的自然资源的质