

# 英国水生态与水管理

J. W. Eaton

(英国利物浦大学 进化与环境生物学系)

## 摘 要

1. 在英国,人类活动对河流生态的影响始于森林砍伐,并随水电、航运的兴起而发展。工业化及人口的增长,导致河流下游的严重污染。上游修坝蓄水,低地排水以及防洪工程大大减少了湿地生态,使自然环境发生了根本的变化。
2. 自本世纪50年代以来,生活及工业对水的污染已逐步减少,但富营养化及酸化的趋势仍在发展。水上娱乐活动的需求促进了水环境的改善,但娱乐活动自身又污染并损害水体生态系统。
3. 近年来,由于投资的削减,水污染治理,水环境改善的进程缓慢。而农业有机污染仍在增加。农业及工业对地下水的污染已受到重视,并在作进一步的调查。
4. 从全国范围来看,水资源总量超过目前水的需求量,但由于地域分布的不均匀,有的地区水供应仍难以保障。资源的开发,大面积地破坏了自然环境,造成了水体野生生物保护的许多问题。
5. 生态学研究,可以为水体管理(自然生态的恢复与保护,水上娱乐设施的建设与管理,富营养化水体的治理等)作出贡献。

关键词:水污染,水生生态,水管理。

从全国范围来看,英国水资源充沛。英格兰(England)及威尔士(Wales)年均降雨量约900毫米,年蒸发量440毫米,剩余降雨量460毫米。若以15,100平方公里的陆地面积计算,相当于年均水资源总量达695亿立方米。但降雨地域分布不均,各地雨量差异很大,在西部山区年降雨量大于2,000毫米,而在最干燥的东南地区不到100毫米。

## 一、历史的变迁

### 1. 工业革命前

在工业化以前水资源一般能满足居民生产、生活的需要。人的活动对河流的影响很可能始于森林的砍伐<sup>[1]</sup>。森林的砍伐移去了河流两岸的植被,因而有利于水生植物的生长<sup>[2]</sup>。这种变化改变了集水区的径流特征,而使河流的流态及水质等许多重要的生态学特征发生变化<sup>[3]</sup>。早在12—14世纪这个时期,大量的修筑坝、堰、水渠、船闸等以改变和调节自然水流,发展水力磨坊及航运。显著地改变河流的流态与河床沉积,使河流下游的自然环境发生了巨大的变化。到了17世纪,许多水堰都筑起了闸门和一些更大的水利工程<sup>[4]</sup>。之后,湿洼地的排水,草地的灌溉以及夏季牧场供水和河泥的简易灌溉系统的修建,使自然环境发生了进一步的变化。这些在工业革命之前对生态环境变化所起的作用经常被忽略。但Haslam指出过,这些变化可能引起生态环境和植物的重大及持续的变化<sup>[5]</sup>。

### 2. 工业化的影响

18世纪后期,在中部及北部地区,工业开始发展。到19世纪中期,随着铁路和公路运输

注 本文由欧阳志云译,王菊思校。

的发展,内河航运开始衰落。一些连锁坝群、船闸、水渠逐渐废弃。但这个时期仍保留许多水利工程,并在湿地开发、排涝与防洪方面又有了新的发展<sup>[5]</sup>。

19世纪,工业化的发展对水质的影响只是局部的。在不发达地区的河流基本上仍保持未受污染的自然状况。随着排入河流及水渠的工业污染物不断增加,有的地区出现了严重的水污染。尤其在冶金、皮革、煤炭气化等工业地区的河流,污染更为严重。

工业区人口的持续增长,生活和食品的废弃物增多,使河流的有机污染也相应不断加重。无限制的污水排放导致了严重的公共健康问题。特别是霍乱、伤寒曾经在人口拥挤,卫生状况差的城市和地区暴发流行<sup>[6]</sup>。

随着清洁自来水的供给与普及,公共健康问题得以改善。由于工业区地表水受到普遍且严重的污染,为保障清洁水的供应,通常不得不在工业区上游取水,用管道送到工业区及城镇,以及开采深层地下水。当这些水源仍不能满足日益增长的需求时,市政部门则投资兴建大型水利工程,拦蓄偏远山区水源,远距离调水到人口稠密的地区。如利物浦(Liverpool Corporation),早在1850年,就开始筑坝拦蓄Pennine(Hills)山区的水源,通过40公里的渠道把水引到市区。接着,伯明翰(Birmingham)及曼彻斯特(Manchester)分别在120公里外的威尔士(Wales)和坎伯兰(Cumbria)修建水库蓄水以供城市用水。这些工程使降水丰富、岩层坚硬,土壤贫脊,农业不发达以及人口稀少的山区水资源得到开发。并为城市提供丰富、清洁的水源。大型水利工程与各行业小城镇兴建的地方水利工程相结合,是19世纪直至今日城市生活及工业用水的主要来源。

由于人们只注意保证清洁廉价的供水,而很少关心下游河流的污染状况。河流下游几乎被当做了排污渠道。上游的截流,加重了河流下游的污染程度。下游清洁水量的减少难以将污水稀释到天然水的水质。尤其在夏季,气候干燥,气温升高,流量下降,受污染的河流缺氧非常普遍,且常含大量的有毒物质,可致鱼于死地,并散发难闻的气味。直到近几年人们才开始认识到,河流的蓄水也影响坝上游未受污染的河道的生态环境,如改变水化学特征,水温,输沙能力及河床沉积等<sup>[7]</sup>。

### 3. 20世纪上半叶的状况

本世纪50年代前,几乎所有城市地区的河流、水渠都受到严重污染,许多河流中鱼已绝迹。蒸汽机及热加工工业废水的排放,使河水温度升高。在水质较好的河段,甚至出现了热带或亚热带生物<sup>[8]</sup>。

为了减少污水对公众健康的危害,解决河流气味问题,城市开始对生活污水进行处理。先后发展应用了固体污染物分离,渗透过滤,以及活性污泥等污水处理技术。但由于工业污水的排放毫不限制,人口的迅速增长及人均用水量的增加,抵销了污水处理所作的努力。河流水质几乎没有得到任何改善<sup>[10]</sup>。

这个时期,形成了由当地政府部门、私人公司以及工业部门相互补充的供水系统。而生活污水的排放和处理仅由政府部门负责,且通常采用当地居民能接受的最经济的处理方法,而很少考虑对下游的影响。负责排涝、防洪以及渔业管理的河流委员会(River Boards),却几乎无权对河流污染进行限制。

### 4. 50年代以后的变化

(1) 河流污染的治理 50年代以来,在多种因素的推动下,生活污水及工业污水的治

理已取得相当大的进展, 河流的某些生态学特征得以明显的改善。如技术进步促成了煤炭气化等, 使污染最严重的工业关闭, 从而搬掉了那些难于治理的污染源; 制造加工行业原料的涨价, 推动了电镀、皮毛加工等部门废料的回收和循环利用; 污水治理技术的改进, 降低了单位废水的处理成本; 以及能源价格的上涨, 刺激了工厂提高热利用效率, 从而减少了热污染的排放。

(2) 资源开发 人口的持续增长, 以及人均消费的增加。需开发新的可靠水源, 其中有些是通过调整河道将水从远距离送至需水的地方。如最早建成的 River Dee 工程 (1950年—1979年), 就是将威尔士 (Wales) 北部山区天然的以及人工的蓄水库的水有规律地送至下游, 以满足用水的需求<sup>[11]</sup>。水电工程从单一的蓄水功能转变为多功能工程, 并开始注意到水利工程对生态环境的影响和破坏作用。在下游开展游船等娱乐活动是一复杂的影响因素。因为稳定的水流降低了河流生境的多样性, 使河床边缘植物种群变化减少。长期下去, 有些物种将要逐步减少以至绝灭, 甚至导致植被退化或消失<sup>[12]</sup>。

Kielder水利工程<sup>[13]</sup>通过1.88亿方库容的水库与人工隧道把三条河流联系起来, 统一调度, 以满足整个地区工业和生活用水的需要 (图1)。

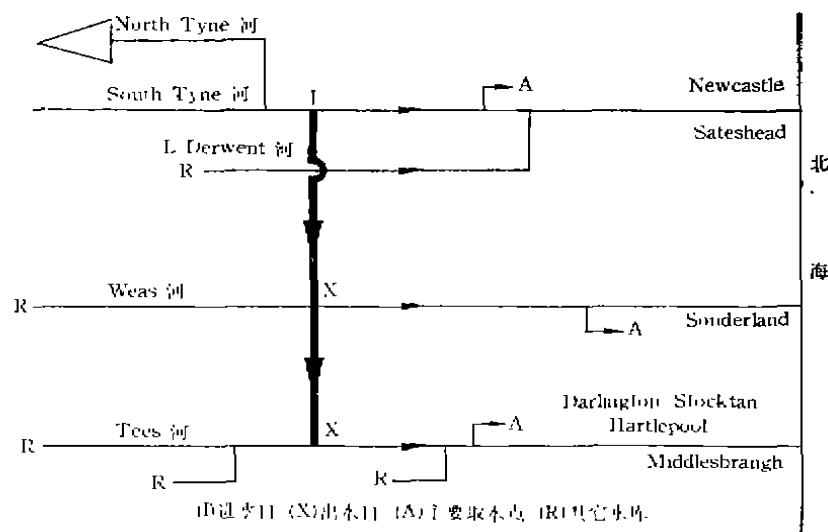


Fig. 1 Diagram of the Kielder Water scheme,  
(A)major abstraction, (D)intake, (R)other reservoirs, (X)outlet, (—)aqueduct

为了自然保护与景观, 以及娱乐的需要, 在库区修建辅助坝, 以维持水库上游的水位。水在入隧道前曝气以补偿水中溶解氧的损失。由于三条河流的水化学特性相近, 预期不会因为水的调运造成显著的生态影响。目前这个地区的工业还没有按预期的速度发展。因此, 整个调水设施还很少使用。当全部工程满负荷运行时, 是否将象 River Dee 工程那样, 因自然生境的改变, 而发生缓慢、长期的生态变化, 还有待于进一步观察。

因在工程上可行, 地理合适, 而仍未开发的地区很少, 加上对环境的考虑与重视, 上游开发的阻力越来越大。Cole曾指出<sup>[14]</sup>, 水利工程可行性研究中, 对环境的影响已得到越来越

越多地考虑和重视。在已建成的平原河流蓄水工程中,不仅淹没了大量的农田,而且水富营养化,藻类繁生,处理费用昂贵。这些问题的产生,迫使人们投资对河流进行治理,以改善水质。如在最干旱的英格兰东南部River Thames和River Lee,经过治理,水质得以大幅度改善,现在已成为该地区的生活水源。

(3) 改革管理并发挥其作用 为了适应新的发展,英格兰及威尔士的水管部门逐步改革合并。1973年达到高峰,1,479个独立单位合并成10个公立的区域性水管机构。从蓄水、取水、水处理、供水到污水排放、治理以及排涝、防洪、渔业等,对整个区域的水循环进行综合管理。虽仍有25%的人口用水由私人公司供给,但这些公司与政府区域性水管理机构密切合作。

区域性水管理的实现,使水资源开发的长期规划成为可能。自动化的大型污水处理厂代替老的小型处理厂,提高了污水处理水平,降低了处理成本。加强职员培训,提高职工素质,是提高水管理效率的重要因素。在供水方面,水资源委员会(Water Resource Board)对全国水资源进行综合评价(1973),为区域规划提供了基础。在苏格兰和北爱尔兰采取了分区管理的办法。

建立遥感遥测网,对全流域进行实时预测,有助于改善防洪能力,提高水资源利用率<sup>[16]</sup>。同时,运用各种措施开发水源。如在降雨不足的英格兰东南地区,从河流取水,泵入水库蓄存以供本区用水。在伦敦,建设地下水库,可在夏季从蓄水位取水,冬季回灌恢复水位。Hawnt等<sup>[16]</sup>还曾专文介绍在回灌地下前,怎样将泰晤士河水进行处理达到饮用标准,以防止对地下水的污染。此外,还规划了河口湾蓄水。但因拦河坝投资太大和潜在的环境问题而尚未实施。

全区域乃至全国性水统一管理趋势,推动了水管理程序的标准化。城市排水系统的设计就是一个例子<sup>[17]</sup>。水管理机构已建立了全国性的水质(物理、化学性质)监测网,并逐步完善和统一标准化分析程序<sup>[18-20]</sup>。生物监测,主要利用微生物、藻类以及无脊椎动物群落结构和指示物种等反映水质状况。并把它确定为河流生态是否得以改善的指标<sup>[21]</sup>。最近又把水生植物群落列入水质监测项目<sup>[22]</sup>。

(4) 社会与法律方面的影响 公众对清洁环境及野生生物保护的要求日益增长,改变了人们对河流污染的态度,从而迫使工业部门及地方政府部门增加污染治理的投资。立法也逐步作了修改,删去了与河流有关的含糊不清的旧条文,加强了河流管理部门对水污染限制的权力<sup>[24]</sup>。

随着闲暇时间的增加,人们对水上娱乐活动的要求也相应增长。各地的水管理机构负责其管理的河流、湖水和水库的垂钓、泛舟和划船设施。英国水管理局(British Water Board)还重整了全国的运河系统,以发展钓鱼、巡游及其他娱乐活动。只有少数几条运河还维持原来的货运航行。水体的这些新的功能促进了对水质的管理。

## 二、当今趋势

### 1. 水资源

70年代以来,人口增长减慢,而人均用水量仍在持续上升。自1965年人均年用水91立方米,到1985年达121立方米(包括与供水有关的工业用水)。99%以上的居民用上了自来水。

近年来,居民需水量的增加与私人工业取水量的减少,电力工业技术的发展,轻工业比例的上升,以及经济停滞等对水的需求量下降相抵。总的需水量有所下降。据1986年统计,当年总取水量为年水资源总量(695亿方)的14%,比70年代后期的20%有所下降(见表1)。

表 1 英格兰和威尔士年取水量(根据1987年水管理协会资料整理)

Table 1 Licensed water abstractions in England and Wales, calculated from Water Authorities Association (1987)

| 部 门        | 取水量(亿方/年)         |
|------------|-------------------|
| 公共供水       | 60.66(其中地下水19.22) |
| 工业(电力行业除外) | 15.02(其中地下水 3.75) |
| 发 电        | 15.75(估计值,不含水电)   |
| 农业(含养鱼)    | 4.89(估计值)         |
| 总取水量       | 96.22             |

## 2. 水质

(1) 污水的处理与排放 在英格兰和威尔士,83%住户的污水通过下水道直接进入污水处理厂,有13%排入海中,其余的4%生活在农村的人口,依靠家庭污水处理排放系统。全英每年产污泥896,000吨,其中50%运往农田,19%填土,25%倾卸入海洋,还有6%被焚化<sup>[26]</sup>。

随着各种污水治理措施的实施,在1960年—1980年的20年间,河流水质得到了逐步改善(见表2)。

表 2 英格兰及威尔士的水质

Table 2 Water quality in England and Wales

| 非潮汐河   |       |       |       |       | 淡水河    |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 水质 (%) |       |       |       |       | 水质 (%) |       |       |       |
| 分 级    | 1958  | 1970  | 1975  | 1980  | 分级     | 1980  | 1985  | 1990  |
| 未受污染   | 72.0  | 74.2  | 74.7  | 74.4  | 好 1A   | 34.1  | 32.5  | 67.8  |
| 可疑     | 15.0  | 16.3  | 17.4  | 18.3  | 较好 1B  | 35.0  | 33.8  | 67.8  |
| 差      | 6.5   | 4.1   | 4.6   | 5.2   | 中等 2   | 21.3  | 23.5  | 24.1  |
| 严重污染   | 6.5   | 4.4   | 3.3   | 2.1   | 差 3    | 8.0   | 8.6   | 7.0   |
|        |       |       |       |       | 很差 4   | 1.6   | 1.6   | 1.1   |
| 调查水道   |       |       |       |       |        |       |       |       |
| 长度(公里) | 34690 | 38400 | 38500 | 38740 |        | 40630 | 41300 | 41303 |

包括大工业区的河流在内,河流总污染长度减少了2/3,鱼绝迹了100多年后,又开始在这些河中出现了。

但这种趋势到1985年就停滞了,严重污染的水质(四级水质)没有进一步控制,水质差(三级水质)的河流长度却有所增加。水质又开始恶化的主要原因是污水治理投资的减少<sup>[10]</sup>。如在东西部地区,在人口增加的同时,排水系统及污水处理设施的投资并没有同步增长,在老工业区,陈旧设备不能及时更新。1986年—1987年间,抽样调查的533,000立方米的处理污水中有14%没有达到规定的排放标准<sup>[26]</sup>。同时,也有在大雨时,污水与雨水一起泄漏而直接排入河流的情况。

(2) 农业污染 一些水质良好(一级)的河流,由于农业的污染,水质也在恶化<sup>[26]</sup>。

近年来,青贮饲料的产量及牲畜存栏增加,农场有机废物也相应增长。据测定,牲畜粪便BOD为 $30\text{kg O}_2/\text{m}^3$ ,饲料废水BOD高达 $80\text{kg O}_2/\text{m}^3$ 。这些有机废水必须经过充分地发酵氧化处理才能外排。目前,农场有机废物有时在农场内进行,但通常是用罐车送到农田或送到污水处理场。农场污水的事故泄漏,施于农田的有机肥被雨水冲入河流,常给河流造成灾难性的影响。水中氧浓度迅速下降,鱼类死亡,严重损害河流生态系统的动物群落。近年来,水污染事故随着农场污水量的增加呈上升趋势(图2)。

(3) 富营养化 在5年一次的全国性水污染普查中,一直没有注意到水质某些具有生态学意义的变化趋势。水体中氮和磷浓度的升高虽有很长的历史,但在近40年来,随着处理污水的排放及化肥的广泛使用,其浓度呈加速上升的趋势<sup>[27]</sup>。养鱼是一个新的污染源<sup>[28]</sup>。富营养化使水体生态系统发生剧烈的变化。如其多种类维管束植物的群落,可能被单一的植物种群(如*Cladophora glomerata*)所替代<sup>[29]</sup>。而在静水中,可能引起藻类繁生现象,并使动物群落结构发生巨大的变化<sup>[30-32]</sup>。湖泊与水库的藻类繁生大大提高了自来水的处理成本。为了控制富营养化的发展,防止水生生态系统的不断退化,需要采取包括控制氮磷等营养物质进入水体,清除底泥,种植高等植物,以及控制鱼类种群大小等多种措施,综合治理<sup>[33-34]</sup>。

水体中的氮主要来自农业施肥。现在有些地区的地下水氮浓度不断上升,有的浓度甚至不宜饮用。尤其在中部和东英格兰地区,多年来大量施用氮肥<sup>[35]</sup>,地下水的氮浓度已超过EEC推荐标准的最高值。为了解决饮用水氮浓度过高的问题,首先应争取在氮肥施用水平低的保护区取水,以把含氮低的水与含氮高的水混合供应降低了水中氮的浓度。离子交换法目前还不能成功地用于水处理<sup>[36]</sup>。富氮地下水经过缓慢的运动,直接或间接地进入地表水循环,将使水富营养化问题更为严重,即使现在就开始全面地限制氮肥施用水平,也很难阻止富营养化趋势。

(4) 酸化 虽然古湖泊学证据表明硫的沉积在19世纪就开始增加<sup>[37]</sup>,但山地湖泊与河流酸化的生态学效应直到最近才引起人们的注意<sup>[38]</sup>。植被的破坏是湖泊酸化的主要原因<sup>[39]</sup>。Battarbee等在研究苏格兰的一些湖泊时,根据硅藻残留物和湖水沉积核的化学分析发现,自1970年以来,硫沉积开始下降,这表明湖水酸化开始发生逆转<sup>[40]</sup>。但是Ormerod<sup>[38]</sup>在假定针叶植物对土壤和排水(Drainage)长期残留效应的基础上,用计算机模拟,预测如果森林砍伐方式得不到改善,则威尔士两条河流中的鱼及水生无脊椎动物种群在短期内就无法改变其衰退的趋势。

(5) 地下水污染 由于工业和生活垃圾的填埋,以及农业施肥等,使地下水已受到污染。如污染不断扩散,将通过地表水与地下水的渗透交换,或地下水源开发,而直接或间接地成为河流水质污染的重要因素(见表1)。目前英国地理调查委员会正在调查地下水污染的范围和程度。

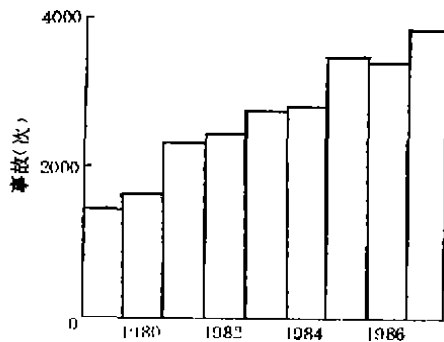


图2 1979—1987年年间英格兰、威尔士农场对河流污染的事故次数(取水管理协会1988年)

FIG.2 River pollution incidents from farms in England and Wales in 1979—1987, taken from Water Authorities Association(1988).

### (6) 自然生境的变化

**河道工程** 工业、城镇以及农业多集中河流两岸。为了控制水土流失,防止河流改道,提高排涝抗洪能力,水利工程规模不断扩大,并减少了河流及两岸生境的多样性,使水生及河堤生态系统不断简单化<sup>[41-43]</sup>。近年来人们已开始注意到河道、水利工程给河流景观价值及渔业所造成的损害和破坏,而要求水利工程注意保存和保护生境的多样性<sup>[44-46]</sup>。生态学家们则提出了野生生物保护问题<sup>[49-50]</sup>。

**土地排水** 为发展农业进行湿地排水已有较长的历史,并使湿地环境发生了根本的变化<sup>[51-53]</sup>。土地排水是造成水生植物群落损失最重要的因素,其中有的物种濒临灭绝,需采取紧急保护措施<sup>[54-55]</sup>。湿地排水使水质改变,但决定水生生态系统存亡的主要因素还是自然环境的特征以及管理措施<sup>[56-59]</sup>。

近年来,有的农产品生产过剩,价格下降,从而降低了排水费用的经济补偿能力。欧洲共同体对谷类产品的配额限制,促使政府减少排水预算,并建议把排水工程放在水工业部门而不是农业部门管理之下,客观上有助于水生生态系统的恢复和改善<sup>[60]</sup>。

**娱乐** 水上娱乐活动,如垂钓、游船、划艇、滑水等在许多地区为人们所喜好,有的甚至发展很快。这与野生生物保护相矛盾。由于水体边缘群落对扰动敏感,很容易受到损害,使水体生态系统发生根本的变化。为了协调水体多功能,就需要加强水体的生态管理<sup>[61-66]</sup>。

娱乐用动力船对水生生态系统有多方面的影响<sup>[67-69]</sup>。随着游船过往密度增加,水生直立植物减少,种类组成发生变化<sup>[70-71]</sup>。近年来,分析自然生境变化的技术,以及促进被损害的水生生态系统恢复的措施和方法有了一些新的进展<sup>[72-75]</sup>。

## 三、未来展望

如人口稳定在目前水平或略有下降,则可利用的水资源仅稍嫌不足。但水资源与人口分布的不一致性,仍将是保障供水的障碍。如人口继续向东南部迁移,矛盾将更为突出。此外人均水需求的增长也将成为一个较大的压力。

上述问题仍将继续存在。有的问题的解决需要投资与立法,而有的问题则需要生态学家参与。富营养化水体的管理,河道工程以及多功能水上娱乐设施的设计与维护则需要对物种的生境要求及其相互作用有更多的了解。工业与生活垃圾的填埋以及农业化学物引起的地下水污染,将会引起河流、湖泊一些新的微妙的污染形式。

英国政府正在英格兰和威尔士规划和重新组织水工业。供水与污水处理将交给私人公司管理。国家河流管理局(National River Authority),除仍保留水源保护与规划、污染监测、渔业、排涝、防洪及其一些河流的航运管理外,还对私人公司在供水与污水处理的实施情况进行监督调整。

## 参 考 文 献

- [1] Godwin, H., 1975, *The History of the British Flora*, 2nd edn, Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] Dawson, F.H. & Haslam, S.M., 1983, The management of river vegetation with particular reference to shading effects of marginal vegetation. *Landscape Planning*, 10, 147-189.

- [3] Blackie, J.R., Ford, E.D., Horne, J.E.M., Kinsman, D.J.J., Last, F.T. & Moorhouse, P., 1980, *Environmental Effects of Deforestation. An Annotated Bibliography*. Freshwater Biological Association Occasional Publication No. 10, F.B.A., Ambleside, U.K.
- [4] Skempton, A. W., 1984, Engineering on the English River Navigations to 1780. *Canals, A New-Look*. (Ed. by M. Baldwin & A. Burton), pp. 23—44. Phillimore, Chichester, U.K.
- [5] Haslam, S.M., 1987, *River Plants of western Europe*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [6] Briggs, A., 1987, *Victorian Cities* Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, U.K. 1986 ed., 1987 reprint.
- [7] Petts, G.E., 1984, *Impounded rivers. Perspectives for Ecological Management*. Wiley-Interscience. John Wiley & Sons, Chichester and New York.
- [8] Hynes, H.B.N., 1974, *The Biology of Polluted Waters*. Liverpool University Press, Liverpool.
- [9] Cook, C. D. K., Gut, B.J., Rix, E.M., Schneller, J. & Seitz, M., 1974, *Water Plants of the World*. Dr. W. Junk b.v., The Hague, Netherlands.
- [10] Buckley, F., 1968, Frustration and expectation. *Effluent and Water Treatment Journal*, 8, 351—355.
- [11] Collinge, V. K., 1967, Research in river management. *River Management* (Ed. by P.C.G. Isaac), MacLaren, London.
- [12] Eaton, J.W., Pearce, H.G., Hodgson, B.P. & O'Hara (in press). Changes in the community ecology of the River Dee in Cheshire. *The Man-made Nature of Cheshire*. (Ed. by H. Langford). Proceedings of a Conference of the Cheshire Conservation Trust, at Chester, February 1988. Cheshire Conservation Trust.
- [13] Coats, D.J. & Ruffle, N.J., 1982, The Kielder Water scheme. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 1*, 72, 135—147.
- [14] Cole, J.A., 1976, Assessment of surface water sources. *ICE Engineering Hydrology Today*, Conference of the Institution of Civil Engineers, 73—85. London.
- [15] Collinge, V.K. & Kirby, C. (Eds), 1987, *Weather, Radar and Flood Forecasting*. John Wiley & Sons, London and New York.
- [16] Hawart, R.J. E., Joseph, J.B. & Flavin, R.J., 1981, Experience with borehole recharge in the Lee Valley. *Journal of the Institute of Water Engineers and Scientists*, 35, 437—451.
- [17] National Water Council, 1981a, *Design and Analysis of Urban Storm Drainage, the Wallingford Procedure*. 5 volumes. National Water Council, London.
- [18] National Water Council, 1981b, *River quality—the 1980 survey and future outlook*. National Water Council, London.
- [19] Department of the Environment, 1986a, *River quality in England and Wales 1985*. H.M.S.O., London.
- [20] Standing Committee of Analysts (in Progress). *Methods for the Examination of Waters and Associated Materials*. (A continuing series of publications of new and revised physical, chemical and biological monitoring methods). H.M.S.O., London.
- [21] Hellawell, J.M., 1988, *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science, Barking, U.K.
- [22] Standing Committee of Analysts, 1987, *Methods for the Use of Aquatic Macrophytes for Assessing Water Quality 1985—86*. *Methods for the Examination of Waters and Associated Materials*. H. M. S.O., London.
- [23] Wisdom, A.S., 1979, *The Law of Rivers and Watercourses*. 4th edn. Shaw & Sons, London.
- [24] Howarth, W., 1988, *Water Pollution Law*. Shaw & Sons, London.
- [25] Water Authorities Associations, 1987, *Waterfacts*. Water Authorities Association, London.
- [26] Water Authorities Association, 1988, *Water Pollution from Farm Waste*. Water Authorities Association, London.
- [27] Solbe, J.F. (ed.), 1986, *Effects of land use on freshwaters: agriculture, forestry, mineral exploitation, urbanisation*. Ellis Horwood, Chichester, U.K.
- [28] Alabaster, J.S. (ed.), 1982, *Report of the EIFAC Workshop on Fishfarm Effluents*. European Inland Fisheries Advisory Commission, Food & Agriculture Organisation of the United Nations. Technical Paper No. 41. FAO, Rome, Italy.
- [29] Bolas, P.M. & Lund, J.W.G., 1974, Some factors affecting the growth of *Cladophora glomerata* in the Kentish Stour. *Water Treatment and Examination*, 23, 25—51.
- [30] Phillips, G.L., Eminson, D.F. & Moss, B., 1978, A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters. *Aquatic Botany*, 4, 103—126.
- [31] Leah, R.T., Moss, B. & Forrest, D.E., 1980, The role of predation in causing major changes in



- the limnology of a hyper-eutrophic lake. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 63, 223—247.
- [32] Boorman, L. A. & Fuller, R.M., 1981, The changing status of reedswamps in the Norfolk Broads. *Journal of Applied Ecology*, 18, 241—269.
- [33] Moss, B., Balls, H., Irvine, K. & Stansfield, J., 1986, Restoration of two lowland lakes by isolation from nutrient-rich water sources with and without removal of sediment. *Journal of Applied Ecology*, 23, 391—414.
- [34] De'Nie, H.W., 1987, *The Decrease in Aquatic Vegetation in Europe and its Consequences for Fish Populations*. Occasional Paper No.19, European Inland Fisheries Advisory Commission, EIFAC, Rome.
- [35] Department of the Environment, 1986b, *Nitrate in Water*. Pollution Paper no.26, H.M.S.O., London.
- [36] Severn-Trent Water Authority, 1988, *The Hatton Catchment Nitrate Study*. Ministry of Agriculture, Severn-Trent Water & Department of the Environment Joint Investigation. Severn-Trent Water, Birmingham, U.K.
- [37] Flower, R.J., Battarbee, R.W. & Appleby, P.G., 1987, The recent palaeolimnology of acid lakes in Galloway, South West Scotland: diatom analysis, pH trends, and the role of afforestation. *Journal of Ecology*, 75, 797—824.
- [38] Ormerod, S.J., Weatherley, N.S., Varallo, P.V., & Whitehead, P.G., 1988, Preliminary empirical models of the historical and future impact of acidification on the ecology of Welsh streams. *Freshwater Biology*, 20, 127—140.
- [39] Woodin, S.J., 1989, Environmental effects of air pollution in Britain. *Journal of Applied Ecology*, 26.
- [40] Battarbee, R.W., 1988, *Lake Acidification in the United Kingdom*. Palaeoecology Research Unit, University College, London.
- [41] Swales, S., 1982, Environmental effects of river channel works used in land drainage improvement. *Journal of Environmental Management*, 14, 103—126.
- [42] Swales, S., 1988, Fish populations of a small lowland channelized river in England subject to long-term river maintenance and management works. *Regulated Rivers*, 2, 493—506.
- [43] Brookes, A., Gregory, K.J. & Dawson, F.H., 1983, An assessment of river characteristics in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 27, 97—111.
- [44] Countryside Commission, 1988a, *Changing River Landscapes*. Countryside Commission Publication no. CCP238. Countryside Commission, Cheltenham, England.
- [45] Countryside Commission, 1988b, *The Water Industry in the Countryside*. Countryside Commission Publication no. CCP239. Countryside Commission, Cheltenham, England.
- [46] Eaton, J.W., 1986, Waterplant ecology in landscape design. *Ecology and Design in Landscape* (Ed. by A.D. Bradshaw, D. A. Goode & E. Thorp) pp. 285—306. Symposia of The British Ecological Society, 24. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [47] Mason, C.F., Macdonald, J.M. & Hussey, A., 1984, Structure, management and conservation value of the riparian woody plant community. *Biological Conservation*, 29, 201—206.
- [48] Purseglove, J., 1983, Integrating nature conservation with river engineering. *Landscape Design*, 146, 39—41.
- [49] Weeks, K. G., 1982, Conservation aspects of two river improvement schemes in the River Thames catchment. *Journal of the Institute of Water Engineers and Scientists*, 36, 447—458.
- [50] Newbold, C., Purseglove, J. & Holmes, N. 1983. *Nature Conservation and River Engineering*. Nature Conservancy Council, Peterborough.
- [51] Williams, M., 1970, *The Draining of the Somerset Levels*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [52] Darby, H.C., 1983, *The Changing Fenland*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [53] Godwin, H., 1978, *Fenland: Its Ancient Past and Uncertain Future*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [54] Nature Conservancy Council, 1984, *Nature Conservation in Great Britain*. Nature Conservancy Council, Peterborough.
- [55] Palmer, M. & Newbold, C., 1983, *Wetland and Riparian Plants in Great Britain*. Nature Conservancy Council, Peterborough.
- [56] Thorburn, A.A. & Trafford, B.D., 1976, *Iron Ochre in Drains*. Technical Bulletin 76.1, Ministry of Agriculture, Fisheries & Food, London.

- [57] Turner, E., 1986, Saline and Acid Sulphate Soils. *Proceedings of ADAS Wildlife and Countryside Commission Conference*, November 1985. Ministry of Agriculture, Fisheries & Food, London.
- [58] Wade, P.M. & Edwards, R.W., 1980, The effect of channel maintenance on the aquatic macrophytes of the drainage channels of the Monmouthshire Levels, South Wales, 1840—1978. *Aquatic Botany*, 8, 307—322.
- [59] Driscoll, R.J., 1986, Changes in land management in the Thurne catchment area, Norfolk, between 1973 and 1983 and their effects on the dyke flora and fauna. *Proceedings of the European Weed Research Society 7th Symposium on Aquatic Weeds*, 87—92. Loughborough, England.
- [60] HMSO, 1985, *Financing and administration of Land Drainage, Flood Prevention and Coast Protection in England and Wales*. Cmd. 9449, H.M.S.O., London.
- [61] Rees, J. & Tivy, J., 1978, Recreational impact on Scottish shore wetlands. *Journal of Biogeography*, 5, 93—108.
- [62] Tivy, J., 1980, *The Effects of Recreation on 'Freshwater Lochs and Reservoirs in Scotland*. Countryside Commission for Scotland, Perth.
- [63] Appleton, T., 1982, Rutland Water Nature Reserve, concept, design and management. *Hydrobiologia*, 88, 211—224.
- [64] Kelcey, J.G., 1984, The design and development of gravel pits for wildlife in Milton Keynes, England. *Landscape Planning*, 11, 19—34.
- [65] Tydemand, C., 1977, Importance of close fishing season to breeding bird communities on three gravel pits. *Journal of Environmental Management*, 5, 289—296.
- [66] Maitland, P.S. & Turner, A.K. (Eds.), 1987, *Angling and Wildlife in Freshwaters*. ITE Symposium No. 19. Institute of Terrestrial Ecology, Grange-over-Sands, U.K.
- [67] Liddle, M.J. & Scorgie, H.R.A., 1980, The effects of recreation on freshwater plants and animals: a review. *Biological Conservation*, 17, 183—206.
- [68] Pearce, H.G. & Eaton, J.W., 1983, Effects of recreational boating on freshwater ecosystems—an annotated bibliography. *Waterway Ecology and the Design of Recreational Craft*, pp. 13—68. Inland Waterways Amenity Advisory Council, London.
- [69] Garrad, P.N. & Hey, R.D., 1987, Boat traffic, sediment resuspension and turbidity in a Broadland river. *Journal of Hydrology*, 95, 289—297.
- [70] Murphy, K.J. & Eaton, J.W., 1983, Effects of pleasure-boat traffic on macrophyte growth in canals. *Journal of Applied Ecology*, 20, 713—729.
- [71] Hanbury, R. G., 1988, Conservation on canals, a review of the present status and management of British navigable canals with particular reference to aquatic plants. *Proceedings of the European Weed Research Society 7th Symposium on Aquatic Weeds*, pp. 143—150. Loughborough, U.K.
- [72] Bonham, A. J., 1980, *Bank Protection using Emergent Plants against Boat Wash in Rivers and Canals*. Report No. IT206. Hydraulics Research Station, Wallingford, U.K.
- [73] Garrad, P.N. & Hey, R.D., 1988, River management to reduce turbidity in navigable Broadland rivers. *Journal of Environmental Management*, 27, 273—288.
- [74] Pygott, J.R., O'Hara, K. & Eaton, J.W. (in press). Fish community structure and management in navigated British canals. *EIFAC Symposium on Management Schemes for Inland Fisheries*. Göteborg, Sweden 1988.
- [75] Hodgson, B.P., Pearce, H.G., O'Hara, K. & Eaton, J.W. (in press). Prospects for the restoration of the community ecology of the River Dee in Chester. *The Man-made Nature of Cheshire*, (Ed. by H. Langford). Proceedings of a Conference of the Cheshire Conservation Trust at Chester, February 1988.

## ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER MANAGEMENT IN BRITAIN

J. W. Eaton

(*Department of Environmental and Evolutionary Biology, University of Liverpool,  
P.O. Box 147, Liverpool L69 3BX.*)

(1) In Britain, man's alteration to river habitats began with forest clearances and continued with developments for water power and navigation. Industrialization and population increase led to extensive pollution in lowland rivers. Land drainage greatly reduced wetland habitats and, with headwater impoundment and flood protection works, further modified physical conditions.

(2) Since the middle of the twentieth century, domestic and industrial pollution have been reduced, but eutrophication and acidification trends have developed. Recreational demands have encouraged environmental improvements but have themselves become sources of damage to some aquatic ecosystems.

(3) Recently, progress in pollution control has slackened because of reduced capital investment. Organic pollution from farms has increased and the extent of groundwater contamination by agriculture and industry is under investigation.

(4) Although the total available water resource exceeds current requirements, there are continuing difficulties with geographically uneven distribution of supply and demand. The widespread loss of natural habitat which has occurred during resource development has created acute aquatic wildlife conservation problems.

(5) Ecological studies have a major contribution to make in such areas of water management as restoration of physical habitats, management of eutrophic waters and accommodation of recreational demands

**Key words:** water pollution, aquatic ecosystems, water management.