

水生态区划方法及其在中国的应用前景

孟 伟, 张 远, 郑丙辉

(中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究室, 北京 100012)

摘要: 系统总结了国际水生态区划的指标、方法和体系, 分析了水生态区划在水质管理、河流生物监测、湖泊水库管理、湿地管理和水生生物区系研究中的作用和经验。在分析中国水体分区现状的基础上, 结合中国水环境管理的要求, 设想了我 国水生态分区体系的构建思路, 初步提出了适宜于我国的区划框架体系和主要选取指标。

关 键 词: 生态区划; 水生态系统; 方法

中图分类号: Q149; X32 文献标识码: A 文章编号: 100126791(2007)020293208

“生态区”一词是由 Crowley 在 1967 年首次提出的, 是指具有相似生态系统或期待发挥相似生态功能的陆地及水域^[1], 它的提出意味着传统的地理分区研究进入了生态学领域。生态区划的目的是能为生态系统的研究、评价、修复和管理提供一个合适的空间单元^[2]。之后, 生态区概念日益为人们所接受, 许多部门和学者开展了相关的研究, 并针对不同的研究对象和目的, 提出了不同类型的区划体系, 如以陆地生态系统为对象的 Bailey 分区^[3], 以森林生态系统为对象的美国林业区划^[4]、以湖滨河岸带保护区为对象的五大湖区划^[5]、以淡水生态系统为对象的美国联邦环境保护局(United States Environmental Protection Agency, USEPA) 制定的水生态区划^[6]、以海洋生态系统为对象的海洋生态区划^[7]和以珍稀生物为对象的世界野生生物基金组织(World Wildlife Fund, WWF)所制定的生态区划^[8]等。其中, 关于水生态区划的研究最多^[9], 而且在管理中的应用也最为成功。

水生态区划方法的提出, 使得水管理者可以对具有同样生态特征和资源属性的水体进行统一管理, 并制定相应的管理标准, 确定监测的参考条件及恢复目标, 采取切实可行的管理对策和恢复措施。因此, 水生态区逐渐成为国际水管理的常用单元, 也是生态管理技术在实际中应用的基础。随着我国水管理科学的发展, 基于生态区的管理技术将日益得到重视, 并发挥着越来越大的作用, 因此关于我国的水生态分区体系的研究已迫在眉睫。本文对国外水生态区划的方法和经验进行了系统总结, 结合我国水生态系统的实际状况, 对水生态分区方法在我国的应用前景进行了初步设想, 以期推进我国水管理的发展。

1 水生态区划的提出与发展

水生态区概念起源于美国, 被认为是具有相对同质的淡水生态系统或生物体及其与环境相互关系的土地单元^[6]。在 20 世纪 70 年代末, 美国联邦环保局在水环境保护方面提出了更高的目标, 要求管理不仅关注污染控制问题, 还要关注水生态系统的结构与功能的保护, 这就需要具有一个能够反映水生态系统空间特征差异的管理单元体系, 它不仅能够指导水质管理, 而且能为水生态完整性标准的制定提供依据, 实现从水化学指标向水生态指标管理的转变^[10]。

USEPA 最初是选择 Bailey 分区方案作为水域管理单元, 但事实证明 Bailey 区划方法不适宜于水生态系统的

收稿日期: 200511203; 修订日期: 200512223

基金项目: 国家 / 十五 0 科技攻关计划资助项目 (2003BA61420407); 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2002CB412409)

作者简介: 孟 伟(1956-), 男, 山东青岛人, 研究员, 博士, 主要从事海洋环境科学研究。E2mail: mengwei@cras1.org.cn

通讯作者: 张 远, E2mail: zhangyuan@cras1.org.cn

区域划分,因为它实质是一种陆地生态系统类型的区划方法,主要是根据影响陆地植被特征的自然要素进行区划,而不是根据影响水生态系统的指标进行区划,如在 Bailey 分区中 / 地域0 层次的生态区是根据 Kucher 的自然植被类型进行划分, / 地段0 层次的生态亚区是以 Hammond 的地表形态类型进行划分。大量研究表明,水生态系统的区域特征不是由单一的地表要素所决定的,而是由多种地表要素的共同作用所决定的,并且这些要素在各个区域所发挥的作用也不尽相同^[6]。于是 USEPA 开始着手研究专门的水生态区划体系,提出了根据不同尺度的地貌、土壤、植被和土地利用等要素进行划分的方法,并在 1987 年提出了美国水生态区划方案^[11]。

水生态区划方案一经提出,便得到了美国管理部门的普遍认可,很快被应用于水生态系统的管理之中,特别是用于区域监测点的选择^[12]和建立区域范围内受损水生态系统的恢复标准^[13],达到基于区域风险和脆弱性选择管理措施的目的。自美国提出了水生态区划的概念和方法之后,该方法得到世界许多国家的关注和研究,澳大利亚^[14]、英国^[15]和奥地利^[16]等国家纷纷开始采用这一技术。欧盟在 2000 年颁布的 / 欧盟水政策管理框架0 中,提出要以水生态区为基础确定水体的参考条件,根据参考条件评估水体的生态状况,最终确定生态保护和恢复目标的淡水生态系统保护原则^[17]。

2 水生态区划的指标与体系

水生态区划实质是一定尺度下的水体分类方法,所划定的每个区都被看作是离散的系统,能够反映地貌、地形、土壤、植被、气候、水文以及人类影响因子的作用关系(图 1)。这些因素在不同尺度上相互作用,共同决定着其境内河流的水文、河道形态、基质类型等物理及水化学特征,从而进一步影响水生生物群落的分布和结构,最终导致水生态系统的类型差异。因此,通过对这些要素的识别和分析,可以识别出生态区的范围,但研究表明在不同的生态区这些指标的重要性并不相同,因此需要针对具体区域进行分析,选择相应地区划指标和标准,以下分别介绍了美国与澳大利亚的区划方法。

2.1.1 USEPA 区划方法

USEPA 的水生态区划方案已从过去的 3 级体系发展到 5 级体系。其中,1 级和 2 级层次分别将北美大陆划分为 15 和 52 个生态区;在 3 级层次上美国大陆被划分为 84 个水生态区,阿拉斯加州划分为 20 个生态区;4 级层次是在 3 级生态区基础上由各州进行划分的;5 级层次是区域景观水平的水生态区划分。目前 4 级区划工作在美国各州正在开展,5 级层次区划仅在个别区域开展,最终目标是在每个州都完成 4 级区划。在实际应用中,根据数据分析的要求,可以在不同的层次上对水生态区进行重新集合,如在美国国家营养物基准制定中 3 级生态区被集成 14 个区域。

USEPA 是以 4 个区域性特征指标为基础进行 3 级生态区划,具体包括土地利用、土壤、自然植被和地形,它们被认为是影响水生态系统特征,能够反映水生态系统与周围陆地生态系统相关关系的关键因素。这些环境要素之间是相互关联的,例如气候和地貌影响着土壤构成,土壤类型和气候进一步影响着植被类型,植被类型反过来也影响土壤类型,这些因素又都对土地利用方式有所作用,它们共同决定着水生态系统的空间类型。但是在不同的区域这些因素的相互作用不同,因此需要对其进行具体分析,才能判断出主要的影响要素。因此,美国水生态区划分的最大特点就是没有全国统一的划分标准。

在 3 级区划的基础上,各州开始利用更大精度的数据来划分 4 级区,以反映水体的特殊环境特性。4 级区的划分主要是根据 3 级生态区内的气候、地文、土地利用、土壤、植被以及地表水质等指标的差异进行划分。

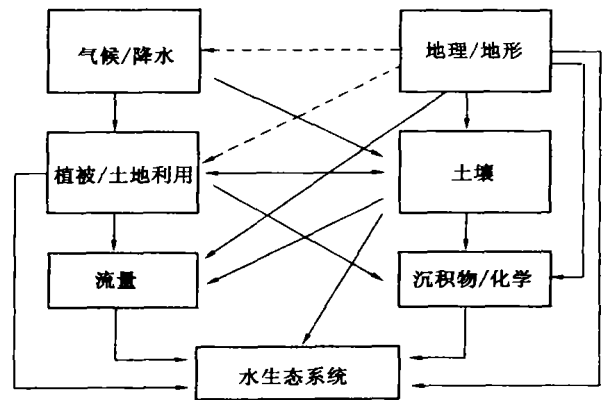


图 1 水生态系统的影响因素关系图

Fig 1 Relation map of influencing factors of aquatic ecosystem

例如在西弗吉尼亚州的阿巴拉契亚山脉山脊和山谷生态区, 采用高程、电导率和水温 3 个指标将其划分为石灰岩山谷、页岩山谷、砂岩山脊、砂岩岩床山脊 4 种类型亚区, 并且 4 种类型区并不连续的, 而是相互交错在一起(表 1)^[18]。

USEPA 生态区边界最初以定性分析的方法进行确定, 具体是首先对 4 个特征因素的专题图进行叠置和比较, 确定 4 个因素的空间特点和关系, 在权衡各个因素的重要性之后确定水生态区的潜在范围, 然后结合专家经验最终确定区域边界。该方法的优点在于能够将主导因子和专家意见相综合, 缺点在于方法是非量化的, 不具有可重复性。随着 GIS 技术的发展,

美国各州逐渐开始采用量化的区划技术方法, 对原有的生态区划边界进行重新确定, 如 Host 等^[19]于 1996 年采用多变量空间统计分析方法对威斯康星西南部进行了区划边界的重新确定, 与手工区划结果相比较, 精度提高了 45%。

2.1.2 澳大利亚区划方法

澳大利亚横跨了整个大陆, 水体具有极大的生态多样性, 这给其国家水质指南的制定和实施造成了困难。因此, 澳大利亚提出根据影响水生态系统的景观要素指标, 将全国分成不同类型的生态区, 以反映水生态系统的自然差异性。区划主要是考虑了 3 个基本因素: 气候(降水量大小及其季节性)、地文(海拔和地形)、植被类型(结构和组成), 它们被认为是影响澳大利亚水生态系统类型的关键性因素。区划方案首先在维多利亚州试行, 根据相应的区划指标和标准(表 2), 将其划分为 17 个水生态区^[20]。

表 2 澳大利亚维多利亚州的水生态区划指标和标准

Table 2 Indicators and criteria of aquatic ecological region in Australia

	降雨量	地 文	植被类型
季节性	冬季降水量最大	山地(> 1000 m)	湿润性森林
	夏季降水量最大	丘陵(200~ 1000 m)	干燥性森林
	均衡分布		丛林
充足度	高(> 1000 mm)	平原(< 200 m, 沙丘/小山、冲积层、玄武岩)	荒地
	中(500~ 1000 mm)	草地	
	低(< 500 mm)		

3 水生态区划方法在水环境管理中的应用

3.1.1 一般水质管理与监测

统计表明, 水生态区划方法在一般水质管理和监测中应用最为广泛, 大约占了相关研究的 40%, 主要是利用水生态区来推广水质管理的理论和方法, 或者反映广泛的水质管理问题。例如 USEPA 通过比较位于同一水生态区内的受到干扰和未受干扰河流之间的差异, 研究土地利用对河流生态系统的影响规律, 确定不同土地利用方式对河流的干扰程度。美国阿肯色州研究人员把水生态区方法应用于水质的可达效用分析(UAA)之中, 发现水生态区在水质标准制定中非常有效, 特别是制定与溶解氧和指示鱼类相关的标准, 这项研究促进了水生态区划体系在水质管理中的应用, 阿肯色州现在开始基于水生态区划对水体的 pH 值、硬度和有毒物质状况进行科学评价^[21]。

Hughes 和 Larsen^[22]根据俄勒冈州、俄亥俄州、阿肯色州、明尼苏达州不同生态区间所存在的水质及其水生

生物群落的自然差异,建立了水生态区、水质类型和鱼类群落的关系模型,依此确定地表水的化学和生物保护目标。该研究充分证明了水生态区划方法在水生态系统评价和保护方面的价值和作用,Hughes和Larsen指出水生态区能够建立区域和监测点之间的联系,在适宜的统计方法支持下,基于水生态区的分析可以精确预测那些没有大量进行现场监测的水体的状况,而这些水体往往是没有机会或者条件开展定点研究和调查的。Gannon等^[23]研究指出,建立以水生态区为基础的水污染防治方法体系,将比单纯以工程技术为主的污染防治体系更具有前景,而且认为可将水生态区作为非点源污染标准制定的空间体系。环境合作组织委员会(Commission for Environmental Cooperation, CEC)^[24]研究人员将美国水生态区划方法扩展到了整个北美地区,认为水生态区对跨边界的流域水生态资源管理非常重要。

312 河流生物监测和评价

在河流生物监测方面,水生态区是挑选受干扰程度最小的河流参考区域的有效手段^[25]。参考区域是指用来量化河流生态系统的健康程度,为河流相互比较建立基准和标准的那些受人类干扰程度最小的区域。由于缺乏长期的、可靠的水生生物监测资料,研究人员不得不根据生态区内的参考区域对水生态系统的退化程度进行评价^[26]。作为评价基准,参考区域要求与被评价区域位于同一生态区内,具有相似的环境条件,而且所受人类干扰程度最小。美国环境保护局(Environmental Protection Agency (US), US EPA)在佛罗里达州基于水生态区来确定河流生物监测的参考区域,结果表明水生态区是一个有效的方法,Hughes等^[27]认为参考区域还可为不同流域之间的水生态系统对比研究提供了手段。

313 湖泊水库管理

水生态区是搜集湖泊群数据和确定湖泊营养标准的有效方法。湖泊的生产力及生物群落与水生态区存在着密切的联系,原因在于湖泊生产力和营养状况是由气候、地形、土壤、地质、土地利用及其它因素共同决定的。人们基于水生态区可以更为客观地评价湖泊、水库的营养状况以及营养指标之间的相互关系,并建立反映总磷、叶绿素 a、营养状态和鱼类、湖泊混合类型之间关系的区域模型。在美国明尼苏达州,研究人员根据水生态区确定取样规模,结果只对 10% 的典型湖泊进行取样就掌握了整个区域的湖泊基本状况,由于不需要对所有湖泊进行调查,从而节约了大量的人力和物力^[28]。由于湖库生态系统的空间特征差异,USEPA 发现不能在全国使用统一的湖库营养物标准,建立基于生态区的标准更适合于湖库管理,于是美国在 1998 年颁布了制定区域营养化基准的国家政策^[29],2000 年发布了湖库营养化基准制定导则^[30],2000 年以后开始颁布了其 14 个水生态集合区的湖库的营养物水质基准等,为美国湖泊、水库的有效管理提供了有力的支持。

314 湿地管理

水生态区在描述湿地特征以及评价人类活动对湿地的影响方面具有重要作用。Bedford和Preston^[31]研究证明,USEPA水生态区是开展湿地影响评价的有效方法,特别是为评价湿地对于工程累积影响效应的缓解作用提供了环境特征背景,将水生态区结构与水文单元结构的相互结合,将更有利于开展淡水湿地的缓解作用的研究。Bedford^[32]在湿地标准的研究中,指出湿地管理需要在更大的时空尺度上进行,有必要把湿地标准的尺度范围从个别工程扩展到景观层次,而水生态区正是建立这种大尺度湿地标准的适宜区域单元。

315 水生生物区系

使用水生态区可以对水生大型无脊椎动物和鱼类区系的分布状况进行研究。但结果表明,其并不是解释某一物种的分布规律的适宜方法,在有些区域水生态区是揭示水生生物分布规律的有效手段,鱼类聚集会因水生态区的不同而不同^[33,34],但在一些区域水生态区则无效^[35,36]。例如Whittier等^[37]检验了俄勒冈州水生态区和流域水生动物区系之间的对应关系,通过确定小流域水生态系统的基本特征与8个生态区之间在一致性程度,发现水生态区是大尺度流域水生生物分类和管理的有效结构。而Hawkes等^[38]根据鱼类的聚集特点,采用多元统计学把堪萨斯州划分为不同的鱼类生态区,结果表明鱼类生态区与USEPA水生态区并不存在相关性。虽然水生态分区不能真实反映某一物种的聚集规律^[39],但是可以真实反映了水生态系统的栖息地环境特征,如研究发现河流的大部分物理环境参数能被水生态区成功地分类,而且水的理化性质也与水生态区具有高度一致

性^[40], 这些研究都进一步说明水生态区是反映水生生物分布的方法之一, 只是水生生物的分布还受到一些其它因素的影响, 而这些因素难以在现有水生态区划指标中得以体现, 如泥沙含量、河流水力条件等。

4 水生态区划在中国的应用前景

4.1 水体区划研究现状

中国从 20 世纪 50 年代就开始了水体的区划研究, 当时是以自然区划方法为主, 如根据湖泊的地理分布特点, 把中国湖泊划分为五大湖泊区; 根据河流大小及流经范围, 把河流划分为不同层次的流域区^[41]; 根据内外流域的径流深度、河流水情、水流形态、河流形态、径流量等水文因素的差异, 将全国划分为不同级别的水文区^[42]; 为实现对水产资源的合理开发和利用, 根据水生态系统中鱼类的分布特征, 开展了内陆渔业区划和淡水鱼类分布区划等^[43, 44]。这些区划都是针对水生态系统的某种特征要素所制定的, 不是真正意义上的水生态区划, 但其为我国水生态区划方法研究奠定了基础, 不同程度反映出地貌、水文指标对我国水生态系统的影响规律。

20 世纪 80 年代后, 中国进入了生态区划时期, 区划更多是强调生态学的意义, 反映生态系统的地域分异规律, 如傅伯杰等^[45]提出了中国生态区划的原则和方法, 建立了中国的生态区划体系, 根据气候、地势、植被类型、地貌等指标将全国划分为 3 个生态大区、13 个生态地区以及 57 个生态区。针对人类活动在自然生态环境变化中的作用和影响, 苗鸿等^[46]根据社会、经济和资源利用状况等指标, 开展了全国生态环境胁迫区划等研究, 初步提出了中国生态环境敏感特征及人类活动对生态环境的影响规律。基于上述生态区划的研究成果, 国家环保总局在各省开展了生态功能区划制定工作, 主要是根据生态系统的特征、生态服务功能的重要程度以及区域面临的生态环境问题和生态敏感性, 把特定区域划分为自然生态区、生态亚区和生态功能区三个等级单元。在这些区划中, 水一直是被考虑的核心要素之一, 但它们是以反映生态系统的综合特征和功能为目的, 而不是以表征水生生态系统特征为目标, 区划结果往往不能直接作为水管理的空间单元。为了满足生态水量标准制定的需求, 尹民等^[47]在以往水文区划的基础上, 提出了我国的生态水文区划方案, 将水文要素特征与水生态特征区划进行了初步关联, 标志着中国的生态区划已开始向水生态区划的方向发展, 但中国真正的水生态分区体系还尚未建立。

4.1.2 水生态区与水功能区、水环境功能区的关系辨析

水生态区划是一种为水体生态管理服务的空间单元划分方法, 其并不等同于中国现行的水功能区划^[48]、水环境功能区划^[49]方法。水生态区划的目标是反映水生态系统的区域差异, 而水功能区划与水环境功能区划是确定资源管理和污染防治的单元的方法, 而且只是针对水体进行划分, 因此三者形式和内容上都有较大差异。作为现行的管理单元, 水功能区和水环境功能区具有不可替代的作用, 但要意识到如果仅仅开展水功能与水环境功能区划, 还难以从根本上认识到水生态系统破坏的形成原因与机制, 难以满足未来水管理的需求。特别是随着非点源污染控制的日益重要, 在实施陆域与水体的统一管理方面, 水功能区划与水环境功能区划更是显得力所不及。中国水管理正处在从资源管理、污染控制向生态管理的转变过程中, 水资源的利用与保护都要考虑到水生态系统的基本要求, 而水生态系统具有区域性和层次性, 这就需要建立以水生态区划为基础的管理技术体系, 才能保证我国水生态管理的成功实施。

水生态区虽不等同于水功能和水环境功能区, 但它们之间又是密切相关, 三种区划在水环境管理中具有不同的作用和地位。水生态区是水功能区和水环境功能区划的基础, 它为功能区划中水体生态特征识别、生态功能的确定提供依据。在我国的功能区划中, 水体的资源功能受到人们所重视, 但对河流、湖库等水体的生态功能却考虑不足^[50], 造成功能区划有所欠缺, 而水生态区划正可以弥补功能区划中的这一弱点。通过水生态区划和水功能区划可以识别和确定水体的资源功能和生态功能, 在此基础上可再由水环境功能区划制定出相应的保护目标。因此, 三者概念和内涵上是相互协调和衔接的, 水生态区划不仅突出了水体的生态特征差异, 还

体现了水体的资源功能与生态功能的协调, 为水功能区划和水环境区划的保护目标的确定提供了科学基础。

41.3 开展中国水生态区划研究的设想

究竟如何建立水生态区划体系, 选取哪些指标进行划分? 这是中国水生态区划研究中的关键内容。笔者认为, 中国的水生态区划体系应在借鉴国外水生态分区理论的基础上, 通过对中国水生态系统特征与影响因素的调查与分析, 提出与中国水生态系统状况相适应的区划体系。与陆地生态区划不同, 水生态区划是以水生态系统为对象, 目的是反映水生态系统的空间分布规律和特征差异, 虽说二者在一定尺度上具有相似的影响因素, 如都受到气候、地貌、水文条件的影响, 但作用的过程和机理却具有很大差异。在区划方法上, 水生态区划应遵循着体现水生态系统的层次与等级, 实现水陆一体化管理的目的, 与河流现有管理单元相衔接, 保持生态系统完整性和流域完整性等原则, 选择与分区层次体系相一致的影响因素作为指标, 应用生态学中的格局与尺度等原理与方法, 对水体及其周围陆地进行的区域分类。

大量研究表明, 河流生态系统主要取决于河道水文、河流形态、栖息环境等小尺度因素的直接影响, 宏观尺度上的因素往往是通过影响这些小尺度因素, 然后进一步影响到水生生物状况, 因此河道水文、河流形态、物理栖息环境等小尺度要素是确定那些大尺度主导性因素的出发点。对具体的影响关系进行分析, 发现河道水文主要取决于区域水文条件、干旱程度等因素, 河流形态和物理栖息地环境更多是受到地势、地貌、土壤和植被类型的影响, 如地势变化对河道水力坡度、地貌类型对河道形态、土壤对河流基质条件、区域植被对河岸带植被状况的影响等。

结合中国水生态系统的层次结构特点, 可首先建立三级的水生态区划体系。其中, 一级区是水生态系统的地势与水文影响特征因素的分类, 反映的是大尺度的地势、水热要素对水生态系统的宏观影响, 可以选择水热要素和地形地势作为区划指标, 如径流深度、地形格局等; 二级区划是从区域本身的特点出发, 反映地是区域尺度的地形、地貌及植被对河流栖息地环境条件的影响, 可选择性地选取特征影响因子, 如地貌类型、海拔高度、土壤类型、植被类型等指标, 同时还要考虑到河、湖分布以及水库节点对水生态栖息地环境的影响^[47], 从而划分出相应的水生态区; 在二级分区的基础上, 以各省为层次开展三级区划的研究, 同时将人类影响因素结合进来, 综合分析人类对水生态系统的干扰过程以及水生态系统所表现出来的敏感性, 综合细分出更小尺度的水生态单元, 从而为水生态系统的保护和恢复提供科学依据。为了保证与流域管理的协调, 保持水文单元的完整性, 各级分区尽量保持水文单元的完整性, 通过对分区边界的适当调整, 使得小流域尽可能落在一个水生态区范围内。

水生态区划方案的提出和实现, 将是中国水环境保护与管理方面的一个跳跃式进步, 能为充分了解水生态系统特征及其与人类活动的内在关系, 为实施区域性水资源与水环境的保护与管理提供量体裁衣的科学理论依据。

参考文献:

- [1] Crowley J M I Biogeography[J] Canadian Geographer, 1967, 11(4): 312- 261
- [2] Omerik J M, Bailey R G I distinguishing between watershed and ecoregion[J] Journal of American Water Resources Association, 1997, 33(5), 935- 9491
- [3] Bailey R G I Ecoregions of the United States I Map (scale 1: 7, 500, 000)[M] I Ogden, Utah: UI SI Deptl of Agriculture, Forest Serviced Inter2 mountain Region Press, 19761
- [4] McNab W H, Avers P E I Ecological subregions of the United States: section descriptions[R] I Washington DC: USDA Forest Service, 19941 Map scale 1: 3 500 0001
- [5] Albert D A, Denton S R, Barnes B V I Regional landscape ecosystems of Michigan[M] I Ann Arbor, MI: University of Michigan, 19861 Map scale 1: 1 000 0001
- [6] Omerik J M I Ecoregions of the Corteminous United States (Map Supplement)[J] I Annals of the Association of American Geographers, 1987, 77(1): 118- 251
- [7] Bailey R G I Ecoregions: The ecosystem geography of the oceans and continents[M] I Springer2Verlag: New York Inc, 1998, 1921

- [8] Dinerstein E D, Olson M, Graham D J, et al A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean [R] Washington D C: The World Wildlife Fund, The World Bank, 1995, 1291
- [9] Isaac B I The conceptual development and use of ecoregion classifications[D] Master's Thesis, Corvallis, Oregon, Oregon State University, 1999
- [10] Kart J R, Dudley D R I Ecological perspective on water quality goals[J] Environmental Management, 1981, 5: 55- 681
- [11] Omernik J M, Gallant A L I Defining regions for evaluating environmental resources[A] In: Proceedings of the global natural resource monitoring and assessment symposium, preparing for 21st century[C] Venice, Italy: 1990, 936- 9471
- [12] Hughes R, Larsen D, Omernik J M I Regional Reference Sites: a method for assessing stream potentials[J] Environmental Management, 1986, 10(5): 629- 6351
- [13] Hughes R, Whittier T, Rohm C, et al A regional framework for establishing recovery criteria[J] Environmental Management, 1990, 14: 673 - 6831
- [14] Davies P E I Development of a national river bioassessment system, AUSRIVAS in Australia[A] In Wright J F, Sutcliffe D W, Furse M T (eds), Assessing the biological quality of fresh waters RIVPACS and other techniques[C] Freshwat Biol, 2000, 113- 1241
- [15] Hemsley F B I Classification of the biological quality of rivers in England and Wales[A] In Wright J F, Sutcliffe D W, Furse M T(eds), Assessing the biological quality of freshwaters RIVPACS and other techniques[C] Freshwat Biol 2000: 55- 691
- [16] Austrian Standards ; NORM M 62321 Guidelines for the ecological survey and evaluation of flowing surface waters[S] Vienna: Austrian Standards Institute, 1997, 381
- [17] Moog O, Kloiber A S, Thomas O, et al Does the ecoregion approach support the typological demands of the EU . Water Frame Directive ? [J] Hydrobiologia, 2004, 516: 21- 331
- [18] Geritsen J G, Green J, Preston R I Establishment of regional reference conditions for stream biological assessment and watershed management [A]. Watersheds . 93, A national conference on watershed management, Arlington, Va: 1993, US SI Environmental Protection Agency In: proceedings of, EPA 804/R-94/002, 797- 8011
- [19] Host George E, Thomas R, Crow, David J, et al A Quantitative approach to developing regional ecosystem classifications[J] Ecological Applications, 1996, 6(2): 608- 6181
- [20] Wells F, Peter N I An examination of an aquatic ecoregion protocol for Australia[R] Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC), 19971
- [21] US SI Environmental Protection Agency, Office of Water water quality program highlights: arkansas. ecoregion program monitoring and data support division report[R] Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 1986, 21
- [22] Hughes R M, Larsen D P I Ecoregions: an Approach to Surface Water Protection[J] Journal of the Water Pollution Control Federation, 1988, 60: 486- 4931
- [23] Gannon R W, Osmond D L, Humenik F J, et al Goal-oriented agricultural water quality legislation[J] Water Resources Bulletin, 19961 32 (3): 437- 4571
- [24] Commission for Environmental Cooperation Ecological regions of north america: toward a common perspective[R] Quebec, Canada: Commission for Environmental Cooperation, 1997, 711
- [25] Warry N D, Hanau M I The use of terrestrial ecoregions as a regional scale screen for selecting representative reference sites for water quality monitoring[J] Environmental Management, 1993, 17(2): 267- 761
- [26] McCormick P V, J Cairns I Algae as indicators of environmental change[J] Journal of Applied Phycology, 1994, 6: 509- 261
- [27] Hughes R M, Larsen D P, Omernik J M I Regional reference sites: A method for assessing stream potentials[J] Environmental Management, 1986, 10: 629- 6351
- [28] Heiskary S A, Wilson B C, Larsen D P I Analysis of regional patterns in lake water quality: using ecoregions for lake management in minnesota [J] Lake and Reservoir Management, 1987, 3: 337- 441
- [29] US EPA I National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria[R] EPA 822/R-92/0021 19981
- [30] US EPA I Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Lake and Reservoirs (First Edition)[R] EPA 822/B-00/011 20001
- [31] Bedford B L, Preston E M I Developing the scientific basis for assessing cumulative effects of wetland loss and degradation on landscape functions: status, perspectives, and prospects[J] Environmental Management, 1988, 12(5): 751- 7711

- [32] Bedford B L The need to define hydrologic equivalence at the landscape scale for freshwater wetland mitigation[J] Ecological Applications, 1996, 6(1): 57- 68
- [33] Hughes R, Rexstad E, Bond C The relationship of aquatic ecoregions, river basins and physiographic provinces to the ichthyogeographic regions of Oregon[J] Copeia, 1987, 2: 423- 432
- [34] Lyons J Correspondence between the distribution of fish assemblages in Wisconsin streams and omernik's ecoregions[J] American Midland Naturalist, 1989, 122: 163- 182
- [35] Larsen D, Ornernik J M, Hughes R, et al Correspondence between spatial patterns in fish assemblages in Ohio streams and aquatic ecoregions[J] Environmental Management, 1986, 10(6): 815- 828
- [36] Rohm C M, Giese J W, Bennett C C Evaluation of an aquatic ecoregion classification of streams in Arkansas[J] Journal of Freshwater Ecology, 1987, 4(1): 127- 401
- [37] Whittier T, Hughes R, Larsen D Correspondence between ecoregions and spatial patterns in stream ecosystems in Oregon[J] Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1988, 45: 1264- 1278
- [38] Hawkes C L, Miller D L, Layher W G Fish ecoregions of Kansas: stream fish assemblage patterns and associated environmental correlates[J] Environmental Biology of Fishes, 1986, 17(4): 267- 291
- [39] Hughes R M, Heiskary S A, Matthews W J, et al Use of ecoregions in biological monitoring[A] In: Loeb S L, Spacie A (eds) Biological Monitoring of Aquatic Systems[C] Boca Raton: Lewis Publishers, 1994, 125- 511
- [40] Larsen D P, Dudley D R, Hughes R M A regional approach to assess attainable water quality: An Ohio case study[J] Journal of Soil and Water Conservation, 1988, 43: 171- 61
- [41] 中国科学院自然区划工作委员会. 中国综合自然区划[M] 北京: 科学出版社, 1959
- [42] 熊 怡, 张家楨. 中国水文区划[M] 北京: 科学出版社, 1995
- [43] 曾祥琮. 中国内陆水域渔业区划[M] 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990
- [44] 李思忠. 中国淡水鱼类的分布区划[M] 北京: 科学出版社, 1981
- [45] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J] 生态学报, 2001, 21(1): 1- 61
- [46] 苗 鸿, 王效科, 欧阳志云. 中国生态环境胁迫过程区划研究[J] 生态学报, 2001, 21(1): 7- 131
- [47] 尹 民, 杨志峰, 崔保山. 中国河流生态水文分区初探[J] 环境科学学报, 2005, 25(4): 423- 428
- [48] 王 超, 朱党生, 程晓冰. 地表水功能区划分系统的研究[J] 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(5): 7- 111
- [49] 夏 青. 水环境保护功能区划分[M] 北京: 海洋出版社, 1989
- [50] 深 海, 崔广柏. 黄河干流河道生态环境需水量的计算[J]. 人民黄河, 2002, 24(9): 37- 38

Aquatic ecological region approach and its application in China^X

MENG Wei, ZHANG Yuan, ZHENG Binghui

(River and Coastal Environmental Research Center, China Research Academy of Environment Science, Beijing 100012, China)

Abstract: This paper summarizes the concept and development of aquatic ecological region, introduces the indicators, depicts method and system of aquatic ecological regionalization by taking USA and Australia as an example, and analyze the application of ecological region in the field of water quality, stream biological monitoring, lake and reservoir management, wetland management and aquatic biology conservation in detail. According to analysis of the present status of the aquatic regionalization in China, the paper proposes the frame of the aquatic ecological regionalization in China and discusses the indicators for the ecological regionalization, and finally predicts application prospects of the aquatic ecological region in China.

Key words: ecological region; aquatic ecosystem; method

^X The study is financially supported by the National Basic Research Program of China(2002CB412409)