

中美生态分区及其分级体系比较研究

孙小银^{1,3}, 周启星^{1,2,*}, 于宏兵², 孟 伟⁴

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 中国科学院陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016;

2. 南开大学环境科学与工程学院, 环境污染过程与基准教育部重点实验室, 天津 300071;

3. 山东曲阜师范大学地理与旅游学院, 济宁 273165; 4. 中国环境科学研究院, 北京 100074)

摘要:生态分区及其分级体系越来越多地用于环境保护政策的制定和管理决策, 尤其是在自然资源管理、保护和评价方面。目前世界上有许多生态分区及其分级体系, 不同的生态分区与分级体系使用不同的生态分区方法和各种指标。如何正确评价和选择这些生态分区及其分级体系进行自然资源管理和环境决策, 已经成为管理者和研究者的一个难题。概述了近 20a 来生态分区分级研究现状与国际进展, 重点比较、分析了美国主要生态分区及其分级体系与中国生态功能分区之间的差异。结果表明, 在生态分区的分区单元内涵、侧重点以及分区角度 3 个方面, 中美之间有显著的不同。美国的生态分区及其分级体系多注重自然生态系统, 尤其在其评价指标中, 人类在生态系统中的地位与生态系统内其他生物相平等。而中国的生态功能分区, 则更加突出人类在生态系统中的地位以及生态系统为人类社会提供的生态服务功能。这些体系各有优点和缺陷。通过这些体系的比较研究, 可为中国后续水生态分区研究和改进中国生态功能分区提供参考和建议。

关键词:生态分区; 生态功能分区; 自然生态系统; 生态服务功能

Comparative study on ecoregion and its classification systems between China and USA

SUN Xiaoyin^{1,3}, ZHOU Qixing^{1,2,*}, Yu Hongbing², MENG Wei⁴

1 Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

2 Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria (Ministry of Education), College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China

3 College of Geography and Tourism, Shandong Qufu Normal University, Jining 273165, China

4 China Research Academy of Environment Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: Ecoregion and its classification systems are increasingly used for enactment of environmental protection policies and management decision, particularly in management, conservation and assessment of natural resources. A number of ecoregion and its classification systems are currently available in the world, with each system defining ecoregions using different classification methods and different types of indices. How to accurately appraise and choose these systems for managing natural resources and environmental decision puzzles the managers and researchers. In this work, the current situation and international advancements of research on ecoregion classifications in the past two decades were summarized, and the differences between main ecoregion and its classification systems in USA and eco-functional regionalization in China were emphatically compared and analyzed. The results indicated that there were remarkable differences in subarea unit connotation, emphases and subarea angles of ecoregions between China and USA. In USA's ecoregion and its classification systems, more attention has paid to natural ecosystems. Particularly in the assessment indexes, human beings are regarded to be on the equality with other organisms in ecosystems. On the contrary, China's eco-functional regionalization gives prominence to the footing of human beings in ecosystems and ecological service function provided for human society by

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项子课题资助项目(2008ZX07526-002-01)

收稿日期:2009-04-02; **修订日期:**2009-07-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhouqx523@yahoo.com

ecosystems. These systems have their merits and limitations. Thus, it will provide with references and suggestions for subsequent study on aquatic ecoregions in China and improving China's eco-functional regionalization through comparative study on these systems.

Key Words: ecoregion; eco-functional regionalization; natural ecosystem; ecological service function

长期以来,人们习惯于在政治行政单元、地理单元(如平原、流域等)分区的基础上开展区域资源与环境的管理和评价,或是基于某一单个自然要素如地表植被、土壤等自然资源的地域分区框架,各自独立管理某一特定的资源与环境。这种单一要素局部的资源环境管理模式,已难以有效地、系统地解决生态环境问题,越来越多的研究者和政府机构认识到从整个生态系统的角度研究和管理自然资源与环境的重要性,基于生态系统的区域划分便成为生态系统管理的核心。20 世纪 70 年代出现的生态分区理论,便是从生态系统和生物地理分布的角度上提出的一种多尺度生态区域分级嵌套区划和评价系统,为资源开发、保护和环境管理提供了新的有效方法^[1-2]。20 世纪 90 年代以后,生态分区在地区、国家和世界范围得到广泛开展和应用,基于生态区的分区系统管理和环境保护,已经成为当前世界各国环境管理者和政策制定者研究的热点问题^[2]。

1 国外生态分区研究概况及其研究特点

1.1 国外生态分区研究概况

自从 1976 年美国生态学家 Bailey 开展真正意义上的生态分区以来,基于生态分区的资源管理和环境保护的重要性已得到人们的公认^[2]。近几十年来,随着世界各国资源环境问题的日益凸显,与生态分区相关的研究在各国得到大量开展,利用 ISI WEB KNOWLEDGE 检索生态分区和基于生态分区为基本单元开展研究所发表的 SCI 收录论文数量,可以看出在 20 世纪 90 年代开始飞速增长(图 1)。究其原因,不外乎是 20 世纪 90 年代后,资源环境问题由局部上升到全球,单一片面的资源环境的管理和保护措施已不能适应全球变化趋势,以整体生态系统为基础的综合管理逐渐为人们所重视,而生态分区体系便是其基本框架和依据,使得生态分区的相关研究在 20 世纪 90 年代后迅速增长^[2-3]。在这 20a 的时间里,生态分区研究从最初的地域研究扩展到整个国家,进而上升到对全球的陆地^[4]、淡水^[5]以及沿海大陆架和海洋进行生态分区^[6-7]。众多政府管理机构的管理事实表明,在进行区域和国家环境资源调查和评估,制定区域资源管理目标、发展环境生物基准和环境质量标准方面,生态分区体系是一个有效的辅助工具^[8]。

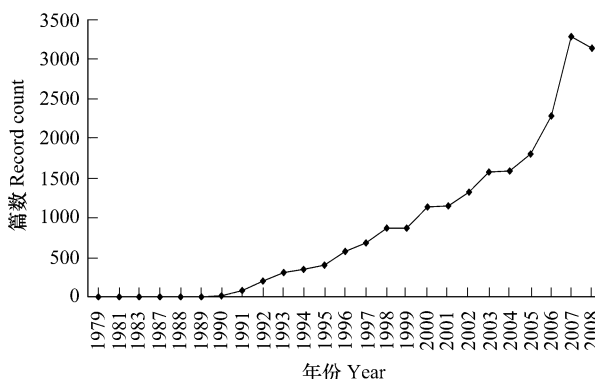


图 1 历年发表的基于生态分区研究的 SCI 收录的论文数量

Fig. 1 The record count of literatures based on ecoregions selected by SCI

1.2 国外生态分区研究主要方向及内容

分析近 20a 的国际生态分区研究,可以看出国际上生态分区研究主要方向和内容集中在以下几个方面。

1.2.1 生态分区方案的构建

开展生态分区目的、对生态系统的认识以及研究团队专业背景的不同,导致不同的管理部门和研究者构建出不同的生态分区体系。出于优化美国的森林、牧场和土地管理与利用, Bailey 与其在美国林务局的同事于 1976 年首次构建了一个分等级的全美生态分区体系,采用影响不同尺度区域生态系统组成和结构的控制因素为分区指标,构建了一个地域、省、区和地段分级嵌套生态分区体系^[9]。而以 Omernik 为代表的美国国家环境保护署(EPA)在 Bailey 生态分区框架上,进一步发展了适应流域水质管理和水资源保护的生态分区框

架,综合评价影响生态系统的因素(包括人类活动),划分了不同等级生态区,并改良不同等级生态分区采用不同名称命名的方法,而是分别采用罗马数字表示各级分区^[10]。此后,美国自然资源保护局、土地管理局、地质测绘局等纷纷根据各自需要构建出相应的生态分区体系^[11]。这些资源环境管理机构有着各自不同的生态分区体系,不利于部门间的合作,因此,McMahon 等人在分析美国林务局、自然资源保护局和环保署 3 个部门生态分区体系的基础上,总结优劣,提出构建一个“公共生态区”分区方案以整合现有分区体系,以促进各机构的合作,共同在生态系统的综合视角下管理资源与环境^[11]。与美国 EPA 开展生态分区的同一时间,加拿大环境部采用相似的方法独立地发展了加拿大全国生态分区体系^[12]。在欧洲,欧盟议会于 2000 年 12 月通过水框架协议,第一次在欧洲以大陆尺度的淡水生态分区体系为框架,制定了水生态系统为基础的欧盟地表水水质目标,大大促进了生态分区在欧洲的开展和应用^[13]。除政府管理部门外,一些环境保护组织如世界自然基金会,出于生物多样性保护的目,结合 Bailey 与 Omernik 的生态分区体系,提出自己的生态分区方案,对北美地区、非洲大陆和全球其他地区进行了大范围研究^[14],其侧重点在于选择优先保护的生物多样性区域。

1.2.2 生态分区理论的研究,主要包括生态分区概念、原则和指标体系的构建和探索

尽管生态分区的重要性已为人们所认识,但是对于生态分区的理论基础却没有得到统一的认识,主要体现在分区指标体系、分区方法及原则上,不同人和组织有着不同的看法。Bailey 先后对生态分区概念、生态分区的目的与原则等进行了一系列探讨^[7, 15-16],并强调生态分区在可持续发展的规划设计中的重要性 and 实用性^[1],总结其 1976—1998 年对美国、北美地区和全球大陆开展生态分区的经验,就如何确定生态分区边界归纳了 20 条原则^[17]。Omernik 分析了目前被广泛应用的水文单元流域和生态分区的区别,指出流域作为水文单元在目前环境管理中的误用及局限^[18],并就生态分区体系在开展和应用过程中存在的问题作了探讨^[2]。其他学者如 Loveland 和 Merchant 从地理学和生态学角度讨论了生态分区及制图这一工作的跨学科性,认为生态分区及制图的最大挑战在于如何整合不同学科的知识为其服务,强调针对生态分区制图及使用进行专业培训和教育的重要性^[3]。McMahon 和 Wiken 等论述了生态分区的理论基础,指出生态分区最重要的作用应该是,促进人们对区域地理和生态现象以及这些现象在多个区域间相互作用、相互依赖这一特征的理解,而构建生态分区体系的理论前提则是了解地理现象和生态现象是怎样形成一个生态区,确定每一分区等级的生态区具有什么样的生态功能,并指出,跨学科合作、基金支持和专业教育这 3 个方面,即是科学研究和政府管理相结合在生态分区中的重要性^[19]。

1.2.3 生态分区的区域实践,区域范围从地区、国家到全球,涉及不同地域尺度和不同生态分区等级水平

美国林务局从 1976 年到 1998 年先后对美国、北美、全球陆地开展生态分区研究^[1]。美国 EPA 和其他政府机构也出于自身需要对美国各州及全国开展生态分区^[2]。世界自然基金会出于生物多样保护的目在北美^[20]、印度太平洋^[21]、非洲^[22-23]以及全球开展陆地、淡水和沿海生态区划,将全球陆地生态系统划分为 825 个陆地生态区和 450 个淡水生态区^[4-5]。此外,欧洲^[13]、澳大利亚^[24]等国的研究者或政府也相继开展各自区域的生态分区研究,生态分区在世界范围内得到了广泛开展。

1.2.4 生态分区体系的修正、完善、验证

在生态分区框架下,对区域生物特征、地方特有物种种群结构、动植物区系、区域生物多样性的调查、识别以及与周围环境因子包括人类干扰的响应关系开展评价和研究,并完善和修正现有的生态分区框架体系。对现有生态分区框架补充和完善大多是针对淡水生态分区,因为现有淡水生态分区大多是以数据丰富完整的鱼类种群为分区指示物种,其他水生生物为参考^[20],所以后来的研究者一般用水生脊椎动物^[25]、底栖无脊椎动物^[26]、大型底栖无脊椎动物^[27-28]、水生昆虫^[29]等为指示生物,来完善和补充现有生态分区体系,并评价特定淡水生态分区的生态完整性等。

1.2.5 基于生态分区体系的资源与环境管理、评价以及环境保护研究

现有的环境管理体系大多是基于单要素的环境管理与保护,如何将新的生态区划体系纳入原有管理体系

之中,许多学者做出了有益的探索。运用生态分区体系进行环境管理主要有基于生态分区开展环境监测与评价^[30-32],区域资源管理以及生物多样性保护等^[32-34]。此外,还有学者针对不同生态分区体系与现在使用的区划体系进行比较,如 Mackey 等人运用两种方法对澳大利亚进行生态分区并用独立的数据对这两种生态分区方案进行比较和评价^[24]。对同一区域的不同生态分区方案进行比较,运用独立的生态变量评价不同分区方案的效率,如评价某一生态环境要素在同一生态区内的最大相似程度和不同生态区之间的最大差异程度,以验证分区的合理性等等^[35-38],如 Snelder 等人用河流无脊椎动物种群、水化学特征和水文指标这 3 类参数,运用相似性分析对两种法国水生态分区框架体系的分区效率情况进行比较评价,发现这两种生态分区框架的分区效率相差不大,不同分区程序和方法对大尺度水生态分区的效率和结果影响不大^[35]。

2 中国的生态分区研究进展

2.1 中国生态功能分区研究概况

我国真正意义上大规模开展的生态分区,是 2003 年由国家环保总局(国家环境保护部前身)组织开展的生态功能区划。在此之前,傅伯杰、刘国华等从生态系统结构与生态功能区划相统一的角度,提出了中国的生态区划原则、目标、任务、特征以及区划^[39-42],为生态功能区划的开展构筑了理论基础。国家环境保护部正是在傅伯杰等人的基础上,发布了《全国生态功能区划暂行规程》^[43],并按照规程设计的分区体系,在中国全国范围内开展陆地生态功能区划,于 2008 年完成全国生态功能区划^[44]。按照《全国生态保护“十一五”规划》,今后将进一步完善国家和地方生态功能区划,确定不同地区的生态、环境承载力和主导生态功能,对重点生态功能保护区分期分批开展保护与建设^[45]。

除国家环境保护部开展的全国和省域生态功能区划外,我国部分学者如杨勤业^[46-47]、吴绍洪^[48-50]等从生态地理的角度提出生态地域系统或生态地理区域系统分区的中国框架和指标体系。苗鸿等根据人类活动对自然资源和生态环境构成的压力程度,制定了中国生态环境胁迫过程区划方案^[51]。倪健等在西北干旱区生态区域分异规律的基础上,结合当地的社会经济发展特点,完成了西北干旱区的生态区划方案^[52]。这些不同的生态功能分区方案和框架,对我国的生态功能区划提供了有益的补充和参考。

2.2 中国生态功能分区研究特征

(1)中国生态功能分区使得生态环境保护由以前的单一的生物多样性保护上升到对整个生态系统的生态服务功能的保护。中国的生态功能分区与美国开展的生态分区最重要的不同之处在于,其侧重点是生态系统为人类社会提供的服务功能,突出了人类在生态系统的主导地位。通过评价区域生态系统的主导功能,以区分出需要重点保护的生态功能区,确定将有限的资源投入到最值得保护的生态区域,包括具有典型生境特征和具有丰富生物多样性的生态分区和受人类活动干扰严重的生态敏感性脆弱的生态区。

(2)中国生态功能分区的原则和依据是生态区的主导生态功能。中国省域及全国范围开展的生态功能分区,是在分析区域生态特征、生态系统服务功能与生态敏感性空间分异规律的基础上,以确定不同生态区的主导生态功能。区域生态系统的主导功能原则是分区的最根本原则^[44]。

(3)中国生态功能区划把自然生态系统与人工生态系统相结合,强调二者的紧密联系。生态功能区划将生态服务功能分为生态调控、产品提供和人居保障三大类主体生态功能,前二者视自然生态系统的服务功能,而人居保障则是作为人工生态系统的城市生态系统所具有的生态功能。二者相互影响,外部表现便是区域生态系统的主导生态功能。生态功能区划的二级和三级区划指标体系主要是生态系统类型及其影响因素指标,尤其是人类社会经济活动的影响指标。而在目前人类社会所构筑的人工生态系统遍布许多区域的情况下,中小尺度区域生态功能很大程度受到人类社会与经济活动因素的影响。

3 美国主要生态分区框架与中国生态功能分区对比分析

不同的生态分区目的,决定不同的生态分区框架和分区方法。目前世界上最具影响的生态分区框架主要是以 Bailey 为代表的美国林务局开展的生态分区体系、以 Omernik 为代表的美国 EPA 开展的生态分区体系以及世界自然基金(WWF)对北美地区开展的生态分区框架。为方便起见,以下将这 3 个分区系统称为美国系

统,对这 3 个分区体系与中国生态功能区划体系(简称中国系统)进行对比分析(表 1)。

表 1 中美生态区划框架分析比较
Table 1 Comparative analysis of eco-regionalization frameworks between USA and China

项目 Item	Bailey 生态区划 Bailey's ecoregional classification framework	Omernik 生态区划 Omernik's ecoregional classification framework	世界自然基金 会生态区划 WWF's secoregional classification framework	中国生态功能区划 Chines eco-functional classification framework
开展机构 Organizations	美国林务局	美国环境保护署	世界自然基金会	中国环境保护部
分区目标 Purpose of classification	优化美国的森林、牧场和土地管理和利用	实施有效的水质管理和水资源保护	促进全球重点生物多样性和生态过程的保护	确定不同地区的生态环境承载力和主导生态功能,对重点生态功能保护区分期分批开展保护与建设
分区体系 Ecoregional classification frameworks	I 级分区 地域:控制因素为气候,参照柯本气候类型划分法,基于降水和气温指标,全球划分为 4 个地域,4 个区域在美国皆有分布;II 级分区 区:控制因素为气候,基于确定的植被分类如草原或森林,并考虑到土壤分带性;III 级分区 省:控制因素为演替顶极植物群系,地形也是重要的划分因子;IV 级分区 地段:参考 Kuchler 全美潜在自然植被分区法,指标为植被类型	基于植被、地形、土壤、气候、水质、人类活动等影响因素,根据专家判断和各影响因子的权重,划分各级生态区;分为 4 级(I 级区、II 级区、III 级区、IV 级区),以罗马数字命名各级生态区。各级生态分区皆考虑其所有影响因素	根据生态系统的生态特征和保护地位,确定不同等级的生态分区,分为生物地理带、主要生境类型、生态复合体、生态分区 4 级;判断生态特征的因子有生物多样、地方特有种等,判断保护地位的因子主要有人类活动干扰、物种稀有程度等	生态功能一级区:根据生态系统的自然属性和所具有的主导服务功能类型,将全国划分为生态调节、产品提供与人居保障 3 类,31 个区;生态功能二级区:生态功能二级区:依据生态功能重要性划分,有 9 类 67 个;生态功能三级区:生态系统与生态功能的空间分异特征、地形差异、土地利用的组合来划分,全国划分为 216 个
分区方法 Methods	控制因素法	证据权重法和专家判断法	专家判断法	专家判断法与定量分析法
应用 Applications	基于资源规划法案和政府绩效结果法案的国家评价与报到;区域多尺度森林分析与评价;基于国家森林管理法案的森林水平的分析与规划等	发展水质生物基准;确定水质管理目标;州水质评价等	全球生物多样性保护	划定国家重点生态功能保护区以进行保护;分析各重要生态功能区的主要生态问题,分别提出生态保护主要方向;指导区域生态保护与生态建设、产业布局、资源利用和经济社会发展规划
特征 Attributes	采用影响每一等级区域的控制因素划分生态区,未考虑人类活动	综合所有影响因素,确定在各个等级生态区影响因素的权重,以此来分区	从生态特征和保护地位,综合所有因素,并按照证据权重法划分区域	根据生态系统提供的服务功能类型不同,划分不同区域;突出了人类活动的影响

(1)分区单元的生态内涵不同 中国生态功能分区属于生态分区,但是与美国的生态分区的内涵还是有较大差别。对于生态分区的基本单元生态区的定义,尽管 Bailey^[17]、Omernik^[2]和 WWF^[4-5]各自有着不同的看法,但是都同样是指生态过程和地理特征同质的区域,生态功能区是指区域生态系统提供的服务功能相似的区域,仍然属于生态区范畴,只是突出了区域生态过程所表现出的生态服务功能。中国系统根据各生态系统表现出的生态服务功能类型分区,而美国系统则是综合生态系统的组成、结构及影响因素分区,其重点在生态系统的生物多样性和生物特征。分区指标体系不同,各级生态区代表的生态意义也就有所差异。在大尺度上,即所谓的一级的生态区(美国系统)与一级生态功能区(中国系统),其生态内涵和意义实际并无多大差别。但是在中小尺度上,二级、三级甚至更低一级分区却有很大差别。小尺度的生态亚区和二级三级生态功能区,因其分区指标代表意义不同,其区域的生态内涵差别很大(表 1),因而在使用生态分区体系进行实际的资源管理和环境保护中需要特别意识到这一点,而明白各自的生态内涵对于灵活运用生态分区系统有效管理具有重要意义。

(2)分区侧重点不同 无论是美国林务局、EPA 还是 WWF,都更加侧重于自然生态系统,是以自然生态

系统为中心,虽然美国 EPA 与 WWF 都考虑了人类活动对自然生态系统的干扰,但却是把人类作为整个生态系统的一个部分与其他生态系统组成一起考虑,基本上属于自然生态区划,而中国系统则是结合自然生态系统与人工生态系统,突出自然生态系统对人工生态系统的响应,以确定出不同生态功能区的主要生态环境问题类型,事实上更多地是以人类为中心。二者中心不一样。无论是以自然生态系统为主体,还是以人工生态系统为主体,二者没有优劣之分,只是适合不同的管理和研究目的,适用于不同的区域生态环境状况。

(3) 分区角度不同 虽然美国林务局、EPA 的生态分区体系在分区方法上不同,但是都反对将陆地生态系统和淡水生态系统隔离开来单独进行分区,强调将陆地和淡水生态系统综合在一个生态分区框架之下,认为分开进行分区并不是真正意义上从生态系统的角度开展分区^[18, 53]。虽然世界自然基金会出于生物多样性保护的需要,从陆地生态分区、淡水生态分区和海洋生态分区 3 个部分开展生态分区,根据物种组成类型的不同,以此确定各生态区保护的重要性程度^[14],但其在在大尺度水平上分区指标仍是最基本的自然要素,即气候和陆地植被方面的综合因素。可知从完整的生态系统角度分区、管理和评价资源环境,已经成为共识,而目前中国生态功能分区更加侧重于陆地生态系统。

因此,从生态系统整体的角度上开展生态分区,必须联系陆地和淡水生态系统,二者不能隔离开来。分析美国系统和中国系统的优劣,可以进一步完善我国现有生态分区系统。

4 我国生态分区研究展望

目前,国际上生态分区主要从陆地、淡水、海洋 3 个方面开展了研究,特别是陆地和淡水生态分区已得到广泛探讨。而我国刚刚完成陆地生态功能分区,淡水生态分区研究才刚刚起步^[54-55],尚无沿海大陆架生态分区的研究。因此,对于以后的研究,应该着重从以下几个方面进行考虑。

(1) 我国的生态功能区划强调人工生态系统在整个生态系统中的地位,偏重于评价生态系统对人类的服务功能,与生态系统整体观并不一致,某种程度上还具有一定的片面性和功利性。人工生态系统是自然生态系统的一部分,不能忽视当然也不能过于强调。一个生态系统的服务功能是多样化的,以区域主导生态功能分区不能完全概括一个生态系统的所有生态功能。因此,应该结合原有的自然区划,结合基于生物多样性保护目的而划分的自然保护区和重点生态功能区保护区。同时,需要加大资源与生态环境状况的普查力度,制定详细的生物地理区系目录,以完善现有生态分区体系。

(2) 生态功能区划需要各个资源与环境管理机构的合作与共同努力。在美国,不同的资源管理部门的生态分区体系限制了各个部门间的合作,整合这些生态分区体系需要大量努力,而我国目前则不存在这样的情况。而且,我国真正意义上只有生态功能区划体系,因此就更需要联合多个相关的资源与环境管理部门,组成多个专业背景的团队,真正能够从生态系统的高度来管理资源与环境。

(3) 水生生态分区与陆地生态分区体系的结合。水生生态系统与陆地生态系统是相互影响、相互作用的,在同一区域,不能割离开来对待。如水生昆虫、两栖动物等物种都是横跨水生和陆地生态系统两个生态系统。对我国主要流域开展水生生态分区,必须参照陆地生态功能分区,使二者统一在一个框架之内,以便为管理者和研究者服务。

References:

- [1] Bailey R G. Ecoregion-based design for sustainability. New York USA: Springer-Verlag, 2002.
- [2] Omernik J M. Perspectives on the nature and definition of ecological regions. *Environmental Management*, 2004, 34(Suppl 1): S27-S38.
- [3] Loveland T R, Merchant J M. Ecoregions and ecoregionalization: Geographical and ecological perspectives. *Environmental Management*, 2004, 34(Suppl 1): S1-S13.
- [4] Olson D M, Dinerstein E, Wikramanayake E D, Burgess N D, Powell G V N, Underwood E C, Dámico J A, Itoua I, Strand H E, Morrison J C, Loucks C J, Allnutt T F, Ricketts T H, Kura Y, Lamoreux J F, Wettengel W W, Hedao P, Kassem K R. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *Bioscience*, 2001, 51(11): 933-938.
- [5] Abell R, Thieme M L, Revenga C, Bryer M, Kottelat M, Bogutskaya N, Coad B, Mandrak N, Balderas S C, Bussing W, Stiassny M L J, Skelton P, Allen G R, Unmack P, Naseka A, Ng R, Sindorf N, Robertson J, Armijo E, Higgins J V, Heibel T J, Wikramanayake E, Olson D, López H L, Reis R E, Lundberg J G, Pérez M H S, Petry P. Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater

- biodiversity conservation. *Bioscience*, 2008 58(5): 403-414.
- [6] Spalding M D, Fox H E, Allen G R, Davidson N, Ferdana Z A, Finlayson M, Halpern B S, Jorge M, Lombana A, Lourie S A, Martin K D, McManus E, Molnar J, Recchia C A, Robertson J. Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas. *Bioscience*, 2007, 57(7): 573-583.
- [7] Bailey R G. Ecoregions: The ecosystem geography of the oceans and continents. New York USA: Springer-Verlag, Inc, 1998.
- [8] Cheruvilil K S, Soranno P A, Bremigan M T, Wagner T, Martin S L. Grouping lakes for water quality assessment and monitoring: The roles of regionalization and spatial scale. *Environmental Management*, 2008, 41(3): 425-440.
- [9] Bailey R G. Ecoregions of the United States (map), Utah Scale 1:7 500 000. USDA Forest Serv Intermtn Reg Ogden, 1976.
- [10] Omernik J M. Ecoregions: a spatial framework for environmental management. Biological assessment and criteria: Tools for water resource planning and decision making. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1995: 49-62.
- [11] McManhon G, Gregonis S M, Waltman S W, Omernik J M, Thorson T, Freeouf J A, Rorick A H, Keys J E. Developing a spatial framework of common ecological regions for the conterminous United States. *Environmental Management*, 2001, 28(3): 293-316.
- [12] Bailey R G, Zoltau S C, Wikenc E B. Ecological regionalization in Canada and the United States. *Geoforum*, 1985, 16(3): 11.
- [13] Zogaris S, Economou A N, Dimopoulos P. Ecoregions in the southern balkans: should their boundaries be revised. *Environmental Management*, 2009, 43(4): 682-97.
- [14] Olson D M, Dinerstein E. The global 200: A representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology*, 1998, 12(3): 502-515.
- [15] Bailey R G. Delineation of ecosystem regions. *Environmental Management*, 1983, 7(4): 365-373.
- [16] Bailey R G, Zoltau S, Wiken E. Ecological regionalization in Canada and the United States. *Geoforum*, 1985, 16(3): 265-275.
- [17] Bailey R G. Identifying ecoregion boundaries. *Environmental Management*, 2004, 34(Suppl 1): S14-S26.
- [18] Omernik J M. The misuse of hydrologic unit maps for extrapolation, reporting, and ecosystem management. *Journal of the American Water Resources Association*, 2003, 39(3): 563-573.
- [19] Memahon G, Wiken E B, Gauthier D A. Toward a scientifically rigorous basis for developing mapped ecological regions. *Environmental Management*, 2004, 34(Suppl 1): S111-S124.
- [20] Abell R, Olson D, Dinerstein E, Hurley P T. Freshwater Ecoregions of North America: A Conservation Assessment. Washington D C: Island Press, 1999: 310-319.
- [21] Wikramanayake E, Dinerstein E, Loucks C J, Pimm S. Terrestrial ecoregions of the Indo-Pacific: A conservation assessment. Washington, D C: Island Press, 2002: 1-7.
- [22] Burgess N D, Hales J D, Underwood E, Dinerstein E, Olson D, Itoua I, Schipper J, Ricketts T, Newman K. Terrestrial ecoregions of Africa and Madagascar: a conservation assessment. Washington D C: Island Press, 2004: 644.
- [23] Thieme M L, Abell R, Stiassny M L J, Skelton P, Lehner B, Dinerstein E, Teugels G G, Burgess N, Toham A K, Olson D. Freshwater Ecoregions of Africa and Madagascar: A Conservation Assessment. Washington D C: Island Press, 2005: 431.
- [24] Mackey B G, Berry S L, Brown T. Reconciling approaches to biogeographical regionalization: a systematic and generic framework examined with a case study of the Australian continent. *Journal of Biogeography*, 2008, 35(2): 213-229.
- [25] Van Sickle J, Hughes R M. Classification strengths of ecoregions, catchments, and geographic clusters for aquatic vertebrates in Oregon. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3): 370-384.
- [26] Rabeni C F, Doisy K E. Correspondence of stream benthic invertebrate assemblages to regional classification schemes in Missouri. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3): 419-428.
- [27] Metzeling L, Tiller D, Newall P, Wells F, Reed J. Biological objectives for the protection of rivers and streams in Victoria, Australia. *Hydrobiologia*, 2006(1), 572: 287-299.
- [28] Heino J, Muotka T, Paavola R, Hämäläinen H, Koskeniemi E. Correspondence between regional delineations and spatial patterns in macroinvertebrate assemblages of boreal headwater streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 2002, 21(3): 397-413.
- [29] McCreadie J W, Adler P H. Ecoregions as predictors of lotic assemblages of blackflies (diptera: Simuliidae). *Ecography*, 2006, 29(4): 603-613.
- [30] Jensen M E, Goodman I A, Bourgeron P S, Poff N L, Brewer C K. Effectiveness of biophysical criteria in the hierarchical classification of drainage basins. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(5): 1155-1167.
- [31] Schroder W, Pesch R, Schmidt G. Identifying and closing gaps in environmental monitoring by means of metadata, ecological regionalization and geostatistics using the UNESCO Biosphere Reserve Rhoen (Germany) as an example. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006 114(1): 461-488.
- [32] Handcock R N, Donald G E, Gherardi S G. Three regionalised analyses of a time-series of annual pasture production for southwest Western Australia. *Igarss: 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2007, 1-12: 801-804.
- [33] Pfueller S L. Role of bioregionalism in bookmark biosphere reserve, Australia. *Environmental Conservation*, 2008, 35(2): 173-186.
- [34] Griffith J A, Stehman S V, Loveland T R. Landscape trends in Mid-Atlantic and southeastern United States ecoregions. *Environmental Management*, 2003, 32(5): 572-588.
- [35] Snelder T H, Pella H, Wasson J G, Lamouroux N. Definition Procedures Have Little Effect on Performance of Environmental Classifications of Streams and Rivers. *Environmental Management*, 2008, 42(5): 771-788.
- [36] Van Sickle J, Hughes R M. Classification strengths of ecoregions, catchments and geographic clusters for aquatic vertebrates in Oregon. *Journal of*

- the North American Benthological Society, 2000, 19(3): 370-384.
- [37] Hawkins C, Norris R. Performance of different landscape classifications for aquatic bioassessments: introduction to the series. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(3): 367-369.
- [38] Snelder T, Biggs B, Woods R. Improved eco-hydrological classification of rivers. *River Research and Applications*, 2005, 21(6): 609-628.
- [39] Liu G H, Fu B J. The principle and characteristic of ecological regionalization. *Advances in Environmental Science*, 1998, 6(6): 67-72.
- [40] Fu B J, Chen L D, Liu G H. The objectives, tasks and characteristics of China ecological regionalization. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(05): 591-595.
- [41] Fu B J, Liu G H, Meng Q H. Eco-regionalization of west China and its regional development countermeasures. *Arid Land Geography*, 2000, 10(04): 279-287.
- [42] Fu B J, Liu G H, Chen L D, Ma K M, Li J R. Scheme of ecological regionalization in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(01): 1-6.
- [43] Bureau of Chinese Environmental Protection. The provisional criterion of eco-functional regionalization, 2003.
- [44] Ministry of Chinese Environmental Protection and Chinese Science Academy. Eco-functional regionalization of China, 2008.
- [45] Bureau of Chinese Environmental Protection. The 11th five-planning of Chinese ecological protection, 2007.
- [46] Yang Q Y, Li S C. Some themes on eco-regionalization of China. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 596-601.
- [47] Yang Q Y, Zhen D, Wu S H. The study of Chinese ecogeographic region system. *Advance in Nature Science*, 2002, 12(3): 287-291.
- [48] Wu S H, Zhen D. New Recognition on Boundary between Tropical and Subtropical Zone in the Middle Section of Ecogeographic System. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(6): 689-697.
- [49] Wu S H, Yang Q Y, Zheng D. An Index System for Boundaries of Eco-geographical Regions of China. *Progress in Geography*, 2002, 21(4): 302-310.
- [50] Wu S H, Yang Q Y, Zheng D. Comparative Study on Eco-geographic Regional Systems between China and USA. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 686-694.
- [51] Miao H; Wang X K, Ouyang Z Y. Study on regionalization of eco-environmental stress process in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 7-13.
- [52] Ni J, Guo K, Liu H J, Zhang X S. Ecological regionalization of arid lands in northwestern China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 175-184.
- [53] Omernik J M, Bailey R G. Distinguishing between watersheds and ecoregions. *Journal of the American Water Resources Association*, 1997, 33(5): 935-949.
- [54] Meng W, Zhang Y, Zheng B H. Aquatic ecological region approach and its application in China. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 293-300.
- [55] Meng W, Zhang Y, Zheng B H. Study of aquatic ecoregion in Liao River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 911-918.

参考文献:

- [39] 刘国华, 傅伯杰. 生态区划的原则及其特征. *环境科学进展*, 1998, 6(6): 67-72.
- [40] 傅伯杰, 陈利顶, 刘国华. 中国生态区划的目的、任务及特点. *生态学报*, 1999, 19(5): 591-595.
- [41] 傅伯杰, 刘国华, 孟庆华. 中国西部生态区划及其区域发展对策. *干旱区地理*, 2000, 10(4): 279-287.
- [42] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 中国生态区划方案. *生态学报*, 2001, 21(1): 1-6.
- [43] 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程, 2003.
- [44] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态功能区划, 2008.
- [45] 国家环保总局. 全国生态保护“十一五”规划, 2007.
- [46] 杨勤业, 李双成. 中国生态地域划分的若干问题. *生态学报*, 1999, 19(5): 596-601.
- [47] 杨勤业, 郑度, 吴绍洪. 中国的生态地域系统研究. *自然科学进展*, 2002, 12(3): 287-291.
- [48] 吴绍洪, 郑度. 生态地理区域系统的热带北界中段界线的新认识. *地理学报*, 2000, 55(6): 689-697.
- [49] 吴绍洪, 杨勤业, 郑度. 生态地理区域界线划分的指标体系. *地理科学进展*, 2002, 21(4): 302-310.
- [50] 吴绍洪, 杨勤业, 郑度. 生态地理区域系统的比较研究. *地理学报*, 2003, 58(5): 686-694.
- [51] 苗鸿, 王效科, 欧阳志云. 中国生态环境胁迫过程区划研究. *生态学报*, 2001, 21(1): 7-13.
- [52] 倪健, 郭柯, 刘海江, 张新时. 中国西北干旱区生态区划. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 175-184.
- [54] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景. *水科学进展*, 2007, 18(2): 293-300.
- [55] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 辽河流域水生生态分区. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 911-918.