

DOI: 10.5846/stxb201306091529

蒋艳, 曾肇京, 张建永. 基于基尼系数的中国水生态分区研究. 生态学报, 2015, 35(7): 2177-2183.

Jiang Y, Zeng Z J, Zhang J Y. Establishment of aquatic ecosystem divisions based on the environmental Gini coefficient in China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2177-2183.

## 基于基尼系数的中国水生态分区研究

蒋 艳<sup>1,\*</sup>, 曾肇京<sup>2</sup>, 张建永<sup>2</sup>

1 中国水利水电科学研究院, 北京 100038

2 水利部 水利水电规划设计总院, 北京 100011

**摘要:**提出了反映水生态系统空间分布规律和特征差异的水生态分区方案, 并与国家现有的水资源分区、生态功能区划、水功能区划等相关区划成果相互衔接, 为水资源综合利用、流域生态保护和经济社会发展规划提供实用的自然基础。以我国自然地理特征的空间变异与地域关联为依据, 以流域为基本单元, 进行水生态区划的初步研究, 提出了分区的指标体系、步骤和区划方法, 形成了两级的全国水生态分区体系。首先, 划分为东部区、中部区、西北区和西南区 4 个水生态一级区; 进行水生态二级区划时选取水资源量、降雨量、人口密度、NDVI 作为分区的评价因子, 根据洛伦茨曲线和基尼系数对分区合理性进行了检验。验证结果表明, 各个水生态二级区的水资源量与降雨量、人口密度和 NDVI 值之间的基尼系数均不超过 0.4, 分区方案比较合理, 从而形成 34 个水生态二级区, 分布在东部 13 个, 中部 10 个, 西北 6 个, 西南 5 个。

**关键词:**水生态系统; 水生态区划; 指标体系; 基尼系数; 洛伦茨曲线

## Establishment of aquatic ecosystem divisions based on the environmental Gini coefficient in China

JIANG Yan<sup>1,\*</sup>, ZENG Zhaojing<sup>2</sup>, ZHANG Jianyong<sup>2</sup>

1 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China

2 Water Resources and Hydropower Planning and Design General Institute, MWR, Beijing 100011, China

**Abstract:** The division scheme discussed in this study is based on the characteristics and spatial distribution of aquatic ecosystems; the scheme takes into account natural geographic features, water resources, hydrological characteristics, ecosystem functions, environmental and socio-economic conditions, and the impact of water conservancy projects on watersheds. It is based on divisions within China based on natural geography, ecological function, water resources, and water functions. This study proposes the establishment of national water eco-region divisions, including an indexing system, specific methods for establishment of divisions, and a sequence of steps for dividing water eco-regions. This study also divided watersheds nationwide into various water eco-regions, which were subsequently evaluated and verified using economic test procedures. The proposed water eco-regions would provide a viable basis for the comprehensive utilization of water resources, ecological protection, and economic and social development, for general planning of nationwide watersheds. There are three landforms extending from west to east in China, together with a dry and wet area stretching from the northwest to the southeast. Water eco-regions take into account existing physical geography, climate, water resources, and ecological conditions, as well as national ecological function zoning and water districts. From the perspective of systems analysis, we propose an indicator system that includes three layers, namely target, feature, and index layers; these provide a reflection of the spatial distribution of regional natural geographical and climatic conditions, water resources, aquatic

**基金项目:**国家自然科学基金(50709033); 中国水利水电科学研究院专项(水功能区限制纳污红线制度建设对策与措施)

**收稿日期:**2013-06-09; **修订日期:**2014-10-13

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangyan@iwhr.com

ecosystems, human activities, the layout of economic and social structures, and ecological differences. The index layer included 11 indices; the key indicators among these for division of water eco-regions are landform, vegetation cover, and depth of annual runoff. A set of secondary indicators was used to adjust and correct the preliminary subdivisions; this included altitude, the status of aquatic systems, important protected species, the distribution of rivers and lakes, the location of reservoirs, administrative divisions, population density, and the distribution of large cities. The Gini coefficient (also known as the Lorenz factor) for economic income distribution was applied to evaluate the rationality of the proposed aquatic ecosystems division scheme. The eco-region scheme was adjusted and corrected according to evaluation results. The method took into account total water resources of each eco-region as an evaluation index, as well as rainfall, population density, and the NDVI value of each eco-region as distribution indices; these were used to verify the division schemes using the Gini coefficient and Lorenz curves. Results indicated that the division scheme was reasonable when the Gini coefficient for water resources and amount of rainfall was 0.10, when the coefficient for water resources and population density was 0.40, and when that for water resources and NDVI was 0.32. We propose a two-grade eco-region division system for national aquatic ecosystems. This includes four first-grade aquatic eco-regions, namely the east eco-region, middle eco-region, northwest eco-region, and southwest eco-region. These serve macro-economic management purposes, as well as fulfilling overall layout needs for the development and utilization of water resources and aquatic ecosystems protection. Based on water resource management and facilities for ecological protection and restoration in watersheds, 34 second-grade aquatic eco-regions are proposed, including 13 in the east eco-region, 10 in the middle eco-region, 6 in the northwest eco-region, and 5 in the southeast eco-region. The proposed national water eco-division scheme provides a scientific basis for national ecological protection and construction planning, for maintaining regional ecological security and promoting sustainable social and economic development, and for providing management information and tools for environmental management and decision-making departments.

**Key Words:** aquatic ecosystem, water eco-region division, indexing system, Gini coefficient, Lorenz curve

我国幅员辽阔,河流众多,全国各地气候、水文特征分异复杂,气候特征和地势、地貌等自然条件在空间分布上的差异,决定了我国各类型生态系统发育与演变的自然基础,以及我国社会经济空间格局和发展特点。我国现行的综合自然地理区划<sup>[1-4]</sup>、生态功能分区<sup>[5]</sup>、水资源分区<sup>[6]</sup>、生态水文分区<sup>[7]</sup>以及水环境功能区划<sup>[8]</sup>分别反映了地形地貌、生态、水资源、水生生物和水环境在空间分布上的地域分异特征。各个分区方案均具有相应的针对性,自然地理区划体现了自然地理单元的空间变异性与地域关联性,水资源分区体现了流域分区与行政分区的统分性、组合性与完整性,为流域水资源规划与管理服务,而生态功能分区体现了生态环境要素,生态环境敏感性和生态服务功能空间变异规律,水环境功能区体现了水体的主体功能,是水资源开发利用与保护、水环境综合治理和水污染防治等工作的重要基础。

不同的区划方案围绕着不同的区划目的,但对流域单元作为水生态系统的主导服务功能考虑不足,本文在各个区划方案研究的基础上提出了全国的水生态区划方案,以水生态系统为对象,反映水生态系统的空间分布规律和特征差异,注重自然因素与河流生态系统的相互关系,以自然要素与资源环境协调发展的水生态地理分区为基础,从流域层面出发,综合考虑自然地理特征、水资源状况、水文特征、流域生态环境和社会经济条件,并与国家现有的水资源分区、生态功能区划、水功能区划等相关区划成果相互衔接,充分体现出全国性分区方案的系统性、层次性和协调性,从而为水资源综合利用、流域生态保护和经济社会发展规划提供实用的自然基础。

## 1 研究背景

流域是一个具有相对完整自然生态过程的区域单元,有明显的边界,其组成成分差异明显,由多个具有不

同结构、功能的生态系统组成,且在空间的排列有一定规律,这些生态系统之间发生着有规律的能量流、物质流和物种流,形成相互依存和相互制约的关系,形成以水生态调节功能为主的多种生态服务功能。基于生态分区和地理分类单元开展环境保护与资源管理,已广为世界各国所接受。淡水生态分区是生态分区的一个重要类型,与水文分区和生态功能分区相比,其在管理、评价和保护河流、溪流和湖泊等淡水水体资源、环境及水生生态系统方面,具有不可比拟的优势。许多国家和地区/区域都开展过水生态分区的研究,例如 Omernik 基于地表地貌、土壤、植被和土地利用的分布情况,提出了美国 3 级水生态分区方案<sup>[9]</sup>。目前该分区方案已经开展到 5 级。新西兰环境保护部将全国分成 25 个水生态区<sup>[10]</sup>,南非水务及森林部将全国分成 18 个一级水生态区<sup>[11]</sup>,世界自然基金会(World Wildlife Fund, WWF)和美国大自然保护协会(The Nature Conservancy, TNC)联合绘制了首张基于淡水鱼类生物多样性差异的世界淡水生态分区图等<sup>[12]</sup>。

流域作为基本生态系统进行自然系统区划的基本单元,特别是以小流域作为生态系统研究的单元,取得了突出的成果。孟伟选取径流深度、地貌、土壤、植被和土地利用等指标,在地理信息系统支持下,通过专家综合判断方法将辽河流域划分 2 级体系水生态区,但未对分区结果进行检验<sup>[13]</sup>。杨顺益将定量分析和子流域边界应用于洱海流域水生态分区,建立了一套两级分区体,并用环境响应因子来验证分区的合理性<sup>[14]</sup>。目前对于全国性的水生态分区研究,只停留在提出分区方案以及分区指标体系建立的理论阶段<sup>[15-17]</sup>,未能根据分区方案和评价体系给出全国水生态分区的结果,以及对分区结果进行验证的思路和方法<sup>[18-20]</sup>。本文在已有的自然地理、气候、水资源和生态功能分区成果基础上,综合考虑各种因素(自然地理因素和人为干扰因素)对流域生态环境的影响,结合水生态区域分布特点,以流域作为生态系统管理的基本单元,提出全国水生态分区的研究方案,并对全国水生态区进行了识别与区划,并对分区方案的合理性做了初步的分析与评价。

## 2 水生态区划的方法

### 2.1 分区指标体系

我国由西向东形成的三大阶梯地貌类型,以及自西北向东南延伸的干、湿区分布特征,水生态区与已有自然地理、气候、水资源和全国生态功能分区相协调,并与全国水资源分区相衔接;在区划过程中,应综合考虑区域自然地理和气候条件、区域间的水资源条件、水生态系统,人类活动强度、经济社会布局以及生态结构类型在空间上的分布差异,因此从系统层次分析角度出发,提出包括目标层、要素层和指标层 3 个层级的全国水生态分区指标体系(表 1)。

表 1 全国水生态分区指标体系  
Table 1 Indicator system of water ecological region in country

| 目标层<br>Target layer                   | 要素层<br>Feature layer | 指标层<br>Indicator layer | 指标涵义<br>Implication of indicators |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 水生态分区<br>Water eco-region<br>division | 地形地貌                 | 地貌类型                   | 不同的地貌类型、海拔高度与相对高度塑造               |
|                                       |                      | 海拔高度                   | 不同的河段形态与栖息地类型,体现不同河段的生态特征和水文特征    |
|                                       | 水文气象<br>生态特征         | 植被覆盖度                  | 表示地表植被分布规律,以 NDVI 来表示             |
|                                       |                      | 年径流深度                  | 径流深表示区域地表水资源的丰欠程度                 |
|                                       |                      | 水生态状况                  | 水生态状况体现生态保护目标的区域差异                |
|                                       |                      | 重点保护物种                 | 体现某些河段的生态重要程度                     |
|                                       | 河湖特征                 | 河湖分布                   | 河湖(含湿地)分布反映河湖的空间位置                |
|                                       | 水利工程                 | 水库节点                   | 水库大坝影响区域的自然属性                     |
|                                       | 社会属性                 | 行政区划                   | 行政区划反映行政管理的基本单元                   |
|                                       |                      | 人口密度                   | 人口密度反映了区域经济与社会状况                  |
|                                       |                      | 大城市分布                  | 大城市分布(50 万以上人口)情况反映了区域经济发展水平      |

指标层中的地貌类型、植被覆盖度、年径流深度作为水生态分区的关键指标,用于水生态分区的初步划

分;而海拔高度、水生态状况与重点保护物种、河湖分布、水库节点、行政区划、人口密度和大城市分布作为分区的辅助指标,用于对初步划分的水生态分区单元进行调整与修正。

## 2.2 基尼系数在水生态分区中的应用方法

基尼系数(亦称洛伦茨系数)是经济学中综合考察经济社会中居民收入分配差异状况的指标,由意大利经济学家基尼于 1922 年根据洛伦茨曲线提出,可较直观地反映不同收入的居民在收入分配中所处的位置及分配公平的大致程度,在国际上得到广泛应用。基尼系数的计算如图 1 所示。设实际收入分配曲线(洛伦茨曲线)和收入分配绝对平等曲线之间的面积为 A,实际收入分配曲线右下方面积为 B,并以 A 与 (A+B) 的比值表示不平等的程度,该值称为基尼系数。基尼系数是反映收入分配公平性的判断指标,如果 A 为 0,基尼系数为 0,表示收入分配完全平均,如果 B 为 0,基尼系数为 1,表示绝对不平均,该系数可在 0 和 1 之间取任何值。曲线弧度越大则基尼系数越大,表明分配越不平等。

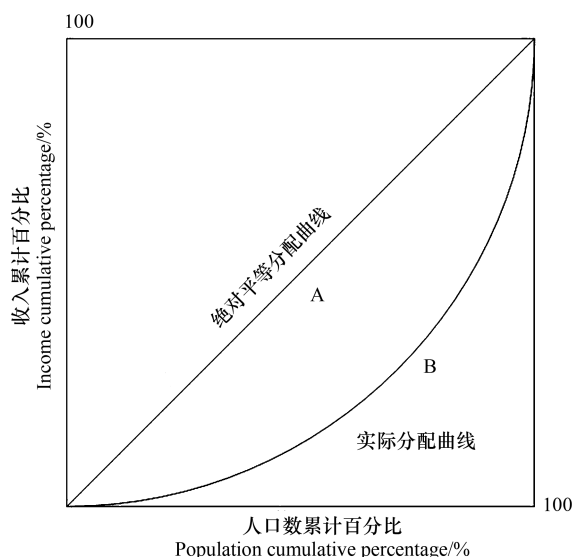


图 1 洛伦茨曲线

Fig.1 The Lorenz Curve

$$G_{ini} = 1 - \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i-1})(Y_i + Y_{i-1})$$

式中,  $X_i$  为评估指标的累计比例(%),  $X_0=0$ ;  $Y_i$  为分配对象控制指标的累计比例(%),  $Y_0=0$ ;  $i$  为分配对象的数量。当基尼系数在 0.2 以下,表示社会收入分配高度平均或绝对平均;0.2—0.3 之间表示相对平均;0.3—0.4 之间为比较合理;0.4—0.5 为差距偏大;0.5 以上为高度不平均。

将基尼系数用于评价水生态分区方案的合理性,同时将评价结果作为分区方案修改的依据,使水生态分区方案更为合理。由于本文所采取的水生态分区方案是基于水资源三级分区的基础上,以各分区的水资源总量作为基尼系数的评估指标( $X_i$ ),以各分区的降雨量、人口密度、NDVI 值作为基尼系数的分配指标( $Y_i$ ),同时将基尼系数为 0.4 作为分区方案合理性的阈值,进而对分区结果进行修正与合并,从而得到最终的水生态分区方案。

## 2.3 分区方法与步骤

全国水生态分区采用空间叠加分析、定性分析与专家判断相结合的方法。具体步骤:①利用 GIS 的空间分析功能,将全国地貌类型图、DEM(数字高程模型)、年径流深分布图、NDVI 分布图,全国水资源分区图、全国生态功能分区图进行叠置,通过多边形的地图运算(合并、交叉、分割等),得到初步的生态分区结果;②以海拔高度、水生态状况与重点保护物种、河湖分布与河段特征、水功能分区、水利工程节点(主要是大、中型水库)位置、行政区划、人口密度和大城市分布作为水生态分区的辅助指标进行综合分析;结合专家组的咨询与判断,对初步的水生态分区结果进行调正与合并;③计算水生态分区方案的基尼系数,绘制洛伦茨曲线,计算各分区水资源量分别与降雨量、人口密度和 NDVI 值之间的基尼系数,若基尼系数超过 0.4,则需要对分区进行调整或修正。

## 3 全国水生态区的划分

依据分区的方法与步骤,首先通过关键性指标对水生态功能区进行初步划分,辅助性指标和专家意见对分区方案进行合并与调正,最后再通过洛伦茨曲线和基尼系统对分区方案进行进一步的调整与修正,重复上述过程,当评估指标-分配指标的基尼系数不超过 0.4 时,最终得到全国水生态分区方案。水生态区实行二级区划体系,水生态一级区包括东部区(242.3 万  $\text{km}^2$ )、中部区(222.0  $\text{km}^2$ )、西北区(255.7 万  $\text{km}^2$ )、西南区

(231.4 万 km<sup>2</sup>);水生态二级区以水资源三级区套地市为基本单元,分为 34 个水生态二级区,并以习惯性的地形地貌名称进行命名(表 2),其具体分布情况为:东部区 13 个(编号 1—13),中部区 10 个(编号 14—23),西北区 6 个(编号 24—29),西南 5 个(编号 30—34),水生态类型分区成果见图 2 所示。

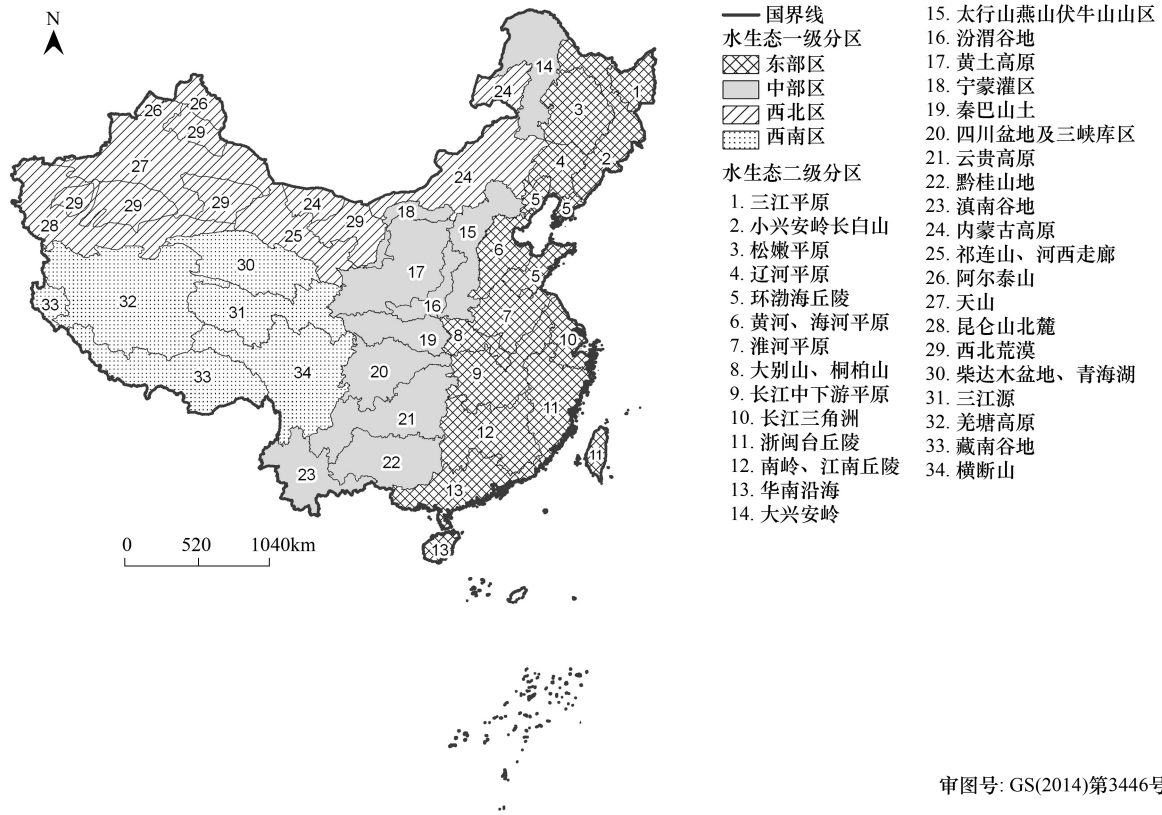


图 2 全国水生态分区图  
Fig.2 Map of water ecological region in country

根据基尼系数法,以 34 个水生态二级区的水资源量为评估指标,水资源量分别与降雨量、人口密度、NDVI 指数绘制洛伦茨曲线(图 3),水资源量-降雨量的基尼系数最小为 0.1,区划方案比较合理;而水资源量-人口密度的基尼系数为 0.4,水资源量-NDVI 指数的基尼系数为 0.32,均处于合理分配的范围之内。

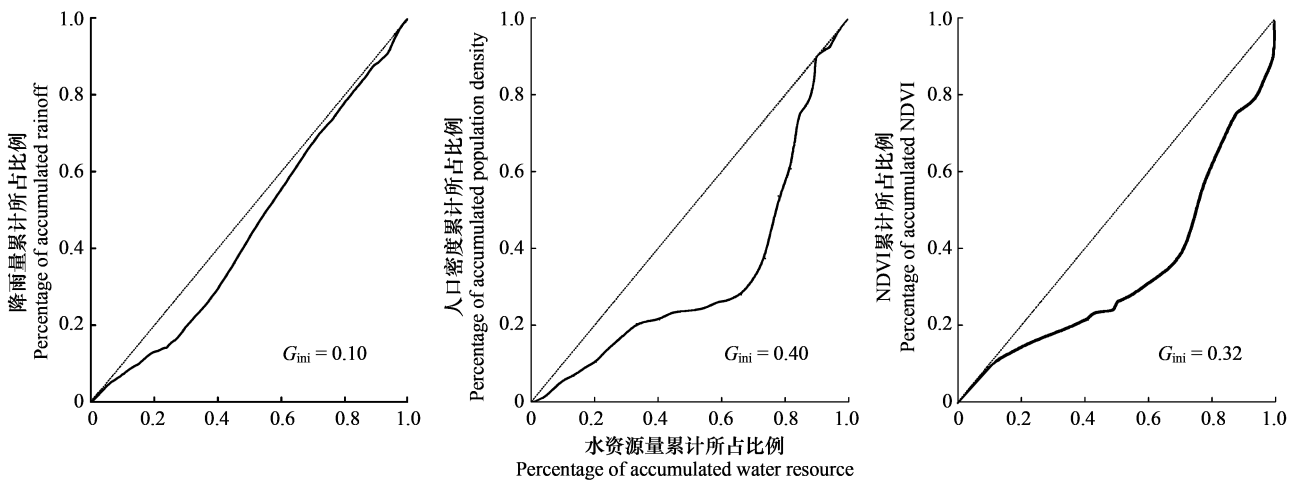


图 3 水资源量与降雨量、人口密度和 NDVI 的洛伦茨曲线  
Fig.3 The Lorenz Curve of water resource and rainfall and population density and NDVI

表 2 全国水生态二级区

Table 2 Characteristic value of water ecological region in country

| 序号<br>No | 水生态二级区名称<br>Name of second-grade watereco-region | 分区面积<br>Area/(10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> ) | 平均海拔<br>Elevation/m | 序号<br>No | 水生态二级区的名称<br>Name of second-grade watereco-region | 分区面积<br>Area/(10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> ) | 平均海拔<br>Elevation/m |
|----------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|
| 1        | 三江平原                                             | 10.23                                           | 154.76              | 18       | 宁蒙灌区                                              | 7.74                                            | 1333.53             |
| 2        | 小兴安岭长白山                                          | 25.14                                           | 491.15              | 19       | 秦巴山地                                              | 15.74                                           | 1434.82             |
| 3        | 松嫩平原                                             | 24.05                                           | 223.09              | 20       | 四川盆地及三峡库区                                         | 22.40                                           | 707.33              |
| 4        | 辽河平原                                             | 11.78                                           | 203.54              | 21       | 云贵高原                                              | 32.72                                           | 1206.46             |
| 5        | 环渤海丘陵                                            | 15.46                                           | 200.18              | 22       | 黔桂山地                                              | 23.96                                           | 965.30              |
| 6        | 黄河、海河平原                                          | 16.02                                           | 40.64               | 23       | 滇南谷地                                              | 19.70                                           | 1585.46             |
| 7        | 淮河平原                                             | 17.86                                           | 65.10               | 24       | 内蒙古高原                                             | 58.69                                           | 1042.34             |
| 8        | 大别山、桐柏山                                          | 8.54                                            | 283.07              | 25       | 祁连山、河西走廊                                          | 26.58                                           | 2327.98             |
| 9        | 长江中下游平原                                          | 23.95                                           | 120.18              | 26       | 阿尔泰山                                              | 10.23                                           | 1284.87             |
| 10       | 长江三角洲                                            | 9.72                                            | 65.90               | 27       | 天山                                                | 56.05                                           | 1520.66             |
| 11       | 浙闽台丘陵                                            | 27.03                                           | 454.62              | 28       | 昆仑山北麓                                             | 44.76                                           | 2827.30             |
| 12       | 南岭、江南丘陵                                          | 27.37                                           | 374.78              | 29       | 西北荒漠                                              | 59.43                                           | 1094.34             |
| 13       | 华南沿海                                             | 25.15                                           | 192.65              | 30       | 柴达木盆地、青海湖                                         | 32.13                                           | 3623.50             |
| 14       | 大兴安岭                                             | 28.74                                           | 628.58              | 31       | 三江源                                               | 33.12                                           | 4390.88             |
| 15       | 太行山燕山伏牛山山区                                       | 23.43                                           | 907.89              | 32       | 羌塘高原                                              | 71.49                                           | 5009.84             |
| 16       | 汾渭谷地                                             | 9.44                                            | 976.70              | 33       | 藏南谷地                                              | 44.18                                           | 4398.39             |
| 17       | 黄土高原                                             | 38.13                                           | 1580.64             | 34       | 横断山                                               | 50.50                                           | 3894.58             |

4 结论

本文结合全国自然地理区划、生态功能分区、水资源分区和水功能分区,以水生态系统为研究对象,综合考虑区域水文水资源特征、河流生态环境功能以及水利工程的影响,提出全国水生态分区指标体系,以及分区的具体方法与步骤。根据经济学中考察居民收入分配的基尼系数(亦称洛伦茨系数),将其应用于评价水生态分区方案的合理性,同时将评价结果作为分区方案调整与修正的依据,以各分区的水资源总量作为基尼系数的评估指标,以各分区的降雨量、人口密度、NDVI 值作为基尼系数的分配指标,通过基尼系数计算公式,得到水资源量-降雨量的基尼系数为 0.10,水资源量-人口密度为 0.40,水资源量-NDVI 为 0.32,得到最终的水生态分区结果。水生态区实行二级区划体系,为满足我国水资源开发利用和水生态保护的宏观管理和总体布局需要,划分水生态一级区;为满足区域或者具体河段水生态保护与修复的管理和措施布设的需要,划分水生态二级区。水生态类型区包括 4 个一级区,34 个水生态类型二级区,其中东部区 13 个,中部区 10 个,西北区 6 个,西南区 5 个。全国水生态分区方案为全国生态保护与建设规划、维护区域生态安全、促进社会经济可持续发展提供科学依据,并为环境管理和决策部门提供管理信息和管理手段。

参考文献(References):

[1] 中国科学院自然区划工作委员会编. 中国综合自然区划. 北京: 科学出版社, 1959: 80-95.

[2] 黄秉维. 中国综合自然区划纲要. 地理集刊, 1989, (21): 10-20.

[3] 全国农业区划委员会,《中国自然区划概要》编写组. 中国自然区划概要. 北京: 科学出版社, 1984: 67-76.

[4] 任美铎, 杨纫章, 包浩生. 中国自然地理纲要. 北京: 商务印书馆, 1992: 114-133.

[5] 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.

[6] 熊怡, 张家楨. 中国水文区划. 北京: 科学出版社, 1995: 1-206.

[7] 尹民, 杨志峰, 崔保山. 中国河流生态水文分区初探. 环境科学学报, 2005, 25(4): 423-428.

- [ 8 ] 夏青. 水环境保护功能区划分. 北京: 海洋出版社, 1989: 1-435.
- [ 9 ] Omernik J M. Ecoregions of the conterminous United States ( Map supplement ). *Annals of the Association of American Geographers*, 1987, 77(1): 118-125.
- [ 10 ] Harding J S, Winterbourn M J. New Zealand Ecoregions; A Classification for Use in Stream Conservation and Management. Wellington: Department of Conservation, 1997.
- [ 11 ] Kleynhans C, Silberbauer M, Kemper N. Preliminary Ecoregion Level 1 Classification for South Africa. Institute for Water Quality Studies. Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry and Institute for Water Research, 1998.
- [ 12 ] Abell R, Thieme ML, 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.
- [ 13 ] 孟伟, 张远, 郑丙辉, . 辽河流域水生态分区研究. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 911-918.
- [ 14 ] 杨顺益, 唐涛, 蔡庆华, 肖文, 汪兴中, 李凤清, 唐佳. 洱海流域水生态分区. *生态学杂志*, 2012, 31(7): 1798-1806.
- [ 15 ] 王家骥. 区域生态规划理论、方法与实践. 北京: 新华出版社, 2001: 52-54.
- [ 16 ] 刘星才, 徐宗学, 徐琛. 水生态一、二级分区技术框架. *生态学报*, 2010, 30(17): 4804-4814.
- [ 17 ] 孙小银, 周启星. 中国水生态分区初探. *环境科学学报*, 2010, 30(2): 415-423.
- [ 18 ] 李艳梅, 曾文炉, 周启星. 水生态功能分区的研究进展. *应用生态学报*, 2009, 20(12): 1-8.
- [ 19 ] 田育红, 任飞鹏, 熊兴, 江源. 国内外水生态分区研究进展. *安徽农业科学*, 2012, 40(1): 316-319.
- [ 20 ] 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.