

# 流域一、二级水生生态分区技术及在辽河流域的应用

徐宗学<sup>1,2</sup>, 刘星才<sup>3,4</sup>, 李艳丽<sup>5</sup>

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 北京师范大学水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875;  
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;  
5. 河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 基于驱动力-压力-状态-影响-响应指标分析框架, 提出水生生态一、二级分区所适用的指标类别, 在环境要素与水生态系统因子相关性分析和环境要素空间变异尺度分析基础上, 建立了流域水生生态一、二级分区指标体系。采用“自上而下”和“自下而上”相结合的分区方法, 在辽河流域进行了水生生态一、二级分区应用研究, 将辽河流域划分为4个水生生态一级分区和8个二级分区, 并对各个水生生态分区的特征进行了总结。辽河流域分区应用表明, 水生生态分区过程中仍然存在较大的主观因素, 尤其是水生生态二级分区边界的确定。

**关键词:** 辽河; 水生生态分区; 流域管理; 水生生物

**中图分类号:** X171.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7647(2015)05-0176-05

**Zoning of aquatic ecoregions at levels I and II: Case study in Liaohe Basin**//XU Zongxue<sup>1,2</sup>, LIU Xingcai<sup>3,4</sup>, LI Yanli<sup>5</sup>(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 5. School of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Indicators for aquatic ecoregions at levels I and a level II are defined according to the driving force-pressure-state-impact-response (DPSIR) framework, and an indicator system is established on the basis of assessment of the relationship between environmental and aquatic ecological components, and the spatial heterogeneity of the environmental components. A combined zoning method moving from top to bottom and from bottom to top is used for zoning of aquatic ecoregions at levels I and II in the Liaohe Basin. The Liaohe Basin is divided into four aquatic ecoregions at level I and eight aquatic ecoregions at level II. The features of each ecoregions are described. It is pointed out that subjective factors still exist in the zoning process of aquatic ecoregions in the Liaohe Basin, especially in determining the boundary of ecoregions at level II.

**Key words:** Liaohe River; zoning of aquatic ecoregion; river basin management; aquatic organism

水生生态分区是流域管理和水体环境治理的一个重要依据<sup>[1]</sup>。美国环境保护局(EPA)以水生生态分区为基础确定了不同区域的水体主要营养物指标基准值,并以此作为分区管理的标准。欧盟也随后开展了水生生态分区研究,在欧盟“水政策管理框架”中明确提出以水生生态分区为基础确定水体环境和质量指标的背景值<sup>[2]</sup>。澳大利亚、英国等也相继开展了水生生态分区及其管理应用研究。分区管理已成为当前各国流域管理的主导思想之一,水生生态分区内涵更加明确、与水体环境治理关系更加密切,已成为流域水环境管理的基本依据。

在我国流域管理发展过程中,分区管理研究早已开始,并取得了较为丰富的理论与实践成果。如20世纪开展的综合自然地理分区、水文分区、水资源分区,以及后来的水功能分区、水环境功能分区、生态分区等。这些分区在我国自然资源的综合管理、区域发展与规划中发挥了重要作用。不过,目前这些分区依然对水生生态系统保护缺乏足够的重视。水生生态系统健康是流域环境管理的重要目标,为了维持流域水生生态系统健康,保证流域环境和经济社会的可持续发展,有必要对现有的流域管理方法和理念进行适当改良与创新,以适应新的形势和要求<sup>[3]</sup>。

欧美等国家针对流域水生生态分区理论和方法进行了长期的研究和探索,大量成果可供我国水生生态分区工作参考。然而,各国进行分区时出发点并不完全相同,而且由于地理条件差异及社会经济发展水平不同,各国对水生生态系统保护的目标及恢复标准也不一样。因此,在参考其他水生生态分区研究成果时,还需要根据我国具体情况开展更深入的探索,以确保我国水生生态分区技术的可操作性与标准化,并提供充分的理论支撑。“十一五”期间,根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》,设立了“水体污染控制与治理科技重大专项”(简称水专项),为我国“十一五”期间污染物排放总量控制和流域管理提供科技支撑。“流域水生生态功能评价与分区技术”即为其中的一个课题,本文整理了该课题部分研究成果,介绍了流域水生生态一、二级分区技术及其在辽河流域的应用。

## 1 流域水生生态分区技术

本研究主要关注流域范围的水生生态一、二级分区。水生生态一级区主要反映区域水资源或水循环空间差异及其导致的水生生态系统特征的空间异质性,水生生态二级分区主要反映地表特征的空间差异以及人类活动(如土地利用变化)对水生生态系统的影响。以辽河流域为例,根据环境要素的空间异质性及其与水生态因子的关系确定了水生生态一、二级分区指标;在此基础上,建立水生生态分区基本框架,并在辽河流域进行了水生生态一、二级分区示范研究。

### 1.1 分区原则

水生生态分区的基本原则包括:①驱动共性原则,即其作为自然地理综合体的最根本特点的产生和发展历史必须具有共同性,没有这种共同性则不能成为一个水生生态分区<sup>[4]</sup>;②区域共轭性原则,即空间连续性原则,指自然区划中区划单元必须保持空间连续且不重复;③综合性原则,此原则强调在进行某一级区划时,必须全面考虑构成环境的各组成成分和其本身综合特征的相似和差别,然后挑选出一些具有相互联系的指标作为确定区界的根据。贯彻综合性原则,目的是要保证所划分的单元是一个具有一定特点的自然综合体,在综合分析的基础上再找出区域分异的主导因素;④主导因素原则,此原则强调选取反映区域分异的主导因素的某一主导标志作为确定区界的主要根据,并且特别强调在进行某一级区划时,必须按统一的指标来划分<sup>[5]</sup>。

### 1.2 分区指标筛选

水生生态分区主要反映了环境要素对水生生态系统的影响,其分区指标即影响水生生态系统的关键因子,

分区指标的筛选则是建立技术框架的关键问题之一。可以作为分区指标的环境要素主要包括气候气象、地形地貌、土地利用和社会经济等几类<sup>[6]</sup>。一般在流域尺度上的一、二级水生生态分区指标以较大尺度因子为宜。在大尺度上,环境要素甚至直接决定了水生生物的空间分布格局,根据环境要素(如土壤、土地利用、地形和自然植被等)划分的水生生态分区可以较好地表征鱼类区系的空间差异性<sup>[7]</sup>。

驱动力-压力-状态-影响-响应(driving force-pressure-state-impact-response, DPSIR)概念框架是构建评价指标体系的常用方法<sup>[8-9]</sup>。本文在已有研究成果<sup>[10-14]</sup>的基础上,基于 DPSIR 框架给出了水生生态分区指标筛选框架(图 1)。与常用的驱动力-压力-响应(DPR)框架不同的是,这里是以水生生态系统为中心,框架中的驱动力主要指影响水生生态系统的环境要素,压力则主要指影响水生生态系统的人类活动。此外,框架中的状态则指水生生态系统的当前状态,如水质状况、水生生态系统健康状况等;影响则指水生生态系统受损害后直接或间接对人类社会与经济造成的影响;响应指人类为改变水生生态系统状态,以及为减轻水生生态系统受损后可能给人类带来的损失所采取的政策和措施。水生生态一、二级分区指标主要对应框架中的驱动力和压力。



图 1 水生生态分区指标筛选 DPSIR 框架

虽然水生生态分区本质上是一个动态的概念,但从其为流域管理服务及分区实际操作角度来说,它至少在一定时期内应该是一个相对稳定的区划。因此,对应的分区指标选取以性质或统计量相对较稳定的指标为主。由于水生生态分区是流域陆地生态系统和水生生态系统的综合区划,即它是一个空间连续的自然区域划分。所以,尽管水生生态分区与水生生态系统本身的状态密切相关,但水生生态因子并不适合作为一、二级

水生生态分区指标。因为流域内水生生态因子通常是空间不连续的,其属性值的获取基本都是基于点位观测,这就限制了水生生态因子属性值在空间上的表征范围。环境要素作为水生生态系统空间差异的驱动因子,在空间上也是连续变化的。因此,采用环境要素对流域进行水生生态一、二级分区较为合理。

### 1.3 分区方法

“自上而下”与“自下而上”方法相结合是水生生态分区的基本方法。“自上而下”区划方法可以保证不同等级的区划结果相对一致,“自下而上”区划方法则是为保证区域共轭性原则而设计<sup>[4]</sup>。两者结合可以兼顾对宏观格局的把握和单元划分的完整性,减少主观因素影响,提高分区操作的可重复性<sup>[15]</sup>。

考虑到不同级别分区尺度的差异和不同指标的作用范围,一般流域水生生态一级分区采用“自上而下”的区划方法,二级分区采用“自下而上”的区划方法。为了保证各分区边界的合理性和划分单元的完整性,二级分区宜采用“自下而上”区划方法确定,即在各个一级分区内,从最基本的区划单元合并得到一个或多个二级分区。在各一级分区内划分出子流域作为最基本的区划单元,基于子流域提取各分区指标值,采用多指标聚类方法得到初步二级分区,在此基础上根据专家知识对边界进行调整,保证其合理性和生态学意义。

## 2 辽河流域水生生态分区

参考美国<sup>[16]</sup>和欧洲<sup>[2]</sup>水生生态分区研究,以及辽河流域环境要素的空间异质性和尺度变异特征<sup>[17]</sup>,确定水生生态一级分区指标为高程、NDVI(normalized difference vegetation index,归一化差分植被指数)、年平均降水量等环境变量<sup>[18]</sup>;二级分区指标则采用主成分分析方法,在驱动力和压力指标中进一步筛选。

### 2.1 辽河流域水生生态一级分区

根据辽河流域高程、年平均降水量和 NDVI 等指标,结合水系分区情况将辽河流域分为 4 个一级水生生态分区,如图 2 所示,分别以罗马数字 I、II、III 和 IV 表示。首先根据各个指标的空间异质性进行叠加分析得到一级分区大致边界,再结合子流域调整分区边界,即接近子流域边界的部分均以子流域边界为准。各一级分区环境特征见表 1。

**a. I 区**覆盖辽河流域东部大部,包括西拉木伦河中上游、乌尔吉木伦河流域大部分、老哈河沟门子上游流域。这一分区降水少,地势较高,水生生物种类也较少,但水质清澈。

**b. II 区**位于辽河流域中部平原,是流域地势最低部分,主要包括西拉木伦河和老哈河下游部分,新

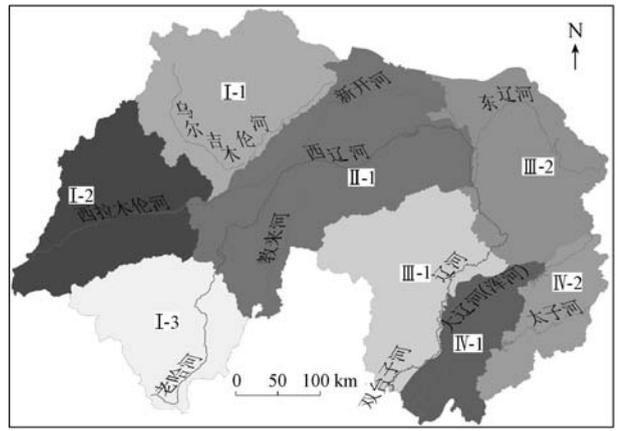


图 2 辽河流域水生生态一、二级分区结果

开河和西辽河几乎全部河段。这一区域地势平坦,广泛种植了农作物,灌溉需水量巨大,区内河流已经断流 10 余年,灌溉主要依靠地下水。该区域年平均降水量不到 400 mm,土壤以沙质为主,难以形成地表径流。

**c. III 区**横跨辽河流域东部和南部,包括东辽河、辽河干流以及辽河下游西部汇入的众多支流。由于该分区包括了东辽河和辽河干流,因此水量充沛,同时也接纳了大量泥沙入河。该区(尤其是东北部的东辽河水系)水生生物物种较为丰富,但辽河干流下游水质很差,多为劣 V 类。

**d. IV 区**位于辽河流域东南部,也即浑太河水系。由于对于辽河干流为相对独立水系,因此将浑太河划分为一个单独的一级分区。这一分区年降水量最高超过 1 000 mm,水量颇丰。但该地区人类活动较为密集,带来了较大的污染,导致浑河和太子河常年水质较差。该分区内上游水质较好的地区水生生物物种也较为丰富。

表 1 辽河流域一级水生生态分区特征

分区	区域特征
I 区	蒙古高原东部,以丘陵为主,高程一般 500 ~ 1 500 m,年平均降水量 200 ~ 400 mm
II 区	地势较平坦,以沙质土壤为主,年平均降水量小于 400 mm
III 区	辽河干流区域和东辽河流域,东部以丘陵为主,干流下游为全流域高程最低部分。水量比较丰富,年平均降水量一般 600 ~ 800 mm
IV 区	浑太水系,与辽河干流相对独立,以丘陵为主,年降水量可超过 1 000 mm

### 2.2 辽河流域水生生态二级分区

水生生态二级分区在一级分区基础上划分。具体步骤为:选择一个一级水生生态分区,采用 GIS 软件划分出子流域,以子流域为单元提取可用指标的具体值(通常取指标平均值或众数)。对各个子流域的多个环境要素进行主成分分析,筛选出当前二级水生生态分区的划分指标。分区指标为多个变量时,一

一般采用聚类分析法对各个子流域进行归类,并作为初步分区结果。然后对分区边界进行适当调整,使其各个二级水生态分区空间分布连续、合理,得到最终的二级水生态分区结果。

图3为辽河流域一级分区IV的环境要素主成分分析结果,图中给出了前4个主成分系数(LU1、LU2、LU3和LU4分别为森林、草地、耕地和聚落4种地类百分比;DEM为DEM平均值,DEMNG为DEM极差,PPTN为平均降水量,Slope为坡度,NDVI即NDVI指数值)。从图4可以看出,第一主成分以森林百分比、耕地百分比、降水量、坡度、DEM平均值为主,第2个主成分中的主要变量为草地百分比,第3个主成分中主要变量为聚落、草地和耕地百分比,第4个主成分中的主要变量包括坡度、NDVI和降水量。考虑到地类中已经包含了部分植被信息,因此,舍弃NDVI这一变量。综合上述分析,得到主要的环境变量为草地、耕地百分比和降水量。其他几个一级分区也通过类似方法确定二级分区指标。

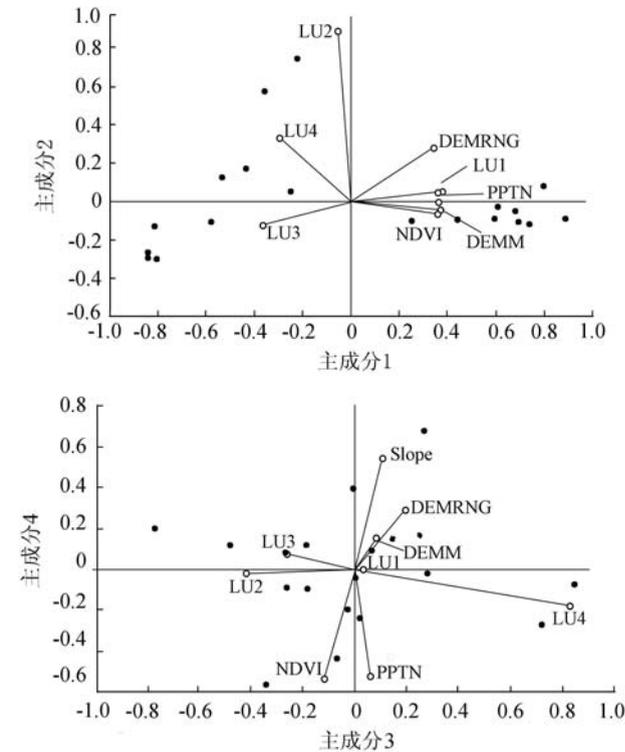


图3 浑太河流域环境要素主成分分析结果

整个辽河流域划分为8个水生态二级区(图2),命名在一级分区基础上添加序号,如I-1、I-2分别表示水生态一级区第1、第2个水生态二级区。总体来看,辽河流域西部、中部水生态二级区面积较东部要大,这是因为前两者,尤其是中部的环境要素(如降水、高程和土地利用等)空间上变化较小,而辽河流域东部的水系分布更为密集,水资源丰沛而空间差异较大。流域中部地区的水生态一级区直接

被划分为1个水生态二级区(II-1)。该地区包括了西辽河中下游河段,已经断流10余年,整个区域降水稀少,有沙化趋势。由于其环境条件中的空间特征相似,因此,将其划分为1个水生态二级区,也可以方便流域管理上针对性措施的制定。

### 3 结论与展望

我国流域水生态分区工作刚刚开始,目前尚无成熟的分区技术和理论。本研究尝试提出了流域水生态一、二级分区的基本框架,为今后的分区工作奠定了一定基础。根据流域的环境要素空间异质性及其与环境要素的关系,构建了水生态一、二级分区框架。根据辽河流域水生态一、二级分区大小,确定各个环境要素作为分区指标所适合的等级:降水指标适用于流域水生态一级分区,而地形(DEM、坡度)和植被(NDVI)则在水生态一、二级水生态分区中均可应用,土地利用则适合于水生态二级分区指标。据此构建了辽河流域水生态一、二级分区指标体系,其中一级分区指标包括地貌和气候两大类,二级分区指标则包括气候、地形、植被和土地利用等几类环境要素。在此基础上,将辽河流域共划分为4个水生态一级分区和8个二级分区,并对各个水生态分区特征进行了简要总结。

由于我国流域尺度相差较大,本研究以辽河流域为例的分区指标未必适用于其他流域。辽河流域分区应用也表明,分区过程中仍然存在较大的主观因素,尤其是水生态二级分区边界的确定。因此,分区结果是否客观合理,还有待流域管理应用实践的检验。

### 参考文献:

- [1] OMERNIK J M. Ecoregions of the Conterminous United States [J]. Annals of the Association of American Geographers, 1987, 77(1): 118-125.
- [2] European Commission. Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council of 23 october 2000: establishing a framework for Community action in the field of water policy [R]. Brussels: European Commission, 2000.
- [3] 徐宗学,刘星才,李艳利,等. 流域水生态分区景观格局变化及其影响[M]. 北京:中国环境出版社,2015.
- [4] 陈传康,伍光和,李昌文. 综合自然地理学[M]. 北京:高等教育出版社,1993.
- [5] 赵济. 中国自然地理[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
- [6] 孟伟,张远,郑丙辉. 辽河流域水生态分区研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 911-918. (MENG Wei, ZHANG Yuan, ZHENG Binghui. Study of aquatic ecoregion in Liao River Basin [J]. Acta Scientiae

- Circumstantiae,2007,27(6):911-918. (in Chinese))
- [7] HUGHES R M, GAMMON J R. Longitudinal changes in fish assemblages and water quality in the Willamette River, Oregon[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1987, 116: 196-209.
- [8] 于伯华, 吕昌河. 基于 DPSIR 概念模型的农业可持续发展宏观分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(5): 68-72. (YU Bohua, LÜ Changhe. Application of DPSIR framework for analyses of sustainable agricultural development [J]. China Population, Resources and Environment, 2004, 14(5): 68-72. (in Chinese))
- [9] 陈洋波, 陈俊合, 李长兴, 等. 基于 DPSIR 模型的深圳市水资源承载力评价指标体系[J]. 水利学报, 2004, 35(7): 98-103. (CHEN Yangbo, CHEN Junhe, LI Changxing, et al. Indicators for water resources carrying capacity assessment based on driving forces-pressure-state-impact-response model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(7): 98-103. (in Chinese))
- [10] 裴雪姣, 牛翠娟, 高欣, 等. 应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康[J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5736-5746. (PEI Xuejiao, NIU Cuijuan, GAO Xin, et al. The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(21): 5736-5746. (in Chinese))
- [11] 高欣, 牛翠娟, 裴雪姣. 太湖流域大型底栖动物生物完整性研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2012, 48(4): 392-398. (GAO Xin, NIU Cuijuan, PEI Xuejiao. On biological integrity of macroinvertebrate in Taihu Basin [J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2012, 48(4): 392-398. (in Chinese))
- [12] 李艳利, 徐宗学, 杨晓静. 基于底栖动物完整性指数的浑太河流域河流健康状况评价[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2013, 49(2/3): 297-303. (LI Yangli, XU Zongxue, YANG Xiaojing. Health assessment by using a benthic-index of biotic integrity in the Huntai River Basin[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2013, 49(2/3): 297-303. (in Chinese))
- [13] WU Wei, XU Zongxue, YIN Xuwang, et al. Assessment of ecosystem health based on fish assemblages in the Wei River Basin, China[J]. Environ Monit Assess, 2014, 186(6): 3701-3716.
- [14] JOHNSON L B, RICHARADS C, HOST G E, et al. Landscape influence on water chemistry in Midwestern stream ecosystems[J]. Freshwater Biology, 1997, 37(1): 193-208.
- [15] 刘星才, 徐宗学, 徐琛. 水生态一、二级分区技术框架[J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4804-4814. (LIU Xingcai, XU Zongxue, XU Chen. A framework for aquatic ecoregion zoning [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(17): 4804-4814. (in Chinese))
- [16] OMERNIK J M, SHIRAZI M A, HUGHES R M. A synoptic approach for regionalizing aquatic ecosystems in place resource inventory: principles & practices, a national workshop[R]. Orono: University of Maine, 1981.
- [17] 刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等. 流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系: 以辽河流域为例[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3613-3620. (LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al. Scale analysis of environmental factors and its linkage with size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River Basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3613-3620. (in Chinese))
- [18] 刘星才, 徐宗学, 赵洁, 等. 水生态一级分区技术及其在辽河流域的应用示范[C]. //戴长雷. 农业、生态水安全及寒区水科学: 第八届中国水论坛文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.

(收稿日期: 2015-06-18 编辑: 郑孝宇)

(上接第 123 页)

- [5] MA J, HOEKSTRA A Y, WANG H, et al. Virtual versus real water transfers within China [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2006, 361: 835-842.
- [6] HOEKSTRA A Y, CHAPAGAIN A K, ALDAYA M M, et al. The water footprint assessment manual: setting the global standard[M]. London: Earthscan, 2011.
- [7] SULSER T B, RINGLER C, ZHU T J, et al. Green and blue water accounting in the Ganges and Nile basins: implications for food and agricultural policy[J]. Journal of Hydrology, 2010, 384(3/4): 276-291.
- [8] 吴普特, 王玉宝, 赵西宁. 2011 中国粮食生产水足迹与区域虚拟水流动报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [9] 吴普特, 王玉宝, 赵西宁. 2012 中国粮食生产水足迹与区域虚拟水流动报告[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [10] WANG Y B, WU P T, ZHAO X N, et al. Virtual water flows of grain within China and its impact on water resource and grain security in 2010 [J]. Ecological Engineering, 2014, 69(8): 255-264.
- [11] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报: 2013[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [12] 莫杰. 21 世纪人类的水危机[J]. 科学, 2013(5): 44-47. (MO Jie. The water crisis of 21st century [J]. Science, 2013(5): 44-47. (in Chinese))
- [13] LIU Jing, SUN Shikun, WU Pute, et al. Evaluation of crop production, trade, and consumption from the perspective of water resources: a case study of the Hetao Irrigation District, China, for 1960-2010 [J]. Science of the Total Environment, 2015, 505: 1174-1181.
- [14] 中华人民共和国农业部. 新中国农业 60 年统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [15] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴: 2010 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

(收稿日期: 2015-07-08 编辑: 熊水斌)