

生态环境用水研究现状、问题分析与基本构架探索

贾宝全¹, 张志强², 张红旗³, 慈龙骏¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 北京林业大学教育部水土保持重点实验室, 北京 100083; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 生态学与水文学交叉研究是目前国际上前沿研究领域之一, 生态环境用水研究则是连接生态过程与水文过程、刻画生态演化与水资源相互关系的核心问题。对生态、环境用水产生与发展的基本过程进行了回顾, 并根据对已有成果的综合分析提出了目前研究中存在的 5 方面主要问题。首先, 生态用水尚需要理论上的进一步升华, 这一点突出体现在生态用水的概念与内涵表述上; 其次, 在生态用水研究中, 缺乏合理的生态保护目标的建立, 因而影响到了研究成果的实际应用价值; 第三, 目前的研究均是针对较大尺度所作的, 不能在生态机理与物理机制上揭示生态用水规律, 因此, 不适于具体问题的深入分析, 个别实验在由“点”尺度向生态用水计算的“面”尺度转换时缺乏基础, 从而严重影响了研究成果的精度; 第四, 生态用水机理是生态用水研究中至为关键的工作, 以往研究主要依据野外宏观观测资料来探讨, 缺乏直接的实验依据; 第五, 没有涉及生态用水对生态系统稳定性、生态用水满足程度及其波动性对生态系统影响等方面, 从而也使得研究成果的科学性受到影响。同时作者认为, 中国工程院“中国可持续发展水资源研究报告”中的生态环境用水概念对我国地大物博、地质地貌与气候类型多样的特点给给予了更多的关注, 故可以确定为全国性的生态环境用水概念。最后文章认为应当将生态用水与环境用水分别予以考虑, 并给出了其新的概念构架。

关键词: 生态用水; 环境用水; 研究现状; 问题; 基本构架

On the Current Research Status, Problems and Future Framework of Ecological and Environmental Water Use

JIA Bao-Quan¹, ZHANG Zhi-Qiang², ZHANG Hong-Qi³, CI Long-Jun¹ (1. *Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*; 2. *Soil and Water Conservation Key Lab. of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*; 3. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1734~1740.

Abstract: Investigations on the interrelationships between ecology and hydrology is one of global foci research subjects in environmental related area. Ecological (environmental) water use generally refers to the water resources demand in terms of water quantity and quality to maintain a specific and rational ecological (environmental) protection goal. Ecological water use study is one of critical step to evaluate the linkages of hydrologic processes and ecological processes and between ecological development and water resources. On the integrated analysis of current research results of ecological or environmental water use study, this paper put forward five major questions need to be addressed in the future research. 1) Theoretical framework for ecological water use study needs to be updated as this is specially lined in that the definition of ecological and environmental water use is diverse and inconsistency by various research

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40071004、39990490); 中国工程院资助项目 (西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究)

收稿日期: 2002-02-27; 修订日期: 2002-06-20

作者简介: 贾宝全 (1964—), 男, 陕西洛川人, 博士, 副研究员。主要从事干旱区资源环境、绿洲及荒漠化防治研究。E-mail: jiabq@rif.forestry.ac.cn

programs; 2) Ecological water use refers to the water resources demand to maintain a rational ecological protection goal. Setting up rational ecological protection goal is nevertheless easy task and in hand instrument. To make practical sense of ecological water use research much work needs to be done in setting up rational ecological goal, indicators of the target, and assessment methodology for a specific ecological unit (community, ecosystem, landscape, and region) at timescales of the concern; 3) Calculation of ecological water use of current research at large scale could be not served as the investigation into ecological and physical mechanisms of ecological water usage. It is critical in terms of accuracy to up-scale water use measurements at “point” scale (e. g. for a single tree or specific plant community) to ecological water use calculation at “area” scale. There are no commonly accepted scaling methodology to date; 4) Ecological water use mechanism is one of the most important research subjects that need to be addressed not only by theoretical analysis but also field experiments. However, the current research basically depends on large-scale statistics; 5) Science nature of ecological water use research is overwhelmed by the current studies in that ecological water use impacts on ecosystem stability and satisfaction degree of ecological water use and its fluctuation on ecosystem development is not yet addressed. Referring to the diversified geological, morphological and climatic conditions of China, CAE’s (Chinese Academy of Engineering) definition of ecological water use in the Report of Chinese Sustainable Development of Water Resources could be applicable in evaluating the ecological water use at national level. A new conceptual framework is outlined in this paper on the basis to consider two concepts of ecological water use and environmental water use differently.

Key words: ecological water use; environmental water use; conceptual framework

文章编号:1000-0933(2002)10-1734-07 中图分类号:S273,X143 文献标识码:A

水是人类生活的命脉,也是国民经济发展的最大限制因素,同时又是维持地球生态平衡的最积极要素之一。现实生活中水资源的开发与利用具有双重特性:开发利用合理得当,能使环境荒野变得文明秀丽;开发利用不当,则会造成环境恶化与环境污染^[1]。就制约我国经济社会持续发展的河流缩短、湖泊干涸、灌溉水质盐化、森林破坏、草场退化、沙质荒漠化加剧等重大环境问题而言,它的发生发展均直接或间接地与水资源开发利用过程中不考虑生态环境用水需求有关,尤其与水资源利用指导思想上单纯为工农业生产和社会服务的原则关系极大。长期以来水资源利用规划的指导思想,均是为工农业服务,而忽视生态环境用水需求,其最主要表现是:在水资源利用安排上几乎将水资源百分之百地考虑在了工农业用水需求上。由于水资源最大限度地流入了人工生态系统中,而对人工生态系统起生命支撑作用的天然生态系统由于水资源入不敷出,结果出现了退化、缩小的变化趋势。而天然生态系统的劣变,反过来又对人工生态系统的持续发展构成威胁。要从根本上促进已遭破坏的生态系统的恢复与重建,水资源的合理分配、尤其是生态环境用水的优先满足是至关重要的问题。这就牵涉到了人们用水观念的更新,以及以生态保护与水资源开发利用协调发展实现可持续发展目标的水资源开发利用战略的建立。为此,从 20 世纪 70 年代末期以来,生态环境的用水问题日渐引起了国内外广大学者的关注。由于生态环境用水本身属于生态学与水文学之间的交叉性质的存在,过去虽然做了大量工作,但在许多基本理论问题上仍然显得十分混乱。为了研究工作的进一步深入开展,对其研究的历史、现状进行回顾,并在此基础上对其基本理论问题的统一构架进行探索,这在目前我们国家大力实施生态环境建设的今天,不但具有十分重要的理论意义,而且也具有十分重要的现实意义。

1 生态环境用水研究现状

目前见于文献的名词主要有“生态用水”、“生态环境用水”、“环境用水”、“生态需水”等,尽管称呼各异,但其中心内容较为一致,基本上均可看作是“生态用水”的异名同物。从目前所查阅的文献来看,“生态用水”概念是我国学者汤奇成等人于 20 世纪 80 年代末期在分析塔里木盆地水资源与绿洲建设问题

地下水所需生态水量以及城市生态用水等方面^[16]。以此为基础所作的初步工作表明,全国生态环境用水量估计为 $800 \times 10^8 \sim 1000 \times 10^8 \text{m}^3$, 主要在黄淮海流域和内陆河流域^[16]。王西琴等人则从水污染问题出发,探讨了河道环境需水问题。认为河道最小生态环境需水是指维系河流的最基本环境功能不受破坏所必须在河道中常年流动着的最小水量阈值;并以陕西的渭河流域为例,概算了 4 个断面及其干流现状年及不同水文年的河道最小环境需水量^[17,18]。鉴于植被在干旱区、半干旱区生态平衡维持中所起的重要作用,这些地区的生态用水主要集中于植被用水上。在干旱区的植被耗水研究中,赵文智等认为干旱区植物需水量可以划分为临界需水量、最适需水量和饱和需水量。其中临界需水量指维持干旱区植物生存的最小耗水量,最适需水量指干旱区植物具有正常功能特别是防护功能的耗水量;饱和需水量则指干旱区光温生产潜力得以最大发挥时的植物耗水量^[19]。在进行基本理论问题探讨的同时,也有部分研究已经将生态用水作为限制变量用之于水资源预测之上^[20,21],这使得生态用水研究又向实践应用方向迈进了一步。

而国外相关工作则开展较早。美国早在 1978 年的第 2 次全国水资源评价中,就提出了以生态环境用水作为河道内控制性用水的概念,并确定了评价的标准;Petts, G. E. 在 1984 年^[22]和 1996 年^[23]分别在其专著中以大量篇幅深入阐述了生态环境用水问题;Gleick 1998 年提出了基本生态需水量的概念——即提供一定数量和质的水给天然生境,以最大程度地改变天然生态系统的过程,并保护物种多样性和生态整合性^[24]。但从其中的叙述中不难看出,国外提出的生态环境用水与目前我国的生态环境用水概念上有一定的区别。国外研究中主要强调了河流廊道植被以及河道内以鱼类为主的水生动植物生息繁衍的用水需求。而我国的生态用水研究是在巨大的人口压力导致生态环境健康状况恶化的背景下提出来的,它的概念的内涵与外延均较国外为大。其主要的差别在于,一方面其不仅包含了河道内的用水需求,同时它还包含了陆生生态系统的用水需求;另一方面,它不仅包括了天然生态系统,同时它也包含了人工生态系统中对整个人工系统的稳定性维持起支撑作用的组分的生态用水,特别是它包含了人工生态环境建设的用水需求。

2 已有研究成果存在的问题分析

从前面的叙述中可以看出,从 1998 年到 2001 年短短的 3a 时间内,我国的生态用水研究由点到面、由浅至深取得了很大的成就。但在以下方面亟待加强和深入。

2.1 虽然通过攻关课题的研究,在生态用水理论方面取得了一定成果,但因为参与攻关协作的人员分属于不同区域的不同单位,而且具有不同的专业背景,其工作针对的是其所在区域的具体情况,从整体而言,所获成果相对比较分散,因而生态用水尚需要理论上的进一步升华。这一点突出体现在生态用水的概念与内涵表述上。通过文献知道,目前在生态环境用水研究方面,我国的研究成果具有世界范围的创新性,在解决我们国家面临的实际问题的同时,欲使这一成果获得世界范围的认可,生态用水概念与内涵统一已经在眉睫。

2.2 以前生态用水计算工作的一个重要原则是以现状为主,缺乏生态合理性分析,亦无具体的生态保护目标,故而无法准确判断研究成果的实际价值;对于植被而言,由于其分布的地区、地貌、气候等条件的差异,以及本身植物构成、群落结构的不同,其功能上有一定的差异,眼下的情况是,一旦提到生态保护,大多数人都趋向于全部保护,在水资源总量有限以及人类活动范围日益扩大的前提下,这几乎是不可能的。这就存在一个保什么、保多少的问题,而这一问题的正确解决,首先要依赖于生态合理性的评价结果与生态保护目标的建立。

2.3 尺度转换问题也是目前的研究工作中非常重要但又重视不够的方面。有关研究指出,生态学和水文学均具有各自的尺度域,对于二者的交叉学科——生态水文学研究而言,只有当数据建立在既适合生态学尺度又适合水文学尺度时,研究结论才最为可靠,否则将失去作用和意义^[25, 26]。而目前所有研究工作的空间尺度均较大,既不适于具体问题的深入分析,又不能在生态机理与物理机制上揭示生态耗水规律。实际工作中对于生态用水量的计算目前大多依据于理论间接推算以及一些单株植物的耗水量实验结果的推算,其中以单株的数据更好一些。但当植物构成群落时,存在一个 $1+1 \neq 2$ 的效应,而推算的假设则是 $1+1=2$ 的逻辑。因此,由实验的“点”尺度,向生态用水计算的“面”尺度转换缺乏基础,从而严重影响了研

究成果的精度。今后应对尺度转换问题给予更多的重视,在目前极少量单株植物实验研究的基础上,通过建立数学模型转换手段,把尺度科学地扩大至群落水平。

2.4 生态用水机理是生态用水研究中至为关键的工作,以往研究主要依据野外宏观观测资料来探讨,缺乏直接的实验依据;对于河道内生态用水而言,依据多年的水文网站长观资料基本上可以满足计算需求;而对于河流沿岸及其河道外的植被生态用水计算而言,目前的实验资料还远远不能满足精确性的要求。对于研究基础相对较弱的生态脆弱地区,如干旱、半干旱区而言,这一问题更为突出。

2.5 前面的研究工作中,人们将切入点集中于生态用水的概念界定、生态用水的分类及区域生态用水总量估算等方面,而对生态用水对生态系统稳定性的影响、生态用水满足程度及其波动性对生态系统的影响等均未涉及。而这一点在建立生态用水的科学根据方面具有极其重要的、无以替代的意义。目前,生态用水研究主要集中于环境本底比较脆弱的区域,在这些区域,植被建设是公认的改善当地生态环境的最重要、有时甚至是唯一可行的手段,但林草植被的建立,对于这些地区本来就极其缺乏的水资源而言,大面积的植被建设无疑将会加深这一矛盾,在目前森林在区域水文功能研究尚没有确定性研究结论的条件下,这又加深了问题解决的难度。

3 对生态环境用水理论问题的几点看法

3.1 生态用水的概念构架问题

任何研究工作必定有其特定的服务目标与服务对象。生态用水研究从其起步伊始,其便紧紧围绕为国家或区域的水资源合理利用规划服务。而从水资源的定义来看,广义上包括地球上所有的天然水。但习惯上把能够控制并可供人类利用的水称为水资源^[27]。从这个意义上讲,对于研究工作而言,能且仅能将生态环境用水限定于地球表层人类通过各种工程措施可以控制的地表水资源和地下水资源之中,所取得的成果才能对水资源管理以及社会的可持续发展产生积极的、有意义的结果。因此,要在目前建立生态环境用水的公用框架,研究的出发点和服务对象必须进一步明确,否则很难在生态环境用水研究的理论上取得共识和突破。但从目前已有的研究成果来看,对此问题大多采取了回避的处理方式。

我国地大物博,地质地貌与气候类型多样,生态环境用水概念与分类构架必须能够对此有所反映。中国工程院“中国可持续发展水资源研究报告”对此给予了更多的关注,因此可以作为全国性的生态环境用水概念加以确定。其它概念因其着眼于某一特定区域,故可以作为上述概念应用的延伸定义。

目前在实际工作中,有两类定义较为普遍,一类为生态用水,一类为环境用水。有的学者认为两类概念是不同的,而有的学者则干脆认为两类概念属于同一命题。众所周知,生态和环境的概念是不同的,但两者又密不可分。环境的概念过于宽泛,环境主体既可以指自然环境,有可以指社会环境和经济环境等。而生态的主体则是以植物第一性生产为主体的各类生态系统。因此,基于目前研究工作的现实情况,作者倾向于认为将其作为两类命题处理更为妥当一些。即将目前所有相关的生态与环境用水均统一在生态环境用水这一术语之中,其下再划分为生态用水和环境用水两个方面。由于植被是地球生命支持系统的主体,也是所有生态过程的具体体现者,故将维持和改善生命支持系统的水分消耗称作生态用水(图1),共包括隐喻性景观生态用水和河道内水生动植物生态用水两个方面。环境用水共包括了水热平衡、水沙平衡与水盐平衡的用水量等3个方面的内容。

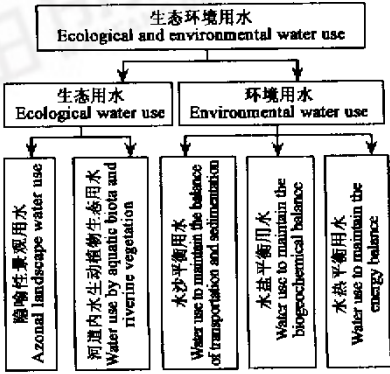


图1 生态环境用水的基本构架

Fig.1 The basic framework of ecological and environmental water use

个方面的内容。从水热平衡、水沙平衡与水盐平衡的用水量的本质而言,其均属于大尺度的自然地理过程的一部分,虽然也有一定的生态过程的含义,但显然更以自然过程为主,因此,应当将维持自然地理过

程平衡的用水归入到环境用水的范畴内。前述工作中的有关河道内的生态用水量(包括生态基流、河道最小环境用水等)均可以纳入到环境用水这一概念构架之内。在水盐平衡中,既包括了河道内的水盐平衡,同时也包括了河流入海口地区减轻咸潮倒灌压盐的环境用水,以及内陆干旱区绿洲内部土壤的压盐、洗盐用水。在水热平衡中则主要包括了湖泊、水库、河道、渠系等水面的水分消耗支出。

3.2 植被生态用水计算的合理性问题

目前在生态用水的实际计算工作当中,对于植被用水有两种处理方式。一种仅计算降水不足以维持植被生存的部分^[9]。另一种在计算时仅以不同类型的植被面积乘以该类型植被的生态用水定额,而对其水分来源不加区别,最后从上述计算的总的生态用水中再将有效降水予以扣除。本文认为后一种处理方法有值得商榷之处。对于植被而言,其生长发育受自然地理中的地域分异规律制约,其中以地带性分异规律的影响尤为显著。与地带性规律相适应,植被也有地带性植被和非地带性植被之分。对于地带性植被类型而言,当地的降水量已经完全能够满足该植被类型的用水需求,而降水又属于人为不可控制的环境要素。况且,从水资源开发利用与合理配置上讲,对实际工作最具指导意义的是狭义水资源口径下的植被生态用水。以西北干旱区的新疆为例,其境内的河流系统可以划分为径流形成区和径流散失区,依水资源的狭义口径,地表水资源形成于山区。在径流形成区,其植被生存完全依赖降水资源的维持,就目前人类所拥有的技术手段而言,尚不足以对于山区的降水与径流量产生影响。在实际的水资源研究工作中,也仅仅以出山口的径流量作为水资源的总控制量。因此,在这种情况下,对于山区植被的生态用水进行计算,在实际工作当中也没有什么实际意义。对于我国东部季风区而言,降水对于当地优势植被的生存维持其作用则更显巨大。生态环境的退化原因在于高强度的人为活动对植被的直接影响,而非水资源不足所致;在减轻人为干扰强度的情况下,除了一些困难立地之外,一般情况下,受损害的生态系统均可以在其较强的恢复能力支撑下得以恢复。故此,生态用水的计算,只应当考虑两类生态系统的用水需求。一类是不以降水为依托的隐域性植被景观的生态用水,主要包括一些湿地植被和一些草甸植被;另一类是河道内一些水生动植物的繁衍与生存用水(图 1)。目前对于生态用水的计算大多是依据一些间接计算而得,方法本身存在有较大的计算误差,上述的后一种计算方法由于多了一个中间过程,这样还会在本身就不太精确的的计算当中进一步加大了研究结果的误差程度。

参考文献

[1] Feng S Y(冯尚友). The introduction of water resource sustainable use and management(in Chinese). Beijing: Science Press, 2000,1~28.

[2] Tang Q C(汤奇成). Water Resource and the Establishment of Oasis in Tarim Basin. *Natural Resource* (in Chinese)(自然资源), 1989,(6):28~34.

[3] Professional standards of the People's Republic of China. *Regulation for environmental impact assessment of river basin planning*, (SL45-92) (in Chinese). Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydropower press, 1993.

[4] Tang Q C(汤奇成). The Development in Oases and Rational Use of Water resource. *Journal of Land Resource and Environment* (in Chinese)(干旱区资源与环境), 1995,9(3):107~111.

[5] Fang Z Y(方子云). *Environmental effects analysis and quantification of water conservancy practices*(in Chinese), Beijing: Chinese Environmental Sciences Press, 1993,84~106.

[6] Jia B Q(贾宝全), Xu Y Q(许英勤), The Conception of the Eco-environmental Water Demand and its Classification in Arid land. *Arid Land Geography* (in Chinese)(干旱区地理), 1998, 21(2):8~12.

[7] Jia B Q(贾宝全), Discussion on the Principles of Ecological Protection in Arid Regions, *Arid Land Geography* (in Chinese)(干旱区地理), 1999, 22(2):14~19.

[8] Jia B Q(贾宝全), Ci L J(慈龙骏), The Primary Calculation of Eco-environment Water Demand in Xinjiang. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报), 2000,20(2): 243~250.

[9] Li L L(李力), Zheng H X(郑红星). Environmental and Ecological Water Consumption of River Systems in Haihe-luanhe Basins. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese)(地理学报), 2000,55(4):495~500.

[10] Wang L X(王礼先). Vegetative Eco-environment Construction and Water Use of Eco-environment. *Research of Soil and Water Conservation* (in Chinese)(水土保持研究), 2000, **7**(3):5~7.

[11] Pan Q M(潘启民), Ren Z Y(任志远), Hao G Z(郝国占). The Analysis on the Ecological Water Demand in Hehe River Basin. *Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute* (in Chinese)(黄河水利职业技术学院学报), 2001, **13**(1):14~16.

[12] Feng H L(丰华丽), Wang C(王超), Li Y(李勇). The research on the ecological water requirement in the watershed. *Advances in Environmental Sciences*(in Chinese)(环境科学动态), 2001, (1):27~30,37.

[13] Yan D H(严登华), He Y(何岩), Deng W(邓伟), *et al*, Ecological Water Demand by River System in East Liaoh River Basin. *Journal of Soil and Water Conservation* (in Chinese)(水土保持学报), 2001, **15**(1):46~49.

[14] Liu C M(刘昌明), China's Water Supply and Demand in 21st Century. *China Water Resources*(in Chinese)(中国水利), 1999, (10):18~20.

[15] Liu C M(刘昌明), Issues concerned with water resource during the development of west in China. *China Water Resources*(in Chinese)(中国水利), 2000, (8):23~25.

[16] Sen G F Chief Editor(沈国舫主编), *Eco-environment construction and water resources protection and utilization*(in Chinese), Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydropower Press, 2001. 20~24.

[17] Wang X Q(王西琴), Liu C M(刘昌明), Yang Z F(杨志峰). Method of Resolve the Lowest Environmental Water Demands in River Course (I)—Theory. *Acta Scientiae Circumstantiae*(in Chinese)(环境科学学报), 2001, **21**(5):544~547.

[18] Wang X Q(王西琴), Yang Z F(杨志峰), Liu C M(刘昌明). Method of Resolve the Lowest Environmental Water Demands in River Course (II)—Theory. *Acta Scientiae Circumstantiae* (in Chinese)(环境科学学报), 2001, **21**(5):548~552.

[19] Zhao W Z(赵文智), Cheng G D(程国栋). Review on the eco-hydrological processes study in dryland region. *Science Bulletin*(科学通报), 2001, **46**(22):1851~1857.

[20] Xu Z M(徐中民), Cheng G D(程国栋). The Predicted Demand of Water Resource in the Middle Reaches of the Heihe River from 1995-2005. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese)(冰川冻土), 2000, **22**(2):139~146.

[21] Wang R H(王让会), Song Y D(宋郁东), Fan Z L(樊自立), *et al*. Estimation on Ecological Water Demand Amount in Four Sources and One Main Steam of Tarim Basin. *Journal of Soil and Water Conservation* (in Chinese)(水土保持学报), 2001, **15**(1):19~22.

[22] Petts G E. *Environmental impacts of in-stream flows* (in Chinese). Beijing: Chinese Environmental Sciences Press, 1988. 22~28.

[23] Petts G E and Maddock I P. Flow allocation for in-river needs. In Calow, P. & Petts, G. E. eds. *River Restoration*. Blackwell, 1996. 60~79.

[24] Peter H. Gleick. water in Crisis: Paths to Sustainable Water Use. *Ecological Applications*, 1998, **8**(3):571~579.

[25] Zhao W Z(赵文智), Cheng G D(程国栋). Ecohydrology——A science for studying the hydrologic mechanism of ecological patterns and processes. *Journal of Glaciology and Geocryology*(in Chinese)(冰川冻土), 2001, **23**(4):450~457.

[26] Andrew Baird J, Robert L. Wilby (Translated by Zhao W Z and Wang G X). *Ecohydrology——Plant and water in terrestrial and aquatic environments*(in Chinese), Beijing: Ocean Press, 2002. 28~54.

[27] Zuo D K Chief Editor(左大康主编). *A dictionary of modern geography*. Beijing: Commercial Press, 1990. 509.