

水足迹的理论、核算方法及其应用进展

黄 凯¹,王梓元¹,杨顺顺²,金 晨¹

(1. 北京林业大学环境科学与工程学院,北京 100083; 2. 湖南省社会科学院,湖南 长沙 410003)

摘要:在阐述水足迹相关理论的基础上,对水足迹定量核算的模型与方法进行了比较和评述,对其相关应用进展进行了总结。水足迹的核算方法主要有 Bottom-up 分析法、Top-down 分析法和 Input-output 模型法,它们在计算水足迹时所采用的公式和适用范围均有差别;目前国内外水足迹研究主要集中于产品水足迹、区域水足迹、国家水足迹以及基于水足迹理论的其他应用研究;贸易的虚拟水流量分析和虚拟水战略、量化人类水足迹消费对生态环境的影响、衡量水足迹的经济效益以及开发水足迹定量计算模型等内容将是今后研究的重要方向。

关键词:水足迹;虚拟水;核算方法;水资源;研究进展

中图分类号:X37;G353.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)04-0078-06

Theory, calculation method and application progress of water footprint//HUANG Kai¹, WANG Ziyuan¹, YANG Shunshun², JIN Chen¹ (1. College of Environmental Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Hunan Academy of Social Sciences, Changsha 410003, China)

Abstract: Based on water footprint theories, the calculation methods of water footprint were compared, and their applications progress were summarized. Water footprints can be evaluated by Bottom-up approach, Top-down approach and input-output approach. The three methods have differences in representation of calculations formula for water footprint, as well as their applicable scopes. The current researches of water footprint mainly focus on product water footprint, regional water footprint, national water footprint, and other application cases based on water footprint theories. The virtual water flow and strategy, the quantization of the influences of human water footprint on the ecosystem, economic efficiency of water use, and water footprint calculation models are the important fields of research in the further.

Key words: water footprint; virtual water; calculation method; water resources; research progress

数十年来,由于人口增长、经济发展以及随之而来的用水量增加和水污染加剧,全球范围内的可用水资源已经愈发稀缺^[1],水资源正成为制约经济社会发展的关键因素。为了有效应对水资源短缺局面,提高水资源利用效率,Hoekstra 等^[2]在 2002 年提出了水足迹的概念;随后 Chapagain 等^[3]对其进行了完善;水足迹的理论基础可追溯到 1993 年 Allan 等^[4-6]提出的虚拟水的概念。近年来,国外对虚拟水和水足迹的研究既有宏观层面的国家水足迹^[7-9],也有微观层面的产品水足迹、消费者水足迹等^[10-11],尤其是贸易的虚拟水流量以及水足迹相关应用的研究逐渐成为热点^[12]。目前国内也已有一些关于水足迹的研究,包括最初的理论引进以及现在一些区域的水足迹核算^[13-18]。本文在阐述水足迹相关理论的基础上,对其定量核算的模型与方法

进行了比较和评述,对水足迹的相关应用进展进行了总结,以期国内水资源管理提供理论基础与方法借鉴。

1 水足迹的概念

1.1 虚拟水

虚拟水的概念是水足迹的重要理论基础,最早是在 1993 年由 Allan 提出,将进口虚拟水作为缓解中东地区水资源贫乏的策略之一^[5]。虚拟水最初被定义为生产农业产品所需要的水资源量,其后被扩展为生产商品和服务所需要的水资源量^[19]。可见虚拟水并非真正意义上的实体水,而是以虚拟的形式物化在产品中,又被称为“嵌入水”和“外生水”。目前比较精确的虚拟水定义分为两种:①从生产者的角度,定义为生产某产品的真实用水量,它

由生产地的生产状况和水资源利用效率所决定^[20]；
②从消费者的角度,是指在使用地生产某产品的需水量,该定义对于缺水地区进行水资源赤字的平衡研究更为有效^[21]。

1.2 水足迹

以虚拟水研究为基础, Hoekstra 于 2002 年进一步提出了水足迹的概念,用于表征人类消费对水资源的影响。水足迹由生态足迹的概念衍生而来,定义为任何已知人口(一个国家、地区或个人)在一定时间内消费的所有产品和服务所需要的水资源数量。^[2,22]在人类对水资源的消耗量中,生活用水的比例通常较小,大部分消耗都以虚拟水的形式体现,虚拟水消耗是水足迹的主要组成部分^[23]。水足迹的概念关联了实体水和虚拟水,其由区域用水量与虚拟水净进口量之和来描述,体现了评价国家或区域水资源真实消费量的新思路^[24]。目前主要从水资源来源和水资源类型两个角度对于水足迹进行定义。

a. 根据水资源来源,可以将一个国家或地区的水足迹分为内部水足迹和外部水足迹。国家水足迹是指国内生产为本国所消费的产品和服务使用的水资源总量,它表明一个国家的和消费相关的水需求量。内部水足迹是指国内使用的水资源量,用国家用水总量减去由国内出口产品或服务中所使用的水资源量而得到^[25]。外部水足迹是指他国生产被本国进口的产品和服务所使用的水资源量,用国家虚拟水进口量减去再出口的产品所含虚拟水量得到。

b. 根据水资源类型,可以将国家或地区生产消费过程中所消耗的水资源分成绿水、蓝水、灰水 3 种类型,分别对应相关的水足迹类型。蓝水指江河湖泊以及地表水和地下水的总和,即通常意义上的水资源。蓝水水足迹就是生产和消费过程中所消耗的蓝水量^[26]。绿水概念由 Falkenmark^[27] 提出,指土壤非饱和含水层(包气带)中的土壤水,以蒸发形式被利用。绿水水足迹则指农业生产所消耗的绿水量。灰水是指用于稀释农作物生产和加工过程中造成水质污染的用水量^[28]。

2 虚拟水的核算与贸易

目前在虚拟水的核算研究中,一般认为工业产品的虚拟水含量计算过于复杂,尚无简便有效的方法^[29],且相对于农业产品,其虚拟水含量较小,因此对农业种植业和养殖业产品的虚拟水含量计算是目前虚拟水核算研究中的最主要部分。联合国粮食及农业组织(FAO)推荐的标准彭曼公式、Chapagain 等^[3]提出的生产树法以及产品类型区分法是较为普遍的农业产品的虚拟水含量计算方法。

国家或地区间的贸易所产生的虚拟水流量是当前研究的一个热点。国家虚拟水平衡即为总的虚拟水入流量与出流量之差,分为农业产品与工业产品贸易的虚拟水流量两部分^[3],计算步骤如图 1 所示。在虚拟水核算和贸易研究的基础上,学者们进一步提出了虚拟水战略,意在使缺水国家通过贸易从富水国家进口水密集型产品来获得水和粮食安全。因此,虚拟水最初研究的中心问题是国家或地区能否应用虚拟水战略和制定战略下的应对措施与适应对策^[30]。

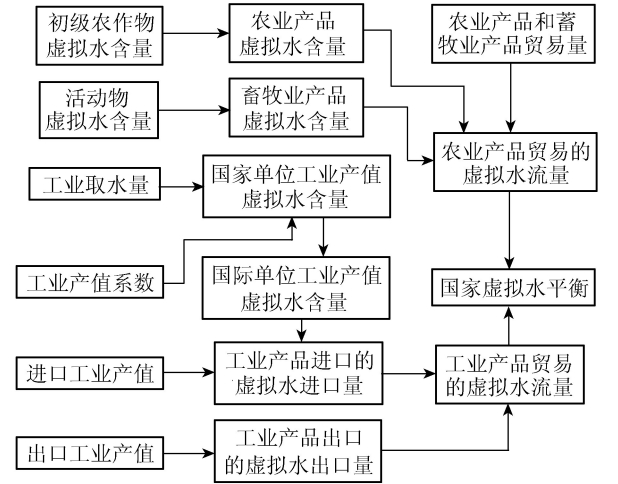


图 1 国家虚拟水平衡计算步骤

3 水足迹核算方法

3.1 Bottom-up 分析法

Bottom-up 分析法是一种要素分析方法,具体算法如下:

$$W = \sum (V_j C_j)$$
 (1)

式中: V_j 为单位 j 产品的虚拟水含量; C_j 为生产国内居民消费的 j 产品总量; W 为消费所有产品和服务所需的整体水足迹。

通过 Bottom-up 分析法的计算可以发现,各种产品的虚拟水含量因地区差别和生产水平不同存在巨大差异^[31], Ridoutt 等^[32] 运用该法计算出芒果消费过程的水足迹。Bottom-up 法适用于个人、公司和地区等这些进出口水量无法获得情形下的水足迹分析。该法的优点是灵活,可选取不同层次的数据进行分析,并以消费特点为基础对要素进行调整,同时因其将活动影响进行分解,显得更直观。但 Bottom-up 用于分析国家水足迹存在着不足,它属于数据密集型分析方法,容易因数据的多样性和可靠性受到质疑。

3.2 Top-down 分析法

Top-down 分析法是一种平衡分析方法。一国的国家水足迹由国内消耗的虚拟水含量和贸易的虚

拟水流量构成,即国家水足迹分为内部水足迹和外部水足迹两部分。内部水足迹的算法为

$$W_{in} = \sum (m_j f_j) \tag{2}$$

式中: W_{in} 为内部水足迹,即以国内消费为最终目的在国内生产 j 产品所需要的虚拟水含量; m_j 为单位 j 产品所需要的虚拟水含量; f_j 是 j 产品的消费量。

外部水足迹 W_{ex} 的算法为

$$W_{ex} = S_f + S_{in} \tag{3}$$

式中: S_f 为直接消费的最终产品的虚拟水进口量, S_{in} 为使用和消费的中间产品的虚拟水进口量。

最终国家水足迹 W_n 可表示为

$$W_n = W_{in} + S_f + S_{in} \tag{4}$$

有学者用 Top-down 分析法计算了摩洛哥和荷兰两国农业产品的虚拟水流量^[33]。Top-down 法对于快速分析国家水足迹是最有效的,这一结论由碳足迹和水足迹研究者分别独立得到^[34-36]。此外该方法对于全球性可获得的公共数据特别适用,且它对于分析产品间接用水的影响也是最有效的。但由于该法在贸易的虚拟水量无法获得时不能使用,因而它不适于个人、公司等较小尺度的水足迹分析。

3.3 Input-output 模型法

Input-output 模型是一个经济-生态的基础模型,用于衡量各产业部门之间资源投入与生产产出的关联。将其运用在水足迹研究中时,对模型进行了扩展,在原有产业部门投入的基础上增加了水资源投入量,以衡量部门产出所消耗的水资源。扩展后虚拟水含量的计算模型如下:

$$W = (\omega_j) \quad \omega_j = w_j/x_j \tag{5}$$

式中: W 为直接水投入系数矩阵; ω_j 为单位 j 产品的直接水投入量,表现为直接的或第一轮经济中各部门的相互影响^[51]; w_j 为水的直接投入量; x_j 为 j 产品的产出量。

虚拟水系数矩阵为

$$D = (\delta_{ij}) \quad \delta_{ij} = \sum (\omega_j \alpha_{ij}) \tag{6}$$

式中: D 为虚拟水系数矩阵; δ_{ij} 为 j 产品在第 i 个产出量时的虚拟水含量; α_{ij} 为 j 产品的第 i 个产出量。

间接水投入系数由 δ_j 减去 ω_j 而求得,即为 j 产品最终需求量所产生的间接水投入。有学者利用 Input-output 模型计算了中国国家水足迹^[9]。Input-output 模型能分别计算出生产过程中直接和间接的

用水量,并核算各产业部门直接水资源流动量,明确高水耗部门,为产业结构优化提供依据。但目前该方法只是一种估算方法,它是建立在一定假设基础上的:每个部门只生产一种产品且都使用相同的工艺流程,即一个部门仅代表唯一产品的模型;而且在商品流通中将货币作为基准单位以简化分析。

目前在水足迹的核算研究中,主要有 Bottom-up 分析法、Top-down 分析法和 Input-output 模型法,它们在计算水足迹时所采用的公式和适用范围均有差别,其比较的内容见表 1。

4 水足迹的相关应用

4.1 产品水足迹

国外学者对水足迹已有不少研究,微观层面的研究主要集中在产品水足迹方面,尤其是农业产品和畜牧业产品,因其耗水量大并且是加工产品的初级原料,其水足迹核算受到广泛关注。Chapagain 等^[10,37-38]对咖啡、茶、水稻、肉类的虚拟水含量都进行了详细核算;而国内邓晓军等^[39]计算了南疆棉花消费的水足迹;盖力强等^[40]计算了华北平原小麦、玉米生产的水足迹;何浩等^[41]计算了湖南省水稻水足迹。产品水足迹研究是水足迹发展的起源与基础,也是最为广泛的研究领域,尤其是对于农业相关产品的水足迹核算,而未来工业产品以及第三产业类服务的水足迹将会成为重要研究方向。

4.2 区域水足迹

目前对于宏观层面的水足迹研究主要集中在国家水足迹和区域水足迹等方面,尤其是对缺水地区的水足迹核算上,以期弄清地区水耗现状,为节水供水政策提供依据。在国外,许多学者都在研究国家层面的水足迹,对一国用水进行整体评估^[8,42]。国内研究主要集中于缺水地区和大城市的水足迹评价,如郭斌等^[43-45]计算了西北、华北干旱半干旱地区的水足迹;Zhang 等^[16,46]采用计算评价水足迹的方法对北京市水资源利用情况及可持续性进行了讨论。基于产品水足迹,越来越多的学者开始关注区域水足迹的核算,尤其是缺水地区的农业水耗已成为研究重点。

4.3 水足迹其他应用

当前对于水足迹的基本核算已经取得了一定的

表 1 水足迹核算方法比较

方法	公式	适用范围	优点	不足
Bottom-up 分析法	公式(1)	进出口水量无法获得时	灵活,直观,可选择数据等级	不适于国家水足迹
Top-down 分析法	公式(2)(3)(4)	国家水足迹	适应公共数据,对间接分析有效	不适于较低级的水足迹
Input-output 模型法	公式(5)(6)	一个部门仅代表唯一产品时	可分别计算直接和间接用水量	是估算模型

研究成果,这是水足迹研究的基础性工作。相对而言,基于水足迹理论,应用水足迹作为评价分析指标或区域规划依据,将水足迹与其他相关研究进行耦合等已成为新的研究方向。在目前已有的研究中,Aviso 等^[47]将水足迹与产业结构相结合,优化了水足迹约束下的产业供应链;Zhang 等^[15]通过核算北京市贸易虚拟水流量与各省市用水效率,将水足迹与经济指标相结合,为北京市节水政策提供了建议;耿涌等^[48]通过界定流域水足迹,判断分析水生态系统安全状态,提出了基于水足迹的流域生态补偿标准计量流程和测算模型。在未来,水足迹的计算逐渐成为基础与工具,更多的研究将集中于水足迹的相关应用。利用区域水足迹,提出新的区域水资源管理政策;或利用产品水足迹,衡量生产过程的环境经济效益,以及带来的环境生态影响等,都将成为研究重点。

5 研究展望

随着全球水资源的日益短缺、地区性用水不足以及水污染的日益突出,水足迹的概念已经越来越受到了人们的关注,它为量化人类生产活动对水资源的影响以及更有效地利用水资源提供了一个新的思路与方法。本文阐述了水足迹的理论基础,介绍了水足迹核算研究的 Bottom-up 分析法、Top-down 分析法和 Input-output 模型法,并对国内外水足迹的研究进展进行了概括;主要集中在产品水足迹、区域水足迹、国家水足迹及其他相关应用领域。而未来水足迹的研究在以下方面仍有待进一步深入:

- a. 虚拟水战略逐渐成为热点。侧重于以国家为尺度的虚拟水进出口量的分析,同时应将虚拟水战略作为国家贸易政策的一部分,突出它的重要影响。就我国而言,各地区和全国的水足迹计算和评价的实践研究方面亟待加强。我国水资源分布不均,地区性缺水严重,更加需要制定合适的虚拟水贸易政策,鼓励干旱地区进行虚拟水贸易,以期提供粮食安全和缓解水资源压力。
- b. 水足迹消费对生态环境的影响。当前水足迹计算侧重于消费过程用水量的分析,而忽略了生产消费过程造成的水质变化,以及对流域、周边环境造成的影响,未来应将其纳入考量范围。比如水足迹与自然生态系统用水的协调关系研究、虚拟水流动的资源生态效应等方面的研究都比较薄弱。
- c. 衡量水足迹的经济效益。将水足迹与 GDP 相结合,以评价水资源利用效率,找出高水耗、低效率的行业,为产业结构调整及区域节水提供理论依据。同时对各地区用水效率进行分析,统筹虚拟水

贸易战略,优化生产布局,改善贸易路线,以期达到缓解各地区(尤其是缺水地区)水资源压力,提高水资源利用效率,形成互利共赢的局面。

d. 逐步完善水足迹量化手段。目前水足迹量化手段不够精确,尤其是工业和生态用水缺乏有效的量化手段,应进一步研发和建立更加合适与准确的数学模型,应用到实际水足迹的分析过程中,以此为基础综合考量各方面因素,达到区域生产模式和水资源分配的最优化。

参考文献:

[1] LAMBOOY T. Corporate social responsibility: sustainable water use [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 19 (8): 852-866.

[2] HOEKSTRA A Y, HUNG P Q. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade [J]. Global Environmental Change: Part A, 2005, 15 (1): 45-56.

[3] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. Water footprints of nations [R]. Delft: UNESCO-IHE, 2004.

[4] ALLAN J A. Fortunately there are substitutes for water; otherwise our hydropolitical futures would be impossible [R]. London: Overseas Development Administration, 1993.

[5] ALLAN J A. Virtual water: a long term solution for water short Middle Eastern economies? [M]. London: School of Oriental and African Studies, University of London, 1997.

[6] ALLAN J A. Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits [J]. Ground Water, 1998, 36 (4): 545-546.

[7] ELENA G, ESTHER V. From water to energy: the virtual water content and water footprint of biofuel consumption in Spain [J]. Energy Policy, 2010, 38 (3): 1345-1352.

[8] YU Y, HUBACEK K, FENG K, et al. Assessing regional and global water footprints for the UK [J]. Ecological Economics, 2010, 69 (5): 1140-1147.

[9] ZHAO X, CHEN B, YANG Z F. National water footprint in an input-output framework: a case study of China 2002 [J]. Ecological Modelling, 2009, 220 (2): 245-253.

[10] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives [J]. Ecological Economics, 2011, 70 (4): 749-758.

[11] HOEKSTRA A Y, CHAPAGAIN A K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern [J]. Water Resources Management, 2007, 21 (1): 35-48.

[12] HOEKSTRA A Y, MEKONNEN M M. The water footprint of humanity [J]. Proceedings of the National Academy of

- Sciences,2012,109(9):3232-3237.
- [13] 龙爱华,张志强,徐中民,等. 甘肃省水资源足迹与消费模式分析[J]. 水科学进展,2005,16(3):418-425. (LONG Aihua,ZHANG Zhiqiang,XU Zhongmin,et al. Analysis of water footprint and consumption patten in Gansu Province[J]. Advances in Water Science,2005,16(3):418-425. (in Chinese))
- [14] 程国栋. 虚拟水:水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊,2003,4(1):260-265. (CHENG Guodong. Virtual water: a strategic instrument to achieve water security[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences,2003,4(1):260-265. (in Chinese))
- [15] ZHANG Z,YANG H,SHI M. Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input-output framework[J]. Ecological Economics,2011,70(12):2494-2502.
- [16] ZHANG Z,SHI M,YANG H. Understanding Beijing's water challenge: a decomposition analysis of changes in Beijing's water footprint between 1997 and 2007[J]. Environmental Science & Technology,2012,46(22):12373-12380.
- [17] DONG H,GENG Y,SARKIS J,et al. Regional water footprint evaluation in China: a case of Liaoning[J]. Science of the Total Environment,2013,442:215-224.
- [18] WANG Z,HUANG K,YANG S,et al. An input-output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of Beijing,China[J]. Journal of Cleaner Production,2013,42:172-179.
- [19] HOEKSTRA A Y,HUNG P Q. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade[R]. Delft: UNESCO-IHE,2003.
- [20] CHAPAGAIN A K,HOEKSTRA A Y. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products[R]. Delft: UNESCO-IHE,2003.
- [21] RENAULT D. Value of virtual water in food: principles and virtues[R]. Delft: UNESCO-IHE,2003.
- [22] ČUČEK L,KLEMEŠ J J,KRAVANJA Z. A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability[J]. Journal of Cleaner Production,2012,34:9-20.
- [23] 王新华,徐中民,龙爱华. 中国2000年水足迹的初步计算分析[J]. 冰川冻土,2005,27(5):774-781. (WANG Xinhua,XU Zhongmin, LONG Aihua. Estimation of water footprint of China in 2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2005,27(5):774-781. (in Chinese))
- [24] 马静,汪党献,来海亮,等. 中国区域水足迹的估算[J]. 资源科学,2005,27(5):96-1001. (MA Jing,WANG Dangxian,LAI Hailiang,et al. Water footprint: an application in water resources research[J]. Resources Science,2005,27(5):96-1001. (in Chinese))
- [25] HOEKSTRA A Y,CHAPAGAIN A K. The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities[J]. Ecological Economics,2007,64(1):143-151.
- [26] ALDAYA M M,ALLAN J A,HOEKSTRA A Y. Strategic importance of green water in international crop trade[J]. Ecological Economics,2010,69(4):887-894.
- [27] FALKENMARK M,ROCKSTROM J. The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management[J]. Journal of Water Resources Planning and Management,2006,132(3):129-132.
- [28] CHAPAGAIN A K,HOEKSTRA A Y,SAVENIJE H,et al. The water footprint of cotton consumption[J]. Ecology Economics,2005,60(1):186-203.
- [29] 周姣,史安娜. 区域虚拟水贸易计算及实证[J]. 中国人口资源与环境,2008,18(4):184-188. (ZHOU Jiao,SHI Aana. Method for calculating Virtual water trade and demonstration[J]. China Population, Resources and Environment,2008,18(4):184-188. (in Chinese))
- [30] 王红瑞,董艳艳,王军红,等. 关于虚拟水与虚拟水贸易的讨论[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2007,42(6):633-638. (WANG Hongrui,DONG Yanyan,WANG Junhong,et al. Discussion on virtual water and virtual water trade[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science,2007,42(6):633-638. (in Chinese))
- [31] HOEKSTRA A Y. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis[J]. Ecological Economics,2009,68(7):1963-1974.
- [32] RIDOUTT B G,JULIANO P,SANGUANSRI P,et al. The water footprint of food waste: case study of fresh mango in Australia[J]. Journal of Cleaner Production,2010,18(16/17):1714-1721.
- [33] CHAPAGAIN A K,HOEKSTRA A Y,SAVENIJE H. Water saving through international trade of agricultural products[J]. Hydrology and Earth System Sciences,2006,10(3):455-468.
- [34] CHAMBERS N,SIMMONS C,WACKERNAGEL M. Sharing nature's interest: ecological footprints as an indicator of sustainability[M]. London: Earthscan Publications Ltd,2000.
- [35] MONFREDA C,WACKERNAGEL M,DEUMLING D. Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments[J]. Land Use Policy,2004,21(3):231-246.
- [36] HOEKSTRA A Y. Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources. [M]. Hoboken: Wiley Online Library,2008.
- [37] HOEKSTRA A Y. The hidden water resource use behind meat and dairy[J]. Animal Frontiers,2012,2(2):3-8.

[38] CHAPAGAIN A K,HOEKSTRA A Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands [J]. Ecological Economics,2007,64(1):109-118.

[39] 邓晓军,谢世友,崔天顺,等. 新疆棉花消费水足迹及其对生态环境影响研究 [J]. 水土保持研究,2009,16(2):176-180. (DENG Xiaojun, XIE Shiyu, CUI Tianshun,et al. Research of the water footprint of cotton consumption and its effect on ecological environment in southern of Xinjiang [J]. Research of Soil and Water, 2009,16(2):176-180. (in Chinese))

[40] 盖力强,谢高地,李士美,等. 华北平原小麦、玉米作物生产水足迹的研究 [J]. 资源科学,2010,32(11):2066-2071. (GAI Liqiang, XIE Gaodi, LI Shimei, et al. A study of production water footprint of winter-wheat and maize in the North China plain [J]. Resources Science, 2010, 32(11):2066-2071. (in Chinese))

[41] 何浩,黄晶,淮贺举,等. 湖南省水稻水足迹计算及其变化特征分析 [J]. 中国农学通报,2010,26(14):294-298. (HE Hao, HUANG Jing, HUAI Heju, et al. The water footprint and its temporal change characteristics of rice in Hunan [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(14):294-298.

[42] VANHAM D, BIDOGLIO G. A review on the indicator water footprint for the EU28 [J]. Ecological Indicators, 2013,26:61-75. (in Chinese))

[43] 郭斌,任志远. 陕西省 2003 年水资源足迹测评与分析 [J]. 干旱地区农业研究,2006,24(6):178-182. (GUO Bin, REN Zhiyuan. Evaluation and analysis on water footprint of Shanxi Province 2003 [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(6):178-182. (in Chinese))

[44] 邓晓军,谢世友,杨诗源,等. 水足迹分析法在山东省的应用研究 [J]. 农业现代化研究,2007,28(2):232-234. (DENG Xiaojun, XIE Shiyu, YANG Shiyuan, et al. Application and Research of water footprint analysis in Shandong Province [J]. Research of Agricultural Modernization, 2007,28(2):232-234. (in Chinese))

[45] 张燕,徐建华,吕光辉. 西北干旱区新疆水资源足迹及利用效率动态评估 [J]. 中国沙漠,2008,28(4):775-780. (ZHANG Yan, XU Jianhua, LU Guanghui. Dynamic analysis of water footprint and resources utility efficiency of Xinjiang in Northwest China arid areas [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(4):775-780. (in Chinese))

[46] HUANG J, ZHANG H L, TONG W J, et al. The impact of local crops consumption on the water resources in Beijing [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 21:45-50.

[47] AVISO K B, TAN R R, CULABA A B, et al. Fuzzy input-output model for optimizing eco-industrial supply chains under water footprint constraints [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 19(2):187-196.

[48] 耿涌,戚瑞,张攀. 基于水足迹的流域生态补偿标准模型研究 [J]. 中国人口资源与环境,2009,19(6):11-16. (GENG Yong, QI Rui, ZHANG Pan. A water footprint based model on river basin eco-compensation [J]. China Population, Resource and Environment, 2009, 19(6):11-16. (in Chinese))

(收稿日期:2012-08-07 编辑:周红梅)

• 简讯 •

河海大学启动堤坝工程安全与减灾学科创新引智基地建设

河海大学堤坝工程安全与减灾学科创新引智基地建设启动暨学术报告会于2013年5月18—19日在河海大学举行,来自澳大利亚、美国、法国、日本、中国香港等国家与地区的国际著名岩土工程专家以及国内相关专家学者出席并参加了学术报告会。

河海大学堤坝工程安全与减灾学科创新引智基地以长江学者刘汉龙教授为负责人,以岩土工程国家重点学科为支撑,依托水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心、岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室、江苏省岩土工程技术工程研究中心等科研平台,汇聚美国、英国、法国、澳大利亚、新加坡、日本、中国及中国香港等国家与地区学术专家和骨干,密切结合国家发展重大需求,围绕我国重大水利水电和高速交通工程建设中岩土工程领域的关键技术问题开展深入的国际合作研究。

由教育部、国家外国专家局联合组织实施的“高等学校学科创新引智计划”,旨在加大引进海外人才的力度,在高等学校汇聚一批世界一流人才,促进海外人才与国内科研骨干的融合,开展高水平的合作研究和学术交流,重点建设一批具有创新能力的学科,提升高等学校的科技创新能力和综合竞争力。堤坝工程安全与减灾学科创新引智基地是河海大学继水文学及水资源学科创新引智基地、海岸带滩涂资源开发与安全学科创新引智基地后获得立项及经费支持的第3个国家创新引智基地。

(本刊编辑部供稿)