

# 大连市旅顺口区与经济技术开发区水足迹初步研究

项学敏<sup>\*1</sup>, 周笑白<sup>1</sup>, 康晓林<sup>1</sup>,  
王 刃<sup>2</sup>, 周集体<sup>1</sup>, 杨凤林<sup>1</sup>, 张 令<sup>1</sup>

(1. 大连理工大学 环境与生命学院, 辽宁 大连 116024;  
2. 大连理工大学 化工学院, 辽宁 大连 116012)

**摘要:** 水足迹将实物形态的水与虚拟形态的水联系起来, 为分析经济模式对区域水资源的影响、解决区域水资源缺乏问题提供了一种新思路. 计算了大连市旅顺口区 and 大连市经济技术开发区的水足迹. 结果表明, 2003 年旅顺口区的总水足迹不足开发区的 50%, 但实体水的消耗量约为开发区的 1.5 倍. 旅顺口区水资源压力大的主要原因是该区施行农业为主要产业、在贸易过程中大量输出虚拟水的发展模式. 考虑到两个地区的水资源特点及经济模式对用水的影响, 提出了增加工业在产业中的比率和发展精品农业等的发展策略.

**关键词:** 水足迹; 虚拟水; 水资源管理; 经济模式

**中图分类号:** X321; O21 **文献标志码:** A

## 0 引言

水资源既是基础性自然资源, 也是战略性经济资源, 是保障国家经济正常运行的重要条件<sup>[1]</sup>. 但全球可利用的淡水资源极为有限, 水资源的时空分布又极不平衡, 难以与人口、生产力、区域经济发展及生态环境的需求达到协调<sup>[2]</sup>. 与此同时, 人类在经济活动中缺乏对水资源的有效保护和管理成为水资源危机的另一原因<sup>[3]</sup>. 缓解水资源短缺, 促进水资源的合理利用, 已经成为实现 21 世纪全球经济与社会可持续发展的重大问题.

区域水资源利用评估, 是合理的水资源保护措施, 保障地区水资源供需平衡和可持续发展的前提条件. 但传统的水资源评判标准仅限于对生活用水、农业用水和工业用水等实体水的用量, 只考虑了水资源的物质属性, 而未考虑水资源的社会属性<sup>[4]</sup>. Hoekstra 在 2002 年提出的水足迹概念恰好弥补了这一不足. 本研究考察水足迹模型在小城镇区域规划中的应用效果. 在计算辽宁省大连市旅顺口区(旅顺口区)和大连市经济技术开发区(开发区)2003 年水足迹的基础上, 分析两地区不同经济模式对地域水资源的影响.

## 1 水足迹介绍

水足迹是在虚拟水和生态足迹的基础之上提出的, 其概念是定量人口(一个国家、一个地区或一个人)在一定时间内消费的所有产品和服务所含的水资源量<sup>[5]</sup>. 它包括虚拟水消耗和实体水消耗两个部分, 而虚拟水占据了其中的主要部分<sup>[6]</sup>.

### 1.1 虚拟水简介

虚拟水是 Allan 在 20 世纪 90 年代提出的新概念<sup>[7,8]</sup>. 它并非是物理意义上的水, 而是指生产和服务过程中所消耗的水, 因此又叫做“内嵌水”或“外生水”<sup>[9,10]</sup>. 目前, 世界各国的科研人员已经分别确立了农牧产品虚拟水的计算方法, 计算了小麦、牛肉等多种产品的虚拟水含量, 为虚拟水贸易以及区域水足迹研究奠定了基础<sup>[10]</sup>.

虚拟水战略是指贫水国家和地区通过进口丰水国家和地区的水密集型产品来保证国内水资源安全的一种商业战略. 许多国家已经在这种战略中受益, 比如中东和北非的国家, 由于本国的水资源不足以支持该地区诸如食品等高耗水产业的发展, 这些国家每年都进口大量粮食产品, 而其中所含的虚拟水量是非常可观的<sup>[11]</sup>.

虚拟水概念巧妙地将水资源与经济贸易有机地结合起来,暗示了水资源在经济发展中的重要作用<sup>[12]</sup>.它将人类所消费的看不见的生产消耗水融入水资源计算系统,完善了地区水资源体系,提高了人们对生产中水量消耗的重视程度.同时,虚拟水战略通过贸易手段完成水资源的二次调度,不仅克服了真实水输入路途遥远、价格昂贵、缺乏生态安全性的缺点,同时也将水资源管理扩展到了经济层面<sup>[13]</sup>.

## 1.2 地区实体水消耗分析

地区消耗的实体水组成是与地区经济发展息息相关的,具体的,包括工业取水、农业取水、居民生活用水和生态用水.其中生态用水包括维持河流、湖泊、湿地功能用水,也包括人工园林的灌溉用水<sup>[14]</sup>.生态用水是地区水足迹的重要组成部分,它的加入使区域水资源评估方法更加完善.

## 1.3 区域水足迹的评价指标体系

区域水足迹是一种区域水资源的量化方法,其具体评价指标包括区域水足迹、水依赖度及自给率3个指标<sup>[4]</sup>.

1.3.1 区域水足迹 区域水足迹和人均水足迹是分别用于衡量一个区域或一个人真正需水量的指标.

区域水足迹的计算公式为

$$Q_{wf} = Q_{wu} + Q_{nvwi}$$

$$Q_{nvwi} = Q_{gvwi} - Q_{gvwe}$$

式中: $Q_{wf}$ 为区域水足迹; $Q_{wu}$ 为国家或地区总用水量,包括净输入虚拟水量和实体水利用量; $Q_{nvwi}$ 为国家或地区的虚拟水净输入量; $Q_{gvwi}$ 为国家或地区的总输入虚拟水量; $Q_{gvwe}$ 为国家或地区的总输出虚拟水量.

人均水足迹的计算公式为

$$\text{人均水足迹} = \text{区域水足迹} / \text{区域人口总数}$$

1.3.2 水依赖度和自给率 一个国家或地区的水自给率(water self-sufficiency)是反映该国或地区水资源自给程度的指标.水自给率计算公式如下:

$$\begin{cases} D_w = Q_{nvwi} / (Q_{wu} + Q_{nvwi}) \times 100\%; & Q_{nvwi} \geq 0 \\ D_w = 0; & Q_{nvwi} < 0 \end{cases}$$

$$S_{ws} = 1 - D_w$$

式中: $D_w$ 为国家或地区的虚拟水输入依赖度(%); $S_{ws}$ 为国家或地区的水自给率(%).

如果自给率等于100%表明该国或地区水资

源的需求全部由本地区供给<sup>[5]</sup>;如果自给率接近于零则表明该国或地区严重依赖于虚拟水的输入.

## 1.4 开展水足迹研究的重要意义

随着世界人口的增加和经济的发展,水资源紧缺在世界各国——尤其是贫水国家发展中的“瓶颈”效应越来越明显,水资源消费状况的研究和水资源匮乏问题的解决也显得愈加急迫.水足迹能够较为客观地刻画一个地区对水资源真实需求和真实占用的情况,是人类对水资源系统压力的真实体现<sup>[15]</sup>.它能够将实物形态的水与虚拟形态的水联系起来,不仅拓宽了传统水资源评价体系的外延和内涵,也为分析一个国家或区域水资源消费模式,解决区域水资源缺乏问题提供了一种新思路<sup>[5]</sup>.本文应用水足迹理念,计算并分析经济模式、消费模式对大连开发区和旅顺口区水资源压力,探讨解决这两个地区水资源匮乏的问题.

## 2 旅顺口区 and 开发区水足迹计算

### 2.1 旅顺口区 and 开发区简介

旅顺口区位于辽东半岛最南端,属大连市辖区,三面环海,地理位置优越,风景优美<sup>[16]</sup>.开发区位于渤海经济圈的中心地带,地势北高南低,风景秀美,交通便利<sup>[17]</sup>.两个地区的降水量均小于蒸发量(旅顺口区年蒸发量1498.3 mm,降水量592.8 mm;开发区年蒸发量1548.1 mm,降水量687.7 mm),且地区降水时空分布不均,地面贮水能力较低,水资源较为匮乏<sup>[16,17]</sup>.

近年来,随着东北老工业基地的振兴,两个区域经济都呈现出良好的发展态势,但淡水资源匮乏却成为其良性发展的瓶颈<sup>[16,17]</sup>.加强两个区域的水资源管理,制定合理的水资源管理政策,对维护区域水资源平衡,加速经济发展具有相当重要的意义.

### 2.2 旅顺口区及开发区水足迹计算

#### (1) 区域净输入虚拟水量计算

虚拟水是水足迹中的重要组成部分.区域虚拟水量可以反映区域对外部水资源的依赖程度.

旅顺口区 and 开发区的虚拟水量统计如表1、2所示.

#### (2) 水足迹相关指标的计算

水足迹指标包括水足迹、水依赖度和水自给度.旅顺口区 and 开发区的水足迹指标统计见表3.

表 1 旅顺口区 2003 年净输入虚拟水统计  
Tab. 1 Net virtual water import in Lushunkou District in 2003

种类	农村人均消费量 <sup>[6,16]</sup> /kg	城市人均消费量 <sup>[6]</sup> /kg	总消费量 <sup>[16]</sup> /t	产量 <sup>[16]</sup> /t	净输入量 <sup>[16]</sup> /t	单位产品虚拟水含量 <sup>[4]</sup> /(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	净输入产品虚拟水量/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
粮食	249.5	82.3	30 611.25	18 060	12 551.25	1 500	18.83
大豆	7.1	8.2	1 613.63	668	945.63	2 617	2.47
蔬菜	112.0	114.7	23 597.25	136 130	-112 532.75	210	-23.63
肉	21.4	39.2	6 699.61	13 798	-7 098.39	3 561	-25.28
蛋	4.97	11.21	1 822.89	28 585	-26 762.11	3 550	-95.01
奶	1.06	9.94	1 345.68	13 008	-11 662.32	1 000	-11.66
水果	36.72	42.0	8 293.59	26 403	-18 109.41	387	-7.01
总计							-141.29

注:单位产品虚拟水含量数据选取中国该产品虚拟水含量的平均值,具体计算方法和参数选取见文献[4]

表 2 开发区 2003 年净输入虚拟水统计  
Tab. 2 Net virtual water import in Development Area in 2003

种类	农村人均消费量 <sup>[6,16]</sup> /kg	城市人均消费量 <sup>[6]</sup> /kg	总消费量 <sup>[16]</sup> /t	产量 <sup>[16]</sup> /t	净输入量 <sup>[16]</sup> /t	单位产品虚拟水含量 <sup>[4]</sup> /(m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	净输入产品虚拟水量/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
粮食	249.5	82.3	53 763.7	15 255	38 508.7	1 500	57.76
大豆	7.1	8.2	2 959.3	415	2 544.3	2 617	6.66
蔬菜	112.0	114.7	43 106.8	41 427	1 679.8	210	0.35
肉	21.4	39.2	12 453.8	13 798	-1 344.2	3 561	-4.79
蛋	4.97	11.21	3 406.19	680	2 726.19	3 550	9.68
奶	1.06	9.94	2 568.46	2 408	160.46	1 000	0.16
水果	36.72	42.0	15 205.2	12 316	2 889.2	387	1.12
总计							70.94

表 3 旅顺口区和开发区水足迹指标统计表(2003 年)  
Tab. 3 The footprint index of Lushunkou District and Development Area (2003)

地区	Q/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>			人均水足迹/m <sup>3</sup>	水资源依赖度/%	水资源自给率/%
	虚拟水	实体水	水足迹			
旅顺口区	-141.29	258.54	117.25	564.70	0	100
开发区	70.94	179.98	250.92	662.06	28.27	71.73

### 2.3 旅顺口区、开发区水足迹指标分析

从理论上讲,水资源缺乏的地区,应以输入虚拟水为主.但世界各国的水资源量与虚拟水输入量并无正相关的关系.某些水资源缺乏国家输入了大量水资源,如日本、阿拉伯等国家和地区.但某些水资源缺乏国家,比如埃塞俄比亚、也门和埃及等国家,输入虚拟水量则相当少<sup>[4]</sup>.这与国家的经济和产业发展方向都有很大的关系.开发区和旅顺口区正是水资源匮乏地区在虚拟水输入方面的两个典型范例.

从表 3 中可以看出,虽然旅顺口区的总水足迹不足开发区的 50%,但该地区实体水的消耗量约为开发区的 1.5 倍,说明在旅顺口区内水资源压力较大.开发区通过贸易向区内输入大量的水,而旅顺口区对外界水资源的依赖程度为零.

影响两个区域水资源利用的因素很多,包括

产业方面、贸易方面和污水治理方面的问题.究其原因如下:

(1)产业因素.旅顺口区是大连市的农产品基地之一,农业是旅顺口区的支柱产业,区域内种植了大量谷物和大豆,还饲养了大量高耗水的牲畜、禽类.与此相反,开发区工业比重比较大,其保留的小部分农业资源,大都是花卉生产、蔬菜生产和优质水果等低耗水的精品农业.这使得旅顺口区的单位 GDP 耗水量(250 t/万元)要远高于开发区的单位 GDP 耗水量(32.3 t/万元),在提高相同的经济指标的同时,对区域水资源的需求更大.

(2)贸易因素.旅顺口区主要向周边城镇(如大连市区)提供粮食、畜牧产品等农产品,在贸易过程中流失了大量的水资源.而开发区出口品多为耗水量低而附加值高的技术产品和工业产品,农产品大量依赖进口,这就相当于间接地输入了

虚拟水资源,从一定程度上减少了对地区内水资源的消耗。

(3)污水治理因素. 污水处理不仅防止了污水降低地表水质功能,还提高了水资源的循环利用,是减轻地区地表水资源压力的良方. 开发区污水治理达标率为96%,中水回用率为20%;而旅顺口区污水治理达标率为82.8%,中水回用率不足1%. 相比之下,污水处理和利用程度较低的旅顺口区对地表水资源压力缓解能力较小。

总之,尽管降水量少和时空不均均是旅顺口区和开发区水资源短缺的重要原因之一,但产业发展、贸易条件和经济条件的不同,也影响了两个地区的水资源安全程度. 工农业单位GDP耗水量之间的巨大差异,使得以工业开发为主的开发区的水资源压力要小于以农业为主的旅顺口区的压力,其水资源的可持续性也相应高于旅顺口区。

目前两个地区的水资源问题并未得以彻底解决,水资源匮乏仍是阻碍地区可持续发展的重要“瓶颈”. 为保证区域水资源安全,应在区域水足迹的基础上制定合理的水资源管理策略,补充该地区缺乏的水资源。

## 2.4 缓解旅顺口区、开发区水资源短缺的策略

水是经济、社会、环境正常运行的必要资源. 由于旅顺口区 and 开发区都是水资源短缺区域,为维持地区的水资源安全,保障人类生产生活用水和生态用水,就需要在内部节水的基础上从外部调入一定量水资源. 为克服远距离调水和海水淡化价格昂贵的问题,应从实体水和虚拟水两方面入手解决该地区的水资源匮乏问题<sup>[18]</sup>。

实体水节约方面:首先要重视两个地区的水资源的规划和管理,加强区域的水利建设. 要有意识地拦截雨水,建立贮水水窖,人为调控降水的季节分配. 第二,要提高水资源利用效率. 尤其是在用水较多的农业方面,要广泛推广微灌技术,减少水资源的浪费<sup>[19]</sup>. 第三,要建立城市污水处理系统,处理城市生活污水和经过初步处理的达到城市污水处理厂处理标准的工业废水. 这一方面避免了污水影响该地区水质,另一方面还可以提供中水,有利于水资源的循环利用。

虚拟水节水方面:对于水资源匮乏的地区,通过进出口贸易得到虚拟形态的水应该是弥补本地区水资源短缺的一个合适方法. 开发区通过贸易从外部获取了大量的水资源,水资源依赖度已经达到了28.27%,部分缓解了本地区的水匮乏问

题,但相对德国(水资源依赖度为53%)、日本(水资源依赖度为64%)等国,仍有很大的提高潜能<sup>[4]</sup>. 应进一步减少农产品的种植,限制化工、食品等高耗水企业的发展,跳出人与环境争水的怪圈. 对于旅顺口区产业结构的调整是非常必要的,一方面,旅顺口区应降低耗水量较高的畜产品的产业比例,引入需水量相对较小的工业和花卉种植等产业,使大量的水资源从农产品中解脱出来. 另一方面,可以通过贸易输入部分虚拟水含量高的产品,维持地区的水资源平衡,保障本地区的水资源安全。

## 3 结 语

水资源匮乏是困扰大连市旅顺口区及开发区发展和建设的主要问题之一. 这不仅与该地区降水量少和时空分布不均有关,而且与地区的经济发展模式、消费模式紧密相关. 本文通过计算两个地区的水足迹发现,虽然旅顺口区的总水足迹不足开发区的50%,但该地区实体水的消耗量约为开发区的1.5倍,对地区水资源的压力明显高于开发区. 经过对两个地区水足迹参数的对比与分析,得出两地区水足迹差别来源于产业、贸易以及污水治理及回用三方面,并以此为基础提出了诸如建立水窖、建立污水回用体系、改变地区的产业结构和贸易结构等解决这两个地区水资源短缺的切实可行方法. 由此可见,水足迹理论为小城镇的水资源规划和管理方案提供了强大的理论支持,有利于尽早实现小城镇经济、社会和环境的和谐发展。

## 参 考 文 献:

- [1] 刘毅,贾若祥,侯晓丽. 中国区域水资源可持续利用评价及类型划分[J]. 环境科学, 2005, 26(1): 42-46
- [2] 吴佩林. 我国区域发展的水资源压力分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(10): 143-149
- [3] 姜文来,雷波,唐曲. 水资源管理学及其研究进展[J]. 资源科学, 2005, 27(1):153-157
- [4] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. Water footprints of nations, Volume 1: Main Report [R] // Value of Water Research Report Series: No.16, UNESCO-IHE. Delft: Institute for Water Education, 2004
- [5] 马静,汪献武,来海亮,等. 中国区域水足迹的估算[J]. 资源科学, 2005, 27(5):96-100

- [6] 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):774-780
- [7] ALLAN J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible [C] // **Priorities for Water Resource Allocation and Management**. London: Overseas Development Administration, 1993
- [8] ALLAN J A. Overall perspective on countries and regions [C] // ROGERS P, LYDON P. **Water in the Arab World: Perspective and Prognoses**. Massachusetts: Harvard University Press, 1994
- [9] HOEKSTRA A Y. Virtual water trade: an introduction [C] // **Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade**. Delft: [s n], 2003
- [10] 张志强,程国栋. 虚拟水、虚拟水贸易与水资源安全新战略[J]. 科技导报, 2004(3):7-10
- [11] WICHELS D. The role of 'virtual water' in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt [J]. **Agricultural Water Management**, 2001, **49**(2):131-151
- [12] WICHELS D. The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages [J]. **Agricultural Water Management**, 2004, **66**(1):49-63
- [13] OADIR M, VOERS TH M, SCHUBERT S, *et al.* Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities [J]. **Agricultural Water Management**, 2003, **62**(3):165-185
- [14] 左其亭. 论生态环境用水与生态环境需水的区别与计算问题[J]. 生态环境, 2005, **14**(4):611-615
- [15] 龙爱华,徐中民,张志强,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
- [16] 大连市旅顺口区统计局. 旅顺口区统计年鉴[M]. 大连:大连统计出版社, 2003
- [17] 大连经济技术开发区统计局. 经济技术开发区统计年鉴[M]. 大连:大连统计出版社, 2003
- [18] YANG H, ZEHNDER A J B. Water scarcity and food import: a case study for Southern Mediterranean Countries [J]. **World Development**, 2002, **30**(8):1413-1430
- [19] 上官周平,邵明安. 21世纪农业高效用水技术展望[J]. 农业工程学报, 1999, **15**(1):17-21

## Preliminary study of water footprint of Dalian Lushunkou District and Dalian Development Area

XIANG Xue-min<sup>\*1</sup>, ZHOU Xiao-bai<sup>1</sup>, KANG Xiao-lin<sup>1</sup>,  
WANG Ren<sup>2</sup>, ZHOU Ji-ti<sup>1</sup>, YANG Feng-lin<sup>1</sup>, ZHANG Ling<sup>1</sup>

( 1. School of Environmental and Biological Science and Technology, Dalian University of Technology,  
Dalian 116024, China;

2. School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116012, China )

**Abstract:** Water footprint, which presents the relationship between real water and virtual water, has provided a new idea in analyzing the relationship between local economic pattern and regional water resources as well as in solving the problem of water shortage in water scarcity regions. The water footprint of Dalian Lushunkou District and Dalian Development Area was calculated. Results show that the total water footprint of Dalian Lushunkou District can hardly cover half of the water footprint of the Dalian Development Area, but the real water consumption in Dalian Lushunkou District is about 1.5 times of that in Dalian Development Area. The water stress of Lushunkou District mainly lies in its high water consumption in economic strategies of taking agriculture as its major industry and exporting a large amount of virtual water in its commercial trades. Based on the water resources characteristics of the two regions and the influence of economic patterns on water consumption, some strategies such as increasing the industry proportion and developing fine agriculture are put forward.

**Key words:** water footprint; virtual water; water resource management; economic pattern