

基于水资源生态足迹的浑河流域水资源利用评价

王秀颖, 刘和平

(辽宁省水文局, 辽宁 沈阳 110003)

摘要: 用水资源生态足迹模型计算浑河流域 2005~2013 年水资源生态足迹和水资源生态承载力, 并基于各评价指标对浑河流域水资源利用情况进行评价。结果表明: 2005~2013 年浑河流域水资源生态足迹呈现不显著的下降趋势, 水资源生态承载力呈现波动变化; 流域一直处于水资源生态赤字状态, 仅在 2010 年出现盈余; 流域水资源生态足迹指数低于可持续发展足迹指数范围, 但万元 GDP 水资源生态足迹持续下降。总体来看, 流域水资源利用处于不可持续状态, 但 2010 年后流域水资源利用效率明显提高, 并向着可持续的方向发展。

关键词: 水资源生态足迹; 水资源生态承载力; 浑河; 水资源利用

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2016)03-0050-06

随着社会需水量的不断增加, 水资源供需矛盾日益突出, 水资源逐渐成为制约我国社会经济发展的瓶颈。因此, 对区域水资源的消耗和可持续利用进行评价, 已成为众多学者研究的热点。近年来, 基于生态足迹的思路来研究水资源利用情况日趋活跃, 并且主要有两种途径^[1]: 其一为水足迹, 即将水资源有关消耗折算成水资源量, 国外学者多倾向于这种思路^[2-3]。其二为水资源生态足迹, 即在生态足迹模型^[4]的基础上, 将水资源纳入其分析框架中, 将水资源有关消耗折算成水域面积。我国学者在水资源生态足迹计算方面进行了深入研究, 并进行了广泛的应用。黄林楠等^[5]在生态足迹模型的理论框架下设立了水资源账户, 建立了水资源生态足迹模型以及水资源承载力模型, 并计算了江苏省水资源生态足迹。谭秀娟等^[6]对我国水资源生态足迹进行了分析, 评价了我国 1949~2007 年水资源的可持续利用状况。此后, 一些学者利用该模型分别对广西、广东、辽宁、云南、上海、武汉等不同省市进行了水资源生态足迹计算, 评价了区域水资源利用状况^[6-11]。

目前, 水资源生态足迹研究大多以行政区域为研究对象, 而针对流域的水资源生态足迹研究较少。本文以辽宁省浑河流域为研究对象, 通过计算和分析 2005~2013 年流域水资源生态足迹、水资源生态承载力以及相关评价指标, 对浑河流域的水资源利用情况

进行评价, 以期今后流域水资源有效利用和管理提供科学依据。

1 流域概况

浑河是辽宁省第二大河流, 隶属于辽河流域, 发源于抚顺市清原县滚马岭, 2011 年水利普查重新定义了浑河范围, 将原来的大辽河归并于浑河, 并且将太子河流域纳为其支流, 如图 1 所示。浑河流经抚顺、沈阳、辽阳、鞍山、盘锦、营口等六市, 在营口境内注入渤海, 据 2011 年辽宁省水利普查数据, 浑河从河源到河

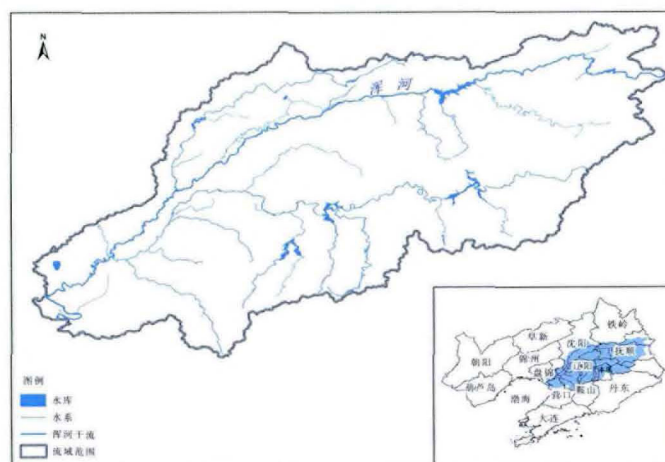


图 1 浑河流域范围及水系分布

Fig.1 The Hunhe River basin and river system distribution

收稿日期: 2015-04-03

基金项目: 辽宁省博士科研启动基金(20141171)

作者简介: 王秀颖(1982-), 女, 满族, 辽宁鞍山人, 高级工程师, 博士, 主要从事水资源分析与评价工作。E-mail: wangxiuying0000@163.com

口全长 495 km,流域面积 28 260 km²。主要支流有太子河、苏子河、社河、章党河、东洲河和蒲河。流域多年平均降水量为 202.63×10⁸m³,主要集中在 6~9 月份,占全年降水量的 70%以上。多年平均径流量 58.94×10⁸m³。浑河由辽东山地丘陵区流入下辽河平原,途经地人口密集、经济相对发达,是下辽河平原辽宁中部经济区最主要的水资源来源。

2 研究方法

2.1 水资源生态足迹计算模型

水资源生态足迹是将消耗的水资源量转化为对应的水资源用地面积,通过均衡化处理,得到可在全球范围内不同地区之间进行相互比较的均衡值。该模型计算公式如下:

$$EF_w = N \times ef_w = \gamma \times [W/P] \quad (1)$$

式中: EF_w 为水资源总生态足迹 (hm²); N 为人口数; ef_w 为人均水资源生态足迹 (hm²/人); γ 为水资源全球均衡因子; W 为消耗的水资源量 (m³); P 为水资源全球平均生产能力 (m³/hm²)。

2.2 水资源生态承载力计算模型

基于生态足迹模型的水资源承载力是指,某一区域在某一具体历史发展阶段,水资源最大供给量可支持该区域资源、环境和社会(生态、生产和生活)可持续发展的能力。计算公式为:

$$EC_w = N \times ec_w = 0.4 \times \gamma \times \varphi [Q/P] \quad (2)$$

式中: EC_w 为水资源生态承载力 (hm²); ec_w 为人均水资源承载能力 (hm²/人); φ 为区域水资源产量因子; Q 为水资源总量 (m³);0.4 为水资源合理开发利用系数,以维持区域生态环境。

2.3 水资源可持续利用评价指标

2.3.1 水资源生态赤字和水资源生态盈余

水资源生态赤字和水资源生态盈余是水资源生态足迹理论中用于评价区域水资源的可持续利用状况的指标,即区域水资源生态足迹与水资源生态承载力的差值:

$$\text{水资源生态赤字(盈余)} = EC_w - EF_w \quad (3)$$

若 $EC_w > EF_w$, 则为水资源生态盈余,说明区域水资源可以满足进一步的需求,利于区域水资源可持续发展; $EC_w < EF_w$, 则为水资源生态赤字,说明区域水资源供给不足,不利于可持续发展; $EF_w = EC_w$, 则说明区域水资源处于生态平衡状态。

2.3.2 水资源生态足迹指数

利用水资源生态足迹指数来定量评价区域水资源

的可持续利用状态和水资源生态压力强度,计算公式如下:

$$EFI_w = (EC_w - EF_w) / EC_w \quad (4)$$

式中: EFI_w 为水资源生态足迹指数。综合参考陈成忠等^[12]根据生态足迹指数划分的区域生态可持续发展程度等级和戴昌军等^[9]对水资源生态足迹指数的划分等级,对浑河流域的水资源可持续利用状态划分为五个等级,即:当 $EFI_w \leq -1$ 时,为严重不可持续;当 $-1 < EFI_w \leq -0.5$ 时,为不可持续;当 $-0.5 < EFI_w \leq 0$ 时,为弱不可持续;当 $0 < EFI_w \leq 0.5$ 时,为弱可持续;当 $0.5 < EFI_w \leq 1$ 时,为强可持续。以上分级主要基于以下考虑:当 $EF_w \geq 2EC_w$, 即水资源生态足迹大于等于 2 倍水资源生态承载力时,认为区域水资源严重不可持续,当 $1.5EC_w \leq EF_w < 2EC_w$, 即水资源生态足迹小于 2 倍水资源生态承载力而大于等于其 1.5 倍时,认为区域水资源不可持续;当 $EC_w \leq EF_w < 1.5EC_w$, 即水资源生态足迹大于等于水资源生态承载力而小于其 1.5 倍时,认为区域水资源弱不可持续;当 $1/2EC_w \leq EF_w < EC_w$, 即水资源生态足迹小于水资源生态承载力而大于等于其 1/2 时,认为区域水资源弱可持续;当 $0 \leq EF_w < 1/2EC_w$, 即水资源生态足迹小于水资源生态承载力的 1/2 时,认为区域水资源强可持续。

2.3.3 万元 GDP 水资源生态足迹

万元 GDP 水资源生态足迹能反映区域水资源的利用效率与经济增长的关系,是指区域水资源生态足迹与区域国内生产总值 GDP 的比值,即:

$$EF_{GDP} = EF_w / GDP \quad (5)$$

万元 GDP 水资源生态足迹越大(小),说明区域水资源利用效率越低(高),该指标可大致反映区域的经济增长方式^[1]。

2.4 数据来源及主要参数确定

2005~2013 年流域各账户用水量、水资源总量数据来自 2005~2013 年的《辽宁省水资源公报》。利用辽宁省水文局已有的 2000 年和 2011 年浑河流域人口、GDP 调查数据,通过年平均增长率估算其他年份的流域人口和 GDP。

水资源全球平均生产能力和水资源全球均衡因子采用前人研究成果,水资源全球平均生产能力 P 为 3 140 m³/hm²,水资源全球均衡因子 γ 为 5.19^[5]。区域水资源产量因子 φ 是研究区域单位面积产水量和全球单位面积产水量的比值,浑河流域 2005~2013 年多年平均产水模数为 3 204 m³/hm²,计算可得浑河流域的区

域水资源产量因子为 1.02。

3 结果与分析

3.1 浑河流域历年水资源生态足迹分析

根据辽宁省水资源公报中用水分类情况，将浑河流域用水分成生活、生产和生态三个用水账户，对生产用水进一步细分为农业、工业、林牧渔畜和城镇公共用水 4 个子账户，其中城镇公共用水为建筑业和服务业用水。

浑河流域历年水资源生态足迹、水资源生态承载力计算结果见表 1，人均值见表 2。由表可见，从 2005~2013 年，浑河流域水资源生态足迹多年平均为 $9.65\times10^6\text{hm}^2$ ，人均水资源生态足迹多年平均为 $0.71\text{hm}^2/\text{人}$ 。历年水资源生态足迹呈波动变化，大致可分成上升和下降两个阶段：从 2005~2007 年，水资源生态足迹呈上升趋势，总值从 $9.38\times10^6\text{hm}^2$ 上升到 $10.04\times10^6\text{hm}^2$ ，同时达到整个时间序列最大值，年均增长率为 3.44%，人均水资源生态足迹从 $0.71\text{hm}^2/\text{人}$ 上升到 $0.75\text{hm}^2/\text{人}$ ，人均值年均增长率为 2.92%，这段时间水资源生态足迹的增

长主要与浑河流域需水量增加，以及水资源利用率相对较低有关；从 2007~2013 年，水资源生态足迹呈下降趋势，到 2013 年下降到整个时间序列最小值，总值为 $9.19\times10^6\text{hm}^2$ ，人均值为 $0.66\text{hm}^2/\text{人}$ ，总值年均下降 1.47%，人均值年均下降 1.96%，此段时间虽然浑河流域经济发展需水量也在增加，但是水资源利用效率明显提高。总体来看，浑河流域水资源生态足迹在 2005~2013 期间呈下降趋势，但不显著。

从浑河流域水资源生态足迹构成来看（见图 2），生产用水足迹所占比重最大，在 82%~85%之间，是水资源生态足迹最主要的组成部分；生活用水足迹占 10.5%~13.5%，而生态用水足迹比重最小，在 1.5%~5.7%之间。在 2005~2009 年期间，生产用水足迹所占比重变化较小，基本稳定，生活用水足迹所占比重缓慢下降；2010 年之后，生产用水足迹所占比重开始下降，生活用水足迹所占比重略有上升，表明近年来，由于人口增加，生活需水量不断增大，而生产中采用节水措施和先进技术，使得生产用水量减小。生态用水足迹所占比重从 2005~2013 年期间一直处于上升状

表1 浑河流域历年水资源生态足迹、生态承载力和生态赤字盈余 10^6hm^2

Tabel1 The water resources ecological footprint, capacity, deficit and surplus of the Hunhe River basin in the various years

年份	生产用水足迹	生活用水足迹	生态用水足迹	水资源生态足迹	水资源生态承载力	水资源生态赤字	水资源生态盈余
2005	7.98	1.26	0.15	9.38	6.83	2.55	—
2006	8.37	1.16	0.26	9.79	4.05	5.74	—
2007	8.54	1.17	0.34	10.04	3.61	6.43	—
2008	8.44	1.07	0.33	9.84	3.86	5.98	—
2009	8.25	1.04	0.35	9.63	3.19	6.44	—
2010	8.52	1.04	0.34	9.89	11.46	—	1.56
2011	8.27	1.03	0.51	9.82	4.46	5.36	—
2012	7.71	1.10	0.47	9.27	8.30	0.98	—
2013	7.55	1.11	0.52	9.19	7.40	1.79	—

表2 浑河流域历年人均水资源生态足迹、生态承载力、生态赤字盈余 $\text{hm}^2/\text{人}$

Tabel2 The water resources ecological footprint, capacity, deficit and surplus per capita every year in the Hunhe River basin

年份	人均生产用水足迹	人均生活用水足迹	人均生态用水足迹	人均水资源生态足迹	人均水资源生态承载力	人均水资源生态赤字	人均水资源生态盈余
2005	0.60	0.09	0.01	0.71	0.51	0.19	—
2006	0.63	0.09	0.02	0.73	0.30	0.43	—
2007	0.64	0.09	0.03	0.75	0.27	0.48	—
2008	0.62	0.08	0.02	0.73	0.29	0.44	—
2009	0.61	0.08	0.03	0.71	0.24	0.47	—
2010	0.62	0.08	0.02	0.73	0.84	—	0.11
2011	0.60	0.08	0.04	0.72	0.33	0.39	—
2012	0.56	0.08	0.03	0.67	0.60	0.07	—
2013	0.55	0.08	0.04	0.66	0.53	0.13	—

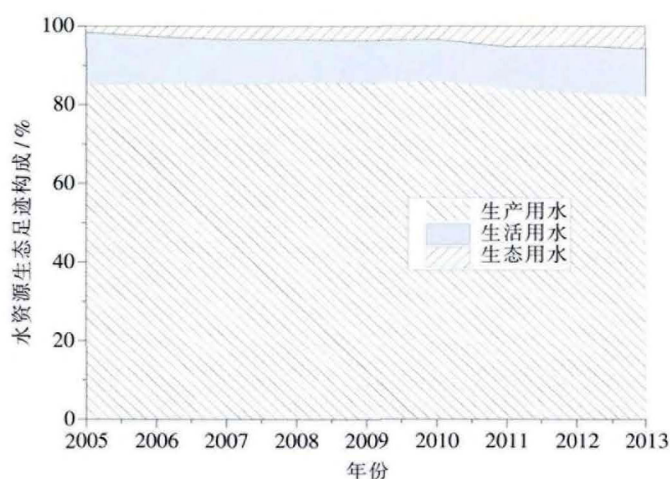


图2 浑河流域水资源生态足迹构成历年变化

Fig.2 The water resources ecological footprint in the Hunhe River basin over the years

态,说明随着社会的发展,人们越来越重视生态环境建设,用于生态的水量逐年增加。

生产用水是浑河流域水资源生态足迹的主要组成部分,图3进一步分析了浑河流域生产用水各子账户水足迹的历年变化过程。在浑河流域生产用水足迹的4个子账户中,农业用水足迹所占比重最大,约65%左右;工业用水足迹所占比重次之,约25%左右;城镇公共用水足迹占7%左右;林牧渔畜用水足迹所占比重最小,约3%。总体来看,农业、工业用水足迹与总生产用水足迹变化特征较为相似,均经历了先上升再下降过程,特别是近两三年,用水足迹下降明显,说明随着浑河流域农业、工业的发展,区域用水经历了从粗放到节约的过程。

3.2 浑河流域历年水资源生态承载力分析

表1中逐年水资源生态承载力数据表明,从2005年到2013年,浑河流域水资源生态承载力呈波动变化,多年平均水资源生态承载力为 $5.91 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。2005~2009年间,浑河流域水资源生态承载力呈显著下降趋势,从 $6.83 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 下降到 $3.19 \times 10^6 \text{ hm}^2$;之后呈波动上升趋势,在2010年浑河流域水资源生态承载力最大,为 $11.46 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。浑河流域水资源总量主要补给来源为降水,因此水资源生态承载力受降水影响较大,通过相关分析得到,浑河流域水资源生态承载力与降水量之间呈极显著的相关关系,相关系数为0.985,2010年浑河流域降水量居新中国成立以来首位,水资源承载力也达到最大。表2表明,人均水资源承载力变化趋势与流域水资源生态承载力变化相似,波动中存在上升

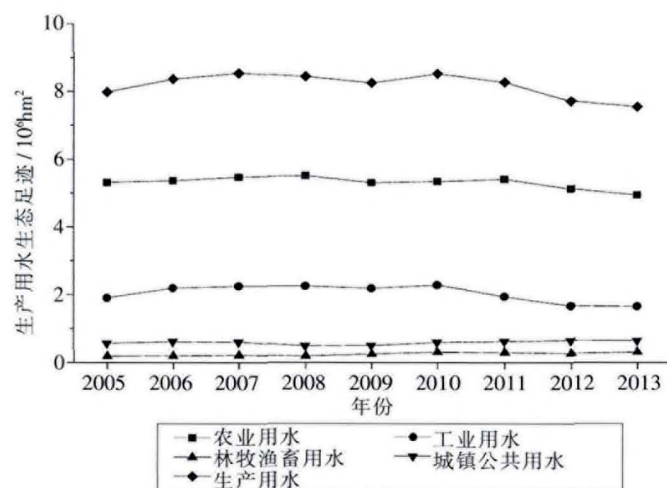


图3 浑河流域生产用水各子账户水足迹历年变化

Fig.3 The sub-account production water footprint in the Hunhe River basin over the years

趋势,多年平均为 $0.43 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。

3.3 浑河流域水资源可持续利用评价

3.3.1 浑河流域历年水资源生态赤字盈余

由表1看出,浑河流域2005~2013年间水资源生态赤字盈余变化过程与水资源生态承载力变化过程基本一致,由于绝大多数年份水资源承载力小于水资源生态足迹,因此浑河流域基本处于水资源生态赤字状态。水资源生态赤字介于 $0.98 \sim 6.44 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 之间,平均水资源生态赤字 $4.41 \times 10^6 \text{ hm}^2$,仅在2010年为水资源生态盈余,为 $1.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。由表2看出,人均水资源也基本处于生态赤字状态,多年平均值为 $0.33 \text{ hm}^2/\text{人}$,仅2010年出现人均水资源生态盈余,为 $0.11 \text{ hm}^2/\text{人}$,这与全辽宁省的水资源生态赤字盈余情况一致^[11]。但是2010年之后浑河流域水资源生态赤字有所减小,并且数值明显小于09年之间的水资源生态赤字。

3.3.2 浑河流域历年水资源生态足迹指数

浑河流域历年水资源生态足迹指数变化情况如图4所示。由图4可见,2005~2013年间,浑河流域水资源生态足迹指数介于 $-2.02 \sim 0.14$ 之间。从2005~2009年,水资源生态足迹指数不断下降,流域水资源利用由弱不可持续下降到严重不可持续;2010年浑河流域水资源生态足迹指数有较大上升,达到0.14,为序列最大值,达到弱可持续;2011年又下降至-1.0以下,为严重不可持续;2012~2013年,水资源生态足迹指数又有所回升,位于 $-0.5 \sim 0$ 之间,区域水资源利用为弱不可持续。总体来看,浑河流域水资源利用安全程度较低,在统计时间内未能达到可持续发展,区域

水资源生态压力较大。但是近年来随着不断提高浑河流域水资源利用效率以及合理规划用水,区域水资源利用情况有所好转,逐渐向可持续方向发展。

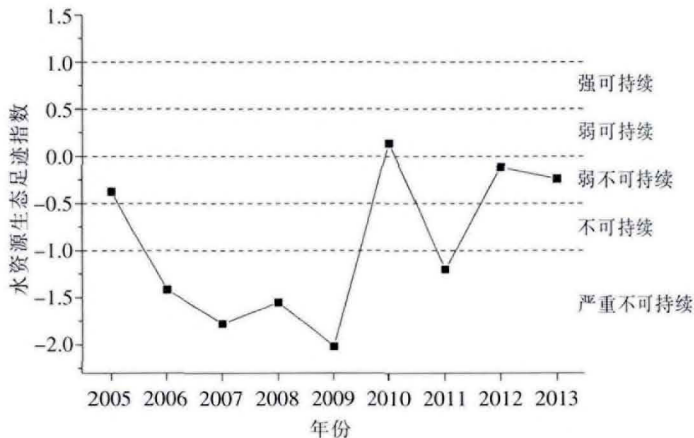


图4 浑河流域水资源生态足迹指数历年变化

Fig.4 The water resources ecological footprint index over years in the Hunhe River basin

3.3.3 浑河流域历年万元 GDP 水资源生态足迹

表3为浑河流域2005~2013年万元GDP水资源生态足迹统计情况。由表3可见,统计时间内浑河流域万元GDP水资源生态足迹呈持续下降态势,由2005年的 $0.21\text{hm}^2/\text{万元}$ 降至2013年的 $0.08\text{hm}^2/\text{万元}$,年平均下降10.79%,与辽宁省同期研究结果相比,浑河流域万元GDP水资源生态足迹要小于全省值^[11]。以上分析表明浑河流域水资源利用效率在不断提高,并且用水效率要高于全省总体情况。

表3 浑河流域历年万元GDP水资源生态足迹

Tabel3 The water resources ecological footprint per 10^4 Yuan GDP in the Hunhe River basin over years

年份	GDP/万元	万元 GDP 水资源生态足迹/ $\text{hm}^2 \cdot \text{万元}^{-1}$
2005	45702076.01	0.21
2006	51094920.98	0.19
2007	57124121.66	0.18
2008	63864768.01	0.15
2009	71400810.64	0.13
2010	79826106.29	0.12
2011	89245586.83	0.11
2012	99776566.08	0.09
2013	111550200.9	0.08

注:GDP为按2011年可比价统计。

4 结论

本文利用水资源生态足迹模型和水资源生态承载

力模型,分析评价了辽宁省浑河流域2005~2013年水资源利用情况,主要结论如下:

(1)2005~2013年浑河流域水资源生态足迹总体呈下降趋势,但不显著,多年平均水资源生态足迹为 $9.65 \times 10^6 \text{hm}^2$,人均水资源生态足迹多年均值为 $0.71 \text{hm}^2/\text{人}$ 。水资源生态足迹构成中生产用水足迹所占比重最大,约占85%左右,生态用水所占比重最小,约为3.8%左右,但是生态用水所占比重逐渐增加。生产用水足迹中,农业用水足迹比重最大,其次是工业用水足迹,两者约占生产用水足迹的90%。

(2)浑河流域水资源生态承载力呈波动变化,从2005~2009年呈下降趋势,之后不断上升,多年平均水资源生态承载力为 $5.91 \times 10^6 \text{hm}^2$,多年平均人均水资源生态承载力为 $0.43 \text{hm}^2/\text{人}$ 。浑河流域水资源生态承载力与降水有极显著的相关关系,相关系数为0.985。

(3)统计时间里,浑河流域水资源基本处于生态赤字状态,区域水资源供水不足,仅在2010年出现水资源生态盈余。水资源生态足迹指数2005~2009年不断下降,由弱不可持续下降到严重不可持续,此后波动较大,近年来有所好转,逐渐向可持续方向发展。万元GDP水资源生态足迹持续下降,并小于同期全省值,表明浑河流域水资源利用效率在不断提高。

参考文献:

- [1] 谭秀娟,郑钦玉.我国水资源生态足迹分析与预测[J].生态学报,2009,29(7):3559-3568. (TAN Xiujian, ZHENG Qinyu. Dynamic analysis and forecast of water resources ecological footprint in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009,29(7):3559-3568. (in Chinese))
- [2] Duarte R, Pinilla V, Serrano A. The water footprint of the Spanish agricultural sector: 1860-2010 [J]. Ecological Economics, 2014,108: 200-207.
- [3] Chouchane H, Hoekstra A Y, Krol M S, Mekonnen M M. The water footprint of Tunisia from an economic perspective [J]. Ecological Indicators, 2015,52:311-319.
- [4] William E R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992,4(2):121-130.
- [5] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,等.水资源生态足迹计算方法[J].生态学报,2008,28(3):1279-1286. (HUANG Linnan, ZHANG Weixin, JIANG Cuiling, et al. Ecological footprint method in water resources assessment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008,28(3):1279-1286. (in Chinese))
- [6] 张义.基于生态足迹模型的广西水资源利用评价[J].人民黄河,2014,36(2):58-61. (ZHANG Yi. Assessment of utilization of water resources in Guangxi province based on ecological footprint model

- [J]. Yellow River, 2014,36(2):58-61. (in Chinese))
- [7] 徐珊,夏丽华,陈智斌,等. 基于生态足迹法的广东省水资源可持续利用分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013,11(5):11-15,98. (XU Shan, XIA Linhua, CHEN Zhibin, et al. Analysis of sustainable utilization of water resources in Guangdong province based on ecological footprint theory [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013,11(5):11-15,98. (in Chinese))
- [8] 常龙芳. 云南省水资源生态足迹与生态承载力动态分析[J]. 云南地理环境研究, 2012,24(5):106-110. (CHANG Longfang. Dynamic analysis of water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in Yunnan province [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2012,24(5):106-110. (in Chinese))
- [9] 戴昌军,管光明,梁忠民,等. 基于水资源足迹的武汉市水资源可持续利用研究[J]. 人民长江, 2011,42(9):8-11. (DAI Changjun, GUAN Guangming, LIANG Zhongmin, et al. Analysis of sustainable utilization of water resources in Wuhan city based on water resources footprint [J]. Yangtze River, 2011,42(9):8-11. (in Chinese))
- [10] 丁华,邱卫国. 基于生态足迹的上海市水资源生态承载力评价[J]. 人民长江, 2013,44(15):19-21. (DING Hua, QIU Weiguo. Assessment on ecological carrying capacity of water resources in Shanghai city based on ecological footprint model [J]. Yangtze River, 2013,44(15):19-21. (in Chinese))
- [11] 罗娜. 辽宁省水资源生态足迹动态变化与时间序列预测分析研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2012. (LUO Na. Dynamic Analysis and Time Series Prediction of Water Resources Ecological Footprint of Liaoning Province[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2012. (in Chinese))
- [12] 陈成中,林振山,贾敦新. 基于生态足迹指数的全球生态可持续性时空分析[J]. 地理与地理信息科学, 2007,23(6):68-72. (CHEN Chengzhong, LIN Zhenshan, JIA Dunxin. Spatiotemporal analysis on sustainable ecosystem in world based on ecological footprint index [J]. Geography and Geo-Information Science, 2007,23(6):68-72. (in Chinese))

Assessing Utilization of Water Resources in Hunhe River Catchment Based on Ecological Footprint

WANG Xiuying, LIU Heping

(Hydrology Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110003, China)

Abstract: The water resources ecological footprint and ecological carrying capacity in the Hunhe River catchment from 2005 to 2013 were calculated according to the water resources ecological footprint model, and the utilization of water resources in the catchment was assessed based on the calculated index. The results are as follows: from 2005 to 2013, the water resources ecological footprint in the Hunhe River catchment show a non-significant downward trend, while the water resources ecological carrying capacity fluctuated and was significantly related to precipitation in the catchment. There was ecological deficit of water resources in all the years from 2005 to 2013 but 2010, when there was a surplus. The water resources ecological footprint index was below the range of the sustainability, but the water resources ecological footprint per 10^4 Yuan GDP continued to decrease. Over all, the water resources utilization in the catchment was unsustainability, but the utilization efficiency improved obviously and it was developing towards sustainability since 2010.

Key words: water resources ecological footprint; water resources ecological carrying capacity; Hunhe River; water resources utilization



(上接第 10 页)

Advances in Water and Heat Transfer Mechanism and Snow Model

WANG Zilong, FU Qiang, JIANG Qiuxiang, WANG Xianghao

(College of Water Conservancy and Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Snow is a key component of terrestrial hydrological cycle and atmospheric process, which regulates the energy exchange between land and atmosphere and plays an important role in energy balance and water and heat transfer of land surface. This paper introduced the measurements of snow characteristic parameters and water and heat transfer mechanism of snow, classified and summarized the existing snow models, and pointed that the suggested potentials in future studies will focus on parameterization scheme of snow characteristic parameters, numerical simulation and scale transformation.

Key words: snow; water and heat transfer; snow characteristic parameter; snow model