

基于投入产出模型的黑龙江省水资源利用效率分析

成 琨, 付 强, 陈 曦, 董 鹤, 宫凡荔

(东北农业大学水利与建筑学院, 哈尔滨 150030)

摘要:以黑龙江省2002年和2007年各部门用水数据为基础,构建了水资源投入产出模型,对国民经济各部门的耗水率、用水效益、用水关联性 & 虚拟水的消耗量进行了估算。研究认为,农业占黑龙江省总用水量比例最高,交通运输业占总用水量比例最低;各部门用水的关联性普遍呈现下降趋势;黑龙江省从2002年到2007年皆属虚拟水净流出省,其中农业是虚拟水输出最多的部门。研究成果可为提高水资源的经济价值提供理论基础和数据依据。

关键词:用水效率;用水效益;虚拟水;耗水率;投入产出模型;黑龙江省

中图分类号: F223 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0141-05

Analysis of Water Resources Utilization Efficiency in Heilongjiang Province Based on Input-Output Model

CHENG Kun, FU Qiang, CHEN Xi, DONG He, GONG Farr li

(Northeast Agricultural University, School of Water Conservancy and Civil Engineering, Harbin 150030, China)

Abstract: An input-output model of water resources was established based on the water consumption data of Heilongjiang Province in 2002 and 2007, and it was used to estimate the water consumption efficiency, water consumption benefit, water consumption correlation, and consumption of virtual water of each sector of national economy. The results showed that agriculture sector had the highest proportion in total water consumption of Heilongjiang Province whereas transportation sector had the lowest. Water consumption correlation between each sector presented decreasing trend from 2002 to 2007. The virtual water was exported in Heilongjiang Province from 2002 to 2007, and agriculture sector had the largest amount of exported virtual water. The results can provide theoretical foundation and data support to improve the economic value of water resources.

Key words: water consumption efficiency; water consumption benefit; virtual water; water consumption; input-output model; Heilongjiang Province

黑龙江省作为全国耕地最多的省份,占全国耕地总面积的1/9。但是黑龙江省水资源有限,水土匹配系数较低,水资源的持续高效利用对保证粮食产量具有重要的意义。通过研究水资源在国民经济各部门之间的转换关系,对提高水资源的有效利用具有一定的理论指导价值。在已有的研究中,许健等人^[1]基于中国1999年水利投入产出模型,对国民经济整个体系与各部门生产活动用水强度之间的关系进行了研究分析,讨论了水资源合理配置体系的建立问题。Zhao等人^[2]提出了包括“自然储水量变化”的投入产出模型,从水的自然循环和社会循环出发,较好地表达了水在经济活动中的流动过程,并直接反映出各种经济活动中实际消耗的水量。上述研究只是对一年中水资源在各部门之间的利用情况进行了分析,未涉及各部门水资源利用效率发展趋势研究,不能反映现有节水方式的有效性。本文基于投入产出模

型,拟分析黑龙江省2002年和2007年各部门的耗水率和用水效益发展变化现状,研究水资源在国民经济各部门的转换规律及虚拟水的流出情况,为黑龙江省社会经济的协调发展与水资源的合理利用寻找有效途径。

1 黑龙江省的水资源投入产出模型

2002年和2007年是我国第十个和第十一个五年规划的关键年,因此本研究以投入产出模型的理论和方法^[3]为依据,将水资源纳入到黑龙江省2002年和2007年^[4]的投入产出表中,形成黑龙江省水资源投入产出模型(见表1、表2)。本文中全省水资源总量、农业与工业的用水量来源于黑龙江省水资源公报^[5],由于省水利厅统计数据中除农业和工业用水外,其他各部门的用水量并没有体现,为此依据主观权重的方法,按经验将统计数据中的生态和生活用水分解为本文模型所需要的数据^[6,7]。

收稿日期: 2013-04-27 修回日期: 2013-08-08 网络出版时间: 2013-08-22

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130822.1706.013.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51179032; 51279031); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20092325110014)

作者简介: 成 琨(1978), 女, 内蒙古通辽人, 讲师, 在读博士, 主要从事农业水土工程、环境水利方面研究。E-mail: chengkun407@sina.com

通讯作者: 付 强(1973), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士, 从事农业水土资源高效利用理论、方法及应用研究。E-mail: fuqiang@neau.edu.cn

2 投入产出分析指标的计算方法

为了较全面的反映黑龙江省水资源利用发展变化状况,水资源在各部门间转换的发展现状,以及虚拟水净流出的变化趋势,依据黑龙江省 2002 年与 2007 年水资源投入产出模型,确定了如下指标进行研究:耗水率、用水效益、用水关联性及各部门虚拟水含量。

2.1 耗水率

耗水率^[89]由直接耗水系数(Q_j^x)、增加值耗水系数(Q_j^N)、完全耗水系数(BO_j^x)和耗水乘数(MW_j)4 个指标来反映。计算公式如下:

$$Q_j^x = W_j / X_j \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (1)$$

$$Q_j^N = W_j / N_j \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (2)$$

$$BQ_j^x = Q_j^x (I - A)^{-1} \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (3)$$

$$MW_j = BQ_j^x / Q_j^x \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (4)$$

式中: X_j 为第 j 部门产品总产出; W_j 为第 j 部门总用水量; N_j 为第 j 部门的增加值; I 为单位矩阵; A 为直接消耗系数矩阵,其元素为 $a_{ij} = x_{ij} / X_j (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。

2.2 用水效益

用水效益^[89]由直接产值系数(O_j^x)、增加值产值系数(O_j^N)完全产值系数(BO_j^x)和产值乘数(MO_j)4 个指标来反映。计算方法为:

$$O_j^x = X_j / W_j \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (5)$$

$$O_j^N = N_j / W_j \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (6)$$

$$BO_j^x = (I - A)^{-1} O_j^x \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (7)$$

$$MO_j = BO_j^x / O_j^x \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (8)$$

表 1 2002 年黑龙江省水资源投入产出表

Table 1 The input output table of water resources in Heilongjiang Province in 2002

亿 m^3

2002	中间使用							最终使用			总产出	
	农业	工业	建筑业	交通运输业	商业	住宿和餐饮业	非物质生产部门	中间投入合计	消费	资本形成总额		净流出
农业	100.8	269.1	1.2	0.1	0.1	29.9	0.9	402.1	214.0	96.9	135.4	848.4
工业	204.6	1 893.4	452.9	101.7	229.2	70.4	150.0	3102.3	748.5	375.7	350.0	4 576.5
建筑业	1.0	1.3	0.0	3.1	36.1	1.0	7.5	50.0	2.5	779.0	- 0.4	831.0
中间投入	22.1	160.6	33.9	19.0	31.3	5.6	25.5	298.0	76.9	2.8	- 5.9	371.9
商业	27.5	291.6	70.0	30.6	163.9	23.7	85.1	692.5	344.1	88.7	- 7.6	1117.7
住宿和餐饮业	3.8	48.2	16.0	8.0	22.5	0.9	27.1	126.4	83.6	0.0	0.3	210.3
非物质生产部门	3.5	23.4	4.0	3.3	21.5	1.3	23.6	80.5	818.2	0.1	- 220.5	678.3
用水量	174.8	62.1	6.2	0.8	1.5	4.6	2.3	252.3				
最初投入	增加值合计	485.2	1 888.8	253.1	206.1	613.1	77.5	358.4	3 882.3			
投入	总投入	848.4	4 576.5	831.0	371.9	1 117.7	210.3	678.3	8 634.0			

表 2 2007 年黑龙江省水资源投入产出表

Table 2 The input output table of water resources in Heilongjiang Province in 2007

亿 m^3

2007	中间使用							最终使用			总产出	
	农业	工业	建筑业	交通运输业	商业	住宿和餐饮业	非物质生产部门	中间投入合计	消费	资本形成总额		净流出
农业	217.8	555.3	0.6	0.3	0.3	38.8	0.5	813.6	211.5	30.7	644.9	1 700.6
工业	451.0	3 464.8	1 042.6	209.5	193.7	89.2	380.6	5 831.2	1 021.1	1 021.2	296.3	8 169.9
建筑业	1.8	3.0	0.5	8.1	41.2	1.1	7.7	63.3	33.6	1 785.8	- 206.9	1 675.8
中间投入	38.6	275.4	101.5	83.8	76.6	4.9	44.7	625.4	89.3	38.9	31.2	784.9
商业	67.8	427.1	117.0	79.1	211.7	17.4	106.8	1 026.9	472.7	158.1	50.9	1 708.6
住宿和餐饮业	2.6	30.1	5.3	15.5	43.1	2.0	40.1	138.7	134.2	0.0	12.9	285.8
非物质生产部门	5.7	81.6	39.6	23.9	59.7	1.7	32.9	245.2	1 551.4	2.2	- 309.3	1 489.5
用水量	218.6	57.5	6.1	0.8	1.5	4.6	2.3	291.4				
最初投入	增加值合计	915.4	3 332.6	368.7	364.6	1 082.4	130.9	876.1	7 070.8			
投入	总投入	1 700.6	8 169.9	1 675.8	784.9	1 708.6	285.8	1 489.5	15 815.1			

2.3 各部门用水的关联性

各部门用水的关联性^[10-12]由耗水影响力系数(F_j)和耗水感应力系数(E_j)2 个指标来反映。计算公式为:

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij} q_i}{\sum_{j=1}^n (k_j \sum_{i=1}^n b_{ij} q_i)} \quad i, j = 1, 2, \dots, 7 \quad (9)$$

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ij} q_i}{\sum_{j=1}^n (k_j \sum_{i=1}^n c_{ij} q_i)} \quad i, j = 1, 2, \dots, 7 \quad (10)$$

式中: $k_j = y_j / \sum_{j=1}^n y_j (j = 1, 2, \dots, 7)$ 为第 j 部门最终产品占国民经济最终产品总量的比例。

2.4 虚拟水

虚拟水由净流出虚拟水量(NWF)和虚拟水总量(TWF)2 个指标来反映^[13-15],虚拟水总量为最终消费的虚拟水(DWF)和净流出的虚拟水之和。计算公式为:

$$NWF = D(I - A)^{-1} \hat{e} \quad (11)$$

$$DWF = Q(I - A)^{-1} \hat{y}^{dm} \quad (12)$$

$$TWF = DWF + NWF \quad (13)$$

式中: \hat{y}^{dm} 为最终需求的对角矩阵形式, 最终需求为最终消费和资本形成总额的和; \hat{e} 为净出口的对角矩阵形式。

3 结果分析

依据用水量数据的获取情况, 将原有 42 个部门的投入产出表整理成 7 个部门(农业、工业、建筑业、交通运输业、商业、住宿和餐饮业以及非物质生产部门)的投入产出模型, 按照上述 4 种指标进行分析。

3.1 耗水率分析

由式(1) - 式(4)计算出耗水率的 4 个指标值(见表 3、表 4), 得到 2002 年和 2007 年不同部门水资源利用效率的变化情况。

表 3 2002 年黑龙江省耗水率指标

Table 3 Water consumption efficiency index of

Heilongjiang Province in 2002 万 m³/万元

部门	耗水率指标			
	直接耗水系数	增加值耗水系数	完全耗水系数	耗水乘数
农业	0.206 0	0.360 3	0.245 2	1.190 1
工业	0.013 6	0.032 9	0.185 5	13.677 0
建筑业	0.007 4	0.024 3	0.030 9	4.163 4
交通运输业	0.002 1	0.003 7	0.008 7	4.209 8
商业	0.001 4	0.002 5	0.019 9	14.434 5
住宿和餐饮业	0.022 0	0.059 6	0.034 2	1.558 2
非物质生产部门	0.003 4	0.006 4	0.017 1	5.035 4

表 4 2007 年黑龙江省耗水率指标

Table 4 Water consumption efficiency index of

Heilongjiang Province in 2007 万 m³/万元

部门	耗水率指标			
	直接耗水系数	增加值耗水系数	完全耗水系数	耗水乘数
农业	0.128 5	0.238 8	0.155 7	1.211 4
工业	0.007 0	0.017 3	0.113 6	16.125 8
建筑业	0.003 6	0.016 6	0.020 4	5.587 9
交通运输业	0.001 0	0.002 1	0.006 5	6.649 3
商业	0.0009	0.001 4	0.009 6	10.691 6
住宿和餐饮业	0.016 0	0.035 0	0.021 1	1.317 7
非物质生产部门	0.001 5	0.002 6	0.011 2	7.248 4

对比表 3、表 4 发现, 2002 年到 2007 年各部门的耗水率呈现不同程度的下降, 反映了黑龙江省各部门的节水改造方案取得了一定成效, 其中住宿餐饮业的直接耗水系数指标与其他部门相比降幅最小, 2007 年较 2002 年相比下降 27.27%, 这一现象与生产技术的进步和人民生活水平的提高密切相关。在耗水乘数指标中, 除商业和住宿餐饮业之外各部门均有不同程度的提高, 其中农业部门耗水乘数最低, 表明农业部门水资源经济利用效率低; 工业部门的耗水乘数从 2002 年的 13.677 0 提高到 2007 年的 16.125 8, 上升到各部门的第一位, 表征工业发展带来国民经济对水资源总需求量的增加。

3.2 用水效益分析

利用式(5) - 式(8)计算出用水效益的 4 个指标值(见表

5、表 6), 反映 2002 年到 2007 年不同部门水资源利用效益的变化和各部门增加单位用水量对整个国民经济价值产生的影响。

对比表 5、表 6 发现, 2002 年到 2007 年各部门的用水效益都有显著提高, 说明水资源在各部门中的利用效率不断上升, 其中农业直接产值系数提高 60%, 工业直接产值系数提高 92.6%, 提高幅度较大。在完全产值系数中, 交通运输业由 2002 年的 800.3 增加到 2007 年的 1662, 增长了 1 倍以上, 在各部门中的排名上升到第一位, 由此可见, 交通运输业等第三产业的发展对水资源的利用效率的提高有显著影响。在产值乘数指标中, 农业明显高于其他部门, 表明农业单位用水量的增加带来整体经济价值的提高, 所以农业是黑龙江省的基础产业。工业的产值乘数由 2002 年的 4.26 下降到 2007 年的 3.93, 表征工业用水量增加时对整体经济价值的影响下降, 这可能与工业生产技术的进步和污水处理技术的发展有关。

表 5 2002 年黑龙江省用水效益指标

Table 5 Water consumption benefit index of

Heilongjiang Province in 2002 万元/万 m³

部门	用水效益指标			
	直接产值系数	增加值产值系数	完全产值系数	产值乘数
农业	4.853 6	2.775 8	132.361 4	27.270 8
工业	73.719 0	30.425 7	313.981 0	4.259 2
建筑业	134.899 3	41.089 3	186.855 0	1.385 1
交通运输业	482.935 2	267.648 8	800.276 6	1.657 1
商业	725.778 7	398.140 3	1029.438 5	1.418 4
住宿和餐饮业	45.519 5	16.771 9	321.663 6	7.066 5
非物质生产部门	293.623 5	155.169 5	355.683 3	1.211 4

表 6 2007 年黑龙江省用水效益指标

Table 6 Water consumption benefit index of

Heilongjiang Province in 2007 万元/万 m³

部门	用水效益指标			
	直接产值系数	增加值产值系数	完全产值系数	产值乘数
农业	7.781 5	4.188 5	234.185 6	30.095 1
工业	141.985 8	57.918 8	558.111 5	3.930 8
建筑业	274.183 6	60.321 2	327.532 6	1.194 6
交通运输业	1027.303 7	477.262 9	1661.978 8	1.617 8
商业	1118.193 7	708.365 2	1623.438 7	1.451 8
住宿和餐饮业	62.340 7	28.556 3	580.439 7	9.310 8
非物质生产部门	649.873 5	382.258 8	800.194 6	1.231 3

3.3 各部门用水的关联性分析

通过式(9)、式(10)计算出各部门的耗水影响力和感应力系数(见图 1、图 2), 反映 2002 年到 2007 年国民经济各部门在经济增长过程中对水资源的需求变化。

从图 1 看出, 2007 年各部门的耗水影响力系数较 2002 年呈下降趋势, 即某部门增加一个单位最终产品时, 对其总产出的需水量涉及程度在减小。在耗水影响力系数中, 农业与工业明显高于其他部门, 说明这两个部门发展受水资源的影响超过了其他部门, 因此是对水资源严重依赖的部门。从

图 2 来看, 2007 年各部门的耗水感应力系数较 2002 年也呈下降趋势, 而农业与工业依然位于各部门之前, 且工业排在各部门之首, 在 2007 年是农业的 3.92 倍, 可见水资源是工业发展的重要支柱。

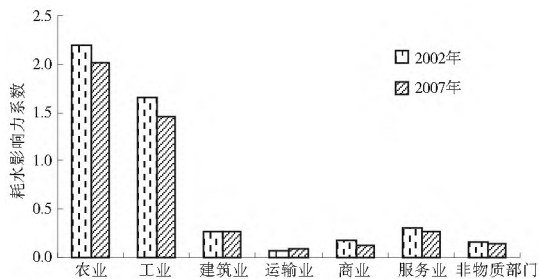


图 1 耗水影响力系数

Fig. 1 Coefficient of water consumption influence

农业的虚拟水净流出量由 2002 年的第二位上升到 2007 年的第一位, 且总量增长了 2 倍以上, 表征随着黑龙江省农产品的出售带来本省水资源量的大量外流, 影响到黑龙江省水资源安全战略, 有必要对净流出的水资源量进行一定程度的控制。

4 结论

本文依据黑龙江省 2002 年和 2007 年水资源投入产出模型, 分析黑龙江省在我国经济高速增长时期各部门水资源利用效率发展趋势。得出以下结论。

(1) 黑龙江省各部门从 2002 年到 2007 年耗水率呈下降趋势, 而用水效益有显著提高, 充分说明了黑龙江省节水改造取得了显著成效, 应进一步推广各部门的节水措施。农业在各部门中耗水乘数最低, 因此优先加大农业内部的节水改造, 提高农业生产技术水平。

(2) 黑龙江省从 2002 年到 2007 年各部门用水的关联性呈下降趋势。其中农业的耗水影响力系数最高, 需要适当提高非农部门在黑龙江省经济中所占份额, 进而丰富水资源利用结构, 保证黑龙江省用水安全; 工业的耗水感应力系数最高, 表征经济发展使工业对水资源的需求上升较大, 在进行水资源分配时应优先考虑满足工业用水。鉴于此, 建立水资源统一调控的管理机制, 有利于黑龙江省水资源的安全供给和高效利用。

(3) 黑龙江省从 2002 年到 2007 年皆是虚拟水净流出省, 在 2007 年净流出虚拟水占用水总量的 43.7%, 主要由农产品的输出引起。需要在兼顾国家粮食安全、地方需求及环境需求的基础上, 将虚拟水流出控制在合理范围内。

参考文献(References):

[1] 许健, 陈锡康, 杨翠红. 完全用水系数及增加值用水系数的计算方法[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(2): 17-20. (XU Jian, CHEN Xi kang, YANG Cui hong. Calculating Method for Total Water Input Coefficient and Water Input Coefficient for Added Value[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2003, 23(2): 17-20. (in Chinese)).

[2] 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.

[3] 陈锡康, 王会娟. 投入占用产出技术理论综述[J]. 管理学报, 2010, 7(11): 1579-1659. (CHEN Xi-kang, WANG Hui-juan. Theory of Input-Occupancy-Output Technique [J]. Chinese Journal of Management, 2010, 7(11): 1579-1659. (in Chinese)).

[4] 黑龙江省统计局. 黑龙江省统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2011. (Heilongjiang Province Statistical Bureau. Heilongjiang Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2005-2011. (in Chinese)).

[5] 黑龙江省水利厅. 黑龙江省水资源公报[Z]. 哈尔滨: 黑龙江省水利厅, 2002-2011. (Water Resources Department of Heilongjiang Province. Heilongjiang Water Resources Bulletin[Z]. Harbin: Water Resources Department of Heilongjiang province 2002-2011. (in Chinese)).

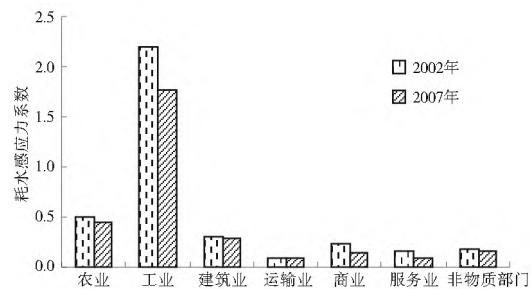


图 2 耗水感应力系数

Fig. 2 Coefficient of water consumption inductance

3.4 虚拟水分析

经式(11) - 式(13) 计算出各部门的虚拟水总量和净流出虚拟水量(见图 3、图 4)。由图 3 看出, 2007 年农业的虚拟水总量较 2002 年上升 26.17%, 这是由于黑龙江省粮食产量逐年上升引起的; 工业的虚拟水总量明显高于其他部门, 反映工业部门的发展需要其他各部门的积极支持。在图 4 中,

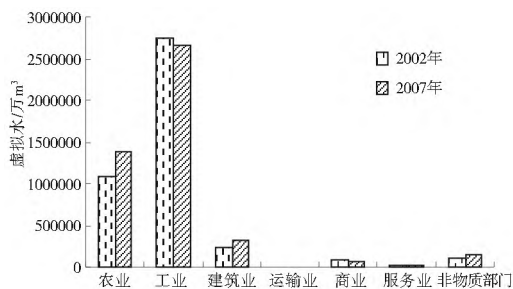


图 3 虚拟水总量

Fig. 3 Amount of virtual water

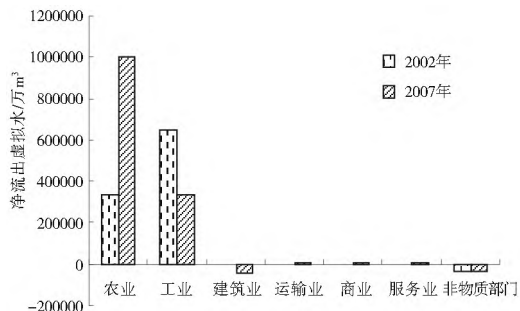


图 4 净流出虚拟水

Fig. 4 Net amount of exported virtual water

- [6] 于冷,戴有忠. 吉林省水资源投入产出分析[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 2(2): 136-140. (YU Leng, DAI Youzhong. Water Resource Input-output Analysis of Jilin Province[J]. Systems Engineering theory & Practice, 2000, 2(2): 136-140. (in Chinese))
- [7] 崔海燕. 黑龙江省水资源投入产出分析[D]. 东北农业大学, 2008. (CUI Haiyan. Analysis on Input-output of Water Resources on Heilongjiang Province[D]. Northeast Agricultural University, 2008. (in Chinese))
- [8] 付强,崔海燕,邢贞相. 基于投入占用产出理论的黑龙江省水资源经济分析[J]. 黑龙江大学学报, 2010, 1(1): 34-39. (FU Qiang, CUI Haiyan, XING Zhenxiang. Economic Analysis of Water Resources for Heilongjiang Province based on Input-Occupancy-Output Technique[J]. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 2010, 1(1): 34-39. (in Chinese))
- [9] 宋敏,田贵良. 产业用水关联与结构优化[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2008, 36(4): 566-570. (SONG Min, TIAN Guiliang. Industry Water-utilization Linkage and Industry Structure Optimization[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2008, 36(4): 566-570. (in Chinese))
- [10] 彭江鸿,程伍群,路梅. 单位产值能耗模型在区域用水量预测中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(5): 25-28. (PENG Jianghong, CHENG Wujun, LU Mei. Application of Energy Consumption Per Unit of Output Value in Regional Water Consumption Forecasting[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(5): 25-28. (in Chinese))
- [11] 钟淋涓,方国华,张建华. 江苏省国民经济各产业部门综合关联性和水资源使用效应分析[J]. 水资源保护, 2009, 25(4): 73-77. (ZHONG Linjuan, FANG Guohua, ZHANG Jianhua. Analysis of Integrated Relevance of Leading Industries and Effect of Water Resources Utilization on Each Department of National Economy in Jiangsu Province[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(4): 73-77. (in Chinese))
- [12] 李景华. 基于投入产出局部闭模型的中国房地产业经济增长结构分解分析[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(4): 784-789. (LI Jinghua. Structural Decomposition Analysis of the Growth of China's Real Estate Sector based on Partially Closed Input-output Model[J]. Systems Engineering theory & Practice, 2012, 32(4): 784-789. (in Chinese))
- [13] 秦昌波,张志霞,贾仰文,等. 基于投入产出模型的陕西省虚拟水分析[J]. 水利经济, 2012, 30(5): 1-6. (QIN Changbo, ZHANG Zhixia, JIA Yangwen, et al. Analysis of Virtual Water in Shanxi Province based on Input-output Model[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(5): 1-6. (in Chinese))
- [14] 李磊,吴晓华. 黑龙江省农产品虚拟水状况分析及对策研究[J]. 科学·经济·社会, 2008, 26(4): 41-46. (LI Lei, WU Xiaohua. Analysis and Policy on Virtual Water Condition of Agricultural Products in Heilongjiang Province[J]. Science · Economy · Society, 2008, 26(4): 41-46. (in Chinese))
- [15] 黄皎,高阳,李双成. 东北三省主要粮食作物虚拟水变化分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47(3): 505-512. (HUANG Jiao, GAO Yang, LI Shuangcheng. Temporal Variation of Virtual Water of Selected Agricultural Products in Northeastern China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2011, 47(3): 505-512. (in Chinese))

(上接第 120 页)

- [48] Tan K S, Flower D J M., Flower D. M. An Event Runoff Coefficient Approach for Assessing Changes in Short-term Catchment Runoff Following Bushfires[Z]. Proceedings of the 33rd Hydrology and Water Resources Symposium, Brisbane, Engineers Australia, 2011.
- [49] Buckley T N, Turnbull T L, Pfautsch S, et al. Differences in Water Use between Mature and Post-fire Regrowth Stands of Subalpine Eucalyptus Delegatensis R. Baker[J]. Forest Ecology and Management, 2012, 270: 1-10.
- [50] Langford K J. Change in Yield of Water Following a Bushfire in a Forest of Eucalypt Regnans[J]. Journal of Hydrology, 1976, 29: 87-114.
- [51] 蔡体久,周晓峰,杨文华. 大兴安岭森林火灾对河川径流的影响[J]. 林业科学, 1995, 31(5): 403-407. (CAI Tiejou, ZHOU Xiaofeng, YANG Weihua. The Effects of Forest Fire on Streamflow in Daxinganling [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1995, 31(5): 403-407. (in Chinese))
- [52] 舒立福,田晓瑞,吴鹏超,等. 火干扰对森林水文的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(6): 82-85. (SHU Lifu, TIAN Xiaorui, WU Pengchao, et al. Effects of Fire Disturbance on Forest Hydrology [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1999, 5(6): 82-85. (in Chinese))