

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2017.02.002

南水北调中线工程商洛水源地可持续发展评价

张 雁^{1,2}, 李占斌¹, 刘建林², 李 鹏¹

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048;

2. 商洛学院 城乡规划与建筑工程学院 陕西 商洛 726000)

摘要: 商洛水源地是集中连片特殊贫困山区。运用生态足迹法对商洛水源地 2009—2013 年的生态足迹、生态承载力和生态盈亏进行了计算和分析, 并对商洛水源地可持续发展状态进行了定量研究。结果表明: 2009—2013 年人均生态盈亏分别为 0.146 737 hm²、0.067 036 hm²、0.079 039 hm²、0.005 687 hm² 和 -0.052 928 hm², 可持续发展能力呈下降趋势; 2013 年存在生态赤字, 表明生态需求大于供给, 开始进入不可持续发展阶段; 经济发展依然落后, 林地生态效益明显; 有效地利用林地资源发展生态经济对提高区域可持续发展能力意义重大。

关键词: 生态足迹; 生态承载力; 生态盈亏; 可持续发展; 商洛水源地

中图分类号: X22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2017)02-0132-06

Evaluation on sustainable development of Shangluo water resource area for the Middle Route of South-to-North Water Transfer Project

ZHANG Yan^{1,2}, LI Zhanbin¹, LIU Jianlin², LI Peng¹

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology,

Xi'an 710048, China; 2. College of Urban and Rural Planning and Construction Engineering,

Shangluo University, Shangluo 726000, China)

Abstract: The water resource area in Shangluo is the special area focusing on contiguous poor areas. With the ecological footprint analysis, this paper calculates and analyzes the ecological footprint, ecological carrying capacity and ecological profit and loss to study quantitatively the sustainable development state of Shangluo water source 2009—2013. The results show that the ecological deficits per capita are 0.146 737 hm², 0.067 036 hm², 0.005 687 hm², 0.079 039 hm² and -0.052 928 hm² respectively from 2009 to 2013, with the ability of sustainable development displaying a declining trend. The ecological deficit existed in 2013, it was indicated that the ecological demand was greater than that of the supply, beginning to enter the stage of unsustainable development. The economic development still lags behind, and the ecological benefit of forest land is obvious. Developing ecological economy effectively by utilizing forest land resources is of great significance in improving the ability of regional sustainable development.

Key words: ecological footprint; ecological carrying capacity; ecological profit and loss; sustainable development; Shangluo water resource area

南水北调中线工程是缓解京、津、华北地区水资源短缺、生态环境恶化的重大生态工程, 但中线工程水源地——丹江口水库及上游普遍存在的生态环境脆弱、水土流失严重、经济发展滞后、人民生活贫困等问题已经影响到中线工程供水安全^[1-4], 而且随着

中线工程运行对水源地生态环境的负面影响还将不断暴露出来^[5-6], 可见, 如何协调好特殊贫困地区的生态环境防治与社会经济可持续发展之间的关系是中线工程当前亟待解决的一个难题。陕西省汉江和丹江两大流域占到中线工程水源地总面积的

收稿日期: 2016-09-10

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(41330858); 陕西省科技厅软科学计划资助项目(2011KRM15); 商洛市科技计划资助项目(SK2014-01-17); 陕西省教育厅专项科研计划资助项目(2016JK1237)

作者简介: 张雁, 女, 博士生, 副教授, 研究方向为水土资源与生态环境。E-mail: beerfarm@qq.com

通讯作者: 李占斌, 男, 教授, 博导, 博士, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zhanbinli@126.com

65.86%,其中,丹江发源于商洛市西北部秦岭地区的凤凰山南麓,丹江口库区及上游水土保持一、二期工程覆盖了商洛一区六县。而且均为国家(省)级贫困县,并且每年向京津唐地区调水约 24.6 亿 m^3 ,可见,商洛是中线工程典型水源地^[1],其社会经济和自然生态环境和谐发展是我国南水北调工程可持续发展的重要组成部分。近年来,商洛市政府和人民在保护水源涵养区的同时也积极结合自身优势抓住机遇,以生态立市,大力发展循环经济,努力提高人民生活水平,因此研究其可持续发展状况及变化趋势极具代表性。基于可持续发展思想的生态足迹理论与方法,运用简洁的公式计算出特定区域所能提供和人们所需的生物生产性土地面积,使公众和决策者对该区域的土地供需关系一目了然,是研究区域可持续发展的一个重要测度模型^[7-11]。随着中线一期工程于 2013 年竣工 2014 年 12 月通水以及 2013 年丹江口库区及上游水土保持二期工程全面展开,本文借助生态足迹法并以 2013 年为例全面展示生态足迹模型数据统计、计算和分析环节,进一步系统评价 2009—2013 年商洛水源地可持续发展状态,以期商洛水源地社会经济与生态环境建设协调发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

商洛水源地位于陕西省东南部,地处秦巴山区,素有“八山一水一分田”之称,复杂多变灾害天气居多,使得境内干旱、洪涝、暴雨、泥石流等自然灾害频繁发生,水土流失严重,加上早期不合理的人类活动,形成了土壤贫瘠的土石山区。人地矛盾突出,耕地质量低,耕地后备资源不足,再加上城镇化发展占用基本农田,土地生态环境压力不断增大。截至 2013 年末,全地区人口 250.64 万人,地区总产值为 510.88 亿元,生产总值比重和人均 GDP 分别居陕西省 10 市 1 区的第 10 名和第 11 名,土地总面积约 1 958 638 hm^2 。

1.2 生态足迹计算

鉴于不同土地单位面积的生物生产能力存在较大差异,需要通过均衡因子和产量因子转化成相互可比较的生物生产均衡面积^[9-12](表 1)。根据商洛水源地的实际消费和相关参考文献^[8-11,13-14],本文选取生物消费项目 18 项,能源消费项目为 6 种,对应耕地、草地、林地、水域、化石能源用地和建设用(表 1),文中数据来源于《商洛市统计年鉴》。

表 1 生态足迹计算所选取的消费项目、均衡因子和产量因子
Tab.1 Consumption items, equilibrium factors and yield factors of ecological footprint calculation

土地类型	消费项目	均衡因子	产量因子
耕地	粮食、油料、蔬菜、烟叶、瓜果、中药材	2.51	1.66
草地	猪肉、羊肉、牛肉、禽肉、奶类、禽蛋	0.46	0.19
林地	水果、茶叶、桑、林产品、木材	1.26	0.91
水域	水产品	0.37	1
化石能源用地	原煤、焦炭、汽油、煤油、柴油	1.26	0
建设用地	电力	2.51	1.66

商洛水源地生态足迹计算公式为:

$$EF = N \times ef = N \times \sum r_j \times A_i = N \times \sum r_j \times (C_i / P_i) \quad (1)$$

式中, EF 表示总的生态足迹; N 表示区域总人口数; ef 表示人均生态足迹; i 表示消费项目的生物类型; A_i 表示第 i 种消费项目折算的人均占有的生物生产面积; C_i 表示第 i 种生物的年总产量; P_i 表示第 i 种消费项目的全球年平均产量; r_j 表示均衡因子, j 为生物生产性土地类型 ($j = 1, 2, 3, \dots, 6$)。

商洛水源地人均能源消耗生态足迹计算式为:

$$EF_i = (C'_i \times \text{折算系数}) / (P_{\text{average}} \times N) \quad (2)$$

式中, EF_i 表示第 i 种能源消耗项目折算的人均生态足迹分量; C'_i 表示第 i 种能源年消费量; P_{average} 表示土地生产第 i 种消费项目的世界年平均能源足迹。

商洛水源地生态承载力计算公式为:

$$EC = N \times ec = N \times \sum a_i \times y_j \times r_j \quad (3)$$

式中, EC 表示区域生物总生态承载力; ec 表示人均生态承载力; a_i 表示第 i 种生物生产性面积; y_j 表示产量因子。

另外,在计算生态承载力过程中,依据世界环境和发展委员会 WCED 报告内容,需要预留出 12% 的生物多样性保护面积,得出可利用生态承载力。

商洛水源地生态盈亏计算公式为:

$$ES = EC - EF \quad (4)$$

式中, ES 表示区域生态盈亏,如果 $ES > 0$ 表现为生态盈余,说明区域处于可持续发展状态;反之出现生态赤字,表明本区域发展处于不可持续状态。

2 结果与分析

2.1 2013 年生态足迹分析

利用公式(1)、(2)分别计算出 2013 年商洛水源

地各种生物资源消费生态足迹(表 2)和各种能源资源消费生态足迹(表 3),将表(2)、(3)汇总并利用公式(3)、(4)计算商洛水源地人均生态足迹、人均生态承载力和人均生态盈亏(表 4)。

从表 4 可以看出,2013 年商洛水源地的人均生态足迹是六种土地类型人均生态足迹之和,为 0.991 273 hm²;人均可利用生态承载力是六种土地类型人均生态承载力之和为 1.066 302 hm²/人,扣除生物多样性保护面积的 12%,为 0.938 346 hm²;生态盈亏是人均可利用生态承载力减去人均生态足迹,为-0.052 928 hm²,表现为生态赤字。这与土地供给和社会需求不一致有关,耕地、草地、水域和化石能源用地四种土地均存在生态赤字,尤其是耕地和草地供需矛盾突出,但林地和建筑用地盈余较大,才使得生态足迹仅为生态承载力的 1.06 倍。与 2013 年中国人均生态足迹 2.419 hm²和人均可利用生态承载力 0.720 hm²相比,商洛水源地生态压力不大,由中国可持续发展分级标准^[15]可知,2013 年商洛水源地处于不可持续发展等级。

表 3 2013 年商洛水源地能源资源消费生态足迹
Tab.3 Energy consumptionof ecological footprint of the water resource area in Shangluo in 2013

能源类型	总消费量/t	折算系数/(GJ/t)	全球平均能源足迹/(GJ/hm ²)	人均生态足迹/(hm ² /人)	生产面积类型
原煤	456 956.13	20.934	55	0.069 393	化石能源用地
焦炭	8 577.92	28.47	55	0.001 772	化石能源用地
汽油	384.40	43.124	93	0.000 071	化石能源用地
煤油	447.23	43.124	93	0.000 083	化石能源用地
柴油	8 080.81	42.705	93	0.001 480	化石能源用地
电力	230 803.54	11.84	1000	0.001 090	建设用地

注:电力单位为万 kW,折算系数单位为 kJ/kWh。

表 2 2013 年商洛水源地生物资源消费生态足迹
Tab.2 Biotic consumptionof ecological footprint of the water resource area in Shangluo in 2013

生物资源	全球平均产量/(kg/hm ²)	商洛水源地产量/t	总生态足迹/hm ²	人均生态足迹/(hm ² /人)	生产面积类型
粮食	2 744	650 717	237 141.76	0.094 614	耕地
油料	1 856	23 716	12 778.02	0.005 098	耕地
蔬菜	18 000	448 747	24 930.39	0.009 947	耕地
烟叶	1 548	21 758	14 055.56	0.005 608	耕地
瓜果	18 000	11 194	621.89	0.000 248	耕地
中药材	1 548	161 028	104 023.26	0.041 503	耕地
猪肉	74	119 912	1 620 432.43	0.646 518	草地
羊肉	33	6 394	193 757.58	0.077 305	草地
牛肉	33	8 895	269 545.45	0.107 543	草地
禽肉	400	12 042	30 105.00	0.012 011	草地
奶类	502	1 552	3 091.63	0.001 233	草地
禽蛋类	400	74 114	185 285.00	0.073 925	草地
水果	18 000	69 633	3 868.50	0.001 543	林地
茶叶	566	2 161	3 818.02	0.001 523	林地
桑	18 000	84 878	4 715.44	0.001 881	林地
林产品	3 000	74 940	24 980.00	0.009 966	林地
木材	1.99	195 180	98 080.40	0.039 132	林地
水产品	29	2371	81 758.62	0.032 620	水域

注:木材单位为 m³,系数 1.99 单位为 m³。

表 4 2013 年商洛水源地生态足迹计算汇总表
Tab.4 Per capita ecological capacity ofthe water resource area in Shangluo in 2013

土地类型	生态足迹			生态承载力		
	人均分类面积/(hm ² /人)	均衡因子	人均生态足迹/(hm ² /人)	总面积/hm ²	产量因子	人均生态承载力/(hm ² /人)
耕地	0.157 018	2.51	0.394 116	165 357	1.66	0.274 887
林地	0.054 047	1.26	0.068 099	1 542 432	0.91	0.705 615
草地	0.918 535	0.46	0.422 526	129 439	0.19	0.004 514
水域	0.032 620	0.37	0.012 069	29 242	1	0.004 317
化石能源用地	0.072 799	1.26	0.091 726	—	—	—
建设用地	0.001 090	2.51	0.002 737	46 301	1.66	0.076 970
CO ₂ 吸收地	—	—	—	0	1.26	0

2.2 生态足迹变化

由图 1 可知,商洛水源地 2009—2013 年人均生态足迹整体呈上升趋势,由 2009 年的 0.803 765 hm²增加至 2013 年的 0.991 273 hm²,年均增长率为 3.78%。其中,耕地、草地、化石能源用地、水域和建设用地五种生产土地的生态足迹在逐年上升,

说明在研究期间商洛水源地居民对相应土地的物质需求量在增加,这与人口逐年增加和相应的可利用土地资源有限密切相关。耕地生态足迹在研究期间的人均生态足迹中占到 31.84%~38.69%,说明农业经济是商洛水源地国民经济的重要组成部分;而草地生态足迹高达 46.36%~50.94%,说明肉蛋奶等已经成为商洛居民日常和最主要消费品,该地区人民生活水平得到了实质性的提高,但对自然资源索取也在增加,可能给当地的生态环境带来一定的压力。化石能源用地和建筑用地的需求在逐年增加,但所占比例较小,反映出商洛水源地工业和城市均在发展,但发展速度缓慢,水平较低。水域生态足迹所占比例较少,这与当地生活习惯有关。而历年林地人均生态足迹变化不稳定,由 2009 年 0.040 342 hm^2 上升到 2010 年的 0.064 086 hm^2 ,2011 年又下降到 0.035 225 hm^2 ,在上升到 2012 年和 2013 年的 0.043 347 hm^2 和 0.068 099 hm^2 ,所占比例也较小,说明林地经济发展速度也缓慢。

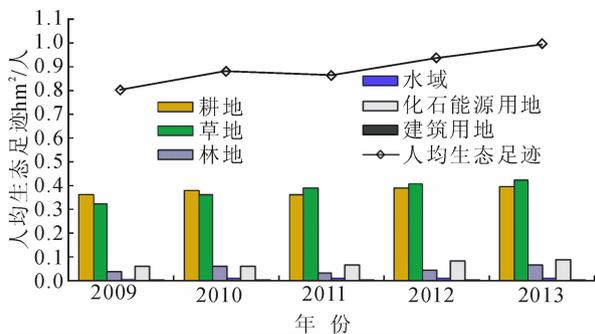


图1 商洛水源地生态足迹变化

Fig. 1 Variation of ecological footprint per capita of the water resource area in Shangluo

2.3 可利用生态承载力变化

从图 2 可知,2009—2013 年商洛水源地人均可利用生态承载力在研究期整体呈现下降趋势,由 2009 年的 0.950 502 hm^2 下降到 2013 年的 0.938 346 1 hm^2 ,减少 0.012 156 hm^2 ,而且研究期间的平均可利用生态承载力约为 2007 年全球平均生态承载力 1.8 hm^2 的 0.5 倍,可见商洛水源地存在生态压力。从六大生产性土地的生态承载力可以看出,耕地、草地和水域可利用生态承载力均在减少但变化幅度较小,而林地和建设用地在增加。其中,林地可利用生态承载力所占比例由 2009 年的 65.78% 提高到 2013 年的 66.17%,耕地可利用生态承载力所占比例由 2009 年的 26.91% 下降到 2013 年的 25.78%,这均与商洛水源地所处地理位置及保护中线工程水源涵养区所实施的退耕还林等

措施密切相关,也说明林地人均生态承载力对总的人均生态承载力贡献最大。而建设用地可利用生态承载力从 2009 年的 6.37% 增加到 2013 年的 7.22%,可见商洛水源地建设用地面积在逐年增加。而水域和草地面积几乎没变,可见其可利用承载力减少仅与人口增加有关。

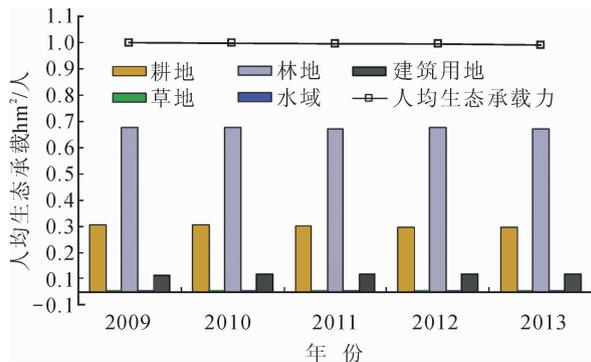


图2 商洛水源地人均可利用生态承载力变化
Fig. 2 Variation of ecological carrying capacity per capita of the water resource area in Shangluo

2.4 生态盈亏变化

2.4.1 人均生态盈亏变化

从图 3 可以看出,研究期间商洛水源地人均生态盈余呈现逐年下降趋势,其中,2009—2012 年表现为生态盈余,分别为 0.146 737 hm^2 、0.067 036 hm^2 、0.079 039 hm^2 和 0.005 687 hm^2 ,说明在 2009—2012 年间商洛水源地处于可持续状态但可持续性在下降,2013 年下降到 -0.052 928 hm^2 ,出现生态赤字,表现为弱不可持续。说明随着商洛水源地人口逐年上升以及居民对土地资源需求日益增加和改变,造成当地的人均生态足迹逐年上升和人均生态承载力逐年下降,使商洛水源地的自然容量压力逐年增大,可持续性逐年降低。

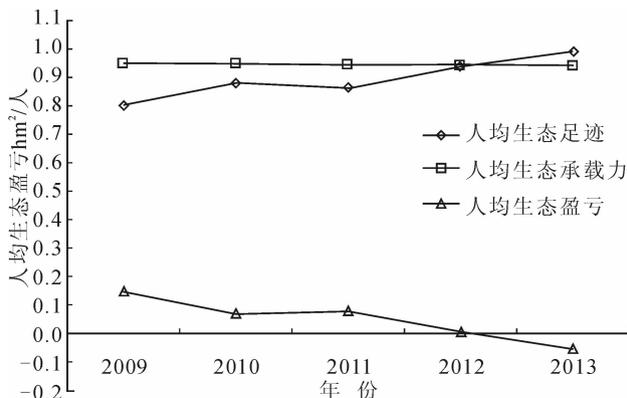


图3 商洛水源地生态盈亏变化
Fig. 3 Variation of ecological profit and loss per capita of the water source in Shangluo

2.4.2 六种土地类型生态盈亏变化

从图4可以看出,2009—2013年间商洛水源地的林地和建设用处于生态盈余状态,而且林地的生态盈余直接影响着总的生态盈亏状态,这与商洛水源地处于秦岭山区和长期实施封山育林,使得林地面积长期占到商洛总土地面积的78%密切相关,但林地的生态盈余呈下降趋势,说明林地目前尚可满足人们需求,但随着人口增加和经济发展,这种安全性将会不断降低。而建筑用地呈现生态盈余与商洛水源地实施生态城市建设和积极优化城镇工矿用地密切相关。

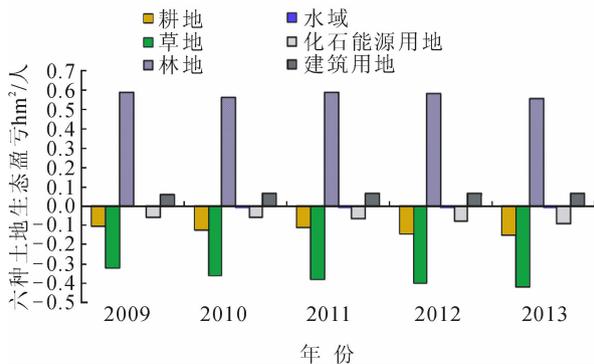


图4 商洛水源地六种土地类型生态盈亏变化
Fig. 4 Variation of ecological surplus of the water source of each land in Shangluo

研究期间耕地、草地、水域、化石能源用地四种生产土地类型表现为生态赤字,而且均呈现上升趋势。其中,水域面积五年均为29 242 hm²,说明生态赤字与人口增加有关;耕地和草地的赤字也直接影响到总的生态盈余状态,反映出当前商洛水源地农业经济依然或长期占国民经济主要地位;化石能源用地产生赤字,说明商洛水源地工业经济虽然有一定的发展,但工业化水平总体偏低。

2.5 生物、能源资源生态足迹变化

表2中各生物资源乘以相应的均衡因子^[10],得出各自相应的均衡面积,其中猪肉的均衡面积最大,为0.297 398 hm²,其次为粮食,均衡面积为0.237 482 hm²,进一步说明农业经济是商洛水源地国民经济重要来源,经济发展落后;中药材均衡面积为0.104 173 仅次于猪肉和粮食,这与商洛大力发展中药材产业有关。从2009—2013年各类生物资源消费变化来看,除了粮食在逐年下降,其他均在上升,生物资源消费结构基本符合商洛水源地的特点。

从表3、表4和商洛水源地历年能源消费可知,能源资源人均生态足迹由2009年的0.063 519 hm²上升到2013年的0.091 726 hm²,说明商洛水源地经

济发展模式属于消耗型和粗放型。其中,原煤所占比较最高,反映出该地区当前能源结构污染较重;2013年的电力生态足迹将近2009年的2倍,与近年来商洛水源地城镇化有所发展相符;从增长速度上来看,原煤、焦炭的增长速度2012年后开始变缓,说明商洛水源地实施的循环经济取得了初步成效,资源利用率有所提高。

3 结论与讨论

1) 商洛一区六县是南水北调中线工程典型水源涵养区,2009—2013年人均生态足迹逐年上升而人均生态承载力逐年下降,使得生态盈亏呈现下降趋势,但2009—2012年表现为生态盈余,2013年降为-0.052 928 hm²,表现为生态赤字,开始进入不可持续发展状态,与全球、中国和陕西省相比其生态压力相对较轻,但经济发展长期滞后是制约当地可持续发展的主要因素。

2) 24种资源人均生态足迹变化与当地人口增长、社会经济发展水平和消费结构相吻合,商洛经济发展模式属于消耗型和粗放型,农业经济是商洛水源地国民经济中的重要组成;林地长期占商洛水源地土地总面积的78%,与商洛水源地近年来实施退耕还林、封山育林地及发展经济林密切相关,但其人均生态足迹一直保持平稳且偏低而人均可利用生态承载力在逐年上升,可见,如何有效地利用好丰富的林地资源对商洛水源地未来发展生态经济和保护生态环境意义更为重大。

3) 生态足迹法自身存在一些不足,今后在运用生态足迹理论和方法时要结合研究区实际情况处理好生态足迹计算过程中的细节部分,更应该把影响生态环境的指标引进来,在深入研究商洛水源地各土地类型的时空变异、过程及其对生态环境的影响时,也要从居民素质、技术水平和社会发展上完善生态足迹计算结果,同时要结合RS和GIS技术与统计年鉴数据相互补充使所得的可持续发展结果更具有现实指导意义。

参考文献:

- [1] 刘远书,高文文,侯坤,等.南水北调中线水源区生态环境变化分析研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(3):440-446.
LIU Yuanshu, GAO Wenwen, HOU Kun, et al. Analysis of ecological environment change on watershed of the middle route of South-North water diversion project[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(3):440-446.

- [2] 王钦安,马耀峰.南水北调中线工程陕南水源区水环境研究[J].水资源与水工程学报,2008,19(1):77-80.
WANG Qinan, MA Yaofeng. Study on the water environment in source areas of Southern Shaanxi for the Medium Route Project of the South-to-North Water Diversion[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(1): 77-80.
- [3] 王晓峰,赵璐,解维宁.南水北调中线陕西水源区环境质量评价[J].长江流域资源与环境,2009,18(12):1137-1142.
WANG Xiaofeng, ZHAO Lu, XIE Weining. Natural environment quality evaluation of water source area of the middle route of south-to-north water transfer[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(12): 1137-1142.
- [4] 李思悦,刘文治,顾胜,等.南水北调中线水源地汉江上游流域主要生态环境问题及对策[J].长江流域资源与环境,2009,18(3):275-280.
LI Siyue, LIU Wenzhi, GU Sheng, et al. Eco-environmental crisis and countermeasures of the upper HAN River basin (water source area of the middle route of the South-to-North water transfer project), China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(3): 275-280.
- [5] 尹炜.南水北调中线工程水源地生态环境保护研究[J].人民长江,2014,45(14):18-21.
YIN Wei. Research on eco-environmental protection of water sources area in Middle Route Project of South-to-North Water Diversion[J]. Yangtze River, 2014, 45(14): 18-21.
- [6] 李雪松,李婷婷.南水北调中线工程水源地市场化生态补偿机制研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(S1):66-72.
LI Xuesong, LI Tingting. Research of the market-oriented ecological compensation mechanism in water source areas of the middle route of South-to-North water transfer project[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(S1): 66-72.
- [7] 陆大道,樊杰.区域可持续发展研究的兴起与作用[J].中国科学院院刊,2012,27(3):290-300,319.
LU Dadao, Fan Jie. The rise and effects of regional sustainable development studies in China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(3): 290-300, 319.
- [8] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法的理论解析[J].中国人口·资源与环境,2006,16(6):69-78.
XU Zhongmin, CHENG Guodong, ZHANG Zhiqiang. A resolution to the conception of ecological footprint [J]. China Population, Resources and Environment, 2006, 16(6): 69-78.
- [9] 谭伟文,文礼章,仝宝生,等.生态足迹理论综述与应用展望[J].生态经济,2012,254(6):173-181.
TAN Weiwen, WEN Lizhang, TONG Baosheng, et al. Review on the methods of ecological footprint and applying prospect [J]. Ecological Economy, 2012, 254(6): 173-181.
- [10] Global Footprint Network. Calculation methodology for the national footprint accounts, 2010 edition [R]. California, USA: CFN, 2012.
- [11] 张佳琦,段玉山,伍燕南.基于生态足迹的苏州市可持续发展动态研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(2):177-184.
ZHANG Jiaqi, DUAN Yushan, WU Yannan. Dynamic analysis of sustainable development in Suzhou on ecological footprint [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(2): 177-184.
- [12] 郭浩,方朝阳.江西省2004—2013年生态足迹测算与分析[J].江西科学,2015,33(3):428-434.
WU Hao, FANG Chaoyang. Calculation and analysis of the ecological footprints from 2004 to 2013 in Jiangxi Province [J]. Jiangxi Science, 2015, 33(3): 428-434.
- [13] 杜加强,滕彦国,王金生.生态足迹计算过程中的某些细节处理研究[J].地域研究与开发,2009,28(2):99-103,107.
DU Jiaqiang, TENG Yanguo, WANG Jinsheng. The discussion about the details in the process of the ecological footprint calculation [J]. Real Research and Development, 2009, 28(2): 99-103, 107.
- [14] 史丹,万俊杰.基于生态足迹的中国生态压力与生态效率测度与评价[J].中国工业经济,2016(5):5-21.
SHI Dan, WANG Junjie. Measurement and evaluation of China's ecological pressure and ecological efficiency based on ecological footprint [J]. China Industrial Economics, 2016(5): 5-21.
- [15] 斯葛,林年丰,汤洁,等.生态足迹法在可持续发展度量及趋势预测中的应用[J].干旱区资源与环境,2006,20(3):37-42.
SI Ai, LIN Nianfeng, TANG Jie, et al. The application of ecological footprint the measurement of sustainable development and trend forecast [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(3): 37-42.

(责任编辑 杨小丽)