

阿克苏地区水资源生态足迹核算与预测研究

王文欣,徐华君,王丹彤 (新疆大学资源与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830046)

摘要 通过水资源生态模型计算阿克苏地区水资源生态足迹、水资源生态承载力和生态赤字。根据已知年数据,运用灰色预测 GM(1, 1)模型预测 2012~2024 年的生态赤字(盈余)趋势。结果表明,该区水资源生态足迹先增后减,水资源承载力趋于平稳,说明水资源综合利用发展趋势从不合理逐步发展为科学有效的利用。但水资源利用仍然处于赤字状态,因此阿克苏地区水资源问题依然紧迫。

关键词 生态足迹;水资源;灰色预测模型;阿克苏地区

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)01-227-03

Research for Calculation and Prediction of Water Resource Ecological Footprint in Aksu Administrative Offices
WANG Wen-xin, XU Hua-jun, WANG Dan-tong (School of Resource and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

Abstract The ecological footprint, ecological carrying capacity and deficit of water resources in Aksu region was calculated. According to data, grey prediction GM (1, 1) model was used to forecast the trend of ecological deficit (surplus) from 2012 to 2024. The results showed that the ecological footprint of water after the first increased, water resources carrying capacity leveled off, indicating that the development trend of integrated water resources is gradually from irrational use to scientific and effective use. But still water resource is still in deficit, therefore, Aksu region water resources problem is still pressing.

Key words Ecological footprint; Water resources; Gray forecasting model; Aksu area

生态足迹是一种衡量人类对自然资源利用程度以及自然界为人类提供的生命支持服务功能的方法^[1-2]。William 将其比喻为“一只负载着人类与人类所创造的城市、工厂的巨脚踏在地球上留下的脚印”^[3],当地球所能提供的土地面积容不下这只“巨脚”时,其上的城市、工厂就会失去平衡。生态足迹模型由于资料的相对易获取、计算方法的可操作性、可重复性以及很强的可复制性,使得生态足迹分析具有广泛的应用范围^[4]。但该模型仍然存在一些不足,生态足迹分析没有把自然系统提供资源、消纳废弃物的功能描述完全,忽视了地下资源和水资源的估算。针对水资源的价值描述不足的问题,笔者采用黄林楠等^[5]建立的水资源生态足迹模型,计算并分析阿克苏地区 2004~2011 年水资源生态足迹和生态承载力,并对水资源生态赤字进行预测,为阿克苏地区水资源的开发保护和可持续利用提供科学依据。

1 研究区概况

阿克苏地区地处新疆维吾尔自治区中部、天山山脉中段南麓、塔里木盆地北缘,位于 39°30′~42°40′ N,78°02′~84°05′ E 之间。东邻巴音郭楞蒙古自治州,西接克孜勒苏柯尔克孜自治州,西南与喀什地区接壤,南与和田地区相望,北与伊犁哈萨克自治州毗邻,西北以天山山脉中梁与吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦交界。东西最长处约 531 km,南北最宽处约 386 km。总面积 31.52 万 km²,占新疆总面积的 8%。阿克苏地区地势北高南低,由西北向东南倾斜。属暖温带大陆性气候,气候干燥,降雨量少,光热资源丰富,全区年总日照 2 800 h 以上,仅次于青藏高原,居全国第二位。昼夜温差大,无霜期为 183~227 d,年平均气温在 9.9~11.5℃,年降水量 42.4~94.4 mm。阿克苏地区是新疆水资源最为丰富

的地区之一。阿克苏境内共有冰川 1 298 条,总面积为 4 098 km²,每年冰雪储水量约 3 500 亿 m³。昆玛力克河、阿克苏河、渭干河三大水系由 16 条主要干流及大小 60 多条主要泉水河流组成,地表水总资源量为 133.2 亿 m³,地下水总补给量为 46.02 亿 m³,其中天然补给量为 6.26 亿 m³,水资源总量为 139.46 亿 m³。全地区总人口 214 万人,其中少数民族 155 万人,占总人口的 75.5%。阿克苏地区地处新疆南北疆交通要塞,是南疆重镇和交通枢纽。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源 研究数据主要来源于《新疆统计年鉴(2002-2012 年)》^[6]、《阿克苏年鉴(2002-2012 年)》^[7]以及《阿克苏水资源公报》^[8]。

2.2 研究方法

2.2.1 水资源生态足迹模型。

2.2.1.1 水资源生态足迹。 $EFw = N \cdot efw = N \cdot \gamma w \cdot W / Pw$ 。式中, EFw 为总水资源生态足迹(hm²); N 为人口数; efw 为人均水资源生态足迹(hm²/人); γw 为水资源全球均衡因子; W 为消耗的水资源量(m³); Pw 为全球水资源平均生产能力(m³/hm²)。

2.2.1.2 水资源承载力。 $ECw = N \cdot ecw = 0.4 \cdot \phi \cdot \gamma \cdot Q / Pw$ 。式中, ECw 为水资源承载力(hm²); N 为人口数; ecw 为人均水资源承载力(hm²/人); ϕ 水资源产量因子; γ 为水资源均衡因子; Q 为水资源总量(m³); Pw 为全球水资源平均生产能力(m³/hm²)。一个国家或地区的水资源开发利用率若超过 30%~40%,则可能引起生态环境的恶化,因此,一个国家和地区的水资源承载力中必须至少扣除 60% 用于维持生态环境,因此在上述计算中乘以了系数 0.4^[5,9]。

2.2.1.3 水资源生态赤字(盈余)。水资源生态赤字(盈余) $= ECw - EFw$ 。当 $ECw < EFw$ 时,为水资源生态赤字,表明水资源遭到破坏,处于不可持续状态;当 $ECw = EFw$ 时,为水资源生态平衡;当 $ECw > EFw$ 时,为生态盈余,表明水资源处于

作者简介 王文欣(1989-),女,蒙古族,新疆巴里坤人,硕士研究生,研究方向:干旱区资源与环境。

收稿日期 2014-11-19

可持续发展状态。

全球水资源均衡因子根据 2008 版的国家足迹核算方法提供的内陆水域均衡因子取值为 0.4。水资源产量因子的计算方法参考黄林楠等^[5]的方法。

2.2.2 灰色预测 GM(1,1)模型。首先,设原始数据 $X^{(0)}$ 有 n 个值,即 $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\}$, 灰色预测 GM(1,1)模型相应的微分方程为 $\frac{dX(1)}{dt} + \alpha X^{(1)} = \mu$, 通过累加生成新序列 $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$ 。 α 和 μ 可利用最小二乘法求解。解得: $\begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_m$, 求解微分方程, 便可以得到预测模型: $X^{(1)}(t+1) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha}]e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha}, t=0, 1, 2, \dots, \mu$ 。根据模型即可得到一组预测序列^[10]。

3 结果与分析

3.1 阿克苏地区水资源生态足迹、水资源承载力及生态赤字计算 通过以上方法计算得到阿克苏地区水资源生态足迹、水资源承载力及生态赤字(表 1)。由表 1 可知,阿克苏地区的人均水资源生态足迹基本呈先增后减的趋势,但整体从 2004 年到 2011 年共计减少了 0.069 4 hm²/人。2004~2007 年由 0.573 0 hm²/人增至 0.598 0 hm²/人,达到最大值,增速较缓慢。2007 年开始,水资源生态足迹开始减少,到 2011 年已由最大值 0.598 0 hm²/人减少至 0.503 6 hm²/人,减少了 0.094 4 hm²/人。其中,第一产业人均水资源生态足迹远大于人均生活用水及生态环境用水。总体上生产用水先增后减,生活用水增加,生态用水增加。造成以上趋势的原因是大型工业园区的规划用水、罐区节水改造等节水措施使得资源能够有效利用,用水量逐渐减少。生活用水的增加是因为

表 1 阿克苏地区人均水资源生态足迹

hm²/人

年份	生产用水			生活用水	生态 环境用水	水资源 生态足迹	水资源 承载力	生态赤字 (盈余)
	第一产业	第二产业	第三产业					
2004	0.563 0	0.005 2	0.000 7	0.003 7	0.000 5	0.573 0	0.039 1	-0.533 9
2005	0.563 6	0.005 5	0.000 6	0.002 6	0.000 3	0.572 5	0.039 9	-0.532 6
2006	0.556 6	0.006 2	0.000 6	0.003 0	0.000 3	0.566 6	0.035 3	-0.531 3
2007	0.584 8	0.006 5	0.001 0	0.003 4	0.002 3	0.598 0	0.037 2	-0.560 8
2008	0.580 9	0.006 6	0.001 0	0.003 5	0.002 5	0.594 5	0.034 0	-0.560 5
2009	0.560 0	0.006 4	0.001 0	0.003 9	0.002 2	0.573 5	0.028 2	-0.545 3
2010	0.519 7	0.004 6	0.000 7	0.003 2	0.006 2	0.534 4	0.039 4	-0.495 0
2011	0.490 2	0.005 8	0.000 7	0.004 5	0.002 3	0.503 6	0.034 3	-0.469 2

城市人口膨胀、生活水平提高所影响的。生态环境用水逐渐增加是由于生态环境保护准则和标准随着社会发展的完善,人们生态环保意识的增强以及对生态治理和恢复的重视。

由表 1 可知,水资源承载力几乎趋于平稳。水资源承载力受限于水文、气象、植被等自然资源因素^[10]。2010 年人均水资源量为 3 063 m³/人,超出全疆平均水平,可供水量具有较大空间。较大的节水潜力在可持续发展过程中减少了一部分用水需求。结果表明,该地区水资源较为丰富,相对人口而言没有造成很大压力。

2004~2011 年阿克苏地区的水资源生态赤字整体趋势为先降后升,由 2004 年的 -0.532 6 hm²/人上升到 -0.469 2 hm²/人。2004~2008 年生态赤字减少,由于阿克苏地区经济发展迅速,工业发展不完善,资源利用率低,农业用水正逐步从粗放式利用转向集约化利用,人们环保意识薄弱,因此造成水资源赤字。到 2011 年,水资源仍然处于赤字状态,但赤字逐年缩小,说明阿克苏地区水资源利用随着工农业用水的科学有效利用以及人们节水意识的逐步增强正趋于合理化。

3.2 阿克苏地区水资源生态赤字预测 根据 2008~2011 年水资源生态赤字的数据,通过 EXCEL 实现灰色预测 GM(1,1)模型预测 2012~2024 年水资源生态赤字(盈余)状况,其结果见图 1。预测结果显示,阿克苏地区生态赤字情况从 2012 年的 -0.415 8 hm²/人逐年增加到 2024 年的 -0.176 7

hm²/人。在经济可持续发展的基础上,随着科技的进步,很大程度上提高了水资源利用率。趋于合理的开发和利用水资源及人们节水意识的增强使得水资源生态赤字逐年增大,但仍然处于赤字状态。因此,今后节水形势依然严峻。

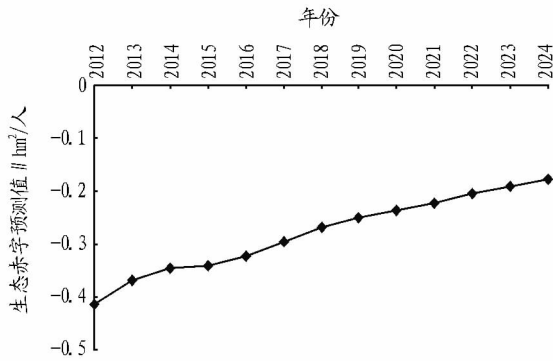


图 1 阿克苏地区水资源生态赤字预测

4 结论

(1)通过水资源生态足迹模型计算,结果显示阿克苏地区的人均水资源生态足迹基本呈先增后减的趋势,整体从 2004 年到 2011 年共计减少了 0.069 4 hm²/人。2004~2007 年由 0.573 0 hm²/人增至 0.598 0 hm²/人,达到最大值,增速较缓慢。2007 年开始,水资源生态足迹开始减少,到 2011 年已由最大值 0.598 0 hm²/人减少至 0.503 6 hm²/人,减少了 0.094 4 hm²/人。其中,第一产业人均水资源生态足迹远大

于人均生活用水及生态环境用水。总体上生产用水先增后减,生活用水增加,生态用水增加。其原因是大型工业园区的规划用水、灌区节水改造等节水措施使得资源能够有效利用,生产用水量逐渐减少。生活用水是城市人口膨胀、生活水平提高所影响的。生态环境保护准则和标准随着社会发展不断的完善,人们环保意识的增强以及对生态治理和恢复的重视逐渐增加了生态环境用水。

水资源承载力几乎趋于平稳,表明该地区水资源量相对人口而言没有造成很大压力,水资源较为丰富。2004~2011年阿克苏地区的水资源生态赤字整体趋势为先降后升,由2004年的 $-0.5326\text{ hm}^2/\text{人}$ 上升到 $-0.4692\text{ hm}^2/\text{人}$ 。2004~2008年生态赤字减少,由于阿克苏地区经济发展迅速,工业发展不完善,资源利用率低,农业用水正逐步从粗放式利用转向集约化利用,人们环保意识薄弱,造成水资源赤字。到2011年,水资源仍然处于赤字状态,但赤字逐年缩小,说明阿克苏地区水资源利用正趋于合理。

(2)通过灰色预测GM(1,1)模型预测生态赤字(盈余)情况。结果显示,生态赤字呈逐年增大,从2012年的 $-0.4158\text{ hm}^2/\text{人}$ 增加到2024年的 $-0.1767\text{ hm}^2/\text{人}$,水资源发展趋于合

(上接第126页)

近年来永川区城市发展迅速,各项基础设施不断完善,却也不可避免的对城市河流造成严重的阻断与割裂。调查发现,永川区城市水系主要存在以下结构性问题:

5.1 城市道路修建对河流的阻断 永川城市新建道路桥梁多处穿过河流,采用涵洞的方式沟通河流,虽然保持了河流的流动连续性,然而对于水中淤泥、泥沙的流动以及水中营养物质的运输与交换,却会带来严重的影响,同时威胁底栖生物的栖息地环境,影响水生生物生长与繁衍。例如成渝高铁线路的建造,使红旗河郊区河段与源头七一水库的连续中断,必然会导致红旗河水量的减小,同时严重破坏了河岸生物群落的连续性。

5.2 城市内部河道大坝修建对水系的破坏 永川城市内部河流虽多,但河流流量小水体污染严重,多处河道断裂,河流沦为排污沟渠,汛期防洪防涝功能减弱。为此,近年来,城中红旗河、护城河等河道硬质堤坝的大量修建,阻断了河道与河漫滩、湿地间的自然联系,对水生生物生存和繁衍的通道造成影响,导致生态系统的生境破碎化、单一化。

5.3 景观水体与水系的连接薄弱 永川城市湖泊、水体众多,然而随着城市建设用地的不断扩张,湖泊与河流的联系逐渐减弱,由于缺乏与城市水系的沟通连接,导致湖泊汛期泄洪与枯水期水源补给均存在严重问题,如中央公园内水体以及望城公园内水体。

因此,进行城市水系规划时,需采取调整河道走线,开挖导流水道,沟通连接河流与湖泊等措施;弥补城市流域水系的结构性缺陷,恢复河流连续统的完整性,重塑永川区城市水系骨架脉络(图3)。

理。在经济可持续发展的基础上,随着科技的进步,很大程度上提高了水资源利用率。趋于合理的开发和利用水资源及人们节水意识的增强使得水资源生态赤字逐年增大,但仍然处于赤字状态。因此,今后节水形势依然严峻。

参考文献

- [1] 李利锋,成升魁.生态占用—衡量可持续发展的新指标[J].资源科学,2000,15(4):375-382.
- [2] 杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹分析理论与方法[J].地球科学进展,2000,15(6):630-636.
- [3] REES W E. Revisiting carrying capacity: Area-based indicators of sustainability[EB/OL]. <http://www.dieoff.com/page/110.htm>. 1997.
- [4] 王书华,毛汉英,王忠静.生态足迹研究的国内外近期进展[J].自然资源学报,2002,17(6):775-782.
- [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.
- [6] 新疆统计局,国家统计局新疆调查总队.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002-2012.
- [7] 阿克苏地区统计局.阿克苏统计年鉴[M].阿克苏地区统计出版社,2002-2012.
- [8] 阿克苏地区统计局.阿克苏水资源公报[M].阿克苏地区统计出版社,2006.
- [9] 张岳.中国水资源与可持续发展[M].南宁:广西科学技术出版社,2000:2-3,120-125.
- [10] 李玉平,王晓妍,朱琛,等.邢台市水资源生态足迹核算与预测研究[J].水土保持研究,2014,21(3):227-230.

6 结论与讨论

目前的城市水系景观生态问题研究多是针对城市内单一目标河段或单个水体景观进行的,往往不能根本解决水系生态问题。然而,以流域生态学为指导的规划思路与方法,更加注重系统理论与宏观把控。以永川区城市水系为研究对象,针对永川区城市流域水系现状问题与自身特点,首先研究城市小流域水系与全流域的生态协调关系,再分析郊区水源地对城市水系的影响,最后落到城市水系自身结构性问题上,分层次从不同尺度上解决永川区城市水系问题,从而建立健康、和谐的城市水生态系统。对于弥补一般城市水系研究的不足,促进城市水系可持续发展具有创新指导作用。同时,也为城市水系规划提供了新理论支撑,具有广泛的借鉴意义。

参考文献

- [1] 许自力.流域城乡水系景观规划的意义及初步设想[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] 蔡庆华,唐涛,刘建康.河流生态学研究中的几个热点问题[J].应用生态学报,2003,14(9):1573-1577.
- [3] 蔡庆华,吴刚,刘建康.流域生态学:水生态系统多样性研究和保护的一个新途径[J].科技导报,1997(5):24-26.
- [4] VANNOTE R L, MINSHALL G W, CUMMINS K W, et al. The river continuum concept[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 1980,37:130-137.
- [5] 陈吉泉.河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J].应用生态学报,1996,7(4):439-448.
- [6] CUSHING C E, MCINTIRE C D, CUMMINS K W, et al. Relationships among chemical, physical and biological indices along river continua based on multivariate analyses[J]. Archive Hydrobiology, 1983,89:343-352.
- [7] 刘光德,赵中金,李其林.三峡库区农业面源污染现状及防治对策[J].中国生态农业学报,2004,12(2):172-175.
- [8]. 吴磊,龙天渝,刘霞.三峡库区小流域氮磷污染负荷估算[J].中国给水排水,2012,28(21):120-124.