

长武县水资源承载力分析计算与评价^{*}

张青峰¹, 王力^{1,2}, 邵明安^{1,2}, 张宽平³, 苏建平⁴

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 3. 陕西省长武县水利局, 陕西 长武 713600; 4. 陕西省长武县林业局, 陕西 长武 713600)

摘 要: 水资源的用水结构和承载力的计算是当前人们普遍关注的问题, 探讨县域水资源承载力是维持县域经济社会健康发展的重要环节。从长武县 2007 年水资源现状出发对县域范围内的用水结构及水资源承载力平衡指数进行计算与分析。结果表明: 长武县用水结构中, 农业、工业、生活、养殖业用水量比例分别为 0.65: 0.29: 0.04: 0.01, 农业用水占总用水量的 1/2 以上; 长武县可利用水资源量大于总用水量, 水资源承载力供需平衡指数大于 0, 说明长武县水资源供给充足, 具备当前规模的经济社会系统的支撑能力。

关键词: 水资源承载力; 平衡指数; 用水结构; 长武县

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0088-04

Water Resources Carrying Capacity Analysis and Evaluation of Changwu County

ZHANG Qing-feng¹, WANG Li^{1,2}, SHAO Ming-an^{1,2}, ZHANG Kuang-ping³, SU Jian-ping⁴

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Water Conservancy Bureau of Changwu County, Changwu, Shaanxi 713600, China; 4. Forestry Bureau of Changwu County, Changwu, Shaanxi 713600, China)

Abstract: The issues about water resource usage structure and carrying capacity are being paid more attentions nowadays due to the water resources carrying capacity (WRCC) plays an important role in county's economic and social sustainable development. In this paper, the water resources of Changwu County in the year of 2007 is taken as the example, the water resources usage structure and carrying capacity balance index are calculated separately. The results show that the water resources usage structure of Changwu County mainly include 4 parts: agriculture, industry, life and farming, and their consumption rates are 0.65: 0.29: 0.04: 0.01, while the agricultural usage accounts for more than half of the total water consumption. According to the calculation of the WRCC balance index, the available water resources volumes is greater than the total water usage volumes, and the WRCC balance index is greater than 0, which notes that the water supply of Changwu County is adequate, and the water resources can meet current usage demand of current economic and social systems.

Key words: water resources carrying capacity; balance index; water usage structure; Changwu County

水资源承载力(WRCC, Water Resources Carrying Capacity)是指在一定的时期和科学技术水平条件下, 特定区域或流域的天然水资源所能够承载的人口、社会经济和资源环境三者相互协调持续发展的最大水平^[1]。WRCC 的研究是县域持续发展过程中各种自然资源承载力的重要组成部分, 对县

域综合发展和发展规模有至关重要的影响, 尤其是对于黄土高原干旱、半干旱地区, WRCC 的分析计算和评价已成为寻求区域可持续发展道路的重要依据^[2]。县域 WRCC 的量化理论与方法, 对于探讨县域经济社会可持续发展中受水制约的重大问题具有长远意义。以长武县为研究对象探讨其 WRCC 状

* 收稿日期: 2009-01-14

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07); 西北农林科技大学科研专项(08080115)

作者简介: 张青峰(1974-), 男, 山西孝义人, 博士, 主要从事土地资源与空间信息技术方面的研究。E-mail: zhf@nwsuaf.edu.cn

况,可为长武县节约水资源,加强水资源的优化配置,实现水资源的高效利用提供科学依据,对长武县农业生产、生态安全以及社会经济可持续发展具有重要意义。

1 研究区概况

长武县是国家耕地保育与持续高效现代农业试点县,位于陕西省西北黄土高原丘陵沟壑区,东经 $107^{\circ}38' - 107^{\circ}58'$,北纬 $34^{\circ}59' - 35^{\circ}18'$,南北长 30.06 km 、东西宽 27.23 km ,总面积 567.1 km^2 。地面海拔在 $847\sim 1\,274\text{ m}$ 之间,境内的泾河、黑河、南河3条河流和883条干支毛沟,将全县切割成北塬、巨家塬、枣元塬3大块,形成了塬高、沟深、坡陡的地貌特征,是黄土高原水土流失重点治理区。长武县属内陆干旱气候,年均气温 9.1°C ,年积温 $2\,994^{\circ}\text{C}$,无霜期 171 d ,春季少雨,夏季多伏旱、冰雹、风灾等自然灾害对农业生产危害较大。全县共辖11个乡镇,171个行政村,总人口 17.72 万 ,人口密度 $312\text{ 人}/\text{km}^2$;主要作物有小麦、油菜、大麻、烤烟及果树。

大气降水是长武县地表水和地下水的主要补给来源。降水资源的数量及时空分布特征,直接影响着地表水及地下水资源的形成。全县年均降水量 573 mm ,年均蒸发量 $1\,016.7\text{ mm}$,干燥指数 1.71 。降水年内分配不均,年季变化较大,空间上分布趋势是塬区多于河川区。水资源总量 $3\,912.28\text{ 万 m}^3$ 。气候干旱,降水不足,蒸发量大,水土流失严重,工业污染使得水质严重破坏。不断增长的水资源需求与水资源利用现状之间的矛盾越来越显著,成为长武县未来发展的瓶颈。

1.1 地表水资源

长武县属于渭河流域泾河水系,地表水资源由自产径流量、入境水和过境水3部分组成。全县自产径流量 $3\,316.6\text{ 万 m}^3$,其中北塬区 $1\,665.3\text{ 万 m}^3$,河川区 255.2 万 m^3 ,南塬区 $1\,395.8\text{ 万 m}^3$ 。由于地理条件限制,自产径流难以利用,可控制用水量仅为 200 万 m^3 左右;入境河流包括达溪河、黑河和磨子河,入境水量分别为 $1.73, 0.93, 0.078\text{ 亿 m}^3$,年径流量 2.738 亿 m^3 ;过境河流包括泾河及其支流马连河和四郎河,多年平均过境水量分别为 $8.12, 4.55, 0.41\text{ 亿 m}^3$,总过境水量 13.08 亿 m^3 。水源丰富,但各河流目前均无大、中型拦蓄工程,仅有少量的提、引设施,控制利用率低。

1.2 地下水资源

长武县地下水资源主要由浅层潜水和深层承压水构成。浅层潜水主要来源于大气降水和地表水的

灌溉垂直入渗补给。北塬区多年平均降水深 570 mm ,平均引灌量 $138.63\text{ 万 m}^3/\text{a}$,大气降水入渗补给量 $463.30\text{ 万 m}^3/\text{a}$,引灌入渗补给量 $11.09\text{ 万 m}^3/\text{a}$;河川区多年平均降水深 559 mm ,平均引灌量 $94.39\text{ 万 m}^3/\text{a}$,大气降水入渗补给量 $695.96\text{ 万 m}^3/\text{a}$,引灌入渗补给量 $28.32\text{ 万 m}^3/\text{a}$;南塬区多年平均降水深 580 mm ,平均引灌量 $1.42\text{ 万 m}^3/\text{a}$,大气降水入渗补给量 $130.21\text{ 万 m}^3/\text{a}$,引灌入渗补给量 $0.07\text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。全年合计大气降水入渗总补给量 $1\,289.47\text{ 万 m}^3/\text{a}$,引灌入渗补给量 $39.48\text{ 万 m}^3/\text{a}$,地下潜水多年平均总补给量 $1\,328.95\text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。根据各分区浅层地下水补给量和多年实际开采情况,北塬区可开采量为 $305\text{ 万 m}^3/\text{a}$,河川区可开采量为 $510\text{ 万 m}^3/\text{a}$,南塬区可开采量为 $75\text{ 万 m}^3/\text{a}$,全县地下水潜水可开采量 $890.0\text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。

深层承压水主要来源于区外上游基岩露头区,接收大气降水和地表水体入渗,通过地下径流侧向补给,其次还有一定的上覆岩层中地下水通过垂向向深层越流补给。长武县深层承压水资源量以矿化度 $M < 1\text{ g/L}$ 的区域,且目前有一定开采和利用条件的地段对其进行估算。经估算,泾河计算段深层承压水资源量约为 $362.5\sim 613.4\text{ 万 m}^3/\text{a}$,黑河计算段约为 $181.3\sim 306.7\text{ 万 m}^3/\text{a}$,北塬区约为 $116.2\sim 151.0\text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。

2 用水量计算与分析

2.1 农业用水量

农业用水量主要指农田灌溉用水。用作物田间耗水量加权平均法计算,如公式(1)所示^[34]。

$$E_{\text{农}} = E_{\text{田}}[\eta + K(1 - \eta)] = \sum S_i E_i / \sum S_i [\eta + K(1 - \eta)] \quad (1)$$

式中: $E_{\text{农}}$ ——农业用水量(mm); $E_{\text{田}}$ ——耕地田间耗水量,按作物种植面积加权平均值; E_i ——各种作物田间耗水量(包括休闲期耗水量)(mm); S_i ——各作物种植面积(hm^2); η ——土地利用系数,即耕地占总土地面积的比例; K ——非耕地蒸腾蒸发量与耕地蒸腾蒸发量的比值。根据分析结果,取值 0.65 。折算全县农业用水量($W_{\text{农}}/\text{m}^3$)采用公式(2)计算。

$$W_{\text{农}} = E_{\text{农}} \times 0.667 \times \sum S_i \quad (2)$$

长武县主要农作物在当地气候条件下达到高产时的需水量以及农业用水量的计算结果见表1。

2007年长武县种植面积 $3\,060.73\text{ hm}^2$,折算用水量为 $1\,437.24\text{ 万 m}^3$ 。

2.2 工业用水量

工业用水量是指工业用水单位在生产过程中所

取用的水量。计算公式如式(3)。

$$W_{\text{工}} = G_{\text{工}} \cdot \lambda \tag{3}$$

式中: $W_{\text{工}}$ ——工业用水量(m^3); $G_{\text{工}}$ ——工业总产值(万元); λ ——万元产值平均耗水量($\text{m}^3/\text{万元}$)。

表 1 农业用水量计算表

复种 系数	土地利 用系数	小麦(夏杂蔬菜)		大秋(烤烟)		油料		秋杂(果蔬)		$E_{\text{田}}/$ mm	K	$E_{\text{非}}/$ mm	$E_{\text{农}}/$ mm
		种植 比例	耗水量/ mm	种植 比例	耗水量/ mm	种植 比例	耗水量/ mm	种植 比例	耗水量/ mm				
1.15	0.70	0.65	450	0.23	500	0.05	490	0.22	420	524.4	0.65	340.86	469.34

注: $E_{\text{非}}$ ——非耕地耗水量; 数据来源于 2007 年长武县统计年鉴。

2007 年长武县全县工业总产值为 52 410 万元, 工业万元产值平均耗水量为 $123.5 \text{ m}^3/\text{万元}$, 据公式(3)可知, 工业用水量为 647.26 万 m^3 。

2.3 城乡居民生活用水量

城乡居民生活用水主要受人口数量和人均用水量的影响^[5], 利用式(4)进行计算。

$$W_{\text{生}} = 365 \times (P_{\text{城}} \cdot \alpha_{\text{城}} + P_{\text{乡}} \cdot \alpha_{\text{乡}}) \tag{4}$$

式中: $W_{\text{生}}$ ——城乡居民生活用水量(m^3); $P_{\text{城}}$, $P_{\text{乡}}$ ——2007 年城镇用水人口和乡村用水人口数, 不包括流动人口数(人); $\alpha_{\text{城}}$, $\alpha_{\text{乡}}$ ——城、乡人口人均日用水量, 其中 $\alpha_{\text{城}} = 27.6 \text{ L/d}$, $\alpha_{\text{乡}} = 11 \text{ L/d}$ 。

2007 年城镇用水人口数为 17 361 人, 乡村用水人口数为 159 860 人。根据公式(4)可知, 城乡居民生活用水量为 81.67 万 m^3 。

2.4 养殖业用水量

养殖业用水主要为牲畜饮水。采用式(5)计算。

$$W_{\text{养}} = 365 \times \sum_{i=1}^n P_i \times D_i \tag{5}$$

式中: $W_{\text{养}}$ ——养殖业用水量(m^3); P_i ——各种牲畜每日平均饮水量(L/d); D_i ——各种牲畜数量(头)。

2007 年长武县大牲畜存栏头数 33 171 头, 猪存栏数 20 067 头, 羊存栏数 54 285 头, 总用水量为 28.24432 万 m^3 。

2.5 长武总用水量

长武县经济以农业为主导, 总用水量基本包括农业用水、工业企业用水、生活用水、养殖业用水 4 项, 全县用水总量(W_D)为:

$$W_D = W_{\text{农}} + W_{\text{工}} + W_{\text{生}} + W_{\text{养}} \tag{6}$$

3 水资源承载力分析与评价

根据长武县用水现状, 采用夏军^[6]等人提出的水资源承载力供需平衡指数($IWSD$)对长武县水资源利用情况进行分析, 见式(7)。

$$IWSD = \frac{W_s - W_D}{W_s} = 1 - \frac{W_D}{W_s} \tag{7}$$

式中: W_s ——可利用水资源量(m^3), 它可以通过可更新恢复的地表水与地下水资源总量加上境外调水扣除生态需水量加以估算。

表 2 长武县 2007 年用水结构情况

项目	用水量/ 万 m^3	占总用水量比重/ %
农业用水量	1437.24	65.50
工业企业用水量	647.26	29.50
生活用水量	81.67	3.72
养殖业用水量	28.24	1.29
总用水量	2194.42	100

$$W_s = \alpha W_L + W_T - W_e \tag{8}$$

式中: α ——工程技术措施的开发利用系数; W_L ——可更新恢复的地表水与地下水资源总量; W_T ——境外调水资源总量; W_e ——生态需水量, 是指维系生态系统生物群落基本生存和河流、湖泊等一定生态环境质量(或生态建设要求)的最小水资源需求量, 通常由河道外的生态需水的估算和河道内的生态需水估算(如防止河道断流所需的最小径流量等)扣除其重复的水量构成^[6]。

河道内生态需水量 W_b 根据枯水频率(7Q10)法计算^[7], 见公式(9)。

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n \min(Q_{ij}) \tag{9}$$

式中: Q_{ij} ——第 i 年第 j 月(最枯月)的月流量(m^3/s); T ——换算系数, 其值为 $43.94 \times 10^4 \text{ s}$; n ——统计年数, 一般取 10。

河道外生态环境需水量 D 的估算是从纯自然的生态角度出发, 把人类活动排除在外, 目的是对人类活动需水与自然生态需水平衡进行评价和作出建议, 见公式(10)。

$$D = P - R - R_g - W_{\text{生}} \tag{10}$$

式中: D ——河道外生态环境需水量(m^3); P ——时段降雨量(m^3); R ——流出境外的地表径流量(m^3); R_g ——流出境外的地下径流量(m^3)。

根据长武县 1970–2007 年的气象资料, 长武县生态需水量 W_e 为 8.18 万 m^3 ; 可利用水资源量 W_s 为 3912.28 万 m^3 ; $IWSD = 0.44 \geq 0$, 这说明长武县可供的水资源量具备对目前这样规模的社会经济系统的支撑能力, 水资源对应的人口及经济规模是可承载的, 供需为良好状态。

4 结语

通过对长武县用水结构以及水资源承载力平衡指数的计算与分析,结果表明:长武县用水结构中,农业、工业、生活、养殖业用水量比例为 0.65:0.29:0.04:0.01,农业用水占总用水量的一半以上,工业次之,表明长武县社会经济是以农业发展为主导;长武县可利用水资源量大于总用水量,水资源承载力供需平衡指数大于 0,说明长武县水资源供给充足,具备当前规模的经济社会系统的支撑能力。根据长武县实际情况,总结并提出了简单而实用的水资源承载力的计算方法,以期对长武县水资源的合理配置提供借鉴。

针对长武县水资源利用现状,建议增加有效农业灌溉面积,提倡节水型灌溉农业,打破部分地区只浇救命水的现状,提高作物产量;有计划地对现有水利工程进行挖潜改造和修复配套,提高现有水利工程的利用率;适当兴建地表水利用工程和人畜供水工程;同时建设投资少、水费成本低的工业企业,以充分利用丰富的客水资源。

参考文献:

- [1] 赵西宁,吴普特,王万忠. 水资源承载力研究现状与发展趋势分析[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 173-177.
- [2] 朱一中,夏军,谈戈. 西北地区水资源承载力分析预测与评价[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 43-48.
- [3] 田园,王韶华,徐建新. 海河流域农业用水量研究[J]. 河北水利水电技术, 1995 (1): 21-26.
- [4] 徐建新,温随群,谷红梅,等. 黄淮海平原农业用水量估算方法探讨[J]. 华北水利水电学院学报, 2000, 21(1): 5-8.
- [5] 秦伟,朱清科,吴宗凯,等. 吴起县 2015 年水资源承载力评价[J]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 70-76.
- [6] 夏军,朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 262-269.
- [7] 谢宝丰,刘香军. 岷江上游生态需水量的计算[J]. 黑龙江水利科技, 2008, 36(3): 11-12.
- [8] 王化齐,蔡焕杰,董增川,等. 民勤绿洲生态环境需水量计算研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 32-35.
- [9] 长武县统计局. 长武 2007 年统计年鉴[M]. 2008: 4.
- [10] Tarboton D G and Ames D P. Advances in the mapping of flow networks from digital elevation data[EB/OL]. [http://dx.doi.org/10.1061/40569\(2001\)166](http://dx.doi.org/10.1061/40569(2001)166).
- [11] Dinesh S. Extraction of Hydrological Features from Digital Elevation Models Using Morphological Thinning[J]. Asian Journal of Scientific Research, 2008, 1(4): 310-323.
- [12] Meisels A, Raizman S, Karnieli A. Skeletoning a DEM into a drainage network[J]. Computer and Geosciences, 1995, 21(1): 187-196.
- [13] Bekithemba Gumbo, Nelson Munyamba, George Sit-hole, et al. Coupling of digital elevation model and rainfall-runoff model in storm drainage network design[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2002, 27: 755-764.
- [14] 熊立华,郭生练. 基于 DEM 的数字河网生成方法的探讨[J]. 长江科学院院报, 2003, 20(4): 14-17.
- [15] Wang Xinhao, Yin Zhiyong. A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales[J]. Journal of Hydrology, 1998, 210: 221-241.
- [16] Turcotte R, Fortin J P, Rousseau A N, et al. Ville-neuve. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network[J]. Journal of Hydrology, 2001, 240: 225-242.
- [17] Maria Jose Lopez Garcia, Ana M, Camarasa. Use of geomorphological units to improve drainage network extraction from a DEM: Comparison between automated extraction and photointerpretation methods in the Carraixet catchment (Valencia, Spain) [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 1999, 1(3/4): 187-195.
- [18] 李俊,汤国安,张婷,等. 利用 DEM 提取陕北黄土高原沟谷网络的汇流阈值研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 75-78.
- [19] 陈楠,王钦敏,汤国安. 黄土高原 DEM 分辨率对提取坡度精度的影响[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2006, 27(3): 321-324.
- [20] 陈楠,王钦敏,汤国安. 黄土高原丘坡信息 DEM 提取算法的应用[J]. 地球信息科学, 2006, 8(3): 69-75.
- [21] 朱庆,赵杰,钟正,等. 基于规则格网 DEM 的地形特征提取算法[J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 77-82.
- [22] 曹学章,张更生. 红壤丘陵脆弱生态环境的形成与整治对策[J]. 农业生态环境, 1995, 11(4): 45-48.
- [23] 鲁如坤,时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施[J]. 土壤, 2000 (4): 198-209.
- [24] Andrea Tribe. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method[J]. Journal of Hydrology, 1992, 139: 263-293.