基于生态需水的水资源分析
——以贵州省盐津河流域为例

楚勤方，田兴顺
（贵州省水土保持技术咨询研究中心，贵州 贵阳 550002）

摘　要：[目的] 探究中国西南湿润地区流域生态需水量计算方法，为流域水资源配置提供科学的数据参考。[方法] 选择贵州省盐津河流域为研究对象，采用彭曼法、Kristensen-Jensen 模型、MIKE SHE 分布式水文模型(DHI)、环境功能设定法等方法从农田系统、林草系统、水生态系统计算流域最小及满意需水量，并结合水资源状况对盐津河水资源配置提出建议。[结果] 盐津河总生态需水量为 1.39×10^7～2.04×10^7 m^3，流域内农田用水较多的是 4，7 和 8 月，林草系统不存在缺水现象，河道内枯水期及丰水期水量差距较大，可利用水量为 3.84×10^7～9.17×10^7 m^3，在保证枯水期生态水量同时，取水时间主要在 5—8 月。[结论] 河道取水应注意考虑农田作物用水规律，在预留农业用水时需要考虑作物类型及种植面积，严格遵循降雨及生态用水规律，建立蓄水设施，保证全年的生产生态用水。

关键词：流域；生态需水；水资源配置；盐津河流域
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2016)01-0259-06　　**中图分类号**：X171
文献参数：楚勤方，田兴顺. 基于生态需水的水资源分析[J]. 水土保持通报，2016，36(1)：259-264. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.046

Analysis of Water Resources Based on Ecological Water Demand
—Taking Yanjin River Basin in Guizhou Province as an Example

CHU Qinfang, TIAN Xingshun
(*Monitoring Technology Consulting Research Center of Soil and Water Conservation in Guizhou Province, Guiyang, Guizhou* 550002, *China*)

Abstract: [Objection] The objective of this study is to explore the ecological water demand calculation method in the southwest wet regions in order to provide scientific data for water resources allocation in karst areas. [Methods] We took Yanjin river basin in Guizhou Province as a case study. The Penman method, Kristensen-Jensen model, Mike SHE distributed hydrological model(DHI), and environmental function setting method was employed to calculate the optimal water demand from farmland, forest and grass ecosystems, water ecosystems in Yanjin river. [Results] The total amount of ecological water demand in Yanjin river was 1.39×10^7 m^3 to 2.04×10^7 m^3. Agricultural water demand in the basin was the most in April, July and August. The forest grass system didn't show the phenomenon of water lacking. The differences in water amount between dry season and abundant water period in the river were great, and the amount of available water was 3.84×10^7 m^3 to 9.17×10^7 m^3. To ensure the balance of ecological water, the main time of water intake was from May to August. [Conclusion] Farm crop water demand need to be concerned when water was taken from the river. The crop types and planting area also need to be considered when agriculture water was reserved. Moreover, we need to follow the rules of rainfall and ecological water use, to ensure the production of ecological water all the year round.

Keywords: river basin; ecological water demand; water resources allocation; Yanjin river basin

盐津河位于贵州省仁怀市境内，流域内水量与水质直接影响仁怀市生态环境及经济发展，特别是对茅台取水口的影响，近年来经济增长及工农业污染使盐津河已不能满足正常的取水要求，用水压力越来越大，研究盐津河流域生态需水，解决流域内水资源问题刻不容缓。盐津河位于喀斯特山区，流域内存在岩隙裂缝，渗漏较为严重，并且河道内存在暗河，有地下水涌入，河水去向难以把握，水资源利用存在极大困

收稿日期：2014-12-04　　**修回日期**：2014-12-10
资助项目：贵州省水利厅科研项目“测钎观测小区在黔中水利枢纽工程中的应用”(KT201202)
第一作者：楚勤方(1990—)，女(汉族)，河南省开封市人，硕士，研究方向为生态环境遥感。E-mail：295394025@qq.com。

难，流域内土层薄、保肥差，具有高度的生态脆弱性，加之处于南方地区，水资源丰富但水量分布不均，季节性缺水严重，水质性缺水突出，生态环境保护与经济发展用水的矛盾日益尖锐。

本文依据流域环境现状及现有基础数据，寻找适合盐津河流域生态需水量的计算方法，计算流域生态需水量并分析其需水规律，在流域水资源总量及开发利用基础上对盐津河流域的水资源配置提出建议。将有助于盐津河流域水资源配置研究的开展，满足下游取水的水量水质要求，为仁怀市水资源规划提供理论与技术参考，对流域社会经济协调和可持续发展，实现赤水河生态环境健康发展具有重要的现实意义。其配置思路和方法可以完善生态需水在流域范围的理论和技术体系，以期为流域水资源配置提供科学的数据参考，同时为其他具有类似环境特征的喀斯特流域水资源配置起到借鉴作用。

1 研究区概况

盐津河流域位于贵州省西北部仁怀境内，属长江流域赤水河水系。流域面积 268.32 km^2，平均海拔高程 913 m，主要为溶蚀地貌及侵蚀地貌，流域地层自寒武系至第四系均有出露。流域主要土壤类型有水稻土、黄壤、石灰土、紫色土，境内天然林地多为常绿叶林和常绿落叶灌木林，全市森林覆盖率达到 40.88%。盐津河流域属中亚热带湿润季风气候，风速一般 4～5 m/s。年均气温 15.8 ℃，日照时数为 1 266.7 h，年辐射总量 3681 MJ/m^2，流域多年平均年蒸发量 903.25 mm，平均相对湿度为 79%。流域年平均降雨量 1 027.2 mm，年际变化显著，汛期降水量占全年降水量的 78.1%，经常发生暴雨，影响当地农业生产，带来洪涝灾害以及造成严重的水土流失，局部地区带来洪涝灾害；枯水期人畜用水困难，河水断流，地下水枯竭。

2 盐津河流域生态需水量的计算

盐津河流域属于西南喀斯特地区，流域水系结构及水文动态过程较为复杂，基础数据较差并且气候湿润，计算其生态需水量时不适合用面积定额法及间接计算法[1]，流域内气象数据及流量监测数据较为齐全，综合考虑现有资料，在计算盐津河流域植被生态需水量时选择彭曼法，并结合 GIS 技术对流域不同植被类型进行计算。河道内生态需水量选择环境功能设定法。为更好的对盐津河流域生态需水量进行准确计算，把河道外植被分为农田系统和林草系统，盐津河流域生态需水划分为 3 部分，即：农田系统需水量、林草系统需水量和水生态系统需水量。

2.1 农田系统需水量

农田系统蒸散发量是计算作物潜在蒸散发量来代替作物生态需水量，将作物腾发量看作能量消耗的过程，通过平衡计算求出腾发所消耗的能量。然后再将能量折算为水量[2]，通常运用公式：

$$ET = K_c \cdot K_s \cdot ET_0 \tag{1}$$

式中：K_c——植物系数，与植物生长状况相关；K_s——土壤水分修正系数，与土壤质地及土壤含水量有关；ET_0——潜在蒸散发量(mm)，与海拔、气候气象因子相关。

$$K_c = K_{cb} + K_e \tag{2}$$

式中：K_{cb}——非全覆盖条件下的基本植物系数；K_e——土壤水分蒸发系数，取值 0.05。

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1-P)TAW} \tag{3}$$

式中：TAW——土壤总水分（mm）；RAW——根区土壤水分含量（mm）；D_r——根区水分消耗量(mm)；P——水分利用胁迫系数，与根深有关。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \tag{4}$$

式中：ET_0——参考作物蒸发蒸腾量（mm/d）；R_n——净辐射〔MJ/(m^2 · d)〕；Δ——温度—饱和水汽压关系曲线在 T 处的切线斜率(kPa/℃)；T——平均气温(℃)；e_a——饱和水汽压(kPa)；e_d——实际水汽压(kPa)；γ——湿度表常数(kPa/℃)；U_2—2m 高处风速(m/s)；G——土壤热通量〔MJ/(m^2 · d)〕；在实际计算中，地热通量 G 数量值很小，研究中可以忽略不计。

潜在蒸散发量采用 1951—2010 年气象数据的平均值，借助 ArcGIS 的 IDM 空间插值计算流域内月平均潜在蒸散发量。

流域主要作物为水稻、高粱、玉米、冬小麦及油菜，依据盐津河流域作物生育期及土壤质地情况，结合 FAO56 农作物蒸散量计算指南，确定作物根深及水分利用系数。玉米、小麦、高粱农作物一般土壤相对湿度的 75%为湿润标准，土壤相对湿度的 60%为作物开始受到胁迫的指标；油菜农作物一般土壤相对湿度的 75%为湿润标准，土壤相对湿度的 65%为作物开始受到胁迫的指标；水稻一般土壤相对湿度的 85%为湿润标准，土壤相对湿度的 75%为作物开始受到胁迫的指标。计算作物最小与满意生态需水量结果如表 1 所示。

表 1　盐津河流域农田系统作物需水量计算结果　　mm

作物		各月份生态需水量											
		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
水稻	最小	—	—	—	0	0	38.61	62.99	57.11	23.57	—	—	—
	满意	—	—	—	0	0	89.8	146.5	132.8	54.8	—	—	—
高粱	最小	—	—	—	—	—	12.51	33.72	43.16	20	3.84	—	—
	满意	—	—	—	—	—	45.7	108.73	141.1	87.92	14.76	—	—
玉米	最小	—	—	0.88	20.16	27.6	29.18	27.77	4.93	—	—	—	—
	满意	—	—	2.55	76.74	105.09	111.12	80.12	10.81	—	—	—	—
油菜	最小	11.17	15.04	27.81	34.01	6.11	—	—	—	—	8.63	12.66	10.18
	满意	28.35	38.18	70.58	86.34	15.5	—	—	—	—	21.92	32.14	25.85
冬小麦	最小	9.31	12.14	20.3	26.45	12.49	—	—	—	—	—	9.85	8.73
	满意	35.8	46.69	78.09	101.75	48.02	—	—	—	—	—	28.4	25.18

水稻在 4,5 月份处于育苗期,集中育苗,面积相对较小,此段时间多是水面水分蒸发,不作农田作物需水量计算。由流域土地利用数据,流域农田系统最小生态需水量为 1.89×10^7 m^3,满意生态需水量为 5.95×10^7 m^3。由《贵州省行业用水定额 DB52 T 725-2011》,参照农、林、牧、渔业用水定额表,水稻、玉米、小麦、油菜常规灌溉分别为 5 700,900,825,825 m^3/hm^2,计算得到灌溉用水总计为 1.97×10^7 m^3,与作物最小生态需水量计算结果相差不大,验证了计算方法与因子选择的准确性。对于西南多雨地区,降雨的补给较多,灌溉定额更接近于最小生态需水量,其灌溉时间应依据降雨量、作物生长阶段做相应调节。

2.2　林草生态系统需水量

本文主要采用以遥感 LAI 为主要参数的 Kristensen-Jensen 模型,从植被截留蒸发、土壤蒸发和植被蒸腾 3 个方面计算[3-5],

植被截留量应取潜在蒸散发量、降雨量及植被截留量的较小值。林冠截留模型采用半经验半理论模型[6]:

$$S_v=c_v\cdot S_{\max}\cdot(1-e^{-\frac{P_{\text{cum}}}{\eta S_{\max}}}) \tag{5}$$

式中:S_v——累积截留量(mm);c_v——植被盖度(%);P_{cum}——累积降水量(mm);$S_{\max}$——树冠蓄水能力(mm);即林冠最大截留量;η——校正系数。下同。

$$S_{\max}=0.935+0.498\times\text{LAI}-0.00575\times\text{LAI}^2 \tag{6}$$

其中 LAI 的计算采用不同经验公式,其中针叶林采用席建超对马尾松的反演公式:LAI=$-0.270\,6\times\text{NDVI}^3+1.637\times\text{NDVI}^2-3.110\,1\times\text{NDVI}+2.415\,3$,其他植被类型采用杨胜天《生态水文模型与应用》中三次多项式模型建立的 LAI 与 NDVI 回归方程:$\text{LAI}=14.544\times\text{NDVI}^3+1.935\times\text{NDVI}^2-3.877\times\text{NDVI}+1.798$

植被蒸腾主要取决于土壤水分状况及植被覆盖度。当土壤水分充足达到田间持水量时,植被的蒸腾作用不受土壤水分含量限制,仅与植被类型相关。当植物含水量达到萎蔫含水量,即植物最大水分输出量小于可能蒸腾量时,气孔关闭,蒸腾作用停止。本文采用 Kristensen-Jensen 模型进行计算。

$$E_{at}=f_1(\text{LAI})\cdot f_2(\theta)\cdot\text{RDF}\cdot(\text{ET}_0-E_{\text{can}}) \tag{7}$$

$$f_1(\text{LAI})=\max\{0,\min[1,(C_2+C_1\cdot\text{LAI})]\} \tag{8}$$

$$f_2(\theta)=\begin{cases}0 & (\theta\leqslant\theta_w)\\ 1-\left(\dfrac{\theta_f-\theta}{\theta_f-\theta_w}\right)\theta^{\frac{C_3}{\text{ET}_0}} & (\theta_w\leqslant\theta\leqslant\theta_f)\\ 1 & (\theta\geqslant\theta_f)\end{cases} \tag{9}$$

$$\text{RDF}=\frac{\int_{Z_1}^{Z_2}R_{(z)}\,d_z}{\int_0^{L_R}R_{(z)}\,d_z}=\frac{e^{-\text{AROOT}\times Z_2}-e^{-\text{AROOT}\times Z_1}}{e^{-\text{AROOT}\times L_R}-1} \tag{10}$$

式中:E_{at}——实际植被蒸腾量(mm);RDF——根系分布函数;f_1——蒸腾对植被叶面积和根系密度的依赖性;f_2——根系层土壤水分函数,表示土壤水分状况对蒸腾的影响。截留/蒸发模块参数 C_1,C_2,C_3,Aroot 根据 MIKE SHE 分布式水文模型(DHI)及其相关研究分别设定为 0.3,0.20,20 及 0.25。z_1,z_2——所求土壤层垂直方向上的两端坐标(m);L_R——根深(m)。

土壤蒸发仅发生在表层土壤,由非饱和上层土壤基础蒸发量和土壤达到田间持水量时多余的水分蒸发组成,土壤蒸发量受表层土壤水分的限制,同时受潜在蒸散发影响。

$$E_s=\text{ET}_0\cdot f_3(\theta)+[\text{ET}_0-E_{at}-\text{ET}_P\cdot f_3(\theta))\cdot f_4(\theta)\cdot(1-f_1)\cdot\text{LAI}] \tag{11}$$

$$f_3(\theta)=\begin{cases}0 & (\theta\leqslant\theta_r)\\ C_2(\theta/\theta_w) & (\theta_r\leqslant\theta\leqslant\theta_w)\\ C_2 & (\theta\geqslant\theta_w)\end{cases} \tag{12}$$

$$f_4(\theta)=\begin{cases}1 & (\theta>\theta_f)\\ \dfrac{\theta-0.5(\theta_f+\theta_w)}{\theta_f-0.5(\theta_f+\theta_w)} & [\theta_f\geqslant\theta\geqslant0.5(\theta_w+\theta_f)]\\ 0 & [\theta<0.5(\theta_w+\theta_f)]\end{cases} \quad (13)$$

根据上述潜在蒸散发量及植被截留量、植被蒸腾量及植被根层土壤水含量数据，计算得到不同植被覆盖下土壤蒸发量数据。

流域内林草地生态系统需水量属于消耗型需水，采用3类用水的直接加和结果，其计算结果为1.06×10^8 m³。与当地气象数据进行对比发现该流域内月降雨量均大于同期林草需水量，说明流域林草系统无缺水现象(表2)。

表2 盐津河流域林草系统生态需水量

植被	测试项目	生态需水量/mm												
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总计
针叶林	植被截留量	8.20	8.24	10.32	12.60	12.98	13.00	12.99	12.95	12.83	12.73	11.05	8.45	136.36
	植被蒸腾量	2.64	3.68	7.16	14.11	14.76	15.72	23.38	24.30	16.25	10.23	5.89	3.58	141.7
	土壤蒸发量	9.41	12.70	24.32	34.57	36.11	38.36	56.15	58.30	39.57	25.55	18.49	11.68	365.21
	总需水量	20.25	24.62	41.80	61.28	63.85	67.08	92.52	95.55	68.65	48.51	35.43	23.71	643.27
阔叶林	植被截留量	8.73	8.77	10.94	13.26	13.62	13.64	13.63	13.6	13.48	13.39	11.69	8.99	143.75
	植被蒸腾量	3.36	5.43	10.83	15.91	16.64	17.74	26.43	27.48	18.34	11.49	8.07	3.90	165.62
	土壤蒸发量	9.92	13.10	22.68	32.90	34.37	36.52	53.45	55.50	37.67	24.31	17.66	11.06	349.13
	总需水量	22.01	27.30	44.45	62.07	64.63	67.90	93.51	96.58	69.49	49.19	37.42	23.95	658.50
灌草丛	植被截留量	8.48	8.52	10.62	12.85	13.20	13.22	13.21	13.18	13.07	12.98	11.34	8.73	139.4
	植被蒸腾量	1.71	2.30	3.77	7.26	19.39	20.67	30.75	31.97	8.20	5.12	3.54	2.94	137.63
	土壤蒸发量	4.97	6.74	15.96	31.57	33.82	35.58	52.00	53.98	37.09	21.05	12.78	8.21	313.76
	总需水量	15.16	17.56	30.35	51.68	66.41	69.47	95.96	99.13	58.36	39.15	27.66	19.88	590.79

2.3 水生态系统需水量

采用环境功能设定法计算河流生态需水，包括生态基流量、河道输沙量、蒸发需水量和渗漏需水量[7-8]。河流生态基流量采用月保证率法计算，将50%保证率的满意生态基流和90%保证率的最小生态基流作为生态基流的阈值上下限：

$$W_r=12\times\min(W_{ij})_{p=90\%} \quad (14)$$

盐津河输沙量采用最大月平均含沙量法，输沙率依据盐津河分月流量与含沙量的乘积推算[9-10]

$$W_i=S_i/C_{\max};C_{\max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\max(C_{ij}) \quad (15)$$

根据盐津河水质监测数据，盐津河下游DO，NH_3-N，BOD_5三项水质均为Ⅲ类，茅坝沟、盐津桥水库TN已达到Ⅴ类，现状水质污染非常严重。加之喀斯特地区渗透性强，受地下暗河及裂隙的影响较大，以及河道修建的载流性水库严重削减了下游河道的来水，降低了河流的稀释自净能力，本文计算盐津河河道内生态需水量时将不考虑河流的自净能力。

河流的水面蒸发是河道水量损失的重要方式，根据水面面积、水面蒸发量，求得相应各月的蒸发生态需水量($W_E=A\cdot E$)。W_E为计算时段内水面的净蒸发量(m³)；A为计算时段内平均水面面积(m²)；E为计算时段内水体蒸发量(m)。

河水流动中不可避免的会损失掉侵润需水量及渗漏需水量，在喀斯特地区地下水的补给主要是靠大气降水补给，而后以裂隙、溶隙泉及岩溶大泉、暗河出口等形式流出地表补给地表水。由于裂隙及地下河渗漏不属于消耗性用水，侵润需水消耗为定值且年内变化不大，在河道渗流量计算时不考虑渗漏漏水。喀斯特地区水库，大多两岸地下水高于河水位，属地下水补给河水的水动力类型。所以在流域湖库渗漏量在计算时忽略不考虑。河道基流量与输沙需水量属于非消耗性需水，取两者中的最大值，并与河道、湖库水面蒸发需水量进行相加即为水生态系统需水总量[9-10](表3)。

表3 盐津河流域水生态系统需水量 10^4 m³

项目		各月份生态需水量											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平水年	最小	107.16	107.53	109.64	111.88	134.66	190.97	194.08	153.53	114.12	110.09	108.57	107.27
	满意	315.94	296.89	318.42	320.66	320.98	321.43	324.96	325.39	321.66	318.87	317.35	316.05
枯水年	最小	77.94	78.31	80.42	82.66	134.66	190.97	194.08	153.53	114.12	96.43	79.35	78.05
	满意	228.28	214.67	230.76	233	233.32	233.77	237.3	237.73	234	231.21	229.69	228.39

2.4　流域生态需水量

平水年盐津河流域年生态需水量范围是 $1.41\times10^8\sim2.04\times10^8$ m³,枯水年年生态需水量范围是 $1.39\times10^8\sim1.94\times10^8$ m³。平水年与枯水年生态需水差异不明显,这是因为水生态需水量的计算考虑到输沙需水,并在基流量与输沙量需水时选取最大值,同时林草系统生态需水量没有考虑平水年与枯水年的差异,农田系统生态需水量受人为控制因素影响较大,不考虑平枯水年干旱对它的影响。本文认为,盐津河流域总生态需水量取平水年满意值与枯水年的最小值,流域年际总生态需水范围是 $1.39\times10^8\sim2.04\times10^8$ m³。

3　盐津河流域生态需水分析及水资源配置

3.1　流域水资源量

依据仁怀市境内气象站 60 年实测资料,盐津河流域 1951—2010 年的年平均降雨量为 1 027.2 mm。5—8 月占全年降雨量的 59%,汛期与非汛期降雨量比为 3.57。盐津河流域地表水资源量为 1.29×10^8 m³。地下水资源量采用降水入渗系数法 $Q_{总}=0.1\times P\times F\times\alpha$ 计算,α 为平均降水入渗系数,取值为 0.12,地下水资源量为 3.30×10^7 m³,占该区境内水资源量的 25.5%。

根据水利工程普查资料,流域范围内中型水库 1 座,小(Ⅰ)型水库 4 座,小(Ⅱ)型水库 1 座,大小山塘、引水工程、提水工程等若干,总供水能力 5.25×10^7 m³。多年平均水资源量 1.29×10^7 m³,水资源开发利用率为 40.55%。水资源量较大但开发利用程度较低。

3.2　流域水资源配置

盐津河流域属于封闭性河流,水资源主要来源于大气降水,除去蒸发消耗外,一部分被河道外生态系统直接利用,一部分随着地表径流流入河道或被河道外集雨工程截取,而落入地面或河道内的降水部分下渗变为地下水。在河道或湖库内的水被用于农田灌溉及工业生活。

根据流域降水和河道水文数据,来水量(降雨量)减去河道外生态用水量(林草系统用水、农田系统用水)剩余的水量为 $1.10\times10^7\sim1.50\times10^7$ m³,年剩余总水量可满足河道内生态环境需水量。在农田系统为最小生态需水量时,水生态系统可以满足最小生态需水量,但在 12 月份及来年 1—3 月剩余水量较少,不能满足河道水生态满意生态需水量,差值为 1.22×10^5,4.00×10^5,1.90×10^6,2.16×10^6 m³。在满足农田系统需水量时,2—3 月份为负值,与河道最小生态需水量分别差 1.56×10^6,3.04×10^6 m³,需要在其他月份进行调水,12 月及 1 月份也仅仅达到最小生态需水量,没有满足水生态满意需水量,差值为 1.17×10^6,1.80×10^6 m³。

在进行水资源配置时,本文配置原则是:在流域水资源满足河道外植被正常生长,农田作物健康生长,河道内可以维持河道基本形态、不产生河道断流、河流水生生物群落满足生存发展的状态下,可满足工业及生活的最大用水。在用水时需考虑枯丰年际变化及年内枯、丰、平水期用水。

(1) 配置一。满足盐津河流域基本生态需水,即保证林草系统健康生长,满足农田系统及水生态系统最小需水量,充分保证水资源不外流的情况下对水资源的配置(表 4)。5—10 月剩余水量较多,而 2—3 月处于缺水状态,为更好的在生态环境和经济角度(存水时间短),以及用水时间尽量均衡上,在 5—6 月雨量增多且生态用水较少,进行实时蓄水,7—10 月,农田及工业用水较多,建议适时放水取用,在枯水期(11 月至来年 4 月)降雨较少,尽量不取水或少取水,其中可保证丰水期(5—10 月)每月平均可取水量为 1.53×10^7 m³。

表 4　盐津河流域水资源配置(基本生态需水量)　　10^4 m³

水资源类型	各月份生态需水量											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
地表水资源量	592.65	528.90	821.69	1900.75	3487.45	3990.39	3610.24	3225.36	2 432.01	1964.50	1046.00	654.05
林草需水量	330.02	404.16	670.65	985.44	1086.25	1140.01	1574.08	1625.99	1106.42	770.93	573.51	377.11
农田需水量	67.49	89.73	160.94	231.29	101.58	177.71	344.89	362.28	160.45	55.71	74.42	62.24
水生态需水量	77.94	78.31	80.42	82.66	134.66	190.97	194.08	153.53	114.12	96.43	79.35	78.05
剩余水资源量	117.2	−43.3	−90.32	601.36	2164.96	2481.7	1497.19	1083.56	1051.02	1041.43	318.72	136.65
水库调节	0	+43.3	+90.32	0	−633.92	−950.66	+33.85	+447.48	+480.02	+489.61	0	0
可用水量	0	0	0	0	1531.04	1531.04	1531.04	1531.04	1531.04	1531.04	0	0

注:“+”表示水库往外放水;“−”表示水库蓄水。下同。

(2) 配置二。满足盐津河流域满意生态需水,即保证林草系统健康生长,满足农田系统及水生态系统为达到满意需水量,充分保证水资源不外流的情况下对水资源的配置(表 5)。

11 月至来年 4 月均为负值,缺水量分别为 4.38×10^5,2.06×10^6,2.61×10^6,4.47×10^6,6.55×10^6,1.34×10^6 m^3,缺水量较大且持续时间长,建议在 5—7 月份及 10 月份蓄水,其他月份放水,保证枯水期(11—4 月)达到满意生态需水,丰水期(5—10 月)每月可供水量 6.40×10^6 m^3。

目前盐津河流域中,盐津桥水库总库容为 3.35×10^6 m^3,兴利库容为 2.04×10^6 m^3,其他水库总库容量为 1.26×10^7 m^3,兴利库容为 9.20×10^6 m^3,由于盐津桥水库污染较为严重,库水不能进行灌溉供水,就不考虑盐津桥水库对水资源的调蓄作用。需要修整或新建至少 2.43×10^7 m^3 库容量水库。

表 5 盐津河流域水资源配置(满意生态需水量) 10^4 m^3

水资源类型	各月份生态需水量											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
地表水资源量	592.65	528.9	821.69	1 900.75	3 487.45	3 990.39	3 610.24	3 225.36	2 432.01	1 964.5	1046	654.05
林草需水量	330.02	404.16	670.65	985.44	1 086.25	1 140.01	1 574.08	1 625.99	1 106.42	770.93	573.51	377.11
农田需水量	207.17	274.52	487.19	728.74	360.39	587.53	1 021.37	1 103.85	639.85	173.74	198.96	166.9
水生态需水量	315.94	296.89	318.42	320.66	320.98	321.43	324.96	325.39	321.66	318.87	317.35	316.05
剩余水资源量	−260.48	−446.67	−654.57	−134.09	1719.83	1941.42	689.83	170.13	364.08	700.96	−43.82	−206.01
水库调节	+260.48	+446.67	+654.57	+134.09	−1 079.73	−1 301.32	−49.73	+469.97	+276.02	−60.86	+43.82	+206.01
可用水量	0	0	0	0	640.10	640.10	640.10	640.10	640.10	640.10	0	0

4 结论与讨论

4.1 结 论

(1) 在计算方法上,本文严格考虑到湿润地区水资源特点,参数的选取较为准确,农作物最小需水量与灌溉定额相差不大,河道生态需水量占径流量的比例与经验值相差较小,可以验证计算方法比较准确。

(2) 计算结果中农田 4 月及 7—8 月用水量较多,主要是小麦及油菜用水主要在 4 月,水稻及高粱集中在 7—8 月,所以在河道取水时注意考虑农田作物用水规律,在预留农业用水时需要考虑作物类型及种植面积。

(3) 林草地生态需水量的计算,LAI 采用不同公式,较为合理。由于 NDVI 仅采用一张影像数据进行计算,对数据的精度存在一定影响。由于南方地区常绿林较多,叶面积指数的变换较小,计算结果相对较为准确,其降雨量均大于林草系统需水量,林草系统生长较好,不存在缺水现象。

(4) 河道内仅在 5—10 月有剩余水量,且此段时间内工农业用水较多,特别是 4 月农业用水相对较多,因此在河道内取用水时,应严格遵循降雨及生态用水规律,建立蓄水设施,保证全年的生产生态用水。

(5) 除去流域消耗性生态用水,降雨量中理论剩余水量有 $1.10\times10^8\sim1.50\times10^8$ m^3,在满足河道满意需水量的情况下剩余水量仅为 $7.15\times10^7\sim1.12\times10^8$ m^3,且汛期(4—9 月)需水量是非汛期(10—3 月)需水量的 2 倍还多,流域缺水较为严重并且年内生态需水不均,再加上仁怀市生产生活用水较大,合理的对水资源调配亟需得到解决。

4.2 讨 论

文本仅对水量研究而对水质方面涉及较少,需在以后多做研究,在需水预测方面也要加强,使研究更有前瞻性。

文中灌溉定额与农田最小生态需水量相近,与满意生态需水量存在一定差值,这部分差值主要由大气降水与农业灌溉补充,所以在农田灌溉时需要考虑作物需水时间以及季节降雨情况,这为降雨量与农田灌溉关系研究提供了借鉴。林草系统生态需水量占总需水量的 50%以上,作为天然水库,有利于流域水资源的涵养,减缓地表径流,对水资源调配发挥重要作用,此方面缺乏数据验证,需在以后的研究学习中对林草系统与径流量的关系做研究。

本文计算出流域在年内生态需水量,并给出浅显取水建议,没有对水资源进行具体规划,如取水口数量及位置、蓄水设备建设位置及具体标准和水质与取水量关系等,需要在以后工作学习中做进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] 贺中华,杨胜天,梁虹,等. 基于 GIS 和 RS 的喀斯特流域枯水资源影响因素识别:以贵州省为例[J]. 中国岩溶,2004,23(1):48-55.

[2] 胡广录,赵文智. 干旱半干旱区植被生态需水量计算方法评述[J]. 生态学报,2008,28(12):6282-6291.

(下转第 271 页)

[2] 谢花林.典型农牧交错区土地利用变化驱动力分析[J].农业工程学报,2008,24(10):56-62.
[3] Geist H J, Lambin E F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation[J]. Biological Science, 2002,52(2):143-150.
[4] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2006:103-104.
[5] 裴欢,魏勇,王晓妍,等.耕地景观生态安全评价方法及其应用[J].农业工程学报,2014,30(9):212-220.
[6] 陈利顶,孙然好,刘海莲.城市景观格局演变的生态环境效应研究进展[J].生态学报,2013,33(4):1042-1050.
[7] 张华,丁亮,苗苗.科尔沁沙地景观空间格局及其生态环境效应分析[J].水土保持学报.2007,21(2):193-196.
[8] 赵阳,余新晓,贾剑波,等.红门川流域土地利用景观动态演变及驱动力分析[J].农业工程学报,2013,29(9):239-247.
[9] 刘德林,李壁成.黄土高原上黄小流域土地利用景观格局分析[J].测绘科学,2014,39(1):78-82.
[10] 刘纪远,刘明亮,庄大方,等.中国近期土地利用变化的空间格局分析[J].中国科学:D 辑,2002,32(12):65-74.
[11] 高凤杰,张柏,王宗明,等.牡丹江市退耕还林前后自然状态下土壤侵蚀敏感性变化研究[J].水土保持通报,2010,30(5):1-6.
[12] 谢花林,李秀彬,陈瑜琦,等.土地利用规划环境影响的生态安全评价方法初探:以内蒙古翁牛特旗为例[J],资源科学,2010,32(1):57-63.
[13] Chen Xi. Land Use/Cover Change in Arid areas of China[M]. Beijing: Science Press, 2008:16-23.
[14] Luo Geping, Feng Yixing, Zhang Baiping, et al. Sustainable land-use patterns for arid lands: A case study in the northern slope areas of the Tianshan Mountains. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(4): 510-524.
[15] 邬建国.景观生态学中的十大研究论题[J].生态学报,2004.24(9):2075-2076.
[16] 杨俊,单灵芝,席建超,等.南四湖湿地土地利用格局演变与生态效应[J].资源科学,2014,36(4):0856-0864.
[17] 吴莉,侯西勇,邸向红.山东省沿海区域景观生态风险评价[J].生态学杂志,2014,33(1):214-220.
[18] 谢高地,肖玉,甄霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究[J].中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.
[19] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-9101.
[20] 王友生,余新晓,贺康宁,等.基于土地利用变化的怀柔水库流域生态服务价值研究[J].农业工程学报,2012,28(5):246-251.
[21] 封建民,郭玲霞.陕西省神木县土地利用格局和生态服务价值变化[J].水土保持通报,2014,34(6):293-298.
[22] 马晴,李丁,廖杰,等.疏勒河中下游绿洲土地利用变化及其驱动力分析[J].经济地理,2014,34(1):148-155.

(上接第 264 页)

[3] 刘昌明,孙睿.水循环的生态学方面:土壤—植被—大气系统水分能量平衡研究进展[J].水科学进展,1999,10(3):251-259.
[4] 王芳,王浩,陈敏建,等.中国西北地区生态需水研究:基于遥感和地理信息系统技术的区域生态需水计算及分析[J].自然资源学报,2002,17(2):129-137.
[5] 彭世彰,徐俊增.参考作物蒸发蒸腾量计算方法的应用比较[J].灌溉排水学报,2004,23(6):5-9.
[6] 张红旗,张志强.应用遥感数据反演针叶林有效叶面积指数[J].北京林业大学学报,2004,26(6):36-39.
[7] 方子云.试论正确处理水利发展与环境的关系[J].人民长江,1991,22(5):1-4.
[8] 李静,焦树林,梁虹,等.基于 MIKESHE 分布式水文模型的降水时间尺度对喀斯特流域径流模拟的影响研究:以红水河系六硐河流域为例[J].中国岩溶,2012,31(4):388-394.
[9] 武金慧,李占斌.水面蒸发研究进展与展望[J].水利与建筑工程学报,2007,5(3):46-50.
[10] 郑建平,陈敏建,徐志侠,等.海河流域河道最小生态流量研究[J].水利水电科技进展,2005,25(5):12-15.