

DOI: 10.5846/stxb201508121696

孙栋元, 杨俊, 胡想全, 金彦兆, 张云亮. 基于生态保护目标的疏勒河中游绿洲生态环境需水研究. 生态学报, 2017, 37(3): - .
Sun D Y, Yang J, Hu X Q, Jin Y Z, Zhang Y L. Study on eco-environmental water requirement in the middle-reach oasis of Shulehe River Basin based on ecological protection target. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3): - .

基于生态保护目标的疏勒河中游绿洲生态环境需水研究

孙栋元^{1,*}, 杨俊², 胡想全¹, 金彦兆¹, 张云亮¹

1 甘肃省水利科学研究院, 兰州 730000

2 甘肃省水利厅水土保持局, 兰州 730000

摘要:以疏勒河中游绿洲为研究对象, 基于 RS 和 GIS 技术, 选择 1990 年、2000 年和 2013 年 Landsat TM/ETM 影像解译成果作为中游绿洲生态演变研究的基础资料, 并确定了中游绿洲 2020 年和 2030 年生态保护目标。根据疏勒河中游绿洲生态环境需水特征, 建立了基于天然植被、河流、湿地和防治耕地盐碱化的疏勒河中游绿洲生态环境需水量化模型, 并估算了现状和保护目标下流域中游绿洲生态需水量, 从而为区域水资源合理配置和生态系统的协调发展提供参考依据。通过计算得出了疏勒河中游绿洲 2013、2020 和 2030 年天然植被、河流基本生态、河流输沙、河流渗漏补给、水面蒸发、湿地生态和防治耕地盐碱化生态环境需水量。同时得出疏勒河中游绿洲 2013、2020 和 2030 年疏勒河中游绿洲最大、最小和最适生态环境需水量分别为 7.42×10^8 、 7.09×10^8 、 7.29×10^8 、 8.24×10^8 、 7.91×10^8 、 8.11×10^8 m^3 和 9.12×10^8 、 8.79×10^8 、 8.99×10^8 m^3 。2013、2020 和 2030 年疏勒河中游绿洲生态环境需水量年内变化主要集中于 5—8 月, 累积生态环境需水量占全年的比例分别为 58.01%、58.08% 和 58.13%; 疏勒河中游绿洲生态环境需水量瓜州所占比例相对较大, 玉门相对最小, 敦煌介于二者之间。

关键词:疏勒河中游; 绿洲; 生态环境需水; 生态保护目标

Study on eco-environmental water requirement in the middle-reach oasis of Shulehe River Basin based on ecological protection target

SUN Dongyuan^{1,*}, YANG Jun², HU Xiangquan¹, JIN Yanzhao¹, ZHANG Yunliang¹

1 Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China

2 The Soil and Water Conservation Bureau of Water Resources Department of Gansu Province, Lanzhou 730000, China

Abstract: The study of eco-environmental water requirements is the hotspot of ecology and water science. It is also the basis of the rational allocation and sustainable utilization of water resources. The results of such a study could provide guidance as to the optimal allocation of regional water resources and utilization, and ultimately provide a regional, economical, ecological, and environmental water system of balanced and sustainable development. The eco-environmental water requirements of an arid inland river basin are a key scientific problem facing the reasonable allocation and management of water resources as well as the eco-environmental protection and construction of arid regions. The Shulehe River Basin, as the third largest inland river basin in Hexi Corridor, Gansu province, is an important ecological security barrier for northwestern China. Recently however, increasing human activity and global climate change has led to a series of ecological and environmental issues and water crises in Shulehe River Basin. Specifically, the degenerated vegetation caused a rapid decline of the groundwater water table. In recent years, ecological water requirements have often been overshadowed by the

基金项目: 国家自然科学基金项目(51369004, 51369003); 水利部公益性行业科研专项(201301081)

收稿日期: 2015-08-12; 网络出版日期: 2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gsausundy@126.com

socioeconomic use of water. This led to great changes in the oasis of the middle reaches. The oasis of the middle reaches, as a societal, economical, and human activity main zone, is a vital ecological subject for protection in the Shulehe River Basin. Considering these issues, this study utilized the oasis of the middle reaches of Shulehe River Basin as its study area. Using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) technology, the results of Thematic mapper / Enhanced Thematic Mapper (TM/ETM) images of the oasis of the middle reaches of the Shulehe River Basin in 1990, 2000, and 2013 were selected to be used as basic data in order to study ecological evolution, and determine the ecological protection target of the oasis of the middle reaches of the Shulehe River Basin in 2020 and 2030. According to different types of eco-environmental water requirements in the oasis of the middle reaches of the Shulehe river basin, a quantification model for such water requirements was established and the current status and protection targets of eco-environmental water requirements were estimated. This would provide reference for the rational allocation of regional water resources and the coordinated development of an ecological system. These results indicate that the eco-environmental water requirements of natural vegetation, basic eco-environmental water requirements, transportation sand eco-environmental water requirements, recharge of watercourse seepage water requirements, water surface evaporation eco-environmental water requirements, marsh eco-environmental water requirements and combating salinization of farmlands eco-environmental water requirements of the oasis of the middle reaches of the Shulehe river basin were 1.90×10^8 , 0.98×10^8 , 1.11×10^8 , 0.83×10^8 , 0.68×10^8 , 2.70×10^8 , 0.20×10^8 , 2.24×10^8 , 0.98×10^8 , 1.11×10^8 , 0.83×10^8 , 0.73×10^8 , 3.13×10^8 , $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ and 2.47×10^8 , 0.98×10^8 , 1.11×10^8 , 0.83×10^8 , 0.80×10^8 , 3.71×10^8 , $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ in 2013, 2020 and 2030, respectively. At the same time, the maximum of eco-environmental water requirements, minimum of eco-environmental water requirements, and optimum eco-environmental water requirements of the oasis of the middle reaches of the Shulehe river basin were 7.42×10^8 , 7.09×10^8 , 7.29×10^8 , 8.24×10^8 , 7.91×10^8 , $8.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ and 9.12×10^8 , 8.79×10^8 , $8.99 \times 10^8 \text{ m}^3$ in 2013, 2020 and 2030, respectively. The annual variation of eco-environmental water requirement was concentrated mainly from May to August and proportion of cumulative eco-environmental water requirements of the total ecological environment water demand were 58.01%, 58.08% and 58.13% in 2013, 2020 and 2030, respectively. The water requirements of Guazhou County eco-environmental water requirements were relatively greater than those of Yumen City and Dunhuang City. The study results will provide a basis for the management program of Dunhuang water resources reasonable utilization and ecological protection. Additionally, it will be an important source for promoting the research of ecological water rights, allocation of water quantity, and coordinated and sustainable development among ecological protection, reasonable configuration of water resources and economic society in Shulehe river basin.

Key Words: The middle reaches of Shulehe river basin; oasis; eco-environmental water requirement; ecological protection target

干旱区绿洲是干旱区独有的自然人文景观,其面积仅占干旱区面积的4%—5%,却集中了该区域90%以上的人口与95%以上的社会财富,是干旱地区人类赖以生存的基础和精华所在,同时也是干旱区最敏感的部分和经济发展的载体^[1-4]。而水资源作为绿洲存在的基本条件,是维系绿洲生态系统和流域生态安全与经济社会和谐发展的决定性因素,同时也是保护生态环境和决定绿洲规模的最关键因素^[5-8]。生态环境需水研究是目前生态学和水科学研究的热点领域,研究生态环境需水的目的是实现区域水资源的优化配置和高效利用,最终实现区域水—经济—生态与环境系统的协调可持续发展^[9-13]。近些年,尽管国内外大量学者针对河流、湖泊、湿地、植被和城市等各种生态系统开展了生态需水方面的研究^[14-23],同时开展了基于水土保持、生态安全、生态保护、生态功能等方面的生态需水研究^[1,24-29],取得了一些可喜的成果。然而针对干旱内陆河流域绿洲生态需水方面的研究相对欠缺,尤其在流域绿洲尺度基于生态保护目标对生态环境需水进行综合研究与估算还相对薄弱。因此,针对干旱内陆河流域绿洲特殊地理生态环境状况,开展基于生态保护目标的流域

绿洲生态需水研究,估算流域绿洲生态需水量,从而为流域绿洲生态环境的健康发展提供科学依据。本文根据疏勒河中游绿洲生态环境现状,确定了未来生态环境保护目标,基于保护目标估算了流域中游绿洲生态需水量,从而为区域生态需水的合理配置提供参考。

1 研究区概况

疏勒河流域位于河西走廊西端,是河西地区三大内陆河水系之一,流域全长 550 km,面积 39497 km²。中游绿洲位于疏勒河中游的走廊平原地带,海拔 1050—1300 m,地势平坦开阔,分布有大片绿洲。由于独特地理位置和气候条件,导致区域形成昼夜温差大,蒸发强烈的气候环境,属典型温带大陆性干旱气候,多年平均降水量 39.2—63.1 mm,蒸发量 2469—2869.4 mm,多年平均气温 6.95—9.42 ℃,行政区划包括敦煌、瓜州和玉门的绝大部分地方。同时由于人类强烈的社会活动,导致区域脆弱生态系统环境日趋恶化,主要表现为绿色生态严重退化,湿地面积缩小,盐碱地、沙地迅速增加,对当地的社会经济发展产生了一定的影响。再加之人类活动对水资源利用量的不断增加,使得区域生态环境需水严重不足,致使流域中游绿洲天然植被萎缩严重,从而影响当地生态环境的良性循环和阻碍社会经济的可持续发展。中游绿洲植被呈水平带状分布,其分布模式和主要植物组成,是随地形地貌、土壤质地、含盐量及地下水位诸生态因素而改变的,不同的植被群落反映了植被类型的差异,也反映了区域自然条件的特点,其主要植被类型有森林植被、农业绿洲植被、沼泽植被、草甸植被和荒漠植被等类型。

2 疏勒河中游绿洲生态环境需水理论框架

目前,疏勒河中游绿洲区已出现了类似石羊河、黑河流域水土资源开发利用过程中出现的植被衰亡、草场退化、湿地衰减、生物多样性受损、土地盐渍化、沙漠化等一系列生态环境问题。为了进一步保护疏勒河中游绿洲生态环境,恢复中游绿洲生态系统功能,生态环境需水指维持中游绿洲的稳定性和绿洲植被面积,保护绿洲河流湖泊以及湿地生态系统的稳定与平衡所需水量。因此,生态环境需水内涵包括两个方面,一是研究现状生态环境背景下,保护和维持其天然及人工生态系统不再退化需要多少水量;二是针对生态环境已经恶化的地区,为改善区域生态环境状况,维持区域社会经济、生态环境的可持续发展,采取水资源调控配置措施恢复中游绿洲生态系统功能,在这种情况下,要根据中游绿洲生态环境恢复目标,确定所需要的生态环境恢复水量^[9,30]。因此,确定疏勒河流域中游绿洲生态环境需水量主要包括:天然植被需水量,湿地生态环境需水量,河流生态环境需水量和防治耕地盐碱化环境需水量。

3 疏勒河中游绿洲生态保护与恢复目标确定

根据疏勒河中游绿洲的实际情况,选择 1990 年、2000 年和 2013 年 Landsat TM/ETM 影像解译成果作为生态演变研究的基础资料(图 1),依据 1990 年遥感影像解译成果和不同生态需水类型面积确定疏勒河流域 2020 年和 2030 年生态保护目标。疏勒河中游绿洲区演化一方面受制于上游来水量的多寡,另一方面受人类活动的干扰和调节。在区域有限的水资源条件下,要使得疏勒河中游绿洲的植被得到恢复,需采用相应的辅助工程以及保障措施。通过有计划有步骤地实施轮牧、限牧和退牧,大力推行围栏封育,减轻绿洲区的牲畜压力及其对绿洲的直接破坏;保护和恢复天然胡杨林、红柳等植被,加大人工种植怪柳、梭梭等植被建设;选育耐旱耐盐物种,有计划地对疏勒河中游绿洲地区林草植被实行人工调控,以发挥水资源的最大生态效益;增强疏勒河中游绿洲地区天然林草植被、人工种植林草植被的恢复和生长能力,以提高中下游绿洲系统的生命支持能力。同时通过人工措施,保护水域生态系统,恢复湿地功能,促进区域水域生态系统健康发展。因此,疏勒河中游绿洲生态恢复的主要目标为植被生态系统和水域生态系统,其具体包括有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、河渠、湖泊、水库和沼泽地。结合疏勒河中游绿洲区 1990 年、2000 年和 2013 年不同类型土地利用面积,确定 2020 年和 2030 年疏勒河中游绿洲区植被生态系统

和水域生态系统生态恢复目标,见表1。

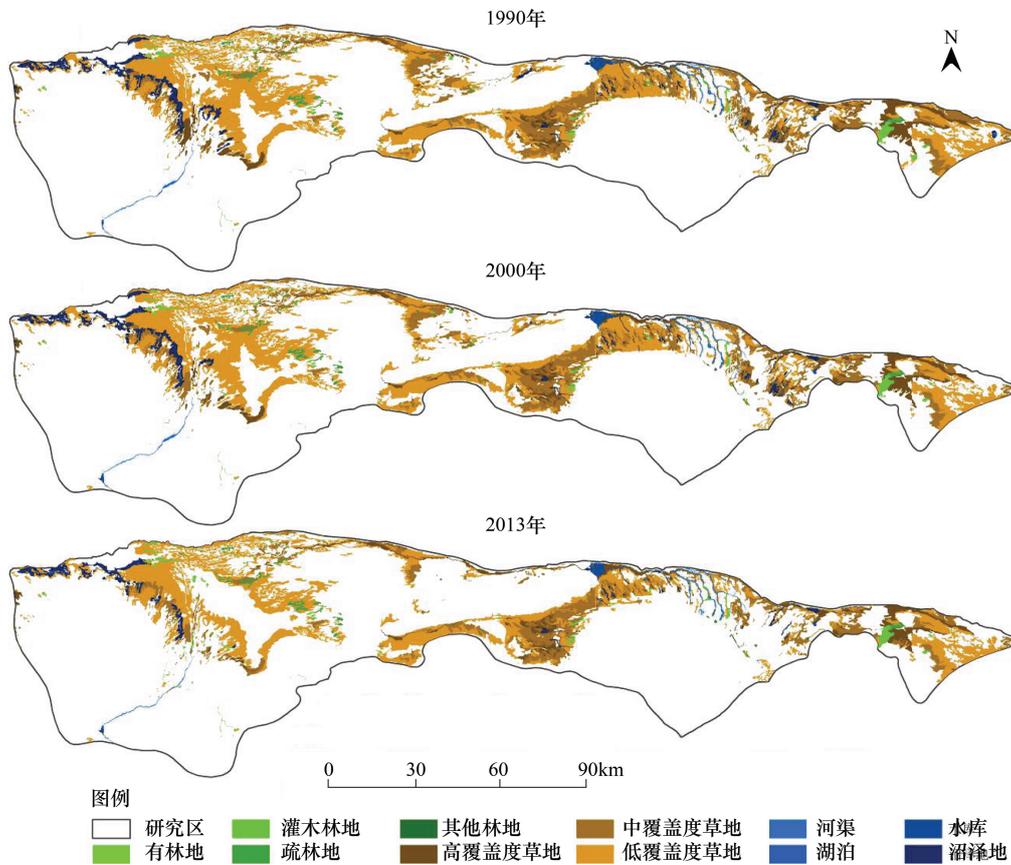


图1 1990年,2000年和2013年疏勒河中游绿洲不同生态系统类型

Fig.1 The different ecological system types in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin in 1990, 2000 and 2013

表1 疏勒河中游绿洲生态保护目标

Table 1 Ecological protection targets in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

需水类型 Water requirement type	1990年		2000年		2013年		2020年	2030年
	面积/hm ² Area	比例/% Proportion	面积/hm ² Area	比例/% Proportion	面积/hm ² Area	比例/% Proportion	面积/hm ² Area	面积/hm ² Area
有林地 Forest land	382.72	0.03	396.83	0.03	560.97	0.04	589.02	618.47
灌木林地 Shrub forest land	7402.31	0.50	7095.64	0.48	7570.44	0.51	7948.96	8346.41
疏林地 Open forest land	6559.26	0.44	6424.50	0.43	6000.58	0.40	6300.61	6615.64
其他林地 Others forest land	857.28	0.06	858.22	0.06	712.97	0.05	748.62	786.05
合计 Total	15201.57		14775.19		14844.96		15587.21	16366.57
高盖度草地 High degree of coverage grassland	37665.66	2.53	33757.77	2.27	31079.89	2.09	37295.87	41025.46
中盖度草地 Middle degree of coverage grassland	97318.23	6.54	93094.87	6.25	76668.27	5.15	92001.92	101202.11
低盖度草地 Low degree of coverage grassland	225273.34	15.13	223379.23	15.00	194675.62	13.08	233610.75	256971.82
合计 Total	360257.23		350231.87		302423.78		362908.54	399199.39
河渠 Rivers and canals	4660.59	0.31	4161.41	0.28	4414.94	0.30	4856.44	5342.08
湖泊 Lakes	706.94	0.05	398.91	0.03	425.76	0.03	468.33	515.17
水库 Reservoir	2820.94	0.19	3848.22	0.26	2522.33	0.17	2774.57	3052.02
沼泽 Marsh land	23710.93	1.59	21343.65	1.43	14629.13	0.98	17554.95	21065.95
合计 Total	31899.4		29752.19		21992.16		25654.29	29975.22

4 基于生态保护目标的疏勒河中游绿洲生态环境需水计算方法

根据疏勒河中游生态保护与恢复目标主要为天然植被、湿地和河流生态系统的良性循环和健康可持续发展。本文根据疏勒河中游绿洲生态环境状况以及生态环境需水理论框架,确定区域生态需水模型结构,并建立计算式为:

$$W = W_v + W_r + W_w + W_s \quad (1)$$

式中, W 为区域生态环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_v 为天然植被生态环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_r 为河流生态环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_w 为湿地生态环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); W_s 为防治耕地盐碱化环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)。

4.1 天然植被生态环境需水量 W_v 计算方法

由于干旱区植被生长的特殊性,地下水状况的好坏决定植物生长的好坏。因此,植被生长需水在综合考虑时空尺度基础上,时间按月计算,空间上按植被优势物种划分^[6,31]。其计算 W_v 模型为:

$$W_v = \sum_{j=1}^{12} \sum_{i=1}^n K \cdot ET_{ij} \cdot A_i \quad (2)$$

其中 ET_{ij} 可根据阿里维扬诺夫公式计算^[6],即:

$$ET_{ij} = a (1 - H/H_{\max})^b \cdot (E_{\varphi 20})_{ij} \quad (3)$$

式中, W_v 为植被生态环境需水量(m^3/a); K 为植被系数; A_i 为*i*种生态区的面积(m^2); ET_{ij} 为潜水蒸发量(mm); $(E_{\varphi 20})_{ij}$ 为常规气象蒸发皿蒸发值(mm), H 为地下水埋深(m); H_{\max} 为极限地下水深度(m); a, b 为经验系数; $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, 12$ 。

阿维里扬诺夫公式是典型的潜水蒸发模型,计算方法中待定参数包括极限地下水埋深 H_{\max} 、经验系数 a, b ,在不同地区参数取值不同,其中参数标定是根据甘肃水文二队和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所在玉门、张掖等地的试验数据所得^[9]。极限地下水埋深 H_{\max} 是停止蒸发时的地下水埋深,在干旱区,有植被盖度的区域以 5 m 为限,荒漠区以 4.5 m 为限,如果极限地下水埋深大于这些深度,其潜水蒸发量可近似认为等于零,这也是目前水文地质计算中普遍采用的值。参数 a, b 是与植被覆盖度、土质有关的待定系数,不同植被覆盖度和不同的土质其系数不同,本文根据荒漠区特点确定 a 为 0.62, b 为 2.80。

4.2 河流生态环境需水量 W_r 的计算方法

河流生态环境需水量计算相对复杂,涉及相关原则相对较多,本文基于功能性需求原则、分时段考虑原则建立河流生态环境需水量的计算模型,结合干旱区河流特点,主要涉及河流基本生态、水质净化、输沙、河道渗漏补给和水面蒸发需水量^[6,12,32]。因此,方法的选择适合于干旱区河流生态环境需水量的计算。

$$W_r = \max(W_b, W_c, W_s) + W_l + W_e \quad (4)$$

式中, W_b, W_c, W_s, W_l, W_e 分别为河流基本生态、水质净化、输沙、河道渗漏补给和水面蒸发需水量。由于疏勒河属于典型内陆河流域,其水质可满足饮用与灌溉需要,因此本文暂不考虑计算河流水质污染稀释自净需水量 W_c 。

4.2.1 河流基本生态环境需水量 W_b 的计算方法

河流基本生态环境需水量以河流最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水量^[33]。其计算公式为:

$$W_b = \frac{T}{n} \sum \min(Q_{ij}) \times 10^{-8} \quad (5)$$

式中, W_b 为河流基本生态环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); Q_{ij} 为第*i*年第*j*月的河流月均流量(m^3/s); T 为常数,其值为 $31.536 \times 10^6 \text{ s}$; n 为统计年数。

4.2.2 河流输沙需水量 W_s 的计算方法

由于河流输沙需水量与河流输沙量、流量、水沙动力条件等因素有关,而汛期水量相对较大,能完成河流

输沙功能,因此,将汛期用于输沙的水量和非汛期调水调沙(冲沙)的水量作为河流输沙需水量^[34-35],其计算公式如下:

$$W_s = \frac{S_n}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \max(C_{ij})} \quad (6)$$

式中, W_s 为河流输沙需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); S_n 为多年平均输沙量(kg); C_{ij} 为第*i*年第*j*月的河流月均含沙量(kg/m^3); n 为统计年数。

4.2.3 河道渗漏补给需水量 W_l 的计算方法

由于受河床岩性、河道输水流量、地下水埋深等因素的影响^[6],因此,河道渗漏补给量可按达西定律计算:

$$W_l = 2K \cdot I \cdot L \cdot H \cdot t \quad (7)$$

式中, W_l 为河道渗漏补给量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); K 为含水层渗透系数(m/d); I 为水力坡度(‰); L 为含水层厚度(m); H 为过水断面宽度,m; t 为时间(d)。

4.2.4 河流水面蒸发生态需水量 W_e 的计算方法

河流水面蒸发生态需水量与降水量、水域面积、水面蒸发量息息相关^[36],因此水面蒸发需水量计算公式为:

$$W_e = \begin{cases} A(E - P) & (E > P) \\ 0 & (E < P) \end{cases} \quad (8)$$

式中: W_e 为河流水面蒸发生态需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); A 为水面面积(km^2); E 为水面蒸发强度(mm); P 为平均降水量(mm)。

水面蒸发强度 E 用下式表示,其水面折算系数为:

$$E = K \cdot E_{20} \quad (9)$$

$$J = E_{20}/E_{20} \quad (10)$$

式中, K 为水面蒸发折算系数; E_{20} 为20cm常规蒸发皿观测的水面蒸发量(mm); E_{20} 为20 m²水面蒸发池观测的水面蒸发量(mm)。

4.3 湿地生态环境需水量 W_w 的计算方法

由于湿地类型不同,生态环境需水量的计算方法也存在差异,其生态环境需水量的确定相对比较复杂^[6,37],因此,本文按如下公式计算:

$$W_w = \sum_{i=1}^n A_i(E_i - P) \quad (11)$$

式中, W_w 为湿地生态环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); A_i 为某湿地水面面积(hm^2); E_i 为相应的水面蒸发能力。

4.4 防治耕地盐碱化环境需水量 W_s 的计算方法

干旱区内陆河流域,由于水资源短缺,特别是春旱严重,通常采用秋天灌溉、春播前灌溉和生育期加大灌溉定额的方法减少盐分对农作物的危害^[6]。这部分具有双重作用,加大的灌溉水量,称之为防治土地盐碱化的环境需水量^[38]。其计算公式如下:

$$W_s = A_s \times m_s \quad (12)$$

式中, W_s 为防治土地盐碱化的环境需水量($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$); A_s 为盐碱化土地面积(hm^2); m_s 为为盐碱土地环境需水定额(m^3/hm^2)。

5 数据来源

降水与蒸发数据 降水与蒸发数据来源于甘肃省气象局,根据收集到玉门市56年降水与20 cm常规蒸

发皿观测资料统计分析,得到多年各月降水量与蒸发量(表 2)。

表 2 玉门市不同月份的降水量与水面蒸发量(mm)

Table 2 Evaporation of water surface and precipitation in different month in Yumen City

项目 Item	月份 Month												全年 Annual
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
平均降水 Average precipitation	1.25	1.90	4.89	4.50	7.61	8.96	13.11	10.48	5.48	1.99	2.07	1.55	63.78
平均蒸发 Average evaporation	46.29	77.77	183.93	320.61	388.01	369.64	353.92	346.26	269.84	194.03	103.03	51.54	2704.87

径流与输沙数据 径流与输沙数据采用 1953—2010 年疏勒河流域中游潘家庄水文站统计资料,数据来源于甘肃省水文水资源局。

植被影响系数 参考河西走廊玉门镇以及石羊河流域相关试验成果作为计算依据^[9,39](表 3)。

表 3 干旱区潜水埋深与植被影响系数表

Table 3 The vegetation coefficients and buried depth of phreatic water in arid regions

潜水埋深/m Buried depth of phreatic water	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
植被影响系数 Vegetation coefficients	1.98	1.63	1.56	1.45	1.38	1.29	1.00

单位面积蒸发量 根据植物生长确定疏勒河中游植被潜水埋深变动范围,依据参考文献[40]:有林地 1.0—4.5 m,灌木林地 1.0—4.0 m,疏林地 1.0—5.0 m,其他林地 2.0—6.0 m,高覆盖度草地 1.0—3.5 m,中覆盖度草地为 2.0—3.0 m,低覆盖度草地为 2.0—4.0 m。依据研究区每种植被类型的地下水埋深范围和平均埋深,并按相应公式计算得到不同潜水埋深蒸发量和不同植被单位面积蒸散量计算结果(表 4)。

表 4 疏勒河流域中游绿洲区不同植被单位面积蒸散量

Table 4 Evapotranspiration of different vegetation unit area in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

土地利用类型 Land use types	地下水埋深/m Buried depth of groundwater	平均地下水埋深/m Average buried depth of groundwater	植被系数 Vegetation coefficients	潜水蒸发量/(m ³ /hm ²) Evaporation of buried depth of phreatic water
有林地 Forest land	1.0—4.5	2.0	1.56	5045.44
灌木林地 Shrub forest land	1.0—4.0	3.0	1.38	1067.77
疏林地 Open forest land	1.5—5.0	3.5	1.29	320.72
其他林地 Others forest land	2.0—6.0	4.0	1.00	35.70
高覆盖度草地 High degree of coverage grassland	1.0—3.5	2.5	1.63	2822.37
中覆盖度草地 Middle degree of coverage grassland	2.0—3.0	3.0	1.38	1067.77
低覆盖度草地 Low degree of coverage grassland	2.0—4.0	4.0	1.00	35.70

6 生态保护目标下中游绿洲生态需水量计算

6.1 天然植被生态环境需水量

根据确定的天然植被生态环境需水计算方法,结合 2013 年疏勒河中游绿洲土地利用类型,从而计算出 2013 年疏勒河流域中游绿洲维护植被生态环境需水量计算结果 $1.90 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 5)。按不同植被计算的生态需水量,2013 年林地需水量占 6.84%,为 $0.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,草地占 93.16%,为 $1.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同样,计算得出保护目标下 2020 年、2030 年疏勒河流域中游绿洲维护植被生态环境需水量分别为 $2.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表

5)。按不同植被计算的生态需水量,2020 年林地需水量占 5.80%,为 $0.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,草地占 94.20%,为 $2.11 \times 10^8 \text{ m}^3$;2030 年林地需水量占 5.67%,为 $0.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,草地占 94.33%,为 $2.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 5 疏勒河流域中游绿洲不同植被类型生态最小需水量

Table 5 Minimum water requirement based on different vegetation types in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

需水类型 Water requirement type	单位面积 最小需水量 Minimum water requirement unit area/(m^3/hm^2)	2013 年		2020 年		2030 年	
		面积 Area/ hm^2	需水量 Water requirement/ (10^8 m^3)	面积 Area/ hm^2	需水量 Water requirement/ (10^8 m^3)	面积 Area/ hm^2	需水量 Water requirement/ (10^8 m^3)
有林地 Forest land	5045.44	560.97	0.03	589.02	0.03	618.47	0.03
灌木林地 Shrub forest land	1067.77	7570.44	0.08	7948.96	0.08	8346.41	0.09
疏林地 Open forest land	320.72	6000.58	0.02	6300.61	0.02	6615.64	0.02
其他林地 Others forest land	35.70	712.97	0.00	748.62	0.00	786.05	0.00
高盖度草地 High degree of coverage grassland	2822.37	31079.89	0.88	37295.87	1.05	41025.46	1.16
中盖度草地 Middle degree of coverage grassland	1067.77	76668.27	0.82	92001.92	0.98	101202.11	1.08
低盖度草地 Low degree of coverage grassland	35.70	194675.62	0.07	233610.75	0.08	256971.82	0.09
合计 Total		317268.74	1.90	378495.75	2.24	415565.96	2.47

6.2 河流生态环境需水量

6.2.1 河流基本生态环境需水量

利用 1953—2010 年疏勒河流域中游潘家庄水文站 58 年的河流流量统计数据,得到疏勒河中游多年月平均流量和多年月最小流量,并根据式(5),得出疏勒河基本生态环境需水量为 $1.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。采用 Tennant 法(取疏勒河干流多年平均(1953—2010 年)年径流量 $9.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的百分比作为河道基本生态环境需水量)在 10% 情况下,计算出河流生态基流为 $0.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,取二者平均值 $0.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 作为疏勒河流域中游河流基本生态环境需水量。保护目标下 2020 年、2030 年疏勒河流域中游绿洲河流基本生态环境需水量不变,仍为 $0.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

6.2.2 河流输沙需水量

利用疏勒河流域中游潘家庄水文站含沙量统计数据,计算得出潘家庄水文站处输沙需水量作为疏勒河流域中游河流输沙需水量。潘家庄水文站处多年平均输沙量为 $203.01 \times 10^4 \text{ m}^3$,最大月平均含沙量 $53.86 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。计算得出潘家庄水文站处输沙需水量为 $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,疏勒河流域中游河流输沙需水量为 $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。保护目标下 2020 年、2030 年疏勒河流域中游绿洲河流基河流输沙需水量不变,仍为 $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

6.2.3 河流渗漏补给需水量

疏勒河干流中游长 124 km,根据收集资料得到疏勒河中游渗透系数、水力坡度和含水层厚度平均值分别为 15.28、0.003 m 和 20 m,确定时间为 365 d,计算得到入渗量为 $0.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。保护目标下 2020 年、2030 年疏勒河流域中游绿洲河流渗漏补给需水量不变,仍为 $0.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

6.2.4 河流水面蒸发生态需水量

疏勒河流域中游多年平均降水量为 63.78 mm,多年蒸发量 2704.87 mm。根据清华大学玉门试验站观测资料,通过累计潜水蒸发量和累积蒸发皿蒸发量计算得出水面蒸发折算系数为 0.59。计算得 2013 年河流水面蒸发生态需水量为(表 6) $0.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。计算得出保护目标下 2020 年、2030 年河流水面蒸发生态需水量分别为 $0.73 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.80 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 6)。

6.2.5 河流生态环境需水总量

通过计算,在不考虑河流输沙需水量时,河流生态环境需水量由河流基本生态、河道渗漏补给和河流水面

蒸发需水量组成,2013年、2020年和2030年分别为 $2.49 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2.54 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2.61 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中河流基本生态环境需水量占河流生态环境需水量分别为39.4%、38.6%和37.5%,渗漏补给需水量与水面蒸发环境需水量分别占为33.3%、32.7%、31.8%和27.3%、28.7%、30.7%(表7)。在考虑输沙需水量时,河流生态环境需水量由河流输沙、河道渗漏补给和河流水面蒸发需水量组成,2013年、2020年和2030年分别为 $2.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2.74 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中河流输沙生态环境需水量占河流生态环境需水总量分别为42.4%、41.6%和40.5%,河道渗漏补给需水量分别占31.6%、31.1%和30.3%,河流水面蒸发生态需水量分别占26.0%、27.3%和29.2%(表7)。

表6 疏勒河中游绿洲区水域蒸发需水量计算结果

Table 6 Calculation result eco-environmental water requirement of water surface evaporation in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

水域类型 Water area types	面积 Area/hm ²			平均降水 Average precipitation/ mm	蒸发量 Evaporation/ mm	水面蒸发 折算系数 Surface evaporation conversion factor	蒸发需水量 Evaporation water requirement/(10 ⁸ m ³)		
	2013年	2020年	2030年				2013年	2020年	2030年
河渠 Rivers and canals	4414.94	4856.44	5342.08	63.78	2704.87	0.59	0.68	0.73	0.80
湖泊 Lakes	425.76	468.33	515.17				0.07	0.07	0.08
水库 Reservoir	2522.33	2774.57	3052.02				0.39	0.42	0.46
沼泽 Marsh	14629.13	17554.95	21065.95				2.24	2.64	3.17
合计 Total	21992.16	25654.29	29975.22				3.38	3.86	4.51

表7 疏勒河中游绿洲区生态环境需水总量(10⁸m³)

Table 7 Total eco-environmental water requirement in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

需水类型 Water requirement type	2013年	2020年	2030年
天然植被生态环境需水量 Eco-environmental water requirement of natural vegetation	1.90	2.24	2.47
河流 Rivers			
基本生态环境需水量 Basic eco-environmental water requirement	0.98	0.98	0.98
输沙环境需水量 Transportation sand eco-environment water requirement	1.11	1.11	1.11
河道渗漏补给需水量 Recharge of watercourse seepage water requirement	0.83	0.83	0.83
水面蒸发生态环境需水量 Water surface evaporation eco-environmental water requirement	0.68	0.73	0.80
湿地生态环境需水量 Marsh eco-environmental water requirement	2.70	3.13	3.71
防治耕地盐碱化环境需水量 Combating salinization of farmlands eco-environmental water requirement	0.20	0.20	0.20

6.3 湿地生态环境需水量

2013年湿地生态环境需水量为 $2.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表6),其中沼泽生态环境需水量为 $2.24 \times 10^8 \text{ m}^3$,占湿地生态环境需水量的83.0%,水库生态环境需水量为 $0.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,占湿地生态环境需水量的14.4%,湖泊生态环境需水量为 $0.07 \times 10^8 \text{ m}^3$,占湿地生态环境需水量的2.6%,说明在疏勒河中游绿洲区沼泽地所占比例相对较大,应进一步加强湿地保护。结合2020年和2030年湿地面积保护目标,经计算2020年和2030年疏勒河中游绿洲湿地生态环境需水量分别为 $3.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $3.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表6),其中沼泽生态环境需水量分别为 $2.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $3.17 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占湿地生态环境需水量的84.3%和85.4%,水库生态环境需水量分别为 $0.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.46 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占湿地生态环境需水量的13.5%和12.4%,湖泊生态环境需水量分别为 $0.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.08 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占湿地生态环境需水量的2.2%和2.2%。

6.4 防治耕地盐碱化环境需水量

由于气候、地形地貌、水文地质条件、含盐土壤母质以及人类活动影响是造成当地盐碱化的主要原因,在地形相对平坦的中游地区,地下径流条件差,地下水位高,加之水利工程措施不完善,如不合理灌溉、排水沟道失修或淤积堵塞严重及排水系统不配套等因素,导致区域耕地盐碱化的发生,耕地盐碱化达到总耕地面积的20%以上^[41]。因此,为了进一步减少盐分对作物的危害,采用秋灌和春灌方式压减耕地盐分。一方面用较大的水量能将土壤中的盐分淋洗达到作物生长的目标,另一方面还要节约用水,防止抬高地下水位和影响土壤

肥力^[38]。根据干旱区不同质地不同含盐量土壤的洗盐定额,结合疏勒河中游实际情况,依据参考文献[41]实验成果,从而确定疏勒河流域灌区播前灌溉定额为 1500—2000 m³/hm²,据此确定防治耕地盐碱化的灌溉定额 600 m³/hm²。

2013 年灌区盐碱化面积占耕地面积的 20%,面积达到 33561.39 hm²,计算得到区域防治耕地盐碱化的环境需水量为 0.20×10⁸ m³(表 7)。保护目标下 2020 年、2030 年防治耕地盐碱化环境需水量保持 2013 年值不变,其值为 0.20×10⁸ m³。

6.5 保护目标下疏勒河平原区生态环境需水总量

基于不同的生态保护目标,设定不同生态需水情景计算生态环境需水总量,分别设定情景 1 为最大生态需水量、情景 2 为最小生态需水量和情景 3 为最适生态需水量。根据设定情景,分别计算疏勒河中游绿洲生态环境需水的最大值、最小值及最适值。

最大生态环境需水量(情景 1):若生态环境保护目标包括保证疏勒河河道水沙平衡,即考虑输沙环境需水量,由总表 7 可知:在保证输沙需水的前提下,河流基本生态环境需水量可以得到满足。因此,疏勒河流域中游绿洲生态环境需水总量为:天然植被生态环境需水量+河流输沙生态环境需水量+河道渗漏补给需水量+河流水面蒸发量+湿地生态环境需水量+防治耕地盐碱化环境需水量。计算得到 2013、2020 和 2030 年疏勒河流域中游绿洲生态环境需水量最大值分别为 7.42×10⁸ m³、8.24×10⁸ m³和 9.12×10⁸ m³,见表 8。

最小生态环境需水量(情景 2):若生态环境保护目标是仅保证天然生态系统需水量(天然植被生态环境需水量与湿地环境需水量),则疏勒河流域中游绿洲生态环境需水总量为:天然植被生态环境需水量+河流基本生态环境需水量+河道渗漏补给需水量+河流水面蒸发量+湿地生态环境需水量。计算得到 2013、2020 和 2030 年疏勒河流域中游绿洲生态环境需水量最小值分别为 7.09×10⁸ m³、7.91×10⁸ m³和 8.79×10⁸ m³,见表 8。

最适生态环境需水量(情景 3):若生态环境保护目标为天然生态系统需水量与防治耕地盐碱化需水要求,则疏勒河流域中游绿洲生态环境需水总量为:天然植被生态环境需水量+河流基本生态环境需水量+河道渗漏补给需水量+河流水面蒸发量+湿地生态环境需水量+防治耕地盐碱化环境需水量。计算得到 2013、2020、2030 年疏勒河流域中游绿洲生态环境需水量最适值分别为 7.29×10⁸ m³、8.11×10⁸ m³和 8.99×10⁸ m³,见表 8。

表 8 不同保护目标生态环境需水量 (10⁸ m³)

Table 8 Eco-environmental water requirement of different protect targets in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

项目 Item	需水目标 Water requirement target	需水组合 Water requirement target	2013 年	2020 年	2030 年
最大需水量 Maximum water requirement	保障河道水沙平衡	天然植被+河流输沙+河道渗漏+河流水面蒸发量+湿地生态+盐碱化防治	7.42	8.24	9.12
最小需水量 Minimum water requirement	保证天然生态系统需水要求	天然植被+河道基流+河道渗漏+河流水面蒸发量+湿地生态	7.09	7.91	8.79
最适需水量 Most suitable water requirement	保证天然生态系统需水量与防治耕地盐碱化需水要求	天然植被+河道基流+河道渗漏+河流水面蒸发量+湿地生态+盐碱化防治	7.29	8.11	8.99

7 中游绿洲生态需水时空变化特征

7.1 中游绿洲生态需水时间变化特征

通过计算各月植被生态、河流基本生态、河流输沙、河道渗漏补给、河流水面蒸发、湿地生态以及防治耕地盐碱化环境需水量,累加得到 2013 年、保护目标 2020 年和 2030 年每个月的生态环境需水量,进而探讨疏勒河中游绿洲生态环境需水量年内变化趋势(图 2)。从疏勒河中游绿洲生态环境需水量年内变化曲线(图 2)

可知,2013年、2020年和2030年疏勒河中游绿洲生态环境需水量年内变化趋势基本一致。均呈现11月至2月,生态环境需水量较小,且月间变化不大,最小值出现在1月份,分别为 $0.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.19 \times 10^8 \text{ m}^3$;2月至7月,生态环境需水量呈直线增长阶段,7月到达曲线峰顶,分别为 $1.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1.53 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.66 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别是最小月1月份的8.2倍、8.5倍和8.7倍;7月至8月,生态环境需水量开始减少,但幅度不大;8月至11月,生态环境需水量急剧下降,分别从8月份的 $1.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.46 \times 10^8 \text{ m}^3$,降至11月份的 $0.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,降幅分别为4.3倍、4.4倍和4.4倍。总体而言,2013年、2020年和2030年,从4月至10月期间累积生态环境需水量占全年总生态环境需水量分别为83.54%、83.81%和84.05%,而5月至8月期间累积生态环境需水量占全年的比例分别为58.01%、58.08%和58.13%,已超过全年的一半,说明疏勒河中游绿洲生态环境需水量主要集中在5—8月。

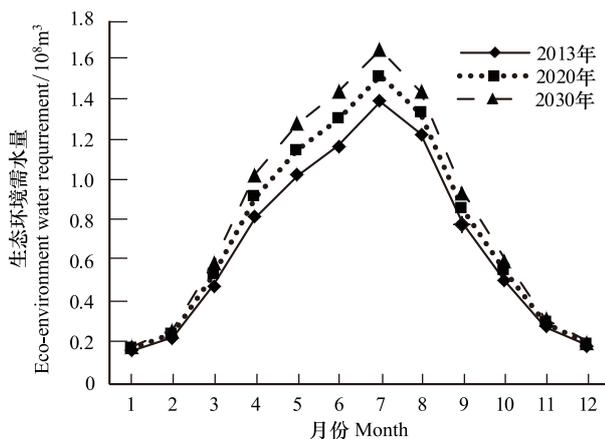


图2 疏勒河中游绿洲生态环境需水量年内变化曲线

Fig.2 The annual variation curve of eco-environmental water requirement in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

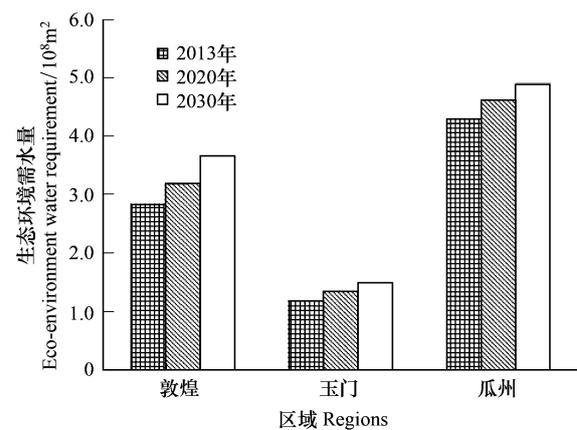


图3 疏勒河中游绿洲不同区域生态环境需水量

Fig.3 Eco-environmental water requirement of different regions in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

7.2 中游绿洲生态需水空间变化特征

通过计算敦煌、玉门和瓜州3个区域植被生态、河流基本生态、河流输沙、河道渗漏补给、河流水面蒸发、湿地生态以及防治耕地盐碱化环境需水量,得到2013年、保护目标2020年和2030年不同区域的生态环境需水量,进而探讨疏勒河中游绿洲生态环境需水量空间变化特征(表9,图3)。从表9和图3可知,2013年、2020年和2030年敦煌、玉门和瓜州生态环境需水量均呈现瓜州最大,玉门最小,敦煌介于二者之间的空间变化特征。2013年敦煌、玉门和瓜州生态环境需水量分别为 $2.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4.32 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占总需水量 $8.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的34.2%、14.3%和51.5%;2020年敦煌、玉门和瓜州生态环境需水量分别为 $3.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1.37 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4.64 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占总需水量 $9.23 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的34.9%、14.8%和50.3%;2030年敦煌、玉门和瓜州生态环境需水量分别为 $3.68 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1.51 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4.92 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占总需水量 $10.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的36.4%、14.9%和48.7%。说明疏勒河中游绿洲生态环境需水量瓜州所占比例相对较大,玉门相对最小,敦煌介于二者之间。

8 结论与讨论

根据所确定的计算方法,得到疏勒河中游绿洲2013年天然植被、河流基本生态、河流输沙、河流渗漏补给、水面蒸发、湿地生态环境需水量和防治耕地盐碱化生态环境需水量分别为 1.90×10^8 、 0.98×10^8 、 1.11×10^8 、 0.83×10^8 、 0.68×10^8 、 $2.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同时计算得出保护目标下2020年和2030年天然植被、河流基本生态、河流输沙、河流渗漏补给、水面蒸发、湿地生态环境需水量和防治耕地盐碱化生态环境需水量分别为 2.24×10^8 、 0.98×10^8 、 1.11×10^8 、 0.83×10^8 、 0.73×10^8 、 3.13×10^8 、 $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 2.47×10^8 、 0.98×10^8 、 1.11×10^8 、

0.83×10^8 、 0.80×10^8 、 $3.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 9 疏勒河中游绿洲区不同区域生态环境需水量(10^8 m^3)

Table 9 Eco-environmental water requirement of different regions in the middle reaches oasis of Shulehe River Basin

需水类型 Water requirement type	2013 年			2020 年			2030 年		
	敦煌	玉门	瓜州	敦煌	玉门	瓜州	敦煌	玉门	瓜州
天然植被生态环境需水量 Eco-environmental water requirement of natural vegetation	0.30	0.66	0.94	0.34	0.78	1.12	0.38	0.85	1.23
基本生态环境需水量 Basic eco-environmental water requirement	0.22	0.06	0.71	0.22	0.06	0.71	0.22	0.06	0.71
输沙环境需水量 Transportation sand eco-environment water requirement	0.24	0.07	0.80	0.24	0.07	0.80	0.24	0.07	0.80
河道渗漏补给需水量 Recharge of watercourse seepage water requirement	0.18	0.05	0.60	0.18	0.05	0.60	0.18	0.05	0.60
水面蒸发生态环境需水量 Water surface evaporation eco-environmental water requirement	0.15	0.04	0.49	0.16	0.04	0.53	0.18	0.05	0.57
湿地生态环境需水量 Marsh eco-environmental water requirement	1.75	0.25	0.69	2.04	0.30	0.80	2.44	0.35	0.92
防治耕地盐碱化环境需水量 Combating salinization of farmlands eco-environmental water requirement	0.04	0.07	0.09	0.04	0.07	0.09	0.04	0.07	0.09
合计 Total	2.87	1.20	4.32	3.22	1.37	4.64	3.68	1.51	4.92

根据确定的生态保护目标,计算得出 2013、2020 和 2030 年疏勒河中游绿洲最大、最小和最适生态环境需水量分别为 7.42×10^8 、 7.09×10^8 、 $7.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 8.24×10^8 、 7.91×10^8 、 $8.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 9.12×10^8 、 8.79×10^8 、 $8.99 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占疏勒河中游绿洲区水资源总量 $15.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 47.4%、45.3%、46.6%、52.6%、50.5%、51.8%和 58.3%、56.2%、57.4%,结果表明 2013 年疏勒河中游绿洲生态环境需水量相对较低,不足流域水资源总量的一半,保护目标下 2020 年和 2030 年生态环境需水比例有所提高,基本能满足区域生态环境用水,同时随着未来区域“引哈济党工程”的实施,在流域绿洲水资源配置中应适当提高生态用水的比例,满足流域绿洲生态需水需求,改善绿洲生态环境,促进绿洲生态系统健康持续发展。

河道内生态环境需水受河床岩性、河道输水流量、河道水文特性等因素的影响,但属于可控制生态环境用水,为了满足河流生态环境的功能,在流域绿洲水资源配置中,应优先满足,而河道外生态环境需水受降水、经济社会用水以及人类活动等因素影响,相对比较复杂,在流域绿洲水资源配置中,应综合考虑进行配置^[6]。在不考虑和考虑河流输沙需水量时,2013、2020 和 2030 年疏勒河河流生态环境需水量分别为 2.49×10^8 、 2.54×10^8 、 $2.61 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 2.67×10^8 和 $2.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

时间变化特征方面,2013 年、2020 年和 2030 年疏勒河中游绿洲生态环境需水量年内主要集中于 5—8 月,累积生态环境需水量占全年的比例分别为 58.01%、58.08%和 58.13%;空间变化特征方面,疏勒河中游绿洲生态环境需水量瓜州所占比例相对较大,玉门相对最小,敦煌介于二者之间。

对于生态需水计算的研究,疏勒河流域的相关研究相对较少,仅有很少学者对疏勒河流域湖泊湿地生态需水量进行了估算,尤其针对流域中游绿洲生态需水量研究几乎为零,本文较系统详细地从天然植被、河流基本生态、河流输沙、河流渗漏补给、水面蒸发、湿地生态和防治耕地盐碱化环境需水量方面估算了现状生态环境需水量,同时基于未来生态保护目标,估算了保护目标下流域中游绿洲生态环境需水量,计算结果为区域生态环境保护 and 恢复以及水资源综合管理和优化配置提供一定参考依据,同时研究结果对促进《敦煌水资源合理利用与生态保护综合规划》的顺利实施具有一定借鉴与参考作用。然而,研究时间尺度相对较长,区别于以往定点定时研究,计算涉及方法相对较多,选取参数也相对较多,同时受区域下垫面条件和多方面因素影响,未来保护目标下流域生态环境需水还有待于进一步研究和深入。随着中游绿洲耕地面积的不断增大,对水资源的需求也相应的增大,而流域地表水资源的严重不足,导致对地下水开采量的日益增加,从而影响中游

绿洲天然植被和湿地所需的生态水量,导致区域生态环境的日益退化。因此,基于生态需水计算结果,未来应进一步加强生态保护目标下流域水资源调控与配置研究,提高水资源综合管理程度,协调流域不同区域、不同行业 and 不同部门之间水资源配置比例,提出流域绿洲生态恢复和水资源配置方案,确保流域中游绿洲生态目标与经济目标的协调发展,实现流域绿洲水资源与生态环境的协调可持续发展。

参考文献 (References):

- [1] 刘金鹏, 费良军, 南忠仁, 尹亚坤. 基于生态安全的干旱区绿洲生态需水研究. 水利学报, 2010, 41(2): 226-232.
- [2] 颜耀文, 姜海兰, 王学强, 马宗义, 陈云海. 1963-2012 年黑河下游额济纳绿洲的时空变化. 干旱区地理, 2014, 37(4): 786-792.
- [3] 阿布都热合曼·哈力克. 基于生态环境保护的且末绿洲生态需水量研究. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 20-25.
- [4] 郭巧玲, 杨云松, 陈志辉, 鲁学纲. 额济纳绿洲植被生态需水及其估算. 水资源与水工程学报, 2010, 21(3): 80-84.
- [5] 黄晓荣, 姜健俊, 裴源生, 梁川. 基于生态保护的宁夏天然绿洲生态需水研究. 水科学进展, 2006, 17(3): 312-316.
- [6] 孙栋元, 赵成义, 魏恒, 寇思勇, 彭冬梅. 干旱内陆河流域平原区生态环境需水分析——以新疆自治区台兰河流域为例. 水土保持通报, 2011, 31(4): 82-88.
- [7] 张丽, 李丽娟, 梁丽乔, 李九一, 姜德娟, 胥铭兴, 宋文献. 流域生态需水的理论及计算研究进展. 农业工程学报, 2008, 24(7): 307-312.
- [8] 杨立彬, 黄强, 阮本清, 王煜. 额济纳绿洲生态需水研究. 水利学报, 2012, 43(9): 1127-1133.
- [9] 张丽. 黑河流域下游生态需水理论与方法研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2004.
- [10] 王西琴, 张远, 刘昌明. 辽河流域生态需水估算. 地理研究, 2007, 26(1): 22-28.
- [11] 王改玲, 王青梓, 石生新. 山西省永定河流域林草植被生态需水研究. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1743-1753.
- [12] 倪晋仁, 金玲, 赵业安, 刘小勇. 黄河下游河流最小生态环境需水量初步研究. 水利学报, 2002, (10): 1-7.
- [13] 陈锐, 邓祥征, 战金艳, 汪云林, 李冬, 牛文元. 流域尺度生态需水的估算模型与应用——以克里雅河流域为例. 地理研究, 2005, 24(5): 725-731.
- [14] Luo H M, Li T H, Ni J R, Wang Y D. Water demand for ecosystem protection in rivers with hyper-concentrated sediment-laden flow. Science in China (Series E), 2004, 47(S I): 186-198.
- [15] 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. 生态学报, 2008, 28(12): 6282-6291.
- [16] Ye Z X, Chen Y N, Li W H. Ecological water demand of natural vegetation in the lower Tarim River. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(2): 261-272.
- [17] 张华, 张兰, 赵传燕. 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例. 生态学报, 2014, 34(8): 2102-2108.
- [18] Zhang Y, Yang S T, Ouyang W, Zeng H J, Cai M Y. Applying multi-source remote sensing data on estimating ecological water requirement of grassland in Ungauged region. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2: 953-963.
- [19] 孙才志, 高颖, 朱正如. 基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算. 生态学报, 2013, 33(5): 1513-1523.
- [20] Liu J L, Yang Z F. Ecological and environmental water demand of the lakes in the Haihe-Luanhe Basin of North China. Journal of Environmental Sciences, 2002, 14(2): 234-238.
- [21] Cui B S, Yang Z F. Eco-environmental water requirement for wetlands in Huang-Huai-Hai Area, China. Progress in Natural Science, 2002, 12(11): 841-848.
- [22] 杨志峰, 尹民, 崔保山. 城市生态环境需水量研究——理论与方法. 生态学报, 2005, 25(3): 389-396.
- [23] Zhao W Z, Chang X L, He Z B, Zhang Z H. Study on vegetation ecological water requirement in Ejina Oasis. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2007, 50(1): 121-129.
- [24] 马乐宽, 李天宏, 刘国彬. 基于水土保持的流域生态环境需水研究. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1102-1110.
- [25] 白元, 徐海量, 张青青, 叶茂. 基于地下水恢复的塔里木河下游生态需水量估算. 生态学报, 2015, 35(3): 630-640.
- [26] 王丽霞, 任朝霞, 任志远, 马超群. 基于生态功能分区的陕北延河流域旱地系统生态需水测评. 农业工程学报, 2012, 28(6): 156-161.
- [27] 黄昌硕, 陈敏建, 丰华丽, 王立群. 基于生态保护目标的黄河河口湿地生态需水计算. 中国农村水利水电, 2012, (12): 75-78.
- [28] 乔云峰, 王晓红, 纪昌明, 王丽萍. 基于生态经济理论的生态需水计算方法研究. 水科学进展, 2004, 15(5): 621-625.
- [29] 崔保山, 赵翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水量计算. 生态学报, 2005, 25(7): 1788-1795.
- [30] 张奎俊. 石羊河流域下游民勤绿洲生态需水与措施研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2008.
- [31] 何永涛, 闵庆文, 李文华. 植被生态需水研究进展及展望. 资源科学, 2005, 27(4): 8-13.
- [32] 高凯. 吉林省西部生态环境需水研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [33] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算. 地理学报, 2000, 55(4): 496-500.

- [34] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算. 海河水利, 2003, (1): 6-8.
- [35] 王玉敏, 周孝德. 流域生态需水量的研究进展. 水土保持学报, 2002, 16(6): 142-144.
- [36] 刘凌, 董增川, 崔广柏, 郑孝宇. 内陆河流生态环境需水量定量研究. 湖泊科学, 2002, 14(1): 25-31.
- [37] 翟盛. 干旱内陆河流域河流系统生态需水量计算. 水利科技与经济, 2010, 16(8): 854-855.
- [38] 胡顺军, 顾桂梅, 李岳坦, 宋郁东, 田长彦. 塔里木河干流流域防治耕地盐碱化的生态需水量. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 145-148.
- [39] 杨秀英, 张鑫, 蔡焕杰. 石羊河流域下游民勤县生态需水量研究. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 169-173.
- [40] 马兴华, 王桑. 甘肃疏勒河流域植被退化与地下水位及矿化度的关系. 甘肃林业科技, 2005, 30(2): 53-55.
- [41] 段文典. 疏勒河灌区盐碱地改良技术试验研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.