

## 民勤地区供水和生态需水量分析

马绍休<sup>1</sup>,王 涛<sup>1</sup>,张建民<sup>2</sup>,史贵涛<sup>2</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,沙漠与沙漠化重点实验室,甘肃 兰州 73000;

2. 兰州大学资源环境学院地理系,甘肃 兰州 730000)

**摘 要:**当今世界水环境污染和水资源短缺问题日益突出。如何进行水资源优化配置,将人类活动控制在生态、资源、环境允许范围内,核心问题是生态需水量的确定。通过对国内外生态需水量研究现状的分析,阐述了生态需水量的概念:在现状和未来时空尺度上,一定的生态环境标准条件下,为维持流域或区域特定的天然生态环境功能必须保障蓄存和消耗的最小水量。对目前采取的各种生态需水量计算方法进行了总结,计算了民勤生态需水量。结果表明,为了使民勤生态系统不再恶化,每年需要补给  $2.406 \times 10^8 \sim 2.414 \times 10^8 \text{ m}^3$  的水。如果考虑民勤地区人的生活用水和农业灌溉用水  $4.263 \times 10^8 \sim 5.458 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,民勤地区的总需水量应为  $6.669 \sim 7.872 \text{ 亿 m}^3$ 。

**关键词:**生态需水量;计算模型;民勤;植被

**中图分类号:**Q178.11

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2006)06-0058-04

## The Theory of Ecological Water Requirement for Vegetation and Its Application to Minqin Basin

MA Shao-xiu<sup>1</sup>,WANG Tao<sup>1</sup>,ZHANG Jian-min<sup>2</sup>,SHI Gui-tao<sup>2</sup>

(1. Key laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. School of Resources and Environment of Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The definition, calculation and application of ecological water requirement are described. The significance of the calculation of ecological water requirement is explained. The major content and deep significance of ecological water requirement are analyzed. The calculation methods and theoretical models are discussed. Moreover, the ecological water requirement for vegetation in Minqin basin is estimated by GIS technology and mathematic model and its ecological water shortage is compared to its current water consumption. The results indicates that the annual ecological water requirement of vegetation in Minqin basin was  $2.406 \sim 2.414 \times 10^8 \text{ m}^3$ . In the end, an advice on what to do in the future is given.

**Key words:** ecological water requirement; mathematics methods; Minqin; vegetation

21 世纪的水文水资源正面临着巨大的挑战与机遇。主要是如何满足社会与经济发展对水资源日益增长的需要,防治水旱灾害,维持生态需水和控制因发展而带来的水污染,不断改善水环境。如何进行水资源优化配置,将人类活动控制在生态、资源、环境允许范围内,核心问题是生态需水量的确定。

关于这一问题的理论阐述,即关于生态用水量、生态需水量等的概念、定义及计算规则与方法尚没有统一认识,在实践方面,不同的研究者都试图给出一个生态用水的值,尤其在大陆流域水土资源合理利用研究中,不同的研究从不同的角度概算出一个不同的生态需水量,但对该量的计算方法与原则等问题,没有明确的论述,更谈不上统一认识。

民勤盆地位于甘肃省河西走廊东部的石羊河流域下游,

东径  $102^{\circ}52' \sim 103^{\circ}50'$ ,北纬  $38^{\circ}22' \sim 39^{\circ}6'$ ,东、西、北三面被腾格里和巴丹吉林两大沙漠包围,是我国生态问题最为严重、生态难民最多的地区。在过去的 50 多年里,民勤的水资源形式发生了重大的变化,河流源区生态环境遭到破坏,产水量减少。上中游大量发展灌溉农业,使得进入民勤的水量急剧减少,使下游的河道干枯,靠河流水生存的植被大量死亡。同时,由于中游武威市向石羊河排放大量污染物,使得河水中的多项污染物超标,部分丧失了利用价值。人们为了维持农业生产,大量超采地下水,平均每年超采  $3.0 \times 10^8 \sim 3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,从而导致地下水位逐年下降,植被退化、地下水水质恶化、盐渍化、沙漠化等一系列生态环境问题,绿洲边缘景观不断向荒漠化演变<sup>[3,4]</sup>。

\* 收稿日期:2005-11-28

基金项目:国家重点基础研究发展规划 973 项目“中国北方沙漠化过程及其防治研究”(No. G2000048705);国家基础科学人才培养基地兰州大学地理学基地学生科研培训项目资助

作者简介:马绍休(1980-),男,重庆万州人,理学硕士,主要从事人类活动与沙漠化的数学建模、地理信息系统的应用及生态经济等方面的研究。

1 生态需水量的定义及特征分析

1.1 生态需水量的定义

在美国,生态需水量系指服务于鱼类和野生动物、娱乐及其他美学价值类的水资源需求。在我国,1990 年的《中国水利百科全书》将生态需水量定义为:“改善水质、协调生态和美化环境等的用水”。上述定义和概念基本上都是基于水体及与水体有直接联系的“水生态”和“水环境”的用水量。目前,我国水利界及社会各界所讨论的“生态需水量”,已经大大超过了上述内容和范围。例如,由中国工程院组织 43 位院士和近 300 位院外专家参加完成的《21 世纪中国可持续发展水资源战略研究》认为:广义的生态需水,是指“维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水,包括水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等,都是生态需水”。“狭义的生态需水是指为维护生态环境不再恶化并逐渐改善所需要消耗的水资源总量”。狭义的“生态需水计算的区域应当是水资源供需矛盾突出以及生态环境相对脆弱和问题严重的干旱、半干旱和季节性干旱的半湿润区”<sup>[1,5]</sup>。

本文认为生态需水量可定义为,在现状和未来时空尺度上,一定的生态环境标准条件下,为维持流域或区域特定的生态环境功能必须保障蓄存和消耗的最小水资源。生态需水量应该是指一个特定区域内的生态系统的需水量,而并不是指单的生物体的需水量或者耗水量。它的含义及解决的途径,重在生物体所在环境整体需水量(当然包含有生物体的自身消耗水量)。它不但与生态区的生物群体结构等有关系,更重要的它还与生态区的气候、土壤、地质,以及地表、地下水文条件及水质等都有关系。目前,研究对象是水资源供需矛盾突出以及生态环境相对脆弱和问题严重的干旱、半干旱和季节性干旱的半湿润区,生态需水是水资源短缺地区为了维护生态系统的稳定和保持生态环境质量的最小水资源需求量<sup>[1,5-7]</sup>。

1.2 生态需水的特征

1.2.1 生态需水量内涵分析

(1)时空内涵。依据生态需水量的定义,生态需水具有明显空间性和时间性。首先,它具有明显空间性,表现在不同地理分布区域,如干旱区、湿润区、陆地、水域、同一流域上、中、下游及入海口不同地段等,对维持生态系统平衡的水量及分布的需求有明显差异;另外,它具有时间性,表现在两方面:一是水生态系统现状的不同时段,生态需水的分布特性有所差异;二是在未来不同时间尺度上的某个特定时间段,随环境的治理、自然生态的逐步恢复,生态环境需水量的外延和内涵都会有所改变。

(2)自然生态优先内涵。水对生态系统有明显的限制作用,生态需水量是维持生态系统平衡最基本的需水量,这部分水量是维持自然再生产必须保障的水量和最基本的需求,不能再作为其他用途进行调控。自然生态系统需水得到保障后,方可进行人类经济活动和社会发展用水的配置。

(3)可持续内涵。生态需水的前提“维持流域或区域特定的生态功能”充分体现了可持续内涵,为维持生态系统良性循环,满足人与自然和谐的生态环境标准,必须明确人类各种用水、排污等经济和社会活动对水生态系统的影响不能超出其承受能力。

1.2.2 生态需水量特性

(1)动态性。动态性是指生态需水量与一定历史发展阶段有关,不同的历史发展阶段,受人类活动影响和随人类社会文明进步、社会发展规模的制约,生态系统的需水量是动态的。同时,对生态环境要求越高,相应的生态需水量越多。

其原因体现在人类对水资源的能动性和为适应生存条件而不断作出用水分配等调整活动。

(2)可控制性。人类可通过陆地植被等自然生态系统的恢复、水环境治理、水利工程的调节等工程措施,对生态需水进行调控,保障生态系统良性循环前提下,使生态需水量适度减少,增加可利用的水资源量。

(3)极限性。生态需水量极限性是指某一具体的历史发展阶段和特定区域、特定时段,生态需水量具有最低的下限值。主要原因是受水资源自然条件和人类社会发因素的制约,包括流域或区域水资源条件的约束、人类文明、社会发展约束和生态系统承受力的约束。

2 生态需水量估算模型

干旱区生态需水量的主体是植物生育期正常生长的耗水量,作为大气-植被-土壤水分传输与水分循环过程的中间环节,理论上有许多水分平衡模拟模型,如 SVAT,SHAW 模型等,这些以水热耦合为基础的试验数据为依托的模拟模型,能成功地揭示植物个体或具有相同植物类型地某一点上植物水分耗散过程。但如何将个体行为或点尺度结果推广到区域尺度,这是目前水文学、生态学以及生态水文学共同面临的新课题<sup>[6,11]</sup>,还没有比较可行的区域生态需水计算方法的情况下,本文尝试利用比较成熟的潜在蒸发和植物蒸腾物理测定等方法,以石羊河流域下游民勤地区为例,对干旱区植被生态需水量进行估算。其计算模型如下:

对生态需水量的计算,需要先计算潜在蒸散量,在据此推算陆面蒸散量,陆面蒸散量减降水量有效补给即为生态需水量。

2.1 潜在蒸散量计算

潜在蒸散量是指土壤水分充足,植被覆盖茂密条件下最大可能蒸散量。利用彭曼公式计算植被潜在蒸散量的思路是将蒸散过程看作能量消耗过程,通过平衡计算,求出蒸散所消耗的能量,然后再折算为水量<sup>[8-11]</sup>。潜在蒸发量的计算目前应用较多的彭曼公式:

$$E_{T_0} = C [ R_n + (1 - w) f(u) (e_a - e_d) ] \quad (1)$$

式中: $E_{T_0}$ ——潜在蒸散量 (mm/d);  $w$ ——取决于温度的加权系数;  $R_n$ ——净辐射量(换算为蒸发量) (mm/d);  $f(u)$ ——风函数;  $c$ ——考虑白天与夜晚天气影响的修正系数。 $e_a - e_d$ ——在平均气温下,饱和水汽压与实际平均水汽压之差 (hPa)。

(1) 加权系数  $w$  计算公式为:

$$w = \frac{e_0}{e_0 + e_d} \quad (2)$$

$$= \frac{e_0}{273 + T_a} \times (\frac{646}{273 + T_a} - 3.927) \quad (3)$$

$$= 0.46 \times \frac{P}{1013} \quad (4)$$

由  $z = 18400(1 + \frac{1013}{P}) \lg \frac{1013}{P}$ , 得: 
$$z = 18400(1 + \frac{1013}{P}) \lg \frac{1013}{P} \quad (5)$$

$$P = \frac{1013}{10^{Z/[18400(1 + \frac{1013}{T_a})]}} \quad (6)$$

$$= \frac{0.46}{10^{Z/[18400(1 + \frac{1013}{T_a})]}} \quad (7)$$

式中: $Z$ ——海拔高度 (m);  $\gamma$ ——气体膨胀系数,  $a = 1/273$ ;  $T_a$ ——测站空气温度 (T);  $P$ ——大气压 (hPa);  $\gamma$ ——饱和水汽压与温度关系曲线的斜率;  $\gamma_0$ ——温度常数;

(2) 风函数  $f(u)$  其计算公式:

$$f(u) = 0.27(1 + u/100) \quad (8)$$

式中: $u$ ——2 m 高处 24 h 的平均风速,若未取得 2 m 高处风

速,可根据不同高度风速测定资料,建立观测高度与改正系数的关系曲线,再从图上查取 2 m 高处风速;

(3)  $e_a - e_d$  (水汽压差)。据下式计算:

$$e_a = 6.1 \times 10^{T/(T+b)} \tag{9}$$

式中:  $a$ 、 $b$ ——两个常数。在冰面上,  $a = 0.95$ ,  $b = 265$ ; 在水面上,  $a = 7.45$ ,  $b = 235$ ;

$$e_d = R H_{\text{平均}} \times e_a / 100 \tag{10}$$

式中:  $e_a$ ——月平均饱和水汽压 (hPa);  $e_d$ ——月平均实际水汽压 (hPa);  $R H_{\text{平均}}$ ——叫平均相对湿度

$$R H_{\text{平均}} = \frac{R H_{\text{max}} + R H_{\text{min}}}{2} \tag{11}$$

(4)  $R_n$  净辐射量为地表接受的辐射总量与支出辐射总量之差。其公式

$$R_n = R_m - R_{nl} = (1 - A) R_s - R_{nl} \tag{12}$$

式中:  $R_n$ ——净太阳辐射 (mm/d);  $R_{nl}$ ——净长波辐射 (mm/d);

$$R_s = (0.25 + 0.5 n/N) R_a \quad \text{太阳辐射 (mm/d);} \tag{13}$$

式中:  $R_a$ ——大气顶层接受的太阳辐射 (mm/d);  $N$ ——可能最大日照小时数;  $A$ ——反射率,一般取  $A = 0.15 \sim 0.25$ ;  $R_a$ 、 $N$ ——可根据测站所在纬度分别查表求取,  $n/N$  也可直接自气象台站抄录。

$$R_m = (1 - A) (0.25 + 0.5 n/N) R_a \tag{14}$$

$$R_{nl} = S T_k^4 (0.1 + 0.9 n/N) (0.34 - 0.044 e_d) \tag{15}$$

式中:  $S$ ——灰体系数,一般取  $0.85 \sim 0.97$ ; ——波尔兹曼常数  $2.01 \times 10^{-9} \text{ mm/a} \cdot \text{K}^4$ ;  $T_k$ ——绝对温度 (K)。

(5) 修正系数  $C$

修正系数  $C$  根据  $R H_{\text{max}}$ 、 $u_{\text{白天}}$ 、 $u_{\text{白天}}/u_{\text{夜晚}}$ 、 $R_s$  查表求取,由气象台站实测的风速、气温、气压、湿度及日照小时数等气象资料,则可据上述公式求得各月的,计算时各项气象因子可采用研究区内各气象台站的平均值,作为计算可能蒸散发量的资料依据。

### 2.2 植被生态需水估算模型

目前,不同地区生态需水的计算采用不同的模型,常见模型<sup>[8,12,13]</sup>有如下几种:定额法、实测蒸腾法、阿维杨诺夫公式、沈立昌公式、作物系数法、道尔顿经验公式、彭曼公式、傅抱璞法、奥里切克普公式、史拉别尔公式、布德科公式法等多种方法。根据以前实测资料,对各类型区透水面积陆面蒸散量按上述各种方法进行了计算,其中作物系数法、布德科公式法、奥里切克普公式、定额法的计算结果比较接近,其他方法相差较大。在实际应用中最好采用作物系数法,该方法考虑因素较多,理论基础比较完备。它不仅考虑供水条件的影响,同时也考虑了不同作物种类对蒸散量的影响。几种主要模型<sup>[8,12]</sup>的形式如下:

(1) 傅抱璞法

傅抱璞法(1981)从蒸发  $E$  随降水的改变率  $\partial E / \partial P$  是剩余蒸发力  $E_0 - E$  和降水  $P$  的函数,即  $\partial E / \partial P = (p - E, E_0)$  的考虑出发,利用量纲分析和微分方程理论确定了函数  $f$  和  $q$  的表达式,并由此得到了下列计算陆面蒸发的公式:

$$E = P \{ 1 + \frac{E_0}{P} - [1 + \frac{E_0^m}{P^m}]^{1/m} \} \tag{16}$$

$$E = E_0 \{ 1 + \frac{P}{E_0} - [1 + \frac{P^m}{E_0^m}]^{1/m} \} \tag{16}$$

(2) 史拉别尔公式:

$$E = P(1 - e^{-E_0/P}) \tag{18}$$

(3) 奥里切克普公式:

$$E = R/L \cdot thL P/R = E_0 th P/E_0 \tag{19}$$

(4) 布德科公式法:

$$E = \sqrt{p E_0 th [P/E_0 (1 - e^{-E_0/P})]} \tag{20}$$

以上各式中:  $E_0$ ——潜在蒸散量;  $P$ ——降水量。

## 3 石羊河流域下游民勤地区生态需水量分析

### 3.1 石羊河流域下游民勤地区植被生态需水量分析

从理论上说,计算生态需水,要针对每一气候区、每一土地类型、每一林分、草场分别计算各自的生态用水定额,只有这样才能作到准确计算,由于观测资料的缺乏<sup>[14~16]</sup>,无法进行如此翔实的计算。在这种情况下,本文针对不同的林分、草地以其最要的树种、植被来估算整个系统的生态用水定额。首先,就人工林而言,大多数为纯林,混交的情况很少。其次,绿洲以外的植被具有单一性。因此,可以选其代表植被类型反应系统的基本属性,具有客观性。

本文分别对民勤不同植被类型各月的生态需水量进行了计算,以月份为时间段,在时间划分上相对较细。在空间上,分别计算不同植被类型的生态需水量。综合时间和空间因素,并采用不同的计算方法计算出了民勤植被的生态需水量,结果可信度较高。

根据民勤地区多年的气象统计数据和通过查表得到有关参数值,由彭曼公式计算出民勤地区的潜在蒸散量为  $1420.2 \text{ mm/a}$  (见表 1)。

表 1 民勤植被潜在蒸散量表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
$R_n$	-0.45	0.45	1.53	3.05	3.50	4.05	4.13	3.75	2.28	0.85	-0.35	-0.80	-
$E_a$	0.99	1.41	3.08	5.79	9.27	10.62	10.67	7.64	4.94	2.89	1.53	0.88	-
$E_{T0}$	0.54	1.04	2.80	5.09	7.35	8.11	8.00	6.12	4.10	2.41	0.65	0.29	1420.2

在上表中,1,3,5,7,8,10,12 共 7 个月份每月 31 d,4,6,9,11 共 4 个月份每月为 30 d,2 月取 28 d。

民勤县的土地面积为  $1.6 \text{ 万 km}^2$ ,植被总面积为  $3628 \text{ km}^2$ ,占全县土地总面积的  $22.7\%$  (不包括耕地面积),耕地面积为  $580.48 \text{ km}^2$ 。民勤地区的植被主要分为两大类:灌木林和草地,根据实地考察和遥感影像解译数据可知,灌木林面积为  $416.7 \text{ km}^2$ ,主要包括灌木林地、疏林地、未成林造林地;草地面积为  $3211.37 \text{ km}^2$ ,主要包括天然草地和人工草地两大类。在所有植被中,天然草地(面积为  $3207.6 \text{ km}^2$ )占了  $88.4\%$ 。

根据民勤地区多年的气象、水文资料和民勤的实际情况,尝试用傅抱璞法、史拉别尔公式、奥里切克普公式法、布德科公式法四种方法分别计算民勤植被的生态需水量,不同植被类型及面积利用 Erdas8.7 遥感图象处理软件、Arcinfo9.0 和 Arcview3.3 等 GIS 软件得出,不同方法计算出的生态需水量见表 2。

表 2 不同方法计算出的生态需水量

计算方法	傅抱璞法	史拉别尔公式	奥里切克普公式法	布德科公式法
陆面蒸散量(E)/mm	110.692	110.885	110.691	110.796
陆面总蒸散量/ $10^8 \text{ m}^3$	4.016	4.023	4.015	4.020
降水补给量/ $10^8 \text{ m}^3$	1.609	1.609	1.609	1.609
生态需水量/ $10^8 \text{ m}^3$	2.407	2.414	2.406	2.411

由于,水资源的短缺和用水技术的限制,对于民勤来说,要完全恢复其原有植被的生态功能,短期内没法实现。所以,为了使民勤生态不再恶化,维持其植被现状(20 世纪末期),使民勤地区在整个石羊河流域起一个隔离带的作用,防止武威及邻近的几个城市被沙漠吞食,不考虑自身的经济发展(不

包括农业灌溉和人类生活用水),维持其植被现状,由表 2 可知,民勤植被的最小生态需水量为  $2.406 \times 10^8 \sim 2.414 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,是目前植被赖以生存的几本水量。其中由表 3,可知灌木林和人工草场的最小生态需水量为  $0.306 \times 10^8 \sim 0.307 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占需水总量的 11.6 % 是在水资源配置过程中要重点考虑的。

表 3 不同植被类型生态需水量

计算方法	傅抱璞法	史拉别尔公式	奥里切克普公式法	布德科公式法
灌木林/ $10^8 \text{ m}^3$	0.276	0.277	0.276	0.277
人工草场/ $10^8 \text{ m}^3$	0.003	0.003	0.003	0.003
天然草场/ $10^8 \text{ m}^3$	2.128	2.134	2.127	2.132

3.2 民勤地区人类生活用水和耕地灌溉用水概算

据 2000 年统计报告,民勤地区总人口 27.29 万人,其中农牧业人口 24.55 万人,城镇人口 2.74 万人,城市化率为 10 %。耕地面积  $580.48 \text{ km}^2$ 。人均占有耕地  $2126.8 \text{ m}^2$ 。年末大牲畜存栏数 7.32 万头,小牲畜 9.57 万只。

据程国栋、王根绪等人对黑河的研究表明,1 年平均每人生活生产用水需水为  $2000 \text{ m}^3$ 。民勤地区 27.29 万人的生活生产需水为  $5.458 \text{ 亿 m}^3$ 。据实验观测<sup>[17]</sup>,石羊河流域平均每亩灌溉农用地水资源最佳量为  $398 \text{ m}^3$ ,民勤地区  $580.48 \text{ km}^2$  耕地灌溉所需水量为  $3.466 \text{ 亿 m}^3$ 。据抽样调查的分析表明,民勤地区平均每人每天生活用水(包括饲养牲畜)  $0.8 \text{ m}^3$ ,民勤地区 27.29 万人的生活需水为  $0.797 \text{ 亿 m}^3$ ,总的生产生活用水  $4.263 \text{ 亿 m}^3$ 。

目前,石羊河流入民勤的水量仅有 8 000 多万  $\text{m}^3$ ,加上景电二期工程调来的水  $6000 \text{ m}^3$ ,为了使民勤生态不再恶化,这点水满足不了民勤的需要。由于,民勤绿洲的存亡,关系到整个流域乃至西北地区的生态安全。因此,本人认为:在搞好跨流域调水的同时,搞好石羊河水资源的合理配置和合理利用更为重要。通过法律手段,让上中游的人民要留给民勤地区一定的水。对于民勤来说,要以宜农则农,宜林则林,宜荒则荒,宜草则草,一切以水为度的原则进行生产活动。对于

参考文献:

[1] 杨志锋,崔保山,刘静玲,等.生态需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.40-183.

[2] 王玉敏,周孝德.流域生态需水量的研究进展[J].水土保持学报,2002,16(6):142-144.

[3] 民勤县水利志编纂委员会.民勤县水利志[M].兰州:兰州大学出版社,1994.

[4] 民勤县农业区划委员会.甘肃省民勤县农业区划报告汇集[Z].1985.

[5] 刘昌明.关于生态需水量的概念和重要性[J].科学对社会的影响,2002,(2):25-29.

[6] 丰华丽,王超,李勇.流域生态需水量的研究[J].环境科学动态,2002,(1):27-29.

[7] 丰华丽,王超,李建超.干旱区流域生态需水量估算原则分析[J].环境科学与技术,2002,25(1):31-33.

[8] 司希礼,等.区域综合蒸法量计算方法研究[J].水文,2003,23(4):17-21.

[9] Penman H L. Natural evaporation from open water ,bare soil and grass [J]. Proc Roy SeeAm ,1948 ,193 :454 - 456.

[10] Milly P C D. Potential evaporation and soil moisture in general circulation modles[J]. Journal of climate ,1992 , 5 (3) :209 - 226.

[11] 刘怀妃. 蒸发力计算方法——彭曼(H.L. Penman)公式的应用[J]. 山东农业科学,1989,(6):22-25.

[12] 王书功,等.黑河山区草地蒸法量估算方法研究[J].冰川冻土,2003,25(5):558-565.

[13] 李自珍,王新平,等.干旱区植物水分生态位适宜度的数学模型及其过程数值模拟试验研究[J].中国沙漠,2001,21(3):281-285.

[14] 潘启民.黑河流域生态需水量分析[J].黄河水利职业技术学院学报,2001,13(1):14-16.

[15] 王根绪,程国栋.干旱内陆流域生态需水及其估算——以黑河为例[J].中国沙漠,2002,6(2):129-134.

[16] 赵文智,程国栋.干旱区生态水文过程研究若干问题评述[J].科学通报,2001,46(22):1853-1854.

[17] 朱震达,陈广庭,等.中国土地沙质荒漠化[M].科学出版社,1994.198-210.

[18] 钟华平,刘恒,顾颖.石羊河下游民勤水资源与生态环境治理对策[J].西北水资源与水工程,2002,13(1):10-13.

[19] 宋冬梅,肖笃宁,张志城,等.甘肃民勤绿洲的景观格局变化及驱动力分析[J].应用生态学报,2003,14(4):535-539.

人口稀少的地方应当考虑移民。只有在全流域人民的大力协作下,民勤才有可能逃过被沙漠吞食的命运<sup>[18]</sup>。

4 结 论

(1) 本文采用了多种方法对民勤地区不同植被类型在各个月份的生态需水量进行了计算,其计算结果相关性很高(见表 2),计算结果相对较为准确,计算的生态需水量为恢复和建设石羊河流域下游植被提供了重要的科学依据,对于生态环境的恢复有重要指导意义,为实现区域的可持续发展提供了科学依据。

(2) 由上述计算可知,民勤植被的最小生态需水量为  $2.406 \sim 2.414 \text{ 亿 m}^3$ , (不包括农业灌溉植被),是目前植被赖以生存的基本水量。其中灌木林和人工草场的最小生态需水量为  $0.306 \sim 0.307 \text{ 亿 m}^3$ ,占需水总量的 11.6 % 是在水资源配置过程中要重点考虑。由于民勤地下水位已经几十米深,有的地方甚至上百米<sup>[19]</sup>,考虑其需水量没有实际意义。如果考虑民勤地区人民的生活用水和农业灌溉用水  $4.263 \sim 5.458 \text{ 亿 m}^3$ ,民勤地区的总需水量为  $6.669 \sim 7.872 \text{ 亿 m}^3$ 。

(3) 为了使民勤生态不在恶化,石羊河流域管理所面临的一个关键问题是在搞好跨流域调水的同时,搞好石羊河流域水资源的合理配置和合理利用。通过法律手段,让上中游的人民留给民勤地区一定量的水。对民勤来说,最紧要的是停止超采地下水资源,要以宜农则农,宜林则林,宜荒则荒,宜草则草,一切以水为度的原则进行生产活动。在全流域要实行以水定田、走高产之路,还需千方百计实行节水措施。

(4) 为了更深入地研究本地区植物生长所需水量,准确地计算生态需水,建议在本地区进行大量地实地观测和实验,以获取更准确地原始资料。遥感工作应与地面地下水文和气象观测工作结合起来,以流域为单元,进行相关数据的收集和整理,将水资源数据资料进行充分积累,建立生态需水管理数据库。该数据库包括水文水资源系列数据,气象观测数据,生态系统类型及其相关特征的数据等。