

甘肃省民勤县天然植被生态需水研究

郝 博, 栗晓玲, 马孝义

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究干旱地区天然植被的生态需水量, 为区域生态用水与经济用水的合理配置提供参考。**【方法】**针对西北干旱地区水资源短缺、降雨量少、植被退化、盖度降低等现状, 以甘肃省民勤县为例, 采用联合国粮农组织(FAO)提出的干旱区受破坏非完全覆盖的天然植被生态需水计算方法, 计算植被生态需水定额, 扣除有效降雨后得到生态缺水定额, 再结合遥感解译的不同类型植被的生态植被面积, 获得植被生态需水量和生态缺水量。**【结果】**民勤县植被适宜和最小的生态需水量在枯水年分别为 7 652.0 万和 4 045.3 万 m^3 , 平水年分别为 7 554.9 万和 3 994.0 万 m^3 , 丰水年分别为 6 546.3 万和 3 460.8 万 m^3 。植被适宜和最小的生态缺水量在枯水年分别为 6 040.3 万和 2 433.7 万 m^3 , 平水年分别为 5 714.6 万和 2 153.8 万 m^3 , 丰水年分别为 4 220.4 万和 1 331.4 万 m^3 。**【结论】**利用 FAO 提出的生态需水计算方法可以得到植被生长期各月生态需水量, 计算结果与利用热脉冲法所得结果差异较小, 说明该方法计算结果可靠, 可以推广应用于其他干旱区。

【关键词】 天然植被生态需水; 干旱区; 水资源利用与配置; 民勤县

【中图分类号】 Q948.112⁺3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)02-0158-07

Study on ecological water requirement for natural vegetation in Minqin County of Gansu Province

HAO Bo, SU Xiao-ling, MA Xiao-yi

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The purpose of studying natural vegetation ecological water (EWR) is to provide reference for rational allocation of water between regional ecological and economic water usage in arid area. **【Method】** Considering the characters of the water shortage, little precipitation, degenerating vegetation and low coverage in northwest arid area of China, a new method of EWR for non-pristine, non-full coverage natural vegetation was introduced, which was proposed by FAO. The method was used to calculate the quota of EWR for vegetation. And the quota of water shortage for vegetation was obtained after deducting the effective precipitation. Combining with the different types of vegetation area interpreted from remote sensing, the volumes of EWR and water shortage for vegetation were obtained. Minqin County of Gansu Province was taken as an example in this study. **【Result】** The optimal EWR and the minimum EWR for vegetation in Minqin County in dry year was 76 520 000 and 40 453 000 m^3 respectively, in average year 75 549 000 and 39 940 000 m^3 respectively, in wet year 65 463 000 and 34 608 000 m^3 respectively. The water shortage of optimal EWR and the minimum EWR for vegetation in dry year was 60 403 000 and 24 337 000 m^3 respectively, in average year 57 146 000 and 21 538 000 m^3 respectively, in wet year 42 204 000 and 13 314 000 m^3 respectively. **【Conclusion】** Monthly EWR can be obtained by the calculating

* [收稿日期] 2009-06-15

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50879071); 水利部公益性行业科研基金(200801104); 2007 年西北农林科技大学青年学术骨干支持计划

[作者简介] 郝 博(1983—), 女, 内蒙古五原人, 在读硕士, 主要从事生态需水研究。E-mail: haobo621@126.com

[通信作者] 栗晓玲(1968—), 女, 四川开江人, 教授, 博士, 主要从事生态需水与水资源配置研究。E-mail: suxiaoling17@126.com

method of EWR, which was proposed by FAO. Comparing the results with measured results by Heat pulse sap flow sensors, the difference is smaller. So the method is reliable and can be extended to other arid areas.

Key words: ecological water requirement (EWR) for natural vegetation; arid area; water use and configuration; Minqin County

国内外的研究一致认为,退化生态系统恢复与重建的关键在于恢复植被^[1-2]。如何在有限的水资源条件下,给予生态环境合理的需水量,使得生态植被处于良性循环状态,对水资源的合理配置与实现生态可持续发展具有重要意义。国外对于植被生态的研究侧重于大气、土壤、植被之间的生态水文过程^[1]。我国对于植被生态需水的研究多集中在生态比较脆弱的干旱和半干旱地区^[3],主要是对植被生态需水概念和计算方法的研究。目前,我国干旱区植被生态需水研究常采用的方法有直接计算法(定额法)^[4]、间接计算法(潜水蒸发法)^[5]、水量平衡法^[6]和基于遥感与地理信息系统的研究方法^[7]。直接计算法适用于基础工作较好(通过试验容易获得研究区需水定额)的地区与植被类型;间接计算法适用于降水量稀少、植被生长完全依赖于地下水的干旱地区,在工作基础比较差(难以进行试验获取所需数据)且模型参数获取困难时,可以用该方法估算天然植被生态需水^[8];水量平衡法比较适合中小闭合流域生态环境需水的计算,在较大尺度区域上,当生态系统本身的观测数据缺乏或不足时也可采用此法^[9];基于遥感与地理信息系统的研究方法,能够方便地提供大范围的地表特征信息,为大尺度非均匀区域的植被耗水研究提供了新途径^[10]。但以上 4 种方法缺少长序列试验数据的支持和实践验证,其计算结果很少反映生态系统需水量的年际、年内变化,从而限制了这些方法的应用。本研究在弥补上述方法缺点的同时,采用联合国粮农组织(FAO)提出的受破坏非完全覆盖的天然植被生态需水计算方法^[11],对甘肃省民勤县丰、平、枯 3 种降水典型代表年不同类型植被的生态需水量及年内、年际分布进行了计算和分析,以期为民勤县生态用水与经济用水的合理配置提供参考。

1 天然植被生态需水与生态缺水的计算

1.1 天然植被生态需水与生态缺水的定义

天然植被生态需水是指维持植被正常生长所必需消耗的水量;适宜植被生态需水是指在水资源短

缺条件下,保证植被正常生长所需消耗的最小水量;最小植被生态需水是指在水资源短缺条件下,保证植被基本生长所需消耗的最小水量。在适宜和最小植被生态需水量的基础上扣除有效降雨量后,可分别获得植被适宜和最小的生态缺水量。

1.2 基于 FAO 方法的受破坏非完全覆盖植被生态需水定额的计算

植被生态需水受气候、植被和土壤水分等因素的影响,在 FAO 作物系数法的基础上,考虑土壤水分条件限制因素,天然植被生态需水的计算方法如下:

$$ET_p = ET_0 \cdot k_p \cdot k_s \tag{1}$$

式中: ET_p 为植被生态需水定额(mm), ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量(mm), k_p 为植被系数, k_s 为土壤水分限制系数。

1.2.1 参考作物蒸发蒸腾量(ET_0) 采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算参考作物的蒸发蒸腾量(ET_0),即:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \tag{2}$$

式中: Δ 为饱和水汽压与温度曲线的斜率(kPa/℃), R_n 为作物表面的净辐射量(MJ/(m² · d)), G 为土壤热通量(MJ/(m² · d)), γ 为干湿表常数(kPa/℃), t 为平均气温(℃), u_2 为 2 m 高处的平均风速(m/s), e_s 为饱和水汽压(kPa), e_a 为实际水汽压(kPa)。

1.2.2 植被系数(k_p) 在植物生长初期, k_p 主要通过土壤被湿润的频率与月平均 ET_0 确定;而在植物生长后期, k_p 可按生长末期植物的生长状况或叶面积状况(看叶子是否逐渐老化或霜冻而死亡),按一定比例确定。本研究基于实测资料对其进行反推求得 k_p 。在植物生长中期, k_p 的计算公式为:

$$k_p = k_{p\text{mid}} + (0.05 \sim 0.10) \tag{3}$$

其中:

$$k_{p\text{mid}} = k_{p\text{min}} + [k_{p\text{full}} - k_{p\text{min}}] \times \{ \min[1, 2f_p, (f_{peff})^{\frac{1}{1+n}}] \} \tag{4}$$

$$k_{pfull} = k_{p,h} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left[\frac{h_1}{3} \right]^{0.3}, \quad (5)$$

$$f_{peff} = \frac{f_p}{\sin(\eta)}. \quad (6)$$

式中: k_{pmid} 为非完全覆盖条件下的植被系数; k_{pmin} 为植被缺少情况下裸露土壤的最小植被系数(0.15~0.20); k_{pfull} 为全覆盖条件下的植被系数; f_p 为植被覆盖度(0.01~1), 可通过遥感影像解译获取; f_{peff} 为有效植被覆盖度(0.01~1), 利用公式(6)计算; h 为植被高度(m); $k_{p,h}$ 为标准湿润和风速条件下的全覆盖植被系数, 当 $h < 2$ m 时, $k_{p,h} = 1.0 + 0.1h$, 当 $h \geq 2$ m 时, $k_{p,h} \leq 1.2$; u_2 为生长中期植被 2 m 高度处的风速(m/s); RH_{min} 为生长中期的最小相对湿度(%); h_1 为植被平均最大高度(m); η 为太阳角平均值。

1.2.3 土壤水分限制系数(k_s) k_s 采用下式计算^[12]:

$$k_s = \begin{cases} 1, & \theta > \theta_c \\ \frac{\theta - \theta_z}{\theta_c - \theta_z}, & \theta_z \leq \theta \leq \theta_c \\ 0, & \theta < \theta_z \end{cases}. \quad (7)$$

式中: θ 为不同需水等级的土壤含水量(m^3/m^3); θ_c 为土壤临界含水量(m^3/m^3), 一般为田间持水量的 70%~80%, 本研究取 70%; θ_z 为土壤凋萎系数(m^3/m^3)。

1.3 水资源配置中生态缺水定额的计算

植被生态缺水定额采用下式计算:

$$QEW_p = ET_p - P_e. \quad (8)$$

$$P_e = \alpha \cdot P. \quad (9)$$

式中: QEW_p 为植被生态缺水定额(mm); P_e 为生长期内的有效降雨量(mm); α 为降雨入渗系数, 其值与一次降雨量、降雨强度、降雨延续时间、土壤性质、地面覆盖及地形等因素有关, 一般认为, 当降雨量小于 5 mm 时, $\alpha = 0$, 当降雨量在 5~50 mm 时, $\alpha = 1$, 当降雨量大于 50 mm 时, $\alpha = 0.7 \sim 0.8$ ^[13]; P 为生长期内的日降雨量(mm)。

1.4 生态需水量与生态缺水量的计算

植被生态需水量 EWR_p (m^3) 与生态缺水量 SEW_p (m^3) 的计算公式为:

$$EWR_p = ET_p \cdot A_p \cdot 10^{-3}; \quad (10)$$

$$SEW_p = QEW_p \cdot A_p \cdot 10^{-3}. \quad (11)$$

式中: A_p 为不同类型植被的分布面积(m^2), 可根据遥感影像解译得到; QEW_p 为植被的生态缺水定额

(mm)。

2 甘肃省民勤县生态需水与生态缺水的分析计算

根据徐先英等^[14]的研究结果可知, 民勤县植被蒸腾主要发生在 4—10 月, 11 月到次年 3 月植被蒸腾总量很小, 可忽略不计。因此本研究将 4—10 月作为植被生态需水的计算时段。

2.1 不同代表年有效降雨量的年内分布

利用民勤气象站 1961—2008 年近 48 年 4—10 月的降雨资料进行频率分析, 获得降水保证率分别为 50% 的平水年、75% 的枯水年及 25% 的丰水年, 其对应的有效降雨量分别为 64.4、56.4 和 81.4 mm, 有效降雨量的年内分布如图 1 所示。

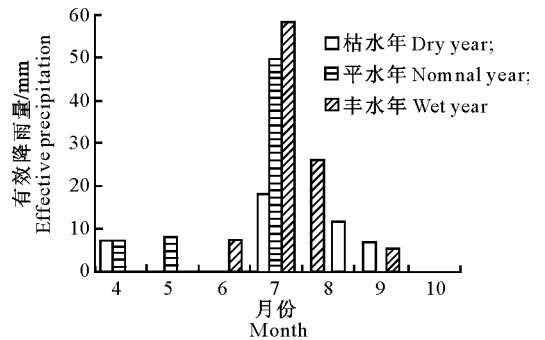


图 1 不同典型代表年 4—10 月有效降雨量的分布

Fig. 1 The distribution of effective precipitation for different typical years from April to October

2.2 天然植被生态需水与生态缺水定额的确定

干旱区植被生长的适宜地下水埋深为 2.5~4.5 m, 即地下水位埋深在 4.5 m 以上时, 土壤水分能基本满足乔、灌木生长需水, 不会发生荒漠化^[15], 因此将 4.5 m 作为植被恢复生长的适宜地下水埋深下限。干旱区植被生长的最小地下水埋深为 4.5~6.0 m, 即当植物处于该水位时, 土壤水分亏缺, 植被开始退化, 受到沙漠化的潜在威胁, 是警戒水位^[15], 因此将 6.0 m 作为保证大部分植被生长基本需求的最小地下水埋深下限。根据西北干旱地区地下水埋深与平均土壤含水量的关系^[16], 当地下水埋深为 4.5 m 时, 平均土壤含水量为 15.5%; 当地下水埋深为 6.0 m 时, 平均土壤含水量为 11.8%。因此, 本研究将 15.5% 和 11.8% 分别作为植被正常生长的适宜土壤含水量和植被基本生长的最小土壤含水量, 然后通过公式(7)计算 k_s 。

2.2.1 天然植被 4—10 月的适宜生态需水定额与最小生态需水定额 不同天然植被 4—10 月的适宜

生态需水定额与最小生态需水定额见表 1,2。由表 1,2 可知,不同类型植被的适宜需水定额和最小需水定额不同,乔木林需水定额最高,其余依次是灌木林、高盖度草地、疏林地、中盖度草地。从植被生态需水的年内分布来看,不同类型植被的生态需水主要集中在 6—8 月份,占各类植被生长期总需水的 65%左右;从植被生态需水的年际分布来看,枯水年需水与平水年相差不大,丰水年需水最小。

表 1 甘肃省民勤县不同类型天然植被 4—10 月的适宜生态需水定额

Table 1 Quota of optimal EWR for different natural vegetations from April to October in Minqin County,Gansu Province										mm
水文年 Hydrological year	植被类型 Vegetation type	适宜生态需水定额 Quota of optimal EWR							合计 Total	
		4	5	6	7	8	9	10		
枯水年 Dry year	乔木林 Arbor forest	14.27	37.00	76.79	92.52	87.91	47.70	12.88	369.08	
	灌木林 Shrub forest	14.27	34.77	69.53	82.51	79.94	43.98	14.72	339.73	
	疏林地 Sparse woodland	14.27	28.03	47.51	54.87	52.17	30.02	12.88	239.75	
	高盖度草地 High grassland	14.27	31.74	59.63	68.88	67.97	36.67	11.04	290.20	
	中盖度草地 Middle grassland	14.27	27.09	44.45	50.18	49.32	27.50	11.04	223.85	
平水年 Normal year	乔木林 Arbor forest	12.70	35.32	75.19	91.54	85.87	51.07	12.61	364.31	
	灌木林 Shrub forest	12.70	33.19	68.02	81.42	78.34	47.16	14.42	335.25	
	疏林地 Sparse woodland	12.70	26.90	46.90	54.23	51.02	32.40	12.61	236.76	
	高盖度草地 High grassland	12.70	30.47	58.89	67.87	66.73	39.60	10.81	287.07	
	中盖度草地 Middle grassland	12.70	26.01	43.89	49.43	48.43	29.70	10.81	220.98	
丰水年 Wet year	乔木林 Arbor forest	13.73	33.28	66.46	68.16	67.55	45.08	14.60	308.86	
	灌木林 Shrub forest	13.73	31.62	61.20	61.67	62.11	42.14	16.69	289.16	
	疏林地 Sparse woodland	13.73	25.49	41.67	40.64	40.25	28.67	14.60	205.06	
	高盖度草地 High grassland	13.73	29.02	52.90	51.90	53.13	35.40	12.52	248.60	
	中盖度草地 Middle grassland	13.73	24.93	39.88	37.87	38.60	26.84	12.52	194.36	

表 2 甘肃省民勤县不同天然植被 4—10 月的最小生态需水定额

Table 2 The quota of minimum EWR for different natural vegetations from April to October in Minqin County,Gansu Province										mm
水文年 Hydrological year	植被类型 Vegetation type	最小生态需水定额 Quota of minimum EWR							合计 Total	
		4	5	6	7	8	9	10		
枯水年 Dry year	乔木林 Arbor forest	7.54	19.56	40.60	48.91	46.48	25.22	6.81	195.12	
	灌木林 Shrub forest	7.54	18.38	36.76	43.62	42.26	23.25	7.78	179.60	
	疏林地 Sparse woodland	7.54	14.82	25.12	29.01	27.58	15.87	6.81	126.75	
	高盖度草地 High grassland	7.54	16.78	31.52	36.41	35.93	19.39	5.84	153.42	
	中盖度草地 Middle grassland	7.54	14.32	23.50	26.53	26.07	14.54	5.84	118.34	
平水年 Normal year	乔木林 Arbor forest	6.72	18.67	39.75	48.39	45.40	27.00	6.67	192.60	
	灌木林 Shrub forest	6.72	17.55	35.96	43.05	41.42	24.93	7.62	177.23	
	疏林地 Sparse woodland	6.72	14.22	24.79	28.67	26.97	17.13	6.67	125.17	
	高盖度草地 High grassland	6.72	16.11	31.13	35.88	35.28	20.93	5.72	151.76	
	中盖度草地 Middle grassland	6.72	13.75	23.21	26.13	25.61	15.70	5.72	116.83	
丰水年 Wet year	乔木林 Arbor forest	7.26	17.59	35.13	36.04	35.71	23.83	7.72	163.28	
	灌木林 Shrub forest	7.26	16.72	32.35	32.60	32.83	22.28	8.82	152.87	
	疏林地 Sparse woodland	7.26	13.48	22.03	21.49	21.28	15.15	7.72	108.41	
	高盖度草地 High grassland	7.26	15.34	27.97	27.44	28.09	18.71	6.62	131.43	
	中盖度草地 Middle grassland	7.26	13.18	21.08	20.02	20.41	14.19	6.62	102.75	

屈艳萍^[17]于 2005 年在中国农业大学石羊河流域农业与生态节水试验站内,选取以新疆杨为乔木代表、以柠条为灌木代表的植被类型,在充分灌水条件下,利用热脉冲法求其单株耗水量,得新疆杨和柠条的蒸发蒸腾量分别为 508.4 和 499.4 mm。本研究采用 2005 年的气象数据,在充分供水的条件下,利用 FAO 的天然植被生态需水计算方法,求得乔木和灌木的蒸发蒸腾量分别为 552.66 和 509.26 mm。将 2 种方法对应的结果进行比较,乔木和灌木蒸发蒸腾量的相对误差分别为 8.7%和 2.0%。导致本研究结果偏大的原因是,屈艳萍进行的耗水试验是从 5 月开始观测,不包括 4 月的耗水,而本研究

在查阅大量资料^[14]后,考虑到 4 月也有少量的蒸发蒸腾量,不可忽略,故需水计算从 4 月开始。因此认为,本研究结果比较可靠。

2.2.2 天然植被 4—10 月的适宜生态缺水定额与最小生态缺水定额 表 3,4 分别给出了不同类型天然植被 4—10 月的适宜生态缺水定额与最小生态缺水定额。由表 3,4 可知,不同类型植被的适宜生态缺水定额与最小生态缺水定额不同,乔木林缺水最严重,其余依次是灌木林、高盖度草地、疏林地、中盖

度草地。从植被生态缺水的年内分布来看,枯水年缺水主要集中在 6—8 月;平水年与丰水年缺水主要集中在 6 月和 8 月,这主要是由于不同类型植被的生态需水主要集中在 6—8 月,而降雨主要集中在 7 月,6 月和 8 月很少,从而导致 6 月和 8 月缺水较严重,7 月缺水较轻,甚至不缺。从植被生态缺水的年际分布来看,丰水年缺水最少,平水年次之,枯水年最大,这是由于丰、平水年有效降雨量高于枯水年所致。

表 3 甘肃省民勤县不同天然植被 4—10 月的适宜生态缺水定额
Table 3 The quota of optimal SEW for different natural vegetations from April to October in Minqin County,Gansu Province

水文年 Hydrological year	植被类型 Vegetation type	适宜生态缺水定额 Quota of optimal SEW							合计 Total
		4	5	6	7	8	9	10	
枯水年 Dry year	乔木林 Arbor forest	7.37	37.00	76.79	74.92	62.31	41.40	12.88	312.68
	灌木林 Shrub forest	7.37	34.77	69.53	64.91	54.34	37.68	14.72	283.33
	疏林地 Sparse woodland	7.37	28.03	47.51	37.27	26.57	23.72	12.88	183.35
	高盖度草地 High grassland	7.37	31.74	59.63	51.28	42.37	30.37	11.04	233.80
	中盖度草地 Middle grassland	7.37	27.09	44.45	32.58	23.72	21.20	11.04	167.45
平水年 Normal year	乔木林 Arbor forest	5.40	27.32	75.19	42.44	85.87	51.07	12.61	299.91
	灌木林 Shrub forest	5.40	25.19	68.02	32.32	78.34	47.16	14.42	270.85
	疏林地 Sparse woodland	5.40	18.90	46.90	5.13	51.02	32.40	12.61	172.36
	高盖度草地 High grassland	5.40	22.47	58.89	18.77	66.73	39.60	10.81	222.67
	中盖度草地 Middle grassland	5.40	18.01	43.89	0.33	48.43	29.70	10.81	156.58
丰水年 Wet year	乔木林 Arbor forest	13.73	33.28	59.36	10.46	56.35	39.68	14.60	227.46
	灌木林 Shrub forest	13.73	31.62	54.10	3.97	50.91	36.74	16.69	207.76
	疏林地 Sparse woodland	13.73	25.49	34.57	0.00	12.00	23.27	14.60	123.66
	高盖度草地 High grassland	13.73	29.02	45.80	0.00	36.13	30.00	12.52	167.20
	中盖度草地 Middle grassland	13.73	24.93	32.78	0.00	7.57	21.44	12.52	112.96

表 4 甘肃省民勤县不同天然植被 4—10 月的最小生态缺水定额
Table 4 The quota of minimum SEW for different natural vegetations from April to October in Minqin County,Gansu Province

水文年 Hydrological year	植被类型 Vegetation type	最小生态缺水定额 Quota of minimum SEW							合计 Total
		4	5	6	7	8	9	10	
枯水年 Dry year	乔木林 Arbor forest	0.64	19.56	40.60	31.31	20.88	18.92	6.81	138.72
	灌木林 Shrub forest	0.64	18.38	36.76	26.02	16.66	16.95	7.78	123.20
	疏林地 Sparse woodland	0.64	14.82	25.12	11.41	1.98	9.57	6.81	70.35
	高盖度草地 High grassland	0.64	16.78	31.52	18.81	10.33	13.09	5.84	97.02
	中盖度草地 Middle grassland	0.64	14.32	23.50	8.93	0.47	8.24	5.84	61.94
平水年 Normal year	乔木林 Arbor forest	0.00	10.09	39.75	0.00	44.69	27.00	6.67	128.20
	灌木林 Shrub forest	0.00	8.96	35.96	0.00	35.36	24.93	7.62	112.83
	疏林地 Sparse woodland	0.00	5.64	24.79	0.00	6.54	17.13	6.67	60.77
	高盖度草地 High grassland	0.00	7.52	31.13	0.00	22.06	20.93	5.72	87.36
	中盖度草地 Middle grassland	0.00	5.17	23.21	0.00	2.64	15.70	5.72	52.43
丰水年 Wet year	乔木林 Arbor forest	7.26	17.59	28.03	0.00	2.84	18.43	7.72	81.88
	灌木林 Shrub forest	7.26	16.72	25.25	0.00	0.00	13.41	8.82	71.46
	疏林地 Sparse woodland	7.26	13.48	14.93	0.00	0.00	0.00	0.00	35.66
	高盖度草地 High grassland	7.26	15.34	20.87	0.00	0.00	0.00	6.56	50.03
	中盖度草地 Middle grassland	7.26	13.18	13.98	0.00	0.00	0.00	0.00	34.42

2.3 天然植被生态需水量与生态缺水量的计算
利用 2000 年 1 : 10 万土地利用/土地覆被数

据,解译获取的民勤县乔木林、灌木林、疏林地及高、中盖度草地的面积分别为 1 349, 6 711,12 454,

1 264和6 797 hm²^[18]。结合不同类型植被生态需水定额与生态缺水定额,取求不同类型天然植被的生态需水量与生态缺水量。

2.3.1 天然植被适宜生态需水量与最小生态需水量分析 民勤县枯、平、丰水年天然植被的适宜生态需水量及最小生态需水量计算结果如表5所示。由

表5 甘肃省民勤县不同类型天然植被适宜与最小的生态需水量分析
Table 5 Analysis of different natural vegetations of optimal and minimum
EWR in Minqin County, Gansu Province

植被类型 Vegetation type	枯水年 Dry year		平水年 Normal year		丰水年 Wet year	
	适宜 Optimal	最小 Minimum	适宜 Optimal	最小 Minimum	适宜 Optimal	最小 Minimum
乔木林 Arbor forest	497.9	263.2	491.5	259.8	416.7	220.3
灌木林 Shrub forest	2 279.9	1 205.3	2 249.9	1 189.4	1 940.5	1 025.9
疏林地 Sparse woodland	2 985.8	1 578.5	2 948.6	1 558.8	2 553.8	1 350.1
高盖度草地 High grassland	366.8	193.9	362.9	191.8	314.2	166.1
中盖度草地 Middle grassland	1 521.5	804.4	1 502.0	794.1	1 321.1	698.4
合计 Total	7 652.0	4 045.3	7 554.9	3 994.0	6 546.3	3 460.8

2.3.2 天然植被适宜生态缺水量与最小生态缺水量分析 民勤县丰、平、枯水年天然植被的适宜生态缺水量及最小生态缺水量计算结果如表6所示。由表6可知,枯、平、丰代表年的适宜生态缺水量分别为6 040.3万,5 714.6万,4 220.4万 m³,平、丰水

表5可知,民勤县植被适宜和最小的生态需水量年际变化遵循同样的规律,丰水年需水量最小,枯水年需水量最大,平水年与枯水年需水量接近。对于适宜与最小生态需水,草地(包括高盖度草地和中盖度草地)生态需水量占总需水量的24.7%,林地(包括乔木林、灌木林、疏林地)占75.3%。

年缺水量比枯水年分别减少5.4%和30.1%;枯、平、丰代表年的最小生态缺水量分别为2 433.7万,2 153.8万,1 331.4万 m³,平水年比枯水年减少11.5%,而丰水年比枯水年减少45.3%,这是由于平、丰水年的有效降雨量大于枯水年所致。

表6 甘肃省民勤县不同类型天然植被适宜与最小的生态缺水量分析
Table 6 Analysis of different natural vegetations of optimal and minimum SEW
in Minqin County, Gansu Province

植被类型 Vegetation type	枯水年 Dry year		平水年 Normal year		丰水年 Wet year	
	适宜 Optimal	最小 Minimum	适宜 Optimal	最小 Minimum	适宜 Optimal	最小 Minimum
乔木林 Arbor forest	421.8	187.1	404.6	172.9	306.8	110.5
灌木林 Shrub forest	1 901.4	826.8	1 817.7	757.2	1 394.3	479.6
疏林地 Sparse woodland	2 283.4	876.1	2 146.6	756.8	1 540.1	444.2
高盖度草地 High grassland	295.5	122.6	281.5	110.4	211.3	63.2
中盖度草地 Middle grassland	1 138.2	421.0	1 064.3	356.4	767.8	233.9
合计 Total	6 040.3	2 433.7	5 714.6	2 153.8	4 220.4	1 331.4

3 结论与讨论

1)本研究采用FAO提出的受破坏非完全覆盖的天然植被生态需水的计算方法,对甘肃省民勤县不同类型植被的生态需水情况进行了计算,结果与屈艳萍^[17]通过热脉冲法所得结果差异较小,说明该方法的计算结果基本可靠。因此,通过长系列的降雨资料选定丰、平、枯代表年,根据气象资料和土壤水分资料可得到不同代表年的生态需水定额,该方法在实测资料缺乏的干旱地区有一定的推广应用价值。

2)本研究在求土壤水分限制系数时,仅根据相关研究^[15-16]粗略地确定了适宜、最小土壤含水量,缺乏土壤水分实测数据;在求植被系数时,植被覆盖度

取遥感影像解译后获得的植被覆盖范围内的平均值,这对结果的准确性有一定影响。因此建议,在进行此类研究时,应尽可能通过试验获得实测土壤水分数据,利用NDVI指数较准确地计算植被覆盖度,并利用空间分析软件深入研究尺度转换问题,以期获得更为准确、客观的研究结果。

[参考文献]

[1] Rodriguez-Iturbe I, Porporato A, Laio F, et al. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress-(I) Scope and general outline [J]. Advances in Water Resources, 2001, 24: 695-705.
[2] 夏哲超,潘志华,安萍莉.生态恢复目标下的生态需水内涵探讨 [J]. 中国农业资源与区划, 2007, 28(4): 5-8.
Xia Z C, Pan Z H, An P L. Discussion on the connotation of ec-

- ological water requirement under the target of ecological recovery [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2007, 28(4): 5-8. (in Chinese)
- [3] 何永涛, 闵庆文, 李文华. 植被生态需水研究进展及展望 [J]. 资源科学, 2005, 27(4): 8-13.
He Y T, Min Q W, Li W H. Progress and perspectives on ecological water requirement of vegetation [J]. Resources Science, 2005, 27(4): 8-13. (in Chinese)
- [4] 杨爱民, 唐克旺, 王 浩, 等. 生态用水的基本理论与计算方法 [J]. 水利学报, 2004(12): 39-45.
Yang A M, Tang K W, Wang H, et al. Theory and calculation method of ecological water use [J]. Journal of Water Resources, 2004(12): 39-45. (in Chinese)
- [5] Su X L, Kang S Z. Study on ecological water requirement of Shiyang River basin [M]//Cheng G D, Lei Z D, Lsrs B. Proceedings of the international symposium on sustainable water resources management and oasis-hydrosphere-desert interaction in arid regions. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 309-317.
- [6] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵小流域植被生态用水评价 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 152-155.
Huang Y L, Chen L D, Fu B J, et al. Assessment on vegetation ecological water consumption in Gully Catchment of Loess Plateau, China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(2): 152-155. (in Chinese)
- [7] 张 丽, 董增川, 赵 斌. 干旱区天然植被生态需水量计算方法 [J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 745-748.
Zhang L, Dong Z C, Zhao B. Method for estimating ecological water requirement of natural vegetation in arid area [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(6): 745-748. (in Chinese)
- [8] 魏 国, 何俊士, 武立强. 生态环境需水计算方法 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(17): 4386-4388, 4390.
Wei G, He J S, Wu L Q. Research on the calculating method eco-environmental water demand [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2006, 34(17): 4386-4388, 4390. (in Chinese)
- [9] 胡广录, 赵文智, 谢过勋. 干旱区植被生态需水理论研究进展 [J]. 地球科学进展, 2008, 23(2): 193-198.
Hu G L, Zhao W Z, Xie G X. Advances on theories of ecological water requirements of vegetation in arid area [J]. Advance in Earth Science, 2008, 23(2): 193-198. (in Chinese)
- [10] 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.
Hu G L, Zhao W Z. Reviews on calculating methods of vegetation ecological water requirement in arid and semiarid regions [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6282-6291. (in Chinese)
- Chinese)
- [11] Allen R G, Smith M, Perrira L S, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- [12] 杨志峰, 刘静玲, 孙 涛, 等. 流域生态需水规律 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 27-30.
Yang Z F, Liu J L, Sun T, et al. Environmental flows in basins [M]. Beijing: Science Press, 2006: 27-30. (in Chinese)
- [13] 史海滨, 田军仓, 刘庆华. 灌溉排水工程学 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 47-51.
Shi H B, Tian J C, Liu Q H. Irrigation and drainage engineering [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2006: 47-51. (in Chinese)
- [14] 徐先英, 丁国栋, 赵 明, 等. 内陆河下游民勤绿洲主要防风固沙植被生态需水量研究 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 144-148.
Xu X Y, Ding G D, Zhao M, et al. Ecological water requirement of major sand shifting control forests in Minqin oasis of lower reaches of inland river [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(3): 144-148. (in Chinese)
- [15] 郑 丹, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 干旱区地下水与天然植被关系研究综述 [J]. 资源科学, 2005, 27(4): 160-167.
Zheng D, Li W H, Chen Y P, et al. Relations between groundwater and natural vegetation in the arid zone [J]. Resources Science, 2005, 27(4): 160-167. (in Chinese)
- [16] 郭占荣, 刘花台. 西北内陆盆地天然植被的地下水生态埋深 [J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 157-161.
Guo Z R, Liu H T. Study on groundwater ecological depth of natural vegetation in Northwest inland basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2005, 19(3): 157-161. (in Chinese)
- [17] 屈艳萍. 石羊河流域三种典型人工种植防风固沙植物的耗水规律研究 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
Qu Y P. Water consumption of three typical irrigated plants for wind sheltering and sand fixation in the Shiyang River Basin [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2006. (in Chinese)
- [18] 栗晓玲. 石羊河流域面向生态的水资源合理配置理论与模型研究 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
Su X L. Theory and model of water resources rational allocation based on the ecology in the Shiyang River Basin [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2007. (in Chinese)