

黄河三角洲植被需水量估算

郑世武 拾 兵

(中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要 提出了在缺测日照资料条件下采用彭曼-蒙特斯公式对黄河三角洲植被需水量进行估算的研究方法。计算结果表明,黄河三角洲 1 月份是植被需水量的低值期,峰值出现在 6~8 月份,多年平均植被需水量为 7.57 亿 m³。该计算结果与用遥感方法计算得到的多年平均植被需水量 7.19 亿 m³ 的相对误差仅 5%,由此看来,笔者的计算结果符合精度要求,可以满足实际需要。

关键词 彭曼-蒙特斯公式 蒸散发 植被需水量 黄河三角洲

中图分类号 X171.4 **文献标识码** B **文章编号** 1006-764X(2009)S1-0090-04

植被生态需水涉及生态学、水文学、气象学等学科。从生态系统的观点来看,植被生态需水就是为了保证植被能够正常生长、发育,并确保其生态服务功能得到正常发挥而必须消耗的一部分水量;而从恢复和重建生态环境的目的来看,植被生态需水是指能够满足生态系统植被基本生长需求的最小生态需水量和使其生长达到不同恢复和重建目标的适宜生态需水量^[1]。目前植被生态需水量的计算方法有面积定额法^[2-3]、土壤含水量定额法^[4-5]、水量平衡方程法^[6]、基于遥感技术的计算法^[7-8]、彭曼-蒙特斯(Penman-Monteith)公式法^[9]。笔者试图采用彭曼-蒙特斯公式法估算黄河三角洲植被生态需水量,分析植被需水量在植被不同生长期内的变化,旨在有效保护黄河三角洲的生态环境。

1 研究区域概况

1.1 自然概况

黄河三角洲位于山东省东营市的黄河入海口处,东靠莱州湾,地理坐标为东经 118°33′~119°20′,北纬 37°15′~38°12′。属于大陆性气候,年平均气温为 12.6℃,年平均降水量为 539~582 mm。黄河三角洲自然保护区位于黄河入海口处,总面积为 1 530 km²,是世界上土地面积自然增长最快的自然保护区,也是我国暖温带最年轻、最广阔、保存最完整及面积最大的河口新生湿地生态系统。

1.2 植被概况

黄河三角洲属北温带落叶阔叶林带,森林覆盖

率约为 4%,自然植被为草甸植被,尤以盐生草甸占显著地位,群落优势种主要有白茅、芦苇、璋茅、翅碱蓬等。芦苇沼泽是黄河三角洲最大的沼泽植被类型,面积达 327.72 km²,三角洲的芦苇沼泽主要有以下几种情况:一是生长在黄河现行流路的两侧,这一带经常被泛滥的黄河水漫滩。土壤为沼泽土,含盐量很低,植株生长良好,可高达 2 m 以上,从而形成单优势群落,盖度达 90% 以上,伴生有少量的香蒲等植物。二是生长在黄河防洪坝以内的广大地区,这一带成长年积水或季节积水,土壤的含盐量较高,芦苇生长力降低,植株高 1.5 m 左右,但是盖度仍然较高,达 85% 以上,伴生植物有少量的中华补血草等杂草。三是生长在近海滩涂上,土壤的含盐量较高,达 0.8%~2.0%,这一带芦苇生长力较低,盖度也较低,在 60% 以上,伴生植物主要有怪柳、碱蓬、璋茅等较为耐盐的植物^[10]。

2 植物需水计算方法

植物需水受到气候状况、植被状况和土壤水分状况 3 种条件的影响。彭曼-蒙特斯方法以能量平衡和水汽扩散理论为基础,既考虑了植物的生理特征,又考虑了空气动力学参数的变化,具有较充分的理论依据和较高的计算精度。Monteith 等在 Penman 的工作基础上提出了以能量平衡和水汽扩散理论为基础的彭曼-蒙特斯公式,它既考虑了空气动力项和辐射项的作用,又涉及作物的生理特征。该方法在理论上比较成熟完整,实际上具有很好的操作性。

针对我国目前对植物特别是天然植物生态需水量计算方法研究还比较薄弱的实际情况,利用该方法可以近似计算植被生态需水量。该法是通过计算植物潜在腾发量来推算植物实际需水量,并以植物实际需水量作为植被生态需水量^[11]。计算公式如下:

$$W_p = E_p A_p = (ET_0 K_c K_s) A_p \quad (1)$$

式中: W_p 为植物需水, mm^3 ; E_p 为植物蒸散量, mm ; A_p 为植被分布面积, m^2 ; ET_0 为参考植物潜在蒸散量, mm ; K_c 为植物系数; K_s 为土壤水分限制系数。

2.1 参考植物蒸散量 ET_0

按照彭曼-蒙特斯方程的要求,FAO 修改的参照腾发量的定义为:参照腾发量为一种假想的参照作物冠层的腾发速率,假设作物高度为 0.12 m,固定叶面阻力为 70 s/m,反射率为 0.23,非常类似于表面开阔、高度一致、生长旺盛、完全遮盖地面而不缺水的绿色草地的蒸腾和蒸发量,用日气象数据计算参照植物腾发量的彭曼-蒙特斯方程为

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (2)$$

式中: Δ 为气温 T 时的饱和水汽压曲线斜率, $\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$; R_n 为冠层太阳净辐射, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; G 为土壤热通量, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; γ 为干湿常数, $\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$; T 为月平均气温, $^{\circ}\text{C}$; U_2 为 2 m 高处的风速, m/s ; e_s 为 T 气温下的饱和水汽压, kPa ; e_d 为实际水汽压, kPa ; $e_s - e_d$ 为饱和水汽压差, kPa 。

式(2)中各项的计算公式如下:

a. 饱和水汽压温度斜率 Δ :

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T + 237.3)^2} = \frac{2504}{(T + 237.3)^2} \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right) \quad (3)$$

b. 饱和水汽压 e_s :

$$e_s = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T}{T + 237.3}\right) \quad (4)$$

c. 干湿常数 γ :

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} \times 10^{-3} = 0.00163 \frac{P}{\lambda} \quad (5)$$

式中: c_p 为空气质量定压热容, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$; P 为气压, kPa ; ϵ 为水汽分子量对于干空气分子量之比,取值 0.622; λ 为汽化潜热,取 $2.45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

d. 饱和水汽压差 $e_s - e_d$:

$$e_s - e_d = \frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2} - e_d \quad (6)$$

式中: $e_s(T_{\max})$ 为日最高温度时的饱和水汽压, kPa ; $e_s(T_{\min})$ 为日最低温度时的饱和水汽压, kPa 。

e. 冠层净辐射 R_n :

$$R_n = (1 - \alpha) R_s - R_{nl} \quad (7)$$

式中: R_s 为到达地表的短波净辐射, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; R_{nl} 为净地表长波辐射, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; α 为地表辐射率,一般取值 0.25。

f. 土壤热通量 G :

$$G = 0.14 (T_{\text{monthn}} - T_{\text{monthn-1}}) \quad (8)$$

在华北地区,对 ET_0 影响最大的气象要素是太阳辐射,其次是气温,风速的影响与其他气象要素相比是最小的。 ET_0 对气温的敏感性受基础温度影响,在气温较低的月份对 ET_0 的影响比较大。在气温数据缺测条件下 ET_0 可以进行近似计算^[12]。

由于日最高气温和最低气温之差与当天的云量有关,而云量是影响太阳辐射的主要因素,Hargreaves 首先提出最高气温和最低气温之差与太阳辐射的关系,Allen 等修正了 Hargreaves 方程,得到下列关系式:

$$R_s = K_r (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} R_a \quad (9)$$

式中: R_s 为补差的太阳辐射, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; R_a 为外空辐射, $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; $T_{\max}$ 为最高气温, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\min}$ 为最低气温, $^{\circ}\text{C}$; K_r 为调节系数, $^{\circ}\text{C}^{1/2}$,对内陆地区通常取 0.17,而沿海地区为 0.19。

当湿度资料缺测或数据可靠性有问题时,实际水汽压 e_d 可用最低气温 $T_{\min}$ 近似计算:

$$e_d = e^0 T_{\min} = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_{\min}}{T_{\min} + 237.3}\right) \quad (10)$$

式(10)的基本假定条件是 $T_{\min}$ 近似等于露点温度 T_{dew} ,即当夜间气温降至最低时,空气湿度接近饱和,这对地表有草覆盖的气象站,大多数时期内是能够满足的。

2.2 植物系数 K_c

K_c 一般包括生长期和非生长期 2 种。非生长期的 K_c 一般都小于 0.4,如果有地表覆盖,参数取值则要高一些。生长期的 K_c 可采用式(11)进行计算:

$$K_c = K_{cb} + 0.05 \quad (11)$$

式中: K_{cb} 为非全覆盖条件下的基本植物系数。

2.3 土壤水分限制常数 K_s

土壤水分限制常数 K_s 为土壤水分条件对蒸散的影响函数,可根据式(12)计算:

$$K_s = \frac{S_w - P_w}{L_w - P_w} \quad (12)$$

式中: S_w 为不同需水等级下的土壤水分含量, $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$; L_w 为土壤临界含水量, $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$; P_w 为土壤凋萎湿度, $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 。

3 计算结果与分析

笔者已有黄河三角洲河口、垦利 2 个气象站的 2003 年和 2004 年逐日气温和风速资料,缺失资料利用修正公式进行近似计算。在生长期内取 $K_c = 0.85$,在非生长期内取 $K_c = 0.4$ 。按经验选取 $K_s = 0.7$ 。按本文计算方法,编程计算得到河口站和垦利站年平均蒸散量分别为 1111.5 mm 和 1130.5 mm,两站平均蒸散量为 1121 mm。黄河三角洲 2003 年和 2004 年平均植被需水量为 667 mm,生长期内平均需水量 $ET_{\text{生长}} = 525 \text{ mm}$,非生长期内平均需水量 $ET_{\text{非}} = 142 \text{ mm}$ 。黄河三角洲的陆地面积为 1135 km²,由此可以估算得到黄河三角洲植被需水量 $ET = 7.57 \text{ 亿 m}^3$ 。计算结果列于图 1 和表 1。

张长春^[13]采用 SEBS 模型,利用 NOAA 数据对黄河三角洲进行蒸散发研究,得到了垦利站的逐月蒸散发量。本文结果与其进行比较(见图 1),可以看出两者变化趋势基本相同,张长春计算得垦利年蒸散发量为 902.00 mm,笔者的结果与其误差为 16.9%。11 月到翌年 3 月份的误差为 42.1%。4~10 月的平均误差为 7%。这主要是由于 ET_0 对气温的敏感性受基础温度影响,在气温较低的月份温度变化对 ET_0 的影响比较大。另外张长春^[14]还利用遥感方法计算了黄河三角洲最大植被需水量为 7.19 亿 m³,该结果与笔者的计算结果相差 5%,由此看来,笔

者的计算结果符合精度要求,可以满足实际需要。

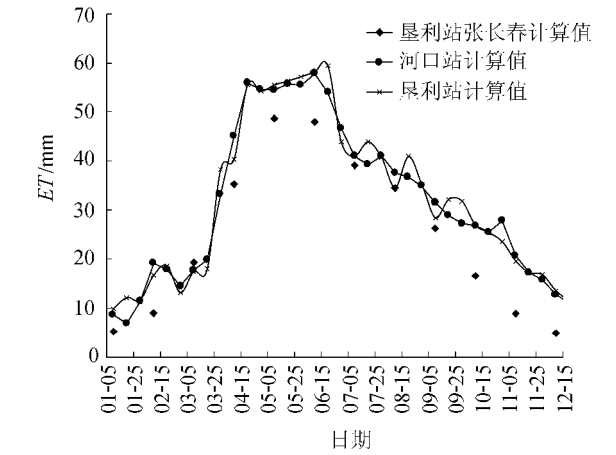


图 1 旬平均蒸散量 ET_0 与张长春研究成果对比

4 结 语

运用彭曼-蒙特斯公式对黄河三角洲一个完整年度内的植被需水量进行了估算,结果表明全年 $ET = 667 \text{ mm}$,日均 $ET = 1.8 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在缺失日照资料条件下运用彭曼-蒙特斯公式进行植物需水量的估算结果与基于遥感方法计算的植被需水量结果相比较,误差仅为 5%。运用遥感技术进行植被需水量计算是一种新兴的计算方法^[15],但同时具有工作量大、技术复杂、不易操作的特点。虽然彭曼公式有些缺陷,但由于简单、实用,在精度要求不是很高的条件下仍为植被需水量计算的一种常规方法。

表 1 黄河三角洲植被需水量计算成果

月份	旬	e_s		e_d		Δ		γ		ET_0/mm		ET 平均/ mm
		河口	垦利	河口	垦利	河口	垦利	河口	垦利	河口	垦利	
4 月	上	1.50	1.48	1.16	1.14	0.10	0.10	0.0674	0.0673	45.23	40.42	25.48
	中	1.88	1.86	1.09	1.06	0.12	0.12	0.0674	0.0673	55.88	55.56	33.15
	下	2.09	2.08	1.53	1.32	0.13	0.13	0.0674	0.0673	54.64	54.27	32.40
5 月	上	2.16	2.20	1.43	1.43	0.135	0.14	0.0674	0.0673	54.45	55.51	32.71
	中	2.25	2.34	1.84	1.98	0.14	0.15	0.0674	0.0673	55.78	56.32	33.35
	下	2.84	2.67	2.55	2.46	0.17	0.16	0.0674	0.0673	55.45	57.21	33.52
6 月	上	2.89	3.02	2.38	2.47	0.17	0.18	0.0674	0.0673	57.8	58.2	34.51
	中	2.97	3.08	2.24	2.23	0.18	0.19	0.0674	0.0673	54.01	59.46	33.76
	下	3.01	3.13	2.53	2.58	0.18	0.19	0.0674	0.0673	46.73	43.89	26.96
7 月	上	3.44	3.37	3.00	2.88	0.20	0.20	0.0674	0.0673	40.93	41.06	24.39
	中	3.02	2.99	2.57	2.44	0.18	0.18	0.0674	0.0673	39.27	43.94	24.75
	下	3.71	3.73	3.17	3.18	0.217	0.22	0.0674	0.0673	41.05	40.72	24.33
8 月	上	3.50	3.64	3.13	3.26	0.206	0.21	0.0674	0.0673	37.58	34.57	21.46
	中	3.18	3.17	2.73	2.63	0.189	0.18	0.0674	0.0673	36.69	40.95	23.09
	下	3.25	3.30	2.52	2.43	0.194	0.20	0.0674	0.0673	34.88	35.22	20.85
9 月	上	2.54	2.48	2.32	2.25	0.16	0.15	0.0674	0.0673	31.52	28.42	17.83
	中	2.73	2.75	2.37	2.31	0.165	0.17	0.0674	0.0673	28.84	32.17	18.15
	下	2.38	2.40	1.98	1.96	0.146	0.147	0.0674	0.0673	27.23	31.76	17.55
10 月	上	1.98	2.01	1.64	1.66	0.13	0.13	0.0674	0.0673	26.83	26.92	15.99
	中	1.45	1.16	1.19	1.60	0.09	0.09	0.0674	0.0673	25.49	25.41	15.14
	下	1.56	1.10	1.15	1.42	0.10	0.10	0.0674	0.0673	27.79	23.56	15.28

参考文献：

[1]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):8-12.

[2]栗晓玲,康绍忠.生态需水的概念及其计算方法[J].水科学进展,2003,14(6):740-744.

[3]贾宝全,慈龙骏.新疆生态用水量的初步估算[J].生态学报,2000,20(2):243-250.

[4]张远,杨志峰.黄淮海地区林地最小生态需水量研究[J].水土保持学报,2002,16(2):72-75.

[5]冯宝平,张展羽,陈守伦.生态环境需水量计算方法研究现状[J].水利水电科技进展,2004,24(6):59-62.

[6]杨志峰,崔保山.生态环境需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.

[7]王芳,王浩,陈敏建,等.中国西北地区生态需水研究(2)——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.

[8]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.

[9]卞戈亚,周明耀,朱春龙.生态需水量计算方法研究现状及展望[J].水资源保护,2003,19(6):46-49.

[10]吴大千.黄河三角洲植被覆被分布特征及其动态变化研究[D].济南:山东大学,2007.

[11]李春梅,高素华.我国北方半干旱区草地水分供需状况研究[J].干旱区研究,2004,21(4):338-342.

[12]刘钰,PEREIRA L S.气象数据缺失条件下参照腾发量的计算方法[J].水利学报,2001(3):12-17.

[13]张长春,王晓燕,邵景力.利用 NOAA 数据估算黄河三角洲区域蒸散量[J].资源科学,2005,27(1):86-91.

[14]张长春,王光谦,魏加华.基于遥感方法的黄河三角洲生态需水量研究[J].水土保持学报,2005(2):149-152.

[15]奚歌,刘绍民,贾立.黄河三角洲湿地蒸散量与典型植被的生态需水量[J].生态学报,2008,28(11):5355-5358.

(收稿日期:2008-12-09 编辑:高建群)

(上接第87页)

- c. 确定 n 值:该水库坝址以上河流比降为 $i = 1.64\%$ 取 $n = 0.5$ 。
- d. 确定 R_p 值:取 $R_p = 26.98$ 万 m^3 。
- e. 确定 W_1 值:根据文献[3]公式可得 $W_1 = 5.184$ 万 m^3 。
- f. 确定 W_k 值:根据文献[3]公式可得 $W_k = 3611.9$ 万 m^3 。
- g. 计算水库使用年限:将水库死库容淤满年限作为水库使用年限,根据文献[3]公式可得 $T \approx 69.44$ a。

水库达到极限淤积时的使用年限,同样也可根据文献[3]公式得出 $T \approx 696.74$ a。

3.5 乌拉泊水库淤积计算公式的确定

经过上述计算,结合乌拉泊水库多年实际淤积的测算对比,多年平均库容淤损率法比较适合乌拉泊水库淤积计算。理由如下:①乌拉泊水库淤积经过实测,多年平均来沙量为 31.3 万 t,即为 23.89 万 m^3 ($\rho = 1.31 t/m^3$) 运行 47 a 总淤积量约为 1122.98 万 m^3 ,而利用多年平均库容淤损率法得 $W_T = 954.1$ 万 m^3 ,两者比较接近;②用多年平均库容淤损率法算得乌拉泊水库使用年限为 344.8 a,根据实测资料得 47 a 水库淤积总量为 1131.76 万 m^3 ,344.8 a 相当于 7.3 个 47 a,淤积满年限的总淤积量约为 8261.85 万 m^3 ,而利用多年平均库容淤损法得 $W_T = 6999.44$ 万 m^3 ,两者比较接近;③乌拉泊水库具有防洪任务,并且主要保护对象是乌鲁木齐市,淤积年限更长一些比较好;④其他方法各有优点,但不适合乌拉泊水库。

4 乌拉泊水库淤积处理措施

对乌拉泊水库淤积计算进行研究,主要是掌握其淤积年限或使用年限,以便更好地发挥乌拉泊水库的工程效益。就目前水库的淤积情况提出以下处理措施:

- a. 尽可能减少水库入库的泥沙。①对乌拉泊水库周围进行水土保持;②水库上游河道拦沙;③在水库上游 29 km 排洪口排泄高含沙量的径流。
- b. 尽可能减少乌拉泊水库的淤积。①在主汛期利用洪水将挟带泥沙的洪水排出水库;②水库异重流排沙。
- c. 乌拉泊水库清淤。采用疏浚或机械方式排沙清淤,此工程正在施工中,计划用 3.5 a 的时间完成。

参考文献：

[1]张润杰.乌拉泊水库淤积现状及存在问题与解决途径[J].水利建设与管理,2009(2):54-55.

[2]华东水利学院.水工设计手册第二卷 地质 水文 建筑材料[M].北京:水利电力出版社,1984:136-138.

[3]长江流域规划办公室水文处.水利工程实用水文水利计算[M].北京:水利出版社,1980:257-260.

(收稿日期:2009-03-17 编辑:高建群)

