

黑河流域不同生育期生态用水量变化分析^[20]

张 杰¹, 李栋梁²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 根据不同农作物、森林等植被的生物学特性, 采用张掖和额济纳旗的气象资料, 估算了3~10月各旬平均的作物生态需水量, 分析了张掖人工绿洲近20 a来主要农作物的种植面积和灌溉面积、作物以及下游天然绿洲的生态需水量的生育期变化。结果表明, 绿洲产业结构调整的结果是, 经济作物种植面积有所增加, 粮食作物种植面积下降了26.6%。通过对黑河流域中游人工绿洲和下游天然绿洲逐旬生态需水量的估算发现, 人工绿洲的主要粮食作物小麦、玉米与下游天然绿洲的生态需水量在生育期上不同步, 小麦、玉米需水高峰分别在6月中旬和8月中旬, 用水量分别为6.14 mm/d和8.6 mm/d; 天然绿洲的需水高峰出现在8月下旬, 为8 mm/d。张掖人工绿洲的区域平均生态需水量高峰在6月中旬, 为6.37 mm/d, 天然绿洲的需水高峰在8月下旬, 区域最大需水量为6.06 mm/d。对于整个流域, 最大需水量高峰在6月中下旬, 为6.03 mm/d。中游人工绿洲与下游天然绿洲生态用水的时间差, 为水资源的合理调配提供科学依据。

关键词: 黑河流域; 生态需水量; 生育期; 人工绿洲; 天然绿洲

中图分类号: S181:P33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)01-0164-05

生态环境是人类赖以生存和发展的空间, 而水资源是生态环境建设中最重要、不可替代的物质, 区域水文情势则对生态平衡起到重要的调节作用, 特别是在生态比较脆弱的西北干旱区。长期以来, 黑河流域及周边地区的水资源开发利用不当, 造成当地生态环境出现恶化, 表现为土地沙漠化、地表植被退化和死亡、河道断流、湖泊萎缩和干涸^[1~3], 下游河床淤积, 成活的胡杨林面积大大减少^[4], 中游人工绿洲种植面积因水分胁迫受到严重的考验^[5,6], 因此, 合理开发利用有限的流域水资源, 解决水资源供需矛盾, 维持合理的生态环境需水量, 是实现生态可持续发展的主要途径。从广义上讲, 维持全球或区域生物地球化学平衡, 诸如: 水热平衡、汇源动态平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等消耗的水分都是生态需水^[7,8]。黑河流域的森林植被生态用水主要包括: 中游人工绿洲和防护林用水、流域沿线的人工和天然林草及下游的天然胡杨林等的用水。中游的人工绿洲是主要的商品粮基地, 而下游的胡杨林保护又成为目前生态恢复比较关注的问题, 也是黑河流域生态保护的主要对象之一, 这就需要我们节约用水、科学地用水, 达到流域的生态、经济可持续发展。本文针对中游人工绿洲和下游天然绿洲及流域沿线

植被, 分别估算其生育期内逐旬生态需水量, 为黑河调水和合理用水提供一定的参考。

1 计算方法和原理

1.1 张掖绿洲生态用水量估算

目前, 计算蒸散的方法有波文比能量平衡法、空气动力学法、能量平衡—空气动力学阻抗联合法以及水文法等, 其中联合国粮农组织(FAO)推荐penman公式法是计算麦田实际蒸散量比较常用的能量平衡法。吴敬之^[9]将其应用到张掖绿洲蒸散量的计算中, 与我国水文部门研制而成的E601B蒸发器观测结果相比, penman公式计算结果误差较大, 不能应用于干旱地区。根据E601B观测结果建立可能蒸散量与气压饱和差的关系, 结果比较好。本文将采用如下公式^[9]计算蒸散量:

$$ET_0 = 2.415 + 0.341(e_0 - e) \quad (1)$$

其中, ET_0 为最大可能蒸散量(mm/d), e_0 为饱和水汽压(hPa), e 为实际空气水汽压(hPa)。

$$ET = ET_0 \times k_y \quad (2)$$

其中, ET 为作物生态需水量(mm/d), 反映了作物的实际需水状况, k_y 为FAO推荐的作物系数, 随植物种类、植物所处的生长发育阶段、生长季节不同而

取不同的值。根据当地气象要素,将小麦 k_y 值修正为: $k_{in}=0.3, k_{mid}=1.05, k_{end}=0.3478$;将玉米 k_y 值修正为: $k_{in}=0.3, k_{mid}=1.15, k_{end}=0.6$ 。

1.2 黑河下游森林生态需水量的确定

森林植被的生态用水定额是单位面积单位时间森林植被的用水量,可理解为林木需水量,指在水分适宜条件下,林木枝叶生理蒸腾量和土壤蒸发量之和,即蒸散量,森林植被的实际生态需水量是单位面积单位时间实际用水量,用 ET 表示^[10]。本文以英国H·L·彭曼提出的计算蒸发能力(水面蒸发) E_0 的半经验半理论公式为基本依据计算蒸散量。

$$ET_0 = \frac{\gamma \left(\frac{R}{L} \right) + \gamma E_a}{\gamma + \gamma} \quad (3)$$

其中, $\gamma = (e_s - e_a) / (T_s - T_a)$ 为饱和水汽压对温度的导数,即在平均气温 T_a 时饱和水汽压曲线的斜率,是温度的函数,

$$\gamma = 61 \times \frac{7.043}{273+t} \times \frac{4683.11}{(273+t)^2} = \frac{2.012}{(273+t)^3} \times 10^6 \quad (4)$$

R 为辐射平衡,根据英国和瑞典的资料建立的经验公式:

$$R_n = (1 - \alpha) Q_a [0.18 + 0.55 \left(\frac{n}{N} \right) - \sigma_k^4 (0.56 + 0.079 \frac{n}{N}) \times (0.1 + 0.9 \frac{n}{N})] \quad (5)$$

其中, Q_a 是天文辐射, α 是蒸发面反射率, n/N 是日照百分率, σ 是斯蒂芬-波尔兹曼常数, T_k 是以绝对温度表示的气温(K); L 为蒸发潜热(W/m^2); γ 为干湿表常数,数值上等于 $c_p p_a / 0.622 L$, c_p 是定压比热 [$J/(kg \cdot K)$], p_a 为大气压(Pa); E_a 为空气干燥力,它与空气饱和差和道尔顿蒸发风速函数有关。彭曼公式对计算田间可能蒸发量,确定作物需水量和灌溉量有重要意义。黑河下游覆盖度大于25%的植被有胡杨林、河岸灌木、草甸等。FAO没有推出胡杨林等的 k_y 值,本研究根据胡杨林与针叶林的卫星遥感归一化植被指数($NDVI_y, NDEI_z$)特征推算出 k_y 系数,即

$$k_y = \frac{NDVI_y}{NDEI_z} \quad (6)$$

得出胡杨林的系数为 $k_{yin}=0.664, k_{ymid}=0.795, k_{yend}=0.653$ 。

2 结果与分析

2.1 张掖人工绿洲近20 a的种植面积变化

张掖绿洲属于灌溉用水区,图1(a)反应了绿洲

耕地和有效灌溉面积在近20 a内的变化。1980~1990年,面积变化幅度较大,有效灌溉面积在变化中呈现上升趋势,而耕地面积在变化中呈现先下降后上升趋势,从1990年开始,耕地面积和有效灌溉面积基本吻合,保持到4.5747万 hm^2 ,但2000年有所降低,说明1990年以前大部分以河流水源为主,对地下水的开发处于增长阶段,而耕地面积受到水资源的限制,出现较大波动。

耕地面积保持稳定,粮食种植面积呈现大幅度下降,从1980年的4.0707万 hm^2 降到2000年的2.988万 hm^2 ,下降了26.6%;占60%的夏粮面积也明显减少,从1985年的2.444万 hm^2 降到2000年的2.021万 hm^2 ,下降了17.3%。秋粮面积有所增加(图1b),从1984年的1.154万 hm^2 增加到1996年的1.5667万 hm^2 ,增加了35.8%;占夏粮面积92.4%的小麦也明显减少,从1985年的2.44万 hm^2 降到2000年的1.7413万 hm^2 ,下降了28.6%,而占秋粮面积75%的玉米有所增加,从1985年的0.68万 hm^2 增加到1998年的1.252万 hm^2 ,增加了84.1%。

综上所述,张掖人工绿洲主要的粮食作物总面积在下降,而耕地和有效灌溉面积保持不变,说明经济作物面积在增加,如果让这种趋势继续发展,有可能将失去商品粮基地。导致这一变化的原因一方面是水资源的限制,其次是粮食价格太低,促使农业产业结构在不断调整。

2.2 生态需水量估算

根据上述计算,得出农田和胡杨林为主的天然绿洲生长发育阶段3~10月逐旬的作物日生态需水量(图2)。

图2表明,在张掖春小麦的生长发育阶段,作物的生态需水量呈现出单峰型的变化趋势,从播种开始(3月上旬),农田生态需水量为一致的增加趋势,当作物达到抽穗-灌浆阶段,即5月上旬~6月中旬,作物的生态需水量达到最旺盛时期,为5.4~6.14 mm/d,6月中旬达到最大值6.14 mm/d。之后,随着小麦成熟,作物的生态需水量逐渐减少,到7月下旬,小麦生长发育阶段结束,作物生态需水量为0 mm/d。玉米的需水量变化与小麦相一致,但高峰值时间滞后约两个月,8月上旬以前为增加趋势,到8月上旬出现最大值,为8.6 mm/d,之后随着作物的成熟衰老,需水量逐渐减小,直到生育期结束。自3月上旬到10月下旬,黑河下游以胡杨林为主的天然绿洲的实际生态需水量基本为单峰型的变化,从3

月初到8月下旬,随着枝叶的逐渐茂密,生态需水量一直呈现出稳定上升阶段,需水量从1.5 mm/d增加到8.0 mm/d,到8月下旬达到最大值8.0 mm/d;之后,随着树叶逐渐变黄,蒸腾减小,生态需水量又变为逐渐减小的趋势,到10月下旬,生态需水量降到3 mm/d。由此表明,胡杨林的生态需水量最大值位于

林木枝叶最茂盛阶段,同时也说明此时林木的蒸腾比较强。

上述两种植被的生态需水量变化趋势有所不同,最大峰值分别为6月中旬和8月下旬,并且当胡杨到需水最大高峰期时,小麦已经收割,这种分布状态为黑河流域水源分配提供了较好的参考依据。

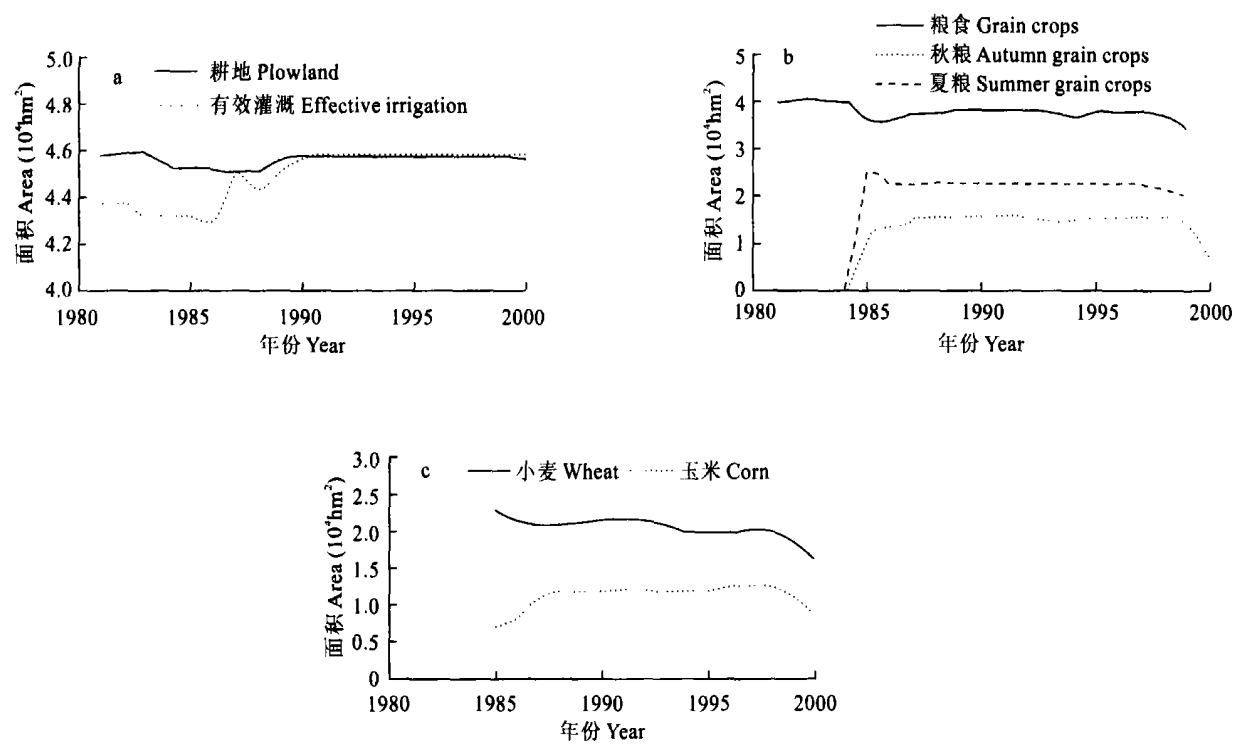


图 1 近 20 a(1980~2000) 张掖人工绿洲区作物种植面积变化

Fig. 1 The variation of planting areas of crops in Zhangye artificial oasis in recent 20 years (1980~2000)

分配,才能达到最有经济价值、最有生态效益的目的,将是人们最关注的。下面根据不同作物的生态需水特征和种植面积,建立了区域内的天然绿洲和人工绿洲的生态需水量,并做了进一步分析。

图 3 为人工绿洲的作物—农田防护林与黑河下游天然绿洲不同旬的区域生态需水量。从3月上旬到10月下旬,张掖人工绿洲的区域生态需水量基本表现为单峰抛物线型,其值间于1.02~6.37 mm/d,生态值出现在6月中旬,为6.37 mm/d,在6月中旬以前为一致的递增趋势,之后为一致的递减趋势。下游天然绿洲的区域生态需水量也表现为抛物线型,其值间于0.68~6.06 mm/d,生态值出现在8月下旬,为6.06 mm/d,在8月下旬以前为一致的递增趋势,之后递减趋势。从生育阶段来讲,在4~6月份,人工绿洲的生态需水量大于天然绿洲生态需水量,其余时间为天然绿洲生态需水量较大;并且,人工绿

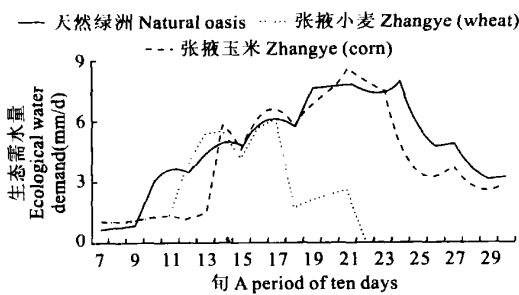


图 2 不同生育期两种作物和天然绿洲的生态需水量

Fig. 2 The ecological water demand of two crops and natural oasis in different growth periods

2.3 区域植被的生态需水量

上述分析了绿洲小麦、玉米和胡杨林的生态需水量,反映出一种单一作物用水趋势,但不能直观反映区域的用水特征,对于有限的水源,如何进行水分

洲和天然绿洲的需水高峰相差两个月,所以在需水高峰期,可以根据作物的生理特性,适当调整水量分配等,避免部分地方有多余的水因过量蒸发而浪费,

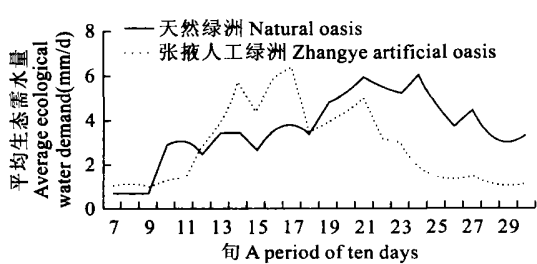


图3 不同生育期人工绿洲和天然绿洲的区域平均生态需水量

Fig.3 The regional ecological water demand of artificial and natural oasis in different growth periods

图4为区域平均生态需水量,结果表明,绿洲区域生态需水仍呈现出单峰抛物线型,从3月到8月下旬,为一致的上升阶段,到8月下旬达到最大值,为6.03 mm/d,之后又为一致的递减阶段,说明需水量的峰值在8月下旬,这对科学用水和调水提出了更高的要求。

3 结论与讨论

经历了农业社到包产到户,耕地面积经过调整达到一个稳定态,但是由于不科学用水和农作物的经济价值的变化,造成了张掖绿洲在种植结构的调整上发生了巨大变化,粮食种植面积急剧下降,这种趋势如果继续发展,那么将关系到商品粮基地的社会效益;另外,本文也考虑了天然绿洲保护的生态学效益,从黑河流域的农业-生态可持续发展角度出发,分析了人工绿洲-天然绿洲的生态需水量,为当地节约用水和政府调水工程等提供参考。

1) 人工绿洲的小麦、玉米与下游天然绿洲的生育期生态需水量变化趋势有所不同,生态需水量呈现单峰型变化,最大峰值分别在6月中旬、8月上旬和8月下旬,其值分别为6.14 mm/d、8.6 mm/d、8.0 mm/d。当天然绿洲到需水最大高峰期时,小麦已经收割,这种分布状态为黑河流域水源分配提供了较好的参考依据。

2) 人工绿洲和天然绿洲的需水高峰相差两个月,区域平均生态需水量基本表现为单峰抛物线型,最大值出现在6月中旬和8月下旬,其值分别为6.37

或者是部分地方因水分短缺,土壤水分不能达到作物的萎蔫系数而影响生态的正常维持。

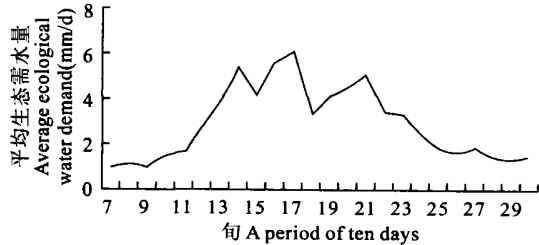


图4 黑河流域绿洲不同生育期的区域最大需水量

Fig.4 The regional ecological water demand of oasis in Heihe valley in different growth periods

mm/d、6.06 mm/d。所以在需水高峰期,可以根据作物的生理特性,适当调整水量分配等,避免部分地方有多余的水蒸发而浪费,或者是部分地方因水分短缺,土壤水分不能达到作物的需水下限而影响生态的正常维持。

3) 从整个流域角度讲,在不同生育期,流域平均生态需水量仍表现为单峰抛物线型,8月下旬达到最大值,为6.03 mm/d。

参考文献:

- [1] 王根绪,程国栋,沈永平.干旱区受水资源胁迫的下游绿洲动态变化趋势分析[J].应用生态学报,2002,13(5):564-568.
- [2] 丁宏伟,张 举.干旱区内陆平原地下水持续下降及引起的环境问题[J].水文地质工程地质,2002,3:71-74.
- [3] 王根绪,程国栋.黑河流域土地荒漠化及其变化趋势[J].中国沙漠,1999,19(4):368-374.
- [4] 王立明,张秋良,殷继艳.额济纳旗胡杨林生长规律及生物生产力的研究[J].干旱区资源与环境,2003,17(2):94-99.
- [5] 张志强,徐中民,王 建,等.黑河流域生态系统服务的价值[J].冰川冻土,2001,23(4):360-367.
- [6] 王根绪,程国栋.近50年来黑河流域水文及生态环境变化[J].中国沙漠,1998,18(3):233-238.
- [7] 王根绪,程国栋.干旱内陆河流域生态需水量及其估算——以黑河流域为例[J].中国沙漠,2002,22(2):129-134.
- [8] 王礼先.植被生态建设与生态用水[J].水土保持研究,2000 7(3):5-7.
- [9] 吴敬之,王饶奇,高洪春.河西地区黑河流域绿洲蒸发力特征及其计算方法[J].高原气象,1994,13(3):377-381.
- [10] 陈丽华,王礼先.北京市生态用水分类及森林植被生态用水定额的确定[J].水土保持研究,2001,8(4):161-164.

Analysis on variations of ecological water demand
in growth period in Heihe valley

ZHANG Jie¹, LI Dong-liang²

(¹.Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province;
Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China; ².Cold and Arid Regions
Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the biological characters of different vegetations, the ecological water demand of crops in every 10 days from March to October was estimated, and the variations of the planting area of crops, the irrigation area and the water demand of croplands and natural oasis in recent 20 years were analyzed, by using the meteorological data of Zhangye and Ejinaqi observatories. The results showed that the area of cash crops was increased while that of grain crops was dropped by 26.6%, as a result of industry structure adjustment in the oasis region. There were differences of the apex of water demand among wheat, corn and forests, i.e., their apex time was the middle ten days of June, the middle ten days of August and the last ten days of August, and the apex quantity of was 6.14mm, 8.6 mm and 8.0 mm respectively. The apex time and amount of regional average ecological water demand in the artificial oasis was the middle ten days of June and 6.37 mm/d, and that in the natural oasis was the last ten days of August and 6.06 mm/d. As for the whole Heihe valley, the apex time of water demand was the middle and last ten days of June, and the apex amount was 6.03 mm/d. The time discrepancy of water demand between the artificial oasis in the middle reaches and the natural oasis in the lower reaches of Heihe valley provides the basis for reasonable distribution of water resource.

Key words: Heihe valley; ecological water demand; growth period; artificial oasis; natural oasis