

# 皇甫川流域几种主要植物水分生态特征

杨 劫<sup>1</sup>, 高清竹<sup>2\*</sup>, 李国强<sup>3</sup>, 金争平<sup>4</sup>

(1. 内蒙古大学 省部共建国家重点实验室培育基地 内蒙古草地生态学实验室, 呼和浩特 010021; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 3. 中国科学院生态环境研究中心 系统生态重点研究实验室, 北京 100085; 4. 内蒙古水利科学研究院, 呼和浩特 010020)

**摘要:**通过在丰水年(1998年)和欠水年(1999年)连续两个生长季对皇甫川流域几种主要植物:沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、沙柳(*Salix psammophyla*)、中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、杨树(*Populus simonii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens* cv.)、羊柴(*Hedysarum leave*)、玉米(*Zea mays*)和百里香(*Thymus serpyllum*)等植物生物学特性、蒸腾特征及土壤水分含量的测定及分析,得出以下结果:几种主要植物蒸腾强度平均值由大到小的排列顺序是:杨树>沙柳>沙打旺>羊柴>中间锦鸡儿>玉米>百里香>沙棘>油松;在1998年和1999年,皇甫川流域主要植物蒸腾强度的季节动态基本相同,油松、沙棘、中间锦鸡儿以及百里香等植物年平均蒸腾强度较低。

无论丰水年还是欠水年,生长季内皇甫川流域主要植物蒸腾系数均较高,表明了植物的生长是以消耗大量水分作为代价,水分是其生长的主要限制因子;百里香蒸腾系数最小,其次是中间锦鸡儿,这反映了百里香和中间锦鸡儿能更有效地利用水分进行干物质积累;皇甫川流域乔木适宜种为油松、灌木种为中间锦鸡儿和沙棘、半灌木植物为百里香。

主要植物群落地段的蒸散量与降雨量的比值在1左右。但从土壤水分变化角度看,皇甫川流域主要植物群落地段的土壤水分处于亏缺状态,主要植物群落是在水分胁迫之下维持生长的。在水分平衡条件下,皇甫川流域油松适宜盖度为36%~47%、杨树为37%~48%、中间锦鸡儿为43%~55%、沙柳为46%~59%、沙棘为61%~79%、百里香为68%~87%、沙打旺为50%~65%、羊柴为54%~69%。

**关键词:**皇甫川流域; 主要植物; 水分生态

## A study on the water ecology of some dominant plants in Huangfuchuan Basin

YANG Jie<sup>1</sup>, GAO Qing-Zhu<sup>2</sup>, LI Guo-Qiang<sup>3</sup>, JIN Zheng-Ping<sup>4</sup> (1. The Cultivation Base For The State Key Laboratory — Inner Mongolia Grassland Ecology Laboratory, Inner Mongolia University, Huhhot, 010021, China; 2. Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Key Lab. of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Science, CAS, Beijing 100085, China; 4. Inner Mongolia Regional Academy of Water Resources, Huhhot 010020, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2387~2394.

**Abstract:** The paper analyzed the vegetation water status in Huangfuchuan Basin on different spatial, temporal scales and organizational levels.

(1) The daily courses of transpiration rate of the dominant plants in Huangfuchuan Basin have two patterns; none-noon depression and noon depression. The arrangement in mean values of transpiration rate of the dominant plants is *Populus simonii* > *Salix psammophyla* > *Astragalus adsurgens* cv. > *Hedysarum leave* > *Caragana intermedia* > *Zea mays* > *Thymus serpyllum* >

**基金项目:**国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018604);国家自然科学基金资助项目(30060018);国家“九五”科技攻关资助项目(96-004-05-01)

**收稿日期:**2003-09-25; **修订日期:**2004-08-15

**作者简介:**杨 (1965~), 女, 蒙古族, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 教授, 主要从事干旱半干旱区植物生理生态、草地生态学研究。E-mail: jyang@mail.imu.edu.cn

\* **通讯作者** Author for correspondence. E-mail: gaoqzh@ns.ami.ac.cn

**Foundation item:** The State Key Basic Research and Development Plan of China (No. G2000018604) and the National Natural Science Foundation of China (No. 30060018) and the National Key Project of Ninth-Five Plan (No. 96-004-05-01)

**Received date:** 2003-09-25; **Accepted date:** 2004-08-15

**Biography:** YANG Jie, D., Professor, mainly engaged in plant physio-ecology, grassland ecology and RS and GIS application.

*Hippophae rhamnoides* > *Pinus tabulaeformis*. In 1998 (an abundant water year) and 1999 (a deficit water year), the transpiration rate of the dominant plants has similarly seasonal changes.

(2) Either in the abundant water year (1998) or in the deficit water year (1999), the increase of aboveground biomass and the increase of water consumption of the dominant plants show no difference. And in growing season, all of dominant plant transpiration coefficients are very high; thus it is concluded that the plant growth is at the expense of vast amount of water content which is one of the main limiting factors. The transpiration coefficient of *T. serpyllum* is the smallest, followed by *C. intermedia*, which indicates that *T. serpyllum* and *C. intermedia* use water and accumulate dry matter more efficiently than others and so they fit in Huangfuchuan Basin. In Huangfuchuan Basin, the suitable species of tree, shrub and herb are *P. tabulaeformis*, *C. intermedia* and *H. rhamnoides*, and *T. serpyllum*, respectively.

(3) The ratio of evapotranspiration and precipitation is about 1 in the plant community. But in terms of varying of soil water content, soil water is in the deficit state in the plant community area in Huangfuchuan Basin. So these dominant-plants struggle to grow under the condition of water stress. Under the condition of water balance in Huangfuchuan Basin, suitable coverage of *P. Tabulaeformis* is 36%~47%, *P. s. simonii* is 37%~48%, *C. intermedia* is 43%~55% and *S. psammophyla* is 46%~59%. However, the suitable coverages of *H. rhamnoides*, *A. adsurgens* cv. *H. leave* and *T. serpyllum* are 61%~79%, 50%~65%, 54%~69% and 68%~87% respectively.

**Key words:** Huangfuchuan Basin; dominant plant; aquatic ecology

文章编号:1000-0933(2004)11-2387-08 中图分类号:Q945.17+2 文献标识码:A

皇甫川是黄河中游的一级支流,发源于鄂尔多斯高原与黄土高原的过渡地带,在陕西省境内入黄河。皇甫川全长120km,面积约3240km<sup>2</sup>。皇甫川流域砒砂岩大面积裸露,原始植被破坏殆尽,其多沙、粗沙、强烈水土流失程度,为我国以及世界上所罕见。皇甫川年均向黄河输送约0.5亿t泥沙<sup>[1,2]</sup>。

在皇甫川流域进行的有关研究主要集中在水土流失规律、水土流失综合治理及土壤侵蚀系统模型和治理模式的研究以及在水土流失综合治理中的工程措施等方面<sup>[1~3]</sup>,而关于皇甫川流域植被方面的基础研究较少。皇甫川流域属半干旱地区,水分是植物生长发育的主要限制因子。目前,皇甫川流域通过长期的水土流失综合治理之后,植被覆盖度明显增加,随之植被需水量也日益增加。因此,本流域急于解决的问题是植被与水的矛盾,也就是流域水分平衡问题。如皇甫川流域目前的人工植被正常生长能否维持或能维持多久?目前的乔灌草配置模式及主要植物种植密度是否合理?这些都是目前必需解决的问题。因此,本研究通过较全面分析主要植物的水分生态,找出本流域适宜种以及主要植物最适种植密度。为水土流失区的综合治理和区域经济可持续发展提供理论依据。

## 1 研究区域概况

皇甫川是一条典型的半干旱区河流,位于北纬39.2°~39.9°,东经110.3°~111.2°。该流域主体部分位于内蒙古准格尔旗境内,本研究区域以准格尔旗境内为主。

皇甫川流域地跨鄂尔多斯高原和黄土高原,地质、地貌的过渡特征十分明显。地质构造属于鄂尔多斯台地拗陷盆地的边缘部分,地层主要由二迭系、三叠系、侏罗系杂色碎屑沉积岩类的泥岩、砂岩互层组成。皇甫川流域较大的地势高差和较强的暴雨侵蚀使流域水系充分发育,加上现代加速的人为水土流失,将流域切割塑造造成梁峁窄小,沟壑密布,地形破碎的丘陵沟壑地貌。皇甫川流域的气温自西北向东南递增,年平均气温6.2~7.2℃,≥10℃积温2900~3500℃。该流域光能资源丰富,日照充足,大部分地区年日照时数在3000h以上。历年平均降雨量420~379mm,并集中在夏季,6~8月份的降雨量占总降水量的61%。年平均蒸发量很大,为年平均降水量的2.7倍左右。年平均相对湿度53%~56%,年湿润度为0.30~0.34。冬春季风力强盛且频繁,年均风速2~3m/s,大风日数10~30d。皇甫川流域地处温带半干旱草原栗钙土地带,地带性土壤为以砒砂岩为母质的栗钙土。因受黄土母质影响,还有大面积的黄绵土分布。此外,还广泛分布着风沙土及小面积分布的冲积土等非地带性土壤。在人类活动显著影响以前,皇甫川流域植被为片状分布的灌丛化草原和典型草原植被。由于气候的变化、历史时期的砍伐及自清末以来农垦,本流域天然林及草原已所剩无几,被人工植被和天然次生草原植被所代替<sup>[1,4]</sup>。目前,皇甫川流域植被可以分为乔木、灌木、草原和农田等植被类型。现有的乔木林包括油松、杨树等人工植被和残存的侧柏(*Platycladus orientalis*)、杜松(*Juniperus rigida*)、刺柏(*Juniperus sibirica*)、油松等天然针叶疏林,这一类型所占面积较小。灌木林以人工种植的沙棘、中间锦鸡儿、沙柳为主。该流域原生草原植被为暖温型典型草原——本氏针茅(*Stipa pungeana*)草原,目前已破坏殆尽,在恢复演替过程中,被百里香草原所代替。皇甫川流域的主要农作物有玉米、糜黍(*Panicum miliaceum*)等<sup>[1,4]</sup>。

## 2 研究内容和方法

## 2.1 实验材料

在皇甫川流域五分地沟实验站内,选取具有代表性的油松、杨树、沙棘、中间锦鸡儿、沙柳、羊柴、百里香、沙打旺、玉米等植物作为测定对象,进行定点定位研究。这些实验植物群落和生境特征及五分地沟实验站的详细介绍见参考文献<sup>[1~4]</sup>。

## 2.2 植物蒸腾作用的测定<sup>[5~8]</sup>

采用快速离体称重法,测定植物蒸腾强度的日动态(以2h为步长从日出到日落)和季节变化(4月末到9月末,半个月测定1次)。电子天平的灵敏度为0.01g。

具体方法是从正常生长的植物体上,将不同方向不同部位小枝(20~30g鲜重)剪下,迅速地进行第1次称重,得值 $W_1$ ,然后将小枝放回原环境中,经过3min后取回进行第2次称重,得值 $W_2$ ,最后将叶子取下,烘干称重,得 $W_3$ 。两次称重时间分别为 $t_1, t_2$ ,6次重复,步长2h。蒸腾强度的计算公式为:

$$T_r = (W_1 - W_2) \times 60 / W_3 \times (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中, $T_r$ 为蒸腾强度,单位是g水/(g叶干重·h),并取6次测定的平均值。

## 2.3 土壤水分的测定

LNW-50C智能中子土壤水分仪结合烘干称重法测定土壤水分。测深300cm,每20cm测1值,每半月测1次,与植物蒸腾的测定同步进行。

## 2.4 气象数据的收集

气象资料由五分地沟实验区小气象站提供。

## 2.5 植物地上生物量的测定

草本植物群落地上生物量用刈割法(做 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 样方3~5个)逐月(4~9月份)测定。灌木地上生物量用刈割法,以样线和样方结合法进行逐月测定,重复3次。每次测定都把灌木的叶、当年枝及往年枝分开烘干称重。乔木地上生物量是在标准样地( $20 \times 20 \text{ m}^2$ )上找出标准株,测定其地上生物量,也分别测定其叶子、枝条和树干的干重。

## 2.6 植物群落蒸腾耗水量的计算<sup>[5~8]</sup>:

植物各月蒸腾耗水的计算公式为:

$$T = T_r \times H \times D \times B / 1000 \quad (2)$$

式中, $T$ 为月蒸腾耗水量(mm); $T_r$ 为月均蒸腾强度(g水/(g叶干重·h)); $H$ 为日均蒸腾时数(h); $D$ 为月均蒸腾天数(d); $B$ 为各月叶量(g干重/ $\text{m}^2$ )。

## 2.7 主要植物群落地段水分平衡的计算<sup>[5, 8~15]</sup>

水分平衡可以用以下公式表示:

$$P = ET + R + I + D - U + \Delta S \quad (3)$$

式中, $P$ 为降水量(mm), $ET$ 为蒸散量(mm), $R$ 为径流(mm), $I$ 为截留量(mm), $D$ 为渗漏(mm), $U$ 为地下水补给(mm), $\Delta S$ 为土壤贮水量变化(mm)。

$$ET = \text{土壤蒸发(mm)} + \text{蒸腾耗水量(mm)} = P - R - D - I + U - \Delta S \quad (4)$$

$$\Delta S = \text{生长期末土壤贮水量(mm)} - \text{生长期初土壤贮水量(mm)}$$

$$\text{土壤贮水量} = 0.1 \times \text{土壤含水量}(\%) \times \text{土壤容重}(\text{g}/\text{cm}^3) \times \text{土层厚度}(\text{cm})$$

## 2.8 植物群落适宜盖度的计算

计算群落适宜盖度的公式为<sup>[8, 11]</sup>:

$$\text{冠幅面积}(\text{m}^2) = \pi \times (\text{冠幅长}(\text{m}) \times \text{冠幅宽}(\text{m})) / 4;$$

$$\text{单位面积植物年耗水量}(\text{kg}/\text{m}^2) = \text{蒸腾强度}(\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})) \times \text{叶干重}(\text{g}/\text{m}^2) \times \text{蒸腾时数}(\text{h}) / 1000$$

$$\text{单株年耗水量}(\text{kg}) = \text{单位面积年耗水量}(\text{kg}/\text{m}^2) \times \text{冠幅面积}(\text{m}^2);$$

$$\text{单株营养面积} = \text{单株年耗水量}(\text{kg}) / \text{单位土壤面积的有效水分}(\text{mm})$$

通过水比重( $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ )换算:

$$\text{单株营养面积}(\text{m}^2) = (\text{单株年耗水量}(\text{m}^3) / \text{单位土壤面积的有效水分}(\text{m}))$$

$$\text{群落适宜盖度}(\%) = \text{冠幅面积}(\text{m}^2) / \text{营养面积}(\text{m}^2) \times 100\% \quad (5)$$

式中,冠幅面积的计算是植物冠幅的垂直投影区为椭圆形。

## 3 结果与分析

### 3.1 主要植物蒸腾强度日变化

不同植物的蒸腾强度日变化见图1。油松、中间锦鸡儿、沙柳、百里香和沙打旺等植物蒸腾强度日变化曲线呈双峰型,有明显

的午休现象(图1)。杨树、沙棘、羊柴和玉米等植物蒸腾强度日变化曲线均呈单峰型,没有明显的午休现象(图1)。几种主要植物蒸腾强度日均值见表1,其蒸腾强度日均值由大到小的顺序是:杨树>沙柳>沙打旺>羊柴>中间锦鸡儿>玉米>百里香>沙棘>油松。

表1 主要植物蒸腾强度日均值(g水/(g叶干重·h))

Table 1 Mean values of daily transpiration intensity (g/(g·h)) of dominant plants in Huangfuchuan watershed					
植物种 Species	油松 <i>P. tabulaeformis</i>	杨树 <i>P. simonii</i>	沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	中间锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	沙柳 <i>S. psammophyla</i>
蒸腾强度 Transpiration intensity	0.720±0.193	2.806±0.688	1.272±0.467	1.740±0.134	2.455±0.869
植物种 Species	羊柴 <i>H. leave</i>	沙打旺 <i>A. adsurgens</i> cv.	百里香 <i>T. serpyllum</i>	玉米 <i>Z. mays</i>	—
蒸腾强度 Transpiration intensity	1.779±0.983	2.009±0.787	1.548±0.298	1.621±0.962	—

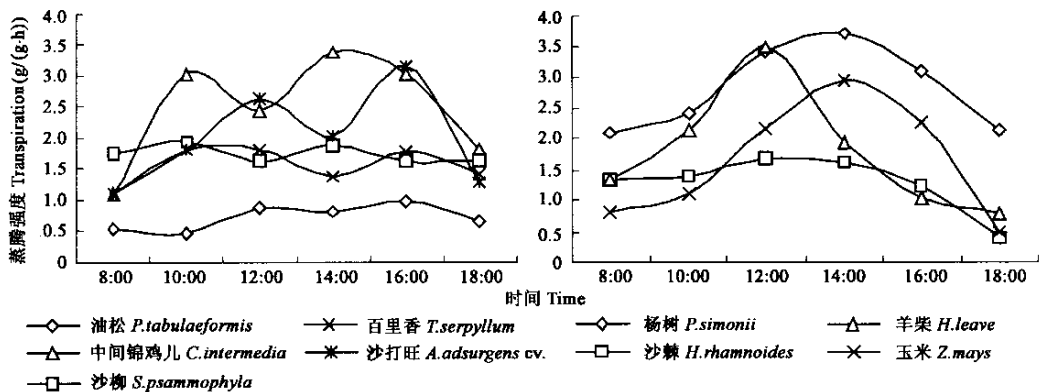


图1 皇甫川流域主要植物蒸腾强度日变化

Fig. 1 Diurnal changes of transpiration intensity of dominant plants in Huangfuchuan watershed

### 3.2 主要植物蒸腾强度季节变化

主要植物蒸腾强度在1998年和1999年两年的季节动态见图2和图3。1998年4月到10月,研究区降雨量为433.9mm,高于多年同期的平均值361.1mm,属于丰水年,而1999年同期降雨量为298.9mm,属于欠水年。从图2和图3中可以看出,1998年和1999年两年的主要植物蒸腾强度的季节变化规律基本相同的,但1998年植物蒸腾强度平均值均高于1999年(见表2),从表2中可以看出,在两年的生长季内,油松、沙棘、中间锦鸡儿以及百里香等植物年平均蒸腾强度较低。

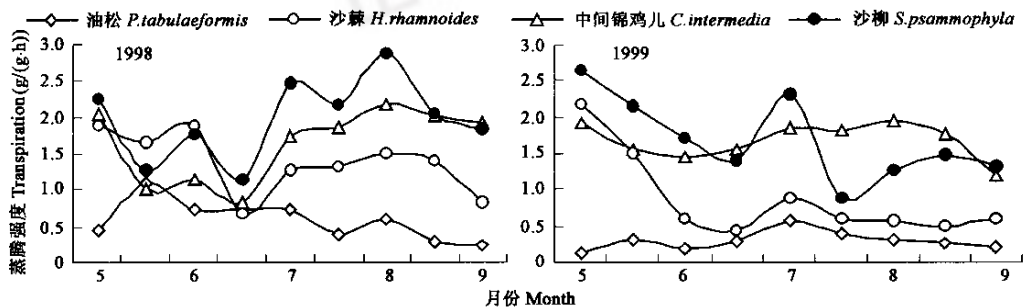


图2 皇甫川流域主要乔灌木蒸腾强度季节变化

Fig. 2 Seasonal changes of transpiration intensity of the dominant plants in Huangfuchuan watershed

### 3.3 主要植物种群水分状况

根据植物蒸腾耗水计算公式(2式)求得主要植物群落1998年和1999年总蒸腾耗水量(表3),可以看出,1999年主要植物群落蒸腾耗水量的数据比1998年低。

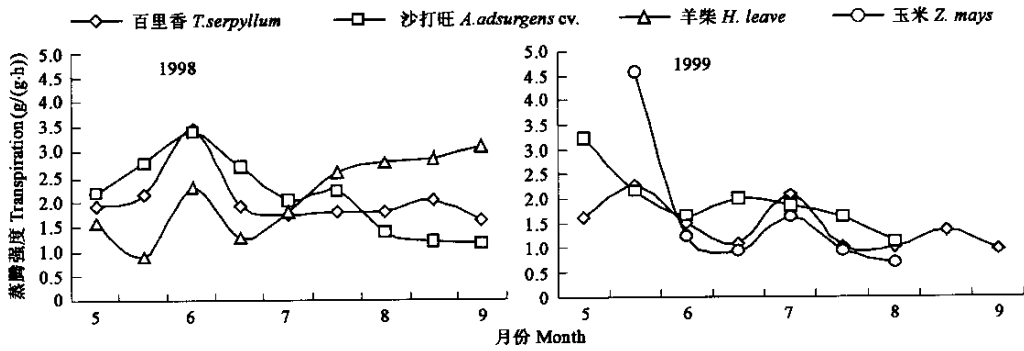


图3 皇甫川流域主要半灌木和草本植物蒸腾强度季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of transpiration intensity of the dominant plants in Huangfuchuan watershed

表2 主要植物年平均蒸腾强度(g水/(g叶干重·h))

Table 2 Annual mean values of transpiration intensity (g/(g·h)) of dominant plants in Huangfuchuan watershed

年份 Year	油松 <i>P. tabulaeformis</i>	杨树 <i>P. simonii</i>	沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	中间锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	沙柳 <i>S. psammophyla</i>
1998	0.577±0.254	1.781±0.588	1.380±0.397	1.636±0.474	1.978±0.519
1999	0.293±0.121	—	0.874±0.552	1.628±0.239	1.679±0.531
年份 Year	羊柴 <i>H. leave</i>	沙打旺 <i>A. adsurgens cv.</i>	百里香 <i>T. serpyllum</i>	玉米 <i>Z. mays</i>	—
1998	2.120±0.742	1.836±0.727	2.114±0.727	—	—
1999	—	1.423±0.457	1.945±0.613	1.666±1.330	—

表3 主要植物群落蒸腾耗水量(mm)

Table 3 The water consumption of main plant communities

年份 Year	油松 <i>P. tabulaeformis</i>	杨树 <i>P. simonii</i>	沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	中间锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	沙柳 <i>S. psammophyla</i>
1998	360.45	273.95	45.46	96.17	71.40
1999	261.76	—	29.23	58.36	49.74
年份 Year	羊柴 <i>H. leave</i>	沙打旺 <i>A. adsurgens cv.</i>	百里香 <i>T. serpyllum</i>	玉米 <i>Z. mays</i>	—
1998	236.90	410.21	152.04	—	—
1999	—	113.97	120.37	76.28	—

为了更好地说明植物群落地上生物量和蒸腾耗水量之间的关系,计算了植物的蒸腾系数。蒸腾系数是表示植物制造 1g 干物质所消耗水分量(g)<sup>[5]</sup>。1998 年和 1999 年植物的蒸腾系数计算结果见表 4。从表中可以看出,1998 年(丰水年)主要植物的蒸腾系数均比 1999 年(欠水年)高。无论在 1998 年(丰水年)还是在 1999 年(欠水年),百里香蒸腾系数最小,其次是中间锦鸡儿。这反映了无论在水分相对充足的条件下还是在水分严重亏缺的条件下,百里香和中间锦鸡儿都能有效地利用水分,积累干物质,适于在皇甫川流域生长。

采用水分平衡法(4 式)来计算主要植物群落地段的蒸散量。由于皇甫川流域地下水位低(十到数十米),地理位置和土壤气候条件特殊,基本不存在渗漏和地下水补给<sup>[2]</sup>。因此水分平衡公式可简化为:ET=P-I-R-ΔS。根据研究区或相邻地区相关研究结果,综合分析获得了皇甫川流域主要植被类型的截留量和径流量。据有关研究<sup>[15, 16]</sup>,黄土高原乔木林和灌木林截留量为总降雨量的 7%~12%,天然草地截留量为 4%,与皇甫川流域油松林和沙棘、沙柳等灌木林盖度相似的乔木林和灌木林截留量分别为 10%和 8%。油松林地表径流量占总降雨量的 2%,灌木林为 2%<sup>[15]</sup>,天然草地为 16%,裸地为 30%<sup>[1]</sup>。计算结果列于表 5,可以看出:1998 年主要植物群落地段的蒸

表4 1998 年和 1999 年主要植物的蒸腾系数

Table 4 The transpiration coefficient of the dominant plants in 1998 and 1999

物种 Species	1998	1999
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	1815	1113
中间锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	1386	1050
沙柳 <i>S. psammophyla</i>	1724	1115
百里香 <i>T. serpyllum</i>	866	816
羊柴 <i>H. leave</i>	1056	—
玉米 <i>Z. mays</i>	—	1206

散量与同期降雨量之比为0.90~1.06;1999年两者之比为0.88~1.17,蒸散量基本与降雨量相等。但从土壤贮水量变化数据可以看出,皇甫川流域主要植物群落地段土壤贮水量均减少,主要植物群落地段的土壤含水量较低、土壤水分处于亏缺状态。这说明:由于植被状况不佳,降雨中的一部分(径流和树冠截留)没有被植物利用而流失(表5),因此无论是在丰水年还是在欠水年,主要植物群落地段土壤水分都得不到充足的降雨补给,主要植物群落仍在水分胁迫之下维持生长的,其初级生产力水平较低。

从植物群落蒸腾耗水量和蒸散量之间的比值(表5)看,植物群落蒸腾耗水量和蒸散量之间的比值在0.10~0.96之间,沙打旺蒸腾耗水量与蒸散量的比值最大,其次是油松、羊柴。这表明沙打旺群落、油松林盖度较大,限制了土壤蒸发。

表5 1998年和1999年主要植物群落水分平衡状况

Table 5 The water balance of the main plant communities in 1998 and 1999

植物种 Species	年份 Years	P(mm)	I(mm)	R(mm)	$\Delta S$ (mm)	ET(mm)	T/ET	ET/P
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	1998	433.9	43.4	8.7	-17.5	399.3	0.90	0.92
	1999	298.9	29.9	6.0	-11.2	274.2	0.95	0.92
中间锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	1998	433.9	34.7	8.7	-51.6	442.1	0.10	1.02
	1999	298.9	23.9	6.0	-33.7	302.7	0.10	1.01
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	1998	433.9	34.7	8.7	-38.3	437.5	0.22	1.01
	1999	298.9	23.9	6.0	-70.6	339.6	0.17	1.14
沙柳 <i>S. psammophyla</i>	1998	433.9	34.7	8.7	-12.8	403.3	0.18	0.93
	1999	298.9	23.9	6.0	-81.1	350.1	0.14	1.17
百里香 <i>T. serpyllum</i>	1998	433.9	17.4	69.4	-42.1	389.2	0.39	0.90
	1999	298.9	12.0	47.8	-23.1	262.2	0.46	0.88
沙打旺 <i>A. adsurgens</i> cv.	1998	433.9	17.4	69.4	-78.6	425.7	0.96	0.98
	1999	298.9	12.0	47.8	-30.9	270.0	0.42	0.90
羊柴 <i>H. leave</i>	1998	433.9	34.7	8.7	-70.4	460.9	0.51	1.06
	1999	298.9	23.9	6.0	-63.4	332.4	—	1.11
玉米 <i>Z. mays</i>	1998	433.9	34.7	8.7	-112.7	514.4	—	1.19
	1999	298.9	23.9	6.0	-48.5	317.5	0.24	1.06
裸地 <i>Bareland</i>	1998	433.9	0.0	130.2	12.2	291.5	—	0.67
	1999	298.9	0.0	89.7	-67.5	276.7	—	0.93

余新晓等在黄土地区防护林生态系统水量平衡的研究中指出<sup>[15]</sup>,在晋西黄土地区现有森林经营条件下,水分无法保证供应;而水分条件对灌木林的生长是有保证的。吴钦孝等在黄土高原人工植被水分状况的研究中认为人工植被土壤水分处于亏缺状态,是在水分胁迫之下维持生长的<sup>[16]</sup>。在群落水平水分状况研究中得出的结果与黄土高原地区的结果基本相同。皇甫川流域主要植物群落土壤水分基本是常年亏缺,如果没有合理的经营管理,主要植物群落土壤水分亏缺难以恢复,造成土壤持续干旱化和主要植物群落生产力越来越低,势必对现有植物的正常生长造成威胁。

### 3.4 主要植物群落适宜盖度

皇甫川流域植被适宜盖度的确定可优化该流域内的能量流动和物质循环,从而得到较高的生态、经济、社会效益,并为水土流失综合治理提供理论依据。对于如何在具体地段确定植物的种植密度和盖度已有许多研究<sup>[5, 8, 11]</sup>,应用最为广泛的方法是通过分析植物的水分需求,确定单株植物的营养面积,从而进一步计算出植物适宜种植密度。

采用(5)式计算植物最适盖度。公式中单位土壤面积上的有效水分值按两种假设条件计算:(1)无效降水量及蒸发量占降水量的10%,其余降水量均可被植物利用,无地下水补给;(2)无效降水量及蒸发量占降水量的10%,年降水量的20%作为径流流失,无地下水补给。降水量以1998年和1999年的平均值(366.4mm),蒸腾强度和叶干重也以1998年和1999年的平均值计算,计算结果见表6。

公式(5)适合于乔灌木和半灌木的适宜盖度的计算,不适合于计算小半灌木和草本植物。因此为了计算小半灌木和草本植物的适宜盖度,修改了计算公式。计算公式为:

$$\text{单位面积内株(丛)面积(m}^2\text{)} = \text{单位面积(m}^2\text{)} \times \text{盖度(}\%\text{)}$$

$$\text{单位面积植物年耗水量(kg/m}^2\text{)} = \text{蒸腾强度(g/(g}\cdot\text{h))} \times \text{单位面积内叶干重(g/m}^2\text{)} \times \text{蒸腾时数(h)}/1000$$

$$\begin{aligned} \text{营养面积(m}^2\text{)} &= \text{单位面积年耗水量(kg/m}^2\text{)} \times \text{单位面积(m}^2\text{)}/\text{单位土壤面积的有效水分(mm)} \\ &= \text{单位面积年耗水量(m}^3\text{)}/\text{单位土壤面积的有效水分(m)} \end{aligned}$$

$$\text{盖度(}\%\text{)} = \text{株(丛)面积(m}^2\text{)}/\text{营养面积(m}^2\text{)} \times 100\%$$

计算结果见表7。

万方数据

表 6 主要乔灌木适宜盖度

Table 6 The suitable coverage of the dominant shrubs and arbores communities

物种 Species	平均冠幅面积 Mean of area crown (m <sup>2</sup> )	叶干重 Dry weight of leaves (g/株 individual plant)	单株年耗水量 Water consumption of pre individual plant (kg)	盖度 1 Coverage 1 (%)	盖度 2 Coverage 2 (%)
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	4.04	2729.1	2835.4	47	36
杨树 <i>P. simonii</i>	2.84	610.8	1958.2*	48	37
中间锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	4.32	882.7	2598.7	55	43
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	2.21	368.9	916.1	79	61
沙柳 <i>S. psammophyla</i>	3.25	505.0	1797.6	59	46
羊柴 <i>H. leave</i>	0.50	185.11	236.90*	69	54

\* 为 1998 年数据 the data from 1998

表 7 小半灌木和草本植物的适宜盖度

Table 7 The suitable coverage of the dominant shrubs

物种 Species	平均株(丛)面积 Mean area of pre individual plant (m <sup>2</sup> )	平均叶干重 Dry weight of leaves(g/m <sup>2</sup> )	单位面积年耗水量 Water consumption of pre community area(kg/m <sup>2</sup> )	盖度 1 Coverage 1 (%)	盖度 2 Coverage 2 (%)
百里香 <i>T. serpyllum</i>	0.4	63.79	152.04	87	68
沙打旺 <i>A. adsurgens</i> cv.	0.8	538.17	410.21	65	50

皇甫川流域油松适宜盖度为 36%~47%、杨树为 37%~48%、中间锦鸡儿为 43%~55%、沙柳为 46%~59%，这些植物种植盖度不宜过高；而沙棘适宜盖度为 61%~79%、百里香为 68%~87%、沙打旺为 50%~65%、羊柴为 54%~69%，这些植物盖度可以达到较高的水平。因此在皇甫川流域应根据土壤水分状况控制乔木、一些灌木的盖度，适当地增加一些灌木和小半灌木、草本植物的盖度。

#### 4 结论与讨论

(1)皇甫川流域主要植物蒸腾强度日变化规律基本可以分为两种，即有午休现象和无午休现象，几种主要植物蒸腾强度平均值由大到小的排列顺序是：杨树>沙柳>沙打旺>羊柴>柠条>玉米>百里香>沙棘>油松；在丰水年和欠水年，皇甫川流域主要植物蒸腾强度的季节动态大致相同；油松、中间锦鸡儿、沙棘和百里香等植物蒸腾强度平均值较低，在较差的水分条件下可以维持生长。因此，从蒸腾强度角度可以认为油松、中间锦鸡儿、沙棘和百里香等植物较适合于皇甫川流域种植。

(2)无论丰水年还是欠水年，植物地上生物量的增长与蒸腾耗水量增加呈同步，生长季内皇甫川流域主要植物蒸腾系数均较高，表明了植物的生长是以消耗大量水分为代价，水分是其生长的主要限制因子之一；百里香和中间锦鸡儿蒸腾系数较小，这反映了百里香和中间锦鸡儿较有效利用水分，积累干物质，适合于在皇甫川流域生长。可以看出蒸腾强度和蒸腾系数等反映出的皇甫川流域适宜植物为油松、中间锦鸡儿和沙棘以及百里香等植物。

(3)主要植物群落地段的蒸散量与降雨量的比值在 1 左右，从土壤水分变化角度看，皇甫川流域主要植物群落地段的土壤水分处于亏缺状态，主要植物群落是水分胁迫之下维持生长的。

(4)在水分平衡条件下，皇甫川流域油松适宜盖度为 36%~47%、杨树为 37%~48%、中间锦鸡儿为 43%~55%、沙柳为 46%~59%，这些植物种植盖度不宜过高；而沙棘适宜盖度为 61%~79%、百里香为 68%~87%、沙打旺为 50%~65%、羊柴为 54%~69%，这些植物盖度可以达到较高的水平。因此在皇甫川流域应根据土壤水分状况控制乔木、一些灌木的盖度，适当地增加一些灌木和小半灌木、草本植物的盖度。需要说明的是我们计算的适宜盖度是在单一种群条件下的盖度，在多种群配置的群落中的适宜盖度有待于探讨。

#### References:

- [1] Jin Z Q, Shi P J, Hou F C, et al. *Systemic Soil Erosion Model and Controlling Pattern*. Beijing: Ocean Press, 1992.
- [2] MIAO Z Y. *Experimental Research of Integral Managerial Measures for Soil and Water Conservation in the Watershed Huangpuchuan in the Loess Plateau of China*. Beijing: Agricultural Science and Technology Press of China, 1992.
- [3] Jin Z P, Miao Z Y, Wang Z W, et al. Relationship Between Soil and Water Conservation and Land Resource and Environment——Taking Zhunger Experimental Area in Loess Plateau as an example. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(5): 1~6.
- [4] Yang J, Gao Q Z, Li G Q, et al. Study on Dynamics of Vegetation in Huangfuchuan Watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*,

2001, **15** (3): 41~43.

- [5] Kramer P J. *Water relations of plant*. Translated by Xu X D, *et al.* Beijing: Science Press, 1989. 343~403.
- [6] Li H J, Wang M B, Chen L F, *et al.* Study on hydrologic ecology of Robinia pseudoacacia population in northwestern Shanxi. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20** (2): 151~158.
- [7] Wang M B, Li H J, Cai B F, *et al.* A Comparison of Transpiration, Photosynthesis and Transpiration Efficiency in Four Tree Species in the Loess Region. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **23** (5): 401~410.
- [8] Yang J, Gao Q Z, Li G Q, *et al.* A Study on the Water Ecology of Dominant Artificial Shrubs in Huangfuchuan Watershed. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(1):87~94.
- [9] Yang X M, Yang W Z. Soil water balance of the artificial forestland in the gully area of the Loess Plateau. *Sci. Silvae Sin.*, 1989, **25** (6):549~553.
- [10] Nizinski J and Saugier B. A model of transpiration and water balance for a mature oak forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1991, **47**:1~17.
- [11] Liao R T & Zhang W J. Studies on the suitable vegetation coverage at drift dunes in Mu Us Sands, Part 2. Water relations and suitable planting densities of psammophytes. In: Wang J X ed. *Collection of papers of the Mu Us Sands Exploration and Control Research Center*. Huhhot: Inner Mongolia University Press, 1992. 93~97.
- [12] Hatton T J, Pierce L L and Walker J. Ecohydrological changes in the Murray—Darling Basin II. Development and tests of a water balance model. *Journal of Applied Ecology*, 1993, **30**: 274~282.
- [13] Pierce L L, Walker J, Dowling T I, *et al.* Ecohydrological changes in the Murray-Darling Basin III. A simulation of regional hydrological changes. *Journal of Applied Ecology*, 1993, **30**: 283~294.
- [14] Neilson R P. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. *Ecological Applications*, 1995, **5**(2):362~385.
- [15] Yu X X & Chen L H. Water balance of shelter belt ecosystem on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**(3): 238~245.
- [16] Wu Q X & Yang W Z. *Vegetation construction and Sustainable Development on Loess Plateau*. Beijing: Science Press, 1998. 255~271.

#### 参考文献:

- [1] 金争平,史培军,侯福昌,等.黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式.北京:海洋出版社,1992.
- [2] 苗宗义编著.黄土高原综合治理皇甫川流域水土流失综合治理农林牧全面发展试验研究文集.北京:中国农业科技出版社,1992.
- [3] 金争平,苗宗义,王正文,等.水土保持与土地资源和环境——以黄土高原准格尔试验区为例.土壤侵蚀与水土保持学报,1999, **5**(5): 1~6.
- [4] 杨,高清竹,李国强,等.内蒙古皇甫川流域植被空间动态变化分析.水土保持学报,2001, **15**(3):41~43.
- [5] Kramer P J. 植物的水分关系.许旭旦等译.北京:科学出版社,1989. 343~403.
- [6] 李洪建,王孟本,陈良富,等.刺槐林水分生态研究.植物生态学报,1996, **20**(2):151~158.
- [7] 王孟本,李洪建,柴宝峰,等.树种蒸腾作用、光合作用和蒸腾效率的比较研究.植物生态学报,1999, **23**(5):401~410.
- [8] 杨,高清竹,李国强,等.皇甫川流域主要人工灌木水分生态的研究.自然资源学报,2002, **17**(1):87~94.
- [9] 杨新民,杨文治.黄土丘陵区人工林地土壤水分平衡初探.林业科学,1989, **25**(6):549~552.
- [11] 廖汝棠,张文军.毛乌素流动沙地适宜植被覆盖率研究 2.沙生植物水分关系与适宜种植规模.王稼祥等编著.毛乌素沙地开发整治研究中心研究文集.呼和浩特:内蒙古大学出版社,1992. 93~97.
- [15] 余新晓,陈丽华.黄土地区防护林生态系统水量平衡研究.生态学报, 1996, **16**(3):238~245.
- [16] 吴钦孝,杨文治.黄土高原植被建设与持续发展.北京:科学出版社, 1998. 255~271.