

614-621

第19卷第5期  
1999年9月生态学报  
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 5  
Sept., 1999

## 黄土高原“林分自创性”有效水分供给体系的研究

孙长忠<sup>1</sup>, 黄宝龙<sup>2</sup>

(1. 国家林业局 中国林业科学研究院 社会林业研究发展中心, 北京, 100091; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京, 210037)

**摘要:**在黄土高原半湿润区,对无林沟坡(荒坡)与林地土壤水分储量变化的多年定点测定结果表明,在蒸发潜力很大的气候条件下,在很少有植物消耗水分的荒坡近裸立地上,和在林木每年蒸腾消耗大量水分之后的林地上,若以降雨丰、欠年周期为单位计算,土壤水分的收支均保持着相对的平衡关系。表现出林地与荒坡水分收支关系有着本质的差异。提出了开展林地有效水分获取途径研究的必要性。根据对林分改造自身生存环境,为自己提供有效水分功能的定点测定结果,从系统水分收支平衡原理出发,经过对林分、荒坡各自水分小循环过程及二者水分数量关系的分析,提出了黄土高原林分“自创性”有效水分供给体系假说,建立了“自创”潜力表达方程。对“自创性”假说提出的意义、作用及应用价值,进行了阐述。提出了它在黄土高原森林水文效应及森林培育学理论研究上,具有开拓新思路的重要作用。

**关键词:**假说;“林分自创性”;土壤有效水分;水分平衡;黄土高原

### A study on the available water potentialities “Brought by the stand-itself” in the loess plateau forest land —— A new hypothesis developed

SUN Chang-Zhong<sup>1</sup>, HUANG Bao-Long<sup>2</sup> 1. Social Forestry Research and Development Central, State Forestry Administration, CAF, Beijing, 100091, China; 2. College of Forest Resources and Environment, NFU Nanjing, 210037, China

**Abstract:** The amount of soil water in the bare land and forest land were compared in the subhumid climate region of the Loess Plateau for many years. The results show as follows: (1) The amount of soil water received from rainfall and evaporated from soil are nearly in balance in the bare land. The soil water is not accumulated by years. (2) There is a relative water equilibrium in the forest land where a lot of water consumed by trees. The necessity that the way of forest land available water taken needs to be studied is brought up. Based on the measured results of the forest action on the land available water and the research of the courses of water mini-cycle systems in a forest land and in a nearly bare wild land, a new hypothesis, the forest land available water potentialities “brought by the stand-self”, is developed. An equation is set up for estimating the potentialities. The new theory will play an important role to for studying the theory of forest hydrology and silviculture in the Loess Plateau.

**Key words:** hypothesis; the forest land available water potentialities “brought by the stand-self”; available water of soil; water balance; Loess Plateau

文章编号: 1000-0933(1999)05-0614-08 中图分类号: S715.5 文献标识码: A

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目 39470569(黄土高原林地水分-植被互动效应理论)、39770612(黄土高原林木有效水分供给的研究)。

西北林学院张仰渠、张康健、薛德自教授,对本研究给予指导,特此一并致谢!

收稿日期: 1998-02-17; 修订日期: 1999-02-09

森林作为陆地植被生态系统的主体,与所生存的环境间存在着巨大的相互作用关系。但就整体而言,它以其对陆地生物圈环境的维持与改造的绝对优势功能,在一定程度上掩盖了环境对森林的反作用。其实,就局部范围来说,森林在发育过程中其类型及结构特点等林分特征,强烈地受到当地自然环境条件的影响和制约,其生态环境效应亦表现出地域性的较大差异,从而反映在某些功能的被削弱以至难以发挥,而另一些功能则又得到进一步加强而显得尤为突出。因此,对其特殊性的研究,则有助于对森林生态功能认识的进一步提高。

黄土高原以其深厚、疏松,有着巨大储水容量的土壤基础,降雨量小而蒸发量大的干旱气候条件,构成了它独特的土壤、气候环境,在这种环境中所形成的森林,与其生存环境间有着自己特殊的相互作用方式,具有不同于其它地域条件的特有水文效应功能。其中,林分对其森林土壤有效水分供给的作用问题,就是该区森林水文效应研究所面临的一个特殊问题。

1 研究地区自然概况与试验地状况

根据黄土高原气候特点,本项研究试验主要布设在位于沟壑区南缘的陕西淳化县。该县位于 34°43'~35°03'N,108°18'~108°50'E;海拔 630~1809m。年平均气温 9.8℃,无霜期 184d;≥0℃积温 3899.2℃,≥10℃的活动积温 3281℃;太阳年辐射总量 504.34KJ/cm²,属暖温带季风气候。年平均降水量 600.6mm,多集中于 7~9 月,占全年降水量 53%。年地表径流深 58mm。地下水埋藏深达 100m 以上。干燥度(K 值)1.1~1.38,属半湿润地区,森林草原植被带,土壤为黑垆土和褐土两个地带性土壤的过渡地带,而以非地带性土壤黄绵土类为主。试验地基本状况见表 1。

表 1 试验地荒坡与林地基本状况

Table 1 The basic information of experimental plots in the wild land and in the forest land

试验地类型 Experimental plots	立地类型 Site types	海拔(m) Elevation	土壤 Soil	林龄(a) Stand age	郁闭度 Degree of closeness	林分平均高(m) Stand height	林分平均胸径(cm) Stand D. B. H.	林分密度 (株/hm²) Stand density
荒坡①	阳坡下部④	980	黄绵土					
荒坡	阴坡上部⑤	1050	黄绵土					
油松林分②	阴坡上部	1040	褐土	20	0.85	9.2	9.4	2355
刺槐林分③	阴坡上部	1035	褐土	23	0.7	12.1	16.7	900
刺槐林分	阴坡下部	950	二色土	23	0.85	12.7	16.8	260
刺槐林分	阳坡下部⑥	980	黄绵土	21	0.75	8.3	8.5	3100

①Wild land;②Chinese pine stand;③Black locust stand;④Low position on south slopes;⑤Up position on north slopes;⑥Low position on south slopes

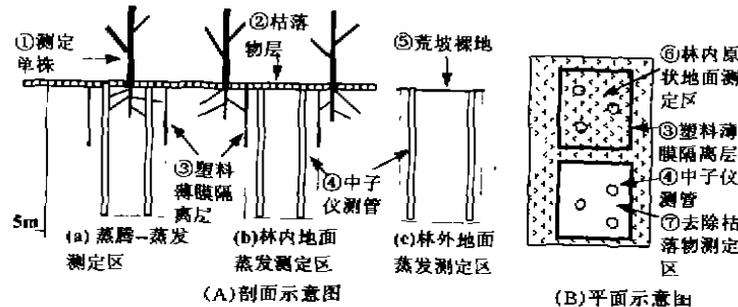


图 1 地面蒸发与林木蒸腾测定试验布设图

Fig. 1 The setting chart of soil evaporation and tree transpiration measure plots

①Measured dominant tree ②Litter ③Plastic film insulation layer ④Measuring tubes ⑤Bare land ⑥Original state of forest land surface ⑦None litter measuring area (litter was took off) (a)Evapo-transpiration measuring area (b) Forest land evaporation measuring area (c) Bare land evaporation measuring area (A) Sectional drawing (B) Plane figure

2 主要研究方法

荒坡、林地土壤水分年际变化及林木年耗水量测定,分别按不同立地类型荒坡与不同树种林地,采用

适于黄土高原林木蒸腾耗水与林地蒸发量分别测定的实用方法——“单株平衡法”设置定位观测点<sup>①,②</sup>,安装400cm深测管,利用中子水分测定仪,20cm为一个层次,每周一次,常年定位观测。

试验区具体布设如图1所示。在林内以双层农用塑料薄膜建立无根隔离测定区,安装中子仪测管。保持原有地面枯落物状况,便构成了林冠减少地面蒸发作用测定区,除去枯落物覆盖层,便构成了枯落物减少地面蒸发作用测定区。将林木单株周围隔离封闭,并与有枯落物覆盖之林地无根隔离区相配合,便构成了林木蒸腾耗水测定系统。

### 3 结果与分析

#### 3.1 荒(沟)坡与林地土壤水分年际变化分析

将各定位观测点数据按立地类型平均,以年际间较相近时间汇总比较见表2,并以油松为例作图2。

表2 半湿润区荒坡与林地土壤水分年际变化<sup>1</sup>

Table 2 Annual changes of soil moisture content in wild land and in forest land of the gully slopes in subhumid region of the Loess Plateau

项目 Item	容积含水量(%) Soil moisture content in volume									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
深度(cm) Depth	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
阴坡上部 <sup>①</sup> 1993-05-31	22.15	20.79	20.04	19.94	20.80	20.18	18.93	18.18	17.97	18.31
阴坡下部 <sup>②</sup>	25.06	26.14	26.60	28.97	28.68	29.55	29.65	29.75	29.70	29.04
阳坡下部 <sup>③</sup>	12.82	15.02	17.40	16.46	15.10	14.04	14.33	14.42	13.94	14.49
油松林地 <sup>④</sup>	12.51	13.87	14.42	13.39	12.70	11.85	12.04	12.07	11.24	11.21
刺槐林地 <sup>⑤</sup>	15.22	15.76	16.34	16.41	13.83	12.33	12.47	12.80	13.26	13.05
阴坡上部 1994-03-22	21.69	20.13	15.14	15.30	16.21	17.22	16.55	16.12	17.31	17.28
阴坡下部	26.87	24.58	25.66	28.18	29.64	30.76	30.32	30.63	30.64	27.93
阳坡下部	11.49	10.26	11.69	12.40	12.35	12.36	14.19	13.73	14.21	13.61
油松林地	8.97	9.00	10.01	10.56	11.07	10.43	11.11	11.44	10.75	10.41
刺槐林地	15.94	11.45	10.67	12.36	13.16	14.51	14.08	14.79	13.68	14.23
阴坡上部 1995-02-28	22.19	18.38	17.58	15.50	15.38	13.89	13.49	14.23	13.40	15.19
阴坡下部	25.06	26.14	26.60	28.97	28.68	29.55	29.65	29.75	29.70	29.04
阳坡下部	13.08	17.19	17.77	14.49	12.78	11.67	13.03	14.02	12.45	13.71
油松林地	16.75	15.76	14.445	12.71	11.16	10.95	10.36	12.15	10.76	11.44
刺槐林地	20.22	19.34	18.61	17.90	16.02	14.77	14.41	14.73	13.51	13.65
阴坡上部 1995-11-30	13.21	11.39	10.94	11.62	12.77	12.40	13.97	13.57	13.67	14.81
阴坡下部	22.13	18.99	20.70	22.02	22.66	24.78	25.46	25.55	26.39	26.79
阳坡下部	8.60	9.17	9.52	10.56	11.03	11.73	11.30	12.17	12.61	13.22
油松林地	12.00	11.33	11.63	12.56	13.48	12.35	12.74	11.34	13.15	12.27
深度(cm) Depth	220	240	260	280	300	320	平均 <sup>⑥</sup>	储水量 <sup>⑦</sup>	年际增量 <sup>⑧</sup>	
阴坡上部 1993-05-31	16.96	18.09	18.46	18.01	17.44	17.16	18.96	606.8		
阴坡下部	27.75	27.72	27.18	27.63	29.29	29.46	28.26	904.3		
阳坡下部	13.60	13.83	13.41	12.87	12.54	11.83	14.13	452.2		
油松林地	11.58	12.03	12.39	12.30	12.03	13.25	12.43	397.8		
刺槐林地	14.40	14.00	12.97	13.20	12.70	13.30	14.18	453.8		
阴坡上部 1994-03-22	17.63	16.92	17.71	17.42	17.63	17.03	17.33	554.5	-52.3	
阴坡下部	27.38	28.18	26.62	25.77	27.83	27.85	28.05	897.7	-6.6	
阳坡下部	13.54	13.53	13.03	12.80	12.61	11.77	12.72	407.0	-45.2	
油松林地	11.21	11.39	12.08	12.15	12.04	12.61	10.95	350.4	-47.4	
刺槐林地	15.44	14.96	14.79	13.46	13.52		13.94	446.1	-7.7	
阴坡上部 1995-02-28	15.94	15.69	15.90	15.27	14.81	15.48	15.77	504.5	-50.0	
阴坡下部	27.53	27.48	27.89	26.99	27.44	27.98	27.52	880.8	-16.9	
阳坡下部	13.45	13.15	13.53	12.28	12.90	11.91	11.59	434.8	27.8	
油松林地	10.635	11.70	11.70	12.20	12.30	12.95	12.37	395.8	45.4	
刺槐林地	15.03	14.72	15.31	15.57	15.42	13.87	15.82	506.2	60.1	
阴坡上部 1995-11-30	16.32	15.05	15.08	15.00	15.38	15.39	13.78	441.1	-63.4	
阴坡下部	26.01	27.26	25.98	26.03	26.10	27.68	24.66	789.1	-91.7	
阳坡下部	13.52	14.08	13.60	12.53	12.73	12.32	11.79	377.3	-57.5	
油松林地	12.98	13.78	14.84	15.36	14.45	13.23	12.97	415.0	19.2	

\* 表内测定值均为3个测点,每点3测管的平均值,文中各表同此。①:Up position on north slopes;②:Low position on north slopes;③:Low position on south slopes;④:Chinese pine forest land;⑤:Black locust forest land;⑥:Mean;⑦:Amount of water stored(mm);⑧:Annual changes(num)

由表 2 可见,由于观测的前一年为丰水年,1993 年春季测定时,阴阳向荒坡均较随后两年土壤含水量为高。1993 年为平水年,全年降水 531.9mm,其中,5~10 月降雨 444.4mm,7~9 月雨季降雨 201.0mm。到 1994 年春季,阴坡上部立地在 0~200cm,阳坡下部在 0~140cm 土层间土壤含水量均较前年同期有明显的降低,阴坡下部立地各层次变化不明显;0~320cm 年际储水增量阴坡上、下部与阳坡下部立地分别为 -52.3、-6.6 和 -45.2mm;同处阴坡上部立地类型的油松、刺槐林地,储水量分别减少了 47.4 和 7.7mm。年际间降雨与蒸发相互作用深度,阴向荒坡主要发生在 220cm 以上,林地主要发生在 180cm 以上土层内;阳向荒坡则在 140cm 以上。

1993 年为欠水年,1~10 月份降水 440.4mm,在测定的 4~10 月间降雨 408.8mm,特别是 7~9 月雨季降雨仅 120.5mm,加之高温,出现了严重的季节干旱,造成荒坡(近裸地)土壤水分的大量蒸发,虽经晚秋降水补充(10 月份降雨达 88.5mm),阴向荒坡上部立地由于原有含水量较高,蒸发潜力大,在干旱季节损失水量过大,当年降水补给深度仅达 100cm。阴向荒坡上、下部立地年际储水增量分别为 -50.0 和 -16.9mm,油松、刺槐林地则分别为 +45.4 和 +60.1mm。阳坡下部立地在干旱季节虽也失去了一定量水分,但由于本身所含含水量较低,下层土壤供水能力有限,难以提供大量可供蒸发的水分,实际消耗水量并不大,经晚秋降水补充后年际储水增量为 +27.8mm。1995 年降雨状况与前一年相似,到年底时在阴坡上、下部与阳坡下部立地土壤储水增量,较年初又有较大幅度的下降,分别为 -63.4、-91.7 和 -57.5mm。

从 1993 年 5 月到 1995 年 11 月,阴坡上、下部与阳坡下部立地土壤储水增量分别为 -165.7、-115.2 和 -74.9mm;油松林地则为 +17.2mm。阴坡上、下部土地水分亏损量分别是阳坡下部的 2.2 和 1.5 倍。

为进一步分析林地与荒坡水分收支的差异,将同处阴坡上部的荒坡与油松、刺槐林地连续 3a 各年初与年末土壤储水量观测结果,汇总并作图(见表 3)。

表 3 相同立地类型之荒坡及林地土壤水分储量年际变化对比表

Table 4 Annual changes of soil water stored in wild land and in forest land at the same up position on north slopes site type

	1993-05-21		1993-11-01		1994-03-22		1994-11-01		1995-02-28		1995-11-30	
	A*	B*	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
阴坡上部荒坡 <sup>①</sup>	18.96	606.8	17.18	549.9	17.33	554.5	14.76	472.2	15.77	504.5	13.78	441.1
阴坡上部油松林地 <sup>②</sup>	12.43	397.8	11.68	373.6	10.95	350.4	12.13	388.3	12.37	395.8	12.97	415.0
阴坡上部刺槐林地 <sup>③</sup>	14.18	453.8	13.73	439.2	13.94	446.1	14.87	475.9	15.82	506.2		

\* A: 平均容积含水量(%) A is mean soil moisture content in volume; B: 320cm 土层内储水总量(mm) B is amount of water stored in 320cm. ① Wild land; ② Chinese pine forest land; ③ Black locust forest land

由表 3 可见,在连年降雨偏少的气候条件下,荒坡蒸发量增大,土壤水分储量呈连年下降趋势。在 1993 年的 5~11 月间,在 320cm 土层内,土壤水分储量减少了 56.9mm;经测定油松、刺槐林同期蒸腾量分别达 386.3 和 400.3mm,在此情况下,林地土壤储水量仅分别下降了 24.2 和 14.6mm。

在连续测定的 3a 中,年终与年初相比,荒坡土壤储水量均表现为持续的下降趋势,林地土壤储水量虽在测定初期就恒低于荒坡(其它原因造成,另文详述),但各年内水分收支盈大于亏,年际间则基本平衡或略有盈余。表现出与荒坡裸地截然不同的水分收支关系。

综合以上研究结果可见,在黄土高原半湿润区,虽然降雨量较其它干旱地区为高,但由于巨大的蒸发潜力,荒坡近裸地在 320cm 土壤深度内,储水总量年际间并未因植物的很少利用而蓄积;在林地内虽然林木全年消耗了大量的水分,却亦并未出现土壤储水量的大幅度降低。荒坡与林地土壤水分收支若以降雨的

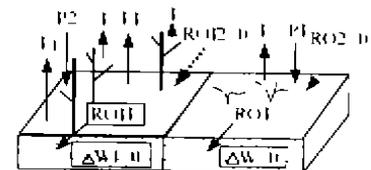


图 2 林地与荒坡水分小循环系统中各分量流向示意  
Fig. 2 The movement of each water item in the water mini-cycle systems of a forest land and a wild land

丰、欠年周期为时间单位计算,均会表现为相对的平衡关系。这样林木所消耗的水分来源途径问题,则构成了研究的焦点。

### 3.2 林地有效水分来源途径分析

黄土高原由于其特殊的地貌特征,降雨几乎是林地土壤水分的唯一来源。且经大量研究<sup>[14, 16-18]</sup>及上文分析证明,黄土高原土壤水分无侧向径流和深层渗漏。现就林地内、外(荒坡)各自水分收支平衡关系(参见图2)分析如下。

**3.2.1 林外裸地水分收支平衡关系分析** 如图4所示,若将林外荒坡(近裸地,可忽略植物蒸腾作用)测定区,作为一个完整的水分小循环系统看待,则在一定时段内,水分平衡关系为:土壤储水增量( $\Delta W$ )=降雨量( $P_1$ )+系统外径流输入量( $RO_2$ )-系统内径流输出量( $RO_1$ )-地面蒸发量( $E$ ),即  $\Delta W = P_1 + RO_2 - RO_1 - E$

在黄土高原地区,虽然蒸发潜势远大于降雨量,但地面蒸发量又受到降雨量(土壤水分供给量)的强烈制约。若以年降雨的丰、欠周期为单位,则初、末期土壤水分收支基本平衡,土壤水分增量则近似为零<sup>[16-18]</sup>,即  $\Delta W = 0$ ,则:  $P_1 + RO_2 - RO_1 - E = 0$

若将一个坡面整体作为一个系统来研究,则就此坡面来说,可排除外来径流对水分平衡关系的影响,即  $RO_2 = 0$ ,则:

$$P_1 = E + RO_1 \quad (1)$$

**3.2.2 林地水分收支平衡关系分析** 将林分及其林地土壤环境,作为一个研究系统<sup>[3, 9, 21]</sup>,则系统内水分平衡关系为:林地土壤水分收入量( $\Delta W_1$ )=降雨量( $P_2$ )-林冠截留量( $I$ )-枯落物截留量( $L_i$ )-系统内地表径流输出量( $ROf_1$ )+系统外地表径流输入量( $ROf_2$ )。即:

$$\Delta W_1 = P_2 - I - L_i - ROf_1 + ROf_2$$

林地土壤水分支出量( $\Delta W_2$ )=林分蒸腾量( $T$ )+林地蒸发量( $Ef$ ),即:  $\Delta W_2 = T + Ef$ 。

根据林地水分收支保持基本平衡的营林要求,即  $\Delta W_1 \approx \Delta W_2$ ,则:

$$P_2 - I - L_i - ROf_1 + ROf_2 = T + Ef$$

同理,以一个坡面整体作为一个研究系统,即  $ROf_2 = 0$ ,则:

$$P_2 = T + Ef + I + L_i + ROf_1 \quad (2)$$

由于枯落物层覆盖,林内降水接纳与蒸发作用面移至枯落物表层。在枯落物层截留与阻止土壤蒸发的双重水文效应作用下,地面水分收支的物理过程较原裸地发生了显著的变化。在以枯落物表层为蒸发面的林内,真正意义上的地面蒸发量即式(2)中的  $Ef$  与枯落物本身的蒸发量常难以区分。因此,在研究林内整体水分收支关系时,可将枯落物层与林地土壤作为一个有机整体来分析。这样,不但简化测定过程,减少误差,还简化分析过程。因此,式(2)中的  $Ef + L_i$  可用枯落物表层蒸发量( $Ef_1$ )代替,即  $Ef_1 = Ef + L_i$ ,则:

$$P_2 = T + Ef_1 + I + ROf_1 \quad (3)$$

从理论上来说,在同一地区相同时段内,林冠上( $P_2$ )与林外(旁)荒坡( $P_1$ )所获得的大气降雨,其数量应相近(等),即  $P_2 = P_1$ 。因此,根据式(1)、(3),推导出林分内、外水分小循环系统内各分量间,存在着如下数量关系:

$$T + Ef_1 + I + ROf_1 = E + RO_1$$

$$\text{即 } T = (E - Ef_1) + (RO_1 - ROf_1) - I;$$

$$\text{令 } \Delta E = E - Ef_1, \Delta RO = RO_1 - ROf_1; \text{则: } T = \Delta E + \Delta RO - I \quad (4)$$

即林分蒸腾量( $T$ ),在数值上等于林分内、外“地面”蒸发量之差( $\Delta E$ )与地表径流差值( $\Delta RO$ )之和,再减去林冠截流量( $I$ )。

由此可见,林分蒸腾所消耗的水分,源于林内环境改变后,同荒坡相比所减少的地表蒸发量和径流量。

### 4 林木“自创性”有效水分供给体系假说的提出

式(4)虽表示为林分的水分蒸腾数量(平衡)关系,但在黄土高原地区,由于干旱的气候及土壤条件,林木的蒸腾耗水量强烈地受到林地土壤可供给水量的制约,二者有着相对的平衡关系。因此,式(4)从本质上

来说,其实际含义则表示了林地所能供给林木蒸腾(生长)所需要有效水量,即林地的有效水分供给潜力(available water potentialities 缩写为 AWP)。

为了更明确地表示这种有效水分供给潜力,并与林分蒸腾量相区别,令  $AWP=T$ , 则:

$$AWP = \Delta E + \Delta RO - I \tag{5}$$

式(5)称为“林地有效水分潜力方程”。由式(5)可以清楚地看到,  $\Delta E$  是由于林冠遮蔽及枯落物覆盖,而造成(带来)的林分内外地面蒸发量的差值。即由于林冠及枯落物之综合作用,减少地面水分无效消耗(蒸发)后所增加的有效水量;  $\Delta RO$  亦是由于枯落物对径流的阻滞和林地土壤渗透性增强等林分环境改变,降低降雨径流(量)而增加的土壤有效储水量。因此,林地有效水分供给潜力,并非原裸地之固有特性,而是一种由于林分存在,林木对自身生存环境的改造而获得的能力,即林分“自创性”能力。且这种能力与林分状况密切相关,并随着林木的生长,林内环境的改变,而处于动态变化之中。

4.1 林分“自创性”有效水分供给潜力的测定

由以上分析可见,林分“自创性”有效水分供给潜力,主要是由林冠和林地枯落物等林分环境对林内降雨有效地保持,减少蒸发和径流的无效消耗所获得的。因此,其潜力大小主要取决于林冠和枯落物对林地无效水分消耗的影响能力。对其进行定量测定,则是潜力研究、评价的基础和中心。

4.1.1 林冠遮蔽的水文效应 在林内(郁闭度 0.8 左右)设置地面蒸发测定区,因该区内无植物根系(已隔离),无枯落物覆盖(已除去,见图 1),则测定时期内的水分增量,即由于林冠的遮蔽作用而减少的地面蒸发量。林分内、外(荒坡)同期土壤水分增量之差值,即反映了林冠的“自创”能力。现将阴、阳坡下部立地类型,林内与荒坡测定结果汇总列于表 4、5。

由表 4 可见,阴坡刺槐林内地面蒸发测定区在林冠的遮蔽下,测定时期内水分收入大于支出。在 0~320cm 测定范围内,11 月份土壤水分储量较 5 月份增加了 56.5mm。但在相邻的荒坡测定区,土壤水分储量却减少了 3.0mm。

表 4 阴坡刺槐林内外地面蒸发测定区土壤水分年内(1993 年)变化比较\*

Table 4 Changes of soil moisture content in the soil evaporation measuring plots of in a stand land and in a wild land on the same north gully slopes in 1993

项目 Item	容积含水量(%) Soil moisture content in volume													平均	储水量 <sup>①</sup>	
	深度(cm) Depth	20	40	60	80	100	120	140	180	200	220	240	260			300
刺槐林内 05-22	24.02	27.92	27.53	28.73	28.74	24.22	21.64	22.19	20.47	21.37	21.25	20.21	20.43	20.21	23.13	740.3
阴坡下部 09-03	19.33	25.49	27.53	31.52	32.72	29.42	31.06	42.07	27.1	25.19	25.05	23.13	23.91	23.42	36.63	552.2
forest land 11-15	19.42	19.27	21.38	25.32	25.65	25.26	27.11	29.32	30.57	25.65	25.83	25.53	23.54	23.22	24.50	796.8
阴向荒坡 05-21	25.06	26.14	26.6	28.97	28.68	29.55	29.65	29.7	25.04	27.75	27.72	27.13	29.29	29.46	28.26	304.2
下部立地 09-03	24.68	25.06	26.61	28.3	29.24	29.81	29.15	28.48	29.05	27.91	27.57	26.63	29.27	29.72	28.10	899.1
wild land 11-15	24.39	25.57	25.31	26.87	29.14	30.25	29.2	29.46	29.79	28.44	27.53	27.37	29.54	29.82	28.17	401.3

\* 平均值为 320cm 深度内全部层次均值,文内各表格同此。① (mm)

表 5 阳坡刺槐林内外地面蒸发测定区土壤水分年内(1993 年)变化比较

Table 5 Changes of soil moisture in the soil evaporation measuring plots of in a stand land and in a wild land on the same south gully slopes in 1993

项目 Item	容积含水量(%) Soil moisture content in volume													平均	储水量	
	深度(cm) Depth	20	40	60	80	100	120	140	180	200	220	240	280			300
刺槐林内 05-22	15.56	15.7	15.21	15.93	14.24	13.09	11.47	10.65	9.84	9.375	8.945	8.263	7.165	5.92	10.9	548.9
阴坡下部 09-03	17.4	18.28	21.38	20.79	19.92	18.93	17.85	14.87	11.92	10.01	10.37	5.72	5.23	6.03	13.98	427.2
forest land 11-15	13.62	13.28	14.96	16.9	16.61	17.99	16.74	15.37	13.1	12.11	10.09	9.9	7.81	6.91	12.65	404.9
阳向荒坡 05-22	12.82	15.02	17.4	16.46	15.1	14.04	14.43	14.42	13.94	14.49	13.6	13.63	12.87	11.83	14.13	452.2
下部立地 09-03	11.3	14.76	16.01	15.37	13.74	12.66	13.1	12.71	12.26	12.47	12.62	12.38	11.04	10.57	12.71	406.9
wild land 11-15	8.34	9.75	13.96	14.76	14.33	13.27	14.12	12.75	12.63	13.33	12.77	12.37	11.98	10.55	12.36	395.7

在阳坡刺槐林内蒸发测定区(见表 5),土壤水分储量 11 月份较 5 月份增加了 56.0mm。但相邻荒坡却

减少了 56.5mm。

从以上测定结果可见,由于林冠对林内蒸发环境的改变,使同一坡向林分内地面蒸发强度较林外荒坡大幅度降低,出现了水分积累现象。

由表 4、5 还可见,在测定期间阴、阳坡向荒坡土壤水分储量虽均出现了亏损现象,但幅度差异较大。阴坡仅亏损了 3.0mm,阳坡却亏损了 56.5mm,是阴坡的 18 倍之多。但在刺槐林内测定区,阴、阳坡向均表现为水分储量的增加。阴坡净增 56.5mm;阳坡亦达到了 56.0mm。由此可见,阴、阳坡向间土壤水分蒸发强度上固有的较大差异,由于林冠的遮蔽等作用,而得到了有效地降低与调和。林冠对降低地面蒸发的作用,由此亦可见一斑。

林冠的“自创”能力,可用相应立地条件下,林内蒸发测定区水分增量与林外裸地测定区水分增量之差表示。测定结果为:阴向沟坡上部油松林为 126.7mm;阴向沟坡上、下坡位刺槐林,分别为 145.1 和 59.5mm;阳坡下部刺槐林为 112.5mm。

**4.1.2 林内枯落物的水文效应探讨** 以“单株平衡法”<sup>[1,2]</sup>之蒸发测定区设置方法(参见图 1),分别布设有、无枯落物覆盖之土壤水分蒸发测定区。以同期两个测定区水分增量之差值,作为枯落物减少土壤蒸发的量化指标。经作者在油松林内测定,枯落物层减少地面蒸发,保持土壤水分的正效应,与它减少水分进入土壤的截留负效应,即双向综合作用结果,是一正效应。在 1993 年 6~11 月份的测定期间,测定区土壤水分储量增加了 23.7mm。

由以上初步研究结果可见,在蒸发潜力远大于降雨量的黄土高原干旱条件下,林分以其庞大的林冠遮蔽作用,创造了林内低温、高湿的森林环境;以其大量的枯枝落叶,构成了森林土壤深厚的枯落物层<sup>[10~14]</sup>。从而使原造林前裸露土壤的水分循环过程,发生了根本的变化,并因此为自己的生存,创造了有利的水分供给环境。因此认为,黄土高原林地土壤有效水分,是由于林木的存在与利用而获取的。具有“用则生,弃则失,不积累,可提高”的基本属性。林分这一“自创性”作用,在黄土高原这一特殊地区,具有其它生态功能所无与伦比的特殊意义。是人们认识该区人工林环境效应的基本出发点。

#### 4.2 林分“自创性”有效水分供给潜力的初步评价

由于林地有效水分供给潜力,是由林分“自创”的,因而其数值大小与林分状况及林内环境,诸如树种组成、郁闭度、林冠厚度、枯落物层厚度及分解状况等有着密切的关系。因此,林分“自创性”有效水分供给潜力的研究,是一个涉及因素众多的复杂问题。需经一定时期和较多人力、物力的投入,才能获得客观满意的结果。

在阳向沟坡上、下部(坡)位和阴向沟坡,刺槐林(23 年生)分别为 220.6、291.6 和 340.7mm。在阴向沟坡,油松林(20 年生)为 386.9mm。

#### 4.3 黄土高原林木“自创性”有效水分供给体系假说提出的意义

林木“自创性”有效水分供给假说的提出,从一个全新的角度,展现并揭示了黄土高原森林植被存在的客观实际意义,就在于它首先创造了自身生存的水分环境,并将无储蓄可能,通常以流失、蒸发形式无效消耗的有限降水资源,与无法储存的光能资源,实现了有机地结合,积累成了宝贵的财富。

林分“自创性”有效水分供给学说,不仅在黄土高原森林水文研究中,具有开拓新思路的作用,且在造林学的理论与实践上,它对于进一步认识黄土高原林地生产力的本质(为林地水分生产力),评价其潜力,亦将提供新的理论依据。同时,对于诸如造林整地等技术措施之作用,首先在于它创造与提高林地生产潜力之实质的新认识,对进一步增强造林整地意识,提高整地质量,亦将具有积极地促进作用。作为重要的理论依据,对认识造林密度的确定和种植点的配置,是利用立地原有的水分供给潜力,迅速形成森林环境并尽早发挥其“自创”能力的特殊生态作用及生态学意义;特别是对于树立种植点配置是人为地提高林地生产力的新认识与新思想,将具有深刻的影响。此新认识的树立,将在很大程度上改变不分立地条件,一律强调均匀分布的传统思维定式。按“自创性”假说,在黄土高原降雨不能满足林木生长基本需求的地区造林,就一个坡面来说,林木布局应确立以非均匀式带状配置为主体的设计思想;就一个较大区域整体而言,在恢复植被工作中,亦应确立因地制宜,团块分布的空间格局。那种期望坡坡变林海的意愿和见地就造林的做

法,是不现实和不可取的。

## 5 结论

(1)在黄土高原半湿润区阴、阳向荒坡及阴坡上部油松林地,在平水年降雨与水分蒸发相互作用分别主要发生在 0~220cm、0~140cm 和 180cm 以上深度范围。在所观测的 3a 中,在 0~320cm 的测定深度内,阴坡上、下部与阳坡下部立地土壤储水增量分别为 -165.7、-115.2 和 -74.9mm,未出现蓄积和向深层移动现象;油松、刺槐林地却在林木每年蒸腾消耗大量水分(达 380mm 以上)后,分别增加储水量 17.2 和 52.4mm(2a),年际收支均基本平衡或略有盈余。林地与荒坡表现出截然不同的水分收支关系。

(2)林木生长所消耗的水分,主要来源于森林本身对其原有水分环境的改造作用,即由林冠遮蔽及枯落物覆盖等作用,对地面蒸发的降低和对林地径流的减少所增加的有效水量。黄土高原林地有效水分供给体系,是一个林分“自创性”“自我供给”系统,其潜力可用“林地有效水分潜力方程  $AWP = \Delta E + \Delta RO - I$ ”加以表达和计算。

(3)黄土高原林地有效水分具有“用则生,弃则失,不积累,可提高”的基本属性。其供给潜力的大小,受林分结构特征、林地状况等多种因素的影响而处于动态变化之中。初步测定结果为:在阳向沟坡上、下坡位和阴向沟坡,刺槐(23 年生)林地分别为 220.6、291.6 和 340.7mm。在阴向沟坡,油松林(20 年生)为 386.9mm。

(4)林冠的遮蔽作用,不仅减少了林内水分无效消耗,且使坡向间固有之地面蒸发强度(潜力)的较大差异,得到了有效地降低与调和,并使其趋于一致。

(5)林分“自创性”有效水分供给假说的提出与建立,将从一个新的角度,展现并揭示黄土高原森林植被存在的客观实际意义。它不仅对黄土高原森林水文生态效应,且对该区森林培育学的理论研究,将开拓新的思路。

## 参考文献:

- [1] 孙长忠,黄宝龙. 单株平衡法的建立. 林业科学. 1996,32(4):378~381.
- [2] 孙长忠,廖超英,张学文. 单株平衡法及其评价. 西北林学院学报. 1995,10(增刊):74~78.
- [3] 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. 1980,25(6):549~553.
- [4] 韩仁峰,杨新民,张效忠. 黄土高原西部地区土壤水分亏损及其提高途径. 水土保持通报. 1988,8(2):57~59.
- [5] 韩仁峰,黄旭. 黄土高原的土壤水分利用与生态环境的关系. 生态学杂志. 1993,12(1):25~28.
- [6] 韩仁峰,李玉山,石玉洁,等. 黄土高原土壤水分资源特征. 水土保持通报. 1990,10(1):36~42.
- [7] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响. 生态学报. 1983,3(2):91~100.
- [8] 杨新民,杨文治. 干旱地区人工林土壤水分平衡的探讨. 水土保持通报. 1988,8(3):32~38.
- [9] 杨海军. 晋西黄土高原水土保持林水量平衡的研究. 北京林业大学学报. 1993,15(3):43~50.
- [10] 周国逸,潘淮寿. 林地土壤的降雨入渗规律. 水土保持学报. 1990,4(2):79~83.
- [11] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁. 黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究. 水土保持学报. 1991,5(4):87~92.
- [12] 吴钦孝,刘向东,苏宁虎,等. 山杨次生林枯枝落叶蓄积量及其水文作用. 水土保持学报. 1992,6(1):71~76.
- [13] 张万儒,许本彤,杨承栋等. 山地森林土壤枯枝落叶层结构和功能的研究. 土壤学报. 1990,27(2):121~130.
- [14] 聂道平. 油松人工林水分平衡与蒸散特点的研究. 林业科学研究. 1989,2(6):606~609.
- [15] 刘秉正,王幼民. 刺槐林的水文作用研究. 林业科技通讯. 1989,(6):14~16.