

178-184

(5084)(10)

第15卷 第2期
1995年6月生态学·报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 15, No. 2
Jun. 1995晋西北黄土区人工林土壤水分
动态的定量研究

王孟本 李洪建

(山西大学黄土高原地理研究所, 太原, 030006)

S718.551.2

A

摘要 本文根据1988—1990年的定位观测资料,对晋西北黄土丘陵区的河北杨林、刺槐林和柠条灌木林的土壤水分动态规律进行了定量分析。依次就水分分布分层、水分剖面特征、水分季节动态、水分循环模式与水分循环水平等问题进行了探讨。本文采用的新的分析途径和方法将有助于对黄土区不同植被类型土壤水分生态研究的进一步深化。

关键词: 人工林, 土壤水分动态, 水分分布分层, 水分剖面特征, 水分循环模式, 水分循环水平。

定量分析

关于我国黄土区土壤水分的性质与循环特点,历来受到人们的重视。把土壤水分作为一个肥力因素的研究较早受到注意^[1]。对不同植被类型水分生态功能的较深入的研究始于80年代初期^[2]。“七·五”期间国家把“黄土高原综合治理研究”列入科技攻关计划,不同植被类型水分动态规律的研究取得了令人瞩目的成果^[3-6],其范围与深度均是前所未有的。但是对植物群落水分生态环境较长期定位试验数据的系统性定量分析仍甚少见到。本文试图在这方面做初步尝试。

1 研究概况

1.1 试区及其气候

定位试验区设在晋西北河曲县砖窑沟流域(北纬39°11'06"—39°13'47",东经111°12'03"—111°19'28")。根据距本流域中心西北约9km所在县气象站,1954—1973年(1973年之后迁址较远)纪录年平均气温8.8℃,最热月平均气温23.9℃,最冷月平均气温-9.4℃;年平均降水量447.5mm,其中生长期(4月20日—10月20日)降水量396.7mm;年平均相对湿度48%。

1.2 供试林

试验用河北杨(*Populus hopeiensis*)林、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林和柠条(*Caragana korshinskii*)灌木林在1988年分别为23a、15a和20a以上林龄的人工林。

河北杨林位于流域中部的沙坪村南面,海拔1100m左右,坡向东至东北,坡度10°左右。据1989年调查数据,林分密度为2220株·hm⁻²,株高4.63m±1.10(平均值±标准差,下同),胸径5.5cm±1.7。林分无灌木层,其草本层植物仅10余种,以披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)和阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)为优势种。

刺槐林位于流域中部的沙坪村东南面,海拔1100m左右,坡向正西,坡度10°左右。据1990年调查数据,林分密度2900株·hm⁻²,株高4.31m±0.96,胸径4.58cm±1.18。林分无灌木层,其草本层以阿尔泰狗娃花为优势种。

收稿日期:1993 03 13,修改稿收到日期:1993 11 10。

柠条灌木林位于流域中部沙坪村以西,海拔 1070m 左右,群落位于梁坡上部,坡向正西,坡度 4°左右。据 1989 年调查数字,柠条平均株高 1.05m±0.26,盖度约 66%。草本层盖度 75%左右,以百里香(*Thymus mongolicus*)为优势种。伴生植物有沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙珍珠豆(*Oxytropis psammocharis*)与山苦荬(*Ixeris chinensis*)等。

3 种供试林分的土壤基质均为马兰黄土,土壤均为栗褐土。土壤养分均较贫乏(表 1)。

表 1 3 种人工林的土壤养分分析(1989 年 10 月)

Table 1 Analysis of soil fertility in the plantations of *P. hopeiensis*, *R. pseudoacacia* and *C. korshinskii* (Oct., 1989) (Abbr. to *Php*, *Rpp* and *Ckp* in the following tables)

	深度 Depth (cm)	有机质 Organic matter (%)	全氮 Total nitrogen (%)	速效氮 Readily available nitrogen (mg·hg ⁻¹)	速效磷 Readily available phosphorus (mg·hg ⁻¹)	速效钾 Readily available potassium (mg·hg ⁻¹)	pH
河北杨林 <i>Php</i>	0—20	0.45	0.028	2.06	0.15	9.00	8.40
	20—40	0.20	0.018	1.30	0.15	6.00	8.45
	40—100	0.27	0.016	1.27	0.28	6.30	8.60
刺槐林 <i>Rpp</i>	0—20	0.64	0.044	3.73	0.40	9.80	8.65
	20—40	0.38	0.034	2.97	0.15	7.00	8.65
	40—100	0.28	0.024	2.59	0.15	6.80	8.70
柠条灌木林 <i>Ckp</i>	0—20	0.35	0.019	2.75	0.15	6.75	8.65
	20—40	0.21	0.012	1.75	0.15	4.75	8.65
	40—100	0.18	0.011	0.92	0.14	5.08	8.50

1.3 测定方法

土壤含水量用烘干法进行测定。测深 300cm, 11 个土层的深度下限分别为 10、20、40、60、80、100、120、150、200、250 和 300cm。每层每次 3 个样品。1988 年 4 月 20 日—10 月 20 日, 每月 5 日和 20 日各取样一次。1989 年与 1990 年 4—10 月, 每月 20 日左右取样一次。年生长长期降雨量用简易雨量筒实测。

2 结果与分析

2.1 土壤水分垂直变化特点

2.1.1 土壤水分分布分层 对黄土区土壤水分垂直分布特征的定量分析, 目前还没有一致的方法^[6,7]。根据标准差(*S. D.*)判别法^[7], 3 种人工林的土壤湿度剖面可划分为活跃层、次活跃层和相对稳定层(表 2)

表 2 3 种人工林年生长期的土壤水分分布分层(1988—1990 年)

Table 2 Stratification of water distribution of soil profile in the three plantations during growing season

年份 Year	人工林 Plantation	土壤水分活跃层 Active layer of soil water		土壤水分次活跃层 Secondarily active layer of soil water		土壤水分相对稳定层 Relatively stable layer of soil water		生长长期降水量 Precipitation (mm)
		深度 Depth (cm)	标准差 Standard deviation	深度 Depth (cm)	标准差 Standard deviation	深度 Depth (cm)	标准差 Standard deviation	
1988	河北杨林 <i>Php</i>	0—150	2.11—3.70	150—200	1.24	200—300	<1.0	436.2
	刺槐林 <i>Rpp</i>	0—60	2.68—3.81			60—300	<1.0	
	柠条灌木林 <i>Ckp</i>	0—100	1.77—2.21	100—120	1.29	120—300	<1.0	
1989	河北杨林 <i>Php</i>	0—120	1.87—2.24	120—150	1.28	150—300	<1.0	341.8
	柠条灌木林 <i>Ckp</i>	0—60	1.80—3.64	60—100	1.00	120—300	<1.0	
1990	河北杨林 <i>Php</i>	0—100	1.99—3.58	100—150	1.16	150—300	<1.0	423.9
	刺槐林 <i>Rpp</i>	0—60	3.27—4.23	60—80	1.43	80—300	<1.0	
	柠条灌木林 <i>Ckp</i>	0—120	1.79—3.29			120—300	<1.0	

2.1.2 土壤水分剖面特征 在理论上土壤水分梯度可能具有 3 种不同情况:上下土层水分含量相等,梯度为零;下层水分含量高于上层,梯度为正;下层水分含量少于上层,梯度为负。3 种供试林的土壤水分梯度情形如图 1 所示。

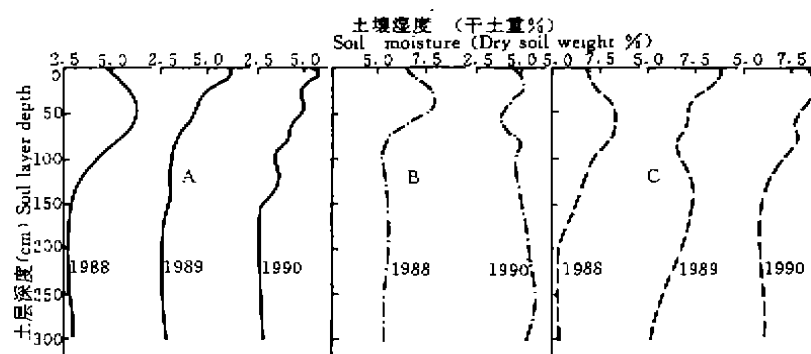


图 1 3 种人工林的土壤水分垂直剖面(1988—1990 年)

Fig. 1 The profile of soil water in the plantations of *C. korshinskii* (A), *R. pseudonacacia* (B) and *P. hopeiensis* (C)

定量分析说明,3 种供试林下的土壤上层(即水分活跃层+次活跃层)含水量明显高于下层(即水分相对稳定层)。下层与上层的土壤湿度相对误差在 -25.0% — -58.0% 之间,林下土壤水分梯度负值很大。天然草地^[3]的土壤下层与上层含水量的相对误差则为 $+4.1\%$,水分梯度与零接近(表 3)。

表 3 上下土层的土壤湿度比较(干土重%,1988.4—10 月)

Table 3 A comparison of soil moisture between upper and lower soil layers (dry soil weight %, During Apr. — Oct., 1988)

		活跃层+次活跃层 Active layer+Secondarily layer		相对稳定层 Relatively stable layer		下层与上层含水量的 相对误差(%) Relative error between upper and lower soil layer moisture
		深度 Depth (cm)	土壤湿度加权平均值 Weighted average of soil moisture	深度 Depth (cm)	土壤湿度加权平均值 Weighted average of soil moisture	
河北杨林	<i>Phy</i>	0—200	6.81	200—300	5.45	-25.0
刺槐林	<i>Rpp</i>	0—50	7.09	60—300	5.15	-37.7
柠条灌木林	<i>Ckp</i>	0—120	4.82	120—300	3.05	-58.0
天然草地		0—150	6.09	150—300	6.35	+4.1
Natural <i>T. mong- olicus</i> community						

相关分析进一步表明,人工林的土壤湿度与土层深度之间具有显著或极显著负相关。相应的 3 个直线回归方程在表 4 中列出。而天然草地的土壤湿度与土层深度之间则没有显著相关性($r < r_{0.05} = 0.602$)。

通过以上两方面的分析,同时可以看出,在 3 种人工林中,柠条灌木林的相对稳定层的土壤湿度最低(仅 3.05%),与其上层相比,水势梯度负值最大(-58.0%)。因此柠条灌木林的相对稳定层的水分生态环境更为严峻。

表 4 土层深度(cm, X)与土壤湿度(干土重%, w),之间的回归方程(1988 年)Table 4 Regression equation between soil moisture (dry soil weight %, w) and depth of soil profile (cm, x)

		回归方程 Equation	r	土层深度 Soil layer depth (cm)
河北杨林	Php	$w = 7.9206 - 9.3155 \times 10^{-3}x$	-0.833^{**}	II—300
刺槐林	Rpp	$w = 6.8074 - 7.8735 \times 10^{-3}x$	-0.728^{*}	II—300
柠条灌木林	Chp	$w = 5.4947 - 10.1746 \times 10^{-3}x$	-0.780^{**}	II—300

* $|r| > r_{0.05} = 6.02$, 显著负相关; ** $|r| > r_{0.01} = 0.735$, 极显著负相关。

2.2 土壤水分季节动态

2.2.1 先期降水对土壤水分季节变化的影响 先期降水是上一个生长期末至当年生长期初之间的降水,其中主要是上年冬季降水。在本研究中,它是指上年 10 月 20 日—当年 4 月 20 日这段时间的降水,约占年均降水量的 11.4%。

1989 年与 1990 年生长期初的土壤含水量,即土壤水分季节变化的起始湿度,与上年生长期末的土壤含水量基本相同或明显较高(图 2)。

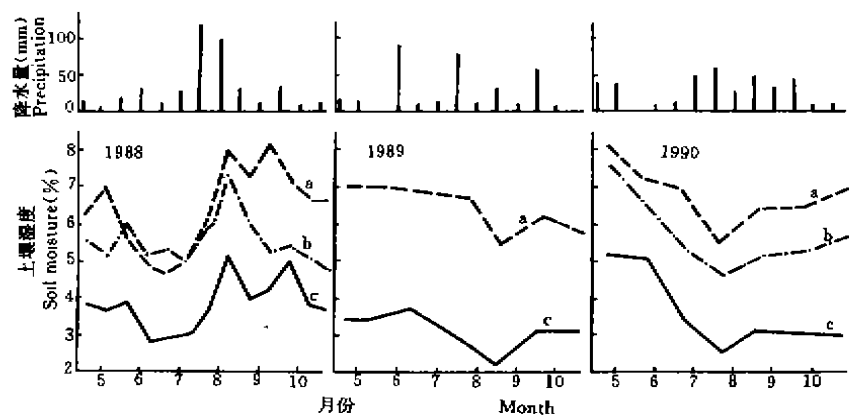


图 2 3 种人工林的土壤水分季节动态(1988—1990 年)

Fig. 2 The soil water seasonal dynamics in the plantations of (a) *P. hopeiensis*, (b) *R. pseudacacia* and (c) *C. korshinskii*

这说明先期降水入渗量等于或大于人工林在同一时期的水分消耗量或蒸发量。尽管后者同生长期蒸散消耗量相比显得很小时。同时说明先期降水对土壤水分季节变化起始湿度的高低亦具有一定的影响作用。尽管这一作用与上年雨季降水的影响作用相比显得很微弱。

2.2.2 降水状况与土壤干湿状况 3 种人工林的土壤水分季节变化趋势在同一年份中具有较强的相似性;同一人工林的土壤水分季节变化趋势,在不同年份则具有明显差异(图 2)。在 1988 年,生长期的降水量高于历年平均量,前期降水量很少,降水峰期出现在 7 月中下旬,之后仍有一定量降水。3 种人工林的土壤干、湿季与气候干、湿季大致吻合。土壤干、湿季大致以 7 月中旬为界。在 1989 年与 1990 年情况则不同。1989 年生长期降水量少于历年平均量,在时间分配上较为均匀,降水峰期出现得异常早(5 月下旬)。人工林的土壤湿季在前干季在后,二者以 8 月上旬为界。1990 年生长期降水量虽多于历年同期平均量,但初期(4 月 30 日前后)降水量异常多,且降水峰期始于 7 月上旬一直延至 9 月中旬,峰期水量分配相对均匀。人工林的土壤湿季在前,干季在后,二者以 7 月中旬为界。

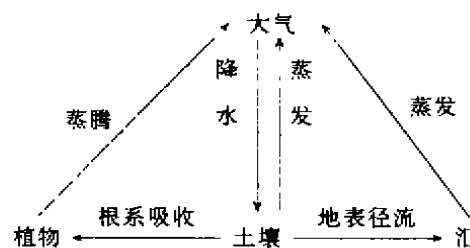
气温变化规律在年际相对一致,生长期 5—8 月为林地土壤水分强烈消耗期(以蒸发为

主)。在此阶段中,若降水较多且较为集中,一般最有利于土壤水分积累;降水少而均匀分布则正好反之;降水较多但均匀分布同样不利于土壤水分积累。因为在后 2 种情况下,每次入渗到林地土壤中的降水量较少,会很快被蒸散消耗掉。1988 年林地土壤干、湿季与气候干、湿季基本吻合,主要是由于气候干、湿季分明,7 月中下旬降水较多且较集中,有利于土壤水分积累。1989 年土壤干、湿季与气候干、湿季不吻合,则是由于降水少而均匀分布,入渗降水被迅速消耗,甚至土壤储水亦同时被消耗了一部分(如 8 月中旬)。1990 年林地土壤干、湿季与气候干、湿季不相吻合,主要是因为气候湿季中降水分配量均匀,在强烈蒸散耗水情况下,降水同样入不敷出(如 7 月下旬)或积累很少(如 9—10 月)。

由此即可看出,在气温年际变化规律相对稳定的情况下,影响人工林土壤干湿季变化的主导因子是年生长期降水量及其分配情形。土壤干湿季与气候干湿季不相吻合,主要是因为气候湿季中,降水少且均匀分布或降水较多但亦均匀分布,降水入不敷出或积累甚少所致。

2.3 土壤水分循环特征

2.3.1 水分循环模式 由于供试林所处地段的地下水深埋,无供给群落需要之可能,在天然降水条件下,入渗的水量只能湿润土壤上层,在一定深度之下具有相对稳定的低湿层,转化为地下径流的过程基本中断。因此,其土壤水分循环模式可简略地归纳如下:



2.3.2 水分循环水平

2.3.2.1 降水入渗深度 3 种人工林地的年降水入渗湿润深度与土壤水分相对稳定层的上限基本吻合(表 2)。根据 3 年土壤湿度剖面数据,降水在林地的最大渗深可达 200cm(1988,河北杨林)、120cm(1988 与 1989,柠条灌木林)与 80cm(1988 与 1990,刺槐林)。

2.3.2.2 蒸发蒸腾作用层深度 有研究表明 40a 生辽东栎和白桦混交林的蒸发蒸腾作用层可达 8m 上下⁽²⁾。作者在田间测得,河北杨林、刺槐林和柠条灌木林地的土壤田间持水量分别为 15.7%、15.7% 和 13.0%(干土重%)。由 3 种人工林的土壤水分垂直剖面(图 1)可以判断出,它们的蒸发蒸腾作用层深度显然已超出本文所测定的 3m 土层深度。有关问题尚需进一步研究。

2.3.2.3 水分循环盈亏 据以往 20a 气象纪录,本区年生长长期平均降水量为 396.7mm。因 1988—1990 年 3 个生长期的降水量分别为 436.2mm、341.8mm 和 423.9mm,可将 3 者分别归为平水年、少水年和平水年。由表 5 可见,各种人工林的土壤水分收支亏缺是经常发生的,在平水年也少有例外。

表 5 年生长期始末林下 0—300cm 土层储水量(mm,1988—1990 年)

Table 5 Soil water content for 300 cm soil depth in Apr. and Oct.

		1988			1989			1990		
		4 月 Apr.	10 月 Oct.	余额 Balance	4 月 Apr.	10 月 Oct.	余额 Balance	4 月 Apr.	10 月 Oct.	余额 Balance
河北杨林	Phy	245.4	256.3	+10.9	265.0	225.0	-40.0	314.2	270.6	-43.6
刺槐林	Rpy	224.4	188.2	-36.2	—	—	—	297.6	213.6	-84.6
柠条灌木林	Ckp	161.3	152.6	-8.7	144.4	131.5	-12.9	210.7	124.6	-86.1

2.3.2.4 水分循环基点 从历年生长期 3m 土层湿度剖面数据的总加权平均值可以看出,3 种供试林的土壤水分循环基点很低,分别在 6.4%(河北杨林)、5.5%(刺槐林)和 3.5%(柠条灌木林)上下波动(表 6)。其形成特点可表示如下:

$$\text{低水分含量} \xrightleftharpoons[\text{蒸散耗水}]{\text{降水入渗}} \text{较高水分含量}$$

表 6 年生长期林下 0—300cm 土层的土壤湿度(干土重%)总加权平均值($\bar{x}$)(1988—1990 年)

Table 6 Total weighted average of soil moisture (dry soil weight %, $\bar{x}$) for 300cm soil depth during growing season

		1988		1989		1990	
		$\bar{x}$	占田间持水量的百分数 Percentage of soil moisture to field capacity	$\bar{x}$	占田间持水量的百分数 Percentage of soil moisture to field capacity	$\bar{x}$	占田间持水量的百分数 Percentage of soil moisture to field capacity
河北杨林	Php	6.36	40.5%	6.44	41.0%	6.84	43.6%
刺槐林	Rpp	5.53	35.2%	—	—	5.55	35.4%
柠条灌木林	Ckp	3.76	26.9%	3.08	23.7%	3.57	27.5%

3 讨论

在气象因子相同的条件下,不同林地的水分动态规律,不仅同林分的种类组成密切相关,还受到立地因子的强烈影响。在立地因子中,以影响降水再分配的土质、坡向和坡度等起着更为重要的作用。以上 3 种供试林在立地条件上存在的差异,使这 3 者间的严格比较受到了某种程度的限制,这是先前已经预料到的事情。尽管如此,上述从不同角度对 3 种供试林土壤水分动态的分析,不仅揭示了 3 者各自的土壤水分宏观动态特点,而且在一定程度上阐明了林种间在水分生态环境上的共性与差异。

3.1 河北杨林、刺槐林和柠条灌木林均具有一个土壤水分相对稳定的低湿层,土壤含水量与其上层部分相比,相对误差可达 -25.0%—-58.0%,水分梯度负值显著;林地土壤水分季节变化趋势主要受降水量及其分配情形所制约,土壤干湿季与气候干湿季不相吻合(1989 与 1990 年),主要是因为气候湿季中,降水少而均匀分布或虽然降水较多但亦均匀分布,降水入不敷出或/和积累甚少所致;3 种供试林的水分循环模式相同,降水入渗最大深度较浅,水分收支亏缺屡有发生。

3.2 土壤水分梯度负值显著,降水入渗最大深度较浅,水分收支亏缺频频出现,均说明林分面临的水分生态条件相当严峻。

3.3 河北杨林同刺槐林相比,这 2 者的土质和坡度差异可以忽略。前者的水势梯度负值较小,降水入渗最大深度相对较深,水分收支亏缺较少发生,土壤水分生态环境相对较为优越。其根本原因可能是前、后者分别生长于东北坡与正西坡之故。柠条灌木林的相对稳定层含水量最低,水势梯度负值最大,水分收支亏缺连年发生,说明其水分生态环境最为严酷。其可能原因有:一是其土质较沙,土壤田间持水量较小;二是柠条具有发达的根系与很强的吸水抗旱能力。

由此同时可以看出,在探索黄土区不同植被类型水分生态环境特征问题时,本文所采用的定量分析方法是适宜可行的。

参 考 文 献

- 1 李玉山 土壤水分状况与作物生长. 土壤学报, 1962, 10(3): 290—304

- 2 李玉山, 黄土区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—101
- 3 王孟本, 李洪建, 柠条林土壤水分生态环境研究初报, 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 第 10 集, 西安: 陕西科学技术出版社, 1989, 155—160
- 4 王孟本, 李洪建, 晋西北河北杨林水分生态的研究, 生态学报, 1991, 11(4): 313—317
- 5 韩仕峰, 黄土高原农田水量平衡, 黄土高原区域治理与评价, 北京: 科学出版社, 1992, 190—240
- 6 梁一民, 杨文治, 黄土高原人工林草地水分生态条件及生产力, 黄土高原区域治理与评价, 北京: 科学出版社, 1992, 241—297
- 7 王孟本, 李洪建, 柠条林蒸腾状况与土壤水分动态研究, 水土保持通报, 1990, 11(4): 313—317

QUANTITATIVE STUDY ON THE SOIL WATER DYNAMICS OF VARIOUS FOREST PLANTATIONS IN THE LOESS PLATEAU REGION IN NORTHWESTERN SHANXI

Wang Mengben Li Hongjian

(Loess Plateau Institute of Geography, Shanxi University, Taiyuan, 030006)

Based on the 1988—1990 data of field monitoring, an analysis was made on the soil water dynamics of *Populus hopeiensis*, *Robinia pseudoacacia* and *Caragana korshinskii* Plantations in the loess plateau region in Northwestern Shanxi, by examining the following issues: the stratification of soil water distribution, the characteristics of soil water profile, the soil water seasonal dynamics, the water cycle model and water cycle level. The new analysis method used in this study can facilitate the further researches on soil water ecology for various types of vegetation in the loess plateau region.

Key words: forest plantation, soil water dynamics, stratification of soil water distribution, characteristics of soil water profile, soil water cycle model, soil water cycle level.