

# 陕西省宜川森林水文生态观测站简介

吴钦孝 刘向东 赵鸿雁

(中国科学院  
水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

## 提 要

本文介绍了西北水土保持研究所宜川森林水文生态观测站的自然概况,观测设施、研究内容和主要工作进展,并简要地阐述该站今后发展的设想。

关键词:森林水文生态站

## A Brief Introduction to Yichuan Forest Hydro-ecological Station in Shaanxi Province

Wu Qinxiao Liu Xiangdong Zhao Hongyan  
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation,  
Academia Sinica and Ministry of Water Resources,  
Yangling, Shaanxi, 712100)

## Abstract

The authors introduced natural conditions, observation installations, research objects and chief progress in research at Yichuan Forest Hydro-ecological Station of Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, and also briefed the considerations for the future development.

**Key words** forest hydro-ecology observing and measuring station

宜川森林水文生态观测站的前身可追溯到70年代中期至80年代初,为开展黄土高原飞播造林,对幼苗和成林进行生态研究而设立的试验基地,“七五”期间,随着承担国家有关重点科研项目逐渐扩大而成为今天的森林水文生态综合观测试验站。该站现有平房7间,自动径流观测站3处,标准径流观测小区12个,小气候观测点3处,简易木塔1座,以及其他常规野外观测设备和1个简易的实验室。目前有2名高级研究人员,2名中级研究人员,1名初级研究人员,2名研究生等7名科技人员在这里进行科学研究。观测站距宜川县城10km,交通方便,有公路可直通延安、西安和山西省临汾。现将该站的自然概况、观测设施、研究内容,取得的主要进展,以及今后设想等简介如下。

## 一、基本情况

(一) 自然概况 观测站设在宜川县铁龙湾林场,试验场地设在该场的松峪沟。该站地处黄龙山林区东侧,地理位置为北纬35° 39',东经110° 06'。地貌属梁状丘陵,海拔860~1 200m,

坡度 $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，主沟自西向东全长2.6km，宽1.7km，流域面积2.94km<sup>2</sup>。主沟南侧有并列侧沟7条，长0.4~0.9km，各侧沟的地质、土壤、植被等条件基本一致，是开展森林水文生态研究的理想之地。

气候：据宜川县气象站资料，年平均气温 $9.7^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 $4010.8^{\circ}\text{C}$ ，无霜期180天。年降水量584.0mm（观测站为591.1mm），降雨日数94天。降雨分配不均，多集中在雨季的7~9月，约占年降水量的60%，冬季仅占2%；降水的年际变化也较大，最多年为843.5mm，最少年为408.4mm，相对变率21.0%。

土壤：主要土壤为灰褐色森林土，分布于林下，一般有2—3cm厚的死地被物，有机质含量丰富，结构疏松。此外还有粘黑垆土、黄壤土等。

植被：地带性植被为落叶林，温性针叶林和落叶灌丛，以松栎林为顶极群落。由于地处林区边缘，原始森林景观已不存在，落叶阔叶林中辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、白桦 (*Betula Platyphylla*) 林仅有零星分布，天然油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林也只在附近有少量保存。观测场内主要的类型有山杨 (*Populus davidiana*) 林，人工油松林（号称万亩，以下简称油松林），分布在阴坡和半阴坡；阳坡主要为狼牙刺 (*Sophora viciifolia*)、山桃 (*Prunus davidiana*) 等灌丛。此外还有铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、白羊草 (*Bothriochloa ischumum*) 等群丛。

(二) 研究对象 试验研究的主要对象为油松林和山杨林。此外，对刺槐 (*Robinia pseudo-acacia*) 林和沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 灌丛进行了单项观测。

油松林：1964~1966年建造，初植密度400株/亩，1983年经过抚育间伐，现每亩保存140~160株，平均高9~10m，平均胸径10~11cm，郁闭度0.7~0.8。林下灌木主要有胡颓子 (*Elaeagnus umbellata*)、黄刺梅 (*Rosa xanthina*)、绣线菊 (*Spiraea*)、忍冬 (*Lonicera*)、莢迷 (*Viburnum*)、柠条 (*Garagana microphylla*) 等，覆盖度20%~30%。草本植物层主要为披针苔草 (*Carex lanceolata*)，覆盖度30%~40%。

山杨林：分布于阴坡、半阴坡和半阳坡，多为中龄林，平均高6~7m，平均胸径10cm，郁闭度0.7。林下灌木种类与油松林下近似，但发育较好，覆盖度40%~50%。草本层为披针苔草，覆盖度20%~30%。

## 二、建站目的

黄土高原森林覆被率低，据“七五”综考统计，仅为6.7%，即使加上林网和四旁树以及灌木在内，也仅有13.4%。植被稀少、气候干旱、水土流失严重，极大地制约了农牧业生产的发展。大面积的生态林业工程建设，是转变黄土高原生态环境脆弱，促进经济发展，改变贫困落后面貌的重要途径和有效措施。系统的研究防护林的水文生态功能和水保效益，既是森林生态学和森林水文学的研究内容，也为防护林体系建设提供科学理论依据。

宜川森林水文生态观测站在“七五”期间重点研究了油松林和山杨林生态系统的结构、功能，提高生产力技术和森林流域的水文效应。全部工作计划分三个阶段进行，即现阶段研究森林的生态效益和水文功能，包括林冠层的水文作用枯枝落叶层的水文特性和功能，根系的固土能力，土壤的水文性质，林地坡面的产流产沙特点等方面，已取得了阶段性成果和某些突破性进展。近期研究林分与森林集水区的水量平衡，目前已积累了丰富的资料，并建设了必要的实验设施；近期研究林分的物质循环和能量循环建立高效能的生态系统模型。

### 三、研究内容和试验布设

(一) 研究内容 在该观测站已完成和进行中的课题有:

1. 国家“七五”重点科研项目“黄土高原水土保持林体系综合效益的研究”;
2. 国家自然科学基金项目“黄土高原油松人工林水文生态功能的研究”;
3. 国家“八五”重点科研项目“三北”防护林体系区域性生态效益评价”;
4. 国际合作研究项目“黄土高原中部植被恢复过程”等。

此外,建站前曾在该试验基点完成了陕西省科委下达的“延安地区飞播造林种草试验”课题和国家科委合同项目黄土高原飞播种草造林试验”,并分别取得了重要科研成果,获陕西省科技成果一等奖和国家科技进步二等奖。

主要研究内容有:

(1) 林冠层的水文作用。研究林冠对降水的再分配;枝叶容水量和蒸发速率;群落蒸腾耗水量;林冠对降雨动能的影响等。

(2) 枯枝落叶层的水文特性和功能。研究枯枝落叶的凋落;枯枝落叶层的分解和蓄积动态变化;枯落物的持水性和抑制土壤蒸发、阻滞径流速率;提高表土抗冲刷能力以及对土壤溅蚀的作用等。

(3) 根系的固土能力。研究树木根系提高土壤抗冲刷性能及其机制、降低土壤在雨滴打击和水文中的分散速率等。

(4) 林地土壤的水文性质。研究林地土壤的水分特性和水分动态,土壤重力水等。

(5) 林地小气候的时空变化。观测不同坡向不同坡位林内外气温、相对湿度、地温、光照、土壤蒸发的变化和在不同高度上的变化。

(6) 林地的水土保持效益。观测不同林分的蓄水保土效能,经营活动对产流产沙的影响。

(7) 森林集水区水文状况分析。对比森林集水区和无林集水区的水文状况,经营活动对集水区水文生态环境的影响。

(二) 试验布设 观测场内的试验布设见附图。

(1) 林地径流泥沙观测。在油松林和山场林内建立5 m×20 m的径流观测小区,分别采取如下处理:①保留原状林分;②除取枯枝落叶层;③采伐上层林木;④开辟为农田。

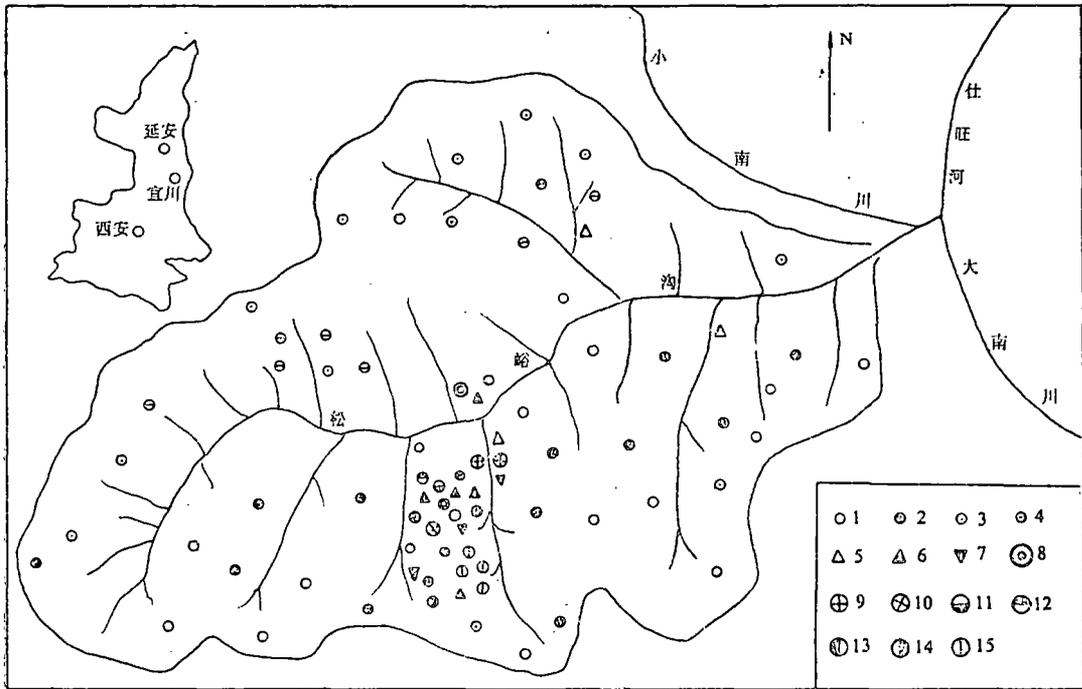
(2) 林地小气候观测。在油松林和山杨林内,以及对照的空旷地上,分别安置小气候观测仪器,包括百页箱(内有自计温湿度计)、雨量筒、自计雨量计、蒸发皿、地温计、土壤蒸发计等。在油松林内并建有木塔,分5个高度,即距地1.3 m,死枝层中部、林冠层下、林冠层中部、林冠层上,安置百页箱(内含温湿度计等)。

(3) 集小区径流观测。在森林(以油松林为主)集水区,抚育采伐集水区和无林集水区的出口处,修建量水堰和观测房各1座,房内安置自记水位计。

### 四、取得的初步结果和主要进展

(一) 林冠层的水文作用 本项研究分析了油松林和山杨林林冠对降水的再分配及其对土壤水分的影响,林冠截留降水的条件,枝叶聚积降水对林内雨滴动能的影响,油松群落蒸腾耗水量的结构和动态变化等。

1. 林冠对降水的再分配。研究结果表明,林内降水量与林外降水量呈直线关系( $P_i = a + bP$ ),对油松林系数 $a$ 、 $b$ 分别为-0.980和0.928;对山杨林有叶期为-0.442和0.889,无叶期



图例：1. 山杨林；2. 油松杯；3. 灌木林；4. 荒山；5. 径流自动测站；6. 小气候观测区；7. 径流小区；8. 雨量筒；9. 重力水观测区；10. 树干径流观测区；11. 小气候观测塔；12. 枯枝落叶分解观测区；13. 枯枝落叶凋落观测区；14. 溅蚀观测区；15. 永久标准地、采伐对比试验区

附图：宜川森林水文生态观测场试验区分布图

为-0.278和0.982。两林分的林冠截留量分别占年降水量的19.8%和15.6%，其中对降雨的截留率为17.5%和16.0%，对降雪截留率为47.9%和9.9%。林冠截留量的季节变化明显，油松林林冠截留率随时间变化呈凹曲线型，山杨林则呈马鞍型。由于林冠枝叶具有向外缘聚积降水的作用，使林内降水分布不均，其变动系数为0.17~0.36，从而影响林内土壤水分在雨后短期内分布不均，变动系数为0.17~0.29。

2. 油松树枝含水量与蒸发速率。林冠截留降水是枝叶吸水 and 水分蒸发的结果。测定结果表明，油松枝叶含水量与树枝重量呈直线关系 ( $c = a + bw$ ) 树枝蒸发使林冠截留量增大，前3 min的平均蒸发速率为0.237 g/g·min。水湿树枝的变干过程与空气相对湿度和温度等因素关系密切。

3. 林冠对降雨动能的影响。林冠枝叶聚积降水，使林内雨滴直径变幅增大。由于粗大径级的雨滴增多，动能增加。据测定结果，林内雨滴动能为空旷地上的2.7~3.5倍。因此，若林内地面无覆盖物，则更易引起水土流失。

4. 油松群落蒸腾耗水量。蒸腾耗水量是林地水分支出的主要项目。研究表明，油松群落各植物(计21种)的蒸腾强度为0.259 3~0.991 6 g/(g·h)，其中油松为0.259 3 g/(g·h)，灌木层各植物为0.498 2~0.991 6 g/(g·h)，草本层为0.577 2~0.848 8 g/(g·h)。油松蒸腾耗水量占群落总量的90%。

(二) 枯枝落叶层的水文特性和功能 本研究分析了油松林和山杨林枯枝落叶层的蓄积动态和持水性，枯落物抑制土壤蒸发，阻滞径流速度和防止土壤溅蚀的功能，揭示了森林保持水土

机理的重要方面。

1. 林地枯落物的蓄积动态。据测定分析, 中龄油松林和山杨林现存蓄积量分别为17.95t/ha和8.34t/ha, 年凋落量为3.24t/ha和3.09t/ha, 分解量3.23t/ha和2.98t/ha; 凋落量和分解量基本呈平衡状态。林分的凋落物具有明显的周期性, 且因树种而异, 如油松林凋落截期在10月至翌年4月, 山杨林则集中在9月和10月两月, 累积凋落量是时间的2次多项函数。枯落物的分解速率随季节而变化, 其特点是夏秋分解速率较高, 冬春较低。

2. 林地枯落物抑制土壤蒸发。本项试验在干旱棚中进行。试验结果表明, 枯落物抑制土壤蒸发量, 随其厚度增加而增大, 且与土壤含水量有关, 含水量越高, 抑制土壤蒸发的效果愈好。有枯枝落叶覆盖的土壤变干过程历时较无覆盖的长, 土壤达同一含水量水平(如1/2田间持水量所需的时间)相当于裸土的2.1倍。枯落物延长土壤变干时间, 减小土壤无效蒸发, 对林分的充分利用水分有利。

3. 枯枝落叶层阻滞径流速率。本项试验在流水槽内进行。据试验结果, 在消除了入渗因素影响之后, 枯枝落叶层阻延径流速度的效应( $v$ )与枯枝落叶层厚度( $l$ )、径流深度( $g$ )、坡度( $\alpha$ )呈正相关, 并可用类似坡面径流速度的公式表示, 即 $v = k \cdot \alpha^a \cdot g^b \cdot l^c$ 对于油松林其系数分别为17.2、0.365、0.346和0.050, 对于山杨林为18.2、0.360、0.365和0.048。可见, 该两林枯枝落叶层阻滞径流速度的效应基本相同, 枯落物对径流速度的阻延作用, 有利于降水入渗, 减小水土流失。

4. 林地枯落物的抗冲性能。本项试验在抗冲槽内进行。试验结果表明: 枯枝落叶的自身抗冲能力与增强土壤的抗冲效应相一致。抗冲力的大小顺序为油松>山杨>沙棘>刺槐; 抗冲能力随其厚度增加而提高, 有效厚度为1cm具有枯落物覆盖的林地土壤的冲失量主要取决于冲刷前的1~3min, 而与更长的冲刷历时关系不大, 但与冲刷径流强度关系密切, 每当径流量出现增值, 都会引起土壤冲失量新的峰值。

5. 林地枯落物的水土保持作用。本项试验分析了枯枝落叶层的蓄水减沙功能。试验结果表明: 在除取枯落物的当年, 由于林地土壤结构尚未发生明显变化, 径流量与冲刷量与对照林分差异不大, 但随时间的推移, 在雨滴的打击下, 土壤表层开始板结, 性质逐渐改变, 到第3年时, 入渗速率平均降低30%, 径流量与泥沙量大大增加, 如油松林地分别增加3.1倍和4.5倍, 山杨林地1.7倍和8.3倍。可见, 保持枯枝落叶层是增强森林水土保持的重要措施。

(三) 植物根系的固土作用 本项试验研究了树木根系在土壤剖面上的水平和垂直分布及根系提高土壤抗冲刷的能力, 定量分析了根系对土壤抗冲性能的增强效应。结果表明: 根系强化土壤抗冲性能的作用与小于或等于1mm的须根密度呈幂函数关系。根系提高土壤抗冲性能的最低有效密度和有效深度因树种而异。油松林相应的为26~34个/100cm<sup>2</sup>和70cm, 沙棘林为60~118个/100cm<sup>2</sup>和20~40cm。在坡度一定的条件下, 根系提高土壤抗冲性的作用随雨强增大而减小。

(四) 林地土壤的水文性质 本项研究测定了林地土壤的容重、孔隙度、入渗速率等在剖面上的变化及与根系分布的关系。据测定结果, 林地土壤容重随剖面的加深而增大, 非毛管孔隙和入渗速率则减小, 并与根系在土层中的分布有关, 如油松林内有效影响深度为40cm, 正与≤1cm的根系分布层相吻合。在这个范围内土壤容重比荒山降低了19.9%, 非毛管孔隙增加了7.7%, 入渗速率提高了5~9倍。入渗速度增加是林地土壤保水性能优越的重要原因。

定期观测研究还表明: 林地土壤水分含量较荒山为低, 除可补偿层外, 在2.2~6.0m土层内一般为9%~11%, 且季节变化不明显, 这是由于群落蒸腾耗水量大于降水量, 树木利用深层储

水的结果。在山杨林下土层深度2.3~2.7m处还有一干燥层存在，其含水量仅8%~9%，低于相邻两土层的含量。林分采伐后，迹地土壤水分恢复能力较强，油松林迹地当年可达2.8m，含水量14%~20%，3年可恢复到4.0m，含水量14%以上。采伐迹地土壤水分的恢复，有利于更新造林和幼苗幼树的生长。

**(五) 林地的水土保持作用** 林地的水土保持作用，是林分各活动层水文功能的综合反映，其最终表现为林地的产流和产沙。据测定结果与农地相比，油松林地的径流量和冲刷量分别减少83.1%和98.8%，山杨林地减少69.8%和98.8%。采伐上层林木后，由于迹地上原有的灌丛和草本植物得以充分发育，或者从被采伐林木的根部萌发大量新枝，使覆盖度由30%~40%迅速达到郁闭，故径流量与冲刷量两者没有显著变化，相反有时比有林地还低。但将林地辟为农地后，径流量和冲刷量便大大增加，如与油松林相比分别增加4.9倍和84.7倍；与山杨林相比，分别增加2.3倍和88.0倍。可见，对林木进行适度和合理利用，不会加剧水土流失，但若进行开垦则后者十分严重。

**(六) 油松林集水区水文状况** 集水区的水文状况，是区内不同坡度、不同地类、植被和土壤水文环境相互作用的最终表现。本项研究阐明了油松林集水区在降雨的条件下出现的3种产流类型：即坡面和沟道均不发生径流；沟道产生径流；坡面经沟道均发生径流。并分析了这3种产流类型与降水的关系及其出现的最大降水值。据3年观测结果，油松林集水区（面积0.24~0.39 km<sup>2</sup>），无论是否经过抚育间伐，对洪水的消减作用都很强，其径流系数仅0.001，最大洪峰流量不超过0.5m<sup>3</sup>/min，最大洪水径流量0.058~0.062mm，且在所有观测资料中，洪水含量很少，基本都是清水。由此可见，森林对调节降水和保持水土的巨大作用。

## 五、近期研究工作设想

根据建站的总体构思和当前的任务，近期内计划以完成“八五”任务“黄土高原防护林体系生态效益评价”为主，结合国家和陕西省自然科学基金课题，进一步开展油松林及其集水区的水量平衡研究。

**(一) 油松林水量平衡的研究** 研究林冠层和枯枝落叶层截留降水量、土壤贮水量、地表径流量、群落蒸腾量、土壤蒸发量、大气含水量、植被含水量等的特征；季节变化和年际变化；建立黄土高原丘陵区油松林蓄水量界限和水分利用模式；探索土壤—林木—大气水分循环过程机制；建立油松林水分平衡模型，为黄土高原生态林业工程建设及合理经营利用现有森林资源提供科学依据。

**(二) 以油松林为主的集水区水量平衡** 研究集水区不同林分类型的水文特性，土壤贮水量的时空变化，以及造林、采伐等经营活动对水文状况的影响等，为黄土高原以流域为单元的林业布局、林种配置和树种选择等提供科学依据。

### 参 考 文 献

- [1] 中野秀章、李云森译。《森林水文学》。北京：中国林业出版社，1983年
- [2] 中国科学院，水利部西北水土保持研究所集刊。《森林水文生态和水土保持林效益研究专集》。西安：陕西省科学技术出版社，1991年
- [3] 吴钦孝等。黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究。《水土保持学报》，1990年，第1期