

干旱地区人工林地土壤水分平衡的探讨

杨新民 杨文治

(中国科学院西北水土保持研究所)

提 要

根据人工林地土壤水分收支平衡方程式,在陕北黄土丘陵区的安塞县水土保持站布设了水分平衡场,对人工刺槐林生态系统中的水分平衡状况进行了多年的定量观测。分析结果认为,在半干旱的黄土丘陵区营造人工林之后,由于强烈的蒸发蒸腾和根系深层发育的吸水作用,会使土壤向干燥化发展。深层土壤储水补给调节树木需水的作用逐渐消失,使之只能依靠当年降水进行生长。从这个意义上来看,人工林是在不断地恶化自身生长的土壤水分条件,从而形成生长缓慢、生长量受降水量控制的局面。

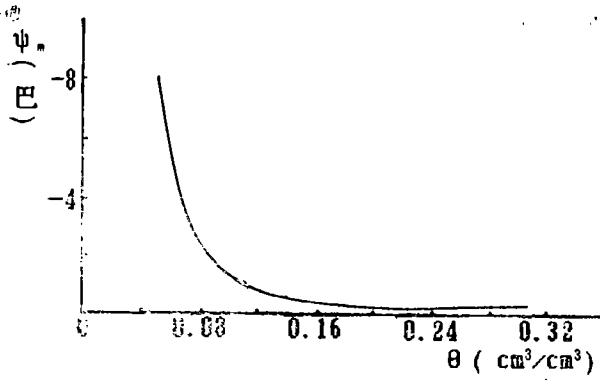
在陕北黄土丘陵区,土壤水分生态条件是影响林木生长的主要因素,特别是由于区内雨季暴雨频繁,水土流失十分严重,加之地下水埋藏很深,因而土壤水分成为影响林木生长的重要限制因子。所以,定量地研究人工林生态系统中的水分平衡状况,不仅是阐明林木生长状况与生产力形成规律所必需,而且也是合理布设水土保持造林措施的重要依据。通过研究,查明建造人工林之后,土壤水分平衡及动态规律如何,土壤水分生态环境所发生的变化,以及应采取的对策,这对黄土丘陵区的综合治理有着重要意义。

一、实验区的自然概况及土壤水分的物理特性

试验区地属黄土丘陵沟壑区,位于延河支流杏子河下游的陕西安塞县沿河湾乡茶坊村。这里植被稀疏,气候干旱,年平均降水量549.1毫米,但分布不均,7—9月降雨量占全年总降水量的61.1%,而且多暴雨。多年平均水面蒸发量为1,463.5毫米。当地水土流失严重,年侵蚀模数14,000吨/平方公里。供试树种为14年生人工刺槐林,位于海拔1,230—1,280米的山坡上,坡度25°左右。土壤为黄绵土,土壤比重2.61,土壤物理性质见表1,土壤水分特征曲线见图1(离心机法测得)。

表1 土壤物理性质

机械组成	各级颗粒含量(%)						土壤类别 (苏制)
	1—0.35	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001	
	0.30	18.70	59.0	6.2	6.8	9.0	22.0
容重	1.25		1.30		1.33		
孔隙度	0.521		0.502		0.490		



ψ_m—基质势 θ—容积湿度
图1 土壤(安塞轻壤土)水分特征曲线

二、人工林地土壤水分平衡方程式及各项变量分析计算

人工林地土壤水分收支平衡状况，可以用下列方程式表示：

$$\Delta W = R + C - I - A - B - E_t - F \quad (1)$$

式中：ΔW—观测期间土层中贮水量的变化；C—观测期间内的汽态凝结水总量；R—降水量；I—林冠截留降水量；A—地表径流量；B—上层土壤内径流量；E_t—蒸发蒸腾量；F—深层渗漏量。

由于该试验场位于半干旱的黄土丘陵区，基本上不存在深层渗漏，汽态水凝结和上层土壤内径流，其量甚微，故F、C、B可忽略不计，因而方程式(1)可简化成：

$$\Delta W = R - I - A - E_t \quad (2)$$

现对上式中水分输入输出的各项变量分析如下：

1、土壤水分的季节动态与气候季节干湿的关系。该区由于沟壑密布，河谷下切，无良好储水条件，地下水埋藏很深，无补给植物生长需水之可能。因此，土壤水分是直接影响林木生长的主导因素。而天然降水是该区土壤水分的唯一来源，所以土壤水分变化与气候因素息息相关。因此，土壤水分的季节动态和土壤储水的垂直变化受气候因素的影响甚为明显。

该区因受大陆性季风影响，降水季节分配很不均匀。冬春气候干冷，雨雪稀少，仅占年降水量的20.6%，是气候上的干旱季节。而从土壤含水量来看(见图2)，6—7月间是一年土壤含水量最低值的时期。此阶段0—200厘米人工刺槐林地土层平均含水量为9.3%，折合241.5毫米，是土壤最干旱的时期。而这时也正是树木生长旺盛期，加之气温偏高，土壤水分蒸发量大，故对树木生长发育危害较大。

由图2还可看出，经过雨季降水，土壤湿度虽可得到部分补偿，但经过春季融冻水强烈蒸发，至6—7月土壤湿度又下降到一年中的最低值，使整个土层又处于土壤水分严重亏缺状态。

由此可以看出，该区的土壤干湿变化与气候季节变化一样，有一定的时间周期，但出现的时间落后于气候的变化，特别是深层更是如此。即大气干旱最严重的时期是在冬季或春季，而土壤干旱最严重的时期是在初夏的6—7月间。

2、树冠截留量对水分平衡的影响。大气降雨通过树冠层之后，不但其降雨雨滴的大小分布、降落速度、动能等性质都发生了变化，而且有一部分被树冠所截留。树冠对降水的截留，是树木对径流影响的主要因素，即是保持水土的重要作用之一。截留的水量最终又蒸发回到大气中，因此它也是调节区域水分、加强水分循环的重要环节。

由于降雨量在不同时期内的分配是不均匀的，所以每次降雨的截留量所占总雨量的比例也是不同的，因各种因素而变化。另外，人工刺槐林冠的截留率是随着雨量级的增加而减少的，即截留量随着降水量的增大而增加，但增加的速度越来越慢(见表2)。由表2可看出，按不同时段统计，树冠截留在8.2—14.3%之间，平均为11.1%；而按不同雨量级计算，树冠截留率在7.0—23.5%之间；若按大于10毫米的降水计算，截留率在7.0—12.0%之间。该区人工刺槐林树冠截

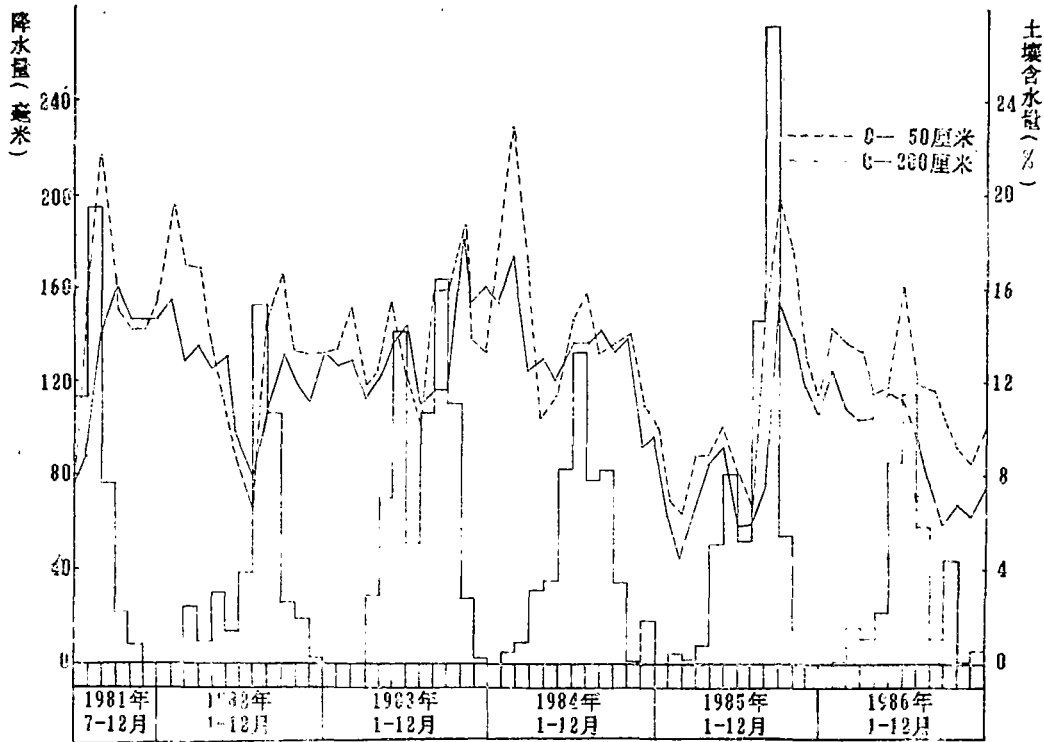


图2 降水量与土壤含水量比较图

表2 不同雨量级刺槐树冠截留率

雨量分级 (毫米)	测次 (次)	降雨量 (毫米)	截留量 (毫米)	截留率 (%)
0—5	25	53.6	12.6	23.5
5.1—10.0	25	180.8	34.1	18.9
10.1—20.0	11	167.0	20.0	12.0
20.1—30.0	5	113.9	12.2	10.7
30.1—40.0	2	66.7	6.6	9.9
40.1—50.0	—	—	—	—
50.1—60.0	1	51.6	4.8	9.3
60.1—70.0	2	128.3	9.0	7.0

留率大约为 8—12%。

3、地表径流。陕北黄土丘陵区人工林地，因其生物产量比较低，林下残落物极少，绝大多数不存在枯枝落叶层。因此，林下枯枝落叶层的蓄水能力及其对径流的影响可以不考虑。

据我们1985和1986年观测资料，人工刺槐林的地表径流仅占降雨量的3%左右。只有在雨强较大的暴雨时，地表径流才有较明显地增大，可达13%以上。1985年两次有代表性雨型下，从不同雨强与地表径流和冲刷量的资料可以看出，在发生较大雨强的暴雨时，人工刺槐林和天然草地的径流率分别是13.5%和46.7%，其冲刷量分别比裸露地减少97.6%和75.9%。这是由于地面植被减弱了雨滴打击力（动能）和降落速度，改变了雨滴大小的分布等原因所致；而天然草地的地表径流量则分别是刺槐和裸地的3.8和3.2倍，这是因为草地表面板结，硬度增大，土壤的渗透速度较小的

原因而造成的。

4、降水对土壤水分的补给作用。区内土壤水分的补偿和恢复主要在雨季。通过对多年雨季降雨量与林地总耗水量的分析计算可以看出，多年雨季平均降水量为322.4毫米，林地总耗水量278.8毫米，降水量减去耗水量为43.6毫米，只占降水量的13.5%（见表3）。据1981—1986年的实测结果，区内土壤在田间持水量条件下，200厘米土层储水量为478.4毫米，为多年平均降水量的87%。若以田间持水量条件下的土壤储水量为土层最大可能储水量，则在6个观测年中，200厘米深土层内都存在明显的水分亏缺现象，其值1981年为64.5毫米，1982年为144.2毫米，1983年为181.5毫米，1984年为137.9毫米，1985年为81.4毫米，1986年为327.5毫米（见表4）。

表3 6月下旬—9月中旬降水量与林地总耗水量

年 份	降 水 量	林地耗水量	储水补给量	降雨补给率 (%)
1981	386.0	206.1	179.9	46.6
1982	288.1	231.2	66.9	22.4
1983	322.7	395.5	-72.8	-22.6
1984	291.3	302.9	-116.0	-4.0
1985	467.8	217.4	250.4	53.3
1986	180.7	319.6	-138.9	-76.9
平均	322.4	278.8	43.6	13.5

再从土壤水分的物理特性来看，本区田间稳定湿度为9—11%左右，其值较低，加之蒸发性能强烈，土层所能保持的水量并不多。因此，土壤深层储水，对人工刺槐林地的补给能力很小，树木只能依赖当年的降水维持生长。由此可见，在干旱频繁的黄土丘陵区，在大气干旱和土壤干旱的双重作用下，成片刺槐林难成大径材是有其必然性的。

5、蒸发蒸腾量。根据观测资料，该区人工刺槐林地年蒸发蒸腾量与年降水量比较接近（见表5）。这几年降水入渗最大深度小于250厘米，没有渗漏发生。资料计算土层采用200厘米。在这几个观测年份中，林地蒸发蒸腾量为402.7—632.4毫米之间，同期降水量为360.3—702.7毫米之间，二者比值为0.84—1.12，5年平均为0.99。虽然各年林地蒸发蒸腾量与降水量都有一定的差别，但从一个较长周期来看，二者几乎相等。据王万忠同志的资料计算，该区年平均潜在蒸散量（蒸发力）为765.5毫米，若以此值为人工刺槐林正常生长的生理需水的话，那么该区人工林地土壤水分经常不能满足树木正常生长的生理需水要求；即使将大气降水全部拦蓄储入土壤中，也不能完全满足。当然，实际林地的总蒸发蒸腾量受到降雨水分供给源的限制，一般不会高于降水量。

三、人工林地土壤水分收支状况

在丰水年（1985年）和枯水年（1986年）的情况下，该区人工刺槐林在生长期中，水分收支状况的观测计算结果见表6，也可用图3来表示该试验区内人工刺槐林地水分平衡状况。

由以上分析计算可以看出，该区土壤水分的唯一来源是大气降雨，而人工刺槐林的树冠截留占大气降水的8—12%，地表径流占降水的2—4%，树木的蒸发蒸腾占降水的84—90%，即截留量、径流量和蒸发蒸腾量三项之和已等于大气降水量。也就是说，从一个较长的周期（多年）来看，大气降水没有多余的水量可补给林下土壤来储存，土壤水分经常是处于亏缺状态。所以，

表4

1981—1986年雨季后不同土层水分亏缺程度

测定日期	土层深度(厘米)	7—9月降雨 (毫米)	田间持水量 (毫米)	土层储水量 (毫米)	相当田间持 水量的%	土壤储水亏缺值
1981年9月20日	0—50	402.6	115.9	94.5	81.5	21.4
	51—100		117.8	110.1	93.5	7.7
	101—200		244.7	209.3	85.5	35.4
	0—200		478.4	413.9	86.5	64.5
1982年9月20日	0—50	393.5	115.9	104.5	90.2	11.4
	51—100		117.8	101.0	85.7	16.8
	101—200		244.7	128.7	52.6	116.0
	0—200		478.4	334.2	69.9	144.2
1983年9月21日	0—50	330.5	115.9	100.5	64.0	41.7
	51—100		117.8	77.2	65.5	40.6
	101—200		244.7	119.2	48.7	125.5
	0—200		478.4	296.9	62.1	181.5
1984年9月20日	0—50	307.8	115.9	85.2	73.5	30.7
	51—100		117.8	89.0	75.6	28.8
	101—200		244.7	166.3	68.0	78.4
	0—200		478.4	340.5	71.2	137.9
1985年9月20日	0—50	474.7	115.9	124.7	107.6	-8.8
	51—100		117.8	115.1	97.7	32.7
	101—200		244.7	157.2	64.2	87.5
	0—200		478.4	397.0	83.0	81.4
1986年9月20日	0—50	119.4	115.9	37.1	32.0	78.8
	51—100		117.8	43.5	35.9	74.3
	101—200		244.7	70.3	28.7	173.4
	0—200		478.4	150.9	31.5	327.5

表5

人工刺槐林地蒸发蒸腾量(毫米)

年 份	降水量	蒸发蒸腾量	蒸发/降水
1982	424.4	462.0	1.09
1983	702.7	632.4	0.90
1984	503.6	564.6	1.12
1985	666.8	561.5	0.84
1986	360.3	402.7	1.12
平均	531.6	524.6	0.99

表 6

人工刺槐林水分收支状况

项 目	丰 水 年		枯 水 年	
	收支状况 (毫米)	占降水量的%	收支状况 (毫米)	占降水量的%
大气降水	652.8	100	327.9	100.0
林冠截留	56.4	8.6	38.1	11.6
地表径流	16.1	2.5	7.7	2.3
土壤储水变化	148.1	22.7	-101.0	-30.8
蒸发蒸腾量	432.2	66.2	383.1	116.9
总 蒸 散	488.6		421.2	

注：观测计算时期均为4月21日至10月20日，总蒸散量为蒸发蒸腾量加林冠截留量。

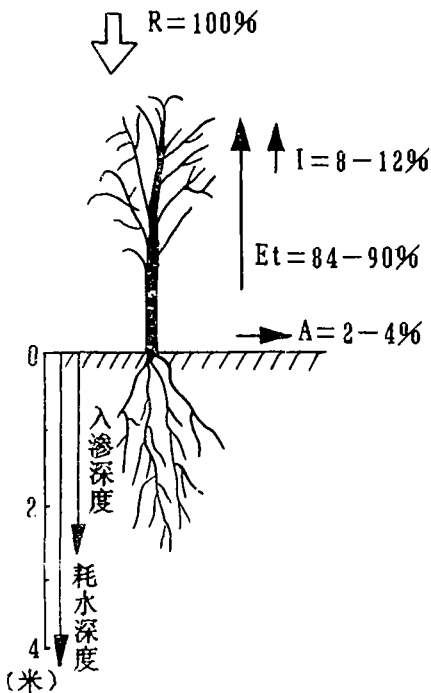


图3 人工林地水分平衡式各分量示意图

土壤水分成为该区树木生长的限制因子。

在半干旱的黄土丘陵区营造人工林之后，由于强烈的蒸发蒸腾和根系深层发育的吸水作用，会使土壤向干燥化发展。深层土壤储水补给调节树木需水的作用在逐渐消失，使之只能依靠当年降水进行生长。从这个意义上来看，人工林是在不断地恶化自身生长的土壤水分条件，从而形成生长缓慢、生长量受降水量控制的‘小老头树’的局面。

四、讨 论

由以上分析可以看出，在讨论黄土丘陵区“造林种草”、‘恢复生态平衡’问题时，无论是提出先恢复草地植被，然后恢复森林植被，还是提出先造速生先锋树种，后向稳定树种过渡的更替方式，从人工林地土壤水分循环、平衡特征上来分析，都不可能为后续树种提供更为适宜的生态条件。也就是说，在半干旱的黄土丘陵区，建成大面积的用材林体系是不大可能的。

但由于人工林具有良好的水土保持生态效益，我们认为黄土丘陵区的造林，应根据不同的地域分布和

地形分布特点，以及土壤水分状况的变化特点，采用乔、灌、草相结合的营林方式，形成以防止水土流失为重点的兼而解决群众薪炭互补的防护林体系。同时造林密度要低于现有防护林密度，以每公顷1,500株左右为宜，并布设林地水土保持工程，尽可能多地接纳天然降水，增加土壤储水量，以满足其正常生长需水。

当然，土壤水分生态环境是个十分复杂的问题，影响因素甚多，许多问题还有待于今后进一步调查研究，共同探讨。

(安塞县水土保持站的张存柱同志参加野外测定工作，特致谢忱)

参 考 文 献

- [1] 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》Vol.3 No.2,1983年6月。
- [2] 杨文治、韩仕峰：“黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境”，《中国科学院西北水土保持研究所集刊》第二集，1985年10月。
- [3] 中国科学院西北水土保持研究所主编：《黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持》第三章和第八章，陕西科学技术出版社，1986年5月。

Study on the soil water balance of artificial forestland in arid region

Yang Xinming Yang Wenzhi

(Northwest institute of soil and water conservation, Academia Sinica)

Abstract

Soil water balance of the artificial forestland planted with locust trees has been studied quantitatively for years on the water balance plots sets in Ansai soil conservatin station of loess hilly region in northern Shaanxi, based on the soil water balance equetion for the soil of artificial forestland. The analyse result shows that the soil is becoming dry because of intense evapotranspiration and the water-sucking effect due to the development of the root system in deep layer if the artificial forest is made on the loess hilly region with semi-arid climate. The providing function of the water stored in deep layer to adjust the need of water from trees will be vanished, thus, only could the trees grow depending on the precipitation in current year. From this point of view, it is thought that the artificial forests deteriorate their own soil water condition constantly, which makes the trees grow slowly and limits the growth amount with water.