

从降水资源看黄土高原地区的植被生态建设

闵庆文¹, 余卫东²

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 南京气象学院, 南京 210044)

摘要: 黄土高原是我国主要的水土流失区,也是西部生态环境建设的重点地区。过去几十年的建设取得了很大的成绩,但也存在着严重问题,其中没有充分考虑水资源的限制作用及植树造林对有限水资源的大量消耗,无疑是一个重要方面。根据黄土高原地区 41 个气象台站 1961~1990 年的月降水总量资料,分析了黄土高原地区多年平均年降水量、年内各个季节的降水分配、年降水变率和离差系数等的分布特征,以及光热水的耦合特征,并在此基础上,探讨了黄土高原地区植被生态建设中与水资源有关的几个问题。

关键词: 降水资源; 植被生态建设; 西部大开发; 黄土高原

中图分类号: X 171.1, S273 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2002)03-0109-04

Vegetation Eco-construction in Loess Plateau Region Viewing From
Precipitation Resource

MIN Qing-wen¹, Y Wei-dong²

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2 Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044, Jiangsu Province, China)

Abstract: Loess Plateau is the main region of soil and water loss and the key region of western eco-environmental construction in China. During the past decades, a great deal of achievements and some severe problems are both existed. Among the problems, no consideration in full of the restriction of water resources and the much consumption of water resources in tree planting are no doubt the important aspects. Based on monthly precipitation data of 41 weather observation stations in Loess Plateau from 1961 to 1990, some characteristics of the regional precipitation resources, including spatial distribution of annual precipitation, seasonal distribution and inter-annual change, and coupling with radiation and heat resources, are analyzed. At last, the great problems related to water resources about vegetation eco-construction are put forward.

Key words: precipitation resources; vegetation eco-construction; western development; Loess Plateau

引 言

黄土高原地区位于我国中北部,具有典型的大陆性气候特征,大部分地区年降水量在 400 mm 左右且雨季集中,降水年变率大,气候干燥,蒸发量大,无霜期短,加上大风、冰雹、霜冻等自然灾害频繁,使得植被生长环境条件极差。为了改善水土流失、土地沙化、水资源短缺等生态恶化现状,党中央做出了实施西部大开发的战略决策,并把改善生态环境作为大开发的根本和切入点。

众所周知,水是该地区生态恢复与重建的根本,包括退耕还林还草在内的一系列生态措施都有赖于水资源的保证。但黄土高原是一个水资源匮乏的地区,该地区多年平均径流深 75.6 mm,相当于全国平均径流深 276 mm 的 27%,平均每 1 hm² 水量 2 565 m³,只有全国水平的 9.8%。^[1]而且这些少量的水资源主要用于河谷盆地的农田灌溉,在广大丘陵和高平原地带很少有灌溉之利,在发展林草业上直接利用的水

资源量则更少。从地下水资源看,虽然储量达 335.98 × 10⁸ m³,但由于河谷下切,无良好的储水条件,地下水埋藏很深,多在 50~60 m,有的甚至达到 100 m 以上,开发利用代价太高。在这种情况下,黄土高原地区的植被生态建设,更大程度上是依赖于降水资源。

黄土高原赋存于土体中的雨水资源量相当可观。它相当于地表水和地下水总量的 4.7 倍。在黄土高原实施以林草植被建设为中心的生态建设,在大部分地区是在无灌溉条件下进行的,所以这部分水资源是构成黄土高原无灌溉条件下生态用水的主要补给源^[2]。本文利用黄土高原 41 个气象台站 1961~1990 年的月降水总量资料,计算分析了黄土高原地区多年平均年降水量、年内各个季节的降水分配比例、最大年值与多年平均值的比值、最大年值与最小年值的比值、年降水变率和离差系数的空间特征,以及降水资源与光热资源的耦合特征,并在此基础上,探讨了黄土高原植被生态建设

¹ 收稿日期: 2002-04-20
基金项目: 中国科学院地理科学与资源研究所领域前沿项目(CXI0G-C00-01-02), 所长基金项目(SJIOG-C00-01)。
作者简介: 闵庆文,男,(1963-),江苏人,副研究员,生态学博士,主要从事生态系统服务功能、区域发展生态学和资源生态工程的研究。

与水资源有关的几个问题。

1 黄土高原降水资源的时空分布特征

1.1 年降水资源的空间特征

黄土高原多年平均年降水量基本呈东北西南走向,如图 1 所示。多年等值线自东南部的 550 mm 左右,递减至西北部不足 200 mm。山西中部、南部和北部五台山区,陕西中部,甘肃南部地区及中部、东部的偏南地区,宁夏南部山区等地,年降水量一般为 500~700 mm;陕西和山西两省北部,甘肃中北部,宁夏大部分地区,年降水量 200~300 mm,是黄土高原的少雨区。另外,年降水量一般随海拔升高而增加,受地形和热力条件的影响,山区的降水明显多于周围的地方。例如华山和五台山多年平均降水量分别为 879.0 mm 和 829.8 mm,其周围的地区都小于 600 mm,而大同由于受南面恒山的阻隔,多年平均降水量不足 400 mm。

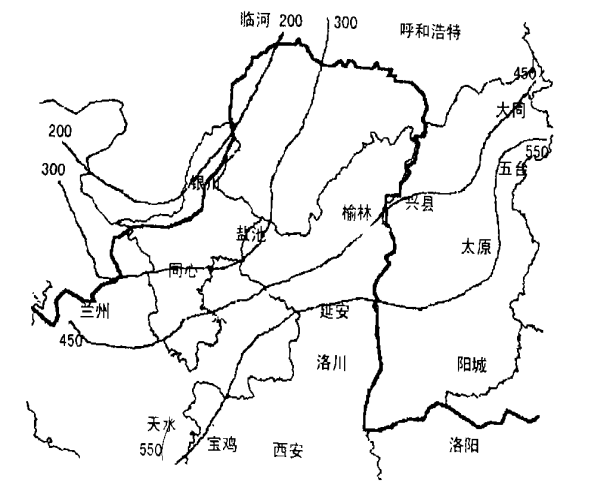


图 1 黄土高原地区多年平均年降水量(mm)等值线图

1.2 降水资源的季节分布特征

由于受大气环流形势的影响,黄土高原地区降水的年内变化,总的特征表现为季节分配极不均匀,冬干春旱,夏秋季降水集中,表 1 为黄土高原年降水量的季节分配情况。从中可以看出夏季降水明显多于其它季节,6~8 月降水量占全年降水量的 42%~68%,其中,北部地区一般占年降水量的 65%左右,集宁占 68.1%;中西部地区一般占 55%,南部一般占 45%左右。秋季(9~11 月)降水量占年降水量的 16%~36%,其中北部地区一般占年降水量的 20%左右;西部地区一般占年雨量的 24%左右,南部可占到 30%左右。冬季(12~2 月)降水量少,一般只占年降水量的 1.5%~5.0%;春季(3~5 月)降水量一般占年降水量的 12%~24%,北部和中部一般在 20%以下,南部大部分地区都大于 20%。生长季(4~9 月)雨量可占全年的 73%~90%,其中西北部地区一般可占到 85%以上,东南部地区可占年雨量的 80%左右。

1.3 降水资源的年际变化特征

表 2 是黄土高原地区 41 个站点反映降水量年际变化的 4 种特征指标(年降水相对变率、年降水离差系数、最大年值与年平均值的比值倍数、最大年值与最小年值的比值倍数)

的计算结果。从中可以看出:黄土高原地区年降水量的年际变化很大,总的变化幅度西北部大于东南部,降水越少的地区其年际变化也愈大。

表 1 黄土高原多年平均年降水量的季节分配比例 %

站 名	春季 (3~5 月)	夏季 (6~8 月)	秋季 (9~11 月)	冬季 (12~2 月)	生长季 (4~9 月)
兰州	20.9	53.8	23.8	1.5	86.6
靖远	20.1	54.0	24.4	1.5	86.4
临夏	22.4	51.4	24.6	1.6	86.4
临洮	21.1	52.9	24.1	1.9	86.4
呼和浩特	12.8	66.5	18.5	2.2	88.3
右玉	14.2	65.0	19.0	1.7	89.5
集宁	13.5	68.1	16.5	1.9	90.5
大同	15.2	62.9	20.0	2.0	88.3
临河	12.0	66.1	20.1	1.8	89.0
石咀山	14.2	64.9	19.5	1.3	89.2
鄂托克旗	15.0	64.4	18.9	1.8	88.9
伊金霍洛旗	14.4	63.9	19.9	1.8	88.6
五台山	17.0	59.6	18.7	4.7	82.2
阿拉善左旗	17.0	58.6	21.7	2.7	85.1
银川	18.1	58.3	21.5	2.0	85.5
榆林	15.4	60.4	22.1	2.0	86.9
兴县	14.1	59.8	23.4	2.7	85.1
原平	13.4	63.8	20.9	1.9	88.7
中卫	17.8	57.5	23.2	1.5	87.5
中宁	17.0	57.6	23.9	1.4	87.7
盐池	18.1	55.4	24.2	2.2	85.1
横山	16.5	57.7	23.8	2.0	86.9
绥德	14.9	55.8	26.9	2.5	84.9
太原	14.4	61.1	21.9	2.6	86.6
阳泉	14.5	62.6	20.2	2.7	87.2
同心	19.8	52.9	25.1	2.3	85.8
固原	18.3	54.6	25.4	1.7	86.7
延安	16.8	55.4	25.7	2.1	85.2
介休	15.8	56.2	25.3	2.7	84.5
西吉	17.9	54.1	26.3	1.6	86.6
平凉	18.6	52.4	27.3	1.8	85.3
庆阳	20.0	48.8	28.7	2.5	83.4
洛川	18.6	50.2	27.9	3.4	81.2
运城	20.6	46.9	29.7	2.9	80.6
阳城	17.7	53.6	24.7	3.9	82.2
天水	22.0	46.8	28.7	2.5	82.8
宝鸡	22.6	42.1	32.3	3.0	79.5
西安	24.1	35.9	36.2	3.9	73.8
华山	24.3	42.1	28.9	4.6	76.2
卢氏	21.7	46.1	28.8	3.4	79.3
洛阳	19.6	48.4	27.0	5.0	79.2

黄土高原地区的年降水相对变率一般在 15%~36%之间。大部分在 20%以上,北部地区在 30%左右,石咀山年降水量变率最大,高达 36.3%,其次是鄂托克旗,其年降水变率为 35.7%;南部地区降水变率相对较低,一般在 20%以下,华山只有 13.0%。年降水离差系数一般在 0.20~0.46 之间,其区域分布特征和年降水变率的分布特征基本一致,也是由东南向西北增大,南部的华山为 0.16,而北部的鄂托克旗达到 0.46。

通过最大年值与年平均值的比值可以看出最大年降水量一般为多年平均值的 1.4~2.0 倍,其中东南部地区一般在 1.5 倍左右,西北部在 2.0 倍左右(鄂托克旗 2.1 倍,盐池 2.0 倍)。最大年降水量一般为最小年降水量的 2.0~6.5

倍, 华山最小只有 1.8 倍, 靖远最大达 6.8 倍。

表 2 黄土高原年降水量的年际变化特征

站 名	降 水 量/mm						
	年均 雨量	最大 年雨量	最小 年雨量	最大年: 年平均	最大年: 最小年	相对 变率	离差 系数
兰州	316.1	546.7	187.2	1.7	2.9	20.9	0.26
靖远	236.1	416.8	61.3	1.8	6.8	23.1	0.31
临夏	501.7	763.9	325.8	1.5	2.3	17.1	0.21
临洮	548.3	801.5	362.9	1.5	2.2	17.5	0.21
呼和浩特	402.0	685.9	155.1	1.7	4.4	22.9	0.29
右玉	426.1	654.1	193.3	1.5	3.4	21.5	0.26
集宁	361.9	583.9	167.9	1.6	3.5	22.0	0.27
大同	377.0	579.0	212.8	1.5	2.7	18.7	0.23
临河	139.5	267.9	53.7	1.9	5.0	30.2	0.38
石咀山	179.1	333.9	54.5	1.9	6.1	36.3	0.44
鄂托克旗	301.2	624.6	100.8	2.1	6.2	35.7	0.46
伊金霍洛	364.8	729.4	167.1	2.0	4.4	28.1	0.36
五台山	829.8	1206.9	494.3	1.5	2.4	16.9	0.21
阿拉善左旗	201.8	348.4	108.3	1.7	3.2	24.5	0.29
银川	194.0	354.3	98.2	1.8	3.6	30.2	0.36
榆林	400.6	695.4	159.6	1.7	4.4	21.7	0.29
兴县	491.6	844.6	181.1	1.7	4.7	22.8	0.29
原平	425.0	760.6	162.4	1.8	4.7	24.1	0.31
中卫	184.7	325.3	83.3	1.8	3.9	27.0	0.33
中宁	215.7	383.9	82.0	1.8	4.7	30.4	0.37
盐池	287.6	586.8	145.3	2.0	4.0	24.2	0.33
横山	379.1	687.7	165.3	1.8	4.2	20.8	0.27
绥德	470.5	747.5	255.0	1.6	2.9	16.2	0.21
太原	457.8	749.1	216.1	1.6	3.5	21.8	0.28
阳泉	569.2	866.4	240.4	1.5	3.6	23.7	0.28
同心	270.8	491.8	120.6	1.8	4.1	25.7	0.33
固原	465.2	766.4	282.1	1.6	2.7	18.7	0.24
延安	555.4	774.0	330.0	1.4	2.3	16.3	0.20
介休	495.8	733.1	276.6	1.5	2.7	18.0	0.23
西吉	431.0	657.6	259.4	1.5	2.5	18.1	0.23
平凉	520.7	744.5	315.4	1.4	2.4	17.3	0.22
庆阳	572.6	805.2	361.3	1.4	2.2	17.9	0.21
泾川	624.2	911.9	396.8	1.5	2.3	16.0	0.20
运城	550.6	752.4	303.9	1.4	2.5	14.2	0.18
阳城	618.6	850.2	335.2	1.4	2.5	17.2	0.21
天水	540.7	772.2	324.3	1.4	2.4	19.2	0.22
宝鸡	698.9	951.0	431.5	1.4	2.2	15.2	0.19
西安	586.7	912.0	346.5	1.6	2.6	16.7	0.22
华山	879.0	1262.3	659.2	1.4	1.9	13.1	0.16
卢氏	636.9	986.4	427.7	1.5	2.3	16.5	0.21
洛阳	600.3	1047.8	201.9	1.7	5.2	19.1	0.27

1.4 降水资源与光、温资源的耦合特征

黄土高原处在我国光能资源的高值区, 其年太阳总辐射量为 $50.2 \times 10^4 \sim 67.0 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 呈东南向西北递增的趋势, 其中西部和西北部最高达 $58.6 \times 10^4 \sim 67.0 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, 东南部一般小于 $50 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。日照丰富, 日照百分率大部分地区在 55% 以上, 西北部地区更是高达 70% 以上; 年日照时数从西北部的 3 000 h 以上减少到东南部的 2 000 h 左右^[3]。与黄土高原地区的年降水量空间分布特征相对照可以看出, 二者呈相反的区域分布趋势, 光资源丰富区恰恰是降水资源缺乏区。虽然在该地区光能资源优势明显, 但由于降水偏少且变率大, 旱涝不均, 其旱多于涝。降水资源限制和影响了光照资源的利用, 使得大部分地区的光能资源利用率在 1% 以下。

黄土高原地区年平均气温一般在 4~13 之间, 总的特征是从东南向西北递减。虽然热量资源总体上较差, 但在空间上与降水资源具有相同的分布趋势, 东南部热量资源相对丰富, 降水资源也相对较多, 有利于同时提高两种资源的利用率。再者, 在年内季节分布上, 夏秋两季降水资源丰富, 此

时温度较高, 热量集中, 有效积温多, 雨热同季利于植被生长。但也存在着不协调的方面, 例如: 夏季偶发性的洪水和暴雨是该地区降水资源浪费的主要因素; 受地形影响黄土高原的山区降水较多, 但同时这些地区年平均温度低, 使降水资源不能充分利用; 黄土高原地区大部分地区春季气温回升快, 大部分地区 4 月份的月平均气温在 10 左右, 植被蒸腾和土壤蒸发迅速增加, 而此时降水量偏少, 不能满足植被的需求, 使热量资源得不到充分利用。

2 黄土高原地区降水资源对植被分布与恢复的可能影响

2.1 降水资源对植被分布的可能影响

关于植被分布与年降水量的关系, 我国许多学者已做了大量的研究工作^[4~7], 得到了不同植被类型与年降水量的关系指标。根据这些指标, 可以大致得到黄土高原植被的基本分布规律:

森林地带位于黄土高原的东南端。其北界始于蒲县, 向西南经过吉县, 过黄河进入陕西省, 穿过黄龙县北部, 沿陇县北部折向西南, 止于天水南部。该地带多年平均降水量在 550~650 mm 之间, 植被以落叶阔叶林为主, 其中栓皮栎、槲栎和麻栎等具有代表性。温性针叶林中以油松、侧柏和白皮松为主。小乔木有构、桑、榆等。灌丛以连翘、丁香、荆条和酸枣为代表。

森林草原地带位于森林地带的西北部, 其北界由兴县南部起, 向西过黄河, 经绥德、固原、西吉向西南, 一直到定西南部终止。本区面积最大, 气候为半湿润、半干旱气候; 本地带多年平均年降水量在 450~550 mm 之间, 属于森林地带和草原地带之间的过渡地带, 在植被上与森林地带的最大差别是草原植被占据较大优势, 其分布面积广且具有代表性的有白羊草草原、长芒草- 白羊草- 兴安胡枝子草原、芨芨长芒草草原、长芒草- 兴安胡枝子草- 杂类草草原等。森林主要发育在较高的山地丘陵及阴湿的沟谷中, 以油松、辽东栎、白桦、山杨为建群组成的纯林或混交林。灌木多为中旱生旱中生的成分, 如狼牙刺、杠柳、枸杞、扁核木等。森林草原地带的中低山是灌丛植被发育最广泛的地区。

典型草原地带南界与森林草原地带相毗邻, 其北界始于内蒙古的包头, 向南穿过鄂托克旗的东部, 经陕西定边于宁夏的盐池之间, 折向西南, 穿过同心, 终止于兰州以南。本区多年平均降水量 300~450 mm, 植被的主要特征是多种草原植被占优势, 其中以长芒草草原分布最广, 其他为芨芨草原。灌木种类较多, 分布地域也广。常见灌木种类有柠条、小叶锦鸡儿等。

荒漠草原地带位于黄土高原西北端, 其南界与典型草原地带相接。本区气候属于温暖干旱- 半干旱气候, 本区多年平均年降水量在 300 mm 左右, 植被地带特征是各类短花针茅草原广为分布。

2.2 光热水耦合作用特征对植被分布的可能影响

不同的光、热、水资源条件的耦合, 形成了地球上的多种气候带与气候型, 并制约着植被的地理分布。黄土高原地区光资源充足、热资源有限、水资源缺乏的特性, 决定了该地区植被分布有其基本的规律:

(1) 森林带分布在东南部水热资源相对丰富的有限区域内。该区内年降水量 $> 550 \text{ mm}$; 年平均温度 $9 \sim 12$; 10 的活动积温大于 $3\ 200$, 降水资源和热量资源都能满足乔木的大面积生长。

(2) 森林草原过渡带和典型草原带是黄土高原地区的主要植被类型分布带。该分布区年降水量在 $300 \sim 500 \text{ mm}$ 之间; 年平均温度 $6 \sim 9$, 10 的活动积温在 $2\ 300 \sim 3\ 100$ 之间, 水分条件限制了乔木的成片生长, 植被以灌木和草原为主, 森林只分布在水分条件较充足的山地、丘陵及沟谷地带。

(3) 荒漠草原地带分布在水热资源同时缺乏的西北部。该地区年降水量在 $< 300 \text{ mm}$; 年平均温度 $6 \sim 9$; 10 的活动积温 $< 2\ 600$, 有限的热量资源和极少降水资源决定了其植被类型只能是荒漠草原。

3 黄土高原植被生态建设应注意的问题

3.1 应当重视植被生态恢复的自然地带性规律

地球上植被的分布有地带性规律, 这也是生态学和地理学的基本规律之一。主要表现在植被分布的经度地带性(主要受降水条件的影响)、纬度地带性(主要受温度条件的影响)和高度地带性(受温度和降水的综合作用), 在某些地区, 可能还会由于局地条件的作用, 而出现特殊的分布格局。这一规律决定了植被的可恢复性, 也成为指导区域生态建设的重要原则, 最根本的一点就是“宜林则林, 宜灌则灌, 宜草则草”, 这在以往的工作中, 已经有了许多教训。

对于黄土高原地区, 既不能因其山地有林, 而认为黄土高原曾经处在森林景观带, 也就是说, 山地黄土高原中不具有显域代表性; 也不能因为在黄土高原的东南部, 过去或现在处在森林地带或森林草原过渡带, 而认为黄土高原的中部或西北部也处在这个地带。因此, 既不能把黄土高原山地曾经(或仍然)有森林分布作为今后在黄土高原面上大范围植树造林, 恢复森林植被的宏观依据; 也不能因为其东南部平原在曾经有森林分布, 而作为在黄土高原中或西北部植树造林、恢复森林植被的依据^[8]。

山仑先生^[9]也认为: 在年降水量 $300 \sim 500 \text{ mm}$ 的半干旱气候条件下, 也恰是黄土高原水土流失严重的地区, 难以形成有规模的天然乔灌木林, 人工造林由于受到环境限制, 只宜在水分条件较好的沟道和阴坡适当发展, 同时还必须加大人工措施, 付出较多代价。因此, 应倡导乔灌草相结合, 一些地方还必须明确以草灌为主。另外, 在大面积人工造林时, 要以适合当地条件的旱中生优势种为主, 过多引进高耗水的树(草)种一个时期内也许可繁茂生长形成较大生物量, 但因失去水分平衡难以持续利用。

3.2 应当重视植被生态恢复与建设的资源承载力基础, 特别是水资源的承载力

目前在西部地区生态恢复与建设中, 水资源的问题是一个突出的问题。可以说, 水是西北地区生态系统重建的根本^[10]。因此, 在西部地区生态环境建设中, 要充分认识到生态环境和水资源关系的差异性, 不能违背水资源规律和生态规律, 要“量水而行”, 不能盲目地进行植树造林。

黄土高原地区是典型的水资源贫缺地区。这一水环境特

征, 不仅是本地区生态重建的制约因素, 而且严重影响经济社会的可持续发展。该地区大部分属半干旱和干旱气候, 植物生长的水分条件相当差。即使是传统认为水分条件较好的关中西部、晋中盆地以及晋南豫西等地, 事实上其湿润状况并不比其北部地区好, 也是比较干旱的地区^[11]。因此, 在黄土高原地区植被生态环境恢复与建设中, 退耕还林还草和水土保持工作要密切结合当地的降雨等气象条件, 原则上不宜依靠人工供水来维持植被的生长。

具体地, 除河谷盆地外, 大部分地区无灌溉条件, 在这种情况下更应注意造林立地条件和适生树(草)种的选择。根据对黄土高原不同地带雨水资源环境容量的估算, 在地处风沙草原地带, 雨水资源量只能满足承雨面积 $1/5$ 到 $1/3$ 面积人工林草植被对水分的需求; 在森林和森林草原带, 对人工灌木林或人工草地来说, 水分已不是限制性因素, 但对耗水强烈的高大乔木而言, 即使在水分环境优越的森林地带, 水分供应也处于临界状态, 每遇枯水年, 林木仍处于水分斜坡之下^[12]。

3.3 应当重视植被生态规律, 特别是植被耗水规律

植被生态学是进行植被生态的基础, 其中一个重要方面就是植被的耗水规律。在以往的实践中, 有些地方盲目地植树造林, 不仅达不到植被恢复、改善生态条件的目的, 甚至造成了更加严重的生态问题。

在以往的实践中, 一些外来种和人工种的抗逆性强, 尤其是抗旱性强, 耗水量大, 在降水不能满足的情况下, 过度消耗土壤中贮水, 使土壤含水量降到很低水平。如黄土高原的刺槐林和柠条灌丛及杨树林中, 相当多的林地土壤含水量处于田间持水量的 30% 以下, 个别地块土壤含水量甚至接近或低于凋萎湿度。虽然通过大气降水补偿作用, 土壤水分有所恢复, 但补偿深度一般只有 2 m 左右, 在 2 m 以下形成了一层土壤含水量很低($< 30\%$ 田间持水量), 而且得不到降水补偿的土层, 即所谓的“土壤干层”。在黄土高原, 这种“土壤干层”是一种人工林常见的土壤水分现象^[12]。

有研究表明^[13], 利用实测资料和模型计算结果比较了森林和草地小流域的水循环特点。结果发现在郁闭度相同的情况下, 森林小流域较自然草地小流域有较小的径流量、较大的蒸散量和较低的 3 m 土层平均含水量, 也就是说森林的覆盖增强了水分小循环, 削弱了水文大循环, 并导致土壤含水量降低。同时也发现森林的上述水文效应应当其郁闭度达到一定程度时才能表现出来。通过比较两类生态系统植物生长的土壤水分环境条件和水分利用率, 认为黄土高原沟壑区在大力发展林业时应以沟谷为主。

由于耗水量上的差异, 有人认为, 在干旱、半干旱荒漠草原及其退化地区, 种草是生态建设的最佳和惟一的选择。一棵阔叶树犹如一个小型的抽水机, 相当于 30 m^2 平方米草地的耗水量, 如果在干旱地区不合理植树, 尤其是高密度植树, 不仅不能涵养水源, 而且还会增加深层土壤的干旱^[14]。这一情况对于黄土高原地区, 也不无借鉴意义。

[4] 颜正平,郭俊杰. 环境因子对百喜草生长之影响[J]. “中华水土保持学报”,1988,(20):39– 58.

[5] 颜正平.黑胡桃根系分布与土壤性质之关系[J]. “中华水土保持学报”,1981,(12):37– 50.

[6] 李庆瑞.水土保持处理与柳橙根系分布关系之调查研究[J]. “中华水土保持学报”,1977,8(2).

[7] 李庆瑞,吴诗都. 百喜草植物学上的分类及其生育特性[J]. “中华水土保持学报”,1981,7(2):150– 163.

[8] 梁升,张敬昌. 山坡地槟榔园水土保持试验调查规划[R]. 中兴大学农学院水土保持学系,1992.

[9] 黄万传,潘添进,钟震东. 台湾地区槟榔产业之经济研究[Z]. 屏東农业专科学校经济科. 1990.1– 52.

[10] Wolfgang Boehm. Method of studying root systems[M]. [s.l.]:Springer– Verlag,1979.5– 18.

[11] Pritchett, W L. Properties and management of forest soils[M]. [s.l.]:John Wiley & Sones,1977. 37– 45.

[12] Russell, R S. Plant root system[M]. UK:McGrawhill Book Company Limited,1977.19– 29.

[13] Waldron, L J. The shear resistance of root-permeated homogenous and stratified soil[J]. Soil Science Am. J., 1977, 41: 843– 849.

[14] Chaudary, M R, S S Priher. Root development and growth response of corn following mulching cultivation or interrow compaction[J]. Agron J., 1974, 66: 350– 355.

[15] Kozłowski, P J, W, H Scholtes. Growth of root and root hairs of pine and haredwood seedings in the piedmond[J]. J. Forestry, 1948, 46: 750– 754.

[16] Ethan, C H, F L Fisher. Root developement of coastal Bermuda grass with high nitrogen fertilization[J]. Agron. J., 1960, 52: 593– 595.

[17] Baker, C E. The rooting habit of grimes apple trees under different system of soil management[J]. Pro. Am. Soc. Hort. Sci., 1974, 45: 167– 172.

[18] Doll, C C. Apple tree root development in terraced loess soil[J]. Pro. Am. Soc. Hort. Sci., 1961, 78: 1– 7.

[19] Adriance, G W, Hampton, H E. Root distribution in citrus, as influenced by enviroment[J]. Proc. Am. Soc. Hort ic. Sci. 1949, 53: 103– 108.

[20] Beard, F H. Root studies: the root-systems of hops on different soil types[J]. J. Pomol. Hortic. Sci, 1943, 20: 147– 154.

[21] 青野英也, 筑濂好充, 田中静夫. 茶树根群的发达及土壤保全机能(第二报)[J]. 日作纪, 1981, 50(2): 164– 168.

[22] 番场宏治, 大久保隆弘. 烟作物的根系分布与收量的相对关系(第三报)[J]. 日作纪, 1981, 50(1): 1– 7.

(上接第 112 页)

参考文献:

[1] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区综合治理开发简要报告集[R]. 北京: 中国经济出版社, 1992. 192– 193.

[2] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植树造林[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 433– 438.

[3] 中科院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区农业气候 资源图集[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 1– 6.

[4] 蒋定生, 等. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 106– 108.

[5] 李文华, 李飞. 中国森林资源研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996. 15– 30.

[6] 柴宗新, 范建容. 金沙江干热河谷植被恢复的思考[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 381– 384.

[7] 贺庆棠. 中国森林气象学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 212– 218.

[8] 韦省民. 从自然地理学角度看黄土高原历史地理研究——以森林变迁为例[A]. 见: 陈明荣, 李治武, 陈宗兴主编. 黄土高原地理研究[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1987. 52– 59.

[9] 山仑. 西北半干旱地区实现退耕还林还草的条件与措施[A]. 见: 中国林学会主编. 西北生态环境论坛[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 88– 91.

[10] 袁嘉祖, 闵庆文. 水是西北地区生态系统重建的根本[J]. 自然资源学报. 2001, 16(6): 511– 515.

[11] 陈明荣. 黄土高原的干旱特点[J]. 西北大学学报, 1983, (1); 或见: 陈明荣, 李治武, 陈宗兴主编. 黄土高原地理研究[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1987. 24– 32.

[12] 侯庆春, 韩蕊莲. 黄土高原植被建设中的有关问题[J]. 水土保持通报, 2000, 20(2): 53– 56.

[13] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226 – 231

[14] 张殿发, 张祥华. 西部地区退耕还林急需解决的问题及建议[J]. 中国水土保持, 2001, (3): 9– 11.