

x

# 黄土高原水土保持的水文环境效应研究进展\*

丁 琳 霞

(中国科学院、水利部水土保持研究所 陕西杨凌 712100)

**摘 要** 黄土区大面积、高强度的植被营造工程和各项水利工程虽充分利用了有限的水资源,减少了入黄泥沙,但同时也人为的切断或改变了水分循环的途径,对水环境产生不同方向和程度的影响。尽管国内外学者对水土保持的水环境效应已进行了不少研究,但仍存在一些问题,主要表现在单项措施,特别是林草措施下的水环境效应研究比较深入;在水环境研究内容上,多注重对地表径流减水减沙的分析,而对水量平衡、水文情势等研究较少;在研究尺度上,多集中于对径流小区的分析,单点研究深入而面研究不够。

**关键词** 小流域 水环境 水土保持 黄土区

黄土高原严重的水土流失威胁着黄河下游的防洪和流域的水资源开发,其治理关系着整个流域的社会、经济及环境的可持续发展。黄土高原大面积、高强度水利水保工程的拦蓄作用,在有效的减少入黄泥沙的同时,也必然引起水环境的变化,特别是 20 世纪 70 年代以来黄河断流问题的讨论已引起人们对区域治理的深层思考<sup>[1]</sup>。在黄土高原,人们已经开始认识了单项水土保持措施林草植被建设引起的土壤干层<sup>[1~4]</sup>、高生产力深根系植被面积的增加和“三北”防护林建设加强水的生物小循环;黄土高原地区正在推行的“雨水集流”或“集流农业”大面积的雨水贮存,也会人为切断或改变水分循环的途径。这些以保水保土及充分利用有限水资源为中心的综合治理措施,对水环境将会产生不同程度和方向的作用。基于此,本文拟从不同方面对有关黄土区水土保持对小流域水环境效应的研究进展做一归纳、分析和评述。

## 1 水文环境概念与研究方法

### 1.1 水文环境概念

广义的讲,水文环境(hydrological environment)包括水的数量、质量及其时空动态变化过程。人类活动对水环境的影响,从其影响途径可分为直接与间接两大类。直接影响是指人

x 本研究受国家九五攻关课题(96-004-5-12)和水利部重点攻关课题(SZ9832)支持。本文是在导师穆兴民的指导下完成的,同时得到杨文治、邵明安、蒋定生、徐学选等老师的指正,深表感谢。

收稿日期:2000-02-25

类活动使水文要素的量、质和时空分布直接发生变化,如大型水利工程、大面积的水利水保及防护林工程对蒸发、降水、径流等水分循环与平衡的直接影响;间接影响则指人类经济活动通过改变下垫面状况及局地气候,以间接方式影响水文循环的各个要素,如植树造林、发展农业等。流域下垫面性质是影响水文过程的重要因素,因此产生了森林水文学、草地水文学、荒地水文学等水文学分支学科,我国水环境研究起步较晚,且以前研究多集中在水质和森林水文效应方面,对水环境理解不全面、研究技术和方法都尚不系统<sup>[5]</sup>。

我国有关水土保持水环境效应研究开始于黄土高原。在40年代初期,我国就在天水市及关中地区建立了水土保持实验区,开始对人工种草、沟壑耕作等水土保持措施的减水减沙效应进行观测研究。在80年代以前,研究重点基本上是通过水土保持实验区观测资料最影响水环境的主导因子进行研究,揭示不同地形地貌、土壤特性、林草植被、水文气象等条件下水土流失规律及单项水土保持措施减水减沙效应等。80年代中期以来,加强了对重点治理流域片区研究,如对黄河流域、长江三峡水库等水土保持措施的水环境效应研究。现已逐步形成了一套较为系统的研究坡面及沟谷水土流失与各影响因素间关系的方法和成果,为今后研究水土保持的水环境效应提供了理论依据。尽管国内外许多学者及研究机构对水土保持的水环境问题进行了多方面的研究,但到目前为止,较多集中在单项措施对水环境单一要素的影响研究,而对于区域或小流域包含多年影响因素的综合水土保持对水环境的影响,目前还较少见有关这方面的研究报道。

## 1.2 水土保持的水环境效应的研究方法

水环境效应研究中普遍采用的研究方法有三种:水量平衡法、对比分析法和流域水文模拟法。水量平衡法的基本原理是利用水量平衡方程,分析各要素在水土保持后的差异及其变化。但该法所需资料多,工作量大。对比分析法主要有两大类,一类是根据实验流域和代表流域所取得的资料,分析不同水保措施的水文效应,并建立各类措施与水文要素变化之间的关系,从而就可将这些分析成果应用于类似流域或地区;另一类方法是以本站实行水保措施前后的资料进行对比分析,一般采用趋势法和相关分析两种方法,其中相关分析法又包括本站资料相关和相似流域分析两种;流域水文模拟法是基于对水文现象的认识,分析其成因及各要素之间的关系,以数学方法建立一个模型来模拟流域水文变化过程。从50年代开始,黄土高原多数水土保持试验站普遍采用对比流域分析法进行水土保持小环境效应研究对比观测实验,积累了大量资料。

# 2 水文环境效应研究进展

## 2.1 植被变化对水环境影响的国内外研究

森林水文研究从其早期发展阶段来看,主要集中在森林覆盖率及林种变化对流域产水量的影响。HiBbert(1967)和Bosch(1982)分别对世界34个流域和94个流域实验进行了系统的总结,认为针叶林、落叶阔叶林、灌木林及草本植被对流域产水量的影响呈递减趋势。针叶林覆盖率每变化10%将引起流域年总产水量的40mm的变化,同样对硬木阔叶林而言,会引起约25mm的变化量,而灌木林或草本植物会引起约10mm的变化量<sup>[5]</sup>。我国从60年代以后也开展了林草水文生态作用的集水区研究,流域面积从零点几平方公里到几千平方公里,研究的内容主要集中在探讨林草植被覆盖率变化与流域径流量变化的关系,多数结论认为:林草措施会不同程度的减少河川径流量。除了研究林草措施对径流量的效应外,在其

对土壤水分变化及蒸散发方面的研究也取得了一定的成绩。黄土高原人工造林种草下的土壤水分动态变化的研究,一直是黄土高原土壤水分利用及环境整治中具有重要理论和实践意义的研究内容。“七五”期间人工林土壤水分生态条件及生产力的研究被列为国家重点科技项目“黄土高原综合治理定位实验示范综合研究”的内容,取得了重要进展;杨文治等就黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境进行了分区研究<sup>[6]</sup>;李代琼等研究了飞播沙打旺草地蒸腾与产量和土壤含水量的关系<sup>[7]</sup>;张长忠也就黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系进行了探讨<sup>[4]</sup>。吴钦孝和杨文治(1998)系统的总结了该区近十年的林草植被建设的研究进展,分析了影响林草植被建设的土壤水分背景,指出黄土高原的林草建设要考虑土壤水分生态环境的影响。林草措施对蒸散发的影响与产水量的变化密切相关,我国60年代初开始了森林蒸散发的研究工作。然而,由于影响森林生态系统蒸散发的因素众多,且具有极大的时间变异性空间异质性,至今还未有被广泛应用的精确的测定方法<sup>[8]</sup>。

## 2.2 水土保持耕作及工程措施的水文环境影响研究

与林草措施的水环境效应研究相比,水土保持耕作及工程措施的水环境效应的研究较少。主要研究这些措施对地表产流、土壤水入渗与蒸发等方面的影响。张金慧(1993)探讨了水平梯田减水减沙效应;蒋定生等(1997)在安塞墩滩观测比较了水平梯田、隔坡梯田、对照小区绝对休闲地的径流发生时间、土壤水分含量高低和土壤贮水量的变化、以及隔坡水平阶上降水的再分配过程;康绍忠等(1998)揭示了不同水土保持措施下坡地水量转化的系统,包括土壤水分入渗性能与过程及土壤水分再分布过程,以及对产流的影响。这些研究基本结论可归纳为:各项水土保持措施都能不同程度的减水减沙;与坡地相比,多数水土保持工程措施都能使土壤含水量提高,为造林种草提供良好的土壤水分条件;就长期而言,人工植被使土壤含水量降低,有导致土壤干化的可能;各项水土保持措施,特别是有良好的枯枝落叶层的多年生林草植被能有效提高土壤入渗速率。

## 2.3 水土保持对小流域水文环境的影响

小流域是产流产沙的基本单元,具有系统的性质和功能,因而也是水土流失综合治理的基本单元。早在1900年就开始在Emmental山区两个小流域进行对比实验,其一为森林小流域,森林覆盖率达99%,另一个小流域以草本为主,占69%,森林占31%,观测时间为1927年~1956年<sup>[8]</sup>。邢芙初(1958)以小流域为研究的空间尺度,分析了人类活动如稻田、梯田等对小流域暴雨地面径流的影响。解明署等(1997)以甘肃省武都的地区消水沟小流域为研究对象,推求出小流域产流和汇水特征值。穆兴民(1999)采用小流域平行对比观测法,分析了黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响。但以上这些以完整的小流域水环境为空间尺度的研究仍较少,而多数研究是以径流小区或坡面为空间尺度,研究水土保持单项或综合措施的实施对径流小区的产流或坡面集流的影响<sup>[9~16]</sup>。除此之外,对小流域综合治理的生态经济效益,特别是水土保持蓄水减沙效益的研究也较广泛<sup>[17~20]</sup>,如柳诗众对陕西省嘉陵江重点防治区二期39条小流域各项防治工程措施的经济效益进行了对比分析;秦诗华等就太平溪小流域水土保持蓄水减沙效益进行了分析。普遍认为:水土保持对小流域减水减沙效益显著;可消除或缓和降水在坡面上的再分配过程;在相似的土壤水分带内,坡面工程和营造林草植被等水土保持措施改变了下垫面性质(坡度、土壤性质等),使区域水分的静态分析和动态过程发生分异,从而引起土壤含水量的变化。

## 2.4 水土保持对中大流域水文环境效应的研究

美国开始于 1909 年的 Wagon Wheel Gap 的试验研究是严格意义上的对比流域实验。道纳尔德 E 惠兰比较分析了受水土保持措施影响后的 1938 年 9 月和 1942 年 6 月的米锐马克流域的拜克河洪水过程线, 得出了较大流域的水土保持对水文的影响的计算方法<sup>[21]</sup>。冉大川分析了 1970 年~1989 年泾河流域人类活动对地表径流量的影响<sup>[22]</sup>; 包为民利用中、大流域水沙耦合模型物理概念模型, 对黄河中游河口镇——龙门镇区间流域和泾河景村水文站以上流域产水、产沙变化原因进行了定量分析<sup>[23]</sup>; 柳荣先等以昕水河流的水沙变化为例, 探讨了水土保持综合治理作用及防治措施<sup>[24]</sup>; 熊贵框、张胜利对大理河流域减水减沙效益初步分析<sup>[25]</sup>。特别是林草对区域水环境效应上的研究较多。张庆费等选择黑龙江省两个典型流域呼兰河流域(农区)和汤旺河流域(林区), 比较不同植被状况的流域间在不同时期森林变化对同一流域森林年径流量的影响<sup>[26]</sup>。雒文生运用水量平衡原理, 总结了小流域和中、大流域尺度的森林对多年平均径流量的影响, 认为小流域面积上造林, 多年平均径流量将大大减少; 中大流域上大面积造林, 由于增加的蒸散发量中有一部分会形成本流域降水, 从而使径流减少不象小流域造林那样强烈, 但仍会减少多年平均量<sup>[27]</sup>。

## 3 讨 论

尽管国内外对水土保持措施的水环境效应已进行了不少研究, 但仍存在一些问题, 主要表现在:

- (1) 单项措施的水环境效应研究深入, 特别是林草措施下的水环境研究, 而综合研究略显不足;
- (2) 在小流域对水环境效应的研究上, 多集中于对流域内径流小区的产流分析, 并且多注重对地表径流减水减沙的研究, 而对完整小流域水量平衡、水文情势等水环境效应方面的研究较少;
- (3) 在研究尺度上, 单点研究深入而面研究不够, 这里的面指小流域及中大流域, 特别是在从单点—小流域—中大流域—江海这一径流过程中, 对小流域这一中间环节的研究尤其不够。

## 参 考 文 献

- 1 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价. 科学出版社, 1992
- 2 中国科学院资源环境科学局主编. 黄土高原小流域综合治理与发展. 科学技术文献出版社, 1992
- 3 唐克丽. 黄土高原生态环境建设关键性问题的研讨. 水土保持通报, 1998, 18(1): 1- 7, 25
- 4 孙长忠, 等. 黄土高原人工植被与其水环境相互作用关系研究. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 7- 14
- 5 J M Bosch, J D Hewlett. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration, J Hydrol, 1982(55): 3- 23
- 6 吴钦孝, 杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展. 科学出版社, 1998
- 7 李代琼, 等. 飞播沙打旺草地蒸腾于产量和土壤含水量的关系. 水土保持通报, 1981, (2)
- 8 王礼先, 等. 森林植被变化的水文生态效应研究进展. 世界林业研究, 1998, (6): 14- 23
- 9 王铁生. 湖南的森林与河川径流关系初探. 水土保持通报, 1981, (4): 51- 55
- 10 R. D. Lang 等. 地面覆盖对冈尼达放牧径流小区土壤流失的影响. 水土保持科技情报, 1988, (1)

- 11 罗伟祥, 等. 不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量. 水土保持学报, 1990, 4(1): 30- 35
- 12 赵焕胤, 等. 林带和牧草地径流的研究. 水土保持学报, 1994, 8(2): 56- 61
- 13 赵合理, 等. 不同水土保持措施对坡面降水再分配的影响. 水土保持研究, 1996, 3(2): 75- 83
- 14 侯喜禄, 等. 黄土丘陵区森林保持水土效益及其机理的研究. 水土保持学报, 1996, 3(2): 98- 103
- 15 李洪建, 等. 晋西北人工林土壤水分特点与降水关系研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 60- 65
- 16 Paul W Unger and Nerle F Vigil Cover crop effects on soil water relationships. JOURNAL OF SOIL AND WATER CONSERVATION 1998, (3): 200- 212
- 17 长江上游水土保持委员会办公室, 长江水利委员会水土保持局主编. 长江上游水土保持重点防治工程科学研究论文集. 中国水利水电出版社, 1997
- 18 广东省五华县水保办等. 乌陂河小流域水土保持效益分析. 水土保持通报. 1993, 13(2): 50- 54
- 19 卫元太, 等. 东窑沟小流域治理措施效益. 水土保持通报, 1982, (4): 13- 15
- 20 张好瑞, 等. 坡耕地综合治理生态效益显著. 水土保持通报, 1991, 11(6): 41- 44
- 21 水利水电出版社编. 人类活动对径流的影响论文汇编. 水利水电出版社, 1958
- 22 冉大川. 泾河流域人类活动对地表径流的影响分析. 西北水资源与水工程, 1998, 9(1): 32- 36
- 23 包为民. 流域水沙变化原因分类分量分析. 地理科学, 1997, 17(1): 41- 46
- 24 柳荣先, 等. 论水土保持综合治理作用及防治措施——以昕水河流域的水沙变化为例. 水土保持学报, 1995, 9(4): 43- 48
- 25 熊贵枢, 张胜利. 大理河流域减水减沙效益初步分析. 1993, (1)
- 26 张庆费, 等. 黑龙江省汤旺河和呼兰河流域森林对河川年径流量的影响. 植物资源与环境, 1998, 8(1): 22- 27
- 27 雒文生. 论森林对多年平均径流量的影响. 水土保持学报, 1988, 2(1): 29- 35

## Progress about the effects of soil and water conservation on water environment of the watersheds in the Loess area

Ding Linxia

Abstract: Large-scale and strong-intensity plant engineering and various water conservancy project can fully use limited water resource, reduce sediment transporting to the Yellow River. But it also can cut off or change former water circulation. Although many scholars have researched the influence of soil and water conservation on water environment, there are still some deficiencies. The effect of individual measure, especitally forest and meadow, has been studied thoroughly, but it is lack of the investigation of the effect of integral control. Majority studies were concentrated on the investigation of the influence on reduction of runoff quantity, not on the balance of water quantity or on the hydrology trend; and the study scale was focus on runoff plots, not on the whole watershed.