

# 植被盖度对水土保持功效 影响的研究综述

张光辉 梁一民

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

**摘要** 就近年来国内有关植被盖度对降雨能量、降雨截留、土壤入渗、初损降雨量、径流量以及泥沙量的影响做了综述;分析了现研究中不足之处,并就今后研究中应注意的问题提出了作者的观点和看法。

**关键词** 植被盖度 水土保持功效 综述

## A Summary of Impact of Vegetation Coverage on Soil and Water Conservation Benefit

Zhang Guanghui Liang Yimin

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

**Abstract** It is summarized about national reseach on impact of vegetation coverage on rainfall energy, rainfall interception, soil infiltritron, runoff volume and sediment amount in this paper. The insurfficiency in nowadays reseach is analysed, meanwhile, the vive of author about the issue which must be pay attention to in future reseach is put forward.

**Key words** coverage of vegetation benefit of soil and water conservation summary

黄土高原地区以其严重的水土流失为世人注目。造成如此强烈水土流失的原因,除自然因素以外,人类社会的经济活动起着主导和决定性作用,其中植被的破坏更加速了这一进程,因此植被措施受到人们的普遍重视。50年代初期,我国就开始了植被水土保持效益的研究工作,特别是70年代末80年代初以来,该领域的研究得到了飞速发展,取得了宝贵的经验和研究成果。在研究植被水土保持效益的同时,植被盖度对水土流失影响的研究工作也取得了较大的进展,这其中有关量化对比试验,也有较系统的理论分析,现就国内有关资料做以综述。

### 1 植被盖度对降雨能量的影响

降雨能量是产生土壤侵蚀的主要原动力,只有减弱降雨能量,才能从根本上阻止和减缓土壤

侵蚀。植被作为防止土壤侵蚀的重要措施,很早就为人们所认识,但植被与降雨能量间关系这一重要问题,国内外研究均甚少。

雨滴动能( $E$ )是雨滴质量( $m$ )和降雨速度( $v$ )的函数。假如雨滴是圆球形水珠,它的质量是雨滴直径( $D$ )和雨滴水密度( $\rho$ )的函数。雨滴直径用永久性色斑法测定,按周佩华,窦葆璋等<sup>[1-2]</sup>求得的以下经验公式来计算:

$$D = 0.356d^{0.712}$$

式中: $D$ —雨滴直径(mm); $d$ —色斑直径(mm)。

当 $D < 1.9\text{mm}$ 时,雨滴降落速度用沙玉清经验公式计算:

$$V = 0.496 \arctg[\sqrt{28.26 + 6.524 \lg(0.1D) - \lg(0.1D)^2} - 3.665]$$

式中: $V$ —雨滴降落速度(m/s); $D$ —雨滴直径(mm)。

当 $D \geq 1.9\text{mm}$ 时, $V$ 用修正的牛顿公式计算<sup>[3]</sup>:

$$V = 17.20 - 0.844D$$

求得雨滴直径和降落速度后,即可依下式求得雨滴质量和雨滴动能

$$m = \pi/6 D^3 \rho$$

$$E = 0.5mv^2$$

1982年,雷瑞德利用以上雨滴动能计算方法,研究了华山松林冠层对降雨动能的影响。该研究发现,由于林冠的截持作用,透过雨量较大气雨量小,它们间存在线性相关关系:

$$P_t = 0.8812P - 0.9569 \quad r = 0.995$$

而透过降雨动能的计算分为两种情况:当降雨量 $P \leq 5\text{mm}$ 时,

$Es_l = P_s \times E_0 = 33.6488A^{0.4287(0.8812P - 0.9569)}$ ; 当 $p > 5\text{mm}$ 时,  $Es_2 = [(0.8812p - 0.9569) - (0.8812 \times 5 - 0.9569)] \times Es_0 = 0.8812(p - 5) \times Es_0$ 。该研究中尽管没有明确分析植被盖度对降雨能量的影响,但它的开展为研究植被冠层对降雨能量的影响打开了局面。

1986年,北京林业大学的余新晓利用实测资料,分析了森林植被对降雨侵蚀能量的减弱作用。他将植被对降雨势能的减弱作用分为林冠截留和林冠缓冲降雨势能两个方面。对于一次降雨,林冠截留作用减弱的总势能为:  $E_{p_i} = \rho g H_m \int d(ap^b) = \rho ag H_m p^b$ ; 而林冠缓冲作用减弱降雨的热能:  $E_{p_c} = \rho ag(H - h)p^b$ , 他的研究发现,不同林分减弱降雨势能的作用不同,乔木林减弱降雨势能的作用比灌木林大。研究还表明,郁闭度对森林植被减弱降雨势能的作用呈正比关系;郁闭度越大,森林减弱降雨势能的作用就越大<sup>[5,6]</sup>。

## 2 植被盖度对降雨截留的作用

植被冠层不但可以减弱降雨的侵蚀能量,还可以拦蓄降水。落到林冠层的降水( $p$ ),分为林冠截留量( $I$ ),林内降水量( $p_i$ ),树干径流量( $S$ )。林冠截留量可以表示为:

$$I = p - p_i - S$$

该式是根据树干水量平衡推断而来,也是截留试验中最基本的公式。依据该公式雷瑞德<sup>[4]</sup>于1982年研究了华山松的截留作用;1986年吴钦孝等人<sup>[7]</sup>对六盘山林区做了降雨截留试验;赵鸿雁等人<sup>[8]</sup>于1990年研究了油松人工林林冠层的水文作用;1991年刘向东等人<sup>[9,10]</sup>研究了人工油松林的林冠截留作用;1992年郑粉莉等人<sup>[11]</sup>研究了子午岭林区森林对降雨的截留作用。这许多研究的结果表明:较长降雨过程各时段的林冠累积截留量和林内累积降雨量与林外同期降雨量分别

呈幂函数  $I = aP^b$  和直线关系  $p_i = aP + b$ 。

这其中,刘向东、吴钦孝等人1986年在六盘山林区森林树冠截留、枯枝落叶层和土壤水文性质的研究中给出了各种林分的郁闭度和截留量,该研究中并未系统地探讨截留量与郁闭度间的关系,其试验结果见表1<sup>[7]</sup>。1993年赵鸿雁等人的油松人工林林冠层的水文作用一文中,作者较为明确地分析了郁闭度与截留量间的关系。作者认为林冠截留受林分密度、风速、降水强度等因素的影响。不同林分密度对截留的影响是:密度越大,截留量越大;反之亦然。同时郁闭度在50%增加到75%时,截留量和截留率相差甚少,分别为0.9mm和1.3个百分点;当郁闭度从75%增加到85%时,截留量和截留率增加显著,分别增加5.6mm和7.7个百分点(见表2)<sup>[8]</sup>。

表1 六盘山林区主要林型有叶期的林冠截留量

类 型	林 分 特 征			截留量 (%)
	密度(株/hm <sup>2</sup> )	郁闭度(%)	枯枝落叶吸水率(%)	
华山落叶林	2700	95		29.1
辽东栎林	1500	8500	22.5~28.8	23.7
山 杨 林	1300	7500	17.0~18.0	21.0
白 桦 林	1600	8000	20.9~23.4	16.2

表2 不同密度的林冠截留量

密 度 (株/km <sup>2</sup> )	郁闭度 (%)	林外降水量 (mm)	截留量 (mm)	截留率 (%)	林内降水量 (mm)
5400	85	72.4	21.3	29.4	51.1
2100	75	72.4	15.7	21.7	56.7
1275	50	72.4	14.8	20.4	57.6

### 3 植被盖度与土壤入渗的关系

土壤入渗是土壤重要的理化特征之一。现行水土保持措施大多是以提高土壤入渗性能来完成其保持水土的作用。首先植被能够改善土壤理化性质,使土壤容重变小,毛细管增加,总空隙度增大,增加土壤入渗。1962年田积莹等人<sup>[12]</sup>在山西离石水土保持试验场,对不同措施试验地进行了渗透试验,试验结果表明苜蓿对土壤的改善效果非常明显,主要是增加土壤有机质,改良土壤结构,同时其根系穿插能力很强。1985年他们又在陕北吴旗做了沙打旺对黄绵土渗透影响的试验,结果是由于多年生沙打旺牧草地根系的穿插活动,致使草地变得疏松,使得土壤在30min以后的稳渗率比农地稳渗率大1倍左右。1984年刘明义等人<sup>[13]</sup>在通榆县五井子水土保持试验场进行了沙打旺和杨树带状混作试验,1989年他们对试验结果做了分析,结果表明林地混作沙打旺,可以提高土壤肥力,降低土壤容重,增大土壤空隙度,使表层土壤渗透性提高,提高土壤入渗能力。1989年吴钦孝等人<sup>[14]</sup>对陕北黄土丘陵区山杨天然次生林土壤的物理性质和水分特征进行了测定和分析。1986年刘向东等人<sup>[7]</sup>对六盘山林区土壤物理性质和入渗做了研究。1993年查轩等人<sup>[15]</sup>在子午岭林区做了有关研究。这方面研究很多,但所得结果基本相似,这里不一一列举。这些研究尽管没有对植被盖度对土壤性质的影响做系统分析,但我们知道,植被盖度越大就意味着植被密度越大(对同一植被在同样立地条件而言),因此随着植被盖度的增大,植被改善土壤理化性质的作用也要应增加。其次,由于枯枝落叶的存在,可以蓄积大量降水,增加土壤入渗。1986年刘向东等人<sup>[7]</sup>对六盘山林区不同林分枯枝落叶对降水的截留做了研究,结果表明枯枝落叶层对大气降雨的截留量为6%~13%,对林内降雨的截留量为7%~21%。枯枝落叶层的截留量取决于枯落物的蓄积量和持水能力。蓄积量越多,截留量就越大。而枯落物蓄积量又与林种、林龄、密度、

年内时间有关,对同种林种和林龄在同一季节,林分密度越大蓄积量越大,截留作用越强。1989年刘向东等人<sup>[16]</sup>研究了不同郁闭度人工油松林枯枝落叶层截留降水的作用,结果发现枯枝落叶层截留量随林外降雨量增大而增大,且符合幂函数关系:  $I = 0.886p^{0.591}$ 。赵鸿雁等人分别于1991~1992年在宜川县研究了山杨林和油松人工林枯枝落叶层对降水截留作用<sup>[5,17]</sup>,结果也表明随着郁闭度的增大,枯枝落叶层对降水的截留作用增强。最后,植被能够延缓地表径流流动速度,延长径流入渗时间,增加地表入渗总量。1989年,刘向东等人<sup>[16]</sup>研究了枯枝落叶层对地表径流的延阻作用,结果是单位长度内径流流动时间随枯枝落叶层厚度增加而延长,  $\Delta T = 8.707 + 1.888L$ 。同年中科院生态中心的孙阁在山西省修水县研究了林地径流速度的变化,结果表明由于枯落物的存在,使地表粗糙度加大,在一般降水条件下,地表径流速率与土内径流速率相差不大<sup>[18]</sup>。1991~1992年赵鸿雁等人研究了枯枝落叶层对径流的阻延作用,结果发现枯枝落叶阻延径流流出时间( $\Delta T$ )和枯枝落叶层厚度( $l$ )、坡度( $a$ )、径流深度( $q$ )三者之间的关系为:

$$\Delta T = 50.2831^{0.458} a^{-0.190} q^{-0.671}$$

由以上论述可以看出,植被对土壤入渗有着重要的影响,无论是植被对土壤理化性质的改良,还是枯枝落叶层对降水的截留以及对径流的阻延作用,均与植被密度有关,实质是与植被盖度有密切的关系。1990年石生新<sup>[19]</sup>在安塞的试验充分说明了这一点,他的试验表明随着植被盖度的增大,土壤入渗累积量几乎呈直线增加,并随着时段的增长,累积入渗量受植被盖度的影响增大。同时,随着时段的加长,同一植被盖度下,累积入渗量的变化幅度变小,这种关系可以用指数  $y = ae^{bx}$  函数反映。

#### 4 植被盖度对初损雨量的影响

就黄土区超渗产流而言,只有当降雨强度大于土壤入渗速率时,地表才开始出现径流。而土壤入渗随降雨历时的延长逐渐减小,所以就一般情况而言,并不是降雨一开始就出现地表径流,而是需要一段时间。我们把从降雨开始到地面出现径流这段时间定义为起流历时( $tp$ );这段时间内降雨量称为初损雨量。

斯密丝(Smith,1972)用差分法求解理查德方程,得出起流历时  $tp$  与降雨强度间的关系为:

$$tp = ai^{-b}$$

表3 不同植被盖度的降雨初损雨量

小区地面	初损时间 (min)	初损雨量 (mm)	亩初损量 (m <sup>3</sup> )
裸地	1.3	1.56	1.04
C=20%	1.96~2.33	2.4~2.8	1.6~1.87
C=40%	2.20~2.83	2.64~3.4	1.76~2.27
C=60%	3.45~8.66	4.14~10.39	2.76~6.93
C=80%	5.00~10.0	6.0~12.0	4.00~8.00

1983~1986年,周国逸等人<sup>[20]</sup>研究了森林土壤的入渗规律,结果得到  $tp = 78.91i^{-0.57990}$ , 1989年王玉宽等人<sup>[21]</sup>在陕北利用人工降雨方法测得  $tp = 2.924i^{-1.548}$ 。同年,蒋定生等人<sup>[34]</sup>通过对85次降水和径流资料分析得到了坡面不发生降水再分配的降水临界值(初损雨量)减小150%,这一关系的数学表达式为:  $p_c = 8413e^{-0.0368a}$ 。1990年,石生新<sup>[19]</sup>在陕北用人工降雨方法测定不同盖度休闲地和谷子起流历时和初损雨量,结果发现在同一雨强情况下,有植被覆盖的谷子地比

休闲地起流历时长,初损雨量大。1987~1988年,山西省水保所的曾伯庆等人<sup>[23]</sup>研究了不同盖度草地产流产沙过程。他们发现,在同样降雨条件下,不同盖度草地的初损雨量有很大差异,初损雨量随植被盖度的增加而增加的趋势十分明显。在人工模拟降雨试验中,当降雨强度为1.2mm/min时,不同盖度的草地初损雨量及初损时间(起流历时)如表3。表3中资料可以说明,植被盖度对增加初损雨量有良好的作用,就平均初损雨量来说,植被盖度从20%增加到80%其初损雨量较裸地增加1.16~3.46倍。从这些试验的结果可知,植被盖度严重地影响着起流历时和降雨初损雨量,植被盖度越大,在同样降雨和土壤前期含水量条件下,起流历时越长,那么降雨初损量就越大,进一步还可以说明,植被盖度越大径流量越小,土壤侵蚀就越轻微。

## 5 植被盖度与径流量间关系

Hussein. M. H 等人<sup>[24]</sup>认为,植被盖度的作用在不同坡长上差异不大,但对不同的土壤和坡度来说变化明显。牟金泽、熊贵枢、龚时肠、张胜利等<sup>[25,26]</sup>整理水土保持资料时认为,6龄林减少径流78%,人工草地减少径流量62%。1985年侯喜禄等人<sup>[27]</sup>对野外柠条、刺槐、沙打旺、天然草地小区与农地小区作对比,发现径流分别减少99%,86%~93%,56%~82%和14%。1989年刘元保等人<sup>[28]</sup>运用人工降雨研究了人工草地、荒草地和秸秆覆盖在黄土性土壤陡坡地上的水土保持效益。结果发现地面覆盖对径流的减少作用表现在地上部分截留降雨和增加入渗两个方面。在雨强为3.25mm/min,降雨量为50mm的条件下,与裸露地对比,在5°,10°,20°的沙打旺小区上,径流量分别减少93.56%,95.98%和94.68%,平均减少94.74%,其中地上部分占1/3左右。同年侯喜禄等人<sup>[29]</sup>在野外试验基础上,分析了不同林草植被类型、林草地覆盖度的蓄水效益,结果表明:在地形(坡度为27°)、土壤(黄绵土)、降雨相同条件下,由于林草植被类型不同,产生的径流量相差很大。10年平均年产量顺序如下:牧草地>农耕地>1~5年生紫花苜蓿>1~6年生刺槐林>2~8年生沙打旺草地>6~15年生刺槐林地>柠条成林地。沙打旺在陕北安塞县种植,生活周期为8年,一般第6年开始衰败,第8年大量死亡。因此,沙打旺草地的水保效益与沙打旺生长年限和盖度密切相关。沙打旺保水效益,在衰败前随沙打旺生长年限增加而增加。如1983年汛期,5年生沙打旺盖度为95%,比2年生盖度50%减少径流15.3%;1984年汛期,6年生沙打旺盖度87%,比3年生沙打旺盖度85%可减少径流30.4%;1985年汛期,7年生沙打旺明显衰败,盖度降低为75%,比4年生沙打旺盖度93%保水效益差,其径流量增加14.6%。1990年汛期,6年生沙打旺盖度87%,比3年生沙打旺盖度85%可减少径流30.4%;1990年,侯喜禄、梁一民<sup>[30]</sup>分析了人工林地郁闭度与地表径流的关系。他们认为郁闭度较好的林地,与坡耕地相比可大大减少地表径流,以柠条成林、刺槐林效益最好,牧荒坡的径流量最大,还高出农耕地35.5%。据10年观测资料表明,林地产流约为牧荒坡的10%~20%。但郁闭度较差的林地,径流量增加,如柠条幼林的地表径流系数为23.1%,农地为17.2%。1987~1988年,曾伯庆等人<sup>[23]</sup>研究了不同植被盖度小区产流过程,试验时降雨历时为60min,降雨量56.2mm,试验结果是:在降雨后5~10min内,裸地径流量急剧上升,而有植被覆盖区地面糙度不同时,其削减流速和增加入渗的作用也是不同的。1988年,罗伟祥等人<sup>[31]</sup>在陕西省永寿县研究了不同覆盖度林地和草地的径流量与降雨量、降雨强度等因素间关系。结果发现:径流量与覆盖度间呈负对数关系 $Q = 9622.348 - 1975.345 \ln C$ 。以上研究均表明植被盖度严重地影响径流产生过程,随着植被盖度的增加,地表径流下降,它们间呈负相关关系。地表径流随植被盖度增大而减少的原因有二:一方面是随着植被盖度的增加,植被截留量增加;另一方面是随着植被盖度的增加,土壤入渗增加。

## 6 植被盖度与泥沙量间关系

减小土壤侵蚀是水土保持工作的核心目标所在,近年来我国在该领域的研究取得了很多成果,植被盖度与土壤侵蚀间关系逐渐清楚。1985年侯喜禄等人<sup>[27]</sup>对野外柠条、沙打旺、天然草地小区与农地作对比,泥沙减少99%,98%~99%,95%~97%和63%。1989年刘元保等人<sup>[28]</sup>研究了地面覆盖对侵蚀量的影响,覆盖小区与裸露小区相比侵蚀量可以减少84%~99%。1987~1988年曾伯庆等人研究人工草地盖度对产流产沙的影响时发现,当植被盖度为20%~40%时,减沙效益为54%~79%;植被盖度60%~80%时,减沙率为77%~95%,点据集中。这表明植被盖度大于60%时防止水土流失的作用比较稳定,小于60%时作用不稳定。以此他们认为有效防止水土流失的地面植被盖度应不小于60%。澳大利亚科学工作者[郎(Lang)和康丁(Contin),1980]在地面坡度为6.8°的草地小区试验结果表明:地面覆盖度70%是防止水土流失的临界值,即植被盖度小于临界值的流失量增加,大于临界值时流失轻微<sup>[27]</sup>。1988年罗伟祥等<sup>[31]</sup>研究表明径流冲刷量 $W$ 与植被盖度间存在 $W = -11.180 + 1099.301 \times \frac{1}{C}$ 的关系。他们根据该关系计算得径流不发生冲刷的临界植被盖度为98.37%;而将35.27%定义为侵蚀量不超过允许侵蚀量的植被临界盖度。1989年侯喜禄等<sup>[33]</sup>分析了黄土丘陵沟壑区主要水保林类型及草地水保效益动态的观测资料,结果表明:柠条成林、刺槐成林、沙棘林保水保土效益好,柠条幼林及沙棘与油松、杨树混交幼林保土效益低于荒坡;林地侵蚀量( $Y$ )与林地的覆盖度( $X$ )呈二次多项关系 $Y = 10377.87 - 271.65x + 1.78x^2$ 。林地土壤侵蚀量随覆盖度增加而减少,并且他们将60%~70%定义为有效覆盖度,盖度在75%以上的林地土壤流失轻微并趋稳定。1990年,石生新<sup>[35]</sup>分析人工降雨资料得出,坡面产沙量与植被覆盖度呈负相关关系,当植被盖度大于60%时,减沙效益均在90%以上(与休闲地相比),此时土壤侵蚀模数小于260t/km<sup>2</sup>。土壤侵蚀量与植被盖度间关系为指数函数 $Q = 8.662e^{-3.42a}$ 。侯喜禄(1991)观测结果表明,覆盖较好的柠条成林地和刺槐成林地,10年观测平均减沙效益达99%,刺槐幼林地6年平均减沙77%。1992年蒋定生等人<sup>[35]</sup>分析了安塞、离石等综合治理试验区的观测资料表,与坡耕地相比,覆盖度为85%的沙棘林地,减沙效益为98%,盖度在65%~80%的刺槐和柠条林,减沙效益为99%,覆盖度为60%~70%的沙打旺人工草地,减沙效益达92%。当植被盖度小于40%时,减沙效益明显降低。1994年吴钦孝等人<sup>[36]</sup>在天然草地进行了人工降雨试验,结果表明为了有效保持水土,植被盖度应保持在50%~60%。以上这些试验。从不同角度分析了植被盖度与土壤侵蚀量间的关系,尽管由于试验条件、试验所考虑的因素不同,试验结果不尽相同,但这些试验均明显表明植被盖度对土壤侵蚀有强大的抑制作用,不管它们间是二次负相关关系,还是指数函数关系,但均说明随着植被盖度的增大,土壤侵蚀量下降。50%~60%的植被盖度能够稳定地减少泥沙。

由以上综述可以看出,近年来国内在盖度(郁闭度)对于植被水土保持功效的影响方面的研究,已取得了丰富而宝贵的经验和成果,这些成果已有广泛的应用,为我国水土保持事业的发展做出了卓越的贡献。在总结成果的同时,发现还存在以下不足之处:第一,尽管植被盖度水土保持功效的各个方面均有研究,但对于某一种植被在各种情况下系统的研究成果不多。第二,在研究植被水土保持功能时,与其它因子(如坡度、坡长、区域等)结合不够,这样所得结果仅能说明某处某种植被在某一特定情况下的试验结果,而不能代表所在植被在这种条件下的结果,也就是说研究成果很难在大范围内推广应用。第三,目前研究工作以野外试验和观测居多,室内理论分析偏

少。第四,林地研究成果较多,草地中所做工作较少,林地和草地保持水土的机理有何差异,目前尚不清楚。针对以上研究不足之处,今后该领域研究应以解决以上问题为主,从而扩大成果的应用范围。

#### 参考文献

- 1 周佩华等. 降雨动能的研究初报. 水土保持通报, 1981年, (1)
- 2 窦葆璋等. 雨滴的观测和计算方法. 水土保持通报, 1982, (2)
- 3 江忠善等. 黄土高原天然降雨雨滴的特性研究. 1983, (3)
- 4 雷瑞德. 华山松林冠层对降雨动能的影响. 水土保持学报, 1988, 2(2)
- 5 余新晓. 森林植被减弱降雨侵蚀能量的数理分析. 水土保持学报, 1988, 2(2)
- 6 余新晓. 森林植被减弱降雨侵蚀能量的数理分析(续). 水土保持学报, 1988, 2(2)
- 7 刘向东, 吴钦孝等. 六盘山林区森林树冠截留、枯枝落叶层和土壤水文性质的研究. 林业科学, 1925(3)
- 8 赵鸿雁, 吴钦孝等. 油松人工林林冠层的水文作用. 中国水土保持, 1993, (2)
- 9 刘向东, 吴钦孝等. 黄土丘陵区人工油松林和山杨林林冠截留作用的研究. 水土保持通报, 1991, 11(1)
- 10 刘向东, 吴钦孝等. 油松人工林林冠对降水再分配的研究. 陕西林业科技, 1993, (1)
- 11 郑粉莉, 唐克丽等. 子午岭林区林冠对降雨截留作用的研究. 西北水保所集刊
- 12 田积莹, 黄义端等. 增加土壤渗透, 减少土壤流失. 水土保持通报, 1988, 8(2)
- 13 刘明义, 张德元等. 林地带状混作沙打旺对土壤理化性质的影响. 水土保持学报, 4(2)
- 14 吴钦孝, 刘向东等. 山杨林地土壤的物理性质和水分特性. 西北水土保持研究所集刊, 1990, 14
- 15 查 轩, 唐克丽等. 植被恢复对土壤抗侵蚀特性影响的研究. 西北水土保持研究所集刊, 1993, 17
- 16 刘向东, 吴钦孝等. 黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究. 水土保持学报, 1989, 3(4)
- 17 赵鸿雁, 吴钦孝. 山杨枯枝落叶的水文水保作用. 林业科学, 1991, 30(2)
- 18 孙 阁. 林地土内径流速率的研究. 水土保持学报, 1990, 4(3)
- 19 石生新. 高强度人工降雨入渗规律. 水土保持通报, 1992, 12(2)
- 20 周国逸, 潘淮涛. 林地土壤的降雨入渗规律. 水土保持学报, 1991, 5(2)
- 21 王玉宽, 王占礼等. 黄土高原坡面降雨产流过程的试验分析. 水土保持学报, 1990, 5(2)
- 22 蒋定生, 刘 梅等. 降水在凸一凹形坡上再分配规律初探. 水土保持通报, 1990, 10(2)
- 24 Hussein. M. Hretal. Effects of Cropy and Residue on Rill and Interrill Soil Erosion. TRANSACTIONS of the ASAE, 1982
- 25 牟金泽, 熊贵枢. 陕北小流域产沙量预报及水土保持措施拦沙计算. 河流泥沙国际学术讨论会论文集, 1980 (1)
- 26 熊贵枢, 张胜利. 大理河流域减水减沙效益初步分析. 人民黄河, 1983, (1)
- 27 侯喜禄, 杜呈祥. 不同植被类型小区的径流泥沙观测分析. 水土保持通报, 1990, 10(2)
- 28 刘元宝, 唐克丽等. 坡耕地不同地面覆盖的水土流试验研究. 水土保持学报, 1990(4)
- 29 侯喜禄, 曹清玉. 陕北丘陵沟壑区植被减沙效益研究. 水土保持通报, 1990, 10(2)
- 30 侯喜禄, 梁一民. 黄土丘陵区沟壑区水土保持林体系建设及效益分析. 西北水土保持研究所集刊, 1991, (4)
- 31 罗伟详, 白立强等. 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)
- 32 R. D. Lang 等著. 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)
- 33 侯喜禄, 梁一民等. 黄土丘陵区主要水保林类型及草地水保效益的研究. 西北水土保持研究所集刊, 1991, 14
- 34 石生新, 蒋定生. 几种水土保持措施对强化降水入渗和减沙的影响试验研究. 水土保持研究, 1994, 1(1)
- 35 蒋定生, 江忠善等. 黄土高原水土流失规律与水土保持措施优化配置研究, 1994, 1(3)
- 36 吴钦孝, 汪有科等. 黄土高原水土流失区的林草资源和植被建设. 水土保持研究, 1994, 1(3)