

文章编号:1001-8166(2005)01-0074-07

黄土高原草本植被水土保持作用研究进展*

李 勉^{1,2}, 姚文艺¹, 李占斌^{2,3}

(1. 水利部黄委会黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 西安理工大学, 陕西 西安 710048;
3. 中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:草本植被具有积极的保持水土的作用,在黄土高原生态环境建设中具有不可替代的作用。在系统分析黄土高原草本植被保土减蚀作用研究的过去与现状的基础上,归纳并总结了草被覆盖度与水土流失量、草被植物与地表径流系数、草被植物地下根系与土壤抗冲性及抗蚀性等方面的最新研究进展,并针对各方面存在的问题以及今后有待深入研究的问题进行了探讨。

关 键 词:黄土高原;草本植被;水土保持

中图分类号:S157 **文献标识码:**A

目前,黄土高原地区正在实施西部大开发战略,积极推行退耕还林还草措施,加快生态环境建设步伐。在黄土高原地区,林草建设与土壤流失关系密切,若不科学地加以指导,盲目地大面积发展林草业,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,势必又会出现许多“小老头树”;不合理的植树,既发挥不了其应有的水土保持作用,又会挫伤广大人民群众生态环境建设的积极性,还会给国家造成巨大的经济损失,影响西部大开发战略的顺利实施和退耕还林还草的实施效果^[1~3]。在西部许多地区,尤其是水资源极其缺乏的地区,必须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”,不宜盲目地植树造林,草被的恢复和重建应成为生态环境建设的一个主要部分。因而,回顾并总结草被研究方面已有的最新成果,对于今后黄土高原生态环境的建设有着十分重要的意义。

1 草被覆盖度与水土流失量

与乔灌植物相比,草本植被与土壤侵蚀关系最大的不是截留量的多少,而是减少雨滴动能和溅蚀

量的多少。由于下落的雨滴在打击地表时把动量传递给了土壤,产生的分裂力量使土壤颗粒分离飞溅,在滴溅过程中,雨滴动量越高,撞击分裂力就越大,被溅出的土粒数量也越多。草本植被由于紧贴地表,可以有效拦截高速落下的雨滴,减少雨滴数量、滴溅能量和溅蚀量,尤其是当降雨强度大时,这种作用最为明显。因而,草被覆盖度与水土流失量密切相关,通常情况下,土壤流失量随草被覆盖度的增加而呈指数关系降低。在草被保土减蚀作用研究方面,目前开展最多的就是草被覆盖度与水土流失量方面的研究。

大量研究表明,只有当草被对地面的覆盖达到一定程度时,才能起到防止土壤侵蚀的作用;而最佳的覆盖度是使其侵蚀量小于该地土壤流失的允许值。在植被覆盖度方面,有临界盖度和有效盖度之分,前者是指植物群落的水土保持作用达到最大或极限时的群落盖度,此时的土壤流失量非常轻微,远远小于允许土壤流失量,当大于临界盖度时,草被的水土保持功能几乎不随盖度的增加而增强;有效覆盖度是指在一定区域内,草地或林地保持土壤并且使土壤侵蚀量降低到土壤最大允许侵蚀量以内所应

* 收稿日期:2003-07-24;修回日期:2004-04-02.

* 基金项目:国家自然科学基金、水利部黄委会黄河研究联合基金项目“基于气候地貌植被耦合的黄河中游侵蚀过程”(编号:50239080)资助。

作者简介:李勉(1968-),男,河南焦作人,工程师,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: hnli-mian@163.com

该达到的植被覆盖度。张光辉等^[4]认为有效覆盖度应是降雨因子、地形因子、土壤因子和植被因子的函数;对于给定的草地或林地,有效覆盖度介于临界覆盖度和 1 之间,说明有效覆盖度在不同坡度、不同雨强和不同植被下,其值是变化的,而非定值;还通过模拟降雨试验,研究了人工草地的产沙产流过程,发现土壤侵蚀量随着草地植被覆盖度的增大呈指数下降趋势,并分析认为,70%的植被覆盖度可以作为试验条件下的植被有效盖度。焦菊英等^[5]根据黄土高原绥德、延安、安塞和离石等地草地径流小区降雨侵蚀资料,对不同降雨和坡度下草地水土保持有效盖度进行了分析,建立了草地水土保持有效盖度(V)与降雨(P_{i30})及坡度(S)的关系式:

$$V = -103.20 + 34.62 \ln(P_{i30}) - 78.97 \ln(S) \\ r = 0.780 \quad (1)$$

并得出,在土壤和植被类型相对稳定的条件下,草地的有效盖度随着降雨和坡度的增大而增大,当有效盖度达到一定程度时,降雨和坡度的影响减弱;在其它条件相同时,同一水土保持作用所要求的有效盖度草地比林地大;并结合降雨频率分析,得出了草地抵抗不同年遇暴雨时的临界坡度。罗伟祥等^[6]根据 24 个林地小区和 120 个草地小区的测定资料,分析得出了径流量(Q)与覆盖度(C)呈负对数关系:

$$Q = 9622.348 - 1975.345 \ln C, r = -0.833 \quad (2)$$

冲刷量(W)与覆盖度呈倒数关系:

$$W = -11.180 + 1099.801 \times 1/C, r = 0.948 \quad (3)$$

并由 $W-C$ 关系式得出,当 $W=0$ 时的覆盖度 C 值 98.37% 为不产生冲刷的临界值,以及冲刷量在允许值 200 t/km^2 范围内的植被临界盖度为 35.27%。王晗生等^[7,8]通过资料分析认为,黄土区林草植被保持水土的临界盖度约为 40%~60%,风蚀区植物固沙的临界盖度约为 20%~50%,黄土区流域控制土壤侵蚀效果最佳的林草植被率约为 48%。

在不同草被覆盖度减蚀量研究方面,刘元保等^[9]在 20° 的坡面上采用人工降雨方法(雨强 3.25 mm/min),对 2 年生沙打旺(盖度 90%)草地、裸露翻耕地加麦草覆盖(150 t/km^2)以及对对照区裸露翻耕地进行了对比试验,得出三者侵蚀量分别是 12.75 t/km^2 、 76.57 t/km^2 和 3767.26 t/km^2 ,前两者侵蚀量比对照减少 99.66% 和 97.97%,说明高覆盖度的沙打旺草地减蚀作用显著,并认为在坡度陡、土质疏松的黄土高原,植被和其它覆盖能有效地控制坡耕地的水土流失。侯喜禄等^[10]通过野外草地径流小区试验,对比研究了不同沙打旺草地的蓄水保土效益,以及不同生长年限沙打旺草地一次暴雨中的水保效益(表 1 和表 2)。

熊运阜等^[11]通过对绥德、延安、离石等河龙区间黄土丘陵区野外径流小区的实测资料的系统分

表 1 不同沙打旺草地减水减沙效益比较

Table 1 Comparison of the runoff and sediment reducing benefits of *Astragalus adsurgens* with different coverage

年份	生长年限	覆盖度 (%)	坡度 (°)	汛期降雨量 (mm)	总径流量 (m^3/km^2)	总冲刷量 (t/km^2)
1983	5	95	27	402.6	4 540	235
	2	50	27		5 236	322
1984	6	87	27	518.6	9 018	69
	3	85	27		11 759	109
1985	7	75	27	539.0	3 375	14
	4	93	27		2 882	10

表 2 不同沙打旺草地一次暴雨中水保效益比较

Table 2 Comparison of the runoff and sediment reducing benefits of *Astragalus adsurgens* in a rainstorm

日期	生长年限	覆盖度 (%)	降雨量 (mm)	降雨历时 (min)	降雨强度 (mm/min)	最大雨强 (mm/min)	径流量 (m^3/km^2)	冲刷量 (t/km^2)
1983-09-06	5	95	55.4	750	0.07	0.31	1 760	213
	2	50					2 180	291.1
1984-08-04	6	87	108.0	426	0.25	0.56	4 296	5.59
	3	85					4 795	6.5
1985-06-10	7	75	23.7	65	0.37	0.44	1 048	4.2
	4	95					929	1.81

析,结合梯田、林地、草地的减水减沙机理,引入径流、泥沙水平和措施质量概念,分析得出了不同质量的梯田、林地、草地在不同径流、泥沙水平年份的减水减沙效益及草地覆盖度与土壤流失率(相对于枯水年 70%覆盖度的流失量而言)的关系(表 3 和图 1)。从图 1 可以看出,土壤流失率随着草地覆盖度的减少呈指数增加趋势,尤其是平水年较丰水年和

枯水年增加趋势更为显著。

此外,白志刚^[12]通过分析绥德 80 年一遇日降雨量(120 mm)条件下草地、农耕地的侵蚀模数,发现草地与坡耕地相比,可以减少侵蚀 70%~90%,减蚀效果非常明显。各地人工牧草地的减水减沙效益都表明其显著的减蚀作用;封沟育草的试验也表明,封禁后杂草得以恢复,盖度增大,封禁草地比不

表 3 梯田、林地、草地减水减沙效益比较表

Table 3 Comparison of the runoff and sediment reducing benefits of terrace, woodland and grassland

地点	径流减少量 (m ³ /km ²)			泥沙减少量 (t/km ²)			资料年限
	梯田	林地	草地	梯田	林地	草地	
绥德	21 450	22 350	12 900	16 950	9 300	8 700	1953—1967
离石	15 750	7 200	10 950	6 750	9 600	5 400	1957—1966
延安	41 850	27 900	8 250	4 650	900	1 800	1955—1966
准旗	—	—	9 900	—	—	1 950	1980—1984
平均	26 350	19 050	10 500	9 450	6 600	4 500	

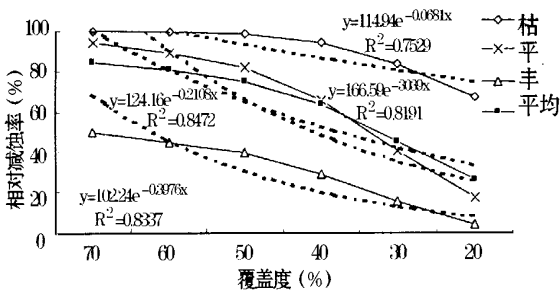


图 1 草地不同覆盖度与相对减蚀率的关系

Fig. 1 The relationship between coverage of grassland and the soil loss ratio

封禁草地水保效益显著提高。

2 草被植物与地表径流

越来越多的资料表明,草地对拦蓄径流和阻止土壤侵蚀的作用与林地基本类同^[13]。地表径流带走已被滴溅分离的土壤颗粒,而且进一步分离更多的土粒,这种能力随径流流速呈指数关系上升,使土壤流失量也直接随径流流速和流量的增加而增加。因此,降低径流流速和流量将对侵蚀程度有很大影响。由于草本植被紧贴地面,在消减径流能量和分散径流的同时,还增加了地表糙率,延缓了地表径流的流速和产流时间,又由于根在生长过程中在土壤中挤出通道,在其衰老或死亡后收缩留出空隙,在土壤中产生了较多空隙,使地表径流能顺着根土接触面和这些通道、空隙渗入土壤,有助于持续保持土壤

的孔隙系统,加强土壤透水性,增加了土壤渗透能力和雨水入渗的机会和时间,减少了地表产流量。因而,草本植被能够更直接地保护表土不受侵蚀,具有控制土壤流失的潜能。

从根本上讲,草本植被减少水土流失的主要原因在于延滞径流、消减径流的侵蚀动能,提高土壤的抗冲性。据赵焕胤等^[14]对内蒙古黄土区林地、牧草地和裸露地径流量 4 年实测资料的对比分析,得出三者的年径流系数分别是 3.0%、4.0%、18.2%,说明草地对径流的调控拦蓄作用明显。马三宝等^[15]通过对黄土丘陵区不同草类径流小区的径流量测定得出,与裸露地相比,不同草类覆盖可使径流量减少 1/2~2/3。侯喜禄等^[10]通过野外草地径流小区试验,也说明高覆盖度(>90%)的沙打旺草地在减少地表径流方面效果显著,而<90%的覆盖度,则径流量减少不显著(表 1 和表 2)。据熊运阜等^[11]的统计资料,在不同降雨水平年份下,随着草地覆盖度的增加,径流量呈指数下降趋势,说明覆盖度对径流量影响显著(图 2)。

罗伟祥等^[6]通过野外径流场试验观测,并通过多项式回归分析,得出草地降雨量(P_i)、雨强(i)、径流量(Q)、冲刷量(W)、覆盖度(C)和雨前土壤含水量(Pa)等的关系为:

$$Q = - 1379.945 + 18.417 P_i + 37.643 i + 128.346 Pa - 3.776 C \quad (r = 0.890) \quad (4)$$

$$W = - 121.259 + 3.595 Q - 0.337 P_i - 1.426 i - 0.520 Pa + 1.561 C \quad (r = 0.929) \quad (5)$$

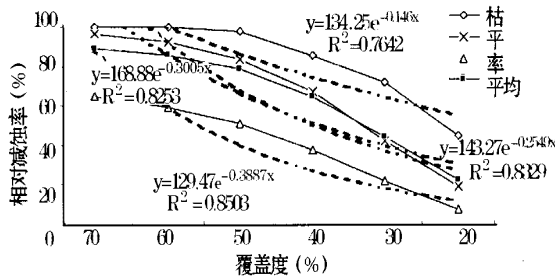


图 2 不同草地覆盖度与相对减流率的关系

Fig. 2 The relationship between coverage of grassland and the runoff coefficient with different runoff water years

并分析得出,在影响降雨径流的几个因子中, P_a 是影响径流的最主要的因子, C 对 Q 的减少量随覆盖度的增加而增加,但减少量是有一定限度的,当 P_i 、 i 和 P_a 等很大时,不同覆盖度径流场之间覆盖度对径流减少的相对值相差不大。

白红英等^[16]通过野外人工降雨试验,发现天然草地基本上不发生径流和土壤流失;天然草被破坏开垦后,土壤入渗量减少了50%~60%,径流量增加1 273~3 050 m³/km²,产沙量增加500~1 700 t/km²。分析认为,草被一旦破坏,雨滴直接打击地表,细小的颗粒下渗,很快堵塞了土壤孔隙,造成雨水下渗受阻,入渗速度减慢,产流时间提前。研究得出,草地的地上部分吸水量占降雨量的15.5%,天然草地上地形、降雨因子对土壤侵蚀的影响甚微。天然草地入渗速度为开垦后的1.66倍,入渗量是开垦地的2.5倍。分析认为,草被的保水作用主要归功于土壤入渗量增加、产流时间推迟、地上部分截留等方面。

3 草被植物与土壤抗冲性及抗蚀性

朱显谟^[17]在20世纪50年代就提出土壤抗冲性、抗蚀性的概念,在70年代开始了这方面的研究,并认为,黄土与黄土区土壤的渗透性强和抗冲性弱的特征,完全与黄土沉降方式中形成的黄土颗粒的“点棱接触侧斜支架式多孔结构”有关,黄土堆积以后更由于植被的生长,尤其是一定数量根系的上下串联缠绕固结作用,才使得黄土的这种支架接触式多孔结构得以保存和巩固,疏松和通透性能得以发挥,从而使前者获得巩固和提高,并使后者得到相应的改善。由于草的表层根系产生的根网效应能够束缚土壤颗粒,固持下部土层,抑制土壤表层结皮的形成和土壤迁移,增强土壤的聚合力,在土壤本身强度

不变的情况下,通过根系的机械束缚可以增强根际土层的总体强度。这一作用在近地面土层十分重要,表现为根密度最大而土壤最疏松,密集根系可以加固疏松的土壤,保护深层的土壤,加上草根对土壤水分的吸收,降低了孔隙水压,提高了土壤负压,增强了土壤强度,从而大大提高了土壤的抗冲、抗蚀性。一些学者用复合材料的理论来描述根系固土这种机械作用的机制,认为根际土层是一种特殊的复合材料,是由强度相对较低的土壤(即基质)及嵌合于土壤基质中的具有较高抗张强度和聚合能力的根系(即纤维)组成的。通过基质与纤维间的力学作用,根际土层得到加强^[18]。

国内外大量研究表明,土壤的抗冲、抗蚀性与土壤的紧实度、容重、渗透性、水分状况、水稳性团聚体含量、土壤微生物数量、有机质含量的动态变化有关,而草类根系与这些因素有着复杂、密切的联系,土壤中根系的存在、发展提高了土壤的抗冲、抗蚀性,因此,随着土壤侵蚀研究的不断深入,这方面的研究正日益受到重视。有关草本植被地下部分根系强化土壤渗透作用的定量研究方面,一些学者开展了广泛的研究,其中以李勇、刘国彬等的研究最有代表性。

李勇等^[19]以百草和黄菅草为对象,对根系提高土壤水稳性团粒和土壤渗透力以及非孔隙度的增量与有效根密度的相关关系开展了深入研究,建立了根系强化土壤渗透力有效性的数学模型,表明根系在提高土壤对降雨的渗透能力方面具有极其显著的作用,并提出可以根据该模型对不同植物根系削弱超渗产流、涵养水源的功能做出动态定量评价,从而确定水土保持林草措施配置的最佳方案。在植物根系强化土壤抗冲性方面,李勇等^[20]研究认为,植物根系强化土壤抗冲性的能力主要取决于有效根密度在土壤剖面中的分布盘绕状况,有效根密度的物理基础是100 cm²土壤截面上1 mm的须根的个数;并从定量描述不同土层深度处根系强化土壤抗冲性的特征及减沙效应入手,建立了植物根系对提高土壤抗冲性的有效性方程:

$$y = \frac{K \times R_d^B}{A + R_d} \quad (6)$$

式中: y 为根系减沙效应(%); R_d 为有效根密度(个/100 cm²); K 为根系减沙效应所能达到的最大值(%);当 $y = K/2$ 时, $A^{1/B} = R_d$ 。实验证明, $A^{1/B}$ 只与植物种类有关,而与冲刷坡度及雨强无关,通过 $A^{1/B}$ 可以定量评价根系提高土壤抗冲性的有效性强

弱; $A^{1/B}$ 值大,表示根系提高土壤抗冲性的有效性弱; $A^{1/B}$ 值小,表示根系提高土壤抗冲性的有效性强。研究表明,草类植物在同一雨强下,当坡度 20°时,0~30 cm 土层内相同间隔层根系对土壤抗冲性的强化值受坡度变化的影响不大,当坡度 > 20°时,根系对土壤抗冲性强化值的稳定临界土层则减少到 0~20 cm 以内。研究还表明,植物根系提高土壤抗冲性能的主导因素按其作用大小依次是:植物根系提高土壤抗冲力、强化土层渗透力和创造抗冲性土体构型的物理性质^[21]。

刘国彬等^[22]从根系减沙效应作用方面对该公式提出了改进,并从生物力学角度对根系的抗拉力进行了研究,证实当坡面发生侵蚀时,被根系缠绕串联的土壤的流失,不是由于毛根的断裂,而是由于根—土分离造成的。刘国彬等^[23]还以黄土丘陵区处于不同恢复阶段的草地为对象,采用野外测定与人工模拟试验相结合的方法,首次系统地研究了植被恢复过程中土壤抗冲性的时空动态特征以及植物根系、化学元素积累和影响抗冲性土体构型的诸因素在植被演替过程中的变化,并对比分析了天然草地和人工草地强化抗冲性的不同机制。在对根系生物力学特征系统分析的基础上,提出植物毛根强化土壤抗冲性的 3 种作用方式:网络串连作用、根土粘合作用及根系生物化学作用,并建立了相应的机制模型。这些成果揭示了植被(尤其是根系)提高土壤抗冲性的机理,为进一步深入研究植被的水土保持功效提供了新思路。

到目前为止,大多数研究人员所采用的根系指标,一般是用单位截面积上根系的个数来进行描述,这一指标无法反映根系在土壤中的实际情况,而且在径流的冲刷过程中,根系对土壤抗冲性的提高作用并不仅仅与某一剖面上根系的分布状况有关,而是与根系在整个坡面土体中的分布状况有关,因而,采用何种指标对根系进行合理有效的描述,以反映根系在土体中的分布状况等都有待于今后逐步开展^[24]。

4 问题与展望

综观目前研究,虽然取得了许多进展,对草本植被保土减蚀作用有了比较系统的认识,但由于该领域研究起步较晚,草本植被保土减蚀作用机理的复杂性,许多问题还未能解决,如在草本植被减蚀作用机理微观研究方面,对于草本植被对坡面径流阻力特性的影响,草本植被蓄水减蚀最大能力与力学作

用机理,坡面草本植被减蚀作用的最佳布设(配置)坡位,以及宏观方面坡面草本植被恢复后,对沟道侵蚀过程的影响程度等都急待开展。此外,草类的死根对土壤有机质含量、剪切力、水稳性团聚体等物理性质的影响程度以及与土壤抗蚀性、抗冲性的关系,以及草本植被水保效益的计量化研究等,目前还基本处于空白。今后,随着现代科技及相关学科的发展,研究方法和手段的创新、完善,研究内容的逐步深入,研究成果可信度、精确度的大大提高,定会极大地推动草被植物保土减蚀作用的研究,更好地满足今后黄土高原生态环境建设的需要。

参考文献(References):

- [1] Hou Qingchun, Han Ruilian, Han Shifeng. Preliminary research on the "dry soil layer" in man-made grassland on Loess Plateau[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 1999, (5): 11-14. [侯庆春,韩蕊莲,韩仕峰.黄土高原人工草地"土壤干层"问题初探[J].中国水土保持,1999, (5): 11-14.]
- [2] Ren Jizhou, Hou Fujiang, Zhang Zhe. Developing grassland agriculture and advancing sustainable development in western China[J]. *Advances in Earth Science*, 2000, 15(1): 19-24. [任继周,侯扶江,张自和.发展草地农业推进我国西部可持续发展[J].地球科学进展, 2000, 15(1): 19-24.]
- [3] Min Qingwen, Yu Weidong. Vegetation eco-construction in Loess Plateau Region viewing from precipitation resource[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(3): 109-112. [闵庆文,余卫东.从降水资源看黄土高原地区的植被生态建设[J].水土保持研究, 2002, 9(3): 109-112.]
- [4] Zhang Guanghui, Liang Yimin. A summary of impact of vegetation coverage on soil and water conservation benefit[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1996, 3(2): 104-110. [张光辉,梁一民.植被盖度对水土保持功效影响的研究综述[J].水土保持研究, 1996, 3(2): 104-110.]
- [5] Jiao Juying, Wang Wanzhong, Li Jing. Effective cover rate of woodland and grassland for soil and water conservation[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 608-612. [焦菊英,王万忠,李靖.黄土高原林草水土保持有效盖度分析[J].植物生态学报, 2000, 24(5): 608-612.]
- [6] Luo Weixiang, Bai Liqiang, Song Xide, et al. Runoff and scouring amount in forest and grassland with different cover rate[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1990, 4(1): 30-34. [罗伟祥,白立强,宋西德,等.不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量[J].水土保持学报, 1990, 4(1): 30-34.]
- [7] Wang Hansheng, Liu Guobin. The basic characteristic of effective erosion preventing by plant: Closing ground coverage[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2000, 3: 28-31. [王晗生,刘国彬.试论防蚀有效植被的基本特征——贴地面覆盖[J].中国水土保持, 2000, 3: 28-31.]
- [8] Wang Hansheng, Liu Guobin. Analyses on vegetation structures and their controlling soil erosion[J]. *Journal of Arid Land Resources and*

- Environment*, 1999, 13(2):62-68. [王晗生, 刘国彬. 植被结构及其防止土壤侵蚀作用分析[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(2):62-68.]
- [9] Liu Yuanbao, Tang Keli, Zha Xuan, et al. Experimental study on the sloping farmland with different ground mantle[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1990, 4(1):25-29. [刘元保, 唐克丽, 查轩, 等. 坡耕地不同地面覆盖的水土流失试验研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1):25-29.]
- [10] Hou Xilu, Cao Qingyu. Study on the benefits of plants to reduce sediment in the loess rolling gullied region of north Shaanxi[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1990, 10(2):33-40. [侯喜禄, 曹清玉. 陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2):33-40.]
- [11] Xiong Yunfu, Wang Hongxing, Bai Zhigang, et al. Preliminary study on the index of loss of soil and water reducing benefit by terrace, woodland and grassland[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 1996, (8):10-14. [熊运阜, 王宏兴, 白志刚, 等. 梯田、林地、草地减水减沙效益指标初探[J]. 中国水土保持, 1996, (8):10-14.]
- [12] Bai Zhigang. The loss reducing benefit of woods and grass in the flood of "94.8.4" in Wuding Watershed[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 1997, (7):17-19. [白志刚. 从无定河流域"94.8.4"暴雨洪水看林草措施的减蚀作用[J]. 中国水土保持, 1997, (7):17-19.]
- [13] Tang Keli. The Changes of Erosion and Runoff in Yellow River Basin [M]. Beijing: China Sciences and Technology Press, 1993. 114-117. [唐克丽主编. 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 114-117.]
- [14] Zhao Huanyin, Zhu Jinwei, Wang Weihua. Study on the runoff in forestbelt and grassland[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1994, 8(2):56-61. [赵焕胤, 朱劲伟, 王维华. 林带和牧草地径流的研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(2):56-61.]
- [15] Ma Sanbao, Zheng Yan, Ma Yanxi. Characteristic of soil and water loss and measures of returning farmland to forestry and grassland in Loess Hilly Area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(3):55-57. [马三宝, 郑妍, 马彦喜. 黄土丘陵地区水土流失特征与还林还草措施研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3):55-57.]
- [16] Bai Hongying, Tang Keli, Zhang Keli, et al. Study on man-made accelerated erosion of grassland being reclaimed by simulated rainfall experiment[J]. *Memoir of Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry of Water Resources*, 1993, 17:87-93. [白红英, 唐克丽, 张科利, 等. 草地开垦人为加速侵蚀的人工降雨试验研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, 17:87-93.]
- [17] Zhu Xianmo, Tian Jiying. The study on strengthening anti-scourability and penetrability of soil in Loess Plateau[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 7(3):1-10. [朱显谟, 田积莹. 强化黄土高原土壤渗透性及抗冲性的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3):1-10.]
- [18] Zhou Yue, Watts D. Current development of slope eco-engineering principle and application in Europe and America[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(1):79-85. [周跃, Watts D. 欧美坡面生态工程原理及应用的发展现状[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1):79-85.]
- [19] Li Yong, Xu Xiaoqin, Zhu Xianmo, et al. Effectiveness on the strengthening penetrability by plant roots in Loess Plateau[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(4):366-369. [李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报, 1992, 37(4):366-369.]
- [20] Li Yong, Zhu Xianmo, Tian Jiying. Study on the effectiveness of soil anti-scourability by plant roots in Loess Plateau[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1991, 36(12):935-938. [李勇, 朱显谟, 田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报, 1991, 36(12):935-938.]
- [21] Li Yong, Xu Xiaoqin, Zhu Xianmo, et al. Preliminary study on the mechanism of soil anti-scourability by plant roots in Loess Plateau [J]. *Science in China(B)*, 1992, 35(3):254-259. [李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性机制初步研究[J]. 中国科学 B 辑, 1992, 35(3):254-259.]
- [22] Liu Guobin, Jiang Dingsheng, Zhu Xianmo. Study on the characteristics of bio-mechanics of grass roots on loess area [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1996, 2(3):21-28. [刘国彬, 蒋定生, 朱显谟. 黄土区草地根系生物力学特性研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3):21-28.]
- [23] Liu Guobin. Study on soil anti-scourability and its mechanism of grassland on Loess Plateau[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4(1):93-96. [刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1):93-96.]
- [24] Li Peng, Li Zhanbin, Zheng Liangyong. Advances in researches of the effectiveness for vegetation conserving soil and water [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(1):76-80. [李鹏, 李占斌, 郑良勇. 植被保持水土有效性研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1):76-80.]

PROGRESS OF THE EFFECT OF GRASSLAND VEGETATION FOR CONSERVING SOIL AND WATER ON LOESS PLATEAU

LI Mian^{1,2}, YAO Wen-yi¹, LI Zhan-bin^{2,3}

(1. *Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission and Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450003, China*; 2. *Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China*;

3. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China*)

Abstract : Grassland vegetation plays active and important role in conserving soil and water , particularly in the eco-environment construction on Loess Plateau. On the basis of reviewing and analyzing the past and present situation of the effect of grassland vegetation for conserving soil and water , the relationships between vegetation coverage and soil and water loss , between vegetation and runoff coefficients , the improvement of root system of grassland vegetation on anti-scourability and anti-erodibility of soil were induced and summarized. The existed problems including the impact of grass coverage on runoff resistance characteristics , the maximum capacity of grass in conserving soil and water , the mechanism of grass in conserving soil and water , the best position of grass distribution on sloping surface and the impact degree of grass coverage on gully erosion when the grass resumed on the sloping surface were discussed. Some blanks existed in the present research field , including the impact of dead grass roots on soil organic matter content , shear stress and the water stability of soil aggregate , the quantitative calculation of benefit of grass in conserving soil and water are pointed out. Also the future directions of research in these fields were discussed , so that the role of grassland vegetation in conserving soil and water can be evaluated scientifically and provide some references for the present and future eco-environment construction in this area.

Key words : Loess Plateau ; Grassland vegetation ; The soil and water conservation.