

茵陈蒿群落分布格局对坡面产流产沙的影响^{*}

王玉霞¹, 刘国彬^{1,2}, 王国梁^{1,2}, 袁子成¹, 曲秋玲¹, 张昌胜¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 植被分布格局对其水土保持功能有重要影响。植被斑块与裸地斑块的不同组合配置对调控坡面径流侵蚀的作用不同。本文通过野外人工模拟降雨, 对黄土丘陵区演替初期茵陈蒿 (*Artemisia capillaries*) 群落不同格局下的侵蚀产沙特征进行了定量分析研究。结果表明: 在 2.43 mm/min 雨强下, 盖度相同组合不同, 分布均匀的小斑块格局 (B) 比大斑块格局 (C) 的减流量高, 但减沙效益降低。与裸地小区相比, 格局 B、C 减流效益分别为 14.7%、9.5%, 减沙效益分别为 36.14% 和 63.86%。坡面累计产流量随降雨历时逐渐增加, 且二者呈线性相关。累计产沙量随降雨历时先增后减, 表现为二次函数关系。累计产沙量与累计产流量之间也为二次函数, 即随着径流量的增加, 累计产沙量先增加后减少。

关键词: 茵陈蒿群落; 分布格局; 产流产沙; 黄土丘陵区

中图分类号: S157; S315

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0062-05

Effect of *Artemisia capillaries* Distribution Patterns on Runoff and Sediment Production in Loess Hilly and Gully Region

WANG Yu-xia¹, LIU Guo-bin^{1,2}, WANG Guo-liang^{1,2},
YUAN Zi-cheng¹, QU Qiu-ling¹, ZHANG Chang-sheng¹

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Vegetation pattern has a great affection on its soil conservation function. Different combination of vegetation and bare land play a different role in regulating runoff and sediment yield. By simulated rainfall in the field, an experiment of runoff and sediment production and its characteristics was conducted in various *Artemisia capillaries* community distribution patterns at preliminary succession stages in Loess Hilly Gully Region. The results showed that under the same rainfall intensity of 2.43 mm/min and vegetation coverage, the runoff-reducing benefit of pattern B uniformly distributed by small plaque was greater than pattern C distributed by large plaque. Whereas, the sediment-reducing benefit was smaller. Compared to bare plot, the runoff in pattern B and C was decreased by 14.7% and 9.5%, and the sediment reduced of 36.14%, 63.86% respectively. The accumulative runoff of the band-shaped plot increased with the rainfall duration with a linear relation. The accumulated sediment yield increased with rainfall time and then gradually decreased, such relation could be described by quadratic function. Also, the initial sediment yield was increased with runoff volume, then decreased. The changes in accumulative sediment yield with runoff was also conformed binomial function.

Key words: *Artemisia capillaries* communities; distribution patterns; runoff and sediment production; loess hilly and gully region

黄土丘陵区是中国乃至全球水土流失最严重的地区之一^[1-2], 降水和植被是影响该区水土流失的重

要因子。关于植被防止土壤侵蚀的机理问题, 许多学者进行了卓有成效的研究^[3-9], 而对不同植被搭配

* 收稿日期: 2009-11-13

基金项目: 国家科技支撑课题 (2006BAD09B03); 中国科学院西部行动计划二期 (KZCX2 - 05)

作者简介: 王玉霞 (1984 -), 女, 宁夏平罗人, 在读硕士, 主要从事植被恢复与环境效应。E-mail: yuxia4518@163.com

通信作者: 刘国彬 (1958 -), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向: 水土保持与流域管理。E-mail: gbliu@ms.iswc.ac.cn

组合及植被与裸地斑块的组合对影响水土流失效益的研究相对较少。坡面植被与裸地斑块的不同组合,使得降雨等外营力对坡面地形及其下垫面状况的作用发生改变,从而使得坡面产流产沙特征产生差异。Valentin 等人^[10]研究表明,带状格局下的生物量往往高于点状或单一散乱分布格局,植被条带成为自然屏障更好地限制了土壤侵蚀。模型模拟显示,裸地表面和稠密植被格局都可以演替发展成带状格局。J. A. Ludwig 等人^[11]的研究表明,条纹状和线状灌木地的镶嵌格局比点状镶嵌格局截流的能力高 8%。游珍等人^[12]通过模拟降雨试验证明植被在坡面不同位置配置格局具有不同的水土保持效应。由此可见,裸地与植被镶嵌构筑成水土流失的源-汇格局,合理的设计植被空间分布格局,可以保持水分、养分和植物种子,有利于植被的生长,进一步增强水土流失控制能力,加速植被恢复,改善生态环境。本文基于野外模拟降雨实验,探讨茵陈蒿群落分布格局对坡面产流产沙特征的影响,旨在为黄土高原植被恢复重建和植被结构优化配置提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验布设在中国科学院安塞水土保持综合试验站,位于陕西省安塞县(东经 108°51'44" - 109°26'18", 北纬 36°30'45" - 37°39'31"),属黄土高原丘陵沟壑区。该区属大陆性半干旱季风气候,年日照时数 2 415.5 h,辐射总量 480.06 kJ/cm²,平均气温 8.8℃, 10 活动积温 3 177.4℃;降水分布不均匀,雨量多集中在 7 - 9 月;多年平均降水量 492.4 mm,年蒸发量 1 645.4 mm。本区地形主要为梁峁状黄土丘陵,沟谷发育,土壤侵蚀作用十分强烈。土壤母质为典型的黄绵土,保水性差,疏松易碎,易受水蚀和风蚀。该区退耕地上先锋植物群落主要有茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)群落、狗尾草(*Setaria yiridis*(L.) beaur.)群落和阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)群落等。

1.2 试验设计

1.2.1 模拟降雨装置 野外模拟降雨采用中国科学院水利部水土保持研究所研制的组合侧喷式人工降雨装置。降雨器由喷头体、降雨支架、进水出水体、压力表等部分组成。更换不同直径的孔板,调整压力表读数,可获得不同的降雨强度。喷头体安装在由三角架固定的降雨支架顶端,支架高 5 m,喷头出水高度为 1.5 m,使降雨雨滴终点速度近似天然降雨的速度,降雨均匀系数均能达到 85%以上。

1.2.2 试验小区 在野外人工模拟试验径流场内

(建于 2003 年)选取 3 个具有代表性的小区,小区面积 8.5 m × 2.5 m,坡度均为 15°,坡向、坡长相同,填充土壤均为同一黄绵土。按图 1 所示,于春季在相应斑块上种植茵陈蒿。降雨前对茵陈蒿群落进行调查表明,群落内主要伴生植物有紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、草木犀(*Melilotus officinalis*)、阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)、狗尾草(*Setaria yiridis*(L.) beaur.)、茭蒿(*Artemisia giraldii vulgaris*)、艾蒿(*Artemisia giraldii*(vulgaris))、野葱(*Allium lolidum*)等。一般认为植被对土壤侵蚀作用的临界面积在 50%以上^[13-14],为表现出比较明显的差异,本试验中有植被面积占总面积的 50%(见图 1)。试验前用数码相机对试验小区不同位置垂直拍照,利用软件分析照片以确定其植被盖度。对盖度不同的植被斑块,贴地面剪除部分植被以控制相应植被斑块盖度基本相同。

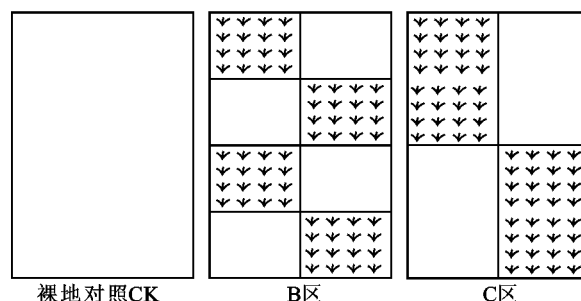


图 1 试验小区茵陈蒿群落分布格局图

1.2.3 试验处理 本实验设计 2 个植被格局,同时设置裸地为对照,各个处理设置三次降雨侵蚀演替过程和三次重复,雨强设为 2.0 mm/min,降雨历时为 60 min。降雨时在小区均匀布设 8 个率定桶测定降雨量及降雨均匀系数。为降低自然因素的影响,降雨时间段选择在 4:00 - 8:00 进行。各小区次降雨间隔根据实际情况调整,控制土壤前期含水量基本保持一致。遇自然降雨时及时遮盖测定小区,之后充分晾晒再进行人工降雨。降雨开始后即计时,记录开始产流时间;产流发生后,在产流前 16 min 内每间隔 1 min 收集径流样,以后每间隔 2 min 收集径流样;降雨结束后,记录结束产流时间,用称重法测定径流量,待泥沙沉淀后取径流水样。倒掉上层清水用洗耳球吸干水放置阴凉处自然风干,待水分完全蒸发后称重测定泥沙含量。按时间段选取泥沙样带回实验室供养分分析。降雨试验于 2009 年 6 月份开始。

2 结果与分析

2.1 两种格局下产流特征比较

图 2 表明,同一雨强和降雨历时(2.43 mm/

min, 1 h) 下, 有植被小区 (格局 B 和格局 C) 开始产流时间和延后时间均大于裸地, 说明坡面植被可显著影响坡面产流过程。图 3 中裸地、格局 C、格局 B 径流量分别为 1 293.58 kg、1 170.24 kg 和 1 103.75 kg, 相比裸地小区, 格局 B、C 减流效应均显著 ($p < 0.05$), 分别减少径流量 14.7% 和 9.5%。不同格局坡面产流速率随时间变化呈相同规律 (图 4), 产流初期径流速率剧增, 仅在 8~10 min 内接近最高值的 85%, 随时间延续径流速率增幅减小逐渐趋于稳定。开始产流 10 min 内, 产流速率表现为 CK > 格局 C > 格局 B。不同格局坡面产流速率与降雨历时呈对数函数关系 (表 1)。

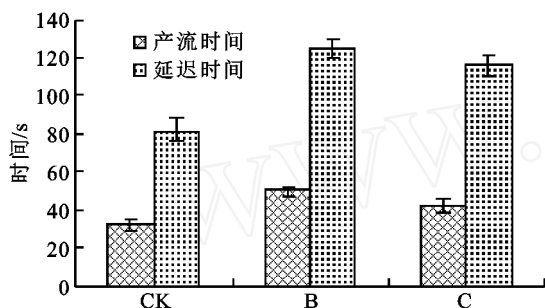


图2 不同格局坡面产流和延后时间变化

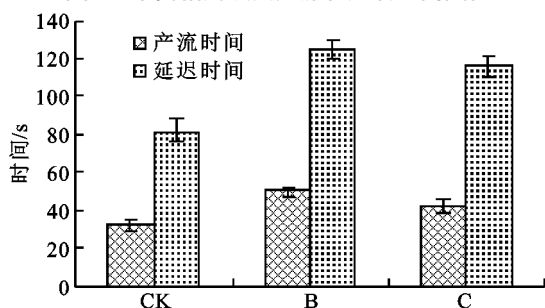


图3 不同植被格局坡面产流总量变化

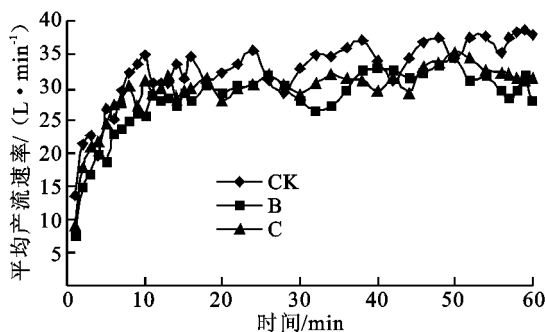


图4 不同植被格局下产流速率与降雨历时的关系

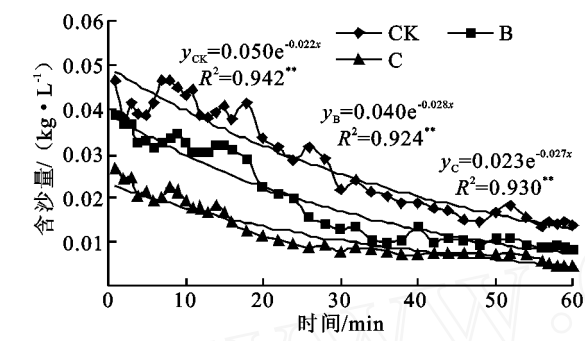
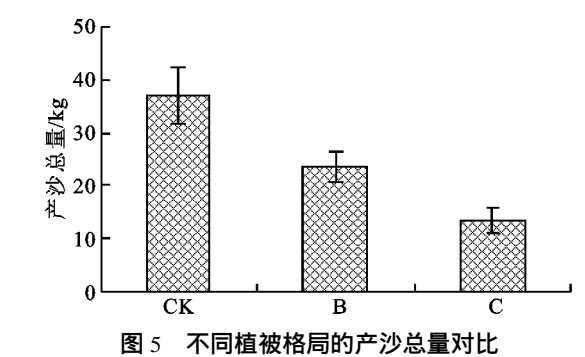
两种格局的坡面产流过程差异显著 ($p < 0.05$), 格局 B 开始产流时间和延后时间分别为 50 s 和 125 s, 大于格局 C 43 s 和 116 s, 而产流量小于格局 C。整个产流过程中格局 B 的平均径流速率较稳定, 产流后 13 min 达到稳定速率为 28.37 L/min, 格局 C 产流后 10 min 达稳定速率 31.23 L/min。格局 B、C 的累计产流量与降雨历时拟合方程 (表 1)

分别为 $Q_w = 29.786t - 86.307$ ($R^2 = 0.999$, $p < 0.01$)、 $Q_w = 30.755t + 67.301$ ($R^2 = 0.999$, $p < 0.01$), 格局 B 的斜率与截距均小于格局 C, 可见小斑块格局 B 具有更佳减流蓄流效应。原因在于, 降雨前各小区表土初始含水量控制在同一水平且很低, 土壤吸力较大, 故降雨初期各小区的土壤入渗率差别不大, 径流速率差异较小, 随时间延续, 表土水分饱和, 入渗率减小, 径流速率和产流量的差异取决于坡面植被不同分布。坡面植被截留降雨, 消减雨滴动能, 阻拦径流, 同时可分散或消除上方袭来的股流, 增加坡面径流运动阻力, 削弱径流侵蚀力。而小斑块 (格局 B) 植被破碎化程度高于大斑块 (格局 C), 植被在坡面分布较分散, 坡面水流被层层阻拦分散, 减缓流速延长流程, 入渗几率加大, 故而格局 B 的产流时间、延后时间, 累计产流量以及稳定产流速率均小于大斑块格局 C。

2.2 两种格局下侵蚀产沙特征比较

图 5 表明, 同一雨强和降雨历时 (2.43 mm/min, 1 h) 下, 裸地产沙量最大, 为 36.95 kg, 有植被小区 (格局 B 和格局 C) 产沙量分别为 23.59 kg、13.35 kg。与对照相比, 格局 B、C 减沙量分别为 36.14% 和 63.86%, 减沙效益极其显著 ($p < 0.01$)。图 6 可知, 坡面产沙并不平稳, 整个降雨历程中根据含沙量变率的大小可将侵蚀产沙过程分为降雨初期 0~20 min 的含沙量高强度变化期、20~45 min 的微弱变化期和 45~60 min 含沙量稳定期三个阶段。径流泥沙含量总体呈现下降趋势, 这与吴钦孝^[15]、李勉^[16]等在室内、野外研究结果相似, 产流初期含沙量较高, 裸地为 0.046 kg/L, 格局 B 为 0.039 kg/L, 格局 C 为 0.026 kg/L; 随产流的持续, 各格局径流含沙量逐渐降低, 之后维持在较低的水平。其原因在于径流选择性搬运细颗粒, 降雨初期可被径流搬运的细颗粒土壤较多, 随降雨历时的延长细颗粒土壤减少, 到后期主要因雨滴打击剥离分散土壤大团聚体, 而在大团聚体被剥离分散的瞬间会有相对较多的泥沙随径流流失, 因此含沙量曲线图虽达到稳定但仍有一定程度波动。不同植被格局含沙量随降雨历时变化符合指数函数方程 (表 1)。

图 7 表明, 不同格局下坡面累计产沙量都有随降雨历时延长先增加后减少趋势, 其可能与坡面细沟侵蚀发生过程有关。整个降雨过程中各格局累计产沙增幅表现为 CK > 格局 B > 格局 C, 不同植被格局下的累计产沙量随着时间的变化可以用二次函数表示。



许多学者认为产沙量随着径流量变化而变化^[16-17],而本试验中产沙量与径流量不成正比。由前面分析可知大斑块格局 C 的径流量大于小斑块格

表 1 不同植被格局下产流产沙特征与降雨历时的关系

指 标	植被格局	拟合方程	R^2
径流速率 $V/(L \cdot \min^{-1})$	CK	$V = 4.778 \ln(t) + 18.232$	0.797 *
	B	$V = 4.760 \ln(t) + 13.539$	0.794 *
	C	$V = 4.019 \ln(t) + 17.391$	0.742 *
径流含沙量 $S/(kg \cdot \min^{-1})$	CK	$S = 0.050e^{-0.022t}$	0.942 **
	B	$S = 0.040e^{-0.028t}$	0.924 **
	C	$S = 0.023e^{-0.027t}$	0.930 **
累计产流量 Q_w/L	CK	$Q_w = 33.698t - 77.051$	0.999 **
	B	$Q_w = 29.786t - 86.308$	0.999 **
	C	$Q_w = 30.755t + 67.300$	0.999 **
累计产沙量 Q_s/kg	CK	$Q_s = -0.009t^2 + 1.435t - 1.560$	0.999 **
	B	$Q_s = -0.008t^2 + 0.991t - 0.471$	0.995 **
	C	$Q_s = -0.003t^2 + 0.484t + 0.197$	0.997 **

注: **表示 0.01 水平显著, *表示 0.05 水平显著,下同。

2.3 两种格局坡面径流量与产沙量的关系

坡面侵蚀过程中产流与产沙的动态变化可通过累计径流量与累计产沙量的相关关系来反映,通过回归分析可知累计产沙量与累计径流量符合二次函数关系(表 2),二者相关关系曲线呈抛物线型,即随着径流量的增加,累计产沙量先增大后减少。

对表 2 中不同植被格局经验方程进行分析,在 2.43 mm/h 雨强下有植被(格局 B、C)小区具有显著减沙效益($p < 0.01$),且格局 C 的 b_0 系数 - 8.5E - 6,即曲线斜率小于格局 B 的斜率

局 B 的径流量,而图 5 - 7 显示格局 B 的产沙量和泥沙浓度均大于格局 C,且格局 B 的累计产沙量增幅也高于格局 C。其一可说明格局 C 相比格局 B 具有更佳的减沙效益;其二是由于格局 B、C 坡下部植被密度差异较大。一般认为^[11],坡下植被减沙作用强于坡中、坡上植被。坡下部植被不但通过自身机械作用阻挡泥沙流失,还可以通过泥沙沉积改变坡面地貌形态,减缓坡度从而减少土壤侵蚀。本实验中两种格局的植被总面积总盖度基本相同,但受自然条件的影响,格局 C 坡下植被生长旺盛,植被密度大于格局 B,因而格局 C 比格局 B 具有更好拦截泥沙作用。

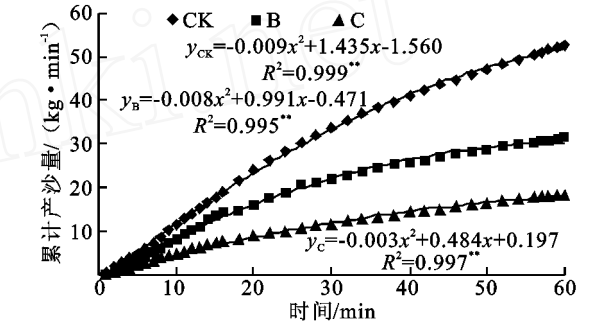


图 7 不同植被格局下坡面累计产沙随降雨历时变化

- 1.8E - 5。说明格局 C 比格局 B 对泥沙的拦截效果高于对径流的拦蓄效果。表 2 中三个模拟二次方程均很好解释土壤侵蚀过程中泥沙随坡面径流的变化过程,产流初期坡面水流动能小,冲刷力微弱,仅携带表土松散微颗粒物;随径流量和流速的不断增加,水流冲刷能力增大,引起土壤的崩塌、分散和搬运使得径流含沙量增大,随之累计产沙量上升;当地表逐渐饱和,坡面水流挟沙量饱和,累计泥沙量达到极大值;此后,尽管径流还是继续携带泥沙,但坡面

水层缓冲雨滴对地表的击溅分散,一定程度上消减了径流携沙,故而累计产沙量逐渐下降。

表 2 不同植被格局下累计产沙量与累计产流量的关系

植被格局	拟合方程	R^2
CK	$Q_s = -1.6E-5Q_w^2 + 0.050Q_w - 0.780$	0.999 ^{**}
B	$Q_s = -1.8E-5Q_w^2 + 0.040Q_w - 0.100$	0.996 ^{**}
C	$Q_s = -8.5E-6Q_w^2 + 0.021Q_w + 0.439$	0.996 ^{**}

3 结论

(1) 在 2.43 mm/min 雨强下,相同盖度的茵陈蒿群落不同分布格局产流具有差异性。开始产流和延后时间表现为:格局 B > 格局 C > 裸地;产流特征曲线表明:两种格局坡面产流速率随时间增加而递增,递增速率渐小并维持在最大值。产流速率与降雨历时呈对数显著相关;不同格局坡面产流量为:裸地 > 格局 C > 格局 B,格局 B 具有更佳的蓄流减流效应;累计径流量与降雨历时呈非常显著的线性相关($p < 0.01$),相关系数达到 99% 以上。

(2) 在降雨和土壤条件相对一致的条件下,不同格局的侵蚀产沙量差异明显,裸地产沙量最大,格局 B 次之,格局 C 产沙量最小,格局 B 和 C 减沙量分别为 36.14%、63.86%;径流含沙量随降雨历时总体呈下降趋势,根据含沙量变率的大小可分为含沙量高强度变化期、微弱变化期和含沙量稳定期三个阶段。不同格局累计产沙量随降雨历时先增大后减小,二者呈二次函数相关。

(3) 茵陈蒿不同分布格局的坡面累计产流和累计产沙动态变化不完全一致,累计径流量与累计产沙量的关系可用多项式表示,相关曲线为抛物线型,即产流初期累计产沙量随径流量增加而增加,随降雨历时延续产沙量减小。同一雨强下格局 B、C 具有显著的减沙效益,大斑块格局 C 比小斑块格局 B 对泥沙的拦截效果高于对径流的拦蓄效果。

参考文献:

[1] 朱显谟,祝一志.试论中国黄土高原土壤与环境[J].土

壤学报,1992,29(4):351-357.

- [2] 邱扬,傅伯杰,王勇.土壤侵蚀时空变化及其环境因子的时空关系[J].水土保持学报,2002,16(1):108-111.
- [3] 朱显谟.黄土高原植被因素对于水土流失的影响[J].土壤学报,1960,8(2):110-120.
- [4] 李勇,吴钦孝.黄土高原植被根系提高土壤抗冲性能研究:I.油松人工林根系对土壤抗冲性能的增加效应[J].水土保持学报,1990,4(1):1-5.
- [5] 查轩,唐克丽,张科利,等.植被对土壤特性及土壤侵蚀的影响研究[J].水土保持学报,1992,6(2):52-59.
- [6] 王哈生,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.
- [7] 焦菊英,王万中,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.
- [8] 许炯心.黄土高原植被—降水关系的临界现象及其在植被建设中的意义[J].生态学报,2005,25(6):1233-1239.
- [9] 徐宪立,马克明,傅伯杰,等.植被与水土流失关系研究进展[J].生态学报,2006,26(9):3137-3143.
- [10] Valentin C D, Herbes J M, Poesen J. Soil and water components of banded vegetation patterns[J]. Catena, 1999, 37:1-24.
- [11] Ludwig J A, Tongway D J, Maraden S G. Strips, strands on stipples: modeling the influence of three landscape banding patterns on resource capture and productivity in a semi-arid woodlands Australia[J]. Catena, 1999, 37(1/2):257-273.
- [12] 游珍,李占斌,蒋庆丰,等.坡面植被分布对降雨侵蚀的影响研究[J].泥沙研究,2005,12(6):40-43.
- [13] 郭忠升.水土保持植被建设中的三个盖度:潜势盖度、临界盖度和有效盖度[J].中国水土保持,2000(4):30-31.
- [14] 汪有科,刘保元,焦菊英.恢复黄土高原林草植被及其盖度的前景[J].水土保持通报,1992,12(2):55-60.
- [15] 吴钦孝,赵鸿雁,汪有科.黄土高原油松林地产流产沙及其过程研究[J].生态学报,1998,18(2):151-157.
- [16] 李勉,姚文艺,陈江南,等.坡面草被覆盖对坡沟侵蚀产沙过程的影响[J].地理学报,2005,60(5):725-732.
- [17] 黄明斌,刘贤赵.黄土高原森林植被对流域径流的调节作用[J].应用生态学报,2002,13(9):1057-1060.