

黄土丘陵沟壑区多年生草地的保水固土效益

杨帆, 潘成忠

(北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875)

摘要: [目的] 探究草被在不同生长年限和不同降雨类型下的保水固土效益, 为黄土区进一步开展生物水土保持措施提供理论依据。[方法] 以绥德水土保持科学试验站辛店沟平沟塬苜蓿、草木樨和农地标准径流场 1956—1960 年汛期总降雨和汛期 40 场次降雨产流产沙监测数据为基础进行分析研究。[结果] (1) 各观测年汛期总径流量和总产沙量大小顺序均为: 牧草地 < 农地, 以农地为参照, 苜蓿和草木樨径流场减水效益分别为 20%~83% 和 11%~88%, 二者减沙效益基本保持在 50% 以上; (2) 采用 K-Means 聚类分析法, 以次降雨量和最大 30 分钟雨强 (I_{30}) 为聚类条件, 将 40 场次降雨事件划分为雨量大雨强低的 I 型、雨量小雨强大的 III 型以及中等雨量中等雨强 II 型。各径流场在 III 雨型下产流产沙量最大, 两种牧草地在 II 雨型下减水效益最佳; (3) 两种牧草地减水减沙效益随生长年限的变化而变化, 且各径流场减水减沙效益主要受 III 雨型影响, 该雨型下牧草地减水效益随生长年限的增加而增加, 减沙效益随生长年限先减小后增加。[结论] 两种牧草均具有较好的减水减沙效益, 而其减水减沙效益与雨型具有密切关系, 不同时期, 草地减水减沙效益并非同步。

关键词: 黄土丘陵沟壑区; 草地; 径流量; 产沙量; 降雨类型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0300-07

中图分类号: S157.1

文献参数: 杨帆, 潘成忠. 黄土丘陵沟壑区多年生草地的保水固土效益[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 300-306. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.056

Effects of Perennial Grassland on Soil and Water Conservation in Hilly Region of Loess Plateau

YANG Fan, PAN Chengzhong

(College of Water Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: [Objective] The effects of perennial grassland with different growing years and rainfall regimes on soil and water conservation were analyzed to provide a theoretical basis for the further development of biological engineering measures in hilly region of the Loess Plateau. [Methods] Data of total runoff sediment yield and 40 rainfall events collected from Suide Soil and Water Conservation Station from 1956 to 1960 were used to analyze the effects of perennial grassland on soil and water conservation in hilly region of the Loess Plateau. [Results] (1) The observed total runoff and erosion modulus of grasslands were smaller than those of farmlands. Runoffs of alfalfa and *Melilotus* decreased 20%~83% and 11%~88% respectively, as compared with the corresponding values of farmlands. Sediment reductions of grassland and farmlands were both more than 50%. (2) Based on K-Means clustering, 40 rainfall events were classified into three rainfall regimes according to the amount and intensity(30 min) of rainfall: regime I had the characteristics of high rainfall, low intensity and occurred infrequently; regime II had the features of medium rainfall, medium intensity and medium frequent occurrence; regime III had the features of less rainfall, high intensity and high frequent occurrence. A large proportion of runoff and soil loss was caused by rainfall regime III. Water reduction of grasslands was observed the best in regime II of the three regimes. (3) Under regime III, the

收稿日期: 2015-05-22

修回日期: 2015-07-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土区牧草控制侵蚀动力学机制及有效性研究”(41271285); 国家自然科学基金项目(51309007; 41530858); 中央高校基本科研业务费专项

第一作者: 杨帆(1990—), 女(汉族), 新疆自治区昌吉市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持措施过程研究。E-mail: 201321470014@bnu.edu.cn.

通信作者: 潘成忠(1980—), 男(汉族), 江苏省灌云县人, 博士, 副教授, 主要从事水力学与河流动力学、坡面土壤侵蚀及治理过程方面的研究。E-mail: pancz@bnu.edu.cn.

benefit of water reduction increased with the increase of grass growth period, and soil reduction was small in earlier growth years and then increased afterwards. [Conclusion] Grasslands grew with the two grasses both had the benefits of water and soil reduction. The benefit were closely linked with rainfall regime. The benefit of water reduction and soil reduction were not always coincided.

Keywords: hilly loess plateau region; grass; runoff; sediment yield; rainfall regim

生物措施是控制土壤侵蚀、治理水土流失的重要举措之一^[1]。多年来,研究者对各水土流失严重地区开展的生物措施进行了大量水土保持效益研究,研究结果^[2-7]均表明,生物措施具有较高的保水固土效益。黄土高原大部分处于干旱半干旱地区,全年总降雨量少,浅层地下水贫乏,是中国水土流失最为严重的地区。退耕还草作为水土保持措施已在黄土高原防治水土流失工程中得到广泛应用,并取得了良好效益^[8-11]。闫晓玲等^[12]在黄土高原沟壑区布设苜蓿草地和裸地径流场,对二者进行连续 1 a 的径流量、含沙量、冲刷量、土壤含水率对比试验,结果表明,与裸地相比,生长 1 a 的苜蓿草地径流含沙量减少了 55.65%,冲刷量减少了 69.93%,且土壤含水率高于裸地。李正民等^[13]的研究表明,相同降雨条件下牧草地的冲刷量只有庄稼地的 24%,生长两年的牧草地拦蓄地表径流的能力为 54%,减少地表径流含沙量的能力为 70.3%。可以看出,草被的生长可以强化黄土区土壤的抗侵蚀能力,增加土壤蓄水容量,能够发挥一定的保水固土效益^[14-16]。然而,不同降雨类型由于其降雨因子(降雨量、降雨历时、降雨强度等)的不同,会对草地的保水固土效益产生影响^[17-18]。另外,草被的保水固土效益也会随着草被生长年限的增加而发生变化^[19-20],不同草被在不同演替阶段的保水固土效益也存在差异^[21-23]。研究者们已对以上两点进行了大量研究分析,但对于综合降雨类型因素和生长年限因素来分析草被保水固土效益的研究还较少。为此,本研究以绥德水土保持科学试验站辛店沟平沟塬苜蓿径流场、草木樨径流场和农作物径流场

1956—1960 年汛期 40 场降雨的次降雨量、径流量、产沙量监测数据为依据,分别从汛期总降雨量和次降雨量的降雨-产流-产沙关系进行分析,探究草被在不同生长年限和不同降雨类型下的保水固土效益,以期对黄土区进一步开展生物措施工程提供理论依据。

1 研究区概况

绥德站径流小区设置在陕西省绥德县辛店沟流域内,辛店沟位于无定河中左岸,东经 110°08',北纬 37°29',海拔高度为 990~1 010 m,属黄土丘陵沟壑区第一区。该区黄土层深厚,土质疏松,土壤主要为黑垆土型的侵蚀土,属粉砂壤土和极细砂壤土,有机质含量在 0.3%左右,耕地坡度多在 20°~30°之间,年平均降水量为 475.9 mm,汛期(6—9 月)的降水量占年降水量的 72.5%,年平均气温 10.2℃,最高气温 39.1℃,最低气温-27.1℃,无霜期 160 d 左右。该区由于暴雨多、土壤松、坡度陡、植被差,水土流失极为严重。

2 材料与方法

2.1 径流场布设

以苜蓿、草木樨和农作物径流场为研究对象,各试验小区均为顺直斜坡标准径流场,坡度在 33°左右,水平投影面积均为 100 m²,各径流场基本情况详见表 1。苜蓿、草木樨均自 1955 年种植,观测期盖度范围分别为 37%~85%和 18%~85%,农作物以谷子-高粱-绿豆-谷子-马铃薯进行 5 a 轮作种植,采用平播播种方式,观测期盖度范围为 5%~26%。

表 1 绥德辛店沟人工牧草径流场基本情况

场号	位置	土质	坡向	坡度	坡长/m		坡宽/m	面积/m	牧草名称	起止观测年份
					倾斜	水平				
7	平沟塬	黄土	西南	34°15'	24.2	20	5	100	苜蓿	1956—1960
7	平沟塬	黄土	西南	32°47'	24.2	20	5	100	草木樨	1956—1960
7	平沟塬	黄土	西南	34°20'	24.2	20	5	100	农作物	1956—1960

2.2 监测项目与方法

主要测定各年汛期径流场总降雨-产流-产沙量,径流场次降雨-产流-产沙量,并在此基础上,计算牧草地的减水减沙效益。降雨量采用自记雨量计测定,以浑水为径流总量测量代表;径流量根据径流池的最高

水位用率定好的径流池水位容积关系推算得出;在产沙量计算中,含沙量采用分层取样法进行测定,将泥水搅拌均匀后,分层取出 1 dm³ 的水样 3~5 个混合在一起,再从中取出 0.5 dm³ 的水样 1~3 个,作为处理水样。

土壤产沙量和径流系数分别采用公式(1)–(2)计算:

$$\text{产沙量}(\text{t}/\text{km}^2) = \text{径流量} \times \text{含沙量} / \text{径流场面积} \quad (1)$$

$$\text{径流系数}(\%) = \text{径流量} / \text{降雨量} \times 100 \quad (2)$$

与农地相比,两种牧草地的减水减沙效益分别采用公式(3)–(4)计算:

$$\text{减水效益}(\%) = (\text{农地径流量} - \text{草地径流量}) / \text{农地径流量} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{减沙效益}(\%) = (\text{农地产沙量} - \text{草地产沙量}) / \text{农地产沙量} \times 100 \quad (4)$$

2.3 数据处理

使用 Excel 进行数据基本处理和整合;使用 SPSS 20.0 数据统计分析软件对 40 场次降雨的降雨因子与各径流场产流产沙变量进行皮尔逊相关矩阵分析,根据皮尔逊相关矩阵分析结果,选择相关性显著的降雨因子;根据选择的相关性降雨因子,对 40 场降雨事件进行 K-Means 聚类分析;对各径流场不同降雨类型间的单位降雨径流深和单位降雨产沙量进行单因素方差分析,判断其差异显著性。

3 结果与分析

3.1 保水固土效益分析

3.1.1 减水效益 表 2 列出 5 a 监测期内苜蓿、草木樨和农作物径流场径流量的变化情况。从相同年份下各径流场总径流量的比较情况来看,1956,1958,1959 年各年总径流量大小均表现为:农地 > 草木樨地 > 苜蓿地,1957 和 1960 年径流场总径流量表现为:农地 > 苜蓿地 > 草木樨地,各年份农地径流量均大于牧草地径流量,而两种牧草地之间径流量差别不一。

表 2 两种牧草地汛期径流量分析

年份	下垫面	降水量/ mm	径流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	径流系数/ %
1956	苜蓿地	492.0	72 100	14.70
	草木樨地	492.0	86 350	17.60
	农地	492.0	97 500	19.90
1957	苜蓿地	188.0	651	0.35
	草木樨地	188.0	636	0.34
	农地	188.0	1 243	0.65
1958	苜蓿地	404.6	30 980	7.66
	草木樨地	404.6	32 660	8.07
	农地	404.6	39 060	9.65
1959	苜蓿地	534.1	5 584	1.05
	草木樨地	534.1	19 250	3.60
	农地	534.1	33 330	6.24
1960	苜蓿地	241.7	2 973	1.23
	草木樨地	241.7	504	0.21
	农地	241.7	4 410	1.82

从不同年份间两种牧草地减水效益变化情况来看(图 1),苜蓿地减水效益在 20.68%~83.24%之间,草木樨地减水效益在 11.43%~88.57%之间,总体上,随着牧草地生长年限的增加,两种牧草地在汛期的总减水效益呈增大趋势,且两种牧草地减水效益相当,但减水效益年际间变异较大,这与该年降雨类型以及牧草生长状况有关。综上所述,两种牧草地对坡地径流量具有一定的调节作用,原因在于牧草生长较为自然,土壤受人为干扰较小,且生长密度较大,牧草地上部分可以拦蓄径流,地下部分可以储存和疏导水分,进而减少坡面径流的产生。有关研究^[25]也已证实,耕作活动会影响坡耕地土壤入渗性能,而草被根系对土壤结构具有一定的改善作用,因此草被的生长能够改善土壤入渗性能,起到保水效果。

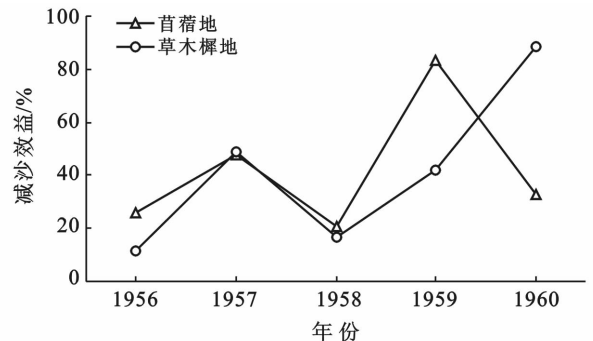


图 1 两种牧草减水效益随生长年限的变化

3.1.2 减沙效益 表 3 列出 5 a 监测期内苜蓿、草木樨和农作物径流场产沙量的变化情况。从相同年份下各径流场总产沙量的比较情况来看,1956,1958 和 1959 年各年产沙量大小顺序为:农地 > 草木樨地 > 苜蓿地,1957 和 1960 年产沙量大小顺序为:农地 > 苜蓿地 > 草木樨地,各年份农地产沙量均大于牧草地产沙量。从不同年份间,两种牧草地减沙效益变化情况来看(图 2),苜蓿地减沙效益在 6.12%~97.91%之间,草木樨地减沙效益在 56.62%~98.97%之间,与减水效益相比(图 1),除 1960 年苜蓿地减沙效益突降外,其余年份两种牧草地的减沙效益较减水效益更为显著。

如图 2 所示,随着生长年限的增加,草木樨地汛期总减沙效益呈微弱增大趋势。苜蓿地汛期总减沙效益在前 4 a 生长期(1956—1959 年)呈微弱增大趋势,而在第 5 a 生长期(1960 年)明显降低,这与苜蓿自身生长状况有关。有关研究表明^[31],连续生长的苜蓿会在一定程度上消耗土壤养分,且苜蓿在连续种植 5 a 后会处于生长高峰期,此时也是苜蓿对土壤养分消耗最大的时期,土壤有机质、氮和磷等组分含

量会降低,因此会对土壤的抗冲能力产生一定的影响。另外,有关研究表明,随着苜蓿生长年限的增加,苜蓿地下根系生物量增加,根系生物量垂向分配比会有所改变,表现为表层土壤所含根系生物量相对减少,而深层根系生物量相对增加,因此根系对表层土壤的固结作用相对于前期生长年份的固结作用会有所下降。监测期间,两种牧草减沙效益的差异也揭示了人工草地的水土保持效益与牧草类型及其生长规律有着密切的关系。综上所述,牧草地具有一定的固土作用,其原因一方面是因为随着生长年限的增加,牧草地下根系生物量逐渐增加,根系与土壤的接触面积增加,进而为根系固结土壤提供了条件;另一方面,根系分泌物以及微生物的活动也可改善土壤结构和相关理化性质,有利于调节土壤性质,减少土壤流失。

表3 两种牧草地汛期产沙量分析

年份	下垫面	降水量/mm	产沙量/(t·km ⁻²)
1956	苜蓿地	492.0	3 167
	草木樨地	492.0	10 930
	农地	492.0	44 510
1957	苜蓿地	188.0	52
	草木樨地	188.0	39
	农地	188.0	121
1958	苜蓿地	404.6	652
	草木樨地	404.6	2 182
	农地	404.6	5 031
1959	苜蓿地	534.1	33
	草木樨地	534.1	282
	农地	534.1	1 576
1960	苜蓿地	241.7	552
	草木樨地	241.7	6
	农地	241.7	588

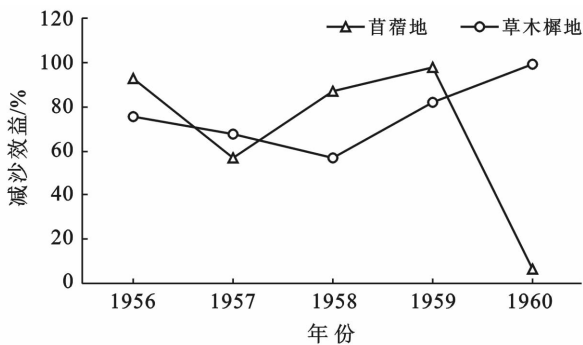


图2 两种牧草地减沙效益随生长年限的变化

3.2 次降雨产流产沙分析

降雨因子如雨量、历时以及雨强等对径流场的产

流产沙具有重要影响。为了进一步探讨草地减水减沙效益及其随生长年限的变化情况,还需要分析不同雨型下各径流场的减水减沙效益。现将1956—1960年汛期40场次降雨事件根据各降雨因子进行分类,分别讨论相同雨型下不同径流场的产流产沙情况,比较不同雨型下相同径流场的产流产沙情况,说明各径流场产流产沙量受雨型的影响程度以及牧草在相同雨型下的减水减沙效益随生长年限的变化情况。

3.2.1 降雨类型划分 以1956—1960年汛期产生径流和泥沙的40场降雨事件为研究对象,选择次降雨量 P (mm)、降雨历时 D (min)、10 min最大雨强 I_{10} (mm/min)、30 min最大雨强 I_{30} (mm/min)为降雨因子,分析它们与不同径流场径流深 H (mm)、产沙量 M_s (t/km²)、径流系数 R (%)、含沙量 C (kg/m³)的相关性关系,并利用K-Means聚类分析法对40场降雨进行分类。

通过对40场降雨各降雨因子和各径流场产流产沙数值的统计分析,在最小降雨量(2.4 mm)条件下,苜蓿和草木樨径流场均未产流产沙,而农作物径流场产流深为0.578 mm,产沙量为39 t/km²;在最大降雨量(100 mm)和最小降雨历时(14 min)两种条件下,各径流场产流大小顺序均表现为:农地>草木樨地>苜蓿地,两种牧草地均未产生土壤冲刷,而农地产生土壤冲刷;在最大降雨历时(1 382 min)的条件下,产流产沙大小顺序均为:农地>草木樨地>苜蓿地。从不同降雨因子下各径流场产流产沙情况来看,农地的产流产沙量均高于牧草地,这与从汛期总产流产沙量角度分析的结果相同。

将选取的降雨因子与各径流场产流产沙变量进行皮尔逊相关矩阵分析。结果表明(表4),降雨量 P 与各场降雨的径流深 H 在 $p<0.05$ 水平上显著相关;30 min雨强 I_{30} 与各场降雨的径流深 H 、产沙量 M_s 、径流系数 R 以及含沙量 C 在 $p<0.01$ 水平上显著相关,由此说明,降雨量因子和最大30 min雨强因子对各径流场产流产沙变量具有显著影响。因此选择降雨量和最大30 min雨强因子为聚类分析条件,对40场降雨进行K-Means分类。

如表5所示,K-Means分类法将40场次降雨划分为降雨量大, I_{30} 雨强小的I雨型,其雨量范围为14.5~100 mm,雨强范围为0.017~0.4 mm/min;降雨量适中, I_{30} 雨强适中的II雨型,其雨量范围为15.5~63.5 mm,雨强范围为0.032~0.48 mm/min;降雨量小, I_{30} 雨强大的III型,其雨量范围为2.4~39 mm,雨强范围为0.071~1.48 mm/min。

表 4 降雨因子与各径流场产流产沙的相关关系

项目	P	D	I_{10}	I_{30}	H	M_s	R
降雨历时 D	0.643**						
I_{10}	0.023	-0.399					
I_{30}	0.085	-0.358	0.795**				
径流深							
苜蓿	0.322*	-0.121	0.565**	0.800**			
草木樨	0.310*	0.087	0.554**	0.778**			
农作物	0.358*	-0.095	0.608**	0.777**			
产沙量							
苜蓿	0.198	-0.101	0.565**	0.777**	0.940**		
草木樨	0.111	0.172	0.413**	0.650**	0.871**		
农作物	0.186	-0.106	0.514**	0.775**	0.186		
径流系数							
苜蓿	0.010	-0.308	0.500**	0.678**	0.875**	0.736**	
草木樨	0.014	-0.317	0.520**	0.645**	0.848**	0.837**	
农作物	-0.118	-0.410**	0.536**	0.555**	0.723**	0.536**	
含沙量							
苜蓿	0.002	-0.189	0.480**	0.357*	0.150	0.306	0.121
草木樨	-0.096	0.325	0.323*	0.411**	0.449*	0.732**	0.637**
农作物	0.095	-0.212	0.468**	0.647**	0.796**	0.856**	0.629**

注：“**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;“*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 5 3 种降雨类型基本特征

降雨类型	特征值	平均值	标准差	累计降雨量/mm	场次
I	P/mm	48.74	30.53	243.7	5
	$I_{30}/(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	0.14	0.15	—	
II	P/mm	29.93	14.75	269.4	9
	$I_{30}/(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	0.19	0.15	—	
III	P/mm	15.91	10.25	413.7	26
	$I_{30}/(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	0.36	0.27	—	

3.2.2 不同雨型下牧草地减水减沙效益 以 K-Means 聚类分析法得到的 3 种雨型为依据,分析在不同雨型下各径流场的产流产沙量差异情况,各牧草地在不同雨型下的减水减沙效益。由表 6 可知,两种牧草地在 II 雨型下的减水效益最佳,均在 50% 以上,苜蓿地在 III 雨型下减沙效益最佳,草木樨地在 I 雨型下减沙效益最佳。可以看出,人工牧草地的减水减沙效益与雨型具有密切关系,且相同雨型下减水减沙效益并非同步。

表 6 不同雨型下 2 种牧草地减水-减沙效益分析

雨型	下垫面	总降雨量/mm	总径流量/ ($10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	总产沙量/ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$)	减水效益/ %	减沙效益/ %
I	苜蓿地	243.7	8.10	87	54.99	89.35
	草木樨地	243.7	14.93	153	17.07	81.27
	农地	243.7	18.00	817	—	—
II	苜蓿地	269.4	9.32	678	65.89	71.02
	草木樨地	269.4	12.98	637	52.46	72.77
	农地	269.4	27.31	2 340	—	—
III	苜蓿地	413.7	95.54	3 727	29.46	92.45
	草木樨地	413.7	112.11	12 650	17.24	74.40
	农地	413.7	135.46	49 420	—	—

在不同雨型间各径流场的产流产沙量也存在一定的差异性(图 3)。由图 3 可以看出,不同雨型间苜蓿、草木樨和农作物径流场单位降雨径流深和单位降雨产沙量大小顺序均表现为: I 型 < II 型 < III 型,说明在该区降雨量小,强度大的 III 雨型易使各径流场产流产沙。对各径流场不同雨型间的单位降雨径流深和单位降雨产沙量进行单因素方差分析,结果显示,

两种牧草地在 III 雨型下的单位降雨径流深与其在 I 雨型和 II 雨型下的单位降雨径流深差异显著,苜蓿地 3 种雨型间的单位降雨产沙量差异不显著,而草木樨地在 III 雨型下的单位降雨产沙量与其在 I 雨型和 II 雨型下的单位降雨产沙量差异显著;农地不同雨型间的单位降雨径流深差异均显著,农地在 III 雨型下的单位降雨产沙量与其在 I 型和 II 型雨型下的单位降

雨产沙量差异显著。比较农地和牧草地单位降雨产流产沙量,农地单位降雨产流产沙量易受降雨类型的影响,比较两种牧草单位降雨产沙量,草木樨地单位降雨产沙量易受降雨类型的影响。综上所述,各径流

场产流产沙情况和牧草地减水减沙效益都会受到降雨类型的影响,且各径流场在Ⅲ雨型下产流产沙量大,农地产流产沙能力受雨型的影响程度较两种牧草地产流产沙能力受雨型的影响程度大。

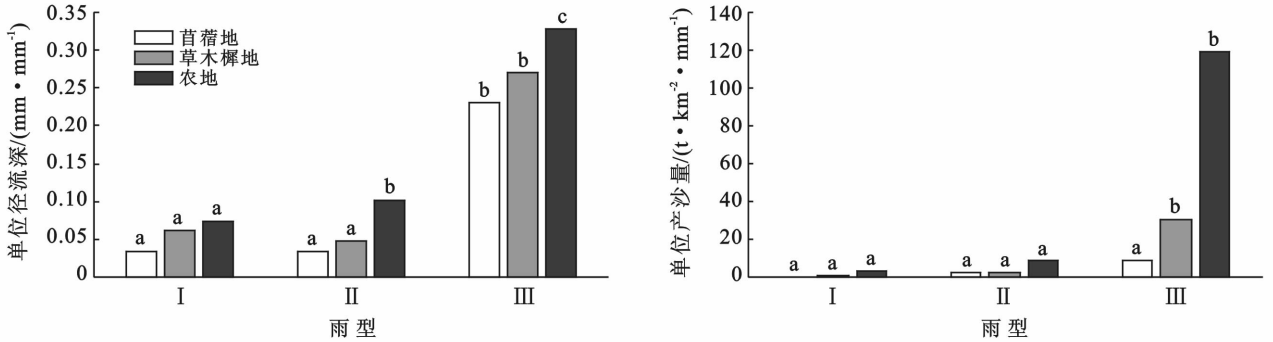


图 3 不同降雨类型间径流场单位降雨产流-产沙比较分析

注:相同牧草地不同雨型间的字母不同,表明该草地单位降雨径流深或单位降雨产沙量在雨型间差异显著($p < 0.05$)。例如,苜蓿地在Ⅲ雨型下单位降雨径流深与其在Ⅰ雨型和Ⅱ雨型的单位降雨径流深在 0.05 水平上差异显著,而在Ⅰ雨型和Ⅱ雨型之间差异不显著。

3.2.3 相同雨型下不同牧草地减水减沙效益不同分析 牧草地在不同雨型间的减水减沙效益不同,而其在相同雨型下不同生长年份间的减水减沙效益也存在一定的变化。

减小后增加的趋势。通过对比发现,Ⅲ雨型下牧草地年份间减水减沙效益变化趋势与各年总减水减沙效益趋势相近,并且在该雨型条件下苜蓿地减水效益在 23.9%~83.13%之间,减沙效益在 84.97%~96.62%之间,草木樨地减水效益在 11.43%~54.34%之间,减沙效益在 57.81%~91.2%之间,两种牧草地的减水减沙效益范围与其汛期总减水减沙效益范围相近,由此说明,该地区人工草地的减水减沙效益主要受Ⅲ雨型影响。

由图 4 可以看出,Ⅰ雨型下两种牧草地减水减沙效益随生长年限的增加而增加;Ⅱ雨型下两种牧草地减水减沙效益随生长年限的变化无规律;Ⅲ雨型下两种牧草地减水减沙效益随生长年限的增加总体呈增加趋势,两种牧草地减沙效益随生长年限的增加总体呈先

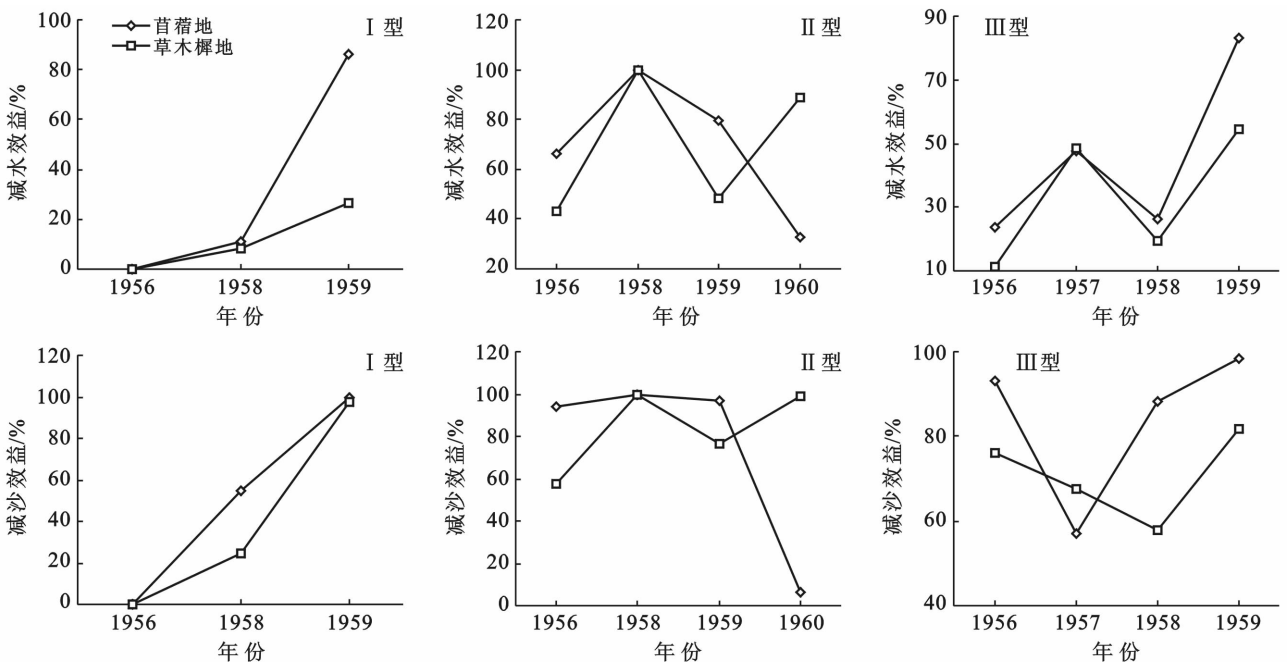


图 4 相同雨型不同年份间牧草地减水减沙效益变化

4 结论

(1) 各年份总径流量和产沙量大小顺序均表现为:牧草地<农地,苜蓿地减水效益在 20.68%~83.24%之间,减沙效益在 6.12%~97.91%之间,草木樨地减水效益在 11.43%~88.57%之间,减沙效益在 56.62%~98.97%之间。二者减水效益相当,且在前 4 a 减沙效益相当,第 5 a 草木樨地减沙效益优于苜蓿地减沙效益。

(2) 两种牧草地在 II 雨型下减水效益最佳,苜蓿地在 III 雨型下减沙效益最佳,草木樨地在 I 雨型下减沙效益最佳,相同雨型下减水减沙效益并非同步。各径流场在 III 雨型下易产流产沙,农地产流产沙能力受雨型的影响程度较两种牧草地产流产沙能力受雨型的影响程度大。

(3) 不同雨型下牧草减水减沙效益随生长年限的变化趋势不同,本研究牧草地减水减沙效益主要受 III 雨型影响,且在 III 雨型下两种牧草地减水效益随生长年限的增加而增加,减沙效益随生长年限的增加呈先减小后增加的趋势。

致谢:水利部黄河水利委员会绥德水土保持科学试验站为本研究提供了 1956—1960 年绥德水土保持科学试验站径流场监测数据,谨此致谢。

[参 考 文 献]

- [1] Fattet M, Fu Y, Ghestem M, et al. Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength[J]. *Catena*, 2011, 87(1): 60-69.
- [2] 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(12): 935-938.
- [3] 字淑慧,吴伯志,段青松.不同草带对坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(5): 41-44.
- [4] 张兴昌,邵明安,黄占斌,等.不同植被对土壤侵蚀和氮素流失的影响[J]. *生态学报*, 2000, 20(6): 1038-1044.
- [5] 吴钦孝,赵鸿雁.植被保持水土的基本规律和总结[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(4): 13-15.
- [6] Pan Chengzhong, Shangguan Zhouping, Lei Tinwu. Influences of grass and moss on runoff and sediment yield on sloped loess surfaces under simulated rainfall [J]. *Hydrological Processes*, 2006, 20(18): 3815-3824.
- [7] 李蕾,刘黎明,谢花林.退耕还林还草工程的土壤保持效益及其生态经济价值评估:以固原市原州区为例[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 161-163.
- [8] Sun Wenyi, Shao Quanqin, Liu Jiyuan, et al. Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on

the Loess Plateau in China[J]. *Catena*, 2014, 121(1): 151-163.

- [9] Jiang Wenyong, Cheng Yufen, Yang Xiaoxiao, et al. Chinese Loess Plateau vegetation since the last glacial maximum and its implications for vegetation restoration [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2013, 50(2): 440-448.
- [10] 闫晓玲.黄土高原沟壑区两种牧草蓄水保土效果试验[J]. *人民黄河*, 2012, 34(4): 81-83.
- [11] 李正民,舒惠玲,樊水根,等.红壤岗地上种草经济与生态效益研究[J]. *四川草原*, 1996, 9(4): 10-15.
- [12] Chengzhong Pan, Lan Ma, Zhouping Shangguan. Determining the sediment trapping capacity of grass filter strips[J]. *Journal of Hydrology*, 2011, 405(1/2): 209-216.
- [13] Pan Chengzhong, Shangguan Zhouping. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions[J]. *Journal of Hydrology*, 2006, 331(1/2): 178-185.
- [14] 晏清洪,原翠萍,雷廷武,等.降雨类型和水土保持对黄土区小流域水土流失的影响[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(2): 169-175.
- [15] 李广,黄高宝.雨强和土地利用方式对黄土丘陵区水土流失的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 85-90.
- [16] 李强,刘国彬,许明祥,等.黄土丘陵区撂荒地土壤抗冲性及相关理化性质[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(10): 153-159.
- [17] 戴全厚,刘国彬,翟胜,等.侵蚀环境退耕撂荒地水稳性团聚体演变特征及土壤养分效应[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 61-64.
- [18] Erik C, van Rens B, Annemieke K. Vegetation succession and its consequences for slope stability in SE Spain [J]. *Plant and Soil*, 2005, 278(1/2): 135-147.
- [19] 曾光,杨勤科,姚志宏.黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型土壤抗侵蚀性研究[J]. *水土保持通报*, 2008, 28(1): 6-9.
- [20] 潘成忠,上官周平,牧草对坡面侵蚀动力参数的影响[J]. *水利学报*, 2005, 36(3): 371-377.
- [21] Baets S D, Poesen J, Gyssels G, et al. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow[J]. *Geomorphology*, 2006, 76(1/2): 54-67.
- [22] Li Yushan, Huang Mingbin. Pasture yield and soil water depletion of continuous growing alfalfa in the Loess Plateau of China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 124(1/2): 24-32.
- [23] Baets S D, Poesen J, Knapen A, et al. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2007, 32(9): 1324-1345.