

冀北山区不同土地利用类型的坡面 产流产沙与降雨的关系研究

江青龙¹, 谢永生^{1,2*}, 赵 婷², 张应龙¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 针对京津地区重要水源地的冀北山区区位的特殊性, 以及生态环境脆弱、水土流失严重等问题, 于河北围场县曹家沟布设土地利用分别为乔木林地、疏林地、天然草地的三个径流小区, 通过对降雨特征及其对产流产沙的影响进行分析, 得到如下结论: 引起产流的次降雨以中雨和大雨为主, 平均次降雨强度为 5.83 mm/h; 乔木林、疏林地、天然草地的次径流量与降雨量和降雨历时乘积呈显著相关; 产沙模数与降雨量和降雨强度乘积的相关系数依次为 0.587、0.501 和 0.613; 天然草地和疏林地的产沙模数与径流深度都呈现极显著正相关性, 而乔木林的相关性不显著; 三种坡面的拦沙蓄水能力大小依次为乔木林 > 天然草地 > 疏林地。

关键词: 土地利用类型; 降雨特征; 产流产沙; 冀北山区

中图分类号: S157.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2011)06-0202-06

冀北山区位于北京和天津的周边, 两库上游(密云水库和潘家口、大黑汀水库)的潮白河及滦河流域, 地处内蒙高原到华北平原过渡地带, 它不仅是京津地区重要的水源地, 同时也是其重要的生态屏障, 在 2008 年环保部发布的《全国生态功能区划》中被划为“极重要水源涵养区”。区内山高坡陡, 降水集中, 下垫面物质特殊, 生态环境脆弱, 水土流失已成为该区域的重要生态环境问题。降雨因素和土地利用所引起地表景观格局的变化往往是影响地表水沙关系的主导因素^[1]。降雨是引起水土流失的动力, 而降雨量、降雨强度及降雨历时等因素对地表产流产沙过程具有重要的影响^[2~5]。近年来, 许多学者从不同角度开展了降雨与地表产流产沙关系的研究, 据彤军等^[1]通过野外人工模拟降雨试验, 对次降雨条件下黄土区主要地类水沙动态过程的影响及其机理进行了研究, 徐宪立^[6]、黄志刚^[7]等均得出降雨量和平均降雨强度的乘积与产沙模数、径流深有较好的线性相关关系, 申震洲等^[8]对延安燕沟试验区不同下垫面径流小区在自然降雨条件下, 小区的产流产沙及入渗情况进行了研究, 赵护兵等^[9]、沈玉芳等^[10]均对黄土高原不同植被类型对水土流失的影响做了相关研究, 纵观以上研究, 得出它们主要是通过各种实验方法, 对影响水土流失的因子进行研究, 揭示不同地形地貌、土壤特征、林草植被、水文气象

条件下水土流失规律。同时发现相关研究主要集中在水土流失较为严重的黄土高原地区, 而针对作为京津地区重要水源地的冀北山区的相关研究则相对较少。鉴于该区水土保持研究实际需要与区域位置的特殊性, 本研究结合长期监测结果, 以该区具有代表性的不同土地利用类型的坡面为研究对象, 探索其在不同降雨条件下的产流产沙规律, 以期为该区的水土保持与生态环境建设提供科学的参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选择在河北省承德市围场县曹家沟, 该地位于县城南 5 km, 地貌类型以土石山地为主, 地层结构复杂, 坡度主要集中在 18°~35°之间, 部分山丘岩石裸露风化严重, 容易造成泥石流、崩塌等; 土壤以褐土、棕壤以及潮土为主, 植被类型以温带针阔叶混交林为主, 目前阔叶树种主要为刺槐、山杏、柞树、荆条等, 针叶树种以黑松为主, 草本种类有胡枝子、黄被草、狗尾草、茵陈蒿、铁杆蒿和甜干草; 主要的土地利用类型为林地、天然草地、农用地以及建筑用地等, 区内林地和天然草地占到小流域的 45% 和 20% 左右; 属中温带向寒温带、半干旱向半湿润过渡的大陆性、季风型高原山地气候, 年平均气温 -1.5℃~4.7℃, 极端气温 -42.8℃~38.9℃, 无霜

收稿日期: 2011-05-05

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目“冀北山区生态输水小流域治理模式与关键技术”(200901051)

作者简介: 江青龙(1985—), 男, 湖北宣恩人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 在水土保持中的应用。E-mail: gisfresher@nwsuaf.edu.cn。

* 通讯作者: 谢永生(1960—), 男, 河南开封人, 研究员, 主要从事水土保持、土地资源及环境评价等方面研究。E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn。

期 80~130 d, 年平均降水量 500 mm 左右, 降雨年际变化大, 年内集中, 主要在 6~8 月; 土壤侵蚀类型以水蚀与重力侵蚀为主, 侵蚀强度为中度侵蚀。

1.2 试验布设与数据获取

径流小区布设于 1980 年 7 月下旬, 位于曹家沟自然坡面上, 其中布设 3 个坡面径流小区分别为乔木林地、疏林地和天然草地。天然草地小区主要草种为胡枝子、狗尾草、茵陈蒿、铁杆蒿等; 乔木林主要树种为油松, 同时伴有荆条等小灌木树种, 草本植物和天然草地一样; 疏林地以杨树为主, 伴生草种与天然草地一样, 均属于人为因素影响较小的自然坡面, 而且小区内植物代表该区域主要植被类型, 小区在实验观测期间每年 5 月到 9 月, 乔木林郁闭度平均值为 70%, 其林下草地覆盖度均值为 60%, 疏林地

的郁闭度平均值为 10%, 林下草地覆盖度均值为 30%, 天然草地的覆盖度均值为 80%; 小区的坡度均为 18.5°, 坡向为南向坡; 小区规格上, 坡长×宽为 10.5 m×5 m, 周围用浆砌砖块围护, 小区内土壤类型为褐土, 土层厚度为 60~70 cm。

径流小区的观测年限是 1981~1986 年, 三个小区各有一个输水管和集流桶, 集流桶直径 50 cm, 高 80 cm。径流量每次在集流桶中用体积法求得, 进一步计算得到径流深、径流系数, 观测径流后将集流桶中的水搅匀取样, 经过滤、烘干、称重, 得到泥沙量, 并计算侵蚀深度、产沙模数。降雨采用自记雨量计, 记录每次降雨过程, 然后得出降雨量、降雨历时及降雨强度等。

表 1 各径流小区基本情况

Table 1 The basic properties of runoff plots

小区类别 Plot type	坡长(m) Slope length	宽(m) Width	小区面积(m ²) Plots' area	地表情况 Properties of slope surface
乔木林地 Forest land	10.5	5	52.5	自然坡面, 油松, 郁闭度均值 70%, 林下草地覆盖度均值为 60%。 Natural slope surface, with Chinese pine, 70% mean canopy density and 60% grass coverage.
疏林地 Open forest land	10.5	5	52.5	自然坡面, 杨树, 郁闭度均值 10%, 林下草地覆盖度均值为 30%。 Natural slope surface, with poplar trees, 10% mean canopy density and 30% grass coverage.
天然草地 Natural grass land	10.5	5	52.5	自然坡面, 荒草, 覆盖度均值为 80%。 Natural slope surface, 80% grass coverage

2 结果与分析

2.1 引起产流的次降雨特征分析

本研究径流小区的降雨及产流产沙数据采用 1982~1986 年连续 5 a 的监测数据。对 1982~1986 年间引起小区产流的 28 次降雨逐年进行统计分析(见表 2), 分析结果也与该区降雨特点保持一致, 降雨年际变化大, 1984 年全年降雨量小于年平均水平, 引起小区产流产沙的降雨总量仅为 25 mm, 而降雨多的年份如 1983 年, 引起小区产流的次降雨总量

为 214.5 mm; 同时降雨年内也分布不均匀, 28 次降雨中仅有 2 次在 5 月份, 其他 26 次都集中在 6 月到 8 月。对 5 年中所有引起产流的降雨进行分析可以得出, 最大次降雨量为 83.60 mm, 最小值为 7.30 mm, 平均次降雨量为 22.91 mm, 次降雨平均历时为 3.93 h, 最大降雨历时与最小降雨历时之差达 12.92 h, 说明引起产流产沙的降雨的降雨量和降雨强度差异都很显著; 而且次降雨强度变化也较为明显, 其波动范围为 1.55~28.33 mm/h, 平均次降雨强度为 5.83 mm/h。

表 2 引起产流的次降雨特征逐年统计值

Table 2 The statistical properties of rainfall characters for each year

降雨特征 Rainfall character	年份 Year				
	1982	1983	1984	1985	1986
降雨次数 Rainfall times	2	7	2	9	8
降雨量 Rainfall amount (mm)	33.20	214.50	25.00	210.10	158.70
降雨历时总和 Total duration of rainfall (h)	15.20	32.82	4.22	38.26	19.51
次平均雨强 Average of rainfall intensity (mm/h)	2.18	6.54	5.92	5.49	8.13
次降雨平均历时 Average of rainfall duration (h)	7.60	4.69	2.11	4.25	2.44

按照 24 h 雨量在 10 mm 以下为小雨, 10.0~24.9 mm 为中雨, 25.0~49.9 mm 为大雨, 50.0~99.9 mm 为暴雨, 100.0~250.0 mm 为大暴雨, 超过 250.0 mm 为特大暴雨的分级标准^[11], 统计得到 28 次降雨里面中雨为 17 次, 占总降雨次数的 60.71%, 大雨为 5 次, 占 17.86%, 二者合计占到 78.57%, 另外小雨占 14.29%, 暴雨仅为 7.14%。说明该区域的降雨主要表现为中雨和大雨; 根据每一次的降雨记录, 获得降雨历时曲线, 可以发现, 每次降雨的降雨量主要集中在当次降雨的中前期。

2.2 次降雨对不同植被覆盖坡面的次径流量的影响

降雨是影响产流汇流的直接原因, 降雨量及其强度变化是描述一次降雨的主要指标, 其中比较常见的指标有降雨量(P)、降雨历时(T)、降雨强度(I), 本研究参考文献[6]、[7]、[12]中研究的经验, 在上述 3 项指标的基础上, 加上降雨量与降雨强度乘积 PI 、降雨量与降雨历时乘积 PT 作为描述 1 次

降雨的指标。在 SPSS17.0 中通过相关分析发现(表 3), 对于乔木林、疏林地、天然草地 3 种不同植被覆盖下且坡度相同的坡面来说, 次径流量与以上 5 个变量都呈现正相关。

对于乔木林, 其次径流量 R 仅和降雨量与降雨历时的乘积 PT 呈显著相关($P < 0.05$), 相关系数为 0.546, 这是因为乔木林的次径流量与降雨量及降雨时间的相关系数分别为 0.445 和 0.349, 相对较大; 同时降雨量与降雨时间呈极显著的正相关性($P < 0.01$), 相关系数为 0.841, 如果降雨时间延长, 则降雨量就会相应增加, 降雨量与降雨历时的乘积 PT 也就变大, 降雨量与降雨时间共同作用, 致使次径流量 R 仅和降雨量与降雨历时的乘积 PT 呈显著相关。这正反映出该区域乔木林的蓄满产流特点, 乔木林郁闭度高达 70%, 而且林下植被复杂, 对雨水截留能力大, 加上底层落叶多, 蓄水能力较强, 因而只有当乔木林地表土壤中的水分超过一定限度时, 才会产生径流。

表 3 各小区次径流量和产沙模数与降雨特征值的相关系数

Table 3 The correlation coefficients of runoff depth and sediment yield with rainfall characters

降雨特征 Rainfall character	次径流量 Runoff amount			产沙模数 Sediment yield module		
	乔木林 Forest land	天然草地 Natural grass land	疏林地 Open forest land	乔木林 Forest land	天然草地 Natural grass land	疏林地 Open forest land
P	0.445	0.635**	0.541*	0.290	0.152	0.592*
T	0.349	0.601*	0.353	0.451	0.075	0.315
I	0.103	0.189	0.124	0.169	0.355	0.004
PT	0.546*	0.588*	0.529*	0.294	0.092	0.663**
PI	0.344	0.498*	0.405	0.587*	0.613**	0.501*

注: * 和 ** 分别表示相关程度达显著($P < 0.05$)和极显著水平($P < 0.01$)。

Note: The * and ** mean significant correlation ($P < 0.05$) and highly significant correlation ($P < 0.01$).

天然草地的次径流量 R 与降雨量 P 呈极显著的相关性($P < 0.01$), 相关系数为 0.635; 同时也与降雨时间 T 和降雨量与降雨历时的乘积 PT 、降雨量与降雨强度 PI 的乘积呈显著相关性($P < 0.05$), 相关系数分别为 0.588、0.498。说明对于天然草地来说, 降雨量和降雨历时都是影响其径流量的重要因子。天然草地的覆盖度为 80%, 植被类型以荒草为主, 植被对降雨有较好的拦截功能, 减少降雨对地面的打击和冲刷, 但是其涵蓄雨水的功能与乔木林相比较差, 因而超渗产流与蓄满产流在天然草地上都表现很明显, 当降雨强度很大时, 降雨来不及入渗, 便发生超渗产流, 当降雨强度适中, 随着降雨进行, 地表蓄水能力逐渐达到饱和, 便发生蓄满产流; 因为该地区降雨以中雨和大雨为主, 降雨量多集中于当次降雨的中前期, 因此在降雨前期, 当降雨强度较大

时, 因降雨强度超过雨水入渗强度, 天然草地便开始产流, 随着降雨的进行, 降雨强度逐渐变小, 但因天然草地蓄水能力差, 弱度的降水也会产生径流, 这正体现了天然草地次径流量 R 与降雨历时 T 呈显著相关的原因。

疏林地的次径流量 R 仅与降雨量 P 及降雨量与降雨历时乘积 PT 呈显著相关($P < 0.05$), 相关系数分别为 0.541 和 0.529, 并且与降雨量的相关系数明显大于与降雨时间相关系数, 与降雨强度的相关系数最小。因此可以得知对于疏林地, 降雨量对径流量的影响最大。这个是由疏林地地表情况所造成的, 其地表植被以杨树为主, 植被类型简单, 郁闭度为 10%, 林下草地覆盖为 30%, 地表裸露严重, 其拦截降雨、抗雨水冲刷以及涵蓄雨水的能力都较差, 因此其产流特点与天然草地、乔木林相比, 多表现为蓄

满产流。

2.3 次降雨对不同植被覆盖下坡面产沙模数的影响

通过相关分析发现,在自然降雨条件下,土壤侵蚀量与次降雨量之间的关系并不密切;与平均雨强的关系相对较好,但也不够理想;与降雨量和降雨强度的乘积、降雨量和降雨历时的乘积关系较明显。通过相关分析显示,乔木林、天然草地的产沙模数 M_s 与降雨量和降雨强度乘积 PI 相关系数最高,分别呈显著 ($P < 0.05$) 和极显著相关 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.587 和 0.613; 而疏林地的产沙模数 M_s 与降雨量和降雨历时的乘积 PI 相关系数最大,呈极显著相关 ($P < 0.01$), 相关系数为 0.663。这说明对于乔木林与天然草地来说降雨量大,历时长,强度低的降雨未必产生的侵蚀量大;相反,雨量大,历时短,强度高的降雨才会产生更多的侵蚀;而对于疏林地来说,雨量大,历时长或者雨量大、强度大的降雨都能产生大量侵蚀。

有研究表明^[13, 14],乔木林抵抗降雨冲刷能力强,由林冠截留作用削减的降雨动能约占降雨总动能的 17% ~ 40%,灌木层为 44.4%,枯枝落叶层为 9% 左右,同时乔木林地枯落物的抗冲能力随其厚度增加而提高,与单位面积中的植物茎数量呈正相关。植被根系不仅能固持土壤,且腐烂根系可提高有机质含量,其细小根系、根毛穿插在土体中亦可防止土体在水中分散、破碎,增强土壤的抗蚀性;同时乔木林的有机质表土层和已分解枯枝落叶层疏松多孔,具有很强的吸收降雨动能和渗透降水的能力,由曼宁公式可知,径流速度变小,径流在坡面上流动的时间延长,径流的下渗量增大,使得地表径流量急剧下降,影响了径流冲刷能量和挟沙能量^[1]。天然草地的抗蚀保土机理与乔木林相当,通过增加地表的覆盖度,减少地表受雨滴和径流的直接溅蚀和冲刷,腐烂的荒草等有助于改善土壤结构,提高径流的入渗,从而减少地表径流,并有利于网状交错根系的固土作用,大气降水的雨滴不能直接掉落到裸土表面,从而避免了雨滴直接击溅土壤侵蚀的作用^[15],但其抗降雨冲刷能力较乔木林要差。疏林地地表植被简单,无灌草及枯枝败叶,裸露相当严重,而且多为松散沙石,抗蚀能力差,侵蚀更容易发生,且侵蚀量也较大。

2.4 径流对不同植被覆盖坡面产沙的影响

降雨,除了雨滴击溅直接起侵蚀作用外,更主要的是通过径流过程引起侵蚀;径流深不仅代表了降雨总量及其本身的影响,而且在一定程度上也反映

了降雨和径流的集中程度,并且与侵蚀量、侵蚀深度及产沙模数具有很大的相关性。相关分析显示,天然草地和疏林地的产沙模数与径流深度都呈现极显著正相关 ($P < 0.01$),通过回归分析,线性拟合得出二者的产沙模数与径流深度的线性方程(表 4)。由表 4 看出随着径流深度 H 的增加,产沙模数 M_s 也迅速增加,同时疏林地拟合线性方程斜率明显大于天然草地,说明疏林地的侵蚀状况随径流状态的变化更加显著。但是乔木林的产沙模数与径流深度的相关性显著程度不如天然草地与疏林地,相关系数仅为 0.453,拟合回归函数关系式意义不大。

表 4 产沙模数与径流深度的回归关系
Table 4 Regression relationship between sediment yield modulus and runoff depth

植被类型 Vegetation type	拟合方程 Fitted equation	R 值 Value of R
天然草地 Natural grass land	$M_s = 11.470H - 0.716$	0.709
疏林地 Open forest land	$M_s = 15.675H + 0.580$	0.675

2.5 次降雨条件下的不同植被覆盖坡面径流侵蚀综合统计分析

对乔木林、疏林地和天然草地在 28 次降雨过程中的径流侵蚀参数进行经典统计分析显示(表 5),6 项径流侵蚀特征统计参数的均值与标准差大小均表现出疏林地 > 天然草地 > 乔木林,说明疏林地对降雨产生径流与侵蚀最敏感,其次为天然草地和乔木林。同时疏林地在径流量、径流深度、径流系数、产沙量、侵蚀深度及产沙模数 6 个参数的统计值最分散,其次是天然草地,统计数值最集中的是乔木林,说明乔木林和天然草地随降雨变化,径流侵蚀变化波动不是很大,其自身稳定性较强;而疏林地因为地表植被覆盖简单,裸露严重,抗降雨打击和径流冲刷能力弱,因而稳定性差,随降雨变化波动明显。

乔木林、疏林地和天然草地的径流系数的均值依次为 8.92%、12.40% 和 28.93%,相应的降雨之后地表雨水入渗率为 91.08%、87.60% 和 81.07%;同时次降雨条件下三者平均产沙模数依次为 9.27 t/(km²·次)、37.38 t/(km²·次)和 95.15 t/(km²·次),说明相同坡度不同植被覆盖坡面的拦蓄水沙能力大小依次为乔木林 > 天然草地 > 疏林地。这对我们在冀北山区的水土保持生态建设具有重大启示。20 世纪 80 年代以来,国家和地方政府为防治水土流失,保护密云水库的水质,在其水源区开展了大规模的水土保持生态建设,这些水土保持措施在减少土

壤侵蚀的同时,对入库水量也会产生一定的影响^[16,17]。乔木林拦沙蓄水能力最高,一般都离人们的生产生活区比较远,因此在当前形势下,宜实施全面封禁,或半封禁,有计划地适度采伐;而对于植被覆盖较好的天然草地来说,不宜过分追求经济效益,开展大规模的植树造林建设,一是防止地表扰动带

来新的侵蚀,二是防止成林后过度地拦蓄消耗水资源,加剧上下游水资源矛盾,宜站在全流域角度,放弃部分经济利益,弱化由于治理损失的部分利益,可以尝试通过流域内协商,以补偿的形式换回生态效益,从而达到流域内共赢的局面。

表 5 产流产沙特征值统计分析

Table 5 The statistical analysis of characteristic values of runoff and sediment yield

小区 Plot	统计指标 Statistical index	径流量 Runoff amount (m ³)	径流深度 Runoff depth (mm)	径流系数 Runoff coefficient (%)	产沙量 Sediment yield (kg)	侵蚀深度 Erosion depth (mm)	产沙模数 Sediment yield modules [t/(km ² ·次)]
乔木林 Forest land	均值 Mean	0.0670	1.3388	8.9353	0.4648	0.0071	9.2706
	标准差 Standard Deviation	0.0704	1.4087	11.2633	0.4571	0.0070	9.1516
	极小值 Minimum	0.0070	0.1300	0.4000	0.0430	0.0010	0.8000
	极大值 Maximum	0.2760	5.5200	37.2000	1.7600	0.0270	35.2000
天然草地 Natural grass land	均值 Mean	0.1071	2.1318	12.4000	1.1878	0.0183	23.7353
	标准差 Standard Deviation	0.1096	2.2004	15.5850	1.8689	0.0288	37.3799
	极小值 Minimum	0.0080	0.1600	1.1000	0.0970	0.0020	1.9000
	极大值 Maximum	0.3720	7.4400	60.7000	7.5300	0.1160	150.6000
疏林地 Open forest land	均值 Mean	0.3026	6.0524	28.9294	4.7732	0.0735	95.4529
	标准差 Standard Deviation	0.2484	4.9659	15.6663	5.4919	0.0844	109.8394
	极小值 Minimum	0.0060	0.1300	0.6000	0.3660	0.0060	7.3000
	极大值 Maximum	0.9750	19.5000	61.0000	15.3000	0.2350	306.0000

4 结论和讨论

1) 在曹家沟小流域引起产流的降雨主要为中雨和大雨,次降雨量平均值为 22.91 mm,次降雨平均历时为 3.93 h,平均次降雨强度为 5.83 mm/h,降雨强度变化也较为明显,其波动范围为 1.55~28.33 mm/h。

2) 乔木林、天然草地、疏林地的次径流量(R)与降雨量和历时乘积(PI)呈显著相关,相关系数依次为 0.546、0.588、0.529;乔木林、疏林地的产沙模数(M_s)与降雨量和降雨强度乘积(PI)呈显著相关,相关系数为 0.587 和 0.501,而荒草地的产沙模数与其 PI 呈极显著相关,相关系数为 0.613。

3) 天然草地和疏林地的产沙模数与径流深度都呈现极显著正相关性,通过回归分析,线性拟合得二者的产沙模数 M_s [t/(km²·次)] 与径流深度 H (mm) 的线性方程,分别为 $M_s = 11.470H - 0.716$ ($R = 0.709$) 和 $M_s = 15.675H + 0.580$ ($R = 0.675$);乔木林的产沙模数与径流深度相关性不显著。

4) 乔木林、疏林地和天然草地的地表入渗率为 91.08%、87.60% 和 81.07%;同时次降雨条件下三者平均产沙模数依次为 9.27 t/(km²·次)、37.38 t/(km²·次) 和 95.15 t/(km²·次),说明相同坡度不同植被覆盖坡面的拦沙蓄水能力大小依次为乔木林>天然草地>疏林地。

参考文献:

- [1] 琚彤军,刘普灵,徐学选,等.不同次降雨条件对黄土区主要地类水沙动态过程的影响及其机理研究[J].泥沙研究,2007,(4):65-71.
- [2] 朱显谟.黄土高原水蚀的主要类型及其相关因素[J].水土保持通报,1981,1(3):1-9.
- [3] 唐克丽.黄土高原水土流失与土壤退化的研究[J].水土保持通报,1987,7(6):12-18.
- [4] 唐克丽.土壤侵蚀的研究及其展望[J].水土保持通报,1984,4(5):1-5.
- [5] 吴发启,赵晓光,刘秉正,等.黄土高原南部缓坡地降雨与侵蚀的关系[J].水土保持研究,1999,6(2):53-60.
- [6] 徐宪立,张科利,罗利芳,等.青藏公路路堤边坡产流产沙与降雨特征关系.水土保持学报,2005,19(1):22-25.

- [7] 黄志刚, 曹云, 欧阳志云, 等. 南方红壤丘陵区杜仲人工林产流产沙与降雨特征关系[J]. 生态学杂志, 2008, 27(3): 311—316.
- [8] 申震洲, 刘普灵, 谢永生, 等. 不同下垫面径流小区土壤水蚀特征试验研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 6—9.
- [9] 赵护兵, 刘国彬, 曹清玉. 黄土丘陵区不同植被类型对水土流失的影响[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 153—155.
- [10] 沈玉芳, 高明霞, 吴永红. 黄土高原不同植被类型与降水因子对土壤侵蚀的影响研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 13—17.
- [11] 袁宏伟, 刘慧, 王少丽, 等. 淮北地区降雨径流特性及影响因素[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(1): 6—8.
- [12] 蔡强国, 刘纪根, 刘前进. 岔巴沟流域次暴雨产沙统计模型[J]. 地理研究, 2004, 23(4): 433—439.
- [13] 刘向东, 赵鸿雁, 吴钦孝, 等. 森林植被垂直截留作用与水土保持[J]. 水土保持研究, 1994, (3): 13—17.
- [14] 汪有科, 吴钦孝, 赵鸿雁. 林地枯落物抗冲试验研究[J]. 水土保持研究, 1991, (2): 20—25.
- [15] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原森林植被水土保持机理研究[J]. 林业科学, 2001, 37(5): 140—144.
- [16] 李子君, 凌峰. 潮河流域水土流失治理成效及存在问题分析[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 189—192.
- [17] 李子君, 李秀彬. 水利水保措施对潮河流域年径流量的影响: 基于经验统计模型的评估[J]. 地理学报, 2008, 63(9): 958—968.

Study on the relationship between rainfall characters and runoff-sediment yield of slopes of different land use types in northern mountain area of Hebei

JIANG Qing-long¹, XIE Yong-sheng^{1, 2*}, ZHAO Ting², ZHANG Ying-long¹

(1. College of Resources and Environment, 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: A study was made in the highly fragile ecological environment with serious soil and water loss in northern mountain area of Hebei Province, which was the water source area of the cities of Beijing and Tianjin. Three runoff plots with land use types of forest, open forest and natural grassland were constructed in Caojiagou of Weichang County, and the rainfall characters and runoff and sediment yield of the three plots were analyzed. The results showed that the rainfalls which caused runoff on the plots were mainly moderate rain and heavy rain, and the average rainfall intensity was 5.83 mm/h; correlative analysis showed that there was a positive correlation between runoff and the product of rainfall and rainfall duration; the correlation coefficients between sediment yield modules and the product of rainfall and rainfall intensity of forest, open forest and natural grass land were 0.587, 0.501 and 0.613 respectively; the sediment yield modules of open forest and natural grass land showed a highly significant correlation with the runoff depth, while the forest was not. The capacity of soil and water conservation of the three slopes was in the order of forest > natural grass land > open forest.

Keywords: land use type; rainfall characters; runoff and sediment yield; northern mountain area of Hebei