伊犁河谷不同草地类型坡面水土保持效应的模拟降雨试验

仲亚婷[1]，张文太[2]，黄俊华[1]，张佩佩[2]，张少博[3]，王 飞[4]

(1. 新疆农业大学 林学与园艺学院，新疆 乌鲁木齐 830052；
2. 新疆土壤与植物生态过程实验室 新疆农业大学 草业与环境科学学院，新疆 乌鲁木齐 830052；
3. 新疆农业大学 林业研究所，新疆 乌鲁木齐 830052；4. 新疆伊犁哈萨克自治州水利局，新疆 伊宁 835000)

摘 要：[目的] 研究一定降雨条件下，伊犁河谷地区 3 个不同草地类型径流小区的减流减沙效果，以期为该区的水土保持工作提供借鉴。[方法] 采用野外人工模拟降雨的方法。[结果] (1) 几种草地类型初始产流时间的长短依次为：角果藜＞伊犁蒿＞狗牙根＞裸地；(2) 径流速率由大到小依次为：裸地＞伊犁蒿＞狗牙根＞角果藜；(3) 泥沙含量由大到小依次为：裸地＞伊犁蒿＞狗牙根＞角果藜；(4) 狗牙根减流因子的数值处于 0.21～0.58 之间，伊犁蒿的减流因子处于 0.14～0.87 之间，角果藜的减流因子则在 0.02～0.11 之间，狗牙根减沙因子的数值在 0.16～0.76 之间，角果藜的减沙因子处于 0～0.42 之间，伊犁蒿的减沙因子则在 0.42～0.88 之间。[结论] 水土保持效益最好的是角果藜，其次为狗牙根与伊犁蒿，裸地效果最差。

关键词：伊犁河谷；模拟降雨；草地类型；水土流失

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)06-0021-05 **中图分类号**：S157.2

文献参数：仲亚婷，张文太，黄俊华，等. 伊犁河谷不同草地类型坡面水土保持效应的模拟降雨试验[J]. 水土保持通报，2016，36(6)：021-025. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.004

Experimental Study on Soil and Water Conservation Effects of Different Grasslands with Simulated Rainfall in Yili River Valley

ZHONG Yating[1], ZHANG Wentai[2], HUANG Junhua[1], ZHANG Peipei[2], ZHANG Shaobo[3], WANG Fei[4]

(1. *College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang* 830052, *China*; 2. *Xinjiang Soil Plant and Ecological Processes Laboratory, Grassland and Environmental Sciences of Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang* 830052, *China*; 3. *Forestry Research Institute of Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang* 830052, *China*; 4. *Xinjiang Yili Kazak Autonomous Prefecture's Water, Yining, Xinjiang* 835000, *China*)

Abstract: [Objective] The reduction effects of runoff and sediment in 3 different grasslands runoff plots were observed under certain rainfall condition in Yili river valley, to provide references for soil and water conservation in the area. [Methods] Method of field artificial rainfall was used. [Results] (1) The occurrences of initial runoff the several grasslands ranked as: *Pod quinoa* ＞ Yili *Artemisia* ＞ Bermuda grass ＞ bare land; (2) The runoff of rate ranked as: bare land ＞ Yili *Artemisia* ＞ Bermuda grass ＞ *Pod quinoa*; (3) The sediment concentration ranked as: bare land ＞ Yili *Artemisia* ＞ Bermuda grass ＞ *Pod quinoa*; (4) The values of flow reduction factor of *Pod quinoa*, Bermuda grass and Yili *Artemisia* were 0.02～0.11, 0.21～0.58 and 0.14～0.87. The values of sediment reduction factor of Bermuda grass, *Pod quinoa* and Yili *Artemisia* were 0.16～0.76, 0～0.42 and 0.42～0.88. [Conclusion] *Pod quinoa* got the best benefit for soil and water conservation, followed by Yili *Artemisia* and Bermuda grass, bare land performed the worst.

Keywords: **Yili river valley; simulated rainfall; grassland types; soil and water loss**

新疆地区是全国水土流失较严重的地区之一。根据全国各省份水力侵蚀强度分级面积统计显示，新疆水土流失的总面积已达 8.7×10^4 km^2，其中轻度侵蚀面积为 6.4×10^4 km^2，强烈侵蚀面积为 2.5×10^3

收稿日期：2015-12-23 **修回日期**：2016-03-21
资助项目：国家科技支撑计划项目“伊犁河谷水土流失综合治理技术研发与示范”(2014BAC15B03)；新疆引进高层次人才项目
第一作者：仲亚婷(1992—)，女(汉族)，山东省济宁市人，硕士研究生，研究方向为水土流失、生态科学。E-mail：1396808759@qq.com。
通讯作者：张文太(1984—)，男(汉族)，山东省冠县人，博士，副教授，硕士生导师，主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail：zwt@xjau.edu.cn。

km²[1]。而伊犁河谷又是新疆水土流失最为严重的地区之一。伊犁河谷的水土流失面积已达3.7 km²，占新疆水土流失总面积的43%[2]。因此，在新疆这个水土保持工作相对薄弱的地区，进行水土流失的试验与研究就显得尤为重要。长期以来，国内外许多学者在植被减蚀作用方面开展了大量研究。德国土壤学家沃伦是利用野外试验小区研究植被影响的第一人，他发现植被能防止土壤侵蚀，由此揭开了人类利用林草植被措施控制水土流失的序幕[3]。侯喜禄等[4]通过径流小区试验，对比了不同沙打旺草地的水保效益。熊运阜等[5]通过野外径流小区的实测资料分析，得出了不同质量的梯田、林地、草地的蓄水保土效益及草地的覆盖度与土壤侵蚀量的关系。罗伟祥等[6]在陕西永寿县设置径流试验小区，对比研究了人工刺槐林与人工草地的水土保持特性，结论为：人工林地＞人工草地。史银志[7]则对伊宁市北山坡的土壤侵蚀特性进行过预报模型研究，通过分析数据发现，植被覆盖度越大，土壤侵蚀程度越小。王大庆[8]则对新疆天池自然保护区产流产沙情况进行过试验研究，得出径流速率与产沙量的大小为：裸地＞落叶林＞雪岭云杉。桑盛国[9]也对新疆山区流域的植被保水效果进行过探讨，发现油松林、沙棘林、云杉林和草类等植物对土壤的抗冲击性排序为：油松林＞草类＞沙棘。虽然前人的研究有一定的参考价值，但在新疆境内，尤其是伊犁地区该方面的研究成果还非常少。通过广大学者的研究还发现，采用野外模拟降雨法研究植被水保效应的较少，对不同草地类型条件下的土壤侵蚀研究较少。所以本研究通过野外模拟降雨试验，在以往研究的基础上，分析这3种不同的草地类型对产流、入渗、产沙过程的影响，以期在理论上为全面理解植被与土壤侵蚀的关系提供参考，为合理地评价3种草地类型的生态效应提供依据，同时在实践上为伊犁河谷地区草地资源的合理利用提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

伊犁河谷位于中国天山山脉西部，北、东、南3面环山，构成“三山夹两谷”的地貌轮廓，地处80°09′—84°56′E，42°14′—44°50′N。伊犁河谷气候温和湿润，属于温带大陆性气候，年平均气温10.4 ℃，年平均日照时数2 870 h，年蒸发量1 410～1 887 mm，无霜期150～179 d，年均降水量205.8～512.1 mm，山区达600 mm，是整个新疆最湿润的地区。河谷内土壤侵蚀和土地退化较为严重，主要有水力侵蚀、重力侵蚀和风力侵蚀，因此，做好此地区的水土保持工作非常关键[10]。

1.2 径流小区

野外人工模拟降雨试验于2015年8月在伊宁市巴彦岱镇水利局附近的径流小区进行，数据测量和分析工作于9月完成。试验选在铁场沟流域的巴彦岱镇内，该区域有标准径流小区16座，年均降水量为257.5 mm，年平均气温为8.4 ℃。流域位于铁厂沟流域，流域平均坡度为12°，地貌类型为低山丘陵区，土壤主要为灰钙土，土壤侵蚀多为风力与水力侵蚀[11]。该区的草地类型是多年旱生的丛生禾草与半灌木，草层平均高度为38 cm，保水性较差，易侵蚀，植被恢复难度也较大。

1.3 试验设计方法

本试验采用的便携式全自动人工模拟降雨装置QYJY-501（西安清远测控技术有限公司生产）由3种规格的喷头组合降雨，从而形成从小到大的雨强。为了能与伊犁地区的平均降雨量相符，使用最小的那个喷头来模拟降雨，通过连续调整，把雨强控制在37 mm/h。人工模拟降雨装置的降雨均匀系数＞0.8，降雨高度为2 m。在野外试验过程中，根据当地自然环境的特点，同时依据草地类型、坡度等立地条件，在山坡上设置径流小区。本研究选择4个自然小区进行人工模拟降雨试验，每个径流小区都在斜坡上，试验坡度为12°，降雨面积设定在1 m²之内。选择狗牙根（*Cynodon dactylon*）、角果藜（*Ceratocarpus arenarius*）、伊犁蒿（*Artemisia transitiensi*）作为供试植物，并和裸地进行对比。根据实地调研和资料反映的来看，所选小区里的这几种植物可以基本代表伊犁河谷区域典型的草地类型。其中狗牙根的株高为10～30 cm，对径流坡面的覆盖度为70%；角果藜株高为5～30 cm，对坡面的覆盖度为80%；伊犁蒿株高为40～80 cm，对坡面的覆盖度为60%（表1）。试验前期土壤含水量：降雨后为17%，降雨前为4%。

降雨时间定为1 h，每场降雨时间间隔为10 min。整个试验均在无风条件下进行，为防止雨滴飘浮，降雨区还须架设风障。在所有径流小区坡下都安装了管道，管道下置大型铁罐，铁罐内放有水桶。在人工降雨过程中，应注意观察其产流时间，当产流开始后，每隔4 min用事先编好号的200 ml瓶子从水桶内收集1次径流产物，一般情况采集15个样本。记录每个小区的初始产流时间，以及每4 min的产流量，直至降雨结束，用来测定径流速率与减流因子。（减流因子＝某种植被的径流速率/裸地的径流速率）。最后将采集的所有样本带回实验室进行含沙量的测定。

采用烘干法测定产沙量[12]。选用一定数量的烧杯，标好号后依次称重。将采样瓶中的样品充分摇匀，用量筒量取一定体积后全部倒入烧杯中，把采样

瓶和量筒用水冲洗干净,冲洗物也要一并倒入烧杯中。将所有烧杯放入烘箱,在 105 ℃恒温下烘干至恒重,随后将烧杯移入干燥皿中冷却至常温,进而称重。运用公式计算含沙量与减沙因子。减沙因子=某种植被的含沙量/裸地的含沙量。含沙量=(烘干后重量—烧杯重量)/样本的体积,单位为 g/ml。

表 1　径流小区基本概况

小区编号	坡度/(°)	降雨面积/m^2	植被类型	株高/cm	覆盖度/%
02	12	1	角果藜	5～30	80
05	12	1	狗牙根	10～30	70
07	12	1	伊犁蒿	40～80	60
09	12	1	无	0	0

2　结果与分析

2.1　不同的草地类型与产流时间的关系

不考虑其他外界因素的影响,产流时间越长,说明这种植物涵蓄水源、拦截降雨、固沙与保持水土的能力越强,更要对这种类型的植物进行重视[13]。角果藜的初始产流时间最长。因为是第一场降雨,风吹、架桶均有影响,加上土壤结构良好、团粒含量较高、土壤入渗速率较大,再者角果藜对径流小区的覆盖度相对较大且其发达的根系对土壤颗粒具有缠绕固结作用,所以,延缓了产流时间[14]。狗牙根的初始产流时间略大于伊犁蒿,裸地的产流时间最短(表 2)。狗牙根的枝叶稠密且光滑坚韧,匍匐茎平铺地面且扩展能力强,相对减少了降雨对径流小区的直接冲击,所以对产流的减缓作用稍大于伊犁蒿。裸地上面没有植被的覆盖,无法有效地拦截降雨,减少雨滴的击溅。足以证明一定植被的种植对保持水土、减少土壤流失有重要的作用。所以,初始产流时间的长短依次为:角果藜>伊犁蒿>狗牙根>裸地。

表 2　3 种草地类型和裸地的初始产流时间

草地类型	角果藜	狗牙根	伊犁蒿	裸地
产流时间	25′	5′04″	5′08″	3′24″

2.2　不同草地类型与径流速率的关系

角果藜的径流速率最小,随着时间的增加,变化趋于稳定;狗牙根的径流速率稍高于角果藜,且波动较小(图 1)。因为相比较而言,角果藜和狗牙根的植被覆盖度较大。对于植被覆盖度较高的地表,植被对降雨进行截流的同时,其根系也可以使得土壤孔隙度增加,使得降雨下渗增强;另一方面,地表覆盖物可以有效地缓解雨滴对土壤表面的冲击,防止了对土壤表层结构的破坏,因此,其径流速率明显变小。伊犁蒿和裸地的径流速率相对较高,且变化幅度较大。因为伊犁蒿对径流小区的覆盖度较小,覆盖度低的地表,对降雨的截留作用差,同时雨滴的打击作用也改变着地表的结构特征,使得土体结构较为密实,减少了下渗能力,使得径流速率较大[15];而裸地小区无植物含蓄水源,土壤孔隙小且不易下渗,所以径流速率明显提升。在第 16～36 min 内,伊犁蒿的径流速率高于裸地(图 1)。由于受地形及外部护栏的影响,产流时阻挡因素变小,且水渠较为平整,积水容易流出,加上风向的影响,雨降到旁边植被覆盖率低的位置上,所以地表径流量明显增大。通过图表,可以看出这几种草地类型径流速率的大小依次为:裸地>伊犁蒿>狗牙根>角果藜。最后,运用公式求其减流因子。得出角果藜减流因子的数值处于 0.02～0.11 之间,用同样方法算得狗牙根的减流因子处于 0.21～0.58 之间,伊犁蒿的减流因子则在 0.14～0.87 之间。所以,角果藜能在最大程度上减少径流,狗牙根次之,伊犁蒿最差。

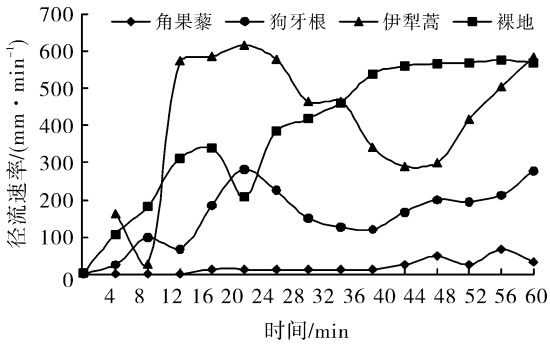

图 1　3 种不同的草地类型和裸地的径流速率

2.3　不同草地类型与含沙量的关系

角果藜产沙量最低,最高值仅为 0.001 1 g/ml,说明这种植被的减沙作用是非常有效的。因为其植被覆盖度是最大的,能够有效地拦截降雨,从而降低降雨能量,减少降雨侵蚀力。其次是狗牙根,初始含沙量相对较高,考虑到击溅情况的发生,泥沙容易被溅起,而随着时间增加,数值在逐渐变小,并回归平稳。伊犁蒿的泥沙含量在 0.001 与 0.002 g/ml 之间(图 2)。相比前面介绍的 2 种草地类型来说,含沙量较多,其一,因为其植被覆盖度较低,水滴从冠层滴落到土壤表面时,动能较大,对土壤颗粒起到打击分散的作用;其二,考虑到一定自然因素的影响,昨天刚降过雨,土壤有一定含水量,容易被侵蚀,加之水流对地表的冲刷作用较高,泥沙容易产生。含沙量最大的是裸地小区(图 2)。因为植被因子是影响土壤侵蚀的敏感性因子,没有植被的种植,无法有效拦截降雨并对降水进行再分配;没有植被根系的盘绕固结作用及

植被本身对水流的抵抗作用，径流中的泥沙量势必会提高；且植被的根系可以增加土壤的孔隙度，提高土壤的抗侵蚀能力，有利于降雨的入渗[16]。而所有的这些优势在裸地上实施人工降雨是不会发生的。足以说明不管是什么类型的植被，它都有一定的水土保持作用。

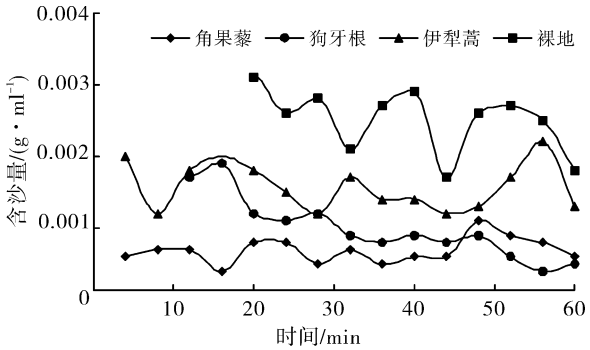

图2 3种不同的草地类型和裸地的含沙量

总之，这几种草地类型的含沙量大小依次为：裸地＞伊犁蒿＞狗牙根＞角果藜。不难发现，3种草地类型的累积产沙量呈现出随着径流量的增加而增加的趋势，相关性非常显著，且呈明显的正相关。最后，运用公式求其减沙因子：算出狗牙根减沙因子的数值在0.16～0.76之间，角果藜减沙因子的数值处于0～0.42之间，伊犁蒿的减沙因子则在0.42～0.88之间。所以，角果藜的减沙效果最好，狗牙根次之，伊犁蒿较差。

2.4 疆内有关水土流失文献的比较

众多学者的研究说明(表3)，不同草地类型的水土保持效应是不一样的。植被作为涵养水源，保持水土的影响因子，始终发挥着独特的作用。一般来说，枝叶繁茂，植被覆盖度大，根系分布较密的植被涵养水源的功能要好。所以，植被不同，水源涵养能力也不同[17]。

大量研究表明，不同的草地类型对土壤抗冲性的影响不一样。许多因素如：土壤紧实度、容重、团粒含量、渗透性、水分状况均对土壤的径流冲刷能力有重要影响。而这些因素的变化，皆受制于不同的草地类型，特别是植被根系的分布特征。因为，不同植被根系的盘绕固结作用及植物本身对水流的抵抗作用，会不同程度的增加水流运动的阻力，减弱水流对地表的冲刷能力[18]。不同的植被会不同程度的增加土壤的入渗率及孔隙度。植被不一样，对土壤理化性质的改变不同，使得土壤容重减小、渗透性能、孔隙度增加的程度也不一样。总之，草地类型不同，其固土保水作用也会不同[19]。

表3 疆内有关水土流失文献的研究结果和本研究的比较

研究地点	研究方法	土壤类型	植被类型/植被覆盖度	减流因子	减沙因子
伊宁市北山坡	数量化理论研究土壤侵蚀	灰钙土 栗钙土	乔灌木	0.43～0.85	0.54～0.76
			林地草灌	0.30～0.56	0.45～0.87
			农地草灌	0～0.34	0～0.25
新疆天池自然保护区	定位观测实验	灰褐土	70%覆盖度	0.50～0.70	0.60～0.84
			60%覆盖度	0.23～0.50	0.60～0.72
伊犁河谷	人工模拟降雨实验	灰钙土	角果藜	0.02～0.11	0～0.42
			狗牙根	0.21～0.58	0.16～0.76
			伊犁蒿	0.14～0.87	0.42～0.88

3 讨论与结论

(1) 4个径流小区的初始产流时间由大到小为：角果藜＞伊犁蒿＞狗牙根＞裸地；坡面产沙量由大到小依次为：裸地＞伊犁蒿＞狗牙根＞角果藜；径流速率由大到小依次为：裸地＞伊犁蒿＞狗牙根＞角果藜。所以，水土保持效益最好的是角果藜，其次为狗牙根与伊犁蒿，裸地效果最差。

(2) 狗牙根减流因子的数值处于0.21～0.58之间，伊犁蒿的减流因子处于0.14～0.87之间，角果藜的减流因子则在0.02～0.11之间；狗牙根减沙因子的数值在0.16～0.76之间，角果藜的减沙因子处于0～0.42之间，伊犁蒿的减沙因子则在0.42～0.88之间。因此，角果藜、狗牙根、伊犁蒿减流与减沙效益的大小排序为：角果藜＞狗牙根＞伊犁蒿。

本试验采用人工模拟降雨技术，运用多种草地类型来研究伊犁河谷草地的水保效应，非常接近野外状态，数据获取较丰富，势必可为该地区的水土保持工作提供一定的借鉴。由于试验条件以及时间的限制，尚有以下问题有待进一步探讨。

(1) 本试验只研究了1种雨强、1种土壤、1种坡度下的试验小区径流与产沙规律，为了使试验更加完善，试用性更强，还应增加多个雨强、坡度，采用多种土壤类型进行研究。

(2) 本试验是在野外模拟降雨条件下进行,普遍存在降雨时间、降雨强度难以控制等因素,与天然降雨相比还是存在一定的差异。所以,在今后的研究中,势必要使野外模拟降雨与自然降雨相结合。

[参 考 文 献]

[1] 刘宝元,郭索彦,谢云,等.中国水力侵蚀抽样调查[J].中国水土保持,2013(10):27-32.

[2] 杨龙,贺光华.伊犁河流域灌区水土流失防治对策[J].水利发展研究,2006,6(6):33-35.

[3] 哈德逊土壤保持[M].窦葆璋,译.北京:科学出版社,1975.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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] 史银志.基于人工模拟降雨的伊宁市北山坡土壤侵蚀特性试验及预报模型研究[D].新疆 乌鲁木齐:新疆农业大学,2008.

[8] 王大庆.新疆天池自然保护区产流产沙试验研究[D].新疆 石河子:石河子大学,2009.

[9] 桑盛国,张锐.新疆山区性流域植被措施水土保持探讨[J].水利科技与经济,2012,18(9):42-44,50.

[10] Zhang Junmin. Study on the soil development rule in Yili river basin[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2005,23(5):583-587.

[11] 陈正达,袁咏,张海峰.新疆伊犁哈萨克州水土流失现状及防治对策[J].水土保持应用技术,2003(2):18-20.

[12] 付艳红,时铁彬,徐岩.含沙量测量方法及比较分析[J].东北水利水电,2010,28(9):35-36.

[13] Ghidey F, Alberts E E. Plant root effects on soil erosion, splash detachment, and aggregate stabiand aggregate stability[J]. Transaction of the ASAE, 1997,40(1):129-135.

[14] 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.

[15] Liu Han, Lei Tingwu , Zhao Jun ,et al. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on-soil infiltrate ability under rainfall condition using the run off-on-out method[J]. Journal of Hydrology, 2011,396(1/2):24-32.

[16] 张清春,刘宝元,翟刚.植被与水土流失研究综述[J].水土保持研究,2002,9(4):96-101.

[17] Chen Liding, Huang Zhilin, Gong Jie, et al. The effect of land cover/vegetation on soil waterdynamic in the hilly area of the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2007,70(2):200-208.

[18] 王秋生.植被控制土壤侵蚀的数学模型及其应用[J].水土保持学报,1991,5(4):68-72.

[19] 任志远,刘焱序.西北地区植被保持土壤效应评估[J].资源科学,2013,35(3):610-617.

(上接第 20 页)

[参 考 文 献]

[1] Coppin N J, Richarids I G. Use of Vegetation in Civil Engineering[M]. CIR IA: Butterworths, 1990.

[2] 吕晶.京郊河流生态护岸水土保持效应及其健康评价[D].北京:北京林业大学,2010:2-5.

[3] 唐国滔,姚焕玫,胡湛波.生态护岸技术的研究及其发展趋势[J].水产科技情报,2010,37(4):198-199.

[4] 张文虎,魏束强.生态护坡的发展及其应用要点[J].河北农业科学,2009,13(6):76-77.

[5] 夏继红,严忠民,蒋传丰,等.河岸带生态系统综合评价指标体系研究[J].水科学进展,2005,16(3):345-346.

[6] 吴光艳,祝振华,成婧,等.人工模拟降雨特性对坡面产流产沙量的影响研究[J].节水灌溉,2011(6):44-46.

[7] 骆汉,赵廷宁,彭贤锋,等.公路边坡绿化覆盖物水土保持效果试验研究[J].农业工程学报,2013,29(5):63-70

[8] 徐向舟,张红武,董占地,等.SX2002 管网式降雨模拟装置的试验研究[J].中国水土保持,2006,26(4):8-10.

[9] 王辉,王全九,邵明安.人工降雨条件下黄土坡面养分随径流迁移试验[J].农业工程学报,2006,22(6):39-43.

[10] 傅德印.主成分分析中的统计检验问题[J].统计教育,2007(9):4-7.

[11] 侯培强,任玉芬,王效科,等,北京市城市降雨径流水质评价研究[J].环境科学,2012,33(1):72-74.

[13] 徐向舟,刘大庆,张红武,等.室内人工模拟降雨试验研究[J].北京林业大学学报,2006,28(5):53-54.

[12] 高淑琴,李京善.人工模拟降雨装置性能试验[J].河北水利科技,1996,17(1):32-33.

[14] 周林飞,郝利朋,孙中华.辽宁浑河流域不同土地类型地表径流和壤中流氮、磷流失特征[J].生态环境学报,2011,20(4):737-742.

[15] 余海龙,顾卫.高速公路边坡生态护坡效果定量评价研究[J].水土保持通报,2011,31(1):203-204.