

川渝油气田建设水土流失影响因子分析

冯迪, 银小兵, 高大明

(中国石油安全环保与技术监督研究院, 成都 610041)

摘 要:以川渝地区油气田管线建设区域为主要研究对象,确定了 9 条代表性输气管线工程,选取其中 4 条不同工程类型管线,现场设定 24 个典型监测点位,实地监测实际发生的水土流失量;利用通用方程 USLE 对水土流失量进行预测;运用 SPSS 软件对监测结果和预测结果进行拟合,同时对 USLE 中 5 个显著影响因子进行扰动性矩阵分析。结果表明:(1) USLE 在川渝地区油气田建设过程中预测水土流失量与实际水土流失量的拟合效果较好,适用于研究区。(2) 水土流失主要影响因子影响程度优先度排序为:土壤可蚀性因子>植物覆盖因子>降雨侵蚀因子>土壤保持措施因子>坡度因子。

关键词:川渝地区;油气田建设;水土保持预测;影响因子

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)01-0042-05

Analysis on Influence Factor of Soil and Water Loss for the Construction of Oil and Gas Project in Chongqing and Sichuan Area

FENG Di, YIN Xiao-bing, GAO Da-ming

(PetroChina Southwest Oil Gasfield Company Safety

Environment Technology Supervision Research Institute, Chengdu 610041, China)

Abstract: The construction region of oil-gas field pipeline and its supporting facilities, which located in Chongqing and Sichuan province was selected as the study area. Nine projects of natural gas pipeline were selected and 4 projects with different pipeline types were screened, 24 typical monitoring sites in the project were set. On-site monitoring methods was used to examine the amount of actual soil erosion, the USLE soil and water conservation forecasting model was used to predict the amount of soil erosion. After getting the experimental data, the relation of the observed data and forecast data were fitted by using SPSS software. five factors of the USLE soil and water conservation in the prediction model were selected as the significantly affecting factors. And the mobility matrix analysis on these five factors was carried out. The results showed that: (1) predicting amount of soil erosion form USLE soil and water conservation forecast model equation for the construction process of oil and gas fields in the Sichuan—Chongqing region and field monitoring of the amount of soil erosion fitted very well with the practicality of the actual construction operations; (2) the significance of the impact on soil erosion factors were in the order of soil erosion factor>vegetation cover factor and the rainfall erosion factor>erosion control factor slope factor in terms of the degree of influence priority.

Key words: Sichuan—Chongqing region; the construction of oil and gas fields; soil and water loss prediction; impact factor

油气田建设过程中由于管道开挖、阀室建设等一系列施工作业,引发了水土资源的流失^[1-2]。为治理水土流失问题,油气田建设部门相继采取了一些水土

保持措施,并取得了一定成效^[3-4]。但由于实施的措施针对性欠缺,造成治理效果不明显。因此,要合理制订治理措施,还需要分析区域内关键影响因子。然

收稿日期:2012-06-16

修回日期:2012-07-17

资助项目:中国石油西南油气田分公司 2010 年科学研究与技术开发项目计划课题“川渝地区油气田建设工程水土保持技术研究”(20100308-08)

作者简介:冯迪(1984—),女,黑龙江哈尔滨人,在读博士,工程师,主要从事水土保持与土地复垦评价。E-mail:fengdiazaz@163.com

通信作者:高大明(1968—),男,四川成都人,工程师,主要研究方向:石油工程。E-mail:gaodm@petrochina.com.cn

而,目前有关施工过程中重要因子影响程度的相关研究^[5-8]较少,导致制定治理策略时缺乏重点。为进一步深入分析目前川渝地区油气田建设造成的水土流失问题,以改进水土保持方案设计和实施过程中的不足,本研究结合川渝地区独特的地貌特点以及在油气田建设过程中管道开挖的特殊性,采用目前油气田建设过程中常用的通用土壤流失方程对水土保持流失量进行预测,结合实地监测点的监测数据进行拟合,旨在确保通用土壤流失方程在川渝地区的适用性,并确定油气田建设过程中影响因子的优先度顺序,以期能为川渝油气田建设制定合理水土保持措施提供科学依据。

1 研究区概况

本研究选取的典型管线主要位于川渝 4 个区域,分别位于川东、川西南渐变型盆山结构区,川北、川西突变型盆山结构区,川中原地隆起型盆地区,重庆地区。区域内水力侵蚀为主。通过对该区 1957—2006 年的降雨情况分析,降雨主要集中在每年 5—9 月份,其中 8 月降雨量最大,达到 289.9 mm,年平均降雨量约为 900~1 300 mm。10 a 一遇 1 h 降雨强度为 71.3 mm,20 a 一遇 1 h 降雨强度为 74.8 mm。亚热带季风性湿润气候,9 月至翌年 3 月受北方冷空气入侵,为偏北风;4 至 8 月受西南暖湿季风和亚热带高压影响,为偏南风。历年最高气温 43℃(1951 年),极端最低气温-3.1℃(1975 年)。本研究采取 5—10 月雨季进行现场监测。研究区为农耕区域、低山区及丘陵区,以次生植被为主。

2 研究方法

2.1 预测模型选取

通用水土流失方程是预测水土流失量的主要手段^[9-10],表达式如下:

$$A=RKLSCP$$

式中: A ——水土流失量(t); R ——降雨侵蚀因子; K ——土壤可蚀性因子; L ——坡长因子; S ——坡度因子; C ——植物覆盖因子; P ——土壤保持措施因子。

表 2 不同植被类型的覆盖因子值

植被	地面覆盖率/%						
	0	10	20	40	60	80	100
草 地	1	0.450	0.240	0.150	0.090	0.043	0.011
灌 木		0.400	0.220	0.140	0.085	0.040	0.011
乔灌混交		0.390	0.200	0.110	0.060	0.027	0.007
茂密森林		0.100	0.080	0.060	0.020	0.004	0.001
裸 地		—	—	—	—	—	—

2.2 侵蚀因子的提取方法

(1) 降雨侵蚀因子 R 。采用魏斯经验公式计算获得,能较准确地反映一个地区的降雨侵蚀能力^[11],公式如下:

$$R=\sum 1.732\exp(1.5\lg P_i^2/P-1.8188)$$

式中: P ——年降雨量(mm); P_i ——月降雨量(mm)。

(2) 土壤可蚀性因子 K 。土壤可蚀性因子主要与土壤本身的颗粒结构、有机质含量等有关^[12-13],参照《环境影响评价技术导则地面水环境》HJ/T 2.3-93,采用查表法进行确定,本文 K 值取值范围见表 1。

表 1 土壤可蚀性因子

土壤类型	有机质含量		
	>0.5%	2%	4%
沙 土	0.05	0.03	0.02
细沙土	0.16	0.14	0.10
特细沙土	0.42	0.36	0.28
壤质沙土	0.24	0.20	0.16
壤质细沙土	0.44	0.38	0.30
沙壤土	0.27	0.24	0.19
细沙壤土	0.35	0.30	0.24
特细沙土	0.47	0.41	0.33
壤 土	0.38	0.34	0.29
粉砂壤土	0.48	0.42	0.33
粉 砂	0.60	0.52	0.42
沙质黏土壤土	0.27	0.25	0.21
黏土壤土	0.28	0.25	0.21
粉砂黏土壤土	0.37	0.32	0.26
沙质黏土	0.14	0.13	0.12
粉砂黏土	0.25	0.23	0.19
黏 土	0.13~0.29		

(3) 地形因子 LS 采用表达式如下:

$$LS=(3.25L)^{0.5}[0.0076+0.006S+0.00076(1.11S)^2]$$

式中: L ——坡长(m); S ——坡度(°)。

(4) 植物覆盖因子 C 。参照《环境影响评价技术导则地面水环境》HJ/T 2.3-93,采用查表法进行确定,采取就近原则进行取值。具体取值方法为:如果工程破坏的是林地、牧草地取值采用表 2;如果破坏的是耕地取值采用表 3。

表 3 农田不同作物的覆盖因子值

作物类型及管理		植物覆盖因子
休闲地或烧荒地		1.00
牧草或豆科类植物		0.01
播种或收获不久		0.30~0.80
生长季节	谷类	0.10~0.30
	小麦	0.05~0.15
	棉花	0.40
	草地	0.01

(5) 土壤保持措施因子 P 。根据措施类型,选取土壤保持措施因子 P 值,取值范围见表 4。

2.3 监测点位确定及数据采集

本研究选取 9 条典型管线进行因子矩阵分析,其中挑取地形、工程类型以及地域范围最有代表性的 4 项工程进行标准小区实地监测,以监测通用土壤流失方程的准确性。监测过程中采用简易水土流失观测场法^[14-15],小区规格为 3 m×3 m,同时结合坡面沟蚀测量法,设置 0°,5°,10°,15°,20°,25°共 6 个标准坡度点位,进行水土流失量测量,监测选取项目分别为输气管线工程、天然气管网工程、集输管道工程、输气干线工程。实地监测数据见表 5;9 条典型管线的具体监测数据见表 6。

表 4 侵蚀控制措施因子

措施	土地坡度/ %	土壤保持 措施因子
无任何措施	—	1.00
等高开沟	1.1~2.0	0.60
等高开沟	2.1~7.0	0.50
等高开沟	7.1~12.0	0.60
等高开沟	12.1~18.0	0.80
等高开沟	18.1~24.0	0.90
等高开沟带状播种	1.0~2.0	0.45
等高开沟带状播种	2.1~7.0	0.40
等高开沟带状播种	7.1~12.0	0.45
等高开沟带状播种	12.1~18.0	0.60
等高开沟带状播种	18.1~24.0	0.70
梯田	1.0~2.0	0.45
梯田	2.1~7.0	0.40
梯田	7.1~12.0	0.45
梯田	12.1~18.0	0.60
梯田	18.1~24.0	0.70
顺坡直行耕作	—	1.00
粗糙不规则地面	—	1.00
平整成疏松地面	—	0.90
平整并压实成光滑地面	—	0.70
分层压实的路基地面	—	0.10
排水沟和截水沟	—	0.60
沉沙池或拦沙池	—	0.40
挡土墙	—	0.50~0.80

表 5 监测点水土流失状况统计

项目	地点	地形	土壤类型	样地	占地面积/ km ²	单位面积水土流 失量/(t·km ⁻²)	实际水土 流失量/t
1	绵阳德阳	平原区低 山高丘区	壤质细沙土细沙 壤土特细沙土	1	126.14	4.36	54997
				2	126.14	4.11	51844
				3	126.14	4.12	51970
				4	126.14	3.19	40239
				5	126.14	4.12	51970
				6	126.14	4.95	62439
2	四川重庆	低山丘陵区	壤土粉砂壤土壤 质细沙土特细沙土	1	228.18	4.88	111352
				2	228.18	4.10	93554
				3	228.18	3.26	74387
				4	228.18	4.12	94010
				5	228.18	4.56	104050
				6	228.18	3.84	87621
3	宣汉县开 江县达州	低山丘陵区	粉砂黏土砂质黏 土壤土壤土壤壤 土特细沙土	1	111.74	2.82	31511
				2	111.74	3.01	33634
				3	111.74	3.65	40785
				4	111.74	4.12	46037
				5	111.74	4.11	45925
				6	111.74	2.85	31846
4	成都德阳	平原区 低山高丘区	粉砂壤土黏土壤土 粉砂壤土黏土	1	57.15	2.99	17088
				2	57.15	4.12	23546
				3	57.15	4.15	23717
				4	57.15	4.56	26060
				5	57.15	4.09	23374
				6	57.15	4.68	26746

表 6 土壤特性统计				
项目 名称	土壤 类型	有机质 含量/%	面积/ km ²	水土流失 总量/t
1	壤质细沙土	1.50	447.17	169499.80
2	沙壤土	3.00	154.58	25927.89
3	细沙壤土	3.20	180.89	131087.40
4	特细沙土	3.40	814.52	759169.10
5	壤土	4.00	167.11	153345.60
6	粉砂壤土	2.00	126.14	65418.22
7	粉砂	3.00	228.18	316249.80
8	沙质黏土壤土	2.00	111.74	41184.79
9	沙壤土	3.20	57.15	47969.42

表 7 典型监测样地数据统计								
序号	样地	降雨侵 蚀因子	土壤可 蚀性因子	地形 因子	植物覆 盖因子	侵蚀控 制因子	单位面积预测水土 流失量/(t·km ⁻²)	预测总水土 流失量/t
1	1	150	0.42	0.98	0.21	0.40	5.19	65418.20
	2	145	0.48	1.11	0.14	0.45	4.87	61394.00
	3	159	0.30	1.20	0.20	0.50	5.72	72202.50
	4	169	0.16	1.06	0.24	0.60	4.13	52062.80
	5	138	0.37	0.99	0.24	0.50	6.07	76515.60
	6	129	0.28	1.18	0.22	0.60	5.63	70967.00
2	1	157	0.42	1.14	0.18	0.40	5.41	123499.10
	2	165	0.35	1.15	0.15	0.45	4.48	102289.50
	3	182	0.24	1.21	0.11	0.76	4.42	100821.20
	4	149	0.42	1.16	0.22	0.45	7.19	163985.80
	5	169	0.38	1.09	0.20	0.40	5.60	127780.40
	6	154	0.33	0.86	0.24	0.45	4.72	107704.60
3	1	146	0.25	1.53	0.33	0.20	3.69	41184.80
	2	143	0.26	1.46	0.15	0.40	3.26	36393.40
	3	125	0.36	1.29	0.11	0.70	4.47	49946.10
	4	165	0.23	1.36	0.24	0.40	4.95	55364.40
	5	139	0.41	1.58	0.20	0.25	4.50	50307.70
	6	142	0.19	1.29	0.15	0.60	3.13	35001.20
4	1	172	0.25	1.10	0.21	0.40	3.97	22706.80
	2	169	0.30	1.22	0.15	0.50	4.64	26512.20
	3	182	0.16	1.15	0.22	0.60	4.42	25262.70
	4	191	0.47	1.16	0.14	0.35	5.10	29160.90
	5	158	0.37	1.24	0.23	0.25	4.17	23821.30
	6	161	0.25	1.08	0.24	0.50	5.22	29811.70

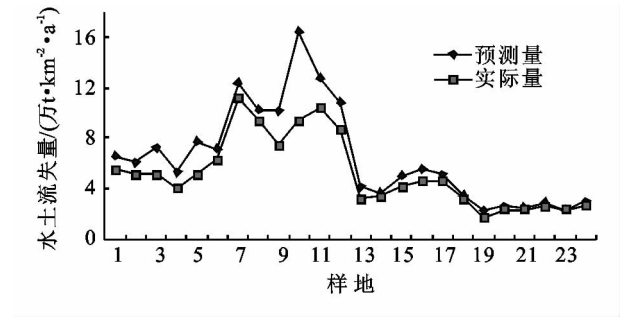


图 1 预测和实际水土流失量变化曲线

3 数据分析

3.1 通用方程精确度

表 7 为影响因子及预测出的水土流失总量。影响因子取值根据工程项目地形特点、土壤类型、降雨量等工程特点对应侵蚀因子的提取标准进行。预测总水土流失量利用通用水土流失方程计算得出。

对水土流失量的数值进行变化趋势的分析结果见图 1。通过对实地气候、土壤、地形条件的调查,选取不同的降雨量因子、地形因子和水土保持措施因子(表 7)表明,实际和预测的水土流失量之间具有很好的一致性,说明水土流失量的预测模型在川渝地区可以使用。

3.2 相关性分析

通用土壤流失方程中的: K 为土壤可蚀性因子, C 为植物覆盖因子, P 为土壤保持措施因子需要根据现场勘查及上文提供的资料调查表取得, R 为降雨侵蚀因子, LS 为地形因子需要计算取得,现将各个参数的取值及影响因子的数值进行统计,结果见表 8。

为了分析 R, K, L, S, C, P 这 6 个影响因子对水土流失量的作用,在 SPSS 软件中对它们之间的相关关系和优先度进行排序,结果见表 9。

表 8 项目区水土流失量影响因子统计

监测点 序号	降雨侵蚀 因子	土壤可 蚀性因子	坡长 因子	坡度 因子	地形 因子	覆盖率	植物覆盖 因子	土壤保持 措施因子	水土流 失量	面积/ km ²
1	133	0.38	10	15	0.50	0.30	0.30	0.5	3.79050	447.17
2	156	0.24	10	24	0.56	0.40	0.20	0.4	1.677312	154.58
3	183	0.30	10	18	0.88	0.35	0.25	0.6	7.24680	180.89
4	148	0.41	10	19	1.20	0.42	0.32	0.4	9.32045	814.52
5	153	0.34	10	22	1.40	0.34	0.21	0.6	9.17633	167.11
6	150	0.42	10	16	0.98	0.35	0.21	0.4	5.18616	126.14
7	167	0.52	10	21	1.14	0.42	0.28	0.5	13.85966	228.18
8	146	0.25	10	18	1.53	0.38	0.33	0.2	3.68577	111.74
9	172	0.25	10	19	1.22	0.30	0.40	0.4	8.39360	57.15

表 9 各变量之间相关性

项目	降雨侵 蚀因子	土壤可 蚀性因子	坡度 因子	坡长 因子	覆盖率	植物覆 盖因子	土壤保持 措施因子	水土 流失量	面积	水土流 失总量
降雨侵蚀因子(R)	1.000									
土壤可蚀性因子(K)	-0.140	1.000								
坡度因子(S)	0.305	-0.191	1.000							
坡长因子(L)	0.121	-0.013	0.110	1.000						
覆盖率	0.043	0.333	0.494	0.175	1.000					
植物覆盖因子(C)	0.058	-0.156	-0.326	0.340	-0.233	1.000				
土壤保持措施因子(P)	0.361	0.316	0.126	-0.300	-0.239	-0.409	1.000			
水土流失量	0.435	0.638	0.177	0.459	0.257	0.210	0.417	1.000		
面 积	-0.413	0.417	-0.182	-0.130	0.334	0.163	0.056	0.177	1.000	
水土流失总量	-0.150	0.547	-0.003	0.151	0.521	0.193	0.093	0.512	0.911* *	1.000

注：* * 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

由表 9 可知,水土流失总量与水土流失面积呈极显著的正相关关系,相关系数为 0.911,即在油气田工程建设过程中,扰动面积的变化会直接影响水土流失量的变化,扰动面积越大,水土流失量越大。因此在油气田建设项目施工过程中,应在规划时就严格控制扰动面积,尽量减少地面的扰动和植被的破坏。与水土流失总量的密切程度从大到小的排列顺序依次为:土壤可蚀性因子>植物覆盖因子>降雨侵蚀因子>土壤保持措施因子>坡度因子。

土壤类型对于水土流失量的影响较大^[16],土壤物理结构、沙石含量、土壤中有有机质含量的不同都会对水土流失量产生较大的影响。所以在工程建设过程中,应当重点考虑土壤的治理,可以通过改变土壤的结构,往土壤里加入石子,沙砾等颗粒物较大的材料来阻挡水土的流失,也可通过硬化土壤表面的方法使土壤的孔隙度变小,减少水土流失,还可以通过往土壤中加入有机物等改变土壤化学性质,并在表面植树种草等,有效地防止水土流失。林草覆盖率对水土流失量的影响也较为明显,在工程建设期以及建设完工后,应当重视林草的恢复和护理。

降雨量和地形因子对水土流失量的影响稍小,这是因为在工程建设过程中采取了有效的拦挡措施和

排水设施,说明只要做好水土保持措施,可以将降雨和地形的不利影响降到最低。坡度对水土流失量的影响最小,是因为工程建设都在国家规定的低于 25°坡度进行,也说明在小于 25°的地方进行生产建设活动,在做好水土保持措施的情况下,一般不会产生较大的水土流失。

4 结 论

(1) 通过对水土流失量的预测和实际流失量的比较分析,得出预测水土流失量与实际监测到的流失量拟合程度较高,具有较好的一致性,表明使用通用土壤流失方程来预测川渝地区的水土流失量是可行的。

(2) USLE 方程中各因子与水土流失总量的密切程度从大到小的排列顺序依次为:土壤可蚀性因子>植物覆盖因子>降雨侵蚀因子>土壤保持措施因子>坡度因子。

参考文献:

[1] 何焱,吴胜琦. 浅析水土保持监理在长输管道建设中的实施[J]. 油气田环境保护,2012,22(1):57-63.

分状况相近时,对径流也有削弱,低覆盖高留茬的初始产流时间最大可延后 1.36 倍,径流量可减少 23%,高覆盖低留茬的初始产流时间最大可延后 52%,径流量可减少 15%,相同秸秆用量下实行低覆盖高留茬的水土保持效应略为明显。

(3) 在秸秆用量相同的条件下,不同覆盖留茬措施的水土保持效应存在明显差异,这一方面是因为不同覆盖留茬措施在水土流失过程中作用的机理和强度不同,另一方面实施覆盖和留茬会对土壤理化环境产生影响,造成土壤含水率^[2,13-14]和玉米生长发育状况^[15-17]等的差异,对水土流失过程产生不同影响。

参考文献:

[1] 殷水清,谢云. 黄土高原降雨侵蚀力时空分布[J]. 水土保持通报,2005,25(4):29-33.

[2] 师江澜,刘建忠,吴发启. 保护性耕作研究进展与评述[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(1):205-212.

[3] 高旺盛. 论保护性耕作技术的基本原理与发展趋势[J]. 中国农业科学,2007,40(12):2702-2708.

[4] Smith J L. The significance of soil microbial biomass estimation[J]. Soil Biochemistry,1990(6):357-384.

[5] 卢庭启,何丹,王秀全,等. 我国保护性耕作的应用现状、问题及对策[J]. 耕作与栽培,2011(2):8-9.

[6] Vance E D, Brooks P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass[J]. Soil Biol. Biolchem. ,1987,19(6):703-707.

[7] 冯君,李万辉,耿玉辉,等. 作物根茬留田的保土培肥效

应[J]. 土壤通报,2006,37(5):890-893.

[8] 宋玥,张忠学. 不同耕作措施对黑土坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究,2011,18(2):14-16,25.

[9] 金轲,蔡典雄,吕军杰,等. 耕作对坡耕地水土流失和冬小麦产量的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(4):1-5,49.

[10] 唐涛,郝明德,单凤霞. 人工降雨条件下秸秆覆盖减少水土流失的效应研究[J]. 水土保持研究,2008,15(1):9-11,40.

[11] 臧英,高焕文,周建忠. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J]. 农业工程学报,2003,19(2):56-60.

[12] 袁建平,蒋定生,甘淑. 影响坡地降雨产流历时的因子分析[J]. 山地学报,1999,17(3):259-264.

[13] 鲁向晖,隋艳艳,王飞,等. 保护性耕作技术对农田环境的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):66-72.

[14] 谢瑞芝,李少昆,李小君,等. 中国保护性耕作研究分析:保护性耕作与作物生产[J]. 中国农业科学,2007,40(9):1914-1924.

[15] Wicks G A, Crutchfield D A, Burnside O C. Influence of wheat (*Triticum aeativum*) straw mulch and metolachlor on corn (*Zea mays*) growth and yield[J]. Weed Sci. ,1994,42(1):141-147.

[16] 郑和祥,郭克贞,郝万龙. 作物生长指标与土壤水分状况及地温关系研究[J]. 水土保持研究,2011,18(3):210-212,216.

[17] 黄毅,邹洪涛,虞娜,等. 东北半干旱区秋后玉米地不同处理方式对土壤水分状况的影响[J]. 水土保持研究,2006,13(2):34-36.

(上接第 46 页)

[2] 刘世全,袁大刚,向双,等. 川渝地区水土流失因素分析和治理对策[J]. 水土保持学报,2002,16(5):14-14.

[3] 黄一劲,柴宗新,刘淑珍. 油气管线工程的水土流失特点与防治要点[J]. 中国水土保持,2008(1):42-43.

[4] 程金香,马俊杰,王伯锋,等. 输油管道工程环境影响的分析[J]. 水土保持学报,2003,17(6):174-177.

[5] 唐春凌,罗方宇,主权云,等. 天然气管道工程水土流失预测及防治措施[J]. 石油与天然气化工,2004,33(4):296-299.

[6] 何鲤,刘莉萍,罗潇,等. 川西龙门山推覆构造特征及有利油气勘探区块预测[J]. 石油试验地质,2007,29(3):247-252.

[7] 韩亚丽. 南京至安庆铁路铜陵至池州段水土保持预测分析[J]. 环境科学与管理,2009,34(2):175-178.

[8] 范建荣,王念忠,陈光,等. 东北地区水土保持措施因子研究[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):75-79.

[9] 李凤,吴长文. RUSLE 侵蚀模型及其应用[J]. 水土保持研究,1997,4(1):109-112.

[10] 徐文才,甘玉华. 土壤侵蚀预报模型研究现状[J]. 科技信息,2009(21):34-35.

[11] 胡续礼. 水土流失定量监测中降雨侵蚀力因子的研究[D]. 南京:南京农业大学,2006.

[12] 张科利,彭文英,张竹梅. 日本近 50 年来土壤侵蚀及水土保持研究综述[J]. 水土保持学报,2005,19(2):61-78.

[13] 管新建,张文鸽,李勉,等. 模拟降雨侵蚀产沙量与其影响因子的灰关联分析[J]. 水土保持通报,2011,31(2):168-174.

[14] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004.

[15] 青海湖防沙工程措施区土壤水分及入渗特性初步研究[J]. 水土保持研究,2012,19(1):33-36.

[16] 李占斌,朱冰冰,李鹏. 土壤侵蚀与水土保持研究进展[J]. 土壤学报,2008,45(5):803-809.