

# 江苏省黄河故道沙土区植被措施因子试验分析

黄明逸<sup>1,2</sup>, 朱成立<sup>1</sup>, 韩以振<sup>3</sup>, 吴玉柏<sup>1,2</sup>, 金秋<sup>2</sup>, 李叶<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098; 2. 江苏省水利科学研究院, 南京 210017; 3. 丰县水利局, 江苏 丰县 221700)

**摘 要:**植被是江苏省黄河故道沙土区主要的水土保持措施,为定量评价不同植被措施所发挥的作用,通过自然降雨径流小区产流产沙观测试验,利用国内水力侵蚀抽样调查中植被措施因子计算方法,对沙土区几种常见的植被措施因子的取值和影响因素进行了研究。结果表明:(1) 试验小区的年产流产沙量表现为:裸地>撂荒地>林草地>灌草地>混种草地>人工草皮,植被对产沙的影响更大,纯草本措施更具直接拦沙作用;(2) 降雨侵蚀力和地表覆盖程度是影响植被措施因子的主要因素,降雨侵蚀力集中的月份其植被措施因子值占到了年值的 64.52%~70.83%,随植被覆盖增加,降雨的影响明显减弱,植被的保土作用逐渐增强;(3) 撂荒地、混种草、人工草皮、林草地和灌草地的植被措施因子年值(B)为 0.499,0.184,0.048,0.266,0.224,说明后 4 种植被措施拥有良好的土壤保护能力,其抑制土壤侵蚀的效益指标均在 70%以上,其中人工草皮达 90%以上。

**关键词:**黄河故道沙土区; 产流产沙; 降雨侵蚀力; 植被措施因子值; 水土保持效益

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0140-05

## Analysis of the Test of Vegetation Measure Factor in Sandy Area of Old Yellow River in Jiangsu Province

HUANG Mingyi<sup>1,2</sup>, ZHU Chengli<sup>1</sup>, HAN Yizhen<sup>3</sup>, WU Yubai<sup>1,2</sup>, JIN Qiu<sup>2</sup>, LI Ye<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Research Institute of Water Conservation, Nanjing 210017, China; 3. Fengxian Water Conservancy Bureau, Fengxian, Jiangsu 221700, China)

**Abstract:** Vegetation is the main measure to control soil and water losses in sandy area of old Yellow River in Jiangsu Province. In order to evaluate the role of different vegetation measures quantitatively, we used the calculation method by sampling program of water erosion inventory in China to research the several common vegetation measure factors in sandy area through observation of runoff and sediment yield which caused by nature rainfall in runoff plots. The results showed that: (1) the runoff and sediment yield decreased in the order: bare land>abandoned land>arbor and herb land>shrub and herb land>hybrid grass>artificial grass, the influence of vegetation on soil erosion was greater, pure herbal measures had more direct effect on sediment reduction; (2) rainfall erosion power and surface coverage were the main influencing factors of vegetation measure factor, the factor value in months of the concentrated rainfall erosion power accounted for 64.52%~70.83% of the annual value, with the increase of vegetation coverage, the influence of rainfall decreased significantly, the function of plants on protecting soil increased gradually; (3) the annual B values of abandoned land, arbor and herb land, shrub and herb land, hybrid grass and artificial grass were 0.499, 0.184, 0.048, 0.266 and 0.224, respectively, which means that arbor and herb land, shrub and herb land, hybrid grass and artificial grass had powerful ability of soil conservation, and their performance indicators of soil erosion reduction were all above 70%, the indicator of artificial grass was above 90%.

**Keywords:** sandy area of old Yellow River; runoff and sediment yield; rainfall erosion power; vegetation measure factor; water and soil conversation function

土壤侵蚀是制约我国农业生产、生态环境等建设发展的关键瓶颈之一,近几年水土保持已经成为我国基本

国策中的重点内容。对土壤流失的研究中发现<sup>[1-3]</sup>:植被的林冠层、灌木层和草本层可以拦截降雨,减小降雨

动能,有效削弱径流冲刷作用;植物根系和枯枝落叶层能够增加降雨入渗,延缓地表径流,提高土壤的抗冲抗蚀性。同时植被措施以投资少、见效快、适应性广等优点<sup>[4]</sup>在水土保持防治中得到了广泛长久的应用。

对植被在土壤流失中作用的定量分析主要以植被覆盖与管理因子 C 或生物措施因子 B 为依据,C,B 分别是通用土壤流失方程 USLE<sup>[5-6]</sup>和中国土壤流失方程 CSLE<sup>[7]</sup>中的因子,两者含义相同,意为有相应植物措施的小区的土壤流失量与同等条件下清耕休闲地的土壤流失量之比。植被措施因子是评价植被因素抵抗土壤侵蚀能力的重要指标,同时也是利用模型预测土壤流失量的关键参数<sup>[8]</sup>。国内学者已经计算了多处地区几类林草和作物的植被因子值<sup>[9-12]</sup>,但由于研究方法不统一,不同地区植被因子取值差异很大,缺乏可比性,研究成果难以推广<sup>[13]</sup>。

平原沙土区是江苏省水土流失重点治理地区,总面积达 2 万 km<sup>2</sup>,其中黄河故道沙土区面积占 1 508 km<sup>2</sup>。故道两侧的土壤砂性大,水土流失严重,导致边坡坍塌、河沟淤积,影响引、排水与航运<sup>[14]</sup>。本文选择黄河故道沙土区几种常见的边坡植被措施,通过观测自然降雨下径流试验小区的产流产沙特征,计算

该区域植被措施因子值并分析其影响因素,定量评价不同植被措施对土壤侵蚀的作用,以期为黄河故道沙土区水土保持工作提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验布 设

试验区位于江苏省徐州市丰县太行堤河右侧(116°45'E,34°73'N)。该区域属于黄泛平原,地貌形态为具有薄层沉积物掩覆的侵蚀平原,是江苏省黄河故道沙土区的典型代表区域。丰县属温暖带半湿润季风气候区,具有长江、黄河流域间过渡性气候的特征。降雨时空分布极不均匀,多年平均降水量 737.4 mm,汛期为 6—9 月份,平均降水量 510.7 mm,占全年的 69.3%。土壤类型以黄潮土为主。沙土区土壤特征表现为砂性大,结构松散,粘聚力弱,抗冲能力差。试验区原有 14 个小区,曾于 2012 年进行了自然降雨和人工模拟降雨试验。本次试验共选取 12 个小区,按照相关水土保持监测技术规程重新改建,结合几种常见的边坡植被措施,设置了 6 个处理,每个处理 2 次重复,分别为裸地、撂荒地、混种草地、人工草皮、林草地、灌草地,径流小区基本情况见表 1。

表 1 小区基本情况

小区 编号	垂直投影 面积/(m×m)	坡度/ (°)	土壤 类型	植物 措施	月均植被 盖度/%
No. 1	20×5	15	黄潮土	裸地:定期喷洒杀草剂	0
No. 2				撂荒地:野生狗牙根[ <i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers]和早熟禾( <i>Poa annua</i> L.)	23
No. 3				混种草:黑麦草( <i>Lolium perenne</i> L.)、早熟禾、高羊茅( <i>Festuca arundinace</i> )	50
No. 4				人工草皮:狗牙根草皮	81
No. 5				油桃( <i>Prunus persica</i> var. <i>nectarina</i> )15 株:种植密度 3 m×3 m;早熟禾	47
No. 6				红叶石楠( <i>Photinia x fraseri</i> )10 株、女贞( <i>Ligustrum lucidum</i> Ait.)10 株;狗牙根	45

### 1.2 计 算 方 法

(1) 植被措施因子计算方法:植被措施因子值估算参考我国水力侵蚀抽样调查<sup>[15]</sup>中生物措施因子 B 计算方法,以半月为步长,计算年降雨侵蚀力的半月分配比例,通过半月内各措施小区与裸地小区土壤流失量之比确定相应的土壤流失比率,两者加权求和后得到植被措施因子年值,计算公式如下:

$$B=\sum_{k=1}^{24}B_k\cdot\frac{R_k}{R}\tag{1}$$

式中:B 为植被措施因子年值;B<sub>k</sub> 为第 k 个半月的土壤流失比率,由相应径流小区与裸地小区的土壤侵蚀量比较得到;R<sub>k</sub> 为第 k 个半月的降雨侵蚀力值[(MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h)];R 为全年的降雨侵蚀力值[(MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h)]。

(2) 降雨侵蚀力计算方法:本研究采用章文波等<sup>[16]</sup>提出的日雨量计算模型来确定 2015 年试验所在区域降雨侵蚀力分布情况,计算公式为:

$$R_k=\alpha\sum_{i=1}^m(P_i)^\beta\tag{2}$$

$$R=\sum_{k=1}^{24}R_k\tag{3}$$

式中:P<sub>i</sub> 为第 i 天的侵蚀性日雨量(mm);m 为半月内发生侵蚀性降雨的天数;α 和 β 为经验参数,根据文献<sup>[16]</sup>的研究成果确定 α=2.530,β=1.350。

### 1.3 数 据 来 源

径流小区底部设置有集流槽和 3 个集水桶,每次降雨结束后,用钢尺测量每个集水桶内水深,乘以相应桶底面积得到每个桶的集水体积,以此统计各小区的径流量;对集流桶底部的泥沙沉积物进行搅拌,搅匀后取水样 500 ml,澄清并去除上层清液,烘干称量水样中的含沙量,由此推算整个径流小区的土壤侵蚀量;日降雨量通过雨量筒读取;小区植被盖度由试验人员目估记录。2015 年共记录 12 个小区 18 次降雨的产流产沙观测数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 降雨侵蚀特征

基于小区产流产沙观测数据,将相同处理小区的径流量和土壤侵蚀量平均后,对小区的降雨侵蚀特征进行统计,见表 2。相同降雨条件下,不同植被措施小区的年径流量和土壤侵蚀量差异较大,均表现为裸地>撂荒地>林草地>灌草地>混种草地>人工草皮。分析可知,裸地由于无植被覆盖,降雨时土壤直接暴露在雨滴的击溅下,所以产生径流最大,土壤流失最严重。撂荒地的产流产沙量次之,这是由于撂荒地小区

野生的草本植被数量较少且缺乏管理,月均植被盖度仅为 23%,覆盖程度低,蓄水拦沙能力弱。混种草、人工草皮、林草地和灌草地的产流产沙量要远小于裸地与撂荒地,可见铺植草皮、撒播草籽、栽植乔灌木等植被措施有良好的水沙调控作用。人工草皮小区的土壤侵蚀量明显小于其他植被措施,其原因可能是人工草皮地表覆盖面积大,其月均植被盖度达 81%,草皮的根系与表层土壤形成稳定结构,提高了土壤的抗蚀性能,有效拦截泥沙流失。纯草本植被措施的土壤侵蚀量要小于木草结合的植被措施,这说明草本层覆盖比林冠层和灌木层更具有直接拦沙的水土保持功效<sup>[2]</sup>。

表 2 不同植被措施小区降雨侵蚀特征

日期 (月-日)	降雨量/ mm	径流量/L						土壤侵蚀量/g					
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
03-17	18.0	60.24	47.51	33.45	41.40	38.63	36.43	526.50	345.87	168.59	100.19	217.10	187.25
03-27	13.9	40.54	29.47	26.84	22.74	20.20	25.18	332.43	203.93	101.46	46.84	101.81	123.38
04-19	21.9	48.57	53.12	35.62	20.41	40.34	35.24	361.36	348.47	129.66	38.37	204.12	164.92
04-27	8.0	34.13	29.61	0.35	0.00	0.45	0.00	266.21	192.17	1.35	0.00	3.19	0.00
05-02	13.7	50.14	36.92	27.49	27.72	28.46	32.61	452.26	219.30	127.55	0.00	157.10	147.40
05-08	12.2	36.28	30.15	16.64	6.91	23.51	20.34	292.42	170.05	72.88	0.00	135.89	86.65
05-11	15.5	62.50	51.63	37.18	11.47	40.48	36.21	391.25	265.38	112.28	0.00	144.92	137.24
06-02	21.0	36.25	30.16	12.46	7.65	15.34	19.13	226.20	158.64	42.61	0.00	65.96	65.42
06-29	9.5	27.41	16.35	0.00	0.00	0.00	0.00	168.85	86.98	0.00	0.00	0.00	0.00
07-05	59.8	1823.06	1064.60	520.15	420.34	760.21	708.24	10063.29	4109.36	1997.38	588.48	3375.33	2436.35
07-09	38.5	1279.62	960.14	493.42	310.24	520.53	508.92	6884.36	3091.65	1736.84	421.93	1863.50	1903.36
07-14	16.8	216.46	110.64	44.74	15.38	51.46	40.12	1281.44	502.31	119.01	0.00	169.82	138.82
07-16	24.0	460.50	280.46	173.24	139.46	199.16	184.61	2624.85	1138.67	388.06	0.00	545.70	575.98
07-27	63.8	2380.46	1945.62	616.37	515.27	880.79	734.74	14187.54	6887.49	1923.07	638.93	3470.31	2409.95
08-01	14.6	425.75	360.18	140.64	5.63	120.16	98.16	1830.73	1062.53	239.09	0.00	278.77	272.88
08-03	47.1	2034.19	1564.31	722.15	460.32	691.31	706.28	9723.43	3848.20	1487.63	580.00	1894.19	1751.57
08-05	8.8	162.34	124.18	42.17	1.20	40.64	38.64	535.72	295.55	61.57	0.00	86.97	83.46
09-04	12.3	80.16	40.34	0.00	0.00	0.00	0.00	280.56	93.59	0.00	0.00	0.00	0.00
年值	419.4	9258.60	6775.39	2942.91	2006.14	3471.67	3224.85	50429.39	23020.14	8709.03	2414.74	12714.68	10484.63

注:根据实测统计,2015 年 1 月、2 月、10 月、11 月、12 月无侵蚀性降雨,各小区未产生径流。

各类植被措施小区的产流产沙量虽然差别较大,但与日降雨量有密切关联,对每场降雨所产生的径流量、土壤侵蚀量与日降雨量进行相关分析(表 3),结果显示产流产沙量均与日降雨量呈极显著正相关,径流量与土壤侵蚀量随日降雨量的增加而增加。进行线性回归分析后得到表 3 所示的回归方程,可见

各措施小区产流产沙的变化对日降雨量变化的响应存在较大差异,这是由于各类措施的蓄水拦沙效果不同,产流产沙与降雨回归方程的斜率大小比较与年产流产沙量一致。产沙方程的斜率取值差异性比产流方程显著,说明植被措施的不同对土壤流失的影响更大。

表 3 产流量、产沙量与日降雨量的回归分析及相关分析

小区编号	降雨与产流			降雨与产沙		
	回归方程	R <sup>2</sup>	相关系数	回归方程	R <sup>2</sup>	相关系数
No. 1	$V=43.549P-500.328$	0.912	0.955**	$A=242.007P-2837.132$	0.933	0.966**
No. 2	$V=31.946P-367.920$	0.860	0.927**	$A=106.200P-1195.558$	0.910	0.954**
No. 3	$V=12.961P-138.507$	0.853	0.924**	$A=40.456P-458.784$	0.916	0.957**
No. 4	$V=10.091P-123.676$	0.934	0.966**	$A=13.193P-173.252$	0.916	0.957**
No. 5	$V=16.774P-197.974$	0.947	0.973**	$A=64.631P-799.530$	0.954	0.977**
No. 6	$V=15.317P-177.737$	0.928	0.964**	$A=48.985P-558.865$	0.939	0.969**

注:\*\*表示显著水平  $p<0.01$ 。

2.2 植被因子的影响因素分析

上文分析可知小区产流产沙与降雨量、植被覆盖有密切联系,研究利用小区降雨量和土壤侵蚀量的实测资料,计算出 2015 年每个半月内的降雨侵蚀力  $R$  (表 4)和措施小区的土壤流失比率  $B_k$ (表 5),以分析侵蚀性降雨和植被生长情况对植被因子的影响。

表 4 降雨侵蚀力计算结果

月份	3(2)	4(2)	5(1)	6(1)	6(2)	7(1)	7(2)	8(1)	9(1)	年值
降雨侵蚀力/ ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	213.585	205.107	263.061	154.211	52.850	1097.021	875.913	600.947	74.902	3537.599
占年值比例/%	6.04	5.80	7.44	4.36	1.49	31.01	24.76	16.99	2.12	100

注:月份括号中 1 代表上半月,2 代表下半月,下同。

由表 5 可知,不同植被措施在同一个半月内的土壤流失比率不同,基本表现为:人工草皮<混种草<灌草地<林草地<撂荒地,这表明不同植物措施对坡面土壤的保护作用不同。同一植物措施在不同月份的  $B_k$  具有明显差异,这是因为不同时期的植被生长情况、地表覆盖度和降雨侵蚀力等条件各不同,研究认为由于田间活动和天气变化的影响,导致土壤、植被、植物残体发生变化,在每半个月结束时原有的各种条件已发生实质性变化<sup>[13]</sup>。

表 5 不同植被措施小区土壤流失比率计算结果

月份	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
3(2)	0.640	0.314	0.171	0.371	0.362
4(2)	0.861	0.209	0.061	0.330	0.263
5(1)	0.576	0.275	0	0.386	0.327
6(1)	0.701	0.188	0	0.292	0.289
6(2)	0.515	0	0	0	0
7(1)	0.423	0.211	0.055	0.297	0.246
7(2)	0.477	0.137	0.038	0.239	0.178
8(1)	0.431	0.148	0.048	0.187	0.174
9(1)	0.334	0	0	0	0

注:裸地的土壤流失比率为 1。

表 6 为各小区 3—9 月份植被覆盖程度,图 1 表示不同植被措施下,  $B_k$  和降雨侵蚀力的年内分布特征。结合两者可见,5 种植被措施土壤流失比率在年内呈现整体下降趋势,说明随小区植被生长,地表覆盖度提高,各类植被的保土作用逐渐加强。3—6 月份中  $B_k$  值相对偏高,这是由于小区中植被处于生长阶段,覆盖程度低,截雨拦沙的能力较弱,这个阶段中降雨侵蚀力成为了植被保土作用的主要影响因素,  $B_k$  值变化特征与  $R$  值基本一致。进入 7 月、8 月份后,各类植被生长茂盛,各小区覆盖度逐渐达到峰值,此时降雨侵蚀力对植被保土作用的影响已经减弱,即使在降雨侵蚀力最为集中的月份,各小区呈现出较小的  $B_k$  值,这说明植物在生长到一定程度后可以有效地遏制侵蚀性降雨对坡面土壤的破坏,增加植被覆盖

从表 4 中可以看出,降雨主要集中在 6—9 月份,其降雨侵蚀力占到了整年的 80.73%,7 月、8 月为降雨侵蚀力最集中的月份,占到年降雨侵蚀力的 72.76%,其中 7 月份的降雨侵蚀力最大,占到年降雨侵蚀力的 55.77%,可见 7 月、8 月是 2015 年主要侵蚀性降雨季。

可以加强植被的水土保持作用。

表 6 小区植被覆盖程度 %

月份	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
3	0	8	34	60	24	21
4	0	10	36	72	27	24
5	0	14	44	74	35	33
6	0	17	47	79	44	43
7	0	29	56	89	58	56
8	0	33	59	90	60	60
9	0	34	60	90	62	60
均值	0	23	50	81	47	45

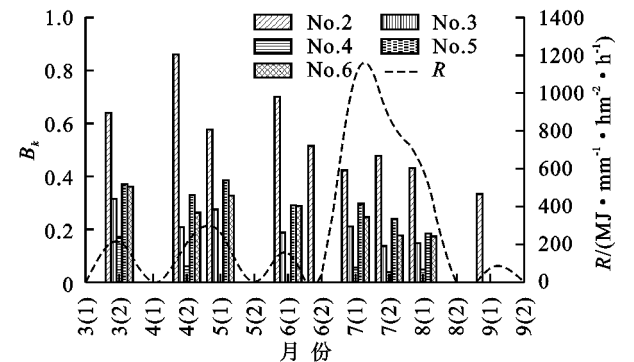


图 1 不同植被措施下的  $B_k$  和  $R$  值年内变化特征

2.3 植被因子年值及减沙效益分析

根据公式(1),利用每个半月的降雨侵蚀力和土壤流失比率计算结果得到 5 种植被措施因子年值(表 7)。各植被措施因子值在年内的分布并不均匀,降雨侵蚀力集中的 7 月、8 月,其  $B$  值占到了年值的 64.52%~70.83%,这说明 7 月、8 月份为试验区土壤流失的高峰期。5 种植被措施因子年值分别为:撂荒地 0.499,混种草 0.184,人工草皮 0.048,林草地 0.266,灌草地 0.224。可见人工草皮措施对土壤流失保护的能力最佳,是自然状态(撂荒地)的 10.396 倍,混种草、林草地、灌草地的作用次之,为自然状态的 2.712,1.876,2.228 倍。人工草皮、混种草、林草、灌草 4 类植被措施所产生的水土保持效果将是无植被保护情况下的 20.833,5.435,3.759,4.464 倍。

表 7 植被措施因子年值计算结果

月份	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
3(2)	0.038	0.019	0.010	0.022	0.022
4(2)	0.050	0.012	0.004	0.019	0.015
5(1)	0.043	0.020	0	0.029	0.024
6(1)	0.031	0.008	0	0.013	0.013
6(2)	0.008	0	0	0	0
7(1)	0.131	0.066	0.017	0.092	0.076
7(2)	0.118	0.034	0.009	0.059	0.044
8(1)	0.073	0.025	0.008	0.032	0.030
9(1)	0.007	0	0	0	0
年值	0.499	0.184	0.048	0.266	0.224

研究将年值  $B$  转化为  $(1-B)$ ，并利用试验小区的年侵蚀量计算相应的减沙效益，以这两个指标进一步定量描述不同植被措施对土壤侵蚀的抑制作用<sup>[17]</sup> (图 2)。两组数据十分接近，减沙效益整体略高，这是由于植被措施因子值在计算时考虑到侵蚀性降雨的年内分布影响。可见几种措施抑制土壤流失的效益大小依次为人工草皮、混种草、灌草地、林草地和撂荒地，其中前 4 种措施的效益均在 70% 以上，这说明人工草皮、混种草、灌草和林草 4 类植被措施在江苏省黄河故道沙水区的水土保持工作中的确可以发挥有效作用。同样人工草皮措施最显著，达到了 90% 以上，在河道边坡防护工程上可优先选择铺植狗牙根草皮措施。

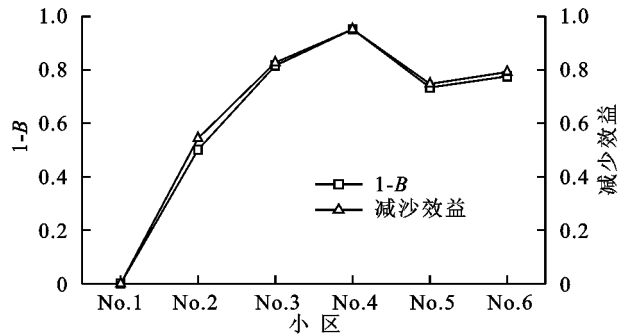


图 2 小区的 1-B 值与减沙效益

3 结论

(1) 试验小区的年径流量和土壤侵蚀量均为：裸地>撂荒地>林草地>灌草地>混种草地>人工草皮，纯草本措施更具有直接拦沙的水土保持功效；径流量、土壤侵蚀量与日降雨量之间均呈极显著线性正相关，植被对小区产沙的影响更大。

(2) 降雨侵蚀力和地表覆盖程度是影响植被措施因子的主要因素。降雨侵蚀力集中的 7 月、8 月份，其植被措施因子值占到了年  $B$  值的 64.52%~70.83%；在植被覆盖度较低时，影响各措施土壤流失比率  $B_k$  的主导因素为降雨侵蚀力，随植被措施覆盖度的增加，降雨的影响明显减弱，植被保土作用逐渐增强。

(3) 撂荒地、混种草、人工草皮、林草地和灌草地的植被措施因子年  $B$  值分别为 0.499, 0.184, 0.048, 0.266, 0.224，说明人工草皮、混种草、林草地和灌草地措施均具有良好的土壤流失保护作用，其抑制土壤侵蚀的效益指标均在 70% 以上，人工草皮措施最佳，达到 90% 以上。

参考文献：

[1] 冯强,赵文武. USLE/RUSLE 中植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 生态学报,2014,34(16):4461-4472.

[2] 于国强,李占斌,裴亮,等. 不同植被类型下坡面径流侵蚀产沙差异性[J]. 水土保持学报,2012,26(1):1-5.

[3] 贾莲莲,李占斌,李鹏,等. 黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙试验研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):1-5.

[4] 龙忠富,唐成斌,钱晓刚,等. 几种草被植物保持水土效益的研究[J]. 水土保持研究,2002,9(4):136-138.

[5] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning[M]// United States department of Agriculture. Agricultural Handbook No. 537. Washington, D C,1978.

[6] Wischmeier W H, Johnson C B, Cross B V. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites [J]. Journal of Soil & Water Conservation, 1971,26(5):189-193.

[7] 章文波. 基于 GIS 的中国土壤侵蚀预报信息系统[J]. 水土保持学报,2003,17(2):89-92.

[8] 唐寅,代数,蒋光毅,等. 重庆市坡耕地植被覆盖与管理因子 C 值计算与分析[J]. 水土保持学报,2010,24(6):53-59.

[9] 毕小刚,段淑怀,李永贵,等. 北京山区土壤流失方程探讨[J]. 中国水土保持科学,2006,4(4):6-13.

[10] 张岩,刘宝元,史培军,等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算[J]. 生态学报,2001,21(7):1050-1056.

[11] 于东升,史学正. 低丘红壤区不同土地利用方式的 C 值及可持续性评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):71-76.

[12] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报,1999,19(1):1-9.

[13] 张岩,袁建平,刘宝元. 土壤侵蚀预报模型中的植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 应用生态学报,2002,13(8):1033-1036.

[14] 金兆森,陶涛. 江苏省平原沙土地地区水土保持措施及其作用[J]. 水土保持研究,2005,12(5):119-121.

[15] 刘宝元,郭索彦,李智广,等. 中国水力侵蚀抽样调查[J]. 中国水土保持,2013(10):26-34.

[16] 章文波,谢云,刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学,2002,22(6):705-711.

[17] 梁娟珠. 南方红壤区不同植被措施坡面的水土流失特征[J]. 水土保持研究,2015,22(4):95-99.