

南京市丘陵区不同农耕措施水土保持效益

张真真¹, 单延功¹, 吴明洲², 王正诚³, 陈家栋¹, 龚畅¹

(1.江苏省水文水资源勘测局南京分局, 南京 210008; 2.南京大学 环境规划设计研究院股份公司, 南京 210008; 3.南水北调东线江苏水源有限责任公司, 南京 210008)

摘 要:利用南京市桥头小流域 2015—2017 年日降雨量、最大 30 min 降雨强度 I_{30} 数据和 4 种植被措施下径流小区的产沙量、产流量等监测数据,分析不同植被措施在 64 场不同类型侵蚀性降雨条件下的水土保持效益。结果表明:(1) 侵蚀性降雨主要集中在 4—10 月份,7 月份发生频率和降雨总量都最高。(2) 研究区侵蚀性降雨可分为 5 类,发生频率由高到低依次为:Ⅲ型(小雨量、小雨强)、Ⅴ型(中雨量、小雨强)、Ⅱ型(小雨量、大雨强)、Ⅳ型(中雨量、中雨强)、Ⅰ型(大雨量、中雨强)。(3) Ⅰ型降雨侵蚀力最大,Ⅲ型降雨侵蚀力最小,就减沙率而言,玉米地在Ⅰ型降雨条件下减沙率最好,其他类型下林地措施减沙率最好;对于减流率,花生地在Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅴ型 3 种类型的降雨条件下减流率最高,油菜地适合Ⅰ型,玉米地适合Ⅳ型。

关键词:农耕措施; 侵蚀性降雨; 水土保持效益; 南京市

中图分类号:S157.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)01-0080-05

Soil and Water Conservation Effects of Different Agricultural Measures in Mountains and Hills of Nanjing

ZHANG Zhenzhen¹, SHAN Yangong¹, WU Mingzhou²,
WANG Zhengcheng³, CHEN Jiadong¹, GONG Chang¹

(1.Nanjing Branch of Jiangsu Hydrological and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210008, China; 2.Academy of Environmental Planning and Design, Nanjing 210008, China; 3.Jiangsu Water Source Company of South-to-North Water Transfer Project, Nanjing 210008, China)

Abstract:Based on the observations of the measured daily rainfall (2015—2017) data, the maximum 30-minute rainfall intensity and slope runoff and sediment yield with four vegetation measures, the effects of different types of erosive rainfall on the soil and water conservation on loess sloping land under different vegetation coverage were systematically analyzed. The results are shown as follows. (1) Most of the erosive rainfall in the research area occurred in the period from April to October. The frequency of the total rainfall and the highest total rainfall concentrated in July. (2) Erosive rainfall can be divided into five types. The frequency of the erosive rainfall decreased in the order: Pattern Ⅲ (low precipitation, low I_{30}) > Pattern Ⅴ (moderate precipitation, low I_{30}) > Pattern Ⅱ (low precipitation, high I_{30}) > Pattern Ⅳ (moderate precipitation, moderate I_{30}) > Pattern Ⅰ (high precipitation, moderate I_{30}). (3) The erosive force of the Pattern Ⅰ is the largest and the erosive force of the Pattern Ⅲ is the lowest. The sediment reduction rate of the corn field is the highest under the types of Pattern Ⅰ, and the sediment reduction rate of the forestland is the highest under the other four rainfall types. The runoff reduction rate of the peanut field is the highest under the types of the Pattern Ⅱ, Pattern Ⅲ and Pattern Ⅴ. The runoff reduction rate of the rape field is the highest under the types of the Pattern Ⅰ. The runoff reduction rate of the corn field is the highest under the types of the Pattern Ⅳ.

Keywords: agricultural measures; erosive rainfall; soil and water conservation; Nanjing City

水土流失是我国的头号环境问题^[1],我国水土流失呈现出分布范围广、流失面积大、流失强度大、侵蚀

严重区比例高、流失成因复杂以及区域差异明显等特点^[2]。据调查,全国水土流失面积 356 万 km²,仅年

均土壤侵蚀量就达到 50 亿 $t^{[3-4]}$ 。水土流失破坏地面完整,降低土壤肥力,造成土地硬化、沙化,影响农业生产,威胁城镇安全,加剧干旱等自然灾害的发生和发展,阻碍经济社会可持续发展,对生态环境、生产、生活、经济发展都造成极大的危害^[5]。

水土流失已经和正在吞噬着人们赖以生存的宝贵水土资源,如何有效地控制水土流失日益受到社会和研究人员的广泛关注^[6]。水土保持植物措施是防治水土流失的重要手段,水土保持措施的合理配置是小流域综合治理的关键^[7]。我国在水土保持方面创造了许多颇具特色的水土保持措施,如植物措施、耕作措施和工程措施^[8]。植物的种类、盖度、种植方式都是影响水土流失的重要原因^[9-10],分析不同植被措施下的水土保持效应的对于区域水土流失防治有重要意义。

南京市低山丘陵山区水土流失面积 497.94 km^2 ,占水土流失总面积的 96.55%,中山水库—方便水库饮用水水源保护区已被列为南京市市级水土流失重点预防区^[11-12]。区域土地利用结构以耕地为主,占土地总面积的 41.87%,坡耕地是主要的生产用地。耕作措施具有良好的养分维持和水土流失防控作用,其通过增加地表覆盖度、土壤根系含量和生物多样性,提高土壤有机质、全氮、全钾、全磷等养分含量,但针对不同地区,不同措施的土壤改良,水土流失防控,增产增收作用各有差异。因此,针对南京市低山丘陵区开展不同农耕措施下的水土保持效益分析,探究适宜的耕作措施,能够为区域水土保持工作提供理论依据。

1 研究区概况

江苏省南京市桥头小流域位于江苏省南京市溧水区,东经 $119^{\circ}10'05''$,北纬 $31^{\circ}40'28''$ (图 1),桥头小流域总流域面积为 3.1 km^2 ,汇入溧水区方便水库。流域内总人口约 2 250 人,平均粮食单产约 8 250 kg/hm^2 ,农村生产总值约 22 万元。小流域周围为低山丘陵区,以东庐山为主体,以及狮子山、浮山、禁山、尖山等小型山体组成,主峰东庐山,海拔 273 m。东庐山与浮山之间丘陵地带分布着第四纪残积、洪积、冲击土。丘陵覆盖着赭红色黏土,河谷发育于第四纪,地层中沉积泥沙和淤泥。山坡上主要长着小树、杂草,山坡地开垦较为广泛,植被覆盖程度不高,每逢较强降水,冲刷剧烈,水土流失较为严重。

桥头小流域位于北亚热带季风气候区,气候温暖湿润,降雨量较丰沛,多年平均降水量 1 107.3 mm,降雨多集中在汛期。洪涝灾害主要是受梅雨、台风雨

影响,梅雨通常发生在 6—7 月,其特点是总量大,历时长,范围广;台风雨多发生在 8—9 月,其特点是雨强大,历时短,降雨范围相对较小。

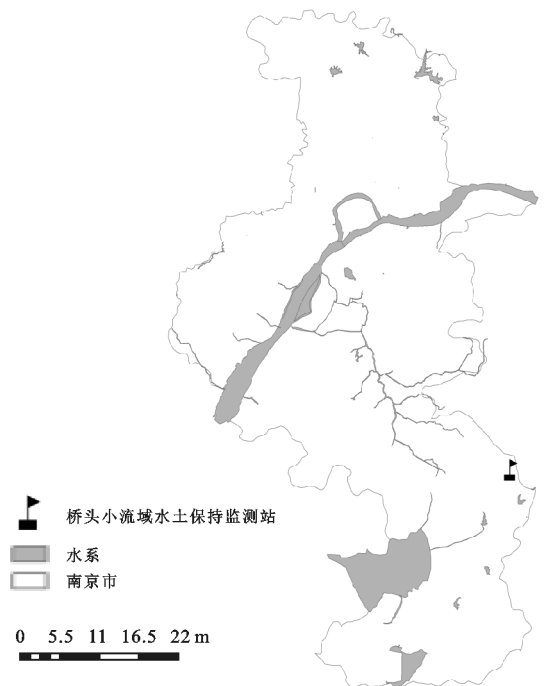


图 1 径流小区位置

2 研究方法

南京市溧水区桥头小流域径流小区为水利部水土保持监测中心组织的“全国水土保持监测网络和信息系统建设二期工程”江苏省水土保持 6 个监测站点之一,于 2011 年新建,监测点编号:FA3220614140,主要担负溧水区东部丘陵山区水土流失监测任务。

2.1 径流小区设计

径流小区位于秦淮河流域上游方便水库汇水区域,属丘陵区,小区建设在山坡农用地上(图 2),为标准水蚀监测小区,共设置 5 个坡面径流小区,规格均为:宽 5 m(与等高线平行),长 10 m(水平投影,与等高线垂直),单个小区水平投影面积为 50 m^2 ,坡度为 9° ,单个小区水平投影面积为 50 m^2 。

监测小区配套护埂、集流槽分流池、排水沟、观测道路等设施(图 3),对径流小区从 1—5 号依次进行编号,其中,1 号小区为林地,种植乔木,2 号为对照小区,荒地,3—5 号为农耕地,分别种植玉米、花生、油菜。监测小区坡度为 9° ,径流场上部及两侧设置围埂,下部设集流槽、分流池和集流池。小区底端用浆砌砖做成矩形集流槽,槽宽 0.25 m,深 0.20 m,比降 1%,集流槽出口布设分流池和集流池,分流池和集流池内径同为长 1.2 m,宽 1.0 m,分流池分流孔高度 1.0 m,达到分流高度后九孔分流,其中一孔引流至集流池。

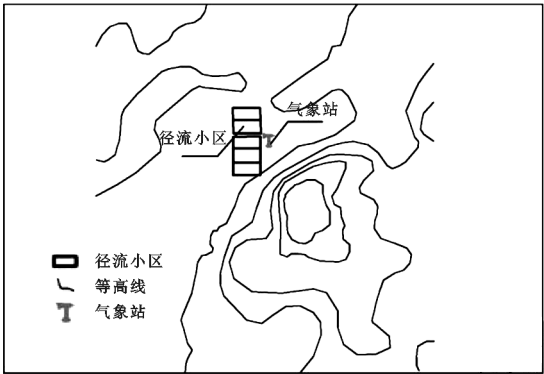


图 2 径流小区位置布局

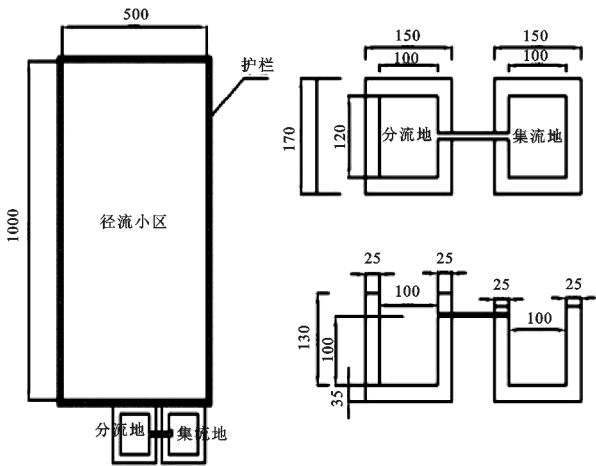


图 3 径流小区试验设计

2.2 监测方法

主要监测指标包括:降雨量、降雨历时、平均降雨强度、最大 30 min 雨强、侵蚀性降雨量、气象、土壤湿度、水位、流量、平均流量、洪峰流量、含沙量、输沙率、平均输沙率以及侵蚀量。

径流观测方法采用体积法。量水设备采用二级九孔分流法,为两个尺寸为 1.2×1×1 m 的分流池和 1.2×1×1 m 的集流池,在第一个集流池设置九孔分流孔,每孔 Φ50 mmPVC 管。其中一个孔的水进入第 2 个集流池,总容量为 1.2 m³ + 1.2 m³ × 9 = 12 m³。每个沉沙池上设置可开启式金属盖板一个。降雨等气象要素由多功能气象站监测,定期下载监测数据;土壤湿度由 TDR 土壤墒情站监测;流量监测用流速仪法监测,在断面上设立 3 条垂线,分别测量水位,流速,并计算输沙量。泥沙样品采用焙干法处理,采集的样品经沉淀、浓缩后倒入烘杯烘干、冷却后称重,计算得出垂线平均含沙量。

2.3 数据分析及处理

发生侵蚀和不发生侵蚀的临界降雨数值称为侵蚀性降雨标准^[13-15],根据侵蚀性降雨标准可以尽可能剔除不发生侵蚀的降雨,保留发生侵蚀的降雨,从而精确计算侵蚀性降雨侵蚀力,减少计算的工作量^[16-18]。本文首先对 2015—2017 年的侵蚀性降雨进

行 *k*-均值聚类分析,确定侵蚀性降雨类型和等级^[19-20],然后根据不同降雨类型分析降雨侵蚀力,并统计不同径流小区的含沙量和径流量,最后计算出措施小区相对于对照小区的减沙率和减流率,分析不同植被措施在不同等级降雨条件下的水土保持效应。

3 结果与分析

3.1 降雨特征分析

统计 2015—2017 年各月降雨总量发现,区域降水主要集中在 4—10 月份,因此,仅针对 4—10 月份发生的侵蚀性降雨事件进行分析(图 4)。

根据月统计结果,7 月份侵蚀性降雨发生频率和侵蚀性降雨总量都为最高:侵蚀性降雨事件共 12 次,占月降雨总次数的 92.3%;侵蚀性降雨总量为 765.0 mm,占月降雨总量的 98.6%。根据年统计结果,2015 年 4—10 月份共发生侵蚀性降雨事件 17 次,2016 年 4—10 月份侵蚀性降雨事件发生频率最高,共发生 26 次,2017 年 4—10 月份共发生侵蚀性降雨事件 21 次。

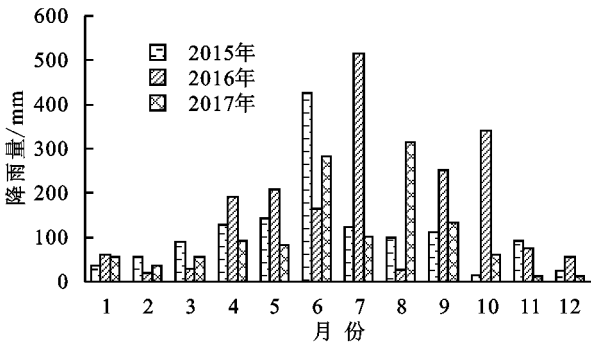


图 4 2015—2017 年月降雨总量

3.2 侵蚀性降雨的 *k*-均值聚类

为分析不同降雨条件下各类植物措施的水土保持效应,对 2015—2017 年 4—10 月份共 64 场侵蚀性降雨进行分类。本文采用 *k*-均值聚类法进行分类。*k*-均值聚类法是一种迭代型聚类算法,采用距离作为相似性指标,从而发现给定数据集中的 *k* 个类,且每个类的中心是根据类中所有值的均值得到,每个类用聚类中心来描述^[21-23]。64 场侵蚀性降雨的 *k*-均值聚类结果见表 1。

根据 *k*-均值聚类结果,侵蚀性降雨分为 5 类:Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅳ型、Ⅴ型。Ⅰ型降雨量中心值为 286.0 mm,为大雨量,Ⅳ型、Ⅴ型降雨量中心值分别为 148.8 mm,76.0 mm,为中雨量,Ⅱ型、Ⅲ型降雨量中心值分别为 46.9 mm,26.5 mm,为小雨量。Ⅱ型 *I*₃₀ 中心值为 52.07 mm/h,为大雨强,Ⅰ型、Ⅳ型 *I*₃₀ 中心值分别为 36.25 mm/h,27.37 mm/h 为中雨强,Ⅲ型、Ⅴ型 *I*₃₀ 中心值分别为 16.90 mm/h,22.39 mm/h,为小雨强。5 种降

雨类型中,Ⅲ型发生频率最高,所占比例为 64.6%,Ⅰ型发生频率最低,所占比例为 1.5%,5 种类型降雨的发生频率由高到低依次为:Ⅲ型(小雨量、小雨强)>Ⅴ型(中雨量、小雨强)>Ⅱ型(小雨量、大雨强)>Ⅳ型(中雨量、中雨强)>Ⅰ型(大雨量、中雨强)。

表 1 桥头小流域侵蚀性降雨 k -均值聚类结果

降雨类型	降雨量中心值/mm	降雨量范围/mm	I_{30} 中心值/(mm/h)	I_{30} 范围/(mm·h ⁻¹)	所占比例/%
Ⅰ	286.0	286.0	36.25	36.25	1.5
Ⅱ	46.9	31~77.5	52.07	37.26~75.52	10.8
Ⅲ	26.5	14~50.5	16.90	1.2~39.27	64.6
Ⅳ	148.8	138~172.5	27.37	3.9~58.41	7.7
Ⅴ	76.0	58.5~93	22.39	1.3~35.25	15.4

3.3 不同降雨类型下的水土保持效应分析

通过计算不同植被措施在不同降雨类型下的减沙率、减流率,分析植被措施的减沙、减流效应。减沙率、减流率分别为不同植被措施下的径流小区(1,3,4,5 号)相对于对照小区(2 号)的泥沙减少量、径流减少量占对照小区产沙量、产流量的百分比。

3.3.1 降雨侵蚀力分析 不同降雨条件下的平均降雨侵蚀力分析结果表明,Ⅰ型降雨侵蚀力最大,为 2 179.7(MJ·mm)/(hm²·h),Ⅳ型降雨侵蚀力次之,为 1 211.1(MJ·mm)/(hm²·h),Ⅱ型降雨侵蚀力 692.6(MJ·mm)/(hm²·h),Ⅴ型降雨侵蚀力为 379.4(MJ·mm)/(hm²·h),Ⅲ型降雨侵蚀力为 102.3(MJ·mm)/(hm²·h)。由此可知,5 种不同的降雨条件下,降雨强度和降雨量均较大的Ⅰ型、Ⅳ型降雨侵蚀力相比其他类型降雨均较高,Ⅰ型降雨特征为大雨量中雨强,其降雨侵蚀力最大,发生频率最高的Ⅲ型降雨特征为小雨量小雨强,其降雨侵蚀力最小。

3.3.2 减沙效应分析 不同植被措施在不同降雨类型下的减沙率计算结果见图 5。

由图 5 可知,1 号小区在Ⅳ型(中雨量、中雨强)降雨条件下的减沙率最高,为 76.72%,在Ⅰ型(大雨量、中雨强)降雨条件下的减沙率最小,在Ⅱ型(小雨量、大雨强)、Ⅲ型(小雨量、小雨强)、Ⅴ型(中雨量、小雨强)的同等降雨条件下,相比其他植被措施减沙率都是最高的,减沙率分别为 66.63%,73.90%,54.25%。3 号小区Ⅰ型降雨条件下的减沙率最高,为 32.97%,在Ⅴ型降雨条件下的减沙率最小,在Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅳ型降雨条件下减沙率仅次于林地措施。4 号、5 号小区减沙率差异不大,在Ⅰ型、Ⅳ型降雨条件下 4 号小区>5 号小区,在Ⅱ型、Ⅲ型降雨条件下 5 号小区>4 号小区,在Ⅴ型降雨条件下减沙率相同。

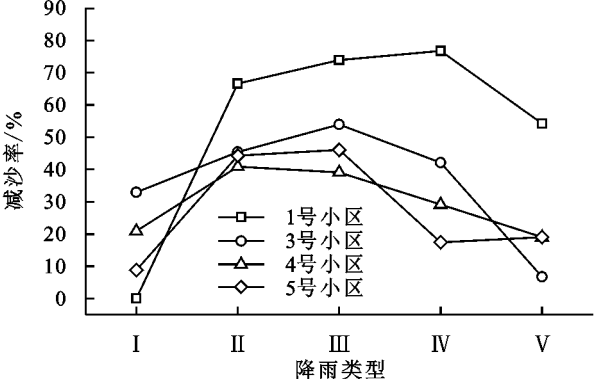
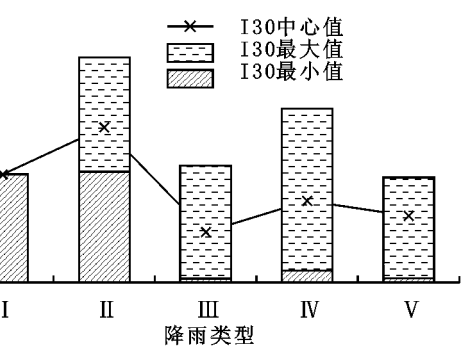
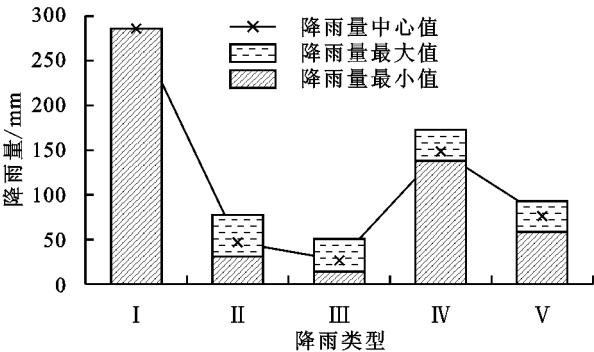


图 5 不同降雨类型下的减沙率

因此,林地措施在Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅳ型、Ⅴ型降雨条件下,减沙率都是最好的,减沙效果最为显著;玉米地在大雨量、中雨强的降雨条件下减沙率最好;花生地和油菜地减沙率相当,在大雨量、中雨强的降雨条件下优于林地,次于玉米地,在中雨量、小雨强的降雨条件下优于玉米地而次于林地。

3.3.3 减流效应分析 不同植被措施在不同降雨类型下的减流率计算结果见图 6。

根据图 6 可以看出,4 号小区在Ⅱ型(小雨量、大雨强)、Ⅲ型(小雨量、小雨强)、Ⅴ型(中雨量、小雨强)降雨条件下的减流率相比其他措施小区较高,分别为 71.61%,57.48%,36.87%,在Ⅳ型(中雨量、中雨强)降雨条件下减流率最低,5 号小区在Ⅰ型(大雨量、中雨强)降雨条件下的减流率比其他措施小区较高,分别为 54.02%,3 号小区在Ⅳ型(中雨量、中雨强)降雨条件下减流率最高,在Ⅰ型、Ⅴ型降雨条件下减流率最小。1 号小区在Ⅲ型降雨条件下减流率最高,仅次

于 4 号小区,在Ⅳ型降雨条件下减流率最低,同时也是所有植被措施中最低的,在所有降雨条件下,减流率都低于 4 号小区。

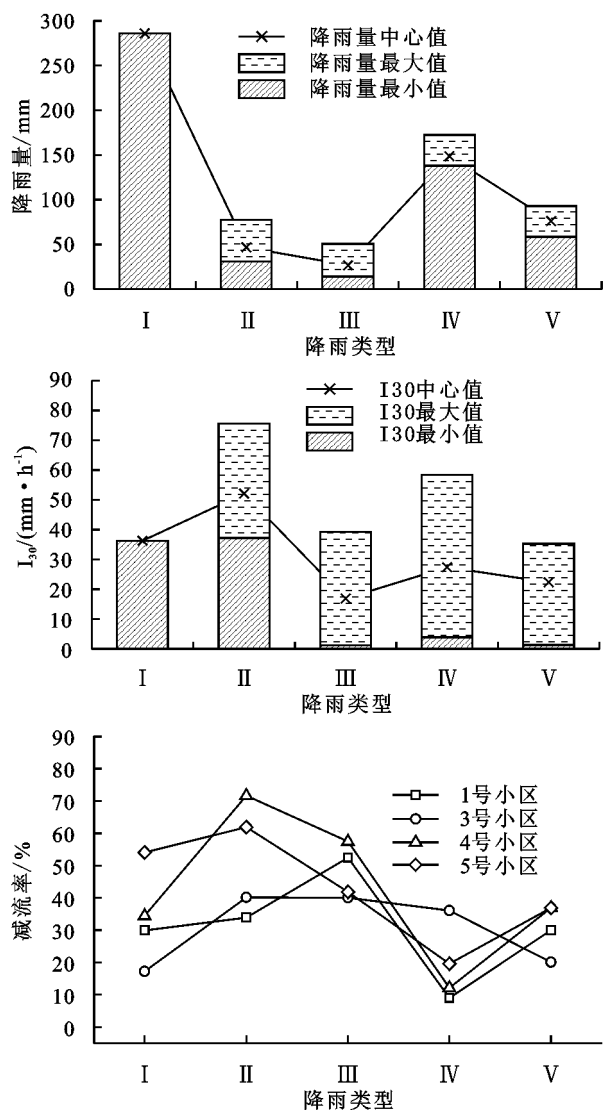


图 6 不同降雨类型下的减流率

综上,花生地在小雨量、大雨强,小雨量、小雨强及中雨量、小雨强 3 种类型的降雨条件下减流率最高,油菜地适合大雨量、中雨强,玉米地在中雨量、中雨强的降雨条件下减流率最佳。

4 结论

(1) 降水主要集中在 4—10 月份,7 月份侵蚀性降雨发生频率和侵蚀性降雨总量均最高:侵蚀性降雨事件共 12 次,占月降雨总次数的 92.3%;侵蚀性降雨总量为 765.0 mm,占月降雨总量的 98.6%。

(2) 侵蚀性降雨分为 5 类,发生频率由高到低依次为:Ⅲ型(小雨量、小雨强)、Ⅴ型(中雨量、小雨强)、Ⅱ型(小雨量、大雨强)、Ⅳ型(中雨量、中雨强)、Ⅰ型(大雨量、中雨强)。

(3) 发生频率最低的Ⅰ型降雨侵蚀力最大,为

2 179.7(MJ·mm)/(hm²·h),降雨特征为大雨量、中雨强,Ⅳ型降雨侵蚀力次之。发生频率最高的Ⅲ型降雨侵蚀力最小,为 102.3(MJ·mm)/(hm²·h),降雨特征为小雨量、小雨强。

(4) 就减沙率而言:林地措施在Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅳ型、Ⅴ型降雨条件下,减沙率均为最好,玉米地在Ⅰ型(大雨量、中雨强)的降雨条件下减沙效果最佳。就减流率而言:花生地在Ⅱ型(小雨量、大雨强)、Ⅲ型(小雨量、小雨强)及Ⅴ型(中雨量、小雨强)3 种类型的降雨条件下减流率最高,油菜地在Ⅰ型(大雨量、中雨强)降雨条件下减流率最高,玉米地在Ⅳ型(中雨量、中雨强)的降雨条件下减流率最佳。

综上可知,南京市低山丘陵区水土流失受侵蚀性降雨影响明显,发生频率最高的是Ⅲ型(小雨量、小雨强),其降雨侵蚀力为最小,发生频率最低的是Ⅰ型(大雨量、中雨强),其降雨侵蚀力为最大。

不同农耕措施的减沙作用不同:林地措施在Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅳ型、Ⅴ型降雨条件下,减沙率均最好,玉米地在Ⅰ型降雨条件下减沙效果最佳。不同农耕措施的减流作用不同:花生地在Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅴ型的降雨条件下减流率最高,油菜地在Ⅰ型降雨条件下减流率最高,玉米地在Ⅳ型降雨条件下减流率最佳。因此,若考虑低山丘陵区以Ⅲ型为主的降雨特征,则以种植乔木为主的林地和花生地为主的农耕地的减流减沙效益最佳。

不同农耕措施在不同降雨类型下的水土保持效益不同,但水土流失同时还受土壤特性、地形、人为等多种因素的影响,因此,分析综合因素影响下不同农耕措施的水土流失效益是下一步研究方向。

参考文献:

- [1] 唐克丽.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004.
- [2] 鄂竟平.中国水土流失与生态安全综合科学考察总结报告[J].中国水土保持,2008,2008(12):3-6.
- [3] 侯元香,罗德.退耕还林工程在改善西部生态环境的作用分析[J].防护林科技,2008(2):47-49.
- [4] 张倬.水土保持在防治水土流失中的作用[J].现代农业科技,2009(17):180-183.
- [5] 孙习稳,李晓妹.水土流失是我国最严重的公害[J].国土与自然资源研究,2002(4):36-38.
- [6] 才业锦.重庆市水土保持措施分类及效应评价[D].重庆:西南大学,2010:1-9.
- [7] 邓吉华,黄建胜.水土保持发展战略研究[C]//中国水土保持学会,中国水土保持学会 2003 年环境中的水土保持会议,2007.
- [8] 袁希平,雷廷武.水土保持措施及其减水减沙效益分析[J].农业工程学报,2004,20(2):296-300.

- [15] 徐颖,张皓杰,崔宁博,等.基于不同 ELM 的西北旱区参考作物蒸散量模拟模型[J].中国农村水利水电,2019(1):6-12.
- [16] 冯禹,王守光,崔宁博,等.基于遗传算法优化神经网络的参考作物蒸散量预测模型[J].资源科学,2014,36(12):2624-2630.
- [17] 贾悦,崔宁博,魏新平,等.基于反距离权重法的长江流域参考作物蒸散量算法适用性评价[J].农业工程学报,2016,32(6):130-138.
- [18] Vapink V. The nature of statistical learning theory [M]. New York:Springer-Verlag, 1999.
- [19] Liu C, Zheng D, Zhao L, et al. Gaussian fitting for carotid and radial artery pressure waveforms:comparison between normal subjects and heart failure patients[J]. Bio-Medical Materials and Engineering, 2014,24(1):271-277.
- [20] Buja A, Swayne D, Littman M, et al. Data visualization with multidimensional scaling[J]. Journal of Computational and Graphical Statistics, 2008,17(2):444-472.
- [21] 冯禹,崔宁博,龚道枝,等.基于极限学习机的参考作物蒸散量预测模型[J].农业工程学报,2015,31(S1):153-160.
- [22] 王小川,史峰,郁磊,等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2013.
- [23] Desideri U, Zepparelli F, Morettini V, et al. Comparative analysis of concentrating solar power and photovoltaic technologies:technical and environmental evaluations[J]. Appl Energy, 2013,102:765-784.
- [24] 刘小华,魏炳乾,吴立峰,等.4 种人工智能模型在江西省参考作物蒸散量计算中的适用性[J].排灌机械工程学报,38(1):102-108.
- [25] 邢立文,崔宁博,董娟.基于 LSTM 深度学习模型的华北地区参考作物蒸散量预测研究[J].水利水电技术,2019,50(4):64-72.
- [26] Lesser B, Mücke M, Gansterer W N. Effects of reduced precision on floating-point SVM classification accuracy[J]. Procedia Computer Science, 2011,4:508-517.
- [27] Xu T R, Guo Z X, Xia Y L, et al. Ferreira, Shaomin Liu, Kaicun Wang, Yunjun Yao, Xiaojuan Zhang, Changsen Zhao. Evaluation of twelve evapotranspiration products from machine learning, remote sensing and land surface models over conterminous United States[J]. Journal of Hydrology, 2019,578:1-12.
- [28] Corinne C, Liang S L. Evaluation of ten machine learning methods for estimating terrestrial evapotranspiration from remote sensing[J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2019,78:1-9.
- [29] 贾悦,崔宁博,魏新平,等.气候变化与灌溉对都江堰灌区参考作物蒸散量影响研究[J].四川大学学报:工程科学版,2016,48(S1):69-79.

(上接第 84 页)

- [9] 李锡泉,田育新,袁正科,等.湘西山地不同植被类型的水土保持效益研究[J].水土保持研究,2003,10(2):123-125.
- [10] 孙从建,侯慧新,陈伟,等.典型黄土塬区不同植物措施水土保持效应分析[J].自然资源学报,2019,34(7):1405-1406.
- [11] 梁文广,钱钧,高士佩.基于“3S”技术的南京市水土流失定量监测及分析[J].长江科学院院报,2018,35(7):51-56.
- [12] 南京市人民政府.《南京市水土保持规划 2016—2030》[Z].宁政复[2018]13 号,2018.
- [13] 王万忠.黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究 II—降雨侵蚀力指标 R 值的探讨[J].水土保持通报,1983,3(5):62-64.
- [14] 谢云,刘宝元,章文波.侵蚀性降雨标准研究[J].水土保持学报,2000,14(4):6-11.
- [15] 黄路平,毛政元,傅水龙,等.福建省长汀县降雨侵蚀力及其与水土流失的关系研究[J].自然灾害学报,2015,24(5):104-105.
- [16] 汪邦稳,方少文,宋月君,等.赣北第四纪红壤区侵蚀性降雨强度与雨量标准的确定[J].农业工程学报,2013,29(11):100-101.
- [17] 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.
- [18] 章文波,谢云,刘宝元.中国降雨侵蚀力空间变化特征[J].山地学报,2003,21(1):33-40.
- [19] 杨云斌,张建军,李梁,等.晋西黄土区降雨过程对小流域产流的影响[J].北京林业大学学报,2019,4(3):105-114.
- [20] 王万忠.黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究 III:关于侵蚀性降雨的标准问题[J].水土保持通报,1984,4(2):58-63.
- [21] 朱明.数据挖掘导论[M].北京:中国科学技术大学出版社,2010.
- [22] 廖延娜,李梦君,张婧琪. K 均值聚类—粒子群优化多目标定位算法[J].电子设计工程,2018,26(2):56-60.
- [23] 孙卓. k -均值聚类算法及其应用[J].农业网络信息,2013(7):41-44.