

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.05.016.

陈昱, 刘方平, 吴彩云, 等. 雨型和种植模式对鄱阳湖平原区农田水土流失的影响[J]. 水土保持研究, 2024, 31(5): 18-25.

Chen Yu, Liu Fangping, Wu Caiyun, et al. Effects of Rain Patterns and Planting Patterns on Soil and Water Losses in Farmland in the Poyang Lake Plain Area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(5): 18-25.

雨型和种植模式对鄱阳湖平原区农田水土流失的影响

陈昱, 刘方平, 吴彩云, 王子荣

(江西省灌溉试验中心站, 南昌 330000)

摘要: [目的] 分析不同种植模式下农田地表径流及泥沙流失对降雨雨型的响应, 探究新形势下鄱阳湖平原区农田地表径流及泥沙输移规律, 为防治农田地表水土流失提供科学依据。[方法] 利用 K-均值聚类方法将 64 场降雨进行分类, 结合径流小区产流、产沙等监测数据, 分析了 3 种植植模式下不同雨型对农田地表径流及泥沙流失的影响。[结果] (1) 以次降雨历时、次降雨量和最大 30 min 雨强为降雨特征指标, 降雨可划分为 4 种雨型(A 雨型: “中历时、小雨量、小雨强”; B 雨型: “短历时、小雨量、中雨强”; C 雨型: “长历时、大雨量、中雨强”; D 雨型: “短历时、中雨量、大雨强”)。(2) 各种种植模式径流量与降雨量的变化规律基本一致, 降雨量较大时, 产生径流量也较多; 各月份下旱作模式处理产生径流量最多。(3) 无论何种雨型, 旱作模式处理径流量和泥沙流失量均最高, 在 A、C 雨型下, 水作模式处理产流产沙量均最小, B 雨型下, 水旱轮作模式处理减少产流效果最佳。(4) 不同种植模式下径流总量和泥沙流失总量均存在显著性差异, 表现为旱作模式 > 水旱轮作模式 > 水作模式。[结论] 与旱作模式处理相比, 水作模式处理在减少水土流失方面具有一定优势, 尤其是应对 A 雨型和 C 雨型时, 减少径流和泥沙流失效果更为明显。

关键词: 雨型; 种植模式; 农田; 径流; 泥沙流失

中图分类号: S27; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)05-00018-08

Effects of Rain Patterns and Planting Patterns on Soil and Water Losses in Farmland in the Poyang Lake Plain Area

Chen Yu, Liu Fangping, Wu Caiyun, Wang Zirong

(Jiangxi Central Station of Irrigation Experiment, Nanchang 330000, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to analyze the response of farmland surface runoff and sediment loss to rainfall patterns under different planting modes, to explore the laws of farmland surface runoff and sediment transport in the Poyang Lake plain area under new circumstances, and to provide scientific basis for preventing and controlling farmland surface soil erosion. [Methods] 64 rainfall events were classified using K-means clustering method, and combined with monitoring data such as runoff and sediment production in runoff plots, the impact of surface runoff and sediment losses in different rainfall types of farmlands under three planting modes were analyzed. [Results] (1) The duration, rainfall and maximum rainfall intensity of 30 minutes were taken as the rainfall characteristic indicators. The rainfall could be divided into 4 types (type A: ‘medium duration, small rainfall and light rainfall intensity’, type B: ‘short duration, small rainfall and medium rainfall intensity’, type C: ‘long duration, heavy rainfall and medium rainfall intensity’, and type D: ‘short duration, medium rainfall and heavy rainfall intensity’). (2) The variation of runoff and rainfall of each planting mode was basically the same, and the runoff was also more when the rainfall was larger. In each month, dry farming mode produced the most runoff. (3) No matter

收稿日期: 2023-10-26

修回日期: 2023-11-11

资助项目: 江西水利科技项目“典型水旱轮作模式下高标准农田排水特性及优化方案研究”(201821ZDKT13), “节水灌溉条件下微生物肥对稻田氮素流失影响研究”(202324YBKT15)

第一作者: 陈昱(1992—), 男, 江西吉安人, 硕士, 工程师, 主要从事农田灌溉排水研究。E-mail: chenyu821@163.com

通信作者: 刘方平(1977—), 男, 江西南昌人, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事农田灌溉排水研究。E-mail: lfp1224@sina.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

what type of rainfall, the runoff and sediment losses of dry farming mode were the highest. Under the types A and C, the runoff and sediment yields of water farming mode were the lowest. Under the type B, the runoff reduction effect of water and dry rotation mode was the best. (4) There were significant differences in the total runoff and sediment loss under different planting modes, and the performance followed the order: dry farming mode > paddy upland rotation mode > paddy farming mode. [Conclusion] In conclusion, compared with the dry farming model, the water farming model has certain advantages in reducing runoff and sediment, especially when dealing with type A and type C, the effect of runoff and sediment reduction is more obvious.

Keywords: rainfall patterns; planting patterns; farmland; runoff; sediment loss

水土流失不仅会影响人类赖以生存的土地资源,造成土地生产力下降甚至丧失,还会淤积河道、湖泊、水库,污染水质影响生态平衡,已成为主要的环境问题^[1-2]。我国水土流失分布范围广、面积大,是世界上水土流失最为严重的国家之一,水土流失面积约占国土总面积的 37%^[3]。自然降雨是引起农田地表水土流失的主要驱动力^[4]。诸多学者以降雨历时、降雨量和降雨强度等为参数,将自然降雨划分为不同类型,探究降雨雨型对地表径流和土壤侵蚀的影响,研究表明不同类型的侵蚀性降雨,会造成不同程度的水土流失^[5-7]。Peng 等^[8]研究发现,大雨量、中历时、大雨强的雨型对西南岩溶区坡地土壤侵蚀贡献最大。杨任翔等^[9]探究南方次降雨类型对蔗地坡面产流产沙的影响,结果表明 B 雨型(短历时、大雨强、中雨量)是造成裸坡和顺坡蔗地坡面产流产沙的主要雨型,D 雨型(长历时、极大雨强、极大雨量)是引起横坡蔗地坡面土壤侵蚀的主要雨型。

随着经济社会的不断发展,人们日益增加的饮食需求越来越多样化,农作物种植结构也随着不断变化。从 2015 年开始,江西省双季稻种植面积逐渐减少,经济作物逐渐上升,尤其是蔬菜种植面积,呈指数型增长^[10]。由于农作物种植结构的变化,作物类型也会有所不同,研究表明,在应对自然条件下的侵蚀性降雨,不同作物的减流减沙效益也存在差异^[11-12],并且通过植被种类、植被覆盖度、种植模式及管理方式等因素影响水土流失程度^[13-15]。张春霞等^[5]研究表明,板栗花生间作适合应对长历时、大雨量、大雨强的侵蚀性降雨,在一定程度上降低降雨对棕壤坡面土壤的侵蚀,但不同植被类型对减流减沙的效果不同^[16]。侵蚀性降雨条件下不同作物种植类型对农田地表径流和泥沙流失的影响,对于鄱阳湖平原区内水土流失又有怎样的影响呢?基于此,本研究通过自然降雨的原位观测试验,选取在江西省具有代表性种植模式(旱作、水作及水旱轮作模式)为研究对象,通过雨型划分,分析 2020—2021 年的 64 场侵蚀性降雨事

件中径流及泥沙流失特征,揭示不同种植模式及雨型下农田地表水土流失特征规律,以期为深入了解新形势下鄱阳湖平原区农田地表径流及泥沙输移机制,为防治农田地表水土流失提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于江西省灌溉试验中心站(28°26'N, 116°00'E),地处鄱阳湖平原区赣抚平原灌区内,南部有少数低丘,地势南高北低,属典型的亚热带湿润季风性气候,降雨充沛,年平均气温为 17.5℃,年平均日照时间为 1 720.8 h,年平均蒸发量为 1 139 mm,多年平均降雨量为 1 636 mm。汛期为 4—9 月,汛期降雨量占年降雨量的 60%~70%。土壤类型为黄泥土稻田,土质黏重。

试验区布设 9 个相同的径流小区,呈“一字”排列,每个小区面积长 12 m,宽 5.56 m,且均配有独立的灌溉系统和径流池;为防止相邻小区间发生串流,各小区之间用防水膜包裹田埂,并在试验区外围设置 2 m 保护行。径流小区通过水管与径流池连接,径流池采用三级分流装置,分别由 3 个不锈钢圆柱形水桶组合而成,理论上单次可容纳 160 mm 降雨产生的地表径流。不锈钢水桶底部设有排水口,方便每次降雨后清理。

1.2 试验设计

试验从 2020 年 1 月开始,至 2021 年 12 月结束。试验设置 3 个处理,即 3 种植模式,分别为旱作(空心菜—小白菜—休耕)、水作(早稻—晚稻—休耕)及水旱轮作(中稻—油菜—休耕),每个处理 3 次重复。种植品种分别是:本地柳叶空心菜、德高苏州青小白菜、陆两优 996 早稻、黄花占中稻、天优华占晚稻、油丰 730 油菜。各种种植模式作物栽培时间见表 1。

1.3 样品采集与分析方法

在研究期间,每次自然降雨产生径流时,及时采集径流水样及泥沙含量。由于采用 3 级径流装置,在

每个不锈钢水桶通过米尺测量径流水深,然后搅拌均匀并使用 1 000 ml 塑料瓶采集径流水样,每次取 3 个重复,烘干泥沙重除以采样体积得到泥沙含量。样

品采集后及时排空并清理干净径流桶,为下一次降雨做准备。试验研究基地建有自动气象站,可以获取降雨量、降雨历时、降雨强度等有关数据。

表 1 不同种植模式栽培时间安排

Table 1 Cultivation time arrangement for different planting modes

模式	种植模式	栽培时间安排
旱作模式	空心菜—小白菜—休耕	4 月移栽空心菜,10 月结束,11 月播种小白菜,2 月采收后休耕
水作模式	早稻—晚稻—休耕	4 月底移栽早稻,7 月移栽晚稻,10 月收割后休耕
水旱轮作模式	中稻—油菜—休耕	6 月直播中稻,10 月收割;11 月直播油菜,5 月收获后休耕

1.4 数据分析

(1) 径流量:通过公式计算产流量

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{h_i \times s}{S} \quad (1)$$

式中: Q 为径流量(mm); h_i 为第 i 次径流水深(mm); s 为径流桶底面积(m^2); S 为径流小区面积(m^2)。

(2) 泥沙量:通过公式计算泥沙流失量

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{10 \times v_i \times h_i \times s}{S} \quad (2)$$

式中: W 为泥沙流失量(kg/hm^2); v_i 为第 i 次径流泥沙含量(kg/m^3); h_i 为第 i 次径流水深(mm); s 为径流桶底面积(m^2); S 为径流小区面积(m^2)。

(3) 降雨雨型划分:以试验径流小区中有产流产沙现象发生作为侵蚀性降雨依据,在 2020—2021 年 3—8 月实测降雨资料中筛选出 64 场完整降雨资料。选取次降雨历时、降雨量和最大 30 min 雨强为降雨特征指标,进行 K-均值聚类分析,各降雨类型的特征指标在方差分析上存在显著差异($p < 0.05$),则认为分类结果具有合理性^[17],对于雨型的分类方法与 Peng 等^[8]、Feng 等^[15]的研究方法一致。

(4) 采用单因素方差分析法,基于新复极差法(Duncan)开展多重比较,分析不同种植模式、降雨类型下的径流量和泥沙量之间差异。数据分析及图表制作使用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 20.0 统计软件完成。

2 结果与分析

2.1 降雨分布特征及产流降雨统计

2020 年研究区总降雨量为 1 713.4 mm,2021 年降雨量有所减少,为 1 483.9 mm,每月降雨分布特征见表 2。从研究区每月降雨分布情况来看,降雨主要集中在 3—8 月,因此选择该段时期进行研究。2020 年 3—8 月降雨量为 1 192.2 mm,约占全年总降雨量的 69.58%,其中 7 月份降雨量最大,约占全年总降雨量的 21.92%;降雨次数最多月份为 6 月,共发生 11 次降雨事件,占全年降雨次数的 21.25%,其中侵蚀性降雨发生

10 次。产流降雨量最大月份出现在 7 月,为 370.4 mm,该月降雨产流率达 98.64%。3—8 月侵蚀性降雨量为 1 079.7 mm,侵蚀性降雨次数占期间降雨次数的 77.78%,占全年侵蚀性降雨次数则为 67.92%;期间降雨产流率为 90.56%,而全年降雨产流率为 82.34%,进一步证明研究期间降雨发生径流侵蚀较多。

2021 年 3—8 月降雨量约占全年总降雨量的 91.19%,其中 5 月份降雨量最大,为 383.9 mm,约占全年总降雨量的 25.87%;其次是 6 月份,约占全年总降雨量的 23.98%。降雨次数最多月份分别为 3 月和 5 月,均发生 10 次降雨事件,9 次侵蚀性降雨,共占全年侵蚀性降雨次数的 46.15%;产流降雨量最大出现在 5 月份,为 354.6 mm,降雨产流率最大出现在 6 月份,为 98.90%。在 1—2 月和 9—12 月期间,发生降雨 13 次,侵蚀性降雨次数仅有 3 次,而 3—8 月产流降雨量为 1 252.8 mm,降雨产流率为 92.58%,全年降雨产流率为 90.57%。由此可知,研究期间 3—8 月是发生侵蚀性降雨的主要月份,且降雨产流率较高。

2.2 降雨类型分类及雨型特征

对研究期间 2020—2021 年的 64 次降雨事件以次降雨历时、降雨量、最大 30 min 雨强为分类变量进行 k-均值聚类分析,将各降雨事件划分为 4 种雨型,其特征可以描述为:A 雨型中历时(0.5~7.5 h)、小雨量(5.9~40.7 mm)、小雨强(3.4~28.7 mm/h)、高频次(27 次);B 雨型短历时(0.4~2.4 h)、小雨量(13.3~46.5 mm)、中雨强(32.9~64.5 mm/h)、中频次(19 次);C 雨型长历时(2.1~9.5 h)、大雨量(54.7~98.4 mm)、中雨强(23.7~53.7 mm/h)、低频次(8 次);D 雨型短历时(0.8~2.7 h)、中雨量(38.1~64.5 mm)、大雨强(54.8~80.3 mm/h)、低频次(10 次),具体见表 3。由降雨发生次数可知,A 雨型是当地发生最频繁的侵蚀性降雨类型,约占总降雨次数的 42.19%;B 雨型降雨历时虽然最短,但次降雨强度较大,最大 30 min 雨强是 A 雨型的 3.2 倍;C 雨型虽然仅占总降雨次数的 12.5%,其降雨量却是 A 雨型的 3.7 倍;D 雨型约占总降雨次数的 15.63%,其最大 30 min 雨强是

A 雨型的 4.5 倍。各雨型平均径流系数排序为:C 雨型>D 雨型>B 雨型>A 雨型。这表明,“中历时、小雨量、小雨强”的 A 雨型所引起的产流产沙现象最为频繁,而“长历时、大雨量、中雨强”的 C 雨型和“短历时、中雨量、大雨强”的 D 雨型虽然降雨次数较小,但却具有最强的降雨侵蚀力。

表 2 降雨分布特征及产流降雨统计

Table 2 Rainfall distribution characteristics and runoff rainfall statistics															
年份	指标	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合计(3—8 月)	全年
2020	降雨量/mm	150.5	106.5	128.6	72.5	220.4	320.4	375.5	74.8	155.4	34.4	62.9	11.5	1192.2	1713.4
	降雨量占全年/%	8.78	6.22	7.51	4.23	12.86	18.70	21.92	4.37	9.07	2.01	3.67	0.67	69.58	100.00
	降雨次数/次	3	4	5	4	8	11	6	2	5	2	2	1	36	53
	侵蚀性降雨次数/次	1	2	3	3	6	10	5	1	3	1	1	0	28	36
	产流降雨量/mm	99.0	34.4	96.3	65.1	188.7	312.7	370.4	46.5	124.1	24.0	49.6	0	1079.7	1410.8
	降雨产流率/%	65.78	32.30	74.88	89.79	85.62	97.60	98.64	62.17	79.86	69.77	78.86	0	90.56	82.34
2021	降雨量/mm	4.3	60.5	189.7	109.3	383.9	355.9	142.7	171.7	0.0	13.5	47.6	4.8	1353.2	1483.9
	降雨量占全年/%	0.29	4.08	12.78	7.37	25.87	23.98	9.62	11.57	0.00	0.91	3.21	0.32	91.19	100.00
	降雨次数/次	1	3	10	5	10	7	4	7	0	3	4	2	43	56
	侵蚀性降雨次数/次	0	2	9	3	9	6	3	6	0	0	1	0	36	39
	产流降雨量/mm	0	53.4	157.7	88.8	354.6	352.0	137.6	162.1	0	0	37.8	0	1252.8	1344.0
	降雨产流率/%	0	88.30	83.13	81.24	92.37	98.90	96.43	94.41	0	0	79.40	0	92.58	90.57

表 3 不同雨型下降雨特征

Table 3 Rainfall characteristics under different rain patterns									
降雨类型	降雨历时/h	降雨量/mm	最大 30 min 雨强/(mm·h ⁻¹)	次降雨历时/h	次降雨量/mm	次降雨强度/(mm·h ⁻¹)	次数/次	占总次数的比例/%	平均径流系数
A	3.25b	20.66c	14.40c	0.5~7.5	5.9~40.7	3.4~28.7	27	42.19	0.42
B	0.86c	25.34c	45.52b	0.4~2.4	13.3~46.5	32.9~64.5	19	29.69	0.53
C	5.01a	77.20a	40.35b	2.1~9.5	54.7~98.4	23.7~53.7	8	12.50	0.74
D	1.35c	50.26b	64.19a	0.8~2.7	38.1~64.5	54.8~80.3	10	15.63	0.59

注:A 雨型为“中历时、小雨量、小雨强”;B 雨型为“短历时、小雨量、中雨强”;C 雨型为“长历时、大雨量、中雨强”;D 雨型为“短历时、中雨量、大雨强”。表中 a,b,c 等小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$),下同。

2.3 不同种植模式下产流降雨量和径流量月份变化特征

如图 1 所示,对不同种植模式下各月份产流降雨量和径流量进行分析。由图 1A 可知,2020 年降雨量最大月份出现在 7 月,为 370.4 mm,各种种植模式处理径流量最大时期也是在 7 月份。降雨量和径流量主要分布在 6 月和 7 月,其降雨量占整个研究期(3—8 月)的 63.27%,旱作模式、水作模式及水旱轮作模式处理径流量分别占其整个研究期的 73.49%,85.05%和 73.84%;此时 3 种植模式径流量大小排序为旱作模式>水作模式>水旱轮作模式。而在 3 月、4 月、5 月及 8 月,以水作模式径流量最小,最大仍是旱作模式。由此说明,旱作模式最易产生径流量,在降雨量较小时,水作模式较难产生径流量。由图 1B 可知,2021 年降雨量较大的月份出现在 5 月和 6 月,分别为 354.6 mm 和 352.0 mm,分别占整个研究期的 28.30%和 28.10%;各种种植模式径流量也主要发生在 5—6 月,此期间旱作模式、水作模式及水旱轮作模式处理分别占其整个研究期的 59.76%,73.63%和

56.70%。除 6 月之外,3 种植模式径流量大小排序为旱作模式>水旱轮作模式>水作模式。从整体分析来看,各种种植模式径流量与降雨量的变化规律基本一致,降雨量较大时,产生径流量也较多;各月份产生径流量最多的是旱作模式处理。

2.4 不同种植模式下产流产沙对雨型的响应

不同雨型下各种种植模式径流量和泥沙量见图 2。由图可知,C 雨型产生的径流量最大,其次是 D 雨型,而 A 雨型和 B 雨型最小。4 种雨型条件下旱作模式地表径流量均最大,分别为 298.9 mm,299.9 mm,662.8 mm,342.0 mm。在 A,C,D 这 3 种雨型条件下,地表径流量大小排序为旱作模式>水旱轮作模式>水作模式,且各模式间均存在显著差异。与旱作模式相比,4 种雨型下水作模式处理的减流率分别为 54.12%,31.30%,18.06%和 22.27%;水旱轮作模式处理的减流率分别为 11.30%,35.42%,6.15%和 13.86%。由此可知,在 A,C,D 雨型下,水作模式处理减流效果最好,而 B 雨型条件下,水旱轮作模式处理减流效果最佳,无论何种雨型下旱作模式处理产流

量最高。从泥沙流失量的结果来看,各雨型产生的泥沙流失量排序为 C 雨型>B 雨型>D 雨型>A 雨型。4 种雨型条件下旱作模式泥沙流失量均最大,分别为 531.95 kg/hm^2 , 620.35 kg/hm^2 , $1\,541.38 \text{ kg/hm}^2$, 611.19 kg/hm^2 , 且显著高于其他处理。A, B, C 这 3 种雨型条件下,泥沙量大小依次是旱作模式>水旱轮作模式>水作模式,并且 3 种模式之间存在显著差异;与水作模式处理相比,旱作模式处理 3 种雨型下泥沙流失量分别是其 21.4 倍、9.8 倍、19.3 倍,水旱轮作分别是其 2.5 倍、13.9 倍、2.9 倍。在 D 雨型下,水作模式处理与水旱轮作模式处理泥沙流失量之间无显著差异,分别为 24.14 kg/hm^2 , 23.39 kg/hm^2 , 分

别仅占旱作模式的 3.95%, 3.83%。由此说明,无论是何种雨型,旱作模式处理产生的泥沙流失量要明显高于水作模式和水旱轮作模式;在 A, B, C 这 3 种雨型条件下,水旱轮作模式处理泥沙流失量也要显著高于水作模式;因此,水作模式处理具有较好的减少泥沙流失的作用。综合径流量和泥沙流失量的结果可知, C 雨型下径流量和土壤流失量均最大,径流量最小的是 B 雨型,泥沙流失量最小的则是 A 雨型。无论何种雨型,旱作模式处理径流量和泥沙流失量均最高,在 A, C 雨型下,水作模式处理产流产沙均最小;因此,种植水稻对不同降雨类型均具有较好的阻控土壤侵蚀的作用。

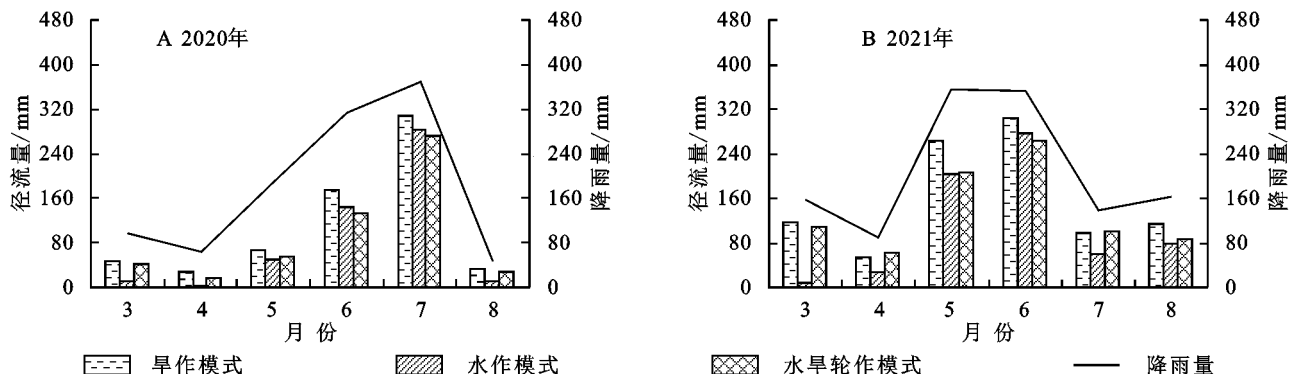


图 1 不同种植模式下各月份产流降雨量和径流量分析

Fig. 1 Analysis of monthly runoff rainfall and runoff under different planting patterns

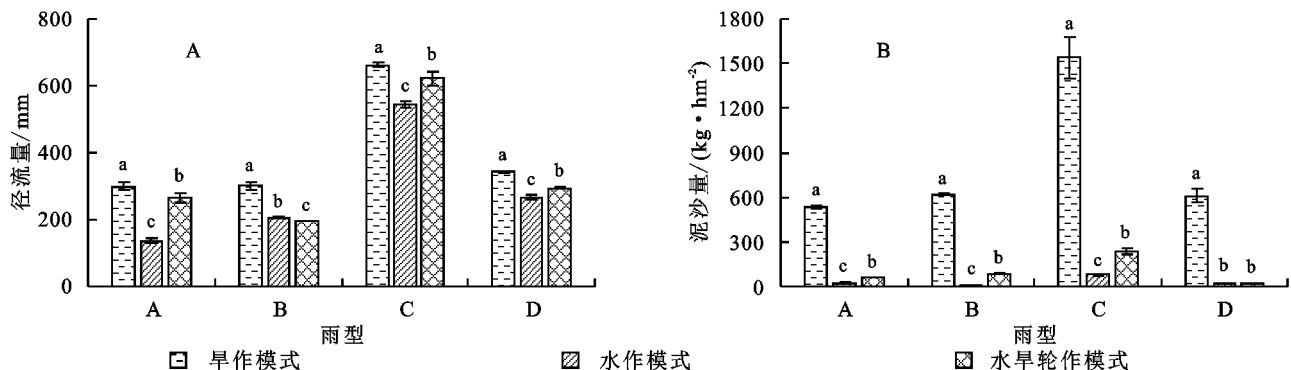


图 2 不同种植模式下产流产沙对雨型的响应

Fig. 2 Response of runoff and sediment production to rainfall patterns under different planting modes

2.5 不同种植模式径流总量和泥沙总量特征

由表 4 可知,研究期间(3—8 月)不同种植模式下径流总量存在显著性差异,均表现为旱作模式>水旱轮作模式>水作模式。与旱作模式处理相比,2020 年水作模式和水旱轮作模式处理径流总量分别减少了 23.64% 和 16.53%;2021 年分别减少了 31.21% 和 12.56%。各种种植模式泥沙流失总量变化规律与径流总量一致,2020 年旱作模式处理泥沙流失总量为 775.76 kg/hm^2 ,分别是水作模式和水旱轮作模式处理径流总量的 25.40 倍和 8.56 倍;2021 年水作模式处理泥沙流失总量为 104.61 kg/hm^2 ,旱作模式和水

旱轮作模式处理径流总量分别是其 24.18 倍和 3.03 倍。综合分析来看,水作模式处理减流和抗土壤侵蚀能力均最强,年均径流总量为 576.39 mm ,年均泥沙流失总量 67.58 kg/hm^2 ;旱作模式处理减流和抗土壤侵蚀能力均最弱,与水作模式处理相比,径流总量增加了 39.11%,泥沙流失总量提升 23.45 倍。

3 讨论

研究区降雨主要发生在 3—8 月,2020 年和 2021 年研究期间(3—8 月)降雨量分别约占全年总降雨量 69.58% 和 91.19%,其中侵蚀性月降雨量最大月份

分别为 7 月和 5 月,两个月份产流率分别为 98.64% 和 92.37%。降雨是引起地表径流最直接的原因,张丽娟等^[18]和杨任翔等^[19]研究表明,地表径流量随降雨量增大明显增加,地表径流量与降雨量之间呈现出显著的相关性。本研究结果也得出类似结论,各种种植模式径流量与降雨量的变化规律基本一致,降雨量越大,产生径流量也越多。2020 年和 2021 年降雨量和径流量分别主要分布在 6—7 月和 5—6 月,其降雨量和 3 种模式处理径流量均超过研究期间的 56% 以上,在探究鄱阳湖生态区赣北棉田地表径流特征时也发现,5—7 月期间降雨频繁且强度大,地表径流量产生较多,是产生径流的高风险期^[18]。

表 4 不同种植模式径流总量和泥沙总量特征
Table 4 Characteristics of total runoff and sediment under different planting modes

年份	种植模式	径流总量/mm	泥沙流失总量/(kg·hm ⁻²)
2020	旱作模式	656.62a	775.76a
	水作模式	501.40c	30.62c
	水旱轮作模式	548.10b	90.64b
2021	旱作模式	946.93a	2529.11a
	水作模式	651.42c	104.61c
	水旱轮作模式	828.04b	317.35b
平均值	旱作模式	801.82a	1652.44a
	水作模式	576.39c	67.58c
	水旱轮作模式	688.04b	204.00b

相关研究表明,农田水土流失受降雨历时、雨量和雨强等降雨特征的综合影响,而以往对雨型的研究中^[20-21]大多以上述降雨特征将侵蚀性降雨分为 3 类,虽能体现降雨特征之间的综合作用,但降雨历时、雨量和雨强之间相互匹配关系复杂,为合理地反映研究区的实际情况,因此把以上 3 种降雨特征作为参数,将研究区侵蚀性降雨分为 A,B,C,D 共 4 种类型。通过 64 次降雨事件分析得知,A 雨型(中历时、小雨量、小雨强)是鄱阳湖平原区最频繁的侵蚀性降雨类型,约占研究期间侵蚀性降雨次数的 42.19%;C 雨型(长历时、大雨量、中雨强)是造成当地径流量和土壤流失量最大的降雨类型,虽然降雨次数仅占研究期间侵蚀性降雨次数的 12.5%,但其最大 30 min 雨强却是 A 雨型的 4.57 倍,降雨量是 A 雨型的 3.7 倍。主要原因是在大雨强时雨滴较大,溅击地面的能力很强,易破坏土壤结构并产生侵蚀,会形成土壤小颗粒;另外 C 雨型长历时、大雨量的降雨特征进一步加剧了土壤颗粒分散和流动,造成水土流失加重^[21-22]。而 A 雨型降雨次数虽最高,但其雨强、雨量均最小,降雨历时中等,因此产生水土流失的影响远不及 C 雨型。

杨任翔等^[9]在南方红壤区研究雨型对赤红壤坡面土壤侵蚀的影响也表明,频率最高的中历时、小雨强、小雨量雨型降雨侵蚀力最小,但在不同种植方式下(顺坡和横坡),不同雨型对坡面土壤侵蚀程度表现各异。因此,在应对不同雨型的防范上,应加强对 C 雨型下农田水土流失的应对措施。

不同种植模式下作物类型各不相同,其冠层、根系和覆盖度存在一定差异,对雨水入渗土壤有一定的影响,在应对水土流失有着不一样的表现^[23];李涛等^[24]研究自然降雨条件下不同种植模式对丹江口库区坡耕地水土流失的影响,表明银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作较玉米单作均能显著降低地表径流量和泥沙量。本研究的 3 种植植模式下地表径流总量和泥沙流失总量存在显著的差异性,均表现为旱作模式>水旱轮作模式>水作模式,但在不同降雨类型下,各种种植模式下水土流失也有所不同,这与杜映妮等^[20]研究不同降雨类型下典型植被措施对水土流失影响的结果类似,面对不同降雨类型时紫花苜蓿草地与柏树林控制土壤侵蚀表现各不相同。本文研究表明,在 A,C,D 这 3 种雨型条件下,水作模式的减流效果较好,而在 B 雨型条件下,则是水旱轮作模式减流效果更佳,且各模式间径流量均存在显著差异。这可能是在短历时、小雨量、中雨强时,此时降雨主要发生在 6—8 月,水旱轮作模式水稻植株覆盖度比水作模式高,能够涵养雨水,降低地表径流,增强其截流作用。在丹江口库区不同种植模式下氮磷流失的研究中,也是由于玉米单作作物覆盖面积较小,才导致银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作地表径流和泥沙流失均较低^[24]。无论是何种雨型,旱作模式处理产生的泥沙流失量最高,在 A,B,C 这 3 种雨型条件下水作模式处理泥沙流失量显著低于水旱轮作模式,仅在短历时、中雨量、大雨强的 D 雨型下,二者无显著差异,水作模式处理具有较好的减沙作用;这是由于旱作模式地表长期裸露,雨滴会直接溅击地表土壤,导致土壤结构破坏,使表层土壤孔隙减少或者堵塞,土壤团粒被分散、剥离,造成土壤流失^[25],而水作模式种植水稻,田面长期有水层保护,雨水只会落入水面,难以对土壤造成扰动,即便径流量较大时,泥沙流失量也相对较低,这与前期的研究结果一致^[26-27]。因此,面对江西省经济作物和蔬菜种植面积的日益增加的情形,在日常生产过程中应加强对旱作模式下农田水土流失的保护措施,特别是在 C 雨型下更要强化应对措施。

4 结论

(1) 研究区降雨类型主要可分为 4 类:“中历时、

小雨量、小雨强”的 A 雨型,“短历时、小雨量、中雨强”的 B 雨型,“长历时、大雨量、中雨强”的 C 雨型及“短历时、中雨量、大雨强”的 D 雨型,发生的频率依次为 42.19%,29.69%,12.50% 和 15.63%。

(2) 研究区 3—8 月降雨较为集中,2020 年和 2021 年研究期间分别占全年降雨量的 69.58% 和 91.19%;两年降雨量和径流量分别主要分布在 6—7 月和 5—6 月,各月份下产生径流量以旱作模式处理最高。

(3) C 雨型下径流量和土壤流失量均最大,不同种植模式之间大小依次是旱作模式>水旱轮作模式>水作模式;径流量最小的是 B 雨型,泥沙流失量最小的则是 A 雨型。A,B,C,D 这 4 种雨型下,旱作模式处理径流量和泥沙流失量均最高,在 A,C 雨型下,水作模式处理产流产沙均最小。

(4) 不同种植模式下径流总量和泥沙流失总量均表现为旱作模式>水旱轮作模式>水作模式。水作模式处理抗水土流失能力最强,年均径流总量为 576.39 mm,年均泥沙流失总量为 67.58 kg/hm²。

(5) 在鄱阳湖平原区,面对区域内各降雨类型带来的水土流失,以旱作模式最为严重,尤其需重视“长历时、大雨量、中雨强”雨型造成的严重水土流失问题,可考虑采取水旱轮作模式以达到兼具经济效益和生态效益的目的。未来有待于进一步对不同种植模式农田水土流失机理以及氮磷迁移规律进行深入研究,以便提出不同种植模式农田水土流失防治对策。

参考文献(References):

- [1] 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):802-809.
Li Z B, Zhu B B, Li P. Advancement in study on soil erosion and soil and water conservation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008,45(5):802-809.
- [2] Silva S S D, Abeysingha N S, Nirmanee K G S, et al. Effect of land use-land cover and projected rainfall on soil erosion intensities of a tropical catchment in Sri Lanka [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2023,20(8):9173-9188.
- [3] 中华人民共和国水利部.第一次全国水利普查公报[J].水利信息化,2013(2):53-57.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Bulletin of first national census for water[J]. China Water Resources, 2013(2):53-57.
- [4] Hao H X, Wang J G, Guo Z L, et al. Water erosion processes and dynamic changes of sediment size distribution under the combined effects of rainfall and overland flow[J]. Catena,2019,173:494-504.
- [5] 张春霞,董智,高波,等.侵蚀性雨型分类及不同植被类型对棕壤坡面土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2023,30(2):36-41,49.
Zhang C X, Dong Z, Gao B, et al. Effects of erosive rainfall patterns and different vegetation types on soil erosion in slope with brown soil[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(2):36-41,49.
- [6] 王玲莉,张富,胡彦婷,等.侵蚀性降雨分类及植被类型对产流产沙的影响[J].人民黄河,2021,43(10):109-113.
Wang L L, Zhang F, Hu Y T, et al. Effects of erosive rainfall classification and vegetation types on runoff and sediment load generation[J]. Yellow River, 2021,43(10):109-113.
- [7] Liu J B, Gao G Y, Wang S, et al. Combined effects of rainfall regime and plot length on runoff and soil loss in the Loess Plateau of China[J]. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 2018,109(3/4):397-406.
- [8] Peng T, Wang S J. Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on Karst slopes in southwest China[J]. Catena,2012,90:53-62.
- [9] 杨任翔,邱凡,王坚桦,等.雨型和甘蔗种植对赤红壤坡面土壤侵蚀特征的影响[J].水土保持学报,2021,35(1):65-70,78.
Yang R X, Qiu F, Wang J H, et al. Effects of rainfall pattern and sugarcane planting on soil erosion characteristics of lateritic red soil slope[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021,35(1):65-70,78.
- [10] 胡佑熹,魏熙乐,朱玉莹.农作物空间结构的时空演变特征分析:以江西省为例[J].山东农业工程学院学报,2023,40(5):20-29.
Hu J X, Wei X L, Zhu Y Y. Spatial and temporal evolution characteristics of crop spatial structure: A case study of Jiangxi Province[J]. the Journal of Shandong Agriculture and Engineering University, 2023,40(5):20-29.
- [11] 田培,毛梦培,潘成忠.植被调控水土流失机制研究进展及展望[J].中国水土保持科学(中英文),2024,22(1):131-140.
Tian P, Mao M P, Pan C Z. Research progress and prospect of vegetation control mechanism of soil and water loss[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2024,22(1):131-140.
- [12] Zhang X Y, Wu K X, Fullen M A, et al. Synergistic effects of vegetation layers of maize and potato intercropping on soil erosion on sloping land in Yunnan Province, China [J]. Journal of Mountain Science, 2020,17(2):423-434.
- [13] Patin J, Mouche E, Ribolzi O, et al. Effect of land use on

- interrill erosion in a montane catchment of Northern Laos: An analysis based on a pluri-annual runoff and soil loss database[J]. *Journal of Hydrology*, 2018, 563:480-494.
- [14] Duan J, Liu Y J, Tang C J, et al. Efficacy of orchard terrace measures to minimize water erosion caused by extreme rainfall in the hilly region of China: Long-term continuous in situ observations[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 278:111537.
- [15] Feng J, Wei W, Pan D L. Effects of rainfall and terracing-vegetation combinations on water erosion in a loess hilly area, China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 261:110247.
- [16] 朱燕琴,赵志斌,齐广平,等.黄土丘陵沟壑区不同植被类型次降雨产流产沙特征[J].*草地学报*, 2019, 27(1): 28-34.
- Zhu Y Q, Zhao Z B, Qi G P, et al. Characteristics of slope runoff and sediment of different vegetation types under individual rainfall events in loess hilly and Gully Region[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(1):28-34.
- [17] 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): 1405-1416.
- Sun C J, Hou H X, Chen W, et al. Effects of different plant measures on soil and water conservation in typical tableland zones on the Loess Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(7):1405-1416.
- [18] 张丽娟,秦宇坤,程慧煌,等.鄱阳湖区赣北棉田地表径流氮磷流失特征研究[J].*中国农业科技导报*, 2022, 24(6):166-175.
- Zhang L J, Qin Y K, Cheng H H, et al. Research on characteristics of nitrogen and phosphorus loss from surface runoff of cotton field in northern Jiangxi Province of Poyang Lake Region[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(6):166-175.
- [19] 杨任翔,邱凡,郑佳舜,等.赤红壤植蔗坡地坡面径流及溶解态氮磷流失特征[J].*生态学报*, 2022, 42(3):904-913.
- Yang R X, Qiu F, Zheng J S, et al. Characteristics of runoff and the dissolved nitrogen and phosphorus loss in sloping land with planting sugarcane of lateritic soil [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(3):904-913.
- [20] 杜映妮,周怡雯,李朝霞,等.丹江口库区不同降雨类型下典型植被措施的水土保持效应[J].*水土保持学报*, 2023, 37(2):51-57,66.
- Du Y N, Zhou Y W, Li Z X, et al. Effects of typical vegetation measures on soil and water conservation under different rainfall regimes in Danjiangkou Reservoir Area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2023, 37(2):51-57,66.
- [21] 黄凯,李瑞,李勇,等.贵州省黔南区不同侵蚀性雨型条件下生物措施对坡面产流产沙的响应[J].*水土保持学报*, 2020, 34(6):14-21.
- Huang K, Li R, Li Y, et al. Response of runoff and sediment yield to biological measures on slopes under different erosive rain patterns in southern Guizhou[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, 34(6): 14-21.
- [22] Zambon N, Johannsen L L, Strauss P, et al. Rainfall parameters affecting splash erosion under natural conditions[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(12):4103.
- [23] Xu C, Yang Z J, Qian W, et al. Runoff and soil erosion responses to rainfall and vegetation cover under various afforestation management regimes in subtropical montane forest[J]. *Land Degradation & Development*, 2019, 30(14):1711-1724.
- [24] 李涛,鄢紫薇,王砚,等.丹江口库区不同种植模式下氮磷流失和经济效益分析[J].*水土保持研究*, 2021, 28(5):35-40.
- Li T, Yan Z W, Wang Y, et al. Analysis of nitrogen and phosphorus losses and environmental benefits under different planting patterns in Danjiangkou Reservoir Area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(5):35-40.
- [25] Zambon N, Johannsen L L, Strauss P, et al. Splash erosion affected by initial soil moisture and surface conditions under simulated rainfall[J]. *Catena*, 2021, 196:104827.
- [26] 陈昱,刘方平,余雅琴,等.鄱阳湖平原不同种植模式下农田水肥流失规律分析[J].*中国农村水利水电*, 2021(12):239-244.
- Chen Y, Liu F P, Yu Y Q, et al. An analysis of water and fertilizer loss under different planting patterns in Poyang Lake Plains[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2021(12):239-244.
- [27] 陈昱,刘方平,吴彩云,等.鄱阳湖流域典型种植模式农田地表径流与氮磷流失特征[J].*灌溉排水学报*, 2023, 42(7):101-108.
- Chen Y, Liu F P, Wu C Y, et al. Impact of planting practices on nitrogen and phosphorus loss via surface runoff in Poyang Lake basin[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2023, 42(7):101-108.