

清耕对赤红壤果园坡面土壤侵蚀特征的影响

王坚桦¹, 邱凡¹, 谢福倩², 韦石², 梁志鑫², 李桂芳¹

(1.广西大学农学院, 南宁 530004; 2.广西壮族自治区水土保持监测站, 南宁 530023)

摘要:为探究降雨和管理措施对南方赤红壤果园坡面土壤侵蚀特征的影响,基于野外原位径流小区观测试验,探讨清耕和刈割处理下赤红壤果园坡面土壤侵蚀特征。结果表明:2018 年研究区降雨主要集中在 5—9 月,2019 年主要集中在 3—8 月,2018—2019 年研究区 80% 以上降雨是侵蚀性降雨。2018 年、2019 年果园坡面年径流量和侵蚀量及次降雨下坡面径流量、侵蚀量均表现为清耕处理 > 刈割处理,且与径流量相比,二者的侵蚀量差异更为明显。次降雨下,2018 年不同处理下果园坡面径流泥沙量在 3—4 月变化平稳且差异小,5—9 月出现了不同程度的波动,且与刈割处理相比,清耕处理波动幅度更大;2019 年不同处理下坡面径流量在 2—3 月,7—9 月波动较大,4—7 月变化平缓,但侵蚀量在年内整体波动较大。与清耕处理相比,刈割处理可以减少暴雨和大暴雨降雨等级下果园坡面径流量;同时刈割处理下中雨、大雨和暴雨降雨等级下果园坡面侵蚀量显著降低,且暴雨降雨等级下的降低作用尤为明显。刈割和清耕处理下坡面径流量与降雨历时呈显著相关关系,与降雨量呈极显著相关关系。研究结果可为南方红壤丘陵区果园坡面水土流失的防治提供理论依据和参考。

关键词:果园; 清耕; 自然降雨; 土壤侵蚀

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)03-0012-06

Effects of Cleaning Tillage on Soil Erosion Characteristics of Lateritic Red Soil on Slope in Orchard

WANG Jianhua¹, QIU Fan¹, XIE Fuqian², WEI Shi², LIANG Zhixin², LI Guifang¹

(1.College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2.Guangxi Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Nanning 530023, China)

Abstract: In order to explore the influence of rainfall and treatment measures on the soil erosion characteristics on slope of the orchard in southern red soil, based on the field observation experiment of in-situ runoff plot, the soil erosion characteristics on slope of the orchard under cleaning tillage and cutting treatment were discussed. The results show that the rainfall in the study area mainly concentrated from May to September in 2018, and mainly concentrated from March to August in 2019; furthermore, more than 80% of the rainfall in the study area during that period was erosive rainfall; annual runoff, sediment yield on slope of orchard in 2018 and 2019 were more than those in cutting plots, and the difference of sediment yield between these two treatments was more obvious. The data measured after each rainfall indicated that the amount of runoff and sediment yield on slope of orchard changed slightly from March to April, but fluctuated from May to September, and the fluctuation ranges of sediment yield under cleaning tillage treatment were even greater in 2018; runoff fluctuated greatly from February to March and July to September, while the variation was flat from April to July, besides, the sediment yields were low and stable from September to October, and demonstrated significant fluctuation the other periods in 2019. Compared with the cleaning tillage treatment, cutting treatment could reduce sediment yield on slope of orchard under heavy rainstorm and large heavy rainstorm. The sediment yields under moderate rain, heavy rain and heavy rainstorm under cutting treatment were significantly reduced, and the reduction effect was obvious under heavy rain. Under the cutting treatment and cleaning tillage, the slope runoff

收稿日期: 2021-03-11

修回日期: 2021-04-23

资助项目: 国家自然科学基金项目(41967010); 广西自然科学基金资助项目(2018GXNSFBA138024); 广西科技基地和人才专项(桂科AD17195060)

第一作者: 王坚桦(1996—), 男(壮族), 广西南宁人, 硕士, 研究方向为土壤侵蚀及其环境效应。E-mail: wong1125@163.com

通信作者: 李桂芳(1987—), 女, 河南商丘人, 博士, 讲师, 研究方向为农田水土流失及其对生态环境的影响。E-mail: lifangdyx@163.com

was significantly correlated to the rainfall duration and more significantly correlated to the rainfall amount. The result of this study can provide the theoretical basis and reference for the prevention and control of soil erosion on slope of orchard in red soil hilly area of south China.

Keywords: orchard; cleaning tillage; natural rainfall; soil erosion

果树是我国农业产业结构的重要组成部分,种类繁多,分布广泛,种植面积超过 14 万 km²,占世界果树种植面积的 18.1%,总产量达到 2.8 亿 t,占全球总产量的 17.0%,位居世界第一位^[1]。我国的果园普遍种植在山区坡地,坡面水土流失较为严重,严重制约着当地经济发展,不利于区域生态环境保护^[2]。植被是抑制果园坡面发生水土流失的因素之一^[3],果园坡面覆盖植被可以有效减轻水土流失^[4]。研究表明,果园生草技术可以有效减缓果园坡面水土流失,改善土壤的理化性状^[5-8]。但果园生草容易形成与果树的养分、水分,尤其是氮素营养的竞争,一定程度上会抑制果树的生长^[9],因此该措施在实际的果园生产中并未大面积推广。清耕法对杂草进行彻底清理^[10],可以减少表面杂草与果树争水争肥,利于果树从土壤中汲取更多的养分,但长期清耕会导致土壤板结、肥力下降,破坏果园生态环境,加剧果园水土流失^[11]。在南方红壤区,清耕处理的坡面径流量是植被覆盖处理的 4.4 倍,侵蚀量是 67.1 倍^[3]。刈割作为一种果园管理方式,要求每年不定期对果树下植被进行刈割除草处理,再覆盖于果树下,达到提高土壤肥力和防治水土流失的效果^[12]。

广西地处亚热带区域,气候条件优越,是我国种植热带水果的优势区域之一,具有良好的地域基础,是我国水果总产量超过千万吨的省区之一^[13]。目前,广西广泛种植不同品种水果,因地制宜地发展多种水果种植业,比如金桔、香蕉、芒果等^[14]。以芒果为例,芒果是广西除香蕉外最大宗的热带水果,享有“热带水果之王”的美称^[15]。广西是我国最大的芒果种植区,种植面积达 6 万 hm²,总产量达 71.8 万 t,栽培面积和产量均位居我国第一位^[16]。广西现有芒果园大多数建立在丘陵山地和坡地上,90%以上的果园依赖自然降雨以维持其生长与发育^[17],而果园的清耕除草等田间管理措施,会导致地表覆盖状态发生改变,遇到较强降雨时,将加剧坡面侵蚀^[18]。但大规模坡地果园的水土流失问题目前尚未得到足够的重视。

本研究以广西芒果园坡面为研究对象,基于野外原位径流小区观测试验,通过测定 2018—2019 年次降雨下清耕和刈割处理果园坡面产流产沙量,分析清耕和刈割处理下果园坡面土壤侵蚀特征,结合降雨等级和降雨特征参数等指标,探讨降雨特征对果园坡

面侵蚀的影响。研究结果可为南方红壤丘陵区果园坡面水土流失的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地在广西木棉麓水土保持科技示范园,位于广西壮族自治区南宁市良庆区那马镇(108°19′00″—108°19′24″E,22°37′26″—22°37′55″N)。园区属于亚热带湿润季风性气候,气候炎热,雨量充沛,年均降雨量 1 232.2 mm,年均气温 21.8℃,降雨集中且较多暴雨,80%以上的降雨集中在 5—9 月^[19]。研究区土壤类型是赤红壤,成土母岩以沉积岩为主,多为砂质岩,土层厚度范围是 100~150 cm,土壤 pH 4.5~5.5,有机质含量 2~3%,土壤容重为 1.2~1.3 g/cm³。园区内现有自然植被主要是荒草和灌丛,主要荒草类型为鬼针草(*Bidens bipinnata*)和狼把草(*Bidens tripartita*)。

1.2 试验设计

1.2.1 试验小区布设 本试验样地采用广西木棉麓水土保持科技示范园的标准径流小区,小区布设在山坡中部,小区内坡面横向平整,坡度为 16.5°,坡长 20 m、宽 5 m,土壤条件一致。试验采用 6 年生芒果为供试对象,一共设置 2 个处理,刈割和清耕处理,刈割处理是 2018 年 1 月和 2019 年 5 月、7 月对果园杂草进行刈割,用镰刀清除坡地表面杂草,留茬 3~5 cm;清耕处理是使果园坡面长期保持无杂草状态,坡面杂草高于 1 cm 时,用锄头铲除杂草,不保留杂草根系。

1.2.2 试验方法 采用野外径流小区水文观测法。降雨观测时间为 2018 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日。径流小区下方设有集流桶和分流桶,用于承接并测定降雨产生的径流小区径流泥沙量。每次降雨结束后,利用标尺测定集流桶和分流桶水深,确定小区水土流失体积后,将样品充分混匀并收集起来,每个小区收集 3 个重复样品,每个重复样品采集 1 000 ml,烘干后测定其中泥沙含量,计算径流量和土壤流失量参数。在研究区附近布设有气象站,用以收集气象资料,降雨资料的收集包括降雨量、降雨过程、降雨历时等降雨参数,根据降雨参数计算出 I_{30} (最大 30 min 降雨强度)。

2 结果与分析

2.1 降雨特征分析

研究区 2018—2019 年 1—12 月降雨量见图 1。

2018年总降雨量为1 211.5 mm,降雨主要集中在5—9月,共计1 017.6 mm,占全年总降雨量的84.0%,其中7月的降雨量最大,占全年总降雨量的26.1%。2019年总降雨量为928.6 mm,降雨主要集中在3—8月,达到793.8 mm,占全年总降雨量的85.5%,其中4月和8月的降雨量最大,分别占全年总降雨量的17.5%和24.0%。整体而言,2018年降雨量比2019年增加了30.5%,且2018年降雨相对较为集中(主要集中在5—9月),2019年降雨在全年分布较为分散。

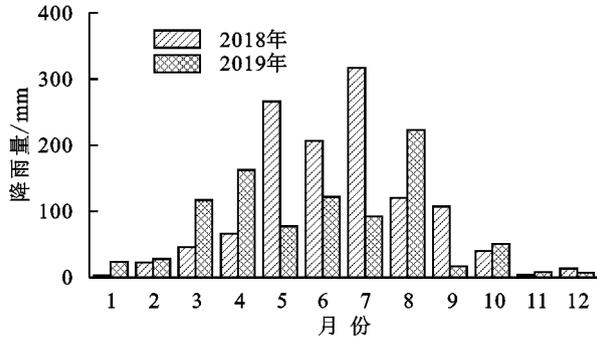


图1 研究区2018年、2019年降雨分布特征

本研究把能够引起径流小区坡面产流产沙的降雨

表1 2018年、2019年研究区侵蚀性降雨特征

年份	降雨量/ mm	场次	降雨量 范围/mm	平均雨强/ (mm·h ⁻¹)	I ₃₀ / (mm·h ⁻¹)	累积 降雨量/mm	占总降雨量 比例/%	降雨等级
2018	<10	3	2.0~6.4	1.0~76.8	1.6~12.9	12.2	1.2	小雨
	10~25	5	10.8~22.4	0.9~16.8	7.3~32.2	89.0	9.0	中雨
	25~50	5	28.4~37.4	4.9~10.3	18.9~37.5	168.4	17.0	大雨
	50~100	5	55.8~87.6	1.9~19.2	28.2~74.9	372.2	37.5	暴雨
	100~200	3	110.0~125.8	4.6~12.2	39.5~89.8	350.6	35.3	大暴雨
2019	<10	6	4.0~9.8	0.3~28.8	4.4~10.5	43.6	5.6	小雨
	10~25	6	18.0~24.4	0.6~40.8	7.3~43.1	125.8	16.3	中雨
	25~50	6	26.0~44.8	0.8~78.0	10.5~62.4	211.0	27.3	大雨
	50~100	2	54.2~60.0	4.2~22.3	25.8~37.1	114.2	14.8	暴雨
	100~200	2	133.0~145.0	2.6~17.4	30.2~184.1	278.0	36.0	大暴雨

2.2 赤红壤果园坡面土壤侵蚀特征

由表2可知,2018年、2019年不同处理下赤红壤果园坡面年径流量和侵蚀量均表现为清耕>刈割。对于年径流量,2018年、2019年清耕小区坡面年径流量分别是刈割小区的2.4,1.7倍,且坡面径流系数也存在明显差异。对于年侵蚀量,2018年、2019年清耕小区坡面年侵蚀量分别是刈割小区的52.2,9.2倍。表明清耕处理会导致果园坡面产流产沙量显著增加,其中对坡面侵蚀量的增加效果更为明显,这与Pan等^[21]、朱冰冰等^[22]和张锐波等^[23]的研究结果一致。

与2019年相比,刈割与清耕处理下,2018年坡面径流量分别增加0.5倍和1.2倍;2018年刈割处理下坡面侵蚀量减少0.5倍,清耕处理下坡面侵蚀量增

均视为侵蚀性降雨。由表1可知,2018年有21场侵蚀性降雨(3月1日至9月16日),侵蚀性降雨总量达到992.4 mm,占全年总降雨量的81.9%。21场侵蚀性降雨的降雨量2.0~125.8 mm,平均雨强0.9~76.8 mm/h, I₃₀ 1.6~89.8 mm/h,有10场降雨的 I₃₀ 超过30 mm/h,占总降雨场次的47.6%。按照中国气象降雨等级划分^[20],暴雨及大暴雨降雨等级的降雨量占侵蚀性降雨总量的72.8%(722.8 mm),表明2018年研究区的侵蚀性降雨类型主要为暴雨及大暴雨。

2019年有22场侵蚀性降雨(2月17日至10月7日),侵蚀性降雨总量为772.6 mm,占全年降雨量的83.6%。22场侵蚀性降雨的降雨量4.0~145.0 mm,平均雨强0.3~78.0 mm/h, I₃₀ 4.4~184.1 mm/h,有9场降雨的 I₃₀ 超过30.0 mm/h(40.9%),其中4月16日大暴雨的 I₃₀ 达到184.1 mm/h。大雨、暴雨和大暴雨的降雨量分别占侵蚀性降雨总量的27.3%,14.8%和36.6%,可知2019年研究区的侵蚀性降雨类型主要是大雨和大暴雨(63.9%)。由上可知,2018年、2019年研究区80%以上的降雨是侵蚀性降雨,且40%以上的侵蚀性降雨 I₃₀ 超过30 mm/h。

加1.7倍。清耕小区在2018年的坡面径流量显著高于2019年,主要是因为2018年、2019年的降雨分布,尤其是侵蚀性降雨特征存在明显不同(表1)。

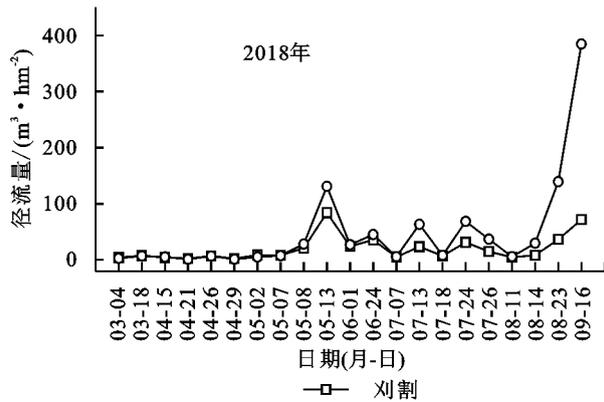
表2 不同处理下果园径流小区年径流量与侵蚀量

年份	处理	年径 流深/mm	径流 系数	年径流量/ (m ³ ·hm ⁻²)	年侵蚀量/ (kg·hm ⁻²)
2018	刈割	41.3	0.034	412.9	162.2
	清耕	101.1	0.083	1 010.7	8 463.0
2019	刈割	27.1	0.029	270.5	337.5
	清耕	45.2	0.049	452.1	3 089.9

2.3 次降雨下赤红壤果园坡面产流产沙特征

为进一步探究清耕对赤红壤果园坡面产流产沙特征的影响,对2018—2019年次降雨条件下果园坡面产流

产沙特征进行分析(图2)。次降雨条件下,2018年果园清耕与刈割处理下坡面径流量变化范围是1.1~384.7, 2.4~71.7 m^3/hm^2 ,整体上均表现为清耕小区径流量大于刈割小区,且二者随次降雨的变化趋势基本一致。次降雨下,不同处理下3—4月果园坡面径流量较低($<7.46 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)且变化较平稳,同时二者差异较



小;而5—9月出现了不同程度的波动,且二者差异有所增大。对于2019年,次降雨条件下清耕与刈割处理下果园坡面径流量介于2.0~174.0 m^3/hm^2 , 2.0~46.3 m^3/hm^2 ,同时在年内存在明显的波动特征,主要表现在2—3月和7—9月波动较大,且存在明显差异;4—7月中旬变化趋于平缓,二者的差异较小。

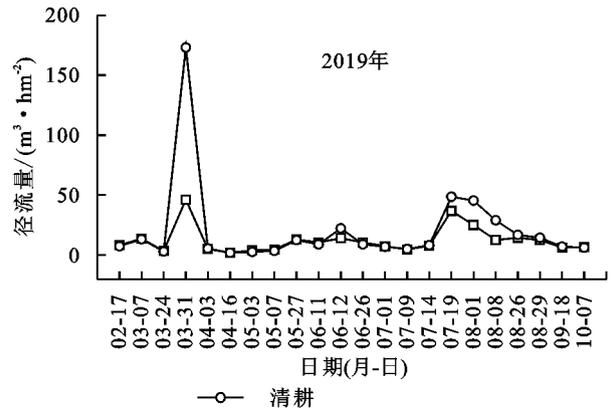


图2 2018年、2019年次降雨条件下赤红壤果园坡面产流特征

次降雨下,2018—2019年不同处理下果园坡面侵蚀量的变化趋势与径流量相似(图3),整体上,清耕小区的侵蚀量均大于刈割小区,且二者变化趋势基本一致。2018年清耕与刈割处理下果园坡面侵蚀量变化范围是0.1~6 375.6, 0.2~34.0 m^3/hm^2 ,次降雨下坡面侵蚀量在3—4月波动小(0.1~8.5 m^3/hm^2),且二者差异较小;5—9月清耕处理的侵蚀量波动较大(2.7~6 375.6 m^3/hm^2),刈割处理波动幅度小,且二者的侵蚀量存在明显差异。对于2019年,清耕和刈割

处理下果园坡面侵蚀量介于0.3~2 446.7 kg/hm^2 , 0.3~103.3 kg/hm^2 ,次降雨下,坡面侵蚀量除在9—10月较小且变化平稳外,其余时段下果园坡面侵蚀量呈现明显的波动性,且清耕处理下果园坡面侵蚀量波动明显大于刈割处理。同时结果还表明,坡面侵蚀量主要由一场或几场侵蚀性降雨导致的,例如,2019年3月31日降雨产生的侵蚀量(2 446.6 kg/hm^2)占清耕处理下年侵蚀量的79.2%,这与李桂芳^[18], Pan^[21]等的研究结果一致。

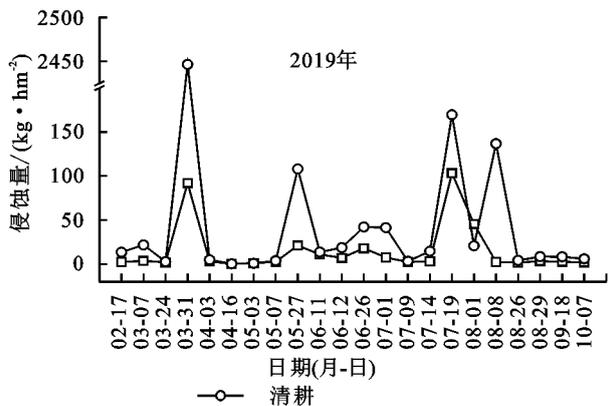
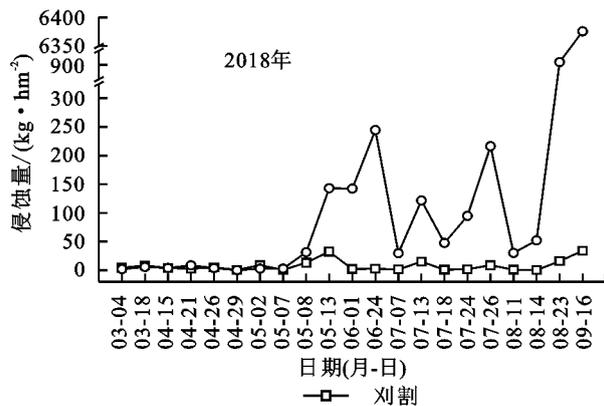


图3 2018年、2019年次降雨条件下赤红壤果园坡面输沙特征

通过对2018年、2019年果园坡面径流泥沙量进行分析可知,坡面的产流产沙特征,除受果园清耕及刈割管理措施影响外,也受降雨分布、降雨量、降雨等级、降雨强度等^[24]因素影响。由图1可知,2018年的降雨量大且集中,2019年的降雨量小且分散,对于清耕小区,2018年坡面的径流泥沙量显著大于2019年,说明降雨的年内分布不同会影响清耕与刈割处理下果园坡面侵蚀特征,与王昭艳等^[25]的研究结果一

致。2018年5月前的侵蚀性降雨主要以小雨和中雨为主,降雨量较小,所以果园坡面3—5月的径流量较小且平稳;5—8月的降雨普遍是大雨及以上等级的降雨,降雨量较大,所以坡面径流量波动上升。

此外,由2019年果园坡面输沙特征可知,与清耕处理相比,8月1日的大暴雨下刈割处理下坡面侵蚀量较大(45.5 $\text{kg}/\text{hm}^2 > 20.7 \text{ kg}/\text{hm}^2$),可能的原因是(1)本文的清耕处理是对坡面不定期的除草,而7

月、8月是地表植被生长较为旺盛时期,刈割处理下7月上旬刚进行了刈割除草,此时清耕和刈割处理下二者坡面植被覆盖度差异较小;(2)7月下旬研究区降雨较少,坡面土壤较为干燥;(3)8月1日大暴雨虽降雨量大,但降雨历时长,平均降雨强度和瞬时降雨强度较小。坡面土壤侵蚀过程受降雨特征、下垫面条件及土壤状况等因素的综合作用,自然降雨下野外径流小区坡面产流产沙是这些因子耦合作用的结果。

2.4 不同处理下果园坡面土壤侵蚀对降雨等级的响应

由2018年不同降雨等级下刈割与清耕处理果园坡面产流量可知(图4A),清耕处理下暴雨和大暴雨产生的坡面径流量分别占坡面年径流量的63.6%和24.2%;刈割处理下则分别占42.8%和36.6%。对于2019年(图4A),清耕处理下坡面径流量主要由暴雨和中雨导致的,分别占年径流量的41.1%和26.6%;刈割处理下则主要由中雨、大雨和暴雨产生的,分别占年径流量的34.5%,22.1%和21.9%。对比不同处理下果园坡面产流对降雨等级的响应可知,中雨和大雨降雨等级下,2018年清耕比刈割处理下坡面径流量高8.1%和82.2%,2019年则分别高28.5%和17.0%。暴雨和大暴雨降雨等级下,2018年清耕比刈割处理下坡面径流量高2.6,0.6倍,2019年高2.1,0.8倍。由2018年、2019年不同降雨等级下坡面径流量占比可知,由于降雨的年内分布不同,2018年清

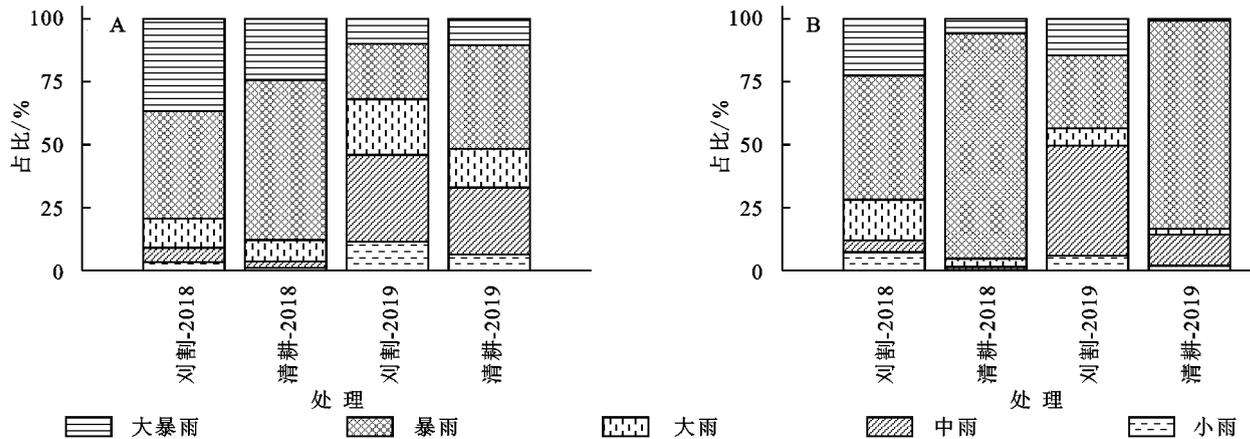


图4 不同降雨等级下坡面径流量和侵蚀泥沙量占比

2.5 不同处理下影响赤红壤果园坡面产流产沙的降雨特征参数

为了进一步分析不同处理下果园坡面产流产沙特征的影响因素,对果园坡面产流产沙量与降雨特征参数进行相关分析,见表3。可知,刈割和清耕处理下影响坡面产流产沙的降雨特征不同。对刈割处理下,坡面径流量与降雨历时和 I_{30} 均表现为显著相关关系,与降雨量呈极显著相关关系;清耕处理下坡面径流量与降雨历时呈显著相关关系,与降雨量表现出

耕和刈割处理下坡面径流主要来自暴雨和大暴雨降雨等级,2019年则主要源于中雨和暴雨降雨等级。同时,与清耕处理相比,由于地表覆盖度不同,刈割处理下可以减少暴雨和大暴雨降雨等级下果园坡面产流量,且在暴雨下的降低作用最显著^[26]。

对不同降雨等级下坡面侵蚀量而言(图4B),2018年清耕处理下坡面侵蚀量主要来源于暴雨(占比89.5%),而刈割处理下主要是由大雨、暴雨和大暴雨(占比16.2%,49.3%和22.5%)产生;2019年清耕处理下暴雨降雨等级下侵蚀量占年总侵蚀量的82.7%,刈割处理下主要由中雨和暴雨导致,分别占比43.8%和29.1%。小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨下,2018年清耕比刈割处理下坡面侵蚀量高0.2~93.7倍不等,2019年高0.5~26.8倍不等。与清耕处理相比,刈割处理在中雨、大雨和暴雨降雨等级下均能显著降低坡面侵蚀量,且对暴雨降雨等级下的降低作用最为明显,这与Lenka等^[27]的研究结果一致。同时,对比2018年、2019年不同降雨等级下果园坡面径流量和侵蚀量可以看出,清耕和刈割处理下果园坡面径流量和侵蚀量对降雨等级的响应存在明显不同。表明自然降雨条件下,除降雨量和降雨强度外,降雨时间、降雨年内分布等均会影响坡面土壤侵蚀特征。因此,在后续的研究中需要综合考虑观测时间序列及区域降雨特征等因素对坡面侵蚀的综合影响。

极显著相关关系。而坡面侵蚀量仅在清耕处理下与降雨历时呈显著相关关系,与其他降雨参数均无显著相关关系。这与Pan等^[21]的研究结果一致。

表3 不同处理下坡面产流产沙与降雨特征参数的相关分析

处理	产流产沙	降雨历时	降雨量	I_{30}
刈割	径流量	0.350*	0.581**	0.331*
	侵蚀量	0.076	0.207	0.089
清耕	径流量	0.377*	0.407**	0.173
	侵蚀量	0.321*	0.224	0.070

注: $n=43$; *表示显著相关($p<0.05$); **表示极显著相关($p<0.01$)。

3 结论

(1) 2018年研究区的总降雨量是1 211.5 mm,主要集中在5—9月(占年降雨量的84.0%);2019年是928.6 mm,主要集中在3—8月(占年降雨量的85.5%)。2018—2019年研究区80%以上降雨是侵蚀性降雨。

(2) 2018年、2019年果园坡面年径流量、年侵蚀量及次降雨下坡面产流产沙量均表现为清耕小区>刈割小区,且侵蚀量差异更为明显。次降雨下,2018年不同处理下坡面径流泥沙量在3—4月变化平稳,5—9月出现波动,且清耕处理波动幅度大;2019年不同处理下坡面径流量在4—7月变化平缓,侵蚀量在年内整体波动较大。

(3) 刈割和清耕处理下径流量和侵蚀量的差异主要是由几场侵蚀性降雨产生的。暴雨是果园坡面产流产沙的主要因素之一,与清耕处理相比,刈割处理可以减少暴雨和大暴雨降雨等级下果园坡面径流量,中雨、大雨和暴雨降雨等级下果园坡面侵蚀量,且对暴雨的降低作用尤为明显。刈割和清耕处理下坡面径流量与降雨历时呈显著相关关系,与降雨量呈极显著相关关系。

参考文献:

[1] 束怀瑞,陈修德.我国果树产业发展的时代任务[J].中国果树,2018(2):1-3.

[2] 俞巧钢,叶静,马军伟,等.山地果园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):6-10,20.

[3] 陈瑞冰,席运官.东江源区坡地果园水土流失防治分析[J].中国水土保持科学,2012,10(2):92-96.

[4] 李发林,郑域茹,郑涛,等.果园带状生草对果园面源污染的控制效果[J].水土保持学报,2013,27(3):82-89.

[5] Chen G, Liu S, Xiang Y, et al. Impact of living mulch on soil C:N:P stoichiometry in orchards across China: A meta-analysis examining climatic, edaphic, and biotic dependency[J]. *Pedosphere*, 2020, 30(2):181-189.

[6] M López-Vicente, R García-Ruiz, G Guzmán, et al. Temporal stability and patterns of runoff and runoff with different cover crops in an olive orchard(SW Andalusia, Spain)[J]. *Catena*, 2016,147:125-137.

[7] Atucha A, Merwin I A, Brown, M G, et al. Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea americana* Mill) hillside orchard under different ground-cover management systems[J]. *Plant and Soil*, 2013, 368(1/2):393-406.

[8] Lu Y, Chen Z, Kang T, et al. Land-use changes from arable crop to kiwi-orchard increased nutrient surpluses and accumulation in soils[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016,223:270-277.

[9] 徐田伟,秦嗣军,杜国栋,等.我国果园实行生草后管理

措施及其研究进展[J].中国果树,2018(4):72-75.

[10] 毕明浩,梁斌,董静,等.果园生草对氮素表层累积及径流损失的影响[J].水土保持学报,2017,31(3):102-105.

[11] 王艳廷,冀晓昊,吴玉森,等.我国果园生草的研究进展[J].应用生态学报,2015,26(6):1892-1900.

[12] 宋月鹏,张韬,樊桂菊,等.国内外果园生草技术及其刈割机械的研究进展[J].中国农机化学报,2017,38(5):111-117.

[13] 张云兰,谈晓花,邓美鸣.广西水果产业化发展问题研究[J].经济研究参考,2017(11):81-84.

[14] 黄雁飞,刘斌,陈桂芬,等.广西丘陵山区果园发展现状/存在问题与策略[J].热带农业工程,2020,44(3):18-21.

[15] 康专苗,何凤平,黄海,等.贵州主栽芒果品种果实品质及香气成分分析[J].热带作物学报,2020,41(11):2305-2313.

[16] 唐利华,莫贱友,郭堂勋,等.10种杀菌剂对广西芒果流胶病菌的室内毒力测定[J].中国南方果树,2016,45(2):89-92,96.

[17] 苏伟强,王小媚,任惠,等.广西芒果产业发展现状及对策探讨[J].热带农业工程,2018,42(5):38-40.

[18] 李桂芳,杨任翔,谢福信,等.不同土地利用方式下赤红壤坡面土壤侵蚀特征[J].水土保持学报,2020,34(2):101-107,230.

[19] 俞孜,王勇,蒋焱,等.广西木棉麓水土保持科技示范园功能分区及治理创新[J].中国水土保持,2015(1):32-33.

[20] 谢颂华,曾建玲,杨洁,等.南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J].农业工程学报,2010,26(9):81-86.

[21] Pan D, Song Y, Dyck M, et al. Effect of plant cover type on soil water budget and tree photosynthesis in jujube orchards[J]. *Agricultural Water Management*, 2017,184:135-144.

[22] 朱冰冰,李占斌,李鹏,等.草本植被覆盖对坡面降雨径流侵蚀影响的试验研究[J].土壤学报,2010,47(3):401-407.

[23] 张锐波,张丽萍,钱婧,等.雨强和植被覆盖度对坡地侵蚀产沙影响强度研究[J].自然灾害学报,2017,26(5):206-212.

[24] 林廷武,高建恩,龙韶博,等.黄土丘陵沟壑区20年梯田果园对不同标准极端降雨侵蚀调控作用[J].水土保持研究,2019,26(6):114-119,132.

[25] 王昭艳,左长清,曹文洪,等.红壤丘陵区次降雨条件下果园不同间套种模式径流与泥沙输移特征[J].水土保持学报,2011,25(4):74-78.

[26] Li C, Pan C. The relative importance of different grass components in controlling runoff and erosion on a hill-slope under simulated rainfall[J]. *Journal of Hydrology*, 2018,558:90-103.

[27] Nkl A, Kks A, Rl B, et al. Weed strip management for minimizing soil erosion and enhancing productivity in the sloping lands of north-eastern India[J]. *Soil and Tillage Research*, 2017,170:104-113.