

降雨和前期含水量对大别山区不同作物坡面产流产沙的影响

洪雨馨¹, 姚蕊², 孙鹏^{1,3}, 汪军红⁴, 汪文⁴, 胡磊¹, 凌佳妍¹

(1.安徽师范大学地理与旅游学院,安徽 芜湖 241002;2.南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室,南京 210023;
3.北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室,北京 100875;4.霍山县水土保持试验站,安徽 霍山 237200)

摘要: 基于霍山县水土保持试验站3个径流小区(茶叶、桑树、红芋)2016—2017年逐日连续观测数据,定量研究土壤含水量与天然降雨条件下产流产沙规律与动态变化特征。结果表明:(1)4—7月为产流高峰期,该时期各小区产流量占年产流量的76%(桑树),57%(茶叶),70%(红芋)。3种作物对产流产沙的抑制效果为茶树地>桑树地>红芋地。(2)各作物年内土壤含水量变化趋势相似,全年变化呈“W”形。其中表层土壤平均含水量排序为茶树地>桑树地>红芋地,与作物抑制产流产沙效果排序一致。秋季土壤水分稳定性最强,夏季最弱。全年以桑树为例的乔木对土壤水分稳定效果最好。(3)降雨参数与土壤含水量之间灰色关联度大小为历时>平均雨强> I_{30} > I_{60} >雨量。作物小区内产流量贡献度最大变量为降雨侵蚀力,而就产沙量而言,茶叶地与红芋地的产沙量贡献度最大变量为 I_{30} ,对桑树地产沙贡献度最大变量为降雨量。

关键词: 产流产沙;作物类型;降雨特征;土壤含水量;大别山区

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2020)06-0053-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.06.008

Effects of Rainfall and Soil Water Content on Runoff and Sediment Yield on Different Crop Slopes in Dabie Mountain Area

HONG Yuxin¹, YAO Rui², SUN Peng^{1,3}, WANG Junhong⁴, WANG Wen⁴, HU Lei¹, LING Jiayan¹

(1.School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241002;
2.Key Laboratory of Virtual Geographic Environment for the Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023; 3.Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, MOE, BNU, Beijing 100875; 4.Huoshan Soil and Water Conservation Test Station, Huoshan, Anhui 237200)

Abstract: Based on the daily observation data of three runoff communities (tea, mulberry and red taro) in soil and water conservation test station of Huoshan county from 2016 to 2017, this study quantitatively analyzed the law and dynamic changing characteristics of runoff and sediment yield under the conditions of soil moisture content and natural rainfall. The results showed that: (1) April to July was the peak period of runoff, during which the yield of each community accounted for 76% (mulberry), 57% (tea) and 70% (red taro) of the annual yield. The inhibition effect of three crops on the runoff and sediment yield was ranked as tea>mulberry>red taro.(2) The changes of the soil moisture content under different crops were similar, showing a “W” type for the annual change. The average water contents of the surface soil were ranked as tea>mulberry>red taro, which was consistent with the effect of crop inhibition on runoff and sediment yield. The stability of soil moisture was the strongest in autumn and the weakest in summer. Mulberry trees stabilized soil moisture best throughout the year. (3) The grey correlation degrees between rainfall parameters and soil water content were as follows duration>mean rainfall intensity> I_{30} > I_{60} >rainfall. Rainfall erosivity had the greatest influence on runoff in crop plots. In terms of sediment yield, the maximum contribution variable of sediment yield in tea land and red taro land was I_{30} , and the maximum contribution variable of sediment yield in mulberry land was rainfall.

Keywords: runoff and sediment yield; crop types; rainfall characteristics; soil water content; Dabie Mountain

收稿日期:2020-05-22
资助项目:安徽高校协同创新项目(GXXT2019047);国家重点研发计划项目“不同温升情景下区域气象灾害风险评估”(2019YFA0606900);
国家自然科学基金项目(41601023,41771536);安徽省自然科学基金项目(1808085QD117)
第一作者:洪雨馨(1998—),女,硕士研究生,主要从事水土保持工程研究。E-mail:wenhui177@126.com
通信作者:孙鹏(1986—),男,教授,博士生导师,主要从事气象水文学和遥感水文学研究。E-mail:sun68peng@163.com

水土资源一直是人类赖以生存的宝藏,以小流域为单位进行综合水土治理,是当今世界水土保持工作的一项基本战略。水土流失是由多种侵蚀动力与下垫面相互作用导致。代表模型有 RUSLE、USLE 以及 CSLE^[1-3]。有研究^[4-5]表明,植被对土壤的影响主要为生物建设以及生物保护,通过截流降雨从而相当程度上削减雨滴击打能力和径流冲刷。江忠善等^[6]、Gyssels 等^[7]建立相关关系式,定量分析植被盖度对土壤侵蚀的控制作用,并得出两者之间的负指数关系。Van Dijk 等^[8]研究得出,植被高度影响冠层对雨滴能量的削弱作用,从而影响土壤侵蚀情况,而根系则会影响水分下渗、土壤抗蚀性与抗冲性等^[9-10]。不同植被盖度、植被高度、根系特征等各不相同,对土壤侵蚀发挥不同的影响效应。前期土壤含水量直接影响降雨过程中土壤水分入渗状况以及径流分配,从而影响产流产沙^[11-13]。也有研究^[13-15]认为,在土壤下渗的初期,随着土壤前期含水量增加,雨水入渗速度减慢,地表初产流时间提前,坡面产沙量也随之上升,并且不同植被条件下土壤前期含水量变化特征各不相同^[16]。皖西大别山区作为我国南方山地丘陵区,地处脆弱敏感的生态交错带,且境内坡耕地较多,人为扰动严重,因此开展水土流失治理至关重要^[17-18]。基于此,本文采用霍山县水土保持试验站 3 个径流小区(茶叶、桑树、红芋)2016—2017 年逐日连续观测数据,研究不同作物类型下产流产沙对土壤含水量与不同降雨条件的响应规律,为该区域的水土保持和作物合理种植提供一定科学依据。

1 数据与方法

1.1 径流小区布设

霍山县水土保持试验站(东经 115°59′9″—115°59′20″,北纬 31°08′43″—31°09′09″)建成于 1981 年,负责江子河小流域综合观测站监测试验工作,用于提供相关资料和研究成果。该站位于霍山县上土市镇,试验站下设气象园、径流场、控制站,其土壤土质、地表状况均可代表大别山区大体特征(图 1)。

径流场位于试验站山场内,占地面积 5.73 hm²,2011 年共改建 8 个试验小区。本试验采用 T3 小区(种植茶叶)、T5 小区(种植红芋)和 T6 小区(种植桑树),均属安徽大别山区主要经济、农业植被。小区规格均为 5 m×20 m,坡度为 23°,坡向呈西南方向,中部坡位,面积为 100 m²,采取 1 级分流,分流桶为 9 孔分流。小区均采用坡耕地种植,其田间管理均针对当地较为常见的农林经营方式采取不同水土保持措施,符合当地种植习惯及规律。

1.2 数据观测

径流场监测指标有各类降雨因子、径流量、产沙

量、侵蚀模数、下垫面性质及植被覆盖度等。采取自记式雨量进行降雨全时段监测,以 5 min 为间隔进行记录,人工记录降雨起止时间及降雨过程中雨势动态特征,以便进行验证。1 000 mL 广口取样瓶用于降雨后混合水样收集,采用铝盒烘干法测定水样含沙量。土壤水分观测采用 TDR 法测定,测量深度为 6 cm,测量时间间隔为 15 天,分别在试验小区的上、中、下坡各测量 3 次取平均值。

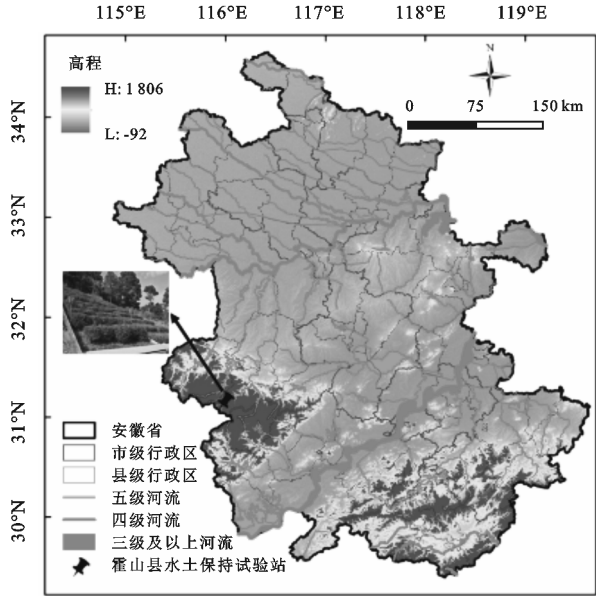


图 1 研究区地理位置示意

本文采用 2016—2017 年标准径流小区野外观测资料,通过前期对比检查、整理分析后,整体数据较为准确可靠。

1.3 数据处理

灰色关联度和关联度计算:灰关联指事物间不确定的关联性,灰关联度可用于研究各要素之间的关联程度。灰色关联分析是就各要素微观、宏观几何接近的基础上,分析各要素间影响程度的处理方法^[19-20]。

设 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 个因子,反映各因子变化情况的数列分别为 $\{X_1(k)\}, \{X_2(k)\}, \dots, \{X_N(k)\}, k = 1, 2, \dots, M$ 。因子 X_j 与 X_i 的关联系数计算式为:

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_j \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_j \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中: $\zeta_{ij}(k)$ 为关联系数; $\Delta_{ij}(k)$ 为比较数列与参考数列对应数据的绝对差值; ρ 为分辨系数, ρ 越大,分辨率越小,通常取 $\rho = 0.5$ 。灰色关联度 λ_{ij} 使用平权法运算,公式为:

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_{ij}(k) \quad (2)$$

坡面的产流产沙特征是土壤侵蚀结果的集中反映,本研究主要针对不同作物在各生长阶段土壤含水量与天然降雨对坡面产流产沙的影响进行相关数据

分析,以探究作物在生长过程中坡面土壤侵蚀的变化特征。此外本文定义:3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12—翌年 2 月为冬季。

2 结果与分析

2.1 不同作物类型下产流产沙动态变化

降雨是导致水土流失的主要动力,其与坡耕地产流产沙情况有密切联系^[21]。在坡耕地关于作物类型与产流产沙的研究中,降雨量和降雨强度是主要影响因子^[22]。本文选取径流观测期为 2016 年 1 月至 2017 年

11 月。从图 2(a)和图 2(d)中可知,降雨集中在夏季,夏季降雨次数和降雨量分别占全期的 41.3%和 44.5%,7 月出现降雨量峰值,为 550 mm,是最低值月的 16.67 倍。对照图 2(b),5—8 月的平均降雨强度均高于其他月份,夏季平均雨强为 17.2 mm/h,分别为春季的 2.0 倍,秋季的 4.6 倍,冬季的 6.6 倍。从图 2(a)可看出,作物产流高峰期与降雨高峰期基本吻合,说明在高水平的雨量与雨强下产流情况更为严重,因此对于产流产沙的相关治理措施应着力于强降雨阶段。

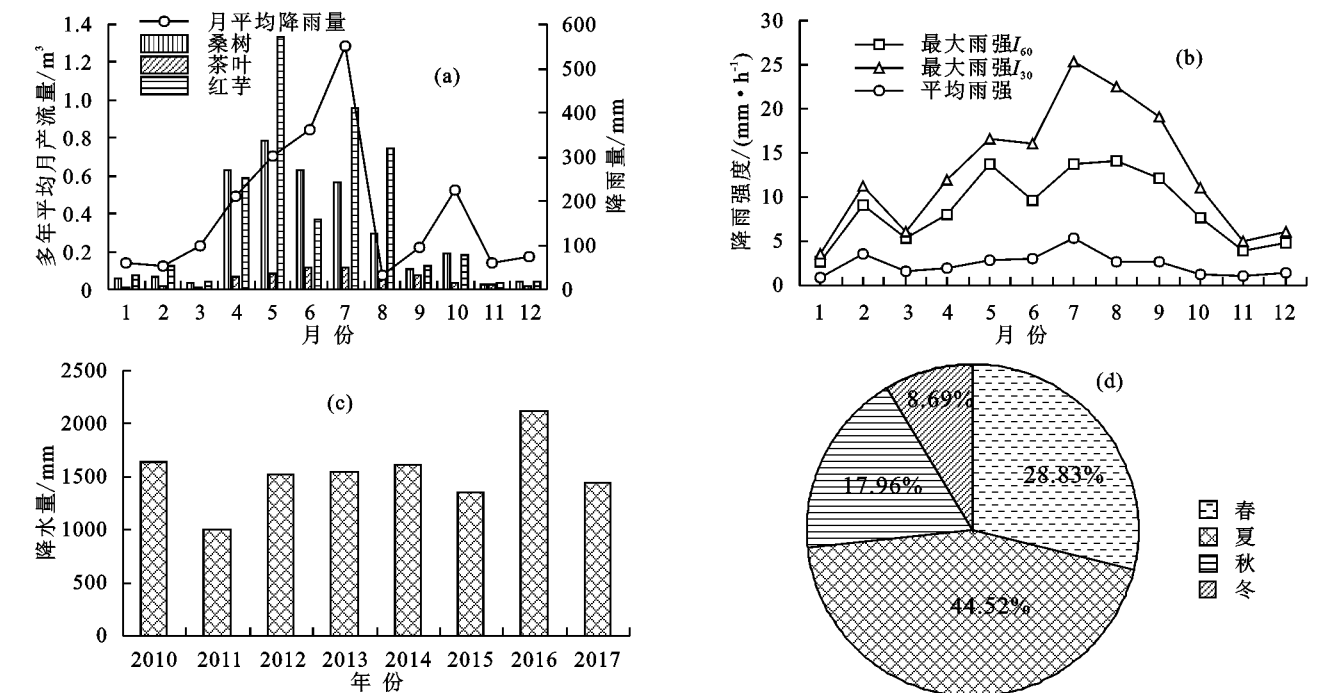


图 2 降雨因子动态变化与各小区产流变化

从图 3 不同作物下产流产沙、植被盖度及径流系数月季变化趋势可知,在不同作物的影响下,其变化有显著的季节性变化。红芋地年平均产流总量最高,为 4.6 m³,分别是桑树地和茶叶地产量总量的 1.4, 6.7 倍。红芋地年平均产沙总量也是最高,为 48.4 kg/m³,分别是桑树地和茶叶地的 13.4, 161.0 倍。茶叶地在春夏多雨季节的产流产沙量远小于桑树地和红芋地。红芋作为一年生植物,在强降雨时期产流产沙量皆远大于桑树地与茶叶地。

3 种作物对产流产沙的抑制效果呈茶叶地>桑树地>红芋地,且茶叶地的效果较为明显。红芋在生长过程中对土壤的扰动较大,因此在强降雨时期更易造成土壤表层板结^[8,23],加上雨滴打击夯实,容易形成致密层,造成密闭效应,大大减少水分的下渗,加剧了表面径流强度并增强了输沙能力,因此造成的产流产沙量最大^[24]。而由图 3(c)可以看出,茶叶地的植被盖度全年皆远大于桑树地与红芋地,常年维持在 70%~80%。植被的林冠能够劫持部分雨水并且削减雨滴动能,同时根系能够使土壤的疏松程度提高,增强土壤渗透力,减少径

流流速的同时增加径流入渗时间,从而大大降低产流产沙速率。因而茶叶地抑制产流产沙效果最佳。

4 个小区的各月径流量随当月降雨量变化而变化,而局部存在差异。6 月总降雨量是 362 mm,为 5 月降雨量的 1.3 倍,而由图 3(a)、图 3(c)可知,5 月红芋地的平均产流量是 1.33 m³,为 6 月的 3.3 倍,5 月桑树地的产流量是 0.79 m³,为 6 月的 1.4 倍,在植被盖度 2 个月差异不大的情况下,最大雨强 I60 在 5 月出现峰值 13.8 mm/h,因此降雨强度差异对产流产沙影响巨大。7 月总降雨量是 550 mm,为 5 月的 1.8 倍,最大雨强 I60 是 13.8 mm/h,为 5 月的 1.5 倍,红芋地径流量却出现明显的减少,降低 31%,分析可知,红芋 7 月植被覆盖度出现明显的提升,其盖度由 6% 提升至 90%,再次证明植被盖度对抑制产流产沙的作用。

从图 3(a)可知,红芋地在强降雨时期产流量较大,在 7 月产流产沙量都急剧增加。查阅径流场管理记录表可知,红芋地在 6 月 28 日进行过人工翻挖,其对土壤的扰动深度为 25 cm,通过翻挖一定程度上加大了土壤的扰动,对产流产沙影响较大。因此对植被

的耕作管理至关重要,在强降雨时期应注意减少土壤

扰动,可采用人工拔除杂草代替使用条锄。

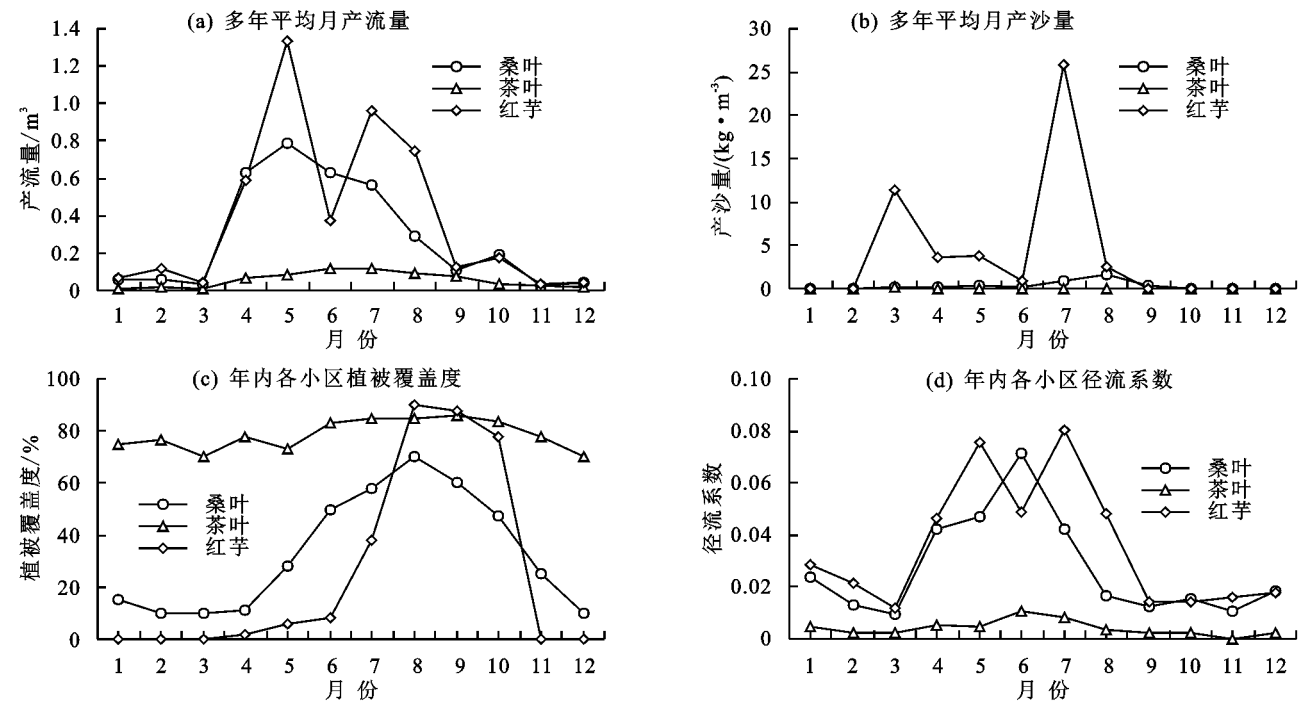


图 3 不同作物下产流产沙、植被盖度及径流系数月季变化

2.2 不同作物类型下土壤含水量特征

2.2.1 不同作物类型下土壤含水量动态变化 土壤含水量变化受降雨、作物类型以及地形等影响,因此在不同的作物类型下土壤含水量的变化规律不同。由图 4 可知,总体上,春夏季降雨丰沛,6,7 月暴雨、大暴雨频发,而进入 8 月后降雨明显减少。在 2016 年的降雨条件下,宏观上,各作物年内土壤含水量的季节变化有较为相似的变化趋势,全年变化呈“W”形,即 1—2 月土壤含水量较高,3—4 月土壤含水量

普遍较低,5 月中旬至 7 月初各作物小区土壤含水量明显抬升并波动剧烈,其后各作物土壤含水量明显同步下降,9—10 月土壤含水量逐渐上升,其后再次下降。联系气温动态变化图(图 4b)可知,从 3 月中下旬起至 5 月初气温出现明显抬升,同时降水补给较少并且植被盖度较低,土壤水分消耗较大;而 7 月中下旬至 10 月初,气温普遍处于 20℃ 以上,土壤水分蒸发量较大同时降水量显著减少,因此土壤含水量在 3—5 月以及 8—10 月期间呈现明显低值^[25-26]。

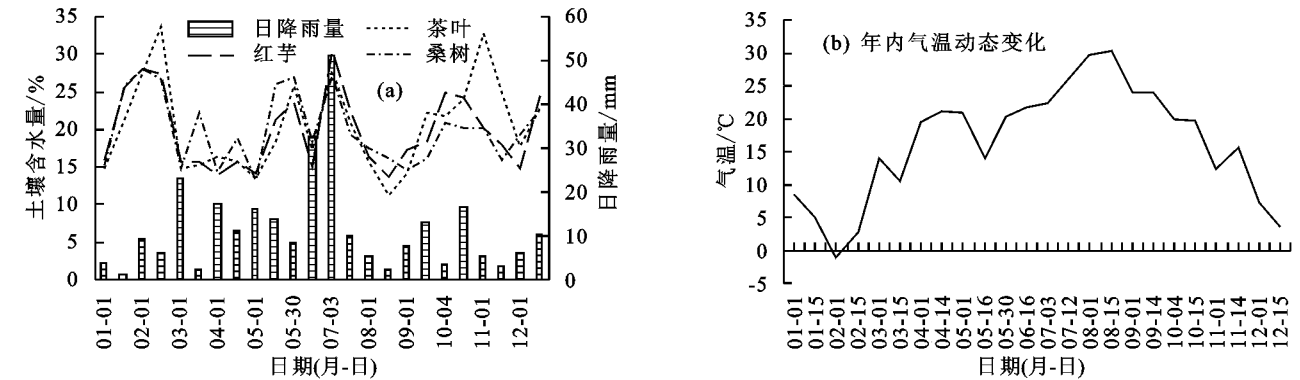


图 4 不同径流小区年内土壤含水量变化

由表 3 径流小区土壤含水量季节性变化可知,秋、冬季各小区土壤含水量明显高于春、夏两季。分析原因,秋、冬季含水量高可能源于气温较低,作物呼吸作用较弱且土壤水分蒸发较少,并且土壤里有较多的根系、植物残体及凋落物,其涵养水源的能力较强。春、夏季节土壤平均含水量较低的原因是气温相对较高,使得表层土壤蒸发潜力较大,同时植被蒸腾作用较强,消耗大量土壤水分,因此水分流失普遍大于补

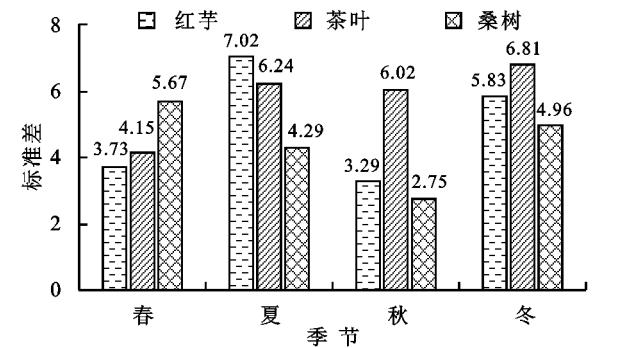
给,为土壤含水量消耗阶段。主要因为春、夏季水土流失最为严重,因此土壤含水量多少可以反映水土流失情况。而桑树地秋季平均土壤含水量明显低于其他 3 季,是因为秋季土壤水分骤降,并且由植物覆盖度图可知,此时树叶幕形成,进入果实膨大期,需要消耗大量水分,因此含水量此时最低^[25,27]。

全年土壤平均含水量各作物差异较小,红芋地为 19.9%,茶叶地为 20.4%,桑树地为 20.0%,各作物小

区按浅层土壤含水量排序可知茶叶地>桑树地>红芋地。与作物产流产沙抑制效果排序相同,说明相同降雨条件下,土壤保水效果越好的作物小区相对产流产沙越低。

表 3 2016 年径流小区土壤含水量(6 cm)季节性变化分析
单位: %

植被类型	季节	平均含水量	最大含水量
红芋	春	17.2	23.6
	夏	19.6	30.6
	秋	20.5	24.8
	冬	22.7	28.1
茶叶	春	17.1	25.9
	夏	18.5	27.8
	秋	23.3	32.8
	冬	23.0	33.7
桑树	春	19.5	27.0
	夏	19.7	27.1
	秋	18.0	20.8
	冬	22.9	28.0



注: CV<0.1 为弱变异; CV 在 0.1~1.0 为中等变异; CV>1.0 为强变异。

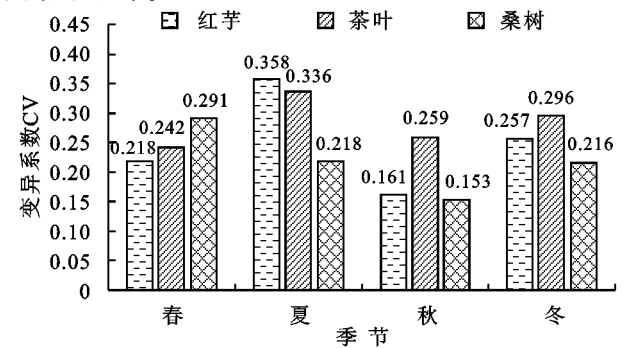
图 5 季节性土壤含水量(6 cm)标准差与变异系数统计

2.2.2 不同作物类型下降雨与土壤含水量灰色关联分析 选取 2016 年降雨参数(雨量、历时、雨强、 I_{30} 、 I_{60})为比较数列,各小区植被土壤含水量为参考数列,为消除各参数间的量纲差异,对各参数数列进行了均值化处理,并求出比较数列与参考数列之间的绝对差值、两级最大差值和最小差值,带入灰色关联系数计算公式,求出各径流小区降雨参数与土壤含水量之间的灰色相关系数见表 4。

表 4 各径流小区降雨参数与土壤含水量间灰色关联度					
植被类型	降雨量/ mm	降雨 历时/min (mm·h ⁻¹)	降雨强度/ I_{30} / (mm·h ⁻¹)	I_{60} / (mm·h ⁻¹)	
红芋	0.62	0.78	0.72	0.65	0.64
茶叶	0.61	0.76	0.69	0.63	0.63
桑树	0.63	0.74	0.76	0.67	0.66

由表 4 可知,纵向比较,降雨参数与土壤含水量见的灰色关联度为雨量 0.62,历时 0.76,平均雨强 0.72, I_{30} 0.65, I_{60} 0.64。由此可见,降雨参数与土壤

标准差和变异系数(CV)可用于反映样本间的总变异程度。CV 值的大小反映了土壤含水量的稳定性。其值越大,说明该处土壤水分变化越频繁;反之则越稳定。由图 5 可知,各作物 6 cm 浅层土壤水分变化均相当剧烈,CV 值均在 15.3% 以上,夏季红芋地 CV 值达到 35.8%。土壤浅层水分变化主要受地表温度、天然降水、大气湿度、土壤覆盖物等因子以及表层土壤水分蒸发和渗透影响,因此土壤含水量随时间变化较大,而夏季暴雨、大暴雨频发,同时持续高温,导致地表持续高蒸发量,使得地表水分在短时间内变化差异较大,变异系数较高。其中春季红芋地土壤含水量变化最小,CV 值为 0.218;夏、秋、冬季桑树地土壤含水量变化最小,CV 值皆低于 0.22。从季节来可知,秋季土壤水分稳定性最强,夏季最弱;综合来看,红芋地、茶叶地、桑树地全年土壤含水量 CV 平均值为 0.25,0.28,0.22,因此桑树地对土壤含水量的稳定效果最好。



含水量之间灰色关联度大小依次为历时>平均雨强> I_{30} > I_{60} >雨量,降雨历时对土壤含水量影响最大,雨强影响次之。雨量与土壤含水量的关联度是降雨参数中最小的。各径流小区土壤含水量与降雨参数之间的灰色关联度分别为红芋地 0.66,茶叶地 0.68,桑树地 0.69,即各作物土壤水分对降雨的响应程度大小排序为桑树地>茶叶地>红芋地,说明不同作物类型下降雨对表层土壤水分的补给程度不同。

2.3 坡面产流产沙因素定量分析

选取 2016—2017 年典型降雨的降雨历时、降雨量、平均历时等 6 个降雨因子及各作物降雨前期土壤含水量,构建对应每场降雨产流量、产沙量相关性分析,从表 5 可以看出,整体上看,产流产沙量与降雨量、最大雨强 I_{30} 、最大雨强 I_{60} 、降雨侵蚀力,均在 0.01 水平呈现极显著正相关,且产流量与降雨因子的相关系数整体高于产沙量。而降雨历时、降雨强度及前期土壤含水量与产流产沙未通过显著相关性检验。

通过对不同作物类型下降雨因子与水土流失相

关因子的相关分析(表 5)可以看出,影响地表产流量与产沙量的主要因子是降雨侵蚀力,相关系数均达到 0.5 以上的极显著相关。其中就产流量而言,降雨侵

蚀力对红芋地影响最明显,相关系数达 0.747 极显著相关;就产沙量而言,对桑树地影响最明显,相关系数达 0.702 极显著相关。

表 5 降雨因子、前期土壤含水量与产流产沙的相关性分析

植被种类	项目	历时	降雨量	降雨强度	最大雨强	最大雨强	降雨 侵蚀力	前期土壤 含水量
					I_{30}	I_{60}		
茶叶	产流量	0.110	0.395**	0.065	0.520**	0.535**	0.571**	0.240
	产沙量	0.157	0.440**	0.009	0.420**	0.453**	0.490**	0.301
红芋	产流量	0.130	0.532**	0.045	0.427**	0.576**	0.747**	0.091
	产沙量	0.105	0.313*	0.016	0.231*	0.299*	0.316*	0.266
桑树	产流量	0.160	0.502**	0.023	0.334*	0.425**	0.635**	-0.064
	产沙量	0.048	0.390**	0.059	0.350*	0.465**	0.702**	-0.086

注: ** 表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著; * 表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著。

通过对不同作物类型下的降雨因子及前期土壤含水量与产流产沙进行相关性分析发现,部分降雨因子与产流产沙之间存在比较明显的显著性关系,选取相关性较强的降雨因子和产流产沙量进行逐步回归性分析,构建回归模型以得到其变化关系。此处选取表 5 中对不同径流小区产流产沙量影响最显著的降雨因子 P 、 R 、 I_{30} 、 I_{60} 进行多元逐步回归分析,并对原始数据离群值进行处理以防造成的不良影响,并通过对比标准化回归系数的绝对值,对纳入方程的降雨因子进行贡献性排序。由表 6 可知,各回归方程 F 统计量对应 P 值均远小于 0.001,模型整体较为稳定。从模型中可看出,就产流量而言,3 个小区产流情况与降雨侵蚀力呈显著正相关,随着降雨侵蚀力的增大,红芋地的产流量增加幅度最大,茶树地与桑树地的产流量增加幅度较

为缓慢。随着 I_{30} 的增大,红芋地与桑树地的产流量缓慢减小,茶叶地的产流量则缓慢增大;并且茶叶地随着 I_{60} 的增大而迅速减小。就产沙量而言,茶叶地与红芋地的产沙量随 I_{30} 的增大而迅速增大,而桑树地的产沙量则随降雨量的增大而显著增大。

将标准化系数与变量贡献度进行比较,在产流量的拟合中,各小区变量贡献度皆呈 $R>I_{30}$,贡献度最大变量为降雨侵蚀力,说明以茶叶为例的灌木、桑树为例的乔木以及红芋为例的草本植被,对其产流量影响最大的是降雨侵蚀力;而就产沙量而言,则恰恰相反,茶叶地与红芋地的模型拟合中 $I_{30}>R$,贡献度最大变量为 I_{30} ,而对桑树地产沙情况贡献度最大变量为降雨量。根据表中各小区相关公式,可以求得不同降雨条件下各小区水土流失情况。

表 6 不同小区产流产沙量拟合回归方程模型

拟合类型	作物类型	回归模型	R^2	P 值	变量贡献度比较
不同植被种类下各 降雨因子与产流量拟合	茶叶	$W_1=0.596I_{30}-1.083I_{60}+1.095R$	0.490	<0.001	$R>I_{60}>I_{30}$
	红芋	$W_1=1.240R-0.597I_{30}$	0.672	<0.001	$R>I_{30}$
	桑树	$W_1=1.130R-0.599I_{30}$	0.518	<0.001	$R>I_{30}$
不同植被种类下各 降雨因子与产沙量拟合	茶叶	$W_2=0.011R+0.345I_{30}$	0.435	<0.001	$I_{30}>R$
	红芋	$W_2=0.798I_{30}-0.507R$	0.354	<0.001	$I_{30}>R$
	桑树	$W_2=0.640P+0.494R$	0.685	<0.001	$P>R$

注: W_1 为产流量; W_2 为产沙量; P 为降雨量; R 为降雨侵蚀力; I_{30} 为最大 30 min 雨强。

3 结论

(1)夏季降雨次数和降雨量占全期的 41.3% 和 44.52%, 4—7 月为产流高峰期,该时期各小区产流量占年产流量的 76%(桑树)、57%(茶叶)、70%(红芋), 3 种作物对产流产沙的控制效果中,茶叶地>桑树地>红芋地。同时植被盖度与农作方式对水土保持影响大。

(2)各作物年内土壤含水量变化趋势类似,年内

变化呈“W”形。由于夏季暴雨、大暴雨频发,伴随持续高温,导致地表持续高蒸发量,使得地表水分在短时间内变化差异较大,变异系数较高,因此夏季土壤含水量波动最为剧烈。表层土壤平均含水量排序为茶叶地>桑树地>红芋地,与产流产沙抑制效果排序一致。

(3)降雨参数与土壤含水量之间灰色关联度大小依次为历时>平均雨强> $I_{30}>I_{60}>$ 雨量,降雨历时是影响各作物类型土壤含水量最重要的因素。各作

物类型下土壤含水量对降雨的响应程度大小为桑叶地>茶树地>红芋地,说明不同种植措施下降水对表层土壤水分的补给程度不同。作物小区内产流量贡献度最大变量为降雨侵蚀力,而就产沙量而言,则恰恰相反,茶叶地与红芋地的产沙量贡献度最大变量为 I_{30} ,而对桑树地产沙贡献度最大变量为降雨量

参考文献:

- [1] Mengesha Z, Mohammed S M, Demeke S, et al. Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia[J].Geoderma Regional,2018,12:83-90.

[2] Kwanele P, Njoya S N. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review[J].International Soil and Water Conservation Research,2019,7(1):27-46.

[3] 卢刚.基于 CSLE 模型的天山北坡西白杨沟流域土壤侵蚀定量评价[J].水土保持通报,2019,39(2):124-130.

[4] 张志强,王礼先,余新晓,等.森林植被影响径流形成机制研究进展[J].自然资源学报,2001,16(1):79-84.

[5] Naylor L A, Viles H A, Carter N E A. Biogeomorphology revisited: Looking towards the future[J].Geomorphology,2002,47:38-44.

[6] 江忠善,王志强,刘志.黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(1):1-9.

[7] Gyssels G, Poesen J, Bochet E. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review[J].Progress in Physical Geography,2005,2:189-217.

[8] Van Dijk P M, Kwaad F J P M, Klapwijk M. Retention of water and sediment by grass strips[J].Hydrological Processes,1996,10:1069-1080.

[9] 刘定辉,李勇.植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[J].水土保持学报,2003,17(3):34-37,117.

[10] Wainwright J, Parsons A J, Schlesinger W H, et al. Hydrology-vegetation interactions in areas of discontinuous flow on a semi-arid Bajada, Southern New Mexico[J].Journal of Arid Environments,2002,51(3):319-338.

[11] Fitzjohn C, Ternan J L, Williams A G. Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: Implications for runoff erosion control[J].Catena,1998,32(1):55-70.

[12] Wei L, Zhang B, Wang M. Effects of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems[J].Agricultural Water Management,2007,94(1/3):54-62.
- [13] 陈洪松,邵明安,王克林.土壤初始含水率对坡面降雨入渗及土壤水分再分布的影响[J].农业工程学报,2006,22(1):43-47.

[14] 张玉斌,郑粉莉.近地表土壤水分条件对坡面土壤侵蚀过程的影响[J].中国水土保持科学,2007,5(2):5-10.

[15] 沈紫燕,王辉,平李娜,等.前期土壤含水量对粘性红壤产流产沙及溶质运移的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):58-62.

[16] Mamedov A I, Shainberg I, Levy G J. Wetting rate and sodicity effects on interrill erosion from semi-arid Israeli soils[J].Soil and Tillage Research,2002,68(2):121-132.

[17] 李智广,曹炜,刘秉正,等.我国水土流失状况与发展趋势研究[J].中国水土保持科学,2008,6(1):57-62.

[18] 王牲生.大别山区水土保持现状及对策[J].河南科技,2018(15):154-155.

[19] 肖恩邦,孙保平,陈串,等.陕北黄土区人工刺槐林地土壤水势特征[J].水土保持学报,2017,31(3):129-133.

[20] 贺祥,林振山,刘会玉,等.基于灰色关联模型对江苏省PM_{2.5}浓度影响因素的分析[J].地理学报,2016,71(7):1119-1129.

[21] 温永福,高鹏,穆兴民,等.野外模拟降雨条件下径流小区产流产沙试验研究[J].水土保持研究,2018,25(1):23-29.

[22] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to consenation planning[M].U. S.: Agriculture Hand Book,1978.

[23] Baets S, Poesen J, Knapen A, et al. Root characteristics of representative Mediterranean plant species and their erosion-reducing potential during concentrated runoff[J].Plant and Soil,2007,294:169-183.

[24] 马波,由政,吴发启,等.种植大豆条件下土壤结皮对坡耕地径流和侵蚀产沙的影响[J].中国水土保持科学,2015,13(3):16-23.

[25] 唐敏,赵西宁,高晓东,等.黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分变化特征[J].应用生态学报,2018,29(3):765-774.

[26] 黄志刚,欧阳志云,李锋瑞,等.南方丘陵区不同坡地利用方式土壤水分动态[J].生态学报,2008,29(6):3136-3146.

[27] 付斌,胡万里,屈明,等.不同农作措施对云南红壤坡耕地径流调控研究[J].水土保持学报,2009,23(1):17-20.