

不同复合种植模式对土壤可蚀性 K 值与侵蚀量的影响研究

陶俊¹, 何丙辉¹, 徐小军¹, 李建兴¹, 孙文艳²

(1. 西南大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用野外调查与室内分析相结合的方法, 把 4 种农作物引入复合种植模式中, 以土壤可蚀性 K 值、径流量、侵蚀量为指标, 对紫色土区不同复合种植模式与水土流失特征的关系进行分析和研究。研究结果表明: (1) 与单一的种植模式相比, 不同复合种植模式使水土流失敏感性增强, K 值增大, 土壤容易被侵蚀。(2) 土壤可蚀性 K 值与土壤砂粒含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.957 ; 与土壤黏粒含量、有机 C 含量呈负相关, 相关系数分别为 -0.191 , -0.637 ; 与粉粒含量呈显著的正相关, 相关系数为 0.986 。黏粒及有机质含量的高低是反映紫色土区土壤抗侵蚀能力强弱的有效指标。(3) 与柚子纯林种植模式相比, 复合种植模式的径流截留效益显著。综合各项指标发现, 柚子—粉葛复合模式抗侵蚀效果最好, 最适宜推广种植。

关键词: 紫色土区; 复合种植模式; K 值; 径流量; 侵蚀量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0038-06

中图分类号: S157.1

Effects of Different Types of Multiple Cropping on Soil Erodibility and Erosion Amount

TAO Jun¹, HE Bing-hui¹, XU Xiao-jun¹, LI Jian-xing¹, SUN Wen-yan²

(1. Key Laboratory of Eco-environment in the Three Gorges Reservoir Region of the Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In combination of field investigation with laboratory analysis, the relationships between multiple cropping and soil and water loss in the purple soil region were analyzed using soil erodibility K value, runoff and erosion amount as indicators. Results showed that: (1) In contrast to single cropping pattern, the different cropping modes enhanced the sensitivity to soil and water loss, increased soil erodibility K value and made soil to be eroded more easily. (2) The K value had a significantly negative correlation with sand content, with a correlation coefficient of -0.957 . It was negatively correlated with clay content and organic C content, with correlation coefficients of -0.191 and -0.637 , respectively. The K value had a significant positive correlation with silt content, with a correlation coefficient of 0.986 . The levels of organic matter content and clay content were the sound indexes reflecting the resistance to erosion for purple soil. (3) Compared with the grapefruit pure cropping pattern, the runoff interception efficiency by multiple cropping was significant. The multiple cropping pattern of grapefruit and *Pachyrhizua angulatus* has the best effect in controlling soil erosion and thus is most suitable for application.

Keywords: purple soil region; multiple cropping; K value; runoff; erosion amount

收稿日期: 2012-05-19

修回日期: 2012-09-05

资助项目: 国家自然科学基金项目“植物篱配置模式对三峡库区面源污染控制机理研究”(40971166); 国家科技支撑计划项目“坡地埂—路—沟—池工程配套技术集成规范”(2011BAD31B03)

作者简介: 陶俊(1987—), 男(汉族), 河南省信阳市人, 硕士, 主要从事城市水土保持研究。E-mail: taojun8789@163.com。

通信作者: 何丙辉(1966—), 男(汉族), 湖南省汨罗市人, 博士, 教授, 主要从事土壤侵蚀与小流域综合治理研究。E-mail: hebingshui@yahoo.com.cn。

研究区位于紫色土区,生态比较脆弱,农业耕作多以坡耕地种植为主,水土流失比较严重,同时不合理的土地利用造成水土流失加剧,土壤严重退化。复合种植是一种有效的控制水土流失的措施,复合种植模式与作物类型的改变可以引起土壤、水分、作物间相互作用的变化,影响着许多生态过程,进而引起土壤理化性质的改变。通过人为合理利用和选择合适农作物,进行复合种植,可以达到改善环境且发展经济,人与社会、自然的协调发展的目的。国内外大部分学者是围绕着复合种植模式的间作模式优化配置^[1]、光合特性^[2]、经济效应^[3]、生态效应^[4-6]等宏观方面做了研究探讨,但目前对有关复合种植模式对土壤侵蚀特征的研究还比较缺乏。为探讨不同复合种植模式对土壤侵蚀特征的影响,本文对在4种植模式下的土壤可蚀性因子K值、径流量与侵蚀量进行了分析,旨在为不同复合种植模式对三峡库区坡耕地防治水土流失、提高土壤抗侵蚀能力提供依据。

1 研究区概况

试验区位于重庆市合川市狮滩镇,地处三江浅丘平坝区,属沿江宽缓剥蚀低丘带坝地带,海拔高度186~300 m,地质构造为合川向斜、钱塘镇向斜。试验区为亚热带湿润季风气候,全年日照时数为1 288.7 h,境域相对湿度年平均为83%,年均温度17.8~18.1℃,年均降雨量1 000~1 200 mm。狮滩镇所选试验场地为15°的坡耕地,土壤母质为沙溪庙组(J_{2s}),成土母岩为页岩,发育土壤为紫色土。

2 试验布置与方法

2.1 试验布置

试验地设在狮滩镇,试验小区为5 m×20 m标准径流小区,所设处理按照不同复合品种进行布置,分T₁, T₂, T₃, T₄ 4种模式。各模式如下:(1) T₁:柚子纯林,行距30 cm,株距20 cm,密度14.4株/m²,地表覆盖率达70%;(2) T₂:柚子—玉米,柚子植株与T₁相同,玉米植株行距30 cm,株距20 cm,密度10株/m²,地表覆盖率达85%;(3) T₃:柚子—粉葛,柚子植株与T₁相同,粉葛植株行距30 cm,株距20 cm,密度10株/m²,地表覆盖率达100%;(4) T₄:柚子—苋菜,柚子植株与T₁相同,苋菜植株行距30 cm,株距20 cm,密度10株/m²,地表覆盖率达100%。各种种植模式的土壤状况、立地条件、管理措施基本一致。T₁为单一种种植模式,作为复合种植模式的对照。

2.2 测定项目及试验方法

2.2.1 土样的采集 本试验研究对上述4个径流小区先后进行了土样采集,土壤样品采集时间为作物生长期5月下旬。在各小区内以梅花形布置5个采样点,按0—20 cm, 20—40 cm分层采取土样,每个采样点设置3个重复,然后将平行采取的土样混合,取约500 g带回实验室供物理性质测试。4个小区则共采集40个混合土样。另外用环刀按同层次取样用于土壤容重的测定。

2.2.2 土样的分析方法 将从试验小区取回的土样,先去除砾石及根系等杂物,再经风干、过筛备用。用重铬酸钾容量法测定有机质及有机碳,用吸管法^[7]测定机械组成。

采用Sharply等^[8]在EPIC(erosion-productivity impact calculator)模型中提出的土壤可蚀性因子K值估算方法来求出K值,计算公式为:

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.025 \cdot 6 \text{SAN}(1 - \text{SIL}/100)]\} \times \left[\frac{\text{SIL}}{\text{CLA} + \text{SIL}} \right]^{0.3} \times \left[1.0 - \frac{0.25\text{C}}{\text{C} + \exp(3.72 - 2.95\text{C})} \right] \times \left[1.0 - \frac{0.7\text{SN}_1}{\text{SN}_1 + \exp(-5.51 + 22.9\text{SN}_1)} \right]$$

式中: SAN——砂粒(2~0.05 mm)含量(%); SIL——粉粒(0.05~0.002 mm)含量(%); CLA——黏粒(<0.002 mm)含量(%); C——有机碳含量[%, 土壤有机碳(C)=0.583有机质含量]。SN₁=1-SAN/100。计算的K值为美国习惯用单位,将其乘以0.1317则可转变为国际制单位。

2.2.3 水样的采集与测定 为了收集地表径流,各径流小区内分别建有集水槽,同时为了防止降雨过程中径流渗漏,槽上部加盖用来除去降雨的影响。降雨后为了降低数据的误差,减少外界影响因子的干扰立即观测并记录集水槽内水深,计算产生的径流量。然后将径流池匀速搅拌至均匀,取中层水样1 000 ml,将水样用干燥并称重的滤纸过滤,恒温烘干并称量,测定单位体积径流的含沙量,根据每次降雨的径流量计算小区土壤流失量,再通过物理模型对流失量进行系数调整获得换算成单位面积土壤侵蚀量。统计结束后,将各集水槽冲刷干净,做好下次采样的准备。

3 结果与分析

3.1 不同复合种植模式对K值的影响

3.1.1 不同复合种植模式下颗粒组成的特征分析 土壤颗粒组成是构成土壤结构体的基本单元。不同粒径的土壤颗粒具有不同的理化性质,不同土壤粒径

含量的组成能影响土壤的疏水性和空气循环、结构性状和养分含量,决定其持水能力、保肥能力、透气程度和保温能力等理化性质,进而影响土壤的物理、化学和生物学过程^[9-10]。

从表 1 可以看出, T_1 纯柚林作为单一的种植模式,经试验测定得出砂粒、粉粒、黏粒含量分别为 59.3%, 26.73%, 13.97%; 其他 3 种不同复合种植模式 T_2, T_3, T_4 与其相比,土壤黏粒含量在分布上表现出一定差异,它们的土壤黏粒平均含量大小关系表现为 $T_1 < T_4, T_1 > T_2, T_1 > T_3$; 同单一种植模式 T_1 相比,复合种植模式中 T_4 模式增幅最大为 29.13%, T_3 模式减幅最大为 30.85%。土壤粉粒平均含量的变化趋势相似,皆具有一定增幅,其中, T_2 模式的增幅最小,增加量为 1.23%。增幅最大的是 T_3 , 增加量为 175.87%。土壤粉粒在含量上 T_3 和 T_4 模式明显高于 T_1 模式,尤其是 T_3 模式下的土壤粉粒含量急剧上升,表明柚子林下种植粉葛模式对增加土壤中较大颗粒含量有良好促进作用。土壤砂粒平均含量的变化趋势为 T_2 模式增加, T_3, T_4 模式降低, T_1 增幅增加量为 1.86%, T_3 为最大减幅,减少量为

72.52%。砂粒的含量在不同复合种植模式与单一种植模式下对比反映出 T_3 和 T_4 模式明显低于 T_1 模式,表明复合种植模式对降低土壤中砂粒的含量有明显改良效果。不同复合种植模式中的黏粒平均含量 T_3 模式的最小, T_4 模式的较大; 粉粒的平均含量大小顺序依次为 $T_2 < T_4 < T_3$, T_3 模式的粉粒平均含量最高,这意味着在柚子林下种植玉米对于土壤较大颗粒的优化分配是不利的; T_3 和 T_4 的砂粒平均含量明显小于 T_2 复合种植模式,可见,不同的复合种植模式对改善土壤砂粒的含量的效果也有所不同。不同复合种植模式下土壤颗粒组成不同,这种差异受林间作物特性的影响,随着林间作物的生长逐渐改变土壤的颗粒组成,从而造成不同复合种植模式下各径级土壤颗粒分布的差异性。总的来说, T_1 柚子纯林与 T_2 柚子—玉米复合种植模式的土壤颗粒组成差异最小, T_3 柚子—苋菜复合种植模式和 T_4 柚子—粉葛复合种植模式的土壤颗粒组成与 T_1 柚子纯林差异明显。 T_2 柚子林下种植玉米对土壤颗粒分布的影响不明显, T_3 种植粉葛和 T_4 苋菜则提高了土壤中较大颗粒的含量,而砂粒含量则明显降低,能较好地改善土壤结构。

表 1 不同复合种植模式小区土壤可蚀性 K 值特征

小区	模式	土层/ cm	水分/ %	有机 C/ %	SAN/%			SN ₁	K
					0.05~1 mm	0.002~0.05 mm	<0.002 mm		
T_1	柚子	0—20	21.20	1.855 6	53.80	30.58	15.62	0.462	0.028 4
		20—40	16.50	1.256 7	64.80	22.88	12.32	0.352	0.027 9
T_2	柚—玉米	0—20	14.67	1.178 2	62.60	23.76	13.64	0.374	0.029 0
		20—40	18.30	0.767 9	58.20	30.36	11.44	0.418	0.035 3
T_3	柚—粉葛	0—20	20.74	0.884 4	19.01	70.47	10.52	0.810	0.056 6
		20—40	14.30	0.769 4	14.19	77.01	8.80	0.858	0.059 0
T_4	柚—苋菜	0—20	25.83	1.244 5	18.59	60.73	20.68	0.814	0.047 2
		20—40	23.69	0.866 6	20.79	63.81	15.40	0.792	0.052 7

3.1.2 不同复合种植模式下 K 值的特征分析 土壤可蚀性因子 K 值是衡量土壤抗侵蚀性的一个重要指标,它是对土壤侵蚀外营力剥离和搬运的敏感性反映,也是定量研究土壤侵蚀的基础。结果表明,在 4 种复合种植模式中, T_1 纯柚子林的土壤可蚀性最低,平均值为 0.212 8, T_3 柚子—粉葛林的土壤可蚀性最高,平均值为 0.430 0,其顺序从小到大排列依次为 $T_1 < T_2 < T_4 < T_3$ 。

研究表明^[11],土壤结构的稳定性从本质上决定了土壤可蚀性的强弱。纯柚子林地具有良好的土壤理化性质,它受人为的农业生产干扰最小,土壤抗侵蚀能力较强,对侵蚀敏感性相对较弱,所以土壤可蚀性 K 值最小。其他 3 种不同复合种植模式相对于 T_1

单一种植模式来说,纯柚子林下间作其他作物时,土壤自然组成结构遭到更多的人为农作破坏,从而加剧土壤养分侵蚀,降低土壤有机质含量,使土壤更容易遭受侵蚀,侵蚀敏感性增强,土壤可蚀性 K 值增大。

表 2 反映不同复合种植模式下影响 K 值大小的影响因素。由表 2 可知,土壤可蚀性 K 值与土壤砂粒含量呈极显著负相关,相关系数为 -0.957; 与土壤黏粒含量、有机碳含量呈负相关,相关系数分别为 -0.191, -0.637, 未达到统计学上的显著水平; 与粉粒含量呈显著正相关,相关系数为 0.986。

由此可知,降低土壤中粉粒含量,可以改善土壤结构,降低土壤可蚀性,达到增强土壤的抗侵蚀能力的目的。

表 2 土壤可蚀性因子 K 值与影响因子的相关系数

影响因子	可蚀性因子 K	有机碳含量	砂粒含量	粉粒含量	黏粒含量
可蚀性因子 K	1				
有机碳含量	-0.637	1			
砂粒含量	-0.957**	0.422	1		
粉粒含量	0.986**	-0.506	-0.987**	1	
黏粒含量	-0.191	0.514	-0.069	-0.095	1

注: **代表 0.01 显著水平。下同。

3.2 不同复合种植模式对地表径流量与侵蚀量的影响

3.2.1 不同复合种植模式对地表径流量的影响 由图 1 可以得出,不同复合种植模式对紫色土坡耕地径流量有显著的影响。 T_1 作为纯林种植模式,它的 6 个月 24 次降雨的平均径流量为 5.59 mm,其他 3 种复合种植模式 T_2, T_3, T_4 的平均径流量值与其相比都小,总体上各模式径流量表现为 $T_1 > T_2 > T_4 > T_3$ 。可见,复合种植模式对坡面径流量的控制影响力要高于纯林种植模式。大小上有一定的影响作用。在复合种植模式中,对坡面径流量控制效果显著高于其他处理。 T_2 (柚子—玉米)复合种植模式处理对坡

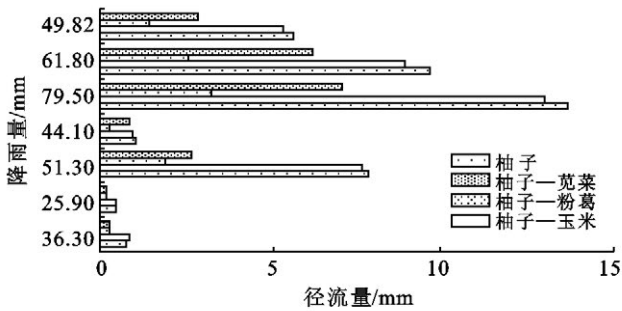


图 1 不同复合种植模式下径流量、土壤侵蚀量变化

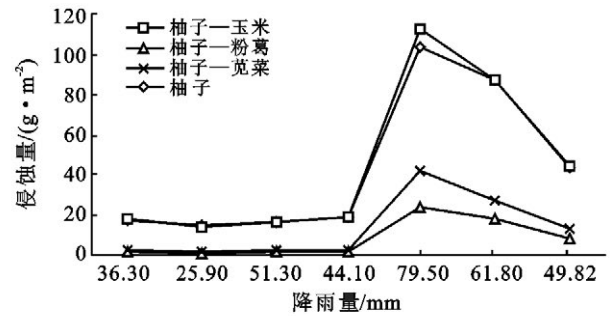
表 3 不同种植模式下径流量与降雨量的关系

小区	回归方程	相关系数	显著检验
T_1 (柚子)	$y=0.278x-8.2656$	$R^2=0.8944^{**}$	$F=33.888$
T_2 (柚子—玉米)	$y=0.2625x-7.7731$	$R^2=0.8890^{**}$	$F=32.042$
T_3 (柚子—粉葛)	$y=0.0661x-1.8866$	$R^2=0.8854^{**}$	$F=30.904$
T_4 (柚子—苋菜)	$y=0.1521x-4.6952$	$R^2=0.8891^{**}$	$F=32.070$

从相关系数可以看出,4 个径流小区的径流量与降雨量之间存在着极显著的线性回归关系: $y=ax+b$ (x 为降雨量, y 为径流量),同时回归方程中的 $a>0$,说明随着降雨量的增加,径流量也呈线性增加,相同降雨量状态时,斜率越大,径流量越大。4 个径流小区中,径流量与降雨量之间斜率最大的是 T_1 纯林种植模式,为 0.278 1;最小的是 T_3 (柚子—粉葛)区,为 0.066 1,最大值与最小值差值比较大,可见,不同种植模式下小区坡面径流量差异较大。

面径流量控制效果最差。 T_3 (柚子—粉葛)复合种植模式对坡面径流量控制效果相对最好。相同降雨量的不同种植模式下径流规律与平均径流量规律基本一致。其中第 5 个月的 4 个处理中,除去单一模式 T_1 (柚子)的参照数据, T_2 (柚子—玉米)复合种植模式处理的地表径流量最大,其次是 T_3 (柚子—粉葛)复合种植模式处理。 T_4 (柚子—苋菜)复合种植模式处理的径流量最低,第 1 个月和第 2 个月降雨下的 4 种种种植模式的平均径流量基本相同。同时还可以得出,不同的种植模式下径流量还存在着较大的差异变化,主要是由产流性次降雨量的差异造成的。产流性次降雨量越大,则每个不同处理径流量最小值与最大值之间的变化差异就越大,产流性次降雨量越小,其结果则相反。

众所周知,影响地表径流量的因素复杂多样,主要有降水、土壤因素、植被和地理地形条件等^[12]。降水则是影响径流成因的重要因素之一,它直接影响地表径流量的大小。故选择以降雨量 x 为试验因子建立 4 个径流小区的回归模型如表 3 所示。



总体来说, T_1 (柚子)纯林种植模式由于种植的柚子栽种有间隔,植株叶片不紧密,植被覆盖度低且植被形体较高,因此对降雨的截留作用小,加之人为管理,地表覆盖物很少,从而使表层土壤裸露容易直接受到降雨侵蚀。虽然种植使得表层土壤疏松,水分入渗性较好,但是在有降雨的情况下,一般都会产生径流。 T_2 (柚子—玉米)复合种植模式中的玉米是一种高秆作物,降雨期正值生长高峰期,其生长状态和植株高度与柚子情形相差不多,因而对降雨的截留作用与柚子纯林相似。另外,由于管理措施,模式内有很少的枯枝落叶,对降雨的涵养作用不甚明显,因此与 T_1 (柚子)纯林种植模式相比径流量差异很小。 T_3 (柚子—粉葛)复合种植模式植被覆盖最为良好,粉葛植株低矮,叶片多而密,林间几乎没有裸露地面,同时因植株高度差异,柚子与粉葛对降雨产生 2 次拦截,

削弱降雨势能较多, 变相增强土壤抗侵蚀能力, 而且土壤表层有腐殖质积累, 土壤容重较小, 结构良好, 增加了水分的入渗能力, 相比之下产生的径流量小。 T_4 (柚子—苋菜) 复合种植模式中, 苋菜也属于植株体矮小的植物, 也能对降雨产生二次截留, 但它叶片个数不多, 且伸展不宽阔, 郁闭程度没 T_3 (柚子—粉葛) 复合种植模式好, 因此产生的径流量要略高于 T_3 (柚子—粉葛) 复合种植模式, 小于 T_1 (柚子)、 T_2 (柚子—玉米) 2 种植模式。

3.2.2 不同复合种植模式对土壤侵蚀量的影响 坡地泥沙流失与作物生物量有很大的关系, 地表部分主要是受植被覆盖度和叶面积指数影响, 一般来说, 泥沙流失与植被覆盖度和叶面积指数成负相关, 而地下部分是受根系影响, 根系越发达, 坡地泥沙流失就越小, 且与径流量有一定的相关性^[13]。不同种植模式对土壤侵蚀量的影响是明显的, 从图 1 中可以看出, T_2 (柚子—玉米) 模式的土壤侵蚀量显著高于其他模式; 总体上土壤侵蚀量表现为 $T_2 > T_1 > T_4 > T_3$, T_2 模式和 T_1 模式的土壤侵蚀量差异很小。在同一次降雨中, T_2 (柚子—玉米) 复合种植模式的土壤侵蚀量最大, T_1 (柚子) 纯林模式土壤侵蚀量与其相差不多, 而这些都明显高于 T_3 (柚子—粉葛) 复合种植模式和 T_4 (柚子—苋菜) 复合种植模式。 T_2 (柚子—玉米) 复合种植模式在第 5 次降雨期, 侵蚀量大于其他处理的状况最为明显, 因为在降雨期, T_2 (柚子—玉米) 复合种植模式中的柚子与玉米生长习性基本一样, 都是植株比较高, 叶面积指数低, 致使地表裸露面积大, 不能为表层土壤形成良好的保护层, 同时人工农作也对表层土壤的组成结构造成破坏, 在受到大雨或暴雨强力冲刷下产生大量径流, 增大地表受侵蚀概率。 T_3 (柚子—粉葛) 复合种植模式的土壤侵蚀量最小, 其中粉葛的种植起了较大的作用, 粉葛叶面积指数高, 覆盖度较大, 径流小, 故侵蚀量少。 T_3 (柚子—粉葛) 复合种植模式的侵蚀量最小, T_2 (柚子—玉米) 复合种植模式的侵蚀量最大, T_1 (柚子) 纯林种植模式和 T_4 (柚子—苋菜) 复合种植模式的侵蚀量差异显著, 这与地表径流量的观测数据结果基本相同。这说明影响地表径流的因素对侵蚀量也有相似的影响。由此可知, 侵蚀量与地表径流量成正比, 一般情况下, 地表径流越大, 侵蚀量越大^[14]。

总体来说, T_2 (柚子—玉米) 复合种植模式的植被覆盖度低, 裸露的土地多, 降雨直接打击地表, 使土壤松动, 径流很容易携带土壤颗粒, 发生土壤侵蚀; 还有, T_2 模式中种植的玉米对降雨的截留作用可能会对土壤侵蚀产生增强作用。叶片对降雨进行截留时,

雨滴会在叶面上聚集, 所形成的雨滴的质量远大于原始质量, 下落的高度又较高, 如果这样的雨滴下落的动能大于未拦截时雨滴的动能, 那么击落在地表就更容易发生溅蚀, 加速土壤侵蚀^[15-16]。同时, 农业耕作也比较频繁, 农业耕作使土壤松动, 更容易被径流剥离、携带。表层土壤疏松, 而玉米的根系又较深, 对土壤的抗蚀性没有明显的增加, 因此, 该模式的土壤侵蚀量最大, 高于柚子纯林种植模式。 T_3 (柚子—粉葛) 复合种植模式和 T_4 (柚子—苋菜) 复合种植模式中, 由于粉葛和苋菜都能对降雨产生二次截留作用, 减少下降雨滴的动能, 削弱雨滴对地表土壤的打击力, 而且二者都是根系发达的植物, 而土壤中植物根系的存在可以增强土壤的抗蚀性, 有植物根系的土壤其崩解速率远比少根系土壤慢^[17], 因此这 2 种模式的土壤侵蚀量要明显小于 T_1 , T_2 模式, 粉葛的叶面积指数比苋菜高, 对降雨的二次截留作用要大于苋菜, 发生击溅侵蚀的概率相对就小, 所以土壤侵蚀量最少。

3.2.3 不同复合种植模式下径流量与侵蚀量的关系

通过试验可知, T_1 纯林模式与 T_3 , T_4 这 2 种复合种植模式的地表径流和土壤侵蚀量差异比较显著, 它的地表径流量达 33.53 mm, 是 T_3 , T_4 复合种植模式径流量的 1.94~3.97 倍, 其土壤侵蚀量更是复合种植模式的 3.35~5.43 倍, 说明复合种植模式下的植被具有一定的水土保持效益。

不同种植模式地表径流量的大小顺序为 T_1 (柚子) $> T_2$ (柚子—玉米) $> T_4$ (柚子—苋菜) $> T_3$ (柚子—粉葛)。土壤侵蚀量的规律与地表径流量相比略有差异, 4 个不同种植模式下土壤侵蚀量的大小顺序为 T_2 (柚子—玉米) $> T_1$ (柚子) $> T_4$ (柚子—苋菜) $> T_3$ (柚子—粉葛), 比较发现, 只是 T_1 与 T_2 两者有差异, T_1 的径流量大于 T_2 , 但 T_1 的侵蚀量反而小于 T_2 。这种差异与林下草本植物叶面覆盖度有关。根据实测土壤侵蚀量数据, 对不同小区次降雨的土壤侵蚀量与径流量进行曲线拟合, 并选用相关系数最高的回归模型来表达两者的关系。选择了降雨量 x_1 、径流量 x_2 这 2 个因子, 建立 4 个径流小区的回归模型如表 4 所示。

表 4 不同种植模式下侵蚀量与径流量的关系

小区	回归方程	决定系数
T_1 (柚子)	$y = 0.05x_1^{2.24} + 0.135x_2^{1.97} + 0.695$	$R^2 = 0.836$
T_2 (柚子—玉米)	$y = 0.005x_1^{2.39} - 0.021x_2^{2.92} - 9.655$	$R^2 = 0.986$
T_3 (柚子—粉葛)	$y = 0.002x_1^{2.18} - 21.208x_2^{0.02} + 16.599$	$R^2 = 0.860$
T_4 (柚子—苋菜)	$y = 0.324x_1^{0.37} + 0.036x_2^{3.57} + 0.702$	$R^2 = 0.999$

由表4可以看出,4个坡面径流小区的径流量、降雨量与侵蚀量之间存在极显著的回归关系: $y = ax_1^d + bx_2^e + c$, (a, b, c 皆为常数, d, e 为复合函数中分别为以 x_1, x_2 为底数的幂函数的指数常用量。 x_1 为降雨量, x_2 为径流量), 也从常数可以看出, 降雨、径流与土壤侵蚀量有复杂的关系。总的来说, 径流量与各土壤侵蚀量的相关性最好。

4 结论

(1) 相对于单一种植模式来说, 不同复合种植模式使土壤侵蚀敏感性增强, 土壤可蚀性 K 值增大。土壤可蚀性 K 值与土壤砂粒含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.957 ; 与土壤黏粒含量、有机碳含量呈负相关, 相关系数分别为 $-0.191, -0.637$; 与粉粒含量呈显著正相关, 相关系数为 0.986 。黏粒及有机质含量的高低是反映紫色土区土壤抗侵蚀能力强弱的有效指标。

(2) 与 T_1 (柚子) 纯林种植模式相比, 复合种植模式的径流截留效益显著。3个不同复合种植模式地表径流量的大小顺序为 T_2 (柚子—玉米) $> T_4$ (柚子—苋菜) $> T_3$ (柚子—粉葛)。

(3) 不同种植模式下土壤侵蚀量与径流量具有一定的相关性, 但并不完全相同, 不同种植模式对土壤侵蚀量的影响是明显的, 其大小顺序可表示为 T_2 (柚子—玉米) $> T_1$ (柚子) $> T_4$ (柚子—苋菜) $> T_3$ (柚子—粉葛)。

(4) 玉米由于植株较高, 不能与柚子林形成良好的植被分层, 且农作频繁, 影响植株生长, 对土壤结构的改良效果不是很好, 不适合柚子林下间作。粉葛这种农作物经济价值很高, 能与柚子林形成良好的植被分层, 同时收获后有一定量的细根留在土壤里, 在柚子林下间作能够很好地改善土壤, 适合柚子林下间作。苋菜和粉葛一样对土壤有很好的改善作用, 是一个良好的复合模式作物。因此, 在紫色土区发展复合模式种植, 提高经济效益的同时也应注重水土保持效益。在复合模式种植时最重要的是尽可能减少水土肥流失, 保证土壤肥力完整。建立良好的复合种植模式, 使试验区更好地发展经济效益。

[参 考 文 献]

- [1] 张海, 张立新, 柳江华, 等. 黄土退耕坡地工程治理与林草优化配置模式研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 94-96.
- [2] 孟凤轩, 郭峰, 彭华. 吐鲁番盆地甜瓜、棉花复合种植生长动态与光合特性研究[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(3): 403-408.
- [3] 温照胜, 何丙辉, 张洪江. 灰色关联度分析方法在三峡库区农林复合种植模式评价中的应用[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(7): 112-115.
- [4] 何璐, 段日汤, 沙毓沧. 金沙江干热河谷区生态经济林复合种植模式的生态经济效益研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 17-19.
- [5] 黄进勇, 李新平, 孙敦立. 黄淮海平原冬小麦—春玉米—夏玉米复合种植模式生理生态效应研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 51-56.
- [6] 张伟, 陈源泉, 隋鹏. 华北平原粮田替代型复合种植模式生态经济比较研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(8): 241-245.
- [7] 孙鸿烈, 刘光崧. 土壤理化分析与坡面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [8] Sharply A N, Williams J R. EPIC-Erosion productivity impact calculator: model documentation[C]. US Department of Agriculture Technical Bulletin No 1768, US Department of Agriculture, Temple TX, 1990.
- [9] Shirato Y, Taniyama I, Zhang Tonghui. Changes in soil properties after a forestation in Horqin sandy land, North China [J]. Soil Sci. Plant Nutr., 2004, 50(4): 537-54.
- [10] 吴景贵. 土壤颗粒的功能研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 529-537.
- [11] 何永彬, 卢培泽, 朱彤. 横断山—云南高原干热河谷形成原因研究[J]. 资源科学, 2000, 22(5): 69-72.
- [12] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷侵蚀特征研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 188-197.
- [13] 林超文, 付登伟, 罗付香, 等. 不同粮草种植模式对四川紫色丘陵区水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 43-47.
- [14] 吴淑安, 蔡强国. 土壤表土中植物根系影响其抗蚀性的模拟降雨试验研究[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(3): 72-75.
- [15] 孟广涛, 袁春明, 方向京, 等. 滇中高原山地4种人工群落径流量和土壤流失量的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 33-36.
- [16] 张黎明, 林金石, 于东升, 等. 南方不同类型土壤侵蚀量与降雨各因子的关系研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 10-15.
- [17] 拜得珍, 纪中华, 杨艳鲜, 等. 3种复合种植模式对退化红壤质量恢复的初探[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 16-21.