

缙云山典型植物群落次生演替中土壤抗冲性研究

文卓立¹,周 飞²

(1. 西南大学 资源环境学院,重庆 400716;2. 重庆市林业科学研究院 三峡库区森林生态保护与恢复重庆市市级重点实验室,重庆 400036)

摘 要:通过原状土冲刷试验,研究了缙云山10种存在次生演替序列的典型植物群落坡面薄层水流的水力学参数特征及侵蚀产沙量的变化。研究结果表明:(1)在1,1.5,2 L/min放水流量下,植物群落间坡面薄层水流的侵蚀产沙量大多存在极显著的差异;(2)坡面薄层水流的雷诺数和弗汝德数有随放水流量增大而增大的趋势,但其流型和流态保持不变;(3)由坡面产沙量与径流切应力的概念模型并结合产沙量和径流切应力的试验数据,确定10种植物群落土壤的临界切应力以评价植物群落土壤的抗冲性强弱(抗冲性由强到弱的顺序为:白茅>栲树>四川大头茶>香樟>润楠>慈竹>杉木+香樟>毛竹>马尾松+香樟>马尾松);随着植物群落由低级向高级的演替进程,土壤抗冲性总体呈增强趋势;(4)通过土壤抗剪强度预测临界切应力的模型,在野外可快速、较准确地判断土壤抗冲性的强弱。

关键词:土壤抗冲性;临界切应力;次生演替;缙云山

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)02-0013-05

Study on Soil Anti-Scourability in Secondary Succession of Typical Plant Communities in Jinyun Mountain

WEN Zhuo-li¹, ZHOU Fei²

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Chongqing Key Laboratory of the Three Gorges Storehouse District Forest Ecology Protects and Restores, Forestry Research Institute of Chongqing, Chongqing 400036, China)

Abstract: The characteristics of hydraulic parameters and erosion and sediment yield variation of slope sheet flows of ten typical plant communities with secondary succession in Jinyun Mountain are studied by means of the scouring experiment with the original soil. The results of this study indicate that (1) under the discharge flows of 1, 1.5, 2 L/min, there exist distinct differences mostly in the erosion and sediment yields of slope sheet flows of plant communities. (2) With the increase of the discharge flows, the Reynolds number and Froude number of sheet flows increase, but their flow pattern and state remain unchanged. (3) By analyzing the conceptual model of the sediment yield and flow shear stress and combining it with the relative experimental data, the soil critical shear stresses of ten plant communities are determined to evaluate the soil anti-scourabilities of plant communities (the order of the anti-scourabilities from strong to weak is that *Imperata cylindrica* > *Castanopsis fargesii* > *Gordonia acuminata* > *Cinnamomum camphora* > *Machilus pingii* > *Neosinocalamus affinis* > *Cunninghamia lanceolata* & *Cinnamomum camphora* > *Phyllostachys pubescens* > *Pinus massoniana* & *Cinnamomum camphora* > *Pinus massoniana*). With the succession of plant communities from the low stage to high stage, the soil anti-scourability tends to increase generally. (4) Through the soil anti-shear strength, the model of the critical shear stress is predicted that $\tau = 0.7165k + 0.2095$, and this model can determine the soil anti-scourability quickly and relatively exactly in the field.

Key words: soil anti-scourability; critical shear stress; secondary succession; Jinyun Mountain

20世纪50年代朱显谟院士针对我国黄土高原土壤侵蚀的特征及研究结果将土壤抗侵蚀性分为抗冲性和抗蚀性两方面来研究。进入80年代土壤抗冲性的研究十分活跃,取得了一些有价值的研究成果。目前研究成果可归纳为两个方面,一是用土壤侵蚀结果评价土壤抗冲性,二是研究土

壤侵蚀过程与径流的水力学参数的关系^[1]。前者所采用的指标主要有:单位水体对土壤的冲刷量 $M(g/L)$,冲刷1g土所需的时间 (s/g) ,单位面积单位径流深冲走的土量 $[kg/(m^2 \cdot mm)]$ 等。这些指标所反映的都是静力学量化指标,缺乏土壤抗冲性的机理研究;相比之下,后者的研究更为系

收稿日期:2008-01-22

基金项目:三峡库区森林生态保护与恢复重庆市市级重点实验室“国家支撑计划课题基金”(2006BAC01A16)

作者简介:文卓立(1982-),男,在读硕士,主要从事森林生态研究。E-mail:wenzhuoli96@163.com

统、更注重机理。王玉杰等^[2]用冲走 1 g 土所需水量和冲刷时间的土壤抗冲刷系数($L \cdot \min/g$),作为抗冲性指标,对缙云山 4 种典型林分(针阔叶混交林、常绿阔叶林、楠竹和灌木林)林地土壤抗冲特征进行了研究。缙云山由于受到旅游、践踏、砍伐、火灾等人类活动的影响,形成了大量的、比较完整的、处于不同次生演替阶段的系列群落^[3]。刘玉成、杜道林、岳泉通过研究把缙云山的次生演替划分为 4 个阶段:先锋群落、先锋森林、先锋森林至顶级森林的过渡类型、顶级群落^[4]。不同演替阶段的植物群落因为枯枝落叶层厚度不同、植物对土壤理化性质的改善能力和植物根系对土壤的固持能力不同等原因,导致不同演替阶段的植物群落土壤抗冲性具有一定的变化,但这方面的研究鲜见报道。

所以试验采用空间尺度异质性代替时间尺度变化^[4],选择 4 个次生演替系列的 10 个典型植物群落,即演替先锋群落(白茅 *Imperata cylindrica*)、先锋森林(马尾松 *Pinus massoniana*)、先锋森林至顶级森林的过渡类型(马尾松+香樟 *Cinnamomun camphora*、杉木 *Cunninghamia lanceolata*+

香樟、毛竹 *Phyllostachys pubescens*、慈竹 *Neosinocalamus affinis*)、顶级群落(润楠 *Machilus pingii*、四川大头茶 *Gordonia acuminata*、香樟、栲树 *Castanopsis fargesii*),从坡面薄层水流的水力学特征入手,采用水力学指标(土壤分散的临界切应力)研究土壤颗粒分离的动力机制,评价土壤的抗冲性,并揭示土壤抗冲性随植物群落演替阶段的变化规律。

1 研究区概况

缙云山的地理坐标为东经 $106^{\circ}17'43''$ — $106^{\circ}24'50''$,北纬 $29^{\circ}41'08''$ — $29^{\circ}52'03''$,土地总面积为 $7\,600\text{ hm}^2$,最高海拔 952.2 m ;具有亚热带季风湿润性气候特征,年平均气温 13.6°C ,年平均相对湿度 87% ,年平均降水量 $1\,611.8\text{ mm}$;土壤属于三迭纪须家河组(T_3X_1)厚层石英砂岩风化发育的酸性黄壤,植被类型共有 6 个,包括常绿阔叶林、暖性针叶林、竹林、常绿阔叶灌丛、灌草丛和水生植被,群系有 33 个,群丛有 64 个。试验从 4 个次生演替系列所选择的 10 个典型植物群落环境资料及优势种群调查概况见表 1。

表 1 试验样地的环境资料及优势种群调查概况

群落 编号	群落 类型	海拔/m	坡度/(°)	pH	胸径/cm	树高/m	郁闭度/ %	枯落物 厚度/cm
I	白茅	413	19	5.05				3
II	马尾松	478	26	4.18	16.7	17.2	90	5
III	杉木+香樟	774	18	4.17	杉木 20.2, 香樟 26.5	杉木 18.9, 香樟 20.0	92	5
IV	马尾松+香樟	606	39	4.64	马尾松 26.6, 香樟 28.5	马尾松 19.4, 香樟 22.5	93	5
V	毛竹	609	23	4.53	8.7	15.0	85	4.5
VI	慈竹	626	35	4.92	39	9.2	90	3.5
VII	润楠	723	13	4.31	18.1	17.3	85	3.5
VIII	四川大头茶	790	15	4.94	22.8	18.5	93	3.5
IX	香樟	821	16	4.54	20.8	20.4	92	4.5
X	栲树	728	21	4.10	25.5	25	85	5

2 试验设计与指标测定方法

2.1 试验设计

试验采用改进的原状土冲刷水槽法,水槽长 1.80 m ,宽 0.11 m ,取样器尺寸为 $20\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 。根据同纬度地区暴雨标准雨强在标准小区内产生的单宽流量,结合冲刷水槽的尺寸,设计放水流量分别为 $1, 1.5, 2\text{ L/min}$,坡度统一为 10° 。为保证各群落每次试验的前期土壤含水量基本一致,原状土取回后,需在水中浸泡 12 h 左右。整个冲刷过程持续 12 min ,每 2 min 在水槽出口处收集一次径流泥沙样,并用染色示踪法测定一次径流流速。每次试验前后分别在水槽中用温度计测量水温,以计算运动粘滞系数。10 个植物群落分别在每种放水流量下做 3 次重复试验。在野外每个植物群落下用 14.10 型三头抗剪仪做 5 次重复试验,得到植物群落土壤的抗剪强度。

2.2 指标测定方法

泥沙重量用烘干法测量(单位为 g);水的体积用 $1\,000\text{ ml}$ 量筒量取;流速用高锰酸钾染色法测定;抗剪强度用 14.10 型三头抗剪仪测定。

3 试验结果与分析

3.1 植物群落侵蚀产沙量的差异

10 个植物群落土壤抗冲性是否具有差异,可通过 SPSS

12.0 对每个植物群落在每种放水流量下的侵蚀产沙量进行方差分析来判断。方差分析结果见表 2。

表 2 10 个植物群落侵蚀产沙量的方差分析

植物 群落	平均侵蚀产沙量/g			差异显著性程度						
	1 L/min	1.5 L/min	2 L/min	5%	1%	5%	1%	5%	1%	5%
I	0.3233	0.6533	0.9100	a	A	a	A	a	A	
X	1.6833	3.3733	4.5100	b	B	b	B	b	B	
VII	1.7067	3.5767	4.7500	b	B	c	C	c	C	
IX	1.9167	3.6767	4.8300	c	C	c	C	cd	C	
VI	1.9467	4.1067	4.9433	c	C	d	D	d	C	
VI	2.6133	5.2667	6.0333	d	D	e	E	e	D	
III	2.8733	5.5300	6.1067	e	E	f	F	e	D	
V	3.4100	6.1333	6.7633	f	F	g	G	f	E	
IV	4.2967	6.7800	7.6833	g	G	h	H	g	F	
II	4.8200	7.6200	8.6100	h	H	i	I	h	G	

由表 2 可知,在 $1, 1.5, 2\text{ L/min}$ 放水流量下,植物群落间坡面薄层水流的侵蚀产沙量大多存在极显著的差异。白茅群落在 3 种放水流量下的侵蚀产沙量最小,大约只有其它 9 种植物群落侵蚀产沙量的 $8.6\% \sim 19.6\%$ 。白茅群落的土壤属于冷砂黄泥属,其余 9 种植物群落的土壤都属于冷砂黄壤属。这说明冷砂黄泥属土壤的抗冲性能远好于冷砂黄壤属的土壤。土壤都属于冷砂黄壤属的 9 种植物群落侵蚀产

沙量也存在极显著的差异,这种差异是不同演替阶段的植物群落因为枯枝落叶层厚度不同、植物对土壤理化性质的改善能力和植物根系对土壤的固持能力不同等原因造成的。所以,土壤本身的属性是决定土壤抗冲性强弱的一个重要因素;不同演替阶段的植物群落对土壤各方面的影响是决定土壤抗冲性强弱的另一个重要因素。

3.2 植物群落薄层水流的流型与流态

薄层水流近似按明渠均匀流的基本理论计算,已知平均流速、水力半径、运动黏滞性系数,就可计算出雷诺数;已知平均流速、平均水深,就可计算出弗汝得数,公式如式(1)。

$$Re = \frac{VR}{\nu} \quad (1)$$

式中: Re ——雷诺数, $Re < 500$ 为层流, $Re = 500$ 为临界流, $Re > 500$ 为紊流; V ——平均流速 (cm/s); R ——水力半径 (cm); ν ——运动黏滞性系数 (cm²/s)。

表3 植物群落薄层水流的雷诺数、弗汝得数

植物群落	放水流量/ (L · min ⁻¹)	平均流速/ (cm · s ⁻¹)	平均水深/ m	运动粘滞 系数/ (cm ⁻² · s ⁻¹)	平均 雷诺数	平均 弗汝 德数
I	1.0	21.55	0.70	0.00821	184	2.60
	1.5	25.59	0.89	0.00821	277	2.74
	2.0	30.32	1.02	0.00821	377	3.03
II	1.0	20.05	0.71	0.00821	173	2.40
	1.5	23.04	0.95	0.00821	267	2.39
	2.0	28.27	1.08	0.00821	372	2.75
III	1.0	20.81	0.65	0.00821	165	2.61
	1.5	24.12	0.91	0.00821	267	2.55
	2.0	29.17	1.01	0.00821	359	2.93
IV	1.0	20.33	0.67	0.00803	172	2.49
	1.5	23.34	0.89	0.00803	259	2.50
	2.0	28.69	1.01	0.00803	361	2.88
V	1.0	20.72	0.64	0.00821	162	2.62
	1.5	23.89	0.89	0.00821	259	2.56
	2.0	29.04	0.98	0.00821	347	2.96
VI	1.0	21.03	0.60	0.00803	154	2.74
	1.5	24.23	0.84	0.00803	248	2.67
	2.0	29.39	0.94	0.00803	336	3.06
VII	1.0	21.27	0.63	0.00821	167	2.71
	1.5	24.42	0.90	0.00821	274	2.60
	2.0	29.78	0.98	0.00821	363	3.04
VIII	1.0	21.29	0.62	0.00821	161	2.73
	1.5	24.97	0.85	0.00821	259	2.74
	2.0	29.98	0.96	0.00821	351	3.09
IX	1.0	21.26	0.65	0.00803	172	2.66
	1.5	24.85	0.89	0.00803	275	2.66
	2.0	29.84	1.01	0.00803	375	3.00
X	1.0	21.34	0.63	0.00803	167	2.72
	1.5	25.43	0.84	0.00803	266	2.80
	2.0	30.10	0.97	0.00803	364	3.09

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (2)$$

式中: Fr ——弗汝得数, $Fr < 1$ 为缓流, $Fr = 1$ 为临界流, $Fr > 1$ 为急流; V ——平均流速 (m/s); g ——重力加速度, 取

值 9.8 (m/s); h ——平均水深 (m)。

在计算中,薄层水流的水力半径可用平均水深代替。

从表3可以看出,在3种放水流量下10个植物群落之间坡面薄层水流的雷诺数和弗汝德数差异较小,都围绕着某个值上下波动。但每个植物群落在不同的放水流量下,自身的雷诺数和弗汝德数存在较大的差异。随着放水流量的增加,10个植物群落坡面薄层水流的雷诺数和弗汝德数都有增大的趋势,但都没有发生质的变化,径流都处于层流状态,且均属于急流。坡面薄层水流的流型和流态在试验中主要受放水流量的影响,与植物群落的关系不密切。

3.3 植物群落的临界切应力

坡面径流侵蚀过程主要经历以下2个阶段^[5]:第一阶段是通过径流产生的沿坡面的切应力使土粒之间的黏结力破坏,使土粒由有序变为松散。第二阶段是克服土粒与土粒或土粒与地表之间的摩擦力,使土粒运动。同样,Foster^[6]和Nearing^[7]等人也认为只有当径流切应力大于土壤颗粒被分散的临界切应力时,坡面才会发生侵蚀。在实际坡面径流侵蚀过程中,由于土壤颗粒粒径不同、黏结力和摩擦力在坡面各处有差异、薄层水流的非均匀性和不稳定性等因素,导致径流切应力和侵蚀产沙量都处于不断的变化中,很难获得两者相关联的模型。

所以,我们假设有一个理想的坡面,坡面各处土壤颗粒粒径相同、土壤颗粒间的黏结力和土粒与土粒或土粒与地表之间的摩擦力无差异、薄层水流的水力学参数不随时间变化,这样径流切应力和侵蚀产沙量处于一种动态平衡。坡面很小一块面积 ds 处,单位时间内被冲刷的土壤颗粒的质量一定,且被分离时具有相同的初速度。

分析上述理想坡面很小一块面积 ds 在薄层水流下的受力情况(图1):土壤颗粒在坡面上的运动主要受3个力的影响,分别是沿坡面向下的径流切应力 τ ,沿坡面向下的重力的分力 $G \cdot \sin \theta$,沿坡面向上的阻力 f (包括黏结力和摩擦力)。土壤颗粒受到的合力为 $\tau - \tau_0$,土壤颗粒被分散的临界切应力 $\tau_0 = f - G \cdot \sin \theta$ 。

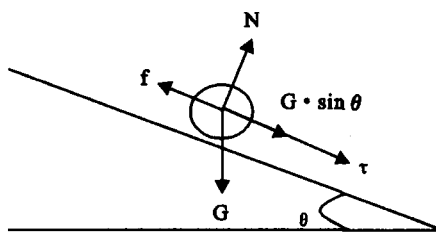


图1 土壤颗粒受力图

假设在坡面 ds 处径流冲刷的时间为 dt ,坡面侵蚀产沙量为 dm ,土壤颗粒被分离后具有初速度 V_0 ,根据动量公式可得

$$(\tau - \tau_0)dt = V_0 dm \quad (3)$$

把上式变形并对时间 t 和整个坡面的面积 s 进行积分整理得

$$M = \int_0^t \int_0^s \frac{1}{V_0} (\tau - \tau_0) dt ds = \frac{1}{V_0} (\tau - \tau_0) ts \quad (4)$$

令 $1/V_0$ 为 A ,方程简化为

$$M = A(\tau - \tau_0)ts \quad (5)$$

式中: M ——侵蚀产沙量(g); τ ——径流切应力(N/m^2); τ_0 ——土壤颗粒被分散的临界切应力(N/m^2); t ——冲刷时间(min); s ——坡面冲刷的面积(m^2); A ——与坡度、放水流量、入渗、土壤颗粒大小、坡面糙度、径流含沙量和土粒间的黏结力,土粒间或土粒与地表间的摩擦力等有关的参数[$g/(N \cdot min)$]。此模型结构简单、意义明确、未知变量少并易于求得,适用于坡面薄层水流土壤抗冲性评价。

Foster 等^[8]提出径流切应力的计算公式如式(6)

$$\tau = \gamma R S_f \quad (6)$$

式中: τ ——径流切应力(N/m^2); γ ——水的容重(N/m^3); R ——水力半径(m); S_f ——能坡, $S_f = \sin\theta$ 。薄层水流近似按明渠均匀流的基本理论计算,已知不同流量、相对应的径流宽和流速观测值就可计算出水力半径 R ,从而计算出公式(6)中的径流切应力 τ 。

10 个植物群落在 3 种放水流量下径流侵蚀产沙量和径流切应力的试验结果见表 4。

表 4 植物群落径流侵蚀产沙量与径流切应力试验

植物群落	1.0 L/min		1.5 L/min		2.0 L/min	
	M	τ	M	τ	M	τ
I	0.32	1.172	0.58	1.494	0.93	1.749
	0.36	1.189	0.71	1.511	0.85	1.715
	0.29	1.189	0.67	1.528	0.95	1.715
II	4.89	1.206	7.69	1.630	8.68	1.851
	4.72	1.223	7.53	1.579	8.53	1.817
	4.85	1.172	7.64	1.613	8.62	1.817
III	2.95	1.070	5.43	1.545	6.09	1.715
	2.86	1.104	5.57	1.579	6.02	1.732
	2.81	1.138	5.59	1.528	6.21	1.696
IV	4.35	1.121	6.77	1.477	7.79	1.732
	4.24	1.155	6.85	1.528	7.64	1.681
	4.30	1.172	6.72	1.545	7.62	1.715
V	3.40	1.070	6.14	1.494	6.84	1.630
	3.47	1.121	6.08	1.511	6.69	1.681
	3.36	1.087	6.18	1.511	6.76	1.696
VI	2.70	0.968	5.33	1.409	5.93	1.613
	2.55	1.019	5.26	1.460	6.05	1.579
	2.59	1.053	5.21	1.426	6.12	1.579
VII	2.02	1.070	3.95	1.511	4.84	1.698
	1.96	1.036	4.13	1.562	5.03	1.664
	1.86	1.087	4.24	1.528	4.96	1.630
VIII	1.70	1.002	3.62	1.426	4.71	1.613
	1.77	1.087	3.68	1.494	4.66	1.596
	1.65	1.053	3.73	1.409	4.88	1.664
IX	1.92	1.138	3.68	1.494	4.78	1.698
	1.94	1.104	3.54	1.545	4.89	1.732
	1.89	1.087	3.51	1.511	4.82	1.715
X	1.71	1.104	3.30	1.443	4.59	1.647
	1.66	1.036	3.37	1.443	4.50	1.613
	1.68	1.070	3.45	1.409	4.44	1.664

表 4 中每个植物群落在 3 种放水流量下的径流侵蚀产沙量和相对应的径流切应力的试验数据用 SPSS 12.0 进行回归分析,得到线性回归方程,将线性回归方程整理为 $M = A(\tau - \tau_0)ts$,即公式(5),就可得到每个植物群落的参数 A 和

临界切应力 τ 。此公式在试验中冲刷时间和冲刷面积的值固定,分别为 12 min, 20 cm×10 cm=0.02 m²。

根据表 5 中各植物群落的临界切应力来评价其抗冲性: 10 个植物群落土壤抗冲性由小到大的顺序为, II < IV < V < III < VI < VII < IX < VIII < X < I, 它们在 0.397~0.889 N/m² 的范围内变化。这与王玉杰等在缙云山的研究成果相似:林地土壤抗冲系数为楠竹林(1.096)<灌木林(2.024)<针阔混交林(2.431)<常绿阔叶林(2.719)^[2]。根据 10 个植物群落临界切应力的大小,可大致把土壤抗冲性的强弱分为 4 个等级,即 II, IV 土壤抗冲性差; V, III, VI 土壤抗冲性一般; VII, IX, VIII, X 土壤抗冲性较好; I 土壤抗冲性好。再结合各植物群落所处的次生演替阶段分析,可发现除白茅外,植物群落土壤抗冲性随着植物群落的次生演替方向有增强的趋势。

白茅群落土壤抗冲性好的主要原因是它的土壤属于冷砂黄泥属,其它植物群落的土壤属于冷砂黄壤属。白茅群落的土壤十分板结,土壤颗粒间的黏结力很大,所以它能很好地抵抗坡面径流的冲刷。植物群落次生演替的不同阶段,植物对土壤理化性质的改善能力和根系对土壤的固持作用是不同的。从低级群落到高级群落,一方面植物更厚的枯枝落叶层和更多的根系微生物使土壤的有机质和腐殖质含量明显增加,土壤形成了更多的团聚体,它们使土壤的水稳性、抗剪性增强;另一方面植物根系更加发达,立体网状结构更加完善,能更好地阻止土壤被径流分散和冲刷。所以,即使 9 种植物群落土属都为冷砂黄壤,但随着植物群落次生演替方向的进程,土壤抗冲性有所增强。

表 5 植物群落线性回归方程、参数和临界切应力

植物群落	线性回归方程	参数/(g·临界 决定系数 N^{-1} · 切应力/ min^{-1})($N \cdot m^{-2}$)		
I	$M = 1.0758\tau - 0.9563$	0.9720	4.483	0.889
	$M = 4.483(\tau - 0.889) \times 12 \times 0.02$			
	$M = 6.1117\tau - 2.4279$			
II	$M = 25.465(\tau - 0.397) \times 12 \times 0.02$	0.9848	25.465	0.397
	$M = 5.3830\tau - 3.0028$			
	$M = 22.429(\tau - 0.558) \times 12 \times 0.02$			
III	$M = 6.0788\tau - 2.6122$	0.9813	25.328	0.430
	$M = 25.328(\tau - 0.430) \times 12 \times 0.02$			
	$M = 5.9225\tau - 2.9882$			
IV	$M = 24.677(\tau - 0.505) \times 12 \times 0.02$	0.9801	24.677	0.505
	$M = 5.9288\tau - 3.3371$			
	$M = 24.703(\tau - 0.563) \times 12 \times 0.02$			
V	$M = 4.8470\tau - 3.2204$	0.9806	20.196	0.664
	$M = 20.196(\tau - 0.664) \times 12 \times 0.02$			
	$M = 5.1450\tau - 3.6788$			
VI	$M = 21.438(\tau - 0.715) \times 12 \times 0.02$	0.9835	21.438	0.715
	$M = 4.6759\tau - 3.3254$			
	$M = 19.483(\tau - 0.711) \times 12 \times 0.02$			
VII	$M = 4.8708\tau - 3.5377$	0.9787	19.483	0.711
	$M = 19.483(\tau - 0.711) \times 12 \times 0.02$			
	$M = 4.8708\tau - 3.5377$			
VIII	$M = 20.295(\tau - 0.726) \times 12 \times 0.02$	0.9863	20.295	0.726
	$M = 20.295(\tau - 0.726) \times 12 \times 0.02$			
	$M = 20.295(\tau - 0.726) \times 12 \times 0.02$			

3.4 三头抗剪仪野外快速判断植物群落土壤抗冲性强弱

临界切应力可很好地评价植物群落土壤抗冲性的强弱。但要获得此指标需要野外采取原状土,室内进行较为复杂的

冲刷试验,还要处理、分析试验数据,试验时间也相对较长。所以人们想用一种简便的方法快速、较为准确地判断植物群落土壤抗冲性的强弱。试验用 14.10 型三头抗剪仪野外试验得到 10 个植物群落的抗剪强度,并与其相对应的临界切应力进行回归分析,发现 14.10 型三头抗剪仪可通过野外简便的试验快速、较为准确地判断出植物群落土壤抗冲性的强弱。14.10 型三头抗剪仪有小号、中号、大号 3 个抗剪仪旋头,分别针对不同抗剪强度的土壤,拥有各自的数学转换关系式^[9]。试验各植物群落重复 5 次野外抗剪试验。表 6 中平均抗剪强度和临界切应力在 SPSS 12.0 中进行回归分析,得出两者之间的趋势图(图 2)和线性回归方程:

$$\tau = 0.7165k + 0.2095 \quad R^2 = 0.9638 \quad (7)$$

式中: τ ——临界切应力(N/m²); k ——平均抗剪强度(kg/cm²); R^2 ——此方程的决定系数。

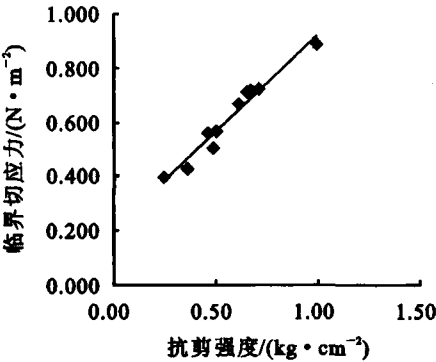


图 2 抗剪强度与临界切应力的关系

所以,在野外通过 14.10 型三头抗剪仪获得土壤平均抗剪强度,用式(7)预测该土壤的临界切应力,从而可快速、较准确地判断土壤抗冲性的强弱。

表 6 植物群落土壤平均抗剪强度试验结果

植物群落	读 数					平均抗剪强度/(kg·cm ⁻²)	临界切应力/(N·m ⁻²)
	重复 1	重复 2	重复 3	重复 4	重复 5		
I	3.6	3.5	3.5	3.8	3.9	0.99	0.889
II	2.1	2.0	2.5	2.3	2.2	0.24	0.397
III	4.2	4.5	4.0	4.1	4.3	0.46	0.558
IV	3.1	3.3	3.3	3.4	3.3	0.36	0.430
V	4.2	4.4	4.6	4.4	4.3	0.48	0.505
VI	4.8	4.4	4.5	4.2	4.6	0.50	0.563
VII	5.6	5.5	5.8	5.4	5.6	0.61	0.664
VIII	6.0	6.4	6.1	6.1	5.9	0.67	0.715
IX	5.8	5.8	6.1	6.0	5.9	0.65	0.711
X	6.6	6.2	6.4	6.5	6.4	0.71	0.726

注:植物群落(I)使用小号抗剪仪旋头,数学转换关系式: $y=0.27x$;植物群落(II—X)使用中号抗剪仪旋头,数学转换关系式: $y=0.11x$ 。式中: x ——抗剪仪读数, y ——抗剪强度(单位 kg/cm²)。

4 结 论

(1)在 1,1.5,2 L/min 放水流量下,植物群落间坡面薄层水流的侵蚀产沙量大多存在极显著的差异。虽然都是黄

壤,但处在不同次生演替阶段的 10 个植物群落因枯枝落叶层厚度不同、植物对土壤理化性质的改善能力和植物根系对土壤的固持能力不同等原因,导致 10 个植物群落土壤的抗冲性存在极显著的差异。

(2)10 个植物群落在 3 种放水流量下,彼此之间坡面薄层水流的雷诺数和弗汝德数差异较小,都围绕着某个值上下波动。但每个植物群落在不同的放水流量下,自身的雷诺数和弗汝德数存在较大的差异。随着放水流量的增加,10 个植物群落坡面薄层水流的雷诺数和弗汝德数都有增大的趋势,但都没有发生质的变化,径流都处于层流状态,且均属于急流。

(3)根据临界切应力的大小,大致把 10 个植物群落土壤抗冲性的强弱分为 4 个等级:即 II,IV 土壤抗冲性差;V,III,VI 土壤抗冲性一般;VII,IX,Ⅷ,X 土壤抗冲性较好;I 土壤抗冲性好。再结合各植物群落所处的次生演替阶段分析,可发现除白茅外,植物群落土壤抗冲性随着植物群落的次生演替方向有增强的趋势。

(4)土壤抗剪强度与临界切应力关系密切,通过土壤抗剪强度预测临界切应力的模型: $\tau=0.7165k+0.2095$,在野外可快速、较准确地判断土壤抗冲性的强弱。

参考文献:

[1] 雷俊山,杨勤科.坡面薄层水流侵蚀试验研究及土壤抗冲性评价[J].泥沙研究,2004(6):22-26.

[2] 王玉杰,王云琦,夏一平.重庆缙云山典型林分的林地土壤抗蚀抗冲性能[J].中国水土保持科学,2006,4(1):20-27.

[3] 刘鸿雁,黄建国.缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J].应用生态学报,2005,16(11):2041-2046.

[4] 刘玉成,杜道林,岳泉.缙云山森林次生演替中优势种群的特性与生态因子的关联度分析[J].植物生态学报,1994,18(3):283-289.

[5] 丁文峰,李占斌,鲁克新.黄土坡面细沟侵蚀发生的临界条件[J].山地学报,2001,19(6):551-555.

[6] Foster G R, Meyer L D, Onstad C A. An erosion equation derived from basic erosion principles[J]. Trans. of ASAE, 1977, 20(4):678-682.

[7] Nearing M A, Foster G R, Lane L J. A process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction project technology[J]. Trans. of ASAE, 1989, 32(5): 1578-1593.

[8] Foster G R, Meyer L D. Transport of soil particles by shallow flow[J]. Trans of the ASAE, 1972, 15(1):99-102.

[9] 李智广.水土流失测验与调查[M].北京:中国水利水电出版社,2005.