

模拟降雨条件下金银花对片麻岩坡地土壤侵蚀的影响

荣志红¹, 张海涛², 孙冬雪¹, 张爱军^{3,4}, 周大迈^{3,4}

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学研究生学院, 河北 保定 071000;
3. 河北省山区研究所, 河北 保定 071001; 4. 国家北方山区农业工程技术研究中心, 河北 保定 071000)

摘要: 通过室内人工模拟降雨的方法, 研究不同树龄金银花对片麻岩坡地土壤侵蚀的影响。结果表明: 种植金银花能明显减缓雨水对片麻岩坡地的土壤侵蚀。金银花能延迟初始产流时间, 降低径流模数和输沙模数, 且随树龄的增加效果明显增加。相比裸地, 种植1, 3, 6年树龄金银花分别延迟产流时间0.71%, 23.33%和39.20%; 6年金银花降低径流模数和径流深分别达75%和51%, 降低输沙模数为23.42%~57.60%。金银花能提高土壤抗侵蚀能力, 相比裸地, 种植1, 3, 6年树龄金银花坡面 $WAS_{0.25}$ 分别提高11.52%, 19.37%和24.35%。在近根区, 相比1年树龄金银花根系生物量, 种植3, 6年金银花依次增加82.67%和191.26%。根系生物量与金银花坡面的总减流率和总减沙率呈极显著正相关, 其相关系数(R^2)分别为0.801和0.911。总体上, 金银花能够控制片麻岩坡地土壤侵蚀, 并在一定程度上提高土壤抗侵蚀能力。

关键词: 片麻岩; 模拟降雨; 土壤侵蚀; 金银花

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)02-0043-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.02.007

Effects of Honeysuckle on Soil Erosion on Gneiss Slopes Under Simulated Rainfall Conditions

RONG Zhihong¹, ZHANG Haitao², SUN Dongxue¹, ZHANG Aijun^{3,4}, ZHOU Damai^{3,4}

(1. College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei,
Baoding, Hebei 071000; 2. Hebei Agricultural University Graduate School, Baoding,
Hebei 071000; 3. Mountain Area Research Institute of Province, Baoding, Hebei 071001;

4. National Engineering Research Center for Agriculture in Northern Mountainous Areas, Baoding, Hebei 071000)

Abstract: The effects of honeysuckles with different ages on soil erosion on gneiss slopes were studied using artificial rainfall simulation. Results showed that planting honeysuckle significantly reduced soil erosion by rain water on gneiss slopes. Honeysuckle delayed initial runoff time, reduced runoff modulus and sediment transport modulus. Moreover, the effects increased with the increasing ages of the honeysuckles. Compared with bare soil, the one-, three- and six-year-old honeysuckles delayed runoff time by 0.71%, 23.33% and 39.20% respectively; the six-year honeysuckles reduced runoff modulus and runoff depth by 75% and 51%, respectively, and reduced sediment transport modulus by 23.42%~57.60%. Honeysuckle also improved soil erosion resistance. Compared with bare soil, the $WAS_{0.25}$ of the one-, three- and six-year-old honeysuckles on slopes increased by 11.52%, 19.37% and 24.35% respectively. Compared with the one-year-old honeysuckles, root biomass of the three-year and six-year honeysuckles increased by 82.67% and 191.26% respectively in the near-root zone. Honeysuckle root biomass was strongly and positively correlated with the total flow reduction rates ($R^2=0.801$) and total sediment reduction rates ($R^2=0.911$). In general, honeysuckle could control soil erosion on gneiss slopes and improve soil erosion resistance to some extent.

Keywords: Gneiss; simulated rainfall; soil erosion; honeysuckle

水土流失是我国最严重的生态环境问题, 容易造成耕地面积减少、土壤肥力下降、农作物产量降低、人

地矛盾突出等各种问题, 在山区条件下更容易发生^[1]。河北省太行山片麻岩区属于北方土石山区, 其

收稿日期: 2018-10-29

资助项目: 河北省山区综合开发能力分析 & 数据库建设项目(16237504D)

第一作者: 荣志红(1995—), 女, 山东日照人, 在读硕士研究生, 主要从事山区生态治理与土壤改良研究。E-mail: 271665149@qq.com

通信作者: 张爱军(1970—), 女, 河北承德人, 博士生导师, 研究员, 主要从事植物营养生态与山区数字化研究。E-mail: zhangaijun@hebau.edu.cn

周大迈(1957—), 男, 河北安平人, 博士生导师, 研究员, 主要从事山区数字化研究。E-mail: hnkt@hebau.edu.cn

中太行山区面积占全省总面积的 24%, 低山片麻岩区是太行山区的重要类型区, 约占太行山区面积的 62%^[2]。片麻岩类岩石较易风化, 且风化层深厚, 由于长期受到人类活动的影响, 使得该区山地森林生态系统和生物多样性遭到严重破坏, 植被覆盖度大大降低, 水土流失现象频繁发生^[3]。减缓或控制水土流失一直是世界性的研究课题, 对水土流失的控制有许多措施, 而生物措施尤其植被恢复更是人们所关注的焦点^[4]。植被的冠层可以有效保护坡面土壤不受雨滴打击^[5]; 枯枝落叶层能改良土壤, 减缓地表径流, 阻滞泥沙起动和减轻泥沙搬运^[6]; 地下根系可以提高土壤抗冲性, 同时增加土壤的养分和湿度, 达到熟化土壤与保持水土的目的^[7-8]; 植物的活根提供分泌物, 死根提供有机质, 作为土壤团粒的胶结剂, 对提高土壤的抗侵蚀性能提供良好的保证^[9]。金银花为多年生缠绕灌木, 适应性强, 耐干旱瘠薄, 对土壤要求不严, 根系发达且生根能力强, 枝条多, 叶片密度大, 郁闭度高, 在疏松的砂质壤土和黏质壤土生长良好^[10-12]; 抗逆性强, 在生态环境脆弱地段的水土保持及防风固沙中发挥重要作用^[13]; 在片麻岩强度侵蚀地区荒坡上适宜栽植, 是非常值得推广的生态经济植物^[14]。本试验通过室内人工模拟降雨, 研究金银花不同树龄片麻岩坡面的水土流失规律, 为该区域坡耕地治理提供重要的科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验用土为片麻岩褐土, 取自河北省唐县(38°38′—39°10′N, 114°28′—115°03′E), 按照 0—20, 20—50 cm 土层获取供试土壤, 并按顺序填装进试验用钢槽。唐县属暖温带大陆性季风气候, 年平均气温 12.2℃, 最高气温 41.4℃, 最低气温 -14.5℃, 无霜期 195 d, 年降水量 539.2 mm。填土时先将 20—50 cm 的供试土壤混合均匀, 填入钢槽内, 再将表层土与磷酸二铵肥(土肥比例为 100:1, N:P:K 为 18:46:0)均匀混合, 填入试验钢槽, 放置半年进行自然密实, 测其表层土壤理化性质^[15]为: pH 8.51, 含水量 10.77%, 容重 1.29 g/cm³, 孔隙度 47.02%, 有机质含量 10.3 g/kg, 全氮含量 2.04 g/kg, 硝态氮含量 54.44 mg/kg, 全磷含量 0.93 g/kg, 有效磷含量 3.38 mg/kg, 全钾含量 24.47 g/kg, 速效钾含量 45.68 mg/kg。

试验装置采用 QYJY—503 人工模拟降雨系统设备, 其降雨高度 11 m, 有效降雨面积约 144 m², 降雨均匀度 ≥90%, 降雨测量误差 ≤2%。钢槽的长×宽×深为 1.5 m×0.5 m×0.8 m, 为防止土壤积水与收集渗流, 钢槽底部设有渗流收集管。

供试植被: 选用 1, 3, 6 年树龄的树状金银花, 采

用整株移栽的方式, 在土壤解冻后进行种植。

1.2 试验设计

试验设置 6 次降雨, 钢槽内分别种植 1, 3, 6 年树龄的树状金银花, 同时设置裸地对照, 结合太行山区片麻岩坡地实际情况, 设置坡度为 20°。试验区选在模拟降雨大厅一区, 试验小区所用钢槽随机排列。在种植初期对金银花进行修剪, 使其植被覆盖度达 60%。每个槽内 1 年金银花 8~10 棵, 3 年金银花 4~6 棵, 6 年金银花 2 棵, 3 次重复, 共分为 12 个钢槽。其他按常规管理, 植被保持山区自然生长状态。在 2017 年 5—9 月, 对各小区进行 6 场有效模拟降雨, 且每次降雨时间间隔 14 天。在每次降雨前, 试验小区内的钢槽重新进行随机排列。依据太行山片麻岩山区自然降雨, 将雨强设为 80 mm/h(大雨), 历时 60 min, 雨量在 140~160 mm。使用秒表计时器从降雨开始计时, 每 10 min 使用塑料桶收集 1 次径流, 并记录各小区初次产流时间, 60 min 后关闭降雨设备, 且不再收集径流。将收集的径流移至实验室称其总重, 并静置 24 h 后使用滤膜过滤掉上层清液, 剩余的混合物采用烘干法计算其中的泥沙量, 利用差减法计算产流量。

1.3 测定方法

泥沙有效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提法测定; 水样中土壤非水稳定团聚体采用干筛法测定; 土壤水稳定团聚体含量采用湿筛法^[16]测定; 以金银花主根为中心, 依次画出半径为 10, 20 cm 的圆, 取 1/4 圆内土壤一根系样品, 将土壤样品放置 0.25 mm 土壤筛中, 并用清水冲洗, 直到根土分离, 最后将各根系样品放置在 70℃的烘干箱内烘干至恒重, 分析远根区生物量; 采用全挖掘法进行根系取样, 并置于清水中浸泡 2 h, 然后将根系样品放置在 0.25 mm 的纱网上, 用清水冲洗, 直到根土分离, 最后将各根系样品放置在 70℃的烘干箱内烘干至恒重, 分析近根区生物量。

1.4 数据统计分析

通过 SPSS 20.0 软件采用域法识别异常值的方法对数据进行处理, 即域内上下限为平均值加减 3 倍标准差, 超出上下限的异常值, 用上限值与下限值进行替换。然后进行均值和标准误差分析, 单因素 ANOVA 进行相关性分析, Excel 2010 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同树龄金银花土壤侵蚀过程特征

由表 1 可知, 金银花树龄不同, 坡面径流的产生时间不同, 坡面产流时间表现为裸地 < 1 年金银花坡面 < 3 年金银花坡面 < 6 年金银花坡面。树形金银花枝条缠绕, 覆盖地面, 拦蓄和滞缓地表径流, 促进水分渗透, 减少地表径流对土壤的冲刷, 所以延缓产流时

间。不同树龄金银花坡面的径流模数、径流深和输沙模数不同,均随金银花树龄的增加而不同程度地减少。6 年金银花坡面径流模数、径流深和输沙模数最小,说明金银花树龄的增加能有效防止土壤侵蚀造成的水土流失。与对照(裸地)相比,1 年金银花坡面降

低径流模数 20.00%,降低径流深 20.00%,降低输沙模数 23.42%;3 年金银花坡面降低径流模数 50.00%,降低径流深 37.00%,降低输沙模数 57.60%;6 年金银花坡面降低径流模数 75.00%,降低径流深 51.00%,降低输沙模数 68.46%,水土保持效果显著。

表 1 不同树龄金银花坡面产流产沙情况

树龄/a	初始产流 时间/min	径流 总量/L	径流模数/ (mL·m ⁻² ·min ⁻¹)	径流深/ cm	泥沙 总量/g	输沙模数/ (g·m ⁻²)
裸地	2.62±0.03d	18.59±1.04a	413.0±23.0a	2.48±0.14a	244.6±2.8a	326.2±3.7a
1	2.90±0.03c	14.83±0.25b	329.5±5.7b	1.98±0.03b	187.3±2.7d	249.8±3.6b
3	3.23±0.06b	9.31±0.28c	206.9±6.3c	1.24±0.04c	103.7±4.3c	138.3±5.8c
6	3.64±0.04a	4.75±0.03d	101.6±0.56d	0.61±0.00d	77.2±2.9d	102.9±3.8d

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同字母表示不同树龄间差异显著(P<0.05)。下同。

由图 1 可以看出,片麻岩坡面不同树龄金银花产流率、产沙率呈现的规律差异较大。坡面产流率在不同树龄金银花覆盖下变化相似,相比 1 年树龄金银花,3,6 年金银花在降水初期产流率升高,到降水 30~40 min 产流率趋于稳定,之后产流率继续升高;并且随着金银花树龄增加,坡面产流率降低。这可能是随着树龄的增加,金银花根系发达,枝叶旺盛,改变了雨滴从空中落下后的接触面,雨滴先降落在叶面上,在叶面的缓冲作用下雨滴动能减弱,削弱雨滴

对表层土壤结构的破坏,维持土壤下渗速率,加上根系的维持作用,前期降水产流率较低^[17];随着降水时间增加,土壤含水量逐渐达到饱和,开始产生地表径流,且产流率趋于稳定。产沙率随着金银花树龄的增加而逐渐减小,除对照坡面(裸地)外,不同树龄金银花规律相似,降水初期产沙率开始升高,20 min 左右产沙率达到最高,之后趋于平稳下降状态。可知金银花树龄的增加在降水后期明显体现出对坡面产沙的防治效果。

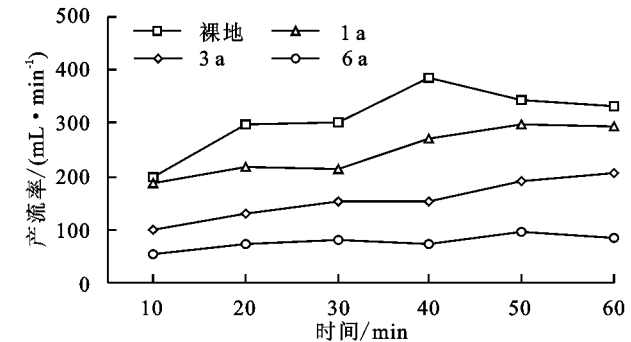


图 1 不同树龄金银花坡面产流产沙特征

2.2 不同树龄金银花侵蚀泥沙磷素流失特征

不同树龄金银花 20°坡面有效磷流失浓度有所不同,片麻岩产沙过程中除对照(裸地)有效磷流失量呈平缓趋势外,不同树龄金银花有效磷浓度均有波动,但磷素流失量总体表现为裸地>1 年金银花坡面>3 年金银花坡面>6 年金银花坡面(图 2)。裸地坡面侵蚀泥沙有效磷浓度平均为 9.52 mg/kg,1,3,6 年树龄金银花坡面侵蚀泥沙有效磷平均浓度分别为 8.13,6.21,5.39 mg/kg,分别降低 14.60%,34.77%和 43.38%。由于磷对土壤颗粒的亲合力较强,因此磷易吸附于土壤及泥沙颗粒表面,以固态的形式存在。降雨过程中土壤颗粒被径流携带与搬运,吸附于土壤颗粒的磷素也会流失^[18]。土壤磷养分流失总量的 87.37%是通过径流泥沙携带方式造成的,且吸附态磷是流失的主要形态^[19]。6 年金银花泥沙中有效磷的变化最小,说明随着树龄的增加,有效磷素养分

的流失减少。

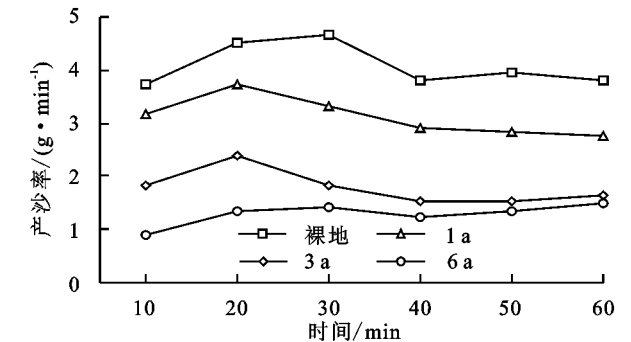


图 2 不同树龄金银花坡面磷素流失特征

2.3 不同树龄金银花土壤团聚体变化特征

2.3.1 土壤非水稳性团聚体含量变化 从表 2 可以看出,相比降雨前,降雨后各坡面土壤粒径>5,<0.25 mm 的非水稳定团聚体含量占比均有所增加,而粒径在 2~5,0.5~1 mm 的非水稳定团聚体含量均有所下

降,这可能是因为粒径 $>5\text{ mm}$ 的团聚体在 80 mm/h 的降雨下较难破碎, $0.5\sim5\text{ mm}$ 的团聚体相对容易破碎。降雨后粒径在 $0.25\sim0.5\text{ mm}$ 的非水稳定团聚体含量在 10% 左右浮动,这可能是因为较大粒径土粒破碎以及径流不断冲刷和搬运较小土粒。相比裸地,不同粒径土壤非水稳定团聚体在1,3,6年金银花的含量有所不同, $>5\text{ mm}$ 的非水稳定团聚体含量

随树龄的增加而增加, $2\sim5\text{ mm}$ 的非水稳定团聚体在1,3年金银花的含量相比裸地增加,但6年金银花的含量略低于裸地。可能是因为6年金银花根系发达,对 $2\sim5\text{ mm}$ 非水稳定团聚体造成一定的破坏。 $1\sim2,0.5\sim1,0.25\sim0.5,<0.25\text{ mm}$ 的非水稳定团聚体在1,3,6年金银花的含量低于裸地,但随着树龄的增加而增加。

表 2 不同树龄金银花坡面降雨前后土壤非水稳性团聚体含量百分比

时间	树龄/a	土壤非水稳性团聚体含量/%					
		$>5\text{ mm}$	$2\sim5\text{ mm}$	$1\sim2\text{ mm}$	$0.5\sim1\text{ mm}$	$0.25\sim0.5\text{ mm}$	$<0.25\text{ mm}$
雨前		16.9	23.1	23.9	20.2	10.6	5.4
雨后	裸地	$19.6\pm1.2\text{d}$	$19.8\pm0.2\text{c}$	$25.4\pm1.3\text{a}$	$18.4\pm0.3\text{a}$	$9.8\pm0.2\text{b}$	$7.0\pm0.2\text{b}$
	1	$19.9\pm0.9\text{c}$	$21.6\pm1.1\text{b}$	$25.3\pm0.2\text{a}$	$17.7\pm1.2\text{b}$	$9.0\pm0.1\text{c}$	$6.4\pm0.1\text{c}$
	3	$21.6\pm0.3\text{b}$	$21.9\pm1.1\text{a}$	$23.5\pm0.9\text{b}$	$17.8\pm1.0\text{b}$	$8.9\pm0.2\text{d}$	$6.5\pm0.1\text{c}$
	6	$22.1\pm0.4\text{a}$	$19.6\pm0.8\text{d}$	$21.4\pm0.2\text{c}$	$17.6\pm0.4\text{c}$	$11.5\pm0.5\text{a}$	$7.8\pm0.1\text{a}$

2.3.2 土壤水稳性团聚体含量变化 土壤水稳性团粒含量是反映土壤抗蚀性的重要参数。高维森^[20]对不同类型土壤的可蚀性指标进行测定分析,指出最佳土壤可蚀性指标 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团粒和风干土水稳性团粒含量是反映土壤可蚀性强弱的最佳指标。从表3可以看出,相比降雨前,降雨后粒径 $>5,2\sim5,1\sim2,0.5\sim1,0.25\sim0.5\text{ mm}$ 的土壤水稳定团聚体含量均有所下降。可见, 80 mm/h 的降雨对土壤水稳性大团聚体同样具有破坏性。降雨后,相比裸地,

金银花坡面土壤粒径 $>5,<0.5\text{ mm}$ 的水稳性团聚体受降雨破坏轻,这可能是因为种植金银花后,有利于土壤微团聚体向大团聚体转化; $1\sim2\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量在1,3,6年的含量低于裸地外,其他粒径水稳性团聚体含量在不同树龄金银花之间均高于裸地含量,并随着金银花树龄的增加而增加。其中 $<0.25\text{ mm}$ 的团聚体在1,3,6年分别增加 $7.4\%,13.8\%$ 和 36.8% 。总体来说,金银花的种植有助于增加土壤水稳性团聚体的含量。

表 3 同树龄金银花坡面降雨前后土壤水稳性团聚体含量百分比

时间	树龄/a	土壤水稳性团聚体含量/%					
		$>5\text{ mm}$	$2\sim5\text{ mm}$	$1\sim2\text{ mm}$	$0.5\sim1\text{ mm}$	$0.25\sim0.5\text{ mm}$	$<0.25\text{ mm}$
雨前		1.36	1.58	1.88	2.82	5.77	24.88
雨后	裸地	$0.16\pm0.02\text{d}$	$0.33\pm0.04\text{c}$	$0.66\pm0.02\text{b}$	$1.19\pm0.07\text{c}$	$0.98\pm0.03\text{d}$	$24.87\pm0.03\text{d}$
	1	$0.24\pm0.03\text{c}$	$0.35\pm0.05\text{c}$	$0.43\pm0.05\text{d}$	$1.28\pm0.12\text{b}$	$1.59\pm0.03\text{b}$	$26.72\pm0.02\text{c}$
	3	$0.27\pm0.01\text{b}$	$0.40\pm0.10\text{a}$	$0.60\pm0.03\text{c}$	$1.24\pm0.01\text{b}$	$1.27\pm0.11\text{c}$	$28.30\pm0.11\text{b}$
	6	$0.28\pm0.01\text{a}$	$0.39\pm0.08\text{b}$	$0.67\pm0.12\text{a}$	$1.72\pm0.11\text{a}$	$1.82\pm0.15\text{a}$	$34.01\pm0.21\text{a}$

2.3.3 土壤团聚体稳定性变化 $\text{WAS}_{0.25}$ 为 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量,体现土壤抗径流侵蚀能力, $\text{PAD}_{0.25}$ 为 $>0.25\text{ mm}$ 团聚体分散度, PAD_2 表示 $>2\text{ mm}$ 土壤团聚体分散度。 $\text{WAS}_{0.25}$ 越大,土壤抗径流侵蚀能力越强, PAD_2 和 $\text{PAD}_{0.25}$ 越高,土壤抗降雨和表面径流的分散能力越弱。由图3可知,与裸地相比,降雨后金银花覆盖下的土壤抗径流侵蚀的能力随着树龄的增加而增强,粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体分散度随着金银花树龄的增加而不断下降,但是粒径 $>2\text{ mm}$ 的土壤团聚体分散度在1年树龄金银花的值最高,可能是 80 mm/h 的降雨对其破坏性较大。总体而言,相比裸地,金银花坡面受 80 mm/h 降雨的破坏程度轻,植被的根系覆盖能够提高土壤抗径流侵蚀的能力。

2.4 不同树龄金银花根系生物量特征

从图4可以看出,各金银花坡面的根系生物量随

金银花树龄的增长而明显增加,且各树龄金银花根系生物量差异明显。随树龄的增长,近根区根系生物量的增长幅度大于远根区的增长幅度。在近根区,相比1年树龄金银花根系生物量,3,6年金银花坡面根系生物量分别增加 82.67% 和 191.26% ;在远根区,相比1年树龄金银花根系生物量,3,6年金银花坡面生物量分别增加 106.20% 和 150.50% 。由此可见,无论近根区还是远根区,各坡面金银花根系生物量随树龄的增长呈现上升趋势。

2.5 根系生物量与土壤抗侵蚀能力相关性分析

从表4可以看出,1年树龄金银花生长旺盛,其根系的须根生长快,容易向土壤深处扎根固土;3,6年树龄金银花根系粗壮,而且枝条繁多,在降雨过程中容易拦截雨水对地面的冲击。根系总生物量与金银花树龄的相关系数为 0.977 ,两者呈极显著正相关关系,这与不同根区根系生物量分析的结果一致;总

减流率与总减沙率的相关系数为 0.905,两者呈极显著正相关关系;根系生物量与金银花坡面的总减流率以及总减沙率呈极显著正相关,其相关系数分别为 0.801 和 0.911,这说明金银花根系可减流减沙,发挥保水固土作用,控制土壤侵蚀;根系生物量与磷素流失呈显著负相关,其相关系数为 0.799,且相关性在 0.05 水平上显著,这说明金银花根系能够防止坡面磷素流失。总体上,金银花根系可减流减沙,降低磷素流失,从而控制土壤侵蚀。

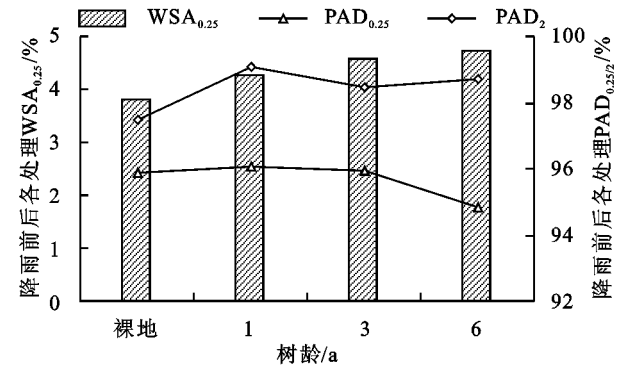


图 3 降雨后不同树龄金银花坡面土壤团聚体稳定性指标变化

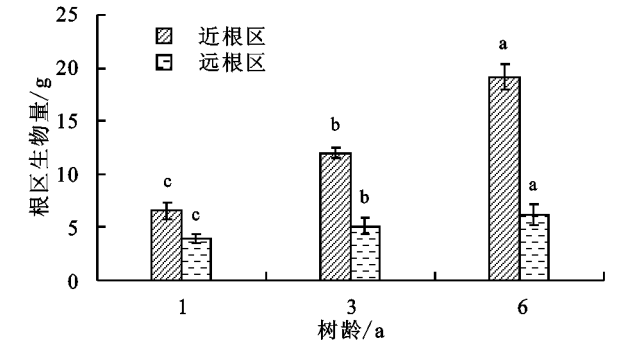


图 4 不同树龄金银花近根区及远根区根系生物量

表 4 金银花生物量与土壤抗侵蚀能力的 Pearson 相关系数					
指标	金银花树龄	根系生物量	总减流率	总减沙率	磷素流失
金银花树龄	1				
根系生物量	0.977 **	1			
总减流率	0.905 **	0.801 **	1		
总减沙率	0.864 **	0.911 **	0.905 **	1	
磷素流失	-0.414	-0.799 *	-0.743 **	-0.847 **	1

注: * 表示各变量间呈显著性水平 ($P<0.05$); * * 表示各变量间呈极显著性水平 ($P<0.01$)。

3 讨论与结论

本研究表明,片麻岩坡面上不同树龄金银花产流率和产沙率规律相似。随着金银花树龄增加,坡面产流率降低,产沙率随着金银花树龄的增加而逐渐减小。相比裸地,种植金银花平均减流率降低 31.01%,平均产沙率降低 49.82%。这与彭熙等^[21]研究植物篱模式与非植物篱模式下的土壤减流减沙效果,得出不同植物篱模式均有较明显的减流减沙效果,且植物篱对减少土壤侵蚀量的效果比减少径流更明显的结果一

致。才业锦^[22]在研究重庆市各项水土保持措施中,得出间作处理的金银花保土保水效应达 17.2%,也表明种植金银花可以有效减少径流和泥沙的产生,起到良好的水土保持作用。

土壤团聚体稳定性影响着土壤入渗、结皮和产沙等土壤侵蚀的各个过程,是预测土壤抗侵蚀能力的良好指标^[23]。在种植不同树龄金银花后,土壤中水稳性团聚体含量随金银花树龄的增加而增加。种植金银花提高土壤团聚体的稳定性,6 年金银花相比裸地 WSA_{0.25} 提高 19.58%,增强土壤抗降雨和表面径流的分散能力,6 年金银花相比 1 年金银花近根区增加 191.26%,远根区增加 150.50%。母岩性质不同,风化产物的矿物成分、理化性质及力学性质等也存在差异,抵抗雨滴冲击及径流冲刷的能力也不同^[24]。刘锦春等^[25]以西南岩溶地区金银花为研究对象,研究不同干旱及干湿交替条件下金银花根系形态参数及根系生物量的影响。结果表明,短时间干旱内金银花根系长度和根系生物量增加,但长期干旱后金银花根系生物量显著下降。说明金银花能明显改善片麻岩土壤成分,增强土壤抗侵蚀能力。但在其他地区的适应性还有待研究。

通过相关性分析,金银花根系生物量与金银花坡面总减流率以及总减沙率呈极显著正相关,其相关系数分别为 0.801 和 0.911。根系生物量与磷素流失呈显著负相关,相关系数为 0.743。张莉^[26]研究得出,土壤输沙量与植被覆盖度的相关性较高,输沙量主要受植被覆盖度影响,覆盖度越高,输沙量越低。乐乐等^[27]选取 5 种种植年限的金银花,对其根区与非根区土壤养分状况进行研究。结果表明,不同种植年限的金银花根区土壤与非根区有效磷差异不显著。王小云^[28]通过不同尺度范围内模拟降雨的研究表明,表层土壤团聚体含量和粒径与径流和土壤流失量具有显著相关性,且不同降雨时段差异显著,甚至相反。这均表明土壤侵蚀强度与植被因子具有一定相关性。种植多年金银花是改善土壤的有效措施。但本研究对不同年限金银花与不同粒径团聚体及产沙产流的关系研究有待于进一步探讨。

参考文献:

[1] 颜佩凤. 朝阳县水土流失问题及其治理措施[J]. 黑龙江水利科技, 2015, 43(8): 187-188.

[2] 史东超, 张金柱, 郭素平. 太行山片麻岩区坡地水土流失规律研究[J]. 河北林果研究, 2003, 18(1): 13-19.

[3] 朱子龙, 周大迈, 张爱军, 等. 不同下垫面太行山片麻岩坡面水土及养分流失规律研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 61-65.

[4] 徐宪立, 马克明, 傅伯杰, 等. 植被与水土流失关系研究

- 进展[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3137-3143.
- [5] 夏青, 尚润阳. 植被覆盖对土壤水蚀的影响评价[J]. 海河水利, 2014(2): 52-55.
- [6] 陈奇伯. 林地枯枝落叶层水土保持作用探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 1996(3): 70-72.
- [7] 王一志. 植被与水土流失关系分析[J]. 科学技术创新, 2016(29): 266.
- [8] 杨帆, 程金花, 张洪江, 等. 坡面草本植物对土壤分离及侵蚀动力的影响研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 129-137.
- [9] 吴彦, 刘世全, 王金锡. 植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响[J]. 应用与环境生物学报, 1997, 3(2): 119-124.
- [10] 杨吉华, 王华田, 张光灿, 等. 金银花水土保持效益的研究[J]. 生态学杂志, 1997, 16(3): 35-38.
- [11] 田雪彪, 杨进, 邹坤, 等. 树形金银花生长特性及水土保持功效研究[J]. 水资源开发与管理, 2012, 10(4): 38-40.
- [12] 贺红亮. 金银花护坡性能研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.
- [13] 班越非. 金银花与矿区绿化[J]. 辽宁林业科技, 2005(3): 60-61.
- [14] 王磊, 焦方仕, 季成善. 山区经济开发的选择: 金银花[J]. 农业科技通讯, 2000(11): 10-11.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [16] 周虎, 吕貽忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [17] 张兴昌, 刘国彬, 付会芳. 不同植被覆盖度对流域氮素径流流失的影响[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 16-19.
- [18] 张佳琪, 王红, 张瑞芳, 等. 雨强对片麻岩坡面径流养分流失规律的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3): 42-45.
- [19] 胡宏祥, 洪天求, 刘路. 水土流失量和养分流失量的预测[J]. 环境科学研究, 2009, 22(3): 98-103.
- [20] 高维森. 土壤抗蚀性指标及其适用性初步研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(2): 60-65.
- [21] 彭熙, 李安定, 李苇洁, 等. 不同植物篱模式下土壤物理变化及其减流减沙效应研究[J]. 土壤, 2009, 41(1): 107-111.
- [22] 才业锦. 重庆市水土保持措施效应及小流域治理范式评价[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [23] Mena M M, Deeks L K, Williams A G. An evaluation of a fragmentation fractal dimension technique to determine soil erodibility[J]. Geoderma, 1999, 90(1/2): 87-98.
- [24] 陈诗礼. 试论岩石性质与水土流失的关系[J]. 中国水土保持, 1988(3): 26-31.
- [25] 刘锦春, 马晔, 陶建平, 等. 丛枝菌根真菌对西南岩溶地区干旱及干湿交替下金银花根系生长的影响[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(10): 110-116.
- [26] 张莉. 延河流域近 50 年植被与水沙变化关系分析[D]. 陕西 杨凌: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2014.
- [27] 乐乐, 何腾兵, 林昌虎, 等. 不同种植年限金银花根区与非根区土壤养分差异性研究[J]. 山地农业生物学报, 2013, 32(3): 229-232.
- [28] 王小云. 土壤团聚体与土壤侵蚀关系研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(23): 106-108.

(上接第 42 页)

- [3] 李占斌, 李社新, 任宗萍, 等. 冻融作用对坡面侵蚀过程的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5): 56-60.
- [4] 刘彦辰, 王瑄, 周丽丽, 等. 冻融坡面土壤剥蚀率主要影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 1-5.
- [5] 尚佰晓, 王莉, 王瑄, 等. 坡面土壤剥蚀率及其与水流含沙量的关系研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 28-31.
- [6] 王飞超, 任宗萍, 李鹏, 等. 模拟降雨下冻融作用对坡面侵蚀过程的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 72-75.
- [7] 王成亮. 基于普通数码影像的近景摄影测量技术研究与应用[D]. 长沙: 中南大学, 2006.
- [8] 张祖勋. 数字摄影测量的发展与展望[J]. 地理信息世界, 2004, 6(3): 1-5.
- [9] 张祖勋, 杨生春, 张剑清, 等. 多基线—数字近景摄影测量[J]. 地理空间信息, 2007, 2(1): 1-4.
- [10] 李振涛, 许妙忠. 数字近景摄影测量在古建筑重建中的应用研究[J]. 测绘信息与工程, 2007, 32(4): 8-10.
- [11] 栾有昆. 基于数码相机的地面摄影测量在水电工程中的应用[J]. 水利水电测绘, 2006(4): 26-27.
- [12] 宋月君, 黄炎和, 杨洁, 等. 近景摄影测量在土壤侵蚀监测中的应用[J]. 测绘科学, 2016, 41(6): 80-83.
- [13] 杨建英, 祁有祥, 赵廷宁, 等. 基于侵蚀针和近景摄影测量的侵蚀速率测定方法试验研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(3): 90-94.
- [14] 王秀美, 贺跃光, 曾卓乔. 数字化近景摄影测量系统在滑坡监测中的应用[J]. 测绘通报, 2002(2): 28-30.
- [15] Farid E, Masood V, Hamid E. Displacement measurement of the soil nail walls by using close range photogrammetry and introduction of CPDA method [J]. Measurement, 2013, 46(9): 2-5.
- [16] Kerstent, Maashg G. Photogrammetric 3-Dpoint determination for dam monitoring[J]. Optical 3-D Measurement Techniques, 1995, 14(10): 161-168.
- [17] 程效军, 许诚权, 周行泉. 基于 PhotoModeler scanner 的普通数码相机快速检校研究[J]. 遥感信息, 2011(4): 80-84.
- [18] 冯文灏. 近景摄影测量的基本技术提要[J]. 测绘科学, 2000, 12(4): 26-30.
- [19] 冯文灏. 关于近景摄影机检校的几个问题[J]. 测绘通报, 2000(10): 1-3.