

不同水土保持措施对闽西紫色土速效养分及可蚀性的影响

陈俊佳^{1,2}, 陈志彪^{1,2}, 陈志强^{1,2}, 黄锦祥³, 张仁涛³, 陈海滨^{1,2}, 蒋涛^{1,2}

(1. 福建师范大学湿润亚热带生态地理过程教育部重点实验室, 福州 350007;

2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 3. 福建省宁化县水土保持委员会办公室, 福建 宁化 365400)

摘要: 以福建省西部宁化县紫色土区梯田+杨梅+百喜草(C1)、山边沟+鱼鳞坑+金银花(C2)、隔坡梯田+鱼鳞坑+油茶(C3)、鱼鳞坑+油茶(C4)、竹节沟+乔灌木(C5) 5种水土保持措施和无水土保持措施(CK)的紫色土地为研究对象, 对比分析不同水土保持措施下闽西紫色土速效养分含量及可蚀性特征差异, 并揭示土壤速效养分与可蚀性特征间的相互关系。结果表明: 5种水土保持措施下紫色土速效养分含量除硝态氮外均高于CK, 其中, 铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、速效磷(AP)、速效钾(AK)含量分别呈现 C2>C3>C4>C1>C5>CK、C2>CK>C4>C3>C5>C1、C2>C5>C1>C3>C4>CK、C2>C1>C3>C5>C4>CK的变化规律; 5种不同水土保持措施下土壤 AN/AP、AN/AK 均小于CK, 而 AP/AK 则表现为 C3<CK<C4<C1<C5<C2 的变化规律, 总体上5种水土保持措施均能有效促进土壤速效养分平衡。5种水土保持措施下土壤可蚀性K值均小于CK, 土壤有机碳含量均高于CK, 其中C2的土壤可蚀性K值最小, 有机碳和砂粒含量最高。可见, 在闽西紫色土地中布设水土保持措施能有效提高紫色土抗侵蚀能力, 其中山边沟+鱼鳞坑+金银花的水土保持效果最好。紫色土速效养分与可蚀性特征联系密切, 土壤可蚀性K值越大, 速效养分流失越严重, 速效养分含量越低。研究结果为紫色土地评价水土流失治理效果提供数据支撑, 为水土保持措施的选择提供借鉴。

关键词: 土壤速效养分; 土壤可蚀性; 水土保持措施; 紫色土; 闽西

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0045-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.01.008

Effects of Different Soil and Water Conservation Measures on Available Nutrients and Erodibility Characteristics of Purple Soil in Western Fujian

CHEN Junjia^{1,2}, CHEN Zhibiao^{1,2}, CHEN Zhiqiang^{1,2}, HUANG Jinxiang³,

ZHANG Rentao³, CHEN Haibin^{1,2}, JIANG Tao^{1,2}

(1. Key Laboratory for Humid Subtropical Eco-geographical Processes of the Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007; 2. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007;

3. Office of Water and Soil Conservation Committee of Ninghua County in Fujian Province, Ninghua, Fujian 365400)

Abstract: Taking the terrace + *Myrica rubra* + *Paspalum natatum* (C1), hillside ditch + fish-scale pits + *Lonicera japonica* (C2), terraced fields with slope + fish-scale pits + *Camellia oleifera* (C3), fish-scale pits + *Camellia oleifera* (C4), slub ditch + arbor and shrub and herb (C5) five soil and water conservation measures and no measures (CK) in purple soil slope land of Ninghua County, western Fujian Province as the research object, the available nutrients contents and erodibility characteristics were compared and analyzed; and the relationships between soil available nutrients and erodibility characteristics were revealed. The results showed that the available nutrients contents of purple soil were higher than those of CK except nitrate nitrogen under 5 soil and water conservation measures. The contents of ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, available phosphorus (AP) and available potassium (AK) showed the changes of C2>C3>C4>C1>C5>CK, C2>CK>C4>C3>C5>C1, C2>C5>C1>C3>C4>CK and C2>C1>C3>C5>C4>CK respectively. All the soil AN/AP and AN/AK under 5 soil and water conservation measures were less than CK, while AP/AK showed C3<CK<C4<C1<C5<C2. In general, five soil and water conservation measures could improve the balance of soil available nutrients. The K values of soil erodibility under 5 measures were lower than that of CK. The contents of soil organic carbon were higher than that of CK. Among them, the

收稿日期: 2018-07-18

资助项目: 福建省社会发展引导性(重点)项目(2016Y0024); 国家自然科学基金项目(41171232); 国家重点研发计划项目(2016YFC0502905); 福建省矿山生态修复工程研究中心开放基金项目(MECER20120893B170008)

第一作者: 陈俊佳(1992—), 男, 硕士研究生, 主要从事侵蚀过程与生态调控研究。E-mail: chenjunjia666666@163.com

通信作者: 陈志彪(1962—), 男, 博士, 教授, 主要从事水土保持与资源环境研究。E-mail: chenzhibiao408@vip.163.com

soil K value under C2 was the least, and the contents of organic carbon and sand were the highest. It could be seen that the soil and water conservation measures could effectively improve the anti-erosion ability in the purple soil slope of west Fujian, where the hillside ditch + fish-scale pits + *Lonicera japonica* gave the best. The soil available nutrients were closely related to the characteristics of erodibility. The higher the K value of soil erodibility, the more serious the available nutrients loss and the lower the available nutrients contents. These findings provided data support for evaluating the effect of soil erosion control in purple soil area of Western Fujian, and also provided reference for the selection of soil and water conservation measures in this area.

Keywords: soil available nutrients; soil erodibility; soil and water conservation measures; purple soil; Western Fujian

紫色土是热带、亚热带地区发育于紫色岩上的一类土层分化不明显、母岩性状残留强烈的岩成土壤,在我国主要分布于四川、重庆、云南、贵州、福建等省区,面积约 1 889 万 hm^2 ^[1]。紫色土具有风化土速率快、土壤矿物质含量高、生产性能高等特性^[2],是我国南方重要旱作土壤之一。然而,紫色土土层浅薄,甚至母岩裸露,只剩下风化碎屑,保水保肥能力差,有机质含量低,加之人类的不合理开发,极易造成水土流失,其侵蚀程度仅次于黄土^[3]。

土壤速效养分是土壤供给植物生长所易吸收的有效营养成分,速效氮(AN)(铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)之和)、速效磷(AP)和速效钾(AK)对土壤质量评价及生态恢复具有指示意义^[4]。土壤速效养分化学计量比能反映土壤多种元素循环平衡和有效性等特征,揭示生态系统功能的稳定性与变异性。近年来,国内外研究主要关注土壤速效养分的时空变异特征、外物添加、种植农作物对土壤速效养分含量的影响等领域^[5-7]。土壤可蚀性是表示土壤被冲蚀的难易程度,反映土壤对土壤侵蚀外营力剥蚀和搬运的敏感性,是定量评价和预报土壤侵蚀的重要参数^[8]。土壤可蚀性的强弱直接影响土壤养分的流失程度,进而影响土壤供给速效养分的差异,采取水土保持措施能有效减轻水土流失程度,进而提升土壤的速效养分和降低土壤可蚀性。而然,目前关于土壤可蚀性的研究多集中在空间变异、影响因子及不同土壤可蚀性估算模型适用性的评价等方面^[9-11],而关于不同水土保持措施下土壤速效养分和可蚀性特征的相关研究并不多见,对土壤速效养分与土壤可蚀性特征间的相互作用的研究也是鲜见报道。

宁化县是福建省紫色土集中分布区之一,水土流失严重,根据 2011 年福建省水土流失遥感普查显示,宁化县紫色土水土流失面积达 153.09 km^2 ,水土流失率为 19.43%,严重的水土流失导致土壤养分流失严重,生态环境恶化,严重制约当地农业生产。为此,本研究以福建省西部宁化县水土保持科教园典型紫色土侵蚀区内不同水土保持措施下紫色土径流小区

为研究对象,探讨不同水土保持措施下紫色土速效养分和可蚀性特征,以及紫色土速效养分与可蚀性特征间的相互作用,对比分析不同水土保持措施在闽西紫色土坡地的水土保持效果,旨在为闽西紫色土地区评价水土流失治理效果提供重要数据支撑,为合理选择水土保持措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究样地位于福建省宁化县西部淮土镇与石壁镇交界的水土保持科教园(东经 $116^\circ 27' 25.66''$ — $116^\circ 28' 17.35''$,北纬 $26^\circ 13' 44.54''$ — $26^\circ 14' 14.95''$,海拔 360~465 m)内,为福建省典型的紫色土流失区之一。该区属中亚热带季风气候,具有气候温暖、水分充沛、四季分明等特点。多年平均气温为 18.1 $^\circ\text{C}$, $\geq 10^\circ\text{C}$ 多年平均积温为 5 400 $^\circ\text{C}$,年均无霜期 261 d。年均降水量 1 710.50 mm,旱雨季分明,4—6 月为雨季,9—11 月为旱季。主要土壤类型为酸性紫色土,土层较薄,pH 为 4.0~5.5。研究区内乔木主要有木荷(*Schima superba*)、油茶(*Camellia oleifera*)、杨梅(*Myrica rubra*)等,灌木主要有金银花(*Lonicera japonica*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等,草本植物主要有芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、百喜草(*Paspalum natatum*)、宽叶雀稗(*Paspalum wettsteinii* Hack)等。

1.2 试验设计

根据宁化县紫色土山地耕作模式和所采取的主要水土保持措施,在宁化县水土保持科教园内的同一坡面上布设了 10 个标准径流小区,结合闽西紫色土区农业发展特色,本研究选择其中的梯田+杨梅+百喜草(C1)、山边沟+鱼鳞坑+金银花(C2)、隔坡梯田+鱼鳞坑+油茶(C3)、鱼鳞坑+油茶(C4)、竹节沟+乔灌木(C5)5 种水土保持措施下的 5 个标准径流小区,并以无水土保持措施地表裸露小区作为对照(CK)。各径流小区的规格均为 20 m \times 5 m,面积为 100 m^2 ,坡度为 20° ,且坡向相同。各小区的水土保持措施的布设均为 2013 年 3 月,其相应的水土保持措施布设情况见表 1。

表 1 各径流小区的水土保持措施布设情况

小区序号	水土保持措施	措施设计
1	梯田+杨梅+百喜草(C1)	在小区内布设梯田 5 个,梯田宽 2 m,外埂内沟,梯田内种植杨梅,梯壁种植百喜草
2	山边沟+鱼鳞坑+金银花(C2)	布设山边沟 5 条,每条山边沟宽 1.4 m,两条山边沟之间的鱼鳞坑种植金银花
3	隔坡梯田+鱼鳞坑+油茶(C3)	在坡面上等距离布设隔坡带 3 条,每条隔坡带宽 1.4 m,两条隔坡带之间等距离设计长径为 1.2 m,短径为 0.8 m,穴深 0.5 m 的鱼鳞坑,在鱼鳞坑内种植油茶
4	鱼鳞坑+油茶(C4)	在坡面上均匀地布设 20 个长径为 1.2 m,短径为 0.8 m,穴深 0.5 m 的鱼鳞坑,在鱼鳞坑内种植油茶
5	竹节沟+乔灌木(C5)	竹节沟+乔灌木,竹节沟共计 4 条,沟埂种植胡枝子,竹节沟之间种植木荷及宽叶雀稗,木荷共 2 行 6 株
6	对照(CK)	无水土保持措施的裸地

野外土壤采样于 2016 年 11 月进行,在每个径流小区中分别沿其坡面的上部、中部、下部的等高线方向采集土壤样品,在每条等高线上等距离的 3 点各取等量土样,再把同一等高线上的土样混合为 1 个土样,即每个小区的上部、中部、下部分别为 1 个土壤混合样品,采样地点避开树木,采样深度 0—20 cm,把所取的土样装进聚乙烯自封袋内,并贴上相应的标签。土样带回实验室后,剔除砾石和植物根系等杂物,取一部分过 2 mm 筛,用于铵态氮、硝态氮和土壤粒径组成的测定。其余土样待自然风干后,一份研磨过 10 目筛,用于速效磷、速效钾的测定,另一份土样研磨过 100 目筛,用于土壤有机碳测定。土壤粒径组成采用 MasterSizer 2000 激光粒度分析仪测定,粒径划分标准采用美国制;有机碳含量采用 Elementar Vario MAX 碳氮元素分析仪测定;土壤速效氮(铵态氮、硝态氮)含量先采用 2 mol/L KCl 浸提,再用 Skalar san++ 连续流动分析仪测定;速效磷含量采用 Mehlich 3 法浸提后,再用 Skalar san++ 连续流动分析仪测定;速效钾含量采用 1 mol/L NH₄OAc 浸提后,再用 FP 640 火焰光度计测定^[12]。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤可蚀性 K 值的计算 土壤可蚀性 K 值是定量评价土壤抗侵蚀性的重要定量指标^[8],其在国际上通常用来衡量土壤可蚀性状况。目前,国内外常用的土壤可蚀性 K 值估算模型主要有美国通用土壤流失方程式(USLE/RUSLE)、EPIC 模型、Shirzai 公式等^[11],其中 EPIC(erosion productivity impact calculator)模型是一种应用较为广泛的土壤可蚀性 K 值估算方法,其物理意义明确、可操作性强、测定方便^[9],相关研究^[8]表明,应用 EPIC 模型对我国南方紫色土丘陵区土壤抗侵蚀能力进行评价能较精确地反映土壤抗侵蚀能力的实际情况,故本研究在对紫色土土壤可蚀性评价中采用 EPIC 模型,其表达式为:

$$K_{EPIC} = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256S_a(1.0 - S_i/100)]\}$$

$$\left(\frac{S_i}{C_i + S_i}\right)^{0.3} \left[1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}\right] \left[1.0 - \frac{0.7S_n}{S_n + \exp(-5.51 + 22.9S_n)}\right]$$

式中:K_{EPIC}为土壤可蚀性 K 值,为美国习惯用单位((short ton·ac·h)/(100 ft·short ton·ac·in)),将其乘以 0.131 7 可转换为国际单位(t·hm²·h/(hm²·MJ·mm));S_a为砂粒(0.05~2 mm)含量(%);S_i为粉粒(0.002~0.05 mm)含量(%);C_i为黏粒(< 0.002 mm)含量(%);C 为有机碳含量(%);S_n=1-S_a/100。

1.3.2 统计分析方法 采用 Excel 2016、SPSS 22.0 统计分析软件进行数据处理分析,用单因素方差分析(One-Way ANOVA),对不同水土保持措施下紫色土的铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、速效磷(AP)、速效钾(AK)、AN/AP、AN/AK、AP/AK、有机碳含量、粒径组成和可蚀性 K 值进行多重显著性检验,土壤可蚀性 K 值与土壤 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、AP、AK、AN/AP、AN/AK、AP/AK 的相关性采用 Pearson 相关性分析。利用 Origin 9.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同水土保持措施下紫色土速效养分特征

2.1.1 紫色土速效养分含量 由表 2 可知,不同水土保持措施下土壤铵态氮含量以 C2 最高,其次为 C3,CK 最低;其中 C2、C3、C4 均显著高于 CK(P<0.05),C2、C3、C4 的铵态氮含量分别是 CK 的 1.91, 1.73, 1.65 倍,而 C1、C5 与 CK 间的差异没达到显著水平(P>0.05)。不同水土保持措施下土壤硝态氮含量存在极显著差异(P<0.01),土壤硝态氮含量介于 0.24~3.27 mg/kg,其中 C2 土壤硝态氮含量显著高于其他水土保持措施(P<0.05),而其他各项水土保持措施间差异均不显著(P>0.05)。不同水土保持措施下土壤速效磷含量也存在极显著差异(P<0.01),含量最高的是 C2,最低是 CK;其中 C2、C5、C1 均显著高于 CK

($P < 0.05$), 分别高出 51.81, 19.61, 10.01 mg/kg, C3、C4 与 CK 间的差异则不显著($P > 0.05$)。不同水土保持措施下土壤速效钾含量存在显著差异($P < 0.05$), 以 C2 含量最高, 其次为 C1, 以 CK 含量最低; 其中 C2、C1、C3 均显著高于 CK($P < 0.05$), C2、C1、C3 的速效钾含量分别是 CK 的 5.40, 4.24, 4.17 倍, 而 C4、C5 与 CK 间的差异则不显著($P > 0.05$)。

表 2 不同水土保持措施下土壤速效养分含量

处理	铵态氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	硝态氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
C1	11.72±1.17ab	0.24±0.02b	11.64±1.72c	166.95±12.45a
C2	14.00±1.97a	3.27±0.05a	53.44±0.38a	212.82±33.90a
C3	12.71±2.70a	1.09±0.24b	6.27±1.87cd	164.23±33.17ab
C4	12.13±0.39a	1.12±0.59b	5.84±2.29cd	81.40±13.16c
C5	9.97±0.69ab	0.71±0.29b	21.24±4.92b	101.07±11.34bc
CK	7.35±0.28b	1.21±0.35b	1.63±0.06d	39.39±1.24c

注:表中数据为平均值±标准误差;同列不同小写字母表示不同水土保持措施间差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.1.2 土壤速效养分的化学计量比 从表 3 可以看出,不同水土保持措施下土壤 AN/AK 存在显著差异($P < 0.05$),大小为 0.07~0.22;5 种水土保持措施均显著小于 CK($P < 0.05$),分别比 CK 小 0.15, 0.14, 0.14, 0.05, 0.11, 而 C1、C2、C3、C5 之间的差异未达到显著水平($P > 0.05$)。不同水土保持措施下土壤 AN/AP 存在显著差异($P < 0.05$),各水土保持措施下土壤 AN/AP 均显著小于 CK($P < 0.05$),而 C1、C2、C3、C5 之间无显著差异($P > 0.05$)。不同水土保持措施下土壤 AP/AK 存在显著差异($P < 0.05$),以 C2 最大,其次为 C5,以 C3 最

表 4 不同水土保持措施下土壤有机碳含量、粒径组成及可蚀性 K 值

处理	有机碳含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	颗粒含量/%			可蚀性 K 值 ($\text{short ton} \cdot \text{ac} \cdot \text{h}$)/ ($100 \text{ ft} \cdot \text{short ton} \cdot \text{ac} \cdot \text{in}$)
		黏粒 ($< 0.002 \text{ mm}$)	粉粒 ($0.002 \sim 0.05 \text{ mm}$)	砂粒 ($0.05 \sim 2 \text{ mm}$)	
C1	6.22±0.69ab	15.56±1.08a	64.59±1.88a	19.85±2.91a	0.425±0.011a
C2	8.97±2.72a	13.93±0.87ab	58.18±0.42a	27.90±1.02a	0.379±0.022b
C3	5.53±0.31ab	15.78±0.75a	62.65±3.72a	21.58±4.03a	0.420±0.014ab
C4	4.50±1.38b	12.47±1.20b	64.24±4.10a	23.29±4.80a	0.423±0.020ab
C5	4.60±0.43b	12.54±0.66b	59.58±0.78a	27.88±1.05a	0.408±0.004ab
CK	3.35±0.84b	11.64±0.57b	66.25±2.83a	22.11±2.37a	0.433±0.008a

2.3 土壤速效养分特征与可蚀性特征的相关性分析

表 5、表 6 分别为不同水土保持措施下土壤可蚀性 K 值与有机碳、粒径组成及土壤速效养分指标与可蚀性特征指标间的 Pearson 相关分析结果。分析结果表明,不同水土保持措施下土壤可蚀性 K 值与有机碳、砂粒呈极显著的负相关关系,与粉粒呈极显著的正相关关系($P < 0.01$),与黏粒则无显著的相关性;土壤铵态氮与黏粒、速效磷与砂粒、AN/AK 与粉粒、AP/AK 与砂粒呈显著的正相关关系($P < 0.05$);土壤铵态氮与有机碳、速效磷与有机碳、速效钾与有机碳和黏粒、AN/AP 与粉粒呈极显著的正相关关系

小;其中 C2 和 C5 均显著大于 CK($P < 0.05$),分别比 CK 高 5.36 倍、3.94 倍,而 C1、C3、C4 与 CK 之间无显著差异($P > 0.05$)。

表 3 不同水土保持措施下土壤速效养分化学计量比

处理	AN/AK	AN/AP	AP/AK
C1	0.07±0.01c	1.05±0.07c	0.07±0.01b
C2	0.08±0.01c	0.32±0.04c	0.26±0.02a
C3	0.08±0.00c	2.35±0.30bc	0.04±0.01b
C4	0.17±0.02b	3.13±1.25b	0.07±0.02b
C5	0.11±0.01c	0.56±0.13c	0.20±0.00a
CK	0.22±0.01a	5.28±0.36a	0.04±0.01b

2.2 不同水土保持措施下土壤可蚀性特征

不同水土保持措施下土壤有机碳含量由高到低依次为:C2>C1>C3>C4>C5>CK,其中 C2 显著高于 CK($P < 0.05$),而其他措施与 CK 间则未达到显著性差异。不同水土保持措施下土壤颗粒含量均以粉粒(0.002~0.05 mm)最高,均高于 58%,砂粒(0.05~2 mm)次之,介于 19%~28%,黏粒($< 0.002 \text{ mm}$)含量最低,均低于 16%。其中各水保措施下土壤黏粒含量均高于 CK,以 C3 最高,C3 比 CK 高 4.14%;各水保措施下土壤粉粒含量均低于 CK,以 C2 最低,C2 比 CK 低 8.07%;砂粒含量 C5 最高,以 C1 最低。不同水土保持措施下土壤可蚀性 K 值由大到小依次为 CK>C1>C4>C3>C5>C2,5 种水土保持措施下土壤可蚀性 K 值均小于无水土保持措施的对照裸地(表 4)。

($P < 0.01$)。速效磷与粉粒、速效钾与 K 值、AN/AP 与砂粒和有机碳,AN/AK 与有机碳和黏粒、AP/AK 与粉粒和 K 值呈显著的负相关关系($P < 0.05$),速效磷与 K 值呈极显著的负相关关系($P < 0.01$)。而硝态氮与各项土壤可蚀性指标间的相关性均不显著。

表 5 不同水土保持措施下土壤可蚀性 K 值与有机碳、粒径组成的相关性

指标	有机碳	黏粒	粉粒	砂粒
可蚀性 K 值	-0.807**	0.088	0.849**	-0.789**

注: $n=18$; ** 表示在 $P < 0.01$ (双侧)水平上显著相关; * 表示在 $P < 0.05$ (双侧)水平上显著相关。下同。

表 6 不同水土保持措施下土壤速效养分指标与可蚀性特征指标间的相关性

指标	铵态氮	硝态氮	速效磷	速效钾	AN/AP	AN/AK	AP/AK
有机碳	0.676**	0.377	0.628**	0.795**	-0.549*	-0.558*	0.341
黏粒	0.551*	0.058	0.083	0.602**	-0.225	-0.515*	-0.103
粉粒	-0.230	-0.234	-0.571*	-0.389	0.642**	0.493*	-0.586*
砂粒	-0.004	0.187	0.479*	0.119	-0.489*	-0.245	0.564*
K 值	-0.424	-0.398	-0.679**	-0.577*	0.587*	0.466	-0.528*

3 讨论

3.1 水土保持措施对土壤速效养分的影响

土壤速效氮、速效磷、速效钾是土壤肥料三要素氮、磷、钾被植物吸收利用的最有效养分形态,其含量高能很好地反映土壤的肥力水平^[13]。本文通过对不同水土保持措施下闽西紫色土速效养分含量的研究发现,首先,布设有水土保持措施的小区的土壤铵态氮、速效磷、速效钾含量均高于 CK,其中 C2 的铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾含量均高于其他水土保持措施。由此可知,5 种水土保持措施的土壤速效养分含量除硝态氮外均高于裸露坡地。产生这一现象的原因可能是由于坡改梯、山边沟、鱼鳞坑、隔坡带、竹节沟等工程措施能有效拦截地表径流,降低径流流速,从而降低土壤速效养分流失量;其次,百喜草、金银花、油茶、木荷、宽叶雀稗、胡枝子等林草措施利用林草冠的截留作用,削减了雨滴动能,减轻雨滴对地表土壤的溅蚀,减少径流量及降低径流速度,减少了团粒破坏和水土流失,从而降低了土壤速效养分的流失;最后,植物的凋落物能提高表层土壤速效养分含量^[14],故工程措施和林草措施相结合的水土保持措施在保持紫色土坡面速效养分具有显著效果。相关研究^[15]发现,山边沟+鱼鳞坑+金银花措施在闽西紫色土区抑制土壤侵蚀(减沙率 93.45%)的效果明显好于其他水土保持措施。泥沙流失量的减少导致土壤中速效养分流失也减少。可见,山边沟+鱼鳞坑+金银花是闽西紫色土区水土保持的一种效果很好的水土保持措施。本研究发现,水土保持措施对闽西紫色土速效养分化学计量比影响显著,5 种不同水土保持措施下紫色土 AN/AP、AN/AK 均小于 CK,分别呈现 C2<C5<C1<C4<C3<CK、C1<C2<C3<C5<C4<CK 的变化规律,这是因为 5 种水土保持措施下土壤的速效磷、速效钾含量明显高于 CK 所致;而 AP/AK 则表现为 C3<CK<C4<C1<C5<C2 的变化规律。可见,水土保持措施能有效地促进闽西紫色土坡面速效养分平衡。

3.2 水土保持措施对土壤可蚀性特征的影响

土壤可蚀性是由土壤内在理化性质决定的特征参数,可以客观地反映土壤抵抗侵蚀的敏感性^[8]。闽西紫色土内 5 种水土保持措施下土壤可蚀性 K 值均小于 CK,可见,水土保持措施能有效提高紫色土的抗侵蚀能力。山边沟通过截短坡长,分段拦截径流,

使坡面径流不易汇成较大的股流,减少水流对地表土壤的冲蚀,能很好地减少坡面水土流失。鱼鳞坑具有减小径流的携带泥沙能力,使大颗粒沉积,小颗粒被搬运,能在坡面拦泥减沙、截流保水、改善坡面立地条件、植被恢复中发挥了重要作用^[16]。坡改梯随着耕作和管理利用时间的延长,水稳性团聚体和有机质含量分别较坡耕地呈显著和极显著提高,团聚体结构破坏率明显降低,土壤抗冲和抗蚀性明显增强^[17]。可见,山边沟、鱼鳞坑、坡改梯等水土保持工程措施能增强土壤的抗侵蚀能力。另外,百喜草、金银花、油茶等林草措施能有效覆盖紫色土表土,减少土壤裸露,同时植物的根系对固持土壤,促进下渗,减少坡面径流等效果显著。因而,把水土保持工程措施与林草措施结合使用能提高紫色土抗侵蚀能力,降低紫色土的可蚀性。在各项土壤可蚀性特征指标中,布设有水土保持措施的小区有机碳含量均高于 CK,黏粒含量均高于 CK,粉粒含量均低于 CK,C2 的最小,砂粒含量除 C1 和 C3 外其他的水土保持措施均高于 CK。C2 的有机碳含量最高,粉粒含量最低,砂粒含量最高,土壤可蚀性 K 值最小。这一结果说明,在闽西紫色土坡地布设梯田+杨梅+百喜草、山边沟+鱼鳞坑+金银花、隔坡带+鱼鳞坑+油茶、鱼鳞坑+油茶、竹节沟+乔灌草等水土保持措施能够明显增加土壤抗冲和抗蚀性,其中山边沟+鱼鳞坑+金银花的效果最好。此外,C3 的有机碳含量高于 C4,且土壤可蚀性 K 值低于 C4,显然,在相同的林草措施下,不同工程措施的组合(隔坡梯田+鱼鳞坑)要比单一工程措施(鱼鳞坑)具有更优的土壤抗侵蚀效果。

3.3 土壤速效养分特征与土壤可蚀性的关系

相关研究^[18-19]表明,土壤可蚀性与速效养分流失之间存在着一定的互馈机制。一方面,土壤可蚀性影响土壤的产流速率与产沙速率,从而影响土壤速效养分流失状况;另一方面,土壤速效养分含量和土壤有机碳含量、颗粒组成间多具有显著相关性^[20],而土壤有机碳含量、颗粒组成是土壤可蚀性 EPIC 模型中的主要变量,故土壤可蚀性的强弱也同样受到土壤速效养分流失的影响。本研究发现,不同水土保持措施下土壤可蚀性 K 值随土壤有机碳、砂粒含量的增加而减小,随着粉粒含量的增加而增强;而铵态氮含量随着有机碳、黏粒含量的增加而增加;速效磷含量随着砂粒、有机碳含量的增加而增加,随着粉粒含量的增

加, K 值增大而下降;速效钾含量随着有机碳、黏粒含量的增加而增加,随着 K 值增大而下降。而硝态氮与各项土壤可蚀性指标间均不存在显著的相关性。闽西紫色土速效养分化学计量比不仅受到其含量变化的影响,还与土壤粒径组成、有机碳含量、可蚀性 K 值的关系密切。 AN/AP 随着 K 值的增大而增大,随着有机碳、砂粒含量的增加而减小; AN/AK 随着粉粒含量的增加而增大,随着有机碳、黏粒含量的增加而减小; AP/AK 随着砂粒含量的增加而增大,随着粉粒含量增加、 K 值的增大而减小。出现上述现象的原因可能是:不同水土保持措施下土壤可蚀性的差异导致产流、产沙出现差异,当土壤可蚀性较强时,土壤较容易遭到侵蚀,土壤速效养分更容易流失;当土壤可蚀性较弱时,土壤中速效养分更易于保存。反之,土壤速效养分与土壤团聚体、颗粒组成间存在一定的交互作用^[21],而土壤团聚体、颗粒组成与土壤可蚀性有着直接的联系;此外,土壤中速效养分含量影响土壤供给植物生长的有效养分,其含量高低直接影响地表植被生长状况,而地表植被则具有良好的保持水土的效果,其对土壤可蚀性有着密切联系,故土壤速效养分含量与土壤可蚀性存在相互影响的关系,土壤速效养分的变化会引起土壤可蚀性特征的变化。因此,紫色土速效养分与土壤可蚀性特征的相互作用机制需要更多的深入研究。

4 结论

(1)在闽西紫色土坡地中,5种水土保持措施下土壤的铵态氮、速效磷、速效钾含量均高于CK,对紫色土速效养分保持均有较好的效果。5种水土保持措施下紫色土的 AN/AP 、 AN/AK 均较CK小,水土保持措施有利于促进土壤速效养分比例平衡,能增强紫色土速效养分之间协调性。

(2)5种水土保持措施均能提高紫色土有机碳含量,提升紫色土抗侵蚀能力。其中C2在提高紫色土有机碳含量,降低紫色土可蚀性方面效果最好,因此,山边沟+鱼鳞坑+金银花是一种较适合闽西紫色土坡地的水土保持措施,值得广泛推广。

(3)闽西紫色土速效养分与可蚀性特征有着密切的联系,除硝态氮外,其他速效养分指标均与可蚀性特征指标具有一定相关性。紫色土可蚀性 K 值越大,抗侵蚀能力越弱,紫色土的速效养分流失越严重,土壤速效养分含量越低。

参考文献:

[1] 辛景树,徐明岗,田有果,等.耕地质量演变趋势研究:国家级耕地土壤监测数据整编[M].北京:中国农业科学技术出版社,2008:178.

- [2] 苏正安,熊东红,张建辉,等.紫色土坡耕地土壤侵蚀及其防治措施研究进展[J].中国水土保持,2018(2):42-47,69.
- [3] 刘刚才,游翔,张建辉,等.紫色土丘陵区小流域综合治理对水土保持的作用[J].山地学报,2007,25(5):590-595.
- [4] 姜超,陈志彪,陈志强,等.崩岗侵蚀对土壤速效养分质量分数及化学计量比的影响[J].中国水土保持科学,2016,14(2):31-40.
- [5] Xu G, Li Z, Li P, et al. Spatial variability of soil available phosphorus in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71(9): 3953-3962.
- [6] 黄永东,杜应琼,陈永坚,等.生物炭基钼肥对土壤无机氮形态转化的影响[J].生态环境学报,2018,27(1):40-46.
- [7] 赵孝丹,赵建宁,红雨,等.转抗旱基因棉对土壤酶活性及速效养分含量的影响[J].中国农学通报,2016,32(12):77-83.
- [8] 史东梅,陈正发,蒋光毅,等.紫色丘陵区几种土壤可蚀性 K 值估算方法的比较[J].北京林业大学学报,2012,34(1):32-38.
- [9] 荆莎莎,张荣华,张庆红,等.沂蒙山区典型县土壤可蚀性 K 值空间变异研究[J].土壤通报,2017,48(2):278-284.
- [10] 张兵,蒋光毅,陈正发,等.紫色丘陵区土壤可蚀性因子研究[J].土壤学报,2010,47(2):354-358.
- [11] 林芳,朱兆龙,曾全超,等.延河流域3种土壤可蚀性 K 值估算方法比较[J].土壤学报,2017,54(5):1136-1146.
- [12] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:106-578.
- [13] 陈海生,王世界,赵玉明.豫中植烟区土壤速效养分的空间变异分析[J].水土保持研究,2014,21(4):78-81.
- [14] 宋蒙亚,李忠佩,刘明,等.不同林地凋落物组合对土壤速效养分和微生物群落功能多样性的影响[J].生态学杂志,2014,33(9):2454-2461.
- [15] 熊伟.福建省宁化县紫色土区不同水保措施减流减沙效应初探[J].亚热带水土保持,2017,29(4):33-36.
- [16] 陶禹,向风雅,任文海,等.花岗岩红壤坡面工程措施初期的水土保持效果[J].水土保持学报,2015,29(5):34-39.
- [17] 殷庆元,王章文,谭琼,等.金沙江干热河谷坡改梯及生物地埂对土壤可蚀性的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):41-47.
- [18] 马广玉,李嘉薇,方青青,等.模拟降雨条件下典型土壤的可蚀性与养分流失特征[J].生态学杂志,2015,34(8):2267-2273.
- [19] 成玉婷,李鹏,徐国策,等.冻融条件下土壤可蚀性对坡面氮磷流失的影响[J].农业工程学报,2017,33(24):141-149.
- [20] 张玉斌,曹宁,许晓鸿,等.吉林省低山丘陵区水土保持措施对土壤颗粒组成和速效养分影响分析[J].中国农学通报,2009,25(20):287-291.
- [21] 区晓琳,陈志彪,姜超,等.植被恢复对亚热带侵蚀红壤团聚体养分分布的影响[J].水土保持学报,2016,30(6):230-238.