

不同混交模式毛竹林下土壤抗侵蚀性研究

刘广路¹, 范少辉¹, 蔡春菊¹, 张昌顺^{1,2}, 官凤英¹

(1. 国际竹藤中心 竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: [目的] 揭示毛竹林下土壤抗蚀性的主要影响因子, 为进一步研究土壤抗蚀性影响机制提供参考。[方法] 采用野外调查与室内分析相结合的方法, 以常绿阔叶林和杉木林为对照, 开展了 8 竹 2 阔林、6 竹 4 阔林、毛竹纯林、8 杉 2 竹林等不同混交模式毛竹林土壤抗蚀性及其影响因素研究。[结果] 常绿阔叶林的土壤抗蚀性最强, 杉木纯林最差, 毛竹混交林抗蚀性优于毛竹纯林, 混交林中 6 竹 4 阔林的抗蚀性较好, 8 竹 2 阔和 8 杉 2 竹林次之。崩解速率的变化趋势与抗蚀性变化趋势不同, 常绿阔叶林土壤崩解速率最慢, 6 竹 4 阔林最快, 8 竹 2 阔林、杉木林、8 杉 2 竹林低于毛竹纯林。综合考虑不同林分类型的土壤抗蚀性和崩解速率, 8 竹 2 阔林是一个较好的混交模式。[结论] 土壤和植被结构对土壤抗蚀性有重要影响, 毛竹林土壤抗蚀性与有机质含量、非毛管孔隙度、总孔隙度、土壤容重、竹鞭的生物量、枝叶生物量存在着显著的相关关系 ($p < 0.05$), 其中土壤有机质含量和枝生物量对土壤抗蚀性影响最大。

关键词: 毛竹林; 混交模式; 土壤抗蚀性; 影响因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0012-06

中图分类号: S714.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.004

Soil Anti-erodibility Under Moso Bamboo with Different Mixture Patterns

LIU Guanglu¹, FAN Shaohui¹, CAI Chunju¹, ZHANG Changshun^{1,2}, GUAN Fengying¹

(1. International Centre for Bamboo and Rattan, Key Laboratory of the Science and

Technology of Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China; 2. Institute of Geographical

Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: [Objective] To reveal the key factor of soil anti-erodibility in filed of moso bamboo in order to provide references for further studing influence mechanism of soil anti-erodibility. [Methods] Using the method of field investigation and laboratory analysis, changes and influences of soil anti-erodibility under moso bamboo with different mixture patterns were examined. The forest types included the forest I (evergreen broad-leaved forest), II (ratio of moso bamboo to broadleaf trees was 8 : 2), III (ratio of moso bamboo to broadleaf trees was 6 : 4), IV (pure-moso bamboo forest), V (ratio of Chinese fir to moso bamboo was 8 : 2), and VI (Chinese fir). [Results] The soil anti-erodibility was the strongest for evergreen broad-leaved forest and the poorest for Chinese fir. The soil anti-erodibility of mixed-moso bamboo forests was better than pure-moso bamboo's. Among those mixed-moso bamboo forests, the forest III was the best one, followed by the forest II and forest IV. The changes of soil disintegration rate of those forests were different from the trend of the soil anti-erodibility. The soil disintegration rate was slowest for evergreen broad-leaved forest and fastest for forest III. The forest II, V, and VI were better than the pure-moso bamboo forest. With regard to the different forest types of soil anti-erodibility and disintegration rate, the forest II was regarded as the better forest type. [Conclusion] There was a significant correlation ($p < 0.05$) between the soil anti-erodibility and organic matter content, non-capillary porosity, total porosity, soil bulk density, rhizome biomass, and foliage biomass based on correlation analysis. The soil anti-erodibility was affected by change of soil and vegetation structure. The changes of soil anti-erodibility credited biomass distribution and change of soil structure.

Keywords: moso bamboo; mixture patterns; soil anti-erodibility; impact factor

收稿日期: 2014-06-09

修回日期: 2014-06-30

资助项目: 国家“十二五”科技支撑项目“竹藤资源高效培育技术与示范”(2012BAD23B04)

第一作者: 刘广路(1975—), 男(汉族), 河北省宽城县人, 博士, 副研究员, 主要从事森林培育学研究。E-mail: liuguanglu@icbr.ac.cn。

通信作者: 范少辉(1962—), 男(汉族), 福建省永泰县人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事森林培育学研究。E-mail: fansh@icbr.ac.cn。

土壤抗蚀性是反映土壤侵蚀作用强弱的主要参数之一,其大小除与土壤物理性质关系密切外,还与外在生物因素相关^[1]。毛竹是中国南方重要的森林树种之一,具有重要的经济和生态功能^[2]。因其具有发达的鞭根系统、茂密的林冠、完整的林下植被和枯枝落叶层,使其成为防止土壤侵蚀、保持水土的优良树种,具有很强的水源涵养功能^[3]和抗蚀性^[4-5]。但是近年随着毛竹林经营强度的不断增加,毛竹林纯林化日趋明显,乔木层树种减少、林下植被多样性降低、凋落物层人为干扰严重,对毛竹林的水文生态功能产生了不良的影响^[6]。研究表明,毛竹林混交经营可以提高毛竹林的生产力^[7],改善土壤理化性质,增强土壤渗透性^[8],但前期的研究主要集中在竹阔、竹针混交林生产力、群落结构、土壤理化性质与毛竹纯林的对比研究上,缺少不同混交模式毛竹林抗蚀性方面的研究。开展不同比例的阔叶、针叶树种混交对毛竹林抗蚀性的影响分析,一方面可以揭示混交经营对毛竹林抗蚀性的影响,另一方面可以为高抗蚀性毛竹林混交模式的选择提供依据。目前,衡量土壤抗蚀性常用的指标包括土壤结构体的水稳性、团聚状况和团聚度、平均重量直径、分散系数、结构系数及作物产量等^[1],由于林业研究地域性强,不同指标有不同的适用范围,对此,国内外研究者进行了大量的比较应用和改进^[9-13]。土壤微团聚体类、水稳性团聚体类、有机质含量、凋落物持水能力、林下植被多样性、根系分布都对森林水文生态过程具有重要影响^[14-17]。本研

究在研究不同混交模式毛竹林侵蚀性、侵蚀过程的基础上,分析土壤团聚体、凋落物、林下植被和根系分布状况对毛竹林地抗蚀性的影响,揭示毛竹林抗蚀性的主要影响因子,为进一步明确土壤抗蚀性影响机制提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与样地设置

试验设置在福建省洋口国有林场,地处福建省西北部,地理坐标为 117°30′—118°14′E, 26°39′—27°12′N,属亚热带海洋性季风气候,年平均气温 18.7℃,最高温 40.3℃,最低温 -6.8℃,≥10℃的年平均积温 5 388~5 659℃,无霜期 305 d,雨日 164 d,年平均降雨量 1 568 mm,日照 1 740.7 h。研究地海拔 240~400 m,土壤类型为红壤或山地红壤,土层深厚,土壤肥沃。常见的植被群落有秃杉(*Taiwania flousiana*)人工林、毛竹(*P. edulis*)人工林、杉木(*Cunazinghanzia lanceolate*)人工林、木荷(*Schima superba*)人工林、马褂木(*Liriodendron chinense*)人工林、马尾松(*Pinus massoniana*)人工林、杉木—毛竹混交林、竹阔混交林等^[18]。根据资源分布情况,以常绿阔叶林(I)和杉木林(VI)为对照,开展 8 竹 2 阔林(II)、6 竹 4 阔林(III)、毛竹纯林(IV)、8 杉 2 竹林(V)土壤抗蚀性及主要影响因子研究。其中,毛竹与混生的阔叶和针叶树种为随机混生,混交比例通过胸高断面积的比例确定,样地基本情况详见表 1。

表 1 试验地林分概况

林分类型	林龄/ a	林分密度/ (株·hm ⁻²)	平均胸径/cm			平均 树高/m	郁闭度/ 盖度/%	坡度/ (°)	坡向
			毛竹	针/阔叶树	平均				
I	—	1 513	—	15.89	15.89	14.10	85	32	W
II	10	3 304	9.39	15.62	9.91	12.28	75	29	N
III	10	2 931	9.55	14.86	10.70	12.38	77	29	W
IV	15	3 688	9.10	—	9.10	13.06	78	28	WN
V	20	3 363	9.59	16.88	13.70	9.48	75	27	WN
VI	32	1 050	—	23.47	23.47	18.09	68	29	WN

注: I 为常绿阔叶林模式; II 为 8 竹 2 阔林模式; III 为 6 竹 4 阔林模式; IV 为毛竹纯林模式; VI 为杉木林模式; V 为 8 杉 2 竹林模式。

1.2 指标测定

1.2.1 土壤抗蚀性测定 采取静水土壤崩解法测定土壤抗蚀性^[19]。选取直径 7~10 mm 的风干土粒 50 颗,均匀放在孔径为 5 mm 的金属网格上,置于静水中进行观测。以 1 min 为间隔,分别记录分散土粒的数量,连续观测 10 min。1—10 min 的校正系数分别为 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% 和 95%; 在第 10 min 没有散开的土粒其水稳性系数为 100%。

抗蚀性指数采用水稳性指数表示:

$$K = (\sum P_i K_i + P_j) / A \quad (1)$$

式中: K ——水稳性指数; i ——1, 2, 3, 4, ..., 10; P_j ——10 min 内没有分散的土粒数(粒); P_i ——第 i 分钟的分散土粒数(粒); K_i ——第 i 分钟的校正系数; A ——试验的土粒总数粒(50 粒)^[19]。

1.2.2 抗蚀性影响因子测定 采环刀法测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度; 湿筛法测定土壤大颗粒含量; 吸管法测定土壤机械组成和微团聚体含量;

有机质含量采用 $K_2Cr_2O_7$ 氧化法测定。

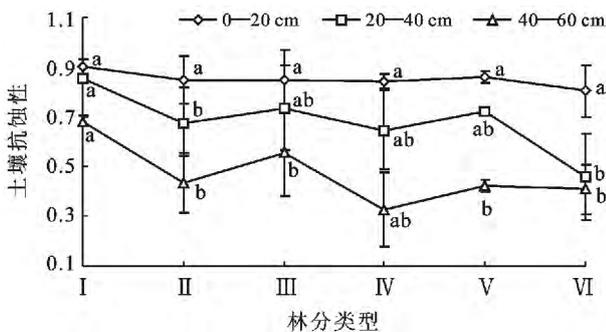
根密度调查采用挖掘剖面壁法;灌木层和草本层生物量采用收割法;凋落物量采用样方收集法^[20]。

2 结果与分析

2.1 不同类型毛竹林土壤抗蚀性分析

不同类型林分土壤抗蚀性不同,0—60 cm 土层范围内抗蚀性指数大小排列顺序为:I(0.82)>III(0.72)>V(0.67)>II(0.66)>IV(0.61)>VI(0.56)。几种林分类型中,阔叶林的抗蚀性最好,随着阔叶树比例的增加抗蚀性有降低的趋势,竹阔混交林的抗蚀性优于竹杉混交林,毛竹纯林低于毛竹混交林,杉木纯林最低(图1)。不同类型林分土壤抗蚀性在不同土层中的变化趋势不尽相同。其中,0—20 cm 土层土壤抗蚀性的排列顺序为:I>V>III>II>IV>VI,阔叶林抗蚀性最高,杉木林最低,毛竹林位于二者之间,振幅为0.02,其差异未达到显著水平。20—40 cm 土层土壤抗蚀性的排列顺序为:I>III>V>II>IV>VI,其中阔叶林显著高于林分II,IV和VI,与林分III和V的差异未达到显著水平。40—60 cm 土层土壤抗蚀性的排列顺序为:I>III>II>V>VI>IV,林分I和III的抗侵蚀能力显著高于其他类型林分,其中林分IV最低。

几种林分类型土壤抗蚀性均随着土层深度的增加呈下降的趋势,但是林分类型不同下降的幅度不同。其中,林分I在40—60 cm 土层土壤抗蚀性比0—20 cm 下降了24.22%;林分II下降了48.83%;林分III下降了34.77%;林分IV下降了61.41%;林分V下降了50.70%;林分VI下降了49.46%。阔叶林土壤抗蚀性随着土壤深度的增加,下降幅度最小,随着阔叶树比例的降低,林分土壤抗蚀性的下降幅度增大,毛竹纯林最低,竹阔混交林土壤抗蚀性的下降幅度低于杉木林和杉竹混交林。



注:相同小写字母,表示不同类型林分土壤之间抗蚀性的差异未达到显著水平($p>0.05$);不同小写字母,表示不同类型林分土壤之间抗蚀性的差异达到显著水平($p<0.05$)。

图1 不同类型毛竹林土壤抗蚀性变化特征

2.2 土壤崩解过程分析

不同类型林分土壤崩解速率随着时间的延长呈降低的趋势,10 min 平均崩解速率的排列顺序为:III>IV>II>VI>V>I,阔叶林土壤的崩解速率最小,6竹4阔林和毛竹纯林土壤崩解速率较快,杉木林、杉竹混交林、8竹2阔林的崩解速率较低。不同土层土壤崩解速率随着时间延长的变化规律不尽相同。其中,在0—20 cm 土层,林分I,III和IV除1~2 min 内的崩解速率的变化趋势与II, V, VI不同外(林分I, III和IV在第1分钟的崩解速率较小,在第2 min 随后迅速上升,其后随着时间的延长呈降低的趋势),其他时间的崩解速率与林分II, V, VI相同,随着时间的延长崩解速率降低;20—40 cm,40—60 cm 土层土壤颗粒崩解速率随着时间的延长呈降低的趋势(表2)。崩解之初,土壤含水量急剧增加,从而导致土粒迅速膨胀而发生崩解。在0—20 cm 土层,土壤平均崩解率的排列顺序为:III>IV>II>VI>V>I,阔叶林崩解速率最小,III和IV的崩解速率最大;20—40 cm 土层,初始崩解速率的排列顺序为:IV>III>VI>II>V>I,第10 min 崩解速率的排列顺序为:III>VI>IV>II>V>I,阔叶林的崩解速率最低,林分IV的崩解速率下降速度最快,林分IV的崩解速率到第5分钟,降低了67%;40—60 cm 土层崩解速率的排列顺序为:III>IV>II>V>VI>I,阔叶林和杉木林崩解率较低。

几种林分类型土壤崩解速率随着土壤深度的增加呈增加的趋势,林分I的0—20,20—40和40—60 cm 土层的崩解速率分别为1.31,2.04和4.79 颗/min;林分II分别为2.75,5.66和11.66 颗/min;林分III分别为4.35,7.47和14.31 颗/min;林分IV分别为2.29,6.02和13.82 颗/min;林分V分别为1.77,3.93和7.65 颗/min;林分VI分别为2.80,6.72和7.44 颗/min,阔叶林不同土层的崩解速率都最低,6竹4阔林不同土层的崩解速率都是最高的,且均随着土壤深度的增加呈增加的趋势。植被结构的差异可以影响土壤的崩解速率,且随着土壤深度的增加呈增加的趋势。

2.3 不同类型毛竹林土壤抗蚀性影响因子

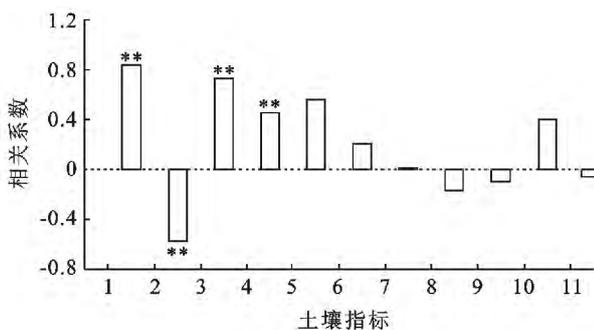
2.3.1 土壤因子与抗蚀性指数相关性分析 土壤抗蚀性与土壤的理化性质有关,相关分析表明(图2),土壤抗蚀性与有机质含量、非毛管孔隙度、总孔隙度正相关,达到极显著水平($p<0.01$);与土壤容重负相关,相关性达到极显著水平;与土壤颗粒组成相关性未达到显著水平($p>0.05$)。土壤有机质的含量有利于土壤团聚体的形成,改变土粒之间的黏结力,改善土壤结构,间接地影响着土壤的抗蚀性。为了进一步分析土壤抗蚀性与土壤理化性质的关系,以水稳性指数为因

变量(Y),以与水稳性指数相关性达到显著水平的有机质含量(X_1)、土壤容重(X_2)、总孔隙度(X_3)、非毛管孔隙度(X_4)为自变量进行逐步回归分析。结果表明,土壤容重(X_2)、总孔隙度(X_3)、非毛管孔隙度(X_4)的偏

相关系数分别为 0.16, 0.31 和 0.02, p 值分别为 0.52, 0.22 和 0.94, 未达到 $p < 0.05$ 的显著水平, 被排除, 得到线性回归模型: $Y = 0.021X_1 + 0.216$, 土壤有机质含量对土壤水稳性指数的影响最大。

表 2 不同类型林分土壤崩解速率

林分类型	土层深度/cm	崩解速率/(颗·min ⁻¹)									
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min
I	20	2.00	2.00	1.33	1.50	1.40	1.17	1.00	1.00	0.89	0.80
	40	4.00	3.00	2.33	2.00	1.80	1.67	1.57	1.50	1.33	1.20
	60	9.00	8.50	6.33	5.25	4.20	3.50	3.14	2.88	2.56	2.50
II	20	2.00	3.50	3.33	3.50	3.20	2.83	2.57	2.25	2.22	2.10
	40	10.00	8.00	7.67	6.75	5.60	4.67	4.00	3.63	3.22	3.10
	60	31.00	19.50	14.67	11.25	9.20	7.83	6.86	6.00	5.33	5.00
III	20	7.00	6.00	5.00	4.75	4.40	4.00	3.57	3.25	2.89	2.60
	40	14.00	13.00	9.00	7.75	6.60	5.83	5.14	4.88	4.33	4.20
	60	38.00	24.50	17.67	13.75	11.20	9.50	8.29	7.50	6.67	6.00
IV	20	4.00	3.00	3.00	2.50	2.00	1.83	1.71	1.63	1.56	1.70
	40	15.00	9.00	6.33	5.00	5.00	4.83	4.43	3.88	3.56	3.20
	60	37.00	24.00	17.00	13.00	10.80	9.33	8.00	7.00	6.33	5.70
V	20	1.00	2.50	2.33	2.50	2.20	1.83	1.57	1.38	1.22	1.20
	40	8.00	5.00	4.33	4.00	3.60	3.50	3.00	2.75	2.67	2.40
	60	18.00	12.50	10.00	7.75	6.40	5.50	4.71	4.13	3.89	3.60
VI	20	3.00	4.50	3.33	3.25	2.60	2.67	2.29	2.25	2.11	2.00
	40	13.00	11.00	8.67	7.25	6.00	5.33	4.57	4.25	3.78	3.40
	60	16.00	12.00	9.00	8.00	6.80	5.67	4.86	4.38	4.00	3.70



注: * 表示土壤侵蚀系数与土壤理化指标的相关性达到了显著水平($p < 0.05$), ** 表示达到极显著水平($p < 0.01$)。下同。1 表示有机质含量, 2 表示土壤容重, 3 表示总孔隙度, 4 表示毛管孔隙度, 5 表示非毛管孔隙度, 6 表示大于 0.25 mm 土粒, 7 表示 0.25~0.05 mm 土粒, 8 表示 0.05~0.01 mm 土粒, 9 表示 0.01~0.005 mm 土粒, 10 表示 0.005~0.001 mm 土粒, 11 表示小于 0.001mm 土粒。

图 2 土壤抗蚀性与土壤指标相关性分析

2.3.2 植被因子对土壤抗蚀性的影响 土壤抗蚀性与植被不同组分生物量的相关性分析表明(图 3), 与土壤抗蚀性相关性的排列顺序为: 竹鞭 > 树枝 > 树叶 > 灌木 > 草本 > 凋落物量 > 树干 > 根系, 其中与竹鞭生物量的相关性达到极显著水平($p < 0.01$), 与树枝、树叶生物量的相关性达到显著水平($p < 0.05$)。竹枝和竹叶的分布直接影响林地光照、凋落物组成和养分

归还过程, 间接影响土壤结构组成; 竹鞭在林地形成纵横交错的网状结构, 直接影响土壤的形态结构, 进而影响土壤的抗蚀性。为了进一步分析土壤抗蚀性与植被因子的关系, 以水稳性指数为因变量(Y), 以与水稳性指数相关性达到显著水平的树枝(X_1)、树叶(X_2)、根茎/竹鞭(X_3)生物量为自变量进行逐步回归分析。结果表明, 树叶(X_2)、根茎/竹鞭(X_3)生物量的偏相关系数分别为 0.28 和 0.17, p 值分别为 0.64 和 0.78, 未达到 $p < 0.05$ 的显著水平, 被排除, 得到回归模型为: $Y = 0.005X_1 + 0.367$, 竹枝生物量对土壤水稳性指数的影响最大。

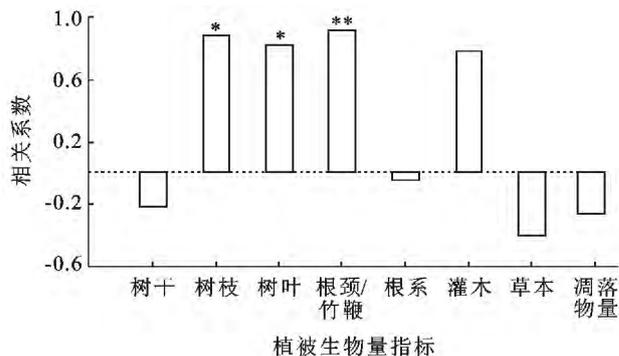


图 3 土壤抗蚀性与土壤指标相关性分析

3 讨论与结论

(1) 不同林分类型土壤的抗蚀性存在显著差异。其中,抗蚀性指数的排列顺序为:常绿阔叶林 I (0.82) > 6 竹 4 阔林 III (0.72) > 8 杉 2 竹林 V (0.67) > 8 竹 2 阔林 II (0.66) > 毛竹纯林 IV (0.61) > 杉木林 VI (0.56), 常绿阔叶林的土壤抗蚀性最强, 杉木纯林最差, 毛竹混交林抗蚀性优于毛竹纯林, 6 竹 4 阔林的抗蚀性较好, 8 竹 2 阔和 8 杉 2 竹林次之。造成这种情况的原因可能是树种特性和干扰强度双重作用的结果, 毛竹林每年进行挖笋伐竹干扰强度较大, 且毛竹鞭根系统主要分布在 0—30 cm 土层, 与阔叶树种存在较大差异。已有研究^[21] 结果也表明侵蚀环境下的坡耕地由于受到人为活动的干扰, 土壤抗蚀性能低下, 种植灌木林后, 土壤抗蚀性显著提高。不同类型林分土壤抗蚀性均随着土层深度的增加而降低, 但是降低的幅度不同。其中, 40—60 cm 土层与 0—20 cm 土层相比降低幅度的排列顺序为: 毛竹纯林 > 8 杉 2 竹林 > 杉木林 > 8 竹 2 阔林 > 6 竹 4 阔林 > 常绿阔叶林, 降幅分别为 61.41%, 50.70%, 49.46%, 48.83%, 34.77% 和 24.22%。土壤抗蚀性随着土层深度的增加而降低反映了土壤的一般规律, 与已有的研究结果类似^[19,22]。

(2) 不同类型竹林的崩解速率的排列顺序为: 6 竹 4 阔林 > 毛竹纯林 > 8 竹 2 阔林 > 杉木林 > 8 杉 2 竹林 > 常绿阔叶林, 10 min 分别平均为 8.71, 7.38, 6.69, 5.65, 4.45 和 2.71 粒/min, 常绿阔叶林土壤崩解速率最慢, 6 竹 4 阔林最快, 8 竹 2 阔林和杉木林、8 杉 2 竹林低于毛竹纯林, 综合考虑不同林分类型的土壤抗蚀性, 8 竹 2 阔林是一个较好的混交模式。不同类型土壤崩解速率均随崩解时间的增加而迅速降低, 随着土粒浸水时间的增加, 土壤吸收水分增多, 体积膨大, 发生崩解。与坡面水土流失发生的实际过程类似, 随着降水的进行, 土壤由未饱和状态到饱和状态, 土壤结构遭到破坏, 侵蚀作用发生^[22]。土壤崩解速度随着土层深度的增加呈增加趋势, 与已有研究结果相似^[23]。

(3) 土壤理化性质和植被结构对土壤抗蚀性具有重要影响。土壤抗蚀性与有机质含量、非毛管孔隙度、总孔隙度、土壤容重的相关性达到极显著水平, 其中土壤有机质含量是最重要的影响因子。土壤有机质有助于提高土粒之间的黏结力, 有利于土壤团聚体的形成, 进而改善土壤团粒结构, 从而间接地影响着土壤的抗蚀性。土壤颗粒组成是土壤结构的重要指标, 不同颗粒组成的土壤容重、非毛管孔隙度、总孔隙

度存在差异, 进而影响土壤抗蚀性^[24]。本文阔叶林较高的土壤有机质含量使其具有较高的抗蚀性, 与川滇高山栎林地侵蚀性的研究结果相似^[22]。竹鞭的生物量、枝叶生物量与土壤抗蚀性存在着显著的正相关关系, 其中竹枝生物量对土壤水稳性指数的影响最大, 植被因子可能通过改变林分水文过程和土壤有机质等途径间接影响土壤抗蚀性。竹枝生物量的大小在一定程度上反映树冠的形态, 树冠形态影响植被水文生态过程, 进而影响土壤的抗蚀性。研究表明, 土壤侵蚀是影响植被发育并受植被反作用的一种生态应力, 它的长期作用会改变地貌和土壤特性并在一定程度上决定植被的发育, 与土壤相适应的枝、叶、根生物量是长期进化和适应的结果^[25], 植物根系对土壤的抗蚀性具有很强的增强作用^[26-28]。此外, 枝、叶、死亡鞭根是林分凋落物的重要来源, 其分解转化对土壤的有机质含量有重要的影响。土壤有机质是最好的胶结剂之一, 有机胶结的结构体疏松多孔, 有机质含量高的土壤其水稳性强^[29]。

[参 考 文 献]

- [1] 高维森, 王佑民. 土壤抗蚀抗冲性研究综述[J]. 水土保持通报, 1992, 12(5): 59-63.
- [2] 杜满义, 范少辉, 刘广路, 等. 土地利用方式转变对赣中地区土壤活性有机碳的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2897-2904.
- [3] 刘蔚漪, 范少辉, 漆良华, 等. 闽北不同类型毛竹林水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 92-96.
- [4] 杨玉盛, 何宗明, 李振向, 等. 不同植物类型下紫色土抗蚀性研究[J]. 福建水土保持, 1992, 4(3): 34-40.
- [5] 徐秋芳, 姜培坤, 俞益武, 等. 不同林用地土壤抗蚀性能研究[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(4): 362-365.
- [6] 范少辉, 刘蔚漪, 郭宝华, 等. 闽北不同类型毛竹林生态系统植被状况对地表径流的影响[J]. 热带作物学报, 2012, 33(7): 1-7.
- [7] 刘广路, 范少辉, 漆良华, 等. 闽西北不同类型毛竹林养分分布及生物循环特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2155-2161.
- [8] 张昌顺, 范少辉, 官凤英, 等. 闽北毛竹林的土壤渗透性及其影响因子[J]. 林业科学, 2009, 45(1): 36-42.
- [9] 郭培才, 王佑民. 黄土高原沙棘林地土壤抗蚀抗冲性及其指标的研究[J]. 中国水土保持, 1992(4): 27-30.
- [10] 阮伏水, 吴雄海. 关于土壤可蚀性指标的讨论[J]. 水土保持通报, 1996, 16(6): 68-72.
- [11] 沈慧, 姜凤岐, 杜晓军. 水土保持林土壤抗蚀性能评价研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 345-348.
- [12] 张金池, 刘道平, 顾长丰, 等. 浙江安吉主要植被类型土壤抗蚀性指标筛选及评价模型构建[J]. 亚热带水土保持, 2006(2): 1-5.

- [13] 张建辉,倪师军,朱波,等.紫色土不同土地利用条件下的土壤抗冲性研究[J].中国科学(E辑):技术科学,2003(S1):63-70.
- [14] 付允,贾亚男,蓝家程.岩溶区不同土地利用方式土壤抗蚀性分析[J].水土保持研究,2012,18(5):5-9.
- [15] 周维,张建辉.金沙江支流冲沟侵蚀区四种土地利用方式下土壤入渗特性研究[J].土壤,2006,38(3):333-337.
- [16] 刘霞,张光灿,刘信儒,等.鲁中石质山地不同林分类型土壤结构特征[J].水土保持学报,2005,5(6):49-52.
- [17] 漆良华,张旭东,周金星,等.湘西北小流域典型植被恢复群落土壤贮水量与入渗特性[J].林业科学,2007,43(3):1-7.
- [18] 刘蔚漪,范少辉,刘广路,等.闽北不同类型毛竹林冠层降水再分配特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(4):1-6.
- [19] 刘旦旦,张鹏辉,王健,等.黄土坡面不同土地利用类型土壤抗蚀性对比[J].林业科学,2013,49(9):102-106.
- [20] 张昌顺.闽北不同类型毛竹林生态功能研究[D].北京:中国林业科学研究院,2008.
- [21] 薛蕙,刘国彬,张超,等.黄土丘陵区人工灌木林土壤抗蚀性演变特征[J].中国农业科学,2010,43(15):3143-3150.
- [22] 喻武,杜珊,万丹,等.色季拉山川滇高山栎林下土壤抗蚀性分析[J].林业科技开发,2013,27(4):37-41.
- [23] 马西军,程金花,张洪江,等.山西中阳5种人工林地土壤的抗蚀性研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(7):113-119.
- [24] 张旭贤,高华端,孙利军,等.贵州不同碳酸盐岩坡耕地土壤侵蚀特征研究[J].中国水土保持,2013(9):42-45.
- [25] 焦菊英,王宁,杜华栋,等.土壤侵蚀对植被发育演替的干扰与植物的抗侵蚀特性研究进展[J].草业学报,2012,21(5):311-318.
- [26] 宋坤,陈玉霞,潘晓星,等.5种护坡植物根系土壤抗蚀性比较[J].东北林业大学学报,2013,41(9):63-67.
- [27] 马笑,朱首军.黄土丘陵沟壑区梯田地表土壤崩解特性试验研究[J].西北林学院学报,2013,28(4):21-25.
- [28] 张颖,牛健植,谢宝元,等.森林植被对坡面土壤水蚀作用的动力学机理[J].生态学报,2008,28(10):5084-5094.
- [29] 和利钊,张杨珠,刘杰,等.不同施肥和调理剂对侵蚀红壤肥力和抗侵蚀性的修复效应[J].水土保持学报,2012,26(4):54-58.

(上接第11页)

- [8] Ladi R, Yassaa N, Balducci C, et al. Organic components of Algerian desert dusts[J]. Chemosphere, 2010, 81(7):925-931.
- [9] 刘树华,刘和平,胡予,等.沙漠绿洲陆面物理过程和地气相互作用的数值模拟[J].中国科学(D辑):地球科学,2006,36(11):1037-1043.
- [10] 刑文娟,雷加强,王海峰,等.荒漠—绿洲过渡带风况及输沙势分析[J].干旱区研究,2008,25(6):894-898.
- [11] 杨兴华,何清,霍文,等.策勒绿洲—荒漠过渡带风沙前沿近地面不同方向的输沙特征[J].气干旱区研究,2012,29(6):1100-1104.
- [12] 赵明,詹科杰,杨自辉,等.民勤沙漠—绿洲低空沙尘暴结构特征研究[J].中国科学(D辑):地球科学,2011,41(2):234-242.
- [13] Fryberger S G, Dean G. Dune forms and wind regime [M] // McKee E D. A study of global sand seas. Washington: Government Printing Office, 1979: 305-397.
- [14] 姚正毅,屈建军.青藏铁路格尔木—拉萨段风成沙物源及其粒度特征[J].中国沙漠,2012,32(2):300-307.
- [15] 吴霞,哈斯,社会石,等.库布齐沙漠南缘抛物线形沙丘表面粒度特征[J].沉积学报,2012,30(5):937-944.
- [16] 钱广强,董治宝,罗万银,等.巴丹吉林沙漠地表沉积物粒度特征及区域差异[J].中国沙漠,2011,31(6):1357-1364.
- [17] 王丰年,李保生,王江龙,等.萨拉乌苏河流域 MGS2 层段粒度与 CaCO_3 记录的千年尺度气候变化[J].地理科学,2012,32(5):596-602.
- [18] 张伟民.金字塔沙丘粒度变化及表面过程的初步研究[J].中国沙漠,2013,33(6):1615-1621.
- [19] 刘陶,杨小平,董巨峰,等.巴丹吉林沙漠沙丘形态与风动力关系的初步研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1285-1291.