

不同土地利用类型植物根系与土壤抗蚀性关系研究

吕 刚¹, 魏忠平², 高英旭², 李宏伟³

(1. 辽宁工程技术大学环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁省林业科学研究院, 辽宁 沈阳 110032;

3. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 对紫色土四种土地利用类型耕层土壤中植被根系分布特征进行量化分析, 并在此基础上揭示根系分布与土壤抗蚀性评价指标的内在关系, 以明确根系对土壤抗蚀性的影响机理。结果表明: 小径级根系特别是径级 $< 1\text{ mm}$ 的根系对于 $> 0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体形成和 $> 0.5\text{ mm}$ 土壤团聚体形成均有促进作用; $< 0.5\text{ mm}$ 的根系长度与结构体破坏率、团聚状况、 $< 0.001\text{ mm}$ 颗粒含量和 $< 0.01\text{ mm}$ 颗粒含量均显著相关; 竹林地根系含量最为丰富, $< 0.5\text{ mm}$ 根系平均长度值最大, 土壤团粒结构最好, 其抗蚀性最强, 传统农耕地根系稀少, 其抗蚀性最差。

关键词: 根系长度; 根系生物量; 抗蚀性; 团聚体; 紫色土

中图分类号: S157.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0111-05

Study on relationship between plant roots and soil anti-erodibility of different land utilization types

LU Gang¹, WEI Zhong-ping², GAO Ying-xu², LI Hong-wei³

(1. College of Environment Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China;

2. The Liaoning Academy of Forestry, Shenyang, Liaoning 110032, China;

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

Abstract: Based on the quantitative analysis of plant roots distribution characteristics of tith soil under four land utilization types in Purple Soil, this paper revealed the internal relation between roots distribution and indicators of soil anti-erodibility, and made clear the influence mechanism of root on soil anti-erodibility. Results showed that root of minor diameter class, especially $< 1\text{ mm}$ roots, had promotion effect on formation of $> 0.25\text{ mm}$ & $> 0.5\text{ mm}$ water stable aggregate. The length of $< 0.5\text{ mm}$ roots had remarkable correlation with rate of structure deterioration, the reunion situation, $< 0.001\text{ mm}$ granule content, and $< 0.01\text{ mm}$ granule content. Due to the richest root content, the longest $< 0.5\text{ mm}$ roots and the best soil granular structure, anti-erodibility of bamboo forest land was strongest. Roots of traditional farmland were scarcity, and the anti-erodibility of it was the weakest.

Keywords: roots length; roots biomass; anti-erodibility; aggregate; purple soil

土壤抗蚀性是指土壤抵抗由水分引起的分散和悬浮的能力, 主要与土壤内在物理化学性质有关。土壤对水的亲和力以及土粒间的胶结力表征了土壤抗蚀性的强弱, 胶结力小、与水亲和力大的土壤容易被水分分散和悬浮, 土壤结构体易遭破坏并解体, 形成细小颗粒堵塞土壤空隙, 降低渗透速度, 引起地表泥泞, 为径流汇集、冲击分散土粒发生侵蚀而创造了条件, 是影响土壤侵蚀的最基本因素。植物根系是影响土壤抗蚀性的主要因素之一, 根系通过改善土壤的自然侵蚀环境提高土壤的抗蚀性^[1]。根系在土壤中的穿插、缠绕、固结等作用, 改变了土壤理化性

质, 从而创造较为稳定的土体结构^[2], 特别是根系对土壤抗侵蚀的强化作用在表层 30 cm 土层内最为显著, 且随土层加深而急剧减小, 这种特征与根系在土层中的分布密切相关^[3]。近几年来, 国内关于土壤抗蚀性的研究主要集中在黄土丘陵区^[4-6]、桂西北喀斯特地区^[7]、西南紫色土区^[8]、东北丘陵漫岗区^[9], 但关于不同土地利用类型根系与土壤抗蚀性关系的研究成果较少。

重庆市涪陵区南沱镇地处三峡库区腹心地带, 严重的土壤侵蚀是导致当地土地生产力下降和生态环境恶化的主要原因。本研究分别采集重庆市涪陵

收稿日期: 2012-07-05

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划项目(2004BA604A05)

作者简介: 吕 刚(1979—), 男, 吉林九台人, 讲师, 博士生, 主要从事水土保持与土壤物理的教学和科研工作。

区南沱镇高效农业生态园区紫色土四种土地利用类型 0~20 mm 耕层土壤,对不同土地利用类型耕层土壤中植被根系分布特征进行量化分析,并在此基础上揭示根系分布与土壤抗蚀性评价指标的内在关系,明确根系对土壤抗蚀性的影响机理,以期为三峡库区生态环境建设和水土流失防治提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于重庆市涪陵区南沱镇高效农业生态园区,属亚热带季风气候,全年气候温和,雨量充沛,无霜期长,多年平均气温 18.2℃,多年平均降雨量 1100 mm;区内属浅丘地貌,出露地层为遂宁组、沙溪庙组;土壤以紫色土为主,质地以粉壤土和砂土为主,土壤容重在 1.32~1.64 g·cm⁻³之间,土壤 pH 值为 6.5~7.0。研究区内主要土地利用类型有:(1)传统农耕地:保持传统耕作模式,主要种植榨菜、小麦、玉米和甘薯,种植制度为一年两熟或三熟;(2)农林混作型耕地:采取林农间作模式,“林”主要指良种经济林木包括南方早熟梨、龙眼、枣树、柑橘、桑等,“农”指榨菜、玉米、甘薯等农作物,间作物随季节而变,是园区内生态环境综合治理试验示范项目推广模式之一;(3)园地:主要栽植适宜本地的良种柑橘,属推广模式之一;(4)竹林地:以慈竹和楠竹为主,主要分布于农宅周围,生长年限较长,地表枯落物丰富,腐殖质层较厚^[10]。

2 研究方法

2.1 样品采集及指标测定

根据土地利用类型和分布地点的代表性,于 2007 年 5 月 1 日—5 月 7 日在南沱镇高效农业生态园区选取传统农耕地、农林混作型耕地、园地、竹林地 4 种具有代表性的土地利用类型,分别采集各土地利用类型 0~20 mm 耕层土壤样品 5 个带回实验室进行土壤理化性质测定,测定分析时间为 5 月 8 日—5 月 15 日;并将含根系的土样置于孔径为 0.25 mm 土壤筛中用流水轻轻冲洗,筛选出根系,计算根密度(个·100cm⁻²),将冲洗干净的根系置于烘箱中在 105℃ 条件下烘干,用游标卡尺对其根系直径和长度进行测量,计算根系表面积,并分级统计,用 1/1000 电子天平称取各径级根系质量。

土壤机械组成—吸管法,用重量百分比(%)表示;
土壤微团聚体—吸管法,用重量百分比(%)表示;
土壤团聚体—萨维诺夫法;
水稳性指数—参照《水土保持试验规范》测定;
有机质—高温外热重铬酸钾(K₂CrO₇)氧化—容

量法,单位为%。

2.2 土壤抗蚀性主要指标计算

在对已有研究成果进行分析的基础上^[11-17],结合紫色土的结构特点,本文选取>0.25 mm 水稳性团聚体,结构体破坏率,>0.5 mm 水稳性团聚体,团聚度,团聚状况,有机质,<0.001 mm 颗粒含量,<0.01 mm 颗粒含量,水稳性指数 9 个指标以表征土壤抗蚀性特征,进一步研究植物根系与土壤抗蚀性的内在关系。其中:

结构体破坏率 =

$$\frac{>0.25\text{mm 团聚体含量(干筛-湿筛)}}{>0.25\text{mm 干筛团聚体含量}} \times 100\%^{[11]}。$$

$$\text{团聚度} = \frac{\text{团聚状况}}{>0.05\text{mm 微团聚体}} \times 100\%^{[4]};$$

团聚状况 = >0.05mm 微团聚体 - >0.05mm 机械组成^[4];

$$\text{水稳性指数} = \frac{\sum P_i K_i + P_j}{A}$$

式中, K 为水稳性指数, P_i 为第 i min 的分散土粒数, K_i 为第 i min 的校正系数, $i = 1, 2, \dots, 10$, P_j 为 10 min 内没有分散的土粒数, A 是试验土粒总数^[12]。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用类型根系分布特征

由表 1 可得,(1)根密度大小依次为竹林地>园地>农林混作型耕地>传统农耕地;(2)<0.5 mm 根系长度表现为竹林地最大,为 1732.21 cm,其次是农林混作型耕地、园地,分别为 394.97、281.55 cm,传统农耕地<0.5 mm 根系长度最小,为 248.16 cm;<1 mm 根系长度大小依次为竹林地>农林混作型耕地>园地>传统农耕地;(3)<0.5 mm 根系生物量大小表现为竹林地>农林混作型耕地>园地>传统农耕地;<1 mm 根系生物量表现为竹林地最大,为 0.76 g,其次为农林混作型耕地与园地,分别为 0.13、0.08 g,传统农耕地最小,为 0.06 g;(4)<0.5 mm、<1 mm 根系表面积大小均表现为竹林地>农林混作型耕地>园地>传统农耕地。

上述分析表明<0.5 mm 根系与<1 mm 根系长度、生物量及表面积差异不显著,<0.5 mm 根系总长度占<1 mm 根系的 94.69%,生物量占 71.82%,表面积占 92.23%,这说明紫色土土壤中的根系以径级<0.5 mm 根系为主;并且不同径级根系中<0.5 mm 根系长度最长,生物量和表面积最大,其中<0.5 mm 根系长度占根系总长度的 92.51%,生物量占整个根系生物量的 42.40%,面积是根系总面积的 84.66%。竹林地、农林混作型耕地、园地土壤

表层根系分布较丰富,其中以竹林地根系最为丰富。而传统农耕地表层根系相对稀少,根密度、根系长度、生物量及表面积均最小。不同土地利用条件下根系分布特征对土壤抗蚀性可能产生重要影响,其影响结果将在下文中进一步证明。

表 1 不同土地利用类型根系特征
Table 1 Root characteristics of different land use types

利用类型 Land use type	样点数 Sample numbers	根密度 /(个·100cm ⁻²) Roots density	不同径级根系长度/cm Different diameter grade roots length				不同径级根系生物量/g Different diameter grade roots biomass				不同径级根系表面积/cm ² Different diameter grade roots surface area			
			<0.5	0.5~1	1~3	>3	<0.5	0.5~1	1~3	>3	<0.5	0.5~1	1~3	>3
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
传统农耕地 Traditional farmland	5	37	248.16	20.76	2.76	0.60	0.046	0.012	0.018	0.034	38.96	4.89	1.73	0.28
农林混作 Farmland of agroforestry mixed cropping	5	61	394.97	15.08	3.48	2.34	0.094	0.032	0.024	0.11	62.01	3.55	2.19	1.10
园地 Garden plot	5	63	281.55	18.42	6.18	0.64	0.048	0.032	0.08	0.038	44.20	4.34	3.88	0.30
竹林地 Bamboo land	5	82	1732.21	94.84	47.86	1.96	0.548	0.212	0.296	0.11	271.95	22.34	30.06	0.92

3.2 根系和土壤抗蚀性指标相关分析

植物根系是植物吸收水分和养分的重要器官,植物正常的生长发育是地上部分的光合作用和地下部分的根群吸收水分、养分相统一的系统过程。强大的植物根系不仅可以从土壤中吸收植物生长所必须的水分和养分,而且对于改良土壤的结构和成分,增强土壤的抗侵蚀能力和抗剪切能力有着重要的作用。植物通过根系在土体中穿插、缠绕、网络、固结,使土体抵抗风化吹蚀、流水冲刷和重力侵蚀的能力增强,从而有效地提高土壤的抗侵蚀性能。不同径

级根系由于其穿插、缠绕、固结等物理作用及其根系分泌物的化学作用能够改变土壤的物理化学性质,进而改变土壤结构,增加或减小土壤抗蚀性。本文选取>0.25 mm水稳性团聚体,结构体破坏率,>0.5 mm水稳性团聚体,团聚度,团聚状况,<0.001 mm颗粒含量,<0.01 mm颗粒含量,有机质,水稳性指数以表征紫色土土壤抗蚀性特征,结果见表2。通过对根系与紫色土抗蚀性指标进行相关性分析,从而明确根系增强或减弱土壤抗蚀性的作用机理。

表 2 不同土地利用类型土壤抗蚀性指标测定
Table 2 Soil anti-erodibility indexes of different land use types

利用类型 Use type	样点数 Sample numbers	水稳性团粒/% Water stable aggregate		颗粒含量/% Grain content		团聚度/% Degree of aggregation	团聚状况/% Situation of aggregation	结构破坏率/% Structure damage rate	水稳性指数 Water stable index	有机质/% Organic matter
		>0.25	>0.5	<0.001	<0.01					
		mm	mm	mm	mm					
传统农耕地 Traditional farmland	5	54.38	40.83	12.44	41.42	20.16	8.35	43.07	0.47	1.12
农林混作型耕地 Farmland of agroforestry mixed cropping	5	43.73	28.94	12.16	33.48	20.52	8.95	51.93	0.63	1.40
园地 Garden plot	5	56.98	42.08	15.88	39.26	23.45	9.70	38.52	0.70	1.74
竹林地 Bamboo land	5	59.94	47.66	8.88	27.50	22.92	13.91	32.62	0.87	1.50

根系长度、根系生物量和根系表面积等分布特征与土壤抗蚀性指标均存在不同程度的相关关系,其中根系对紫色土结构体破坏率、团聚状况、<0.001 mm颗粒含量、<0.01 mm颗粒含量影响较大。<0.5 mm根系长度与结构体破坏率、团聚状况、<0.001 mm颗粒含量和<0.01 mm颗粒含量显著相关,相关系数分别为0.46*,0.73**、0.54*、0.59**。
<0.5 mm根系生物量与团聚状况、<0.001 mm颗粒含量和<0.01 mm颗粒含量显著相关,相关系数分别为0.63**、0.44*、0.67**;而>3

mm 根系生物量仅与土壤团聚状况显著相关,其相关系数为 0.46*。 <0.5 mm 根系表面积与结构体破坏率、团聚状况、<0.001 mm 颗粒含量和 <0.01 mm 颗粒含量显著相关,相关系数分别为 0.46*、0.73**、0.54**、0.59*。

已有的研究表明^[18-19],林木根系提高土壤抗蚀性主要是通过≤1 mm 的须根改善土壤容重、总孔隙度、团聚度、水稳性团聚体数量、饱和渗透系数和有机质含量等土壤理化性质来实现的。本研究结果显示,<0.5 mm 和 0.5~1 mm 根系特征与>0.25 mm 水稳性团聚体、>0.5 mm 水稳性团聚体、团聚度、团聚状况、水稳性指数等指标呈正相关,与结构体破坏率、<0.001 mm 颗粒含量和<0.01 mm 颗粒含量三项指标均呈负相关。说明小径级根系特别是径级<1 mm 的根系对于>0.25 mm 土壤团聚体形成和>0.05 mm 土壤团聚体形成均有促进作用,而径级>1 mm 的根系则对其有抑制作用。从相关分析结果来看,<0.5 mm 和>3 mm 径级根系对于紫色土土壤团粒结构的形成分别具有显著的促进和抑制作用。

3.3 <0.5 mm 根系长度与土壤抗蚀性关系分析

根系长度、表面积同土壤抗蚀性指标相关性最强,且对紫色土抗蚀性产生影响的根系径级主要为<0.5 mm。由于根系长度与表面积存在一定的系数关系,且二者与土壤抗蚀性指标相关性一致,因此以<0.5 mm 根系长度表征根系分布特征的主要因子进行根系与土壤抗蚀性指标关系分析,随着<0.5 mm 根系长度的增加,土壤结构体破坏率、<0.01 mm 颗粒含量、<0.001 mm 颗粒含量均有减小趋势,相关方程依次为: $Y = 3 \times 10^{-6} x^2 - 0.0178x + 49.369$, $R^2 = 0.3125$; $Y = 38.588e^{-0.0002x}$, $R^2 = 0.5169$; $Y = 13.964e^{-0.0004x}$, $R^2 = 0.3896$ 。而土壤团聚状况则随之增大,相关方程为: $Y = 1 \times 10^{-7} x^2 + 0.0033x + 7.8714$, $R^2 = 0.5377$ 。说明随着小径级根系长度的增加,土壤机械组成和团粒结构等表征土壤抗蚀性强弱的物理性质均会发生变化。分析认为,植物根系由于其特殊的生命活动,其分泌物可能与土壤颗粒发生化学作用,致使土壤的矿质特性发生变化,因而当小径级根系长度增加时,根系与土壤接触的表面积也同时增加,根系分泌物使得土壤颗粒中的<0.01 mm 和<0.001 mm 的颗粒数量减少,土壤的透气性和渗透性增强;同样由于根系分泌物的作用,土壤中更多小颗粒物质相互粘结,形成团粒结构,使土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体和>0.5 mm 的水稳性团聚体增加,从而使土壤团聚状况得

到改善,结构体破坏率减小。团粒结构的形成最终有助于提高土壤抵抗雨水分散和悬浮的能力。

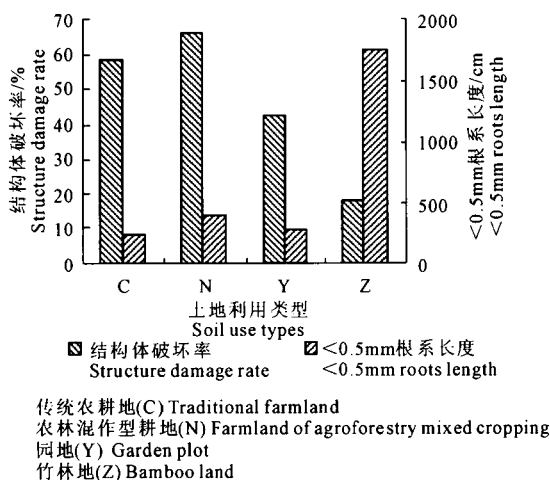


图 1 土壤结构体破坏率与根系分布特征

Fig.1 Ratio of soil structure damage and root distribution characteristics

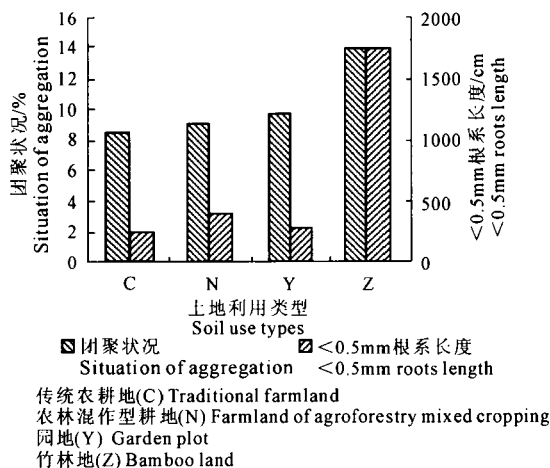


图 2 土壤团聚状况与根系分布特征

Fig.2 Soil Aggregates and root distribution characteristics

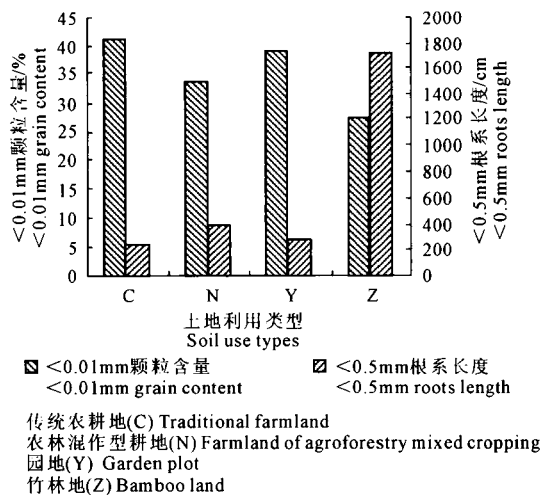


图 3 土壤<0.01 mm 颗粒含量与根系分布特征

Fig.3 <0.01 mm Soil particle content and root distribution characteristics

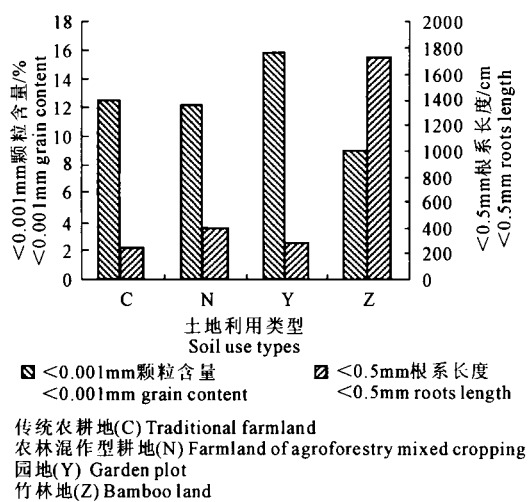


图 4 土壤 <0.001 mm 颗粒含量与根系分布特征

Fig.4 <0.001 mm Soil particle content and root distribution characteristics

3.4 不同土地利用类型土壤抗蚀性比较

不同土地利用类型的土壤管理存在差异,影响到其有机质的积累和保持,进而影响到土壤颗粒水稳性状,而土壤水稳性指数在一定程度上也反映了土壤的抗蚀性能^[10]。根据相关分析的结果,选取结构体破坏率、团聚状况、<0.001 mm 颗粒含量和 <0.01 mm 颗粒含量四项与 <0.5 mm 根系分布特征显著相关的抗蚀性评价指标,比较不同土地利用条件下根系分布对于土壤抗蚀性影响结果。

由图 1 至图 4 见,四种不同土地利用类型 <0.5 mm 根系长度值表现为:竹林地 > 农林混作型耕地 > 园地 > 传统农耕地;土壤结构体破坏率表现为:竹林地 < 园地 < 传统农耕地 < 农林混作型耕地;土壤团聚状况表现为:竹林地 > 园地 > 农林混作型耕地 > 传统农耕地;土壤 <0.01 mm 颗粒含量表现为:竹林地 < 农林混作型耕地 < 园地 < 传统农耕地;土壤 <0.001 mm 颗粒含量表现为:竹林地 < 农林混作型耕地 < 传统农耕地 < 园地。说明在四种土地利用类型中,竹林地由于表层土壤富含大量长度较长的小径级的根系,其土壤结构良好,>0.25 mm 水稳性团聚体和 >0.5 mm 的水稳性团聚体含量较其它几种土地利用类型多,而抵抗分散、悬浮能力较弱的小颗粒物质较其他几种土地利用类型少,土壤抗蚀能力最强。而传统农耕地表层土壤根系稀少,且 <0.5 mm 根系长度最小,土壤团聚状况最差,因此其抗蚀性也最弱。

4 结 论

1) 小径级根系特别是径级 < 1 mm 的根系对于 >0.25 mm 土壤团聚体形成和 >0.5 mm 土壤团聚

体形成均有促进作用,而径级 > 1 mm 的根系则对其有抑制作用。

2) <0.5 mm 的根系长度与结构体破坏率、团聚状况、<0.001 mm 颗粒含量和 <0.01 mm 颗粒含量显著相关;<0.5 mm 根系的增加有助于减少土壤中小颗粒物质,增加土壤团粒结构,改善土壤结构,增强抗蚀性。

3) 四种土地利用类型中竹林地根系含量最为丰富,<0.5 mm 根系平均长度值最大,土壤团粒结构最好,其抗蚀性最强,传统农耕地根系稀少,其抗蚀性最差。

参 考 文 献:

[1] 刘定辉,李 勇.植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[J].水土保持学报,2003,17(3):34-37.

[2] 朱显谟.黄土高原地区植被因素对于水土流失的影响[J].土壤学报,1960,8(2):110-120.

[3] 丁 军,王兆骞,陈 欣,等.红壤丘陵区林地根系对土壤抗冲增强效应研究[J].水土保持学报,2002,16(4):9-12.

[4] 薛 蕊,李占斌,李 鹏,等.不同植被恢复模式对黄土丘陵区土壤抗蚀性的影响[J].农业工程学报,2009,25(增1):69-72.

[5] 张 超,刘国彬,薛 蕊.黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林土壤抗蚀性演变特征[J].中国水土保持科学,2010,8(2):1-7.

[6] 薛 蕊,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.

[7] 陈 佳,陈洪松,冯 腾,等.桂西北喀斯特地区不同土地利用类型土壤抗蚀性研究[J].中国生态农业学报,2012,20(1):105-110.

[8] 汪三树,史东梅,蒋光毅,等.紫色丘陵区坡耕地生物埂的土壤结构稳定性与抗蚀性分析[J].水土保持学报,2012,26(6):31-35.

[9] 许晓鸿,隋媛媛,张 瑜,等.东北丘陵漫岗区坡耕地土壤抗蚀性研究[J].水土保持通报,2012,32(4):32-35.

[10] 史晓梅,史东梅,文卓立.紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究[J].水土保持学报,2007,21(4):63-66.

[11] 蔡丽平,陈光水,谢锦升,等.亚热带湿润区红壤治理前后土壤抗蚀性的变化[J].水土保持学报,2001,15(6):129-139.

[12] 胡建忠.黄土高原沟壑区人工沙棘林地土壤抗蚀性研究[J].沙棘,1999,12(1):14-20.

[13] 杨玉盛,何宗明,林光耀,等.不同治理模式对严重退化红壤抗蚀性影响的研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(2):32-37.

[14] 王云琦,王玉杰,朱金兆.重庆缙云山典型林分林地土壤抗蚀性分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(6):775-780.

[15] 胡建忠,张伟华,李文忠,等.北川河流域退耕地植物群落土壤抗蚀性研究[J].土壤学报,2004,41(6):854-863.

[16] 董慧霞,李贤伟,张 健,等.不同草本层三倍体毛白杨林地土壤抗蚀性研究[J].水土保持学报,2005,19(3):70-79.

[17] 陈三雄,谢 莉,张金池,等.浙江安吉主要植被类型土壤抗蚀性研究[J].水土保持研究,2007,14(4):348-351.

[18] 李 勇,徐晓琴,朱显谟,等.黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J].科学通报,1992,37(4):366-369.

[19] 李 勇,徐晓琴,朱显谟,等.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性机制的初步研究[J].中国科学(B辑),1993,(3):254-259.