

不同护坡植物对岸坡土壤性质的影响及效应分析

吕 晶, 高甲荣, 王 颖, 娄会品, 刘 瑛

(北京林业大学 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

摘 要:植物影响边坡的稳定,植物通过根系的加筋作用提高土体的抗剪强度,增加边坡稳定、减少水土流失,植物通过茎叶对地表的覆盖,起到蓄水保墒作用。以天然草本、人工草本、苜蓿、金丝柳、榆树作为研究对象,其中天然草本的根系是多种草本植物根系混合。从根系-土体复合土体抗剪强度、土壤活性有机质、地表温度三个方面比较不同植物对岸坡土壤性质的影响,同时与无植物覆盖的土壤对比,比较其三方面性质的差异。采用室内直剪仪直剪的方法测定土体复合体剪切力,在植物根系处位置取土测定土壤活性有机质含量,利用温度计测定岸坡地表温度。结果表明,草本植物可以增加土体的内摩擦角,进而增加土体抗剪强度,灌木在生长初期与草本植物增加土体抗剪强度的机理相同,多年生灌木根系增加土体粘滞力。榆树根系的抗剪强度强于金丝柳根系的抗剪强度。天然草本的抗剪效果大于人工草本的抗剪强度。草本植物对于增加土壤活性有机质的作用弱于灌木。金丝柳、榆树改良土壤效果相对较好。草本、灌木具有良好的降低地表温度、保持水分的作用。此外,通过研究以期对植物护坡中植物品种的选择及植物搭配方式的设计提供建议与参考。

关键词:植物护坡;根系;抗剪强度;土壤活性有机质;温度

中图分类号:S153;X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0101-04

Effects of Different Plant Revetments on the Soil Physical Feature

LV Jing, GAO Jia-rong, WANG Ying, LOU Hui-ping LIU Ying

(Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Plants have an important role in improving slope stability and decreasing soil loss. Plant roots make the shear strength of soil stronger and organic matter more and keep the water of slope. The natural herb, artificial herb, alfalfa, *salix aureo pendula*, elm were selected as research objects. The roots of the natural herb are composed of kinds of herb roots. The soil properties are compared and analyzed in three respects of shear strength, organic matter and surface temperature. The value of shear stress of the different plant revetment using direct shear apparatus are measrued. The results show the internal friction angle of herb roots soil is increased, and shrub in the early growth stage is the same as it. Their mechanisms of improving shear strength are the same. The viscous force of perennial shrub slope is increased. The shear strength of elm roots is more than that of *salix aureo pndula* roots. The shear strength of the natural herb revetment is larger than that of the artificial herb. The order of soil organic from high to low is *salix aureo pendula*, elm, natural herb, alfalfa and artificial herb. The six kinds of plants all reduce the temperature of the surface of slope. The results will give some suggestions on design of vegetative revetments and plant disposition and choice of plant variety.

Key words: plant revetments; plant roots; shear strength; soil organic matter; temperature

大量的研究表明,植物以显著且重要的方式影响边坡表面与土体的稳定^[1-2]。植被护坡在增加边坡稳定、减少水土流失等方面有着很大的作用。植

被通过截留、蒸腾、渗透等截留降雨、降低坡体孔隙水压力、削弱溅蚀,抑制坡面土壤侵蚀;地下浅层根系通过加筋作用,增加根系土层的机械强度;深层根

* 收稿日期:2009-11-08

基金项目:国际合作项目(2009DFA32490);国家自然科学基金(40771128)

作者简介:吕晶(1983-),女,硕士研究生,主要研究方向:河流生态修复。E-mail:lvjing730@sohu.com

通信作者:高甲荣(1963-),男,副教授,主要研究方向:流域管理及生态环境建设。E-mail:jiaronggao@sohu.com

系起到预应力锚杆作用,增加土体的迁移阻力,提高土层对滑移的抵抗力^[3-4]。此外,边坡植物的存在使人工环境逐渐恢复为自然环境,为生物的生存和繁衍提供了有利的场所^[4]。但是,对于植物护坡中植物品种的选择以及不同植物品种的护坡效果尤其是护岸植物则研究较少。以天然草本植物、人工草皮护坡、苜蓿护坡、金丝柳护坡及多年生金丝柳、榆树作为研究对象,从其根系的力学效应,改善土壤、温湿效应三个方面比较不同植物护坡效果,分析不同植物护坡的利弊。以期可以为植物护坡中植物品种的选择及植物搭配方式的设计提供建议与参考。

1 研究区概况

植物护坡位于北京市怀柔区怀九河、雁栖河和琉璃河。怀柔位于东经 116°17' - 116°53', 北纬 40°14' - 40°04', 属北京郊区。地处雁山南麓,北京市东北部,属暖温带大陆性季风型半湿润气候,四季分明,雨热同期,夏季暖热潮湿,冬季寒冷少雪。怀九河,为怀柔区潮白河支流,全长 68.9 km,河道纵坡 2.1‰~2.5‰,属常年河。雁栖河,也为怀柔区潮白河的支流,全长 42.1 km。琉璃河为潮白河支流,北距北京城 50 km,旁有石河流经过。

选取怀九河白庄河段的天然草本护坡、一渡河河段 2007 年、2008 年进行施工金丝柳(*Salix X aureo-ependula*)扦插护坡^[5]、雁栖河长远河段植物护坡,主要植物为苜蓿(*Medicago sativa* L.)。2007 年施工人工草皮护坡,琉璃河前安岭河段 2009 年 4 月进行施工的金丝柳扦插护坡、多年生金丝柳、榆树(*Ulmus pumila* L.)作为研究对象。天然草本护坡的植物主要有:灰藜(*Chenopodium album*)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)、马唐(*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.)、曼陀罗(*D. stramonium* L.)、拉拉秧(*Humulus scandens* (Lour.) Merr.)、黄花蒿(*Artemisia annua* Linn.)、鸭跖草(*Commelina communis* L.)、细叶益母草(*Leonurus sibiricus* L.)和狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beauv.)。人工草本的植物是马尼拉草(*Zoysia matrella*)。

2 研究方法

对不同植物护坡设定 3 个 1 m × 1 m 的样方,在样方内开展各项实验的基本工作。

现场利用环刀取土,带回实验室进行颗分实验,确定土名(图 1)。现场利用环刀和精度为 0.1 g 天平测定计算岸坡土壤的含水率,计算各植物护坡岸坡土壤平均含水率;利用环刀取表层 3 - 5 cm 土带

回实验室烘干测定土的干重和根系干重,计算不同植物护坡的含根率。为了说明不同植物护坡根系的力学效应,各植物护坡采用相同含水率,根据含根率和平均含水率利用直剪仪测定各植物根系的剪切力。试样在不同垂直压力 0.5 kPa、1 kPa、1.5 kPa、2 kPa 下重复 12 ~ 30 次。量力环矫正系数 $C_0 = 1.837$,剪切速率 12 转/min。根系使土体抗剪强度的提高与根的分布形态、含量、强度及土体性质等因素均有关。本文中把含根土看做均质化的复合体,不考虑根系的分布形态,测定不同护坡植物在自然状态下含根率,通过人为添加的方法,测定不同植物根系的剪切力,推求其土体抗剪强度指标 c 、 ϕ 。

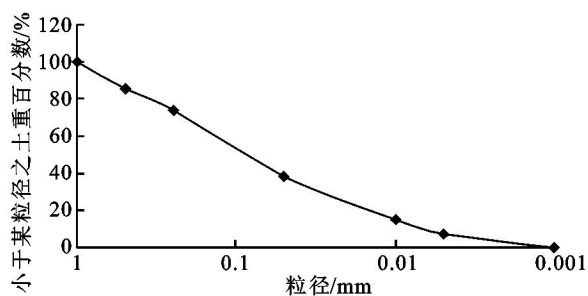


图 1 岸坡土壤颗粒级配

选取护坡类型岸坡的土壤类型相同,取每类型护坡植物根部表层 0 - 5 cm 深的土壤和 10 - 15 cm 深的土壤,并均匀混合,带回实验室测定土壤有机质含量^[5-6]。

在每种护坡岸坡植物贴近坡面处设置温度观测点,采用温度计进行监测^[7]。监测时间为 2009 年 8 月 7 - 8 月 15 日,调查时间为 12:00 和 14:00,各进行一次温度监测。

应用摩尔 - 库仑强度理论^[6],采用 Origin 8.0 和 excel 工具对数据进行分析。

3 结果与讨论

3.1 不同护坡植物根系的抗剪强度

土中根的含量不同,根对土的加筋作用的效果不同,植物对边坡稳定性的影响程度就不同^[4]。衡量根在土中含量的主要方法是“根的生物量集度”^[8],即单位体积土中根的质量。土壤的湿密度为 1.298 g/cm³,为了说明植物本身对土体剪切的影响,采用统一的试样含水率 7(表 1)。从表 1 中可知,不同种类护坡植物的含根量有明显差异,天然草本的含根量为 0.088 g/cm³,人工草皮的含根量为 0.040 g/cm³,苜蓿的含根量为 0.012 g/cm³,榆树的含根量为 0.016 g/cm³,2 个月、1 年、2 年、多年生金丝柳的含根量为 0.001 g/cm³、0.012 g/cm³、0.005 g/cm³、0.008 g/cm³。含根量的大小顺序:天

然草本>人工草本>榆树>苜蓿>1年生金丝柳>多年生金丝柳>2年生金丝柳>2月生金丝柳。土体容重和含水率在一定程度上影响级配曲线植物根系的加筋作用,为了说明不同品种植物根系的加筋作用,实验中采用相同的含水率(17%)和土壤湿密度(1.298 g/cm³)(表 1)。

表 1 不同护坡植物和素土剪切基本参数

护坡植物	湿根量 [*] / %	湿根重量/ g	湿土重/ g
天然草本	6.82	10.53	143.91
人工草皮	0.31	4.77	149.65
榆树多年	0.61	1.92	152.52
2年生金丝柳	0.57	0.57	153.87
1年生金丝柳	1.38	1.38	153.6
2月生金丝柳	0.06	0.06	154.38
多年生金丝柳	0.57	0.95	153.49
苜蓿	1.49	1.49	153.04
素土	0	0	155.76

注:试样体积为 120 cm³,^{*}表示湿根量按土样体积比(%)

植物根系在土壤中错综盘结,与土体形成复合体,植物的根系可视为带预应力的三维加筋材料^[6-7]。根据摩尔-库仑强度理论^[6],这种加筋为根土复合层增加了土体的粘聚力 c 值。同时,根系的张拉限制了土体的侧向变形使 σ_3 增加到 σ_3' ,在 σ_1 不变的情况下使最大剪应力减小,这两种作用使土体的抗剪强度提高,如图 2 所示。根据该理论,绘图得到图 3-7 不同护坡植物剪切试验结果,可以看出:(1)不同护坡植物剪切强度线都是随着垂直荷载 p 的增大,土的抗剪强度 τ 不断增大,并且 p 与 τ 基本呈线性关系,表明抗剪强度与剪切面上的法向压力 σ 仍然成正比,加筋后的土体仍然符合摩尔-库仑定律,即 $\tau = c + \sigma \tan \varphi$,其中剪切强度线在 y 轴上的截距 c 为土的粘聚力, φ 为土的内摩擦角。(2)图 3 中,2月、1年、2年生的金丝柳的 φ 分别为 17.5°、16°、17°,而素土的 φ 为 16.3°, τ 值的增加量分别为 1.2°、-0.3°、0.8°,而多年生金丝柳的 φ 为 2.5°。说明金丝柳在 0~2 a 内可以增加土壤的 φ 值,有利于坡面土体的稳定。2月、1年、2年生的金丝柳在 y 轴的截距,即 c 值都为零,与素土 c 值相同,多年生金丝柳的 c 值为 49 kg/

cm², c 值的增加量为 49。说明金丝柳扦插在 0~2 a 内对于增加土体抗剪强度的贡献极小,2年后点的金丝柳虽然 c 值增加较大,但是 φ 值却减小,对于土体抗剪强度贡献不是很大。因而从增加土体抗剪强度方面而言,金丝柳不是最佳的护坡植物。(3)天然草本植物的 φ 值为 30°, 的增加量为 13.7°, c 值为零(图 4);人工草本植物的 φ 值为 17°, τ 值增加量为 1°, c 值为零(图 5);苜蓿的 φ 值为 11°,减少了 5.3°, c 值为 30 kg/cm², c 值增加量为 30 kg/cm²(图 6);榆树的 φ 值为 16.5°, τ 值增加量为 0.2°, c 值为 17 kg/cm², c 值增加量为 17 kg/cm²(图 7)。(4)由研究结果知,榆树、苜蓿、金丝柳可以增加土体的粘滞力,但是会减少土体的内摩擦角;草本植物可以增加土体的内摩擦角,但对土体粘滞力没有贡献。2月、1年、2年生金丝柳其抗剪强度的贡献基本与人工草本抗剪强度贡献相同。

3.2 不同护坡植物增加岸坡土壤活性有机质的效应

土壤有机质增加有利于土壤结构的稳定,可以提高土壤的抗蚀性,降低土壤侵蚀危害^[8]。土壤有机质是土壤的重要组成部分,是植物的养分来源和土壤微生物生命活动的能量来源。土壤活性有机质是指土壤中有效性较高,易被土壤微生物分解利用,对植物养分供应有最直接作用的那部分有机质,活性有机质是土壤有机质的重要组成部分,在土壤中具有重要作用^[9-10]。对于无植物覆盖土,其土壤活性有机质 3.41 g/kg,有植物覆盖的土壤活性有机质远远高于无植物覆盖的土壤(图 8)。金丝柳生长二个月,增加土壤活性有机质 4.31 g/kg,生长一年后增加 12.27 g/kg,生长两年后增加 13.21 g/kg,生长多年后增加 13.93 g/kg。苜蓿增加土壤活性有机质 9.43 g/kg,天然草本植物增加土壤活性有机质 10.43 g/kg,人工草本植物增加土壤活性有机质 5.46 g/kg,多年生榆树增加土壤有机质为 12.11 g/kg。多年生金丝柳增加土壤活性有机质效果略高于多年生榆树。草本植物增加土壤活性有机质的效果的顺序:天然草本>苜蓿>人工草本。

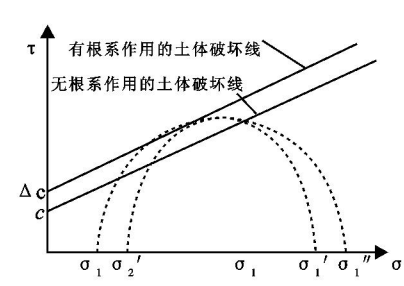


图 2 植树物根系对土体的加筋作用

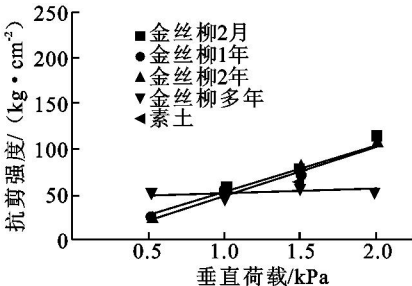


图 3 金丝柳植物根系土壤剪切强度线

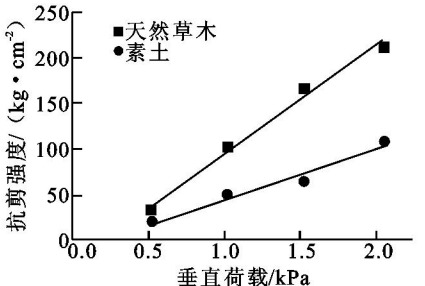


图 4 天然草本植物系土壤剪切强度线

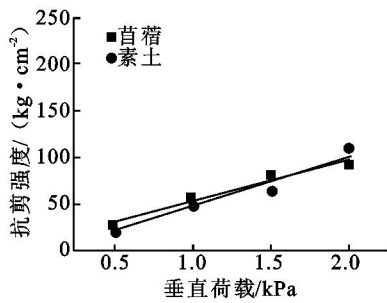


图 5 葎苻根系土壤剪切强度

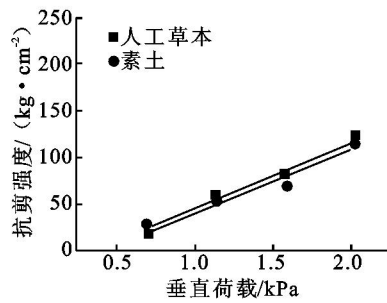


图 6 人工草本根系土壤剪切强度线

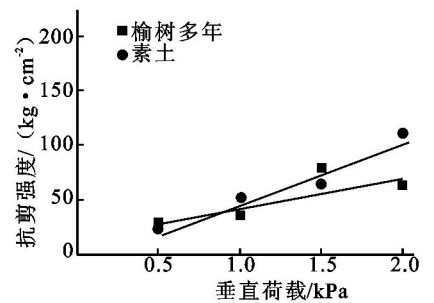
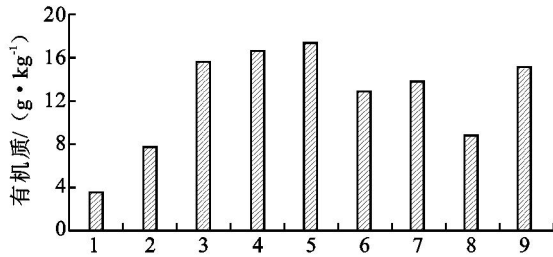


图 7 多年生榆树根系土壤剪切强度



(1. 无植物覆盖土;2. 2 月生金丝柳;3. 1 年生金丝柳;4. 2 年生金丝柳;5. 多年生金丝柳;6. 葎苻;7. 天然草本;8 人工草本;9 多年生榆树)

图 8 不同护坡植物土壤有机质含量

3.3 不同护坡植物的温度效应

植物可以降低地表温度,起到蓄水保墒的作用^[11]。从表 2 中可知,中午 12:00 裸地地表温度 45 ,金丝柳地表温度 33.2 ,地表温度 33 ,天然草本的地表温度为 34.8 ,人工草本 34.6 ,天然草本 34.8 ,葎苻的地表温度 32.8 。金丝柳、榆树、天然草本、人工草本、葎苻降低地表温度值分别为 11.8 、12 、10.2 、10.4 、12.2 。14:00 裸地地表温度 48 ,金丝柳地表温度 36.8 ,榆树地表温度 36.4 ,天然草本的地标温度为 34.8 ,葎苻的地表温度 34.2 。金丝柳、榆树、天然草本、人工草本、葎苻降低地表温度值分别为 11.2 、11.6 、13.2 、13.3 、13.8 。由此可知,这几种护坡植物降低地表温度效果接近,且降温效果明显,可以起到蓄水保墒作用。

表 2 不同护坡植物温度统计

时间	裸地	金丝柳	榆树	天然草本	人工草本	葎苻
12:00	45.0	33.2	33.0	34.8	34.6	32.8
14:00	48.0	36.8	36.4	34.8	34.7	34.2

4 结论与讨论

(1) 植物根系可以增加土体的抗剪强度,草本植物可以增加土体的内摩擦角,进而增加土体抗剪强度,灌木在生长初期与草本植物增加土体抗剪强度的机理相同,在多年以后,灌木根系增加土体粘滞力,但是内摩擦角减小,在一定程度上提高了土壤抗剪强度。榆树根系的抗剪强度强于金丝柳根系的抗

剪强度。天然草本的抗剪效果强于人工草本的抗剪强度。在采用植物护坡方式进行护坡时,植物的配置草本植物与灌木植物相配合。

(2) 植物的存在可以改善土壤,增加土壤活性有机质含量,草本植物对于增加土壤活性有机质的作用弱于灌木。金丝柳、榆树改良土壤效果相对较好。天然草本植物、人工草本植物增加土壤活性有机质含量分别为 306 %、160 % ,葎苻增加土壤活性有机质含量为 76 % ,2 月生、1 年生、2 年生、多年生金丝柳增加土壤有机质含量分别为 126 %、360 %、387 %、409 %。多年生榆树增加土壤有机质含量为 355 %。

(3) 草本、灌木具有良好的降低地表温度、保持水分的作用。金丝柳、榆树、天然草本、人工草本、葎苻降低地表温度值分别为 11.2 、11.6 、13.2 、13.3 、13.8 。植物在每天气温最高的时间段,可以削减地表温度,保持土壤水分。

参考文献:

- [1] 朱海丽,毛小青,倪三川,等. 植被护坡研究进展与展望[J]. 中国水土保持,2007(4):26-29.
- [2] 陈彦璋,陈伟蕤. 坡地生态工法 - 坡地植生工程理论 - 实务[M]. 上海:明文书局,2005.
- [3] 刘瑛,高甲荣,陈子珊,等. 北京郊区两种生态护岸方式温湿度效应对比[J]. 水土保持研究,2007,14(6):219-222.
- [4] Schiechl H M, Stern R. Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control[M]. John Wiley & Sons, Inc,1995.
- [5] 高甲荣,刘瑛,Hanspeter Rauch. 土壤生物工程在北京河流生态恢复中的应用研究[J]. 水土保持学报,2008,22(3):152-157.
- [6] Bohm W. Methods of Studying Root Systems[M]. Ecological Services No. 33. Berlin: Springer-Verlag,1979.
- [7] Blair GJ, Lefroy RDB, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian J. Agric Res.,1995,46:1459-1466.

(下转第 109 页)

团聚体与有机质具有显著相关性的结论。在土壤剖面上,柠条林对土壤表层土壤的改善作用最为明显,表层土壤各物理性质指标和有机质含量均好于下层土壤。由此可见,在干旱半干旱黄土丘陵区,柠条可以明显改善林地各项土壤物理性质,提高有机质含量,促进土壤的正向发育。

本文虽然选取了较长时间序列的柠条林,但仍显不足,如 14 龄以下没有涉及,24~50 龄间隔太长,因此 14 龄以前以及 24~50 龄间的变化趋势我们无从得知,这样势必造成对柠条幼龄、中龄林的生长状况分析的不够透彻。因此,笔者建议在以后的研究中尽量选取多的时间序列(包括柠条林的各个生长阶段),这样更能清楚地分析柠条林各个阶段的生长状况,有利于揭示柠条林恢复过程的内在机理。

参考文献:

- [1] 宋咏昌. 植被生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社, 2001:171-173.
- [2] 牛西午. 柠条的栽培和利用[M]. 太原:山西科学教育出版社,1988.
- [3] 牛西午,张强,杨治平,等. 柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J]. 西北植物学报,2003,23(4):628-632.
- [4] 张晋爱,张兴昌,邱丽萍,等. 黄土丘陵区不同年限柠条林地土壤质量变化[J]. 农业环境科学学报,2007,26:136-140.
- [5] 安韶山,黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究[J]. 林业科学,2006,42(1):70-73.
- [6] 刘增文,李素雅. 黄土丘陵区柠条林地养分状况及其循环规律[J]. 生态学杂志,1997,16(6):27-29.
- [7] 王生芳,何世玉. 柠条人工林地土壤肥力的评价[J]. 青海农林科技,1998(3):29-31.
- [8] 李鹏,赵忠,李占斌,等. 渭北黄土区刺槐根系空间分布特征研究[J]. 生态环境,2005,14(3):405-409.
- [9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [10] 鲍世旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 1981:25-108.
- [11] 常庆瑞,安韶山,刘京,等. 黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):6-10.
- [12] 田大伦,陈书军. 樟树人工林土壤水文物理性质特征分析[J]. 中南林学院学报,2005,25(2):54-61.
- [13] 吴承祯,洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报,1999,36(2):162-167.
- [14] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415-421.
- [15] Rattan L. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century [J]. Soil Science, 2000,165:191-207.
- [16] 赵世伟,苏静,吴金水,等. 子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化[J]. 水土保持学报,2006,20(3):114-117.
- [17] 陈恩凤,关连珠,汪景宽,等. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. 土壤学报,2001,38(1):49-53.
- [18] Oades J M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management [J]. Plant and Soil,1984,76(1/3):319-337.
- [19] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. Ecological Applications,2000,10:423-436.

(上接第 104 页)

- [8] 龚伟,颜晓元,蔡祖聪,等. 长期施肥对华北小麦-玉米轮作土壤物理性质和抗蚀性影响研究[J]. 土壤学报, 2009,46(3):520-525.
- [9] Anzen H H. Soil organic matter characteristics after long term cropping to various spring wheat rotations [J]. Canadian J. Soil Sci, 1987,67:845-856.
- [10] Gregorich E G, Carter M R, Angers D A, et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils[J]. Can. J. Soil Sci., 1994,74:376-385.
- [11] 杨越,曹波,孙保平,等. 生态垫对流动沙地土壤温湿度和养分的影响[J]. 水土保持研究,2008,15(3):81-84.