

## 黔中石灰岩喀斯特表层土壤结构性与土壤抗蚀抗冲性

赵洋毅, 周运超, 段 旭

(贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

**摘 要:** 贵州喀斯特地区土壤侵蚀十分严重, 已引起广泛关注, 通过对黔中喀斯特石灰岩地区表层土壤结构性, 土壤抗蚀性能和抗冲性能研究, 表明乔木林对改善土壤结构有重要作用, 林下植被的覆盖度对土壤结构的影响也较大。定量分析表明土壤结构性对土壤抗蚀性和抗冲性的影响较大, 相关系数和回归分析达到了 0.01 极显著性水平。保护植被、预防石漠化已刻不容缓。

**关键词:** 喀斯特; 石漠化; 土壤结构性; 抗蚀指数; 抗冲系数

**中图分类号:** S157.1; P642.25

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2008)02-0018-04

## Surface Soil Structure and Its Relationship with Soil Anti-erosion and Soil Anti-scour Under the Limestone Region of Karst Area in the Middle of Guizhou

ZHAO Yang-yi, ZHOU Yun-chao, DUAN Xu

(Forestry College of Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Soil erosion of karst area in Guizhou province become more severe, which has arisen broad attention. The research on the surface soil structure, soil anti-erosion and soil anti-scour in the limestone region of karst area in the middle of Guizhou province shows that arbor forest improve the soil structure and contain important function, the overlay degree of vegetation under the forest has the great influence on the soil structure. The quantitative analysis showed that soil structure is main factor influencing soil anti-erosion and soil anti-scour with both correlate coefficients and regression analysis through the significant test at level 0.01. The protection of vegetation and preventing the stone desertification from turn already urgent.

**Key words:** karst; stony desertification; soil structure; soil anti-erosion indexes; soil anti-scour coefficients

贵州喀斯特地区特殊的地质和自然地理条件决定了其土地资源类型及其分布规律, 石灰岩广布, 山地、丘陵面积大而平地少, 可利用的土地面积所占比重更小。巨大且不断增长的人口超出了土地的承载力, 不合理的土地利用使土壤遭受侵蚀, 土地退化, 基岩大面积裸露形成类似荒漠化景观, 即石漠化<sup>[1]</sup>。从石漠化分布的区域看, 几乎都集中在碳酸盐岩地区, 这类岩石的特点为坚硬、抗风化能力强, 在受水溶蚀的情况下, 固体物质中的钙、镁都易随水流失, 强烈的化学溶蚀、淋滤作用, 造成土层系统的特殊物理构造, 导致土层与基岩之间附着力小、土层上部质地松软、下部质地较黏, 土壤有机质易氧化分解。另外, 喀斯特地区植被受碳酸盐岩性特征的影响, 具有石生、旱生、喜钙特点, 生物生长慢, 森林植被覆盖率较低, 通常低于非喀斯特地区<sup>[2]</sup>, 植被一旦遭到破坏, 浅薄的土层在遇上暴雨时极易受到水蚀和雨水的冲刷产生块体滑动, 引起水土流失, 容易逐渐导致石漠化。

土壤的抗蚀抗冲性国内不少人做过研究<sup>[3-4]</sup>, 黄土区开展的研究工作很多。土壤抗蚀性是指土壤对侵蚀营力分散和搬运作用的抵抗能力, 评定土壤抵抗侵蚀能力的重要参数

之一<sup>[5]</sup>。土壤抗冲性是指土壤抵抗径流对其机械破坏和推动下移的性能, 土壤抗冲性的研究始于 20 世纪 50 年代, 进入 80 年代其研究更是十分活跃, 并取得了一些有价值的研究成果<sup>[6]</sup>。土壤抗蚀抗冲性研究在喀斯特地区仍然占少数<sup>[7]</sup>, 特别是土壤结构对土壤侵蚀影响的研究不多, 由于喀斯特地区石灰岩广泛分布以及土壤特殊的结构特点, 决定了研究石灰岩地区土壤结构性及与土壤抗蚀抗冲性能的关系, 对防治石漠化的产生具有重要意义。以贵州省贵阳市花溪区典型喀斯特石灰岩地区为研究对象, 通过试验分析土壤结构性能对表层土壤抗蚀性能以及抗冲性能的影响, 以期对该区水土流失防治和预防石漠化的产生有所帮助。

### 1 研究区概况

试验样地位于贵州省贵阳市花溪区花溪水库附近典型石灰岩(三叠系)地区。地处东经 103°34', 北纬 26°34', 海拔 1 130~1 326 m, 植被覆盖率达到 32.36%, 年平均气温 14.9℃, 年平均降水量 1 229 mm, 雨量充沛, 属于典型亚热带喀斯特地区。

收稿日期: 2007-05-29

基金项目: 贵州省长基金(2004); 贵州省科学研究基金“喀斯特人工林下土壤生态学属性与土壤环境评价”([2006]2034)

作者简介: 赵洋毅(1980—), 男, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要从事森林土壤学研究。E-mail: zhaoyangyi8003@163.com

通信作者: 周运超(1964—), 男, 教授, 博导, 主要从事土壤学及土壤环境学研究。

## 2 研究方法

2006年10月在该研究区挖取土壤剖面9个,剖面样地概况与土壤性状列于表1。在土壤表层0—20 cm用环刀取原状土测定土壤容重,通气孔隙度<sup>[8]</sup>;用蒋定生设计的原状

土冲刷水槽及其拟定的试验方法,用自制取土器在土壤剖面表层取7.5 cm×7.5 cm×10 cm原状土样测土壤抗冲系数<sup>[9]</sup>,用铝盒取原状土壤样品室内风干以干—湿筛法测定土壤团聚体组成<sup>[8]</sup>,土壤有机质采用硫酸重铬酸钾法<sup>[10]</sup>。

表1 土壤剖面样地简况及表层土壤性状

编号	样地简况	土壤性状		
		质地	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )
PQ1	枫香—油茶林,林下植被草本为主,灌木稀少,海拔1 130 m,坡度20°	壤质黏土	1.20	11.64
PQ2	壳斗科树种林。林下植被草本为主,灌木稀少,海拔1 020 m,坡度15°	壤质黏土	1.22	10.06
PQ3	女贞—油茶林,林下植被灌木和草本极丰富,海拔1 100 m,坡度20°	壤质黏土	1.16	13.21
PG4	灌木林地,火棘、竹叶椒、中华绣线菊等,林下植被草本丰富,海拔1 030 m,坡度20°	黏土	1.34	9.93
PG5	灌木林地,火棘、小果蔷薇、中华绣线菊、飞龙掌血等,林下植被草本丰富,海拔1 050 m,坡度25°	壤质黏土	1.29	9.95
PG6	灌木林地,小果蔷薇、竹叶椒、中华绣线菊等,林下植被有少量的草本,海拔1 050 m,坡度20°	壤质黏土	1.30	8.81
PC7	草本地,主要为蕨类,黄花,海拔1 100 m,坡度20°	黏土	1.54	6.89
PC8	草本地,主要为蝴蝶花,海拔1 130 m,坡度25°	黏土	1.57	6.75
PC9	草本地,主要为黄花,野筒蒿,海拔1 110 m,坡度25°	黏土	1.52	7.23

### 2.1 土壤团聚体稳定性指标计算方法

(1)>0.25 mm水稳性团聚体含量。即湿筛分析中>0.25 mm的团聚体所占的百分比,一定程度上反映结构好坏,结构好的多些,但目前没有统一的标准含量。

(2)团聚体平均重量直径变化。指干、湿筛团聚体平均重量直径的差值,差值小的,结构稳定性较好<sup>[11]</sup>。

(3)土壤结构体遇水稳定性<sup>[12-13]</sup>。结构破坏率(%)= $\frac{>0.25\text{ mm团聚体分析值(干筛—湿筛)}}{>0.25\text{ mm团聚体干筛分析值}} \times 100\%$ 。

### 2.2 土壤抗蚀性能测定

用直径5 mm孔的筛子选取5~7 mm粒径的土壤25颗,放在5 mm孔径筛子上浸入水中,每隔1 min计录崩塌的土粒数,连续记录10 min,3次重复,取平均值。然后计算出抗蚀指数,用以表征土壤的抗蚀性能。

抗蚀指数(%)=(土粒总数—崩解土粒数)/土粒总数<sup>[3-4]</sup>

### 2.3 土壤抗冲性能测定

目前国内外在评价土壤抗冲性上没有统一的指标,根据实验内容,这里采用土壤抗冲系数C来评价土壤抗冲性能,定义为每冲刷走1 g干土所需的水量Q(L)和时间t(min)的乘积。

$$C = Q \cdot t / w$$

式中:C——土壤抗冲刷系数;w——冲走的土重(g)<sup>[9]</sup>。

试验前将原状土样浸水24 h,试验时静至1 min挖去多余重力水,称重。置于长50 cm,宽10 cm,高10 cm的冲刷槽内,为便于比较,调节坡度统一为20°。以0.51 L/s流量放水冲刷。冲刷时间固定为10 min。冲刷完毕,对冲走土壤进行过滤烘干称重,计算抗冲系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤团聚体稳定性

土壤团聚体的破坏导致土壤孔隙的坍塌、产生更细小的土壤颗粒和微团聚体,进而影响水分渗透,促进结皮形成和地表径流产生<sup>[14]</sup>,土壤结构特性尤其是土壤团聚体稳定性对土壤侵蚀防治具有重要影响,测定结果见表2。乔木林下>0.25 mm水稳性团聚体平均含量达到58.72%,分别为灌木林地和草本地>0.25 mm水稳性团聚体平均含量的1.42倍和2.57倍,水稳性团聚体是由有机质胶结而成的团粒结构,可以改善土壤结构,而且被水浸湿后不易解体,相关分析表明,水稳性团聚体含量和土壤有机质含量呈显著的正相关关系( $r=0.950^{**}$ ,  $n=9$ ),其含量越高,稳定性就越高;乔木林地结构体破坏率平均值分别比灌木林地和草本地低15.71%和32.06%,同时,从表2看出乔木林地的平均抗蚀指数和平均抗冲系数均大于灌木林地和草本地,所以土壤结构性能对土壤抗蚀性和抗冲性影响较明显。

从6个土壤剖面样地的植被状况来看,乔木林地和灌木林地林下植被丰富的样地土壤结构明显优于林下植被稀少的样地。林下植被丰富,生物归还量大,从而在土壤表层形成较厚的枯枝落叶层,对土壤免受雨滴击打的保护作用较大,并且凋落物易分解转化,增加土壤的有机质含量,表1显示,植被的丰富程度与有机质含量呈明显的对应关系。相关分析表明,结构体破坏率和有机质含量呈显著的负相关关系( $r=-0.960^{**}$ ,  $n=9$ ),团聚体平均重量直径差值和有机质含量呈显著的负相关关系( $r=-0.862^{**}$ ,  $n=9$ ),这说明增加土壤有机质对改善土壤结构具有重要作用。团聚体平均重量直径差值变化于乔木林地的2.77 mm到草本地的6.93 mm,乔木林地要比灌木林地和草本地低很多,反映出乔木林

地对改善土壤结构有重要作用,这也反映出研究区内若植被遭到破坏,乔木林若退化为草本,土壤团聚体的稳定性会

大幅度降低,将会加剧土壤侵蚀,导致土地退化,最终产生石漠化。

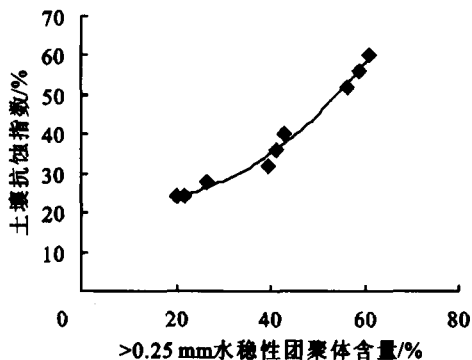


图 1 土壤抗蚀指数与  $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量

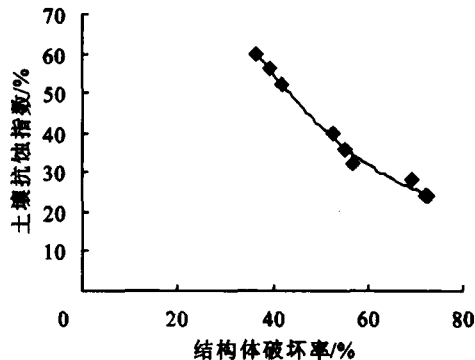


图 2 土壤抗蚀指数与结构体破坏率

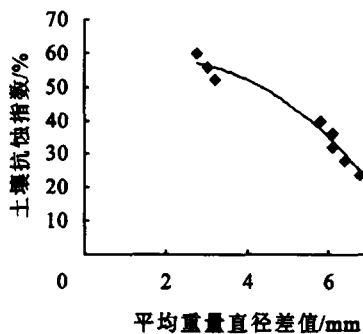


图 3 土壤抗蚀指数与团聚体平均重量直径差值

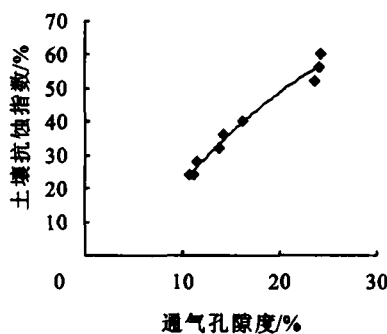


图 4 土壤抗蚀指数与土壤通气孔隙度

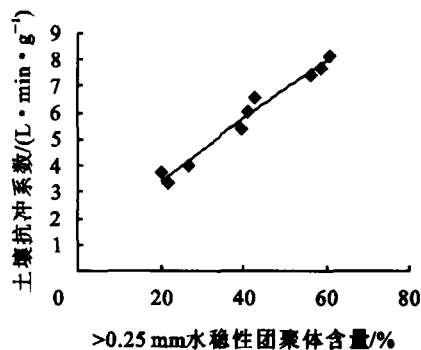


图 5 土壤抗冲系数与  $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量

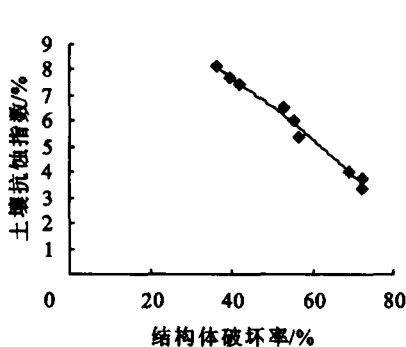


图 6 土壤抗冲系数与结构体破坏率

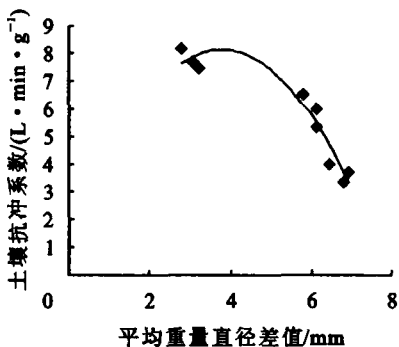


图 7 土壤抗冲系数与团聚体平均重量直径差值

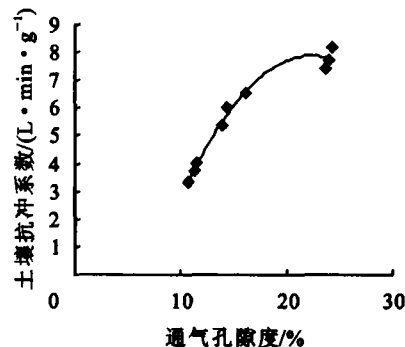


图 8 土壤抗冲系数与土壤通气孔隙度

表 2 表层土壤结构性指标及土壤抗蚀指数、抗冲系数

样地号	$>0.25$ mm 水稳性团聚体含量/%	结构体破坏率/%	团聚体平均重量直径差值/mm	通气孔隙度/%	抗蚀指数/%	抗冲系数/(L·min·g <sup>-1</sup> )
PQ1	58.84	39.41	3.06	24.03	56.00	7.71
PQ2	56.38	42.04	3.23	23.69	52.00	7.45
PQ3	60.94	36.31	2.77	24.21	60.00	8.16
PG4	41.12	55.33	6.12	14.27	36.00	6.02
PG5	43.06	52.81	5.83	16.18	40.00	6.54
PG6	39.65	56.75	6.13	13.83	32.00	5.37
PC7	20.16	72.50	6.93	11.25	24.00	3.73
PC8	21.78	72.31	6.81	10.69	24.00	3.35
PC9	26.63	69.12	6.43	11.51	28.00	4.01

### 3.2 土壤通气孔隙度

土壤通气孔隙由于孔径较大,为土壤水分的贮存提供了空间,能在降雨时快速暂时贮存降水减缓地表径流,并在雨后能快速排出水分以保证土壤的通气性<sup>[15]</sup>,对土壤抗蚀性和抗冲性的影响有显著作用。土壤通气孔隙度测定结果见表 2。乔木林地土壤通气孔隙度明显优于灌木林地和草本。因此,乔木林在一定程度上提高了土壤的抗侵蚀能力。

### 3.3 表层土壤结构性与土壤抗蚀性和抗冲性的关系

从表 2 可以看出表征土壤结构性的各项指标与土壤的抗蚀性和抗冲性存在一定的联系,经定量指标分析,土壤结构性与土壤的抗蚀性和抗冲性呈明显的线性关系。

#### 3.3.1 与土壤抗蚀性的关系

以  $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量、结构体破坏率、团聚

体平均重量直径差值及土壤通气孔隙度表征土壤结构性,它们与土壤抗蚀指数的相关系数分别为:0.989, -0.991, -0.971, 0.977, 达到了极显著性水平 $[r_{0.01}(7)=0.798, n=9]$ 。 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量和通气孔隙度与土壤抗蚀性具有明显的正相关关系,结构体破坏率和团聚体平均重量直径差值与土壤抗蚀性具有明显的负相关关系,在一定程度上表明随着 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量和通气孔隙度的增加,土壤的抗蚀性能随之增强;随着结构体破坏率和团聚体平均重量直径差值的变大,土壤抗蚀性能就会随之减弱。图1-4显示其定量关系以二次多项式模拟效果最好,通过 $F_{0.01}(1, n-2)=12.246(n=9)$ 检验的关系式如下:

$$y=0.0152x_1^2-0.3702x_1+5.526 \quad F=166.226$$

$$y=0.0174x_2^2-2.889x_2+142.44 \quad F=164.527$$

$$y=-1.4678x_3^2+6.140x_3+51.233 \quad F=97.149$$

$$y=-0.0574x_4^2+4.414x_4-16.729 \quad F=110.411$$

式中: $y$ ——土壤抗蚀指数(%); $x_1$ —— $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量; $x_2$ ——结构体破坏率; $x_3$ ——团聚体平均重量直径差值; $x_4$ ——通气孔隙度。

### 3.3.2 与土壤抗冲性的关系

$>0.25$  mm 水稳性团聚体含量、结构体破坏率与土壤抗冲系数的相关系数分别为:0.978, -0.987, -0.928, 0.984, 达到了极显著水平 $(r_{0.01}(7)=0.798, n=9)$ 。 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量和通气孔隙度与土壤抗冲性呈显著的正相关关系,结构体破坏率和团聚体平均重量直径差值与土壤抗冲性呈显著的负相关关系。在一定程度上表明 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量和通气孔隙度越大,土壤的抗冲性能就越强;结构体破坏率和团聚体平均重量直径差值越大,土壤的抗冲性能就相对越弱。图5-8显示出它们与土壤抗冲系数的关系用二次多项式模拟效果较好。通过 $F_{0.01}(1, n-2)=12.246(n=9)$ 检验的定量关系式如下:

$$y=-0.0003x_1^2+0.1346x_1+0.7839 \quad F=139.831$$

$$y=-0.0007x_2^2-0.0534x_2+10.94 \quad F=246.155$$

$$y=-0.4868x_3^2+3.6902x_3+1.1429 \quad F=53.380$$

$$y=-0.0335x_4^2+1.4945x_4-8.7739 \quad F=73.099$$

式中: $y$ ——土壤抗冲系数(L·min/g); $x_1$ —— $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量; $x_2$ ——结构体破坏率; $x_3$ ——团聚体平均重量直径差值; $x_4$ ——通气孔隙度。

土壤结构性和土壤抗蚀性能和抗冲性能存在的这种线性关系,证实了土壤结构稳定性对水土流失具有重要影响,改善土壤的结构性对防治土壤侵蚀具有重要意义。

## 4 结论与建议

在研究区内,通过对土壤结构性能、土壤抗蚀性能和抗冲性能的研究,结果表明乔木林对改善土壤结构有重要作用,林下植被覆盖度对土壤结构的影响也较大,充分体现出保护林下植被、增加土壤有机物质改善土壤结构状况对土壤侵蚀防治具有重要作用。通过定量分析表明土壤结构性与土壤抗蚀性和抗冲性成明显的线性关系,相关系数和回归分析达到了0.01极显著性水平。由于喀斯特地区植被受碳酸

盐岩性影响生长慢的特点,在脆弱的生态环境中,若植被一旦遭到破坏,逆向演替快,而顺向演替慢,植被恢复将很困难,乔木林地被破坏后若演替为草本地甚至成为裸地,土壤结构状况会变得很差,其土壤抗蚀性能和抗冲性能将大幅度的降低,将会加剧土壤侵蚀,本已浅薄的土层会逐渐变得更薄,基岩裸露,造成石漠化。在贵州广大的喀斯特地区由于经济来源少,人们对土地的依附极大,而由于区域内土地生产力低下,依靠广种薄收来获取生存,结果导致大规模林地被破坏开垦为农田,形成一种恶性循环,为了生存,破坏植被,开垦种地,土地退化,石漠化严重,生态环境恶化。因此,要保护植被,预防石漠化的产生。对现有的天然林进行保护,根据石漠化地区严重程度,退耕还林,封山育林。

### 参考文献:

- [1] 周运超,周习会,周玮. 贵州岩溶土壤形成及其可持续利用[J]. 山地农业生物学报, 2005, 24(5): 419-425.
- [2] 董爱芳. 我国西南岩溶地区石漠化问题研究:以滇黔桂三省区为例[J]. 西北师范大学学报:自然科学版, 2006, 42(2): 90-95.
- [3] 周利军,齐实,王云琦. 三峡库区典型林分林地土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 186-216.
- [4] 王忠林,李会科,赖秀贤. 渭北塬花椒地埂林土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 33-37.
- [5] 沈慧,姜凤岐,杜晓军,等. 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.
- [6] 李勇,吴钦孝,朱显谟,等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 水土保持学报, 1990, 4(3): 1-5.
- [7] 徐燕,龙健. 贵州喀斯特山区土壤物理性质对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 157-175.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科技出版社, 1978.
- [9] 蒋定生,范兴科,李新华,等. 黄土高原水土流失严重地区土壤抗冲性的水平和垂直变化规律研究[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 1-8.
- [10] 中国农学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [11] 中国农业百科全书编辑委员会. 中国农业百科全书:土壤卷[M]. 北京:农业出版社, 316.
- [12] 邱仁辉,杨玉胜,俞新妥. 不同栽植代数杉木林土壤结构特性研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 6-11.
- [13] 张保华,徐佩,廖朝林. 川中丘陵区人工林土壤结构性及对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持通报, 2005, 25(3): 25-28.
- [14] Le Bissonnais A. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility; 2. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents[J]. Eur. J. Soil Sci., 1997, 48: 38-48.
- [15] 吴长文,王礼先. 林地土壤孔隙的贮水性能分析[J]. 水土保持学报, 1995, 2(1): 76-79.