

两种利用类型煤矸山复垦重构土壤贮水特性研究

于亚军, 任珊珊, 郭李凯, 毕斌

(山西师范大学 地理科学学院, 山西 临汾 041000)

摘要:土壤贮水能力是复垦地植被恢复和生态重建的基础。因此开展煤矸山复垦重构土壤贮水能力研究对于指导煤矸山植被复垦具有重要意义。以长治王庄煤矸山复垦 6 a 的林地(SL)和草地(GL)为对象,分析了 2 种利用类型煤矸山复垦重构土壤 1 m 土层贮水状况。结果表明:(1) 复垦林地(SL)和复垦草地(GL)土壤容重分别较普通林草地(CK)高 12.7%和 19.0% ($p>0.01$)。两种复垦地土壤容重的剖面变化有别于普通农地,并且其差异主要体现在 60 cm 以上土层。(2) SL 样地和 GL 样地土壤总孔隙度分别较 CK 样地低 20.5%和 30.9%,非毛管孔隙度分别较 CK 低 80.0%和 74.9%,而土壤毛管孔隙度分别较 CK 样地高 14.1%和 2.4%,因此,两种复垦地土壤饱和贮水量和非毛管贮水量明显低于普通农地,但毛管贮水量高于普通农地。(3) SL 样地和 GL 样地 1 m 土层土壤平均含水量和总贮水量分别较 CK 样地高 7.8%,12.3%和 23.5%,34.9%,但两种复垦地与普通农地 1 m 土层含水量和贮水量的差异在 60—100 cm 最大。

关键词:煤矸山; 重构土壤; 土壤贮水能力; 植被恢复

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)02-0044-05

Study on Soil Water-Holding Capacity Between Two Types of Reclamation Agroforestry Land on a Coal Waste Pile

YU Yajun, REN Shanshan, GUO Likai, BI Bin

(College of Geographic Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China)

Abstract: Soil water-holding capacity is a basic condition on vegetation recovery and ecological reconstruction reclamation in reconstructed soil. Therefore, it is very important for choice of the vegetation types by studying soil water-holding capacity between different types of reclamation agroforestry lands. The soil water-holding capacities within 100 cm soil layer of shrub land after six years of reclamation (SL) and grassland after six years of reclamation (GL) were studied on a coal waste pile in Wang village, Changzhi City, Shanxi Province. The results showed that: (1) the mean soil bulk densities of reclamation shrub land (SL) and reclamation grassland (GL) within 100 cm soil layer increased by 12.7% and 19.0% compared to CK, respectively, the profile properties within 100 cm soil layer of SL and GL were different from those of the CK, and the differences were mainly reflected in above 60 cm soil layer; (2) soil total porosities in SL and GL decreased by 20.5% and 30.9% compare to CK, respectively, and non-capillary porosities decreased by 20.5% and 30.9%, respectively, but capillary porosities increased by 14.1% and 2.4%, respectively, therefore, soil saturated water contents and non-capillary water storage in SL and GL were lower than those in CK, but capillary water storage was higher; (3) the mean soil water contents and soil water storage in SL and GL within 100 cm soil layer increased by 7.8%, 12.3% and 23.5%, 34.9% compare to CK, respectively, but it was different in different soil layers, and it was mainly reflected in 60—100 cm soil layer.

Keywords: coal waste pile; reconstructed soil; soil water-holding capacity; vegetation recovery

煤矸石是井工开采和洗煤排放的废弃物,其产生量约为原煤产量的 15%或更多。当前,我国煤矿开采

过程中排放的矸石等固体废弃物累计已超 7.4×10^9 t^[1],已经成为我国累计存量和占用场地最多的工业废

弃物。虽有一部分煤矸石可作为建材、燃料等工业用途,但迄今为止其工业综合利用率不足 20%^[2-3],因此煤矸石主要以矸石山形式堆放。我国现有煤矸山 1 500 多座,占地约 1.0 万 hm²^[4],煤矸石堆积不仅占用大量土地,而且通过扬尘、自燃、雨水淋溶等方式导致严重的土地、水体、空气和景观污染^[5-6]。所以,对煤矸山进行复垦治理是改善矿区生态环境,实施煤矿区生态重建的前提和核心^[7-8]。目前,对煤矸山复垦治理一般采用推平覆土后进行植被绿化的方式进行^[9],该方法在取土较为便利的北方地区更为普遍。煤矸山推平覆土过程中通过工程技术措施(如铲平和碾压)改变了原有土壤的结构和层次特点,所形成的“重构土壤”其孔隙状况和贮水库容与普通土壤相比有明显的复杂性和特殊性^[10],而土壤贮水能力是复垦地植被恢复和生态重建的基础,并且煤矸山复垦后往往优先被利用为农林草用地(如农田、果园和草场等),所以其土壤贮水能力的优劣对于复垦成败尤为关键。因此,开展煤矸山复垦重构土壤贮水性能的研究对于指导煤矸山植被复垦具有重要意义。

山西省煤炭资源储量大、产量高,全省煤矿企业矸石累计堆存量 8.3 亿 t,已形成 300 多座煤矸山^[11]。并且随着煤炭资源的开采,煤矸石堆积将会增加。近年来,山西省加大了矸石山复垦治理的力度,多个老矿、大矿的煤矸山通过覆土复垦的方法得到治理。因此,以此为研究区开展复垦矸石山土壤贮水状况的研究具有典型性。所以,本研究以山西省长治潞安矿区复垦多年的煤矸山为研究对象,分析煤矸山复垦后土壤孔隙和贮水库容的状况,以期对煤矸山复垦植被类型的选择及煤矸山复垦地土壤水分管理提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于山西省长治市潞安矿区,地处黄土高原东南部太行山脉,上党盆地,为温带大陆性季风气候,多年平均气温 9.5℃,年日照时数为 2 518 h,无霜期 160 d 左右,年均降水量 550~650 mm,年均蒸发量为 650~750 mm,降水年际变化和年内变化均很大,其中夏秋季占全年降水量的 71.6%。

研究样地位于王庄煤矿西矸石山(36°22′02.2″N, 113°01′29.1″E,海拔 959 m),该矸石山形成于 20 世纪 90 年代,呈近东西向分布,南北宽 220 m,东西长 400 m,复垦时矸石堆存量约为 156 万 m³,占地约 7.7 万 m²,垂直高度 35 m。矸石山于 2009 年完成推平覆土,覆土厚度顶部为 100~120 cm,覆土时土壤均取自煤矸山附近,土壤类型为褐土,土壤质地较粘。复垦后土地主要利用为灌木林地和草地两种类型,灌木林地主要

植物为火炬树(*Rhus typhina* Nutt)、连翘(*Forsythia suspensa*)和荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*),郁闭度约为 0.23;草地的主要植物为白羊草(*Bothriochloa is chaemum* (L.) Keng)、羊胡子草(*Carex rigescens*)和狗尾草(*Setaira viridis* L. Beauv),草高约 15~20 cm,覆盖度约为 71%。

2 土样采集及数据分析

采样地为煤矸山复垦 6 a 后的林地(SL)和草地(GL),同时选择样地附近普通灌草混生地为对照(CK),土壤样品采集时间为 2015 年 4 月,在样地中各选择 3~5 个取样点,用环刀法测定土壤容重、土壤孔隙度和持水量等土壤贮水特征参数^[12]。土壤毛管贮水量、非毛管贮水量和饱和贮水量分别用公式(1),(2)和(3)计算^[13]。土壤含水率采用土钻取样,烘干法测定,土壤贮水量是利用土壤含水率和容重计算^[14],以上数据测定取土深度均为 100 cm,每 20 cm 一层,以上数据计算时求取 3~5 个采样点平均值和标准偏差。数据分析采用 Excel 2003 和 SPSS 10.0 统计软件进行,多重比较采用 Duncan 新复极差法。

$$W_c = 1000P_c \cdot h \quad (1)$$

$$W_{nc} = 1000P_{nc} \cdot h \quad (2)$$

$$W_t = 1000P_t \cdot h \quad (3)$$

式中: W_c ——土壤毛管贮水量(mm); W_{nc} ——土壤非毛管贮水量(mm); W_t ——土壤饱和贮水量(mm); P_c ——毛管孔隙度(%); P_{nc} ——非毛管孔隙度(%); P_t ——土壤总孔隙度(%); h ——土层深度(m)。

3 结果与分析

3.1 复垦地土壤容重与普通农地的差异

图 1 是复垦林地(SL)、复垦草地(GL)和普通灌草地(CK)三种样地 1 m 土层土壤容重变化状况。首先,从三种样地 1 m 土层土壤容重的总体差异来看,复垦林地(SL)和复垦草地(GL)分别较普通灌草地(CK)高 12.7%和 19.0%($p > 0.01$),并且从 1 m 土层土壤容重的剖面变化来看,CK 样地土壤容重呈现随土层深度增加而增大的趋势,而 SL 样地和 GL 样地土壤容重却分别呈现为“反 S 型”和“S 型”变化趋势,说明复垦重构土壤不仅容重明显偏高,而且土壤容重的剖面变化状况也有别于普通农地。其次,从三种样地不同土层容重的差异来看,在表层土壤(0—20 cm)和 20—60 cm),SL 样地和 GL 样地分别较 CK 样地高 18.8%,25.7%和 13.9%,21.3%,两个土层土壤容重与普通林草地的差异高于两种样地与 CK 样地在 1 m 土层中的平均差异(12.7%和

19.0%),而深层土壤(60—100 cm)两种样地与CK样地间的差异仅为11.1%和14.1%,低于1 m土层的平均差异。由此可见,两种复垦地与普通农田土壤容重的差异主要体现在中层以上(0—60 cm),深层(60—100 cm)土壤容重的差异不明显。

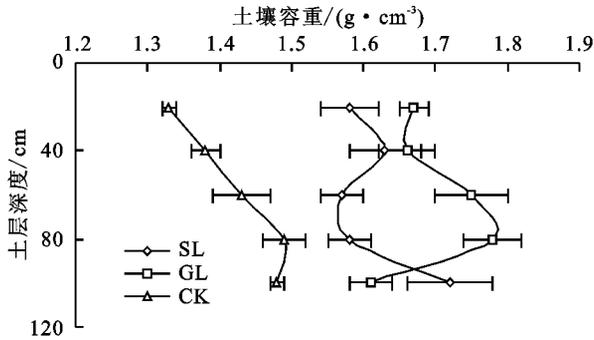


图 1 两种利用形式复垦地土壤容重

3.2 复垦地土壤贮水库容与普通农地的差异

表 1 是复垦林地(SL)、复垦草地(GL)和普通灌草地(CK)土壤孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度在表层(0—20 cm)、中层(20—60 cm)、深层(60—100 cm)状况。首先,从三种样地 1 m 土层土壤孔隙平均状况

表 1 两种利用形式复垦地土壤孔隙度

土壤层次/cm	样地类型	土壤总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
0—20	SL	39.6±0.35B	35.5±0.23A	4.1±0.03B
	GL	37.5±0.11B	34.0±0.17A	3.5±0.01B
	CK	53.5±0.90A	31.1±0.48B	22.4±0.48A
20—60	SL	41.3±0.30B	36.8±0.41A	4.5±0.03C
	GL	33.5±0.41C	26.6±0.20B	6.9±0.05B
	CK	50.0±0.67A	22.6±0.54C	27.3±0.34A
60—100	SL	36.5±0.34B	32.3±0.15A	4.2±0.02C
	GL	31.7±0.31C	28.7±0.36B	3.0±0.02B
	CK	47.8±0.74A	26.5±0.31C	21.2±0.27A
平均	SL	39.6±0.27B	32.3±0.16A	4.3±0.01C
	GL	34.4±0.21C	29.0±0.19B	5.4±0.04B
	CK	49.8±0.89A	28.3±0.29C	21.5±0.21A

表中同行不同大写字母上标表示差异极显著($p < 0.01$),下同。

表 2 是复垦林地(SL)、复垦草地(GL)和普通灌草地(CK)土壤饱和贮水量、毛管贮水量和非毛管贮水量状况。首先,从三种样地 1 m 土层饱和贮水量、毛管贮水量和非毛管贮水量的平均状况来看,SL 样地和 GL 样地土壤饱和贮水量分别较 CK 样地低 12.1% 和 14.7%,非毛管贮水量分别较 CK 样地低 76.1% 和 70.2%,而两种样地毛管贮水量则分别较 CK 高 35.7% 和 26.9%。可见,两种复垦地土壤饱和贮水量和非毛管贮水量明显低于普通农地,但毛管贮水量却高于普通农地。其次,从三种样地饱和贮水量、毛管贮水量和非毛管贮水量 0—20 cm,20—60 cm 和 60—100 cm 三个土层中的差异看,饱和贮水量和毛

管贮水量均表现为在 0—20 cm 土层中最高,其次为 60—100 cm 土层,20—60 cm 土层则最差。而非毛管贮水量在三个土层中的差异则表现为 20—60 cm 土层最高,其次为 60—100 cm 土层,0—20 cm 土层最差。由此说明,2 种复垦地其饱和贮水能力和毛管贮水能力表现为表层(0—20 cm)最强,其次为深层(60—100 cm),最差的为中层(20—60 cm),而非毛管贮水能力则表现为中层最高,深层次之,表层最差。

由此可见,两种复垦地土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均低于普通农地,但毛管孔隙度均高于普通农地,并且与普通农地相比,两种复垦地土壤总孔隙度的差异主要体现在 60—100 cm 土层,非毛管孔隙度的差异主要体现在 0—20 cm 和 60—100 cm 土层,而毛管孔隙度的差异则主要体现在 20—60 cm 土层。

3.3 复垦地土壤持水性能与普通农地的差异

图 2 是复垦林地(SL)、复垦草地(GL)和普通灌草地(CK)土壤含水量和土壤贮水量的剖面变化情况。首先,从两种复垦地与普通林草地(CK)土壤含

水量的差异看(图 2A),SL 样地和 GL 样地 1 m 土层含水量的平均值分别较 CK 样地高 7.8% 和 12.3%, 而从三种样地各土层含水量的差异看,在 0—20 cm 土层 SL 样地和 GL 样地均低于 CK 样地,但 20—60 cm 土层和 60—100 cm 土层均表现为 SL 样地和 GL 样地高于 CK 样地,并且 60—100 cm 土层差异最大。

从三种样地 1 m 土层贮水量的差异看(图 2B),

SL 样地和 GL 样地 1 m 土层总贮水量分别较 CK 样地高 23.5% 和 34.9%, 而从三种样地各土层贮水量的差异看,整个土层均表现为 SL 样地和 GL 样地较 CK 高,并且 60—100 cm 土层差异最大,这与三种样地土壤含水量的剖面差异一致。由此说明,与普通农地相比,复垦地 1 m 土层土壤含水量和贮水量均明显偏高,并且 60—100 cm 土层差异最大。

表 2 两种形式复垦地土壤贮水特征

土壤层次/cm	样地类型	饱和贮水量/mm	毛管贮水量/mm	非毛管贮水量/mm
0—20	SL	79.2±0.76B	71.0±0.87A	8.2±0.17B
	GL	75.0±0.43B	68.0±0.38A	7.0±0.06C
	CK	89.7±0.44A	48.8±0.45B	40.9±0.12A
20—60	SL	70.5±0.67B	61.5±0.33A	9.0±0.04C
	GL	66.9±1.09B	53.3±0.71B	13.7±0.09B
	CK	96.1±0.87A	47.4±0.90C	48.7±0.21A
60—100	SL	72.7±0.44B	64.5±0.45A	8.2±0.07C
	GL	67.6±0.33C	57.9±0.41B	9.7±0.13B
	CK	87.5±0.67A	47.1±0.56C	40.3±0.75A
平均	SL	73.1±0.23B	64.6±0.73A	8.5±0.04C
	GL	71.0±0.41B	60.4±0.14A	10.6±0.02B
	CK	83.2±1.13A	47.6±0.06B	35.6±0.59A

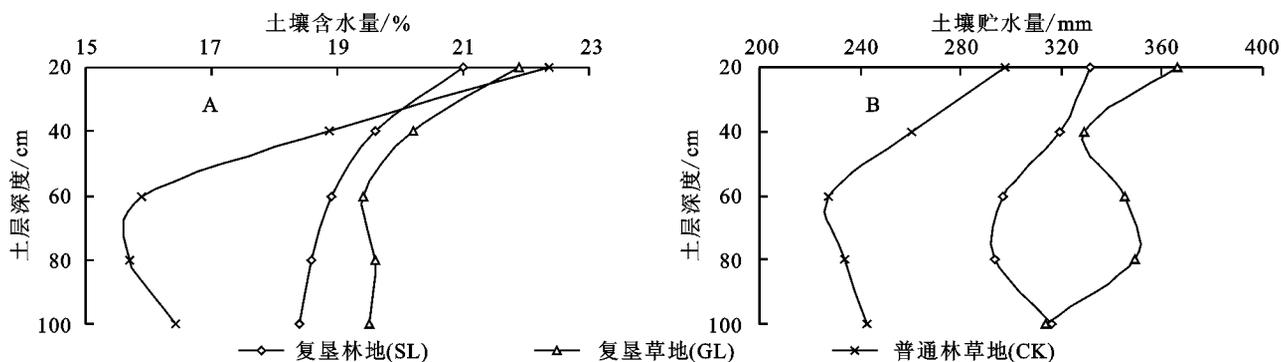


图 2 复垦林地(SL)、草地(GL)和普通林草地(CK)在 1 m 土层内土壤含水量和贮水量变化

4 讨论

研究表明,土壤孔隙状况能反映土壤贮水性能^[13],毛管贮水与土壤毛管孔隙直接相关,是植物生长的关键水分来源,主要供给植物根系吸收、叶面蒸腾或土壤蒸发,能为植物提供必须的水分条件,而非毛管贮水主要受土壤非毛管孔隙度的调节,是饱和土壤中自由重力水在非毛管孔隙中的暂时贮存,能反映土壤水分保持与涵养能力^[15]。研究发现,两种复垦地土壤容重高于普通林草地,尤其在 60 cm 以上土层更为明显,这与其他研究结论一致^[16]。此现象的原因主要是煤矸山推平覆土时大型机械压实造成的。研究表明,与普通农地相比,尽管两种复垦地土壤毛管孔隙度有小幅增加,但土壤总孔隙度和非毛管孔隙度分别降低了 20.5%、30.9% 和 80.0%、74.9%。由此可见,与

普通农地相比,尽管复垦地土壤贮存了较多有利于植物直接吸收的水分类型,但土壤总体贮水能力以及水分保持和涵养能力均有大幅下降,这些变化主要是由于煤矸山复垦时破坏了原有土壤孔隙状况造成的。所以,煤矸山复垦时尽量减少对土壤压实对于改善土壤孔隙状况,提高复垦地土壤贮水能力至关重要。

5 结论

(1) 复垦林地(SL)和复垦草地(GL)土壤容重分别较普通林草地(CK)高 12.7% 和 19.0% ($p > 0.01$)。两种复垦地土壤容重的剖面变化有别于普通农地,并且其差异主要体现在 60 cm 以上土层。

(2) 复垦林地(SL)和复垦草地(GL)土壤总孔隙度分别较普通林草地(CK)低 20.5% 和 30.9%,非毛管孔隙度分别较 CK 低 80.0% 和 74.9%,而土壤毛

管孔隙度分别较 CK 样地高 14.1% 和 2.4%，因此，两种复垦地土壤饱和贮水量和非毛管贮水量明显低于普通农地，但毛管贮水量却高于普通农地。

(3) 复垦林地(SL)和复垦草地(GL)1 m 土层土壤平均含水量和总贮水量较普通林草地(CK)分别高 7.8%，12.3% 和 23.5%，34.9%，但在不同土层其差异有所不同，两种复垦地与普通林草地土壤含水量和贮水量在 60—100 cm 土层差异最大。

参考文献:

- [1] 韦朝阳, 张立城, 何书金, 等. 我国煤矿区生态环境现状及综合对策[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 300-307.
- [2] 苏光全, 何书金, 郭焕成. 矿区废弃土地资源适宜性评价[J]. 地理科学进展, 1998, 17(4): 39-46.
- [3] 王孝本, 林玉利. 煤矿矸石山生态系统的演替[J]. 国土与自然资源研究, 2000(1): 44-45.
- [4] 胡振琪, 张光灿, 魏忠义, 等. 煤矸石山的植物种群生长及其对土壤理化特性的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(5): 492-499.
- [5] 高宝山, 高国雄, 朱首军. 煤矸山沙障小气候效应调查研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 1999, 27(S1): 159-163.
- [6] 胡振琪. 半干旱地区煤矸石山绿化技术研究[J]. 煤炭学报, 1995, 20(3): 322-327.
- [7] 彭少麟. 恢复生态学及植被重建[J]. 生态科学, 1996, 15(2): 26-31.
- [8] 卞正富. 国内外煤矿区土地复垦研究综述[J]. 中国土地科学, 2000, 14(1): 6-11.
- [9] 郭小娟, 贾萍, 刘霞. 煤矸石山环境问题及其治理的研究[J]. 山西农业大学学报, 1998, 18(2): 139-141.
- [10] 胡振琪, 魏忠义, 秦萍. 矿山复垦土壤重构的概念与方法[J]. 土壤, 2005, 37(1): 8-12.
- [11] 武冬梅, 张建红, 吕珊兰, 等. 山西矿区矸石山复垦种植施肥措施[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 333-336.
- [12] 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, 1983: 62-126.
- [13] 高茂盛, 廖允成, 李侠, 等. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2080-2087.
- [14] 鲁向晖, 隋艳艳, 王飞, 等. 秸秆覆盖对旱地玉米休闲田土壤水分状况影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3): 156-159.
- [15] 刘贤赵, 宋孝玉. 陕西渭北旱源苹果种植分区土壤水分特征研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 320-326.
- [16] 焦晓燕, 王立革, 卢朝东, 等. 采煤塌陷地复垦方式对土壤理化特性影响研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 123-125.

(上接第 43 页)

参考文献:

- [1] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 7-11.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rain-fall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains [R]. USDA Agricultural Handbook, 1965.
- [3] 马良, 左长清, 邱国玉. 赣北红壤坡地侵蚀性降雨的特征分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 74-79.
- [4] 张岩, 朱清科. 黄土高原侵蚀性降雨特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(11): 99-103.
- [5] 王改玲, 王青梓, 石生新. 晋北黄土区降雨特征及其对坡地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 1-5.
- [6] 左长清, 马良. 天然降雨对红壤坡地侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 1-4.
- [7] 周赟, 胡顺, 毕节市喀斯特石漠化的成因及防治措施[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2007, 24(4): 421-425.
- [8] 顾礼彬, 张兴奇, 杨光熈, 等. 黔西高原坡面次降雨产流产沙特征[J]. 中国水土保持科学, 2015(1): 23-28.
- [9] 李瑞, 李勇, 刘云芳. 贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 7-11.
- [10] 黄玲玲, 陈喜, 张志才. 西南岩溶地区小流域坡地土壤侵蚀影响因素分析[J]. 水电能源科学, 2013, 31(8): 132-134.
- [11] 戴海伦, 苑爽, 张科利, 等. 贵州省降雨侵蚀力时空变化特征研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 37-41.
- [12] 蒋荣. 地形因子对贵州喀斯特地区坡面土壤侵蚀的影响[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [13] 罗宁, 许炳南, 文继芬, 等. 贵州大气降水的时空分布规律研究[J]. 贵州气象, 2006, 30(4): 3-7.
- [14] 周淑梅. 黄土高原丘陵沟壑区不同尺度小流域次降雨水文过程模型研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [15] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙[M]. 北京: 科学出版社, 1996.