

砾石对丘陵紫色砾质土持水性的影响

李燕¹, 刘吉振¹, 魏朝富², 易志坚¹, 洪云菊¹, 柴勇¹

(1. 重庆市农业科学院 质量标准检测技术研究所, 重庆 400055; 2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716)

摘要: 通过红棕紫泥、灰棕紫泥、棕紫泥原状土和扰动土的持水性实验, 研究了砾石对丘陵紫色砾质土持水性的影响。结果表明, 在考虑砾石的情况下, 原状土饱和含水量减少 0.70%~10.70%, 田间持水量减少 2.07%~4.33%; 砾石含量 < 10%, 饱和含水量和田间持水量与砾石含量关系不明显; 砾石含量 > 10%, 饱和含水量和田间持水量随砾石含量减少而增加; 在 0~30 kPa 吸力段, 原状土和扰动土的持水能力、幂函数拟合式的 a 值、原状土物理性黏粒含量、扰动土比水容量都随砾石含量减少而增大; 原状土的比水容量随砾石含量减少而减小。

关键词: 紫色土; 砾石; 含水量; 水分特征曲线; 比水容量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0035-05

中图分类号: S157.1, F301.24

Effects of Gravel on Water Retention Capability of Purple Gravelly Soils in a Hilly Area

LI Yan¹, LIU Ji-zhen¹, WEI Chao-fu², YI Zh-jian¹, HONG Yun-ju¹, CHAI Yong¹

(1. Institute of Agricultural Quality Standard and Testing Technology, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400055, China; 2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: By the experiments of water retention capability for the red-brown purple soils, grey-brown purple soils, and brown purple soils that were disturbed or undisturbed, the effects of gravel on water retention capabilities of purple gravelly soils in a hilly area were studied. Results showed that by considering gravel of undisturbed soils, the saturated water contents were reduced by 0.70%~10.70% and the field capacities, by 2.07%~4.33%. When the gravel content was less than 10%, it did not have an obvious relationship with the saturated water contents and field capacities of undisturbed soils. When the gravel content was more than 10%, the saturated water contents and field capacities increased with the decreased gravel content. At 0~30 kPa, the water-holding capacities and the a values of power functions for undisturbed and disturbed soils, the clay contents of undisturbed soils, and the specific water capacities of disturbed soils were all increased with the decreased gravel content. The specific water capacities of undisturbed soils decreased with the decreased gravel content.

Keywords: purple soil; gravel; water content; water retention characteristic curve; specific water capacity

砾石(大于 2 mm 的石块, rock fragment)广泛存在于世界各地的部分土壤中^[1-3], 根据砾石多少将含有砾石的土壤分为砾质土(砾石含量 < 30%)和砾石土(砾石含量 \geq 30%)^[4], 砾石的存在影响着土壤的物理、化学和农学特性^[5]。砾石土/砾质土的持水性受到砾石来源、大小、体积百分比、存在位置以及土壤孔隙度的影响^[6]。砾石具有持水性^[7], 来源于不同母质和不同年代的砾石, 饱和含水量为 0%~90%^[1], 对

土壤的持水性有较大影响^[8-10]。在相同气候条件下, 考虑土壤砾石与否, 土壤有效含水量、土壤水渗漏量要高或低 14.9%~39%^[6]。砾石土/砾质土处于不同水分阶段时, 整个土壤含水量和细颗粒土壤含水量随砾石含量增加有不同的变化规律^[11]。砾石体积百分比对土壤有效含水量通常有负面影响^[12]。不同位置(在土壤的表层或嵌入土壤中的情况)的砾石通过影响土壤水入渗和蒸发来影响土壤含水量^[12-14]。

收稿日期: 2009-02-08

修回日期: 2009-03-26

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助(2008ZX07425-003)

作者简介: 李燕(1979-), 女(汉族), 四川省广安市人, 助理研究员, 硕士, 研究方向为资源环境和农产品质量检测技术与制定。E-mail: liyan3403@163.com。

作者简介: 魏朝富(1962-), 男(汉族), 四川省乐山市人, 研究员, 研究方向为水土资源管理。E-mail: weicf@swau.cq.cn。

国外研究者对砾石土的研究取得了一定成果,但对砾质土研究较少。国内含有砾石的耕作土壤大部分为砾质土,研究者们对这种土壤研究极少^[15-16]。紫色土发育较浅,含有大量砾石^[3],以前的持水性研究大都是针对 $< 2\text{ mm}$ 的细颗粒土壤,没有考虑砾石的质量和持水性能^[9],不能完全正确研究紫色砾质土的持水性。

本文通过对 3 种紫色砾质土持水性的研究,为正确估算土壤水库中的有效水量,合理确定农田灌溉技术参数,减少坡耕地水土流失,合理利用土地资源提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

根据紫色土性质、砾石含量和土地利用状况,本实验选取了由紫色泥(页、砂)岩发育而来的 3 种坡地紫色土及相应的砾石。红棕紫泥和棕紫泥分别采自重庆市铜梁县双山乡双泉村五队和双山乡大田村一队。母岩分别为遂宁组红棕紫色厚泥岩、蓬莱镇组棕紫色砂页岩互层;灰棕紫泥采自重庆市北碚区西南大学附近山坡,母岩为沙溪庙组灰紫色细至粉粒砂岩。在被选山坡的坡顶、坡腰和坡脚 3 个坡位进行布点,每个样点分 0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm 这 3 个层次取样,取样重量约为 3~4 kg。测定砾石含量的取样体积约为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 。3 种紫色土坡顶层浅薄(小于 20 cm),土体松散,夹有大量岩石碎屑,坡腰耕层松泡,心土和底土紧实,坡脚整个土层较紧实。根据土层的深浅,3 种紫色土在坡顶只采了 1 个土层,在坡腰和坡脚采了 3 个土层。扰动土所加的砾石来自于相应土壤中。

1.2 分析测定方法

1.2.1 砾石含量的测定 砾石的质量含量采用水洗法^[5]。具体测定步骤为:将采回的样品自然风干,称重后在水中浸泡 30 min,分次倒在 2 mm 筛子上用自来水进行冲洗,在洗的过程中左右转动筛子,但不要大幅度地去扰动它(因为某些砾石被水浸泡后容易破碎),将留在筛子上的干净砾石自然风干,称重后得出砾石的总含量。

1.2.2 水分特征曲线的测定

(1) 原状土水分特征曲线的测定。将在坡顶、坡腰和坡脚的 0—20 cm 土层采的 3 个平行的环刀土样,完全饱和后放在高岭土平板仪上,在 1.5, 3, 6, 10, 30 kPa 吸力下分别测定各个土样的含水量^[17]。

(2) 扰动土水分特征曲线的测定。根据测出的土壤砾石含量,将扰动土分为 4 个处理:①细颗粒

土;②细颗粒土+10%的砾石;③细颗粒土+20%的砾石;④细颗粒土+30%的砾石;其中细颗粒土的容重固定为 1.28 g/cm^3 ,砾石含量为体积含量,每个处理做 2 个重复。将处理好的混合土样装在 100 cm^3 的环刀里,测定方法同原状土。

1.2.3 土壤常规性质的测定 土壤 pH 值用酸度计电位法;土壤有机质用重铬酸钾容量法(水合热法);土壤颗粒组成用比重计法。土壤自然含水量用酒精灼烧法,土壤饱和含水量和田间持水量用环刀法^[17]。

2 结果与分析

2.1 原状土的基本性质

从表 1 可以看出,在剖面上,砾石含量 $< 10\%$,紫色土容重随物理性黏粒含量增大而增大,与砾石含量关系不明显;砾石含量 $> 10\%$,紫色土容重随砾石含量减少而减小;这与 Cerda 的研究结果较为一致^[18]。紫色土的 pH 和土壤有机质与紫色岩石风化形成土壤的过程有关^[19],与砾石含量关系不明显。坡腰的红棕紫泥、棕紫泥的砾石含量 $> 10\%$,物理性黏粒含量随砾石含量减少而增大;灰棕紫泥在坡腰和坡脚以及红棕紫泥和棕紫泥在坡脚的砾石含量 $< 10\%$,其物理性黏粒含量是随土层加深逐渐增加,与砾石含量关系不明显。

2.2 原状土的含水量

以往研究表明,不考虑土壤砾石,3 种紫色土的饱和含水量为 30%~40%,田间持水量为 20%~35%^[20]。本试验考虑砾石的质量含量及持水性,3 种紫色土的饱和含水量为 29.30%~37.82%,田间持水量为 17.93%~30.67%;比不考虑砾石时的饱和含水量减少了 0.70%~10.70%,田间持水量减少了 2.07%~4.33%。

土壤自然含水量随砾石的增多而减小,随物理性黏粒增多而增大^[21],同时还受到外界降雨的影响。从坡顶到坡脚,紫色土物理性黏粒含量越来越大,砾石含量越来越小,土壤自然含水量越来越高。红棕紫泥和棕紫泥在小雨停止后采样,自然含水量随土层加深而增加;灰棕紫泥在小雨停止一天后采样,自然含水量随土层加深先上升后下降,与 Brakensiek 的结果一致^[22]。

土壤饱和含水量和田间持水量同样受到土壤物理性黏粒和砾石含量的双重影响。从坡面上分析,3 种紫色土的饱和含水量和田间持水量随砾石含量减少而增大,随物理性黏粒含量增加而增大。从剖面上分析。坡腰的灰棕紫泥和坡脚的红棕紫泥、棕紫泥以及灰棕紫泥的平均砾石含量 $< 10\%$,其饱和含水量和

田间持水量随土壤物理性黏粒增加而增大, 与砾石含量关系不明显。坡腰的红棕紫泥和棕紫泥的砾石含量 > 10%, 其饱和含水量和田间持水量随砾石含量减少而增大, 随物理性黏粒含量增加而增大。

表 1 土壤的基本性质和含水量

土类	物理参数	坡 顶			坡 腰			坡 脚		
		0—20 cm	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm		
红棕紫泥	砾石含量/ %	27.60	16.50	19.80	17.10	4.10	2.30	1.60		
	容重/(g·cm ⁻³)	1.47	1.33	1.59	1.51	1.52	1.42	1.50		
	物理性粘粒/ %	44.93	44.71	41.97	45.24	54.23	55.8	55.21		
	自然含水量/ %	20.24	21.57	20.28	20.85	25.10	22.47	21.39		
	饱和含水量/ %	29.37	30.64	30.12	31.28	32.53	32.88	32.32		
	田间持水量/ %	18.66	21.18	21.04	22.60	28.49	28.72	27.66		
	砾石含量/ %	28.70	19.60	16.10	10.70	2.10	2.60	2.40		
棕紫泥	容重/(g·cm ⁻³)	1.33	1.32	1.40	1.42	1.35	1.41	1.50		
	物理性粘粒/ %	43.78	44.42	47.65	49.47	50.80	52.79	54.36		
	自然含水量/ %	20.93	24.27	23.44	21.49	24.84	23.91	22.46		
	饱和含水量/ %	29.30	31.82	31.50	32.13	33.97	33.35	34.37		
	田间持水量/ %	21.78	25.30	28.05	29.54	29.18	30.46	30.67		
	砾石含量/ %	19.80	2.60	1.50	1.20	2.80	5.60	5.50		
	容重/(g·cm ⁻³)	1.33	1.37	1.41	1.46	1.48	1.47	1.42		
灰棕紫泥	物理性粘粒/ %	35.31	36.47	35.48	33.46	45.09	48.54	41.27		
	自然含水量/ %	19.31	20.91	22.07	20.00	22.90	25.78	24.70		
	饱和含水量/ %	33.83	35.78	35.17	34.72	37.18	37.82	36.14		
	田间持水量/ %	22.44	24.36	24.18	23.83	26.52	28.33	25.31		

2.3 水分特征曲线

低吸力段的土壤水分主要受毛管力支配, 有效程度高, 对旱作土壤有重要意义^[23]。

2.3.1 原状土的水分特征曲线 从图 1 看出, 在 0~30 kPa 吸力段, 曲线都是坡脚高于坡腰, 高于坡顶, 说明 3 种紫色土的持水能力都是坡脚最强, 土壤含水量随吸力的增加下降得最慢, 坡顶最弱, 土壤含水量随吸力的增加下降得最快, 坡腰介于两者之间。3 种紫色土不同坡位水分特征曲线的高低间距也不相同, 红棕紫泥坡腰和坡顶曲线间距较近, 灰棕紫泥

坡腰和坡脚曲线间距较近, 棕紫泥在不同坡位的曲线间距相差不大。

不同类型土在不同坡位的的脱水量差异较大, 红棕紫泥在坡脚失去含水量为 6.16%, 约有坡腰和坡顶失去含水量的一半, 其余 2 种紫色土在不同坡位的失水量差值小于 2.60%。用幂函数对不同坡位的 0—20 cm 土层的水分特征曲线进行拟合, 拟合式的平均相关系数为 0.959 6。从坡顶到坡脚, 3 种紫色土拟合式的 *a* 值随砾石含量减少而增大; *b* 值随砾石含量减少而减小。

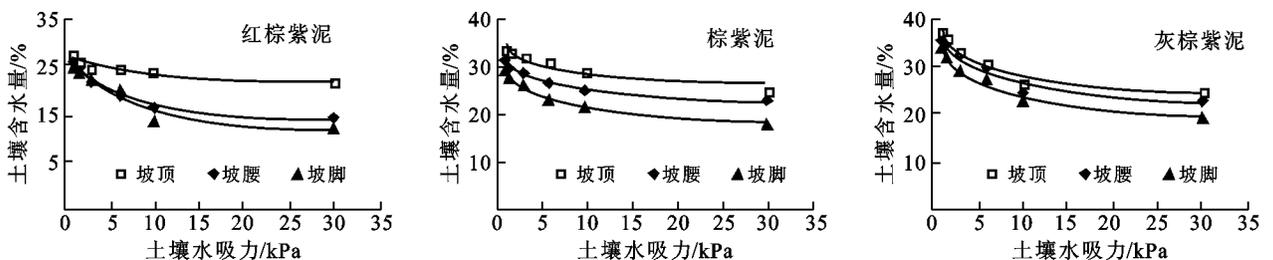


图 1 原状土的水分特征曲线

2.3.2 扰动土的水分特征曲线 对于同一质地的土壤, 不同结构会影响土壤水分特征曲线, 尤其在低吸力段范围内^[17]。容重相同的细颗粒棕紫泥在相同

外界吸力下比其它两种细颗粒土难以失去水分^[24]。图 2 表明, 在 0.0~30 kPa 吸力段, 不同处理的红棕紫泥和灰棕紫泥的脱水曲线趋势非常相似, 土壤含水

量随砾石含量逐渐减少,且无砾石土样与砾石含量为 10% 的土样之间的曲线间距明显大于其它几个土样之间的曲线间距。不同处理的灰棕紫泥的曲线趋势差异比前 2 种紫色土的稍大,在 0.0~6.0 kPa 吸力段,砾石含量为 20% 和 30% 的土样的平均脱水量无砾石土样和砾石为 10% 的土样小 1.48%,在 6.0~10 kPa 吸力段,砾石含量为 20% 和 30% 的土样的平

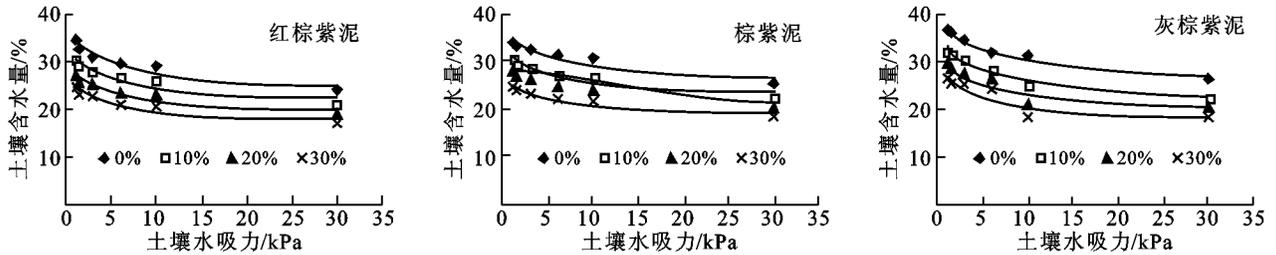


图 2 扰动土的水分特征曲线

以幂函数对不同砾石含量的紫色扰动土水分特征曲线进行拟合,拟合式的平均相关系数为 0.9153,3 种扰动紫色土的 a 值随砾石含量增加而减小,与相应原状土的 a 值变化规律相同;灰棕紫泥 b 值随砾石含量增加而增大,与原状土的 b 值变化规律相同,这可能与灰棕紫泥砾石易破碎^[25],和细颗粒土壤接触更紧密,从而接近于原状土结构的原因。

2.4 比水容量

土壤水分特征曲线的斜率即比水容量,标志着当土壤吸力发生变化时土壤能释出或吸入的水量,是与土壤水贮量和水分对植物有效程度有关的一个重要指标。

2.4.1 原状土的比水容量 将不同坡位 0~20 cm 土层在低吸力段的水分特征曲线求导,得到各个坡位的比水容量。在 0.0~30 kPa 吸力段,3 种紫色土的比水容量随土壤水吸力的增大而减小,平均比水容量是棕紫泥<红棕紫泥<灰棕紫泥,说明在同等吸力下,棕紫泥、红棕紫泥、灰棕紫泥脱水量依次增加。在 1.0~3.0 kPa 吸力段,比水容量下降得较为剧烈,基本上在 10^1 级别范围,其中坡脚的红棕紫泥、坡腰和坡脚的棕紫泥的比水容量在 3.0 kPa 时,已经降到了 10^{-1} 级别范围;在 3.0~10 kPa 吸力段,比水容量基本上在 10^{-1} 级别范围;在 30 kPa 时,除灰棕紫泥和坡顶的红棕紫泥的比水容量还维持在 10^{-1} 级别范围外,其余的比水容量都达到了 10^{-2} 级别范围。

从坡顶到坡脚,3 种土的平均比水容量都呈下降趋势,与砾石含量变化趋势一致,与物理性黏粒含量变化趋势相反。在不同吸力段,紫色砾质土失水量也明显不同,0~10 kPa 吸力段的脱水量明显大于 10~30

均脱水量无砾石土样和砾石为 10% 的土样大 3.74%,与灰棕紫泥砾石在此吸力段脱水量较大的结果一致^[25],在 10~30 kPa 吸力段,砾石含量为 20% 和 30% 的土样的脱水量较少,曲线较为平缓。这说明同质地同容重细颗粒土中的不同砾石含量会影响土壤在不同吸力段的脱水量大小不会改变脱水的主要趋势。

kPa 吸力段的脱水量,这规律与其相应砾石的脱水规律一致^[24]。

2.4.2 扰动土的比水容量 将扰动土的不同处理在低吸力段的水分特征曲线求导,得到不同砾石含量扰动土的比水容量。在 0~30 kPa 吸力段,3 种紫色土的比水容量都是随土壤水吸力的增大而减小,平均比水容量是棕紫泥<红棕紫泥<灰棕紫泥,与坡腰原状土的平均比水容量的变化趋势一致。说明在同一吸力下,同质地同容重的细颗粒土中加入不同砾石含量后,灰棕紫泥的脱水量最大,棕紫泥最小,红棕紫泥介于其间。在 1.0~1.5 kPa 吸力段,下降较为剧烈,比水容量在 10^1 级别范围;在 3.0 kPa 时,除砾石含量小于 30% 的灰棕紫泥的比水容量维持在 10^1 级别范围外,其余处理的比水容量都在 10^{-1} 级别范围;在 6.0~10.0 kPa 吸力段,比水容量都在 10^{-1} 级别范围,在 30 kPa 时,比水容量都在 10^{-2} 级别范围。3 种紫色土平均比水容量随砾石含量较少而增大,说明在同质地同容重的细颗粒土中加入同母质的砾石越多,饱和时含水量越小,在同等吸力下,失去的绝对水量也就越少。在不同吸力段,扰动紫色砾质土失水量也明显不同,0~10 kPa 吸力段的脱水量明显大于 10~30 kPa 吸力段,这规律与其原状土比水容量变化规律一致。

3 结论

(1) 砾石含量<10%,原状紫色土容重随物理性黏粒含量减少而减小,与砾石含量关系不明显;砾石含量>10%,原状紫色土容重随砾石含量减少而减小,物理性黏粒含量则相反;pH 值和土壤有机质与母质风化有关,与砾石含量关系不明显。

(2) 考虑砾石,原状紫色土饱和含水量减少 0.70% ~ 10.70%,田间持水量减少 2.07% ~ 4.33%。砾石含量 < 10%,原状紫色土饱和含水量和田间持水量随物理性黏粒含量增加而增大,与砾石含量关系不明显。砾石含量 > 10%,原状紫色土饱和含水量和田间持水量随砾石含量减少而减小,与土壤物理性黏粒含量变化趋势相反。

(3) 在 0~30 kPa 吸力段,原状土的持水能力是坡脚高于坡腰高于坡顶,幂函数拟合式的 a 值随砾石含量减少而增大, b 值则相反;比水容量随砾石含量减少而减小,与物理性黏粒含量变化趋势相反;扰动土持水能力随砾石含量增加而降低,幂函数拟合式的 a 值随砾石含量减少而增大,灰棕紫泥 b 值随砾石含量增加而增大,红棕紫泥和棕紫泥的 b 值差异较小,与砾石含量关系不明显,比水容量随砾石含量减少而增大。

[参 考 文 献]

- [1] Poesen J, Lavee H. Rock fragments in topsoils: significance and processes [J]. *Catena*, 1994, 23: 1-28.
- [2] 符素华, 段淑怀, 刘宝元. 密云石匣小流域土地利用对土壤粗化的影响 [J]. *地理研究*, 2001, 20(6): 697-702.
- [3] 李仲明. 中国紫色土(上篇) [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [4] Dane J H, Topp G C. *Methods of Soil Analysis Part 4: Physical methods* [M]. Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin, USA, 2002.
- [5] Nyssen J, Poesen J. Spatial distribution of rock fragments in cultivated soils in northern Ethiopia as affected by lateral and vertical displacement processes [J]. *Geomorphology*, 2002, 43: 1-16.
- [6] Ravina I, Magier J. Hydraulic conductivity and water retention of clay soils containing coarse fragments [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48: 736-740.
- [7] Coile T S. Moisture content of small stone in soils [J]. *Soil Science*, 1953, 75: 203-207.
- [8] Ugolini F C, Corti G, Agnelli A, et al. Under- and overestimation of soil properties in stony soils [M]. 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France. 1998.
- [9] Poesen J, Luna D E, Franca A. Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content [J]. *Catena*, 1999, 36: 315-329.
- [10] Kosmas C S, Moustakas N, Danalatos N G. The effect of rock fragments on wheat biomass production under highly variable moisture conditions in Mediterranean environments [J]. *Catena*, 1994, 23: 191-198.
- [11] Wesemael B V. Spatial patterns of soil water balance on intensively cultivated hillslopes in a semi-arid environment: the impact of rock fragments and soil thickness [J]. *Hydrological Process*, 2000, 14: 1811-1828.
- [12] Hanson C T. Soil water in coarse fragments [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1979, 43: 819-820.
- [13] Kemper W D, Nick A D, Corey A T. Accumulation of water in soils under gravel and sand mulches [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58: 56-63.
- [14] Danalatos N G, Kosmas C S, Moustakas N C. Rock fragments: II. Their impact on soil physical properties and biomass production under Mediterranean conditions [J]. *Soil Use and Management*, 1995, 11: 121-126.
- [15] 符素华. 土壤中砾石存在对入渗影响研究进展. *水土保持学报* [J], 2005, 19(1): 171-175.
- [16] 吕国安, 蔡崇法. 丹江口库区石渣土土壤水分有效性研究 [J]. *水土保持学报*, 2002, 16(3): 106-109.
- [17] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法* [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [18] Cerda A. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion [J]. *European Journal of Soil Science*, 2001, 52: 59-68.
- [19] 重庆市土壤普查办公室. *重庆土壤* [M], 1986.
- [20] 魏朝富. 四川盆南紫色土水分特征及抗旱性能的研究 [J]. *中国农业气象* 1992, 13(4): 40-43.
- [21] 李小刚. 影响土壤水分特征曲线的因素 [J]. *甘肃农业大学学报*, 1994, 29(3): 273-278.
- [22] Brakensiek D L. Soil containing rock fragments: effects on infiltration [J]. *Catena*, 1994, 23: 99-110.
- [23] 周德锋, 雍国玮. 四川紫色土持水特性的研究 [J]. *西南农业大学学报*, 1991, 13(2): 142-147.
- [24] 李燕. 紫色土砾石的分布及其对土壤水分性质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [25] 李燕, 魏朝富, 刘吉振. 丘陵紫色土砾石的性质及空间分布 [J]. *西南农业学报*, 2008, 21(5): 1320-1325.