

北京山区砾石覆盖度和砾石含量的关系研究

高杨^{1,2}, 符素华¹, 罗来军¹, 王楠¹, 朱旭¹

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京市第五中学, 北京 100007)

摘要: 砾石是各种水文和侵蚀等过程综合作用的产物, 是土壤退化和生态系统恶化的一个标志, 反过来土壤中的砾石和地表砾石也影响到各种各样的侵蚀过程。研究基于北京山区 3 块农用地地表砾石覆盖度和分层(0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm) 砾石重量百分含量数据, 对地表砾石覆盖度和砾石重量百分含量的关系进行了研究。结果表明: 地表砾石覆盖度和砾石重量百分含量之间的相关系数随采样深度的增加而减小, 相关系数和采样深度存在负相关, 表层砾石百分含量和地表砾石覆盖度之间的相关性较底层好; 梯田和自然坡两种不同状态下, 砾石覆盖度同表层砾石重量百分含量都存在一定的相关性, 砾石覆盖度与大粒径(6~20, 20~60 mm) 砾石百分含量的相关系数较小粒径(2~6 mm) 好, 砾石覆盖度与粒径 > 2 mm 的砾石重量百分含量显著正相关。

关键词: 砾石覆盖度; 砾石重量百分含量; 土壤侵蚀

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0145-05

Study on the Relationship between Rock Fragments Cover and Weight Percentage in Beijing Mountain

GAO Yang^{1,2}, FU Suhua¹, LUO Laijun¹, WANG Nan¹, ZHU Xu¹

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. No. 5 Beijing High School, Beijing 100007, China)

Abstract: Rock fragment, a sign of soil degradation and ecosystems degradation, is the results of a variety of hydrologic and erosion processes. Conversely, the rock fragment also has effect on erosion processes. The relationship between rock fragment cover and weight percentage was studied according to the data of rock fragment and rock fragment weight percentage at different depths (0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm). The results show that the linear correlation coefficient between rock fragment cover and weight percentage increased with the decrease of soil depth. The relationship between rock fragment cover and weight percentage with large-size (6~20 mm, 20~60 mm) was more significant than those with small-size (2~6 mm). When the particle size is greater than 2 mm, the rock fragment cover significantly positively correlated with weight percentage.

Key words: rock fragments cover; rock fragments weight percentage; soil erosion

砾石是指粒径 ≥ 2 mm 的矿物颗粒^[1]。土壤中的砾石分为两种, 一种是土壤表层的砾石或是部分嵌入在土壤中的砾石, 另一种是埋在土壤下层中完全被土壤包裹的砾石; 这两种砾石对侵蚀过程的影响不完全一致^[2]。砾石裸露于地表或是部分嵌入在土壤中, 主要影响降雨截留、砾石流、下渗、地表径流以及蒸散发; 砾石在土壤下层完全被土壤包围对侵蚀过程的影响主要包括渗流、下渗以及径流的产生。

现有的土壤侵蚀过程模型如 WEPP, EUROSEM 等都要求入渗参数的空间分布信息, 以准确

预报、模拟径流和土壤侵蚀的变化规律, 而土壤中砾石的含量在一定程度上影响着土壤入渗速率。Simanton 等^[4]在水蚀预报研究中指出, 砾石对侵蚀有重要的影响, 侵蚀预报模型需要用户输入覆盖和土壤剖面描述, 如果能建立起来一种关系来表达土壤坡面砾石含量同砾石覆盖度的关系, 那么用户的直接输入将会变少。

国外针对砾石覆盖度和土壤中砾石含量对水文和土壤侵蚀的影响进行了众多的研究, 主要集中在以下两个方面: (1) 研究砾石覆盖同地形因子的关系, 试

收稿日期: 2010-12-26

修回日期: 2011-05-25

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究(2007CB407204)”; 国家自然科学基金(40201031); 北京市自然科学基金(8072016)

作者简介: 高杨(1985), 男, 河南人, 硕士, 研究方向: 土壤侵蚀和水土资源管理。E-mail: gyangbnu@126.com

通信作者: 符素华(1973-), 女, 四川人, 博士, 副教授, 研究方向: 土壤侵蚀机理。E-mail: suhua@bnu.edu.cn

图建立砾石覆盖度同坡度的定量关系^[5-10]; (2) 单独研究砾石覆盖或砾石含量对各种侵蚀过程的影响, 例如: 入渗、蒸散发、径流和侵蚀量等^[11-15]。很少有人去关注砾石覆盖度同砾石重量百分含量的关系。北京山区的土壤中含有大量的砾石, 这些砾石的存在可能对北京山区的侵蚀和水文过程产生影响。本文就北京山区的砾石覆盖度和土壤中砾石含量展开研究, 建立砾石覆盖度和砾石重量百分比的关系。目的在于减少侵蚀模型中用户的输入, 提高预报的精度, 为土石山区水土流失治理提供依据。

1 研究方法

1.1 采样方案

本研究选择了北京密云山区的 3 块农用地。其中高岭农用地 A 和高岭农用地 B 为梯田, 高岭农用地 A 的土地利用方式以花生地为主, 高岭农用地 B 的土地利用方式以栗子树和花生混合种植为主; 北庄朱家湾农用地 C 为自然坡面, 土地利用方式以零散的栗子树为主。

考虑农用地的地形以及坡面的高差, 在梯田的等高耕作层或坡面的不同坡位处等间隔的设计采样区域。如图 1 所示从坡顶到坡底设置 5 个采样区域, 并在每个采样区域附近处重复 3 个采样。这样一块农用地总共设置 15 个采样点, 3 块农用地共有 45 个采样点。

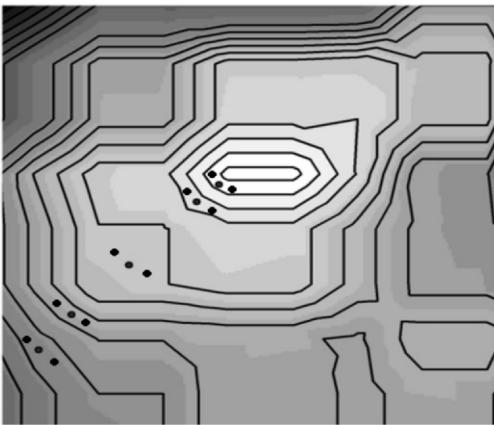


图 1 采样点分布示意图

1.2 土样采集及砾石覆盖度测量

按照室内设计的采样点布设方案, 在农用地不同坡位处设置采样点。将定制的高 1 cm、直径为 40 cm 的圆形铁皮框小心放到采样点上。借助于打孔直尺, 并按预先约定的规则在 8 个方向上读取出现砾石的小孔数量, 每个采样点都有 4 人独立的在 8 个方向上读取数据, 最后取 4 人读数的平均值计算采样点的砾石覆盖度(如图 2 所示)。然后借助于小铁锤和敲打支架将高为 5 cm、直径为 40 cm 的圆形铁皮框小心

的敲打进刚刚读数的采样区域内。最后用小铁铲、直尺、水平铲小心的分层的采取 0- 2, 2- 5, 5- 10, 10- 15, 15- 20 cm 深度圆形区域内的土样。

共在高岭农用地 A 上采集 14 个采样点的砾石覆盖度, 5 层采样(0- 2, 2- 5, 5- 10, 10- 15, 15- 20 cm) 共 70 个土样来获取砾石重量百分含量。在高岭农用地 B 和北庄农用地 C 分别采集了 15 个采样点的砾石覆盖度, 3 层(0- 2, 2- 5, 5- 10 cm) 共 90 个土样。

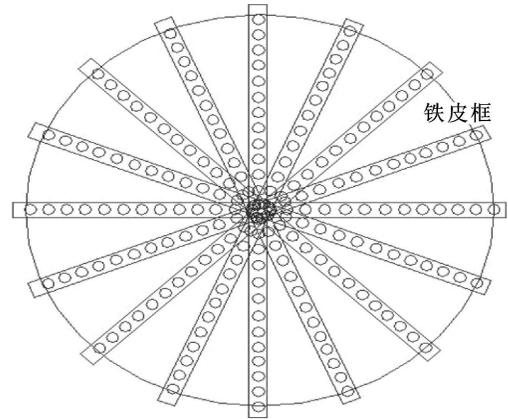


图 2 覆盖度测量示意图

1.3 室内样品分析

将野外采集的土样, 放入土壤室中自然风干。每个采样点的土样经风干后均匀混合, 并用铝盒取 3 个土样, 通过烘干前和烘干后的重量变化计算风干土的含水量。用天平对采样点的风干土称重, 通过计算的含水量数据得到烘干土的总重量 M 。随后用定制的直径为 40 cm, 粒径分别为 2, 6, 20, 60 mm^[16] 的大土样筛, 对风干土样过筛。按照筛子孔径从小到大依次放置, 收集 2~ 6, 6~ 20, 20~ 60, > 60 mm 四种不同粒径下的砾石。砾石在过筛过程中, 以手和工具是否将筛中的砾石弄碎作为标准, 来看是否为真正的砾石^[16]。最后将收集到的砾石在清水下反复冲洗干净, 放入烘箱中烘干过筛并再次称重。那么 2~ 6 mm 下的砾石重量即为 M_1 , 6~ 20 mm 粒径下的砾石重量即为 M_2 , 20~ 60 mm 粒径下的砾石重量即为 M_3 , > 60 mm 粒径下的砾石重量即为 M_4 。

砾石覆盖度的计算方法:

$$\text{砾石覆盖度} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{4 \times 8 \times B} \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_1, A_2, A_3, A_4 ——不同观测者读取的出现砾石的小孔个数; B ——打孔直尺小孔总个数。

砾石重量百分含量的计算:

$$C_i = \frac{M_i}{M} \times 100\% \quad (2)$$

式中: C_i ——不同粒径下的砾石百分含量; C_1 ——2~ 6 mm 下的砾石重量百分含量; C_2 ——6~ 20 mm 下

的砾石重量百分含量; C_3 —— 20~ 60 mm 下的砾石重量百分含量; C_4 —— > 60 mm 下的砾石重量百分含量, M_i —— 不同粒径下的砾石重量; M_1 —— 2~ 6 mm 下的砾石重量; M_2 —— 6~ 20 mm 下的砾石重量; M_3 —— 20~ 60 mm 下的砾石重量; M_4 —— > 60 mm 下的砾石重量。

2 结果分析

2.1 砾石覆盖度和砾石百分含量关系随深度的变化

在高岭农用地 A 的基础上, 基于室外数据采集和室内数据处理, 用 SPSS 统计分析软件的线性回归分析功能统计不同粒径、不同采样深度下, 砾石重量百分含量和砾石覆盖度的线性相关系数和双尾检验的 P 值见表 1。需要说明的是采集的样本中几乎不存在大于 60 mm 的砾石。

表 1 不同深度砾石含量和砾石覆盖度的关系统计

粒径/mm	采样深度/cm	相关系数	双尾检验
2~ 6	0- 2	0.4424	0.1132
	2- 5	0.5138	0.0602
	5- 10	0.2507	0.3872
	10- 15	0.3317	0.2467
	15- 20	0.2944	0.3068
2~ 20	0- 2	0.6466	0.0107
	2- 5	0.7347	0.0028
	5- 10	0.6599	0.0102
	10- 15	0.6546	0.011
	15- 20	0.4838	0.0796
2~ 60	0- 2	0.8671	5.9325E- 05
	2- 5	0.7958	6.6358E- 04
	5- 10	0.5842	0.0283
	10- 15	0.5804	0.0295
	15- 20	0.5173	0.0582
6~ 20	0- 2	0.6369	0.0143
	2- 5	0.6790	0.0076
	5- 10	0.6697	0.0088
	10- 15	0.6026	0.0226
	15- 20	0.5928	0.0255
6~ 60	0- 2	0.8179	3.5119E- 04
	2- 5	0.7130	0.0042
	5- 10	0.5115	0.0616
	10- 15	0.4666	0.0926
	15- 20	0.4721	0.0883
20~ 60	0- 2	0.6656	0.0094
	2- 5	0.6811	0.0073
	5- 10	0.3713	0.1912
	10- 15	0.3570	0.2102
	15- 20	0.2751	0.3412

从表 1 结果可以发现, 砾石重量百分含量和砾石覆盖度之间具有一定的相关性, 但是这种关系的强弱随着不同的粒径组合和采样的土壤深度的改变而改

变。当采样深度确定时, 组合粒径下(2~ 20, 2~ 60, 6~ 60 mm) 的砾石重量百分含量和砾石覆盖度的线性关系较单一粒径下(2~ 6, 6~ 20, 20~ 60 mm) 的线性关系好。

为了进一步分析和揭示深度对砾石覆盖度和砾石百分含量关系的影响, 基于农用地 A 的 14 个采样点数据, 绘制了 9 种粒径组合下, 砾石覆盖度和砾石重量百分含量的相关系数随采样深度的变化图(图 3)。

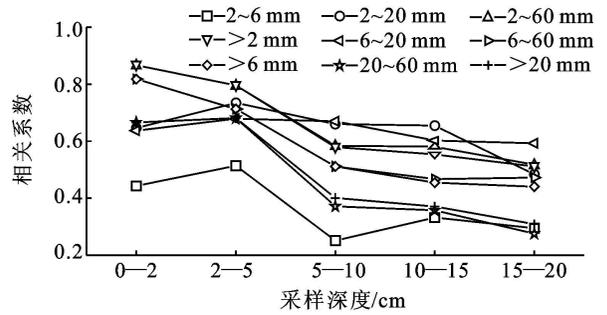


图 3 砾石覆盖度和百分含量的相关系数与采样深度的关系

从图 3 中可以看出, 每种粒径组合下线性相关系数随采样深度的增加而减小, 相关系数和采样深度存在负相关。也就是说表层砾石百分含量和砾石覆盖度的线性相关关系较底层的好。这可以解释为当地表由于耕作被扰动后, 地表植被较少, 伴随降雨侵蚀的作用下, 表层 0- 2 cm 的砾石慢慢的裸露于地表。地表的砾石覆盖正是表层砾石裸露后形成的, 所以砾石覆盖度和砾石百分含量的关系在表层最好, 随着采样深度的增加, 相关系数也在降低。

2.2 砾石覆盖和砾石重量百分含量的关系

由于所采集的样本数据包含两种不同土地利用方式。高岭农用地 A 和高岭农用地 B 为梯田, 北庄农用地 C 为自然坡面。为了比较两种土地利用方式对砾石覆盖和砾石重量百分含量关系有无显著性影响, 对北庄自然坡面上 0- 2 cm 的表层测量结果数据分组进行配对 T 检验, 分组数据如表 2 所示。

配对 T 检验的结果表明: $P = 0.009$, 按显著性水平 $\alpha = 0.05$, $P < \alpha$ 所以可认为同一砾石覆盖度下两种土地利用方式的砾石重量百分含量有显著性差异(表 3)。

基于以上分析, 在建立砾石覆盖度和砾石重量百分含量的线性关系时分成为两种情况, 一种为梯田状态下的砾石覆盖度和砾石重量百分含量的关系, 一种为自然坡面状态下的砾石覆盖和砾石百分含量的关系。同时砾石覆盖度和砾石重量百分含量线性关系随深度变化的分析结果表明, 表层(0- 2 cm) 和第二层(2- 5 cm) 的砾石重量百分含量同覆盖度的相关性较好, 表层关系更佳。所以下面分析全部基于表层采样数据, 并建立砾石覆盖度同砾石重量百分含量的线性关系。

表 2 两种土地利用方式下的数据分组

砾石覆盖度/ %		10	11	12	13	16	23	25	26	28~ 29	33~ 34
砾石	梯田(C ₁)	17.8	20.6	21.9	18.7	18.4	16.9	19.1	28.7	28.5	37.3
含量/ %	自然坡面(C ₂)	30.0	26.9	25.8	26.6	32.4	31.9	36.7	32.1	29.6	31.5

表 3 配对 t 检验结果

均值	标准差	标准误	95% 置信区间		t 值	自由度	P 值(双尾)
			下限	上限			
- 7.58	7.23	2.29	- 12.76	- 2.41	- 3.32	9	0.009

2.2.1 梯田状态下的砾石覆盖度和砾石重量百分含量关系 图 4 表明砾石覆盖度与不同粒径下砾石重量百分含量都存在一定的相关性,但相关性强弱不同。砾石覆盖度与 2~ 6 mm 粒径下砾石重量百分含量的相关性最弱(线性相关系数 $R=0.4254$, 双尾检验 $P=0.0214$);砾石覆盖度与 6~ 20 mm 粒径下砾石重量百分含量也有一定的相关性($R=0.4626$, 双尾检验 $P=0.0115$);砾石覆盖度与 20~ 60 mm 粒径

下砾石重量百分含量有较好的相关性(线性相关系数 $R=0.5664$, 双尾检验 $P=0.0115$);砾石覆盖度与 > 2 mm 的砾石重量百分含量正相关最好(线性相关系数 $R=0.6214$, 双尾检验 $P=3.2152E-05$),线性关系为:

$$y = 0.8396x - 1.4580 \quad (3)$$

式中: $x \rightarrow > 2$ mm 的砾石重量百分含量; $y \rightarrow$ 砾石覆盖度。

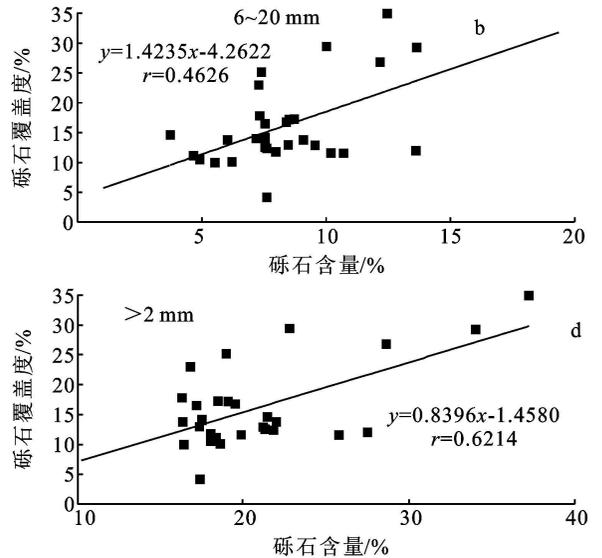
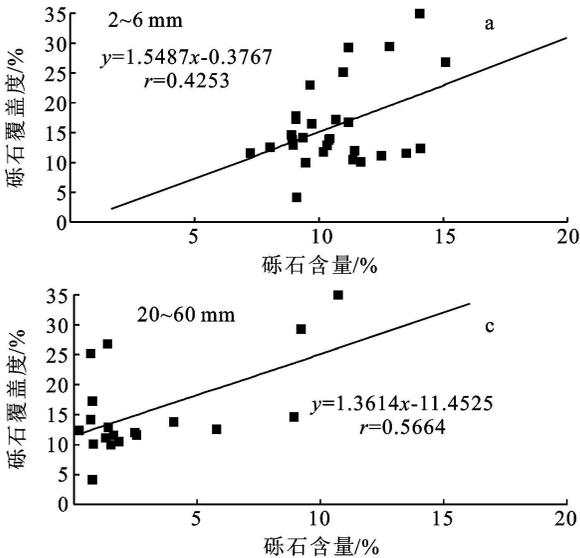


图 4 梯田状态下砾石覆盖度和砾石百分含量的关系

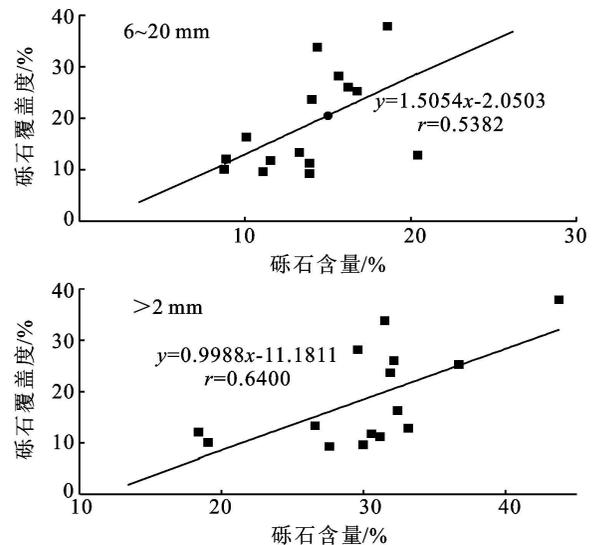
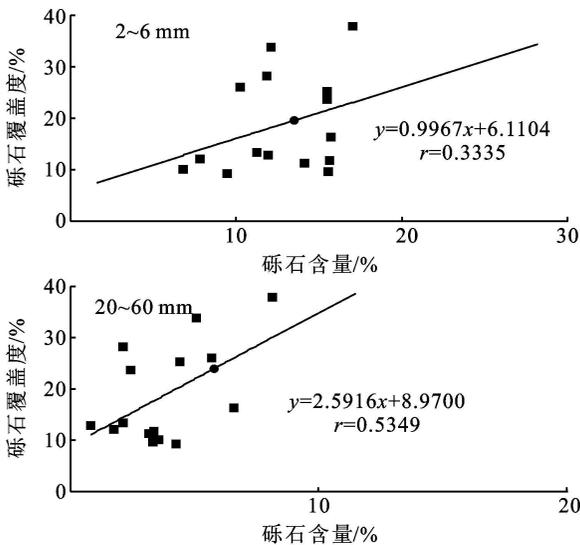


图 5 自然坡面状态下砾石覆盖度和砾石百分含量的关系

2.2.2 自然坡面状态下的砾石覆盖度和砾石重量百分含量的关系 图5表明砾石覆盖度与不同粒径下砾石重量百分含量的相关性存在差异。砾石覆盖与2~6 mm 粒径下砾石重量百分含量相关性很弱(线性相关系数 $R=0.3335$, 双尾检验 $P=0.2244$); 砾石覆盖度与6~20 mm 粒径下砾石重量百分含量有一定的相关性(线性相关系数 $R=0.5382$, 双尾检验 $P=0.0385$); 砾石覆盖度与20~60 mm 粒径下砾石重量百分含量也呈现出一定的相关性(线性相关系数 $R=0.5349$, 双尾检验 $P=0.0399$); 砾石覆盖度与 >2 mm 的砾石重量百分含量正相关最好(线性相关系数 $R=0.6400$, 双尾检验 $P=0.0102$), 线性关系为:

$$y=0.9988x-11.1811 \quad (4)$$

式中: $x \longrightarrow$ 2 mm 的砾石重量百分含量; $y \longrightarrow$ 砾石覆盖度。

3 结论

基于北京山区不同耕作方式下的3块农用地砾石覆盖度和分层(0~2, 2~5, 5~10, 10~15, 15~20 cm)砾石重量百分含量数据,对砾石覆盖和砾石含量之间的关系进行了研究,得出以下结论:(1)砾石覆盖度和含量之间的相关系数随采样深度的增加而减小,表层砾石百分含量和砾石覆盖的相关性较底层好;(2)梯田和坡地两种不同土地利用方式下,砾石覆盖度同表层砾石重量百分含量都存在一定的相关性,砾石覆盖同大粒径(6~20, 20~60 mm)砾石百分含量的相关系数较小粒径(2~6 mm)好。对所有粒径(2~60 mm)的砾石来说,砾石覆盖度同砾石重量百分含量显著正相关。

参考文献:

[1] Miller F T, Guthrie R L. Classification and distribution of soils containing rock fragments in the United States [J]. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ, 1984, 13: 1-6.
 [2] Poesen J, Lavee H. Rock fragments in top soils: significance and processes[J]. Catena, 1994, 23(1/2): 1-28.
 [3] 符素华. 土壤中砾石存在对入渗影响研究进展[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 171-175.
 [4] Simanton J R, Renard K G, Christiansen C M, et al. Spatial distribution of surface rock fragments along catenas in Semiarid Arizona and Nevada, USA[J]. Catena,

1994, 23(1/2): 29-42.

- [5] Poesen J W, Van Wesemael B, Bunte K, et al. Variation of rock fragment cover and size along semiarid hillslopes: a case study from southeast Spain[J]. Geomorphology, 1998, 23(2/4): 323-335.
 [6] 朱元骏, 邵明安. 黄土高原水蚀风蚀交错带小流域坡面表土砾石空间分布[J]. 中国科学: D辑地球科学, 2008, 38(3): 375-383.
 [7] Yair A, Klein M. The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in an arid area[J]. Catena, 1973, 1: 1-18.
 [8] Martinez M, Lane L J, Fogel M M. Experimental investigation of soil detachment by raindrop impacts[M] // Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop. Tucson, A Z, USDA ARM-W-10, 1979: 153-155.
 [9] Simanton J R, Renard K G, Christiansen C M, et al. Spatial distribution of surface rock fragments along catenas in Semiarid Arizona and Nevada, USA[J]. Catena, 1994, 23(1/2): 29-42.
 [10] Simanton J R, Toy T J. The relation between surface rock fragment cover and semiarid hillslope profile morphology[J]. Catena, 1994, 23(3/4): 213-225.
 [11] Poesen J, Van Wesemael B, Govers G, et al. Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion[J]. Geomorphology, 1997, 18(3/4): 183-197.
 [12] Cerda A. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion[J]. European Journal of Soil Science, 2001, 52(1): 59-68.
 [13] Katra I, Lavee H, Sarah P. The effect of rock fragment size and position on topsoil moisture on arid and semi-arid hillslopes[J]. Catena, 2008, 72: 49-55.
 [14] Tomas D F, Poesen J. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil[J]. Soil & Tillage Research, 1998, 46: 81-95.
 [15] Nyssen J, Haile M, Poesen J, et al. Removal of rock fragments and its effect on soil loss and crop yield[J]. Soil Use and Management, 2001, 17(3): 179-187.
 [16] Hodgson J M. Soil sampling and soil description[M]. Oxford: Oxford University Press, 1978.
 [17] Nyssen J, Poesen J, Moeyersons J, et al. Spatial distribution of rock fragments in cultivated soils in Northern Ethiopia as affected by lateral and vertical displacement processes[J]. Geomorphology, 2002, 43(1/2): 1-16.