

模拟降雨下坡度对含砾石土壤径流和产沙过程的影响

吴冰¹, 邵明安^{1,2}, 毛天旭¹, 朱元骏²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 对含砾石土壤径流和产沙过程的研究不仅有助于深入理解该类型土壤中的水土过程, 也可以为基于过程的土壤侵蚀模型模拟提供重要的土壤参数。通过室内模拟降雨试验, 分析了 3 个坡度下含砾石土壤中的径流和产沙过程, 研究结果表明, 不同砾石含量的土壤在不同坡度下的产流在 0~20 min 内有明显增加的趋势, 之后径流趋于平稳。随着砾石含量的增加, 坡度对径流的影响减弱。坡面产沙高峰期出现在 0~20 min 内, 且高峰期产沙量占总产沙量比例相对较大; 当坡度为 15° 时, 砾石含量(质量含量百分比)为 20%, 30%, 40% 的土壤在 30 min 后产沙量又增加, 与其他坡度相比, 土壤总产沙量也明显增加。实验中坡度是决定土壤产沙量的主要因素。

关键词: 降雨; 径流量; 产沙量; 砾石含量; 坡度

中图分类号: S152.7; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0054-05

Effects of Slope Gradient on Runoff and Sediment Process in Stony Soil by Stimulated Rainfall

WU Bing¹, SHAO Ming-an^{1,2}, MAO Tian-xu¹, ZHU Yuan-jun²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Investigation on the process of runoff and sediment in stony soil can help to understand soil and water process in this kind soil and also provide significant soil parameters for soil erosion process modeling. In this study, the processes of runoff and sediment in soil containing gravels under three slope gradients were analyzed by simulated rainfall experiments. The results indicated that the runoff in stony soil increased obviously during 0~20 min and then became steady. The effect of gradient on runoff was weakened with the increasing of gravels in the soils. The peak period of sediment generation appeared between 0~20 min. The sediment yields generated during this stage accounted for a considerable proportion to the total. When the gradient reached 15°, the sediment yields of soils with the gravel contents of 20%, 30% and 40% increased again after 30 min. And total soil sediment yields under this gradient increased greatly compared with others. In the experiments, the gradient of the slope dominated the sediment yield.

Key words: rainfall; runoff; sediment yield; gravel contents; slope gradient

由于成土过程以及人类活动的影响, 含砾石土壤在黄土高原地区分布较为广泛。砾石在密度、尺寸、透水性、表面结构上与土壤颗粒不同, 导致其在一定程度上能显著改变土壤结构和物理特性^[1], 进而影响坡面水土过程(入渗、径流、产沙)^[2-4]。国外自 20 世纪 30 年代起就开始对土壤中砾石的重要性进行评

价, 并对其对水文过程影响展开研究。多数室内试验表明砾石能够阻止降雨入渗, 增加地表径流量; 含砾石土壤容易形成集中流, 导致强烈的土壤侵蚀^[5-7]; 另一方面, 随砾石含量的增加, 土壤中的大孔隙也随之增加, 有可能促进入渗^[8-9]。国内学者在坡面尺度上进行的入渗和产沙过程模拟降雨研究结果表明, 砾石

收稿日期: 2010-04-26

资助项目: 国家自然科学基金(40801104)

作者简介: 吴冰(1987-), 男, 陕西富平人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为土壤物理学。E-mail: wubing_32@qq.com

通信作者: 邵明安(1956-), 男, 湖北常德人, 研究员, 主要方向为土壤物理学。E-mail: mashao@ms.iswc.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

含量在一定范围内能增加降雨过程中的土壤入渗率、降低侵蚀产沙量^[10-12]。然而,在自然条件下,砾石对坡面水土过程的影响是多种因素叠加作用的结果。由于研究方法和手段的欠缺,国内外相关研究较少涉及对不同坡度下含砾石土壤水土过程的研究。导致对坡面尺度上非均质土壤中水土过程的了解不足。深入了解这一过程不仅是水土过程及模型模拟的基础,也可以促进特定地区水土资源的保护和合理利用。

本试验通过室内模拟降雨来研究降雨过程中不同坡度下含砾石土壤的径流和产沙随时间的变化,初步探讨坡度对砾石土壤径流和产沙的影响,为该类型土壤的水土资源合理利用提供科学依据。

表 1 土壤颗粒组成

项目	不同粒径/mm						质地
	1~ 0.25	0.25~ 0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	< 0.001	
含量/ %	2.25	19.04	34.23	16.92	21.95	5.61	粉壤土

1.2 试验方法

将风干过筛的土壤与砾石(直径为 20~ 75 mm)按 10: 0, 9: 1, 8: 2, 7: 3, 6: 4 的质量比均匀混合(砾石质量含量分别为 0, 10%, 20%, 30%, 40%)。土壤容重控制为 1.35 g/cm³, 实测砾石密度为 2.65 g/cm³, 分 5 层装入土槽中, 每两层之间打毛以防止土体分层。降雨过程中, 雨强控制在 60 mm/h(实际按率定雨强计算), 坡度控制为 5°、10°和 15°。降雨时, 用 SONY(DSC- HX1 型) 数码摄像机进行全程摄像, 并记录土槽产流时间。产流开始后每隔 1 min 收集一次径流, 每 5 min 测定一次坡面水流流速(采用 KMnO4 染色剂法, 记录水流流过固定坡长的时间, 然后换算成流速)。降雨历时 60 min(从产量开始算起)。降雨结束后, 用称重法和烘干法分别得到径流量和产沙量。

2 结果与分析

2.1 降雨过程中坡面径流量变化

图 1 为不同坡度下不同砾石含量的土壤在坡面产流开始后径流量随时间的变化趋势图。从图 1 中可以看出, 同一砾石含量的土壤在不同坡度下径流量随时间呈上升的趋势, 其中降雨的产流在 0~ 20 min 内有明显增加的趋势, 随后径流量随时间的变化趋于平稳。砾石含量为 0 的土壤总径流量在不同坡度间的大小依次是 5°> 15°> 10°, 其平均入渗深度依次为 10°> 15°> 5°, 与总径流量的变化正好相反。形成这种现象的原因主要在于: 在径流量计算过程中, 使用了水量平衡法(即径流等于降雨减去入渗), 导致坡面

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室人工降雨大厅进行。试验选用规格为 3 m (长) × 1 m (宽) × 0.5 m (深) 的自制铁质土槽模拟坡面, 供试土壤取自西北农林科技大学试验地表层瘠土(钙积土垫旱耕人为土)。土壤过 5 mm 筛, 风干并测定土壤初始含水率(3%左右)。土壤颗粒组成见表 1 (国际土壤质地分类系统), 试验用砾石取自渭河河滩(花岗岩风化物), 洗净后分别过 20 mm 和 75 mm 筛, 留取 20~ 75 mm 的砾石作为供试砾石, 自然风干。

径流量与土壤入渗深度密切相关, 入渗深度大(相应入渗的水分就越多)则径流量小, 反之亦然。其他砾石含量的土壤总径流量的变化均符合这个规律。另外, 从图 2 中可以发现, 随着砾石含量的增加, 坡度对径流的影响减弱。这可能是由于砾石含量的增加, 土壤表面裸露的砾石越多, 导致径流流速增加。试验数据也表明, 与均质土壤相比, 表层具有砾石的土壤其径流流速更快。试验中, 砾石含量及坡度与流速呈正相关; 随着坡度的增加, 其对坡面径流流速的影响减弱。

采用线性回归模型对累计径流量随时间的变化进行拟合, 发现累计径流量与时间呈显著线性相关, 可用以下公式来表达这种关系:

$$W(t)=at+b$$

式中: W ——累计径流量(kg); t ——时间(min); a , b ——拟合参数, 见表 2。

表 2 累计径流量随时间变化的线性拟合结果

坡度	参数	砾石含量/ %				
		0	10	20	30	40
5°	a	1.86	1.94	1.58	1.51	1.82
	b	- 6.61	- 5.43	- 6.18	- 5.87	- 5.53
	R^2	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
10°	a	1.41	1.60	1.67	1.65	1.77
	b	- 7.43	- 5.81	- 5.90	- 5.72	- 7.24
	R^2	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
15°	a	1.57	1.60	1.69	1.58	1.76
	b	- 5.07	- 6.69	- 5.94	- 7.60	- 5.67
	R^2	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

注: a 和 b 为线性拟合参数, R^2 为相关性系数

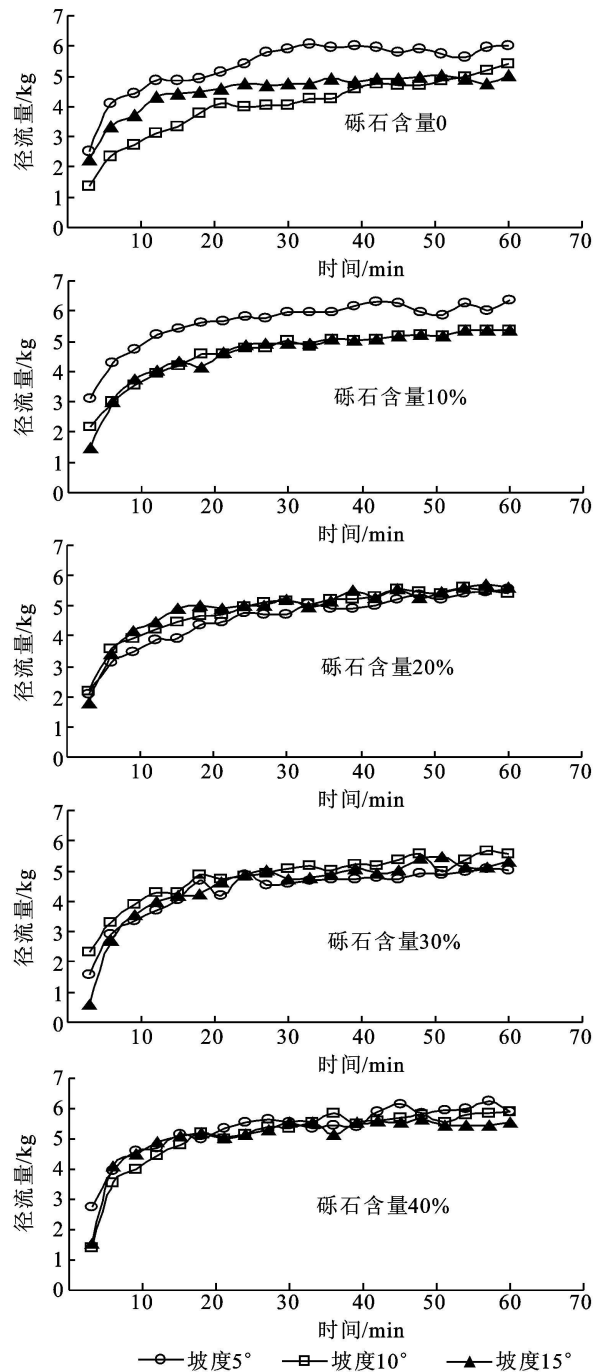


图 1 不同坡度下含砾石土壤中径流量随时间的变化趋势

2.2 降雨侵蚀产沙过程

图 3 是含砾石土壤在不同坡度下产沙量随时间的变化趋势。从图中可以看出,含砾石土壤在不同坡度下均表现出先增加后减少的趋势。其原因可能是雨水击溅产生大量分散的土壤颗粒,被坡面薄层水流运走,形成产流后的第一个产沙高峰期(产流后 0 ~ 20 min)。

此产沙高峰期, 5 个不同砾石含量(分别为 0, 10%, 20%, 30%, 40%)土壤产沙量占总产沙量的比例分别为: 47. 8%, 54. 6%, 53. 2%, 48. 5%、

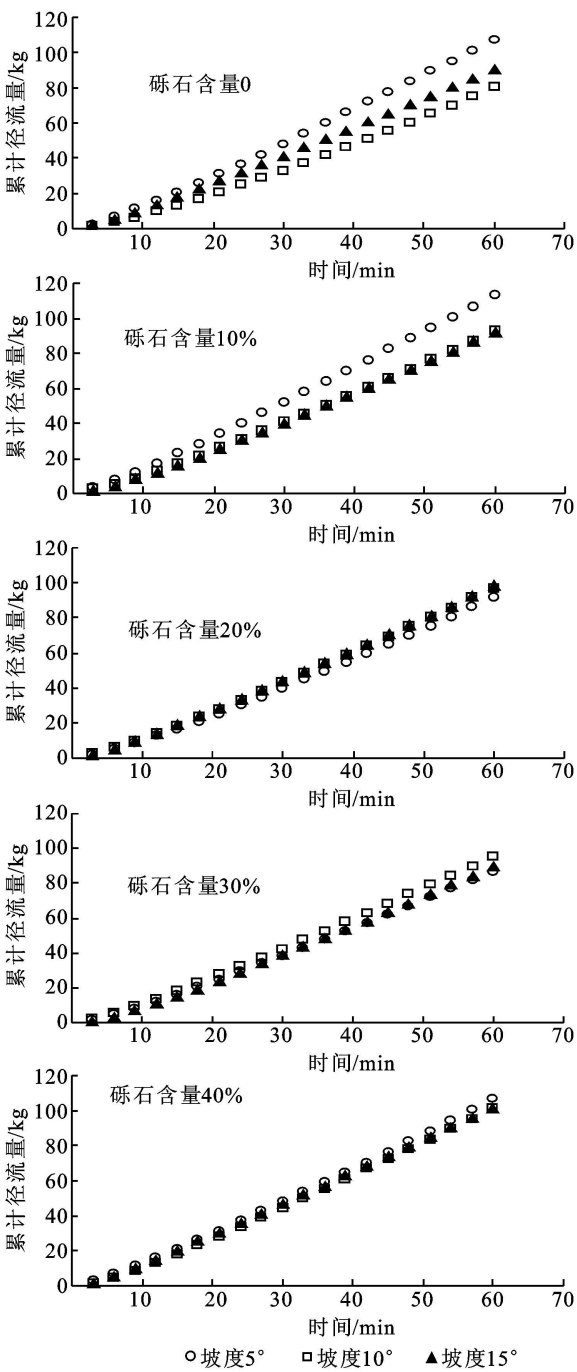


图 2 不同坡度下含砾石土壤中累计径流量随时间的变化

49. 3%(5°), 58. 2%、38. 8%, 57. 3%, 38. 5%, 41. 9% (10°) 和 40. 8%, 23. 7%, 41. 2%, 39. 4%, 35. 4% (15°)。砾石含量为 20%, 30%, 40% 的土壤在坡度为 15°时在 30 min 后又出现明显的增加的趋势。

从图 4 可以看出, 坡度由 10°变化到 15°时, 砾石含量为 20%, 30%, 40% 的土壤产沙量分别增加了 71. 9%, 74. 2%, 47. 7%。原因可能是随着坡度的增加, 坡面径流冲刷能力增强, 加之砾石与土壤结合处是侵蚀发生的重点区域, 导致此区域土壤侵蚀严重, 细沟出现, 产沙量增加。

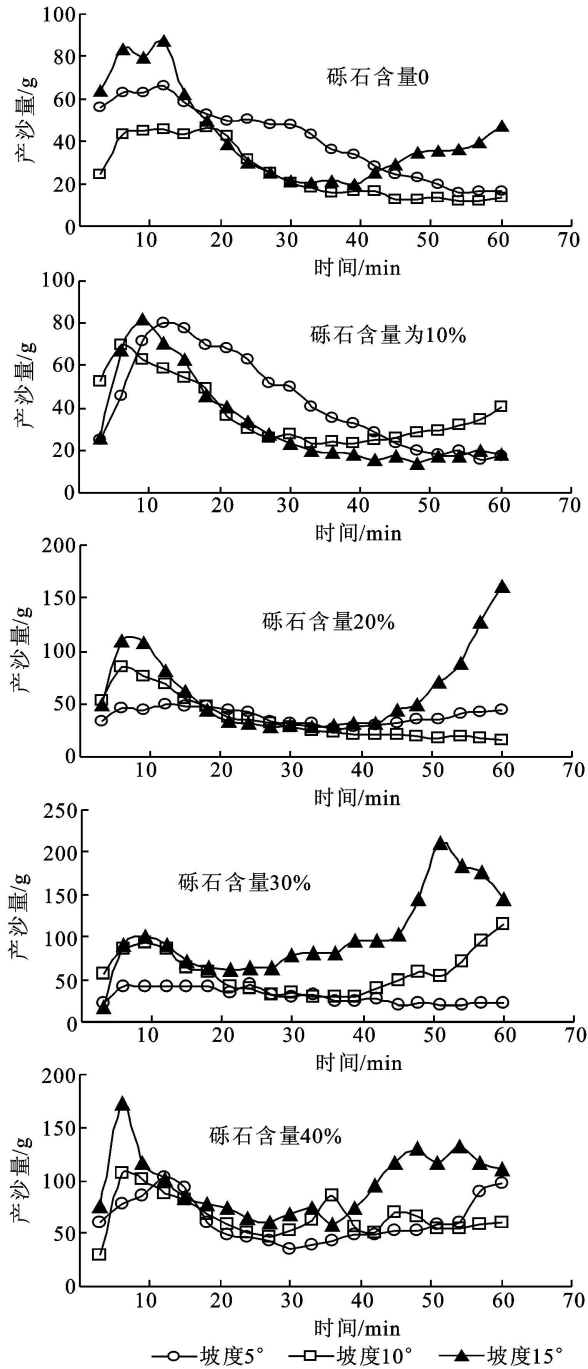


图 3 不同坡度下含砾石土壤中产沙量随时间的变化趋势

3 结 论

本研究针对 3 个坡度下 5 个不同砾石含量土壤的径流和产沙过程及坡度对其的影响进行了初步分析,得出以下结论:

- (1) 不同砾石含量的土壤在降雨产流后 0~ 20 min 内坡面径流有明显增加的趋势,之后趋于平稳;随着砾石含量的增加,坡度对径流的影响减弱。另外,累计径流量与时间之间呈良好的线性关系。
- (2) 不同砾石含量的土壤产沙高峰期出现在降雨产流后 0~ 20 min 内,此产沙高峰期,5 个不同砾石含

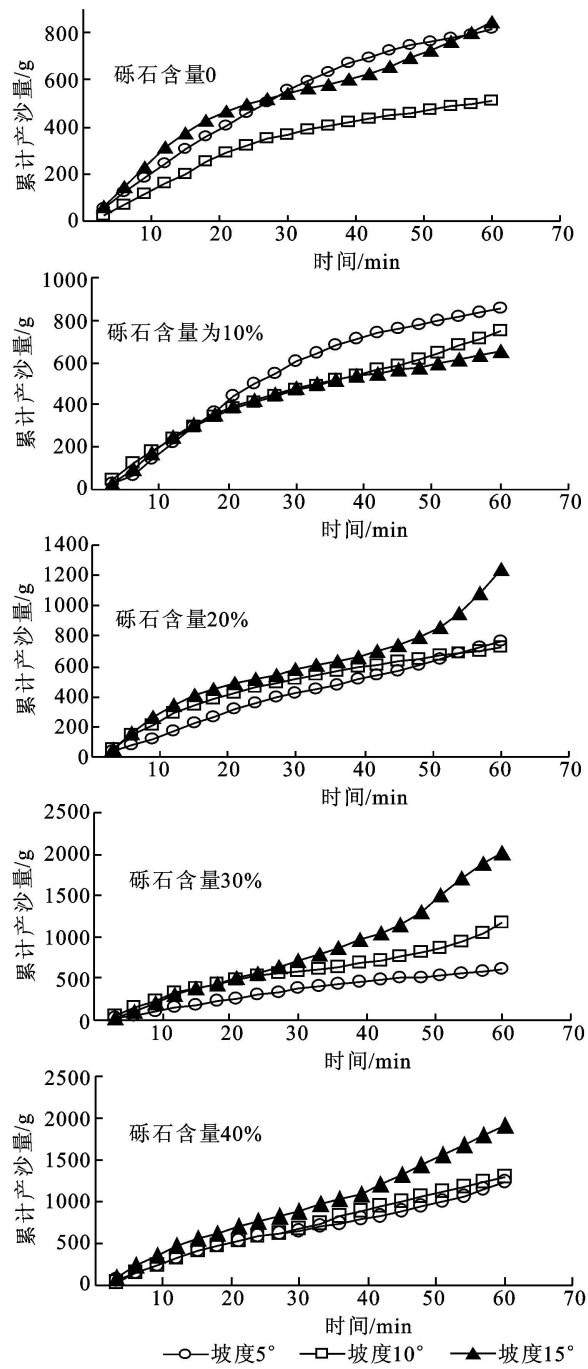


图 4 不同坡度下含砾石土壤中累计产沙量随时间的变化量(分别为 0, 10%, 20%, 30%, 40%) 土壤产沙量占总产沙量的比例分别为: 47. 8%, 54. 6%, 53. 2%, 48. 5%, 49. 3% (5°), 58. 2%, 38. 8%, 57. 3%, 38. 5%, 41. 9% (10°) 和 40. 8%, 23. 7%, 41. 2%, 39. 4%, 35. 4% (15°)。当坡度较大时,较高砾石含量的土壤在产流 30 min 后,产沙量又出现明显增加的趋势。

- (3) 坡度对含砾石土壤总产沙量有很大影响。尤其当坡度从 10° 增加到 15° 时,砾石含量为 20%, 30%, 40% 的土壤总产沙量显著增加,分别增加了 71. 9%, 74. 2%, 47. 7%。

由于其他因素,如砾石形状、尺寸以及坡面形态等都会影响坡面径流和入渗,导致含砾石土壤中水土过程尤为复杂。全面深入理解该类型土壤中的水土过程还需综合考虑以上因素的影响。

参考文献:

- [1] Van Wesemael B, Poesen J, de Figueiredo T. Effects of rock fragments on physical degradation of cultivated soils by rainfall[J]. Soil and Tillage Research, 1995, 33: 229-250.
- [2] Poesen J, Torri D, Bunte K. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review [J]. Catena, 1994, 23: 141-166.
- [3] Brakensiek D L. Soil containing rock fragments: effects on infiltration[J]. Catena, 1994, 23: 99-110.
- [4] Poesen J, Lavee H. Rock fragments in topsoils: significance and processes[J]. Catena, 1994, 23: 1-28.
- [5] Poesen J. Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments[J]. Earth Surf. Process Landforms, 1986, 11: 1-10.
- [6] Poesen J, Ingelmo-Sanchez F, Mficher H. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer[J].

Earth Surf. Process Landforms, 1990, 15: 653-671.

- [7] Valentin C. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa[J]. Catena, 1994, 23: 87-97.
- [8] Dunn A J, Mehuys G R. Relationship between gravel content of soils and saturated hydraulic conductivity in laboratory tests[C]// Nichols J D. Erosion and Productivity of Soils Containing Rock Fragments. Special Publication, 13. Soil Science Society of America, Madison, WI. 1984.
- [9] Rawls W J, Stone J J, Brakensiek D L. Infiltration [M]//USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Version. NSER1 Report Number 2, National Soil Erosion Research Laboratory, USDA-ARS, West Lafayette, IN, Ch., 1989.
- [10] Simanton J R, Renard K G, Christiaensen C M, et al. Spatial distribution of surface rock fragments along catenas in semi-arid Arizona and Nevada [J]. Catena, 1994, 23: 29-42.
- [11] Marques M A, Mora E. The influence of aspect on runoff and soil loss in a Mediterranean burnt forest Spain [J]. Catena, 1992, 19: 333-344.
- [12] 朱元骏,邵明安.不同砾石含量的土壤降雨入渗和产沙过程初步研究[J].农业工程学报, 2006, 22(2): 64-67.

(上接第 53 页)

- [11] 李登科. 陕西吴起植被动态及其与气候变化的关系 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1811-1816.
- [12] 范锦龙, 李贵才, 张艳. 阴山北麓农牧交错带植被变化及其对气候变化的响应 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1528-1532.
- [13] 何勇, 董文杰, 郭晓寅, 等. 基于 Modis 的中国陆地植被生长及其与气候的关系 [J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5086-5092.
- [14] 李登科, 郭锐, 何慧娟. 陕北长城沿线风沙区植被指数变化及其与气候的关系 [J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4620-4629.
- [15] 信忠保, 许炯心. 黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应 [J]. 自然科学进展, 2007, 17(6): 770-778.
- [16] 周定文, 范广洲, 黄荣辉, 等. Interannual Variability of the Normalized Difference Vegetation Index on the Tibetan Plateau and Its Relationship with Climate Change [J]. 大气科学进展: 英文版, 2007, 24(3): 474-484.
- [17] 章家恩, 徐琪. 土壤与生物多样性及其保护对策 [J]. 资源科学, 1998, 20(1): 49-53.

- [18] 鲍毅新, 程宏毅, 葛宝明, 等. 不同土地利用方式下大型土壤动物群落对土壤理化性质的响应 [J]. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2007, 30(2): 121-127.
- [19] 刘继亮, 殷秀琴, 邱丽丽. 左家自然保护区大型土壤动物与土壤因子关系研究 [J]. 土壤学报, 2008(1): 130-136.
- [20] 向昌国, 杨世俊, 聂琴. 土壤动物对土壤环境的生物指示作用 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 364-367.
- [21] 王海英, 宫渊波, 龚伟. 不同林分土壤微生物、酶活性与土壤肥力的关系研究综述 [J]. 四川林勘设计, 2005(3): 9-14.
- [22] 徐雄, 张健, 张猛, 等. 果-草人工生态系统中土壤微生物、土壤酶与土壤养分的关系 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 178-181.
- [23] 张秀艳, 杜卫兵, 张小平, 等. 川西植被恢复过程中的土壤微生物评价及与土壤因子的关系 [J]. 生态环境, 2007, 16(5): 1470-1474.
- [24] 赵萌, 方晰, 田大伦. 第 2 代杉木人工林地土壤微生物数量与土壤因子的关系 [J]. 林业科学, 2007, 43(6): 7-12.