

黄土高原沟壑区杏树林地土壤水分 时空动态变化及适宜性研究

张思祖, 李凯荣, 易亮, 时亚坤

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 水分是制约黄土高原地区生态环境恢复和经济发展的主要限制因子。研究黄土高原土壤水分变化规律, 有着极其重要的科学和实际意义。本研究以杏树为调查对象, 通过测定不同坡向林地土壤水分, 分析了土壤水分的时空动态变化规律, 并根据生态位适宜度理论分析土壤水分满足杏树生长的程度。研究表明: (1) 土壤含水量年内变化为不对称双峰曲线, 且第二高峰峰值明显高于第一高峰峰值, 阳坡与阴坡土壤水分动态有着显著的差异, 阴坡土壤水分高于阳坡, 阴坡蒸发量较小, 降雨可以补给更深层的土壤水; (2) 一年当中, 土壤水分垂直分布可分为 4 个阶段, 分别代表降雨补给土壤水、浅层土壤水入渗和再分布、浅层土壤失墒及深层土壤水上升阶段, 阴坡降雨补给土壤水开始的早, 阳坡土壤严重失墒开始的早。总体说来, 阴坡的水生态位适宜度要好于阳坡, 但不论阳坡还是阴坡, 水生态位的适宜度均较低。

关键词: 杏树林; 土壤水分; 时空动态变化; 适宜性; 黄土高原

中图分类号: S152.7; S715.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0021-05

Temporal spatial Changes of Soil Moisture and Suitability for Apricot Forest in Loess Gully Region

ZHANG Si zu, LI Kai rong, YI liang, SHI Ya kun

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

Abstract: Water is a crucial limiting factor for the eco-environmental restoration and economic development in the Loess Plateau. That has practical and scientific significance to study the dynamic law of soil moisture. Based on measuring soil water content of apricot forests in the loess gully region, the temporal-spatial changes of soil moisture was studied, and the meet degree of soil moisture to apricot growth was analyzed with the help of moisture niche-fitness model. The results showed that: (1) the temporal variation of soil moisture presented a double-peak curve, the second peak value was higher than the first one, and the soil moisture of shady slope was significantly higher than that of sunny slope because of the high evaporation of sunny slope; (2) the spatial vertical distribution of soil moisture could divided into 4 types in one year, and the vertical variation of soil moisture included 4 stages: precipitation recharge stage, shallow soil moisture infiltration and redistribution stage, shallow soil moisture loss stage and deep soil moisture rise stage. Precipitation recharge of shady slope was earlier than sunny slope of which soil moisture lose early. Soil moisture niche-fitness of shady slope was better than sunny slope, but that of both slopes was low.

Key words: apricot forest; soil moisture; temporal spatial changes; niche-fitness; loess gully region

黄土高原沟壑区降水主要集中在夏秋季, 且多暴雨, 降雨强度大, 历时短, 一旦植被遭到破坏, 地表土壤极易流失, 沟坡系统土壤侵蚀尤为严重^[1]。植被恢复是控制本区水土流失的重要途径。本区具有土层深厚、热量充足、昼夜温差大等特点, 适宜发展经济林

果, 因此, 发展经济林果是黄土高原沟壑区植被恢复的主要措施。杏树耐旱、耐瘠薄, 对立地条件要求不高, 是本区重要的商品果树^[2]。

水分是限制植被恢复的主要因子^[3], 一方面导致造林成活率、保存率、生长量低, 林分生长不稳定, 造

收稿日期: 2010-05-21

资助项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BAD03A02)

作者简介: 张思祖(1985-), 男(藏族), 西藏自治区拉萨市人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持。E-mail: zsz850502@163.com

通信作者: 李凯荣(1955-), 男, 陕西省扶风县人, 教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为水土保持。E-mail: lk.888@163.com

©1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成林地土壤干化; 另一方面在植被建设中缺乏水量平衡的基础, 林分密度与土壤水分承载力不相适应, 往往由于超载使林分水量平衡失调而形成低效低产林, 影响生态经济效益的发挥。任何水分只有转化为土壤水才可以为植物吸收利用, 黄土高原沟壑区果园多无灌溉条件, 土壤水主要来源于降雨补给, 降雨除部分形成径流和深层渗漏外, 主要为土壤颗粒和孔隙吸附, 形成土壤水库, 并缓慢释放供林木生长的需要。目前已有较多关于黄土高原土壤水分的研究, 多侧重土壤水分动态变化、有效性及生态位研究^[4-14], 然而, 将土壤水分的时空动态变化与植物需水的生理过程结合起来的研究尚且不多。在此基础上, 本文研究了黄土高原沟壑区不同坡向土壤水分的时空动态变化特征, 并通过引用水分生态位适宜度指标来分析土壤水分与最佳土壤含水量之间的贴近程度, 从而了解土壤水分满足杏树生长的程度, 以期为植被恢复与农业生产提供理论指导。

1 试验区与研究方法

1.1 试验区概况

试验区位于黄土高原南部的淳化县泥河沟流域的西坡村, 地理坐标为 108°43′ - 35°03′ E、34°43′ - 35°03′ N, 海拔 630~1 809 m, 属黄土高原沟壑地貌。气候属大陆性季风气候, 多年平均降水量 604.8 mm, 平水年(50%) 600.6 mm, 偏枯水年(75%) 513.0 mm, 枯水年(95%) 433.9 mm, 其中 6~9 月降水量占全年的 65% 以上, 冬季干旱严重。年平均气温 9.18℃, 全年日照时数 2 372 h, ≥10℃的活动积温为 3 281℃, 无霜期 138 d。沟坡以自然植被为主, 多为草本和灌木, 塬面以种植经济林为主。土壤为黄土母质上发育的黄绵土, 地带性黑垆土仅分布在塬心, 土壤肥力中等, 田间持水量 22.05%, 干容重 1.35 g/cm³, 地下水埋深在 40 m 以下, 植被很难吸收利用。

1.2 研究方法

1.2.1 标准地选择 根据研究内容, 选择本试验区阴坡、阳坡水平梯田的杏园各 3 块作为样地, 样地基本情况及杏树生长特征见表 1。

1.2.2 土壤水分测定 土壤水分于 2009 年 3~11 月每月月初采用烘干法进行测定。在每个标准地中选取标准木并固定作为水分观测点, 取样点位于树冠边缘距树干 2/3 处, 取样深度为 5 m, 0~2 m 深度内以 20 cm 为 1 个层次, 2~5 m 深度内以 50 cm 为一个层次, 每一土层重复取样 3 次, 取其平均值作为该土层的平均含水量, 水分的计算公式为

式中: W ——土壤水分含量(%); M_1 ——烘前铝盒及土壤重(g); M_2 ——烘后铝盒及土壤重(g); M_3 ——烘后空铝盒重(g)。

表 1 试验样地基本情况

立地类型	树龄/ a	密度/ (株·hm ⁻²)	树高/ m	胸径/ cm	冠幅/ m
阳坡	10	698	3.5	18.5	5.4×5.6
	10	716	3.6	17.8	6.1×6.4
	10	733	3.2	17.8	4.7×4.6
阴坡	11	556	4.5	23.4	7.2×7.3
	11	544	4.2	22.1	5.3×6.7
	11	656	3.7	19.1	5.7×6.1

2 结果与分析

2.1 杏树林地土壤水分时空变化特征

2.1.1 土壤水分时间变化特征 图 1 为 0~500 cm 土层深度土壤平均含水量的年内变化过程。可以看出, 不论阴坡还是阳坡, 杏树林地土壤含水量年内变化均呈现不对称的双峰曲线, 5 月与 7 月出现土壤含水量的低值, 6 月与 8 月出现土壤含水量的高值, 且一年当中第二高峰峰值明显高于第一高峰峰值。春季随着气温上升, 土壤解冻, 地表土壤水分蒸发也逐渐增加, 同时林木萌芽和展叶, 植物蒸腾从无到有并逐渐增强, 而春季降雨量稀少, 远远不足以满足地表土壤蒸发与植物蒸腾的水分需求, 不足之处靠消耗土壤水分的存量来补偿, 因此浅层土壤不断失墒, 土壤含水量不断降低, 并于 5 月达到一年当中第一个波谷值。而从 6 月开始, 虽然由于温度升高, 土壤蒸发与植物蒸腾强度继续增加, 但是随着黄土高原雨季的到来, 降雨量较春季有了明显增多, 降雨对土壤水的补充开始大于用于树木蒸腾和土壤蒸发, 因此土壤含水量有所回升, 但 7 月是一年当中温度最高的季节, 而且渭北黄土高原地区 7 月中下旬时常出现“伏旱”降水较少, 天气晴朗, 因此杏树林地土壤与植被蒸发蒸腾量迅速上升, 大于降雨对土壤水分的补给, 因此 6 月杏树林地土壤水分出现了一年当中第一个波峰值, 而 7 月出现了一年当中第二波谷值。8 月, 随着盛夏暴雨的来临, 降雨对土壤水的补给再一次超过蒸发蒸腾对土壤水的消耗, 因此 8 月杏树林地土壤含水量迅速提高, 而渭北地区由于受到华西秋雨的影响, 降水量仍然较多, 而同期, 温度已有所降低, 蒸发蒸腾量减少, 因此 9 月杏树林地土壤含水量仍在增加, 并达到一年当中的最低值。10 月当地雨季结束, 土壤水分进入一个新的消散阶段, 因此不断下降。从 11 月开始至第二年 3 月, 渭北地区进入冬季, 虽然该期降水明显减少, 但是由于温度较低, 树叶枯落, 因此蒸腾耗

水和地表蒸发都保持在一个很低的水平,土壤含水量变化也趋于稳定,直到第二年春季开始一个新的年内循环。

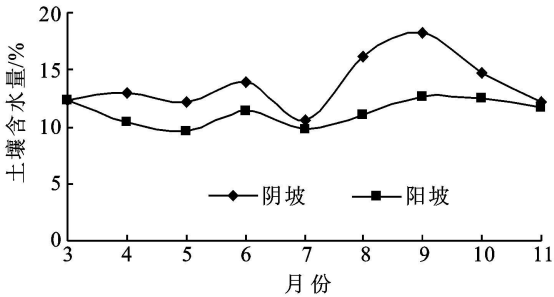


图 1 不同坡位杏树林地土壤水分年内变化过程

2.1.2 土壤水分空间变化特征 图 2 为不同坡向杏树林年内土壤含水量的空间垂直变化特征,从图 2 中可看出,无论是阴坡还是阳坡,杏树林地在年内各时期的浅层土壤水分变化比较活跃,而深层土壤水分变化相对较小。总体来看,阴坡土壤水分变化较阳坡的小。

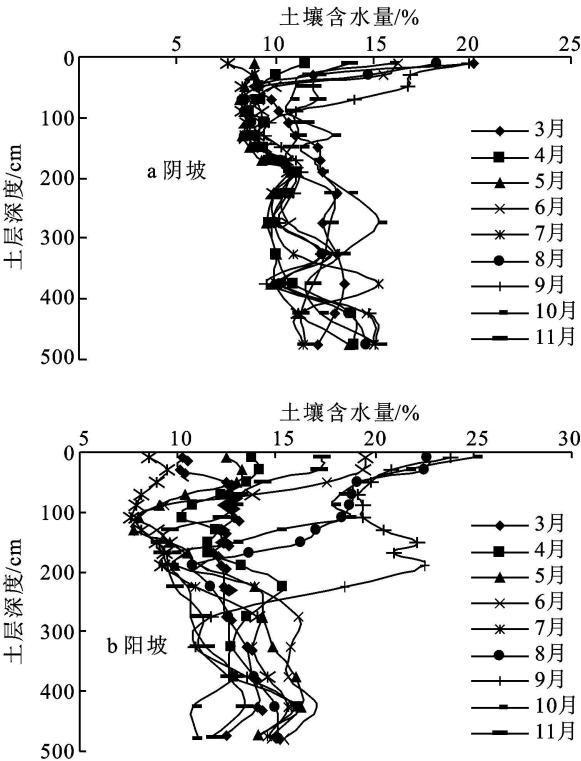


图 2 不同时期杏树林地土壤水分的垂直分布特征

在统计学中用偏差系数来反映统计数据偏离平均值的相对大小,在本试验中引用此概念来反映土壤含水量随土层深度变化的强弱程度。阳坡林地与阴坡林地土壤含水量偏差系数的计算结果如图 3 所示。

从图 3 中可看出阴坡杏树林地在距地表 250 cm 以内的土层中,土壤含水量变化幅度较大;而阳坡林地土壤含水量只在 150 cm 深度内变化较大。土壤含水量变化幅度较大的土层可以被称为土壤含水量活

跃带,由此可知,土壤含水量活跃带厚度阴坡大于阳坡,分别为 250 cm 和 150 cm,这主要是由于阴坡蒸发量较小,降雨可以较多地补充深层土壤水所致。

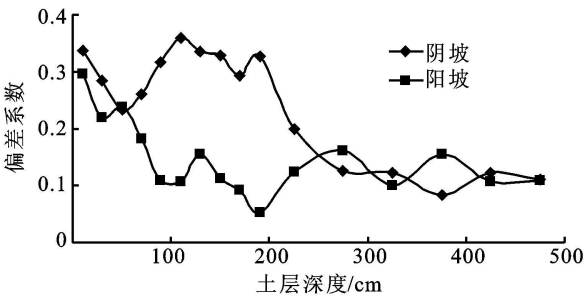


图 3 杏树林地不同深度土壤含水量的偏差系数

通过聚类分析方法,将杏树林地不同坡向年内土壤含水量的垂直分布分为 4 种基本类型,如表 2 所示。

春季解冻后,由于温度上升,蒸发蒸腾量迅速增加,而此时降水稀少,因此浅层土壤水分入不敷出,严重失墒,在整个垂直剖面上,土壤含水量都保持较低的水平,且深层土壤含水量高于浅层土壤含水量,在整个垂直剖面上土壤含水量分布呈现出上小下大的态势,因此在基质吸力的作用下,深层土壤上升补给浅层水。同时,存在伏旱的 7 月,由于天气晴朗、气温高、蒸发蒸腾旺盛而降水量较少,垂直剖面上的土壤水分特征也表现为浅层土壤失墒、深层水分上升补给。同时由于阴坡春季升温较慢,浅层土壤解冻失墒发生的时间也要比阳坡晚一些。随着雨季的开始,降水量增加使浅层土壤水分得到补充,因此浅层土壤含水量增加,但由于土壤水的渗入与再分配需要一定的时间,因此在垂直剖面上含水量最低处开始向较深处运动,这就是土壤含水量分布的第二个基本类型——雨季降水补给浅层土壤水分型,在阴坡林地,该阶段非常典型,出现在 6 月与 8 月,即两个多雨季节开始的月份。第三个土壤含水量分布的基本类型——即土壤含水量最高型,不论阳坡还是阴坡都出现在 9 月,9 月虽然降雨强度较盛夏已有所减弱,但蒸发量也在下降,因此土壤水分补给仍大于消散,直到土壤含水量达到最大,在土壤含水量垂直分布上突出表现为水分活跃层土壤含水量较其他时期以及下层有了明显增加,而且在水分活跃层内可能存在几个土壤含水量的高值区,这是雨季几次显著的暴雨与其间短时期炎热蒸发旺盛的天气共同作用的结果。雨季结束后,土壤含水量垂直动态进入了一年当中第四个阶段,即雨季后浅层土壤水分入渗,浅层土壤含水量开始下降,但土壤含水量空间分布仍保持上大下小的格局,同时随着土壤水分的再分布,土壤含水量空间分布曲线开始变得相对光滑。总体而言,一年当中土壤水分变化会经过四个阶段:雨季补给,雨后浅层土壤

水分入渗和再分布,雨前浅层土壤失墒、深层土壤水上升。不论阳坡还是阴坡,土壤水补给期都是 3 个

月,但阴坡开始得较早;而浅层土壤失墒期,阳坡开始得较早,且时期较长。

表 2 土壤水分垂直分布的聚类分析

类型	时间(月份)		描述
	阳坡	阴坡	
1	3, 4, 5, 7	4, 5, 7	浅层土壤失墒、深层水分上升补给型
2	8, 10	6, 8	雨季降水补给浅层土壤水分型
3	9	9	土壤水分最大型
4	11, 6	10, 11, 3	雨季后浅层土壤水分入渗型

2.2 生态位适宜度模型

2.2.1 生态位适宜度模型 水分是制约干旱、半干旱地区植物生长发育的主要生态因子,根据生态位适宜度理论^[5, 16]可将林木生长需要的理想的土壤水分情况作为目标值,通过一定的数学方法计算实际的土壤含水量空间分布与目标值的相似情况,建立水分生态位适宜度模型,以判断土壤水分分布与林木最适宜水生态位的贴近度。

土壤水分空间分布是由无数个点的含水量组成的,无穷多个数据之间无法计算,因此必须从中选择出一些具有代表性的点,以其含水量构成向量,再计算与目标向量之间的贴近程度。可以表示为

$$y = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{x_i}{x_{ia}} \tag{2}$$

式中: y ——水分生态位适宜度值; a_i ——第 i 层的权重因子; x_i ——第 i 层 ($i = 1, 2, \dots, n$) 土壤中水分生态因子实测值; x_{ia} ——第 i 层土壤中水分生态因子最适值,土壤水分生态因子最适值应根据试验实地观测确

定,在干旱半干旱地区,土壤含水量相对较低,当土壤含水量大于田间持水量的 80%,即水分含量达到易效水时,植物生长旺盛,故取田间持水量的 80% 作为土壤水分生态因子最适值。

2.2.2 生态位权重因子确定 水分生态位权重因子直接取决于植物根系的分布,试验测得试验区杏树林的根系分布,求得其权重因子。以各层次根系质量占总量的百分数为依据,总结分析并最终确定第 i 层的权重因子 a_i ,见表 3。

表 3 土壤水生态位权重

深度/cm	0- 20	20- 40	40- 60	60- 80	80- 100
权重/%	26.38	29.00	28.32	11.07	6.98

2.2.3 生态位适宜度分析 杏树根系多分布在距离地表 1 m 之内的土层中,因此只分析了 1 m 土层内的水分生态位适宜度情况。研究区土壤田间持水量约为 21.5%,通过公式(1)计算,得出一年内不同时期杏树林地土壤水分生态位适宜度,见表 4。

表 4 土壤水生态位适宜度分析结果

坡位	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	平均
阴坡	0.000	0.186	0.031	0.503	0.000	0.240	0.227	0.270	0.591	0.228
阳坡	0.080	0.000	0.000	0.378	0.000	0.312	0.628	0.184	0.048	0.181

从表 4 结果分析可以看出,3- 11 月杏树林地的平均水生态位适宜度在 0.2 左右,阴坡好于阳坡。阳坡 3 月与 7 月,阴坡 4 月、5 月与 7 月水生态位的适宜度均为 0,说明杏树生长处于水分胁迫之中,水分条件恶劣,严重阻碍植物的生长,这可能是由于气候干旱所致。阴坡 6 月和 11 月土壤水生态位的适宜度较高,达到了 0.503 与 0.591,而阳坡 9 月的土壤水生态位适合度最高为 0.628,其次是 3 月的 0.378 与 0.312。阳坡水生态位低下的主要原因是由于土壤含水量较低,低于最适宜的土壤含水量(田间持水量的 80%)甚至适宜含水量的下限(田间持水量的 60%),阴坡除土壤含水量较低外,还与整个土壤剖面上含水量分布不均有关,如雨季的 8 月和 9 月,由于降雨较为集中,降雨没有充分的时间在土壤剖面上再分布,表层土壤含水量过高,如 8 月 0- 40 cm 土壤、9 月 0-

- 20 cm 土壤含水量都超过了适宜含水量的上限(即田间持水量)。

3 结 论

(1)黄土高原沟壑区杏树林地土壤含水量年内变化为不对称双峰曲线,波谷为 5 月与 7 月,波峰为 6 月与 8 月,且第二高峰峰值明显高于第一高峰峰值。

(2)阳坡与阴坡土壤水分在空间垂直分布上存在显著的差异,阴坡土壤水分高于阳坡,这与阴坡蒸发量较小,降雨补给深层土壤水有关。

(3)不论阳坡还是阴坡,年内土壤水的空间垂直分布可分为 4 个阶段,分别代表降雨补给土壤水、浅层土壤水入渗和再分布、雨前浅层土壤失墒及深层土壤水上升阶段。阴坡降雨补给土壤水开始的早,而阳坡土壤严重失墒开始的早。

(4) 阴坡的水生态位适宜度要好于阳坡, 但不论阳坡还是阴坡, 水生态位的适宜度均较低。土壤水的时空动态变化是影响水生态位适宜度的主要原因。加强土壤水库调控, 提高降雨、径流入渗及补给深层土壤水分有助于改善水生态位适宜度, 实现杏树林地的高产高效^[17]。

参考文献:

- [1] 孟秦倩, 王健, 吴发启. 黄土高原丘陵沟壑区土壤水库调蓄能力分析[J]. 节水灌溉, 2008, 149(1): 18-20.
- [2] 卢宗凡, 梁一民, 刘国彬. 黄土塬区刺槐人工林地土壤水分特征[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.
- [3] 李凯荣, 王佑民. 黄土塬区刺槐人工林地土壤水分特征[C]//刘秉正. 黄土高原沟壑区综合治理及其效益研究. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [4] 刘增文, 王佑民. 黄土油松林蒸腾耗水及林地土壤水分动态特征的研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(6): 78-84.
- [5] 张小泉, 张清华, 毕树峰. 太行山北部幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(3): 193-199.
- [6] 王孟本, 柴宝峰, 李洪建, 等. 黄土区人工林的土壤持水力与有效状况[J]. 林业科学, 1999, 35(2): 7-14.
- [7] 侯庆春, 韩蕊莲, 韩仕锋. 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J]. 中国水土保持, 1999(5): 11-14.
- [8] 魏天兴, 余新晓, 朱金兆, 等. 黄土区防护林主要造林树

种水分供需关系研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 185-189.

- [9] 田晶会, 王百田. 黄土半干旱区刺槐林水分与生长关系研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 61-63.
- [10] 胡梦, 刘文兆, 赵姚阳. 黄土高原农、林、草地水量平衡异同比较分析[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 113-116.
- [11] 宋孝玉, 沈冰. 西北地区生态环境建设与水资源相互关系问题的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 127-131.
- [12] 王进鑫, 罗伟祥, 刘广全, 等. 黄土高原人工林根区土壤水分亏缺状况与空间分布[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 1-4.
- [13] 原焕英, 许喜明. 黄土高原半干旱丘陵沟壑区人工林土壤水分动态研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 5-8.
- [14] 孟秦倩, 王健, 吴发启. 延安丘陵沟壑区坡面果园土壤水库特征[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 93-95.
- [15] 李自珍, 黄子琛. 沙坡头地区人工林植物的水分生态位适宜度分析[J]. 西北植物学报, 1995, 15(5): 97-101.
- [16] 李文龙, 李自珍, 王刚, 等. 沙坡头地区人工固沙植物水分利用及其生态位适宜度过程数值模拟分析[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6): 1012-1017.
- [17] 唐小娟, 金彦兆, 高建恩. 复合坡度下雨水高效集蓄利用模式研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(6): 74-76.

(上接第 20 页)

- [15] Stroosnijder L. Measurement of erosion: is it possible[J]. Catena, 2005, 64(2/3): 162-173.
- [16] Bissonnais Y L, Montier C, Jamagne M, et al. Mapping erosion risk for cultivated soil in France[J]. Catena, 2001, 46: 207-220.
- [17] Kheir R B, Cerdan O, Abdallah C. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon[J]. Geomorphology, 2006, 82: 347-359.
- [18] Sahin S K. Erosion risk analysis by GIS in environmental impact assessment: a case study- Seyhan Köprü Dam construction[J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66: 239-247.
- [19] 曾大林, 李智广. 第二次全国土壤侵蚀遥感调查工作的做法与思考[J]. 中国水土保持, 2000(1): 28-31.
- [20] King C, Delpont G. Spatial assessment of erosion: contribution of remote sensing: a review[J]. Remote Sensing Reviews, 1993, 7: 223-232.
- [21] Siakeu J, Oguchi T. Soil erosion analysis and modeling: a review[J]. Transactions of the Japanese Geomorphological Union, 2000, 21(4): 413-429.
- [22] 周为峰, 吴炳方. 土壤侵蚀调查中的遥感应用综述[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(5): 537-542.
- [23] Vrieling A, Steven M de Jong, Geert S, et al. Timing

of erosion and satellite data: A multi-resolution approach to soil erosion risk mapping[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2008, 10: 267-281.

- [24] Fan J R, Zhang J H, Zhong X H, et al. Monitoring of soil erosion and assessment for contribution of sediments to rivers in a typical watershed of the upper Yangtze river basin[J]. Land Degradation & Development, 2004, 15(4): 411-421.
- [25] Renard K G, Kertesz A, Markus B, et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)[M]. Washington: Agricultural handbook No. 537. United States Department of Agriculture, 1997.
- [26] Wang X D, Zhong X H, Fan J R. Spatial distribution of soil erosion sensitivity on the Tibet Plateau[J]. Pedosphere, 2005, 15: 465-472.
- [27] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [28] 许月卿, 蔡运龙, 彭建. 土地利用变化的土壤侵蚀效应评价: 西南卡斯特地区的一个研究案例[M]. 北京: 科学出版社, 2008.