

# 梨园土壤水分时空分布特征研究

刘继龙, 张振华, 谢恒星

(鲁东大学地理与资源管理学院, 山东 烟台 264025)

**摘 要:** 2005 年 4~8 月期间, 利用 Trime 水分速测系统, 采用网格化取样方式对烟台农科院梨园的土壤(0~30 cm) 水分的 90 个样点进行了四次取样, 并运用传统统计学和地统计学方法对土壤水分的数据统计特征、半方差函数和分维数及其时空分布规律进行了分析。结果表明, 土壤水分具有明显的空间变异性, 测量期内土壤水分变异系数  $CV$  分别为 0.088 9, 0.247 9, 0.129 1 和 0.219 1, 半方差函数的变程分别为 27.25 m, 4.25 m, 9.73 m 和 5.32 m, 分维值依次为 1.842, 1.957, 1.926 和 1.929。降雨后测量(第一次测量和第三次测量)的土壤水分变异系数和分维数偏低且变程偏大, 说明降雨使得土壤水分的空间依赖性增强, 分布趋于均匀, 而随后的土壤蒸发则有减弱土壤水分的空间依赖性和促使分布不均匀的效应。

**关键词:** 土壤含水量; 半方差函数; 时空分布; 分维数

中图分类号: S152.7; S661.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0159-04

## The Research on Temporal and Spatial Distribution Characteristic of Soil Water Content of Pear Orchard

LIU Ji-long, ZHANG Zhen-hua, XIE Heng-xing

(College of Geography and Resources Management of Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China)

**Abstract:** Based on gridding sampling, soil water was conducted with Trime measuring system in pear orchard of Yantai Academy of Agricultural Sciences from April to August in 2005, and the soil water statistic characteristic, semivariance, fractal dimension and the law of temporal and spatial distribution were also studied. The result showed that the soil water had obviously spatial variability, and the coefficients of variation were 0.0889, 0.2479, 0.1291 and 0.2191, respectively. Furthermore the ranges were 27.25, 4.25, 9.73 and 5.32 m, and fractal dimensions were 1.842, 1.957, 1.926 and 1.929. The coefficient of variation and fractal dimension of soil water measured after rainfall were the least, at the same time range was the largest, which showed that rainfall made spatial dependence of soil water more obvious and its distribution more even, but the subsequent evaporation of soil made them opposite.

**Key words:** soil water content; semivariance; temporal and spatial distribution; fractal dimension

地统计学(Geo-statistics)是 20 世纪 60 年代在法国著名统计学家 G. Matheron 的大量理论研究工作基础上形成的一门新的统计学分支。Burrough<sup>[1,2]</sup>、Webster<sup>[3]</sup>等人首先将地统计学应用于土壤调查、制图及土壤空间变异性研究。目前地统计学已成为研究土壤特性空间变异性的重要方法。在土壤理化性质空间变异性研究的众多因子中,土壤水分是土壤特性的动态组成部分,是土壤肥力中的一个重要的因子。研究土壤水分特性的空间变异性,对实施土壤水分的动态监测,以便科学地指导灌溉来提高灌溉精度,进而提高农田水分利用效率和农作物产量,以及精确农业的实施都具有重要的意义<sup>[4]</sup>。因此,对土壤水分空间变异性的研究已成为热点之一。M. Herbst 等<sup>[5]</sup>对德国 Berrensiefen 小流域土壤水分的空间结构和空间变异性进行了分析和模拟;国内学者黄奕和邱扬<sup>[6,7]</sup>对黄土丘陵小流域地形和土地利用对土壤水分时空格局的影响进行了研究;吕兆忠等<sup>[8]</sup>应用地统计学方法研究了鄂尔多斯不同地下土壤水分的空间变异,徐英和陈亚新等对水盐空间变异尺度效应进行了研究<sup>[9]</sup>。以往多数研究着重描述不同区域尺度下水土特性的空间变异及分布特征,而对区域水土特性的时间变异性研究相对较少。本文

以烟台典型梨园为研究对象,运用传统的统计学和地统计学两种方法研究了土壤含水量的变异性,分析了土壤水分在果树生长旺期的时空分布特征及其影响因素,为果园的高效水分管理提供科学依据。

### 1 材料和方法

实验点设在烟台市农科院梨园内,试验地土壤为棕壤黏土,试验地大小为 45.6 m × 27 m,面积为 1 231.2 m<sup>2</sup>,果树东西株距为 5.7 m,南北株距为 3.0 m。取样点设在相邻四棵果树的中间位置,分别于 2005 年 4 月 20 日、5 月 25 日、6 月 29 日和 7 月 14 日,分四次对表层土壤含水量进行了测定。采样点以网格法(间距)布局(图 1),取样点包括 9 行 10 列,其中南北方向每隔 3 m 取样,每列共取 9 个样点;东西方向每隔 5.7 m 取样,每行共取 10 个样点。总共取样数为 90。土壤含水量采用德国产 Trime 土壤水分速测系统测定,测定深度为 0~30 cm,测定数值为土壤体积含水率(%),测量精度为 2%(含水量介于 0~40%)。测量期间内与观测日期较近的时间即 4 月 19 日和 6 月 27 日有过两次不等强度的降雨过程,中间进行过灌溉、施肥和耕作。

\* 收稿日期: 2006-01-04

基金项目: 烟台师范学院重点基金项目(043201); 人才引进基金(000444)资助

作者简介: 刘继龙(1981-),男,山东五莲人,在读研究生,主要从事区域水土资源高效利用研究;通讯作者: 张振华。

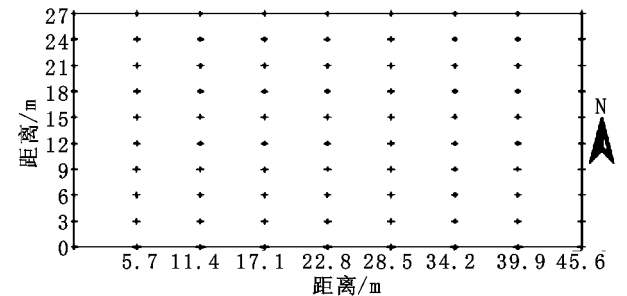


图 1 采样点空间布局

2 结果与分析

2.1 土壤含水量的数据统计特征及正态检验

表 1 土壤含水量数据统计特征及正态检验

测量时间	样本数	最小值/%	最大值/%	平均值/%	标准差	方差	变异系数	偏度	峰度	分布类型
4月20日	90	20.0	34.2	27.04	2.403	5.773	0.089	-0.272	0.822	正态
5月25日	90	7.20	26.2	16.97	4.206	17.692	0.2479	0.117	-0.376	正态
6月29日	90	14.8	30.4	23.72	3.062	9.379	0.1291	-0.633	-0.942	正态
7月14日	90	10.1	26.6	18.03	3.949	15.602	0.2191	0.266	-0.572	正态

由表 1 可知,在观测期间由于受到蒸发和降雨等因素的影响,表层土壤含水率(平均值)呈现出变化的动态过程。4 月 19 日和 6 月 27 日有过中等程度的降雨和小雨过程,4 月 20 日 90 个样点土壤含水率的平均值表现为最大值,其值为 27.04;6 月 29 日的 90 个样点土壤含水率的平均值次之,其值为 23.72。由于土壤的不断蒸发 5 月 25 日和 7 月 14 日 90 个样点土壤含水率(平均值)的明显偏低,其中 5 月 25 日临近时期内长期没有降雨或灌溉活动,导致 5 月 25 日土壤含水率达到最低值。土壤水分的变异系数呈现出与均值相反的变化趋势,4 月 20 日的土壤水分变异系数最小为 0.088 9 小于 0.1,具有弱变异性,5 月 25 日、6 月 29 日和 7 月 14 日的变异系数介于 0.129 1 和 0.247 9 之间,具有中等变异性,但 6 月 29 日土壤水分的变异系数相对较低。通过对比平均含水率和变异系数的结果可以知道,二者存在如下的对应规律:平均含水率越大其对应的变异系数越小,平均含水率越小其对应的变异系数越大,即土壤水分的均值和变异系数存在相反的变化趋势。上述现象反映出了平均含水率(土壤的干湿状况)对土壤水分变异程度的影响。随着时间的变化,土壤含水率平均值变异较大,而表 1 中的其它统计值都与均值有关。因此,这些统计值只能在一定程度上反映样本总体,传统统计方法对土壤含水率的表达不能定量的刻画土壤含水率的随机性和不规则性、独立性与相关性,要解释并进行量化,必须进一步进行空间变异结构分析。

2.2 土壤含水量的变异函数分析

变异函数是描述土壤特性空间变异结构的一个函数,在满足内蕴(本征)假设的条件下,变异函数的计算公式如下:

$$r(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \tag{1}$$

区域化变量  $Z(x)$  的变异函数  $r(x, h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2$  具有较为严格的数学定义,称为理论变异函数,适用于空间上连续分布的变量。在实际工作中,采样点是离散的,为此要将上式改写为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \tag{2}$$

上式称为实验变异函数或半方差函数。式中:  $\gamma(h)$  ——间距为  $h$  的半方差,该值随  $h$  的增加而增加;  $N(h)$  ——间距为  $h$  的数值对数;  $Z(x)$  ——位置  $x$  处的数值;  $Z(x+h)$  ——位置为  $x+h$  处的数值。变异函数具有块金值( $C_0$ ),变程( $\alpha$ )

和基台值( $C_0 + C$ )三个主要参数。其中块金值代表了一种由非采样间隔所造成的变异;变程值反映了土壤性质空间变异特性,在变程值以内,土壤性质具有联系性,而在变程值以外,这种联系性就消失;基台值是指在不同采样间隔中存在的半方差极大值。块金值与基台值之比表示系统变量的空间相关性的程度,比值小于 25% 表示系统具有强烈的空间相关性;比值大于 75% 表示系统具有弱空间相关性;介于两者之间表示系统具有中等空间相关性。

表 2 土壤水分变异函数的主要参数

测量时间	理论模型	块金值/ $C_0$	变程/ $\alpha$ / /m	基台值/ $C_0 + C$	$C_0 / (C_0 + C)$	$R^2$	$RSS$
4月20日	linear to sill	0.508	27.25	1.146	44.33%	0.994	0.0016
5月25日	exponential	0.242	4.23	0.863	28.04%	0.093	0.0363
6月29日	gaussian	0.233	9.73	1.005	23.18%	0.921	0.0076
7月14日	linear to sill	0.197	5.32	0.988	19.94%	0.761	0.0320

通过比较不同测定时间变异函数的各主要参数(表 2 和图 2)可知,各个时期土壤水分变异函数模型的块金值均为正值,说明存在着由采样误差、短距离的变异、随机和固有变异引起的各种正基底效应。随测定时间的变化,土壤水分变异函数参数呈现出不同的变化趋势,即以第一次观测 4 月 20 日的变程最大为 27.25 m,块金值最大为 0.508,考虑到 4 月 19 日有过一次中等程度的降雨过程,降雨导致土壤的含水量分布相对比较均匀,土壤含水量空间分布差异变化幅度降低,空间依赖性范围增大,但块金值最大表明此时人为因素(灌溉等)或降雨对土壤水分的空间变异起主要作用,于是出现了雨后测量的土壤水分变异函数的变程和块金值最大的现象。6 月 29 日的变程较大,但块金值偏低说明此时随机因素对土壤水分的影响仍然较大,土壤水分的变异主要是由于土壤特性本身的变异造成的。由于土壤的长时间蒸发 5 月 25 日和 7 月 14 日的变程和块金值相对减小,则说明由于土壤的蒸发作用,土壤水分降低并且由于蒸发的不均一性导致土壤水分的空间依赖性减弱,土壤含水量的空间随机性表现增强,结构性减弱,数据采样点的距离应适当减小。此外土壤水分的变程较大时,模型对半方差函数值的拟和程度较高( $R^2$  偏大), $RSS$  较低;变程较小时则存在相反的变化趋势。结合表 1 和表 2 可知,4 月 20 日土壤水分的变异系数为 0.0889 即具有弱变异性,空间自相关范围最大为 27.25 m,6 月 29 日的变程次之;而 5 月 25 日和 7 月 14 日的变异系数分别为 0.247 9 和 0.219 1 即具有中等变异性,且变程也相对较小。综上所述,经典统计和变异函数分析的结果一致地说明了测量期间内土壤水分空间分布的动态特征及降雨或灌溉有促使土壤水分分布均匀的效应,而蒸发则有促使水分空间分布差异增大的趋势。

2.3 土壤含水量分形维数的确定

分形维数  $D$  的大小是指事物复杂程度的一种量度。由于土壤组成结构的复杂性及土壤内诸因素局部的微观差异,往往使土壤的特性参数值呈现出不规则性和随机性,近似于随机分数维布朗运动。而且分数维  $D$  是一个无量纲数,  $D = (4 - m) / 2$ ,  $m$  是变异函数  $r(h)$  和抽样间距  $h$  双对数线性回归的斜率。 $D$  随着变异函数对数曲线斜率的增加而减少,斜率越陡( $m$  越大), $D$  越小,格局变异的空间依赖性越强;反之,由随机因素引起的异质性占有较大的比重<sup>[19]</sup>。本文利用地统计学 GS+ 软件计算  $r(h)$ , 获得土壤含水量分维值,结果见表 3。

测定期间土壤水分的分维值降雨和灌溉呈现出不同的变化趋势,其中以 4 月 20 日的分维值最小为 1.842,5 月 25 日的分维值最大为 1.957,而分维值  $D$  可表示土壤特性值在空间的依赖程度, $D$  值越小,变量的空间依赖性越强, $D$  值越大表明由随机因素引起的变异占主要地位。不同测定时期

分形维数的分析和半方差函数分析一致地说明了土壤水分的变化趋势和空间分布特征。此外由半方差函数图(图 2)知,土壤含水量的半方差值只是在一定范围内随着间距的

增加而单调递增(最大值为基台值),即分形规律只表现在某个范围内或呈多重分形特征,其自相关性只在特定范围内出现。

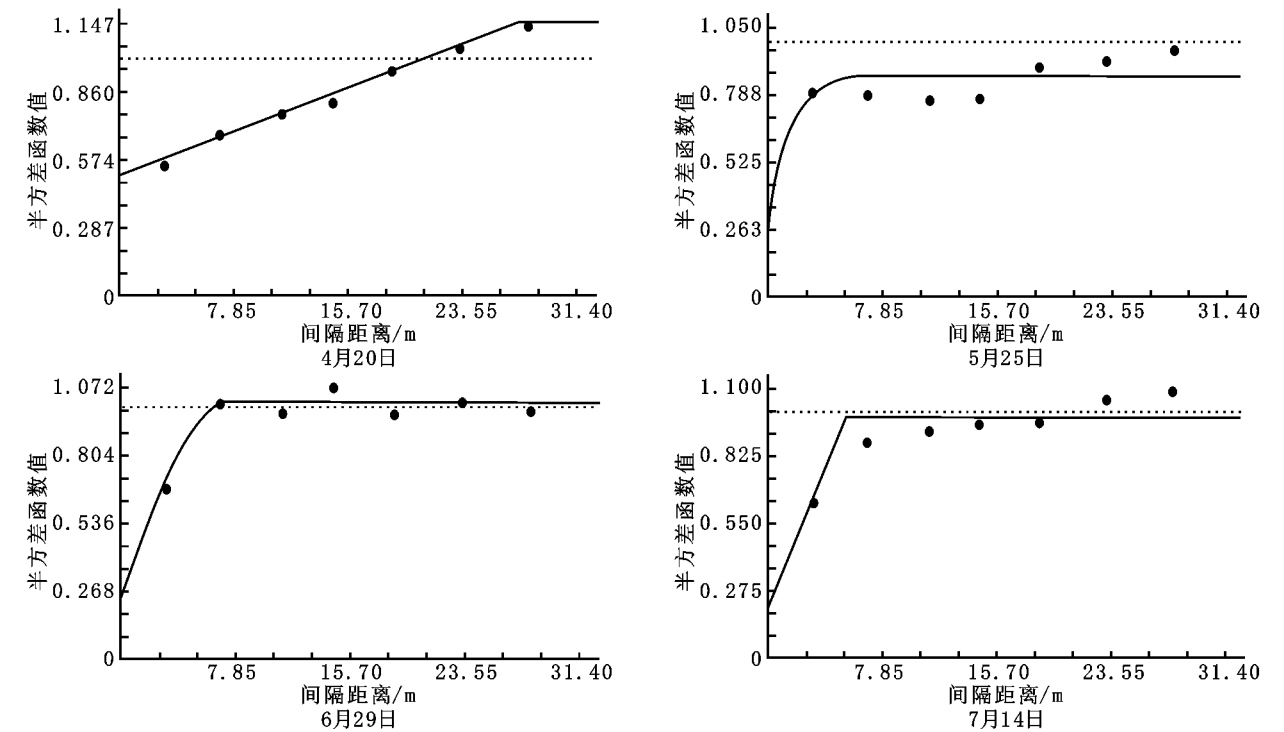


图 2 土壤含水量的半方差函数图

表 3 不同测定时期土壤含水量的分维值

测定时间	分维数	相关系数
4 月 20 日	1. 842	0. 966
5 月 25 日	1. 957	0. 511
6 月 29 日	1. 926	0. 560
7 月 14 日	1. 929	0. 518

2.4 土壤含水量时空分布的等值线图

空间取样只能获得有限的样点数据,为了更直观地反映整个田块的土壤含水量的空间分布情况,需对未抽取样点的变量进行插值估计,本文根据所得到的半方差函数模型,利用 Kriging 最优内插法,绘制了土壤水分分布的等值线图(图 3)。

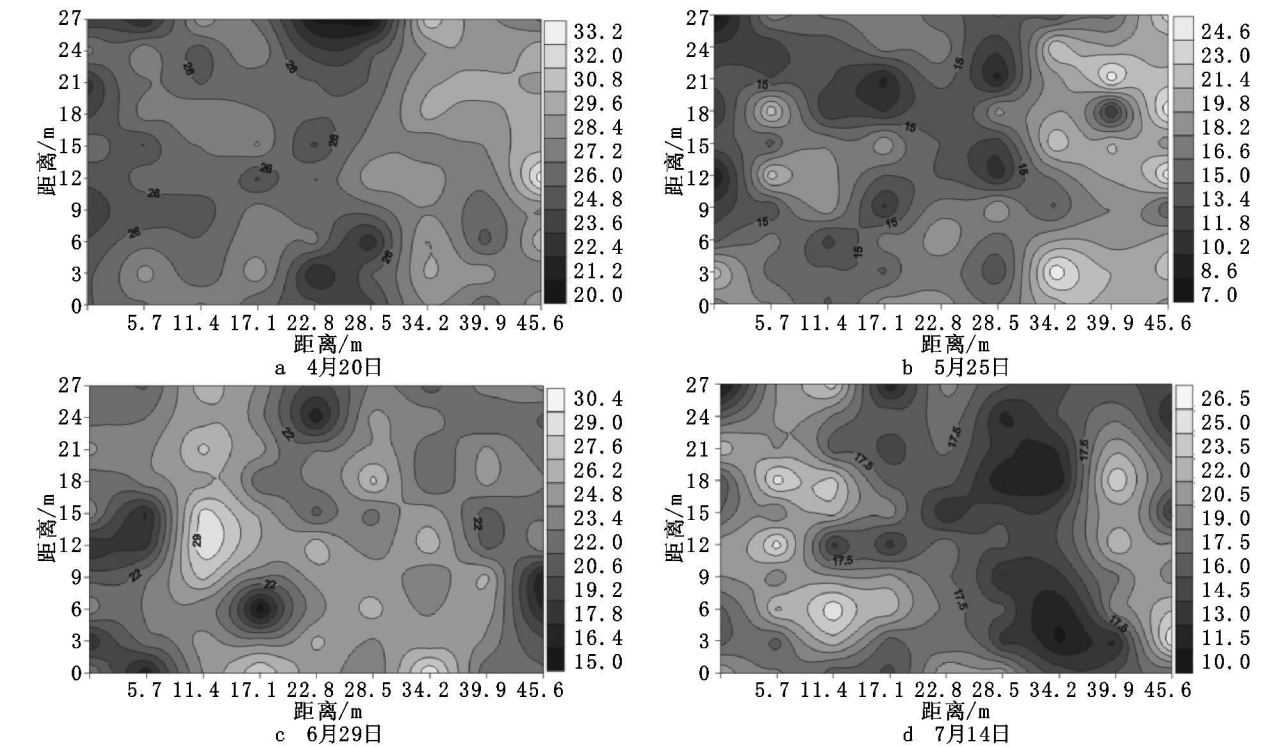


图 3 观测期间内土壤水分的等值线图

从时间和空间两个方面对土壤水分的动态变化及分布状况进行了分析。结果表明,研究期间内测定的各次土壤水分平均值依次为 27.04、16.97、23.72 和 18.03,呈现出与降雨或灌溉相对应的变化趋势,即降雨或灌溉后土壤水分的平均值变大。平均含水量之间的最大差值为 10.07 变异幅度较大。根据 Kriging 最优内插法绘制的等值线图,可以发现不同时期果园表层土壤含水率空间分布格局差异较大,土壤水分不断蒸发的过程中表层土壤水分的破碎化比较严重,不同时期土壤水分的等值线图差异较明显,5 月 25 日、6 月 29 日和 7 月 14 日的等值线图具有明显的高低值分布区,4 月 20 日的等值线图没有明显的高低值分布区,大部分分布区的含水量接近于整个研究区域含水量的平均值。由于土壤的不断蒸发,5 月 25 日和 7 月 14 日在研究区域的四周出现含水量的高值分布区,在中心附近出现含水量的低值分布区。土壤含水量在时间尺度上的变化主要是由于降雨或灌溉等人因素造成的;空间尺度上的变化主要是由于灌溉的不均匀,地表覆盖程度的不同造成水分的截流和入渗不同及其它土壤特性在空间上的分布不同造成的。

### 3 结 论

通过对四个时期果园表层土壤水分的统计分析结果表明,测定其内表层土壤水分(平均值)的变化较大,最大变异幅度为 10.07;变异系数介于 0.088 9~0.247 9 之间,其

参考文献:

- [1] Burrough P A. Multiscale sources of spatial variation in soil. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation[J]. Journal of Soil Science, 1983, 34: 577- 597.
- [2] Burrough P A. Multiscale of spatial variation in soil. A non-rownian fractal model and its application survey[J]. Journal of Soil Science, 1983, 34: 549- 560.
- [3] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[J]. Advance in Soil Science, 1985, 3: 1- 70.
- [4] 高鹭,陈素英,胡春胜,等. 喷灌条件下农田土壤水分的空间变异性研究[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 609- 615.
- [5] Herbst M, Dieckkruger B. Modeling the spatial variability of soil moisture in a micro-scale catchment and comparison with field data using geostatistics[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28: 239- 245.
- [6] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵小流域地形和土地利用对水分时空格局的影响[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 334- 342.
- [7] Yang Qiu, Bojie Fu, Jun Wang, et al. Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau, China[J]. Journal of Arid Environments, 2001, 49: 723- 750.
- [8] 吕贻忠,李保国,胡克林,等. 鄂尔多斯夏初不同地形土壤水分的空间变异[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(5): 38- 43.
- [9] 徐英,陈亚新,史海滨,等. 土壤水盐空间变异尺度效应的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 1- 5.
- [10] 陈伏生,曾德慧,陈广生,等. 不同土地利用方式下沙地土壤水分空间变异规律[J]. 生态学杂志, 2003, 22(6): 43- 48.

(上接第 158 页)

- [5] 周彬,范斌,朱韬. 香格里拉生态旅游资源的开发初探[J]. 云南地理环境研究, 2003, 15(2): 60- 64.
- [6] 罗民波,杨雪清,杨良. 三江并流地区经济活动对生态环境的影响及天然林的保护对策[J]. 思想战线, 2001, 27: 72- 76.
- [7] 李芝喜. 三江并流区世界自然遗产地的遥感分析[J]. 林业资源管理, 2004, (2): 47- 50.
- [8] 陈虹,曹礼昆,陈阳. 三江并流的世界自然遗产价值- 景观多样性[J]. 中国园林, 2003, (12): 22- 26.
- [9] 缪家福. 世界遗产: 反思人类价值观的新视点[J]. 思想战线, 2004, 30(29): 88- 95.
- [10] 李铁松,胡大鹏. 云南省德钦旅游资源评价和景区环境容量分析[J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(1): 59- 63.
- [11] 王嘉学,杨世瑜. 三江并流区旅游地质资源开发与保护的障碍及对策[J]. 云南师范大学学报, 2004, 24(1): 62- 67.
- [12] 王金亮,将连芳,马剑,等. 三江并流区少数民族社区土地利用变化驱动力分析[J]. 地域研究开发, 2000, 19: 62- 64.
- [13] 张军,倪绍祥,于文静,等. 三江并流区居民点空间分布规律[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 121- 125.
- [14] 王金亮,角援梅,马剑,等. 滇西北三江并流区森林景观生态系统多样性变化分析[J]. 林业资源管理, 2000, (4): 42- 46.
- [15] 范祖畴. “三江并流”地区少数民族传统文化和生物多样性的保护[J]. 云南民族大学学报(哲学社会科学版), 2004, 21: 42- 47.
- [16] 角援梅,王金亮,马剑. 三江并流区土地利用/覆被变化因子分析[J]. 云南师范大学学报, 2002, 22(3): 59- 65.
- [17] 马剑,王金亮,角援梅. 三江并流区自然灾害的时空发生规律及防治对策——以迪庆藏族自治州为例[J]. 云南师范大学学报, 2000, 20(5): 74- 78.