

CLIGEN模型主要降雨参数精度评价

郑进军¹, 韦春竹², 洪超¹, 许文波¹

(1. 电子科技大学资源与环境学院 成都 611731; 2. 电子科技大学自动化工程学院 成都 611731)

【摘要】选择川中丘陵区内江气象站作为研究对象,对CLIGEN模型(v5.22564)内置的无插值、线性插值和傅里叶插值3种算法生成的主要降雨参数进行了精度评价。研究表明,CLIGEN模型(v5.22564)在内江地区模拟结果较好,3种算法模拟的降雨天数、降雨事件概率、年均降雨量、季度降雨量、月降雨量分布和相对误差等降雨参数均较合理。相比傅里叶插值法和线性插值算法,模型内置的无插值算法所得的结果与实际观测值更接近,说明在气候特征变化不异常的气象站点用模型内置的无插值算法模拟精度更高。但是3种算法模拟的部分参数如年降雨量标准差、季节降雨(特别是夏季降雨)标准差和年降雨极值等,其结果值偏低。

关键词 CLIGEN模型; 模型评价; 降雨模拟; 川中丘陵区

中图分类号 TP391.41

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.03.022

Assessing the Precision of Main Precipitation Parameters for CLIGEN Model

ZHENG Jin-jun¹, WEI Chun-zhu², HONG Chao¹, and XU Wen-bo¹

(1. School of Resources and Environment, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731;

2. School of Automation, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731)

Abstract The CLIGEN model (v5.22564) has been used to assess the precision of major precipitation parameters in the Neijiang city of the sichuan hilly basin based on interpolation-simple linear interpolation, Fourier series and a modified linear interpolation. The simulated results show that the rainfall days, rainfall probability of the event, the volume of rainfall et al., are reasonable. The results derived by non-interpolation method are closer to the real value compared with those derived by Fourier interpolation and linear interpolation, but the other values, such as the standard deviations for annual rainfall and seasonal rainfall and the extreme rainfall events, are lower than the real values. Because of the Sichuan hilly basin has been influenced by the southwest monsoon and the cyclones from the Qinghai-Tibetan plateau, the area has heavy rainfall intensity for summer days, while the CLIGEN model was established by using the climate data of the United States climate station, where the climate is characterized by medium and light rainfall intensity. This is the cause of the lower results for those parameters.

Key words CLIGEN model; model evaluation; precipitation simulation; the Sichuan hilly basin

CLIGEN模型是美国农业部为开发水蚀预报模型(water erosion prediction project, WEPP)而建立的一种随机天气生成器,模型使用具有实测数据的站点资料,通过参数的空间内插实现降雨模式与降雨参数的模拟^[1]。该模型模拟的模拟降雨参数可以作为诸多水文和自然资源管理模型在降雨参数上的需求。国内外学者对各个版本CLIGEN模型的适应性进行了大量的研究。在国外,研究学者利用气象站点多年的气象数据进行模型的适应性评价研究,结果表明,除特大暴雨的相关性模拟效果稍差和对月降雨分布中的极值比较难估算外,CLIGEN模型在年均

降雨、降雨历时、降雨极值模拟等都呈现良好的相关性^[1-5]。该模型在中国的适应性评价工作主要集中在黄河流域等干旱及半干旱地区,研究表明CLIGEN模型能较好地模拟我国干旱及半干旱地区降雨及其月分布^[6-10]。然而在我国湿润及半湿润地区,该模型适应性评价研究工作较少。为了拓展CLIGEN模型在我国的应用范围,本文选取川中丘陵区内的内江气象站作为研究站点,利用CLIGEN模型(v5.22564)内置的无插值算法(C)、线性插值算法(L)及其傅里叶插值算法(F)的3种方法对其生成的数据精度进行了分析与评价,可为该模型及其他水文过程模型在川中丘

收稿日期: 2012-08-27; 修回日期: 2013-04-15

基金项目: 国家863项目(2012AA121302); 中科院西部行动计划(KZCX2-XB3-09); 中央高校基本科研业务费专项资金(103.1.2 E022050205)

作者简介: 郑进军(1978-),男,博士,主要从事分布式水文过程模型和土地利用覆被变化方面的研究。

陵区的应用提供有效的研究参数和数据支持。

1 CLIGEN模型

CLIGEN模型的算法是基于EPIC模型和SWRRB模型发展而来的,模型对降水、气温、太阳辐射、风速和风向的模拟是相互独立的。CLIGEN生成的描述降水的参数有4个,但模拟降水时首先进行逐日雨晴状态的模拟,在此基础上进行日降水量、降雨历时、峰值雨强以及达到峰值雨强的历时与平均历时的比值的模拟。模型的模拟原理如图1所示。

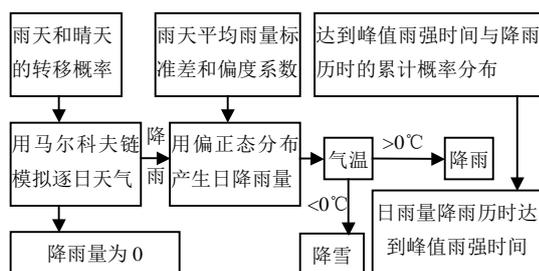


图1 CLIGEN模型模拟原理

模型中降水及其分布用二阶马尔可夫链描述,该方法包括计算不降水天-降水天 $P_r(W/D)$ 和降水天-降水天 $P_r(W/W)$ 的概率。CLIGEN模型中主要考虑降水量、降水历时、最大降水强度、气温、太阳辐射量、露点温度、风速和风向等主要气象要素,具体计算方法为:

$$\chi = \left\{ \left[\frac{g}{2} \left(\frac{X - \mu}{s} \right) + 1 \right]^{1/3} - 1 \right\} + \frac{g}{6} \quad (1)$$

式中, χ 为标准正态变量; X 为观测日降雨量; μ 、 s 和 g 分别为月降水量的均值、方差和偏度。

CLIGEN模型中温度假设服从正态分布,由于气温的高低与有无降水密切相关,分别采用以下公式计算日最高温度和日最低温度^[2]:

$$\theta_{\max} = \theta_{mx} + S_{mx}(\nu) \quad (2)$$

$$\theta_{\min} = \theta_{mn} + S_{mn}(\nu) \quad (3)$$

式中, θ_{\max} 和 θ_{\min} 分别为日最高温度和日最低温度; θ_{mx} 和 θ_{mn} 分别为特定月的日最高温度和日最低温度的平均值; S_{mx} 和 S_{mn} 为该月日最高温度和最低温度的标准差; ν 为标准正态偏差。

模型气象模拟插值算法分为无插值、线性插值、傅里叶插值和月均值插值。当气象站点气候特征和区域气候较吻合时,可以采用内置的无插值方法来模拟;当气候变化异常时,可以根据其异常程度选择线性插值和傅里叶插值方法,通过内插生成日气象参数用于模拟,当模拟时需保证月均值和观测站

月统计值保持一致时,可以选择月均值插值法,通过月均值进行内插生成模拟所需的日气象数据。月均值模拟主要应用于日气象变化显著异常的气象站点,故本文只采用前三种方法进行模拟。

2 模拟区域

川中丘陵区位于四川盆地的中部,如图2所示,属于中亚热带湿润气候,区域内地表径流资源不丰,地下水资源较贫乏^[11-12]。由于人地矛盾突出,土地垦殖率高,在地质地貌、气候、植被以及人为等因素综合影响下,该区成为长江上游水土流失最严重的地区之一,水文泥沙预测预报研究在该区显得尤为重要^[13-14]。CLIGEN天气生成模型能够为WEPP模型和AGNPS等水文过程模型提供气候输入参数,包括降雨量、降雨历时、最高温度、最低温度、太阳辐射因子等。内江属于典型的四川盆地地貌,具有川中丘陵区典型的气象特征,因此本文选取内江作为研究气象站来进行模拟,实验气象数据为该气象站1951~1999年的近48年长序列日气象数据。

在气象站点的参证站选择方面,本文利用CLIGEN模型提供的GenStPar version 1.005模型,以纬度分布及其降水转移概率的相似性两个指标确定模拟区的参证站为Florida的GAINESVILLE 2 SW气象站。



图2 气象站位置图

3 CLIGEN模型气候模拟

3.1 模拟方法

在选定研究气象站点后,本文通过输入气象站近43年的历史气象资料,包括各月降雨量、最高温度和最低温度的平均值以及参证站的相关变量,使用CLIGEN(v5.22564, WEPP版)配置的无内插、Fourier内插、Liner内插等3种算法,生成内江近百年的日天气数据CLI文件。该文件包括以下的逐日天气数据: 1) 降雨量; 2) 降水历时; 3) 最大降水强度

与平均降水强度比率; 4) 达到最大降水强度的时间与降水总历时的比率; 5) 最高温度; 6) 最低温度太阳辐射; 7) 风向; 8) 风速; 9) 露点温度等。CLIGEN模型(v5.22564)采用干湿两种状态一阶马尔科夫链对气象特征变化进行模拟, 通过计算降水转移概率决定降雨天数和降雨量的大小, 以此评价CLIGEN模型模拟中强度降雨效能的精确性。本文选取年均降雨量、季度降雨量、月降雨量、降水转移、降雨天数等5个参数进行精度评价; 而对季节性降雨分布特点研究方面, 则采用均值、标准差作为评估指标。

3.2 检验参数选取

对于年降雨量和月降雨量, 本文使用统计参数如日、月和年降水的均值、方差、偏度、峰度和极端值进行精度评价, 降雨量分布检验则根据检验样本数据分布的特点, 用独立样本分布检验中的T检验、Mann~Whitney检验、Wilcoxon非参数秩和检验、Kolmogorov~Smirnov(K~S)双样本检验、Moses检验和Wald~Wolfowitz Runs检验进行分析比较。其中T检验与Mann~Whitney检验可用于检验两个独立样本的均值是否取自同一总体, Wilcoxon非参数秩和检验、Kolmogorov~Smirnov(K~S)双样本检验、Moses检验和Wald~Wolfowitz Runs检验可用于判定

任意分布的样本序列是否来自于同一分布。在上述独立样本数据检验方法中, Mann~Whitney方法能够很好地反映两个样本是否代表位置有差异的总体, 适用于样本容量较大时的数据检验; Moses检验通过判定两个独立有序样本在观察值的分布范围是否存在差异, 以检验两个样本是否来自同一分布; Wald~Wolfowitz Runs检验也是考察两个独立样本是否来自具有相同分布的总体, 该统计方法适用于检验样本所来自的总体在各个方面是否存在差异; 同时当数据不满足连续性条件时, K~S检验的P值比Wald~Wolfowitz检验的P值大, 说明K~S检验对总体内单个参数差异性评价效果更好^[15]。

4 结果分析

4.1 年降雨

在研究区内江气象站点的实测年均降雨量为1 038.85 mm, 模拟结果较好, 如表1所示。在均值比较方面, Mann~Whitney检验表明实测数据与3种插值方法得到的模拟数据均值, 在P=0.01水平上差异不显著; Moses检验则对于实测数据和模拟数据的均值分布在P=0.01水平上差异不显著, 表明年均降雨量模拟结果较好, 如表2所示。

表1 年降雨量数据分析

模拟方法	均值/mm	标准差/mm	偏度系数	峰度系数	全时段最小值/mm	全时段最大值/mm	T检验	Mann~Whitney检验	Wald~Wolfowitz检验	Moses检验	K~S检验
实测值	1 038.85	214.99	0.512	0.271	628	1 611					
无内插	923.00	139.55	0.21	~0.48	605.7	1 228.2	0.02	0.06	0.21	0.76	0.04
线性	991.09	188.80	0.97	1.91	619.3	1 637.7	0	0.21	0.73	0.63	0.26
傅里叶	749.5	138.50	0.32	0.159	470.7	1 089.0	0	0	0	0.15	0

表2 内江1951~1999年各月份平均降雨量 mm

模拟方法	参数			
	最大值	最小值	均值	方差
实测值	14.48	217.62	86.57	73.22
无内插	7.29	219.73	69.43	74.42
线性插值	15.79	190.90	80.48	63.24
傅里叶插值	15.11	222.51	84.63	72.45

偏度系数主要用于量度随机变量相对于均值的不对称状况, 随机变量偏度系数绝对值大于1被认为偏斜严重, 在0.5~1之间为中度偏斜, 小于0.5为基本对称分布^[16]。在CLIGEN (v5.22564)提供的3种插值方法得到的模拟计算结果中, 只有线性内插方法出来的随机变量与原始数据较符合, 属于中度偏斜。因此对于年降雨量分布特征, CLIGEN (v5.22564)的年降雨分布相似性模拟效果较差。

峰度系数量度的是随机变量相对于均值的集中状况。研究站点年降水实测值峰度系数较大, 表明

该区域年降水分布具有的离散程度较高。而模拟值峰度系数为-0.48, 与实测值相比, 峰态系数差异较小, 且峰态系数均控制在-3~3的范围之内, 说明模拟得到的年降雨量频数分布曲线较扁平^[16]。

在年平均降雨量的模拟方面, 用历史数据通过3种插值方法模拟出来的年平均降雨量误差范围较合理, 其中无插值方法、线性插值方法和傅里叶插值方法的误差分别为11.1%、4.5%和27.8%。文献[1,5]对美国、澳大利亚等多个地区的适用性进行了评价, 其误差范围在0%~25%之间。通过对比可知, 3种插值方法在内江地区的年降雨量模拟具有较高的数据精度, 其中无插值方法和线性插值方法模拟精度更好。

4.2 月降雨量

由表2可知, CLIGEN模型模拟月平均降雨量精度较高, 最小相对误差为2%, 最大相对误差为20%。通过近50年的月实测平均降雨量与模拟降雨量的统

计数据的折线图如图3所示。由此可以看出,3种模拟方法模拟值与实测值走势趋向一致,其中无插值方法和线性插值方法模拟值更接近观测值。3种方法模拟值中的雨季(5~8月)模拟值均比实测值偏低,偏差幅度也不同,其中傅里叶插值法偏差幅度较大;在1~4月和9~12月模拟的结果中,除傅里叶插值法外,无插值方法和线性插值方法的模拟值比实际观测值偏大,表明在CLIGEN模拟的降水序列中,小雨强降水的次数偏多。

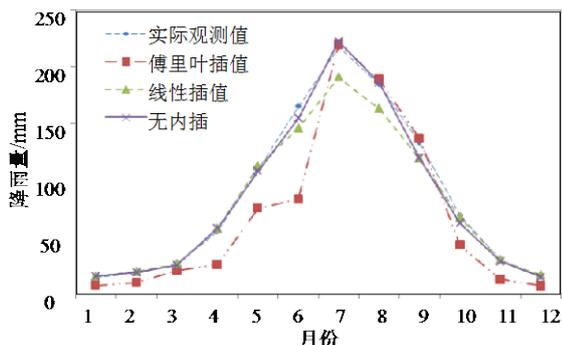


图3 内江1951~1999年月平均降雨图

4.3 季节降雨量分布和降雨天数

根据统计实测季节降雨量与3种插值方法计算得到的季节降雨总量分布情况,分别如表3和图4所示,CLIGEN模拟得到的季度降雨量均值和方差与实测数据没有显著的差异。春夏秋冬四个季节的模拟值误差范围分别为4.26%~7.94%、1%~3.68%、0.71%~5.7%和11.84%~17.67%,其中夏季降雨量相对误差范围较小,且无插值方法最优。通过分析可知,在季节性降雨过程中,夏季的降雨量相对误差最小,说明对于雨量较大的季节,CLIGEN模型的模拟精度更高。

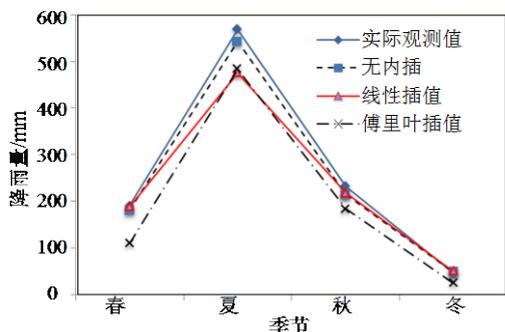


图4 站点季节降雨量分布对比图

表3 站点季度降雨量数据分析 单位: mm

季节	实际观测值	无插值	线性插值	傅里叶插值
春	190.87	180.64	188.27	109.89
夏	568.22	542.24	474.91	483.63
秋	232.53	214.15	218.02	184.21
冬	46.29	48.40	50.44	25.08

4.4 降雨转换概率和降雨天数

CLIGEN降水发生的模拟采用两状态(干、湿)一阶马尔科夫链描述。在模型计算中,某日降水发生的概率取决于前一日的降水状态,涉及到两个条件概率 α 、 β 的计算,其中 α 表示前一日为干日转为湿日的转移概率, β 表示前一日为湿日转为干日的转移概率。干湿状态的转换共有4种情形,分别为 $P_r(W/D) = \alpha$ 、 $P_r(D/D) = 1 - \alpha$ 、 $P_r(D/W) = \beta$ 和 $P_r(W/W) = 1 - \beta$ 。其中 $P_r(W/D)$ 、 $P_r(D/D)$ 、 $P_r(D/W)$ 和 $P_r(W/W)$ 分别表示一个干日转为湿日、干日延续干日、湿日转为干日和湿日延续湿日的概率。为了确定当日是否降水,需在均匀分布的[0,1]区间取一个随机数 r ,与 $P_r(W/D)$ 或 $P_r(D/W)$ 比较,如果 r 小于或等于 $P_r(W/D)$,则表明当日无降水,如果 r 小于或等于 $P_r(D/W)$,则表明当日有降水,具体如下:

$$P_r(W/W) = \frac{N_{ww}}{N_{dw} + N_{ww}} \quad (4)$$

$$P_r(W/D) = \frac{N_{dw}}{N_{wd} + N_{dd}} \quad (5)$$

式中, N_{ww} 为湿转湿天数; N_{dw} 为干转湿天数, N_{wd} 为湿转干天数; N_{dd} 为干转干天数。

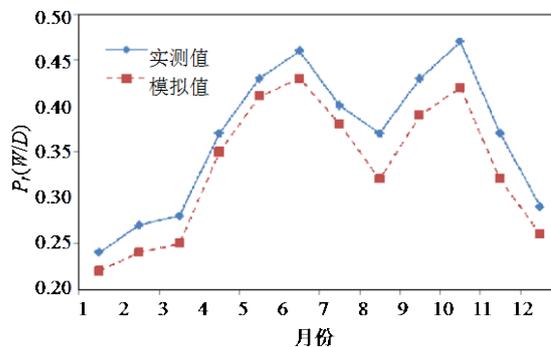


图5 内江降水转移概率 $P_r(W/D)$ 对比图

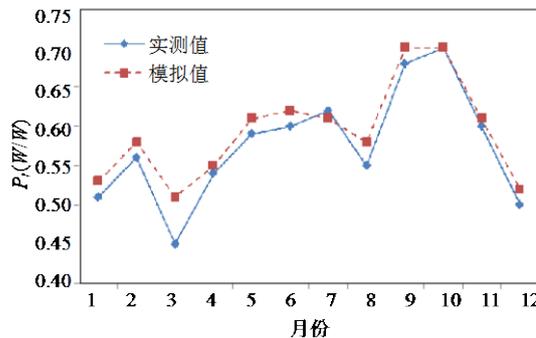


图6 内江降水转移概率 $P_r(W/W)$ 对比图

通过对原始降雨资料计算的 $P_r(W/W)$ 或 $P_r(W/D)$ 的结果与CLIGEN(v5.225 64)模拟值对比,

从分布趋势可知, 月序列的降水~降水概率和不降水~降水概率实测的平均值与模拟的结果一致, 模拟效果良好, 分别如图5和图6所示。内江的 $P_r(W/D)$ 相对误差绝对值在4.65%~13.51%之间, $P_r(W/W)$ 的相对误差绝对值在0%~4.65%之间。显示模拟值与观测值的降雨概率相当接近且呈高度相关性。同时由结果可知, CLIGEN (v5.225 64)的降水转移概率均值的模拟结果往往比实测数据计算的结果偏小。

5 结 论

本文以CLIGEN(v5.225 64)天气生成器模型, 选取内江气象站近48年的长时间序列气象资料作为输入数据, 进行长时间序列降雨模拟分析。结果表明, CLIGEN模型(v5.225 64)在年降雨量及其分布、季节降雨量及其分布和降雨天数等方面模拟结果较好, 进一步验证了CLIGEN模型(v5.225 64)在川中丘陵区具有较好的适用性。3种模拟方法中无插值方法比傅里叶插值法和线性插值法模拟结果更好, 说明在气象站点气候变化不异常的情况下, 采用无内插方法模拟精度更高。

参 考 文 献

- [1] YU B. Improvement and evaluation of CLIGEN for storm generation[J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(2): 301-307.
- [2] ZHANG X C, GARBRECHT J D. Evaluation of CLIGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction[J]. Transactions of the ASAE, 2003, 46(2): 311-320.
- [3] ELLIOT W J, ARNOLD C D. Validation of the weather generator CLIGEN with precipitation data from uganda[J]. Transactions of the ASAE, 2000, 44(1): 53-58.
- [4] HAYHOE H N, STEWART D W. Evaluation of CLIGEN and WXGEN weather data generators under Canadian condition[J]. Canadian Water Resources Journal, 1996, 21(1): 53-67.
- [5] YU B. An assessment of uncalibrated CLIGEN in Australia [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 119(3-4): 131-148.
- [6] 李志, 刘文兆, 张勋昌, 等. CLIGEN降水要素在黄土塬区的适应性评估[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(6): 31-36.
LI Zhi, LIU Wen-zhao, ZHANG Xun-chang, et al. Evaluation of CLIGEN precipitation elements on loess plateau[J]. Science of Soil and Water Conservation Journal, 2006, 4(6): 31-36.
- [7] 林忠辉, 莫兴国. CLIGEN生成干旱半干旱地区降水相关参数的验证[J]. 自然资源学报, 2008, 23(14): 514-527.
LIN Zhong-hui, MO Xing-guo. Evaluation of CLIGEN precipitation parameters in the semiarid and arid regions of the yellow river basin[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(14): 514-527.
- [8] 史志文, 徐俊荣, 潘锋, 等. CLIGEN随机气候生成器在天山西部中山带的适用性评价[J]. 干旱区地理, 2009, 32(4): 499-505.
SHI Zhi-wen, XU Jun-rong, PAN Feng, et al. Adaptability of CLIGEN model in the intermediate zone of the west tianshan mountains[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(4): 499-505.
- [9] 史婉丽, 杨勤科, 穆婉红. 随机气候生成器在黄土高原的适用性检验[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(6): 18-23.
SHI Wan-li, YANG Qin-ke, MU Wan-hong. Applicability test of CLIGEN in loess plateau[J]. Science of Soil and Water Conservation Journal, 2006, 4(6): 18-23.
- [10] 杨文仁, 范正成, 杨智翔, 等. CLIGEN 气候生成模式对台湾北部地区有效降雨模拟之适用性研究[J]. 农业工程学报, 2007, 53(3): 88-97.
YANG Wen-ren, FAN Zheng-chen, YANG Zhi-xiang, et al. A study on the adaptability of the climate generator model of CLIGEN to the simulation of the effective rainfall events in northern Taiwan[J]. Journal of Chinese Agricultural Engineering, 2007, 53(3): 88-97.
- [11] 何丙辉, 缪驰远, 陈晓燕, 等. CLIGEN气候生成器模型在紫色土地区的适应性研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 183-187.
HE Bing-hui, MIAO Chi-yuan, CHEN Xiao-yan, et al. Study on adaptability of CLIGEN model in purple soil area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(3): 183-187.
- [12] MEYER C R, RENSCHLER C S, VINING R C. Implementing quality control on a random number stream to improve a stochastic weather generator[J]. Hydrological Processes, 2008, 22(8): 1069-1079.
- [13] 姜万勤, 张新华. 川中丘陵区荒坡利用方式对水土流失影响的研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(1): 17-22.
JIANG Wan-qin, ZHANG Xin-hua. A study on the effects of the utilization ways of waste hillsides of the hilly region in the middle part of Sichuan province on soil erosion[J]. Journal of Natural Resources, 1997, 12(1): 17-22.
- [14] 朱波, 彭奎, 高美荣, 等. 川中丘陵区土地利用变化的生态环境效应—以中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站集水区为例[J]. 山地学报, 2001, 19(S1): 14-19.
ZHU Bo, PENG Kui, GAO Mei-rong, et al. Land use change and effects on eco-environment in hilly area of central Sichuan basin[J]. Journal of Mountain Research, 2001, 19(S1): 14-19.
- [15] 申希平, 丁建生, 李娟生, 等. 在SPSS中利用均数和标准差做两独立样本t检验[J]. 现代预防医学, 2007, 34(21): 4066-4067.
SHEN Xi-ping, DING Jian-sheng, LI Juan-sheng, et al. 2-independent-samples t test undertaking by the means of mean and standard deviation in SPSS[J]. Modern Preventive Medicine. 2007, 34(21): 4066-4067.
- [16] 李明财, 郭军. CLIGEN在华北地区生成降水的效能评估[J]. 中国农业气象, 2010, 31(2): 183-187.
LI Ming-cai, GUO Jun. Efficiency evaluation of precipitation generated by CLIGEN in north China[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(2): 183-187.

编辑 黄 莘