

# 石羊河下游民勤绿洲荒漠化影响因素趋势预测

柴成武<sup>1</sup>, 徐先英<sup>1,2†</sup>, 王方琳<sup>1</sup>

(1. 甘肃省治沙研究所 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 733000, 甘肃武威;  
2. 北京林业大学水土保持学院, 100083, 北京)

**摘要** 从荒漠化治理的实践出发, 用 Hurst 指数对内陆河下游民勤绿洲荒漠化影响因素进行预测分析, 对体现民勤绿洲荒漠化主要影响因子的农村人口、耕地面积、农村用电量、机井眼数和沙尘暴时间 5 个指标进行预测。结果表明: 未来 10 年内, 农村人口 Hurst 指数为 0.381, 与 1989—2003 年的上升趋势相反, 具有下降趋势; 年耕地面积 Hurst 指数为 0.578 3, 与 1989—2003 年时的上升趋势一致, 但持续性不强; 农村用电量 Hurst 指数为 0.332 4, 与 1989—2003 年的上升趋势相反, 具有下降趋势; 年机井眼数 Hurst 指数为 0.261 8, 与 1989—2003 年的上升趋势具有较强的长期相关性, 但为相反趋势; 年沙尘暴时间 Hurst 指数为 0.404 3, 呈与 1953—1998 年的下降趋势相反的弱持续相关性。通过预测认为: 应该加强对耕地面积的宏观调控, 抑制土地利用所引起荒漠化的发展, 控制开荒, 提高现有耕地的利用效率, 同时要继续宏观调控农村人口、农村用电量、机井数量变化向良性方向发展。

**关键词** 荒漠化; 影响因素; 趋势预测; 民勤绿洲

## Forecast of influencing factors of desertification in Minqin Oasis of lower reaches of Shiyang River

Chai Chengwu<sup>1</sup>, Xu Xianying<sup>1,2</sup>, Wang Fanglin<sup>1</sup>

(1. Gansu Desert Control Research Institute, National Field Science Observation and Study Station of Gansu-Minqin Desert Meadow Ecosystem, 733000, Wuwei, Gansu;  
2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, 100083, Beijing, China)

**Abstract** Based on some forecasting researches on the influencing factors of desertification which were done, the Hurst indexes of 5 factors which were rural population, cultivating area, power consumption in rural, amount of electromechanical well, and days of sandstorm were calculated to forecast the trend of desertification in Minqin Oasis under the practices of desertification combating. The results show that in the next 10 years periods, the Hurst index of rural population will be 0.381 which could make up a opposite trend compare with the up-trend from 1989 to 2003; the Hurst index of cultivating area will be 0.578 3 that there are a same up-trend as before, but it remained a short growing period; the Hurst indexes of power consumption in rural and the amount of electromechanical will be 0.332 4 and 0.261 8, respectively, in which their total trends would be opposite to the up-trend from 1989 to 2003; and the Hurst index of the days of sandstorm will be 0.404 3 which had a up-trend compare with the down-trend from 1953 to 1998, but the trend was a weak correlativity. In view of the forecast, some several suggestions that strengthening macroscopical control of cultivating area; reducing desertification caused by land using; enhancing efficiency of cultivating land utilization; making macroscopical control of rural population, power consumption in rural, amount of electromechanical well for sustainable development were put forward.

收稿日期: 2007-01-10 修回日期: 2007-05-24  
项目名称: 甘肃省科技攻关计划项目“河西走廊绿洲边缘土地合理利用及生态农业建设技术与示范”(2GS042-A41-002-02); 甘肃省沙漠综合治理创新团队  
第一作者简介: 柴成武(1980—), 男, 硕士。主要研究方向: 荒漠化防治与荒漠生态。E-mail: chaichengwu@sina.com  
† 责任作者简介: 徐先英(1963—), 男, 博士生, 研究员。主要研究方向: 荒漠化防治与植物水分。E-mail: xyxgxu@gsdcri.com

**Key words** desertification ; influencing factor ; trend forecast ; Minqin Oasis

荒漠化是当今全球最严重的环境与经济社会问题之一,自 1977 年联合国荒漠化大会之后,中国荒漠科学研究重点逐步由研究荒漠及其形成演变转到荒漠化过程的研究上,主要开展荒漠化驱动因素及其作用机制研究,尤其荒漠化及其驱动因素之间的定量关系以及动态模拟研究对荒漠化的防治具有十分重要的指导意义。在荒漠化预测研究中,国外主要集中于土壤侵蚀模型的模拟<sup>[1]</sup>、水蚀预报模型研究<sup>[2-3]</sup>、荒漠化变化态势研究<sup>[4]</sup>。国内研究中,贾宁凤等<sup>[5]</sup>通过对山西省河曲县荒漠化防治效益的多维灰色动态评估,预测了不同土地利用系统的发展趋势。鲁春霞等<sup>[6]</sup>通过人—地关系模型计算了大柳树工程移民前后对安置区产生的人口胁迫力变化。陈建平等<sup>[7]</sup>利用 3S 技术,结合元胞自动机理论架构出一套荒漠化动态模拟模型,进而对北京及相邻地区荒漠化的发展趋势进行了预测。马兴旺等<sup>[8]</sup>用 GIS 与专业计算地下水运动的 FEFLOW 软件结合模拟研究了民勤绿洲现状土地利用模式影响下地下水位的时空变化。但对于干旱荒漠区荒漠化影响因素预测还少有研究,笔者从指导荒漠化治理的实际出发,选取每年农村人口、耕地面积、农村用电量、机井眼数和沙尘暴时间 5 个指标作为影响石羊河下游民勤绿洲荒漠化的主要因素,通过 Hurst 指数计算,对人为影响为主导的荒漠化影响因素变化进行预测分析,为荒漠化治理的宏观决策提供理论依据。

1 研究区概况

民勤绿洲位于河西走廊东北部,石羊河流域最下游,东北与腾格里沙漠接壤,西北紧靠巴丹吉林沙漠(图 1)。地处温带干旱荒漠气候区,年均气温 7.8℃,年均降水量 113.2 mm,年均蒸发量高达 2 644 mm,年平均风速 2.55 m/s,年平均沙尘暴时间 37 d;土壤类型中地带性土壤以风沙土、灰棕漠土、草甸土、草甸沼泽土为主,非地带性土壤以灰棕漠土、草甸土等土类经过长期灌溉淋溶、耕作施肥等人为作用下形成的特殊土类——绿洲灌漠土为主<sup>[9]</sup>;植被有天然荒漠植被和人工植被 2 类,天然植被以蒺藜科、藜科、柽柳科、禾本科等植物为主构成,人工植被主要包括人工固沙植被、农田植被和农田防护林等。

民勤绿洲开发利用历史悠久,自西汉以来反复的农牧交替利用,对水土资源造成极大破坏。目前

不但地表水资源日趋减少,而且地下水开采已造成在绿洲内形成 4 个大面积的降落漏斗,地下水位已普遍下降到 10 m 以下。随人口压力的增加,土地资源利用矛盾愈显突出,生态环境状况越来越差。民勤绿洲现代土地荒漠化受人为因素的干扰,主要以反复垦殖、弃耕、过度水资源利用为主导的荒漠化。



图 1 研究区位置图  
Fig.1 Location of study area

2 指标选取

人口增长是环境资源压力的根本动力,人口的不断增长将带动对资源需求量的增加,并引发对自然环境的破坏;民勤绿洲荒漠化成因中,土地利用引起的荒漠化所占比例较大,2003 年开荒地弃耕 1 952.48 hm<sup>2</sup>,弃耕率达 48.61%,原有耕地弃耕 3 546.04 hm<sup>2</sup>,弃耕率达 3.39%;水资源短缺是民勤绿洲生态环境恶化的重要动力,大规模抽取地下水灌溉使民勤绿洲的水生态环境进一步恶化,农村用电量基本反映了民勤绿洲土地灌溉对水资源的需求,沙尘暴直接反映生态环境破坏和荒漠化的现状,也一定程度上反映荒漠化的程度;因此,选择与荒漠化过程密切相关的农村人口、耕地面积、农村用电量、机井眼数和沙尘暴时间 5 个指标进行荒漠化影响的预测指标。

3 研究方法

3.1 资料来源

所用统计数据来源于 1989—2003 年的《甘肃省农村年鉴》<sup>[9]</sup>、《甘肃年鉴》<sup>[10]</sup>、《甘肃民勤连古城自然保护区科学考察集》<sup>[11]</sup>、《民勤县国民经济和社会发展资料汇编》(民勤县统计局)等;气象数据来自民勤治沙综合试验站和民勤县气象局的观测资料(1953—2002 年)。

3.2 分析方法

传统的时间序列分析方法有时域分析方法和频

域分析方法,时域分析方法是利用随时间而变化的变量之间所具有的相关性质及其所提供的信息,研究时间序列的统计性质。分形理论的产生为时间序列分析提供了一个新的途径,霍斯特(H. E. Hurst)通过对时间序列数据的标度行为进行研究,发现按时间序列记录的结果有自仿射性,从而创立了域重新标度分析方法(rescaled range analysis),简称R/S分析,即时域分析方法,进而可以借助分形理论对其进行描述。通过对时间序列中存在的自相似性的挖掘,找出该时间序列变化的规律并做出预测。

假设在时刻  $t_1, t_2, \dots, t_N$  处取得的时间序列分别为  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ , 该时间序列的时间跨度为

$$\tau = t_N - t_1$$

对于任意正整数  $N \geq 1$ , 定义均值序列:

$$\xi_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i$$

在  $t_j$  时刻,  $\xi_j$  相对于其平均值  $\xi_N$  的累积偏差为

$$X(t_j, N) = \sum_{i=1}^j \{\xi_i - \xi_N\}, 1 \leq j \leq N$$

Hurst 引入量纲为 1 的比值  $R/S$ , 对  $R$  进行域重新标度:

$$Y(t) = (X(t), X(t + \Psi), X(t + 2\Psi), \dots, X(t + (m - 1)\Psi) \in R_m \quad (t = 1, 2, \dots, N)$$

式中:  $m$  为嵌入维数;  $\Psi$  为时间延迟。则有

$$R = \max_{t_1 \leq t \leq t_N} X(t, N) - \min_{t_1 \leq t \leq t_N} X(t, N)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^N [\xi_i - \xi_N]^2}$$

$$R/S = [\max_{t_1 \leq t \leq t_N} X(t, N) - \min_{t_1 \leq t \leq t_N} X(t, N)] /$$

$$\sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^N [\xi_i - \xi_N]^2}$$

应用该式, Hurst 得出经验公式:  $R/S = \left[\frac{\tau}{2}\right]^H$ , 相当于

$$\ln(R/S) = H \ln(\tau) - H \ln 2$$

上式中已知  $\ln(\tau/2)$  与  $\ln(R/S)$  时,  $H$  为斜率, 通常称  $H$  为 Hurst 指数。在双对数坐标系( $\ln(\tau/2)$ ,  $\ln(R/S)$ )中用最小二乘法拟合  $\ln(\tau/2)$  与  $\ln(R/S)$  的线性关系式可得  $y = ax + b$  ( $a$ 、 $b$  为常数)。根据分形理论的自相似性, 不管位移多少斜率保持不变, 斜率体现了分形特征的自相似性, 故斜率  $a$  与 Hurst 指数  $H$  对等。根据  $H$  的大小, 可以判断该时间序列的变化规律。对于不同的 Hurst 指数  $H$  ( $0 < H < 1$ ) 存在以下规律: 如果  $H = 0.5$ , 表明过

去的增量和将来的增量没有关系, 这是布朗运动, 即具有独立增量的随机过程; 如果  $0.5 < H < 1$ , 表明时间序列具有长期相关性, 即过程具有持续性, 一个量在过去的一段时间内有增加趋势就意味着在将来的同一个时间段内也有增加趋势, 反之亦然, 并且  $H$  值越接近 1, 持续性越强; 如果  $0 < H < 0.5$ , 表明时间序列具有长期相关性, 但将来总体趋势与过去相反, 即过程具有反持续性, 过去的增加趋势就意味着在将来的减少趋势<sup>[12]</sup>。

## 4 结果与分析

应用上述方法拟合出每年农村人口、耕地面积、农村用电量、机井眼数、沙尘暴时间 5 个指标在双对数坐标系中( $\ln(\tau/2)$ ,  $\ln(R/S)$ )的最小二乘法拟合式, 拟合的斜率即是 Hurst 指数  $H$  (图 2~6)。除机井眼数的预测相关系数不太高(0.653 1)外, 其他各指标的预测相关系数都较高。

### 4.1 农村人口变化

拟合曲线系数表明, 农村人口 Hurst 指数为 0.381, 小于 0.5 (图 2)。由于 1989—2003 年农村人口变化趋势呈上升趋势, 则未来 10 年内具有与原趋势相反的下降趋势。2001 年和 2002 年农村人口分别为 25.85 万、25.57 万, 相对于 2000 年有所下降, 而 2003 年的人口则上升到 27.07 万, 与原变化趋势一致。考虑到人口变化中一旦基数变大就很难降低的现实, 在人口变化整体趋势分析中剔除 2001 年和 2002 年的数据, 仍然认为其在 2000—2003 年具有上升趋势, 因此, 将来 10 年内民勤农村人口的变化将是下降趋势。民勤人口在近年来受政府干预较多。年计划生育计生率为 92.74%; 除计划生育外还有移民政策, 而且移民数量相当大, 从 2000 年开始民勤绿洲总迁出率达 1.2%, 东湖镇 2001、2002、2003 年迁移率分别达到 4.6%、4.7%、5%, 甚至出现了整个村庄搬迁的现象。

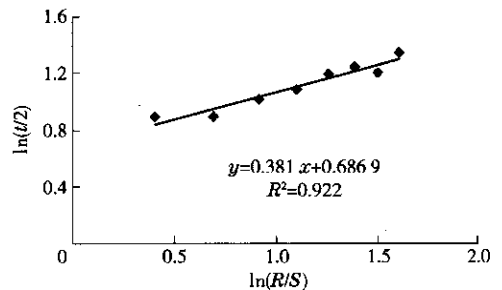


图 2 民勤绿洲农村人口变化预测

Fig.2 Forecast of rural population in Minqin Oasis

4.2 耕地面积变化

耕地面积 Hurst 指数为 0.578 3(图 3),稍大于 0.5,说明耕地面积在未来约 10 年内具有与 1989—2003 年一致的趋势,即上升趋势,但这种趋势的持续性不强。民勤土地利用方式所造成的荒漠化以原有耕地弃耕占主要方面,从 1998—2003 年人为开荒、弃耕的耕地面积分别增加了 2 063.73、1 952.48 hm<sup>2</sup>,增加率分别为 1.97%、1.86%。可以看出,在人口压力下将继续出现开荒地增加的趋势,从而引起农村耕地面积小幅增长的结果。耕地面积受人口变化的影响很大,随着人口的迁移,特别是整个村庄的迁移,将会出现大片的撂荒地,同时在没有移民的地区则又会出现垦荒现象,而民勤的生态环境问题近年来又受到国家的极度重视,政策的干预较多,垦荒会受到国家惩罚,这些因素将使得耕地面积的增长只能是小幅增长。

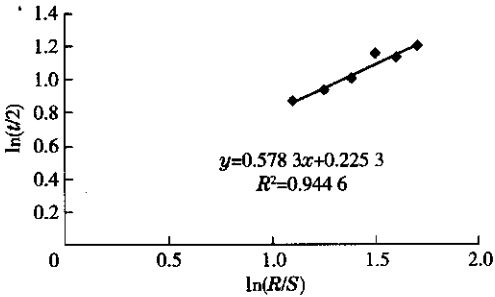


图 3 民勤绿洲耕地面积变化预测

Fig.3 Forecast of area under cultivation in Minqin Oasis

4.3 农村用电量变化

农村用电量 Hurst 指数为 0.332 4(图 4),远小于 0.5,表明其未来 10 年的变化趋势与 1989—2003 年的上升趋势相反,具有下降趋势。民勤农村用电量构成以农业灌溉为主,占农村总用电量的 90.2%。农业灌溉用电量的变化直接导致整个农村用电量的变化。调查发现,2002 年以来民勤绿洲为缓解水资源压力,政府强制农民每年灌河水 2 次,在

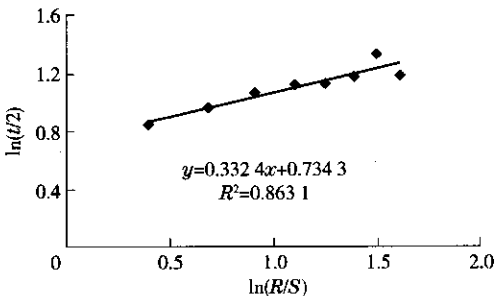


图 4 民勤绿洲农村用电量变化预测

Fig.4 Forecast of power consumption in rural in Minqin Oasis

丰水年灌河水 3 次,从而减少了抽取地下水的用电量,以 2004 年灌溉面积 5 370 hm<sup>2</sup>,计算灌水额达 1.074 亿 m<sup>3</sup>,相当于 2 204 眼井的年出水量,减少机井抽水用电的 4.51%。

4.4 机井眼数变化

拟合曲线系数表明机井眼数 Hurst 指数为 0.261 8,小于 0.5(图 5),说明机井眼数与 1989—2003 年的上升趋势具有较强的长期相关性,但为相反趋势。机井眼数是抽取地下水的直接量度,随着政府对民勤地下水位下降的极度重视,已经出台了关闭部分机井的政策,截至 2004 年已经关闭机井 397 眼,占总量的 3.97%;民勤景电二期延伸向民勤调水工程的实施,虽然不能从根本上解决民勤绿洲的水资源短缺问题,但会减少地下水的抽取数量。2003 年外流域调水 4 360 万 m<sup>3</sup>,2004 年外流域调水则已达到 6 500 万 m<sup>3</sup>,2 年总计调水量相当于 1 114 眼机井的年出水量。近年来的节水理念也已逐渐深入农村,一些节水灌溉措施已经在实施中。民勤绿洲年衬砌渠道 2002 年为 126.581 km,而 2004 年已达 594.53 km,2003 年和 2004 年分别节水 3 600 万 m<sup>3</sup>、4 600 万 m<sup>3</sup>,相当于 841 眼井的年出水量。这些因素必将引起对地下水需求的减少。

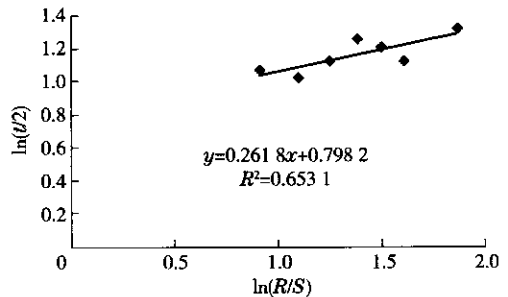


图 5 民勤绿洲机电井眼数变化预测

Fig.5 Forecast of amount of electromechanical well in Minqin Oasis

4.5 沙尘暴时间变化

如图 6 所示,沙尘暴时间 Hurst 指数为 0.404 3,小于但接近于 0.5,则沙尘暴时间具有与 1953—1998 年的趋势相反的弱持续相关性。1953 年沙尘暴时间为 129 d,而 1997 年和 1998 年的沙尘暴时间分别为 5 和 9 d,相对于 1953 年沙尘暴次数减少幅度极大,在此过程中出现了多次下降升高的反复变化,但总体而言,呈下降趋势。按照 Hurst 指数表现的性质,则在未来 10 年内年沙尘暴时间将会增加。从已有数据来看,2002、2003 和 2004 年民勤绿洲沙尘暴时间分别 12、39 和 15 d,与 1998 年和 1999 年的 5 和 9 d 相比,变化规律虽不太规则,但总体呈增加趋势,

预测结果较为理想。这也与钱正安等<sup>[13]</sup>利用 1952—2000 年间中国西北及华北强及特强沙尘暴资料进行的分析结论一致。近 50 年来中国沙尘暴频数变化的特点是,20 世纪 60—70 年代波动上升,80—90 年代波动减少,2000 年后又急剧上升,未来,研究区可能将进入新一轮沙尘暴活跃期。

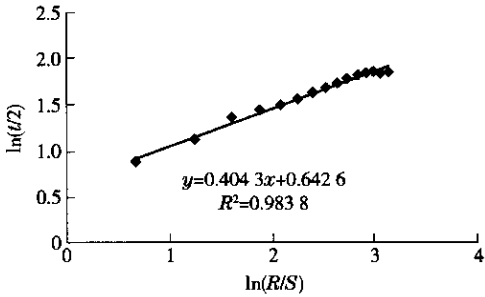


图 6 民勤绿洲沙尘暴变化预测

Fig.6 Forecast of the days of sandstorm in Minqin Oasis

## 5 结论与讨论

1) 根据 Hurst 指数预测的结果,在体现民勤绿洲荒漠化主要影响因子的农村人口、耕地面积、农村用电量、机井眼数和沙尘暴时间 5 个指标中,在未来 10 年内,农村人口、农村用电量、机井眼数将呈下降趋势,而沙尘暴时间和耕地面积将呈上升趋势。

2) 就预测结果对现实的指导意义而言,本研究的预测结果是基于目前的变化趋势,通过调控可以使某些因子发生变化,从而趋利避害。具体地应该加强对耕地面积的宏观调控,抑制土地利用所引起荒漠化的发展,控制开荒,提高现有耕地的利用效率;同时要继续宏观调控农村人口、农村用电量、机井数量变化向良性方向发展。

3) 荒漠化影响因子预测是荒漠化预测的前期基础工作,荒漠化影响因子的变化将直接导致荒漠化的演变。通过各影响因子权重或重要值的确定,结合荒漠化发展因子预测,进而确定荒漠化发展趋势及其荒漠化各因子发展方向及程度,是荒漠化机制研究走向数量化的一条道路。

4) 本文对于民勤绿洲年沙尘暴时间将增加的论断,虽然近年气候研究中有“中国西北气候由暖干型向暖湿型转变”的预测,其中也提到沙尘暴将减少的论断,但其在分析时剔除了 5 个例外的地方,而其

中就有民勤<sup>[14]</sup>。

## 6 参考文献

- [1] Kirkby M J, Abrahart R, McMahon M. D, et al. MEDALUS soil erosion models for global change. *Geomorphology*, 1998, 24(1): 35-49
- [2] Santhi C, Srinivasan R, Arnold J G, et al. A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas. *Environmental Modelling & Software*, 2006, 21(8): 1141-1157
- [3] Southworth J, Munroe D, Nagendra H. Land cover change and landscape fragmentation: comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 101(2-3): 185-205
- [4] Sivakumar M V K, Gommers R, Baier W. Agricultural and Forest Meteorology. *Agrometeorology and sustainable agriculture*, 2000, 103(1-2): 11-26
- [5] 贾宁凤,李旭霖,段建南. 荒漠化防治条件下土地利用系统多维灰色动态评估:以山西省河曲县为例. *水土保持通报*, 2004, 24(3): 24-28
- [6] 鲁春霞,谢高地,李昌林,等. 黄河大柳树水利工程移民对生态环境的影响预测评价. *水土保持通报*, 2002, 22(5): 32-35
- [7] 陈建平,丁火平,王功文,等. 基于 GIS 和元胞自动机的荒漠化演化预测模型. *遥感学报*, 2004, 8(3): 254-260
- [8] 马兴旺,李保国,吴春荣,等. 民勤绿洲现状土地利用模式影响下地下水位时空变化的预测. *水科学进展*, 2003, 14(1): 85-90
- [9] 甘肃省农村年鉴编委会. 甘肃省农村年鉴. 北京:中国统计出版社, 1990—2004
- [10] 甘肃年鉴编委会. 甘肃年鉴. 北京:中国统计出版社, 1990—2004
- [11] 唐小平,何承仁,宋朝枢. 甘肃民勤连古城自然保护区科学考察集. 北京:中国林业出版社, 2001
- [12] 吴怀宇. 时间序列分析与综合. 武汉:武汉大学出版社, 2003: 148-159
- [13] 钱正安,宋敏红,李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析. *中国沙漠*, 2002, 22(2): 106-111
- [14] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估. 北京:气象出版社, 2003: 52-60

(责任编辑:程云)