

太行山山前平原降水量特征及其分布的小波分析 ——以栾城为例*

李发东¹⁾²⁾³⁾ 宋献方¹⁾ 张秋英⁴⁾ 刘昌明¹⁾ 张喜英²⁾ 胡春胜²⁾

¹⁾(中国科学院陆地水循环与地表过程重点实验室,北京 100101)

²⁾(中国科学院石家庄农业现代化研究所,石家庄 050021)

³⁾(中国科学院研究生院,北京 100039)

⁴⁾(中国科学院成都山地灾害与环境研究所,成都 610041)

摘 要

运用墨西哥帽函数(Mexican Hat Function)小波分析方法对太行山山前平原典型地区的栾城站 40 年来的降水量以及当地典型作物冬小麦不同生育期阶段的降水量进行了小波分析。结果表明,分时段的降水量并无一个稳定的周期,而是变周期。该区全年降水量变化在 40 年尺度上可分为 1980 年前的偏多期和其后的偏少期;10~30 年尺度上可分为 60 年代末以前的偏多、1997 年以后的偏少和这期间的动荡期;在较小时间尺度上存在 5~7 年的周期变化,今后 10 年内年降水量的总体趋势依旧偏少,5 年内为少中有稍偏高于平均降水量的趋势。冬小麦全生育期均存在较明显的 4 个阶段的交替变化,1967 年以前的偏多期、1967~1983 年左右的偏少期、1984~1994 年左右的偏多期、1995 年以后的偏少期。

关键词:太行山山前平原 降水量 小波分析 冬小麦

引 言

太行山山前平原是河北省小麦、玉米、大豆、油菜、棉花的主产区,近几十年来,以中国科学院栾城农业生态系统实验站为基础进行了大量农业节水研究^[1-2],从而奠定了该站在华北平原特别是山前平原农业水管理研究中的地位。该站位于河北省石家庄市栾城县东南,北纬 37°50′,东经 114°40′,海拔 50.1 m,属暖温带半湿润半干旱气候,可代表太行山前华北平原高产农区的农业生产概况。区域内地势平坦开阔,土层深厚,质地良好,也是华北平原的主要粮食生产区。降水是该区水资源的重要补给源,降水通过对作物的水供给以及对地下水的补给,对当地的农业生产有重要影响^[3]。降水异常及其导致的旱涝灾害是影响作物产量的主要气象因子。因此,研究这一区域降水量的波动变化规律及其在不同作物生育期的分配状况,对其发生发展的长期趋势作出预测具有十分重要的意义。关于华北地区的降水特征分析已有不少研究,如年际分析、年代际特征分析及其趋势预测^[4-8]、季节降水时空特征分析^[9]等等。这些研究多侧重区域分析,很难避免进行空间

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-428)和中国科学院地理资源所创新主干计划(CX10G-E01-08-02)共同资助。

2003-11-21 收到,2005-01-10 收到再改稿。

平均时不削弱某些点的特征,而定位的深入分析尚少见报道。

本研究的目的是试图通过分析这一地区的自然降水特征,用小波分析的手段,寻找其时间分布规律,为该区农作物节水生产管理提供决策依据,为进一步研究该区降水与地下水动态、作物耗水、粮食产量关系提供基础。该站地处太行山山前平原,宏观下垫面相对均一,其定位研究对其他类似地区亦有一定的借鉴意义。

1 年降水特征

小波分析自提出以来,目前在许多领域应用并取得了大量的研究成果,为探讨华北地区长期旱涝趋势的可预报性提供了信息^[10~14]。本文采用在水文资料分析中常用的 Mexican Hat 函数对降水时间序列按照全年和冬小麦生育期进行详细分析,以期发现其变化趋势。

本研究选取栾城农业生态系统实验站 1960~2001 年降水量进行分析。通过对不同时间尺度(包括全年和冬小麦不同生长季)降水量进行小波分析,探讨降水量的变化特征。

1.1 降水的统计特征分析

表 1 是栾城站降水量的统计特征,由表可知,年降水量变化最大。冬小麦生育期降水量的标准差相对较小,但各阶段降水量的最小值均小于 5 mm,对冬小麦的生长无益。在冬小麦生育期,最大、最小降水量与平均值之比分别为 2.5 和 0.4。其中,冬小麦生育期中的 4 月最大值为多年平均值的 6.8 倍。

由此可知,不管是年降水量,还是冬小麦各生育期的降水量,都表现出非稳定性。为了获得 40 多年来作物生长期降水量的变化,有必要运用谱分析方法对其数据系列进行分析。

表 1 栾城站年降水量及冬小麦生育期降水量统计特征

	样本数	最小值/mm	最大值/mm	平均值/mm	标准差/mm
1~12月	42	244.1	1047.0	480.3	178.4
10月至次年5月	41	41.8	287.8	117.0	57.1
10~11月	41	3.7	173.6	41.4	32.1
11月至次年2月	41	0.2	73.5	13.0	13.2
3月	41	0.0	51.4	10.7	12.6
4月	41	0.0	129.2	19.0	22.9
5月	41	2.9	162.0	33.0	34.5

1.2 总体特征

1960~2001 年降水资料的分析结果表明,42 年平均降水量为 480.3 mm,其中 1963 年为百年罕见的暴雨年,降水量达 1047 mm,降水量贡献主要来自当年 8 月,降水量达 751.9 mm,其他各月较多年平均降水量还少 54.3 mm。最早年发生在 1972 年,年降水量仅 244.1 mm,最大与最小值相差达 3.3 倍之多,变幅达 803.9 mm。为消除周期变化,对数据进行 3 年滑动平均处理,其变化趋势表明,42 年来栾城降水量呈逐渐下降的趋势。降水的丰枯趋势大致可分为:20 世纪 60 年代偏多,70 年代正常,80 年代以后偏少,1980~2001 年年平均降水量仅 414.5 mm,较平均值低 13.7%,这与华北平原 20 世纪 80 年代

以来降水量变化的大趋势相同^[15]。

1.3 降水季节变化与作物生育期降水特征

栾城站多年降水的年内分配分析可知,在季风气候影响下,该区降水主要集中在夏季,6~9月降水量达364.7 mm,占全年降水量的75.9%,而且常以暴雨形式发生。在过去42年中,7月降水量最大,达137.9 mm,8月次之为130.8 mm,6月和9月相近分别为47.0 mm和49.0 mm。根据气象学上常规划分,该站夏季(6~8月)多年平均总降水量为315.7 mm,占全年降水量的65.7%,秋季(9~11月)为90.1 mm,占18.8%,冬季(12月至次年2月)和春季(3~5月)分别为12.7 mm和61.7 mm,分别占全年降水量的2.6%和12.9%。由此可知,秋季降水可一定程度上补给冬小麦播种、出苗所需水分,但由于冬季该区基本无雨雪补给,秋季降水不足以满足冬小麦越冬耗水需求,必须通过灌溉补充。

2 降水的小波分析

2.1 全年降水特征的小波分析

全年降水量变化的小波分析结果见图1,图中通过小波变换系数的正值(实线)和负值(虚线)的交替来表示,零线用标注0的实线表示。为了更好地分析年降水量的周期演变特征,分为2年、5年、10年、20年和40年时间尺度,描绘了数据的小波变换结果(见图1)。由图1可知,在不同时间尺度上的周期变化不同,在40年以上的较大时间尺度上降水变化总体可分为两个阶段:即1975年前的偏多期和其后的偏少期;10~30年可分为三个阶段:60年代末以前的偏多、1997年以后的偏少和这期间的动荡期;在较小时间尺度上存在5~7年的周期变化。在前20年中有7年左右的偏少期,大致为1968~1975年,而在1975年以后的偏少期中还存在一个6~7年的偏多和偏少的交替变化。由这些趋势分析,今后10年内,年降水量的总体趋势依旧偏少,5年内为少中有稍偏高于平均降水量的趋势。

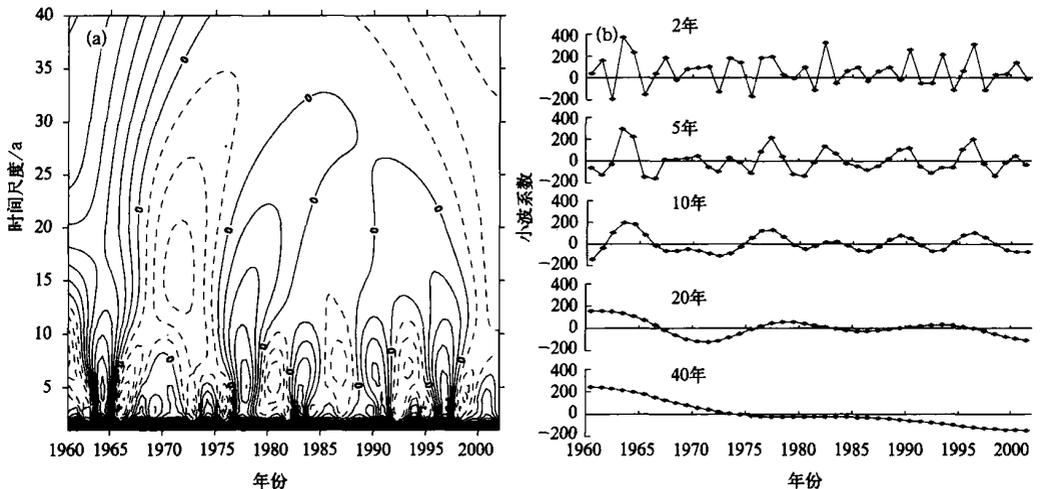


图1 栾城站年降水量的小波分析(a)与不同时间尺度周期演变特征(b)(1960~2001年)

2.2 冬小麦生育期降水特征的小波分析

由图 2.3 可知,该区冬小麦全生育期(10月至次年5月)周期变化比全年变化稍平缓,与全年变化不同,从 20~40 年长时间尺度分析,均存在较明显的 4 个阶段的交替变化,即 1967 年以前的偏多期、1967~1983 年左右的偏少期、1984~1994 年左右的偏多期、1995 年以后的偏少期。在长周期变化下还隐藏着短周期变化趋势,但这些周期变化与全年相比比较模糊,1985 年以前偏多和偏少周期大致为 4~6 年,而其后这种变化变得不明显,并可能 1~3 年内存在稍高于平均降水量的趋势。由于降水量相对稳定,冬小麦的生长受降水量影响也相对较小。灌溉是满足其生长的主要水量供给。

10~11 月是冬小麦的苗期,降水量和灌溉量的多少将直接影响冬小麦的出苗、长势和有效分蘖,是基本苗的保证,期间降水状况将影响底墒水的灌溉量。期间降水量的大趋势以 20 年为尺度看,1974 年前偏多,1975~1981 年偏少,1982~1994 年偏多,1995~1998 年偏少,1999 年以后稍有偏多。在 1974 年前的偏多中又含有 2 个分别约 4 年和 3 年的偏少期。同样在 1982~1994 年的偏多期也存在偏少。由图可知期间降水量的极值出现在 1979 年。近年的苗期降水量仍处于多于平均年。

充足的越冬水是冬小麦正常过冬的保证。12 月至次年 2 月的降水量小波分析结果表明,该期间的变化周期约为 15 年,其偏多和偏少的变化较均匀。在小尺度上还大致有 3 年左右的小周期,但不是很明显。2001 年后进入偏多期,冬季降雪增加将有助于冬小麦过冬,利于冬小麦增产。

3 月大致为该区冬小麦的返青和起身期,该期降水量的多少对其返青和起身有一定影响,多年平均降水量仅 10.7 mm。图 3 表明,期间降水量存在 30 年的大周期和 10 年左右的小周期变化,2000 年以后一直处于偏少期,加之该期风大,在长势不好时,起身水仍有必要灌溉,以保证齐苗。

4 月的降水总体上周期不明显,大致可以分为 2 个阶段:1975 年以前周期为 5~6 年,其后周期为 10 年左右。虽然多年降水量不高,仅 19.0 mm,但多雨年降水量也达 30 mm 左右,此期正值冬小麦拔节孕穗,是决定产量的关键期,可以缓解旱情和减少灌溉量。近年处于偏多期。

从 30 年时间尺度看,冬小麦抽穗-灌浆-成熟期的 5 月降水量在 1965~1976 年偏少,1995 年以后偏少,其他年偏多。1982 年以前变化周期大致为 5~8 年,1962~1965;1970 年前后;1977 年前后偏多,其他时段偏少。1983~1996 年期间周期变化不明显,此后大致有 5 年的周期,预计 2005 年前仍以干旱为主,灌溉仍为产量的重要保证。

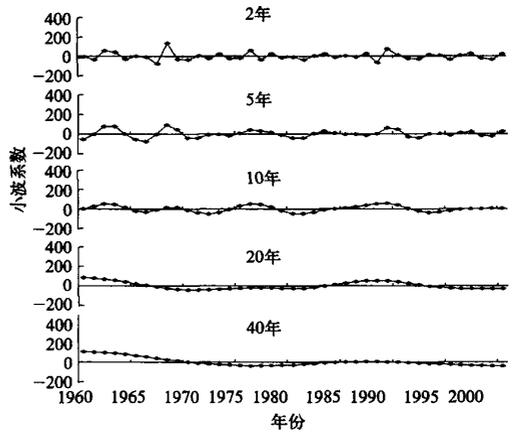


图 2 不同时间尺度冬小麦全生育期降水的小波变化

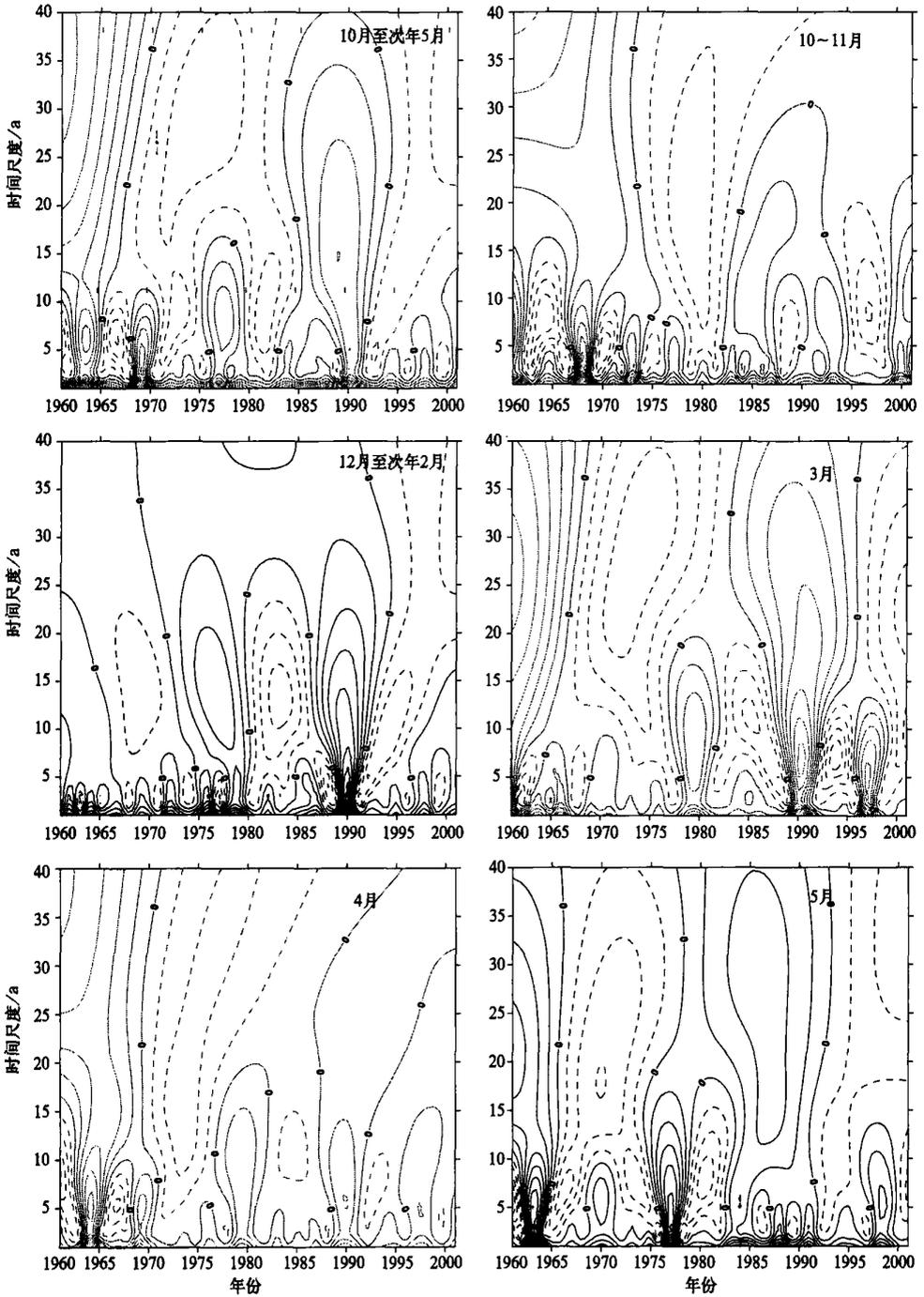


图3 冬小麦各生育期降水量的小波分析

3 小结与讨论

对栾城站 40 年来的降水量资料进行详细分析,结果表明:该区多年平均降水量为 480.3 mm,最大降水量达 1047 mm,最小仅 244.1 mm;降水量的年内分配以 6~9 月为主,占全年总降水量的 75.9%;冬小麦生育期降水量为 117 mm,主要靠灌溉补给。

对全年和冬小麦生育期降水量的小波分析表明:40 年来全年降水量变化可分为 1980 年前的偏多期和其后的偏少期;20 世纪 60 年代末以前的偏多、1997 年以后的偏少和这期间的动荡期;在较小时间尺度上存在 5~7 年的周期变化,今后 10 年内年降水量的总体趋势依旧偏少,5 年内为少中有稍偏高于平均降水量的趋势。

冬小麦全生育期均存在较明显的 4 个阶段的交替变化:1967 年以前的偏多期、1967~1983 年左右的偏少期、1984~1994 年左右的偏多期、1995 年以后的偏少期。可能在 1~3 年内存在稍高于平均降水量的趋势。近年的苗期降水量仍处于多于平均年。12 月至次年 2 月降水量 2001 年后进入偏多期,3 月一直处于偏少期,4 月近年处于偏多期。5 月降水量预计 2005 年前仍以干旱为主,灌溉仍为产量的重要保证。

小波分析结果表明,分时段的降水量并无一个稳定周期,而是变周期,各时段的周期性差异很大。该地区年降水量较低,近 2 年有稍偏多的趋势,偏多量集中在冬小麦生育期。

上述降水量结果表明,在当地一年两熟的种植制度下,冬小麦主要靠灌溉补给,通过各种农艺和工程节水措施达到作物蒸散耗水与产量的边际效益最大,将是我们实施节水管理追求的目标。在过去对降水量进行小波分析的研究中,主要是分析降水的特征^[6,8,12,16],本研究在分析降水特征的同时,围绕华北主要农作物冬小麦各生育期的降水量进行了较详细的讨论,使我们对基于作物的降水分配有了进一步的认识。通过分析,为我们如何根据降水量的时空分配与节水措施实现优化组合提供了依据。

此外,在全球变化和人类活动影响的大背景下,降水量的变化必然与温度以及人类活动特别是农业水管理发生密切联系。降水量的变化趋势及其与其他因素的关系仍有待进一步研究。

参考文献

- 1 刘昌明,张喜英,由懋正.大型蒸渗仪与小型棵间蒸发器结合测定冬小麦蒸散的研究.水利学报,1998,(10):36~39.
- 2 Liu Changming, Zhang Xiying, Zhang Yongqiang. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 111: 109~120.
- 3 杨永辉,郝小华,曹建生,等.太行山山前平原区地下水下降与降水、作物的关系.生态学杂志,2001,20(6):4~7.
- 4 黄嘉佑,张谭.黄河流域旱涝与水资源分析.大气科学,1996,20(6):673~678.
- 5 黄荣辉,徐予红,周连童.我国夏季降水的年代际变化及华北干旱趋势.高原气象,1999,18(4):465~476.
- 6 杨广基.华北地区的降水特征及趋势估计.高原气象,1999,18(4):668~677.
- 7 杨辉,宋正山.华北地区水资源多时间尺度分析.高原气象,1999,18(4):496~508.
- 8 陈烈庭.华北各区夏季降水年际和年代际变化的地域性特征.高原气象,1999,18(4):477~485.

- 9 孙燕,王谦谦,钱永甫,等.华北四季降水特征及与我国其他地区降水的联系.南京气象学院学报,2002,25(4):503~509.
- 10 崔锦泰.小波分析导论.西安:西安交通大学出版社,1995.1~20.
- 11 王文圣,丁晶,向红莲.小波分析在水文学中的应用研究及展望.水科学进展,2002,13(4):515~520.
- 12 匡正,季仲贞,林一骅.华北降水时间序列资料的小波分析.气候与环境研究,2000,5(3):312~317.
- 13 张存杰,董安祥,白虎志,等.甘肃省河东地区伏旱的小波分析.应用气象学报,1998,9(9):291~297.
- 14 张美平,敖淑珍,刘翔,等.广州白云国际机场近46年来雷暴气候的统计特征.应用气象学报,2004,15(1):66~73.
- 15 陈隆勋,邵永宁,张清芬.近四十年我国气候变化初步分析.应用气象学报,1991,2(2):164~174.
- 16 牛存稳,张利平,夏军.华北地区降水量的小波分析.干旱区地理,2004,27(1):66~70.

WAVELET ANALYSIS OF PRECIPITATION AND ITS DISTRIBUTION IN THE PIEDMONT REGION OF TAIHANG MOUNTAINS — A CASE STUDY AT LUANCHENG STATION

Li Fadong¹⁾²⁾³⁾ Song Xianfang¹⁾ Zhang Qiuying⁴⁾ Liu Changming¹⁾
Zhang Xiying²⁾ Hu Chunsheng²⁾

¹⁾ (Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

²⁾ (Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, CAS, Shijiazhuang 050021)

³⁾ (Graduate School, CAS, Beijing 100039)

⁴⁾ (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041)

Abstract

A 40-year time series of annual precipitation and its distribution during the growth period of winter wheat at Luancheng Station, Agroecosystem Experimental Station of Chinese Ecological Research Network, CAS, located in typical region of Piedmont region of Taihang Mountains, is analyzed by statistic and Mexican Hat Function wavelet analysis. The results shows that the period in different intervals is not stable, but variable. The annual precipitation variation can be divided into two periods, more than mean precipitation before 1980 and less than mean later, on the 40 years scale. On 10 to 30 years scale, it is richer before 1960s and less after 1997, and more or less between the m. Furthermore, periodic variation of 5—7 years is found in shorter time scale. In a whole, from now to 2010, annual precipitation will have still a decreasing tendency, but it will be more than that of mean during the coming five years, possibly. Four times of alternate variation, more than mean precipitation before 1967, less from 1967 to 1983, richer from 1984 to 1994 and less after 1995, are found in the whole growing season of winter wheat.

Key words: Piedmont region of Taihang Mountains Precipitation Wavelet analysis Winter wheat