

关中平原明代霜雪灾害特征及小波分析研究

赵景波^{1,2}, 邢 闪², 周 旗¹

(1. 宝鸡文理学院陕西省灾害监测与模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721008;
2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要:通过对关中平原明代历史文献资料的搜集和统计分析,研究了该区明代霜雪灾害等级、阶段与灾害发生周期等。结果表明,关中平原明代霜雪灾害可划分为轻度、中度、重度三级,各占总灾害频次的23%,54%,23%。该区明代霜雪灾害可划分为4个阶段,第1阶段(1368~1448年)和第3阶段(1508~1568年)为灾害少发期,第2阶段(1449~1507年)和第4阶段(1569~1644年)为灾害多发生期。小波分析显示,关中平原明代轻度、中度和重度霜雪灾害分别存在11 a、8 a、44 a的周期变化。初步确定关中平原明代1618~1631年发生了1次寒冷气候事件。

关 键 词:关中平原;明代;霜雪灾害;小波分析;寒冷气候事件

中图分类号: X43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)01-0081-06

关中平原地势平坦,为陕西省主要的粮棉生产基地。但关中平原历来又是自然灾害较为频繁的地区^[1,2],致使粮棉的年产量波动较大,存在着严重的粮食安全问题 and 安全隐患^[3]。关中平原作为王玺之地,记载有丰富的历史资料,这些资料对分析该地区历史时期的自然灾害及气候具有重要的参考价值。目前,已有很多学者充分利用史料对关中地区的自然灾害进行分析及预测,取得了丰硕的研究成果^[4,5],但对该区霜雪灾害的研究几乎空白。霜雪灾害包含霜冻灾害和雪灾,它们有一个共同的特点,即成灾原因都在于低温,或相对低温,或绝对低温,这是本文将霜雪灾害归为一类来讨论的原因。

自然灾害的不均匀性、多样性、差异性、随机性、迟缓性以及重现性等复杂的特点^[6],使得“简单”的理论和科学方法已不能给人类对自然灾害更深入的认识。小波分析方法是近代发展起来的一种信号时、频局部化分析的新方法,它在时域和频域上同时具有良好的局部化功能,可以对时间序列进行局部化分析,剖析其内部精细结构^[7~9],也可以展示大的变化趋势,对于分析复杂的自然灾害系统^[10~15]尤为适用。本文以关中明代的历史文献^[14~16]的记载为依据,探讨关中平原明代霜雪灾

害发生的等级和阶段,并利用小波分析方法分析各等级灾害的周期变化,以期有利于该地区霜雪灾害的预测和防治。

1 研究区域概况

关中平原又称渭河平原和关中盆地,位于陕西省中部,西起宝鸡,东到潼关,南界秦岭,北接渭河北山,包括西安、咸阳、宝鸡、渭南等地区的27个县市,约占全省土地面积的15%。关中平原地势西高东低,平均海拔400 m左右,属暖温带半湿润气候,年平均降水量为550~700 mm,年平均气温为12℃~13℃,年最高气温约为41℃,年最低气温约为-16℃。

2 资料来源与分析方法

2.1 资料来源与灾害等级

以《西北灾荒史》^[14]、《中国三千年气象记录总集》^[15]和《中国气象灾害大典(陕西卷)》^[16]以及地方志等历史文献资料中对关中平原霜雪灾害的记载为依据,统计明代1368~1644年时段共277 a的霜雪灾害发生频次,并根据历史文献资料中对霜雪灾害持续时间、强度、受灾范围以及受影响程度等,将关中平原的霜雪灾害划分为以下几

收稿日期:2010-10-11; 修订日期:2010-12-07

基金项目:陕西省灾害监测与模拟重点实验室项目(09JS074)、国家自然科学基金项目(40672108)资助。

作者简介:赵景波(1953-),男,山东滕州人,教授,主要从事第四纪与区域环境学研究。E-mail: zhaobjb@snnu.edu.cn

个等级。

第1级为轻度霜雪灾害。文献中常常有小范围“霜”、“微霜”、“降雪”等模糊或霜雪发生轻微的记载,持续时间不长,波及范围不广,而且未记载对人民生产、生活等方面造成影响或产生的影响不大。如明景泰六年(1445年),西安“六月奏:西安等府四月霜、雪”^[14~16]。

第2级为中度霜雪灾害。文献中有记载霜雪持续时间较长、局部范围受灾、陨霜杀稼、减免某地灾害额赋等。如明正统三年(1438年),关中地区“七月,陕西西安所属州县奏:自夏迨秋雨雹大作,霜降不时,伤害禾稼”;明万历十六年(1588年),西安、渭南“春,陨霜,杀禾;七月,严霜杀稼”^[14~16]。

第3级为重度霜雪灾害。文献中描述了有受灾范围较广,大量民田绝收,有人畜死伤,人民生命财产受到重大损失的归为重度霜雪灾害。如明万历四十六年(1618年),西安“四月,陕西大雨雪,骡橐驼冻死两千蹄”;明万历四十八年(1620年),渭南“冬,大雪,至翌年仲春始霁,人多冻死”^[14~16]。

统计结果表明,关中平原明代277 a发生轻度霜雪灾害5次,占灾害总数的23%;中度霜雪灾害发生12次,占灾害总数的54%;重度霜雪灾害发生5次,占灾害总数的23%。由此可见,关中平原明代霜雪灾害类型主要为中度霜雪灾害,轻度和重度霜雪灾害相对较少。从不同等级霜雪灾害在时间上的变化(图1)可知,明代晚期霜雪灾害发生最频繁,且灾害的强度最大,其次是明中期,明早期则发生频次最少。

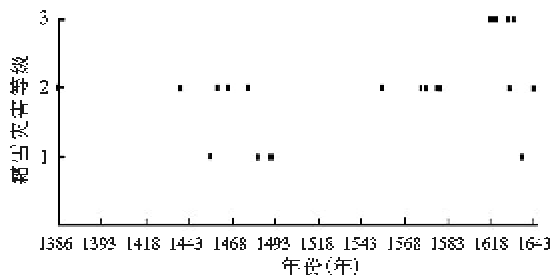


图1 关中平原明代霜雪灾害等级序列

Fig. 1 Grade series of frost and snow disaster of Guanzhong Plain in Ming Dynasty

2.2 小波分析原理

小波(wavelet)^[7~9],即小区域的波,是一种特殊的长度有限(紧支集)或快速衰减,且均值为0的波形。小波函数确切定义为:设 $\psi(t)$ 为一平方

可积函数,即 $\psi(t) \in L^2(R)$,若其傅里叶变换 $\psi(\omega)$ 满足条件:

$$C_\psi = \int_R \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty$$

则称 $\psi(t)$ 为一个基本小波或小波母函数。如将小波母函数 $\psi(t)$ 进行伸缩和平移,就可以得到函数 $\psi_{a,\tau}(t)$:

$$\psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad a, \tau \in R; a > 0$$

式中, a 为伸缩因子, τ 为平移因子。称 $\psi_{a,\tau}(t)$ 为依赖于参数 a, τ 的小波基函数。由于尺度因子 a 和平移因子 τ 是连续变化的值,因此称 $\psi_{a,\tau}(t)$ 为连续小波函数基。

由于墨西哥帽函数(Mexican Hat)在时间域与频率域都有很好的局部化,并且满足 $\int \psi(t) dt = 0$,因此本文采用墨西哥帽函数对关中霜雪灾害时间序列进行连续小波变换,墨西哥帽函数为 Gauss 函数的二阶导数:

$$\psi(t) = (1 - t^2) e^{-\frac{t^2}{2}}$$

$$\psi(\omega) = \sqrt{2\pi\omega^2} e^{-\frac{\omega^2}{2}}$$

3 关中平原明代霜雪灾害发生频次与周期性变化

3.1 霜雪灾害发生的频次变化

根据资料^[14~16],以20 a为单位统计出关中平原明代霜雪灾害发生的频次(图2)。从图2可以看出,霜雪灾害变化可划分为4个阶段。第1阶段为1368~1448年,发生霜雪灾害2次,平均每40.5 a发生1次;第2阶段为1449~1507年,发生霜雪灾害7次,平均每8.4 a发生1次,灾害频次较高;第3阶段为1508~1568年,发生霜雪灾害1次,平均每61 a发生1次,灾害的频次最低;第4阶段为1569~1644年,发生霜雪灾害8次,平均每6.3 a发生1次,灾害频次最高,其中重度霜雪灾害发生5次,该阶段灾害发生频次和强度均是明代时期最频繁、最大的,尤其是17世纪20年代发生霜雪灾害4次,其中重度霜雪灾害发生3次。总体而言,从明代早期到晚期,霜雪灾害发生频次呈增高的趋势(图2)。

以20 a为单位,统计出各时段霜雪灾害发生频次的距平值(图3)。该图也较明显反映出关中平原明代霜雪灾害的变化趋势和阶段性特点。第

1、3 阶段灾害距平值均为负值,显示出霜雪灾害频次低于平均频次;第 2、4 阶段的距平值主要为正值且远高出平均值,表明该时期霜雪灾害频次明显高于平均频次。

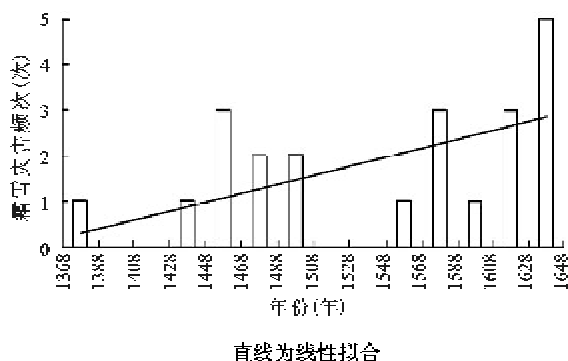


图2 关中平原明代霜雪灾害发生 20 a 间隔频次年代统计

Fig. 2 20-year interval changes of frost and snow disasters of Guanzhong Plain in Ming Dynasty

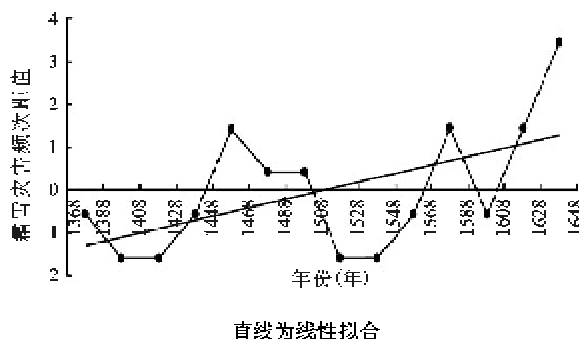


图3 关中平原明代每 20 a 霜雪灾害频次距平值变化

Fig. 3 20-year interval change of occurring frequency anomaly of frost and snow disasters of Guanzhong Plain in Ming Dynasty

3.2 关中平原明代霜雪灾害发生频次的拟合

为更清楚深入揭示霜雪灾害的阶段变化,应用最小二乘法意义下 5 次多项式的拟合,能够直观地显示关中平原地区霜雪灾害频次在 20 a 尺度下的变化情况。拟合曲线表达式为: $y = -0.0007x^5 + 0.0298x^4 - 0.4224x^3 + 2.5531x^2 - 6.0429x + 4.7812$ ($R=0.8323$), 式中 x 表示时间序列,即 $x=1368, 1369, \dots, 1644$, y 表示在 xa 时 5 阶多项式趋势值。拟合曲线(图 4)表明,该区明代霜雪灾害具有 4 个阶段的特点,其中第 1 和第 3 阶段霜雪灾害发生较少,第 2 和第 4 阶段霜雪灾害发生较多。

3.3 关中平原明代霜雪灾害季节变化

霜雪灾害使得土地表面和植物表面温度骤降而导致植物遭受伤害甚至死亡,这就使得霜雪灾害的发生具有季节性的特点。根据资料^[14-16]对霜雪

灾害的季节统计(图 5)可知,关中平原明代霜雪灾害高发季节为秋季,以霜灾为主,发生频次为 9 次,主要由于气温骤降影响秋作物的正常成熟和果实的品质;其次为冬季,以雪灾为主,发生频次为 6 次,主要原因是冬季持续的降雪低温使农作物和牲畜受到危害甚至死亡;第三为春季,霜灾频次为 3 次,雪灾为 2 次,倒春寒或春雪过晚危害关中平原的棉花、春播作物的幼苗和苹果的正常授粉,易导致生长期延迟,不能充分成熟,引起减产甚至绝产;夏季灾害发生最少,频次为 3 次,此时正值植物生长旺季,剧烈的降温对作物的危害更为明显。关于明代霜灾共发生 14 次,其中早霜为 9 次,晚霜为 5 次,表明明代时期关中平原早霜危害严重,主要发生在 8~9 月。

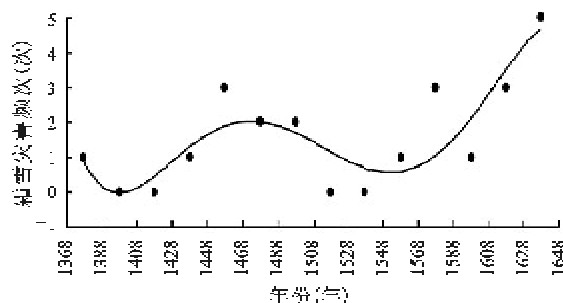


图4 经 5 次多项式拟合后的关中平原明代霜雪灾害变化

Fig. 4 Change of frost and snow disaster fitted by quintic polynomial of Guanzhong Plain in Ming Dynasty

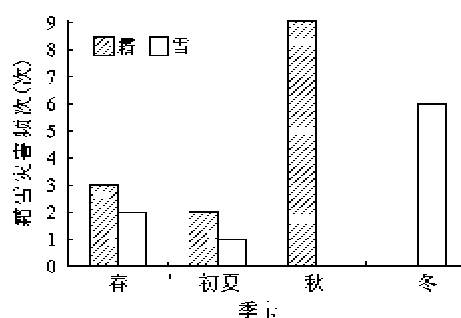


图5 关中平原明代霜雪灾害的季节分布

Fig. 5 Season of frost and snow disaster of Guanzhong Plain in Ming Dynasty

3.4 关中平原明代各霜雪灾害等级的小波分析

据前文所述,很难看出关中平原明代霜雪灾害发生的更短周期的变化信息,对此我们采用可对时间序列进行系统深入解析的小波分析方法,对各灾害等级数据进行处理分析。从图 6 中可以看出,存在多重时间周期尺度上的周期嵌套复杂结构现象,

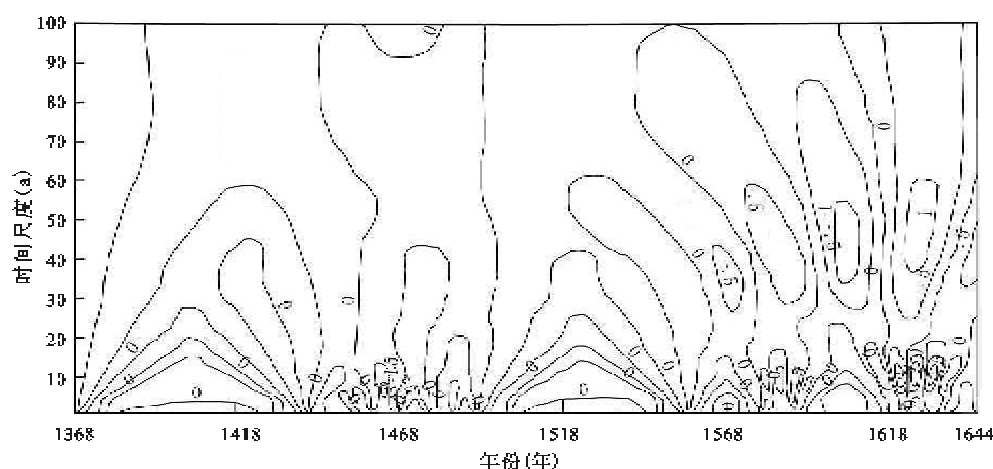


图6 经小波分析的关中平原明代霜雪灾害变化

Fig. 6 Change of the frost and snow disaster by wavelet analysis of Guanzhong Plain in Ming Dynasty

也可看出在不同阶段的同一周期振荡以及同一阶段的不同周期振荡所表现出来的强弱程度是不一样的,图中信号振荡的强弱通过数值的大小来表示,数值越大表示霜雪灾害发生频次越大于常年,霜雪灾害造成的损失越严重;数值越小表示霜雪灾害发生频次越小于常年,造成的损失越低。图中明显地存在8 a左右短期振荡周期、11 a左右的中期振荡周期和44 a左右的长期振荡周期。这表明,关中平原明代轻度霜雪灾害发生存在着11 a左右的中周期,中度霜雪灾害发生存在着8 a左右的短周期,重度霜雪发生存在着44 a左右的长周期。另外,从图中亦能看出1644年后44 a左右的长期振荡周期等值线未闭合,表明明末以后在该周期上的霜雪灾害仍有发生的趋势,说明该时期仍处于较寒冷时期,即“明清小冰期”。

4 关中平原明代霜雪灾害与寒冷气候事件

关中平原明代的霜雪灾害发生特点突出,可以指示该时期的气候变化。关中平原明代霜雪灾害发生频率最高、强度最大的时期是在明代晚期公元1618~1631年。这14 a间有6次霜雪灾害发生,其中1次中度霜雪灾害,5次重度霜雪灾害。研究^[17]表明,17世纪是小冰期中最寒冷的时期。据历史文献资料^[4-16]记载,明神宗万历四十六年(公元1618年),西安“四月,陕西大雨雪,骡橐驼冻死两千蹄”。明神宗万历四十八年(公元1620年),渭南“冬,大雪,至翌年仲春始霁,人多冻死”。明毅宗崇祯元年(公元1628年),西安“冬大雪,牲

畜冻死甚多”。由此可见其灾情的严重性。因此,本文将关中地区明代公元1618~1631年间作为1次寒冷气候事件。在寒冷事件发生期,霜雪灾害的发生最为频繁,平均约2.3 a发生1次,霜雪灾害的等级也大大加强。

5 关中平原明代霜雪灾害成因分析

霜雪灾害的成灾原因都在于低温,或是相对低温,或是绝对低温。据研究^[5,17-19]表明,自15~19世纪期间全球进入一个寒冷干燥的时期,尤以17世纪最为寒冷,15世纪中后期和19世纪次之。该气候事件在欧洲被称为是“现代小冰期”,在中国通常被称为是“明清小冰期”。这段时期恰恰也是明代霜雪灾害发生频次较多的年代。据资料^[14-16]统计分析,关中平原明代1450~1510年和1575~1644年霜雪灾害发生最频繁、受灾程度最严重。1450~1510年,关中平原霜雪灾害发生频次为7,其中轻度灾害4,中度灾害3;1575~1644年,关中平原霜雪灾害发生频次为12,其中轻度灾害1,中度灾害6,重度灾害5。例如,公元1588年,西安、渭南“春,阴霜,杀禾;七月,严霜杀稼”;公元1618年,西安“四月,陕西大雨雪,骡橐驼冻死两千蹄”。现在的霜雪灾害发生也可为历史时期灾害发生原因提供了可信依据。据《中国气象灾害大典(陕西卷)》^[16]的记载和中国气象科学数据共享服务网提供1971~2000年的气象数据可知,1959年5月18日,宝鸡等地降雪,20日气温降至-4~-5℃,霜层有铜钱厚,粮棉作物近乎绝产。1986年10月27日,强寒潮入侵,29日,武功县气温骤降至-3℃,

油菜等作物受霜冻,部分死苗。1987 年 11 月 26 ~ 28 日,宝鸡的最低气温则分别为 5.0℃、-2.9℃、-5.6℃,使得小麦油菜等受损 30% 以上。1989 年 1 ~ 2 月,宝鸡部分地区两个月降雪大 42.6 ~ 51.8 mm,小麦等作物受损严重。由此可推测,偏暖月的持续性降雪、积雪或寒流引起的气温骤降至 0℃ 以下是造成关中平原霜雪灾害的主要原因。

由此亦可证明,公元 1450 ~ 1510 年和公元 1575 ~ 1644 年为关中平原地区明代异常寒冷的时期,即明代小冰期,虽然在具体年份上与竺可桢先生等人^[5,17~19]研究的存在一定得差异,但是这也仍能够充分证明关中平原明代小冰期的存在。

6 结 论

综上所述,可得出以下结论:

1) 关中平原明代霜雪灾害主要以中度灾害为主,占霜雪灾害总数的 54%,轻度和重度霜雪灾害相对较少,均占霜雪灾害总数的 23%。该区明代霜灾的多发季节为秋季,雪灾的多发季节为冬季。

2) 从明代早期到晚期,关中平原霜雪灾害发生频次呈增高的趋势,整体可分为 4 个阶段。第 1 阶段(公元 1368 ~ 1448 年)和第 3 阶段(公元 1508 ~ 1568 年)为灾害较少发期,第 2 阶段(公元 1449 ~ 1507 年)和第 4 阶段(公元 1569 ~ 1644 年)为灾害较多发生期。

3) 小波分析结果显示,关中平原明代轻度霜雪灾害发生存在着 11 a 左右的中周期,中度霜雪灾害发生存在着 8a 左右的短周期,重度霜雪灾害存在着 44 a 左右的长周期。

4) 据霜雪灾害发生频次和强度分析显示,关中平原明代公元 1618 ~ 1631 年发生一次寒冷气候事件。

参考文献:

- [1] 周晓红,赵景波. 关中地区 1500 年来洪水灾害与气候变化分析[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(2):246 ~ 250.
- [2] 周 亚,张俊峰. 1900 ~ 1949 年关中地区旱涝灾害时空特征初探[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(1):73 ~ 77.
- [3] 李 晶,任志远,周自翔. 区域粮食安全性分析与预测——以陕西省关中地区为例[J]. 资源科学,2005,27(4):89 ~ 94.
- [4] 顾 静,赵景波,周 杰. 关中地区元代干旱灾害与气候变化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2007,27(6):111 ~ 117.
- [5] 朱士光,王元标,呼林贵. 历史时期关中地区气候变化的初步研究[J]. 第四纪研究,1998,18(1):1 ~ 11.
- [6] 魏一鸣. 自然灾害复杂性研究[J]. 地理科学,1998,18(1):25 ~ 31.
- [7] 葛哲学,沙 威. 小波分析理论与 MATLAB2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007:42 ~ 43.
- [8] Harald K J, Krogstad P. Wavelet - based method for burst detection[J]. Fluid Dynamics Research,2001,28(3):223 ~ 236.
- [9] Torrence G, Compo G P. A Practical Guide to Wavelet Analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,1997,79(1):61 ~ 78.
- [10] 孙 力,安 刚,丁 立. 中国东北地区夏季旱涝的分析研究[J]. 地理科学,2002,22(3):311 ~ 316.
- [11] 刘会玉,标振山,张明阳. 建国以来中国洪涝灾害或灾面积变化的小波分析[J]. 地理科学,2005,25(1):43 ~ 48.
- [12] 袁淑杰,缪启龙,谷晓平,等. 中国云贵高原喀斯特地区春旱特征分析[J]. 地理科学,2007,27(6):796 ~ 800.
- [13] 刘 东,付 强. 基于小波变换的三江平原低湿地井灌区年降水序列变化趋势分析[J]. 地理科学,2008,28(3):380 ~ 384.
- [14] 袁 标. 西北灾荒史[M]. 兰州:甘肃人民出版社,1994:1202 ~ 1244.
- [15] 张德二. 中国三千年气象记录总集(3 ~ 4 集)[M]. 南京:江苏教育出版社,2004.
- [16] 温克刚. 中国气象灾害大典(陕西卷)[M]. 北京:气象出版社,2005:167 ~ 190.
- [17] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[J]. 中国科学(B 辑),1972,8(1):15 ~ 38.
- [18] H H Lamb. Climate, Present, Past and Future[M]. London: Methuen,1977:835.
- [19] 王纪武. 小冰期气候的研究[J]. 第四纪研究,1995,15(3):202 ~ 212.

[1] 周晓红,赵景波. 关中地区 1500 年来洪水灾害与气候变化分

Frost and Snow Disaster and Change Periods in Guanzhong Plain in Ming Dynasty

ZHAO Jing-bo^{1,2}, XING Shan², ZHOU Qi¹

(1. *Key Laboratory in Shaanxi Province for Monitored Calamity and Mechanism Simulation, Arts and Sciences, Baoji University, Baoji, Shaanxi 721008, China*; 2. *College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China*)

Abstract: Based on collecting, reorganizing and analyzing the history data about the Guanzhong Plain during the Ming Dynasty, the grade series, stage changes and different grades' periodicity of the frost and snow disaster are studied in this study. The statistical results show that, frost and snow disaster of the Ming Dynasty had 22 times altogether, and occurred averagely one time per 12.6 years. The Guanzhong Plain's frost and snow disaster grade may be divided into mild, moderate and severe disaster in the Ming Dynasty, and their occurrence probabilities are 26%, 52% and 22%. The disaster has been divided into four uneven periods in the Guanzhong Plain. The first period (1368–1448), and the third one (1508–1568) had the fewer disasters in the Guanzhong Plain, and there were the more disasters during the second period (1449–1507), and the fourth one (1569–1644). The frequency of frost and snow disasters was obvious upward in the Guanzhong Plain. Wavelets analysis has the characteristics of multi-resolution analysis and ability of expressing local features of signal in both time and frequency domains, which is a local analysis method. This novel method is suitable for complex natural disaster systematic. The spatial distribution, temporal evolution and multi-scale period of the frost and snow disaster are studied from the year of 1368 to 1644, applying wavelet analysis method and the history data about the Guanzhong Plain during the Ming Dynasty. The result of wavelet analysis shows, the mild, moderate, severe disaster occurrence periodicity is respectively 11, 8 and 44 years. The change of frost and snow disaster in the Guanzhong Plain during the Ming Dynasty is significant. This phenomenon can indicate climate change of the Ming Dynasty. On the basis degree of the frost and snow disaster, mean annual temperature can be reconstructed. There was one cold climatic event in the Guanzhong Plain in Ming Dynasty, occurring between 1618 and 1631, and the temperature was obviously lower than the other time of Ming Dynasty and the modern. There are six disasters in the period, including one-time moderate frost and snow disaster, 5-times severe frost and snow disasters. The frost and snow disaster occurred averagely one time per 2.3 year during the period. The degree and frequency frost and snow disaster is greater than that of the other time of Ming Dynasty. The result can indicate that there is the little ice age of Ming Dynasty. The results mentioned above indicate that the primary cause of the frequency of frost and snow disasters in the Guanzhong Plain was sudden drop of air temperature caused by sustainable snowfall, accumulated snow and cold snap.

Key words: Guanzhong Plain; Ming Dynasty; frost and snow disaster; wavelet analysis; cold climatic event