

文章编号:1672-6561(2012)03-0075-08

## 关中平原清代霜雪灾害特点与周期研究

赵景波<sup>1,2</sup>, 陈颖<sup>1</sup>, 周旗<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院地球环境研究所  
黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

**摘要:**通过对关中平原清代历史文献资料的搜集、整理和小波分析,对该区清代霜雪灾害等级、周期及其成因进行了研究,并恢复了该区清代霜雪灾害发生时的最低气温。结果表明:关中平原清代共发生霜雪灾害34次,其中轻度、中度、重度霜雪灾害分别为2、20、12次;关中平原清代霜雪灾害可分为3个阶段,1644~1733年为第1阶段,1734~1823年为第2阶段,1824~1912年为第3阶段;第1和第3阶段为霜雪灾害多发阶段,以中度和重度灾害为主,第2阶段为霜雪灾害少发阶段,以轻度和中度灾害为主;小波分析表明,关中平原清代霜雪灾害的发生存在不同的时间周期规律,其周期主要有9~15年、13年、34年左右和40年左右;降雪或寒流引起的气温骤降至0℃以下是造成关中平原清代霜雪灾害的主要原因;关中平原清代轻度和中度霜雪灾害的气温范围为-6.4℃~-1℃,重度的气温范围一般为-19℃~-17℃;关中平原清代共发生3次寒冷气候事件,分别为1690~1692年、1861~1865年和1893~1895年。

**关键词:**霜雪灾害;清代;关中平原;灾害等级;周期规律;小波分析;寒冷气候事件  
**中图分类号:**P426.63;P468 **文献标志码:**A

## Study on the Characteristic and Period of Frost and Snow Disaster in Guanzhong Plain During Qing Dynasty

ZHAO Jing-bo<sup>1,2</sup>, CHEN Ying<sup>1</sup>, ZHOU Qi<sup>1</sup>

(1. School of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, Shaanxi, China;  
2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment,  
Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

**Abstract:** According to the historical materials and wavelet analysis, the grade, period and cause of frost and snow disaster in Guanzhong Plain during Qing Dynasty were discussed, and the lowest temperature was recovered when frost and snow disaster happened. The results showed that there were 34 frost and snow disasters, and the frequencies of mild, moderate and serious frost and snow disasters were 2, 20 and 12, respectively; the change of frost and snow disaster could be divided into three stages, and the first stage was from 1644 to 1733, the second stage was from 1734 to 1823, and the third stage was from 1824 to 1912; frost and snow disaster happened frequently in the first and third stages, and most were moderate and serious; frost and snow disaster happened occasionally in the second stage, and most were mild and moderate; according to the wavelet analysis, there were different periods when frost and snow disaster happened, and the periods were mainly 9-15 years, 13 years, about 34 years and about 40 years; the main reason causing the frost and snow disaster was that the temperature suddenly decreased

收稿日期:2011-10-07

基金项目:国家自然科学基金项目(40571004);中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(SKLLQG0606)

作者简介:赵景波(1953-),男,山东滕州人,陕西师范大学教授,博士研究生导师,理学博士,E-mail:zhaojb@snnu.edu.cn。

below 0 °C; the temperature was -6.4 °C—1 °C for mild and moderate frost and snow disasters, and -19 °C—17 °C for serious; there were three cold climate events including 1690-1692, 1861-1865 and 1893-1895.

**Key words:** frost and snow disaster; Qing Dynasty; Guanzhong Plain; disaster grade; periodic law; wavelet analysis; cold climate event

## 0 引言

霜雪灾害是一个含义较为广泛的概念,凡是因地面气温急剧下降,或因地面气温达到某一较低水平,或因地面有一定积雪而造成的灾害,都属于霜雪灾害<sup>[1]</sup>。国内外学者对霜雪灾害进行过一定研究,取得一些重要成果。中国学者利用逐日最低气温进行统计分析,探讨霜冻发生的趋势<sup>[2-3]</sup>;从霜冻的年际变化、阶段性和变化周期研究霜冻的变化规律<sup>[4-5]</sup>,得出冻灾对当时的社会经济发展、农业生产、社会稳定、人口数量变化等方面产生了重要影响<sup>[6]</sup>;利用冻害指数构建数学模型,对冻害进行研究<sup>[7-8]</sup>。霜雪灾害会影响作物的产量,霜雪灾害的发生是冷空气的活动加强造成的<sup>[9]</sup>。在霜冻防御研究中,在气候变暖背景下仍需重视霜冻的预防<sup>[8-11]</sup>。过去对霜雪灾害的研究大多是对历史时期的雪灾记录进行描述和评论,定量研究较少。国外学者主要研究了霜雪灾害对土壤物质的影响<sup>[12-13]</sup>,包括土壤中的悬浮物质、N 元素和 P 元素的循环等<sup>[14]</sup>,探讨其对土壤含水量平衡的影响,以及气候变化对雪层覆盖的影响<sup>[15]</sup>。

过去对于关中平原历史时期的不同等级霜雪灾

害发生频次、产生原因及周期变化缺少深入研究,更缺少霜雪灾害与气候事件关系的研究。关中平原清代自然环境变化明显,霜雪灾害不断发生便是其中的一个重要方面。笔者试图探讨关中平原清代霜雪灾害发生等级、时间周期、霜雪灾害事件和原因,为该区霜雪灾害的预测和防治提供科学依据。

## 1 研究区概况

关中平原西起宝鸡,东到潼关,南接秦岭,北接渭河北山,西窄东宽,东西长约 300 km,海拔 400 m 左右,地势西高东低,由渭河、泾河、洛河冲积成平原。其地势平坦,土壤肥沃,气候温暖,灌溉农业发达。其主要包括西安、咸阳、宝鸡、渭南等地区。关中平原年平均气温 12 °C~13 °C,年均降水量 550~700 mm,属暖温带半湿润气候。

## 2 霜雪灾害等级划分

根据霜雪灾害持续时间、强度、受灾范围以及受影响程度等,并以《西北灾荒史》<sup>[11]</sup>和《中国三千年气象记录总集》<sup>[16]</sup>等对关中平原清代共 269 年的霜雪灾害描述为依据,将关中平原的霜雪灾害划分出 3 个等级(表 1)。

表 1 霜雪灾害等级划分

Tab. 1 Classification of Frost and Snow Disaster

灾害等级	灾害描述	划分依据	灾害案例	灾害次数
1 级	轻度霜雪灾害	文献中常有小范围“霜”、“微霜”、“降雪”等记载,持续时间不长,波及范围不广,未记载对人民生产、生活产生较大影响 <sup>[17]</sup>	清康熙六十一年,眉县,九月,雨雪,积树不消;清道光十六年,西安,霜灾 <sup>[1]</sup>	2
2 级	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	清顺治十二年,免陕西凤翔、西安二府属州、县、卫、所霜雪灾害额赋;清雍正二年,武功,八月,陨霜杀稼 <sup>[1]</sup>	20
3 级	重度霜雪灾害	文献中描述了受灾范围较广,大量民田绝收,有人畜死伤,人民生命财产受到重大损失	清康熙十五年,十一月,大雪深数尺,树裂井冻,渭水坚可行车;咸丰十一年,礼泉,大寒,人多冻死 <sup>[1]</sup>	12

按以上等级划分,可将关中平原清代霜雪灾害等级进行划分(图 1)。图 1 表明,关中平原清代霜雪灾害共发生 34 次,其中轻度霜雪灾害 2 次,占霜雪灾害总数的 5.9%;中度霜雪灾害 20 次,占霜雪灾害总数的 58.8%;重度霜雪灾害 12 次,占霜雪灾害总数的 35.3%。

## 3 霜雪灾害的时间变化特征

### 3.1 霜雪灾害的频次变化

关中平原在清代 269 年中,共发生霜雪灾害 34 次,平均每 7.91 年发生 1 次。以 45 年为单位,统计关中平原清代各时段霜雪灾害发生频次(图 2)。其中,

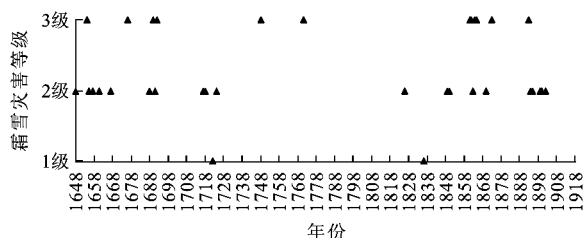


图1 霜雪灾害等级分布

Fig. 1 Distribution of Frost and Snow Disaster Grade

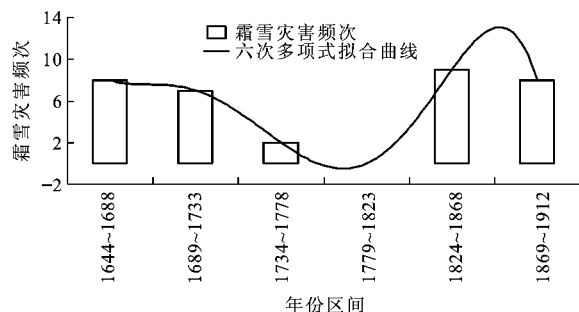


图2 霜雪灾害发生频次及其六次多项式拟合

Fig. 2 Frequency of Frost and Snow Disaster and Six-time Polynomial Fitting

1869~1912 年是以 44 年为单位。同时,根据最小二乘法的六次多项式<sup>[18]</sup>拟合(图 2),可将关中平原清代霜雪灾害变化分为 3 个阶段。第 1 阶段为 1644~1733 年,共发生霜雪灾害 15 次,平均每 6 年发生 1 次。第 2 阶段为 1734~1823 年,仅发生 2 次霜雪灾害,频次最低,平均每 45 年发生 1 次,灾害发生最少。第 3 阶段为 1824~1912 年,发生霜雪灾害 17 次,平均每 5.24 年发生 1 次,灾害发生最为频繁。根据霜雪灾害等级变化可知,关中平原在第 1、3 阶段以中度和重度霜雪灾害为主,第 2 阶段以轻、中度灾害为主,因此可以判断在清代早期和晚期是关中平原霜雪灾害的高发期且强度较大(图 2)。

将每 45 年发生霜雪灾害的频次与关中平原清代 269 年来霜雪灾害发生的平均频次做差值,可以得出每 45 年发生霜雪灾害频次的距平值(图 3)。图 3 表明,在 1644~1733 年的第 1 阶段和 1824~1912 年的第 3 阶段,以正距平值为主,表明这两个阶段的霜雪灾害频次高于每 45 年的平均频次 5.67 次,是霜雪灾害的高发期。在 1734~1823 年的第 2 阶段,以负距平值为主,表明该阶段霜雪灾害频次低于平均频次,是霜雪灾害低发期。

### 3.2 霜雪灾害发生季节变化

在春秋转换季节,土地表面和植物表面温度下降到足以使植物遭受伤害甚至死亡时,就容易发生

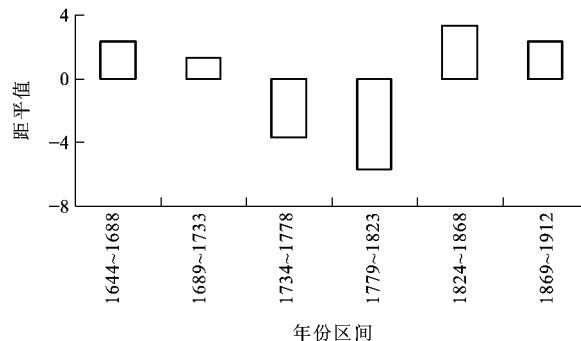


图3 霜雪灾害频次距平值变化

Fig. 3 Change of Frequency Anomaly of Frost and Snow Disaster

霜雪灾害,这就使得霜雪灾害发生具有季节性的特点。由图 4 可知,关中平原在春季发生的霜雪灾害最频繁,为 12 次,占霜雪灾害总频次的 35.3%。春季以霜灾最多,其间还出现了霜灾、雪灾同时发生的现象。其次是秋季的霜雪灾害频次也较多,发生了 8 次,占霜雪灾害总频次的 23.5%。秋季以雪灾最显著,有霜灾、雪灾同时出现。秋季过早会使地面温度降到 0℃ 以下,使正在发育的农作物受到危害甚至死亡。冬季的霜雪灾害为 7 次,占霜雪灾害总频次的 20.6%。秋季以雪灾居多,持续的降雪低温对农作物、畜牧业产生不利影响。夏季霜雪灾害发生频次最少,为 6 次,占霜雪灾害总频次的 17.6%。夏季以霜灾为主,出现 4 次,有 2 次雪灾。夏季一般不会出现雪灾,根据文献<sup>[1]</sup>记载,可推测当时应是农历四月,按公历算应在夏至之前,即夏初时发生,夏季是植物生长旺季,入夏剧烈的降温对作物的危害更为明显。关中平原清代出现如此霜雪灾害的现象,主要是冬季风作用的结果;在冬季,冬季风活动加强,持续时间长,影响范围广,致使地面气温冷却至 0℃ 以下,形成霜雪灾害。夏季本不应该出现霜雪灾害,一旦出现,主要是因为冬季风异常活动造成的,导致在夏初出现霜冻害的现象。

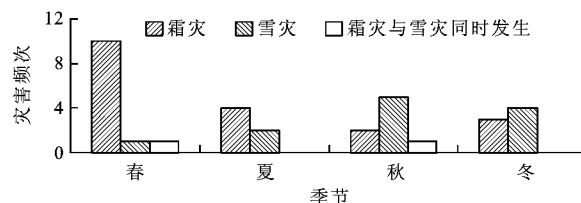


图4 霜雪灾害频次季节分布

Fig. 4 Seasonal Distribution of Frequency of Frost and Snow Disaster

### 3.3 霜雪灾害发生的周期规律

规模较小、影响程度较低的旱灾是短期的天气

过程造成的,而规模较大、影响严重的旱灾则与气候变化密切相关。气候变化存在一定的时间尺度和周期性。小波分析不但可以揭示气候变化在不同时间尺度下的周期特征,而且可以揭示各种周期信号随时间变化的强弱<sup>[19-22]</sup>。利用 Morlet 小波对关中平原清代霜雪灾害等级资料进行分析(图 5),小波转换系数为负值,说明周期信号较弱,周期不显著,在图 5 中表现为虚线;小波转换系数为正值,则周期信号较强,周期较为显著,在图 5 中表现为实线。图 5 中信号振荡的强弱通过数值大小来表示,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小于常年,造成的损失越低。图 5 表明,关中平原在清代第 1 阶段(1644~1733 年)主要表现为 9~15 年的周期,该时期霜雪灾害也存在 34 年左右的周期振荡特征。清代第 2 阶段(1734~1823 年),霜雪灾害主要处于小波转换系数为负的阶段,周期信号比较弱,在 1758 年存在 34 年左右的周期。清代第 3 阶段(1824~1912 年),13 年周期较为显著,同时还存在 40 年左右的周期,且周期信号较强。1878 年后,40 年左右的周期明显,且在 1918 年等值线未闭合,表明清末以后该时间周期的霜雪灾害仍有发生的趋势,这与 19 世纪末期是清代寒冷期中最具代表性的时期之一相吻合。

## 4 霜雪灾害成因及其发生的温度

### 4.1 霜雪灾害成因

霜雪灾害的成灾原因在于低温,或相对低温,或绝对低温<sup>[1]</sup>。清朝是继宋朝近 400 年后的第 4 个寒冷期,其中 17 世纪 20 年代到 18 世纪 20 年代、19 世纪 40 年代到 19 世纪末期是寒冷期中最具代表性的时期<sup>[23]</sup>,恰恰也是清代霜雪灾害发生频次较多的年

代。关中平原在清代曾一度出现黑霜的现象。黑霜是在空气中水汽较少、相对湿度较低的地区,霜害发生时温度骤降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下,不能使空气中水汽达到饱和状态,从而看不到霜,但农作物已经受害的一种低温冷害<sup>[1]</sup>。这种现象一旦出现,说明该地区当时地面温度已处于  $0^{\circ}\text{C}$  以下,农作物有受到危害甚至死亡的危险。近代的霜雪灾害也有类似特征。如 1979 年 4 月,陕西省气温急剧下降,普降雪霜,宝鸡市油菜、小麦受冻减产;1986 年 10 月,强寒潮入侵,武功县最低温度  $-3^{\circ}\text{C}$ ,油菜受冻,部分死苗;1987 年 3 月,华阴县地面温度  $-4^{\circ}\text{C}$ ,小麦、油菜受冻<sup>[24]</sup>。由此可知,偏暖月份降雪或寒流引起的气温骤降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下是造成关中平原霜雪灾害发生的主要原因。

侵入陕西并直接影响关中平原的强大冷空气,主要有 2 条路径:第 1 条是从西北方向由北疆沿天山、祁连山北侧入侵;第 2 条是从北方由西伯利亚通过内蒙古高原进入陕西。第 2 条路径的强冷空气(蒙古冷压)因其跋涉路径较短,沿途地势北高南低,冷空气顺势南下,往往来势凶猛,易因强烈降温而出现平流霜灾。而当强冷的西北气流控制北方气候干冷,不利于云雨的形成,出现晴到少雨天气,极有利于夜间冷却辐射形成辐射霜灾。关中平原受到的霜雪灾害主要是这 2 种灾害的结合,即平流—辐射霜灾,其中以西安和咸阳地区最为典型<sup>[24]</sup>。

### 4.2 霜雪灾害发生的温度

根据资料统计可得,关中平原 26 个县市中,平均每个县市在清代发生 3 次霜雪灾害,其中西安、宝鸡、武功这 3 个地区分别发生 6、4、3 次,分别占总霜雪灾害总频次的 9.2%、4%、5.3%,具有明显的频次差异性。根据中国气象科学数据共享服务网提供的数据,可获得这 3 个地区在 1971~2000 年的累年

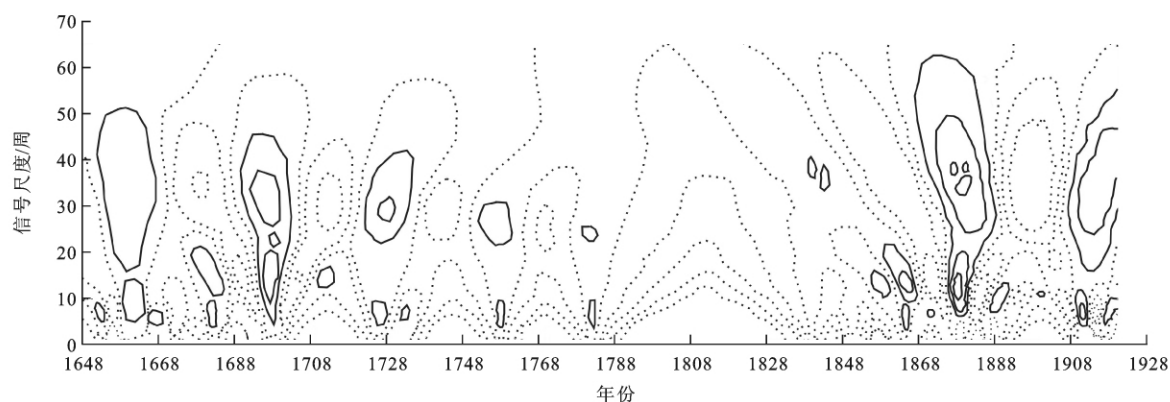


图 5 霜雪灾害等级小波分析

Fig. 5 Wavelet Analysis of Frost and Snow Disaster Grade

各月平均最低气温和累年各月极端最低气温,分别将这 3 个地区的这 2 项温度值进行平均(表 2),以此代表关中平原 1971~2000 年累年各月平均最低气温和累年各月极端最低气温。

表 2 1971~2000 年累年各月平均最低气温和累年各月极端最低气温

Tab. 2 Average Lowest Monthly Temperatures and Monthly Extreme Minimum Temperatures from 1971 to 2000

公历月份	1	2	3	4	5	6
平均最低气温/℃	-3.8	-1.3	3.4	9.3	10.8	18.7
极端最低气温/℃	-16.4	-11.4	-6.2	-2.0	4.1	9.9
公历月份	7	8	9	10	11	12
平均最低气温/℃	21.4	20.5	15.6	9.7	2.9	-2.6
极端最低气温/℃	13.8	12.7	6.1	-2.3	-9.5	-16.2

关中平原的霜雪灾害主要集中于农历一月至四月、八月至十二月(大致相当于公历 2 月至 5 月、9 月至次年 1 月)。值得注意的是,关中平原清代农历二月至四月有关霜冻的描述多以小麦的生长状态来认识霜雪灾害的严重性<sup>[1]</sup>。而小麦叶片结冰存在着霜冻临界叶温,约为-6.4℃<sup>[3]</sup>,如果最低叶温低于这个临界叶温,结冰的叶片解冻后受到伤害,如果最低叶温高于这个临界值,结冰叶温解冻后就能正常生长。而且当气温降到 0℃时冬小麦幼穗开始受害,降到-1℃时植株和小穗就发生死亡<sup>[25]</sup>。苹果、梨等果树在 3、4 月份花期气温降到-1℃~-2℃时便会受到冻害,降到-3℃~-4℃的低温便可产生严重损伤<sup>[26]</sup>。根据上述研究成果,以小麦叶片的霜冻临界温度-6.4℃为受损温度临界值,那么-6.4℃~-1℃就是小麦麦苗、麦穗死亡和果树受损的温度范围;与关中平原 1971~2000 年 2~4 月累年各月平均最低气温和累年各月极端最低气温相比,-6.4℃~-1℃在其范围之内,而这个温度范围主要适合关中平原清代霜雪灾害频发的农历二月至四月,尤其是在小麦麦苗生长的阶段。

由于关中平原主要是平流-辐射霜冻,一旦出现这种霜冻,降温剧烈,可达-3℃~-5℃,甚至达到-10℃<sup>[27]</sup>。几乎所有植物的细胞膜内可结冰的水在-10℃下均可冻结,可是许多植物在更低的温度条件下才会致死,例如 Puma 黑麦在-30℃致死,剪股颖在-50℃<sup>[28]</sup>致死。历史文献中关于小麦等作物在低温遭到严重受损或死亡的记述较多,是判别当时温度的重要依据。而小麦品种不一样,抗寒能力也就不同。低温敏感型的小麦品种在低温致死的临界温度是-19℃~-17℃,低温中间型的小麦品种低温

致死的临界温度是-26℃~-23℃,低温抗寒型的小麦品种低温致死的临界温度是-28℃~-27℃<sup>[29]</sup>。为获得可靠的结果,以低温敏感型的小麦品种低温致死的临界温度-19℃~-17℃为小麦在低温冻死的温度,以此为依据恢复霜雪灾害发生的温度。由于同一个月霜雪灾害的等级不同,其发生的温度也就不同,所以可确定轻度和中度霜雪灾害的温度发生范围为-6.4℃~-1℃,即小麦麦苗、麦穗死亡和果树受损的温度范围;重度霜雪灾害的温度范围为-19℃~-17℃,即小麦低温致死的范围,主要发生在农历十一月至次年一月。恢复的温度是当时最高温度,虽然恢复的温度偏高,但结果是可信的。由此,可对关中平原清代在农历二月至四月发生霜雪灾害时最低气温作出大致恢复(表 3)。

表 3 霜雪灾害发生时恢复的温度范围

Tab. 3 Temperature Range Recovered When Frost and Snow Disaster Happened

农历月份	轻度和中度霜雪灾害温度范围/℃	重度霜雪灾害温度范围/℃	霜雪灾害灾情描述
一月	-6.4~-1.3	-19.0~-17.0	正月十四,人多冻死
二月	-6.4~-1.0		陨霜杀麦;二麦均有冻损;黑霜又雪,苗多冻死
三月	-6.4~-1.0		大霜,麦穗尽枯;黑霜杀麦苗;大风雪,夏无麦
四月	-6.4~-1.0		大雪盈尺,果树皆折死;麦豆俱伤;下湿地麦穗腐坏尤甚
五月	≤0.0		无
六月	≤0.0		六月,冰
七月	≤0.0		无
八月	≤0.0		陨霜杀稼
九月	-6.4~-2.3	-9.5~-6.4	大雪,深盈尺,冬菜皆冻死;大雪,深三尺,人畜有冻死
十月	-6.4~-1.0	-9.5~-6.4	雪深三尺,竹枝尽折
十一月	-6.4~-2.6	-19.0~-17.0	大雪,深数尺,树裂井冻;大雪二日,树多冻死
十二月	-6.4~-3.8	-19.0~-17.0	大寒,人多冻死;大雪,人多冻死

把 1971~2000 年每月极端最低气温最低的地区气温值作为关中平原清代霜雪灾害发生时温度的下限值,把月平均最低温值作为上限值。但是由于霜雪灾害的发生肯定是低于 0℃,所以当上限值大于 0℃时,其可不作考虑,直接定为 0℃,这样就可对关中平原清代在农历八月至次年一月发生霜雪灾害时最低气温作出大致恢复(表 3)。但是关中平原

清代农历十二月发生霜雪灾害时灾情严重,曾于 1862、1864 年 2 次出现“大雪,人多冻死”的现象,属于重度霜雪灾害,当时温度应在  $-17^{\circ}\text{C}$  以下,否则不会出现冻死人的现象。根据中国气象科学数据共享网查得西安在 1994 年 1 月 18 日,持续降雪,地面上 1~2 m 高的室外夹竹桃树枝叶皆冻死,当时温度为  $-12.1^{\circ}\text{C}$ ,而关中平原清代农历十一月曾出现“树裂井冻”的现象,表明当时霜雪灾害发生的温度至少在  $-12^{\circ}\text{C}$  以下,从而证明恢复的重度霜雪灾害的温度范围( $-19^{\circ}\text{C}\sim-17^{\circ}\text{C}$ )是合理的。

关中平原清代农历五月至七月基本没有霜雪灾害,而且近 30 年(1971~2000 年)这 3 个月的平均最低温值都大于  $0^{\circ}\text{C}$ (表 2),即使有霜雪灾害发生,温度在  $0^{\circ}\text{C}$  以下,灾情也不会太严重,所以在温度恢复时就直接把这 3 个月的范围归于  $0^{\circ}\text{C}$  以下。

## 5 寒冷气候事件

根据历史文献资料的分析和判断可知,关中平原清代发生的气候事件对该地区中度和重度霜雪灾害的发生起到了决定作用。分析发现,清代出现连续 3 年以上的严重寒冷气候,影响范围广泛,覆盖地区在 4 个县市以上,这样的极端气候阶段可确定为寒冷气候事件。据统计,关中平原清代共发生 3 次寒冷气候事件,分别出现在 1690~1692 年、1861~1865 年和 1893~1895 年。

第 1 次寒冷气候事件发生在清康熙二十九年(1690 年)至康熙三十一年(1692 年),连续 3 年发生霜雪灾害,2 次重度,1 次中度。尤其在 1692 年,涉及范围广,咸阳、高陵、武功均发生灾害,“三月,大风雪,夏无麦,斗米七钱”<sup>[1]</sup>,表明小麦多被冻死,当时最低气温应在  $-6.4^{\circ}\text{C}$  以下。

第 2 次寒冷气候事件发生在清咸丰十一年(1861 年)至同治四年(1865 年),连续 5 年发生霜雪灾害,4 次重度,1 次中度,涉及礼泉、西安、华阴、大荔、乾县、三原、渭南等 7 个县市,“礼泉,十二月,大寒,人多冻死”,“三原,正月,大风雪,难民多冻死”<sup>[1]</sup>。这是关中平原清代最为严重的一次极端寒冷气候事件,灾情严重,当时最低气温至少在  $-17^{\circ}\text{C}$  以下。

第 3 次寒冷气候事件发生在清光绪十九年(1893 年)至光绪二十一年(1895 年),连续 3 年发生霜雪灾害,1 次重度,2 次中度。在 1893 年的重度灾害结束后,后 2 年的灾情有所缓和,但还是影响了农业生产,“九月,大雪压坏树木无数,柿果坏”<sup>[1]</sup>。当时气温应在  $-6.4^{\circ}\text{C}\sim-1^{\circ}\text{C}$  之间。

## 6 结 语

(1)关中平原清代霜雪灾害共发生 34 次,平均每 7.91 年发生 1 次,轻度、中度、重度霜雪灾分别为 2、20、12 次。

(2)关中平原清代霜雪灾害可分为 3 个阶段,公元 1644~1733 年为第 1 阶段,1734~1823 年为第 2 阶段,1824~1912 年为第 3 阶段。其中第 1、3 阶段为霜雪灾害多发阶段,强度也较大;第 2 阶段为霜雪灾害少发阶段,强度较弱。

(3)小波分析表明,关中平原清代霜雪灾害的发生存在不同的时间周期规律,主要有 9~15 年周期、13 年周期、34 年左右周期和 40 年左右周期。

(4)降雪或寒流引起的气温骤降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下是造成关中平原清代霜雪灾害的主要原因。关中平原清代霜雪灾害发生时,轻度、中度霜雪灾害的温度发生范围为  $-6.4^{\circ}\text{C}\sim-1^{\circ}\text{C}$ ,重度霜雪灾害的温度范围一般为  $-19^{\circ}\text{C}\sim-17^{\circ}\text{C}$ 。

(5)关中平原清代共发生 3 次寒冷气候事件,分别出现在 1690~1692 年、1861~1865 年和 1893~1895 年。

### 参考文献:

### References:

- [1] 袁 林. 西北灾荒史[M]. 兰州:甘肃人民出版社, 1994.  
YUAN lin. Famine History in Northwest China[M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 1994.
- [2] 史俊东, 张建诚, 许爱玲, 等. 晋南低温与霜冻发生规律及其对棉花生产的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(3): 30-33.  
SHI Jun-dong, ZHANG Jian-cheng, XU Ai-ling, et al. Effects of Low Temperature and Frost to Cotton Production in Southern of Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2010, 38(3): 30-33.
- [3] 李茂松, 王道龙, 钟秀丽, 等. 冬小麦霜冻害研究现状与展望[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 72-78.  
LI Mao-song, WANG Dao-long, ZHONG Xiu-li, et al. Current Situation and Prospect of Research on Frost of Winter Wheat[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(4): 72-78.
- [4] 马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系[J]. 地理学报, 2003, 58(增 1): 31-37.  
MA Zhu-guo. Variation of Frost Days and Its Relationship to Regional Warming in Northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S1): 31-37.

- [5] 晏振国,纪文华,孔令芝,等. 郸城小麦霜冻的危害及预防措施[J]. 气象与环境科学,2007,30(增1):126-128.  
YAN Zhen-guo, JI Wen-hua, KONG Ling-zhi, et al. Damage and Preventive Measure of Wheat Frost in Dancheng County[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2007, 30(S1): 126-128.
- [6] 蔡文娟,殷淑燕. 明清小冰期关中地区冻灾研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(3):118-121.  
CAI Wen-juan, YIN Shu-yan. The Freeze Disasters in the Little Ice Age of Ming and Qing Dynasties in the Guanzhong Region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(3): 118-121.
- [7] 刘凤君,林展新. 德庆县近39年低温霜冻天气分析[J]. 现代农业科技,2009(23):288-291.  
LIU Feng-jun, LIN Zhan-xin. Weather Analysis of Low Temperature Frost in Deqing County During Nearly 39 Years[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2009(23): 288-291.
- [8] 张雪芬,郑有飞,王春乙,等. 冬小麦晚霜冻害时空分布与多时间尺度变化规律分析[J]. 气象学报,2009,67(2):321-330.  
ZHANG Xue-fen, ZHENG You-fei, WANG Chun-yi, et al. Spatial-temporal Distribution and Multiple-temporal Scale Variation Analyses of Winter Wheat Late Freezing Injury[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2009, 67(2): 321-330.
- [9] 李辉. 试论北朝时期霜雪冻等低温灾害发生的特点[J]. 长春师范学院学报:人文社会科学版,2008,27(2):26-31.  
LI Hui. Study on the Features of Microthermal Climate in the Northern Dynasties[J]. Journal of Changchun Normal University: Humanities and Social Sciences, 2008, 27(2): 26-31.
- [10] 陈正洪,向华,高荣. 武汉市10个主要极端天气气候指数变化趋势分析[J]. 气候变化研究进展,2010,6(1):22-28.  
CHEN Zheng-hong, XIANG Hua, GAO Rong. Trends of Ten Main Extreme Weather Indices in Wuhan[J]. Advances in Climate Change Research, 2010, 6(1): 22-28.
- [11] 苏全有,韩洁. 中国雪灾及相关研究述评[J]. 防灾科技学院学报,2008,10(2):130-137.  
SU Quan-you, HAN Jie. China's Snow Disaster and Its Relevant Research Review[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention Science and Technology, 2008, 10(2): 130-137.
- [12] TOLVANEN A. Recovery of the Bilberry (*Vaccinium Myrtillus* L.) from Artificial Spring and Summer Frost[J]. Plant Ecology, 1997, 130: 35-39.
- [13] VEISZ O, BRAUN H J, BEDO Z. Plant Damage After Freezing, and the Frost Resistance of Varieties from the Facultative and Winter Wheat Observation Nurseries[J]. Euphytica, 2001, 119(1/2): 179-183.
- [14] VAN ES H M, DEGAETANO A T, WILKS D S. Space-time Upscaling of Plot-based Research Information: Frost Tillage[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1998, 50(1/2): 85-90.
- [15] SAHLEN K, GOULET F. Reduction of Frost Heaving of Norway Spruce and Scots Pine Seedlings by Planting in Mounds or in Humus[J]. New Forests, 2002, 24(3): 175-182.
- [16] 张德二. 中国三千年气象记录总集[M]. 南京:江苏教育出版社,2004.  
ZHANG De-er. Meteorological Record Collection of China During the Past Three Thousand Years[M]. Nanjing: Jiangsu Education Press, 2004.
- [17] 赵景波,邢闪,周旗. 关中平原明代霜雪灾害特征及小波分析研究[J]. 地理科学,2012,32(1):81-86.  
ZHAO Jing-bo, XING Shan, ZHOU Qi. Frost and Snow Disaster and Change Periods in Guanzhong Plain in Ming Dynasty[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(1): 81-86.
- [18] 封建湖,车刚明,聂玉峰. 数值分析原理[M]. 北京:科学出版社,2001.  
FENG Jian-hu, CHE Gang-ming, NIE Yu-feng. Numerical Analysis Principle[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [19] 葛哲学,沙威. 小波分析理论与MATLABR2007实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.  
GE Zhe-xue, SHA Wei. Theory of Wavelet Analysis and Realization of MATLABR2007[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
- [20] LAU K M, WENG H Y. Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to Make a Time Series Sing[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1995, 76(12): 2391-2402.
- [21] TORRENCE C, COMPO G P. A Practical Guide to Wavelet Analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61-78.
- [22] 成爱芳,赵景波. 武威地区清代和民国时期干旱灾害特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(1):98-103.  
CHENG Ai-fang, ZHAO Jing-bo. Characteristics of Drought Disasters in Wuwei Region During the Qing Dynasty and the Republic of China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(1): 98-

- 103.
- [23] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[J]. 中国科学, 1973(2):168-188.  
ZHU Ke-zhen. Preliminary Research on Climate Change of China During the Past Five Thousand Years[J]. Science in China, 1973(2):168-188.
- [24] 聂树人, 秦关民. 陕西省咸阳市地理志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1991.  
NIE Shu-ren, QIN Guan-min. Summary of Xianyang Geography in Shaanxi [M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1991.
- [25] 张 霞, 钱锦霞. 气候变暖背景下太原市霜冻发生特征及其对农业的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(1):111-114.  
ZHANG Xia, QIAN Jin-xia. Frost Characteristics and Its Effect on Agriculture in Taiyuan Under Climate Warming[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(1):111-114.
- [26] 张建军, 刘艳红, 李晶晶. 北方春霜冻的危害及防御[J]. 中国农业信息, 2009(7):24-25.  
ZHANG Jian-jun, LIU Yan-hong, LI Jing-jing. Damage and Defense of Northern Spring Frost[J]. China Agricultural Information, 2009(7):24-25.
- [27] 王俊杰. 甘肃省黄土高原区果树花期晚霜冻害估计与对策[J]. 甘肃林业科技, 2005, 30(4):34-37.  
WANG Jun-jie. Estimation and Countermeasures on Late Frozen Injury in Blooming of Fruit Trees in Loess Plateau Area of Gansu Province[J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 2005, 30(4):34-37.
- [28] GUSTA L V, FOWLER D B, TYLER N J, 等. 影响冬小麦锻炼和存活的因素[J]. 麦类作物, 1984, 4(4):22-24.  
GUSTA L V, FOWLER D B, TYLER N J, et al. Influence Factors of Winter Wheat Exercise and Survive [J]. Journal of Triticeae Crops, 1984, 4(4):22-24.
- [29] 赵 鹏, 钟秀丽, 王道龙, 等. 冬小麦抗霜性与抗冻性的关系[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6):281-285.  
ZHAO Peng, ZHONG Xiu-li, WANG Dao-long, et al. Relationship Between Frost Resistance and Freezing Resistance of Winter Wheat [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6):281-285.

### 《地球科学与环境学报》约稿函

尊敬的各位专家学者:

《地球科学与环境学报》(以下简称《学报》)自 1979 年创刊以来,得到了各位专家的支持,使期刊得到了快速发展。《学报》系地学综合性权威学术期刊,刊登的主要内容有基础地质与矿产地质、水资源与环境、工程地质、应用地球物理和地球信息科学等。据中国科学技术信息研究所 2011 年版《中国科技期刊引证报告(核心版)》,《学报》影响因子为 0.911,他引率为 0.82。

为了不断提升《学报》的学术质量和影响力,特向各位专家学者约稿,诚盼各位专家学者能鼎力支持《学报》的发展。《学报》目前的优势包括:

- 1、中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)刊源。
- 2、不收取版面费,并且刊出后向作者支付一定稿酬。
- 3、发表周期短。
- 4、对学术质量高、有重大基金项目支持的论文优先发表。
- 5、刊登综述类论文。
- 6、可同期刊登同一主题的系列成果。

联系地址:西安市南二环路中段长安大学杂志社

邮政编码:710064

电 话:029-82334686

E-mail:dkyhxb@chd.edu.cn

《地球科学与环境学报》编辑部