

# 近百年山西霜雪灾害时空特征

孟万忠<sup>1,2</sup>, 刘晓峰<sup>1</sup>, 王尚义<sup>1,3</sup>, 赵景波<sup>2</sup>, 牛俊杰<sup>1</sup>

(1. 太原师范学院汾河流域科学发展研究中心, 太原 030012; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062;  
3. 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究院, 西安 710062)

**摘要:** 霜雪灾害对山西影响范围广、危害大, 通过对山西 1901~2000 年历史文献和现代气象资料的搜集、整理和分析, 对该地区霜雪灾害的等级、阶段、周期及其成因进行研究, 旨在探寻山西霜雪灾害发生的规律, 为该地区此类灾害的预测和防治提供科学依据。研究表明, 100 年间轻度灾害占 15.7%、中度占 62.1%、重度占 22.2%; 灾害变化分为四个阶段, 1901~1948 年为第一阶段, 1949~1964 年为第二阶段, 1965~1974 年为第三阶段, 1975~2000 年为第四阶段, 第一、三阶段以轻、中度灾害为主, 第二、四阶段以中、重度霜雪灾害为主; 小波分析表明, 灾害主要表现为 2~3a、5~8a 和 25~35a 的周期; 山西的霜雪灾害可分为四种成因类型; 100 年中发生了四次寒冷气候事件, 出现三个异常寒冷灾害年。

**关键词:** 霜雪灾害; 时空特征; 山西

**文章编号:** 1000-0585(2012)12-2292-09

近年来, 气候变暖成为全球关注的焦点。IPCC 的研究报告指出, 近 100 年全球平均地表温度上升了  $0.74^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>, 中国普遍升温, 北方较明显, 达  $0.8^{\circ}\text{C}$ <sup>[2~4]</sup>。但是, 2008 年 1 月, 中国南方发生大范围低温、雨雪、冰冻灾害; 2009 年 11 月, 中国北方遭遇 60 年一遇的暴雪; 2012 年 1 月下旬到 2 月上旬, 乌克兰、日本、韩国、中国等欧亚多国遭遇极寒天气。这一系列极端气候事件警醒世人, 寒冷气候事件所引发的灾害不会因为气候变暖而消失。霜、雪、低温灾害是寒冷气候的几种表现形式, 国内外学者的研究成果较丰。霜冻方面, Heino 等<sup>[5]</sup>、Bonsal 等<sup>[6]</sup>和 Easterling<sup>[7]</sup>研究发现 20 世纪北欧、加拿大和美国的霜冻日数有减少的趋势; 钱锦霞等<sup>[8, 9]</sup>的研究表明, 在气候变暖的背景下, 山西的霜冻日数逐渐减少; 张霞等<sup>[10]</sup>认为, 霜冻灾害是时间尺度很短的气象灾害, 它的发生可以与长时间尺度的气候变化趋势相反, 即使气候变暖仍需树立防灾减灾意识。雪灾方面, Gaston<sup>[11]</sup>研究了 1784 年 2 月发生在比利时及其周边国家的特大洪涝灾害, 发现这次灾害是由两次寒冷事件诱发的大范围降雪所致; 王绍武<sup>[12]</sup>、璩向宁等<sup>[13]</sup>研究了积雪与气候变化的关系; 于希贤<sup>[14]</sup>对徐霞客记载的 17 世纪大雪奇寒事件进行了研究; 刘耀文等<sup>[15]</sup>对 2009 年秋季山西出现的特大暴雪的形成原因等进行了诊断分析。低温方面, 叶愈源<sup>[16]</sup>、于强<sup>[17]</sup>、方修琦等<sup>[18]</sup>、何燕等<sup>[19]</sup>、马树庆等<sup>[20]</sup>对低温冷害对农作物的影响、变化、分布、区划及其风险度和经济脆弱度等进行了研究。但是将霜雪灾害进行综合研究的成果还

收稿日期: 2012-06-15; 修订日期: 2012-09-08

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目; 国家自然科学基金资助项目 (41071335); 山西省高等学校哲学社会科学基金项目 (2011325); 山西省软科学研究计划资助项目 (2012041015-03)

作者简介: 孟万忠 (1971-), 男, 山西清徐人, 博士后, 太原师范学院副教授, 高级工程师, 研究方向为历史地理与环境变迁及 GIS。E-mail: mwz66@163.com

通讯作者: 王尚义 (1955-), 男, 山西交口人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事历史地理学理论与方法研究。E-mail: wsy326@263.net

很少, 赵景波等<sup>[21]</sup>对明代关中地区的霜雪灾害特征进行了研究。

霜雪灾害是山西影响范围广、危害作物种类多、造成经济损失大的气象灾害之一。目前对山西不同等级霜雪灾害发生频次、等级、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。本文所指的霜雪灾害包括霜冻、低温和大雪等 3 类灾害, 它们都是由冷空气活动所引起的, 只是在不同的季节表现方式和强度不同。因此将这 3 类灾害放在一起研究, 可以更好地认识其发生、发展规律, 揭示冷空气活动的趋势和变率, 能够为有效地预测和预防此类灾害的发生, 提供科学的依据。

## 1 研究区概况

山西介于  $34^{\circ}34'58''\text{N}\sim 40^{\circ}43'30''\text{N}$ 、 $110^{\circ}14'42''\text{E}\sim 114^{\circ}33'17''\text{E}$  之间, 东部为山地区, 西部为高原山地区, 中部为断陷盆地, 平均海拔 1000 m 以上, 地势东北高, 西南低。属温带大陆性季风气候, 冬季风与夏季风交替变更。霜雪灾害一般都是由冷空气入侵、下沉引起降温而发生的, 正如农谚所说“风打脊梁霜打凹”, 冷空气容易沉积到低凹地带, 因此低凹的盆地更容易遭受霜雪灾害, 且受灾最重。就坡向来说, 冷空气的迎风坡, 受灾比背风坡重, 这是因为北坡温度低, 又易受冷空气的直接侵袭, 气温常降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下的缘故。

山西纬度位置较高, 使得从西、中和东三条路径侵袭中国境内的冷空气基本上都会对其造成影响<sup>[22]</sup>。山西东部的太行山, 西部的吕梁山, 二者的北坡均为冷空气的迎风坡; 中部为串珠状盆地, 冷空气被太行山阻挡下沉, 借助北高南低的地势, 倾泻而下, 其强度和威力倍增。由此带来的降温、降雪、降霜等天气过程, 使山西几乎全境每年都有发生霜雪灾害的可能, 给山西的工农业生产、交通运输和人民生活带来严重的不利影响和损害, 特别是对农业生产危害很大, 是仅次于旱灾和冰雹灾害的气象灾害。

## 2 资料来源与分析方法

### 2.1 资料来源

以《中国气象灾害大典·山西卷》<sup>[23]</sup>、《中国三千年气象记录总集》<sup>[24]</sup>、《山西自然灾害史年表》<sup>[25]</sup>、《山西气候》<sup>[22]</sup>和《黄河志第一篇·气象》<sup>[26]</sup>等对山西 1901~2000 年的霜冻、低温、大雪资料和气温、降雪等数据为依据进行研究。

### 2.2 小波分析原理

气象灾害具有随机性、迟缓性、重现性等特点<sup>[27]</sup>, 传统的理论和科学方法已无法对其进行更深入的认识。小波分析 (wavelet analysis) 是近年来发展起来的前沿领域, 对信号处理有特殊的优势, 已应用于气象和气候序列的时频结构分析中<sup>[28~30]</sup>。小波分析能够确定序列不同尺度变化的时间位置, 提供突变信号, 可以作序列的阶段分析, 为系统预测提供信息; 能够给出不同长度的周期随时间的演变特征, 认识不同尺度的扰动特性, 由此判断序列存在的显著周期; 可以准确地诊断出多长周期的振动最强。

## 3 灾害的等级、发生频次与周期性变化

### 3.1 灾害的等级划分

低温是霜雪灾害首要的致灾因子, 因此气温是灾害等级划分的第一要素。1949 年以后的资料中有受灾气温记录, 其变化幅度, 北部为  $-25.6^{\circ}\text{C}\sim -0.8^{\circ}\text{C}$ , 中部为  $-22^{\circ}\text{C}\sim$

-1.3℃，南部为-18.9℃~-1.4℃<sup>[22]</sup>。当气温降到0℃时冬小麦幼穗开始受害，-1℃时植株和小穗就发生死亡<sup>[31]</sup>。苹果树、梨树等果树在3月份、4月份的花期气温降到-2℃~-1℃时便会受到冻害，-4℃~-3℃的低温便可产生严重损伤<sup>[32]</sup>。小麦叶片结冰存在着临界叶温，约为-6.4℃<sup>[33]</sup>。

由于中国幅员辽阔，不同地区霜雪灾害的等级标准很难统一。2000年以后中国气象局开始陆续制定《中华人民共和国气象行业标准》，其中所制定的关于霜冻、雪灾的现行标准也是一个参考标准，不同的地区还需要依据当地的具体情况制定适合的标准。因此，本文所确定的霜雪灾害划分等级，参照了《中华人民共和国气象行业标准》中关于霜冻、雪灾的等级划分标准，结合山西不同区域灾害发生时作物受灾温度和当地实际受灾温度，综合考虑灾害发生季节、持续时间、强度、受灾范围、人、畜、农作物受影响程度的大小和降水量等数据，将灾害划分为3级（表1）。依此标准，将统计的433次灾害划分为轻

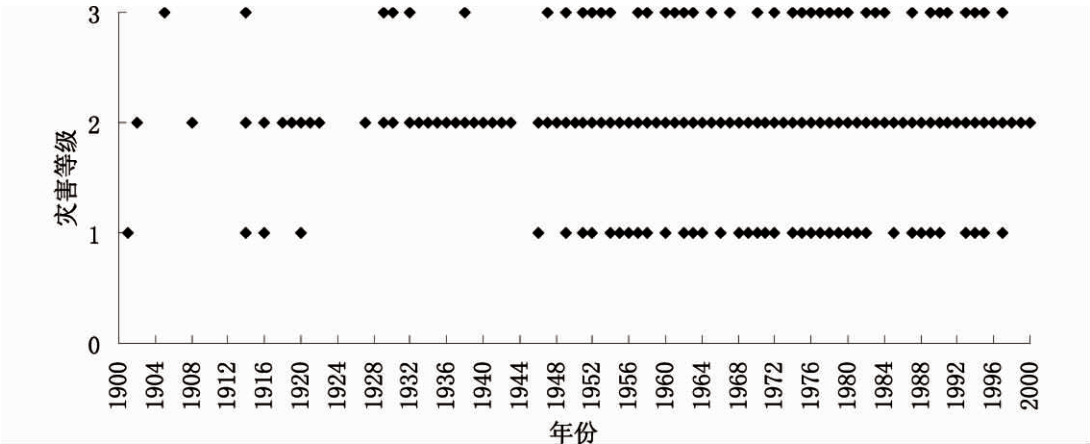


图1 山西1901~2000年霜雪灾害等级变化

Fig.1 Change of the grades of the frost and snow disasters in Shanxi from 1901 to 2000

表1 山西1901~2000年霜雪灾害等级划分表  
Tab.1 The disaster grade of frost and snow in Shanxi from 1901 to 2000

等级	分级依据	文献记载	次数
I级 轻度	资料中有“霜冻”、“大雪”等记载，持续时间短，范围小，作物受冻、粮食减产情况较轻，对人民生产、生活影响较小气温-2℃<I级≤0℃	民国五年（1916），壶关霜旱；民国三年（1914）五月，武乡大雪；1951年春，大宁霜冻，麦苗受冻 <sup>[22]</sup>	68
II级 中度	资料中记载有“陨霜杀麦、伤麦”等冻死作物，持续时间较长、范围较广、对生产、生活影响较大，造成比较严重减产气温-5℃<II级≤-2℃	民国七年（1918）春，永和陨霜杀麦；1951年，朔州早霜，冻死谷子、豆类 <sup>[22]</sup>	269
III级 重度	资料中有连续多次发生霜冻、冻死人畜、鸟兽、树木、作物等描述，范围广，时间长，频次多，使生命财产受到重大损失气温III级≤-5℃	民国十八年（1929），十一月，临汾、汾西严寒，树木、鸟兽多冻死；1954年4月18~20日，山西中南部连日出现终霜冻，气温降至-5℃，54个县受灾，临汾地区最重 <sup>[22]</sup>	96

度 68 次, 占 15.7%; 中度 269 次, 占 62.1%; 重度 96 次, 占 22.2%。从不同等级灾害在时间上的变化 (图 1) 可知, 1948 年以后霜雪灾害发生频繁, 强度较大。

### 3.2 灾害的频次变化

根据资料<sup>[22~26]</sup>, 以 2 年为单位统计出 1901~2000 年山西发生的霜雪灾害发生频次 (图 2)。图 2 表明, 从 1901~2000 年, 山西霜雪灾害的发生频次呈递增趋势。

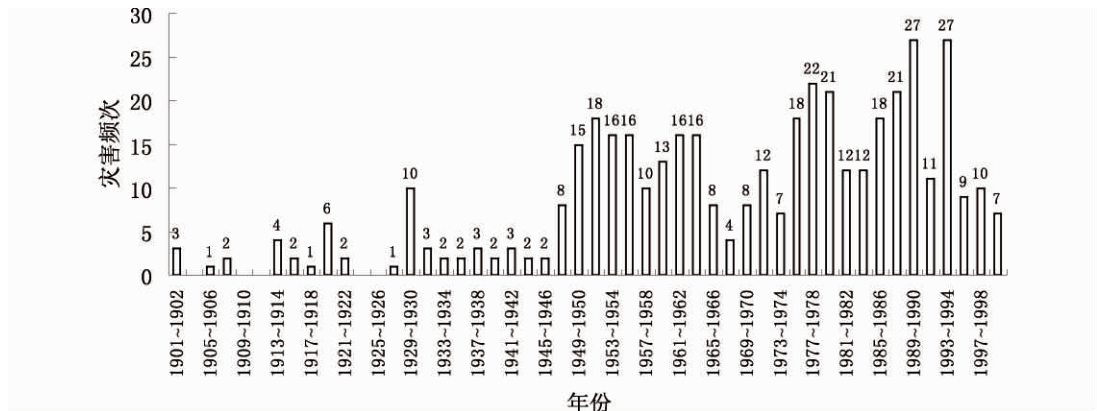


图 2 山西 1901~2000 年霜雪灾害发生频次

Fig. 2 Change of the occurrence frequency of the frost and snow disasters in Shanxi from 1901 to 2000

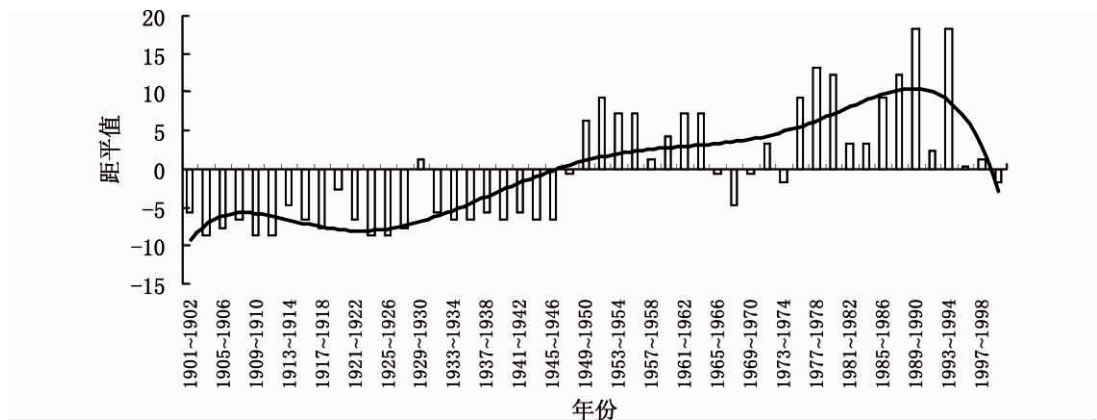


图 3 山西 1901~2000 年霜雪灾害频次距平值变化与 6 次多项式拟合曲线图

Fig. 3 Change of the occurrence frequency anomaly of the frost and snow disasters and the curve after 6 times of polynomial fit in Shanxi from 1901 to 2000

1901~2000 年每 2 年霜雪灾害发生的平均频次为 14.38 次, 将平均频次与每 2 年实际发生的频次作差值, 可以得出每 2 年灾害频次的距平值, 同时根据最小二乘法意义下 6 次多项式<sup>[21]</sup>的拟合曲线 (图 3)。该图明显地反映出 1901~2000 年山西霜雪灾害的变化趋势和阶段性特点。可分为四个阶段, 1901~1948 年为第一阶段, 1949~1964 年为第二阶段, 1965~1974 年为第三阶段, 1975~2000 年为第四阶段。第一、三阶段距平值主要为负值, 灾害发生频次较低, 以轻、中度灾害为主。第二、四阶段距平值主要为正值, 灾害

频次较高,以中、重度霜雪灾害为主。

### 3.3 灾害的季节变化

灾害的发生具有季节性特点,霜冻集中在4月、5月和9月,合计203次,占有霜冻灾害的84.6%。低温集中在3月、4月和5月,合计81次,占有低温灾害的73.0%。雪灾集中在12月、3月、4月和5月,合计51次,占有雪灾63.0%。分析可知,春夏之交的3月、4月和5月霜雪灾害发生的频次最高,3类灾害发生的几率均较高。春、夏之交气温迅速回升,植物生长旺季,剧烈的降温对作物的影响明显,对春播刚出土的农作物、开花的果树和冬小麦的生长危害严重。秋冬之交的9月以霜冻为主,居首位。秋季下霜或下雪过早,会使地面温度降至 $0^{\circ}\text{C}$ 以下,使正在发育的农作物受到危害甚至死亡,对秋季作物的收成产生重大影响,严重的造成饥荒发生。冬、春季的灾害,对冬小麦等农作物和家禽、家畜的越冬影响巨大,会发生冻死牲畜的事件。

### 3.4 灾害的周期规律

利用小波分析对山西霜雪灾害的时间与频次数据进行处理分析,得到时间与频率的序列关系图(图4)。从图中可知,存在多重时间周期尺度上的周期嵌套复杂结构现象,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。在1929~1930年、1951~1956年、1960~1964年、1975~1983年、1987~1995年有5个明显的集中区,有明显的峰值。近百年的霜雪灾害存在2~3a、5~8a和25~35a的周期。第二、四阶段周期信号特别明显,反映出这两个阶段灾害发生的频率和强度较高。

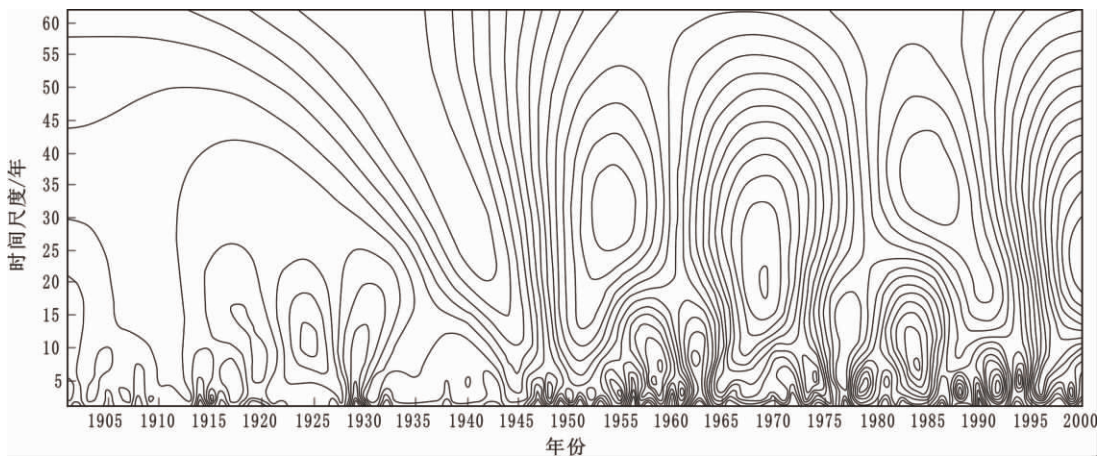


图4 山西1901~2000年霜雪灾害季节分布

Fig. 4 The seasonal prevalence of the frost and snow disasters in Shanxi from 1901 to 2000

## 4 灾害成因类型

冷空气南下侵袭,导致降霜、雪或气温骤降至 $0^{\circ}\text{C}$ 以下是造成山西霜雪灾害发生的主要原因。侵入山西的冷空气,西路从西北方向由北疆沿天山、祁连山北侧入侵;中路从北方经内蒙古高原,直接进入山西;东路从东北方向而来<sup>[22]</sup>。西、中路的强冷空气来势凶猛,易因强烈降温而出现平流霜灾,是山西霜雪灾害的主要类型。

根据山西霜雪灾害形成的原因，可将其分为以下四种类型。

(1) 冬季异常变冷型 这类灾害主要发生在 11 月、12 月、1 月，因冬季过低的气温而形成。如 1984 年 12 月，洪洞县连续阴雪 10 日，雪后降温剧烈，最低气温达 $-18.9^{\circ}\text{C}$ （历史极值），积雪数日不化。

(2) 强冬季风早来型 这类灾害主要发生在 8 月、9 月，由于强大的冬季风提前来临，导致山西出现大范围的霜雪灾害，对大秋作物产生严重的影响。如 1970 年 9 月底，山西大部分地区出现霜冻，最低气温神池 $-5.8^{\circ}\text{C}$ ，介休 $-4.3^{\circ}\text{C}$ ，襄垣 $-3^{\circ}\text{C}$ ，汾阳甚至降至 $-7.4^{\circ}\text{C}$ ，使全省未成熟的秋作物受损严重。

表 2 山西 1901~2000 年寒冷气候事件与异常寒冷灾害年表

Tab 2 The grade of frost and snow disasters in Shanxi from 1901 to 2000

年份	灾害强度 与次数	影响范围	灾情
1929~1930	重度 7 次 中度 3 次	中南部 17 个县	降雪时间长，积雪厚度大；天气严寒，牛羊、树木、鸟兽多冻死；黄河自禹门至潼关冰冻成桥，七八尺深的水井结冰尺余
1953~1954	重度 5 次 中度 8 次 轻度 3 次	中南部包 括太原等 6 个地区 54 个县	1953 年遭受 30 年来最严重的晚霜冻害，小麦、葡果、菜苗普遍受冻，死苗严重；1954 年 4 月中南部连日出现终霜冻，临汾气温 $-6.8^{\circ}\text{C}$ ，受灾最重；同年冬季，万荣严寒，汾河、黄河结冰 2 个月之久
1960	重度 5 次 中度 5 次 轻度 2 次	全省大部 分地区	4 月汾阳气温 $-8.2^{\circ}\text{C}$ ；5 月吕梁山、与太行山连续降大雪，最厚达 60cm，小麦、棉花、玉米、瓜菜等幼苗及果树花遭受严重冻灾，冻死牛、羊、猪等牲畜；10 月平遥气温骤降至 $-6^{\circ}\text{C}$ ，高粱、莜麦、荞麦、棉花被冻干枯，冻死羊
1977~1980	重度 14 次 中度 22 次 轻度 7 次	全省大部 分地区	1977 年 1 月太原最低气温达 $-22^{\circ}\text{C}$ ，运城达 $-16^{\circ}\text{C}$ ；5 月全省大部最低气温 $-5^{\circ}\text{C}\sim-1^{\circ}\text{C}$ ，降暴雪，冻死农作物，北部地区冻死羊等家畜；1978 年 9 月霜期比常年早 8~10d，气温降至 $-6^{\circ}\text{C}\sim-3^{\circ}\text{C}$ ，大秋作物受冻；1979 年 2 月全省大部持续降雪 3~4d，降雪量 15~20mm，最大雪深 15~30cm；5 月上旬，降大雪，积雪最厚达 70cm，最低气温 $-5^{\circ}\text{C}$ ，已出土的禾苗全部被冻死；8 月下旬至 9 月，出现 1949 年以来最早的初霜冻，部分庄稼被冻死；1980 年 5 月，北部气温降至 $-8^{\circ}\text{C}\sim-5^{\circ}\text{C}$ ，大秋作物等普遍受灾；9 月北部地区霜冻较常年提前，大秋作物全部冻死
1987	重度 5 次 中度 7 次 轻度 1 次	全省大部 分地区	5 月，雁北地区连续出现霜冻；6 月，雁北和忻州地区部分县，出现“六月黑霜”、“六月雪”，冻死农作物、羊数千只，大牲畜多头；10 月底，全省降雪，持续 2~3d，北、中部降雪量最大 32.4mm，积雪最厚 50cm，小麦、大白菜受害严重；11 月底，运城地区日降雪量超过 10mm，积雪长达 12d，大白菜普遍冻烂，交通受阻
1990	重度 9 次 中度 6 次 轻度 1 次	全省大部 分地区	3 月下旬至 4 月上旬，全省大部最低气温 $-10^{\circ}\text{C}\sim-8^{\circ}\text{C}$ ，降雪量最大 53.3mm，积雪最深 84cm，小麦、油菜、蔬菜秧苗全部冻坏，冻死羊几万只，大牲畜几百头；9 月，霜冻比常年提前，庄稼被冻死
1993~1995	重度 13 次 中度 18 次 轻度 4 次	全省大部 分地区	1993 年 4 月上旬，中北部最低气温 $-8.3^{\circ}\text{C}$ ，小麦、蔬菜、葡果受冻严重；9 月中下旬，中北部连续降霜，秋作物大面积死亡；11 月中下旬，全省出现了 1949 年以来最早、范围最广、强度最大、历时最长的降温和降雪天气，小麦、葡果、蔬菜大面积受冻严重；1994 年 4 月，晋东南暴雪，持续 30 多个小时，降雪量 55mm，小麦、核桃树等遭受冻害；11 月中旬，晋东南、临汾地区暴雪，降雪量最大 54.4mm，积雪最深 27cm。1995 年 4 月、5 月，中北部最低气温达 $-8.1^{\circ}\text{C}$ ，小麦、蔬菜等农作物和果树受冻成灾；9 月中下旬，全省连续多次出现大范围霜冻，较常年提前 7~10d，气温 $-5^{\circ}\text{C}$ ，涉及 9 个地市，大秋作物大面积冻死

(3) 冬季风回返变冷型 这类灾害主要发生在 3 月、4 月, 春季随着气温的迅速回升, 冬季风减弱北退, 但有时冬季风回返加强, 产生大范围霜雪灾害, 对小麦返青、果木开花和春播作物的生长极为不利。如 1953 年 3 月下旬到 4 月下旬, 山西遭受强冷空气侵袭, 气温急剧下降, 晋南地区最低气温降至  $-5^{\circ}\text{C}$ , 遭受 30 年来最严重的晚霜冻害。

(4) 冬夏季风联合作用型 这类灾害主要发生在 5 月、6 月, 是冬夏季风共同作用的结果。1901~2000 年共发生 13 次这样的大雪灾, 如 1960 年 5 月 4~6 日, 太行山、吕梁山降雪, 雪深 6~60cm, 气温最低降至  $-5^{\circ}\text{C}$ 。冬、春小麦, 棉花、玉米等受冻成灾, 果花大部分冻干, 左权、寿阳等高海拔地区甚至冻死牛羊等牲畜。

## 5 寒冷气候事件与异常寒冷灾害年

根据资料分析和判断可知(表 2), 山西寒冷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, 连续几年出现, 冻死人畜等影响范围广泛的严重寒冷气候, 把这样的极端气候阶段确定为寒冷气候事件。气候事件的特点是, 降温幅度大, 持续时间较长, 灾害严重, 危害大。100 年中山西共发生 4 次寒冷气候事件, 分别出现在 1929~1930、1953~1954、1977~1980 和 1993~1995 年。1 年之内连续多次出现霜雪灾害, 并且特别寒冷, 冻死人畜, 称为异常寒冷灾害年。这样的灾害年出现 3 次, 分别是 1960 年、1987 年和 1990 年。

## 6 结论与讨论

(1) 山西霜雪灾害的形成, 不仅与当时的天气条件有关, 而且与其所处的地理位置和地形地势密切相关, 纬度和海拔高度的影响大于经度的影响。山西地处中纬度, 冷空气侵袭, 必然会带来霜、雪、低温等天气现象, 较高的海拔和“两山夹一盆”的地形地势加强了冷空气的强度和影响范围, 在形成霜、雪、低温的同时产生了严重的“冻害”, 形成霜雪灾害。

(2) 本文以《中国气象灾害大典·山西卷》<sup>[23]</sup>等对山西 1901~2000 年的霜冻、低温、大雪等数据为依据进行研究。100 年中, 山西共发生霜雪灾害 433 次, 轻度占 15.7%; 中度占 62.1%; 重度占 22.2%。采用小波分析的分析研究霜雪灾害的周期规律, 研究表明, 灾害主要表现为 2~3a、5~8a 和 25~35a 的周期变化。

(3) 降霜、雪或寒流引起的气温骤降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下是山西霜雪灾害形成的主要原因, 根据灾害成因, 可将灾害类型划分为四种: 冬季异常变冷型, 强冬季风早来型, 冬季风回返变冷型和冬夏季风联合作用型。

(4) 近 100 年来现代气象仪器观测的气温资料, 为山西霜雪灾害的阶段划分提供了科学的佐证。春、秋季是山西霜雪灾害的高发期, 结合 1916 年以来器测数据的研究表明<sup>[22]</sup>, 1916~1948 年的春、秋季均为偏暖期; 1949~1987 年为偏冷期; 1987 年以后为偏暖期。与此相对应, 灾害变化分为四个阶段, 1901~1948 年为第一阶段, 1949~1964 年为第二阶段, 1965~1974 年为第三阶段, 1975~2000 年为第四阶段。第一、三阶段距平值主要为负值, 灾害发生频次较低, 以轻、中度灾害为主。第二、四阶段距平值主要为正值, 灾害频次较高, 以中、重度霜雪灾害为主。100 年中出现 4 次寒冷气候事件和三次异常寒冷灾害年, 除 1929~1930 年外, 都发生在第二、四阶段。近百年在全球气候变暖



的背景下, 山西极端寒冷事件反而多次大规模的爆发, 霜雪灾害呈现出与气候变暖相反的变化趋势, 反映出 100 年来山西气候变化的异常性。

霜雪灾害不仅使农作物受灾、人的生命、财产和社会经济受到严重损失, 而且对粮食、交通、水资源和能源安全等都造成了危机。由于人类目前尚无法控制霜雪灾害的发生, 因此进一步深入研究, 掌握霜雪灾害发生的规律, 合理利用气候资源, 调整山西的农业布局, 避免和减轻灾害造成的损失, 具有重要的实践意义。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, University Press, 2007.
- [2] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(1)中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3~8.
- [3] 王绍武, 叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析. 大气科学, 1995, 19(5): 545~553.
- [4] 王海军, 张勃, 赵传燕, 等. 中国北方近 57 年气温时空变化特征. 地理科学进展, 2009, 28(4): 643~650.
- [5] Heino R, Brazdil R, Forland R, *et al.* Progress in the study of climate extremes in Northern and Central Europe. Climatic Change, 1999, 42: 151~181.
- [6] Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, *et al.* Characteristics of daily and extreme temperature over Canada. J Climate, 2001, 14: 1959~1976.
- [7] Easterling D R. Recent changes in frost days and frost-free season in the United States. Bull Amer Meteor Soc, 2002, (83): 1327~1332.
- [8] 钱锦霞, 张霞, 张建新, 等. 近 40 年山西省初终霜日的变化特征. 地理学报, 2010, 65(7): 801~808.
- [9] 钱锦霞, 武捷, 班胜利. 1951~2008 年太原市霜冻发生特征分析. 中国农学通报, 2009, 25(10): 287~289.
- [10] 张霞, 钱锦霞, 靳宁. 山西北部初终霜冻日特征及其对农业的影响. 中国农学通报, 2009, 25(22): 348~351.
- [11] Gaston R DEMARÉ. The catastrophic floods of February 1784 in and around Belgium: A Little Ice Age event of frost, snow, river ice... and floods. Hydrological Sciences Journal, 2006, 51(5): 878~898.
- [12] 王绍武. 冰雪复盖与气候变化. 地理研究, 1983, 2(3): 73~86.
- [13] 璩向宁, 汪一鸣. 近一千年来贺兰山积雪和气候变化. 地理研究, 2006, 25(1): 35~42.
- [14] 于希贤. 徐霞客对十七世纪大雪奇寒记载的研究. 地理研究, 1993, 12(3): 119~123.
- [15] 刘耀文, 张红英, 史云飞, 等. 山西省秋季罕见大暴雪天气过程诊断. 干旱气象, 2010, 28(3): 332~337.
- [16] 叶愈源. 湖南省近七十年来的气温变化特征与水稻生长期低温冷害的联系. 地理研究, 1986, 5(2): 81~89.
- [17] 于强. 安徽大别山南麓柑桔冻害低温分布模式的研究. 地理研究, 1992, 11(3): 95~97.
- [18] 方修琦, 王媛. 气候变暖的适应行为与黑龙江省夏季低温冷害的变化. 地理研究, 2005, 24(5): 664~672.
- [19] 何燕, 李政, 钟仕全, 等. 广西晚稻低温冷害空间分析模型构建及其区划. 地理研究, 2010, 29(6): 1037~1044.
- [20] 马树庆, 王琪, 王春乙, 等. 东北地区水稻冷害气候风险度和经济脆弱度及其分区研究. 地理研究, 2011, 30(5): 931~938.
- [21] 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. 地理科学, 2012, 32(1): 81~85.
- [22] 钱林清, 郑炎谋, 郭慕萍, 等. 山西气候. 北京: 气象出版社, 1991. 199~200.
- [23] 中国气象灾害大典编委会. 中国气象灾害大典(山西卷). 北京: 气象出版社, 2005.
- [24] 张德二. 中国三千年气象记录总集. 南京: 江苏教育出版社, 2004.
- [25] 张杰. 山西自然灾害史年表. 太原: 山西省地方志编纂委员会办公室, 1988.
- [26] 胡焕庸. 黄国志第一篇·气象. 上海: 国立编译馆, 民国二十五年(1936). 56~66, 165~170.
- [27] 魏一鸣. 自然灾害复杂性研究. 地理科学, 1998, 18(1): 25~31.
- [28] 葛哲学, 沙威. 小波分析理论与 MATLAB2007 实现. 北京: 电子工业出版社, 2007. 42~43.



- [29] Lau K M, Weng Hengyi. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1995, 76: 2391~2402.
- [30] Torrence C, Compo G P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 79(1): 61~78.
- [31] 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. *中国农业气象*, 2010, 31(1): 111~114.
- [32] 张建军, 刘艳红, 李晶晶. 北方春霜冻的危害及防御. *中国农业信息*, 2009, (7): 24~25.
- [33] 李茂松, 王道龙, 钟秀丽, 等. 冬小麦霜冻害研究现状与展望. *自然灾害学报*, 2005, 14(4): 72~78.

## The spatial and temporal characteristics of frost and snow disaster in Shanxi nearly one hundred years

MENG Wan-zhong<sup>1,2</sup>, LIU Xiao-feng<sup>1</sup>, WANG Shang-yi<sup>1,3</sup>, ZHAO Jing-bo<sup>2</sup>, NIU Jun-jie<sup>1</sup>

(1. Fenhe-Valley Science Development Research Center, Taiyuan Normal University, Taiyuan 030012, China;

2. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

3. Institute for Historical Environment and Socio-Economic Development in Northwest China, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

**Abstract:** Frost and snow disasters have wide and harmful influence on Shanxi. Based on collecting, reorganizing and analyzing the history and modern meteorological data obtained in Shanxi from 1901 to 2000, this paper studies the grade series, stage changes, different grades of periodicity and reasons for the frost and snow disasters. It aims to explore the occurrences of the frost and snow disasters in Shanxi, and provide a scientific basis for the regional prediction and mitigation of such disasters. The gradation may be identified as mild, moderate and severe disasters, and their occurrence probabilities accounted for 15.7%, 62.1% and 22.2% separately in 100 years. The disasters can be divided into four stages in this study. The first stage is 1901~1948, the second 1949~1964, the third 1965~1974 and the fourth 1975~2000. The occurrences in the first and third stages were mainly mild and moderate disasters, while the second and fourth witnessed moderate and severe disasters. Wavelets analysis shows that there were mainly three periods of 2-3a, 5-8a and 25-35a. They can be divided into four types. There were four cold climate events and three extreme cold disaster years in nearly 100 years.

**Key words:** frost and snow disasters; spatial and temporal changes; Shanxi