

梁轶, 王景红, 邸永强, 等. 陕西苹果果区冰雹灾害分布特征及风险区划[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 135–140. [Liang Yi, Wang Jinghong, Di Yongqiang, et al. Study on the Distribution and Risk Zoning of Hail Disaster of apple in Shaanxi Province [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 135–140.]

陕西苹果果区冰雹灾害分布特征及风险区划^{*}

梁 轶¹, 王景红¹, 邸永强², 柏秦凤¹, 刘耀武¹

(1. 陕西省经济作物气象服务台, 陕西 西安 710014; 2. 陕西省气象信息中心, 陕西 西安 710014)

摘 要: 选取陕西省 1961–2010 年气象观测站冰雹观测数据, 分析 38 个苹果基地县冰雹的时空分布特征, 结合基础地理信息数据、社会经济统计数据和历史灾情等方面资料, 基于自然灾害风险形成原理, 从致灾因子危险性、承灾体易损性以及防灾减灾能力 3 个方面, 构建陕西苹果冰雹灾害风险评估模型, 利用 GIS 技术完成陕西苹果果区冰雹灾害风险区划。结果表明: ①陕西苹果果区冰雹北多南少, 高原和高山多于平川、盆地; 延安、渭北西部果区多于渭北东部、关中西部果区; 1970–1980 年代是冰雹高发期且波动较大, 1990 年以后有所减少; 降雹随季节变化明显, 夏季冰雹日数最多, 春秋次之; 冰雹日变化呈单峰型, 14:00–19:00 是陕西苹果果区降雹的高峰时段, 出现频次为 78.7%。②陕西苹果果区冰雹灾害重度风险区主要分布在延安中西部, 该区年平均雹日约 2 d; 中度风险区主要包括韩城、合阳、澄城、蒲城、富平北部、耀州区、淳化、彬县、长武大部及其北部所有非重度风险区, 该区年平均雹日 1~2 d; 轻度风险区主要分布在关中西北部及东部部分地区, 该区年平均雹日不足 1 d。

关键词: 苹果; 冰雹; 时空分布; 风险区划; 陕西

中图分类号: S166; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)01–0135–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.01.026

陕西是中国最大的苹果生产基地之一, 也是全球集中连片苹果栽植面积最大的区域。至 2012 年底, 苹果种植面积约 $64.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 产量 $965 \times 10^4 \text{ t}^{[1]}$, 约占世界苹果总产 1/8, 成为对陕西农民增收贡献最大的产业^[2]。陕西苹果种植区大陆性季风气候特征明显, 既具有满足苹果优生区气象条件的区位优势^[3–4], 又存在着气候条件脆弱、气象灾害多发的特点^[5–7], 其中冰雹是陕西苹果种植区主要气象灾害之一。冰雹是一种强对流天气, 常伴有强降水、大风等灾害天气现象发生, 具有突发性强、危害性大的特点。5–8 月苹果处于幼果–果实膨大期, 又是冰雹灾害多发期和重发时段, 冰雹灾害对苹果产量和品质形成具有显著影响。因此, 有必要对陕西苹果种植区冰雹灾害分布进行分析, 研究果区冰雹灾害发生的风险水平和空间分布, 可为各级政府部门规划苹果产业发展及建立区域雹灾防灾减灾机制提供参考, 对提

高冰雹灾害防御能力, 促进苹果产业提质增效具有十分重要的意义。

目前, 有关冰雹灾害的研究多集中在冰雹的分布特征方面^[8–12], 主要对冰雹发生的气候特征及天气条件进行分析。对于雹灾风险区划方面的研究, 罗培等^[13]运用模糊综合评价方法, 利用 Map info 软件得到了重庆地区雹灾敏感度、危险度、易损度和风险区划图; 扈海波等^[14]基于雹灾历史灾情资料, 在灾害损失评估的基础上, 完成了北京地区雹灾风险区划; 尹圆圆等^[15]基于区域灾害系统理论和棉花雹灾风险区划数据库, 在“孕灾环境–致灾因子–承灾体–灾情”四维评价的基础上, 提出了多技术手段和多方法结合的雹灾风险区划方法, 编制了安徽省棉花雹灾风险图。目前有关苹果冰雹灾害风险区划研究报道鲜见。因此, 本文在分析陕西 38 个苹果基地县冰雹时空分布特征的基础上, 基于自然灾害风险形成原理,

* 收稿日期: 2014–06–24 修回日期: 2014–08–12

基金项目: 陕西省气象局科技创新基金计划项目“陕西苹果基地县冰雹灾害风险评估与区划”(2010M–40); 2010 年陕西果业基金发展项目“陕西主栽果树气候适宜性与气象灾害风险区划”

作者简介: 梁轶(1979–), 女, 陕西西安人, 硕士, 工程师, 主要从事农业气候资源、气象灾害分析与区划。

E-mail: flyingly@126.com

从致灾因子危险性、承灾体易损性以及防灾减灾能力 3 个方面,构建陕西苹果冰雹灾害风险评估模型,对陕西苹果果区冰雹灾害进行风险区划,以期对果区苹果生产防灾减灾及区域雹灾防御对策制定提供技术支撑和科学依据。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

气象资料选取陕西 38 个苹果基地县 1961—2010 年共 50 年气象站冰雹观测资料,包含降雹地点、降雹开始时间、降雹结束时间记录,资料来源于陕西省气象信息中心。陕西苹果基地县 2010 年苹果产量统计数据,来源于《陕西统计年鉴》;2010 年陕西苹果基地县高炮、火箭数量数据,来源于陕西省人工影响天气办公室。冰雹灾情数据来自陕西省经济作物气象服务台近年来的果园实地调查资料,以及《陕西救灾年鉴》、《中国气象灾害大典》(陕西卷)中冰雹灾害的灾情、灾损程度、受灾面积等资料。地理信息采用 1:25 万陕西省地理信息数据。

冰雹日数按照 1 d 中凡出现冰雹天气现象时统计为一个冰雹日;冰雹站日按照 1 d 中一个气象站出现冰雹天气现象时统计为一个站日。多年平均冰雹日数采用 1981—2010 年 30 年资料;冰雹年际变率采用 1961—2010 年 50 年资料。

1.2 冰雹灾害风险区划方法

根据自然灾害风险形成理论体系^[16],苹果果区冰雹灾害主要是由致灾因子危险性、承灾体易损性、抗灾能力三个部分共同形成,是 3 种致灾因子综合作用的结果。为消除各评价因子的量纲差异,分别对各评价指标的风险指数进行标准化处理^[17],使每组数据均落在 $[0, 1]$ 区间内,各指标的标准化公式为:

$$X_{ij} = (x_{ij} - \min_i) / (\max_i - \min_i) \quad (1)$$

式中: X_{ij} 是 j 站点第 i 个指标的标准化值, x_{ij} 是 j 站点第 i 个指标的风险指数值, \max_i 和 \min_i 分别是第 i 个指标的风险指数值中的最小值和最大值。

依据自然灾害风险数学公式^[16,18],选取线性加权综合评价方法,建立陕西苹果果区冰雹灾害风险评估模型为:

$$FDRI = VH \times wh + VS \times ws + (1 - VR) \times wr \quad (2)$$

式中: $FDRI$ 为苹果冰雹灾害风险指数,用于表示冰雹灾害的风险程度,其值越大,表示冰雹灾害风险越大; VH 、 VS 、 VR 分别为致灾因子危险性指数、承灾体易损性指数、防灾抗灾能力指数; wh 、 ws 、 wr 分别为各评价因子的权重,权重大小依据各因子对冰雹灾害的影响程度大小,采用实地调查结合冰雹灾情

资料确定。

利用 GIS 空间分析模块,对各评价因子的风险指数进行空间化处理,再根据式(2) 对各评价因子的栅格数据层进行空间叠加分析,得到陕西苹果果区冰雹灾害风险区划结果。

2 结果与分析

2.1 陕西苹果果区冰雹灾害时空分布特征

2.1.1 果区冰雹日数空间分布特征

陕西苹果果区冰雹的地域分布与海拔高度、地形和下垫面性质等关系密切,具有北多南少,高原和高山多于平川、盆地,延安、渭北西部果区多于渭北东部、关中西部果区的特点。陕西苹果果区年平均冰雹日数 0~2.1 d(图 1)。年平均冰雹日数,延安果区 1.3~1.8 d,其中安塞、宝塔、宜川冰雹日数 1.6 d 以上,是冰雹多发区;渭北西部果区 0.4~2.1 d,其中宜君、旬邑冰雹日数 1.3 d 以上,是冰雹多发区外,其他区域冰雹日数在 1 d 以下,是冰雹次多发区;渭北东部果区 0.4~1.2 d,其中铜川冰雹日数 1.2 d,是冰雹多发区外,其他区域冰雹日数在 1 d 以下,是冰雹次多发区;关中西部果区 0~0.6 d,其中凤翔、乾县冰雹日数 0.5 d 以上,是冰雹次多发区外,其他区域冰雹日数在 0.3 d 以下,属少雹区。

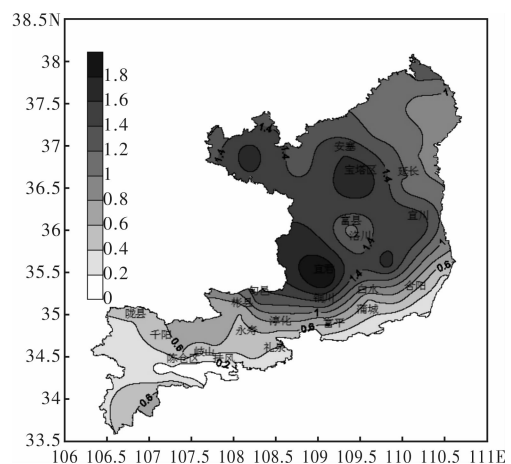


图 1 陕西苹果果区年平均冰雹日数分布(单位: d)

2.1.2 果区冰雹日数时间变化特征

(1) 果区冰雹发生频次年际变化特征

近 50 年陕西苹果果区年冰雹频次变化分析结果显示(图 2),陕北果区冰雹高发期出现在 1970 年代中期—1980 年代中期,1990 年代以来有所减少,年冰雹发生频次平均 10 站日,1977 年最多(21 站日),2000 年最少(1 站日)。渭北西部果区冰雹高发期出现在 1960 年代—1980 年代末,1990 年代以来有所减少,年冰雹发生频次平均 8 站日,

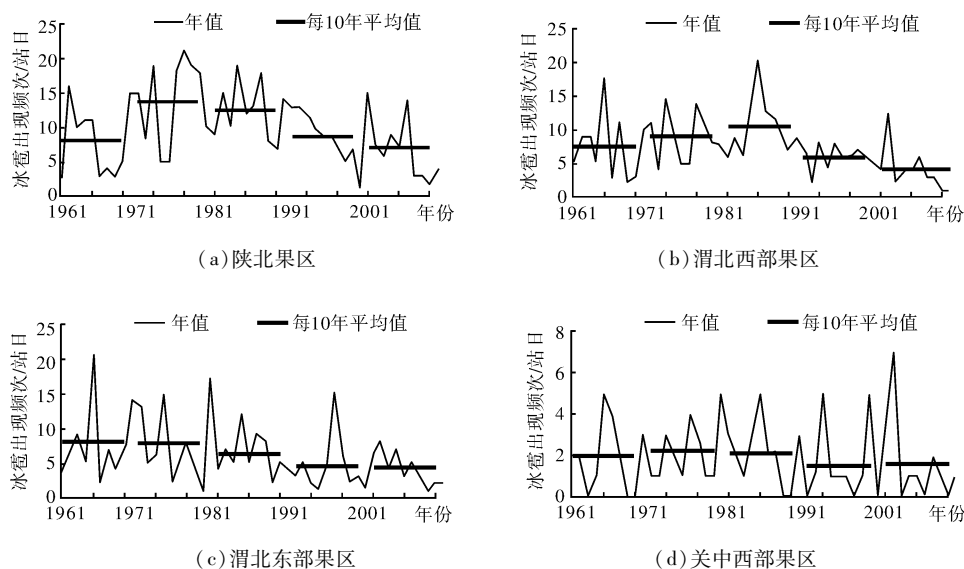


图2 陕西苹果果区年冰雹频次变化

1985年最多(20站日), 2009和2010年最少(1站日)。渭北东部果区冰雹高发期出现在1960年代中期-1970年代中期, 1980年代以后有所减少, 年冰雹发生频次平均6站日, 1965年最多(21站日), 1979、2008、1994和2008年最少(1站日)。关中西部果区冰雹高发期出现在1970年代-1980年代, 其余年代变化不明显, 年冰雹发生频次2站日, 2002年最多(7站日), 2006、2009年等许多年份, 基本无冰雹发生。

(2) 果区冰雹日数季节变化特征

陕西苹果果区的降雹有明显的季节变化, 夏季冰雹日数最多, 春秋次之。春季, 各果区冰雹日数0.1~0.6 d, 除洛川、旬邑、宜君、长武和铜川为强中心, 季冰雹日数在0.4 d以上外, 其他区域春季基本无冰雹发生。夏季, 陕北果区季冰雹日数0.5~1.2 d, 其中安塞、宝塔、宜川为强中心, 季冰雹日数均达1.0 d以上; 渭北西部果区季冰雹日数0.3~1.1 d, 其中宜君最多, 冰雹日数为1.1 d, 旬邑和长武次之, 季冰雹日数达0.5 d以上; 渭北东部果区季冰雹日数0.1~0.5 d, 其中耀州、铜川和合阳为强中心, 季冰雹日数0.4~0.5 d; 关中西部果区季冰雹日数0~0.2 d, 其中凤翔、乾县和礼泉季降雹日数最多, 为0.2 d, 其他区域夏季基本无冰雹发生。秋季, 除安塞、洛川和宜君季冰雹日数在0.3 d左右外, 其他大部分果区秋季基本无冰雹发生。

(3) 果区冰雹日数的月际变化特征

陕西苹果果区11月、12月、1月和2月为无雹时段, 3~10月都可能出现冰雹。果区大部分地区属于夏雹区, 最多为5~9月, 占雹日的89.3%, 又以6月最多, 占雹日的20.8%, 其次是8月和5月, 分别占雹日的18.6%和18.2%。5

月是雹日增长最快的月份, 10月是雹日减少最快的月份, 10月以后冰雹很少出现。

(4) 冰雹出现时间的日变化特征

据陕西苹果果区冰雹出现时间统计结果, 果区冰雹在1 d中各时刻出现的频率呈单峰型(图3)。1:00~11:00冰雹出现的频率最少, 为3.72%, 11:00时以后逐渐增多, 12:00~21:00是降雹最集中的时段, 出现频率为94.3%, 其中, 14:00~19:00是陕西苹果果区降雹的高峰时段, 出现频率为78.7%, 21:00以后立刻减少。

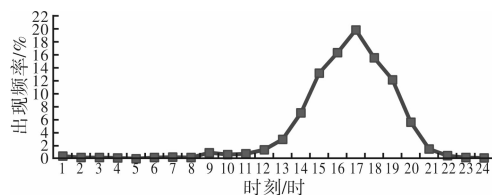


图3 陕西苹果果区各时刻冰雹出现频率

2.2 陕西苹果果区冰雹灾害风险区划

2.2.1 冰雹灾害风险评价模型

(1) 致灾因子危险性评价模型

致灾因子的危险性主要表现为气象灾害的发生概率(或频次)和发生强度^[16]。根据冰雹灾害地域特点突出, 结合陕西苹果果区冰雹灾害时空分布特征, 以及冰雹灾害对苹果生长的影响, 选取苹果基地县5~9月多年平均冰雹日数作为致灾因子危险性评价指标, 采用式(1)对其进行标准化处理, 计算得到苹果冰雹灾害致灾因子危险性指数, 利用GIS空间分析模块, 采用反距离权重法对致灾因子危险性指数进行空间化处理, 依据冰雹灾情和实地调查对其风险度进行划分, 见表1, 得到陕西苹果果区冰雹灾害致灾因子危险性评价结果(图4)。

表 1 陕西苹果冰雹灾害各风险源的风险等级划分

各风险源 等级划分	致灾因子 危险性	承灾体 易损性	防灾 减灾能力
基本无风险区	<0.18	<0.1	<0.3
轻度风险区	0.18~0.27	0.1~0.3	0.3~0.6
中度风险区	0.27~0.58	0.3~0.5	0.6~0.8
重度风险区	>0.58	>0.5	>0.8

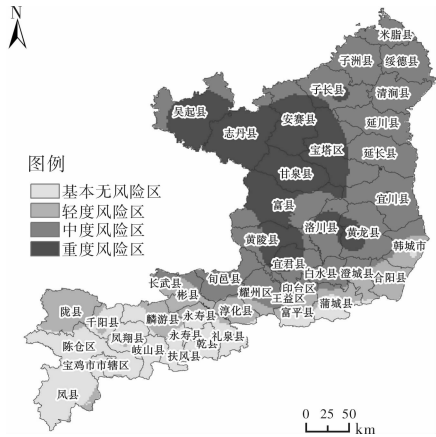


图 4 冰雹灾害致灾因子危险性评价

(2) 承灾体易损性评价模型

易损性表示承灾体整个社会系统，包括人口、农业、GDP 等，易于遭受冰雹灾害威胁和损失的性质和状态^[13]。选取各县的苹果产量数据作为苹果冰雹灾害风险承灾体易损性评价指标，利用式(1)对其进行标准化处理后，利用 GIS 技术完成承灾体易损性指数的空间化处理，依据各果业县苹果种植面积及产量的实地调查结果对其风险度进行划分，见表 1，得到陕西苹果果区冰雹灾害承灾体易损性评价结果(图 5)。

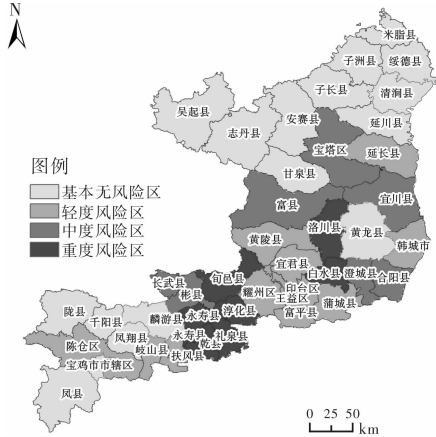


图 5 冰雹灾害承灾体易损性评价

(3) 防灾减灾能力评价模型

防灾减灾能力是灾害发生时人的主观能动性以及采取防灾减灾措施的能力。在防灾减灾能力分析中主要考虑各县应对冰雹灾害可采取防灾减灾措施的能力，选取各县高炮、火箭数量作为防

灾减灾能力评价指标，利用式(1)对其进行标准化处理后，采用反距离权重法对致灾因子危险性指数进行空间化处理，依据各果业县防雷作业点分布特点的实地调查情况对其风险度进行划分，见表 1，得到陕西苹果果区冰雹灾害防灾减灾能力评价结果(图 6)。

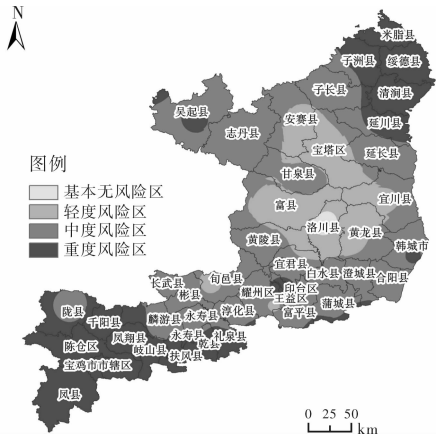


图 6 冰雹灾害防灾减灾能力评价

(4) 陕西苹果果区冰雹灾害风险评价模型

陕西苹果果区冰雹灾害风险是致灾因子危险性、承灾体易损性和防灾减灾能力综合作用的结果，各因素对冰雹灾害的影响程度大小，应用熵权法结合冰雹灾情资料对 3 个致灾因子的权重系数进行赋值，见表 2。

表 2 各风险源致灾权重系数

冰雹灾害	不同成灾风险源的权重系数		
	致灾因子危险性	承载体易损性	防灾减灾能力
致灾权重	0.80	0.10	0.10

利用 GIS 空间分析模块，按照式(2)，对各评价因子的栅格数据层进行叠加，得到陕西苹果果区冰雹灾害风险区划结果(图 7)。

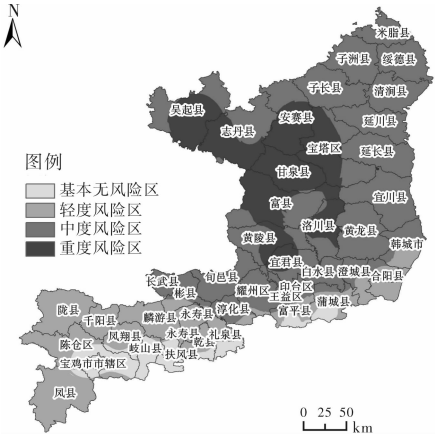


图 7 陕西苹果果区冰雹灾害风险区划

2.2.2 陕西苹果果区冰雹灾害风险区划评述

(1) 重度风险区主要分布在延安中西部，包括吴起、志丹、安塞、宝塔区、甘泉、富县、洛川、

黄陵、宜君的大部地区。该区为白于山、子午岭冰雹带区域,冰雹灾害发生频繁且强度大、危害重,是雹灾的重度风险区,年平均雹日约 2 d。

(2)中度风险区主要包括韩城、合阳、澄城、蒲城、富平北部,耀州区、淳化、彬县、长武大部及其北部所有非重度风险区。该区主要受西路和北路冷气流影响,冰雹灾害强度较大、危害较重,年平均雹日 1~2 d。

(3)轻度风险区主要分布在关中西北部,关中东部分布有小区域分布,包括韩城、合阳、澄城、蒲城、富平的南部,礼泉、乾县北部,永寿、凤翔、千阳、陇县、陈仓区、凤县等。该区为西路和北路冰雹路径的尾部,一般情况下,冷气流势力减弱,形成雹灾的几率大大减小,年平均雹日不足 1 d。

(4)基本无风险区主要分布在关中西部小部分地区,包括陈仓区、凤翔东部,岐山、扶风大部,乾县、礼泉、富平、蒲城南部。该区苹果主要生长期冰雹灾害很少发生。

3 结论与讨论

(1)1970—1980 年代是陕西苹果果区冰雹高发期,1990 年代以来有所减少;年冰雹发生频次,延安果区最多,为 10 站日;其次为渭北西部和渭北东部果区,分别为 8 站日和 6 站日;关中西部果区最少,为 2 站日。冰雹在地域分布上具有北多南少,高原和高山多于平川、盆地,延安、渭北西部果区多于渭北东部、关中西部果区的特点;年平均冰雹日数延安果区最多,为 1.3~1.8 d,渭北西部果区次之,为 0.4~2.1 d,渭北东部和关中西部果区,除凤翔和乾县冰雹日数为 0.4~1.2 d,其他区域冰雹日数在 0.3 d 以下。

(2)陕西果区降雹随季节变化明显,夏季冰雹日数最多,春秋次之。5—9 月的年平均冰雹日数最多,占雹日的 89.3%;冰雹的日变化呈单峰型,14:00—19:00 时是陕西苹果果区降雹的高峰时段,出现频次为 78.7%。研究结果可为各级相关部门制定苹果冰雹灾害防御关键时段、采取冰雹防御措施时机等方面提供参考。

(3)陕西苹果果区冰雹灾害风险水平和空间分布分析结果表明延安中西部的吴起、志丹、安塞、宝塔区、甘泉、富县、洛川、黄陵、宜君的大部分地区,冰雹灾害发生频繁且强度大、危害重,是雹灾的重度风险区,年平均雹日约 2 d;中度风险区包括韩城、合阳、澄城、蒲城、富平北部,耀州区、淳化、彬县、长武大部及其北部所有非重度风险区,该区主要受西路和北路冷气流影响,

冰雹灾害强度较大,年平均雹日 1~2 d。这两个区域既是陕西省苹果的主产区,又是陕西冰雹主要活动地带,应在积极开展人工防雹的同时,加强果园防雹网工程建设,进一步提高防雹减灾能力;同时,应加大冰雹预测技术研究,提高冰雹预报的准确率;在多雹地带,大面积植树种草,绿化荒山秃岭,改善生态环境,可抑制局地热对流发展,减少雹灾发生。

(4)冰雹灾害局地性强、地域特点突出,乡镇人影作业炮点冰雹观测资料序列较短,因此,本研究以气象站雹日资料为依据,研究得到的陕西苹果果区冰雹灾害分布特征及风险区划研究结果,可为大区域苹果产业冰雹防灾减灾提供参考,但对满足乡镇一级的局地小气候冰雹灾害防御需求还有局限。随着空间和时间尺度更加精细的冰雹观测资料序列等信息的不断积累与完善,气象灾害空间插值技术进步,精细的冰雹灾害风险区划研究结果将为陕西苹果产业发展中防灾减灾发挥更加重要的作用,也是本研究下一步的方向与重点。

参考文献:

- [1] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [2] 陕西省统计局. 2012 年陕西省果业发展统计公报[N]. 陕西日报, 2013-04-02(4).
- [3] 李佑民. 权威专家联名认定: 渭北是全国苹果最佳优生区[N]. 陕西日报, 2002-04-23(3).
- [4] 朱琳, 郭兆夏, 朱延年. 基于 GIS 气候资源评价及区划研究——以陕西省苹果气候区划为例[J]. 陕西气象, 2005(3): 23-36.
- [5] 李美荣, 刘映宁, 李艳莉. 陕西省果业主要气象灾害及其防御对策[J]. 陕西农业科学, 2006(1): 60-62.
- [6] 岳治国, 梁谷, 李燕, 等. 陕西渭北带状中尺度对流雷达回波统计特征[J]. 气象, 2010, 6(6): 66-72.
- [7] 廖永丰, 赵飞, 王志强, 等. 2000—2011 年中国自然灾害灾情空间分布格局分析[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 55-60.
- [8] 张国庆, 刘蓓. 青海省冰雹灾害分布特征[J]. 气象科技, 2006, 34(5): 558-562.
- [9] 吴哲红, 翟沛刚. 贵州省冰雹灾害气候特征及防御区划[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31): 19177-19179.
- [10] 代娟, 雷崇典. 延安地区降雹特征的统计分析[J]. 陕西气象, 1995(6): 14-15.
- [11] 刘引鸽, 慕建利, 葛永刚. 宝鸡渭北冰雹时空分布规律[J]. 陕西气象, 2006(3): 6-8.
- [12] 张丽娟, 胡淑兰, 白作金, 等. 渭南市冰雹时空分布及天气条件分析[J]. 陕西气象, 2007(2): 24-26.
- [13] 罗培. GIS 支持下的气象灾害风险评估模型——以重庆地区冰雹灾害为例[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(1): 38-44.
- [14] 扈海波, 董鹏捷, 潘进军. 基于灾损评估的北京地区冰雹灾害风险区划[J]. 应用气象学报, 2011, 22(5): 612-620.
- [15] 尹圆圆, 赵金涛, 王静爱. 安徽省棉花冰雹灾害风险区划研

- 究[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(7): 958–964.
- [16] 张继权, 李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2007: 23–28.
- [17] 马树庆, 王琪, 王春乙. 东北地区水稻冷害气候风险度和经济脆弱度及分区研究[J]. 地理研究, 2011, 30(5): 931–938.
- [18] 陈香. 福建省台风灾害风险评估与区划[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 961–966.

Distribution Characteristics and Risk Zoning of Hail Disaster of Apple Fruit Zone in Shaanxi Province

Liang Yi¹, Wang Jinghong¹, Di Yongqiang¹, Bai Qinfeng¹ and Liu Yaowu²
(1. *Shaanxi Meteorological Service Observatory for Economical Crops, Xi'an 710014, China*;
2. *Shaanxi Meteorological Information Center, Xi'an 710015, China*)

Abstract: Based on the hail observation data at weather stations from 1961–2010 in Shaanxi province, temporal and spatial distribution characteristics of Hail in 38 apple fruit industry base countries is obtained. According to disaster risk forming mechanism, the assessment model of hail disaster for apple is constructed by using meteorological data, basic geographic information data, socio-economic statistic data, and history disaster situation data and so on, according to the factors, such as the risk of disaster causing, the vulnerability of disaster body, and the ability of disaster prevention/reduction. The results are shown as follows. (1) Hail in apple fruit area has the characteristics of more in North, mountain, and plateau area than in north, plain, and basin area; more in Yan'an and western Weibei fruit area than in eastern Weibei and western Guanzhong fruit area. There are fluctuations of hail occurrence in the 1970 s and 1980 s, and has been decreased from the 1990 s. Hails occurred mostly in summer, and spring and autumn took second place. The diurnal variation of hail is single peak type, and the peak period of hail occurrence is from 14:00 to 19:00, with the frequency of 78.7%. (2) The severe risk regions mainly distribute in the midwest of Yan'an, and the annual hail day is 2 d. The moderate risk regions mainly distribute in most areas of Hancheng, Heyang, Chengcheng, Pucheng, northern Fuping, Yaozhou, Chunhua, Binxian, Changwu, and northern part of these areas of non-severe risk regions; and the annual hail day is 1~2 d. The mild risk regions mainly distribute in the part of the northwest and eastern of Guanzhong, and the annual hail day is less than 1 d.

Key words: apple; hail; spatial-temporal distribution; risk zoning; Shaanxi

(上接第 123 页)

- [9] 李家启. 雷电灾害评估及其等级划分[J]. 西南大学学报, 2011, 32(11): 140–144.
- [10] 马金福, 汝洪博, 冯志伟, 等. 雷击风险评估中的位置因子 Cd 的探讨[J]. 南京信息工程大学学报, 2011, 26(2): 72–76.
- [11] 邓春林, 季严飞, 刘刚. 基于雷电定位数据的区域雷击灾害风险评估方法探讨[J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2010(3): 230–235.

Analysis of Lightning Risk and Countermeasures for Wind Farm —A Case Study on a Wind Farm of Yunnan

Li Zhaohua and Liu Pingying
(*Research and Defense Center of Thunder – and – Lightning in Yunnan, Kunming 650034, China*)

Abstract: With the rapid development of wind power industry, safe operation of wind farms become more and more concerned. Lightning disaster is one of the most important factors which affect the normal operation of wind farms, more and more wind turbines, voltage transformers and affiliated facilities have been damaged by lightning stroke. Lightning accidents occurred frequently in Yunnan, the situation of lightning protection for wind farm is not optimistic. Taking a wind farm in Yunnan as an example, based on the fieldwork, comprehensive analysis and data access, combined with the lightning activity of wind farm, the area where the geologic and topographic conditions, soil resistance and other conditions, the analysis analyze the lightning risk in the wind farm, then provides some technical measures which have important significance to defense and reduce the lightning disaster in wind farm.

Key words: wind farm; analysis of lightning risk; lightning protection; Yunnan