

河北省冰雹时空分布特征及 对林果的影响评估

李 姣¹,王丽荣¹,张 琪²,孙玉龙¹,张安凝知¹

(1.河北省气象灾害防御中心,河北 石家庄 050021;2.南京信息工程大学应用气象学院,江苏 南京 210044)

摘 要:根据河北省 1951—2018 年历史冰雹灾情数据和逐日气象要素数据,分析了冰雹日数时空演变特征;基于单位面积林果雹灾损失,构建了极大风速、冰雹直径、降雹时间等为致灾因子的林果损失评估模型,采用最优分割法划分了轻度、中度、较重、重度、严重 5 个等级,确定了不同灾害等级的致灾临界阈值;基于模型,对 2019 年林果受雹灾影响进行了评估。结果表明:河北省冰雹日数以 $0.26\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 的速度下降;冰雹出现时间一般在 3—11 月,5—7 月是冰雹高发期,占全年次数的 65.1%,6 月频率最高,达 30%;冰雹主要出现在午后到傍晚(13:00—18:00),16:00 达到峰值。河北省冰雹日数空间分布随地形变化,山区多于平原。林果受雹灾单位面积损失与冰雹最大直径和持续时间呈极显著的正相关。2019 年河北省冰雹灾害对林果影响较小,灾情较轻。

关键词:冰雹;时空特征;林果;损失评估模型;灾害等级;河北省

中图分类号:S761.4 **文献标志码:**A

Temporal and spatial characteristics of hail and its impact evaluation on fruit farming in Hebei Province

LI Jiao¹, WANG Lirong¹, ZHANG Qi², SUN Yulong¹, ZHANG Anningzhi¹

(1. Hebei Meteorological Disaster Prevention Center, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;

2. Nanjing University of Information Science and Technology School of Applied Meteorology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: Based on the historical data of hail disasters and meteorology from 1951 to 2018, the temporal and spatial distribution characteristics of hail days in Hebei Province were analyzed. Relevant meteorological elements (extreme wind speed, hail size, and hailing duration) were identified to build a hail disaster risk assessment model for fruit farming in Hebei Province. Five disaster intensity levels were divided by optimal segmentation method, and the critical thresholds for each level were established accordingly. Based on the model, the impact of hail disasters on fruit farming in 2019 was evaluated. The result showed that the hail days decreased at a rate of $0.26\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$; Hail disaster usually occurred during March to November, and most frequently between May to July, the number of occurrences during this time was 65.1% of the total number of the whole year, especially in June, the occurrences rate was as high as 30%, the hail mainly occurred from afternoon to sunset, peaked at 16:00. The hail days changed significantly with the topography, which showed more hail disasters occurred in mountainous areas than on plains. The most relevant disaster-causing factors were hail size and hailing duration. In 2019, the hail disaster in Hebei Province had a small impact on fruit farming, and the losses were relatively small.

Keywords: hail; spatial and temporal distribution; fruit farming; losses assessment model; classification of disaster intensity; Hebei Province

冰雹灾害具有局地性、突发性、来势猛、强度大等特点。尤其在北方山丘区,由于地形复杂、天气多变、冰雹天气多,对农业危害很大。河北作为水果生产大省,林果产业在农业和农村经济中占有十

分重要的位置,由于河北地区冰雹多发时段为春末到秋初^[1],正是林果生长的关键期,突发冰雹可对大片果树形成打击式危害,造成减产甚至绝收^[2]。理清河北省冰雹发生特征及对林果的影响对于制定防灾减灾措施、服务农村经济发展具有重大意义。

目前,对冰雹的研究主要包括灾害性天气预报^[3]、时空分布特征^[4-5]和雹灾风险^[6-8]等方面。且随着防灾减灾工作的需求增大,冰雹灾害风险的评估与区划逐渐成为研究热点。学者们在农作物灾害风险评价体系的构建和承灾体脆弱性等方面开展了大量研究^[9-11]。众多调查研究已表明,冰雹会对不同生长期的果树造成破坏,由于风雹相伴,果树在开花座果时遭受风雹灾害,会形成严重的落花落果现象而导致大幅度减产^[12],幼果被打伤,果品品质也会大幅下降;果实成熟期遭受雹灾,有的即使发育成熟,果实容易腐烂不耐贮存,也会带来巨大损失^[13-14]。基于此,部分研究者开展了冰雹对果树的影响评估研究,李星苇等^[2]分析了阿克苏冰雹频次与葡萄、梨、杏、苹果等年产量及种植面积的关系,发现当地受冰雹灾害影响较大的果树主要有梨、葡萄、杏等,但对比乌鲁木齐市 1993—2015 年的林果单位面积产量与冰雹灾害发生频次的相关性,发现其相关性并不显著^[15];梁轶等^[16]从致灾因子危险性、承灾体易损性以及防灾减灾能力三个方面,构建陕西苹果冰雹灾害风险评估模型;车向军等^[17]将冰雹最大直径和持续时间相乘,定义了不同生长期苹果冰雹灾害指数,并通过现场调查确定了庆阳市冰雹灾害发生的高风险区。李培仁^[18]、栾庆祖^[19]等分别以苹果和桃为例,从力学角度提出了基于冰雹大小的水果冰雹灾害损失评估方法,但是忽略了冰雹持续时间、伴随风速等因素对林果损失造成的影响^[20]。

以往在冰雹对林果灾害风险评估中,鲜有应用灾损数据,或者仅考虑灾损而忽略了冰雹持续时间、风速等其他影响灾损大小的重要因子。本文拟利用河北省观测站监测数据分析冰雹的气候特征,同时考虑林果灾损数据、冰雹大小、持续时间、伴随的风速、雨量等要素,采用多元回归^[21]与最优分割^[22]的方法将冰雹灾害对林果业的风险进行评估与等级划分,可用于客观定量评估冰雹对河北省林果业的影响,以期为冰雹对林果灾害的评估及防御提供参考。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

河北省属温带半湿润半干旱大陆性季风气候,

四季分明。按照 1981—2010 年的气候统计平均值,全省年平均气温 11.8℃,7 月平均气温最高,为 25.9℃,1 月最低为 -4.6℃;年平均降水量 503.5 mm,夏季降水占全年的 66%,冬季占 2%。

河北省地势西北高、东南低,地形复杂,多种气象灾害频发。其中,冰雹灾害发生次数和造成的直接经济损失仅次于暴雨洪涝^[23],根据河北省民政部门 2014—2018 年的资料,风雹灾害年均直接经济损失达 10 亿元以上,尤其是 2015 年和 2017 年,分别占气象灾害总损失的 47.1% 和 39.7%^[24]。根据中国气象灾害年鉴 2004—2015 年统计数据,中国 29 个省区局地强对流(冰雹、雷暴大风、龙卷)造成农作物受灾面积中,河北位居榜首^[10]。

1.2 数据来源

冰雹日数来源于气象台站观测资料。按照地面观测规范^[25],某台站 1 d 内若出现冰雹,不论出现次数,均记为一个冰雹日;不同台站在同一日均出现冰雹天气,则每个台站算作一个冰雹日。冰雹灾害资料由民政部门提供或者灾害普查等方式得到。灾害日数的统计以市区(县)为基本单位,市区与县同等级。按照以上统计方法,数据整理如下:

(1) 1951—2018 年的河北省 142 个气象观测站的逐日冰雹观测数据,共 8 457 个雹日;

(2) 1984—2018 年的冰雹历史灾情数据共 2 334 条,其中,同时记录了冰雹最大直径和持续时间的有 535 条,同时记录了林果受灾面积和直接经济损失的仅有 25 条。

1.3 研究方法

1.3.1 气候统计方法 根据河北省气象台站的观测数据,分析了河北省冰雹日数的时空分布特征。空间分布特征统计时段为 1974—2018 年,全省 142 个气象站全部建立;时间分布特征采用 1951—2018 年资料,按照式(1)~(3)计算了冰雹的年际变化特征、月变化特征和每日内逐时分布情况。

$$A_y = \sum_{i=1}^I P(i)/I \tag{1}$$

$$A_m = \sum_{j=1}^J Q(j)/J \tag{2}$$

$$A_h = \sum_{j=1}^J O(j)/J \tag{3}$$

式中, i 代表气象站($i=1,2,3,\cdots,142$), j 代表年($j=1,2,3,\cdots,68$), $P(i)$ 表示第*i*个气象站当年冰雹日数, A_y 表示当年的各站年均冰雹日数, I 为当年气象站总个数; $Q(j)$ 表示第*j*年某月全省的总冰雹日数, A_m 表示某月多年平均冰雹日数, $O(j)$ 表示第*j*年某小时时次内全省总冰雹日数, A_h 表示某时次多年平均冰雹日数, J 为总年数,本文为 68 a。

1.3.2 灾损系数的确定 收集到的林果业雹灾损失数据主要为林业直接经济损失、受灾面积、受灾棵数等,但是气象观测站仅记录降雹的时间和直径大小,并不能确定降雹范围的大小,因此在选取灾损参数的时候,我们选择与冰雹强度相关的单位面积林业损失,并对其进行了年代际的修正,全部订正到 2018 年。

$$I = \frac{E}{S} \times \frac{E_{2018}}{E_y}$$

(4)

式中, I 为单位面积林业损失(万元·hm⁻²); E 为某一次冰雹灾害过程的林果经济损失(万元); S 为林果受灾面积(hm²); E_y 表示该次灾害发生年的河北省 GDP 值(万亿元); E_{2018} 表示 2018 年的河北省 GDP 值(万亿元)。

1.3.3 冰雹灾害对林果风险评估的模型构建 按照图 1 的流程,通过相关分析的方法确定致灾因子,并根据修正后的灾损数据采用回归分析的方法建立回归方程,构建冰雹灾害风险评估模型;采用最优分割法,划分不同等级的风雹灾害致灾临界阈值。

2 冰雹灾害发生时空特征分析

2.1 冰雹日数气候特征

统计了 1951—2018 年河北省年均冰雹日数的时间变化(图 2),冰雹日数整体呈波动下降趋势,下降速度为 0.26 d·10a⁻¹,并通过了 $\alpha=0.01$ 的显著水平检验。最大值出现在 1954 年,平均每站出现 3.43 d,最小值出现在 2017 年和 2018 年,平均每站出现 0.25 d。按年代看,20 世纪 50 年代初到 70 年代初、80 年代中期到 90 年代初是冰雹多发期,90 年代中后期至今为冰雹少发期,此后,降雹日数明显下降,1951—1992 年的冰雹平均日数为 1.52 d,1993—2018 年仅为 0.56 d,可以看出,20 世纪 90 年代之前,冰雹日数大都在平均线之上,而 90 年代之后,降雹日数低于平均线,这种趋势与符琳等^[4]的研究结果是一致的。

2.2 冰雹日数时间特征

2.2.1 月变化特征 由图 3 可见,河北省的冰雹天气由 3 月开始到 11 月结束,持续时间达 9 个月,主

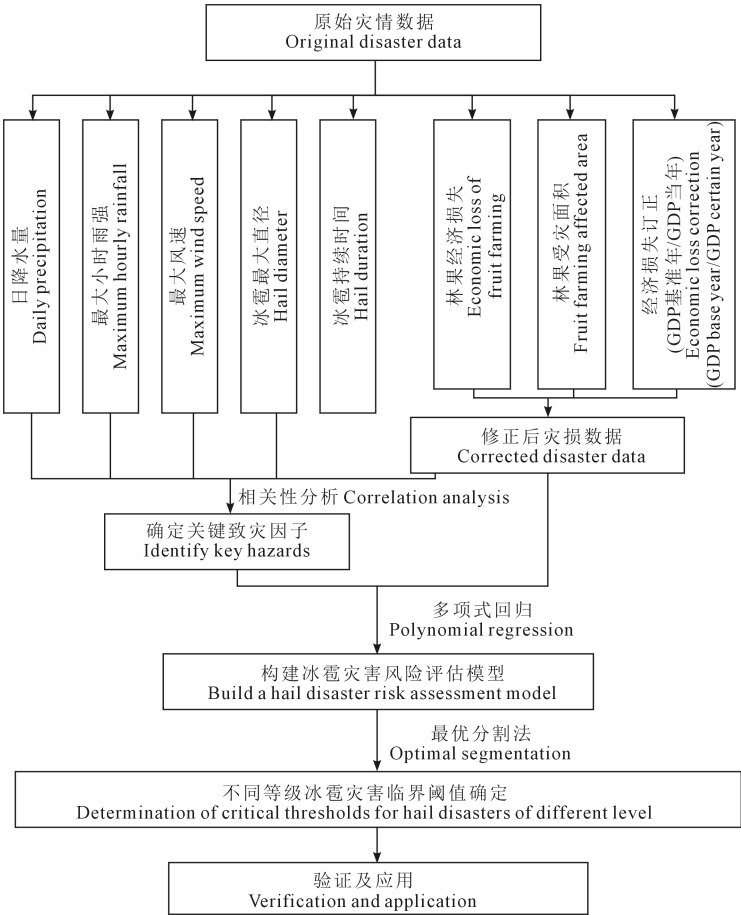


图 1 冰雹对林果灾害评估模型的构建流程

Fig.1 The process of hail disaster evaluation model on fruit farming

要出现在5—9月,月内冰雹日数均超过了 10 站次,其中,5—7月冰雹发生最为集中,占总次数的 65%,尤其是 6 月,发生次数占年冰雹总次数的 30%,而 3 月和 11 月出现次数很少。

2.2.2 日变化特征 由图 4 可见,大部分降雹集中在午后到傍晚,13:00—19:00 的冰雹次数占总次数的 70% 以上,16:00 出现冰雹次数最多;夜间(20:00—8:00)冰雹次数占总次数的 19%。这主要是由于午后太阳直接辐射强度大,地面和低层大气迅速升温,高层大气由于来不及升温,导致气温上冷下热,气层的不稳定容易产生强对流天气。

2.3 冰雹日数空间分布特征

图 5 给出了河北省 1974—2018 年 45 a 的冰雹总日数空间分布及海拔高度。可见,随着地势高低的变化,河北省的冰雹空间分布由西北向东南逐渐减少,总体上,北部多于南部,西部多于东部,亦即高原、山地区域多于平原。冰雹多发区位于张家口和承德以及保定的西北部。张家口地区冰雹日数最多,大多在 100 d 以上,其中,位于坝上高原的尚义、沽源、崇礼和康保均超过 150 d;承德仅次于张家口,冰雹日数在 70~150 d 之间;保定的涞源冰雹日

数为 126 d,为一个次高值中心。邯郸西部的涉县为冰雹相对多发区,累计冰雹日数为 45 d,邯郸和邢台的东部冰雹日数最少,其中,邯郸的广平、大名、成安和曲周冰雹累计日数小于 10 d。

3 冰雹造成的林果损失评估

3.1 冰雹对林果损失评估模型的构建

3.1.1 冰雹致灾因子的识别 在筛选出的风雹灾害数据中,仅有很少一部分完整记录了林果经济损失和受灾面积。最终,筛选出 25 条包含详细林果灾害、冰雹最大直径和冰雹持续时间的灾情数据,分别计算冰雹最大直径、持续时间以及降雹时风速、小时雨强、过程降水量等要素与林果损失的相关性,相关系数及显著性水平见表 1。单位面积林果损失与冰雹持续时间和最大直径呈极显著正相关,相关系数分别为 0.65 和 0.67(图 6);与降雹时风速、小时雨强、过程降水量相关性不显著。故选取冰雹最大直径和持续时间作为冰雹致灾的影响因子。

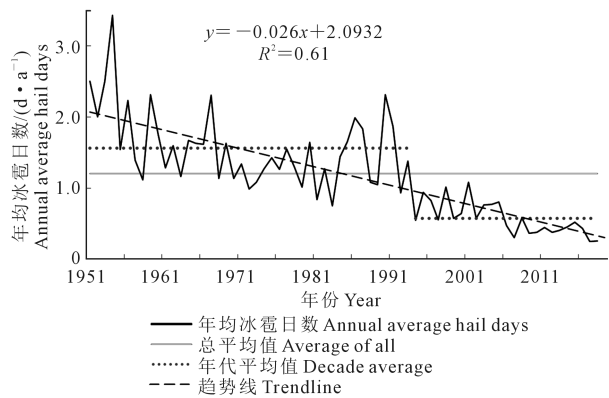


图 2 河北省 1951—2018 年年均冰雹日数变化
Fig.2 Annual average hail days from 1951 to 2018 in Hebei Province

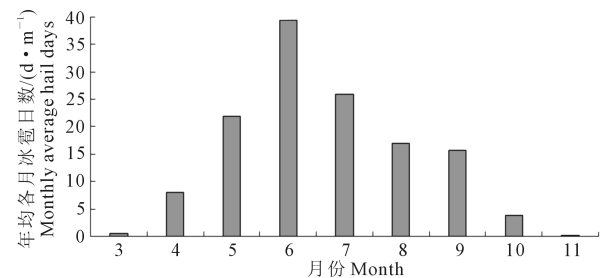


图 3 河北省 1951—2018 年年均每月冰雹日数变化
Fig.3 Monthly average hail days from 1951 to 2018 in Hebei Province

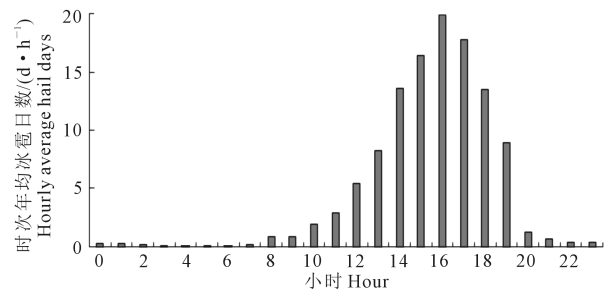


图 4 河北省 1951—2018 年各时次年均冰雹日数变化
Fig.4 Hourly average hail days from 1951 to 2018 in Hebei Province

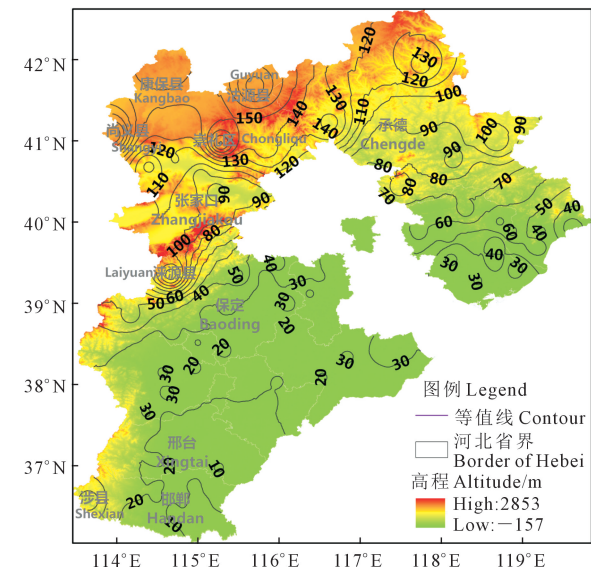


图 5 河北省 1974—2018 年冰雹日数空间分布图
Fig.5 Spatial distribution of hail days from 1974 to 2018 in Hebei Province

3.1.2 冰雹对林果损失评估模型的构建 将冰雹持续时间、冰雹最大直径作为林果冰雹灾害的评估指标,采用多项式回归模型拟合河北省 23 个冰雹林果损失灾情案例(共 25 个灾情案例随机选取 2 个案例用于检验,其余 23 个案例用于构建模型):

$$I = 1.4186D + 0.219T - 3.094 \tag{5}$$

式中, I 为回归模型预估的单位面积林业损失(万元· hm^{-2}); D 为冰雹直径(cm); T 为冰雹持续时间(min)。该评估模型的 $R^2 = 0.6478$, $F = 18.39$,通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著水平检验。

3.1.3 林果冰雹灾害等级划分 对于记录了冰雹最大直径和持续时间的数据,利用构建的冰雹灾害风险评估模型对灾损序列进行完善,计算每次过程单位面积的灾损值,将其从小到大依次排序,用最优分割法划分为轻度、中度、较重、重度、严重 5 个等

级,各等级所对应的致灾临界阈值见表 2。

3.1.4 模型准确率评估 将筛选出的 23 条灾情个例对评估模型进行回代评估^[26],其中,有 13 次预测准确,10 个样本预测结果与实际相差一个等级,预测准确率为 56.5%;用随机选出的 2 次冰雹过程对评估模型进行检验,其预测等级与实际完全相同,准确率为 100%(表 3)。综合以上,在对灾情的评估中有 60% 的评估结果与实际一致,其余 40% 评估结果与实际误差仅为一个等级。

对不同级别灾害准确率评估结果,I 级和 II 级准确率均为 100%;III 级、IV 级和 V 级灾害的准确率分别为 57.1%、56% 和 57%。因此可认为,模型可以大致评估出冰雹灾害的等级,整体评估效果较好,尤其对于损失严重的灾害可以准确进行评估。

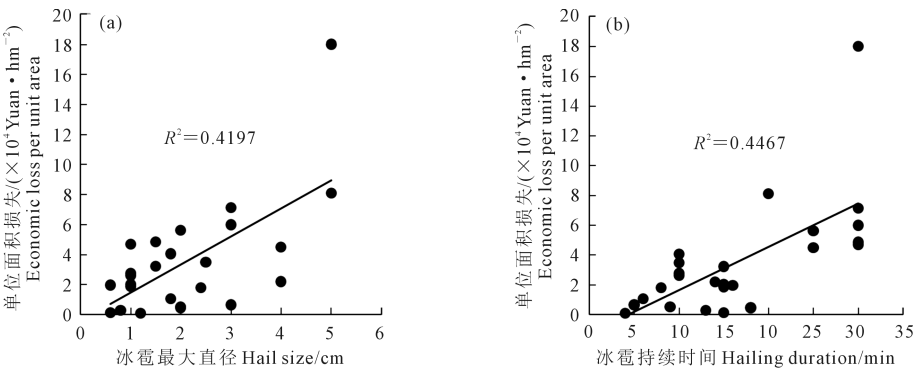


图 6 致灾因子与灾损数据相关性分析

Fig.6 Correlation analysis between hail-causing factors and damage

表 1 气象要素与单位面积林果损失的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between meteorological elements and loss of fruit per unit area

气象要素 Meteorological element	相关系数 Correlation coefficient
冰雹最大直径 Hail size	0.65 **
冰雹持续时间 Hailing duration	0.67 **
最大小时雨量 Maximum hourly rainfall	0.1
过程雨量 Rainfall	0.03
风速 Wind speed	0.04

注: ** 表示相关程度通过 $\alpha=0.01$ 显著水平检验; * 表示相关程度通过 $\alpha=0.05$ 显著水平检验。

Note: ** indicates that the correlation degree passes the significance level test of $\alpha=0.01$; * indicates that the correlation degree passes the significance level test of $\alpha=0.05$.

表 2 河北省冰雹对林果灾害强度等级划分及致灾阈值

Table 2 The critical threshold of different risk grade of hail disaster in Hebei Province

等级 Level	致灾临界阈值 The critical thresholds/ ($\times 10^4$ Yuan $\cdot$ hm^{-2})
I (严重 The most severe)	$I > 9.97$
II (重度 More severe)	$6.65 < I \leq 9.97$
III (较重 Severe)	$3.99 < I \leq 6.65$
IV (中度 Moderate)	$1.66 < I \leq 3.99$
V (轻度 Mild)	$I \leq 1.66$

3.2 评估模型的应用

对 2019 年发生在河北的两次冰雹对林果灾害过程进行评估。5 月 15 日,迁西县发生冰雹,未监测到冰雹直径和持续时间,通过灾情描述可以看出,均为林果受灾,通过计算单位面积损失为 3.46 万元· hm^{-2} ,属于 IV 级(中度)灾害;6 月 8 日,卢龙县出现冰雹,葡萄受灾,此次灾害过程监测到了冰雹最大直径和持续时间,通过模型评估,预测单位面积损失为 1.43 万元· hm^{-2} ,属于 V 级(轻度)灾

害,实际受灾强度为 1.73 万元·hm⁻²,基本符合。据气象部门和民政部门统计,2019 年冰雹日数较少,灾害损失较轻,总体看与评估结果相符。

4 讨 论

风雹天气所具有的局地性、迅猛性等特征,使其造成的影响相对其他气象灾害更加复杂,难以评估。目前,冰雹对林果灾害的研究多集中于灾害发生频次的研究,频率越高,雹灾损失越大^[2,12],但是,不同冰雹天气过程由于其强度不同,灾害影响程度

也不同。栾庆祖等^[19]采用动力学方法进行了水果冰雹灾害灾损评估,从致灾机理的角度分析了冰雹对水果的影响,该方法依赖于较高精度的冰雹直径谱分布模型,在应用中受到一定限制。

本研究选取与冰雹强度相关的多种气象要素,利用灾损数据筛选出主要相关因子,建立了致灾因子强度与灾害损失强度的直接联系,构建的冰雹对林果损失评估模型方法简单、参数少、易于应用,在评估冰雹天气过程对林果损失中具有现实意义,该研究思路也可以尝试应用到其他承灾体。

表 3 模型准确率评估结果

Table 3 Model accuracy assessment

评估措施 Evaluation measures	序号 Serial number	冰雹直径/cm Hail size	持续时间/min Hailing duration	真实等级 Actual level	预测等级 Predicted level	偏差 Deviation
数据回算 Back to the generation of inspection	1	5.0	30	I	I	准确 Accurate
	2	5.0	20	II	II	准确 Accurate
	3	2.0	25	III	III	准确 Accurate
	4	1.0	30	III	III	准确 Accurate
	5	4.0	25	III	II	偏大 Larger
	6	3.0	30	III	II	偏大 Larger
	7	1.5	30	III	III	准确 Accurate
	8	1.8	10	III	IV	偏小 Smaller
	9	1.0	10	IV	V	偏小 Smaller
	10	4.0	14	IV	III	偏大 Larger
	11	2.5	10	IV	IV	准确 Accurate
	12	1.0	15	IV	IV	准确 Accurate
	13	0.6	16	IV	V	偏小 Smaller
	14	1.5	15	IV	IV	准确 Accurate
	15	1.0	15	IV	IV	准确 Accurate
	16	1.0	10	IV	V	偏小 Smaller
	17	3.0	5	V	IV	偏大 Larger
	18	1.8	6	V	V	准确 Accurate
	19	0.8	13	V	V	准确 Accurate
	20	0.6	15	V	V	准确 Accurate
	21	1.2	4	V	V	准确 Accurate
	22	2.0	18	V	IV	偏大 Larger
	23	2.0	9	V	IV	偏大 Larger
检验 Verification	1	3.0	30	II	II	准确 Accurate
	2	2.4	8	IV	IV	准确 Accurate

表 4 2019 年河北省 2 次冰雹对林果灾害强度评估

Table 4 Intensity evaluation of hail on fruit farming in Hebei Province

日期 Date (m-d)	地点 Location	冰雹最大直径 Hail size/cm	冰雹持续时间 Hailing duration/min	灾损 Disaster loss /(×10 ⁴ Yuan·hm ⁻²)	灾情描述 Disaster description	等级评估 Level evaluation
05-15	迁西 Qianxi	未记录 Not recorded	未记录 Not recorded	3.46	三屯营镇的 866.67 公顷板栗受灾,直接经济损失为 3 000 万元 866.67 hectares of chestnuts in Santunying Town were affected, the direct economic loss was ¥ 30 million	IV
06-08	卢龙 Lulong	1.0	20	1.43	石门镇、木井镇、蛤泊乡的 712.67 公顷葡萄受灾,直接经济损失约 1 236 万元。 712.67 hectares of grapes in Shimen Town, Mujing Town, and Habo Township were affected, the direct economic loss was about ¥ 12.36 million	V

由于现有的冰雹对林果灾害的数据记录相对较少,本文建立的模型有待更多的数据进一步修订和完善。冰雹往往伴随大风^[20],二者造成的损失也难以区分,后续工作应开展风雹综合灾害的研究,同时可使研究样本量大大提高,研究结果实用性也更强。冰雹天气局地性较强,难以评估其影响面积,未来研究中应跳出人工观测的局限,采用雷达等手段开展冰雹发生面积的估测^[24],由损失强度的评估过渡到总的灾损评估研究。

5 结 论

本文以 1951—2018 年的冰雹观测数据及 1984—2018 年的灾情数据为基础,分析了河北省冰雹灾害时空分布特征;构建了基于灾损数据的冰雹灾害风险评估模型,划分了冰雹灾害风险等级,得到如下结论:

- 1) 1951—2018 年,河北省冰雹日数以 $0.26\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 的速度波动下降(通过 $\alpha = 0.01$ 显著水平检验);冰雹多发生在春末秋初,6 月份最多;日内冰雹多发生在午后至傍晚时段,16:00 次数最多。河北省冰雹灾害性天气空间分布随地形变化由西北向东南依次减少,山区多于平原。
- 2) 冰雹最大直径和持续时间与林果灾损的相关性较好,相关系数分别为 0.65 和 0.67,呈极显著正相关(通过 $\alpha = 0.01$ 显著水平检验);降雹时的最大风速、降水量、雨强等因子与林果灾损相关性较差。
- 3) 建立的冰雹灾害对林果损失风险评估模型,评估准确率为 60%,相差一个等级的为 40%,总体效果较好。河北省冰雹对林果灾害过程中,轻度到较重的灾害过程分布最广,重度和严重的灾害过程较少。
- 4) 2019 年河北省冰雹灾害对林果影响较小,灾情较轻。

参 考 文 献:

[1] 刘笑,何学敏,游松财.1986—2015 年华北平原农业气象灾害的变化特征[J].干旱地区农业研究,2018,36(5):257-263.

[2] 李星苇,孙震,孙桂丽,等.冰雹灾害对阿克苏地区果树的影响分析[J].农业灾害研究,2016,6(8):32-35.

[3] 王秀玲,郭丽霞,高桂芹.唐山地区冰雹气候特征与雷达回波分析

[J].气象,2012,38(3):344-348.

[4] 符琳,李维京,张培群,等.近 50 年我国冰雹年代际变化及北方冰雹趋势的成因分析[J].气象,2011,37(6):669-676.

[5] 万红莲,宋海龙,朱婵婵,等.陕西地区 1368—2013 年冰雹灾害时空分布特征研究[J].干旱区资源与环境,2017,31(2):123-127.

[6] 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.

[7] 曹茹,陈浩.宝鸡市冰雹灾害风险区划研究[J].自然灾害学报,2019,28(2):145-152.

[8] 李丽华,陈洪武,毛炜峰,等.基于 GIS 的阿克苏地区冰雹灾害风险区划及评价[J].干旱区研究,2010,27(2):224-229.

[9] 陈浩,曹茹,王玉丹.宝鸡市主要农作物冰雹灾害风险评估[J].地球环境学报,2019,10(5):514-524.

[10] 王昀,王式功,王旭,等.新疆农作物生长期雹灾的时空分布及危害性评估[J].农业工程学报,2019,35(6):149-157.

[11] 周兰,岳耀杰,栗健,等.冰雹灾害承灾个体脆弱性评估研究进展[J].中国农业气象,2014,35(3):330-337.

[12] 刘金玉,崔万里,孙爱良,黄骅.冬枣果实生长期主要气象灾害及其防御对策[J].中国农业气象,2011,32(S1):192-195.

[13] 赵德英,程存刚,李敏,等.辽宁绥中苹果冰雹灾害调查[J].中国果树,2012,(1):67-68,79.

[14] 孙旭映,庞朝云,李宝梓,等.甘肃冰雹灾害对农业的影响及其防御对策研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(5):34-37.

[15] 李星苇.乌鲁木齐市水文灾害风险分析及对林果业的影响研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2017.

[16] 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.

[17] 车向军,张天峰,周忠文,等.甘肃庆阳苹果气象灾害保险指数设计[J].中国果树,2019,(3):104-106,109.

[18] 李培仁,孙鸿娉,李军霞.冰雹对苹果的灾损模式研究[J].中国农业气象,2006,27(2):84-88.

[19] 栾庆祖,董鹏捷,叶彩华.面向气象指数保险的水果冰雹灾害灾损评估方法[J].中国农业气象,2019,40(6):402-410.

[20] 温华洋,田红,唐为安,等.安徽省冰雹气候特征及其致灾因子危险性区划[J].中国农业气象,2013,34(1):88-93.

[21] 武宁,殷启元,陈绿文,等.基于回归分析的雷灾死亡人数预测模型[J].气象与减灾研究,2018,41(3):231-235.

[22] 周源,杜俊飞,王子鸿,等.基于多种函数拟合的自适应最优分割法[J].统计与决策,2019,35(13):65-68.

[23] 孙霞,俞海洋,孙斌,等.河北省主要气象灾害时空变化的统计分析[J].干旱气象,2014,32(3):388-392.

[24] 王丽荣,李姣,张素云,等.雷达对冰雹灾害落区的跟踪及鉴定[J].灾害学,2019,34(3):66-70.

[25] 中国气象局.地面观测规范[M].北京:气象出版社.2003:24-25.

[26] 李树岩,刘伟昌.基于气象关键因子的河南省夏玉米产量预报研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):223-227.