

竹林 灾调查方法研究进展*

冯鹏飞^{2, 2} 官凤英^{1, 2*} 廖丽润^{1, 2} 乔若雨^{1, 2} 黄伟^{1, 2}

(1. 国际竹藤中心 北京 100102; 2. 国家林业和草原局/北京市共建竹藤科学与技术重点实验室 北京 100102)

摘 要: 竹林作为重要的生态和经济资源, 其健康状况直接关系到区域生态平衡与竹农生计。然而, 近年来屡屡频发的极端气候事件, 特别是持续雨雪冰冻天气, 对竹林造成了严重的破坏, 亟需高效、准确的调查方法来评估灾情, 为受灾竹林的恢复重建提供科学依据。为了深入理解雪灾对竹林的影响以及有效地开展雪灾调查, 本文综述了近年来雪灾调查方法的研究进展, 主要围绕地面调查法、卫星遥感调查法、无人机遥感调查法以及物联网调查法等方法展开, 重点分析了不同调查方法在竹林雪灾调查时的优势与局限性, 以及这些方法在评估竹林受损程度和指导恢复重建工作中的作用, 并对未来竹林雪灾调查方法的发展趋势作了预测。通过对现有文献的综合分析, 希望为未来竹林雪灾调查方法的优化和创新提供参考。

关键词: 竹林雪灾; 调查方法; 遥感技术; 物联网; 雪灾预警

Research progress on investigation methods for bamboo forest snow disasters

Abstract: As an important ecological and economic resource, the health status of bamboo forests directly affects regional ecological balance and the livelihoods of bamboo farmers. However, in recent years, frequent extreme weather events, especially continuous rain, snow, and freezing weather, have caused serious damage to bamboo forests. Efficient and accurate investigation methods are urgently needed to assess the disaster situation and provide scientific basis for the restoration and reconstruction of affected bamboo forests. In order to gain a deeper understanding of the impact of snow disasters on bamboo forests and effectively conduct snow disaster investigations, this article reviews the research progress of snow disaster investigation methods in recent years, mainly focusing on ground investigation methods, satellite remote sensing investigation methods, unmanned aerial vehicle remote sensing investigation methods, and Internet of Things investigation methods. The advantages and limitations of different investigation methods in bamboo forest snow disaster investigations are analyzed, as well as their roles in evaluating the degree of damage to bamboo forests and guiding restoration and reconstruction work. The development trend of future bamboo forest snow disaster investigation methods is predicted. Through comprehensive analysis of existing literature, we hope to provide reference for the optimization and innovation of investigation methods for bamboo forest snow disasters in the future.

Keywords: Bamboo forest snow disaster; Investigation methods; Remote sensing technique; Internet of Things; Snow disaster warning

我国是世界上竹资源最丰富的国家, 竹类资源、面积、蓄积量均居世界首位。最新数据显示, 我国竹林面积持续增长, 至 2021 年已达到 756.27 万公顷, 占森林面积的 3.31%。全国有 20 个省份有竹林分布。其中, 面积在 30 万公顷以上的有福建、江西、湖南、浙江、四川、广东、广西和安徽 8 个省份, 这些省份的竹林面积合计占全国竹林面积的 89.72% (冯鹏飞等, 2023)。这些竹类植物不仅为竹林资源的多样性提供了基础, 也为竹制品的多样化生产提供了丰富的原材料。

基金项目: 十四五国家重点研究计划项目“竹资源多尺度精准高效监测技术”(2023YFD2201205)。

*官凤英为通讯作者。

然而,近年来在全球气候变化背景下,冰冻雨雪灾害的频发对竹林生态系统造成了严重影响。这些灾害的发生,不仅会对竹林造成物理性的损害,如导致竹子折断、破蔑等(徐雅雯等,2010);还可能带来一系列的生物性影响,如竹类植物的冻害、土壤的冻结等(毕德贵,2017)。此外,还会对对农业生产造成直接的经济损失,如竹子的销售链断裂、竹笋的产量下降等。鉴于竹林雪灾的严重性,开展相关的调查研究,探索其发生原因、危害程度以及防治措施,对于提高灾害防范能力、减轻灾害带来的损失具有重要的现实意义(王小明等,2010)。本文综述了竹林雪灾调查方法的研究进展,详细介绍了各类调查方法的优缺点及它们的应用场景。通过比较不同方法的应用和效果,提出了未来研究的方向和建议。

1 竹林雪灾的概念及特征

1.1 竹林雪灾的概念

竹林雪灾是指在冬季或其他低温季节,由于异常的低温和降雪事件,竹林遭受积雪覆盖,从而引发的一系列对竹林造成的损害。这种灾害会导致竹林中的竹子受到不同程度的损害,甚至可能导致竹林大面积死亡,对竹林资源造成重大损失(Hai-Xia *et al.*, 2013)。具体来说,竹林雪灾的影响主要体现在以下几个方面(刘婧媛,2010):

1. 积雪压力:大量的降雪会在竹冠层积累,形成厚重的积雪层。这些积雪的重量会对竹秆产生巨大的压力,导致竹子弯曲、倒伏甚至折断、破蔑。特别是在高山、陡坡和纯竹林地区,由于积雪更加难以清除,因此受灾程度往往更为严重(王立龙,2010)。

2. 冰冻损害:在低温条件下,积雪会结冰,形成冰层。冰层的重量和硬度都会增加,对竹子的损害也会加剧。同时,冰冻还会使竹子的细胞组织受损,影响其生理功能和生长发育(刘军,2016)。

3. 环境胁迫:雪灾期间,竹林所处的环境条件也会发生显著变化。例如,气温骤降、光照不足、土壤湿度增加等都会对竹子的生长产生不利影响(李士坤,2022)。这些环境胁迫因素可能会加剧雪灾对竹林的损害程度。

1.2 竹林雪灾的特征

竹林因所处环境条件和经营方式的不同,所受雨雪冰冻灾害的程度是不一样的(Xiaoming *et al.*, 2024)。目前已有学者开展相关方面研究,沈秀木(2010)的研究表明一般高山竹林比低山竹林严重,据调查海拔400~600m的竹林受损最为严重,尤其是陡坡竹林比缓坡竹林严重,阴坡竹林比阳坡竹林严重,纯竹林比混交竹林严重,经营作业强度大的竹林比作业强度小的竹林严重。方栋龙(2013)的研究表明受损的类型也有所不同,从整个引起受损的原因来分析,开裂或折断、翻篦是引起毛竹林受损的主要原因,其中600m海拔以上的竹林受损以开裂或折断为主,而400m以下则以翻篦而造成的损失为主,而800m海拔以上的竹林还有冻死现象。

影响折断率的主导因子及各因子的主次关系为：海拔>土壤深度>坡位>坡度，海拔、坡度与折断率呈正相关，坡位、土壤深度与折断率呈负相关；影响倒伏率的主导因子及各因子的主次关系为：竹林密度>坡度>经营管理>土壤深度，坡度、经营管理与倒伏率呈正相关，竹林密度、土壤深度与倒伏率呈负相关；影响受损率的主导因子及各因子的主次关系为：土壤深度>坡度>海拔>竹林密度>经营管理，海拔、坡度经营管理与受损率呈正相关，竹林密度、土壤深度与受损率呈负相关（高培军等，2010）。

2 竹林雪灾调查方法发展历程

竹林作为重要的经济和生态资源，其雪灾调查方法的发展历程是一个由简至繁、由传统至现代的过程。传统的人工调查法作为竹林雪灾调查的初始方法，其主要依赖于调查人员直接进入竹林，通过目视观察雪层的厚度、分布范围及雪灾对竹林结构造成的损害情况（刘森勋，2016）。然而，人工调查法存在效率低、劳动强度大、受调查人员经验水平影响较大等局限性，尤其是在雪灾严重或竹林分布广泛的情况下，其应用的局限性更加明显。随着科技的进步和遥感技术的发展，竹林雪灾调查方法开始向自动化、信息化方向转变。遥感技术能够提供大范围、连续的竹林雪灾信息，通过多时相、多波段的遥感影像，结合图像处理技术，可以有效识别雪灾造成的竹林损害情况，并对雪灾的程度进行评估（黄晓东，2009）。近年来，无人机遥感技术法也逐渐在竹林雪灾调查中得到应用。无人机搭载的遥感设备可以搭载高清相机和多光谱、高光谱传感器等，获取竹林的高分辨率影像和光谱信息，这些信息对于识别雪灾造成的竹林损害具有重要价值，为雪灾的预防和灾后重建提供科学依据（徐茂松等，2014）。除此之外，物联网技术也在竹林雪灾调查中发挥着重要作用。通过提前布设在调查区的温度、湿度等各类物联网传感器，可以实时监测竹林所在区域的雪深、温度、湿度等气象要素，这些数据对于分析竹林雪灾的成因、发展过程以及可能的影响具有重要意义。

综上所述，竹林雪灾调查方法的发展经历了从传统的人工目测法到卫星遥感调查法、无人机遥感调查法、物联网技术调查法等新兴技术的演变。这一演变过程不仅反映了科技进步对传统方法的影响，也体现了竹林雪灾调查方法向更加科学、高效、精准方向发展的趋势。未来，随着技术的不断进步和应用的深入，竹林雪灾调查方法将更加多样化、智能化，为竹林资源的保护和利用提供更为坚实的科技支撑（徐茂松等，2014）。

3 竹林雪灾调查方法的主要分类

目前，关于竹林雪灾的调查研究主要集中在以下几个方面：（1）通过现场调查和卫星遥感技术，获取竹林雪灾发生的直接证据，包括雪量、雪深、雪灾范围等基础数据。（2）分析竹林雪灾的成因，主要涉及气候变化、地理位置、竹林类型和管理方式等多个因素。（3）评估竹林雪灾对生态环境和农业生产的具体影响，如生物多样性的损失、竹子生长发育的抑制、竹笋产量的减少等。（4）探讨竹林雪灾的防治措施，包括雪灾预警系统的建立、抗雪竹林管理技术的研发、应急救援和灾后重建策略的制定等。具体来看，目前常用的雪灾调查方法主要包括以下几类：

3.1 地面调查法

地面调查法作为一种直接的、传统的竹林雪灾调查方法，主要依托于研究人员直接进入受灾区域，通过实地调查、采样、统计等一系列操作，对竹林雪灾的影响进行深入的分析。例如，赵金发等（2009）在全面踏查目测灾情概况的基础上，按主导因子各设置样地，调查登记样地内翻茷、爆裂、冻死以及未受影响的毛竹株数，以此推算林分的雪灾损失情况。对云南省大关县 4 种竹林经 2008 年 1 月特大强降温冰雪天气过后的受其冰雪灾害损害的情况进行了调查研究，针对调查结果对竹林经营提出了建议。郑连喜等（2009）调查评估小组根据前期了解森林资源雨雪冰冻灾情，选取调查路线进行踏查，全面掌握森林资源受灾分布和受灾程度，并依此准确划定全县的受灾范围。根据各调查类型统计数据，按照机械抽样方法分别调查类型抽取调查小班。沈秀木（2008）通过小班调查对 28 块标准地进行爆裂率、翻茷率、总损失率计算并统计分析，得出雨雪冰冻灾害对毛竹危害的一般规律。

3.2 卫星遥感调查法

卫星遥感技术通过获取大范围的高分辨率影像，能够快速、准确地监测竹林雪灾的发生和发展（王红蕾，2021）。利用卫星遥感技术，通过对林区的遥感影像进行分析，可以提取林区的地形、地貌、植被类型等信息，结合气象数据，实现对森林雨雪冰冻灾害的监测。例如，沈斌等（2011）利用连续多天的 MODIS 遥感数据，通过计算归一化差分积雪指数分析了 7 个地区的积雪状况，对积雪发生的时空特征进行了动态监测，并对监测省份农业受到的影响进行评估。孙少波等（2013）对当前主要的 SAR 积雪遥感模型进行了总结分析，着重介绍了当前主要的 SAR 和 SAR 干涉测量技术(InSAR)积雪面积制图方法、雪水当量(SWE)反演算法、积雪密度和雪深提取方法。王学成等（2018）根据 2001—2007 年归一化植被指数数据提取灾前植被 NDVI 参考值和植被正常生长变化范围，利用灾后同时段 NDVI 数据，获取湖南省 2008 年森林冰雪受灾范围。耶楠等（2015）以新疆天山北坡玛纳斯河流域为研究区，分别在 2013 年冬季积雪期和 2014 年春季融雪期进行了两次与 SAR 卫星同步的野外积雪观测，为山区积雪识别和积雪参数反演获取了地面实测光谱和积雪参数数据，对两次积雪观测的目的、方法和初步结果进行分析，为后续通过高分辨率遥感手段获取山区积雪参数时间和空间变异性提供了基础。

3.3 无人机遥感调查法

无人机遥感技术通过搭载高分辨率相机或传感器，能够获取低空高分辨率影像，适用于小范围竹林雪灾的精细监测。雷添杰等（2011）介绍了低空无人机遥感系统在 2008 年南方特大低温雨雪冰冻灾害中的应用情况，如灾情勘查与实时监测、现场救灾指挥和调度、受灾面积估算、灾情评估、灾后数字地图更新与灾后重建等。安谈洲等（2021）借助低空无人机遥感技术，对正处于越冬期的油菜育种材料进行航拍，将拍摄后的图片经拼接、剪裁、评价、扩展后按 8:2 划分为训练集和验证集，将训练集图片分批输入自主建立的深度学习网络模型中提取冻害特征并优化网络模型，优化完成后用验证集图片对识别结果进行验证，得出深度学习网络模型对油菜是否发生冻害的整体识别精度达 98.13%，研究建立的成套油菜冻害鉴定方法为后续抗冻性状机理研究及品种选育提供重要支撑，也可为其它类似冻害的逆境鉴定方法开发提供借鉴。

和参考。

3.4 物联网调查法

物联网调查法主要利用提前布设在地面的传感器来监测树木生长情况、叶面积指数等生物指标,进而探查雪灾受灾信息。例如,熊明阳(2019)以河南省5个冬小麦主产区为研究对象,利用部署在这5个区域的物联网监控站点,采集各区域冬小麦的田间温度数据,根据各个站点记录的历史数据,准确判定出了这些年份各地区的冬小麦返青期,并设计和开发了基于物联网的冬小麦晚霜冻害监测系统,能够及时监测冬小麦晚霜冻害的发生和相应的冻害级别。夏于等(2016)结合实时获取果树生长环境数据及果树霜冻害发生规律和专家知识库,为用户提供远程果树环境信息分析和霜冻害智能诊断服务,并通过物联网技术提供现场综合远程实时监控、数据采集、网络传输、数据管理分析及报警预警等功能,实现了对果树生长的全方位多功能的远程监控与综合管理,有效提高了果树防霜冻害监控管理水平。夏于等(2013)基于物联网关键技术,设计并实现了针对小麦气象灾害的远程监控和动态诊断系统,实现了关键气象环境因子的实时采集和远程传输,从而根据实时测量状况以及累计统计状况,分析预测是否达到冻害,给出灾害预警及生产管理意见。

4 各种方法的比较与选择

地面调查法监测精度高、数据更贴合实际,但需要耗费大量人力、物力,且精度受人为因素干扰较大。仅适用于地势较为平缓、小范围的竹林雨雪冰冻灾害情况调查与监测。卫星遥感调查法的优点是覆盖范围广、数据获取频率高,在大范围、高效率的雪灾监测和风险评估中显示出明显优势(侍昊等,2012),但其分辨率有限,在小区域的竹林雪灾详细调查和解析方面可能存在局限。无人机遥感调查法的优点是灵活性高、分辨率高,并且可与GIS进行快速集成,迅速搭建监测应用。但是,受限于电池寿命和飞行时间,无人机在一次任务中可覆盖的区域有限,难以进行大范围监测,且在复杂的气象条件下,无人机的稳定性和安全性可能会受到影响。物联网监测可以实时监测并传输各种野外温湿度数据,可以实现设备的远程监控和调试,节省人力物力成本。但是设备的价格较高,不适合大范围的天然林监测,且在复杂天气及地理环境下,设备的兼容性和稳定性尚需验证。

综合来看,在选择竹林雪灾的调查方法时,应综合考虑以下因素:

1、竹林面积和灾害范围:对于大面积竹林或灾害影响范围广泛的区域,建议采用卫星遥感调查法;对于面积较小或灾害影响范围明确的竹林,则可以考虑更为精细的地面调查法或无人机遥感调查法。

2、时间及技术成本:地面调查虽然数据全面但成本较高且耗时长,遥感调查虽然快速但可能受到天气、地形等因素的干扰较大。遥感调查需要专业的设备和图像处理技术,对人员素质要求较高;地面调查对人员技术要求较低,但需要大量的人力及时间投入。

3、调查目的:如果调查目的是为了快速了解灾害情况并制定相应的应急措施,则可以选择遥感调查;如果调查目的是为了获取详细的灾害数据并用于科学研究或长期规划,则可以选择遥感调查、物联网调查

与地面调查相结合的方法, 积累长时序的调查数据。

5 结语

综上所述, 地面调查法、卫星遥感调查法、无人机遥感调查法、物联网技术调查法各有利弊, 适用的场景的各不相同。应根据受灾竹林面积及范围、时间及技术成本以及调查目的等方面综合考虑选用哪种调查方式, 或者考虑采用多种调查方法相结合的方式来进行, 以弥补单一调查方法的不足, 提高竹林雪灾调查的精度和效率。例如, 通过卫星遥感获取大范围竹林雪灾的初步信息, 再通过无人机遥感和地面调查进行精细监测和验证。通过将模型模拟与实地数据相结合, 能够提高竹林雪灾预测的精度和可靠性(韩鹏等, 2022)。例如, 通过实地测量获取竹林雪灾的相关参数, 建立和优化模型, 提高模型的预测精度。

当前竹林雪灾调查方法的研究已取得了显著进展, 但仍存在许多挑战, 例如如何提高遥感技术的精度、如何优化 GIS 空间分析效果等。未来的研究应加强多源数据的融合与应用、模型的精度验证与优化以及跨学科方法的探索, 以提升竹林雪灾的调查研究水平, 为防灾减灾提供更为有力的科学支撑。

参 考 文 献

- 冯鹏飞, 李玉敏. 2021 年中国竹资源报告[J]. 世界竹藤通讯, 2023, 21(02):100-103.
- 毕德贵. 毛竹林雪灾的发生特点与防控措施[J]. 安徽林业科技, 2017, 43(05):43-46.
- 苏文会, 范少辉, 张文元, 等. 冰冻雪灾对黄山区毛竹林的损害及影响因子[J]. 林业科学, 2008, 44(11):42-49.
- 余国锋. 毛竹林雪灾后恢复与重建调查分析[J]. 现代农业科技, 2015, (07):186-187.
- 何仁华. 毛竹林冻雨雪灾受害类型及灾后抚育管理技术[J]. 农业开发与装备, 2013, (06):112.
- 孙晓瑞. 基于 GIS 的内蒙古森林雪灾风险评估与区划[D]. 内蒙古农业大学, 2018.
- 王红蕾. 遥感技术在农业灾害监测中的科普研究[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(07):125-126+128.
- 宋唯真, 汪爱君. 冰雪灾害影响与原因对策浅析——以浙江竹林为例[J]. 林业资源管理, 2008, (05):45-49.
- 方栋龙. 不同结构毛竹林抵抗冰雪灾害效果研究[J]. 宿州学院学报, 2013, 28(02):60-61+85.
- Hai-Xia, W., Jiu-Sheng, P., Guang-Yao, Y., & Ping, C. (2013). Effect of different fertilizing methods on yield of moso bamboo forest damaged by ice-snow disaster. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*.
- 刘婧媛. 蜀南竹海风景区雪灾后竹林恢复状况分析及生态效益研究[D]. 四川农业大学, 2010.
- 徐茂松, 李坤, 谢酬, 等. 极化雷达与光学遥感森林雪灾破坏协同监测[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(04):1-6.
- 刘森勋. 雨雪冰冻受灾毛竹林恢复效应的研究[J]. 竹子学报, 2016, 35(02):30-34.
- 黄晓东. 基于遥感与 GIS 技术的北疆牧区积雪监测研究[D]. 兰州大学, 2009.
- 侍昊, 王笑, 薛建辉, 等. 基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例[J]. 生态学报, 2012, 32(11):3359-3367.
- 刘军, 徐浩, 刘欢. 杭州市余杭区早竹林冰冻雪灾的损害及其影响因子[J]. 竹子学报, 2016, 35(04):25-30.
- 韩鹏, 郭桂祯, 李鑫磊, 等. 低温雨雪冰冻灾害监测预警和风险评估概述[J]. 中国减灾, 2022, (09):34-35.
- 王小明, 曹永慧, 周本智, 等. 雨雪冰冻灾害干扰对不同海拔毛竹林凋落物的影响[C]//中国科学技术协会, 福建省人民政府. 2010 中国科协年会第五分会场全球气候变化与碳汇林业学术研讨会优秀论文集. 中国林科院亚热带林业研究所, 2010:4.
- 王立龙, 陆林. 雪灾对九华山风景区毛竹林的影响[J]. 植物生态学报, 2010, 34(02):233-239.
- 徐雅雯, 吴可可, 朱丽蓉等. 中国南方雨雪冰冻灾害受损森林植被研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(06):1485-1494.
- 李士坤. 毛竹林冰雪灾害成因及复壮技术[J]. 福建林业, 2022(01):37-39+48.
- Xiaoming W., Zhengcai L., Benzhi Z. Effects of the frozen rain and snow disaster to the litter of bamboo forest at

different altitudes[J].[2024-07-14].

沈秀木.仙居县毛竹林资源雨雪冰冻灾害损失调查评估分析[J].科技信息, 2010(11):819-820.

方栋龙.不同结构毛竹林抵抗冰雪灾害效果研究[J].宿州学院学报, 2013, 28(02):60-61+85.

高培军, 桂仁意, 黄坚钦等.毛竹雨雪冰冻灾害主要影响因子的回归分析[J].福建林学院学报, 2010, 30(02):165-168.

沈斌, 房世波, 高西宁等.基于 MODIS 的雪情监测及其对农业的影响评估[J].中国农业气象, 2011, 32(01):129-133.

孙少波, 车涛.基于合成孔径雷达(SAR)的积雪监测研究进展[J].冰川冻土, 2013, 35(03):636-647.

王学成, 杨飞, 高星等.基于阈值比值法的森林冰雪冻害遥感评估——以湖南省为例[J].国土资源遥感, 2018, 30(03):196-203.

耶楠, 冯学智, 肖鹏峰等.玛纳斯河流域积雪遥感地面同步观测[J].南京大学学报(自然科学), 2015, 51(05):921-928.

雷添杰, 宫阿都, 李长春等.无人机遥感系统在低温雨雪冰冻灾害监测中的应用[J].安徽农业科学, 2011, 39(04):2417-2419+2423.

安谈洲, 李俐俐, 张瑞杰等.无人机遥感及深度学习在油菜冻害识别中的应用研究[J].中国油料作物学报, 2021, 43(03):479-486.

熊明阳.基于物联网的河南省冬小麦晚霜冻害监测系统构建[D].河南农业大学, 2019.

夏于, 孙忠富, 苏一峰等.北方果树霜冻害远程监控与报警系统初步研究与实现[J].中国农学通报, 2016, 32(01):81-87.

夏于, 杜克明, 孙忠富等.基于物联网的小麦气象灾害监控诊断系统应用研究[J].中国农学通报, 2013, 29(23):129-134.