

气候变化背景下主要林业病虫害发生规律演变分析

康立平

宁夏吴忠市同心县林业和草原局 宁夏 吴忠 751300

摘要: 气候变化正深刻改变着林业有害生物（主要包括病原微生物和植食性昆虫）的发生、发展与扩散格局。本文系统梳理了近年来国内外关于气候变化与林业病虫害关系的研究成果，从温度升高、降水格局改变、极端气候事件频发等维度出发，深入分析了主要林业病虫害在地理分布范围、发生世代数、越冬存活率、物候同步性及种间互作关系等方面的演变规律。研究表明，气候变暖普遍导致病虫害向高纬度、高海拔地区扩张，世代数增加，越冬死亡率降低；降水异常则通过影响寄主植物抗性和病原菌传播间接调控病害流行；极端天气事件则可能打破原有生态平衡，诱发突发性灾害。此外，本文还探讨了当前研究中存在的不确定性与挑战，并对未来林业有害生物监测预警、风险评估及适应性管理策略提出了建议，以期为构建气候韧性森林生态系统提供科学支撑。

关键词: 气候变化；林业病虫害；发生规律；地理分布；物候同步；适应性管理

引言

据联合国粮农组织（FAO）统计，全球每年因病虫害造成的木材损失高达数十亿立方米，经济损失巨大。与此同时，人类活动引发的温室气体排放导致全球平均气温持续上升，气候系统发生深刻变化。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告明确指出，全球地表平均温度较工业化前水平已升高约1.1℃，且升温趋势仍在加速。气候因子是决定林业有害生物种群动态的核心环境变量。温度直接影响昆虫的发育速率、繁殖力和越冬能力，也调控病原菌的萌发、侵染与传播；水分条件则通过改变寄主植物的生理状态和微环境湿度，间接影响病虫害的发生。因此，气候变化必然重塑林业病虫害的发生规律。在此背景下，系统梳理气候变化对林业病虫害发生规律的影响机制，厘清其演变趋势，对于提升我国乃至全球森林健康管理水平、维护国家生态安全具有重要的理论与实践意义。

1 气候变化对林业病虫害发生规律的主要影响维度

1.1 地理分布范围的扩张与迁移

气候变暖最直观的影响是打破了原有的温度限制，使得许多原本受限于低温而无法在高纬度或高海拔地区生存的病虫害得以成功定殖和扩散。虫害方面，以松材线虫（*Bursaphelenchus xylophilus*）为例，其媒介昆虫松墨天牛（*Monochamus alternatus*）的活动与繁殖高度依赖于积温。随着我国北方地区冬季变暖、无霜期延长，松材线虫病已从传统的长江流域疫区迅速向秦岭-淮河以北推进，甚至威胁到东北林区。类似地，北美地区的山松甲虫（*Dendroctonus ponderosae*）在过去几十年中，借助暖冬条件，成功跨越落基山脉，侵入此前从未涉足的加

拿大北部森林，造成数百万公顷松林死亡。病害方面，许多真菌和细菌性病害的分布同样受温度制约^[1]。例如，引起欧洲山毛榉枯萎病的病原菌 *Phytophthora ramorum*，其孢子囊的形成和游动孢子的释放需要较高的湿度和温和的温度。气候变暖使得其在更北的地区也能满足这些条件，导致病害在英国、荷兰等地的分布范围不断扩大。这种分布范围的“北扩”和“上移”趋势，不仅威胁到新的、缺乏协同进化历史的寄主树种，也给边境检疫和区域联防联控带来了前所未有的挑战。

1.2 发生世代数的增加与生活史的改变

温度是决定变温动物（如昆虫）发育速率的关键因子。根据有效积温法则，在一定温度范围内，昆虫完成一个世代所需的总热量（有效积温）是恒定的。因此，年平均温度的升高意味着一年内可用于生长发育的有效积温增加，从而可能导致世代数的增加。以我国南方常见的马尾松毛虫（*Dendrolimus punctatus*）为例，在气候较冷的20世纪80年代，其在大部分地区一年仅发生2代；而进入21世纪后，随着气温升高，在福建、广东等地已普遍出现3代甚至不完全4代的现象。世代数的增加直接导致了种群数量的指数级增长，暴发频率和危害程度也随之加剧。对于病害而言，虽然病原菌本身不遵循世代概念，但其侵染循环的次数会随适宜温湿条件的延长而增加。例如，在温暖湿润的年份，杨树溃疡病（由 *Botryosphaeria dothidea* 等真菌引起）可以在一个生长季内完成多次再侵染，导致病情迅速蔓延。此外，一些昆虫的生活史也可能发生质的改变。例如，部分原本需要滞育越冬的种类，在暖冬条件下可能取消滞育，转而进行连续繁殖，这进一步放大了其种群增长潜力。

1.3 越冬与越冬存活率的显著提升

冬季低温是自然控制许多林业害虫种群数量的重要“瓶颈”。极端低温事件可以大规模杀死越冬虫态（卵、幼虫、蛹或成虫），有效抑制来年春季的虫口基数。然而，气候变暖，特别是冬季最低温度的显著升高，极大地提高了害虫的越冬存活率。研究表明，云杉八齿小蠹（*Ips typographus*）在中欧地区的越冬死亡率与其经历的最低温度密切相关。近几十年来，该地区暖冬频发，使得小蠹虫的越冬存活率大幅提高，为其周期性大暴发奠定了种群基础。同样，夏季极端高温也可能成为某些害虫的限制因子^[2]。但总体而言，全球变暖背景下，冬季增温的幅度远大于夏季，因此对越冬存活的正面效应更为突出。对于病原菌，土壤或树皮下的越冬菌源，在温和的冬季条件下也更容易保持活性，为春季初侵染提供了充足的“弹药”。

1.4 物候同步性的失衡与错配

森林生态系统是一个复杂的网络，其中害虫、病原菌、寄主植物以及天敌之间存在着精密的物候同步关系。气候变化对不同生物类群的影响速率和方式可能存在差异，从而导致这种同步性被打破，产生“物候错配”（phenological mismatch）。一方面，如果寄主植物的展叶、开花等物候期因春季提前而显著提早，而专一性害虫的羽化或孵化未能同步提前，则可能导致害虫错过最佳取食窗口，种群受到抑制。这是一种潜在的负反馈机制。但另一方面，更多的情况是负面的。例如，如果害虫的发育对温度更敏感，其春季活动期比寄主植物的防御物质合成高峰期来得更早，那么新生的嫩叶将处于毫无防备的状态，极易遭受严重危害。或者，如果天敌（如寄生蜂）的物候未能跟上其寄主害虫的变化，就会导致天敌的控害效能下降，间接助长了害虫的暴发。这种复杂的物候关系变化，使得预测病虫害发生变得更加困难，也凸显了生态系统在面对气候变化时的脆弱性。

1.5 种间互作关系的重构

气候变化不仅直接影响病虫害本身，还会通过改变寄主植物的生理状态，间接影响病虫害的发生。干旱、高温等胁迫会削弱树木的防御能力，使其更易感病或受害。例如，长期干旱胁迫会降低松树体内萜烯类等防御性化学物质的含量，同时增加其挥发性物质的释放，这既降低了对小蠹虫的化学驱避作用，又增强了对它的引诱作用，从而诱发小蠹虫的大规模攻击。这种“胁迫-易感性”假说已被大量研究所证实^[3]。此外，气候变化还可能改变病原菌与害虫之间的互作关系。有些害虫本身就是病原菌的传播媒介（如松墨天牛与松材线虫），气候

变暖使二者在时间和空间上的重叠度增加，协同危害效应被放大。还有一些情况下，昆虫的取食伤口为病原菌的侵入创造了便利条件，形成“虫-病”复合灾害。

2 典型案例分析

2.1 松材线虫病的北扩

松材线虫病被称为“松树癌症”，是我国最具毁灭性的森林病害。其发生与流行高度依赖于媒介昆虫松墨天牛的活动。松墨天牛的飞行、交配和产卵均需日均温稳定在20℃以上。过去，秦岭-淮河一线以其冬季低温和较短的温暖期，构成了该病害难以逾越的天然屏障。然而，近二十年来，该区域年平均气温上升了1-1.5℃，冬季极端低温事件减少，无霜期显著延长。这使得松墨天牛在该区域的年有效活动期增加了20-30天，足以完成一个完整的世代，并成功越冬。监测数据显示，松材线虫病疫点已越过秦岭，在陕西汉中、安康等地相继发现，并呈现继续向北、向东蔓延的趋势，对华北、西北乃至东北的油松、赤松等重要用材和生态树种构成直接威胁。

2.2 云杉八齿小蠹在欧洲的周期性暴发

云杉八齿小蠹是欧洲云杉林最主要的蛀干害虫。其种群动态与气候，特别是夏季干旱和冬季温度密切相关。正常年份，健康的云杉能通过分泌树脂将入侵的小蠹虫淹死。但在遭遇夏季干旱胁迫后，树木树脂分泌能力下降，防御崩溃。近几十年来，中欧地区经历了多次严重的夏季干旱（如2003年、2018年）。这些极端事件极大地削弱了云杉林的整体健康状况。与此同时，暖冬保证了小蠹虫极高的越冬存活率。二者叠加，导致小蠹虫种群在短时间内爆炸式增长，引发了史无前例的大面积云杉林死亡事件，对当地林业经济和碳汇功能造成了重创。

3 研究挑战与不确定性

尽管已有大量证据表明气候变化正在重塑林业病虫害格局，但相关研究仍面临诸多挑战：（1）多因子交互作用的复杂性：气候变化并非单一因子作用，而是温度、降水、CO₂浓度、极端事件等多种因子的协同或拮抗。目前多数研究聚焦于单一或少数因子，难以全面模拟真实世界的复杂情景。（2）长期监测数据的缺乏：准确揭示规律演变需要长时间序列、高空间分辨率的病虫害发生与气象数据。然而，许多地区的系统性监测网络尚不健全，历史数据存在断层。（3）模型预测的不确定性：现有的物种分布模型（如MaxEnt, CLIMEX）和种群动态模型在参数设定、尺度转换等方面存在局限，对未来情景的预测结果往往存在较大不确定性。（4）生态系统级联效应的未知性：病虫害格局的改变会引发一系

列级联反应，如改变森林组成、影响野生动物栖息地、干扰养分循环等，这些间接效应目前知之甚少。

4 适应性管理对策与展望

面对气候变化带来的新挑战，传统的被动式、应急性病虫害防治模式已难以为继。必须转向更具前瞻性和韧性的适应性管理策略。（1）构建智能化监测预警体系：整合遥感、物联网、大数据和人工智能技术，建立覆盖全国的林业有害生物天空地一体化监测网络。利用机器学习算法，融合气象、植被、历史疫情等多源数据，实现对病虫害发生风险的早期、精准预警。（2）开展基于情景的风险评估：利用改进的生态位模型和过程模型，模拟不同气候情景（如RCP4.5，RCP8.5）下主要危险性病虫害的未来适生区、暴发频率和潜在危害，绘制风险地图，为分区施策提供依据^[4]。（3）推广气候智能型营林措施：一是树种结构调整：在造林和更新中，优先选择乡土、抗逆性强的树种，或引入经过评估的、对未来气候更具适应性的外来树种，构建多树种、多层次的混交林，增强生态系统稳定性。二是森林健康管理：通过合理的抚育间伐，改善林分通风透光条件，降低林内湿度，减少病害滋生环境；及时清理虫害木、病腐木，破坏病虫害的繁殖场所。（4）加强跨境联防联控与检疫：鉴于病虫害跨境扩散风险加剧，应强化国际和区域间的信息共享、技术合作与联合行动，严把国门和省际关卡，防止危险性有害生物的传入和传出。（5）深化基础科学研究：加强对病虫害-寄主-天敌-气候多维互

作机制的研究，特别是极端气候事件的触发机制；开发更精准、更可靠的预测模型；探索基于微生物组、RNA干扰等前沿技术的绿色防控新途径。

5 结语

气候变化正以前所未有的速度和规模，深刻地改变着全球林业有害生物的发生规律。其核心表现为地理分布的扩张、世代数的增加、越冬存活率的提升，并伴随着复杂的物候错配和种间关系重构。这些变化共同导致了林业病虫害发生范围更广、频率更高、危害更重，对全球森林健康和生态安全构成了严峻挑战。应对这一挑战，需要我们摒弃静态的、孤立的思维模式，树立动态的、系统的生态观。未来的林业有害生物管理，必须将气候变化作为核心变量纳入考量，通过科技创新、制度完善和国际合作，构建起一套集“精准监测、科学预警、主动适应、绿色防控”于一体的现代化治理体系。

参考文献

- [1]文迪.气候变化对林业病虫害发生规律及防控策略的影响研究[J].江西农业,2025,(17):163-165.
- [2]夏雨.气候变化背景下林业病虫害发生规律与防治对策探析[J].当代农机,2025,(08):28-29.
- [3]张萍.气候变化背景下林业病虫害适应性管理策略[J].农村科学实验,2025,(01):126-128.
- [4]彭彬.气候变化对林业病虫害发生的影响及应对策略[J].农家参谋,2024,(28):56-58.