

基于生境改造的云南高速公路红火蚁绿色防控体系构建与应用

李 童

云南交投集团云岭建设有限公司 云南昆明 650041

摘要: 红火蚁作为全球性入侵有害生物,自2013年侵入云南以来,已对多地高速公路沿线生态环境、交通安全及公众健康构成严重威胁。云南高速公路沿线生境复杂多样,且红火蚁呈现出次适宜区适应性演化特征,传统化学防控模式易引发生态风险与抗性风险。本文基于生境改造核心理念,结合云南高原气候特点及高速公路工程沿线生境类型,系统分析红火蚁在云南高速公路沿线的分布规律与生境适配性机制,构建“生境优化-生物调控-精准监测-应急响应”四位一体的绿色防控体系。通过生境结构重构、本土天敌保育、绿色药剂精准施用等关键技术集成应用,实现对红火蚁种群的长效管控。该体系在元谋县高速公路沿线等区域的试点应用结果表明,红火蚁蚁巢减退率达82%以上,本土蚂蚁群落多样性提升35%,且有效降低了化学药剂使用量,为云南高速公路生态安全防护提供了技术支持与实践范式。

关键词: 云南高速公路; 红火蚁; 生境改造; 绿色防控; 生物多样性

引言

红火蚁 (*Solenopsis invicta* Buren) 原产于南美洲,是世界自然保护联盟公布的百种最具破坏力入侵物种之一,具有繁殖力强、攻击性高、适应性广的显著特征,其入侵会导致本土生物多样性丧失、破坏生态系统结构,同时对人体健康和公共设施造成严重危害。云南省作为我国西南边疆交通枢纽,高速公路网络不断延伸,截至2024年底,全省高速公路通车里程已突破1.2万公里,覆盖16个州(市)。但高速公路的建设与运营过程中,沿线裸露边坡、绿化带、服务区绿地等生境易成为红火蚁定殖扩散的载体,2013年元谋县首次在高速公路两侧发现红火蚁疫情,随后疫情逐步扩散至昆明、西双版纳等10余个州(市)的高速公路沿线区域,其中元谋县老城乡高速公路沿线蚁巢密度曾达72个/亩,严重威胁过往驾乘人员安全与沿线生态稳定。

当前云南红火蚁防控主要依赖化学药剂防治,虽能在短期内降低种群密度,但长期粗放式施用易导致土壤与水体污染,且破坏本土蚂蚁等天敌群落,反而加剧红火蚁入侵优势。同时,云南地处低纬高原,气候垂直差异显著,红火蚁在昆明等次适宜区已出现活动盛期偏移

(6-11月)等适应性特征,进一步增加了防控难度。生境改造作为入侵生物绿色防控的核心手段,通过优化生境结构、增强本土生态系统抵抗力,可实现对入侵物种的长效管控,已在农林入侵生物防控中得到成功应用。基于此,本文针对云南高速公路沿线生境特点,构建以生境改造为核心的红火蚁绿色防控体系,探索适宜云南高原环境的高速公路红火蚁防控技术路径,为提升高速公路生态防护水平、保障交通生态安全提供理论与实践依据。

一、云南高速公路沿线红火蚁生境特征与入侵机制

1. 沿线主要生境类型与红火蚁分布规律

云南高速公路沿线生境可划分为四类核心类型:一是边坡裸地与弃土场,此类生境土壤疏松、光照充足,且人为干扰频繁,是红火蚁定殖的首选区域,如元谋县高速公路沿线弃土场红火蚁发生率达85%以上;二是沿线绿化带与景观草坪,这类生境水肥条件优越,植物残体丰富,为红火蚁提供了充足食物资源,昆明虹桥路高速公路沿线绿化带已监测到稳定红火蚁种群;三是服务区与收费站周边绿地,人员流动频繁,易通过带土苗木、车辆携带等方式引入红火蚁,且生境碎片化程度高,利于红火蚁扩散;四是桥隧周边汇水区域,湿润的土壤环境适配红火蚁繁殖需求,西双版纳州勐养镇高速公路桥涵周边已发现高密度蚁巢。

调查显示,红火蚁在云南高速公路沿线的分布呈现

作者简介: 李童(1997-11),男,汉族,云南昆明,学历:大学本科,职称:初级职称(助理工程师),研究方向:公路工程。

“南重北轻、低热区集中”的特征：滇中、滇南低热河谷区域（如元谋、西双版纳）为高发区，蚁巢密度普遍超过15个/亩；滇西北高原区域发生率较低，但在高速公路服务区等人为干扰强烈的生境中已出现点状分布。气候因子是影响分布的关键因素，最暖季度平均温度、最干季度降水量与红火蚁分布呈显著正相关，这与云南作为红火蚁潜在适宜生境面积最大省份的研究结论一致。

2. 生境适配性与入侵扩散机制

红火蚁在云南高速公路沿线的成功入侵，与沿线生境的改造性特征密切相关。高速公路建设过程中，边坡开挖、植被清除等工程活动破坏了本土植被与土壤结构，导致本土蚂蚁群落多样性下降，形成“生态空窗”，为红火蚁入侵提供了竞争优势。研究表明，红火蚁在人为干扰强烈的生境中可快速定殖，且种群规模显著大于自然生境，云南高速公路沿线裸露边坡的红火蚁种群密度是周边自然林地的3~5倍。

其扩散机制主要包括自然扩散与人为扩散两类：自然扩散以婚飞和水流扩散为主，6~8月的暖湿季节，有翅繁殖蚁可借助风力扩散至周边500米范围内的高速公路沿线生境；人为扩散是远距离传播的主要途径，高速公路运输的带土苗木、草皮、建筑材料等是红火蚁跨区域扩散的核心载体，元谋县红火蚁疫情最初即通过苗木调运传入高速公路沿线。此外，高速公路沿线的车辆碾压、人员踩踏等活动，会间接破坏本土蚁巢，进一步促进红火蚁种群扩张。

二、基于生境改造的云南高速公路红火蚁绿色防控体系构建

结合云南高速公路沿线生境特征与红火蚁入侵规律，构建以“生境优化为基础、生物调控为核心、精准监测为支撑、应急响应为保障”的四位一体绿色防控体系，实现防控与生态保护的协同推进。

1. 核心目标

通过生境结构优化，提升本土生态系统抵抗力，抑制红火蚁定殖与扩散；依托生物调控与精准化学防控结合，降低红火蚁种群密度至生态安全阈值以下（蚁巢密度 ≤ 2 个/亩）；建立长效监测与应急机制，实现疫情早发现、早处置；保障高速公路运营安全，维护沿线生物多样性与生态平衡。

2. 体系框架与关键技术

(1) 生境优化改造技术

生境优化是防控体系的基础，核心是通过植被重构

与土壤改良，消除红火蚁适宜生境，增强本土群落竞争能力。一是边坡生态修复，针对裸露边坡，采用“乡土草本+灌木”混播模式，选择紫花苜蓿、车轴草等固土能力强的草本植物，搭配云南松、杨梅等乡土灌木，构建多层次植被结构，提高植被盖度至80%以上，减少裸露地表；同时添加有机基质改良土壤结构，降低土壤紧实度，抑制红火蚁筑巢。二是绿化带生境重构，优化高速公路沿线绿化带植物配置，减少单一草坪植物种植，增加菊科、豆科乡土植物比例，形成多样化植物群落，提升食物资源竞争压力；定期清理植物残体与落叶，减少红火蚁食物来源。三是服务区生境管理，规范带土苗木调运检疫流程，建立苗木种植前的红火蚁检测机制；在服务区绿地设置隔离沟，阻断红火蚁扩散路径，同时种植驱避性植物（如薄荷、大蒜），营造不适宜红火蚁生存的生境环境。

(2) 生物调控技术集成

依托本土生物资源，构建自然调控机制，减少化学药剂依赖。一方面开展本土天敌保育，调查显示云南本地蚂蚁中的铺道蚁、弓背蚁等具有与红火蚁的竞争优势，通过保护其栖息地（如保留林下枯落物、减少化学药剂使用），促进本土蚂蚁群落恢复，利用种间竞争抑制红火蚁种群增长；同时保护食蚁性鸟类、步甲、蜘蛛等天敌，在沿线设置人工鸟巢、昆虫诱集带，提升天敌种群数量。另一方面合理使用生物制剂，选用白僵菌、苏云金杆菌等微生物农药，搭配玉米芯、麦麸等载体制作生物饵剂，在红火蚁活动盛期（6~11月）精准投放，此类制剂对本土生物安全性高，且不易产生抗性。

(3) 精准监测预警体系

建立“定点监测+流动巡查+公众参与”的立体监测网络。在高速公路沿线每2公里设置1个固定监测点，重点覆盖边坡、绿化带、服务区等关键区域，采用火腿肠诱集法每月开展1次监测，记录蚁巢密度、种群活跃度等指标；组建专业巡查队伍，对桥隧周边、弃土场等高发区域每季度开展1次全面巡查；依托“云南红火蚁防控”科普宣传平台，培训高速公路养护人员、沿线群众识别红火蚁特征与蚁巢形态，建立疫情上报机制。同时构建监测数据平台，整合温度、降水等气候数据，通过模型预测红火蚁扩散趋势，提前发布预警信息。

(4) 分级应急响应机制

根据红火蚁发生程度划分三级应急响应：一级响应（零星发生，蚁巢密度 < 5 个/亩），采用物理防治措施，

人工挖掘蚁巢并集中深埋(深度>50cm),搭配生物饵剂投放;二级响应(中度发生,5-20个/亩),实施专业化统防统治,选用辛硫磷等低毒低残留药剂进行精准灌注,结合生物饵剂全域投放,同时开展生境优化改造;三级响应(重度发生,>20个/亩),启动跨部门联防联控机制,协调农业、交通、林业等部门,划定封锁区域,暂停带土苗木调运,采用“药剂防控+生境重构”综合措施,快速降低种群密度。应急处置后,连续3个月监测无新增蚁巢,方可解除响应。

三、体系应用效果与实践验证

1. 试点区域概况

选取元谋县老城乡高速公路沿线(G5京昆高速段)作为试点区域,该区域为云南红火蚁高发区,试点前蚁巢密度达68个/亩,沿线以边坡裸地、绿化带为主要生境,本土蚂蚁群落多样性较低。试点区域长度10公里,总面积2500亩,于2024年3月-11月实施基于生境改造的绿色防控体系。

2. 应用措施与实施过程

一是生境改造,在裸露边坡种植紫花苜蓿+云南松混播群落,面积800亩,改良土壤有机基质300吨;优化绿化带植物配置,新增乡土植物品种6种,清理植物残体50吨;在服务区设置隔离沟200米,种植驱避植物带3处。二是生物调控,投放白僵菌生物饵剂5吨,设置人工鸟巢30个,保留林下枯落物覆盖区域500亩。三是精准监测,设置固定监测点5个,每月开展诱集监测,发布预警信息2次。四是应急处置,针对中度发生区域实施低毒药剂精准灌注,处理蚁巢1200个,未使用高毒化学药剂。

3. 应用效果评估

试点结束后,通过样方调查评估防控效果:红火蚁蚁巢密度从68个/亩降至12个/亩,减退率达82.4%,核心区域蚁巢密度控制在2个/亩以下;本土蚂蚁群落多样性指数从1.2提升至1.62,提升幅度35%,铺道蚁、弓背蚁等优势本土蚂蚁种群数量显著增加;土壤中农药残留量较传统防控区域降低75%,未发现水体污染现象;过往驾乘人员被红火蚁叮咬事件发生率从试点前的每月3-5起降至0起,保障了交通安全。同时,生境改造后边坡植被盖度提升至85%,有效增强了边坡稳定性,实现

了防控与生态修复的协同效益。

四、讨论与展望

云南高速公路沿线红火蚁防控面临着生境复杂、气候多样、扩散途径多元等挑战,传统化学防控模式难以实现长效管控。本文构建的基于生境改造的绿色防控体系,核心优势在于通过优化生境结构,从根源上抑制红火蚁定殖,同时依托本土生物资源实现自然调控,降低生态风险。试点应用表明,该体系在云南低热河谷区域高速公路沿线具有良好的适应性,但其应用效果受气候条件、生境类型影响较大,在滇西北高原等低温区域,需进一步优化生境改造植物品种与生物饵剂投放时机,提升防控效果。

未来推广应用,需重点关注三方面工作:一是强化跨部门协同,建立交通、农业、林业等部门的联防联控机制,规范高速公路沿线苗木调运检疫流程,阻断人为扩散途径;二是加强技术集成创新,结合无人机监测、大数据预警等技术,提升监测精准度与防控效率;三是加大科普宣传力度,提升高速公路养护人员、沿线群众的红火蚁识别能力与防控意识,形成全民参与的防控格局。此外,需长期跟踪监测防控区域的生态系统变化,优化体系技术参数,为云南不同区域高速公路红火蚁防控提供个性化技术方案,助力交通生态文明建设。

参考文献

- [1]高舒桐,卢志兴.红火蚁次适宜区本地蚂蚁群落研究——以昆明为例[J].林业科学研究,2023,36(6):1-9.
- [2]元谋县农业农村局.对县政协十届一次会议第150号提案的答复[R].元谋县人民政府,2022.
- [3]西双版纳州农业农村局.西双版纳州组织召开2025年红火蚁防控工作联席会议[EB/OL].西双版纳自治州政务网,2025-01-15.
- [4]云南省植保植检站.警惕红火蚁!不小心被叮咬后要这样处理[EB/OL].全国党媒信息公共平台,2024-12-11.
- [5]张莉,王建国.我国红火蚁潜在适宜生境分布预测[J].生态学报,2022,42(18):7356-7364.
- [6]昆明广播电视台.有毒,这种小土包千万别踩!昆明等多地已出现[EB/OL].腾讯新闻,2025-07-03.