

文章编号:1001-7380(2020)02-0052-05

## 公路边坡生态修复研究进展

刘 爽<sup>1</sup>,赵朝辉<sup>2</sup>,李 键<sup>1\*</sup>,胡喜生<sup>3</sup>

(1. 福建农林大学林学院,福建 福州 350002; 2. 福州市公路事业发展中心,福建 福州 350002;  
3. 福建农林大学交通与土木工程学院,福建 福州 350002)

**摘要:**公路边坡生态的稳定性影响着公路周边环境质量,加强公路边坡生态环境的保护,有助于提高公路建设和发展水平。该文论述了国内外公路边坡生态修复技术研究现状,总结了常用的生态修复技术,提出要依据区域地理环境因地制宜选择合适的修复方法。同时概述了生态修复评价的研究进展,指出我国在公路边坡生态修复领域存在的问题和未来的发展方向,为后续深入开展研究提供参考。

**关键词:**公路;边坡;因地制宜;生态修复;技术;评价

**中图分类号:**Q948.114

**文献标志码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2020.02.011

随着改革开放力度不断加强,我国经济平稳持续增长,交通运输基础设施建设取得巨大成就。根据国家统计局报告显示,截至2018年底,我国铁路营业总里程达13.2万km,公路总里程达485万km。公路建设为我国经济快速发展提供巨大动力的同时,由于保护、生态修复不力,其沿线生态环境和生态系统受到了较大的破坏,引发了众多生态问题。

公路建设过程中开挖山体、破山开路往往会破坏天然植被<sup>[1-3]</sup>,加上水土流失、岩石风化、山体滑坡等自然灾害的影响,会形成大量岩土裸露的边坡,破坏原本的生态环境和坡体平衡,影响路域生物圈并造成交通安全隐患<sup>[4]</sup>。由于冲刷侵蚀、水土流失等现象普遍存在于公路边坡,边坡上的植被难以在短时期内进行自我恢复。近年来,随着国家对生态环境的日益重视,以及植被恢复技术的突飞猛进,边坡生态修复工程相继发展并得到了广泛应用<sup>[5]</sup>。为深入推进我国公路生态型建设<sup>[6]</sup>,交通运输部提出全面深化改革要求,在2016年发布《关于实施绿色公路建设的指导意见》,以期通过严密的修复工程最大限度地保护公路边坡,恢复因工程建设而被破坏的生态环境。目前虽然生态恢复相关研究成果丰富,技术渐趋成熟,也形成了较多的生态修复评价方法,但由于我国生态防护与边坡生态修复理念起步较晚,边坡生态修复技术仍处于发展

阶段,且相关研究较为滞后,并未建立起完善的边坡生态修复评价量化体系,在边坡生态修复理论和实践等方面仍存在较多问题。

本文通过总结公路边坡生态修复技术和论述生态修复评价方法研究现状,指出目前我国公路边坡生态修复研究中存在的问题及未来的发展方向,为进一步开展相关研究提供参考。

### 1 公路边坡生态修复技术研究现状

发达国家十分重视公路建设中沿线生态环境的保护问题,在公路建设早期就已经将生态恢复措施纳入其中,采用生态环境保护优先原则,经过多年研究与发展,边坡生态防护已从过去简单的绿化进一步发展为目前具有景观美学价值的生态绿化<sup>[7]</sup>。欧美发达国家边坡生态修复理论和技术起步较早。美国在20世纪60年代就制定了高速公路绿化技术标准制,利用政策措施降低建设工程对生态环境的负面影响<sup>[2]</sup>;法国修建高速公路时,在公路沿线创建生物栖息场所,以保障动物的生存和安全<sup>[5]</sup>;瑞士和德国通过建设“生态桥”和动物通道来保障动物的正常迁徙<sup>[5,8]</sup>;英国、意大利等国将加筋土技术与植被防护技术相结合,修建了包裹式的加筋土植草墙面的挡土墙,在加固边坡的同时,又绿化了生态环境<sup>[9]</sup>;日本于1963年建成第一条高速公路,公路建设虽然晚于西方国家,但在生态恢复技

收稿日期:2020-02-12;修回日期:2020-02-26

基金项目:福建省交通运输科技市场主导性重点科技项目“东南沿海丘陵地区普通公路路域生态环境修复关键技术研究”(201823)

作者简介:刘 爽(1997-),女,山东济南人,硕士研究生。研究方向:自然地理学。E-mail:1530954053@qq.com。

\*通信作者:李 键(1982-),男,福建泰宁人,副教授,博士。主要从事自然地理学研究。E-mail:hmllycau@163.com。

术研发方面处于世界领先地位<sup>[2]</sup>。日本在对欧美生态修复技术学习的基础上,创造了新型生态修复技术,如采用喷附绿化、袋筋绿化等多种绿化技术,来修复公路边坡生态环境<sup>[10]</sup>。

随着国家环境保护意识不断增强,环境保护工作在绿色公路建设中愈发突显出重要性。20 世纪 90 年代,我国开始开展公路边坡生态绿化与修复技术的相关研究。在学习国外先进理论与技术的同时,我国根据国内不同地区公路边坡地理环境和建设的实际情况,不断转变边坡治理理念,改进和研发我国本土适用的修复技术,并于 2017 年开始编制《公路边坡生态绿色防护技术规程》,以促进生态防护技术的推广应用。目前,国内很多地区已根据当地气候条件和公路生态环境,紧紧围绕着绿色公路建设和边坡生态修复这一主题,开展研究。

公路建设中被破坏的边坡生态环境很难依靠

自然界自行修复,目前国内外已形成多种边坡生态修复技术。边坡生态修复,是指用植物或者植物与非生命材料相结合的方式,对边坡生态环境进行人为干预,快速恢复公路沿线生态环境,建立一个与原来相似的自维持植物群落,来加强破边稳定性<sup>[11-12]</sup>,同时它具备美化公路沿线景观、减少噪音、降低粉尘污染、保障道路行车安全等功能。植物作为边坡生态修复的主体,影响着边坡恢复的效果<sup>[13]</sup>。在进行植被选择时,要结合当地气候条件,以乡土植物为主<sup>[14]</sup>,首先应该选择速生的先锋植物<sup>[15-16]</sup>,再选择具有较强分生能力和根系较多、抗耐性较强的外来优良植物品种,同时兼顾经济因素和植物景观价值,因地制宜按照一定配比进行混合种植,从而快速提高边坡的植被覆盖率。本文总结了目前常用的生态修复技术,见表 1。

表 1 我国常用公路边坡生态修复技术

修复技术	简介	特点	适用范围
人工植被	人工种植植被,是一种最为基础与简单的恢复方法	工程实施性强,投入低,过程简便	被损害植被面积小且边坡坡度较缓的砂土类边坡
植生带	将植物种子或现成苗草皮夹在织物或纤维垫中贴在边坡表面,以此实现快速绿化的方法	运输方便,施工简单	缓坡且坡表平整的土质或砂土质边坡,以及需要迅速得到防护的土质边坡和受风力侵蚀极严重的岩石边坡
液 压 喷 播植草技术	将配制好的种子、肥料、覆盖料等与水充分混合,随后利用高压喷枪均匀地将混合体喷洒于边坡面上	机械化程度高,施工时间短,实施效率高,植被易于成活	缓坡或微风化岩质边坡,土地不平整区域
网 袋 植 草技术	将植物种子、有机养料与土体混合均匀装在纤维网或金属网袋中,并将其固定在边坡上以实现绿化	成本低廉,操作简便,成效迅速	较稳定的岩质边坡或土石边坡
框格工程	在边坡上装砌具有一定强度的工程材料框格,将土壤堆填到框格内来进行绿化	结合了圬工防护措施与生态防护措施	易被风化侵蚀的岩质边坡或坡度较陡的土质边坡
客 土 种 子喷播	将处理过的树皮、养生材料、植物种子与适量土壤混合,添加植物生长营养剂、粘结剂和土壤稳定剂形成客土,借助喷播机用挂网喷射的方式均匀涂喷于坡面表层,实现对岩石边坡的绿化	客土喷播生物防护加上稳固的工程防护是最适宜的边坡防护方法,它能够保证边坡的稳固和安全,同时又能恢复边坡生态	坡度较大、岩石裸露的滑坡体后缘和崩塌体为岩石等损毁型土地
厚 层 基 材喷播	将植物种子、植物生长基、粘结剂与水充分混合,使用砂浆喷枪喷射在边坡表面,形成有一定厚度的有机质植被层	固坡速度快,适用范围广,且基材抗侵蚀性强,能快速恢复植被	较差的土质、土石以及稳定岩质等地质土壤环境
仿 原 生 态植被恢复技术	在原开挖陡峭的边坡运用直接挂网的方法,达到局部位置尽快实现绿化的目的	综合造价低,且能稳定表层边坡,见效快	特别适合于采用客土喷播植草恢复效果较差的极陡边坡的生态防护
OH 液植草护坡	新型化工产品 OH 液与水按照一定比例混合,稀释到所需浓度,利用机械工具将其与草籽一起喷洒于坡面	耗时短,无需后期养护,边坡防护和绿化效果较好	多用于土壤肥力较弱的贫瘠土质边坡以及受风力侵蚀影响较重的岩石边坡
三 维 植 被网技术	将活性植物与工程材料结合,在坡面构建一个自身具有生长能力的防护系统,通过植物的发育和根系生长达到加固坡面的目的	集合了土工网和植物护坡的优点,在提高边坡的稳定性和抗冲刷能力方面作用明显	较陡坡度的边坡、岩质边坡

## 2 公路边坡生态修复评价研究现状

中国地域辽阔,且地形复杂,南北气候与土壤质地存在较大差异,在实施公路边坡生态恢复技术之后,客观评价生态恢复效果,对改善现有生态修复技术、方法以及公路边坡生态恢复研究工作,具有重要意义。国际生态修复学会于 2016 年发布《生态修复实践国际标准》,要求从计划阶段开始监测评估修复效果,制定相关监测计划,来确定所实行的恢复措施是否成功有效。余海龙等<sup>[17]</sup>以赤峰—通辽高速公路 K6—K72 标段边坡生态恢复工程为评估案例,采用层次分析法和模糊评价法对研究路段实施生态修复评价,评价结果与实际观察情况相符合,证明利用模糊数学方法评价生态护坡工程的生态效果是科学可行的;季贵斌等<sup>[18]</sup>运用层次分析法,评价了广河高速公路边坡混播植物物种的生态适应性,认为草灌混播的方式最适合当地公路边坡植被恢复;洪文俊等<sup>[19]</sup>从影响植被恢复质量的因子中划分出 18 类亚指标,建立了一个适用于农林交错地带高速公路边坡生态修复成效评价体系,在评价长宜高速公路 2 个边坡生态修复工程时采用该体系,生态修复成效与实际观察情况符合,表明该评价体系应用性较强;曹妮等<sup>[20]</sup>调研河南省黄泛沙区大广高速扶沟—项城段高速公路边坡群落特征,采用主成分分析法比较同一路段 5 种具有代表性的群落恢复现状;董方帅等<sup>[21]</sup>在吸收国内外相关生态评价方法的基础上,初步构建了包含 5 个层次的岩质边坡植被恢复生态评价体系,通过获得每个层次指标分数并赋予权重,最终计算得到边坡植被的评价总分,将重建后的生态评价结果分为优、良、中、合格、差 5 个等级;苗保河等<sup>[22]</sup>评价了北京市门头沟区石灰窑废弃地及公路边坡裸露地表 8 种生态修复模式的恢复效果,得出石灰窑人工景观重建、框格+植被和挡土墙灌浆模式恢复效果较好,适合该研究区域进行生态修复;董文杰等<sup>[2]</sup>总结了常用的生态修复评价方法,包括德尔菲法、综合指数法、灰色关联度法、熵值法等,认为每个方法各具优缺点,提出在实际评价生态恢复效果时,可综合使用多种方法,做出更准确的评价。

目前,国内生态恢复评价体系处于发展阶段,相关研究所提出的监测体系具有局限性,未能涵盖边坡生态修复的全部内容,难以形成统一公认的标准。作者认为,在进行公路边坡生态恢复评价时,

不要囿于单一的评价模式,应考虑不同地区地质及土壤的不同,综合选用评价方法,以获得更加客观合理的评价结果。

## 3 我国公路边坡生态修复研究存在的问题及解决措施

### 3.1 缺少适用于多种地域环境的生态修复技术体系,应加强对特殊地理环境下公路边坡生态恢复的研究

我国关于公路边坡生态修复技术的研究较为丰富,但是由于我国幅员辽阔,公路沿线地质地貌环境错综复杂<sup>[23]</sup>,未能形成适用于多种地域环境条件下的生态修复技术体系,在气候干旱、高陡裸岩坡面、土质松软边坡等特殊地理环境条件下的植被恢复技术研究较少。欧美国家以高养护型的湿式喷播为主要模式,日本以高投入型的客土及厚层生长基础喷播为主要模式,可通过借鉴和消化吸收国外公路边坡生态恢复工程的先进技术与经验<sup>[24]</sup>,不断改善我国现有生态修复技术,创建新的生态修复方法,以适应不同地理环境下生态修复工程建设。例如,在降雨较多地区,应考虑雨水冲刷所带来的边坡侵蚀效应,以及公路边坡坡度较高时可能会产生滑坡现象,仅仅依靠植被的作用无法稳定边坡,应结合植被防护技术与工程防护技术进行生态修复;在北方干旱或半干旱区域,降水较少,应以工程护坡为主选种乡土草本植物稳定边坡。

### 3.2 植被的选择与配置存在不合理现象,应以种植地方物种为主,优化其选择与配置,提高公路边坡物种多样性

在高速公路生态修复工程中,仅选择外来的一种或几种速生型植物,忽视植物对当地环境的适应性和多种植物的共生性,导致植物因出现病虫害而死亡。同时,由于植物配置与组合方式不合理,物种间在空间和时间上缺少必要的补充和间隔,导致植被覆盖率大大降低,边坡生态修复工程效果不明显。因此,在进行公路边坡生态修复和建设时,应尽量选择乡土植物或与当地环境相适应、且具有较强抗性的植物,并且确保所配置的植被组合可在不同季节和气候下交替生长。例如:香根草作为一种热带旱生植物,在降水量较多地区仍能生长成活,其根系较长,因此具备良好的护坡效果,可种植于南方公路边坡;狗牙根广泛分布在我国黄河以南各省,是一种根茎蔓延力强且在边坡环境下能较好生



长的植物,但因其绿期较短,所以应搭配具有较长绿期的植被合理种植,以达到较好的稳定边坡效果。另外可采用乔灌草结合的模式,如在西北地区可选用榆树、柠条、结缕草组合种植,保障植物群落即便处于低养护或无养护的情况,仍能保持自生自养。

### 3.3 边坡生态修复后养护管理困难,生态修复效果具有短期性,应培养专业人才进行养护,提升边坡生态效益

我国目前公路建设工程中存在“重建设、轻养护”的现象,养护措施严重滞后于公路建设,且边坡生态养护投入低。尽管在公路建设时对边坡生态进行过防护和修复,但由于生态监测措施落实不到位,养护管理不及时,导致生态恢复效果大打折扣。因此,应加大对养护管理的资金投入,培养专业养护人员,定期检查植物生长状况,按需进行浇水施肥,加强病虫害和杂草的防治,使生态修复措施能够长期有效发挥作用,提升公路边坡生态效益和植被景观效果。

### 3.4 公路边坡生态恢复评价体系不健全,应根据不同地质环境设计不同的评价模式,建立适用于公路边坡的生态评价体系

生态修复评价方法众多,但是目前仍未针对公路边坡生态修复形成健全的评价体系。因此,要从公路边坡的实际特点出发,对边坡植被生态系统的动态变化进行长期监测和对比,利用监测数据和多种指标建立数学模型,设计可用于公路边坡的生态评价模式,以促进落实生态防护和修复措施,有效保护公路生态环境。另外,应根据不同地区的地质地貌、气候条件以及不同坡度、坡高、坡向选用不同的评价指标和评价标准,例如在风沙较严重的地区进行生态恢复评价时,除评价植被盖度、物种丰富度等基础指标外,应将边坡的防风蚀能力考虑在内;在选择评价参照系时,应选择该地区同一生态类型受人类活动干扰较少的生态系统进行。

## 4 结语

边坡生态修复工作是公路设计、建设和使用中的关键组成部分,并且对于稳定边坡、防止水土流失、减少噪音、降低风沙危害、维护生态平衡等具有重要作用,合理有效地运用生态修复技术将会提升公路的维护管理质量,产生巨大的生态效益。目前,我国有关公路边坡景观生态修复的研究已有很

多,生态修复技术也愈加成熟,但与发达国家相比,仍存在较多问题。因此,可以从以下几个方面进一步开展研究:(1)结合公路区域地质地貌环境和气候条件,完善我国有关边坡生态修复技术标准与规程的编制,让边坡生态修复工作有章可循。(2)调查研究公路所处的区域地理环境,筛选出适宜种植的乡土植物,积极开展引进外来优质物种的相关研究,合理配置边坡植物群落组成。(3)进一步研究公路边坡生态修复评价模式,健全修复评价体系,加强开展边坡生态恢复后的研究,以提升对边坡生态环境的科学认识。

### 参考文献:

- [1] 李海芬,卢欣石,江玉林.高速公路边坡生态恢复技术进展[J].四川草原,2006(2):34-38.
- [2] 董文杰,洪文俊,赵桃桃,等.高速公路边坡生态修复与评价[J].山东交通科技,2017(4):69-71,74.
- [3] 景志远,张春禹,张 姣,等.生态防护在公路边坡防护中的应用[J].交通标准化,2014,42(3):7-10.
- [4] 闫小琳.高速公路边坡生态防护施工技术[J].交通世界(工程技术),2015(8):128-129.
- [5] 邓辅唐,吕小玲,邓辅商.高速公路边坡生态恢复研究进展[J].中国水土保持,2005(11):48-50.
- [6] 刘春霞,韩烈保.高速公路边坡植被恢复研究进展[J].生态学报,2007,27(5):2090-2098.
- [7] 孙仁娟,商庆森,王 蕾.高速公路路域生态环境保护探讨[J].华东公路,2003(6):78-79.
- [8] 杨 东,万福绪.我国高速公路边坡生态恢复技术研究进展[J].世界林业研究,2011,24(6):34-38.
- [9] 穆树林,李国芬.关于高速公路边坡生态恢复技术的探讨[J].山西建筑,2009,35(26):256-257.
- [10] 朱亚丽,刘彦清.高速公路边坡植被恢复研究进展[J].安徽农学通报,2017,23(21):99-101.
- [11] 张 霄.我国高速公路边坡生态修复研究综述[J].资源节约与环保,2016(3):85.
- [12] 洪文俊,赵桃桃.高速公路边坡生态修复成效监测指标体系研究[J].交通节能与环保,2018,14(6):42-45.
- [13] 张华君,吴曙光.边坡生态防护方法和植物的选择[J].公路交通技术,2004(2):84-86,110.
- [14] 王思成,兰 剑,王 宁.高速公路边坡生物防护技术研究进展[J].宁夏农学院学报,2003,24(2):76-81.
- [15] 李均容.边坡的生态恢复探析[J].现代园艺,2019(8):152-153.
- [16] 潘树林,王 丽,辜 彬.论边坡的生态恢复[J].生态学杂志,2005,24(2):217-221.
- [17] 余海龙,顾 卫.高速公路边坡生态护坡效果定量评价研究[J].水土保持通报,2011,31(1):203-206.
- [18] 季贵斌,梁 力,赵 颖.高速公路边坡混播植被群落生态适应性综合评价[J].安全与环境学报,2016,16(6):360-365.

- [19] 洪文俊,董文杰,赵桃桃,等.农林交错带高速公路边坡生态修复质量评价标准体系研究[J].中国质量与标准导报,2017(9):68-73.
- [20] 曹 妮,吕若冰,贺环宇,等.扶沟—项城段高速公路边坡植物群落恢复状态评价[J].河南农业大学学报,2016,50(6):799-804.
- [21] 董方帅,徐礼根.岩质边坡植被重建后的生态评价指标体系构建[J].科技通报,2009,25(4):503-509,514.
- [22] 苗保河,郑延海,伏 芳,等.北京市门头沟区石灰窑遗址及公路边坡裸露地表植被修复模式的生态评价[J].水土保持研究,2011,18(6):125-128.
- [23] 姜之未.高速公路边坡生态恢复的问题及解决策略分析[J].四川水泥,2018(6):124.
- [24] 李海刚.高速公路边坡生态恢复的问题与解决对策[J].交通世界,2016(2):196-197.

### (上接第5页)

- [9] 毛秀红,郑勇奇,孙百友,等.基于 SSR 的刺槐无性系遗传多样性分析和指纹图谱构建[J].林业科学,2017,53(10):80-89.
- [10] 郑纪伟,教忠意,窦全琴,等.利用荧光 SSR 标记构建含笑种质指纹图谱[J].分子植物育种,2018,16(14):4705-4714.
- [11] 燕丽萍,吴德军,毛秀红,等.基于 SSR 荧光标记的白蜡核心种质构建[J].中南林业科技大学学报,2019,39(7):1-8.
- [12] 韩 骞,王 辉,王进茂,等.利用 SSR 引物通用性分析杨柳科树种遗传多样性[J].分子植物育种,2009,7(5):904-911.
- [13] 郑纪伟,孙 冲,周 洁,等.基于 EST-SSR 标记的欧洲红皮柳遗传变异分析[J].江苏林业科技,2016,43(6):6-11,37.
- [14] 郭 敏,马彦军,李 毅.祁连山不同海拔梯度山生柳遗传多样性的 SSR 分析[J].草业学报,2012,21(5):114-121.
- [15] 郝 蕾,张 磊,张国盛,等.北沙柳群体遗传多样性和遗传结构分析[J].西北植物学报,2017,37(8):1507-1516.
- [16] 贾会霞,吴立栓,胡建军,等.柳树种质资源遗传多样性和亲缘关系的 CE-AFLP 分析[J].林业科学,2013,49(6):37-44.
- [17] 王源秀,徐立安,黄敏仁.杞柳和簸箕柳候选杂交亲本 SSR 指纹分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2008,32(2):1-5.
- [18] TIAN X Y, ZHENG J W, JIAO Z Y, et al. Transcriptome sequencing and EST-SSR marker development in *Salix babylonica* and *S. suchowensis*[J]. Tree Genetics & Genomes, 2019, 15: 9.
- [19] 郑纪伟.柳树转录组高通量测序及 SSR 标记开发研究[D].南京:南京林业大学,2013.
- [20] TRIEST L, GREEF B D, BONDT R D, et al. RAPD of controlled crosses and clones from the field suggests that hybrids are rare in the *Salix alba-Salix fragilis* complex[J]. Heredity, 2000, 84(5):555-563.
- [21] DOUHOVNIKOFF V, DODD R S. Intra-clonal variation and a similarity threshold for identification of clones: application to *Salix exigua* using AFLP molecular markers[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2003, 106(7):1307-1315.
- [22] 马秋月,廖卓毅,张得芳,等.碧桃花瓣转录组微卫星特征分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(3):34-38.

## · 征订启事 ·

### 欢迎订阅 2020 年度《江苏林业科技》

《江苏林业科技》为国内外公开发行的综合性林业科学技术刊物。1974 年创刊。为《中国学术期刊(网络版)》入编期刊、全国优秀期刊、江苏省优秀期刊、全国优秀农业期刊、华东地区优秀期刊。加入“万方数据——数字化期刊群”和中国期刊网等。

《江苏林业科技》主要刊登良种选育、育苗造林、园林绿化、林副特产、森林经营、森林保护、调查设计、野生动物等方面的学术论文、科研报告、经验总结,以及林业新成果、新技术,有较强的指导性、技术性、实用性,是林业科研、教学工作者、管理部门及广大林业生产者不可少的参考资料。欢迎订阅,欢迎投稿,欢迎刊登广告,宣传产品等。

《江苏林业科技》为双月刊,大 16 开本,国内外公开发行。国内统一刊号:CN 32-1236/S,国际标准刊号:ISSN 1001-7380,每期定价 6.00 元,全年订费 36.00 元。全年办理订阅手续,需订阅者请到当地邮局订阅或将订款汇至南京市江宁区东善桥江苏省林业科学研究院本刊编辑部,邮政编码 211153。电话(025)52745438,83602820,83602060。由银行或邮局汇寄均可。开户银行:南京市农业银行金鹰支行,户名:江苏省林业科学研究院,帐号:10105101040000010。邮发代号:28-303。