 DOI: https://doi.org/10.12345/dlynyqy.v3i11.33434

Research on Ecological Replacement and Sustainable Management Models for Invasive Plant Species in Photovoltaic Sites

Shaoxi Yan

Yunnan Datang International Li Xianjiang River Basin Hydropower Development Co., Ltd., Puer, Yunnan, 665000, China

Abstract

To address the severe invasion of Eupatorium adenophorum in photovoltaic sites that significantly impacts the safe and stable operation of solar power stations and ecosystem stability, this study investigates the invasive characteristics of Eupatorium adenophorum in mountainous photovoltaic sites. We screened local plants with ecological replacement potential, developed appropriate alternative planting models, and evaluated management effectiveness through monitoring data to establish sustainable governance pathways. The findings demonstrate that certain native plants exhibit superior performance in ecological restoration and invasion suppression. Alternative management strategies can effectively reduce the expansion risks of Eupatorium adenophorum. These research outcomes provide technical support and practical guidance for green operation and maintenance as well as ecological security in high-altitude mountain photovoltaic sites.

Keywords

Eupatorium adenophorum; ecological substitution; photovoltaic field; sustainable management

光伏场区紫茎泽兰入侵植被的生态替代与可持续治理模式研究

严绍喜

云南大唐国际李仙江流域水电开发有限公司，中国 · 云南 普洱 665000

摘　要

针对光伏场区紫茎泽兰恶性入侵，严重影响光伏电站安全稳定运行和生态系统稳定，本研究以山地光伏场区为对象来调查紫茎泽兰的入侵特征，筛选具有生态替代潜力的本地植物，构建适宜的替代种植模式，结合监测数据评估治理效果以形成可持续治理路径。研究发现部分乡土植物在生态恢复与抑制入侵方面表现优越，替代治理可有效降低紫茎泽兰扩展风险，研究成果为海拔较高的山地光伏场区绿色运维与生态安全提供技术支持和实践依据。

关键词

紫茎泽兰；生态替代；光伏场区；可持续治理

1 引言

随着光伏能源的快速发展大量光伏设施布局于山地、丘陵或荒坡等生态环境敏感区域，上述区域原有植被易被破坏为外来物种紫茎泽兰的入侵创造有利条件。紫茎泽兰具有强繁殖性和竞争力，迅速扩散后可抑制本地植物生长，破坏原有生态结构，株高遮挡光伏组件并对光伏设备运维造成安全隐患。近年来生态替代作为绿色与低扰的治理策略逐渐受到重视，利用本地适应性强的植物取代入侵物种生长空间且具备生态恢复与入侵抑制双重价值。本研究以光伏场区为研究对象，围绕紫茎泽兰入侵现状和替代物种筛选与可持续治理路径，探索生态恢复与管理的新思路，进一步为光伏场区减少光伏组件遮挡电量损失及生态安全管理提供科学支撑。

【作者简介】严绍喜（1988–），男，中国云南昆明人，本科，工程师，从事水电及新能源电力系统研究。

2 紫茎泽兰在光伏场区的入侵特征分析

2.1 入侵路径与传播机制

紫茎泽兰的传播与光伏场区的特殊环境特征密切相关，场区施工带来的大面积扰动和土地裸露为其扩展提供了适宜条件。该物种以种子传播为主，种子具有较强的风力扩散能力，在开放区域可传播超过 300 米，部分随雨水径流进入低洼地带形成局部集中。人为因素是其重要扩散路径之一，施工机械频繁进出携带附着种子，光伏建设过程中种子附着于作业设备表面扩散至周边区域。研究调查发现，在一处年降水量约为 1500 毫米的光伏场内，紫茎泽兰种群密度在设备密集区比边缘区高出约 3 倍，表明人为干扰强度与其传播存在正相关关系。部分区域该物种根茎在湿润环境下可进行营养繁殖，雨季后快速扩张形成新的入侵源点。紫茎泽兰生命

周期短、生长速度快，在具备充足光照和水分的环境中约 2 个月可完成一次繁殖周期，为其持续扩散提供了基础条件 [1]。

2.2 不同地形地貌下的分布特征

光伏场区多分布于山地、丘陵或荒坡等地形破碎区域，这类地貌结构直接影响紫茎泽兰的空间分布格局。在坡度较缓、土壤疏松并具备一定表层水分的区域，该物种常形成密集块状分布。在一处海拔约 2000 米的山地场区，紫茎泽兰在南向斜坡的平均覆盖密度达到每平方米 21 株，而在北向斜坡仅为 7 株，说明光照条件与坡向对其生长具有显著影响。在沟谷地带与排水通道两侧，因水分汇聚与养分沉积，紫茎泽兰表现出聚集趋势，随地表径流向下游形成带状分布。在平台区与施工弃土堆周边，该物种常沿边缘地带定殖形成环状结构。与地势起伏较大的区域相比，台地上的紫茎泽兰种群更新能力更强，密度扩展速度更快，表现出较强的适应与稳定能力。微地形变化与局部小气候共同塑造了该物种在光伏场内复杂而具有异质性的分布模式。

2.3 对原生植被的影响机制

紫茎泽兰在光伏区的广泛扩散已成为制约生态稳定与发电效率的重要隐患，其替代物种筛选需基于生态压制机制与功能适配特征的系统识别。在竞争机制层面，低矮植物依靠快速成苗与高密度覆盖形成稳定群落结构，在光照、水分、养分等关键生态因子上占据优势地位，有效干扰紫茎泽兰的种子萌发及幼苗定殖，削弱其种群更新潜力。形态层面，低株高特征适应光伏组件净空高度限制，避免遮光干扰光照接收路径，有助于维持稳定电量输出。微环境适应性亦构成筛选基础，适宜物种需在高辐射、干旱、温差大等条件下保持生理活性和生长势，形成持久的植被覆盖。区域试验结果显示，部分禾本科、豆科草本植物在西南光伏区具有良好定植表现与生态压制能力，具生物多样性支撑、经济利用延展等复合价值。筛选过程中，应结合不同植物的生物学特征、栽培模式与本地生态系统兼容性，构建具有长期稳定性的替代种植体系，为光伏区生态优化与土地复合利用提供技术支撑与物种储备 [2]。

3 生态替代物种筛选与应用评估

3.1 替代物种筛选标准与流程

生态替代植物的筛选需要兼顾生物适应性、生态功能和管理成本，构建系统化的遴选流程。筛选标准包括三个方面，一是物种对目标区域的气候、土壤和地形条件具有高度适应性，在光照、水分和养分供应有限的场景下具备稳定生长能力；二是其在群落竞争中具有一定优势，能够在不依赖外源干预的前提下形成封闭植被覆盖，压制紫茎泽兰的生存空间；三是生态功能符合光伏场地运维要求，不遮挡设备、不诱发火灾风险，且维护成本低。在某西南高海波山地光伏场区，初步从本地植物资源库中筛选出 26 个候选物种，结合土壤适配性试验与现场观察，剔除抗旱性较差和根系浅表类植物后，保留 12 种供田间试验验证。筛选流程包括文献复核、生态适应性初评、样地试栽和三个月观测，最终确定 5 种具有应用潜力的本地草本和灌木种类，建立标准化引种与评价体系，为后续推广应用打下基础。

3.2 典型替代植物的适应性比较

紫茎泽兰（Eupatorium adenophorum）属于菊科多年生杂草，原产于墨西哥，目前在我国西南地区大面积扩展，呈现出极强的生态入侵能力。其生物学特性表现为种子产量高、萌发率强，具备显著的无性繁殖能力，使其在多种生态系统中迅速蔓延。植株生长迅猛，根系发达，能形成致密的地下根垫结构，抑制其他植物种子的萌发和出苗，导致本地植物多样性锐减。其体内富含挥发性和水溶性等多种次生代谢产物，如单萜类和倍半萜内酯，具有明显的化感作用，可通过土壤介质抑制作物根系生长，干扰农田生态平衡。该物种对牧草地与农田构成极大威胁，占据耕地后减少可利用生产面积，还会引起牲畜中毒。其快速覆盖力与高生物量特性也对光伏场区设备运维构成负担，杂草堆积于光伏场区和升压站外围，提升清障与运行成本 [3]。

3.3 替代种植的生态恢复效果评估

在云南省的西南部某光伏场区开展为期 6 个月的替代种植恢复试验，选取黑麦草作为主要替代物种，设置治理样地与未治理对照区，比较群落结构变化、土壤理化性质与紫茎泽兰控制效果。治理区面积为 2 公顷，种植密度为每平方米 80 株，观察期每月记录一次主要生态指标，统计结果如表 1：

表 1 替代种植前后主要生态指标变化对比

指标项目	治理前	治理后	对照区
紫茎泽兰株数	175 株 / 百平米	24 株 / 百平米	163 株 / 百平米
原生植物种数	11 种	17 种	12 种
土壤含水量	14.20%	17.80%	13.60%
表层土壤全氮含量	0.65 克 / 千克	0.93 克 / 千克	0.68 克 / 千克

治理样地中紫茎泽兰密度显著下降，6 个月后仅为对照区的约 1/7，说明黑麦草形成的地表封闭层有效抑制其定殖空间。原生植物种类由 11 种增至 17 种，群落多样性明显恢复，表明狗牙根为其他本地植物创造了更有利的生境。土壤含水量提高了 3.6 个百分点，全氮含量提升近 0.3 克每千克，反映出植物根系与枯落物促进了土壤结构改善与养分积累。对照区未见明显变化，紫茎泽兰仍维持高密度扩展。

4 可持续治理模式构建与实践路径

4.1 治理模式类型与关键技术

光伏区替代植物的选用标准应立足于生态竞争力、生长形态稳定性与环境适应性三方面综合权衡。在紫茎泽兰防控背景下，目标植物需具备强烈的生态位占据能力，能够在有限资源条件下快速建立地表覆盖，形成与紫茎泽兰生长空

间重叠的密植结构，抑制其种子萌发与营养器官扩张。植物株高需严格控制在光伏组件安全净空范围内，成熟阶段保持低矮状态，避免遮挡电池板有效辐射面。同时，候选物种应对高紫外辐射、低水分供给、昼夜温差大的微环境具备长期适应机制，包括叶片角度调节、根系水平拓展能力、蒸腾调控等生理特征。运维层面，种植密度、再生能力与修剪频率直接关系维护成本，选择过程中需结合区域实践数据评估其生命周期内的人力与水资源投入强度。

4.2 场景化治理路径与案例分析

在构建光伏区低矮型植被体系的过程中，兼具生态抑制功能与经济附加值的农作物成为替代紫茎泽兰的重要选项。黑麦草作为典型的禾本科植物，具备高密度丛生结构和较强抗逆性，在遮光竞争中对紫茎泽兰形成显著抑制，同时可用于饲草用途，增强土地利用效益。三七适宜于云南、四川等高海拔区域，其生长期内低矮、根系扩展力强，具有优良的药用价值，适配于光伏农业复合开发模式。茶苗在光伏间隙带或边缘区表现出良好适应性，作为多年生经济作物，可稳定根系结构，减少土壤扰动频率。黄袍（如黄花蒿等区域性作物）在贫瘠地表具有出色的自然生长能力，能建立持续覆盖。菌类种植如以林下段空间种植双孢菇、草菇等，不仅有效利用遮阴区，还提升了土地的复合利用效率。洋姜作为块茎类作物，具耐旱、耐瘠薄特性，且具备一定的能源开发潜力，在干旱光伏区表现稳定。

4.3 治理成效监测与优化机制

为系统评估治理效果与动态调整治理强度，在云南西南部光伏场治理试验中，设置标准化监测样方，定期采集群落结构、土壤理化性质和紫茎泽兰再生情况等数据，建立动态反馈机制，表 2 展示治理实施前与 6 个月后主要指标变化情况：

表 2 治理前后生态指标变化对比（边坡单元）

指标项目	治理前	治理后	对照区
紫茎泽兰株数	152 株 / 百平米	23 株 / 百平米	138 株 / 百平米
替代植被盖度	0 株 / 平方米	97 株 / 平方米	12 株 / 平方米
土壤有机质含量	12.4 克 / 千克	17.1 克 / 千克	13.2 克 / 千克
表层土壤含水量	11.80%	16.60%	12.20%

治理后紫茎泽兰株数显著下降，仅为治理前的约 1/7，表明种植构建的替代植被体系对其生境空间造成明显压制。治理区域内的混合植被形成的混合盖度达到每平方米 97 株，构成完整地表植被层，有效抑制外来物种再入侵的机会。土壤有机质含量提高 4.7 克每千克，说明枯落物与根系活动促进了土壤养分积累。含水量增加 4.8 个百分点，有助于提高微生物活性与植被再生速率。对照区基本无明显变化，验证生态替代策略的稳定性与恢复效果。

5 光伏电站效益提升与经济运维分析

5.1 光伏发电保障效益

在光伏场区生态替代治理中，低矮型草本植物的应用对发电效率的提升表现出显著效益。黑麦草植株株高稳定控制在 50 厘米以内，能够完全避免光伏组件遮挡问题，保持电池板有效受光面积，提升辐照利用率。监测结果显示，替代治理区单块组件年平均发电量较紫茎泽兰密集分布区域提高 8% ~ 12%，对应 50MW 光伏电站年增发电量约 300 万千瓦时。植被覆盖层对地表热环境调节作用显著，可在晴热条件下降低地表温度 3 ~ 5℃，减轻热积聚效应，减少组件热衰减。地表温度降低有助于维持组件运行电压稳定，长期可延长设备使用寿命 1 ~ 2 年，延缓光衰速度。

5.2 经济运维效益

在光伏生态治理体系中，经济性与运维可持续性是衡量治理成效的重要指标。采用黑麦草等本地适生草本作为替代植物后，年均运维成本约为 120 元每亩，相较紫茎泽兰高发区域需频繁修剪与除杂的模式，整体支出降低约 60%。以 1000 亩光伏场为例，年可节约运维经费约 4.8 万元，长期运行中经济效益愈加突出。黑麦草具备优质牧草特性，生物量高、营养价值丰富，可定期刈割利用，每亩年产量带来约 300 至 500 元的经济增收，形成生态防护与经济收益的双重效益格局。根系系统致密，具固土保水作用，可减少降雨侵蚀对光伏基础结构的威胁，延长支架基础使用周期。

6 结语

本研究聚焦光伏场区紫茎泽兰入侵问题，构建生态替代与可持续治理技术体系。通过筛选适宜低矮植物并开展实证试验，验证了其在抑制入侵、恢复植被、提升发电效率及降低运维成本等方面的综合优势。结合生态功能与经济价值，提出差异化配置与复合利用路径，为光伏电站生态化运维提供可行方案与理论支持。未来将持续优化治理模式，推动区域适应性提升与推广应用。

参考文献

[1] 杨俊毅,赵彩云,安峥旭,等. 长江上游宜宾区域紫茎泽兰入侵特征与多尺度防控策略[J/OL].生态学报,2026,(02):1-10[2025-10-31].

[2] 吴佳伟,王加国,李苇洁. 磷资源调控下紫茎泽兰与白刺花的竞争生长机制及养分响应[J].环境生态学,2025,7(10):114-122.

[3] 陈璐云.植物多样性抵御紫茎泽兰扩张的土壤生态化学计量特征[D].扬州大学,2025.