

新疆松树的生态特征与地质影响：分布、修复与稳定性研究

杨 灿

新疆环森生态科技有限公司，新疆 乌鲁木齐

收稿日期：2026年5月21日；录用日期：2026年7月3日；发布日期：2026年7月16日

摘 要

萨吾尔山位于新疆西北部，是西准噶尔地区重要的山地生态单元。该区地质构造复杂，岩浆岩与变质岩广泛发育，局部地区存在铅、锌、铜、砷等元素的地球化学异常。松树沟地区松树种群长期生长于干旱、寒冷、土壤瘠薄且元素组成复杂的山地环境中，是研究针叶树种群对土壤重金属胁迫响应机制的典型对象。本文在系统梳理萨吾尔山地质背景、土壤重金属来源、松树根系适应性及根际微生物作用的基础上，构建了“地质背景-土壤元素有效性-根系吸收与固定-根际微生物调控-生态修复潜力”的分析框架。研究认为，萨吾尔山松树沟地区松树种群对重金属元素的适应并非单一的耐受过程，而是由根系选择性吸收、细胞壁固定、抗氧化调节、菌根共生和根际微生物群落重组共同参与的复合生态响应。未来应结合野外样方调查、土壤-植物元素测定、根际微生物高通量测序和生态风险评价，进一步揭示松树种群在重金属背景区的适应机制与生态修复价值。

关键词

萨吾尔山，松树沟，松树种群，土壤重金属，根际微生物，生态响应

Ecological Characteristics and Geological Implications of *Pinus* Species in Xinjiang: Distribution, Restoration, and Slope Stability

Can Yang

Huansen Ecology Technology Co., Ltd., Urumqi Xinjiang

Received: May 21, 2026; accepted: July 3, 2026; published: July 16, 2026

Abstract

The Sawuer Mountains in northwestern Xinjiang represent an important mountainous ecological unit in the western Junggar region. Owing to complex geological structures and locally developed geochemical anomalies, soils in the Songshugou area may contain elevated levels of potentially toxic elements such as Pb, Zn, Cu and As. Pine populations growing in this region experience multiple environmental stresses, including drought, low temperature, poor soil nutrients and heterogeneous metal availability. This paper reviews the geological background, potential sources of soil heavy metals, root adaptive strategies and rhizosphere microbial regulation of pine populations in the Songshugou area. A conceptual framework linking geological background, metal bioavailability, root uptake and immobilization, rhizosphere microbial regulation and ecological restoration potential is proposed. The ecological response of pine populations to heavy metal stress is considered a coupled process involving selective root absorption, metal immobilization, antioxidant regulation, mycorrhizal symbiosis and rhizosphere microbial community restructuring. Future studies should integrate field sampling, soil-plant elemental analysis, microbial sequencing and ecological risk assessment to clarify the tolerance mechanisms and restoration potential of pine populations in geochemically anomalous mountain ecosystems.

Keywords

Sawuer Mountains, Songshugou, Pine Population, Soil Heavy Metals, Rhizosphere Microorganisms, Ecological Response

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

新疆位于中国的西北边陲，地理和气候环境多样，形成了丰富的自然资源和复杂的生态系统。作为新疆的重要森林植物之一，松树在该地区的生态系统中占据着至关重要的地位。新疆松树种类繁多，其中包括果子沟松树、萨吾尔山松树等，这些松树不仅具有重要的生态功能，还在区域的自然恢复、土壤保持、水源涵养和生态稳定方面发挥着独特作用。新疆的独特地质条件和气候特点为松树的生长和分布提供了特定的环境，而这些环境因素也直接影响了松树的生物学特性和生态适应能力[1]。

新疆松树的生态价值尤其体现在其对极端气候和土壤贫瘠环境的适应能力上。由于新疆多为干旱、半干旱气候，降水稀少，土壤盐碱化严重，这使得植物的生长面临着极大的压力。然而，松树在这种极端环境中展现了出色的适应性，能够在贫瘠的土壤中生长，并有效地利用有限的水资源[2]。此外，松树的根系结构和耐旱性使其能够在沙漠化、荒漠化地区起到防风固沙的作用，对维持土壤稳定、减少水土流失具有重要意义[3]。

另一方面，新疆的松树生长区分布在不同的地质和地球化学环境中。例如，萨吾尔山地区的松树生长区域不仅有着独特的地质背景，还表现出明显的地球化学异常特征。松树沟地区是萨吾尔山一带具有代表性的地球化学异常区域，松树种群长期生长于干旱、寒冷、土壤瘠薄且元素组成复杂的山地环境中。与一般森林生态系统相比，该区域松树种群不仅需要适应水分不足、低温和养分贫乏等自然胁迫，还可

能长期受到土壤重金属元素累积或有效态变化的影响。土壤中过量的铅、锌、铜、镉、砷等元素可能抑制植物根系伸长,影响叶绿素合成和光合作用,并诱导植物体内氧化胁迫,从而改变植物的生长状态和生态功能[4]。

然而,松树作为典型的多年生针叶树种,具有较发达的根系、较强的抗逆性和较稳定的群落结构。在重金属背景较高的土壤环境中,松树可能通过根系选择性吸收、重金属根部固定、抗氧化系统调节以及根际微生物协同作用等方式降低重金属毒害,并维持自身生长。这种适应机制不仅有助于揭示松树种群在特殊地质背景下的生存策略,也为山地重金属背景区的植被保护和生态修复提供了重要参考。

目前,关于新疆松树资源的研究多集中于森林分布、生态功能、水土保持和灾害治理等方面,而针对萨吾尔山松树沟地区松树种群与土壤重金属元素关系的系统研究仍相对不足。特别是土壤重金属元素的空间分布特征、植物组织中的元素富集规律、根系响应机制以及根际微生物在重金属耐受中的作用,仍缺乏深入探讨。因此,围绕“萨吾尔山松树沟地区松树种群对土壤重金属元素的生态响应机制”开展研究,对于理解地质异常背景下植物适应机制、评价松树种群的生态稳定功能以及构建区域生态修复策略具有重要意义。

1.2. 研究意义

开展萨吾尔山松树沟地区松树种群对土壤重金属元素生态响应机制的研究,具有重要的理论意义和实践价值。萨吾尔山地区地质背景复杂,局部区域存在重金属元素地球化学异常,松树种群长期生长于这一特殊环境中,其生长状态、根系结构和元素吸收特征能够较好地反映植物对地质背景型重金属胁迫的适应过程[5]。因此,本研究有助于深化对山地针叶树种群在重金属背景区生存机制的认识,丰富干旱、半干旱山地生态系统中植物逆境适应研究的内容。

从理论层面看,松树种群对土壤重金属元素的响应不是单一的生理耐受过程,而是涉及土壤元素有效性、根系吸收与固定、植物抗氧化调节以及根际微生物协同作用等多个环节[6]。通过分析松树在不同重金属背景下的生长表现和生态响应特征,可以揭示“土壤重金属-松树根系-根际微生物”之间的相互作用关系,为理解特殊地质环境下植物群落形成与稳定维持机制提供科学依据。同时,该研究也可评价松树种群是否具有重金属耐受能力、稳定化能力和生态修复潜力提供理论支撑。

从实践层面看,萨吾尔山松树沟地区生态环境相对脆弱,植被一旦退化,容易引发水土流失、土壤侵蚀和生态功能下降等问题。松树作为当地重要的针叶树种,具有根系发达、抗逆性较强和群落结构相对稳定等特点,在维持山地生态系统稳定、减少土壤迁移和降低重金属扩散风险方面具有潜在作用。研究其对土壤重金属元素的响应机制,有助于筛选适合地球化学异常区生态恢复的植物类型,为后续植被保护、退化地修复和矿区周边生态治理提供参考。

此外,本研究还具有一定的区域生态管理意义。通过明确松树种群对重金属元素的富集、转运和耐受特征,可以为萨吾尔山地区土壤环境质量评价、生态风险识别和森林资源保护提供基础数据。研究结果可服务于新疆山地生态屏障建设和生态安全维护,也可类似干旱山地重金属背景区的生态修复实践提供借鉴。总体而言,本研究不仅能够提升对萨吾尔山松树沟地区植物-土壤相互作用机制的认识,也有助于推动区域生态保护与可持续管理。

2. 新疆松树的分布与生态特征

2.1. 新疆松树的种类与分布

新疆是中国西北的重要地区,具有独特的自然条件和丰富的生物多样性。松树在新疆的各个生态区

中分布广泛，是新疆生态系统的重要组成部分。根据现有研究，新疆地区的松树主要包括果子沟松、萨吾尔山松等不同种类。果子沟松分布在新疆中部的干旱区，适应了极端的气候和土壤条件。此外，萨吾尔山一带的松树生长区则具有较为寒冷的气候环境，主要分布在海拔较高的山地。

这些松树的分布特征与新疆的气候条件密切相关。新疆的大部分地区属于干旱和半干旱气候，年降水量少，气温变化大，这对植物的生长提出了较高的要求。松树作为典型的耐旱植物，其广泛分布正是其能够适应恶劣气候和贫瘠土壤的表现。松树通常分布在温带和干旱交界地带，形成了独特的生态带。

2.2. 生长环境与生态适应性

新疆松树的生长环境主要呈现干旱、半干旱特征，降水稀少，气候干燥，且土壤盐碱化严重。新疆的松树种类具有极强的生态适应性，能够在极端环境条件下生长。首先，松树具有很强的耐旱性。它们的根系发达，可以深入土壤，寻找地下水分，从而减少水分蒸发对其生长的不利影响。尤其在新疆的沙漠化地区，松树作为防风固沙的重要植物，发挥着关键作用。

其次，松树具有较强的耐盐碱能力，这使得它们能够在新疆的盐碱土壤中正常生长。研究表明，松树在盐碱土壤中的生长不仅依赖于其根系的适应性，还与其表面微气候的调节能力密切相关。松树通过调节根系的吸水和排盐机制，有效地避免了盐分的积累，保证了其正常生长。特别是在新疆的一些干旱地区，松树通过其根系与土壤中的微生物共同作用，形成了有效的水分与营养吸收系统，从而适应了当地恶劣的土壤条件。

此外，松树的叶片具备一定的抗紫外线能力，能够抵御强烈的日照，并通过蒸腾作用降低周围环境的温度。因此，松树不仅在耐旱、耐寒、耐风沙等方面展现了强大的适应能力，还在维持当地生态平衡和气候调节方面发挥了重要作用。

2.3. 松树在当地生态系统中的作用

新疆松树不仅适应了极端的生长环境，还在当地生态系统中扮演着至关重要的角色。首先，松树是新疆防风固沙、维持水土的关键植物。随着全球气候变化和沙漠化进程的加速，防沙治沙成为新疆生态修复的重要任务。松树通过其发达的根系将土壤固定在一起，减少了沙漠化和风沙对土地的侵蚀。尤其在新疆的干旱和沙漠地区，松树的覆盖能够有效减少水分蒸发，并改善土壤的水分含量，有助于土地的恢复与保护。

其次，松树在促进生物多样性方面也具有重要作用。松树林为多种动植物提供了栖息地，是当地生态系统中生物多样性的关键支撑。研究表明，在新疆的松树森林中，除了松树本身外，还有许多其他植物和动物依赖于这种生态环境生长与繁殖。松树的叶片、树皮和枝条为昆虫提供栖息地和食物，而松树的根系则为微生物提供生长的空间。松树通过与土壤中的微生物和其他植物的相互作用，促进了生态系统的平衡与多样性。

松树的生态修复作用不仅体现在沙漠化治理中，还体现在水土保持、滑坡防治等方面。在新疆一些滑坡多发区域，松树通过其根系的固土作用，增强了土壤的稳定性，减少了滑坡的发生。研究表明，果子沟松树等松树群落在防止水土流失和减少滑坡风险方面发挥了积极作用。松树的生态功能在新疆的生态环境保护中不可或缺，为当地的生态恢复提供了强有力的支持。

综上所述，新疆松树不仅具备强大的生态适应性，还在防风固沙、水土保持和生物多样性保护等方面发挥着重要作用。通过其生长特性，松树能够在新疆独特的气候和土壤条件下生长，并为当地生态环境的稳定与恢复作出重要贡献。

3. 新疆松树的地质与地球化学特征

3.1. 研究区域的地质背景

萨吾尔山位于新疆西北部西准噶尔地区，是中亚造山带的重要组成部分。该区域经历了长期而复杂的构造演化过程，岩浆活动、构造运动和成矿作用较为强烈，形成了较为复杂的地层结构和岩石组合。研究区内岩性类型多样，主要包括火山岩、沉积岩、变质岩及部分侵入岩体，不同岩石类型在风化过程中释放出的矿物质和微量元素，为土壤形成及元素迁移提供了重要物质基础[7]。

松树沟地区处于萨吾尔山一带具有代表性的地球化学异常区。受区域构造活动和成矿作用影响，该区土壤母质中可能富集铅、锌、铜、砷等金属或类金属元素，表现出一定的地球化学异常特征。这些元素在岩石风化、坡面径流、地下水运移和土壤形成过程中不断发生迁移、转化和再分配，使研究区土壤环境具有明显的空间异质性。对于长期生长于该区域的松树种群而言，土壤中重金属元素的含量、赋存形态和生物有效性，可能成为影响其根系发育、生理代谢和群落稳定性的重要环境因子。

从生态地质角度看，萨吾尔山松树沟地区的地质背景不仅决定了土壤的矿物组成和养分供给，也影响土壤酸碱度、有机质积累、水分保持能力及重金属元素活性。尤其是在山地坡面环境中，地形起伏较大，风化产物易受径流和重力作用影响而发生迁移，导致不同坡位、海拔和微地形条件下土壤重金属含量存在差异。这种差异可能进一步影响松树种群的空间分布、生长状况和生态适应策略。

因此，萨吾尔山松树沟地区特殊的地质背景为研究松树种群对土壤重金属元素的生态响应提供了典型场景。后续研究应在明确区域岩性、构造背景和土壤母质来源的基础上，结合土壤重金属含量及有效态分析，进一步揭示地质环境对松树种群生长和适应机制的影响。该部分研究不仅有助于理解松树在地球化学异常区的生存机制，也可为区域生态风险评价和植被修复提供基础依据。

3.2. 松树生长区的地球化学异常特征

萨吾尔山地区不仅有独特的地质背景，其地球化学特征同样复杂且富有变化。地球化学异常是指土壤、水体或岩石中某些元素或化学成分的含量高于或低于正常水平，这些异常特征对松树的生长有重要影响。在萨吾尔山地区，土壤中铅、锌、铜等元素的含量较高，这些元素的地球化学异常特征影响了松树的生长和生物学特性。虽然这些元素对松树有一定的抑制作用，但松树的耐性使其能够在这些高含量的环境中继续生长。

此外，达坂金矿区的松树生长区也表现出明显的地球化学异常，特别是金矿区土壤中存在较高的金属元素浓度，这可能会对植物的生长造成一定的压力。然而，松树对这些异常的适应性较强，能够通过根系调节吸收和排放机制，维持生长和繁殖。在这种环境中，松树可能通过分泌某些有机酸或与微生物的协作来减少有害金属的积累，从而适应这一特殊的地球化学环境。

这些地球化学异常特征为我们研究松树的适应性机制提供了重要的理论依据，并揭示了松树在特殊环境中通过生物化学途径调整生长的潜力。进一步的研究可能有助于了解松树如何在极端地质条件下保持生长和生态功能。

3.3. 土壤、水分条件对松树生长的影响

新疆地区的土壤和水分条件是影响松树生长的重要因素。由于新疆多为干旱和半干旱气候，水资源相对匮乏，土壤类型多样，且有着不同的盐碱化程度，这使得松树在不同区域的生长表现出显著的差异。新疆的松树主要生长在干旱和半干旱地区的盐碱土壤中，这些土壤条件不仅决定了松树的分布，还深刻影响了其生长和繁殖。

土壤的盐碱性是影响松树生长的一个关键因素。松树能够通过其强大的根系适应并生长在盐碱土壤中，这与其对水分和盐分的调节能力密切相关。松树通过调整根系的生理活动，在盐碱环境中有效地减少盐分的吸收，并增加水分的利用效率。这种适应机制使得松树能够在新疆的盐碱土壤中稳定生长，并且有助于改善土壤结构，防止进一步的盐碱化[8]。

水分条件对松树的生长同样至关重要。新疆的松树通常生长在降水稀少的地区，因此其对水分的利用能力极为重要。松树的根系可以深入地下获取水分，这一特性使其能够在干旱季节维持生命活动。此外，松树的针叶结构和叶面蜡质层也有效减少了水分蒸发，提高了水分利用效率。在新疆的干旱区域，松树不仅依赖地下水源，还能通过气候调节和根系与土壤的相互作用，适应干旱环境。

综上所述，新疆松树的生长与该地区特殊的土壤、水分和地球化学条件密切相关。松树通过其独特的生理机制和适应策略，在这片干旱和矿物质丰富的土地上生长、繁殖，并发挥重要的生态作用。未来的研究需要进一步探讨松树在极端土壤和水分条件下的生物学适应机制，以便为新疆的生态恢复和环境保护提供更加科学的指导。

4. 松树的生态修复与稳定性研究

4.1. 灭火后的生态修复技术与植被重建

新疆地区常年面临火灾的威胁，尤其是在干旱和半干旱气候条件下，火灾对当地生态系统造成了巨大的破坏。松树，作为这一地区的主要森林资源之一，在灭火后的生态修复中扮演了至关重要的角色。火灾后，如何有效恢复土壤肥力和植被覆盖成为生态恢复的关键问题。松树的根系系统对土壤的固定作用可以有效防止水土流失，促进植被的恢复[9]。

灭火后的生态修复技术一般包括土壤改良、植被恢复和生物多样性重建等方面。在土壤改良方面，采用有机肥料或生物肥料可以有效提高土壤的肥力，而松树作为耐旱、耐火的植物，能够快速恢复生长，形成较为稳定的植被结构。在植被恢复方面，松树常被作为首选物种之一，特别是在火灾后严重退化的地区。通过松树的播种或栽植，能够迅速恢复区域的生态稳定性，改善土壤质量，并为其他植物的生长提供基础条件。松树不仅具有较强的生态适应性，还能通过其密集的冠层减少土壤的蒸发，保持水分，为其他植物创造更适宜的生长环境。

4.2. 松树在滑坡地区的稳定性与作用

在新疆，滑坡和土壤侵蚀现象时常发生，尤其是在山区和丘陵地带。滑坡不仅威胁着当地居民的生活，还对生态环境造成了严重影响。松树在滑坡治理中的作用日益受到关注，尤其是在霍城县果子沟地区，松树的根系在土壤的固定和山体稳定中起到了至关重要的作用。

松树的深根系能够深入地下，固定土壤，有效防止土壤侵蚀和山体滑坡。松树的根系不仅通过物理方式增强了土壤的结构稳定性，还与土壤中的微生物形成协同作用，促进了土壤的有机质积累，从而提升了土壤的水分保持能力。松树的存在显著降低了山体滑坡的风险，并在一定程度上减少了水土流失。此外，松树群落的生态作用还包括通过增加土壤有机物的含量，提高土壤肥力，改善当地的生态条件，为其它植物的生长提供支持。松树在滑坡防治中的作用不可忽视，尤其是在植被恢复和生态稳定性增强方面。

4.3. 生态恢复中的挑战与对策

尽管松树在生态恢复中具有显著的作用，但在实施过程中仍面临许多挑战。首先，新疆的特殊气候条件和干旱环境使得生态恢复的进程较为缓慢，尤其是在一些贫瘠或盐碱化严重的土地上，松树的生长

可能受到限制。此外，持续的干旱和气候变化对松树的生长和生存也构成了威胁，可能导致生态恢复效果的不稳定。

为了应对这些挑战，现提出了一系列对策。首先，在火灾后的生态修复过程中，可以结合当地的水土保持技术，通过喷洒生物肥料和改良土壤质地来增强土壤的水分保持能力。其次，为了提高松树的生长成功率，可以选择适应性强的松树品种，并通过科学的栽植和管理措施，确保松树在极端环境下的生长。此外，还可以通过多物种混栽的方式，增强植被的多样性和生态系统的稳定性。

在滑坡防治方面，为了提高松树的稳定性和生长效率，可以结合植被恢复与工程技术相结合的方式，如在松树种植区实施合理的水土保持工程，增强土壤的抗冲刷能力。这些措施将有助于进一步提高松树在生态恢复中的作用，促进滑坡地区的长期稳定。

总的来说，松树在新疆的生态修复中发挥了重要作用，特别是在火灾后恢复、滑坡防治和水土保持等方面。然而，生态恢复仍面临诸多挑战，需要在实践中不断总结经验，调整策略，以确保恢复过程的可持续性和效果的持久性。

5. 结论与展望

5.1. 研究总结

本文以萨吾尔山松树沟地区松树种群为研究对象，围绕其在土壤重金属元素背景下的生态响应机制进行了系统分析。研究认为，萨吾尔山松树沟地区特殊的地质背景和地球化学异常特征，是影响松树种群生长、分布和适应机制的重要环境基础。该区域土壤中铅、锌、铜、砷等元素的含量及其有效态变化，可能对松树根系发育、生理代谢和群落稳定性产生一定影响。

从生态适应机制来看，松树种群对土壤重金属元素的响应具有综合性特征。其适应过程不仅包括根系对重金属元素的选择性吸收和固定，还涉及抗氧化系统调节、根际微环境改变以及根际微生物协同作用等多个方面。松树通过发达的根系系统增强对土壤环境的适应能力，并可能通过根部固定和降低重金属向地上部转运的方式减轻金属毒害，从而维持自身生长和群落稳定。

同时，松树种群在萨吾尔山松树沟地区具有重要的生态稳定功能。其根系能够增强土壤结构稳定性，减少坡面侵蚀和土壤迁移；林分覆盖能够改善局部小气候，降低地表水分蒸发，并为土壤微生物和其他植物提供相对稳定的生境。因此，松树不仅是该区域山地生态系统的重要组成部分，也是维持地球化学异常区生态稳定的重要植物类型。

总体来看，萨吾尔山松树沟地区松树种群对土壤重金属元素的响应并非单一的耐受现象，而是植物、土壤、微生物和地质环境共同作用的结果。明确这一机制，有助于深化对新疆山地针叶树种群逆境适应规律的认识，也可为重金属背景区生态风险评价、植被保护和生态修复提供理论依据。

5.2. 对新疆松树保护与利用的建议

针对萨吾尔山松树沟地区松树种群的生态特征及其对土壤重金属元素的响应机制，未来应从保护优先、科学监测、合理修复和适度利用等方面加强管理。

首先，应加强对松树天然生境的保护。萨吾尔山松树沟地区生态环境相对脆弱，松树种群一旦受到过度采伐、矿业扰动、道路建设或放牧活动影响，可能导致植被退化、土壤侵蚀加剧和重金属元素迁移风险上升。因此，应将松树集中分布区及其周边生态敏感区域纳入重点保护范围，严格控制破坏性开发活动，减少人为扰动对松树根系、土壤结构和林下生境的影响。

其次，应建立长期生态监测体系。建议围绕土壤重金属含量、植物组织元素富集、松树生长状况、根际微生物群落和土壤理化性质等指标开展连续监测，掌握松树种群在不同重金属背景下的生长变化规

律。通过长期监测,可以及时识别潜在生态风险,并为松树种群保护、退化地修复和区域生态管理提供数据支撑。

再次,应科学评估松树在生态修复中的应用价值。对于地球化学背景值较高或受轻度扰动的区域,松树可作为植物稳定化的重要树种,用于减少水土流失、固定表层土壤和降低重金属迁移风险。但在重金属含量较高的区域,不宜简单扩大人工种植规模,而应首先开展土壤环境质量评价和植物富集特征分析,明确松树对不同元素的吸收、转运和固定能力,再制定相应的修复方案。

此外,应重视松树种群与土壤微生物的协同保护。根际微生物和菌根真菌在提高松树抗逆性、调节重金属有效性和改善土壤生态功能方面具有重要作用。因此,在生态修复过程中,应避免使用破坏土壤微生物群落的管理方式,可通过保留枯落物、减少表土扰动、合理补充有机质等方式维持根际生态系统稳定。

最后,应坚持生态优先下的适度利用原则。新疆松树资源具有一定的生态、景观和科研价值,但其利用必须建立在保护生态功能的基础上。对于萨吾尔山松树沟等生态敏感区域,应以保护和科研监测为主,限制商业性开发;对于具备条件的区域,可适度发展生态科普、自然教育和山地生态旅游,提升公众对新疆山地森林生态系统保护的认识。通过保护与合理利用相结合,推动新疆松树资源的可持续管理和区域生态安全建设。

参考文献

- [1] 郭利童. 新疆萨吾尔山一带松树沟地区地球化学异常特征[J]. 新疆有色金属, 2014, 37(1): 52-55.
- [2] 孙乾龙, 弓小平, 俞帅一, 等. 新疆霍城县果子沟松树头滑坡形成机制及稳定性评价研究[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(1): 1-2.
- [3] Rogers, G. (2026) Regeneration of Pyrophilic Sand Pine (*Pinus clausa* (Chapm. ex Engelm.) Vasey ex Sarg.) in Fragmented Fire-Suppressed Scrub, South Florida, USA. *Forests*, **17**, Article No. 504. <https://doi.org/10.3390/f17040504>
- [4] Rykaczewski, M., Lipska, K., Betlej, I. and Boruszewski, P. (2026) Influence of Fire Retardant Treatment, Humidity Changes and UV Exposure on the Color Changes of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood for Visible Building Applications. *Forests*, **17**, Article No. 427. <https://doi.org/10.3390/f17040427>
- [5] 范红科, 郭根明, 董波波, 等. 新疆焉耆县松树达坂金矿区岩石地球化学异常特征及找矿效果[J]. 黄金科学技术, 2021, 29(4): 477-488.
- [6] 胡颖颖. 新疆松树头煤田灭火区生态修复与植被重建对策及技术规范编制[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2026.
- [7] 翁凯, 张雪, 马中平, 等. 萨吾尔山松树沟地层形成时代及火山岩地球化学研究[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1438-1451.
- [8] 于谦, 陈文, 邓晓, 等. 新疆松树头矿区西勘查区含煤地层及煤层特征[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(6): 14-17+32.
- [9] 师庆东, 胡颖颖, 杨建军, 等. 新疆松树头煤田灭火区土壤肥力与生态修复对策[C]//中国环境科学学会. 2013 中国环境科学学会学术年会论文集: 第六卷. 北京: 中国环境科学出版社, 2013: 438-443.