

# 无人机在高山草甸植被破坏的研究

## ——以某高山草甸为例

唐文泰, 赵男\*, 刘创创

中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊

收稿日期: 2023年4月17日; 录用日期: 2023年5月20日; 发布日期: 2023年5月29日

### 摘要

随着人类活动对山地自然生态环境影响的加剧, 山地植被正经历着前所未有的破坏, 许多山地生态系统服务功能不断衰减, 为实现山地生态系统的可持续发展, 需要及时开展山地植被保护与修复。在此背景下, 高山草甸作为典型的山地植被类型, 其植被结构复杂、物种多样性高、稳定性强、生态功能重要, 在生态修复中具有较高的研究价值。然而, 受多种因素的影响, 高山草甸面临着生境破碎化、退化等诸多问题。因此, 本研究选取高山草甸作为研究对象, 采用无人机航拍技术对其植被破坏情况进行实时监测与评估。同时通过实地调查、野外采样等方式获得草地植被破坏状况, 并分析其影响因素。研究表明造成草甸退化可能的原因主要为自然环境影响、景区游客踩踏、村民过度放牧。本文针对某高山草甸草地退化的具体情况, 采用近自然修复(封育、禁牧等)和人工促进修复(松耙、补播适宜的优良草种、施肥、鼠害监控和防治等)相结合的方式对草地退化修复方案, 提出应对和改良措施建议意见。研究结果可为高山草甸的保护和修复提供科学依据。

### 关键词

无人机, 高山草甸, 草地退化, 生态修复

# Drone Research on Vegetation Destruction in Alpine Meadows

## —Taking an Alpine Meadow as an Example

Wentai Tang, Nan Zhao\*, Chuangchuang Liu

Langfang Center for General Survey of Natural Resources, CGS, Langfang Hebei

Received: Apr. 17<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 20<sup>th</sup>, 2023; published: May 29<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者。

## Abstract

With the intensified impact of human activities on the natural ecological environment of mountains, mountain vegetation is experiencing unprecedented damage and many mountain ecosystem service functions are decaying, in order to realize the sustainable development of mountain ecosystems, timely conservation and restoration of mountain vegetation is needed. In this context, alpine meadows, as a typical mountain vegetation type with complex vegetation structure, high species diversity, high stability and important ecological functions, have high research value in ecological restoration. However, influenced by many factors, alpine meadows face many problems such as habitat fragmentation and degradation. Therefore, in this study, alpine meadows were selected as the research object and their vegetation destruction was monitored and evaluated in real time by using unmanned aerial photography technology. At the same time, field surveys and field sampling were used to obtain the status of meadow vegetation destruction and analyze its influencing factors. The study shows that the main causes of meadow degradation are natural environmental impact, trampling by tourists in scenic spots, crushing by wind power construction vehicles and grazing by villagers. In this paper, we adopt the combination of near-natural restoration (sealing, grazing ban, etc.) and artificial promotion restoration (pine harrowing, replanting suitable good grass seeds, fertilization, rodent monitoring and control, etc.) to carry out the meadow degradation restoration program in response to the specific situation of meadow degradation in an alpine meadow. Suggestions for response and improvement measures are proposed. The research results can provide scientific basis for the conservation and restoration of alpine meadows.

## Keywords

UAV, Alpine Meadow, Degradation of Grassland, Ecological Restoration

Copyright © 2023 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

我国是世界上牧草种类最多、分布最广、产量最高的国家之一，在我国，人工草地主要包括人工草地、天然草甸草原和人工草甸三种类型(Fawcett, Dominic [1]等)，草地植被对生态系统的正常平稳运行有着至关重要的影响(Gao, JL (Gao, Jinlong) [2]等)。我国草地资源丰富，草地总面积将近 3.92 亿公顷，位居世界第二(Alessandra Capolupo [3]等)。草地是陆地生态系统中最重要的碳源与碳汇，在维持生物多样性与调控全球碳循环等方面发挥着关键作用(Iqbal, Z. [4]等)。无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)遥感技术是近年来在国内发展起来的非高空遥感技术，以高灵活性、高时效性、高分辨率、云下飞行等多方面优势使其广泛应用在草地或草地的生态研究中(郁尚钊[5]等，2020)。研究发现可以利用无人机来对牧草进行监测管理，研究者认为无人机作为一种低成本工具，相较于传统地面的数据采集方式是极富有优势的；利用小型无人机可以识别高山草甸地区大范围内的啮齿类动物的生存分布(宜树华[6]等，2016)；利用无人机遥感可以进行鼠洞数量的监测(张涛[7]等，2022)，该种方式迅速、精准且可以高效率汇总，极大减轻了人工监管并检测的成本，因此高效地监测鼠虫害的出现；利用无人机在青藏高原东部地区进行牦牛的密度监测估，有效减少人工成本；在青藏高原中部高海拔地区利用无人机研究植被贴片模式的特点，

并进行评估；利用无人机在甘南藏族自治州进行无人机预测生物量与物种多样性的长期协同监测研究；在甘南藏族自治州地区使用便携无人机取得的地表大块草地植被的覆盖程度数据与传统方法得到的小样方数据进行比较，二者有着较高的相关性；在内蒙古呼伦贝尔草地中部地区利用无人机数据及最大熵-遗传算法对于植被盖度和生物量进行估算(刘艳慧[8]等，2018)，并取得了良好效果；利用无人机跟踪拍摄大型畜群活动区域(邵全琴[9]等，2018)，可以进行评估草地各区域的相对放牧强度；根据无人机数据可以进行草地植被高度的估测，通过自主研发的无人机航拍模式获取的图像可以生成点云，从而建立冠层高度模型；利用无人机监测平台和决策树算法在高空获取不同的植被类型信息(胡降临[10]等，2022)，其结果证明准确度较高；在美国新墨西哥州试验基地中，利用无人机以及激光雷达对土壤养分以及植被进行检测，证实有可行性并有较好的结果，但是借助于无人机技术在单一的可见光波段对牧草品质的预测技术尚待研究。

高山草甸作为山地典型植被类型之一，主要分布在高海拔地区(苗春丽[11]等，2022)。其具有生态系统功能完整、物种丰富、生产力高、生物多样性高等特性(赵昌亮[12]等，2022)，在维护区域生态平衡和生态安全方面具有重要意义。然而，高山草甸生态系统服务功能逐渐衰退甚至消失等问题的存在严重影响着山地植被的健康发展和区域经济社会的可持续发展(张新时[13]等，2016)。高山草甸退化现象已经较为普遍且严重，尤其是高寒草甸退化问题较为严重(张骞[14]等，2019；张乐乐[15] 2016)。从20世纪50年代开始，在高寒草甸区开展了大量的人工草地建设工程(徐冉[16] 2019)，然而由于受到人为因素的影响，高山草甸植被盖度迅速下降并出现大面积退化现象(米莹[17] 2018；陈文年[18] 2022)。同时随着人类活动强度和强度的不断增加，山地植被结构和功能也发生了明显变化。

为探索高山草甸植被的破坏与修复问题，对国内外学者近年来在无人机领域相关研究进行调研的基础上，国内外大部分的实验研究均有一定针对性和专业性，但在部分领域还没有进行相关系统的研究，在高山草甸的研究多是单一的牧草监测或动物监测。本研究选取某高山草甸为研究对象，采用无人机航拍技术对其植被破坏情况进行监测与评估，从气候环境、海拔高度、放牧强度和风力发电建设等方面对高山草甸植被破坏与修复问题进行了分析，并指出了本研究中的不足，为进一步开展相关研究工作提供参考，以促进我国高山草甸植被的恢复与重建。本文研究可为生态修复和保护提供一定参考价值，同时通过实地调查、野外采样等方式获得草地植被破坏状况，并分析其影响因素，研究成果可为高山草甸的保护和修复提供科学依据。

## 2. 研究区域概况和研究方法

### 2.1. 研究区域概况

某高山草甸位于沁源县西北部(见图1)，是沁源县一处著名风景区。这里平均海拔有2500米，是太岳山的主峰之一，具有高原气候特征。山顶坡度平缓，林木稀少，遍地生长着矮草类高山植物，是天然的优良牧场。每年春、夏、秋三个季节，各种草花适时盛开，五颜六色，犹如花的海洋。以蔓上草地为中心，旅游面积一万余亩，属山西屈指可数的典型亚高山草甸之一，草甸类型可与五台山媲美，旅游区内花草种类达120余种，享有“天然花园”之美誉。山顶坡度平缓，林木稀少，遍地生长着矮草类高山植物，是天然的优良牧场。

### 2.2. 无人机参数及图像获取

基于无人机平台的可见光技术监测高寒草甸牧草退化研究，本次执行任务飞机为大疆M300RTK多旋翼无人机，飞机的基本性能参数和挂载相机的参数(见表1)所示。

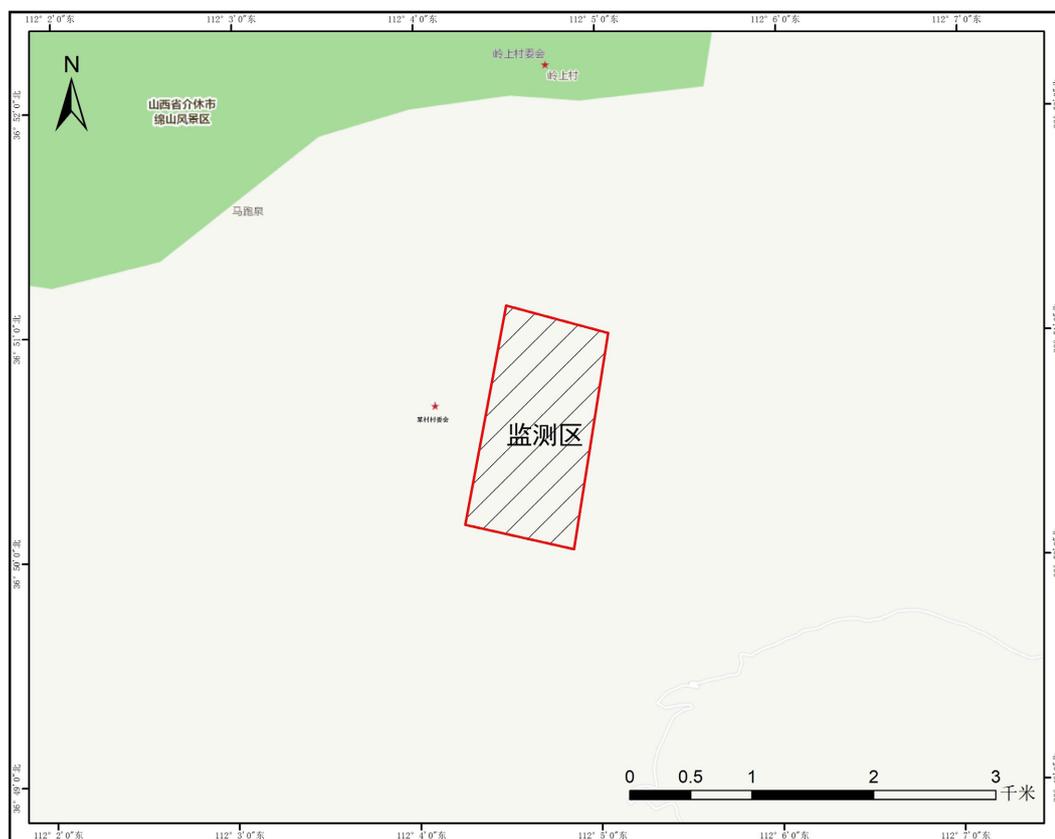


Figure 1. Location map of an alpine meadow  
图 1. 某高山草甸位置图

Table 1. UAV parameters  
表 1. 无人机参数

飞机基本性能参数		挂载相机参数	
尺寸(展开)	810*670*430 mm	相机型号	DJI P1
最大起飞重量	9 kg	传感器尺寸	24 × 35.9 mm
最大巡航速度	23 m/s	像元大小	4.4 um
抗风能力	7 级风	镜头像素	4500 万
最大飞行时间	55 min	最小拍照间隔	0.7 s
RTK 水平精度	1 cm ± 1 ppm	图像尺寸	3:2

航拍工作开始前, 根据监测区域范围, 布设控制点, 并规划飞行航线。实地飞行时考虑风速风向, 起降时选择逆风方向, 风速大时根据飞机抗风性能考虑是否取消航拍任务。本次航测任务无人机飞行相对航高设为 400 m; 测区对应的地面分辨率为 5.02 cm; 旁向重叠度: 70%; 航向重叠度: 80%; 单架次无人机飞行时间不超过 30 分钟, 共布设 2 架次。

在使用无人机获取可见光图像时应注意以下事项: 光照强度、无人机飞行速度、配置相机参数均会影响平均像素亮度值的大小, 在上述因素中, 无人机飞行速度、可见光相机参数是可以经过人为调控进

行把控的，所以在设置好适合的无人机参数后，这些数据在试验期间不应该改动；不可控影响因素中最为重要是光照强度，在某高山草甸地区主要受太阳高度角影响。为保证航拍日期之间的太阳高度角是一致的，应当选择在当地同一时段即 11:00~13:00 进行拍摄，后期对季节之间的正午太阳高度角差异带来的误差进行矫正。

### 2.3. 无人机航测成果

本次任务利用大疆智图软件进行航拍照片的处理，生成正射影像。处理的主要流程包括导入影像及 pos 数据、一键空中三角测量、影像纠正、兴趣区域建模、重建正射影像图。导入航拍照片(包含 pos 信息)后得到相机位置信息。一键空中三角测量后可生成全景图以检查航拍照片的质量，此时照片的定位可能存在误差，需要刺入实测的控制点进行空三优化。标定控制点后进行控制点测算，然后基于控制点信息对影像进行纠正。影像纠正完毕后进行兴趣区域建模、重建正射影像图(见图 2)。

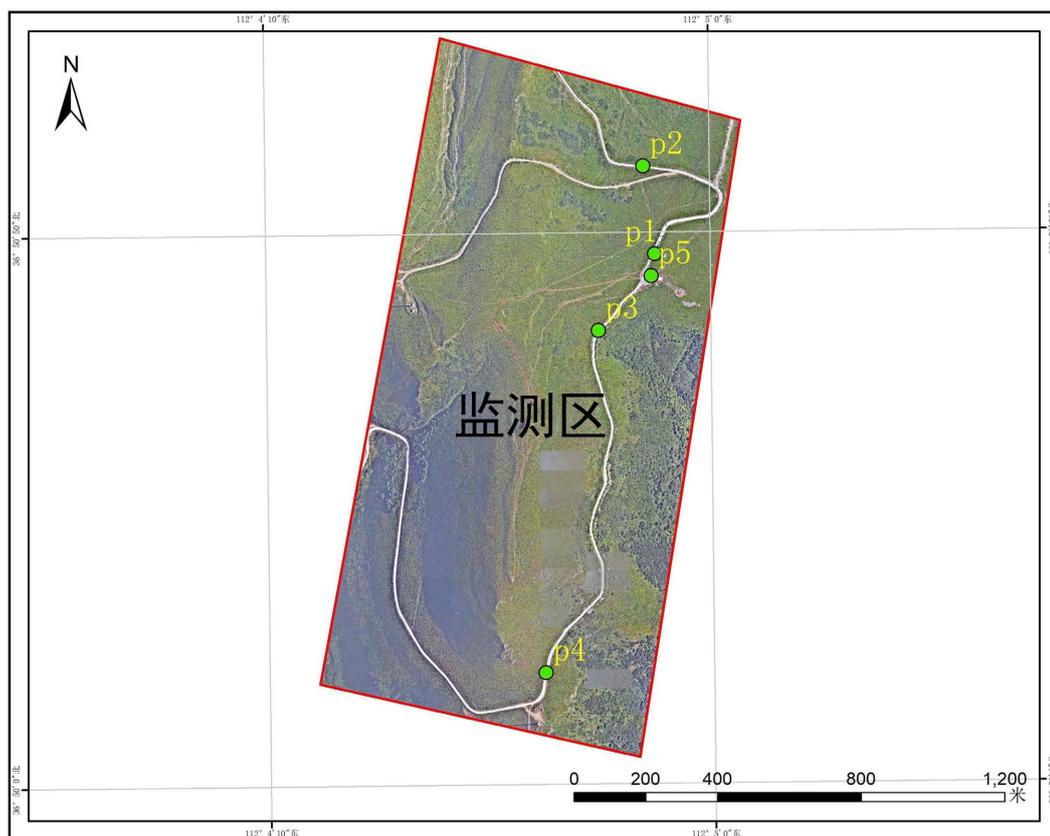


Figure 2. Reconstructed orthophoto image  
图 2. 重建正射影像图

## 3. 监测结果与分析

### 3.1. 监测区自然资源现状分布

在完成了湟源县的某高山草甸植被破坏面积和程度的遥感监测后，对研究区进行了详细调查，并根据调查结果对退化草甸的恢复过程进行了初步分析。主要采用无人机航拍技术和地面调查相结合的方法，从不同角度获取了不同时段草甸植被破坏情况，并分析了影响草甸植被破坏的因素。

本次航拍任务监测区面积共计 1.61414 km<sup>2</sup>, 根据解译特征, 共解译地物种类 6 种, 分为草地、公路、土路、景区建筑、景区道路及风车(见图 3)。其中草地面积为 1574213.69 m<sup>2</sup>, 色调为墨绿色, 特征是纹理平滑, 呈片状。公路面积为 27794.68 m<sup>2</sup>, 色调为灰白色, 特征是纹理较平滑, 成条带状分布, 边缘清晰可见。土路面积 7762.19 m<sup>2</sup>, 色调为灰褐色, 特征是纹理较粗糙, 呈条带状分布, 边缘清晰可见。景区建筑面积 1476.87 m<sup>2</sup>, 色调为红褐色, 特征是纹理清晰, 整体呈片状或块状, 可见清晰砖墙结构。景区道路面积 1949.67 m<sup>2</sup>, 色调为红褐色, 特征是纹理粗糙, 呈条带状分布, 可见清晰木制条纹。风车面积为 458.03 m<sup>2</sup> 色调为灰白色, 特征是纹理粗糙, 呈点块状, 附近可见长条状阳光投影。



Figure 3. Map of land use types in the monitoring area

图 3. 监测区土地利用类型图

### 3.2. 监测解译分析

在完成了某高山草甸植被破坏面积和程度的遥感监测后, 对研究区进行了详细调查, 并根据调查结果对退化草甸的恢复过程进行了初步分析。主要采用无人机航拍技术和地面调查相结合的方法, 从不同角度获取了不同草甸植被破坏情况, 并分析了影响草甸植被破坏的因素。通过对监测区正射影像图的解译, 发现由于自然和人为因素的影响, 监测区部分地区草地出现退化现象(见图 4), 草地退化总面积约 8348.37 m<sup>2</sup>, 自然因素导致的草地退化约 41.65 m<sup>2</sup>; 人为因素导致的草地退化约 8306.71 m<sup>2</sup>, 其中人车碾压导致的草地退化约 848.03 m<sup>2</sup>, 景区建设导致的草地退化约 589.58 m<sup>2</sup>, 修建道路导致的草地退化约 379.74 m<sup>2</sup>。

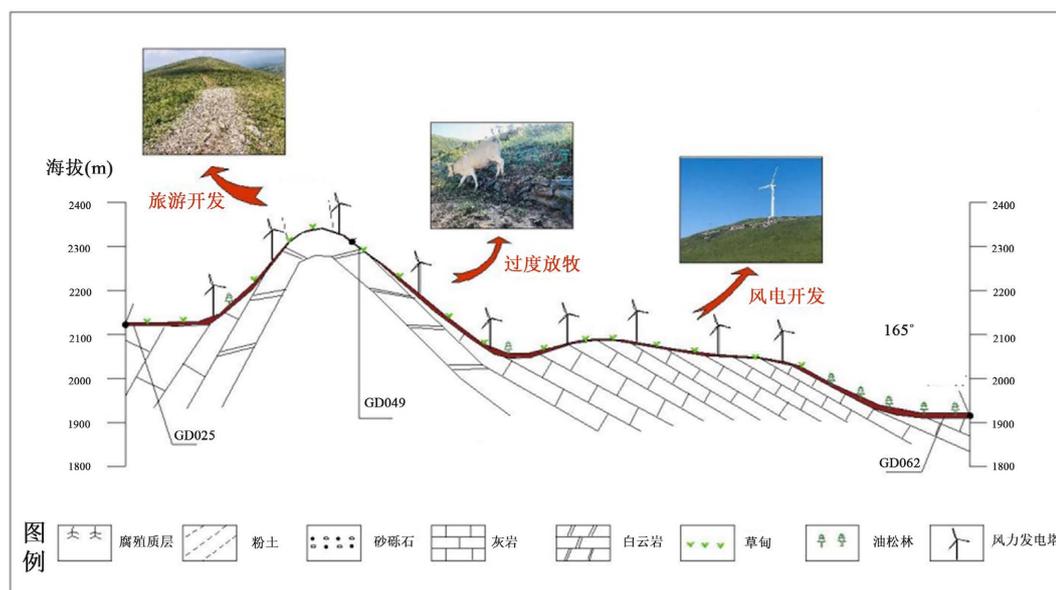


Figure 4. Schematic diagram of local degradation of an alpine meadow ecosystem  
图 4. 某高山草甸生态系统局部退化示意图

#### 4. 退化草地修复建议

在 2022 年度某高山草甸风景区生态环境地面监测工作中，基于无人机平台，利用航拍技术，结合地面调查，研究了山西省沁源县某高山草甸植被破坏情况及影响因素，本文结合研究结果和存在的不足对今后某高山草甸风景区地面植被监测工作提出以下建议和展望。

##### 4.1. 补播禁牧

本着快速修复的原则，对未形成侵蚀沟的退化草地，通过补播抗逆性和适应性好的草种，修复植被密度和促进植物群落结构的稳定性，同时设置封禁围栏网，减少对草地的干扰和破坏，具体做法是：禁牧 + 浅耕翻 + 草种补播 + 施肥促壮 + 围栏封育。根据植物之间互相效益的原理，利用物种间互利共生、偏利和互补这些关系，采用划破草皮或者耙松地表，把混合均匀的种子人工撒播播种。为了提高植物的结实率和自繁生，在入冬降雪之前或者春夏季降雨之前撒施腐熟农家肥。

##### 4.2. 封育加固

植被一经破坏，靠自然恢复需要一个相当漫长的时间，自然恢复的速度不及牛、马等大牲畜采食及其他人为扰动对其破坏的速度。为了尽快将退化草地修复，在侵蚀沟内修筑拦挡工程，抬高侵蚀基点，防止沟底继续下切，使沟底逐渐台阶化，为草原修复创造条件。根据地形、交通运输、建材、施工场地等情况，侵蚀沟拦挡工程采用重力式浆砌石谷坊。布置植草袋，又叫生态袋，采用无纺布和遮阳网制作，耐紫外线性能优，耐使用性长，透水性与透气性俱佳，常见规格  $40 \times 60 \text{ cm}$ ，用于建造柔性生态边坡。

##### 4.3. 合理规划

人们对旅游需求的日益增长，景区旅游安全成为人们关注的焦点。旅游景区应建立安全管理制度和应急预案，旅游景区要严格落实门票预约制度，合理控制游客接待量不超过最大承载量的 75%；在景区路旁和游客经常拍照地树立醒目警示标志牌，并写有警示标志语，在风力发电建设过程中，应设立专用路线，尽可能避免不必要的踩踏和破坏。

## 5. 结论

近年来由于植被破坏, 导致某高山草甸生态环境遭到各种不同程度退化, 继续发展下去, 将会对整个草甸产生不可逆的毁坏。基于无人机航拍技术和地面调查方法, 开展生态环境植被监测对于某高山草甸景区生态环境保护具有重要意义, 以山西省省沁源县某高山草甸为例, 利用无人机搭载可见光相机进行低空遥感技术, 利用大疆智图(DJI TERRA)建出正射和三位模型, 专业 GIS 软件进行提取信息, 与实地踏勘进行研究比较, 分析退化原因及修复建议方法。

本文研究了高山草甸植被破坏的范围和程度, 发现造成草甸退化可能的原因主要为自然环境影响、景区游客踩踏、村民过度放牧。此外海拔、地形地貌、气候等因素也是影响草甸植被破坏的重要因素。通过分析发现: 人工干预措施对植被破坏的恢复有一定的效果, 但仍存在较大的局限性; 开展草地资源调查, 为科学决策提供依据; 实施生态补偿政策, 实现草地资源可持续利用是高山草甸生态修复的有效途径, 而开展相应的科学研究是实现该目标的必要条件。

高山草甸植被的保护和生态修复是一项长期、复杂而艰巨的任务, 需要科学合理的规划, 积极开展相关研究, 本文针对某高山草甸草地退化的具体情况, 采用近自然修复(封育、禁牧等)和人工促进修复(松耙、补播适宜的优良草种、施肥、鼠害监控和防治等)相结合的方式对草地退化修复方案。提出应对和改良措施建议意见。研究结果可为高山草甸的保护和修复提供科学依据。

## 参考文献

- [1] Fawcett, D., Panigada, C., Tagliabue, G., Boschetti, M., Celesti, M., Evdokimov, A., *et al.* (2020) Multi-Scale Evaluation of Drone-Based Multispectral Surface Reflectance and Vegetation Indices in Operational Conditions. *Remote Sensing*, **12**, Article No. 514. <https://doi.org/10.3390/rs12030514>
- [2] Gao, J.L., Meng, B.P., Liang, T.G., Feng, Q.S., Ge, J., Yin, J.P., *et al.* (2019) Modeling Alpine Grassland Forage Phosphorus Based on Hyperspectral Remote Sensing and a Multi-Factor Machine Learning Algorithm in the East of Tibetan Plateau, China. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **147**, 104-117. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.11.015>
- [3] Capolupo, A., Kooistra, L., Berendonk, C., Boccia, L. and Suomalainen, J. (2015) Estimating Plant Traits of Grasslands from UAV-Acquired Hyperspectral Images: A Comparison of Statistical Approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **4**, 2792-2820. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042792>
- [4] Iqbal, Z., Roberts, J., Perez-Maldonado, R.A., Goodarzi Boroojeni, F., Swick, R.A. and Ruhnke, I. (2018) Pasture, Multi-Enzymes, Benzoic Acid and Essential Oils Positively Influence Performance, Intestinal Organ Weight and Egg Quality in Free-Range Laying Hens. *British Poultry Science*, **59**, 180-189. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1403566>
- [5] 郁尚钊, 孙义, 侯扶江. 无人机技术在草原研究和管理中的应用[J]. 草学, 2020(4): 8-18.
- [6] 宜树华, 陈建军, 秦彧. 无人机航拍在青藏高原高寒草地生态系统研究中的初步应用[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2016, 42(1): 1-7.
- [7] 张涛, 杜健民, 张海军, 皮伟强, 高新超, 朱相兵. 基于无人机高光谱荒漠草原鼠洞识别方法研究[J]. 光电子(激光), 2022, 33(2): 120-126.
- [8] 刘艳慧, 蔡宗磊, 包妮沙, 刘善军. 基于无人机大样方草地植被覆盖度及生物量估算方法研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(11): 2023-2032.
- [9] 邵全琴, 郭兴健, 李愈哲, 汪阳春, 王东亮, 刘纪远, 樊江文, 杨帆. 无人机遥感的大型野生食草动物种群数量及分布规律研究[J]. 遥感学报, 2018, 22(3): 497-507.
- [10] 胡降临, 王以恒. 黄山风景区生态环境地面植被监测工作进展研究[J]. 绿色科技, 2022, 24(14): 212-216.
- [11] 苗春丽, 伏帅, 刘洁, 高金龙, 高宏元, 包旭莹, 冯琦胜, 梁天刚, 贺金生, 钱大文. 基于 UAV 成像高光谱图像的高寒草甸地上生物量——以海北试验区为例[J]. 草业科学, 2022, 39(10): 1992-2004.
- [12] 赵昌亮. 山西云顶山亚高山草甸退化草地修复技术浅析[J]. 山西水土保持科技, 2022(3): 26-28.
- [13] 张新时, 唐海萍, 董孝斌, 李波, 黄永梅, 龚吉蕊. 中国草原的困境及其转型[J]. 科学通报, 2016, 61(2): 165-177.
- [14] 张骞, 马丽, 张中华, 徐文华, 周秉荣, 宋明华, 乔安海, 王芳, 余延娣, 杨晓渊, 郭婧, 周华坤. 青藏高原区退

- 化草地生态恢复: 退化现状、恢复措施、效应与展望[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7441-7451.
- [15] 张乐乐, 赵林, 李韧, 高黎明, 肖瑶, 乔永平, 史健宗. 青藏高原唐古拉地区暖季土壤水分对地表反照率及其土壤热参数的影响[J]. 冰川冻土, 2016, 38(2): 351-358.
- [16] 徐冉, 张圣微, 朱仲元, 庞文台. 放牧对典型草原区土壤水分及其对降雨响应规律的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 59-66.
- [17] 米莹. 我国草牧业发展理论及科技支撑重点[J]. 花卉, 2018(8): 283.
- [18] 陈文年. 高山草甸生物量及多样性的阴阳坡差异[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2022, 58(5): 83-90.