

附件 1

## 2019-2020 年度草业科技奖推荐书

### 一、项目基本情况

奖励类别：

基础研究和应用基础研究类项目

编号：

项目名称	中文	草地生态系统重要参数高精度获取关键技术与应用		
	英文	The key technology for acquisition of high precision important parameters of grassland ecosystem and its applications		
主要完成人		宜树华、秦彘、王志伟、孙义、陈建军、张慧芳、孟宝平、王晓云		
主要完成单位		南通大学、中国科学院西北生态环境资源研究院、贵州省草业研究所、桂林理工大学、兰州大学		
推荐单位(盖章)		南通大学	项目名称可否公布	是
			密 级	
			定密日期	
			保密期限(年)	
			定密审查机构	
主 题 词		无人机；植被监测；生态保护；智能系统；长期观测；协同系统		
学科分类 名 称	1	草原学	代码	230.
	2	航空摄影测量	代码	420.
	3	环境生态学	代码	610.
所属国民经济行业		草业		
任 务 来 源		A. 国家计划 B. 部委计划 D1 国家自然科学基金资助		

具体计划、基金的名称和编号：

1. 科技部 973 计划重大科学目标导向项目第七课题“冰冻圈变化的生态过程及其对碳循环的影响”，2013CBA01807、2013/09-2017/09、130 万元、结题、课题负责人（第二），宜树华；
2. 国家自然科学基金面上项目，41271089、全球变化背景下青藏高原多年冻土退化对高寒草地的影响研究、2013/01-2016/12、85 万元、结题、主持，宜树华；
3. 国家自然科学基金优秀青年项目，41422102、寒区生态学、2015/01-2017/12、100 万元、结题、主持，宜树华；
4. 国家自然科学基金青年项目，41501081、疏勒河上游高寒草地斑块对生态系统碳交换及估算的影响研究、2016 年 1 月-2018 年 12 月、25 万、结题、主持，秦晟；
5. 国家自然科学基金青年项目，41601064，枯落物对高寒草地植被指数和返青期遥感估算结果的影响、2017.01-2019.12、25 万、结题、主持，王晓云；
6. 中国科学院战略性先导科技专项子课题，XDB030303、高寒草地模型发展与集成、2012/01-2016/12、150 万元、结题、主持，宜树华；
7. 中国科学院百人计划（引进国外杰出人才），O927581001、青藏高原典型流域多年冻土退化的生态效应研究、2009/03-2013/12、270 万、结题、主持，宜树华。

项目起止时间	起始： 2009 年 3 月 1 日	完成： 2020 年 8 月 31 日
--------	--------------------	---------------------

中国草学会奖励工作办公室制

## 二、项目简介

项目所属科学技术领域、主要科技内容、技术经济指标、促进行业科技进步作用及应用推广情况

本项目属于计算机技术领域。无人机技术在近十年发展迅猛，广泛应用于各行各业。然而目前开发的各种应用仍处于案例研究阶段，远不能兼顾长期、大范围以及协同监测的要求。基于上述原因，项目团队开发出基于小型无人机的长期-协同航拍系统（FragMAP；获得新疆创新第二届无人机应用开发者大赛三等奖），并在全国主要草地分布地区（包括青藏高原、内蒙古、新疆、贵州等）布设 3000 余个观测点（每个点包含 12-100 个长期固定航拍样地），飞行 1.2 万余次，获得航拍照片 30 余万张，奠定我国首个草地生态系统长期-协同观测网络。此外，项目中的创新方法还突破了传统地面采样和遥感反演的局限，成功开发出基于高分辨率航拍照片的草地生态系统关键参数（植被盖度、地上生物量、植物物种多样性、裸地斑块、家畜动态分布以及高原鼠兔洞口）的快速、无损提取方法，基于空-天-地一体化监测思路实现区域植被盖度的高精度反演，从微小斑块独特视角揭示高寒草地退化机制。

FragMAP 系统已经在 18 家科研院、所，以及业务部门开展应用，项目团队发表了学术文章 18 篇，其中 SCI 论文 14 篇（SCI 他引 98 次），获得了专利 1 项，软件著作权 4 项，发表专著 1 本。通过 ISI Web of Sciences 查询，团队的工作是目前仅有的兼顾长期、协同、和大范围特点的无人机生态应用。以基于 FragMAP 系统作为主要的野外观测手段申请到了国家重点研发计划全球变化及应对重点专项课题 1 项，国家自然科学基金面上项目 2 项，青年项目 6 项，省部级项目 4 项。培养（正在培养）博士后 5 名，博士 4 名，在读博士 2 名和硕士 6 名。同时 FragMAP 系统也被应用于本科生培养，基于该系统完成的“拍山倒害-灾害预警助力泽库县脱贫攻坚”项目在 2020 第六届江苏“互联网+”大学生创新创业大赛中获得三等奖；基于本系统完成的社会服务和教学实践成果已被国家级媒体报道 14 次、省级媒体报道 2 次。

### 三、主要技术创新点

#### 1. 核心技术创新点

为了获取草地生态系统关键参数的高精度信息，同时也为实现实时监测和有效管理提供有力的理论依据和数据支撑，项目组开发出长期-协同无人机航拍监测系统（FragMAP，代表论文 13）。自 2015 年以来，项目组开展了大量的协同观测（18 个单位，60 多人），在中国草地 4000 多个工作点设置近 10 万固定样地，共计飞行 2 万余次，获得 30 多万张高分辨率航拍照片，项目组开发的创新技术突破传统地面观测与卫星遥感观测的局限，实现了高效、无损、长期和协同监测，为解决草地的科学问题奠定了独特而又不可或缺的数据基础。

#### 2. 其他重要技术创新点

**(1) 基于空天地一体化的研究思路，采用协同工作模式，实现区域尺度草地关键植被参数的获取**

针对传统草地关键植被参数野外观测耗时、费力，空间代表性差，无法与卫星遥感影像像元匹配等问题，本项目以草地关键植被参数获取与反演为目标，在遥感影像像元尺度上，提出盖度、高度及生物量的无人机航拍监测创新方法，并在区域尺度上获取了高精度计算结果，效果较为理想（代表论文 1，14，15）。在此基础上，基于机器学习算法进一步开发出草地盖度遥感反演模型，从而形成“地面-样方-遥感像元”的有效连接，反演得到区域尺度高精度草地关键植被参数数据集（代表论文 3）。

**(2) 基于无人机航拍技术，开发出快速、无损、高精度监测物种多样性、高原鼠兔洞口密度和斑块的新方法**

基于多年的实地观测实验，开发出基于无人机高分辨率航拍影像的高精度植物物种多样性估算方法（代表论文 9）和斑块信息提取方法，通过提取高精度高原鼠兔总洞口信息，揭示了中等密度的高原鼠兔扰动有利于高寒草地植物多样性的维持（代表论文 7）；从草地微斑块的独特视角阐述高原鼠兔对草地退化的影响机制（代表论文 2，5，6，8，12），阐明传统取样法不考虑斑块特征会过高估计草地碳储量和碳排放量（代表论文 4）。这些分析结果为草地生物多样性的恢复、小型啮齿类动物的实时监测与有效治理以及草地的可持续发展提供了理论支持。

**(3) 突破家畜和高原鼠兔长期动态监测的技术瓶颈，为草地管理提供全新的技术支持**

家畜和高原鼠兔等关键物种与草地状况息息相关，本项目提出的家畜和高原鼠兔无

人机监测方法（代表论文 11, 16, 17, 18），可有效实现放牧管理过程中家畜行为的长期、高频度动态监测和高原鼠兔活动的长期定点监测。该方法的合理运用，既丰富了现有的放牧管理评价体系，为草地健康状况评估和合理放牧管理提供理论依据，也为实现草地“生态-生产-生活”功能的协调发展提供实践参考。

## 四、项目详细内容

### 1. 立项背景

农业 4.0 是一种利用传感器、智能工具、卫星、物联网、遥感和近距离数据采集等技术（如无人机）进行农场管理和精细农业的新方法。数字草业作为农业 4.0 中的一个重要分支，需要构建面向草地生态系统的现代化智能管理系统，特别是在大数据和人工智能技术蓬勃发展的当代中国。

全球气候变化正在对脆弱的草地生态系统产生深远影响。在气候变化及人类活动双重影响下，草地生态服务功能已经逐渐开始减弱，资源环境承载力也在不断下降，严重威胁着区域、乃至全球的生态安全和可持续发展。因此，为了解决这一重大生态问题，国内外开展了大量的研究工作，脆弱草地生态系统更是监测工作的重中之重。目前监测方法主要包括长期固定样地地面样方取样、联网通量观测以及卫星遥感反演等。近十年来无人机软硬件更是处于快速发展期，具备采集快速、处理高效以及成图分辨率高等优势。然而，当前的绝大部分应用属于案例研究，鲜有长期定点、大范围协同特征的无人机航拍系统。进而导致大范围、长期定点的高精度数据集成系统的缺失，严重制约着草业科学的进一步发展。

基于长期-协同无人机集成观测系统，集合高分辨率航拍相片草地关键参数的提取方法，结合二者优势可以构建为面向脆弱草地生态系统的长期、协同、定点观测高精度数据集成系统。该系统是有效评价草地承载力、研究草地退化机制、预估未来气候变化和人类活动情景下草地服务功能变化的强力保障，不仅能够集合计算机、网络通讯、空间信息、自动化、大数据、无人机、人工智能等现代化产业与草业科学、地理学、生态学、统计学等基础学科的优势，还能精准的实现对草地生态系统各要素（环境要素、生物要素、经济要素等）极其重要过程的监测、分析、管理、预警与控制，最终实现智能草业管理信息化。

### 2. 科学技术内容

本研究团队自 2009 年开始探索无人机在草地研究中的应用，于 2015 年创立 FragMAP（Fragmentation Monitoring and Analysis with aerial Photography）系统。FragMAP 是一种利用无人机长期-协同监测小尺度栖息地破碎化并进行分析的工具（Yi, 2016），涉及一整套野外数据获取，数据整合和数据分析工具（图 1）。

FragMAP 系统在大疆创新第二届无人机应用开发大赛中荣获第 3 名（国内外参赛总数为 200 支）佳绩。2015 年以来，经过二十多个团队的协同观测（图 2），目前正在中

国主要的草地地区（青藏高原、内蒙古、新疆等）设置 4000 多个工作点（图 2），近 10 万固定样地，共计飞行 2 万余次，获得 30 多万张高分辨率航拍照片，突破了传统地面观测与卫星遥感观测的局限，实现了高效、无损、长期观测，并提出一系列集合高分辨率航拍相片草地关键参数的提取方法，为解决草地的科学问题奠定了独特的数据基础。

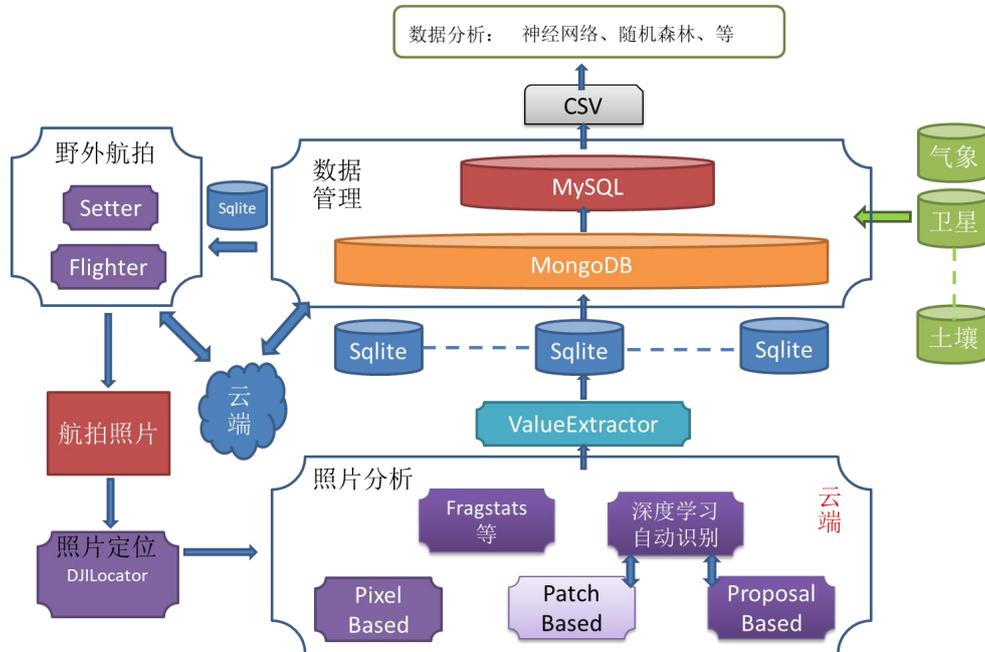


图 1. FragMAP 框架示意图



图 2. 野外协同无人机监测（红色点为 2015-2018 年的工作点，绿色点为 2019 年的工作点）

有关脆弱草地生态系统的长期、协同、定点观测高精度数据集成系统具备的科学技术内容主要如下所列：

1) 不同空间尺度草地盖度估计方法研究。在样地尺度解决了天然草地盖度野外观测中效率低、耗时、费力，空间代表性差且与遥感资料像元尺度不匹配的缺点，实现了大范围草地盖度遥感估测样本的快速和精确获取；在区域尺度开发了机器学习算法的草地盖度遥感估测模型，提高了草地盖度遥感反演精度，精确获取了长时间序列草地盖度数据集。

草地盖度是植被生长的直观指标，能够表征生态系统植被群落生长状况及生态环境质量，同时也是生态系统及其功能监测的重要参数。对于我国幅员辽阔的草地而言，利用遥感资料快速、准确地获取草地植被盖度时空动态变化，对生态保护和生产实践至关重要。然而，现阶段观测手段，还存在效率低、费时、费力，且观测样地范围有限，代表性差，无法与遥感影像像元尺度匹配等问题；同时，区域尺度数据主要通过实测草地盖度与遥感植被指数构建的简单线性回归反演模型为主，还存在反演模型鲁棒性差，估测精度偏低等问题。

在 FragMAP 下开发设计了 GRID 无人机航线模式，以 MODIS 植被指数产品像元中心点为观测样地中心，在 200 m×200 m 范围内均匀设置 12 个航点（匹配 MODIS 像元），并依据预设飞行参数，无人机一键起飞，自主在每个航点处距地 20 m 垂直拍摄一张照片，完成拍摄后自动返航降落。所获航拍照片在团队自主研发的盖度计算软件中快速提取盖度信息，以 16 张航拍照片计算的平均盖度值作为该样地的观测值（图 3）。同时在 FragMAP 下保存已成功飞行的航点、航线信息，以便后期重复观测调用。

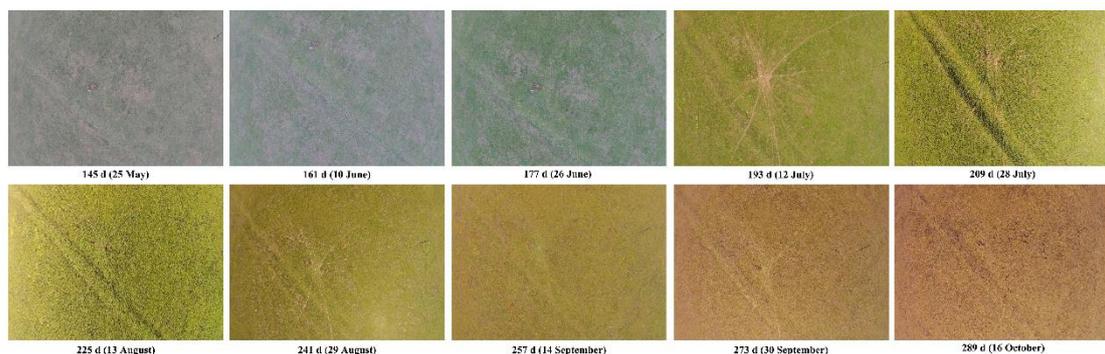


图 3. 2015 年草地生长季内样地尺度每 16d 航拍照片示例

基于海量无人机观测盖度数据，结合支持向量机、神经网络和随机森林等机器学习算法和 MODIS 植被指数、地形、土壤和气候等盖度影响因子，开发了高寒草地盖度机器学习算法的遥感反演模型（图 4）。相较于普遍使用的单因素或多因素参数估测模型，该类

反演模型具有更高的精度和鲁棒性,其  $R^2$  增加了 0.11~0.75, RMSE 减少了 1.74%~13.41%; 同时  $R^2$  和 RMSE 的标准偏差分别减少了 0.089~0.122 和 1.166%~1.905%。

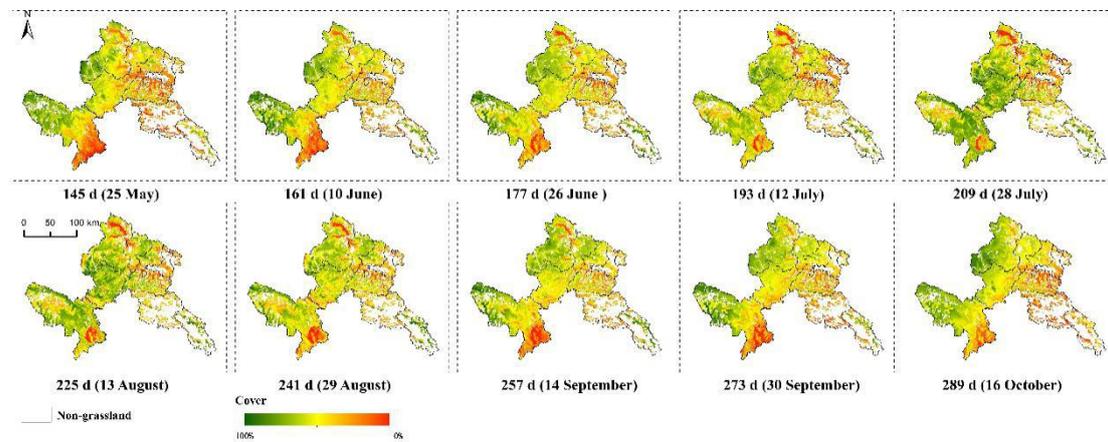


图 4. 基于机器学习算法反演的甘南地区草地生长季植被盖度动态变化状况

2) 开发草地高度及地上生物量反演算法。克服了传统采样方法耗时费力、空间代表性差以及破坏性采样的缺点,实现了区域尺度地面草地地上生物量验证资料的获取,为获取高反演精度的卫星遥感草地地上生物量数据集提供了坚实的基础。

结合传统样方刈割法,在甘肃玛曲、祁连山疏勒河源区、内蒙古,江苏等区域开展了样方尺度的无人机草地地上生物量估算实验。设计了新的 QUADRAT 无人机飞行模式,用以快速自动获取调查样地 5 个样方的重叠无人机照片资料(图 5)。并在此基础上,基于运动结构算法(Structure from motion, SFM)和植被高度模型(Canopy Height Model, CHM)实现了草地植被高度信息反演,结果表明样方尺度的植被平均高度与地面实地测量的植被高度具有较高的相关性( $R^2=0.9$ ,  $p<0.001$ ),与地面地上生物量呈明显对数关系( $R^2=0.78$ ,  $p<0.001$ ) (图 6)。

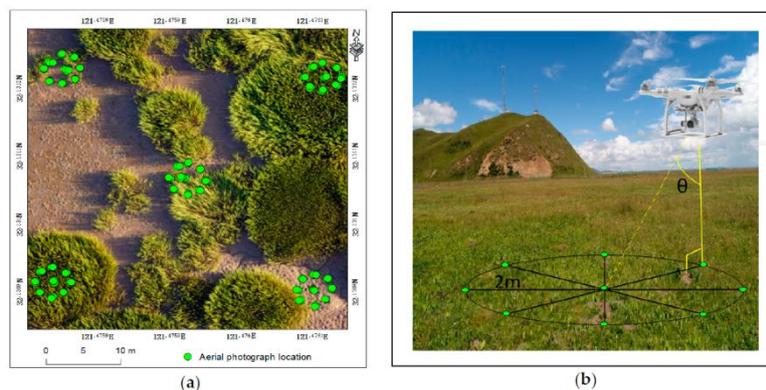


图 5. QUADRAT 飞行方式: (a) QUADRAT 无人机照片航点分布; (b) 每个样方无人机拍摄方式示意图

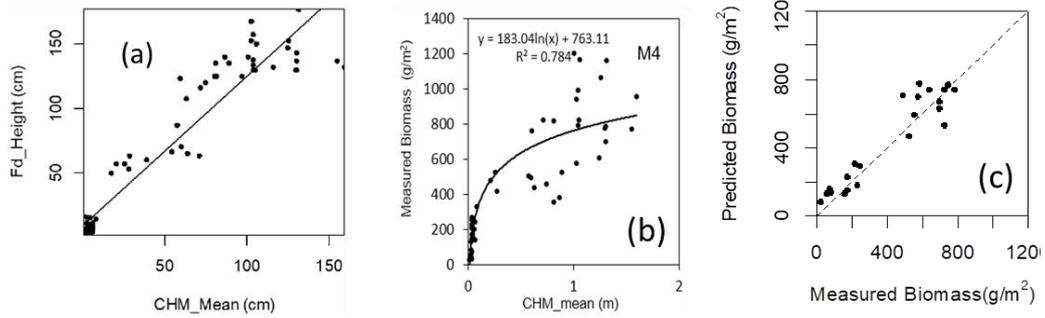


图 6. (a) 平均高度与地面高度相关关系；(b) 平均高度与地面上生物量关系；(c) 无人机估算地上生物量与地面实测生物量

3) 创建草地植物物种多样性长期-协同监测的新技术。实现了区域尺度草地资源调查高时空分辨率的定点监测，为草地生态系统生物多样性保护、结构与功能的量化研究提供理论和应用基础。

结合传统样方法和样带法，以及经典的物种多样性指数算法，提出基于无人机的草地物种多样性监测和计算方法。分别以青藏高原典型家庭牧场和祁连山疏勒河源区为研究对象，分别沿牧压梯度和不同草地类型比较新方法和传统方法的差异。结果表明：两种方法获得的主要物种多样性指数（Richness, Shannon index, Simpson index 和 Pielou's index）计算结果显著线性相关（ $P \leq 0.02$ ，图 7 和图 8）；尽管基于无人机航拍个别物种无法识别（因为分布稀少、植株矮小），但基于无人机的物种多样性监测方法更高效、代表性更强；高效、协同的观测方法实现了大尺度（如疏勒河源区）物种多样性的观测（图 8），而系统分析的方法也为信息提取、数据分析和整体提供了基础平台（代表论文 7, 9）。

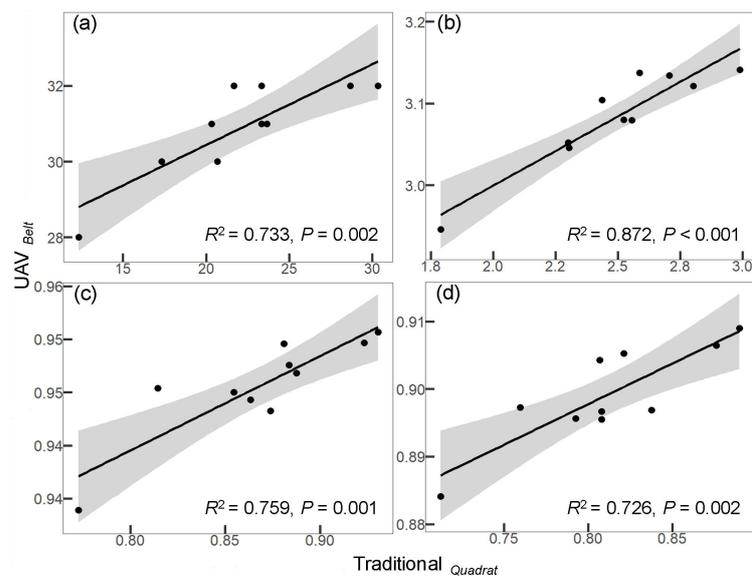


图 7. 青藏高原典型家庭牧场传统样方法（TraditionalQuadrat）和无人机方法（UAVBelt）

获取的 (a) 物种丰富度指数 (species richness); (b) 香农-威纳指数 (Shannon index); (c) 辛普森指数 (Simpson index); (d) 均匀度指数 (Pielou's J index)

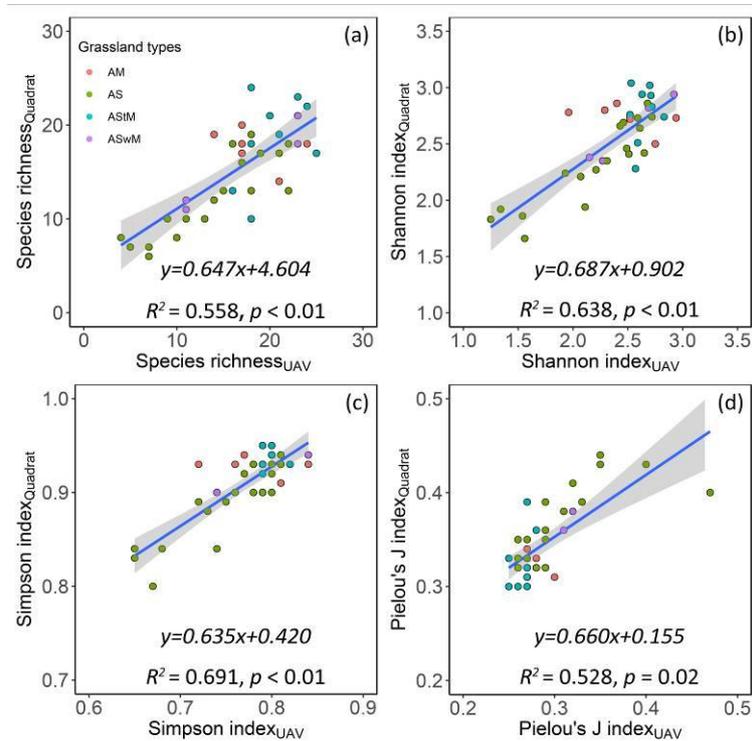


图 8. 疏勒河传统样方法 (Traditional Quadrat) 和无人机方法 (UAV Belt) 获取的 (a) 物种丰富度指数 (species richness); (b) 香农-威纳指数 (Shannon index); (c) 辛普森指数 (Simpson index); (d) 均匀度指数 (Pielou's J index) 对比

**4) 实现微小斑块高精度识别和动态监测体系。弥补了传统调查在精度和覆盖范围的不足, 明确了高原鼠兔挖掘活动对草地斑块化退化的影响机制。**

目前大尺度的斑块研究主要通过卫星遥感资料在景观尺度开展, 揭示不同斑块景观结构、功能和动态变化情况。然而草地植物群落的斑块镶嵌结构 (草地微斑块) 不仅是草地景观的基本特征, 同时也是草地生态系统结构与功能得以体现的基础。受限于卫星遥感资料空间分辨率和传统地面观测手段掣肘 (费时、费力、难以大范围开展观测), 草地微环境中鼠兔洞口、裸地、群落及砂砾石等微斑块难以在大范围开展观测研究, 制约对草地生态系统结构及功能的认识。

本项目通过分析大量的无人机航拍数据, 提取了鼠兔洞口、裸地、以及砂砾石等斑块信息, 初步揭示了高寒草地的退化机制: 1) 发现高寒草地地表砾石主要集中在裸地斑块中 (图 9), 地表砾石含量的增加不利于植被生长。结合植被斑块、新鼠丘、旧鼠丘和裸地斑块的表层土壤物理化学属性数据, 发现高原鼠兔的挖掘活动是土壤侵蚀和有机碳流失

的潜在诱因；2) 通过分析高寒草地斑块空间分布特征，结合地面采样数据和卫星影像数据，评估了斑块对土壤有机碳和总氮估算的影响，结果发现斑块导致生态系统 C、N 的显著减少，生态系统 C、N 的减少可能与植被输入减少和土壤侵蚀增加有关，忽略斑块的影响会导致生态系统 C、N 储量和 C 排放的严重高估；3) 是通过对比六种地表类型（大裸斑、中等裸斑、小裸斑、植被斑块、鼠洞洞道上方、旧鼠丘）的土壤物理化学属性、植被生物量和生态系统呼吸（图 10），发现鼠兔扰动和斑块会使土壤水分减少、土壤温度增加、生态系统碳排放减少，这可能有利于鼠兔在寒区环境生存但不利于植被生长，土壤变干和基质补给的减少会改变生态系统碳排放过程。

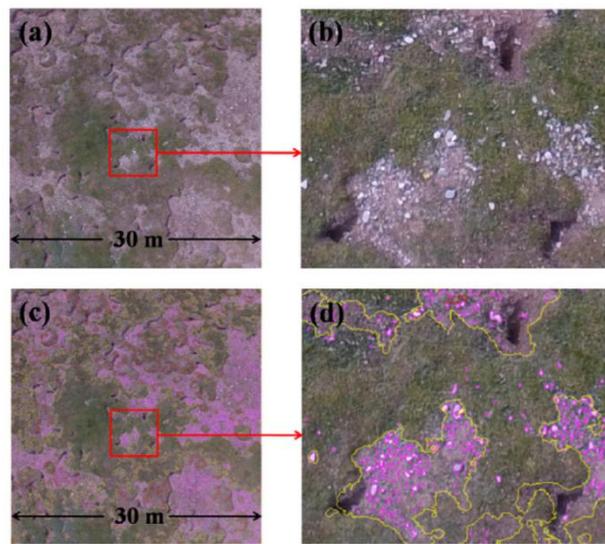


图 9. 航拍影像及处理效果图：（a）无人机航拍影像；（b）航空影像放大效果图；（c）航拍影像处理结果；（d）航空图像处理结果的放大效果；红色曲线、黄色曲线和粉色曲线分别表示植被轮廓、非植被轮廓和砾石轮廓

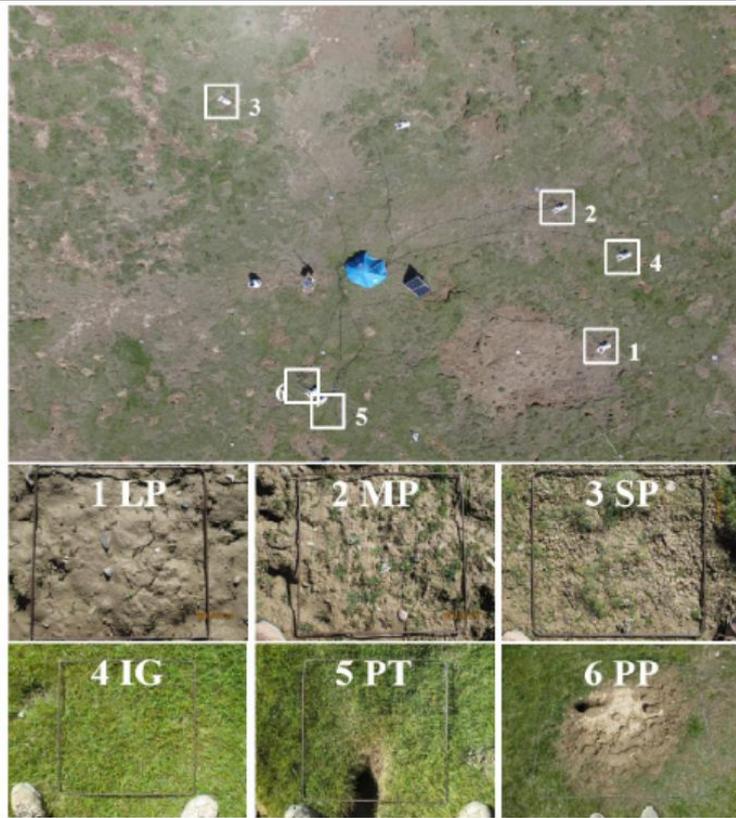


图 10. 六种地表类型生态系统呼吸观测航拍示意图 (LP: 大裸斑; MP: 中等裸斑; SP: 小裸斑; IG: 植被斑块; PT: 鼠洞洞道上方; PP: 旧鼠丘)

5) 提出现实放牧管理家畜动态监测和信息自动提取方法。提出新的放牧强度和离散度量化指标, 丰富了草地放牧管理评价体系, 为草地生态系统实施合理放牧管理提供理论和实践依据。

家畜时空分布信息是草地生态系统实施合理放牧管理的关键信息源。针对目前没有直接有效方法监测现实放牧管理过程中家畜时空动态的现状, 提出了基于无人机的以高时空分辨率为特征的自由放牧情境下监测家畜分布特征监测和信息自动提取的方法, 并在在青藏高原东缘的典型家庭牧场对这一方法进行实地验证 (图 11)。研究结果显示: 1) 团队自主开发的自动识别软件 (HerdCounter) 能够准确识别牦牛 ( $t$  检验  $P > 0.05$ ); 2) 在生长季前期牦牛密度 (频率/面积/间隔时间) 随着畜圈距离的增加而降低, 而在后期趋势相反; 3) 畜群离散度 ( $m^2$ /牦牛) 在一天内呈先降低后增加的趋势, 从 6 月到 9 月的早晨和下午呈逐渐降低趋势, 而中午没有显著变化。本监测方法不同于传统基于家畜个体研究和单位区域进行单位家畜放牧的模拟的方法, 实现了基于畜群的自由放牧过程家畜放牧强度和离散特征的高频度、高分辨率和高效率的监测。这一方法适合于长期开展家畜行为学研究、揭示家畜和草地资源供给的关系, 为草地生态系统的可持续发展提供理论和实践基础

(代表论文 11)。

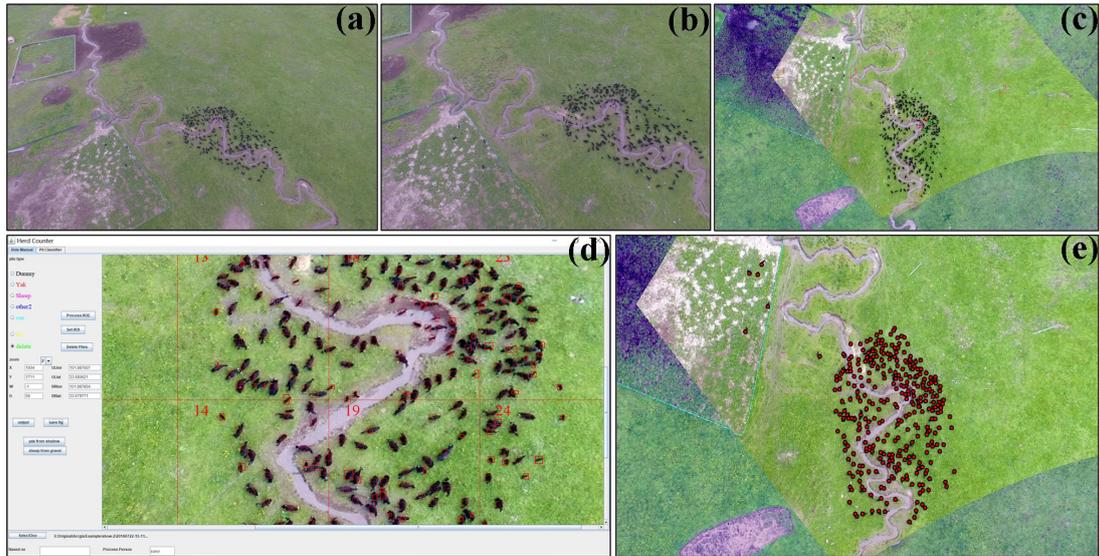


图 11. 牦牛定位过程：（a）无人机获取牦牛畜群空间位置的原始航拍照片；（b）关键信息裁剪；（c）基于 ArcGIS 的地理校正；（d）基于 FragMAP 系统分析软件（HerdCounter，基于 OpenCV 的 Java 软件）；（e）畜群自动识别位置验证

**6) 建立青藏高原高原鼠兔种群密度变化监测网络。为进一步研究高原鼠兔对人类活动和气候变化的响应打下了坚实数据基础。**

高原鼠兔是高寒草地生态系统的关键种，对青藏高原的生物多样性有着决定性的影响，然而目前大部分研究都是基于小样地尺度的对比研究，注重于生物因素的影响，很少涉及大范围气候因素的研究；同时传统的观测方法效率低，难以实现海量、定点观测（图 12），因而难以预估气候变化和人类活动对高原鼠兔的影响，进而难以制定合理的减缓措施。本项目通过无人机航拍系统在青藏高原设置了 1300 多工作点，共计 2 万多固定样地，实现了大范围定点长期监测（图 13），为进一步开展青藏高原生物多样性研究及减缓措施的制定打下了坚实的基础（代表论文 13, 16, 17, 18）。



图 12. 高原鼠兔洞口传统地面观测法

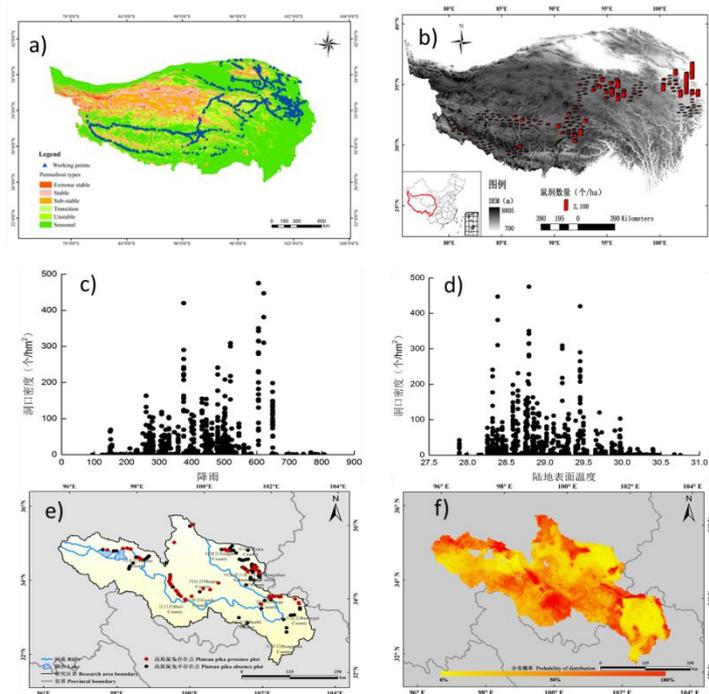


图 13. a) 2015-2019 年间在青藏高原开展航拍的工作点； b) - d) 部分工作点高原鼠兔种群密度，及其与降雨和陆地表面温度的关系； e) - f) 黄河源高原鼠兔出现与否数据及使用 BIOMOD 模拟的整个黄河源高原鼠兔的分布（概率）情况

### 3. 与当前国内外同类研究、同类技术的综合比较

国内外已经建立了全球地球关键带观测研究网络（CZO）、美国国家生态系统观测网络（NEON）、中国生态系统研究网络（CERN）等多尺度协同观测网络。无人机也在生态环境监测中得到广泛的应用，但是大部分是属于案例研究，还没有形成长期观测网络。通过 ISI Web of Sciences 查询，目前兼顾长期、协同、和大范围特点的无人机生态应

用仅仅有申请人团队的工作（附件 9）。无人机生态环境中的应用在中国有着天时地利人和的优势，有着明确的小型无人机使用政策法规，较为宽松、本土生产的性能稳定、价格低廉的无人机硬件以及开放的软件开发包（SDK）。这些原因促成了申请人团队航拍系统的独特性，以及依据高分辨率数据获得研究成果的先进性。

#### 4. 应用情况

FragMAP 系统已经在 18 家科研院所以及业务部门开展应用（附件 2）。以此为基础发表了论文 18 篇（其中 SCI 论文 14 篇，包含 3 篇 1 区和 5 篇 2 区文章）。（附件 1），作为主要的野外观测手段申请到了 1.国家重点研发计划全球变化及应对重点专项课题 1 项，国家自然科学基金面上项目 2 项，青年项目 6 项，省部级项目 4 项（附件 8）。培养（正在培养）博士后 5 名，博士 4 名，在读博士 2 名和硕士 6 名（附件 5）。同时 FragMAP 系统也被应用于本科生培养，基于该系统完成的“拍山倒害-灾害预警助力泽库县脱贫攻坚”项目在 2020 第六届江苏“互联网+”大学生创新创业大赛中获得三等奖（附件 6）；基于本系统完成的社会服务和教学实践成果已被国家级媒体报道 14 次、省级媒体报道 2 次（附件 7）。

5. 经济效益(基础研究类、科普类不填此栏)			单位：万元人民币	
项目总投资额			回收期（年）	
年 份	新增利润	新增税收	创收外汇（美元）	节支总额
累 计				
各栏目的计算依据：				
<p>6. 社会、生态效益</p> <p>本项目可提高草地生态系统关键限制性资源环境要素利用的有效性，提升当地居民的生产水平和生活质量，提高生产和生态的耦合效应；为政府部门的环境恢复、治理提供有益参考和依据，提高国家财政专题支付资金使用效率，合理安排布局生产、开发活动，有效避免突破关键区域资源环境要素的维持、再生阈值，在生态质量维护和恢复方面产生可观效益；在社会安定团结、践行生命共同体发展理念和草原文化传承方面也起到重要作用。</p>				



## 六、主要知识产权证明目录

授权（申请）项目名称	知识产权类别	国（区）别	授权号
一种协同遥感影像的 航拍相片植被信息提取方 法	国内发明专 利	国家知识产 权局	201910872056.9
草地景观破碎化信息 提取及分析系统 V1.0.	计算机软 件著作 权	中华人民共 和国国家版权局	2019SR0932101
图像特征提取软件 （单机版）V1.0.	计算机软 件著作 权	中华人民共 和国国家版权局	2019SR0883197
草地毒杂草斑块分类 软件（单机版）V0.1.	计算机软 件著作 权	中华人民共 和国国家版权局	2020SR0048227
数码照片植被盖度估 算软件 V1.0	计算机软 件著作 权	中华人民共 和国国家版权局	2013SR058317

## 七、主要完成人情况表

姓 名	宜树华	性 别	男	排 名	第一
出生年月	1978.2	出 生 地	江苏如皋	民 族	汉
身份证号	32068219780 2230478	党 派	九三学社	国 籍	中国
行政职务	无	归国人员	是	归国时间	2008
工作单位	南通大学	所 在 地	江苏南通	办公电话	0513-8501 5836
通讯地址	江苏省南通市崇川区通京大道 999 号			邮政编码	226007
家庭住址	江苏省南通市崇川区弘阳上城 4 号楼 2306 室			住宅电话	
电子信箱	yis@ntu.edu.cn			移动电话	153706663 66
毕业学校	加拿大 麦克马 斯特大 学	毕业时间	2006.10	文化程度	研究生
技术职称	教授	专业、专长	自然地理	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2009 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>带领团队开发了 FragMAP 系统以及各种草地要素的提取软件；组织团队和合作人员在中国主要草地地区开展了大范围的航拍工作。应用航拍系统所获取数据揭示了高原鼠兔对草地上生物量和土壤碳、氮的影响，以及气候对高原鼠兔空间分布的影响。</p>					
声  明	<p>本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

### 主要完成人情况表

姓 名	秦彧	性 别	男	排 名	第二
出生年月	1983.8	出 生 地	甘肃天水	民 族	汉族
身份证号	620522198308122133	党 派	共产党员	国 籍	中国
行政职务	无	归国人员		归国时间	
工作单位	中国科学院西北生态环境资源研究院	所 在 地	甘肃兰州	办公电话	
通讯地址	甘肃省兰州市城关区东岗西路 320 号			邮政编码	730000
家庭住址	甘肃省兰州市城关区雁兴路 3286 号			住宅电话	
电子信箱	qiny@lzb.ac.cn			移动电话	13919891916
毕业学校	中国科学院 大学	毕业时间	2013.11	文化程度	研究生
技术职称	副研究员	专业、专长	寒区生态	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2015 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>利用本项目的无人机技术在青海省疏勒河源区开展了高原鼠兔扰动对高寒草地生态系统功能影响的研究工作，开发了基于无人机航拍在样地尺度长期定点监测高寒草地植物物种多样性的方法；结合无人机航拍和实地调查，首次在样地尺度明确了高原鼠兔的种群密度，揭示了中等密度的高原鼠兔扰动有利于高寒草地植物多样性的维持；明确了高原鼠兔的挖掘活动和斑块破碎化高寒草地生态系统碳循环的影响机制；提出了在样地尺度准确估算高寒草地碳储量和碳排的方法；深化了高原鼠兔对高寒草地生态系统功能影响的认识。</p>					
声  明	<p style="text-align: center;">本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

### 主要完成人情况表

姓 名	王志伟	性 别	男	排	第三
出生年月	1983.12	出 生 地	内蒙古巴彦 淖尔	民 族	汉族
身份证号	152827198312060032	党 派	共产党	国	中国
行政职务	无	归国人员	是	归国时间	2020.08
工作单位	贵州省草业研究所	所 在 地	贵州贵阳	办公电话	17784806706
通讯地址	贵州省贵阳市花溪区金农路 1 号			邮政编码	550006
家庭住址	贵州省贵阳市花溪区清溪路兰馨桂馥花园			住宅电话	17784806706
电子信箱	wzw1206@163.com			移动电话	17784806706
毕业学校	中科院大学	毕业时间	2015.06	文化程度	博士
技术职称	副研究员	专业、专长	地理信息科学	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2016 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>授权发明专利一项，该专利阐述一种协同遥感影像的航拍相片植被信息新的提取方法，该方法利用 FragMAP 软件完成无人机航拍操作，然后结合免费遥感影像，实现高分辨率的植被区域和非植被区域划分。另有两项发明专利在实审阶段，其中一项是利用 FragMAP 软件加快植被分类样点提取速度，另一项是通过 FragMAP 和免费遥感影像实现多种地物类型划分。</p>					
声  明	<p style="text-align: center;">本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

### 主要完成人情况表

姓 名	孙义	性 别	男	排	
出生年月	1984.7	出 生 地	内蒙古伦 贝尔	民 族	汉族
身份证号	15212219840727333X	党 派	共产党员	国	中国
行政职务	无	归国人员		归国时间	
工作单位	南通大学	所 在 地	江苏南通	办公电话	0513-85015836
通讯地址	江苏省南通市通京大道 999 号			邮政编码	226000
家庭住址	江苏省南通市崇川区中南世纪花城二期			住宅电话	
电子信箱	sunyi@lzb.ac.cn			移动电话	13893181235
毕业学校	兰州大学	毕业时间	2015.6	文化程度	研究生
技术职称	讲师	专业、专长	草地生态与利 用	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2015 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>与第一完成人一起开发基于无人机的草地植物物种多样性长期-协同监测的新方法，实现了区域尺度草地资源调查高时空分辨率的定点监测，为草地生态系统生物多样性保护、结构与功能的量化研究提供理论和应用基础。将这里方法应用于高寒草甸植物物种多样性的监测，并验证其可行性及其进行大面积调查的潜力。</p> <p>与第一完成人一起开发基于无人机的现实放牧管理过程中高时空分辨率的家畜动态监测方法，提出应用性更强的放牧强度和离散度量化指标，丰富了放牧管理评价体系，为草地生态系统实施合理放牧管理提供理论和实践基础。将该方法应用于监测高寒草甸-牦牛放牧系统中牦牛时空分布特征和放牧强度研究，验证其在放牧管理实践中的可行性，揭示该方法应用与规划合理放牧管理措施研究的优势和潜力。</p>					
声  明	<p style="text-align: center;">本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

### 主要完成人情况表

姓 名	陈建军	性 别	男	排 名	第五
出生年月	1987.10	出 生 地	湖南衡阳	民 族	汉
身份证号	430482198710 168098	党 派	中共党员	国 籍	中国
行政职务	无	归国人员	否	归国时间	
工作单位	桂林理工大学	所 在 地	广西桂林	办公电话	0773-38728 26
通讯地址	广西桂林市雁山区雁山街 319 号			邮政编码	541006
家庭住址	广西桂林市雁山区雁山街 319 号学府雁苑			住宅电话	1730773543 6
电子信箱	chenjj@glut.edu.cn			移动电话	1730773543 6
毕业学校	中国科学院大学	毕业时间	2017.7	文化程度	研究生
技术职称	讲师	专业、专长	地图学与地理信息系统	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2011 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>基于 FragMAP 软件，利用无人机技术在黄河源和广西地区开展了植被覆盖度和斑块监测方面的研究工作，在高寒草地样地尺度评估了传统植被覆盖度样方调查的精度，提出了空天一体化植被覆盖度遥感反演方法；开发了一种基于无人机航拍影像归一化绿红差分指数的自适应植被覆盖度提取方法；构建了基于无人机航拍在卫星遥感像元尺度长期定点监测植被覆盖度和斑块的体系；揭示了高原鼠兔扰动和侵蚀对草地斑块的影响。</p>					
声 明	<p style="text-align: center;">本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

### 主要完成人情况表

姓 名	张慧芳	性 别	女	排 名	第六
出生年月	1985.03	出 生 地	江苏海门	民 族	汉族
身份证号	140181198503074724	党 派	共产党	国 籍	中国
行政职务	无	归国人员		归国时间	
工作单位	南通大学	所 在 地	江苏南通	办公电话	0513-85015836
通讯地址	江苏省南通市通京大道 999 号南通大学地			邮政编码	226100
家庭住址	江苏省南通市炜赋花苑 6 幢 1708			住宅电话	18751308209
电子信箱	zhfl10658@ntu.edu.cn			移动电话	18751308209
毕业学校	华东师范大学	毕业时间	2012.6	文化程度	博士
技术职称	讲师	专业、专长	地理信息科学	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2016 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>设计了基于无人机的草地高度及地上生物量反演算法，与传统方法相比，具有时效性高、空间代表性强等优势，可在大范围内开展草地地上生物量数据收集工作，为进一步提升卫星遥感生物量反演精度提供数据保障。</p>					
声  明	<p>本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

### 主要完成人情况表

姓 名	孟宝平	性 别	男	排 名	第七
出生年月	1989.11	出 生 地	甘肃陇西	民 族	汉族
身份证号	622425198911266612	党 派	共产党	国 籍	中国
行政职务	无	归国人员		归国时间	
工作单位	南通大学	所 在 地	江苏南通	办公电话	0513-85015836
通讯地址	江苏省南通市通京大道 999 号南通大学地			邮政编码	226100
家庭住址	江苏省南通市中南世纪花城 6#408			住宅电话	15117145006
电子信箱	Mengbp18@ntu.edu.cn			移动电话	15117145006
毕业学校	兰州大学	毕业时间	2018.06	文化程度	研究生
技术职称	讲师	专业、专长	草学	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2015 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>在样地尺度解决了天然草地盖度野外观测中效率低、耗时、费力，空间代表性差且与遥感资料像元不匹配的缺点，实现了大范围草地盖度遥感估测样本的快速和精确获取；在区域尺度开发了机器学习算法的草地盖度遥感估测模型，提高了草地盖度遥感反演精度，精确获取了长时间序列草地盖度数据集。</p>					
声  明	<p>本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

### 主要完成人情况表

姓 名	王晓云	性 别	女	排 名	第八
出生年月	1982.05	出 生 地	湖南衡阳	民 族	汉
身份证号	652924198212 051547	党 派	中共党员	国 籍	中国
行政职务	无	归国人员	否	归国时间	
工作单位	兰州大学	所 在 地	甘肃兰州	办公电话	0931-8912 404
通讯地址	甘肃省兰州市城关区天水南路 222 号			邮政编码	730000
家庭住址	甘肃省兰州市城关区兰州大学二分部			住宅电话	18693055 155
电子信箱	xyw@lzu.edu.cn			移动电话	18693055 155
毕业学校	中国科学院大学	毕业时间	2015 年 1 月	文化程度	研究生
技术职称	讲师	专业、专长	地图学与地理 信息系统	最高学位	博士
曾获国家科技奖励情况	无				
参加本项目的起止时间	自 2011 年至 2020 年				
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>利用 FragMAP 软件，基于前期实地观测数据，协助改进了该软件的植被覆盖度估算模块，使其能够同时提取绿色植被盖度和枯落物植被盖度。在此基础上，利用无人机技术和该软件调查并初步分析了黄河源地区高寒草地非生长季的枯落物对返青期观测结果的影响，旨在分析高寒草地返青期遥感估算结果中的不确定性；此外，还针对无人机不同机型和不同飞行高度的信息获取能力和效率开展了相关的野外观测实验，旨在进一步提高黄河源区枯落物大范围调查的精度和效率。</p>					
声  明	<p>本人对推荐书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对推荐材料的真实性负责。</p> <p style="text-align: right;">本人签名： 年 月 日</p>				

## 八、主要完成单位情况表

单位名称	南通大学			所在地	江苏南通
排 名	第一	单位性质	公益一类	传 真	无
联 系 人	施振佳	联系电话	0513-8501213 9	移动电话	
通讯地址	南通市崇川区啬园路9号			邮政编码	226007
电子信箱	kyk@ntu.edu.cn				
<p>对本项目技术创新和应用情况的贡献：</p> <p>本单位开发了基于无人机的长期-协同观测系统（FragMAP），正在执行基于 FragMAP 系统进行野外观测的项目 4 项（包括国家重点研发计划课题 1 项，基金委面上项目 1 项以及青年项目 2 项），发表相关 SCI 论文 4 篇；申请软件著作权 3 项，正在申请国内专利 2 项。</p> <p>基于 FragMAP 系统，开发像元尺度草地盖度观测方法，实现大范围草地盖度遥感估测样本的快速、精确获取，并在区域尺度精确获取了长时间序列草地盖度数据集；开发草地高度及地上生物量反演算法，实现了区域尺度地面草地地上生物量验证资料的获取，为获取高反演精度的卫星遥感草地地上生物量数据集提供了坚实的基础；创建草地植物物种多样性长期-协同监测的新技术。实现了区域尺度草地资源调查高时空分辨率的定点监测，为草地生态系统生物多样性保护、结构与功能的量化研究提供理论和应用基础；提出现实放牧管理家畜动态监测和信息自动提取方法和新的放牧强度和离散度量化指标，丰富了草地放牧管理评价体系，为草地生态系统实施合理放牧管理提供理论和实践依据；建立青藏高原高原鼠兔种群密度变化监测网络，为进一步研究高原鼠兔对人类活动和气候变化的响应打下了坚实数据基础。</p> <p>此外，在本科生培养方面：基于 FragMAP 系统完成的“拍山倒害-灾害预警助力泽库县脱贫攻坚”项目在 2020 第六届江苏“互联网+”大学生创新创业大赛中获得三等奖；基于本系统完成的社会服务和教学实践成果已被国家级媒体报道 14 次、省级媒体报道 2 次。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">             单位（公章）               年 月 日         </div>					

### 主要完成单位情况表

单位名称	中国科学院西北生态环境资源研究院			所在地	甘肃兰州
排 名	第二	单位性质	公益一类	传 真	0931-8273894
联 系 人	宋芳萍	联系电话	0931-4967518	移动电话	13399315651
通讯地址	甘肃省兰州市东岗西路 320 号			邮政编码	730000
电子信箱	ligweb@lzb.ac.cn				
<p>对本项目技术创新和应用情况的贡献：</p> <p>    本单位使用项目中团队自主开发 FragMAP 软件完成和正在执行 3 项国家级科研项目。项目执行期间，利用项目技术发表 SCI 论文 5 篇，中文核心论文 2 篇。</p> <p>    利用本项目的无人机技术在青海省疏勒河源区开展了高原鼠兔扰动对高寒草地生态系统功能影响的研究工作，开发了基于无人机航拍在样地尺度长期定点监测高寒草地植物物种多样性的方法；结合无人机航拍和实地调查，首次在样地尺度明确了高原鼠兔的种群密度，揭示了中等密度的高原鼠兔扰动有利于高寒草地植物多样性的维持；明确了高原鼠兔的挖掘活动和斑块破碎化高寒草地生态系统碳循环的影响机制；提出了在样地尺度准确估算高寒草地碳储量和碳排的方法；深化了高原鼠兔对高寒草地生态系统功能影响的认识。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                 单位（公章）                   年 月 日             </div>					

### 主要完成单位情况表

单位名称	贵州省草业研究所			所在地	贵州贵阳
排 名	第三	单位性质	公益一类	传 真	0851-8376277
联 系 人	王志伟	联系电话	17784806706	移动电话	17784806706
通讯地址	贵阳市花溪区金农路 1 号			邮政编码	550006
电子信箱	Wzw1206@163.com				
<p>对本项目技术创新和应用情况的贡献：</p> <p>    本单位使用项目中团队自主开发 FragMAP 软件完成和正在执行 3 项国家级及省级科研项目。执行期间，利用项目技术授权国家发明专利 1 项，同时仍有 2 个发明专利和多篇论文在实审和投稿中。</p> <p>    利用本项目的无人机技术在贵州省某研究区，完成面向对象的无人机影像地物分类结果，最终分类的总体精度和 Kappa 系数分别为 83%和 0.80。此外，利用 FragMAP 软件在贵州省完成超过 200 个工作点的航拍数据采集，航拍照片信息超过 80G。同时承担国家基金项目在完成植被制图时，本项目中的技术和方法是必不可少的支撑。</p> <p>    现有的技术创新主要体现在已授权的发明专利中，主要阐述一种协同遥感影像的航拍相片植被信息新的提取方法。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                 单位（公章）                   年 月 日             </div>					

### 主要完成单位情况表

单位名称	桂林理工大学			所在地	广西桂林
排 名	第四	单位性质	公益一类	传 真	0773-2538 203
联 系 人	李云翠	联系电话	0773-2538203	移动电话	15677338 990
通讯地址	广西桂林市七星区建干路 12 号			邮政编码	541004
电子信箱	glutkyc@163.com				
<p>对本项目技术创新和应用情况的贡献：</p> <p>    本单位使用项目中团队自主开发 FragMAP 软件正在执行 3 项国家级及省部级科研项目。项目执行期间，利用项目技术发表 SCI 论文 1 篇，中文核心论文 1 篇，申请软件著作权 1 项，多篇论文正在投稿中。</p> <p>    利用本项目的无人机技术在黄河源和广西地区开展了植被覆盖度和斑块监测方面的研究工作，首次在样地尺度评估了传统植被覆盖度样方调查的精度，提出了空天一体化植被覆盖度遥感反演方法；开发了一种基于无人机航拍影像归一化绿红差分指数的自适应植被覆盖度提取方法；构建了基于无人机航拍在卫星遥感像元尺度长期定点监测植被覆盖度和斑块的体系；揭示了高原鼠兔扰动和侵蚀对草地斑块的影响。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                 单位（公章）                   年 月 日             </div>					

### 主要完成单位情况表

单位名称	兰州大学			所在地	甘肃兰州
排 名	第五	单位性质	公益一类	传 真	0931-8911087
联 系 人	王晓云	联系电话	0931-8912404	移动电话	18693055155
通讯地址	甘肃省兰州市城关区天水南路 222 号			邮政编码	730000
电子信箱	xyw@lzu.edu.cn				
<p>对本项目技术创新和应用情况的贡献：</p> <p>    本单位使用项目中团队自主开发的 FragMAP 软件完成了国家自然科学基金青年项目 1 项和中央高校基本科研业务费专项资金优秀青年项目和面上探索项目各 1 项，正在执行中央高校基本科研业务费专项资金优秀青年项目和面上探索项目 1 项。在上述项目的支持下，发表 SCI 论文数篇。其中，与无人机技术密切相关的 SCI 论文 2 篇。</p> <p>    依托本项目所研发的无人机数据采集与处理技术，本单位连续多年在黄河源地区开展了枯落物（非生长季的地上生物量）野外调查实验，初步分析了枯落物对高寒草地返青期观测结果的影响，旨在分析高寒草地返青期遥感估算结果中的不确定性；此外，还针对无人机不同机型和不同飞行高度的信息获取能力和效率开展了相关的野外观测实验，旨在进一步提高黄河源区枯落物大范围调查的精度和效率。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">             单位（公章）               年 月 日         </div>					

## 九、审核、推荐意见

申报单位审核意见：

材料属实，同意申报

(盖章)

年 月 日

推荐单位推荐意见：宜树华教授是南通大学地理科学学院脆弱生态环境研究所特聘教授，他的团队一直开展无人机航拍及其在草地上的应用，目前已经开展了大量的草地监测工作，提取了植被盖度、生物量、斑块、鼠兔洞口等草地参数，为研究草地相关的科学问题作出了突出的贡献。同时也为基层业务部分的常规监测提供有益的支撑。

推荐申报中国草学会 2019-2020 年度草业科技进步一等奖。

(盖章)

年 月 日



## 十一、主要附件

- 1、由省、部级认定的查新机构出具的科技成果查新检索报告
- 2、主要应用证明  
18 个
- 3、知识产权证明  
4 个软著+1 个专利
- 4、研究类成果提交代表性论文；科普类成果提交作品 3 套  
18 篇论文南通大学图书馆检索
- 5、培养学生名单
- 6、互联网+
- 7、学生团体媒体报道
- 8、基于 FragMAP 观测的项目
- 9、ISI Web 检索截图