



无人机遥感技术专题

UAV Remote Sensing Technology

■ 2014 年第一期

■ 总第十三期

■ 渠道科技主办

■ Email: Sales@Qudao.com.cn

内容导读

- 👉 应用领域概述 2
- 👉 系统解决方案 4
- 👉 系统应用案例 11
- 👉 相关参考文献 17



微信扫描二维码或搜索“渠道科技”
添加公众帐号了解更多资讯。

随着科技发展，以卫星、大飞机等为平台的航天航空遥感已经得到广泛的应用。但是这些技术在某些情况下并不适合，如低海拔盆地的多云雾天气，卫星和大飞机为平台的航空航天测量很难拍摄到重叠度符合要求的高分辨率影像。无人机作为卫星遥感不可缺少的补充手段，具有可在云下低空飞行能力，弥补了卫星光学遥感和普通航空摄影经常受云层遮挡获取不到影像的缺陷。在以无人机为运载工具的低空遥感中，由于其载重量有限，传感器的类型受到限制，随着技术进步，小型多光谱和高光谱数码相机为无人机低空遥感提供了前提，其应用领域也从早期的军事应用逐渐扩大到大地测量、灾害监测、气象监测、资源调查等民用领域。本期渠道资讯将详细介绍无人机遥感技术的应用领域，推荐一套系统解决方案，并提供相关应用案例，供相关工作者参考。

无人机遥感技术应用领域

■ 无人机遥感技术在精准农业中的应用

在精准农业中，地块内的变异是进行农业精准管理的关键。但是，在进行精准农业的实施，还需要许多工作，如地块的数字化、作物种类、面积量算、作物长势分析以及地块内的作物变异情况等。

◆ 地块边界的数字化 在精准农业实施过程中，特别是在我国极其分散的经营条件下，准确测量地块的边界也是十分复杂的工作。利用低空遥感影像进行地块边界的数字化，不仅时效性强，而且准确。十分符合我国目前广大农村高度分散经营条件下的精准农业的实施。

◆ 地块面积量算 通过数字化地图，可准确地量算出各种作物所占地块的面积。

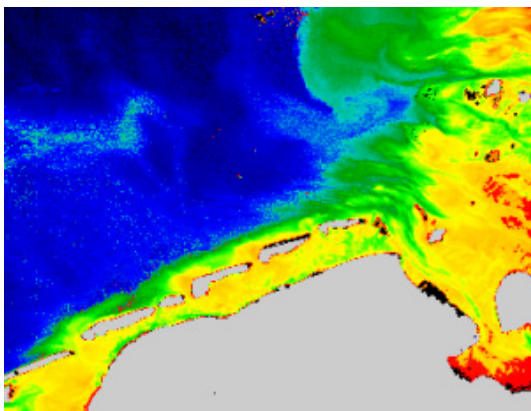
◆ 作物种类识别 在可见光区，低空遥感影像对作物种类反应是较为敏感的，通过肉眼即可判读出作物的种类。

◆ 作物长势分析 根据不同作物长势的叶片对不同电磁波的反射特征不同，可判断出作物的长势状况，植物的生长状况与红色和蓝色波段的反射值有较高的相关性，而与绿色波段的反射值关系不太密切。在红色波段的影像中，与土壤水分的关系也十分密切。由此可判断土壤水份状况。



■ 无人机遥感技术在海洋监测中的应用

随着国家海洋经济的提出，将无人机低空遥感运用于海洋监测，对海洋突发性事件、海洋灾害、海洋环境变化进行动态监测，实时追踪，为海洋预报人员快速预警提供实时的现场数据，为海洋管理部门提供科学的决策依据和解决方案。监测内容包括赤潮监测与分析，海面溢油的监测与响应，主要实现定位赤潮发生区，定量赤潮面积；定位突发溢油事件，估算溢油面积及漂移路径。作为海西经济区建设的福建沿岸，夏季台风肆虐，春秋季节赤潮频发，同时，作为重要的海运航路，饱受溢油事故的戕害。不管从海洋防灾减灾服务保障以及国家高新技术发展的需求，都迫切需要发展快速响应、精细化的海洋环境实时监测技术以及建立在新技术基础上的高效灾害预警报服务。



■ 无人机遥感技术在地质灾害调查中的应用

随着社会经济的快速发展，地质环境承受着人类强烈的改造与破坏活动，地质灾害与地质环境问题日渐严重，地质环境快速而全面地监测成为当前颇为紧迫的问题，无人机遥感具有机动性强、

获取数据快速和可以低空飞行的特点,结合遥感数据处理、建模和应用分析技术方法,能够完成地质灾害监测、应急救援和灾情评估任务;为地质灾害预防与救援方案制定快速提供准确依据。无人机遥感与传统地质环境监测手段相比具有时效性强、数据精度高和监测面积大的优势,成为地质环境管理中的强有力武器。

■ 无人机遥感在森林资源调查中的应用

森林资源调查,是林业活动的一项重要工作。但无人机遥感在森林调查中的应用还很少,主要应用在林火监测中,针对小区域、精度要求高的调查需求正在上升,如高要求的规划设计调查(简称二类调查)、出于森林生态状况监测的林分空间结构调查(林木组成、空间关系等)。如果去实地进行这些调查,一般要花费大量的人力物力,尤其在经济发达地区的南方集体林区,农民很少上山从事经营活动,乔灌木生长迅速,以前曾经有的林间小道已经逐渐消失,现在要进行地面调查劳动强度极大。航天遥感数据,大多数空间分辨率不能满足高精度调查的要求,有的高分辨率图像受天气影响也不容易获取;有人驾驶航空遥感对小区域来说又不经济。而无人机遥感,正好在此方面发挥其优势,可方便地根据需要设计飞行区域、飞行航线、飞行高度等。由于在多数情况下可见光波段就可满足要求,无人机只需装载一个高清数码相机即可,减轻无人机载荷,无人机质量和体积都可以很小,便于在环境复杂的林区起降。



■ 无人机遥感在植物病虫害监测中的应用

植物受到病虫害侵袭,会导致植物在特定波段上的波谱值发生变化,这是利用航空遥感技术进行病虫害监测的主要依据,根据这个规律,要求系无人机遥感系统搭载可见光数码相机和多光谱(高光谱)数码相机两套传感器,分别提供普通数字遥感图像和光谱影像,经过数据融合,获取高准确度的监测数据。

■ 无人机遥感在国土资源监察中的应用

国土资源监察工作的重要内容之一是对土地和资源的变化信息进行实时、快速的采集。目前,地方上多采用人工实地检查,国家多采用卫星遥感影像数据和普通航空遥感影像数据,这些技术手段在实际工作中发挥了很大作用,但在高效、快捷、准确性等方面还存在一定程度的不足。无人机遥感可以

对重点地区和热点地区要实现滚动式循环监测,对违法违规用地、滥占耕地、非法开采矿山、破坏生态环境等现象要做到及早发现、及时制止。是一项快速、高效、直观的国土资源快速监察新技术系统。

无人机遥感系统解决方案

■ SR 系列无人直升飞机系统

SR 系列无人直升飞机能够完全自主飞行,安全的进行起飞和降落,并配备自主飞行控制系统 (AFCS) 能够完全独立的垂直起降飞行。可用于航拍,特别是大面积区域,人比较难到达的区域。另外在恶劣的环境下也能飞行记录相关数据资料。



■ 技术参数

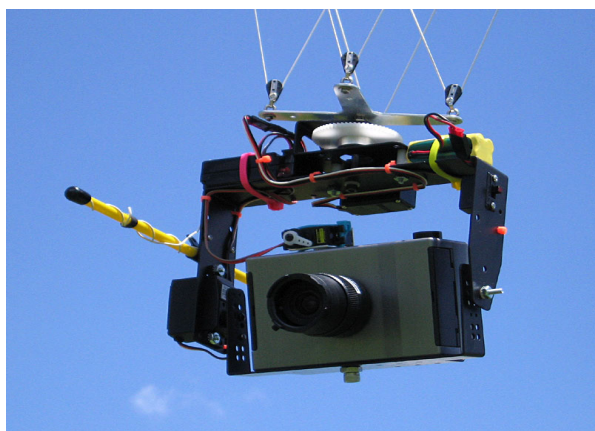
型号	SR20	SR30	SR100	SR200
特征	电力发动机	1, 26cc 汽油 2 冲程引擎 2, 75W 发电机驱动	汽油, 柴油, 酒精和电能 (自由选择)	121cc 8.7 HP 汽油 2 冲程引擎
	1、内含可调的 WAAS 精度; 2、迅速敏捷的飞行; 3、安全 / 手动的控制传送; 4、基于 802.11 的遥测系统; 5、稳定悬停 (专利申请中); 6、1 年的软件维护及更新;			
最大有效载荷 (kg)	4.5	5	7	20
操作模式	1, 速度控制模式: 这架直升机的位置是由操作者的安全使用比例速度的命令。例如, 循环控制杆转换为速度控制杆指令模式。通过速度控制杆的指令控制与速度成正比的发动机。 2, 路线计划模式: 直升机预先计划飞行的路线通过一系列的坐标来确定。(坐标, 标题, 高度, 速度和其他方式点属性)。 3, 指令模式: 指挥这架直升机是在一个特设的方式发送它的指导命令到另一台计算机。这些命令都可以由一个人或由另一运营商的电脑系统。			
长 (m)	1.22	1.638	1.47	2.79
宽 (m)	0.38	0.355	0.51	0.76
高 (m)	0.56	0.622	0.685	0.86

主旋翼直径 (m)	1.75	1.981	2.01	3
尾部旋翼直径 (m)	0.255	0.337	0.36	0.7
净重 (kg)	7.5	7	16	25
燃油容量 (L)	8 或 16 AH	1~1.5 L	2~4	2~31
引擎	1300W 电力发动机	21cc 汽油 2 冲程引擎	甲醇 23cc 或 3.4kW 电	21cc 汽油 2 冲程引擎
直流电源	N/A	N/A	150W, 12V 直流蓄电池	N/A
攀爬率	122 mpm 400 fpm			
最大飞行速率	50 kph 31 mph	80 kph 50 mph	50 kph 31 mph	80 kph 50 mph
遥测	基于 802.11, 800 米			
安全控制器	72MHz, 730 m	2.4 GHz, 500 m	72MHz, 730 m	
飞行耐力	12~24 min	标准 1.25h, 最大 1.5h	45 min(电池) 30~60 min(燃料)	长达 4 小时 (依据油箱配置)

■ 产地：美国

■ ADC 系列多光谱数码相机

ADC 多光谱数码相机用于拍摄可见光波段 520nm 到近红外波段 950nm 的图像，分析地表植被和植物冠层的反射和吸收，从而通过软件计算出多种植被指数，例如 NDVI（归一化植被指数）、SAVI（土壤纠正植被指数）IPV 和 NIR/Green 比率等指数，方便的对地面植被进行分析。



■ 产品特点：

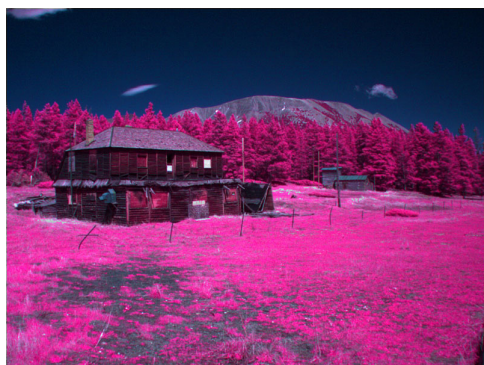
- ◆ 分辨率高和改进的光谱精度；
- ◆ 操作和控制灵活；
- ◆ 红、绿和近红外波段（TM2、TM3 和 TM4）提供了 NDVI、SAVI、冠层分离和 NIR/Green 比率参数分析需要的信息；
- ◆ 外部可连接视频输出和 GPS 接收机；

- ◆ 用户可更换滤光片；
- ◆ 可选 SensorLink 软件显示 GPS 坐标预设拍摄；
- ◆ 使用标准的 CF 卡存储数据；
- ◆ 配备强大的 PixelWrench2 图像编辑软件。

■ 技术规格：

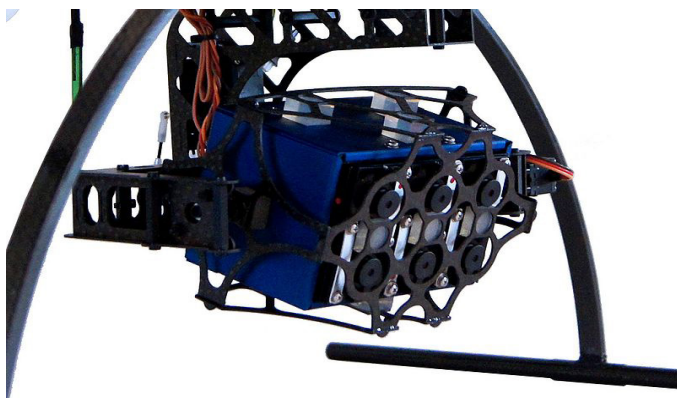
型号	ADC	ADC Air	ADC Lite	ADC Micro
使用方式	手持式	载人飞机	无人机	
镜头	320 万像素 CMOS 的镜头（2048×1536 像素）			
拍摄波段	绿、红和近红外波段（TM2、TM3 和 TM4）			
图像存储格式	10 位 DCM 无损、8 位 RAW 和 10 位 RAW 格式			
材质	CNC 铝制外壳			
镜头规格	标准 8.5mm 镜头（可选 4.5~10 毫米变焦镜头）			8.43mm
内部供电	8 节 AA 电池	无		
外部供电	9~12V DC			
I/O 接口	用于连接遥控器或取景器等附件			
画面格式容量	每张照片约 3MB			
画面拍摄速度	每张照片 2~5 秒			
输入接口	9~12V DC 电源接口、NMEA GPS 接口、外接快门			
输出	LCD 或 NTSC/PAL	NTSC/PAL		
数据传输	USB 1.1			USB 2.0
尺寸	122×78×41mm （不含镜头）	137×90×80mm （带镜头罩）	114×77×60.5mm	75×59×33mm
重量	340g（无电池） 520 克（带电池）	630g（不带电缆）	200g	90g
支架	标准 1/4-20 三角架插口，位于镜头下			预留固定孔
存储卡容量	标配 2GB CF 存储卡			8G SD 存储卡

产地：美国



■ Mini MCA 系列多光谱成像仪

Mini MCA 系列高质量多光谱成像仪采用多传感器通道设计，具有重量轻、体积小特点，每个传感器通道可生成 10 位 SXGA（1.3 兆像素）的数据，在拍摄 130 公顷的图像分辨率可以达到 1 米。每个传感器通道都有独立的探测器 / 滤光片，固定在光学探头上。主机采用 USB 接口通讯，非丢失性标准 CF 存储卡存储图像。PixelWrench2 软件提供了全面的相机控制和图像管理功能。滤光波段可以按照用户的要求进行定制设计。可连接外置的符合 NMEA 标准的 GPS 接收机。用户通过整合同步可以实现 12、18 和 24 波段通道的图像。



■ 产品特点：

- ◆ 1.3 兆像素图像，拥有极好的地面分辨率；
- ◆ 外部可连接视频输出和 GPS 接收机；
- ◆ 用户可更换滤光片；
- ◆ 可选 SensorLink 软件显示 GPS 坐标预设拍摄；
- ◆ 使用标准的 CF 卡存储数据；
- ◆ 配备强大的 PixelWrench2 图像编辑软件。

■ 技术规格：

型号	MINI MCA4	MINI MCA6	MINI MCA12
通道数	4	6	12
传感器	每个通道 SXGA（1280×1024）1.3 兆像素 COMS 传感器		
光谱滤光片	每个通道标准 25 毫米		
数据存储	CF 卡，8 位或 10 位 RAW 格式		
通讯接口	USB 1.1		
I/O 接口	用于连接遥控器或取景器附件		
材质	轻型铝质外壳		
图像容量	每张图片约 1MB		
图像处理速度	3~5 秒		

供电	9~14VDC @ 1A		
功率	4w	5.4w	9w
GPS 接口	RS232 (符合 NMEA 标准的 GPS 接收机)		
输出	实时 NTSC 或 PAL 视频用于取景器和菜单设置		
尺寸	131.4×78.3×87.6 mm		154.4×78.3×87.6 mm
重量	600g	700g	1300g

■ MINI-MCA 采用的标配滤波器

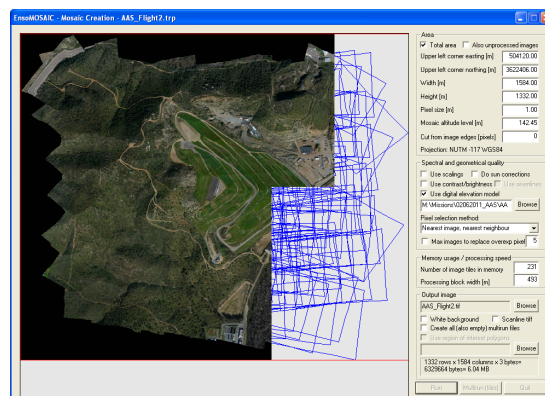
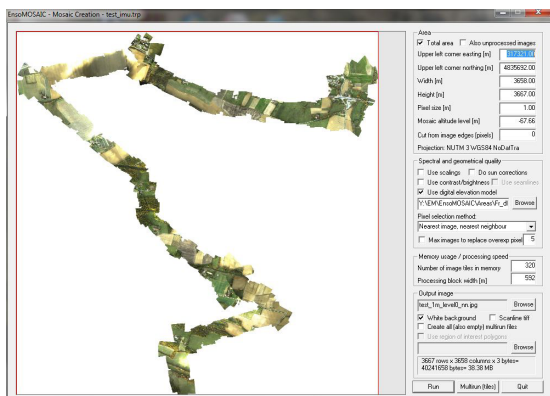
型号	滤波器编号	过滤器用途
Mini MCA4	490FS10-25	蓝色 490nm: Landsat 5 TM 波段 1, 该波段的光可显示水体渗透的增加情况, 能用来区分植被表层和土壤岩石表层, 从而检测栽培物。该波段是蓝绿光下植物对土壤反射率的最小临界值。该波段对植物的叶绿素缺失, 发黄, 成熟, 衰老以及土壤背景敏感度高。该波段也可用来检测植被衰老速率, 同时是非常理想的产量预测因子。
	550FS10-25	绿光 550nm: Landsat 5 TM 波段 2, 该波段对水质浊度变化敏感, 在可见光中, 该波段的每单位波长变化所带来的反射正影响是最大的。在植被光谱反射曲线中, 该波段就是所谓的“绿峰 green hump”, 可用来推测叶绿素含量。
	680FS10-25	红光 680nm: Landsat 5 TM 波段 3, 该波段可用于归一化植被指数 (NDVI), $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ 。被 ENVI 遥感图像分析软件引用, 植物对红光 (600-700nm) 的吸收与植被生物量、LAI (叶面积指数)、土壤背景, 栽培物类型, 氮素, 湿度和植物胁迫等的变化有显著的相关关系。注意: 有些用户用 660FS10-25 来取代 680FS10-25, 选择 660nm 的也很普遍, 660nm 是叶绿素吸收的最大点 (反射的最小点)。600-700nm 红波段的吸收与植物的某些特征如生物量, 叶面积指数, 土壤背景, 栽培物品种, 冠层结构, 氮元素, 湿度和植物胁迫状况有显著的相关关系。
	800FS10-25	近红外 800nm: Landsat 5 TM 波段 4, 该波段可用于归一化植被指数 (NDVI), $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ 。被 ENVI 遥感图像分析软件引用; 该波段也用于重新归一化植被指数 (RDVI), $RDVI = (R800 - R671) / (R800 + R671)^{1/2}$, RDVI 源于叶绿素对红光的最大吸收值与叶片细胞结构对红外光的最大反射值的对比; 该波段还可以用于改良土壤调整植被指数 (MSAVI), 该指数最大限度地减少植被背景和大气的影响; 该波段还能用于计算不同的植物色素比值, 如色素简单比值 (PSSR), 色素简单归一化 (PSND), 色素结构不敏感指数 (SIPI)。植物色素比值在特定的植被胁迫条件下会发生改变, 例如苹果树在染上蚜虫病害后类胡萝卜素和叶绿素比值发生改变。
Mini MCA6	490FS10-25	见 Mini-MCA4
	550FS10-25	见 Mini-MCA4
	680FS10-25	见 Mini-MCA4
	720FS10-25	红边 720nm: 该波段在植被光谱反射曲线的上坡位置 (690nm-740nm), 上坡出现的原因是叶绿素对红光的吸收和叶肉细胞对近红光的反射发生改变, 叶肉细胞在叶片中相对于近红外光起到一个类似镜子的作用。该波段对植物生长的时空变化, 胁迫敏感, 同时可作为植物叶绿素和氮素状态的补充数据。
	800FS20-25	见 Mini-MCA4
	900FS20-25	近红外 900nm: 该波段为特定品种或特定生长状况的植被和作物远红外光谱范围内的最大反射峰。对特定作物例如棉花玉米在胁迫、衰老情况下, 该波段 (“NIR 肩”) 的反射会出现显著变化。可用来计算作物水分敏感指数。

Mini MCA12	490FS10-25	见 Mini-MCA4
	520FS10-25	绿光 520nm: 在绿波段中, 该波段的每单位可见光波长变化所带来的反射正影响是最大的。是可见光光谱中的绿波段峰(反射最大点)。
	550FS10-25	见 Mini-MCA4
	570FS10-25	绿光 570nm: 该波段的每单位可见光波长变化所带来的反射负影响是最大的。可用来估计光合作用光利用率的光化学反射指数(PRI), 能用来比较红光和蓝光区反射情况。PRI 可用来检测叶黄素、胡萝卜素/叶绿素比值以及水分胁迫状况。
	671FS10-25	红光 671nm: 该波段用于重新归一化植被指数(RDVI), $RDVI = (R800 - R671) / (R800 + R671) \times 1/2$, RDVI 源于叶绿素对红光的最大吸收值与叶片细胞结构对红外光的最大反射值的对比; 该波段还可以用于改良土壤调整植被指数(MSAVI), 该指数可用来取消 NDVI 和土壤大气拮抗植被指数(SARVI)计算中的土壤光谱反射, 最大限度地减少植被背景和大气的影响。
	680FS10-25	见 Mini-MCA4
	700FS10-25	红边 700nm, 是第二个红边。植物收到虫害时近红外反射下降, 红光临界斜坡也会下降。波长和斜坡最大临界点也会随着植物衰老和胁迫萎黄而发生变化。因此红光临界点(REP)是很好的植物斜坡和生长指示因子。同时可用在叶绿素吸收反射指数(CARI)中用来计算植物叶绿素的含量。
	720FS10-25	见 Mini-MCA6
	800FS10-25	见 Mini-MCA4
	840FS10-25	近红外 840nm: 该滤波器的最大投射是在 845nm, 可以更好区别植被种类和生长情况。该波段位于“NIR shoulder”的中间位置。对大多数作物来说, 宽带和窄带在整个 NIR 肩(740-940nm)产生的作用是一样的, 因为该区域的反射是几乎均匀的。在某些情况下, NIR 肩的某些波段是多余的。该波段的反射值与植物总叶绿素含量显著相关。
	900FS20-25	见 Mini-MCA6
	950FS40-25	近红外 950nm: 该波段是近红外区的水分敏感中心, 近红外区指的是 940nm-1040nm, 最小值出现在 975nm, 该波段可用于计算水波段指数(WBI), $WBI = P900 / P970$ 。

■ 产地: 美国

■ EnsoMOSAIC 系列无人机遥感图像处理软件

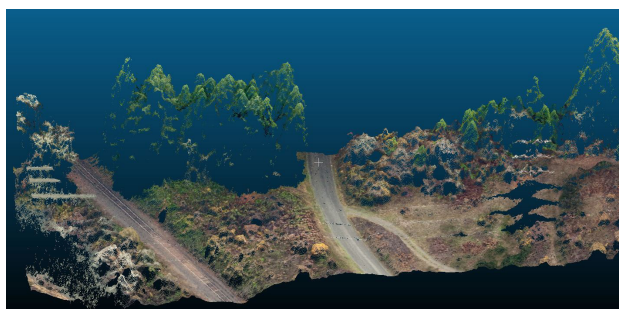
EnsoMOSAIC 专门针对无人机影响重叠度不够规则, 像幅较小, 相片数量多, 倾角过大且倾斜方向没有规律, 航摄区域地形起伏大, 高程变化显著等特点, 支持非量测相机的畸变差改正, 能够快速生成标准比例尺影像图及高效完成无人机遥感影像任务。支持上述 ADC 及 MCA 系列多光谱影像设备。



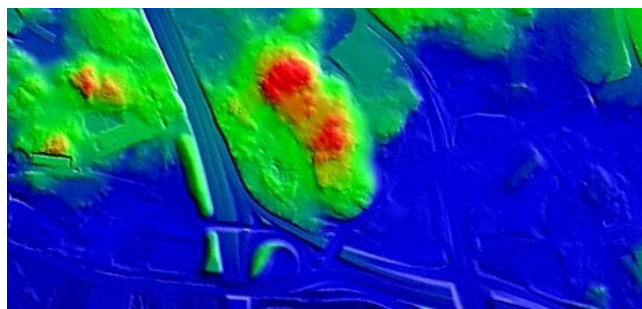
■ 软件功能

Output / feature	EnsoMOSAIC	RapidTerrain	EnsoMOSAIC 3D	Rapid Seamline	Rapid Toolbox	RapidCal
External orientation	✓					
Orthoimages	✓					
Color balancing between images	✓					
Color adjustment within image	✓				✓	
Seamline editing				✓		
Sensor self-calibration	✓					
External sensor calibration						✓
DSM	✓ (internal)	✓	✓			
MicroDSM		✓				
DTM			✓			
Orthomosaic	✓					
True Orthos	✓ (with RT or EM3D)					
XYZ point cloud		✓	✓			
Point Cloud Editing			✓			
3D viewing			✓			
3D digitizing into external database			✓			
Contours			✓			
Volumes			✓			

■ 产地：芬兰



RapidTerrain 创建的地形模型



EnsoMOSAIC 3D 创建的 DSM 模型

系统应用案例

案例一：利用窄波段指数和 PROSPECT + DART 模型估计异质针叶林类胡萝卜素含量

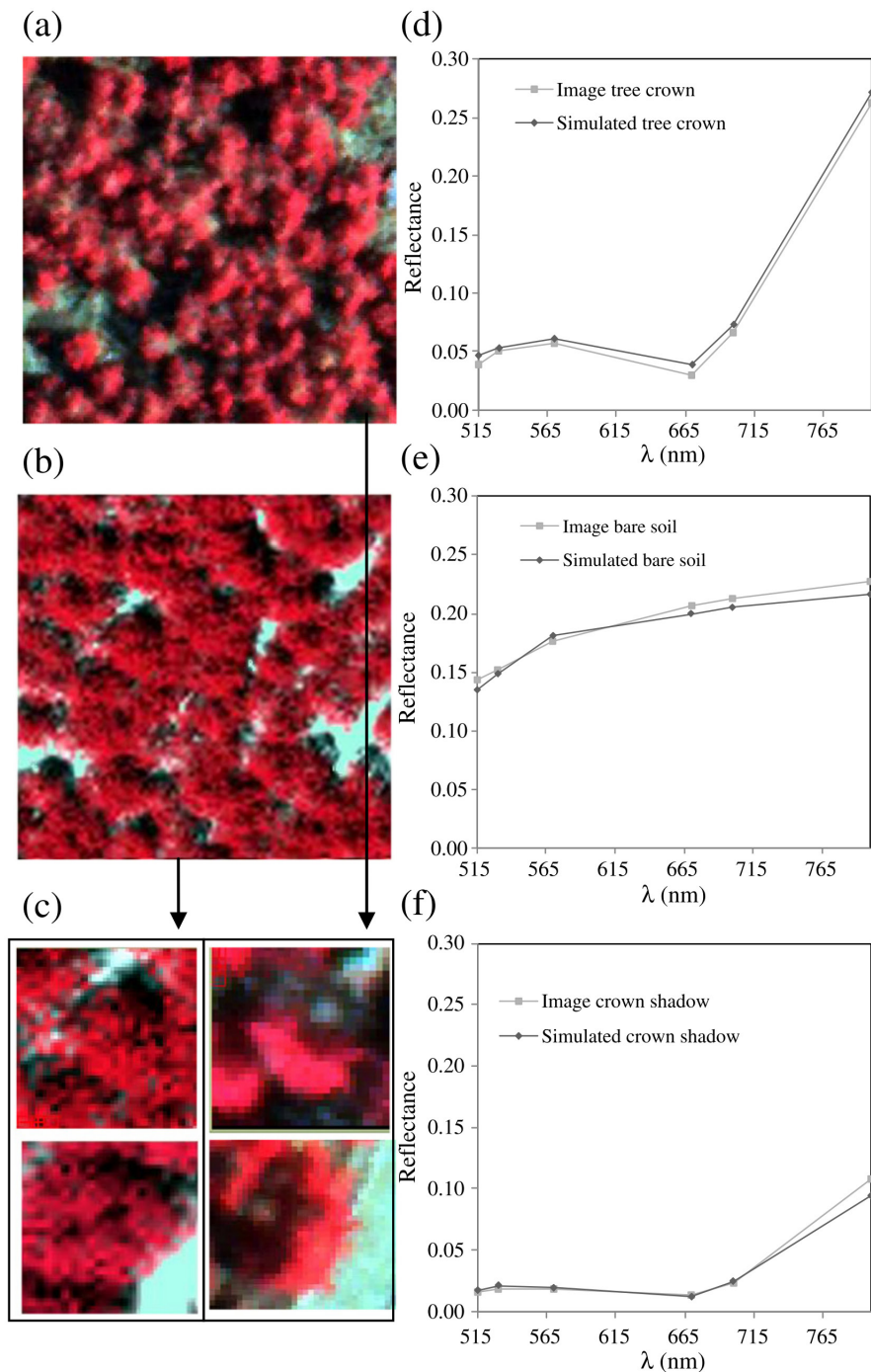
简介：该研究利用无人机搭载 MCA6 型 6 波段多光谱相机对异质针叶林进行低空遥感，波段范围为 500~800nm，每个波段宽度为 10nm，获取遥感图像分辨率为 0.5m，可以区分每一株树木的冠层。研究表明，无论使用传统植被指数或新组合的植被指数，类胡萝卜素的敏感光谱范围都是 500~600nm；利用 PROSPECT -5 和 DART 模型来评估各植被指数在叶片和冠层两种水平下类胡萝卜素估计中的表现， $CRI(1/R_{515})-(1/R_{550})$ 与叶片中类胡萝卜素的相关性最好 ($r^2 \geq 0.90$, $P < 0.001$)，但受冠层结构影响较大，冠层水平 ($r^2 = 0.44$, $P < 0.001$) 下相关性较低；新比值指数 R_{515}/R_{570} 在叶片 ($r^2 = 0.72$, $P < 0.001$) 和冠层水平 ($r^2 = 0.71$, $P < 0.001$) 下，相关性均比较明显。



Carotenoid content estimation in a heterogeneous conifer forest using narrow-band indices and PROSPECT + DART simulations

Abstract: The present study explored the use of narrow-band indices formulated in the visible spectral region at leaf and canopy levels to estimate carotenoid content. The research area was a pine forest affected by decline processes. Spectral reflectance and pigment content including chlorophylls a and b (Ca+b), carotenoid (Cx+c) and xanthophyll cycle pigments (VAZ) were measured in needles for two consecutive years. The study was conducted using radiative transfer modeling methods and high-resolution airborne imagery acquired at 10 nm FWHM bandwidth. Airborne data consisted of high spatial resolution imagery acquired with a narrow-band multispectral camera on board an unmanned aerial vehicle (UAV). The imagery had 50 cm resolution and six spectral bands in the 500–800 nm range, enabling the identification of pure crowns to obtain the reflectance of individual trees. The indices evaluated were traditional formulations and new simple ratios developed by combining bands sensitive to Cx+c absorption in the 500–600 nm region. The PROSPECT-5 model was coupled with the Discrete Anisotropic Radiative Transfer (DART) model to explore the performance of Cx+c-sensitive vegetation indices at leaf and canopy levels. The sensitivity of these indices to structural effects was assessed to study the potential scaling-up of Cx+c-related vegetation indices on heterogeneous canopies. Coefficients of determination between Cx+c content and narrow-band vegetation indices revealed that traditional indices were highly related with Cx+c content at leaf level ($r^2 > 0.90$; $P < 0.001$ for the CRI index $(1/R_{515}) - (1/R_{550})$), but highly affected by structural parameters at crown level ($r^2 > 0.44$; $P < 0.001$). A new simple-ratio vegetation index proposed in this study (R_{515}/R_{570}) was found to be significantly related with Cx+c content both at leaf ($r^2 > 0.72$; $P < 0.001$) and canopy levels ($r^2 > 0.71$; $P < 0.001$). Remote sensing cameras on board UAV platforms can provide very high multispectral and hyperspectral imagery for mapping biochemical constituents in heterogeneous forest

canopies. This study demonstrates the feasibility of mapping carotenoid content to assess the physiological condition of forests.

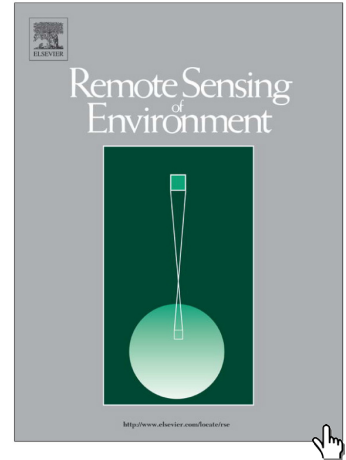


(a) 无人机多光谱图像; (b) 模型模拟图像; (c) 原始及模拟图像细节
(d) 树冠光谱反射; (e) 裸地光谱反射; (f) 遮蔽树冠光谱反射

High-resolution multispectral image acquired from the UAV platform (a) and the PROSPECT-5+DART simulated image for the same study site (b); zoomed-in image detail of the multispectral image (right) and the simulated image (left) (c); tree crown (d), bare soil (e) and shaded crown (f) spectral reflectance extracted from the multispectral image and the simulated scenes.

案例二：利用机载航拍图像 PRI 指数监测水分胁迫对水果品质的影响

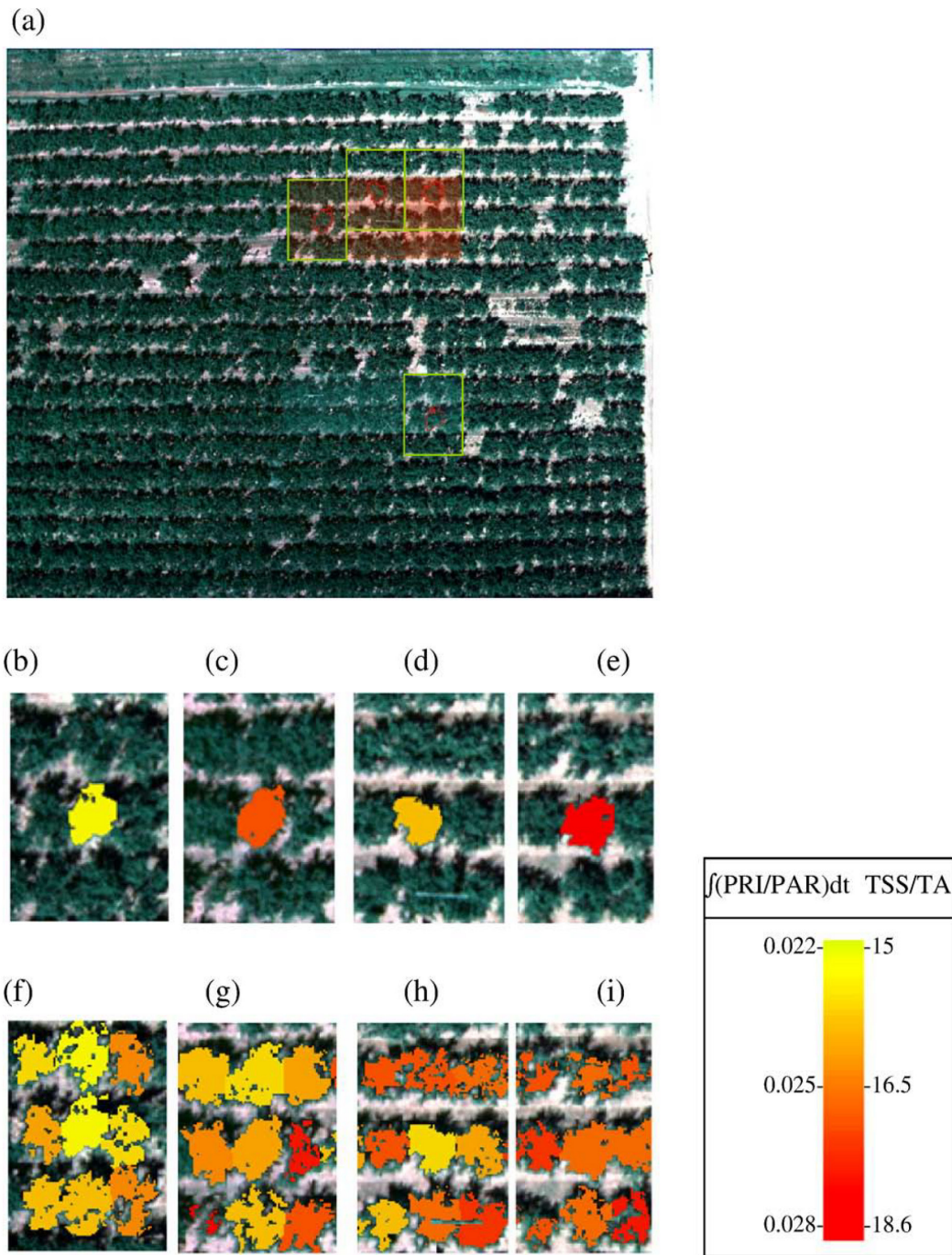
简介：该研究给出一种评估不同灌溉区水果品质的方法。利用无人机装载高空间分辨率多光谱相机（Mini MCA）和热成像设备，监测试验地果园（桃、油桃和桔子）冠层温度和光化学反射指数（PRI）。灌溉策略分为持续灌溉和规律灌溉，使成熟期水果品质具备差异性，同时监测树干水势，测量树木的水分状况；采集叶片样品，测量叶黄素，评估叶黄素环氧化状态（EPS）与 PRI 之间的相关性；在成熟期，测量水果尺寸、总可溶固体（TSS）和可滴定酸（TA）来衡量水果品质。结果表明，叶片和冠层水平下的 EPS 和 PRI 具有较好的相关性（ $r^2=0.81$ ， $r^2=0.41$ ）；PRI 指数与 TSS/TA 比值相关系数为 $r^2=0.50$ ；PRI 时间序列积分与 TSS/TA 相关系数分别为 $r^2=0.72$ （桃）和 $r^2=0.61$ （油桃）；相比之下，TSS/TA 与热成像图像相关系数较低，分别为 $r^2=0.21$ 和 0.25 。研究说明植物生理遥感指数在评估水果质量中要优于热成像。



Detecting water stress effects on fruit quality in orchards with time-series PRI airborne imagery

Abstract: A methodology for the assessment of fruit quality in crops subjected to different irrigation regimes is presented. High spatial resolution multispectral and thermal airborne imagery were used to monitor crown temperature and the Photochemical Reflectance Index (PRI) over three commercial orchards comprising peach, nectarine and orange fruit trees during 2008. Irrigation regimes included sustained and regulated deficit irrigation strategies, leading to high variability of fruit quality at harvest. Stem water potential was used to monitor individual tree water status on each study site. Leaf samples were collected for destructive sampling of xanthophyll pigments to assess the relationship between the xanthophyll epoxidation state (EPS) and PRI at leaf and airborne-canopy level. At harvest, fruit size, Total Soluble Solids (TSS) and Titratable Acidity (TA) were measured to characterize fruit quality. A statistically significant relationship between EPS and PRI was found at the leaf ($r^2=0.81$) and canopy level ($r^2=0.41$). Airborne-derived crown PRI calculated from the imagery acquired during the fruit growth was related to the ratio of the total soluble solids normalized by the tritatable acidity (TSS/TA), an indicator of fruit quality measured on the same trees, yielding a coefficient of determination of $r^2=0.50$. The relationship between the integral of PRI time-series and TSS/TA yielded a coefficient of determination of $r^2=0.72$ (peach) and $r^2=0.61$ (nectarines). On the contrary, the relation between TSS/TA and the time-series of crown thermal imagery was very weak ($r^2=0.21$ and 0.25 respectively). These results suggest that a physiological remote sensing indicator related to photosynthesis, such as PRI, is more appropriate for fruit quality assessment than crown temperature, the established method of water stress detection, which is more related to crown transpiration. A radiative transfer modelling study was conducted to assess the potential validity of this methodology for fruit quality assessment when using medium spatial resolution imagery. The analysis shows important effects of soil and shadows on the PRI vs EPS relationship used for fruit quality assessment if non-pure crown

reflectance was extracted from the imagery.



(a) 桃树园中设置的 4 个不同灌溉策略的实验区域；
 (b~e) 树木的 TSS/TA 值； (f~i) PRI/PAR 累计值。

(a) The peach orchard showing four trees corresponding to four irrigation treatments: full irrigation, RDI1, RDI2 and RDI3; (b to e) zoom on selected trees showing TSS/TA values; (f to i) zoom on selected and surrounding trees showing the integral of PRI/PAR.

案例三：土壤和冻土的升温导致阿拉斯加苔原植物产量增加

冻土生态系统在全球碳存储中起着重要的作用，研究北极苔原群落升温作用是一项有意义的课题，温度升高会导致碳从生物圈流向大气圈。该文研究苔原植物物候学特征和生长状况，探索土壤和冻土的温度是否影响植物产量。研究中使用 Onset HOBO 自动气象站连续监测环境温度和降雨量，使用 Campbell CR1000 记录土壤剖面温度，使用 ADC 多光谱相机监测植物叶片物候学特征（NDVI）。研究结果表明土壤和冻土温度动态在调节植物响应气候变化中的作用，并提供证据表明，气候变暖可能会促进苔原植物生物量中更大的碳积累。尽管全球变暖，可增加存储在苔原土壤和冻土中有机物（微生物）的分解，释放二氧化碳，但这些二氧化碳可以由植物的生长相互抵消。



Increased plant productivity in Alaskan tundra as a result of experimental warming of soil and permafrost

1. The response of northern tundra plant communities to warming temperatures is of critical concern because permafrost ecosystems play a key role in global carbon (C) storage, and climate-induced ecological shifts in the plant community will affect the transfer of carbon-dioxide between biological and atmospheric pools.

2. This study, which focuses on the response of tundra plant growth and phenology to experimental warming, was conducted at the Carbon in Permafrost Experimental Heating Research project, located in the northern foothills of the Alaska Range. We used snow fences coupled with spring snow removal to increase deep-soil temperatures and thaw depth (winter warming), and open-top chambers to increase summer air temperatures (summer warming).

3. Winter warming increased wintertime soil temperature (5–40 cm) by 2.3 °C, resulting in a 10% increase in growing season thaw depth. Summer warming significantly increased growing season air temperature; peak temperature differences occurred near midday when summer warming plots were approximately 1.0 °C warmer than ambient plots.

4. Changes in the soil environment as a result of winter warming treatment resulted in a 20% increase in above-ground biomass and net primary productivity (ANPP), while there was no detected summer warming effect on ecosystem-level ANPP or biomass. Both summer and winter warming extended the growing season through earlier bud break and delayed senescence, despite equivalent snow-free days across treatments. As with ANPP, winter warming increased canopy N mass by 20%, while there was no summer warming effect on canopy N.

5. The warming-mediated increase in N availability, coupled with phenological shifts, may have driven higher rates of ANPP in the winter warming plots, and the lack of ecosystem-level N and ANPP response to summer warming suggest continued N limitation in the summer warming plots.

6. Synthesis: These results highlight the role of soil and permafrost dynamics in regulating plant response to climate change and provide evidence that warming may promote greater C accumulation in tundra plant biomass. While warming temperatures are expected to enhance microbial decomposition of the large pool of organic matter stored in tundra soils and permafrost, these respiratory losses may be offset, at least in part, by warming-mediated increases in plant growth.

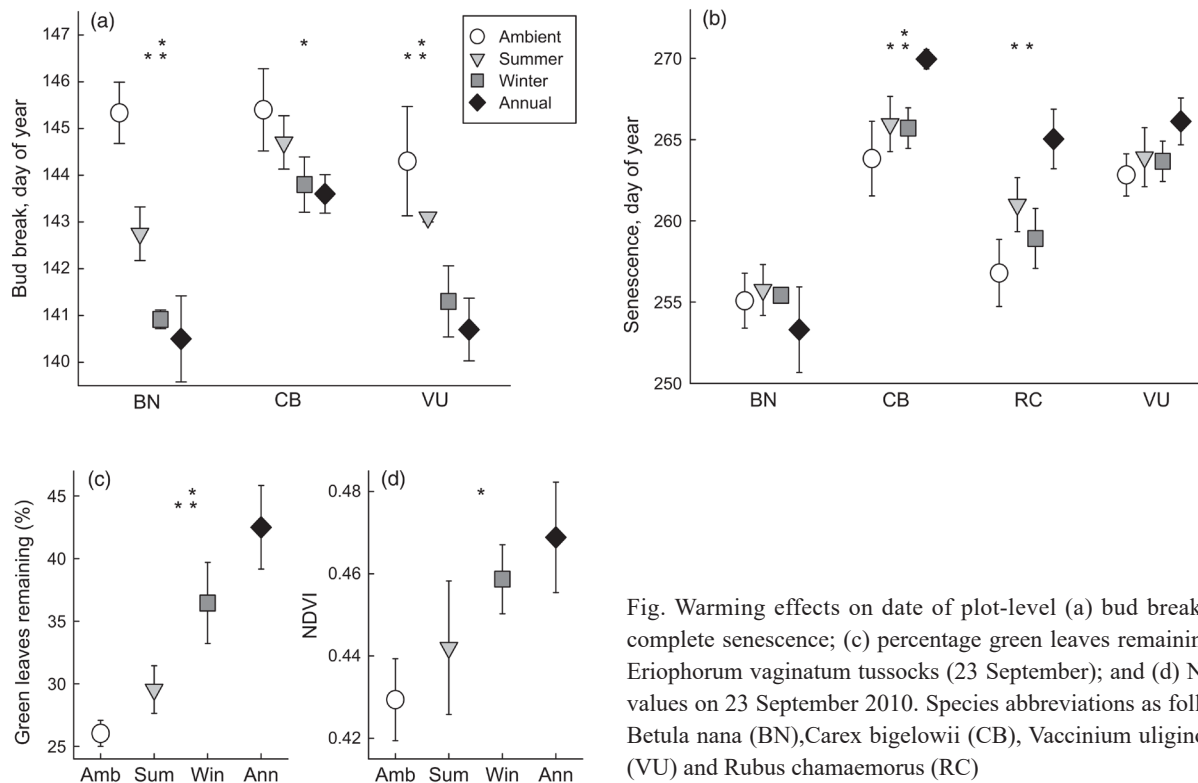


Fig. Warming effects on date of plot-level (a) bud break; (b) complete senescence; (c) percentage green leaves remaining on *Eriophorum vaginatum* tussocks (23 September); and (d) NDVI values on 23 September 2010. Species abbreviations as follows: *Betula nana* (BN), *Carex bigelowii* (CB), *Vaccinium uliginosum* (VU) and *Rubus chamaemorus* (RC)

植物不同生长阶段的升温作用 (a) 断蕾期; (b) 衰老期; (c) 绿叶期; (d) NDVI

案例四：利用实验升温研究冻土退化加速苔原的碳损失

简介：几千年来，北极一直被水所覆盖着，气候寒冷，土壤中的微生物活动弱，有机质分解慢，造就了北极这个巨大碳库。随着气候变暖，这个巨大冰冻的碳库正在面临着解冻和分解，并释放出温室气体，同时，植物产量的增加会减小一些碳损，植物和微生物对升温的响应决定了苔原生态系统碳的交换方向，但是这些响应的时间和级别还不得而知。该研究利用实验升温的方法，模拟气候变化，研究表明生长季植物的生长使生态系统碳的获取量增加了两倍，但是微生物的活动也会减小这种作用。冬季碳损对真实气候的响应可能大于实验升温的结果，在这种情况下，可以预期是净碳损的两倍。该研究使用了 ADC 多光谱相机来测量生长季植被的 NDVI，以计算植被的生物量（碳的固定量）。



Permafrost degradation stimulates carbon loss from experimentally warmed tundra

Abstract: A large pool of organic carbon (C) has been accumulating in the Arctic for thousands of years because cold and waterlogged conditions have protected soil organic material from microbial decomposition. As the climate warms this vast and frozen C pool is at risk of being thawed, decomposed, and released to the atmosphere as greenhouse gasses. At the same time, some C losses may be offset by warming-mediated increases in plant productivity. Plant and microbial responses to warming ultimately determine net C exchange from ecosystems, but the timing and magnitude of these responses remain uncertain. Here we show that experimental warming and permafrost (ground that remains below 0 °C for two or more consecutive years) degradation led to a two-fold increase in net ecosystem C uptake during the growing season. However, warming also enhanced winter respiration, which entirely offset growing-season C gains. Winter C losses may be even higher in response to actual climate warming than to our experimental manipulations, and, in that scenario, could be expected to more than double overall net C losses from tundra to the atmosphere. Our results highlight the importance of winter processes in determining whether tundra acts as a C source or sink, and demonstrate the potential magnitude of C release from the permafrost zone that might be expected in a warmer climate.

相关参考文献

- [1] 白由路, 金继运, 杨俐苹, 张宁, 王磊. 低空遥感技术及其在精准农业中的应用 [J]. 土壤肥料, 2004,01:3-6+52.
- [2] 鲁恒, 李永树, 何敬, 任志明. 无人机低空遥感影像数据的获取与处理 [J]. 测绘工程, 2011,01:51-54.
- [3] 王福涛, 王世新, 周艺, 王丽涛, 阎福礼. 多光谱遥感在重大自然灾害评估中的应用与展望 [J]. 光谱学与光谱分析, 2011,03:577-582.
- [4] 李冰, 刘镕源, 刘素红, 刘强, 刘峰, 周公器. 基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测 [J]. 农业工程学报, 2012,13:160-165.
- [5] 高姣姣. 高精度无人机遥感地质灾害调查应用研究 [D]. 北京交通大学, 2010.
- [6] 王玉鹏. 无人机低空遥感影像的应用研究 [D]. 河南理工大学, 2011.
- [7] 张忠, 何宏伟, 张建文. 基于低空遥感的矿山测量技术研究 [J]. 科技创新导报, 2013,10:90+92.
- [8] 张永年. 无人机低空遥感海洋监测应用探讨 [J]. 测绘与空间地理信息, 2013,08:143-145.
- [9] 金伟, 葛宏立, 杜华强, 徐小军. 无人机遥感发展与应用概况 [J]. 遥感信息, 2009,01:88-92.
- [10] 李宇昊. 无人遥感飞机在林业调查中的应用研究 [D]. 北京林业大学, 2008.
- [11] Hernández-Clemente, R., Navarro-Cerrillo, R.M., Zarco-Tejada, P.J., 2012. Carotenoid content estimation in a heterogeneous conifer forest using narrow-band indices and PROSPECT + DART simulations.

Remote Sensing of Environment 127, 298 – 315.

- [12]Suárez, L., Zarco-Tejada, P.J., González-Dugo, V., Berni, J.A.J., Sagardoy, R., Morales, F., Fereres, E., 2010. Detecting water stress effects on fruit quality in orchards with time-series PRI airborne imagery. Remote Sensing of Environment 114, 286 – 298.
- [13]Susan M. N., Edward A. G. S., Rachel L. R., 2011. Increased plant productivity in Alaskan tundra as a result of experimental warming of soil and permafrost. Journal of Ecology, 2(100), 1365-2745
- [14]Susan M. N., Edward A. G. S., Elizabeth E. W., Caitlin E. H. P., Kathryn G. C. 2014. Permafrost degradation stimulates carbon loss from experimentally warmed tundra, Ecology 95, 602–608

部分合作单位

中国农业科学院 中国环境科学院 国家农业信息化工程技术研究中心

中国科学院成都山地灾害与环境研究所 地理科学与资源研究所 广州地理研究所

中国林业科学研究院 中国农业大学 浙江大学

浙江工业大学 西北农林科技大学 华中农业大学

华南农业大学 山东农业大学 东北林业大学

北京师范大学 河南大学 贵州师范大学



综合仪器网站: www.Qudao.com.cn
系统集成网站: www.QudaoSystem.com

地址: 北京市海淀区大钟寺 13 号华杰大厦 7B15 室
邮编: 100098
电话: 010-62111044/62152442/62118532/62118533
传真: 010-62114847