



中國農業大學
China Agricultural University



无人机在农业上的应用

王昌陵 博士、讲师

中国农业大学农业无人机系统研究院 (CAUS)

中国农业大学药械与施药技术中心 (CCAT)

中国农业大学理学院

2022-11-30

- 1 农业无人机概述
- 2 植保无人飞机及低空低量施药技术
- 3 无人机在遥感监测、播种、施肥等智慧农业方面应用
- 4 总结与展望



中國農業大學
China Agricultural University



一、农业无人机概述

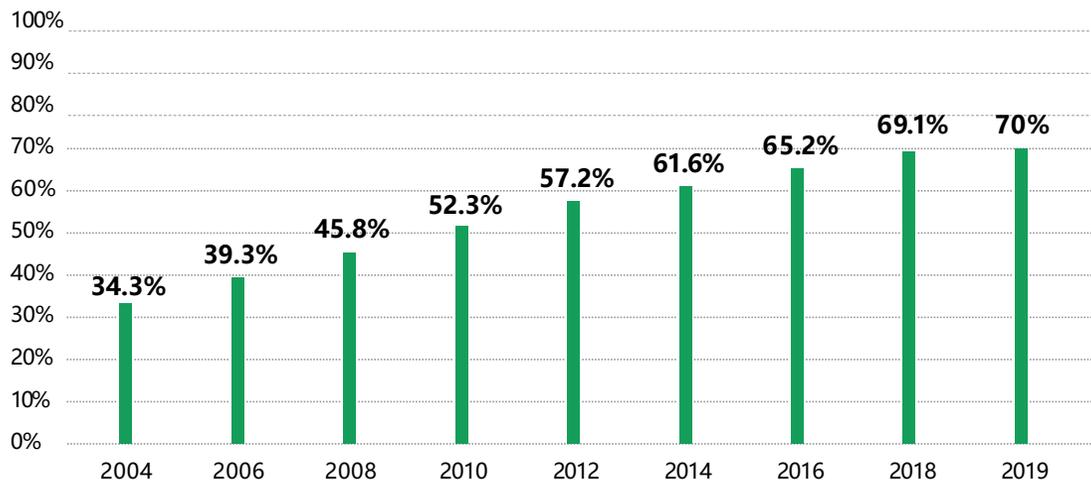
中国农业生产现状



农业机械是发展现代农业的重要物质基础，也是农业现代化的重要标志。当前，我国正处于从传统农业向现代农业转变的关键时期，推进农业机械化发展是解决目前种植效率低的重要途径。

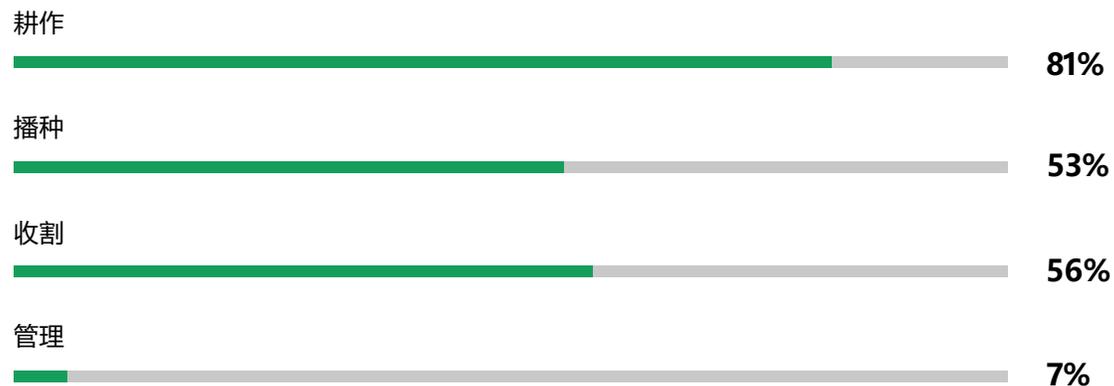
中国农业综合机械化水平变化

2020年小麦耕种收综合机械化率稳定在95%以上；水稻、玉米耕种收综合机械化率分别超85%、90%，较上年均提高2个百分点左右。全国农作物耕种收机械化率达到71%，较上年提升1个百分点。



中国农业生产环节机械化水平分布 (2015年)

我国农业耕、种、管、收四大生产环节中，据不完全统计，在农业管理环节（水、肥、病虫害、生长等）的机械化水平仅7%。



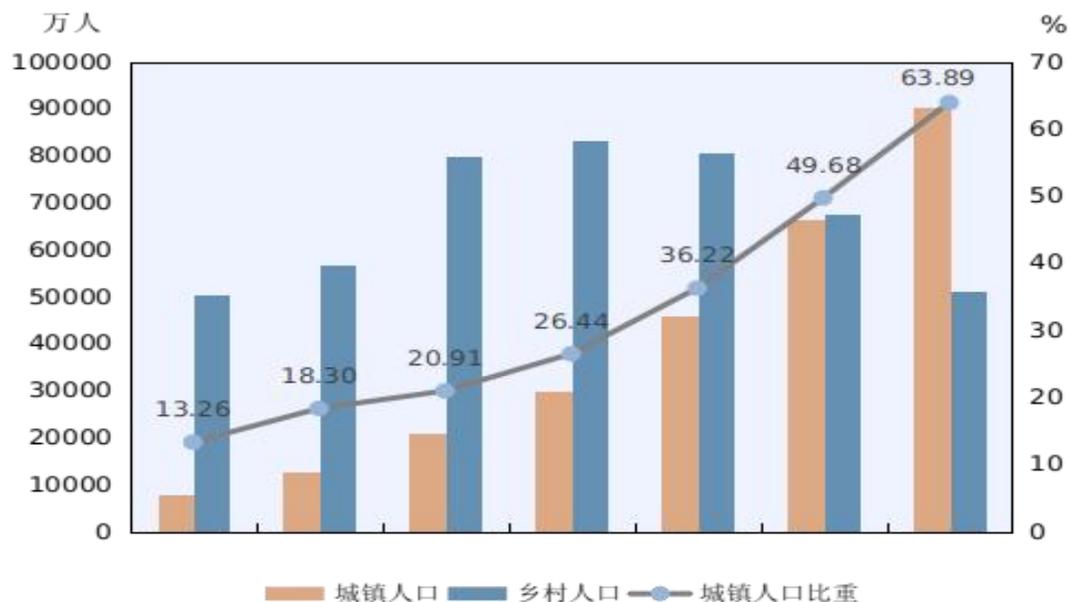
农村人口结构变化，农业生产 **机器换人** 大势所趋



数据显示：2020年中国乡村人口约为5亿人，占36.11%，相比2010年减少1.6亿。乡村60岁及以上老人占比达41.53%。农村人口**持续减少**，劳动力**持续老龄化**，农业生产**用工难现象**已日渐凸显。机器换人将是**大势所趋**。

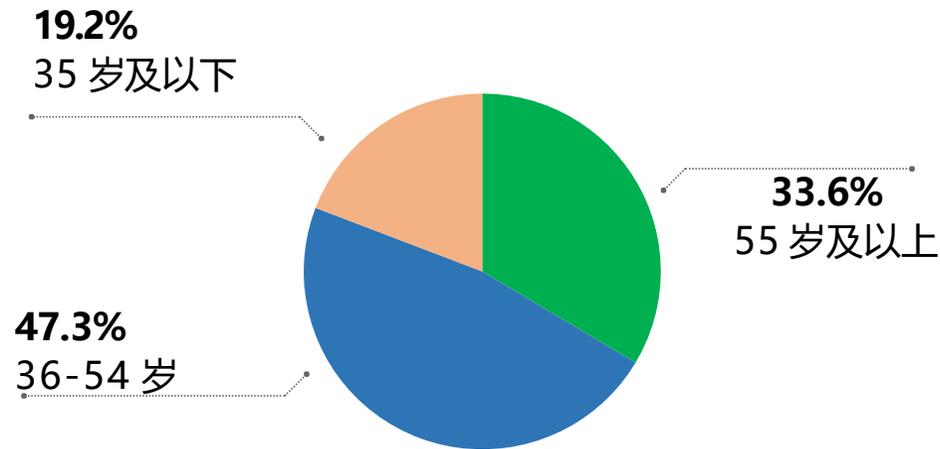
中国乡村人口比例持续下降

中国乡村人口占总人口的比例 19 年来大幅下降25%。按照该趋势，2025 年该比例将跌破 30%。



中国农业生产经营人员年龄

据农业农村部固定观察点对两万多户农户的观察，我国务农一线的劳动力平均年龄在53岁左右，其中60岁以上的务农劳动力占到25%。预计5-10年后，这批农民将开始退出劳动力市场。



中国农业生产经营人员年龄构成



“全面推进乡村振兴，坚持农业农村优先发展，巩固拓展脱贫攻坚成果，加快建设农业强国，全方位夯实粮食安全根基，牢牢守住十八亿亩耕地红线，确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中”

——党的二十大报告

“以更有力的举措、汇聚更强大的力量，加快农业农村现代化，为全面建设社会主义现代化国家开好局、起好步提供有力支撑”

——2021年中央一号文件

农机购置补贴促进农业无人飞机推广应用



根据2004年11月1日生效的《中华人民共和国农业机械化促进法》第二十七条规定：“中央财政、省级财政应当分别安排专项资金，对农民和农业生产经营组织购买国家支持推广的先进适用的农业机械给予补贴。农机补贴促进植保无人飞机推广应用，一定程度上解决了地面机械和有人驾驶农用飞机在复杂环境下病虫害防控作业难题，提高防治效率效果、降低防治成本、促进农业绿色发展。”

试点补贴

农业部、财政部、中国民用航空局决定2017年选择浙江（含宁波）、安徽、江西、湖南、广东、重庆等6个省（市）开展试点。开展以农机购置补贴引导植保无人飞机规范应用试点工作。

进一步扩大试点补贴范围

农业部表示：2018—2020年继续开展农机购置补贴引导植保无人飞机规范应用试点，推动新产品的推广应用，制修订试验鉴定大纲、完善补贴额测算办法。

正式纳入农机具补贴

2021年4月6日农业农村部发布了关于印发《2021—2023年农机购置补贴实施指导意见》的通知，其中明确了植保无人飞机进入了国家补贴，这意味着2021年开始植保无人飞机在各地都有补贴。

无人机 (UAV) 分类及特点

- **定义：**无人机是无人驾驶飞机的简称，英文缩写为‘UAV’，是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的无人驾驶飞机，也可由地面车载计算机完全或间歇地自主操作
- **分类：**分为固定翼无人机、旋翼无人机、无人飞艇、伞翼无人机、扑翼无人机



固定翼无人机

飞行速度快，抗风能力强，作业效率高，航程远、载重量大，可执行跨区域任务



旋翼无人机

垂直就近起降
空中精确悬停作业
超低飞行能力
使用简单



无人飞艇

起飞降落便利
飞行安全度高
操控易于掌握
节能性能好，噪音低，环境影响小

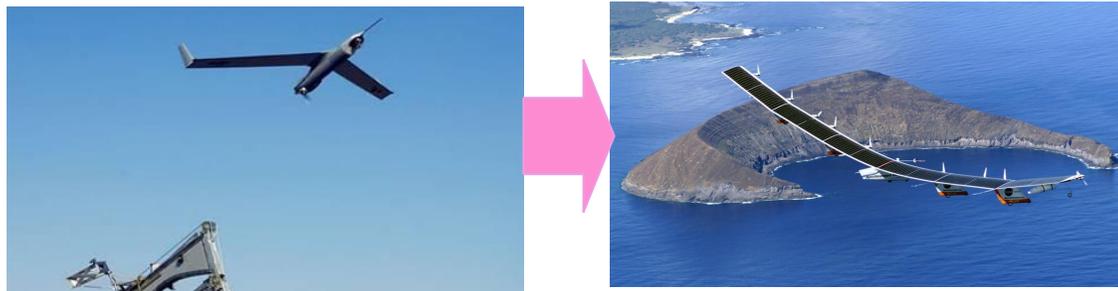
无人机 (UAV) 分类及特点



- 军用：无人机最早和最主要的使用者是各国军方，主要用于侦查、攻击、诱饵、靶机等
- 民用：用途广泛，警用、城市管理、农业、地质、气象、电力、抢险救灾、视频拍摄等行业

续航时间

十几分钟至几天

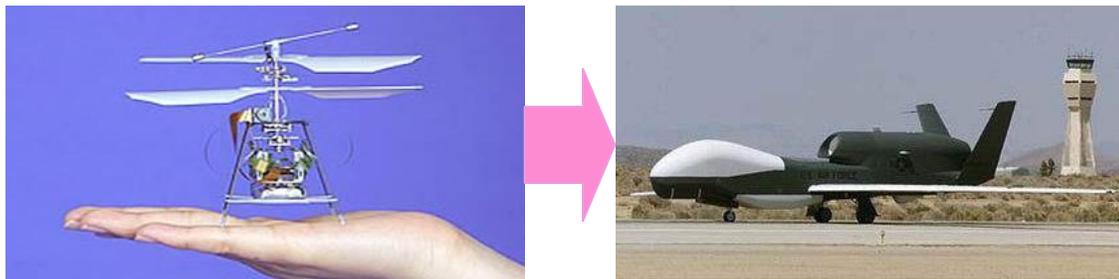


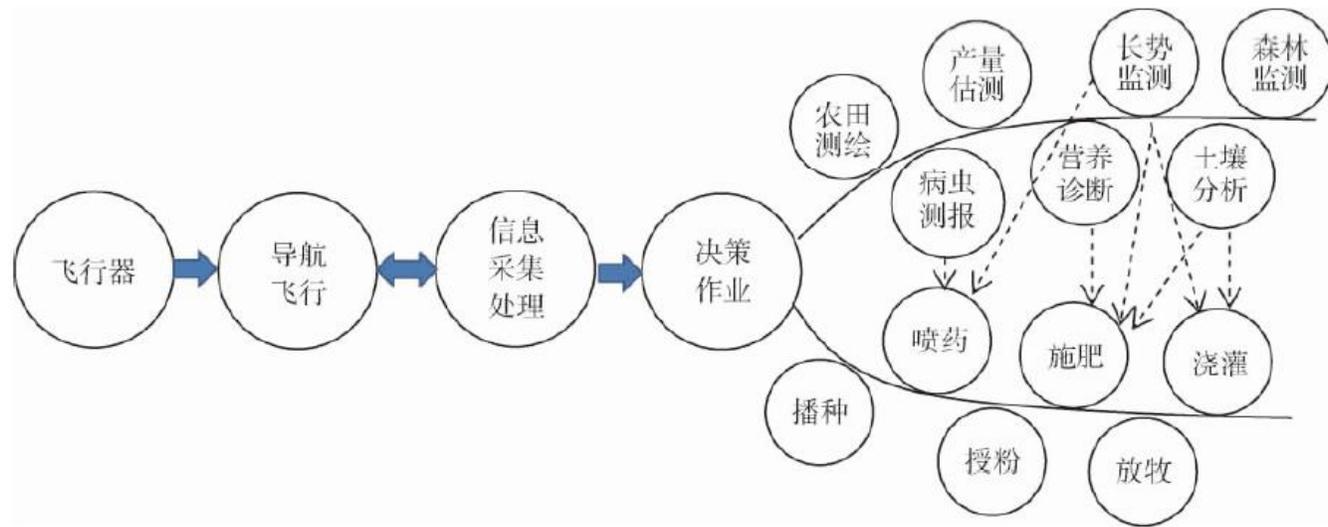
任务载荷

从单一传感器到同时搭载多种传感器

起飞重量

几十克至几十吨



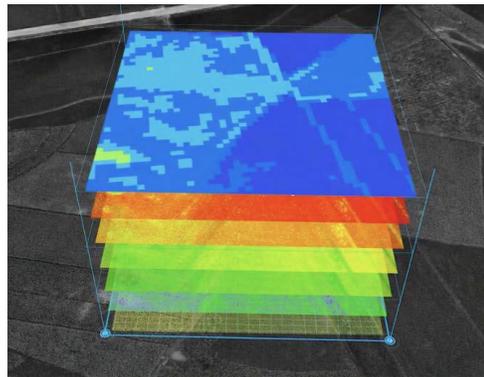


无人机在农业中的应用



植保作业

传统植保作业需要人工徒步穿越农田进行。无人机作业不受一般地形限制，提供数十倍于人工的作业效率，实现人药分离，同时通过出色的药液雾化效果，提升作业质量。



作物监测

农业从业者穿梭在田地中的监测方式耗时费力，容易受到密集植被影响。借助多光谱成像技术，可对农田进行科学准确的生长、病虫害及灌溉监测。



农田测绘

借助航测无人机可对农田进行高效测绘，并可根据清晰的测绘图像进行植保作业规划。



播撒作业

农田地形复杂，不易穿行进行种子、肥料播撒作业。借助大疆农业播撒系统，使播撒作业更为高效。自动化的作业模式亦有助于提高播撒均匀度。



中國農業大學
China Agricultural University

二、植保无人飞机及低空低量航空施药技术

日本单旋翼植保无人机



R-50



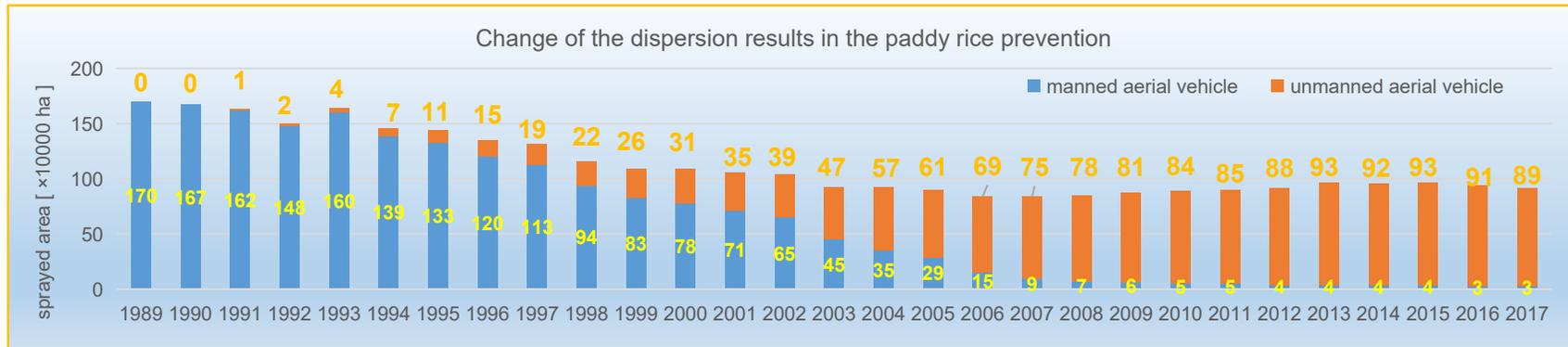
RMAX Type II G



YF390



FAZER



具有认证的单旋翼植保无人机数目：2,788台 (May, 2018)
 持证上岗的单旋翼无人机飞手人数：10,545 人(May, 2018)

30多年的发展历史，单旋翼植保无人机防治面积超过日本农作物总种植面积的40%

日本多旋翼植保无人机



DAX04



MMC940AC



YMR-08



MG-1



具有认证的多旋翼植保无人机数量：889 台(May, 2018)

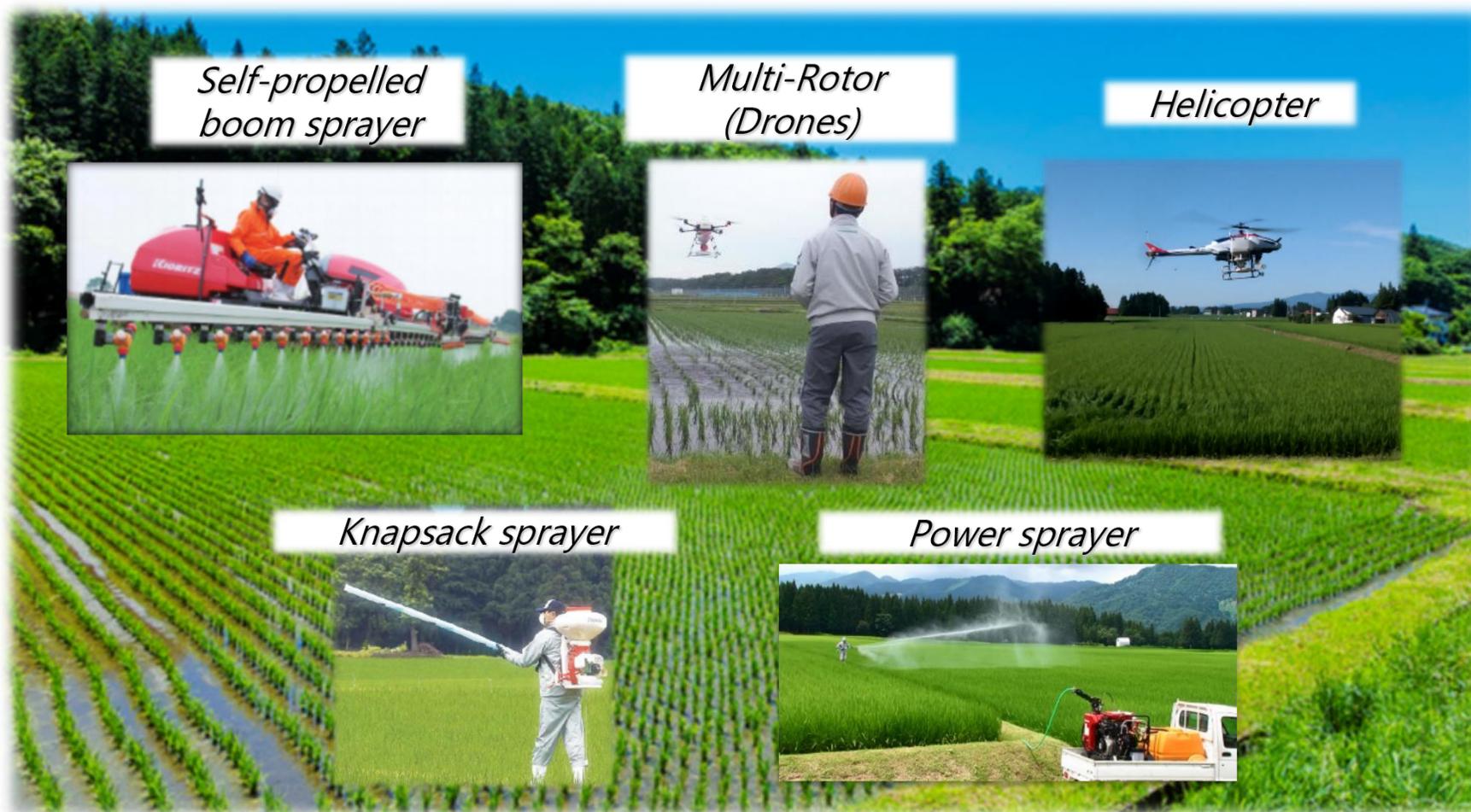
持证上岗多旋翼无人机飞手人数：3,602 人(May, 2018)

2016年以来逐渐兴起，正处于快速发展阶段。

日本航空施药技术应用



日本水稻植保机械



日本水稻种植面积约157.5万亩，占日本全国农作物总种植面积的38%（2014年）

国外应用现状：北美-美国

美国：主要采用**有人驾驶固定翼飞机**和**载人直升机**，美国农业航空对农业的直接贡献率为15%以上，年处理40%以上的耕地面积，全美65%的化学农药采用飞机作业完成喷洒，其中水稻施药作业100%采用航空作业方式。



美国联邦航空管理局（Federal Aviation Authority, FAA），美国国内在2015年之前不允许商业化无人机飞行，2015年12月美国放开消费级无人机管制与使用，但仍处于管制阶段，需要许可才可以飞行，目前无人机在植保领域禁用，无人机飞行多数为科研活动和非营利性遥感探测。

美国植保无人机应用-葡萄园病虫害防治

- 2013年起, University of California, Davies研究人员D.K. Giles教授等在加利福尼亚州纳帕谷(加州葡萄酒主产地)探索植保无人机在葡萄园病虫害防治中的应用, 进行作业效率、沉积覆盖、防治效果和飘移风险试验 (Yamaha 植保无人机于2015年被允许在美国加利福尼亚州使用)
- 在专业化地面支持设备的帮助下, 无人机低空低量施药结合地面施药方式和病虫害监测, 可以满足葡萄全生长周期的病虫害防治需求, 保证果园产量和果品质量
- 无人机葡萄园作业施药液量控制在100L/ha (6.7L/亩) 左右, 喷施桶混杀菌剂、除草剂液剂或可溶性制剂以及喷雾助剂
- 单旋翼无人机葡萄园施药飘移最远可达下风向48m处, 无人机施药飘移对非靶标环境的影响和不同机具飘移风险大小需要进一步研究



Yamaha Rmax无人机



地面支持车 (运输、混药、加药)



坡地葡萄园

欧洲航空施药技术应用



欧洲无人机智能化水平较高，拥有多家提供无人机产品和服务的公司，2013年6月，欧盟无人机管理协会将无人机纳入欧盟民用航空系统。但出于环境与食品安全考量，欧洲在80年代末禁用农业航空喷雾，植保作业主要采用喷杆喷雾机和果园风送喷雾机。近年来，研究人员开始在林业和果园、葡萄园病虫害防治方面使用载人直升机和植保无人飞机进行室内和田间试验研究。



植保无人飞机施药作业特点



- **不受地形地势限制**，能够在地面装备不能进入的区域内作业
- **不受作物长势限制**，有利于作物后期作业
- 与地面装备相比，**不会损坏农作物，没有压损**
- 可以**快速部署**，突击能力强，利于应急处置爆发性病虫害
- 作业效率**远高于人工作业**
- 与地面机具相比可减少作业过程中的**碳排放**
- 常量或低容量喷雾，大幅节约用水量，为**农药利用率提升**提供前提

中国植保无人飞机发展历程



中国植保无人飞机发展历程

➤ **2010-2013年：**油动单旋翼、电动单旋翼和电动多旋翼3种机型发展初具规模，能够实现基本农药喷洒功能



中国植保无人飞机发展历程

➤ **2014-2015年：** 试探性实际作业；植保无人机飞防专业化服务组织出现；由航模向专业化植保无人机转变





中国植保无人飞机发展历程

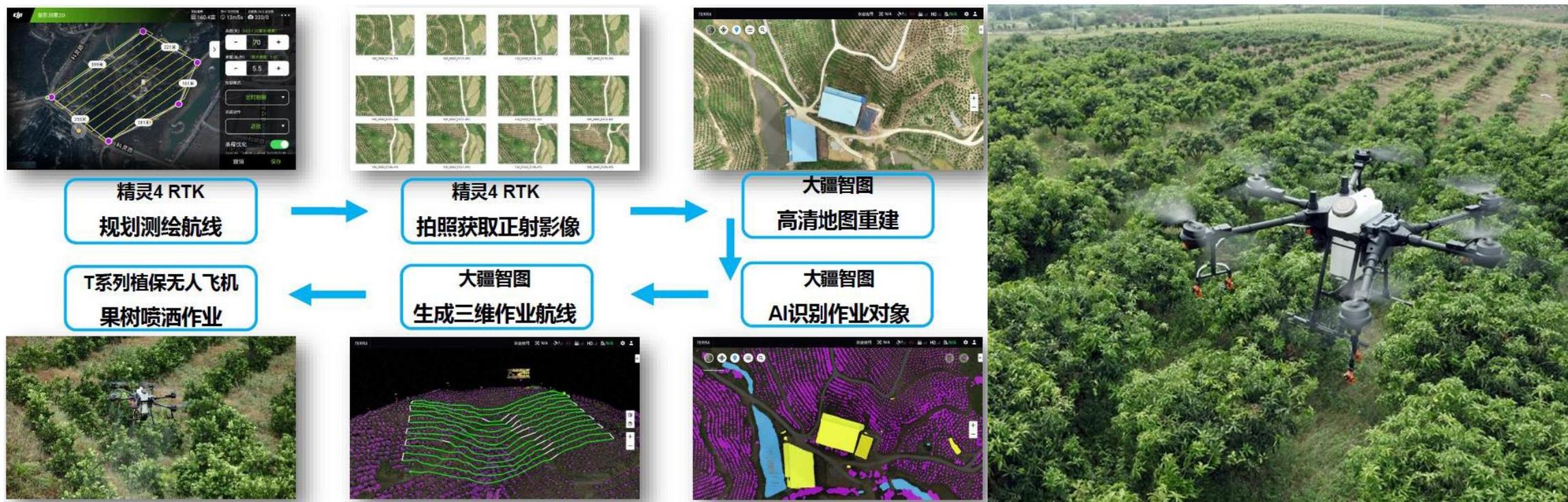
➤ **2016~2017年:** 植保无人机飞行平台专业化、操控智能化; 投入大面积生产作业; 设计生产和使用理念进步; 相关行业和地方标准出台; 国家补贴与项目、联盟支持。



中国植保无人飞机发展历程



➤ **2018至今:** 高速发展阶段，经过市场竞争和淘汰，植保无人机市场格局逐渐清晰；RTK差分定位技术应用、飞行平台性能进一步提升、果树作业模式出现，植保无人机作业场景逐渐由平地、大田作物转向山地等复杂地形以及果树等经济作物。

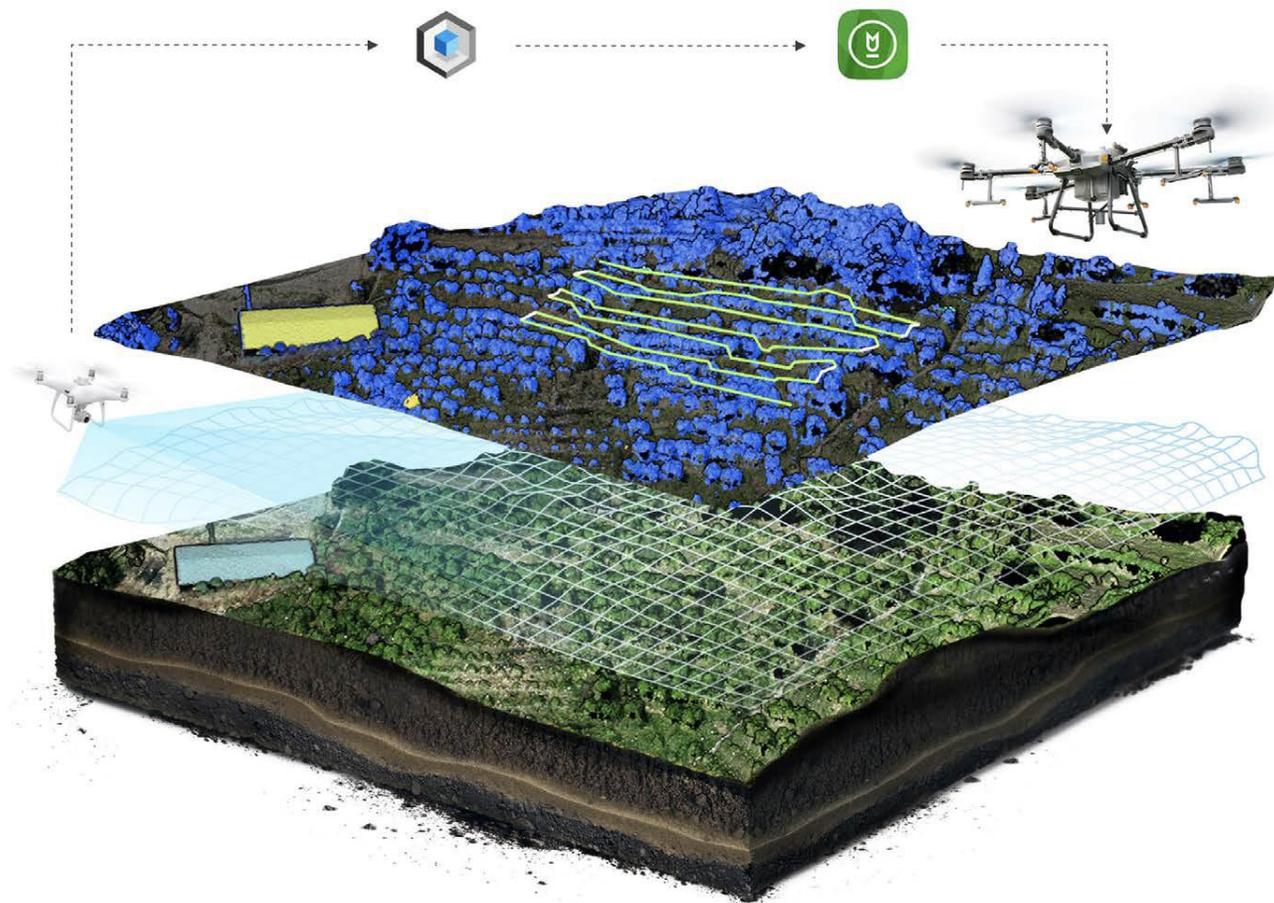


三维航线规划（果树模式）

针对大田、果树、草原等各式作业场景，可通过植保无人机与高效工具结合，大幅简化作业操作，提高整体作业效率，推动产业升级

三维航线规划（果树模式-大疆）

使用三维航线解决方案，可解决复杂地形作业难的问题。使用精灵 4 RTK 进行高效测绘后，大疆智图将对作业区域进行数字化建模，随后区域内的作物与非作物将被识别。以果园作业为例，软件在识别物体属性后，将根据每棵果树生长形态生成三维自动航线，任务经大疆农业服务平台分发到 T 系列植保无人飞机，即可执行高效药物喷洒工作。



采集	规划	任务管理	作业
精灵 4 RTK	大疆智图	农业服务平台	大疆农业无人机
厘米级定位	实时建图	远程任务管理	高效作业
高精度数据采集	二维/ 三维建模	远程设备管理	
25 分钟完成	AI 作业规划		
1,500 亩			
图像采集			

果树作业模式-大疆、极飞等



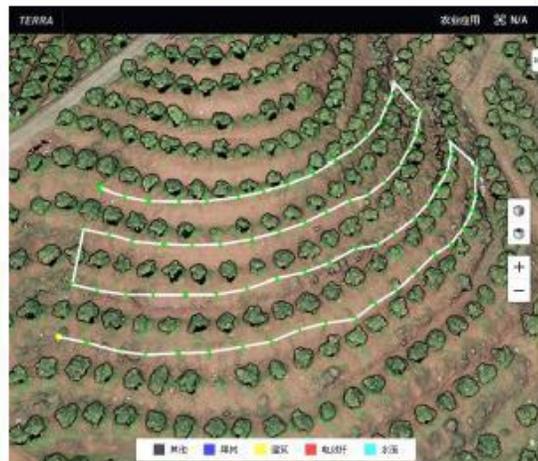
➤ 规划方式



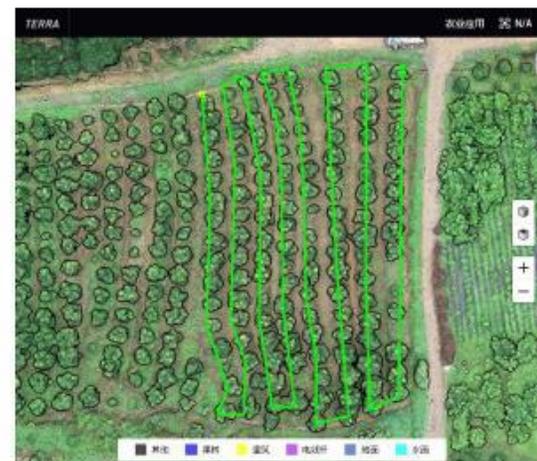
自动等距规划



自动树心规划



半自动规划



手动规划

➤ 喷洒方式：连续喷洒、树心悬停或旋转喷洒、蚊香航线、波浪航线等



蚊香航线



仿树飞行



波浪航线

中国植保无人飞机机型



多旋翼 (电动) ——绝大部分

➤ 2021年, 市场保有量: 13万台+, 年作业面积: 10亿亩次+



大疆T40



大疆T30 (枝向对靶形态)



极飞P80



极飞V50



极目E-A2021

单旋翼 (油动、电动) ——少量



全丰全球鹰



天鹰兄弟TY-800



60所Z-3N型

中国植保无人飞机发展现状

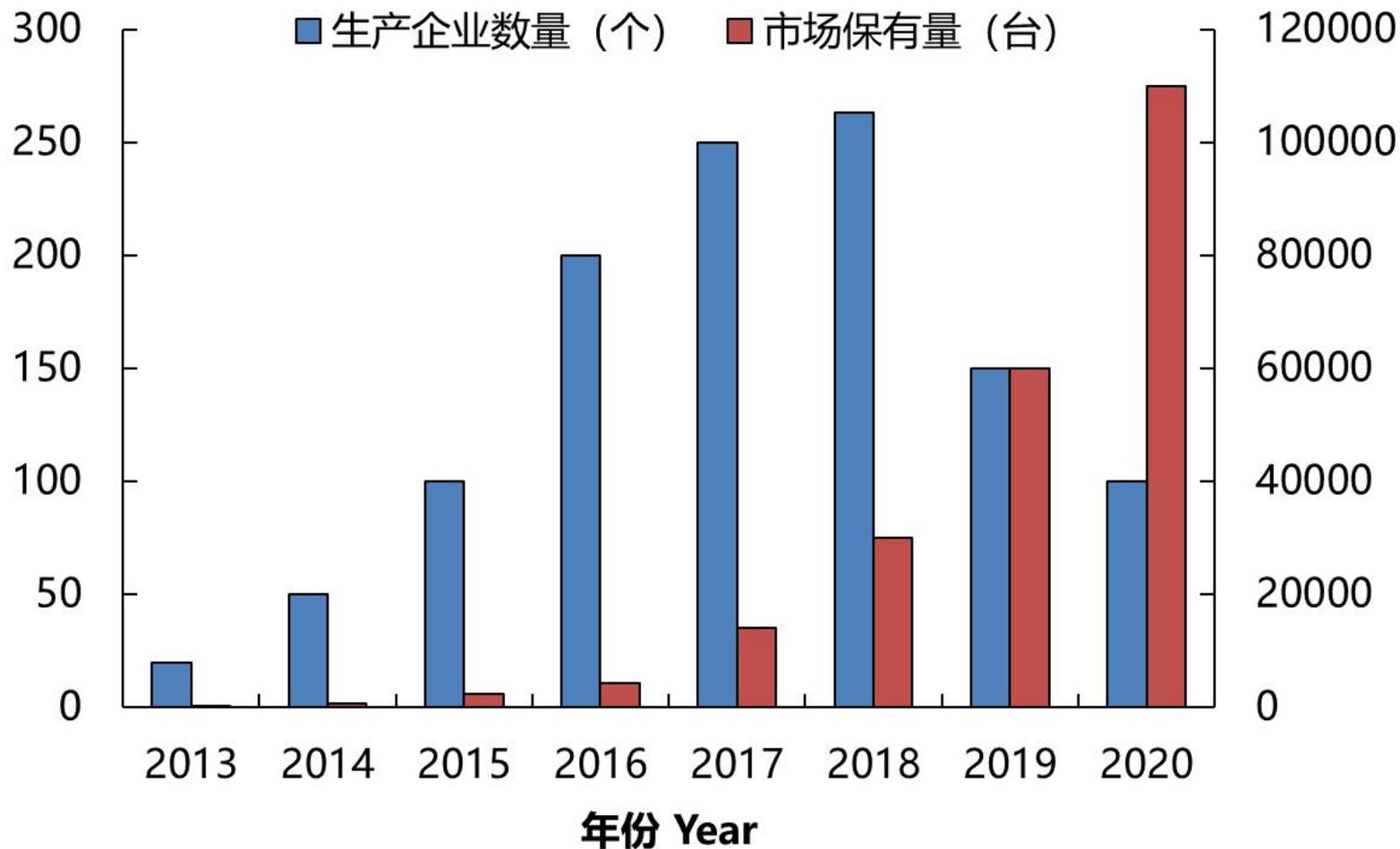


➤ **主要厂商：深圳大疆创新、广州极飞、苏州极目、深圳天鹰兄弟、无锡汉和……**

➤ **2021年底**

市场保有量：13万台+

年作业面积：10亿亩次+



植保无人飞机应用情况-大疆



120,000+

中国区植保机保有量

120,000+

累计培训人次

10亿亩

2021中国年度累计作业面积

1亿亩

2021 中国年度累计播撒面积

65,000+

持证飞手

300+

全球覆盖作物种类

922万亩

2021中国年度累计果蔬飞防面积

200万亩

实现农田数字化

植保无人飞机应用情况-极飞



- ◆ 市场规模：据农业部统计，2020年全国植保无人机保有量**7万+**架（较上年增长77.52%），至2022年估算已超过**10万**。

截至 2021 年



极飞智慧农业科技产品覆盖的
国家和地区 **50** 个



农业无人化设备运营数量
82371



累计为农民提供无人化生产服务
1.03 亿人次



累计农田作业面积 **9.9** 亿亩次

注：以上数据来源于《极飞科技企业社会责任报告 2021》，数据统计结果解释以极飞官方为准。

飞行器稳定性与智能化程度提高

- 稳定性、操控精准度提高：飞控升级、RTK技术应用
- 操控简易性提高：地面基站→手机+遥控器→遥控器+网络RTK
- 安全性提高：全向雷达、自动避障、电子围栏、仿地飞行
- 果树作业模式：大疆、极飞，航拍—建模—作业

一定程度上可提高植保无人飞机喷雾分布均匀度、作业精准度



网络RTK高精度自主作业

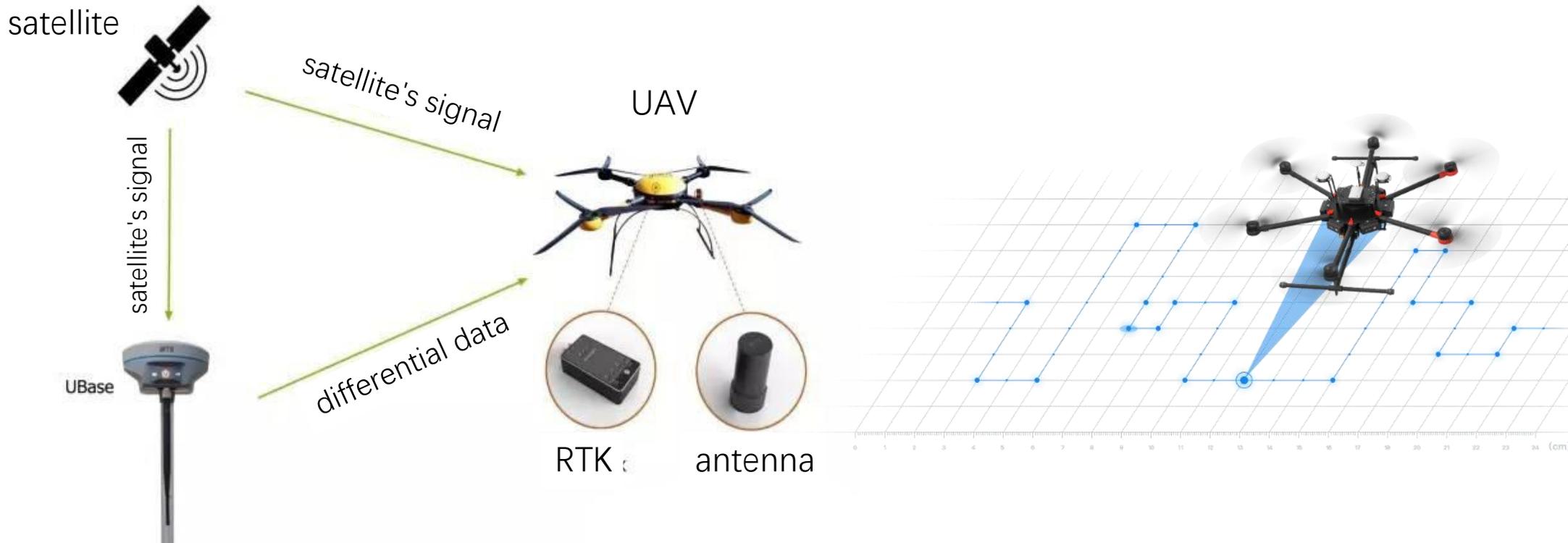


仿地飞行技术



自动避障技术

对精准定位飞行的认识存在误区



精准飞行 ≠ 精准施药 ≠ 充分发挥药效

植保无人飞机雾化系统现状



- **液力式喷头：**平面扇形雾、空心圆锥雾喷头



平面扇形喷头 (01、015、02)



空心圆锥喷头 (005、0067)

- **离心式喷头：**各厂家自行研发，未形成统一体系



极目CMCC离心喷头

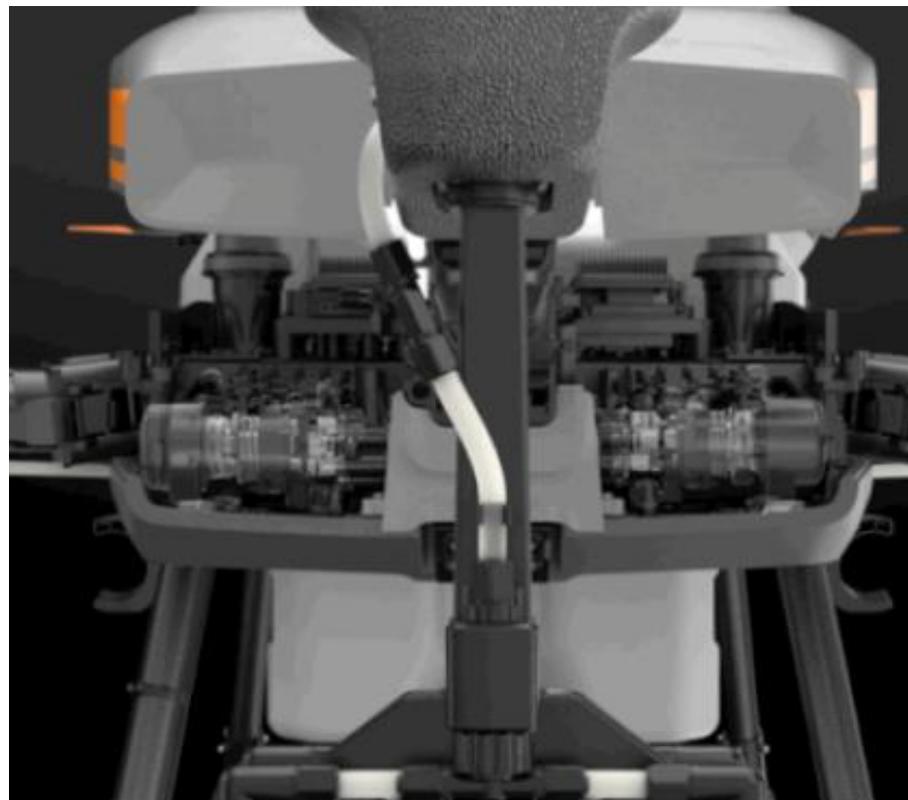


极飞栅格式离心喷头

植保无人飞机雾化系统现状



电动隔膜泵



电动柱塞泵 (大疆)



电动蠕动泵 (极飞)

- 喷雾系统缺乏调压、稳压、回流装置，压力随着流量的调节变化，无法准确控压
 - 功率低、流量调节范围较小
- 无法保证不同喷雾流量下都维持优良的雾化质量 (窄雾滴谱、粒径均一)**

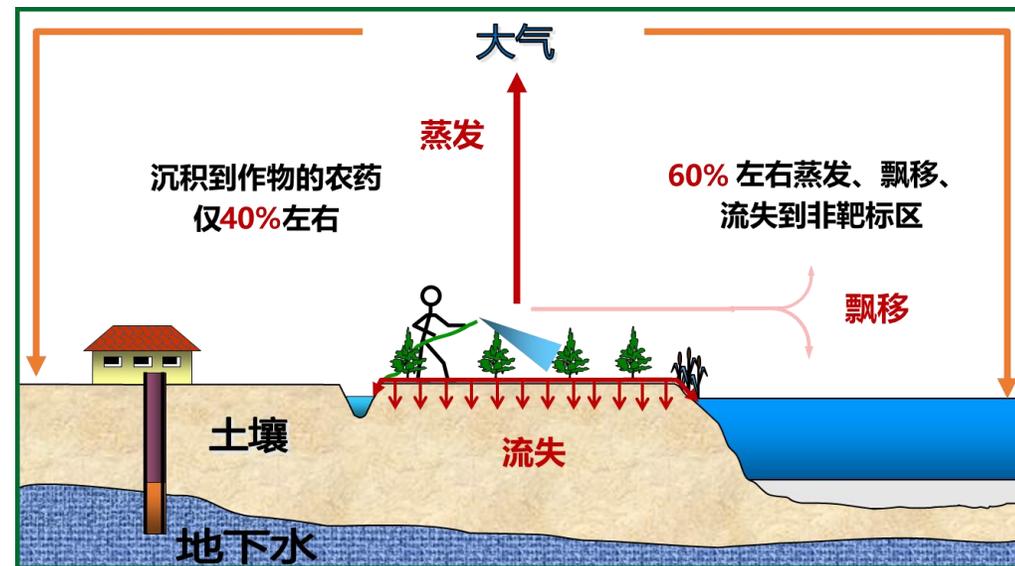
不同作业场景和机具的施药飘移



飘移严重影响农药高效利用



- **农药飘移:** 施药过程中或施药后一段时间, 在不受外力控制的条件下, 农药雾滴或粉尘颗粒在大气中从靶标区域迁移到非靶标区域的一种物理运动
- **蒸发飘移:** 农药在使用过程中或使用后, 气态药物扩散至靶标区域周围的环境中, 主要由农药有效成分与分散体系的液体物质的挥发性造成
- **随风飘移:** 喷雾扇面中的细小雾滴随气流胁迫运动脱离靶标区域后再沉降的过程



无人机施药与地面机具常用施药参数



机具类型	植保无人飞机		地面机具	
	大田	果树	大田	果树
作业速度 (m/s)	5~7	1~3	1.5~3.0	0.5~1.0
作业高度 (喷雾距离, m)	1.0~2.5	1.5~4.0	0.5	0.5~1.0
施药液量(L/亩)	0.8~2.0	4.0~12.0	15~60	80~200
雾滴粒径 (μm)	80~200		200~500	80~200
药液浓度 (稀释倍数)	15~25		100~2000	

- **作业速度快** → **沉积、飘移**
- **喷雾距离远、雾滴运行时间更长** → **沉积、飘移**
- **施药液量低、雾滴粒径更细小** → **沉积、飘移、蒸发、药效**
- **药液浓度高** → **药效、安全性、飘移**

雾滴谱分级



- **ISO 25358: 2018-Crop protection equipment-droplet-size spectra from atomizers-measurement and classification**
- **ASABE S572-Spray Nozzle Classification by Droplet Spectra**
- **植保无人飞机喷施雾滴粒径体积中径 (VMD) 大多归属F, VF, EF (XF) 分级, 极易飘移**

ISO 25358: 2018

Size Classification	Symbol	Dv0.5 Range microns
Extremely Fine	EF	< 60
Very Fine	VF	61-105
Fine	F	106-235
Medium	M	236-340
Coarse	C	341-403
Very Coarse	VC	404-502
Extremely Coarse	EC	503-665
Ultra Course	UC	> 665

ASABE S572

CATEGORY	SYMBOL	Dv0.5 (VMD) μm
Extremely Fine	XF	~50
Very Fine	VF	<136
Fine	F	136 - 177
Medium	M	177 - 218
Coarse	C	218 - 349
Very Coarse	VC	349 - 428
Extremely Coarse	XC	428 - 622
Ultra Coarse	UC	>622

植保无人飞机施药作业存在的问题



➤ 沉积分布均匀性不佳:

- 雾滴沉积分布均匀性 $CV\% > 40\%$
- 理想条件下分布均匀性 $CV\% < 15\%$

➤ 非靶标区飘移药害: 雾滴飘移、蒸发飘移

- 除草剂: 粮食作物、蔬菜、果树、葡萄、瓜类、棉花、中药材
- 杀虫剂: 瓜类、果树、桑树、蜜蜂、鱼类、蚕、授粉昆虫)
- 杀菌剂: 三唑类杀菌剂对瓜类、水果

➤ 施药区作物药害: 温度、湿度、生长期



适用作业参数仍需探索

- 为追求经济利益最大化，飞行高度、速度、施药液量设置不科学、不合理，缺乏针对**不同靶标对象、病虫害、药剂和气象条件**的标准化作业规程系统研究





应对发展中挑战的对策

- 大力研发植保无人机**喷雾系统关键工作部件**：研发并推广应用植保无人机专用喷头、液泵及稳压、调压装置；
- 加强**低空低量施药理论和应用技术**研究：针对不同地区、不同作物及不同病虫害的适用施药液量、飞行速度、飞行高度、喷头类型、雾滴粒径等最佳施药技术参数研究，
- 重视**植保无人机施药作业农药雾滴飘移对非靶标区域的影响**，探究低空低量施药雾滴飘移评价方法，建立无人机施药安全缓冲区；
- 加强**飞防操作人员培训**：除了熟练掌握无人机操作技术以外，还需学习农作物及病虫害、植保及农药使用、低空低量施药技术、无人机维修保养方面的相关知识，提升植保服务水平；
- 制订系列**植保无人机施药技术规范及标准**：规范植保无人机制造、销售、作业及操作人员培训等，确保行业有序发展。

无人机在植保作业中的地位



- 将作为一个重要组成部分长期存在，稳定发展
- 主要应用与地面设备不便于作业情况
- 突发性病虫害应急防治

立体植保作业





中國農業大學
China Agricultural University



三、无人机在遥感监测、播种、施肥及智慧农业方面应用

植保无人机作业对象和场景越发丰富



■ 覆盖区域



粮食作物：
水稻 小麦 玉米 马铃薯



油料作物：
花生 大豆 油菜



瓜果蔬菜作物：
西瓜 哈密瓜 莲藕



果树作物：
柑橘 苹果 枣树 梨树



烟草糖料作物：
甘蔗 烟草 甜菜



其他作物：
棉花 茶树 玫瑰

.....

无人机在播撒作业场景上的应用



播撒系统 3.0

大容量、可水洗、抗腐蚀



40L

40L大容量

1 吨/时

大流量播撒



3分钟快速换装 适应多种作业需求



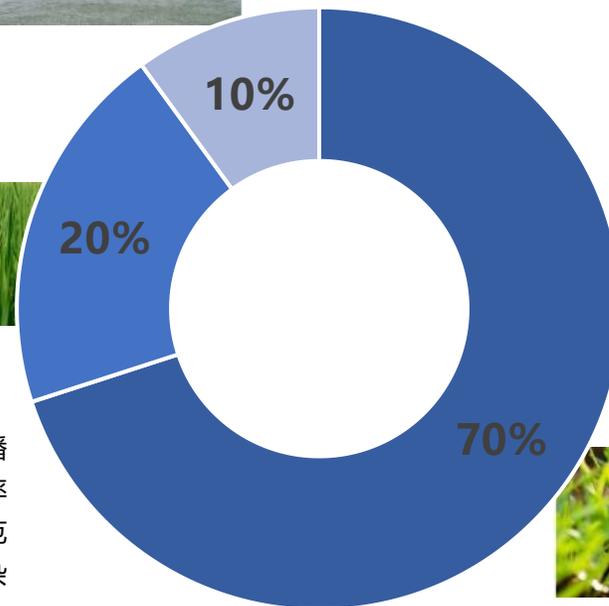
饲料播撒

鱼虾蟹等水产养殖，饲料投放频率高，人工投放费时费力，无人机播撒用量精准，效率更高，操作简便。



水稻播种

全自动播撒作业，播撒均匀度高，出芽率有保障，流量可调范围广，低亩用量的杂交水稻与高亩用量的寒地常规水稻均能高效、均匀播撒。



肥料播撒

搭载 40 升大载重播撒箱，增加肥料单架次播撒量，提高播撒效率。



播撒系统

大容量、可水洗、抗腐蚀



70L

70L 大容量

1.5 吨/时

大流量播撒



3 分钟快拆



适应多种作业需求



肥料播撒

搭载 40 升大载重播撒箱，增加肥料单架次播撒量，提高播撒效率。



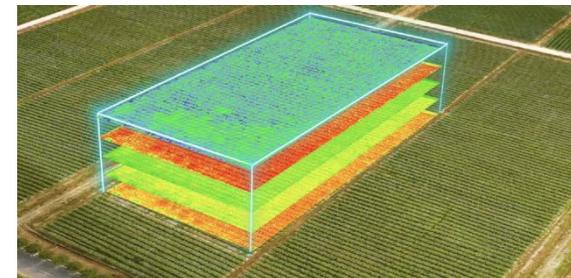
水稻播种

全自动播撒作业，播撒均匀度高，出芽率有保障，流量可调范围广，低亩用量的杂交粳稻与高亩用量的寒地常规水稻均能高效、均匀播撒。



饲料播撒

鱼虾蟹等水产养殖，饲料投放频率高，人工投放费时费力，无人机播撒用量精准，效率更高，操作简便。



变量播撒

搭配精灵4 多光谱版进行变量播撒，实现高效、精细化种植，达到省肥省时，增产增收。

播撒应用案例1：水稻飞播——人工效率50倍

作业案例背景：开平市位于广东省南部，属于亚热带海洋季风气候。一年当中光热充足，降雨丰富，非常适合水稻种植。当地水稻一年种植两季，大约一半水稻会选择飞机直播。传统的人工直播方式费事费力，而且播撒不均匀。

播种日期：2020年2月26日

作业人员：陈小云（开平市永晖农机联合社）

作业地点：广东江门开平市大疆农业示范田

使用机型：T20

作业面积：300亩

用户评价：T20播撒系统很低的播种成本、高效的播种效率和优质的播种效果让联合社社员们非常惊喜。他们放心的将自己的更多稻田交给T20来播种。

	人工	飞机	机插秧
亩产（斤/亩）	890	1047	1091
收入（元/亩）	1513	1779.9	1854.7
播种成本（元/亩）	75	65	140
管理成本（元/亩）	527	527	527
收割成本（元/亩）	100	100	100
利润（元/亩）	811	1087.9	1087.7

平整田块



选种/晒种



洗种/浸种



拌种



催种/晾种



飞机直播



播撒应用案例2：小麦返青施肥

作业案例背景：3月，大部分地区的冬小麦进入返青期。返青期是小麦分蘖的第二次关键期，把握好小麦的返青时期非常重要，需要加强田间管理措施，有效促进小麦的分蘖和行穗分化，保障小麦健康茁壮生长。

作业日期：2021年3月22日-23日

作业人员：新疆云翼飞防队

作业地点：新疆生产建设兵团第一师二团十八连

使用机型：T30

作业面积：340亩

用户评价：T30播撒系统3.0作业效率高，均匀度好

40L 满载重量(kg)	亩用量(kg)	单次作业面积(亩)	速度 m/s	行距 m	高度 m	甩盘转速 r/min	单电池作业情况	剩余电量	分析(全程手动往返断点, 剩余电量因断点位置不同存在差异)
30 尿素	12	2.5	7	6.5	3.5	1150	4架次 10亩	25%-33%	电池作业架次多, 算上加料时间, 第四个架次还没开始, 电池已充好
30-32 混合肥	15-17	1.8-2	5.1-5.8	6.5	3.5	1150	3架次 5.4-6亩	35%	1块电池3个架次, 电量剩余充足, 满足2电1充循环
30-35 复合肥	5	6-6.5	7	6.5	3.5	1200	2架次 10亩	40-50%	根据断点位置不同, 不一定能飞完3架次
40 复合肥	5	7.5-8	7	6.5	3.5	1200	1架次 5亩	65%-70%	亩用量太小, 飞机大载重时间长, 建议飞1架次, 或者第2架次不满载

作业参数

所用机型	T30	飞行速度	7m/s
相对作物高度	3.5m	作业行距	6.5 m
亩施药量	1、3号地块：15 kg/亩	作业模式	全自主规划作业
	2号地块：17 kg/亩		



播撒应用案例3：无人机喂养小龙虾

作业案例背景：2018年，中国小龙虾养殖面积高达1200万亩，产量113万吨，经济总产值突破2600亿元，带动就业520万人。小龙虾养殖过程中最费时费力的就是喂饲料的过程。小龙虾日摄食量较大，每天需投喂饲料量达到小龙虾体重的5%-10%，在生长最旺盛的季节，每天每亩投喂量可达4公斤。传统的投喂方式主要是人工行走在虾田中或者划船进入虾田中喂料，每小时只能撒30亩左右。这样的方式，劳动强度大，而且撒得不均匀。

作业日期：2020年3月

作业人员：江苏方先生

作业地点：江苏

使用机型：T20

作业面积：1000亩

用户评价：以前请10个人撒饲料一天要花1000块钱。现在只需要请3个人工，两台无人机同时工作能完成300亩/小时，一天能省700块钱。而且播撒机比人工撒得更好，更均匀。以后等水稻种上后，还可以用它来喷农药，撒饲料，真是帮了大忙。

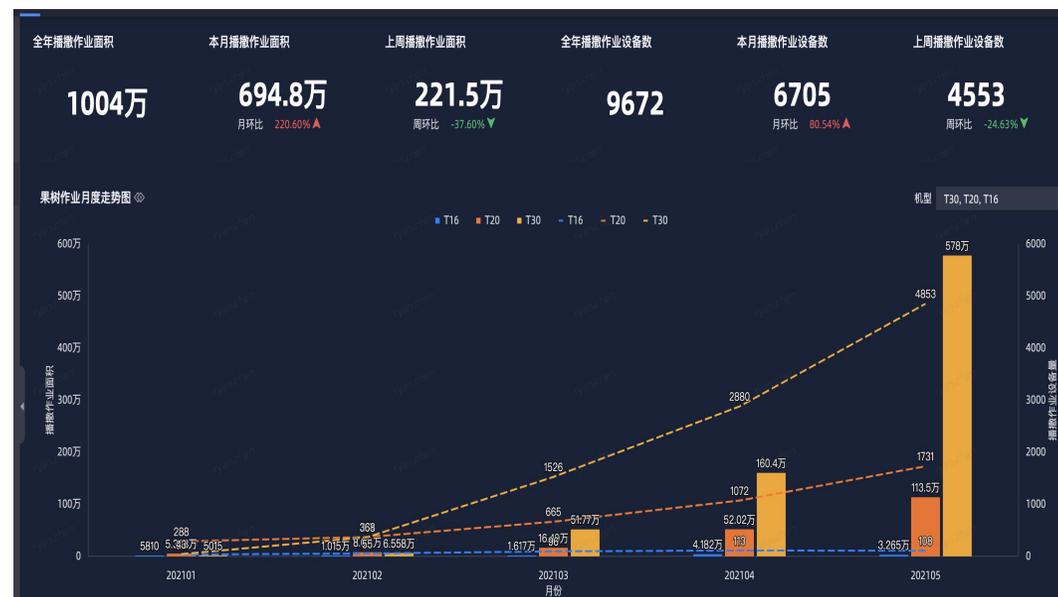
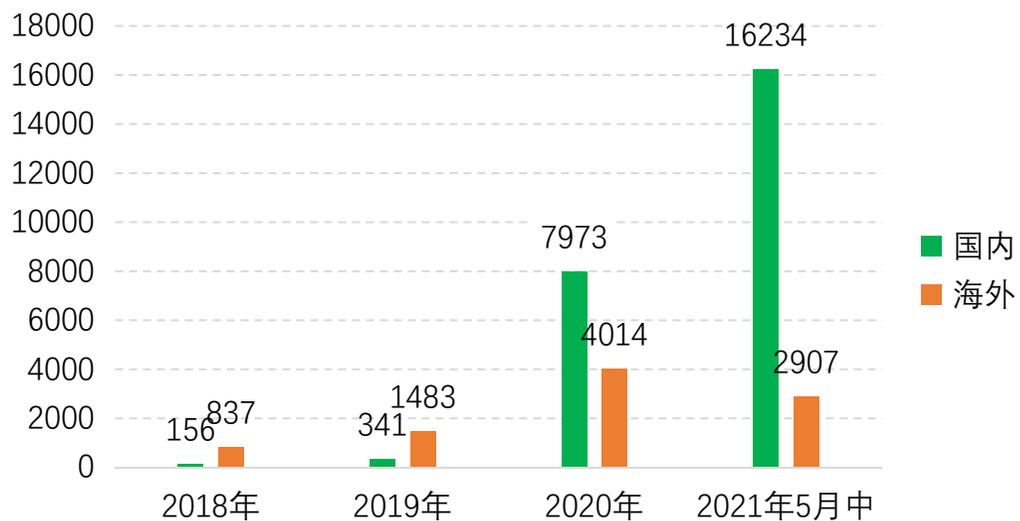


作业参数

亩用量	仓口大小	转盘转速	飞行高度	飞行速度	航线间距
1.5 千克	40%	1000 转/分钟	2.3 米	7 米/秒	10 米

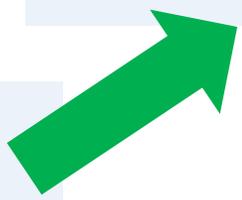


无人机播撒作业应用情况 (大疆)



1004万亩
2021年5月 中国年度累计播撒面积

1151.2 万亩
2020 中国年度累计播撒面积



无人机遥感监测应用-多光谱无人机

➤ **多光谱无人机**可精确采集多光谱数据，配合智慧农业云平台进行重建。通过多光谱的植被指数，可以对植物健康情况进行分析，从而制定精准变量作业规划。



➤ 多光谱成像系统

- 1*RGB+5*多光谱
- 200万像素
- 全局快门
- 三轴云台





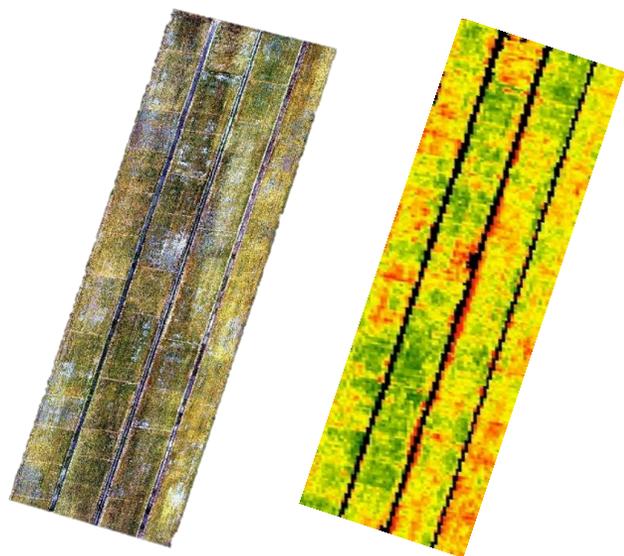
多光谱遥感原理



多光谱: 在接收到太阳光照射时, 不同物体表面吸收和反射的比例也会有所不同。将不同多光谱波段的数据进行组合, 可以形成各种植被指数, 反应植物的长势等不同特性。

多光谱遥感-Multispectral remote sensing

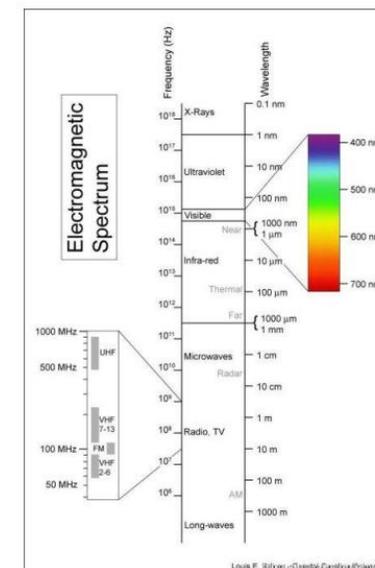
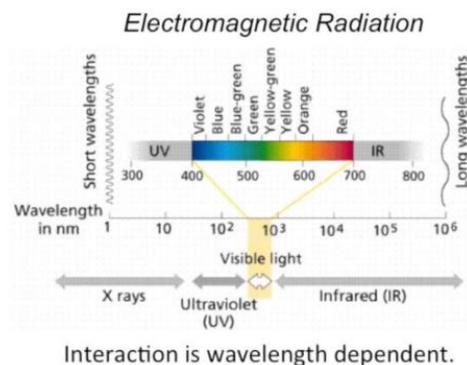
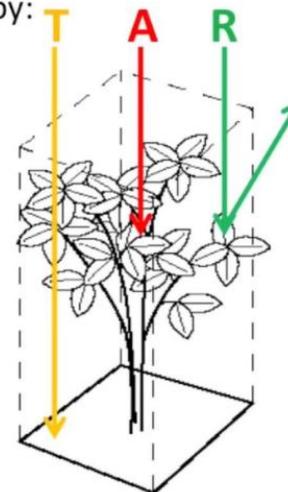
太阳辐射



Three fates for radiation in the canopy:

- Transmitted
- Absorbed
- Reflected

透过
吸收
反射



以植被指数NDVI指数为例, 其取值范围为-1到1之间。

1. 负数表示云、水、雪等高反射的物体;
2. 0表示岩石、裸土等;
3. 正数表示有植被覆盖, 而且越接近于1表示植被越茂密。

无人机巡田解决哪些问题？

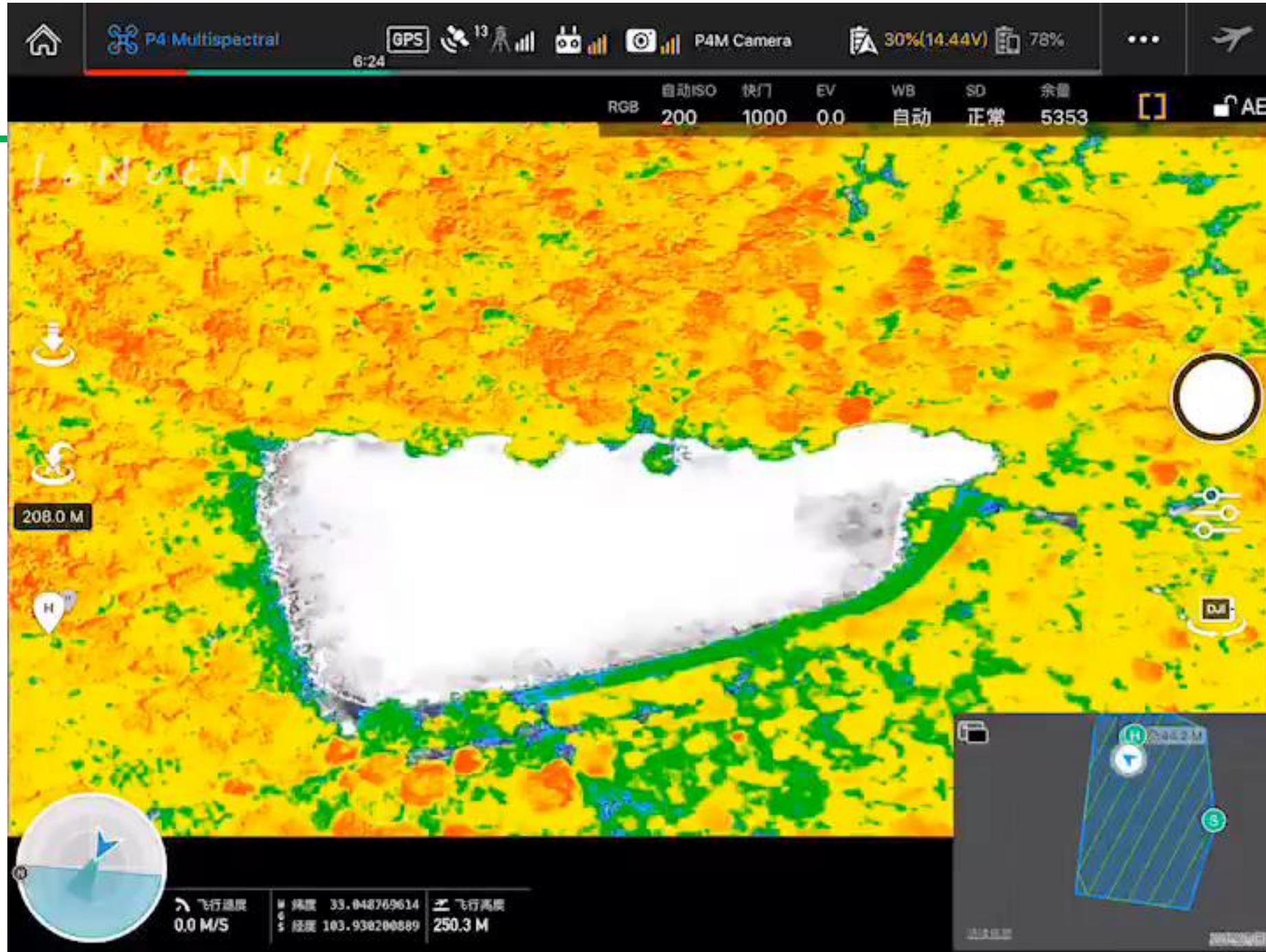


- 1、土地高程图
- 2、出苗率分析
- 3、苗期长势
- 4、水层管理（滴灌的跑冒滴漏）
- 5、作物冠层氮元素含量
- 6、作物冠层叶绿素相对含量
- 7、测产分析



巡田之一

实时多光谱影像回传



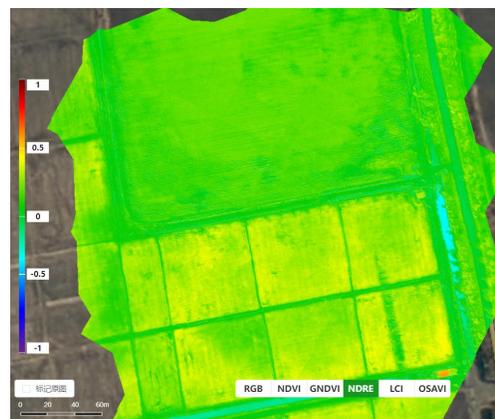
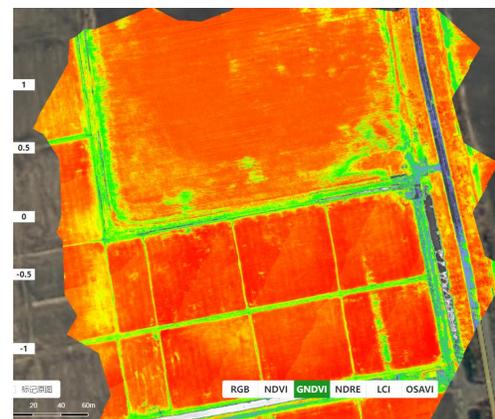
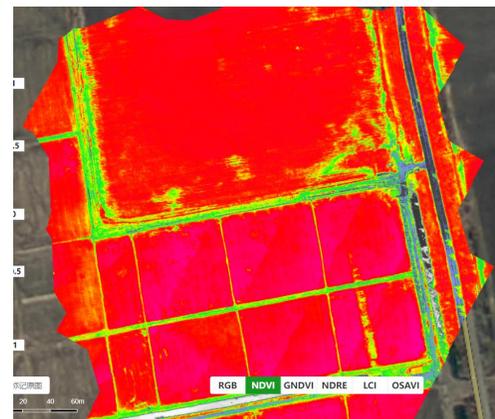


中國農業大學
China Agricultural University

NDVI影像

GNDVI影像

NDRE影像



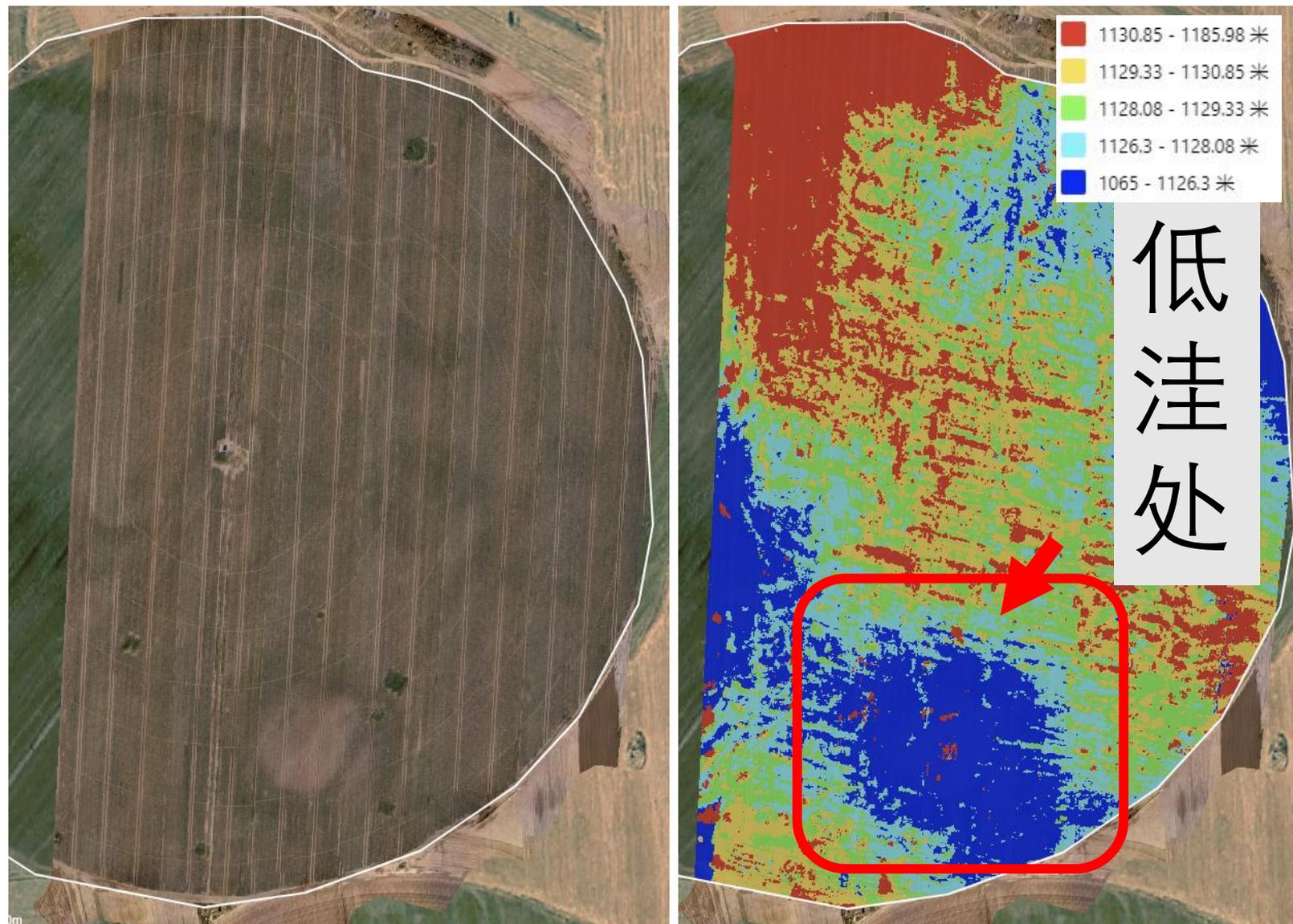
可见光影像实时切换成

土地平整监测

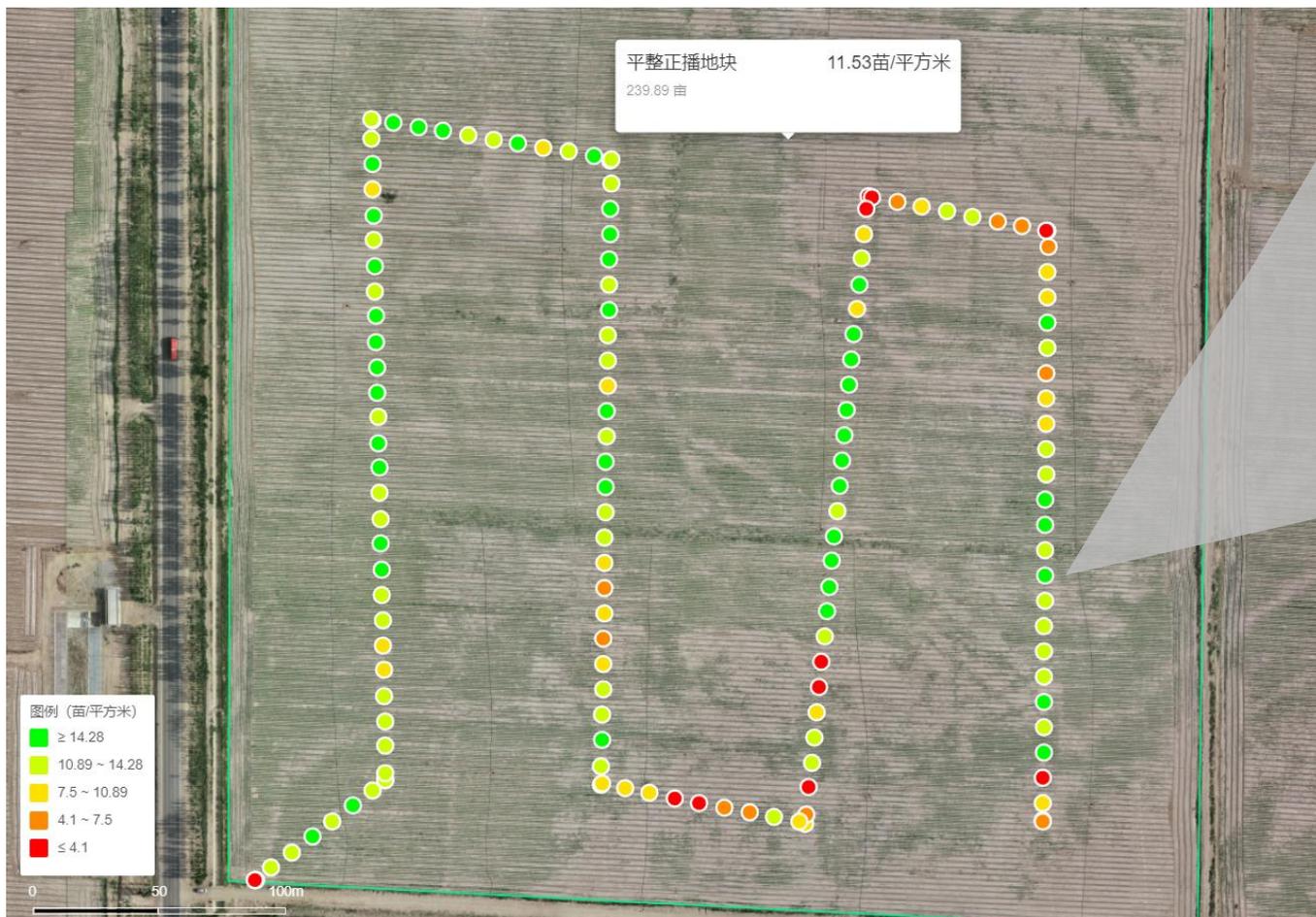


无人机航测地块高程，监测土地平整程度，找到高地、洼地。主要作用如下：

- 指导针对性巡田。洼地通常为病害高发点，可以根据高程图加强巡田。
- 指导土地平整作业。
- 指导滴灌带布设规划。



棉花出苗分析



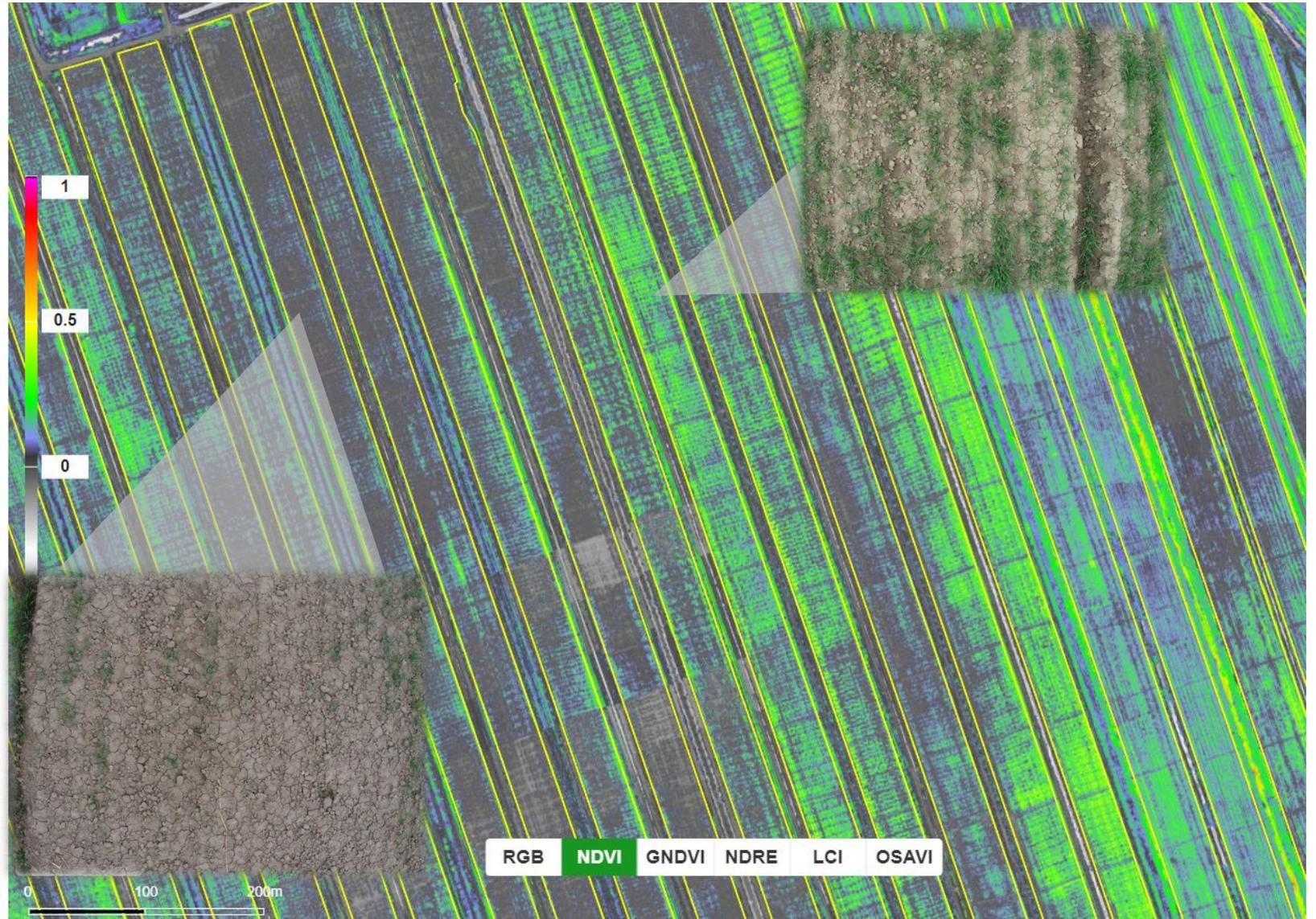
通过AI识别，自动统计棉田出苗密度和出苗率，提高出苗调查效率，精准指导补苗和水肥施用方案。

苗情和长势监测



通过P4M航测得到的多光谱指数，可以用于苗情监测和长势监测，判断出苗数量和整体差异、营养状况和植株大小。

P4M单日巡田8000亩，大幅提高巡田效率，且可以准确掌握田间长势差异



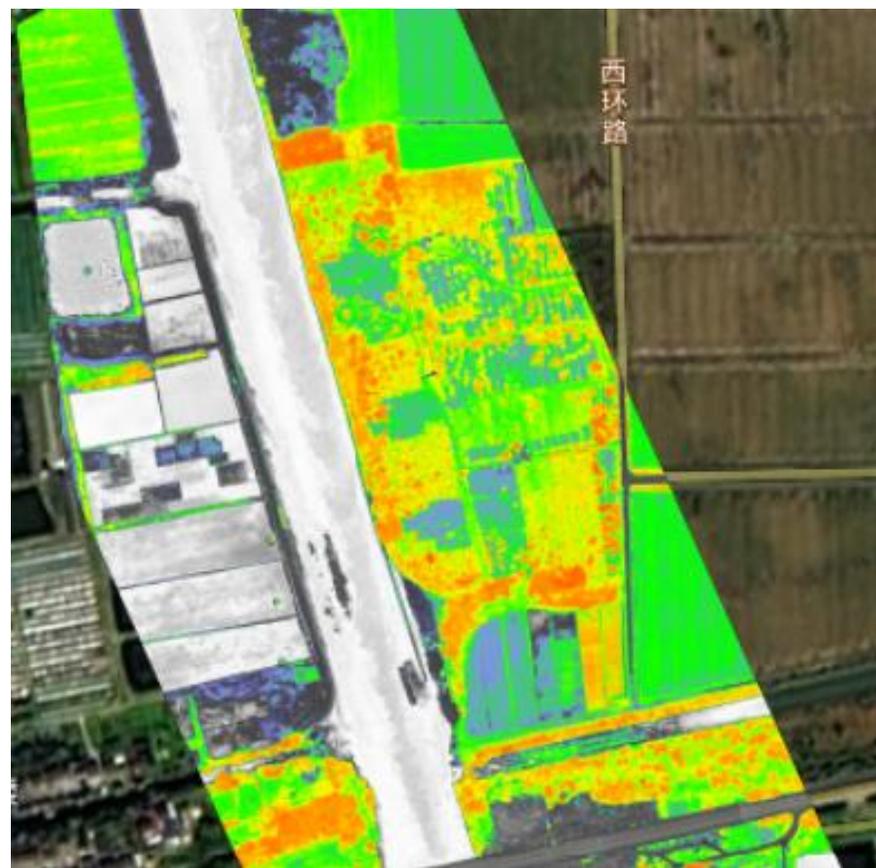
灌溉检查/水层管理



地点：江苏省苏州市

时间：2021.3.3

作物：水稻



地点：江苏省苏州市

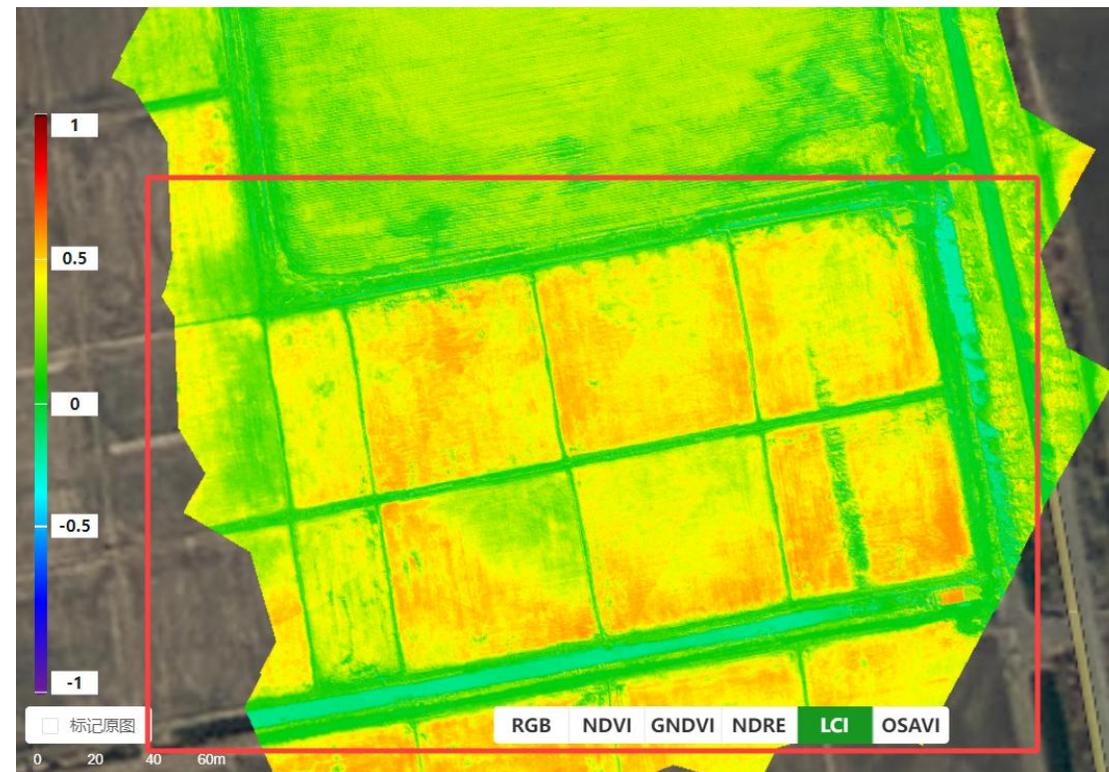
时间：2021.3.3

作物：水稻

作物冠层氮元素含量表征



黑龙江海伦农场可见光影像



黑龙江海伦农场LCI影像

测产分析



测产分析

+ 新建

任务名称

所属组织

创建日期

结束日期

重置

查询

任务列表

共 1 个任务

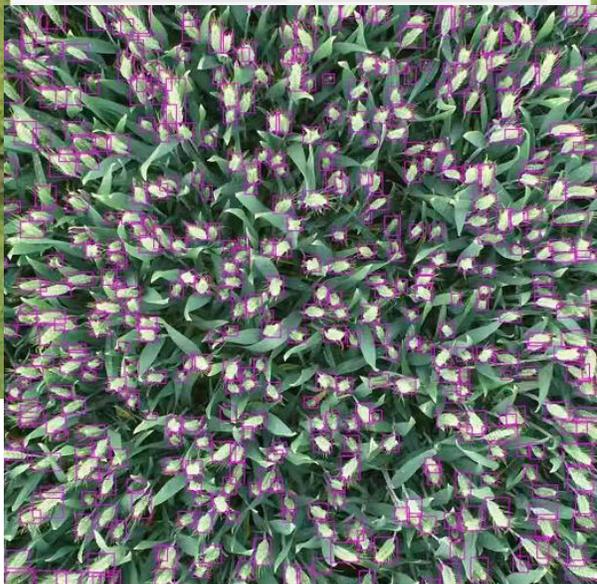
水稻高清照片

大疆农业

水稻 · 2022/09/27 创建

编辑

删除



地块信息

地块名称 通安镇通墅路220927154623

地块面积 9.05 亩

平均穗数 113545.64 穗/亩

计穗照片 12 张

测产参数

穗粒量 粒

千粒重 克

测产结果 ⓘ

*数据统计仅为测产预估值, 仅供参考

亩产量 **476.89** 千克/亩

总产量 **4315.87** 千克

无人机巡田与人工巡田效率对比



10000-20000亩/天

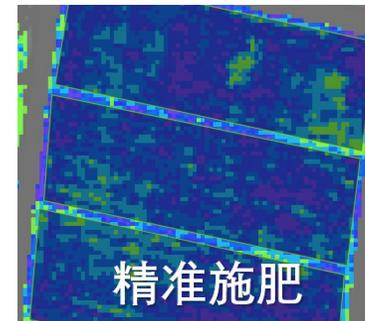


500亩/天

基于多光谱无人机遥感实现精准种植管理



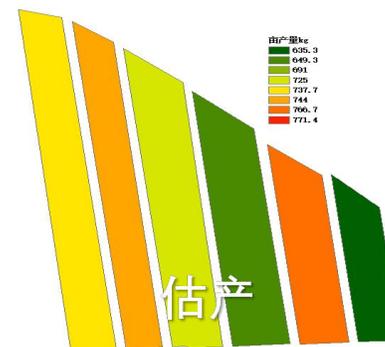
飞巡



- 基本苗调查
- 精准施肥调控



- 草害调查
- 精准喷施



- 快速估产

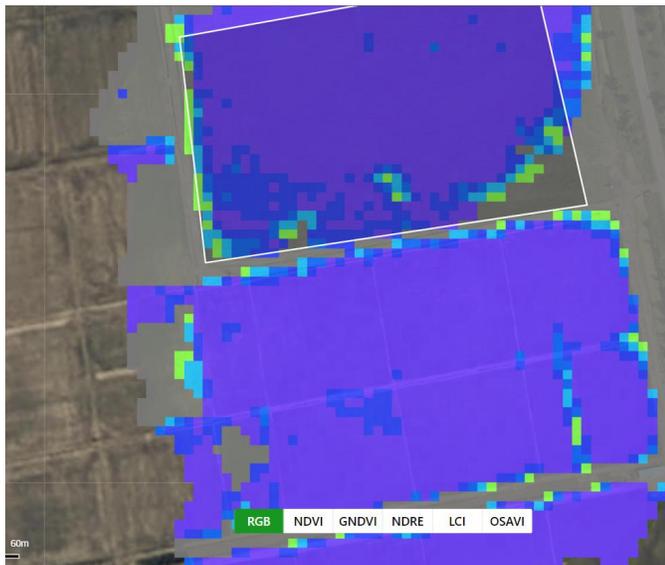
变量处方图解决哪些问题？



1. 提升作物长势一致性，增加作物的产量
2. 降低农药、化肥的用量
3. 增加作物抗风险性



无人机自动
采集数据



云平台输出
处方图

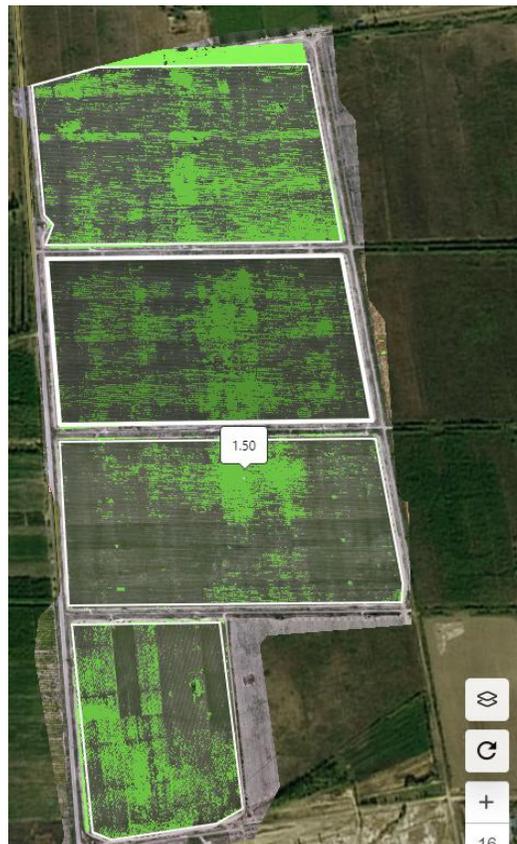


无人
机

喷
雾
机

自
动
灌
溉

棉花变量化控和营养液



地块规划 智能识别 处方图

处方图名称
阜康多光谱的处方图 9/25

生成方式
平衡法 分级法

处方图层级
2

层级分布
0.05 0.5 0.81

层级1 (约57.92亩)
1.5 升(公斤)/亩

层级2 (约130.02亩)
0 升(公斤)/亩

基于P4M多光谱无人机对棉田长势进行监测。针对长势差异进行变量化控和变量营养液喷施。

新疆石河子旭丰合作社通过棉花化控和营养液变量喷施，实现了每亩60公斤增产和550元的增收

棉花碱斑监测和精准喷施



通过识别棉田碱斑，结合植保机变量作业功能，作业过程不喷洒碱斑导致的作物缺失的区域，达到节省农药投入的目的。

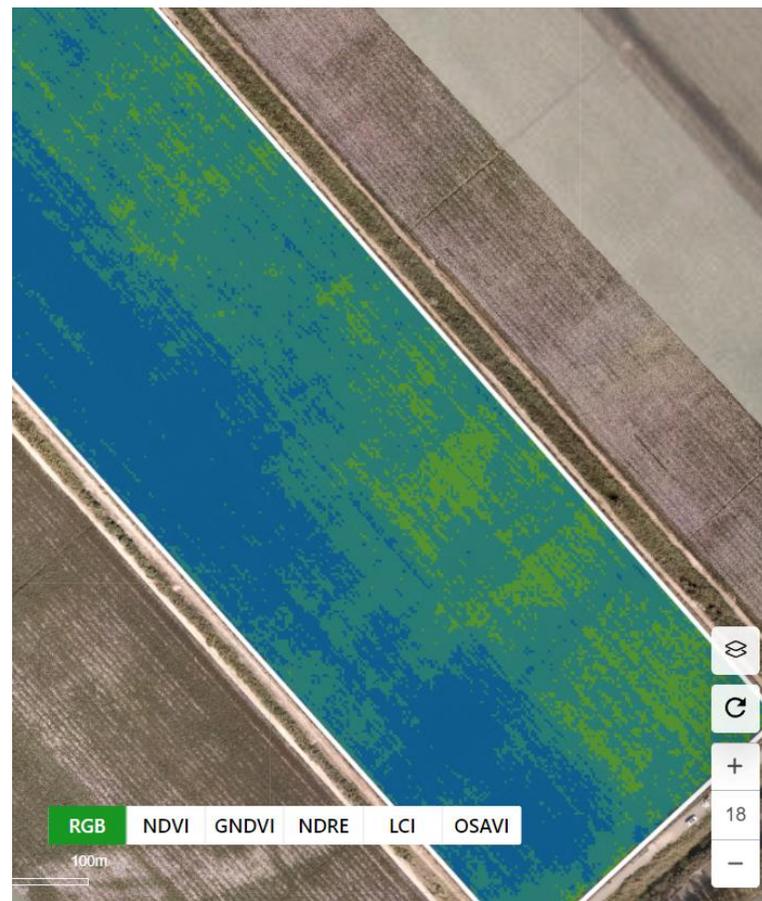
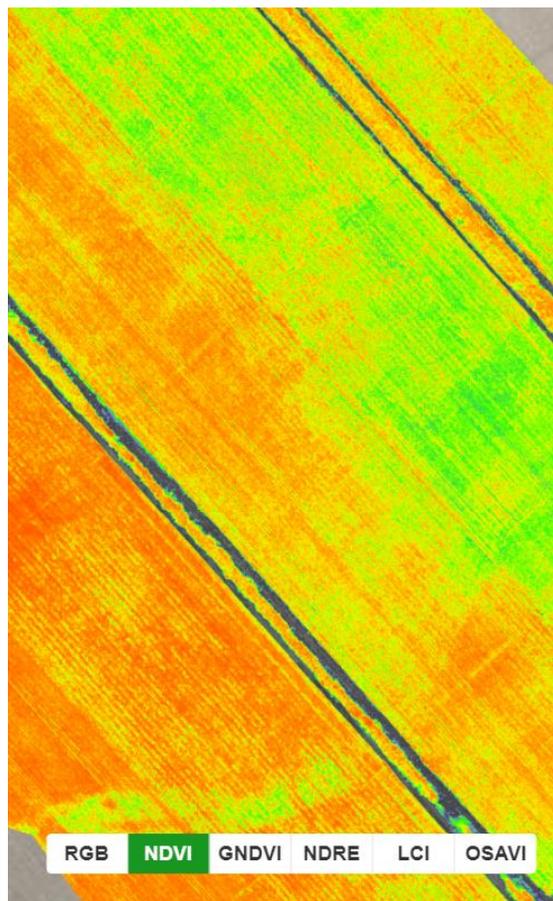
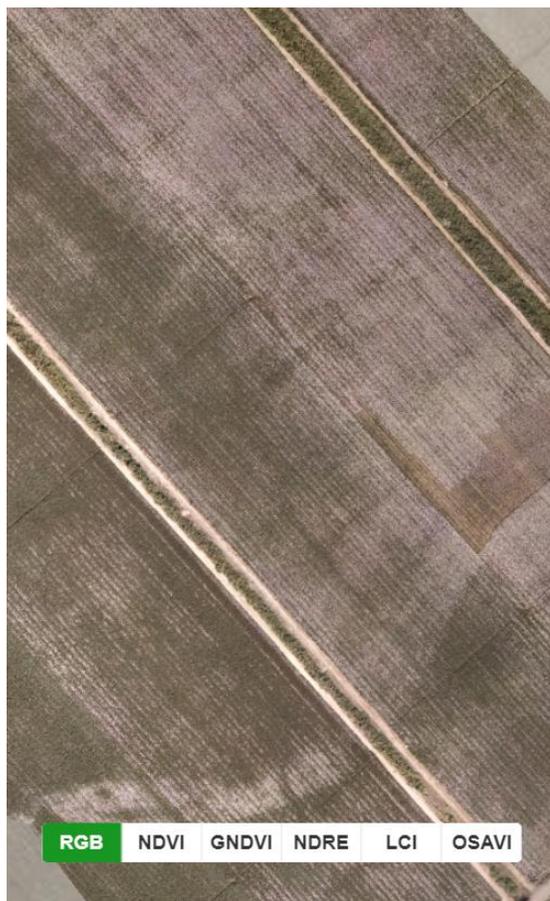
以250亩阿拉尔试验田为例，碱斑覆盖面积约14.5%，通过碱斑监测和精准喷施，可节省14.5%的农药投入，合计约17.4元/亩。千亩节本17400元。



棉花脱叶监测和精准喷施



用多光谱无人机对棉田吐絮和脱叶状况进行监测，并生成脱叶剂变量处方图，针对自然脱叶率高的区域减少脱叶剂用量，可节省农药成本。



地块规划 智能识别 处方图

生成方式

平衡法 分级法

处方图层级

3

层级分布

0.08 0.37 0.55 0.72

层级1 (约8.65亩)

1.2 升(公斤)/亩

层级2 (约43.77亩)

1.35 升(公斤)/亩

层级3 (约36.73亩)

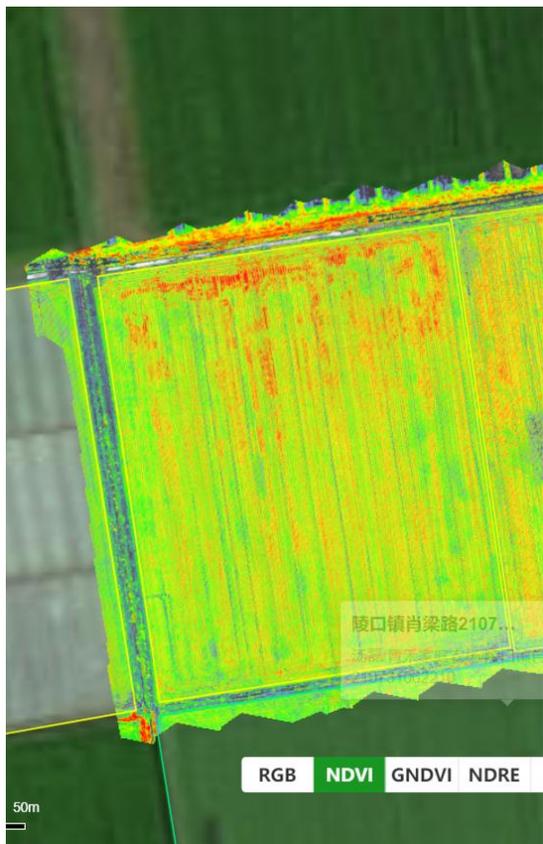
1.5 升(公斤)/亩

生成处方图

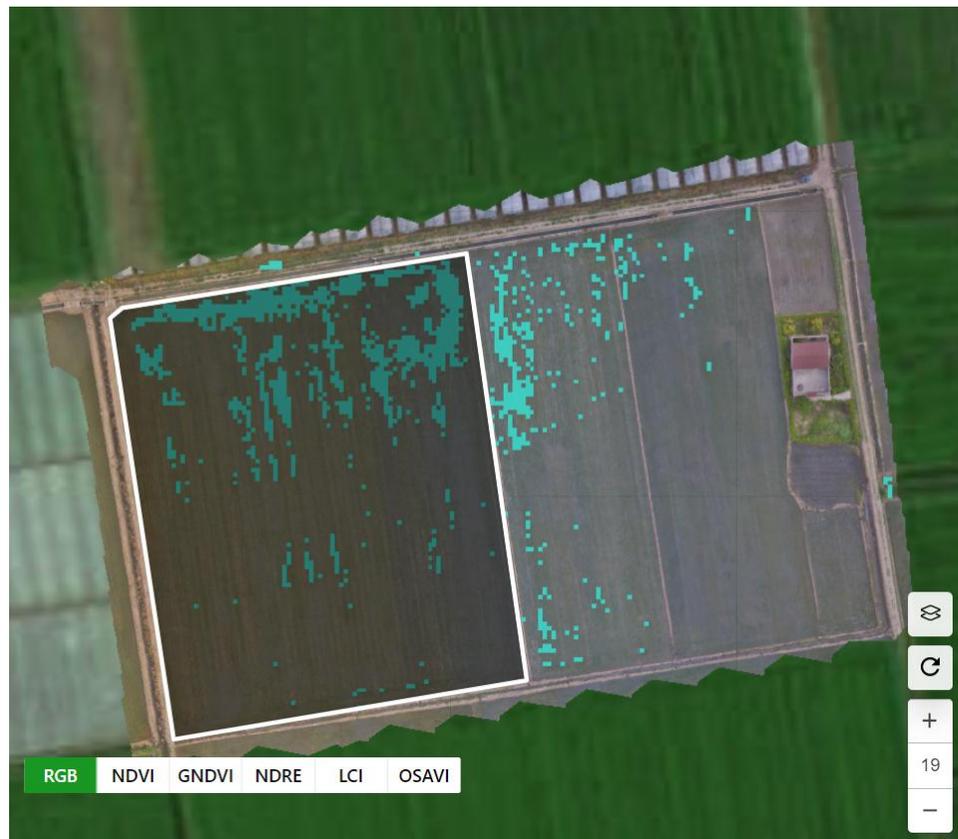
水稻精准除草



用多光谱无人机对水稻杂草状况进行监测，并生成杂草精准喷施处方图，针对稻田喷施可以实现精准除草剂喷洒，大大节省农药成本。



变量前



处方图

试验田 精准除草项目

地块规划 智能识别 处方图

处方图名称
试验田 精准除草项目的处方图 14/25

生成方式
平衡法 分级法

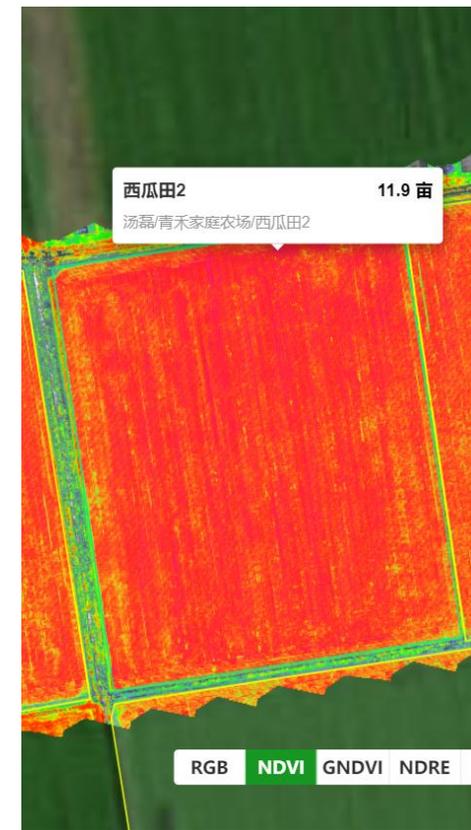
处方图层级
2

层级分布
0.54
0.17 0.79

层级1 (约10.33亩)
0 升(公斤)/亩

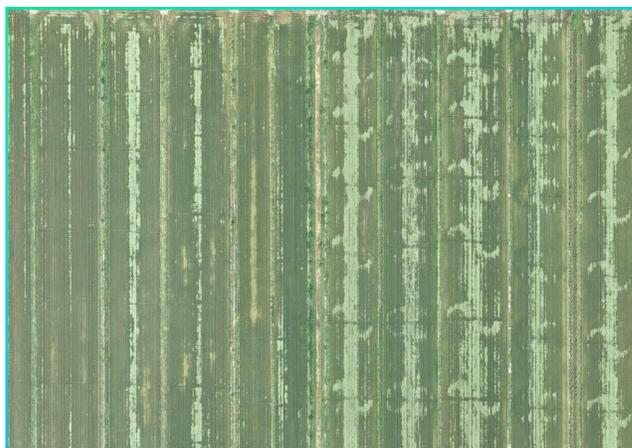
层级2 (约1.31亩)
2 升(公斤)/亩

生成处方图



变量后

水稻变量追肥



VS



传统播撒方式：效率低，播撒不均匀，施肥过度

变量播撒优势：高效，精准，省药增产

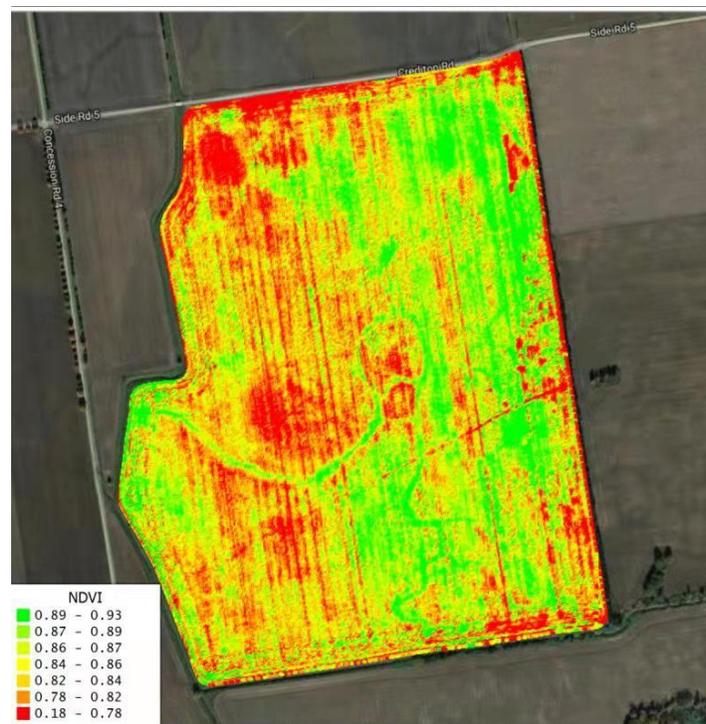
每千亩农田：

- ↓ 节省化肥 10%，约 1.6 万元
- ↑ 增加产量 5%，约 6 万元
- ↑ 节约人工 1 人，约 5 万元

大豆白霉病的精准施药



地点：黑龙江
时间：2021.7.20
作物：大豆



NDVI指数图

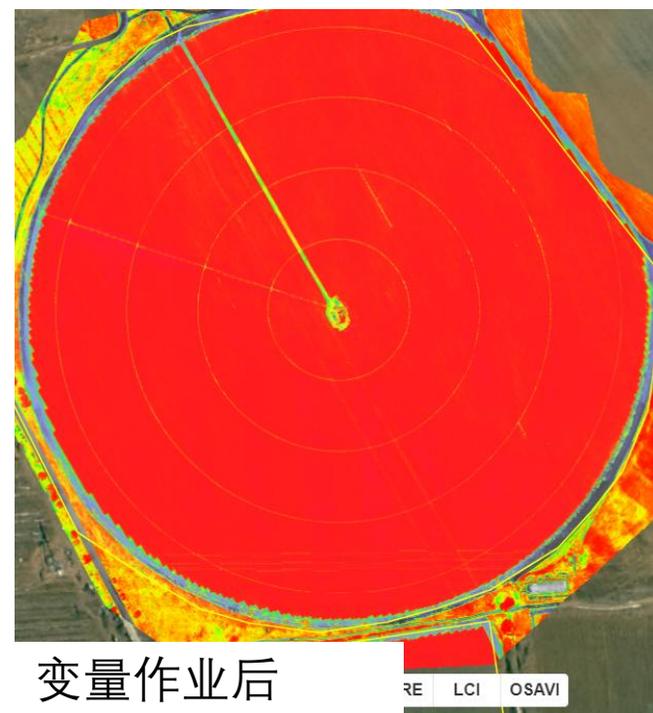
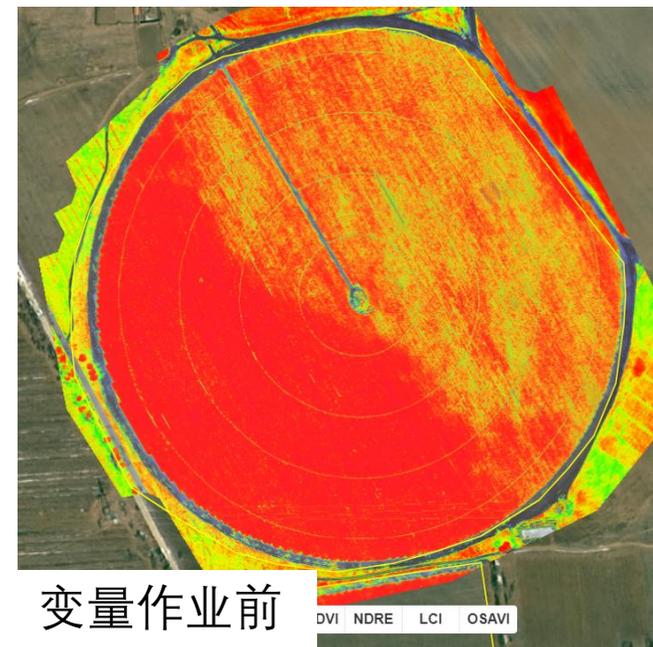


喷洒处方图

马铃薯长势监测和施肥用药

通过多光谱无人机准确监测马铃薯植株长势，快速找到田里长势较弱区域，指导管理人员针对性巡田，提高巡田速度。

基于多光谱监测结果做精准变量用肥用药。以右图为例，针对长势较弱的东北半圈，生成处方图，只对长势弱的区域喷施叶面营养，促进生长，提高长势一致性，最终提高产量和减少农药用量。



无人机作业质量监管需求明显

随着农业无人机保有数量增加，防治作物品种增多，各项作业标准、行业标准、质量标准、职业标准等陆续出台。作业参数是否符合要求，作业效果是否能够保证是监管单位最为关心的。



2021年4月初，全国小麦防统防治第一枪在安徽正式打响。为支援当地的大规模统防作业，全国多地的植保机纷纷集结皖北平原，据统计约有2万台植保机参与此次统防作业。

农机作业质量监管系统



从施药参数角度分析，影响农业无人机作业效果的有三大类：作业参数、环境参数和用药类型，

作业参数分：飞行高度、飞行速度、作业行距和亩施药量；

环境参数分：温度，湿度，降雨和风速。

作业参数设置

作业规则参数

需监测的作业参数

全选 亩用量 最大飞行速度 相对作物高度 手动

亩用量

0 - 20 升/亩

最大飞行速度

10 米/秒

相对作物高度

0 - 20 米

违规通知人员

违规通知

通知人员	职位名称	手机号码
刘大旗	植保队负责人	13312345678

+ 添加通知人员 最多添加 5 人

农机实时监管



作业违规报警



质量分析报告



作业前设置作业规范参数，下发对应植保队、植保飞手进行作业

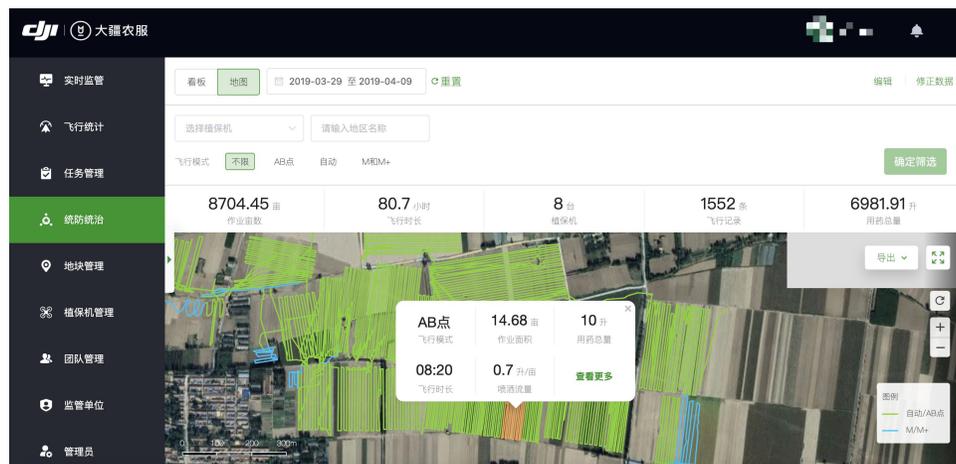
实时监控设备位置、在线状态、作业路径、作业参数等数据

作业情况实时监控。出现异常作业即时推送短信、app警告至监管人员

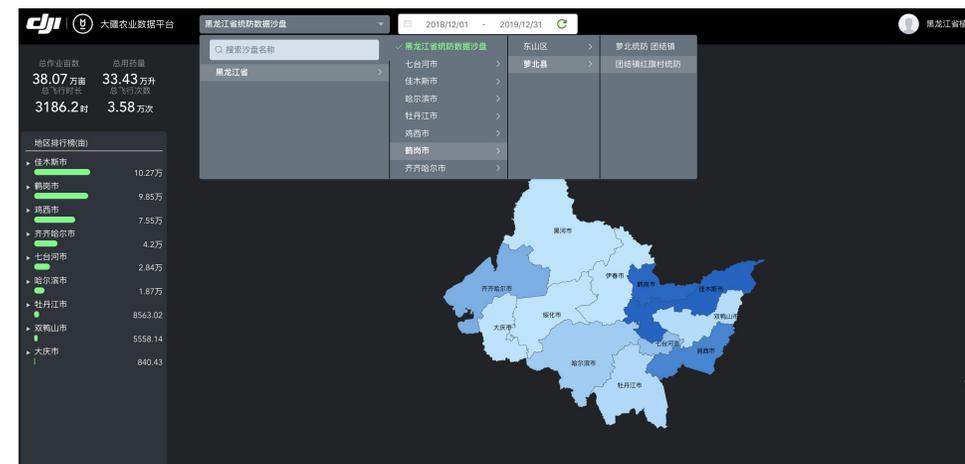
异常作业筛查；作业轨迹回放；质量分析报表

质量监管系统应用案例1：黑龙江省植保站统防统治

2019年，黑龙江省植保站使用“大疆农服平台-质量监管系统”作为黑龙江省官方平台进行全省推广，并使用大疆农业数据平台开展数字化验收工作，共计验收作业面积130万亩次以上。



执行端-植保队



监管端-省植保站

质量监管系统上线至今共有：**143,246** 次点击，**32922** 人次使用，

质量监管系统服务总作业面积：**3324**万亩

质量监管系统应用案例2：江苏农垦信息化管理



江苏农垦集团使用大疆农业云平台系统，130+万亩农田全面搭建农场地理信息系统，实现农田空间数字化管理。同期田间作业无人机全面接入云平台作业监管系统，实现农机作业规范化、可监控、全程可回溯。



5月初小麦赤霉病第三次防治作业质量监管

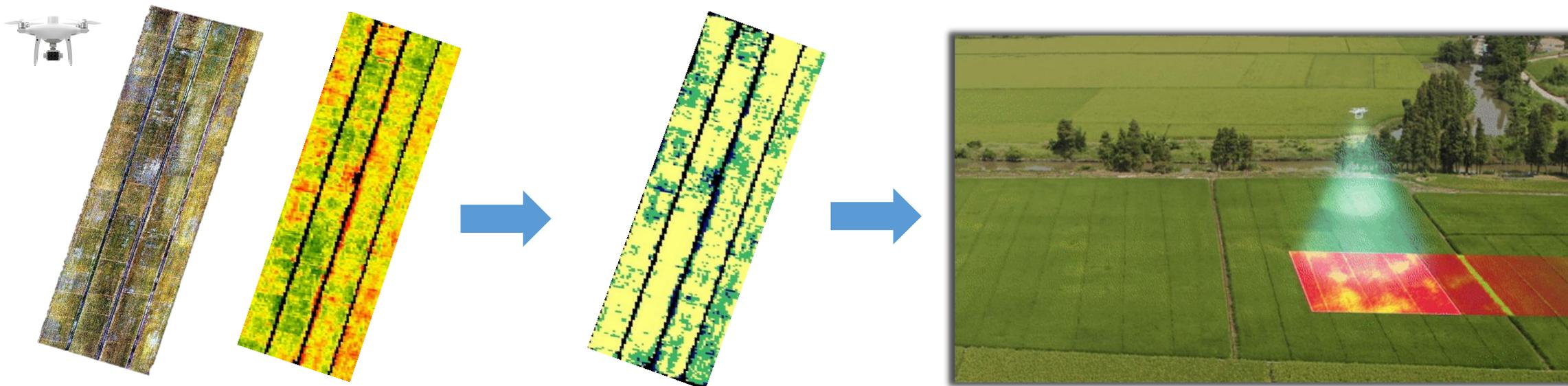


中國農業大學
China Agricultural University



五、总结与展望

什么是精准农业、智慧农业？



第一部分

农业数据获取-**数字化**

天气
土地
作物

第二部分

智能分析决策-**智能化**

种、肥、药用量
农事时间
...

第三部分

自动精准执行-**自动化**

耕
种
管
收

无人机在农业生态中形成的高效价值闭环



农业场景 现有作业方式 痛点 未来趋势 解决方案

播种 施肥 施药

地面
拖拉机 人工作业

效率低 用工
成本高 请人难

自动化 智能化 精准
高效



植保无人机空中喷洒、播撒

农作物长势
监测 精准施
肥 精准施
药

农艺师
巡田 经验
判断 人工或
拖拉机
作业

效率低 过度
依赖
农艺师 部分田
块监测
难度大

自动化 智能化 轻松覆
盖各类
地形



无人机空中获取农田信息
农作物生长信息

作业
监管 用药用
肥
溯源 农田地理
信息统计

手工账本 低水平、低
集成化管理
平台

人工
统计 智能化
程度低 管理成
本高

自动化 智能化 集成化



智慧农业管理平台

- **无人机在农业方面的应用对智慧农业的发展起着不可忽视的作用**
- **信息采集分析是农业无人机的核心技术，应加强对农业作业对象的精准识别**
- **施肥施药是农业无人机的主要应用方向，应聚焦肥药的精准释放、变量喷施与飘移风险控制**
- **国内外农业无人机的研发主体和侧重点不同，我国研发既要体现特色又要抓住核心技术**

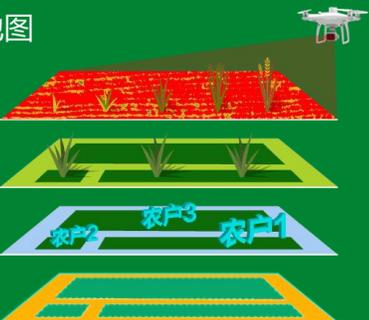
高精度地图

生长过程监督

作物信息

农户信息

地块信息



高精度定位



智能拖拉机（自驾仪）



无人植保车



感知监测



智慧农业云

作物管理、农田管理、农田AI

自动工作站、加药



智能终端





中國農業大學
China Agricultural University

谢谢!

王昌陵 博士、讲师
中国农业大学理学院农药系
农业无人机系统研究院、药械与施药技术研究中心
Tel: 15510181127
Email: WCL1991@cau.edu.cn

