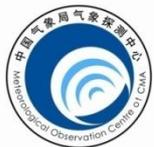


卫星遥感产品地基初步检验

中国气象局气象探测中心
2018年11月12日



目 录

1

云的星地观测与检验

2

水汽多种观测与检验

3

大气成分星地观测与检验

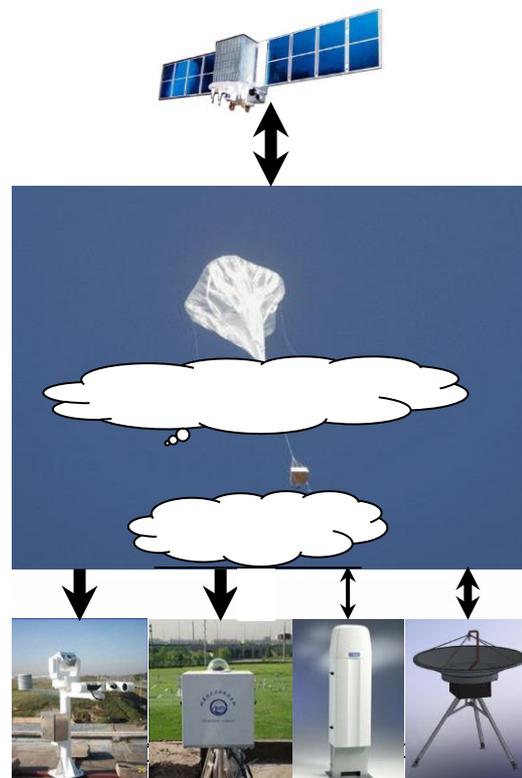
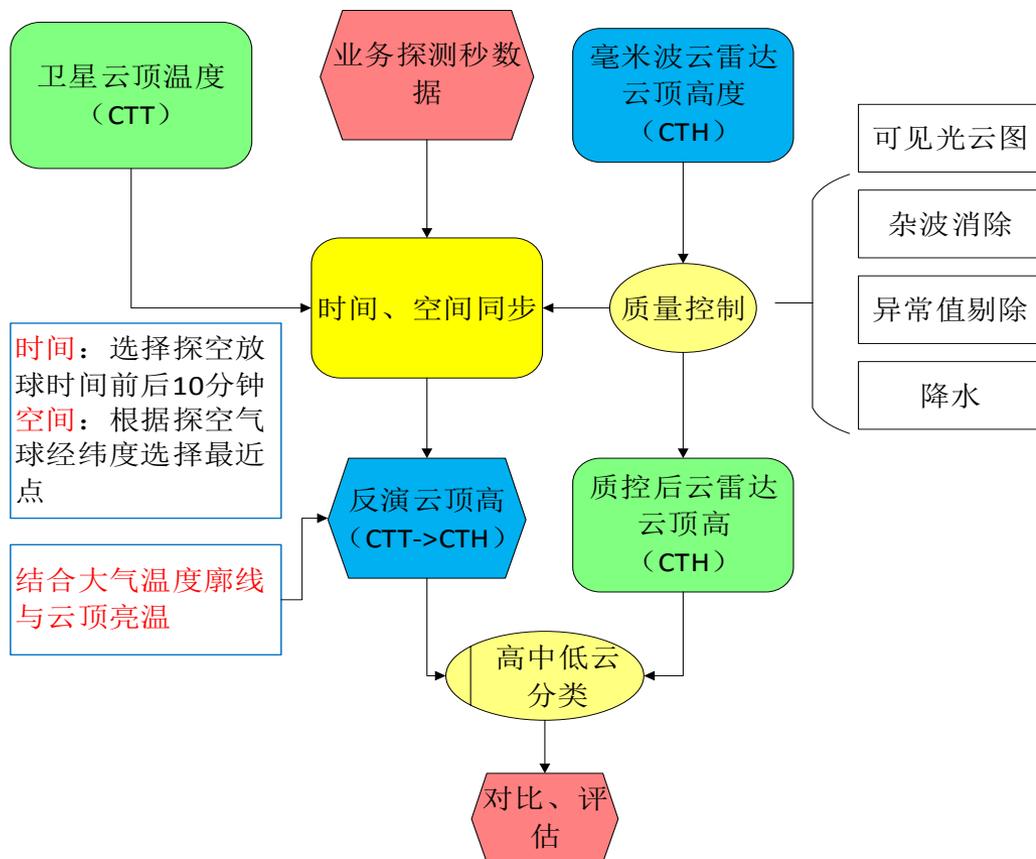
4

生态环境星地观测与检验

5

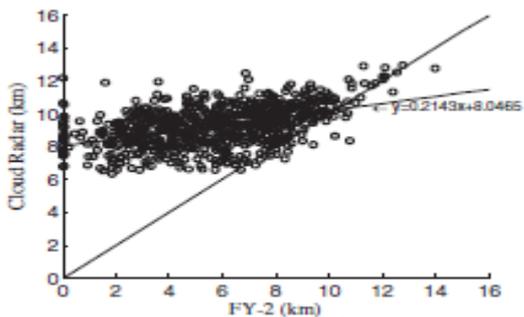
未来工作展望

(一) 毫米波云雷达与卫星云高观测对比验证

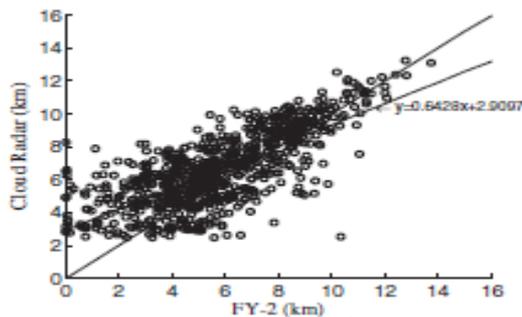


对比验证流程图

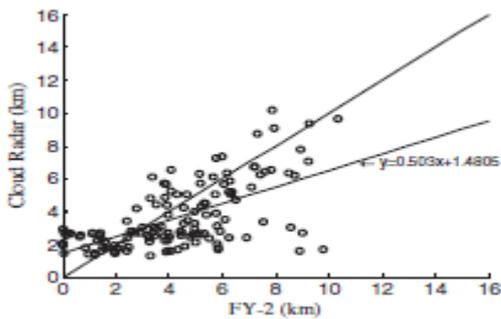
(一) 毫米波云雷达与卫星云高观测对比验证



(a) 高云

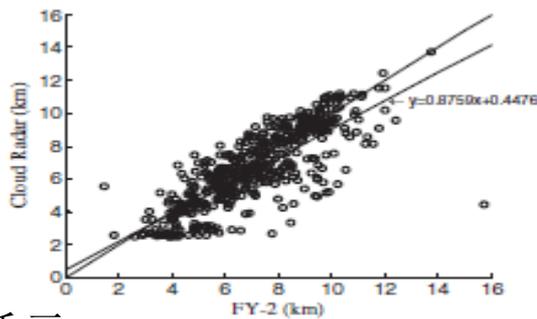


(b) 中云



(c)

低云



(d)

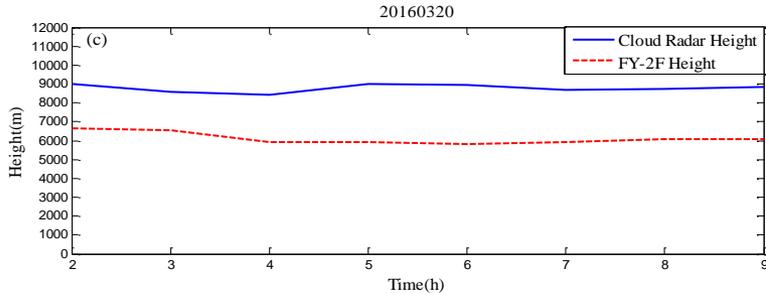
Average CTH observations (unit: km) and correlation coefficients.

Period	Satellite cloud top height (CTH)	Radar cloud top height (RTH)	Difference (RTH - CTH)	Correlation coefficient	Sample size
June 2015	6.99	7.93	0.94	0.49	405
July 2015	7.09	8.58	1.49	0.60	196
August 2015	5.88	8.18	2.30	0.53	369
September 2015	6.47	7.67	1.21	0.53	371
October 2015	5.79	8.16	2.37	0.51	249
November 2015	6.01	6.47	0.46	0.53	501
December 2015	5.11	6.28	1.17	0.45	76
January 2016	5.46	5.48	0.02	0.63	72
February 2016	5.68	6.76	1.08	0.59	107
March 2016	4.64	7.14	2.50	0.53	113
April 2016	6.37	8.56	2.18	0.46	182
May 2016	7.04	8.82	1.78	0.45	263
Total	6.04	7.50	1.46	0.52	2904

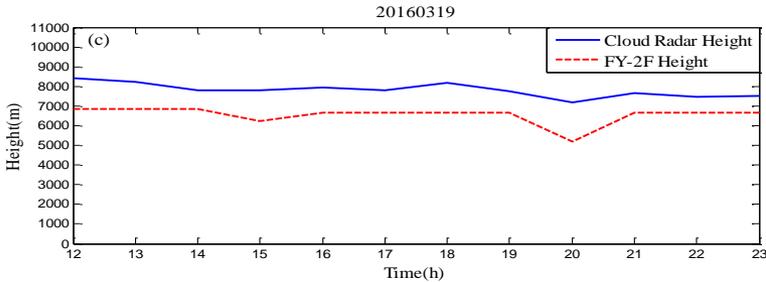
云底高度类型	云底高度范围	样本数	差值平均 (km)	差值标准差 (km)
高云	RBH ≥ 6km	741	3.56	2.39
中云	2km ≤ RBH < 6km	773	0.79	2.18
低云	500m ≤ RBH < 2km	132	-0.67	1.98
	RBH < 500m	481	-0.43	1.42

(一) 毫米波云雷达与卫星云高观测对比验证

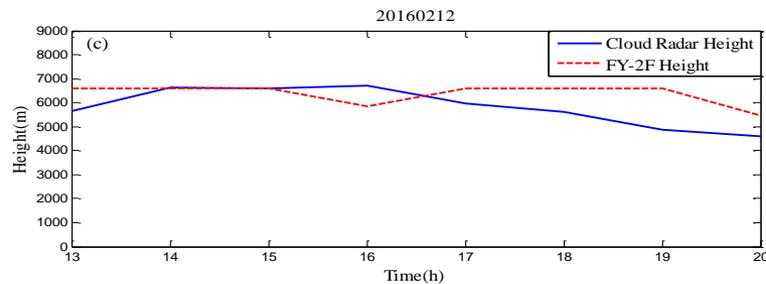
卫星反演云顶高与毫米波云雷达高云对比图



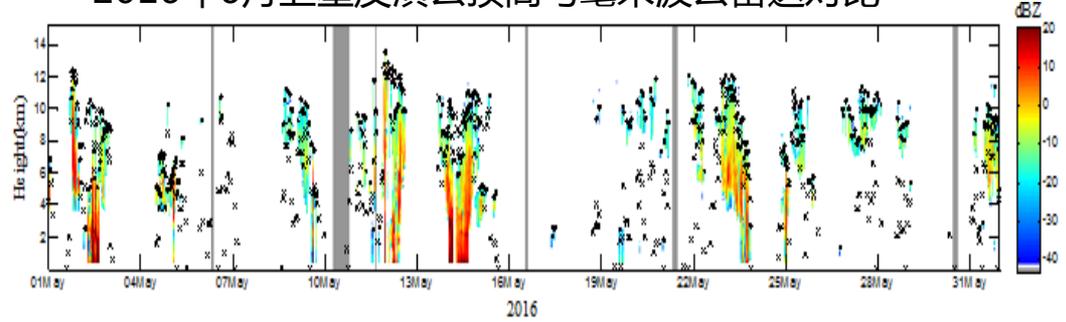
卫星反演云顶高与毫米波云雷达中云对比图



卫星反演云顶高与毫米波云雷达低云对比图



2016年6月卫星反演云顶高与毫米波云雷达对比



初步结论

高云卫星偏低2km，中云偏低0.79km，低云偏高0.67km

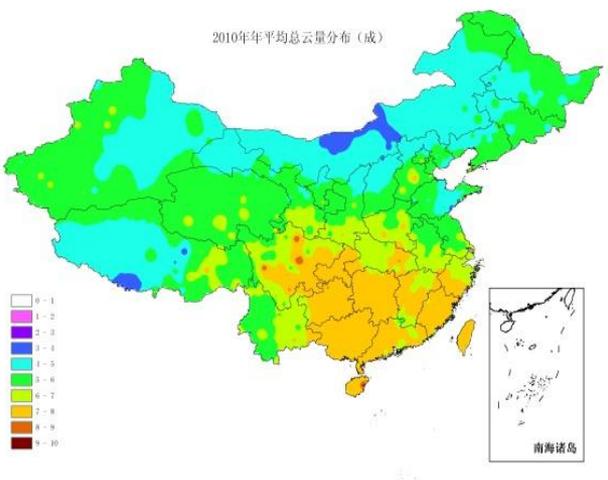
毫米波云雷达可以对卫星反演云顶高度进行地面验证，改进卫星反演精度

论文发表

Zhe Wang, Zhenhui Wang, Xiaozhong Cao et al, Comparison of cloud top heights derived from FY-2 meteorological satellites with heights derived from ground-based millimeter wavelength cloud radar. Atmospheric Research, 199 (2018): 113–127

(一) 人工观测云量与卫星观测对比验证

2010年年平均总云量分布(成)



2010年平均云量基于卫星观测云覆盖率



人工观测资料：采用2010年仅含基准站和基本站的08时、14时、20时云量资料计算平均值

卫星资料：FY-2E静止气象卫星云小时产品，5km分辨率，提取每日08点、14点、20点时次的云监测数据，统计每个地市范围内有云像素的面积，得到单时次中国云覆盖百分比分布数据。

结论：西北、东北地区人工观测云量低于卫星观测，而在长江以南地区人工观测云量多于卫星观测。

(二) 水汽地基星基观测的对比检验



站名	站号	GNSS站	探空站
那曲	55299	TRIMBLE NETRS	GTS-1 (数字式电子探空仪)
改则	55248	TRIMBLE NETRS	全自动探空系统 (新型GPS探空仪)
申扎	55472	TRIMBLE NETRS	全自动探空系统 (新型GPS探空仪)

GNSS/MET : 天顶延迟取样频率为30min, 每天49个。解算时采用的地面气象资料 (温、湿、压) 为地基GNSS站所在气象局内地面观测结果, 取样频率为10min。

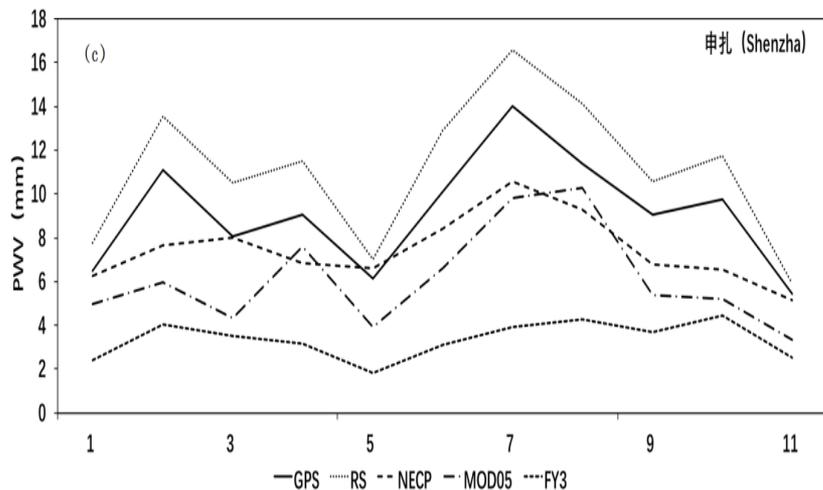
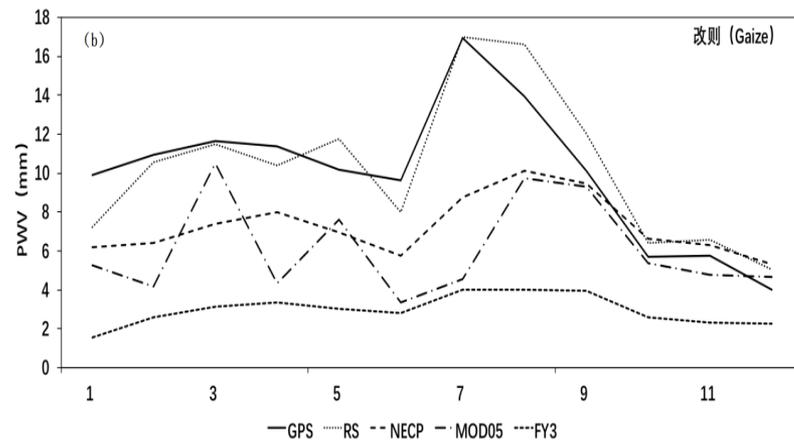
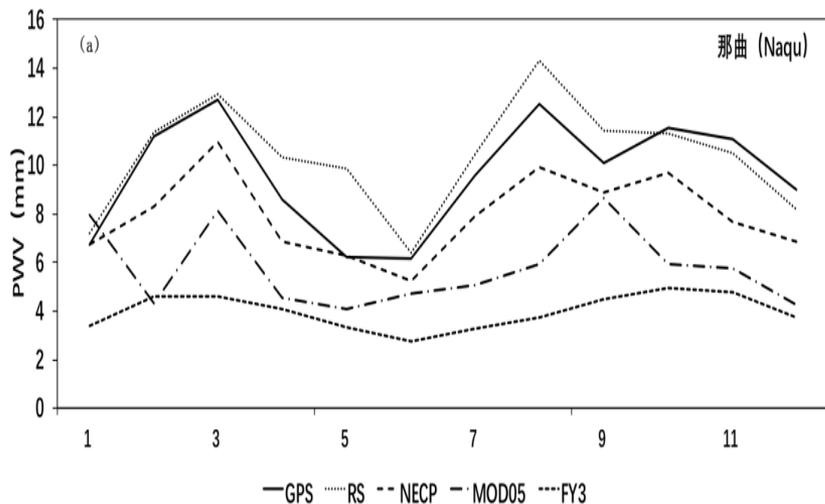
探空 : 应用全自动探测资料的5个标准层, 计算探空廓线资料中的可降水量。

NCEP : 应用美国国家环境预报中心 (NCEP) 和国家大气研究中心 (NCAR) 联合发布的地面资料, 提取其中的整层气柱可降水量, 资料格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的经纬网格。

MODIS: 应用MODIS近红外大气水汽产品MOD05_L2 (大气可降水量)。空间分辨率是 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 。在晴空条件下反演结果是反映大气可降水量, 在有云区域反演的则是云层以上的水汽含量, 因此选取无云概率大于95%的观测量值与GNSS探测结果进行比较。

风云三号 : 采用FY-3C上搭载的可见光红外扫描辐射计 (VIRR) 观测资料, FY3 PW采用的晴空大气可降水量 (TPW) 是由VIRR资料和红外分裂窗方法反演获得。日、旬、月产品为 0.05° 分辨率, 文中采用日产品。

(二) 水汽地基星基观测的对比检验



五种观测值对比

将3个月的水汽总量进行了对比，发现 GNSS/MET 和探空相近，NCEP和MODIS和FY-3红外偏干，其中FY-3偏干很大，与其他观测结果的偏差超过6mm。

(二) 水汽地基星基观测的对比检验

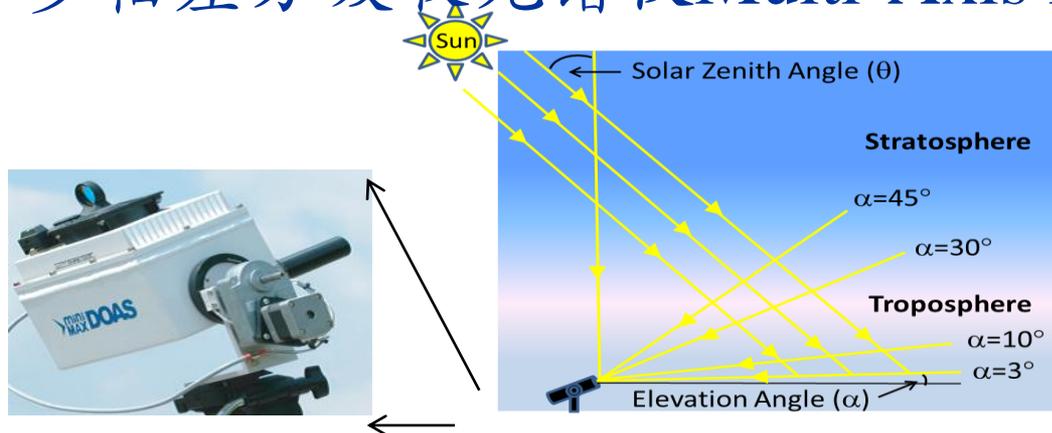
原因探讨：经过与卫星中心负责FY-3C大气水汽产品制作的老师探讨，认为该大气水汽产品在高原地区，尤其是大气水汽含量低于20mm的地区结果存在误差。卫星中心将在计算高原地区大气水汽时增加水汽通道，并将历史数据回算。

后续工作：探测中心协助卫星中心在敦煌建设地基GNSS/MET站，进行星地水汽校验。



(三)对流层污染的地基遥感观测原理及方法

多轴差分吸收光谱仪Multi-Axis DOAS (MAX-DOAS)



观测资料:

-北京城区 2008-2011

-华北农村 2008-2010

观测仪器

观测原理

❖ 对流层差分斜柱浓度反演方案: DOAS差分吸收光谱法

• DSCD拟合残差RMS:

$$\text{NO}_2 < 2.5 \times 10^{-3}$$

$$\text{SO}_2 < 9.0 \times 10^{-3}$$

❖ 对流层垂直柱浓度VCD: 与卫星产品直接可比

计算方案:

- 几何近似法: 计算结果稳定 [Erle et al., 1995; Wagner et al., 2014]

- 俯仰角度的选择: 30° $VCD_{trop} = DSCD_{\alpha,trop} / (\sin^{-1} \alpha - 1), \alpha \neq 90^\circ$ [Ma et al., 2013a; 王婷等, 2014]

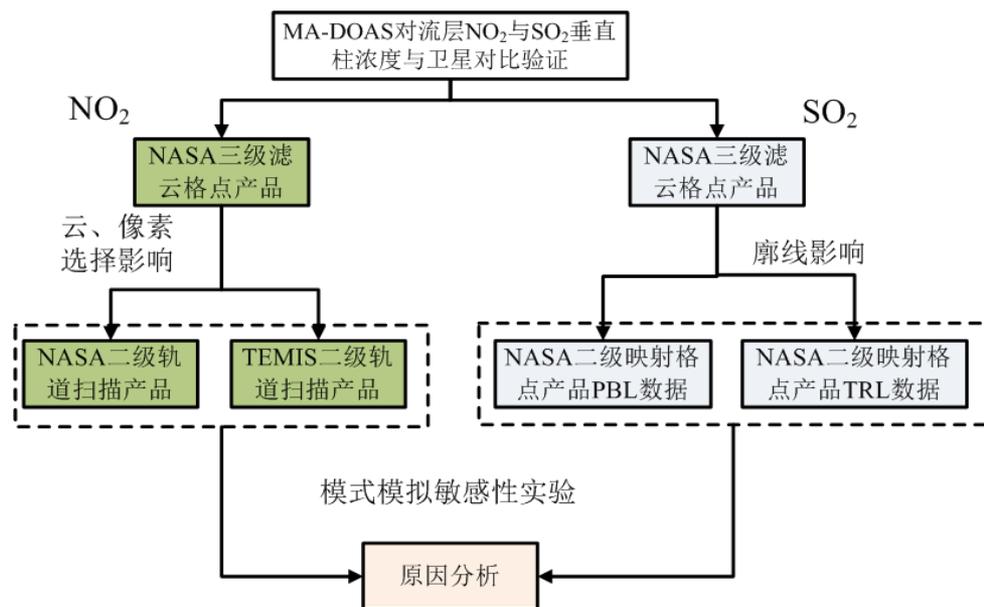
(三) 卫星观测迫切需要地基独立观测进行验证

- ◆ 卫星反演的对流层NO₂ 柱浓度仍存在一定的**误差**(云、气溶胶、地表反照率、垂直廓线等)[Lin et al., ACP, 2014];
- ◆ 卫星对流层SO₂ 柱浓度的反演**不确定性更大**[Fioletov et al., JGR, 2013; Theys et al., JGR, 2015]。
- ◆ **地基遥感对低层污染更敏感，是对卫星做对比校验的重要手段**

卫星资料列表

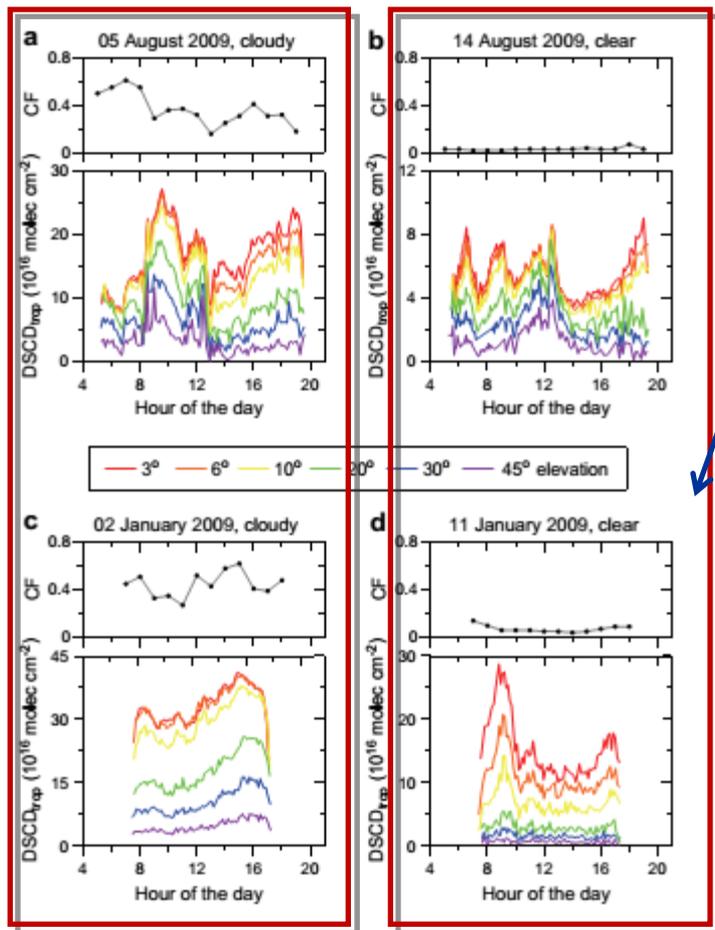
卫星产品名称	数据源	分辨率	备注
OMNO2	美国国家航空航天局 NASA	13×24 km ²	2级扫描轨道产品
OMNO2d		0.25°×0.25°	3级滤云格点产品
OMSO2G		0.125°×0.125°	2级最优格点映射，含PBL边界层和TRL对流层两种廓线假设产品
OMSO2e		0.25°×0.25°	PBL边界层廓线假设产品
DOMINO v1.02	荷兰对流层排放监测网络服务 TEMIS	13×24 km ²	初始先验廓线等优化
DOMINO v2.0			
SCIAMACHY NO2	马普化学所 MPIC	30×60 km ²	每6天全球覆盖一次

星地对比检验技术思路



(三)研究云对地基遥感观测的影响

各探测角度对流层NO₂ DSCD日变化 使用FY-2D静止卫星云参数数据

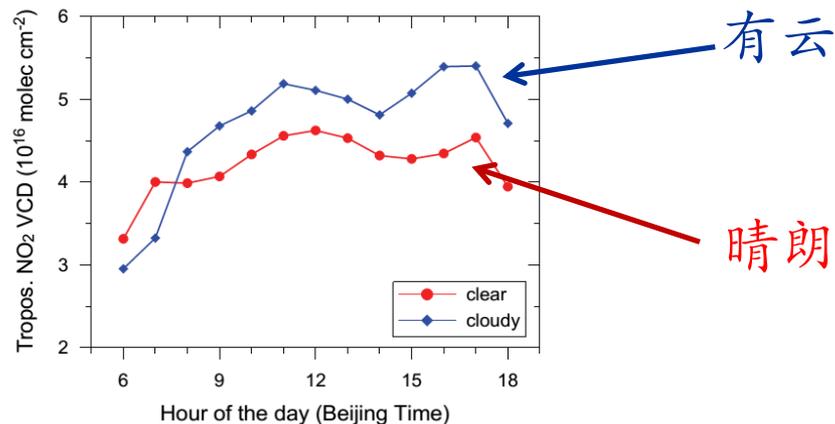


有云

晴朗

NO₂主要分布于低层

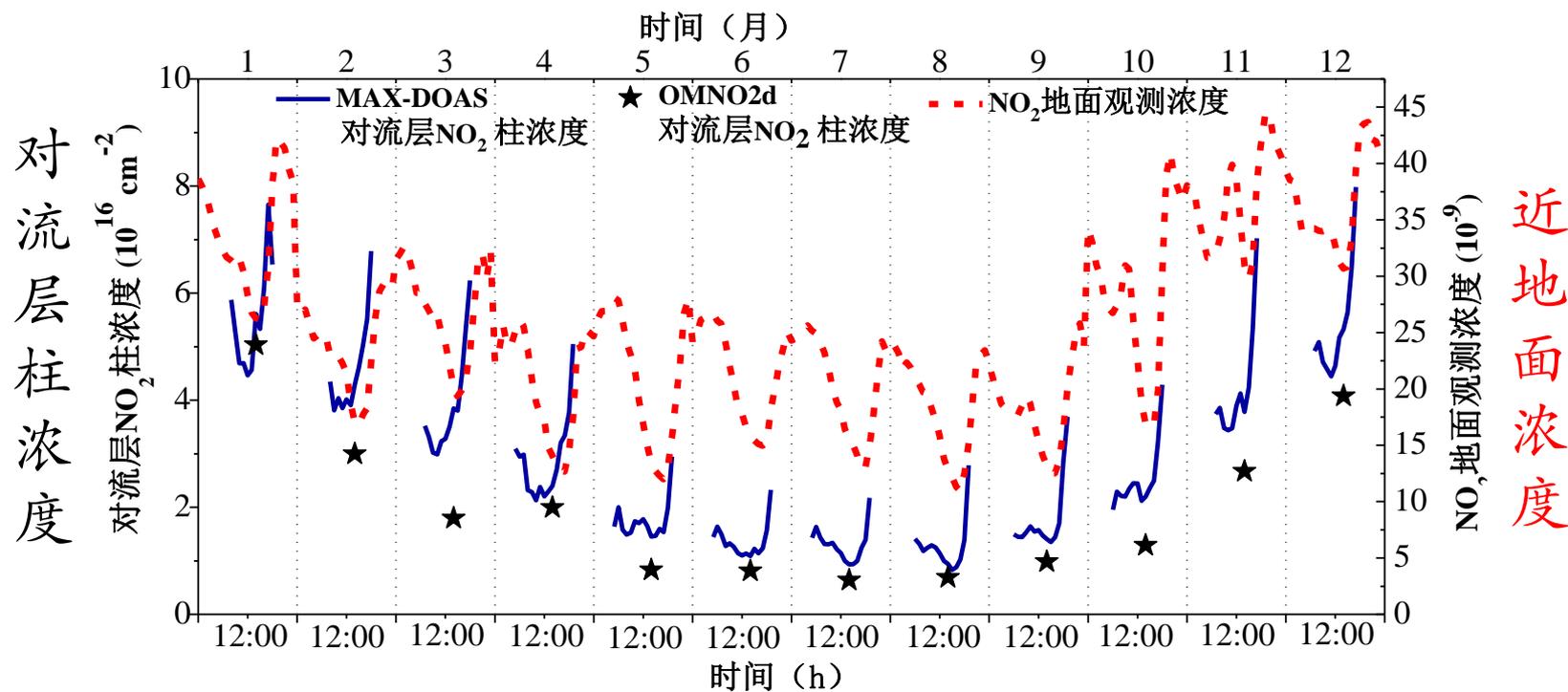
- ◆CF<0.3 晴朗
- ◆CF>0.3 有云



◆有云时，地基遥感观测对流层NO₂ VCD增大12%~14%。

发表论文: Ma, J.Z., J.L.Jin, et.al. (2013) ..
Atmos.Chem.Phys., Vol.13 (3) : 1547-1567.
 (SCI)

(三) 地基遥感与OMI NASA NO₂三级产品一致性程度评估



华北农村地区，地基遥感观测与卫星产品具有高度一致的季节变化和月变化特征：冬季高、夏季低。但OMI卫星三级产品较地基结果仍存在系统性的偏低（平均相对偏低28.4%），与北京、上海城区的研究结果一致。

发表论文：靳军莉，马建中*，林伟立，赵华荣（2016），华北平原固城站NO₂对流层柱浓度变化特征，应用气象学报，2016，27(3)，303-311。（一级核心）



(三)地基与OMI NO2二级产品对比：研究云和卫星像素筛选的影响

(a) 所有观测
(392)

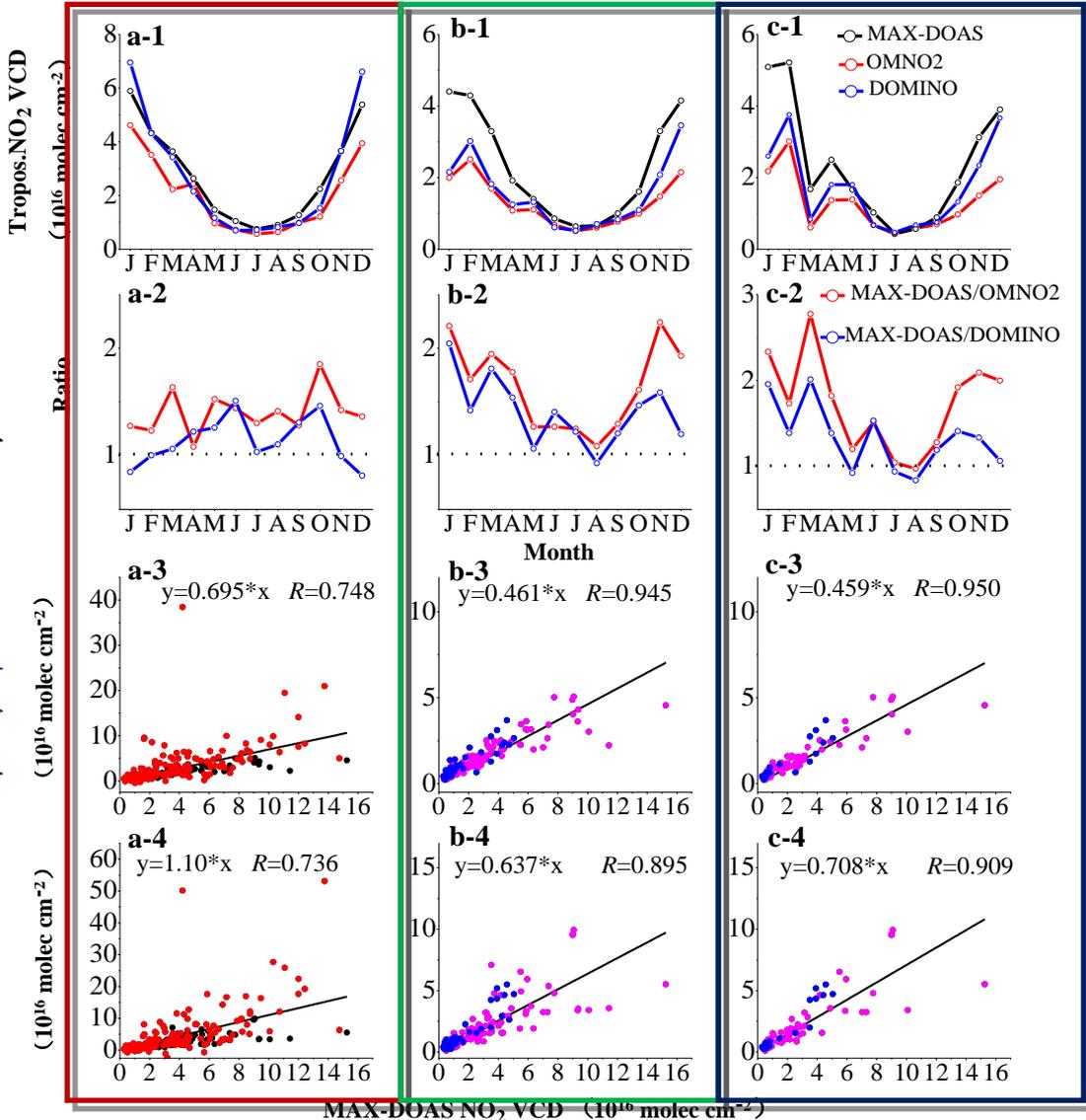
(b) 无云观测
CRF<0.5
(172)

(c) 无云且中心像素
CRF<0.5BEST
(82)

- 季节差异：夏季地基反演结果与两种卫星二级产品非常接近，冬季卫星产品均低于地基反演结果
- 有云时卫星反演误差更大

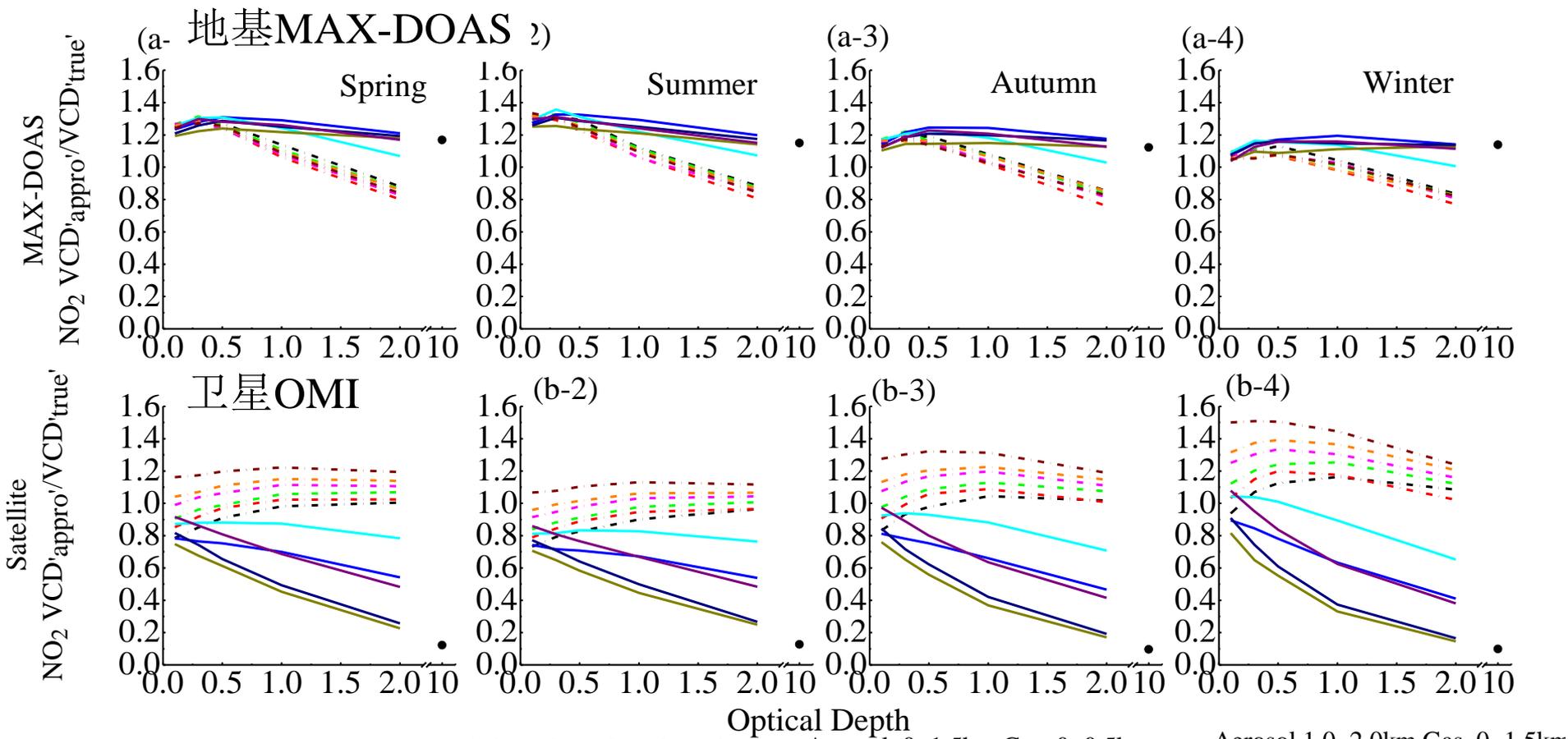
发表论文：Jin, J.L
et.al.(2016), 133(May 2016),

AE. (SCI)



测中心

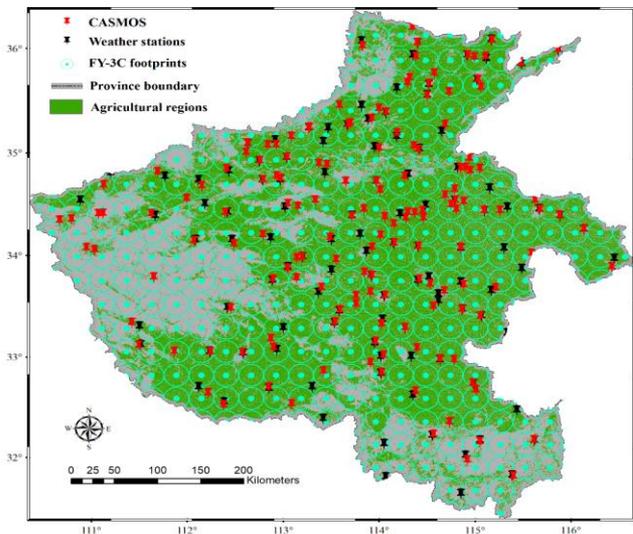
(三) 辐射传输模式模拟研究地基-卫星对污染监测的不确定性及原因



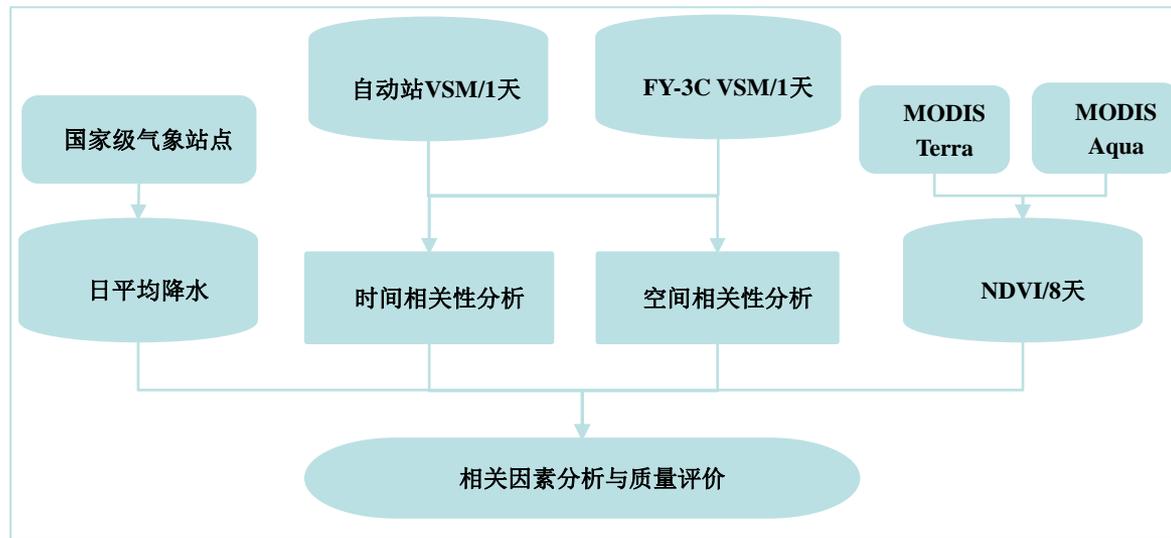
- 模拟结果显示:
- 地基观测反演NO₂柱总量不确定性 (± 20%) 远远小于卫星 (-80%~50%)
 - 气溶胶遮蔽效应是导致华北农村地区卫星产品低估对流层NO₂柱浓度的主要原因



(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (土壤水分)



站点分布图



地面观测与FY3C土壤湿度产品检验流程

研究中使用的数据

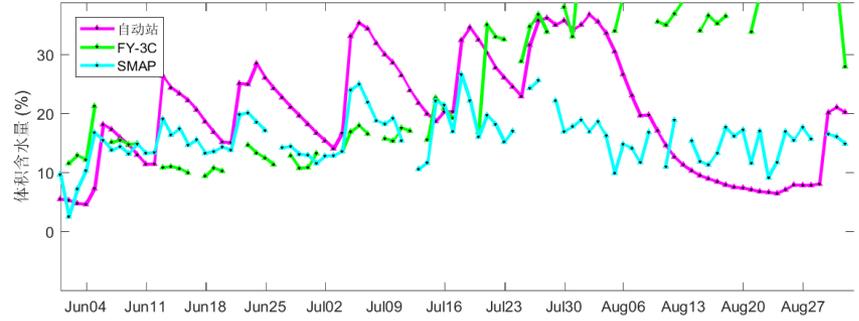
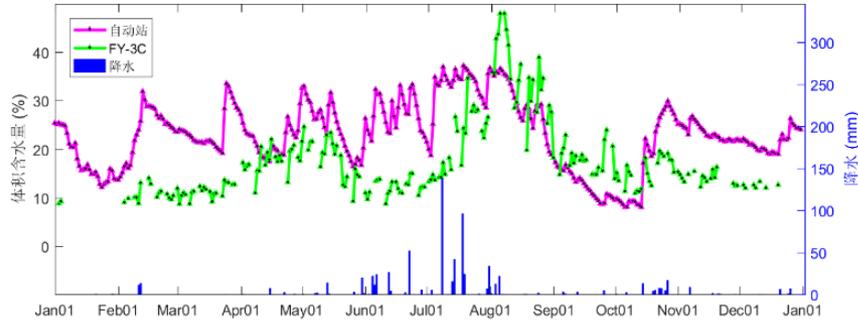
数据	空间分辨率	时间分辨率
FY3C土壤湿度产品	25 km × 25 km	2-3天
SMAP 土壤湿度产品	9 km × 9km	2-3天
土壤水分自动观测站	全省158站点	1小时
气象降水	全省119站点	1分钟
NDVI植被指数	250米	8天

评价指标

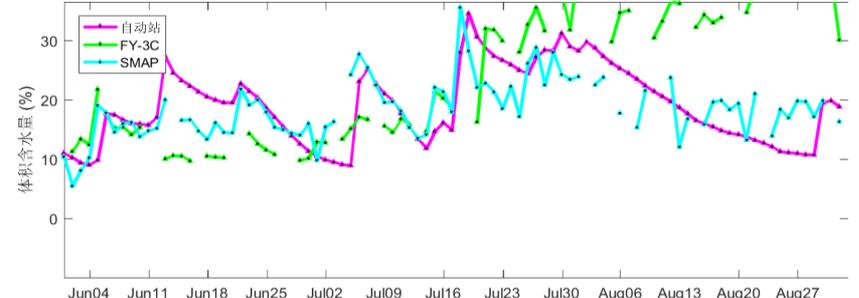
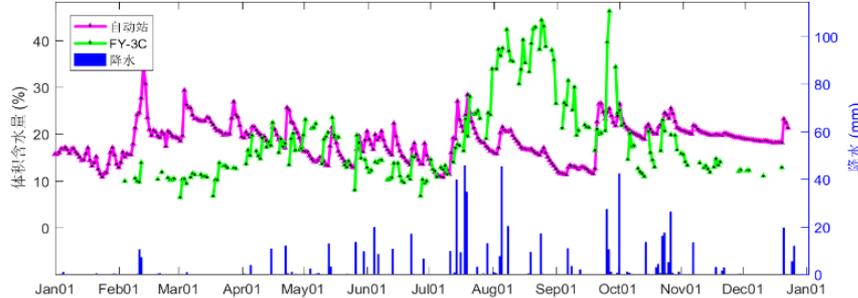
平均差 (MD)	$MD = \frac{\sum_{i=1}^N (mv_i^{fy} - mv_i^{sta})}{N}$
均方根误差 (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (mv_i^{fy} - mv_i^{sta})^2}{N}}$
无偏均方根误差 (ubRMSE)	$ubRMSE = \sqrt{RMSE^2 - MD^2}$
相关系数 (R)	$R = \frac{\sum_{i=1}^N (mv_i^{fy} - \overline{mv}^{fy})(mv_i^{sta} - \overline{mv}^{sta})}{(N-1)\sigma^{fy}\sigma^{sta}}$

(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (土壤水分)

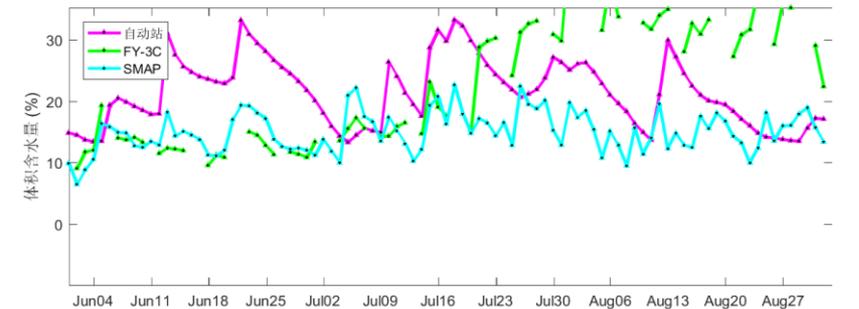
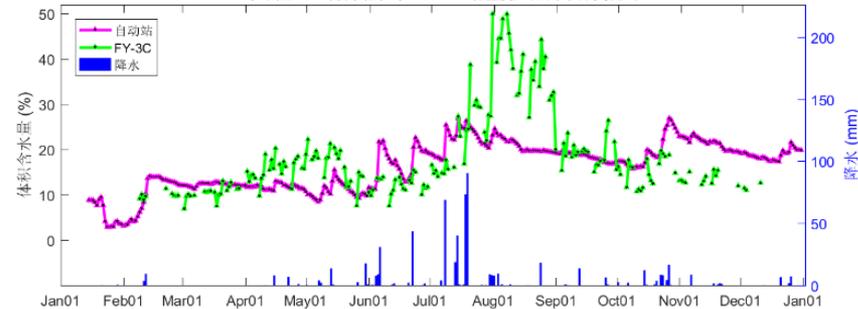
2016年站点2073观测结果与FY-3C土壤湿度产品的年际变化对比



2016年站点5245观测结果与FY-3C土壤湿度产品的年际变化对比



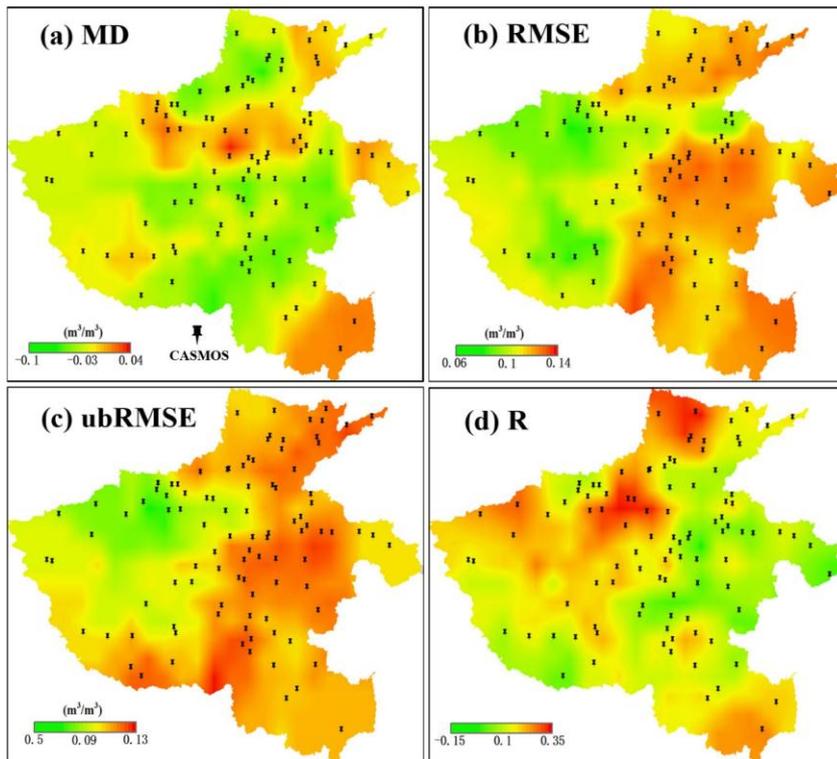
2016年站点2067观测结果与FY-3C土壤湿度产品的年际变化对比



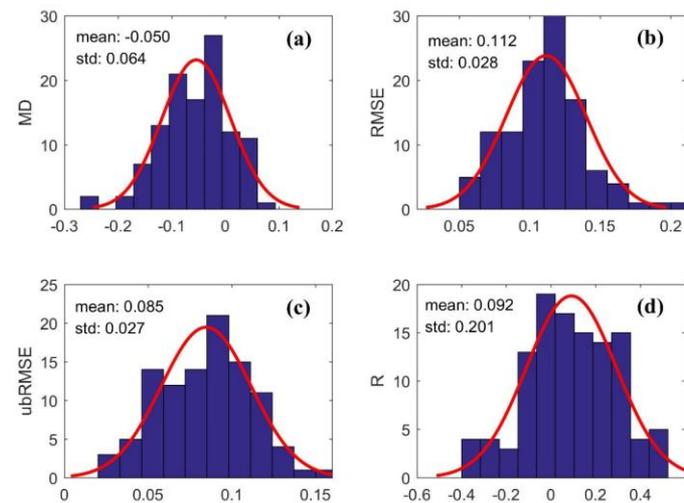
FY3C与地面观测土壤湿度产品对比

FY3C、SMAP与地面观测土壤湿度产品对比

(四)生态气象产品与卫星对比检验(土壤水分)



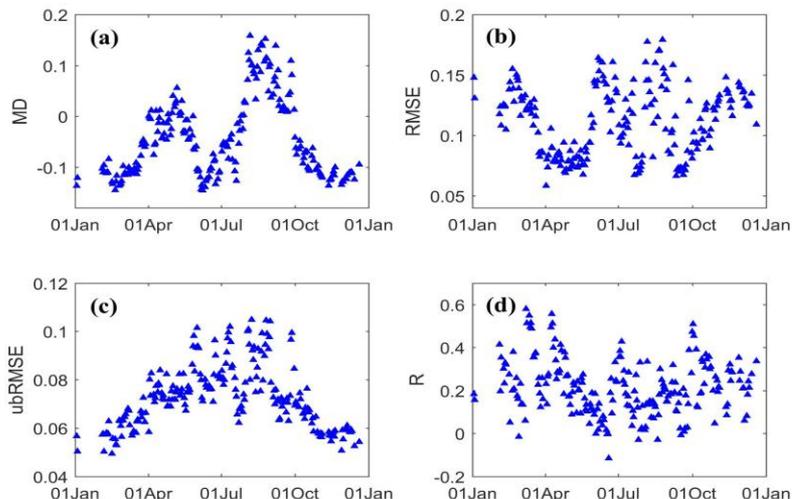
二者在研究区内的不一致分析



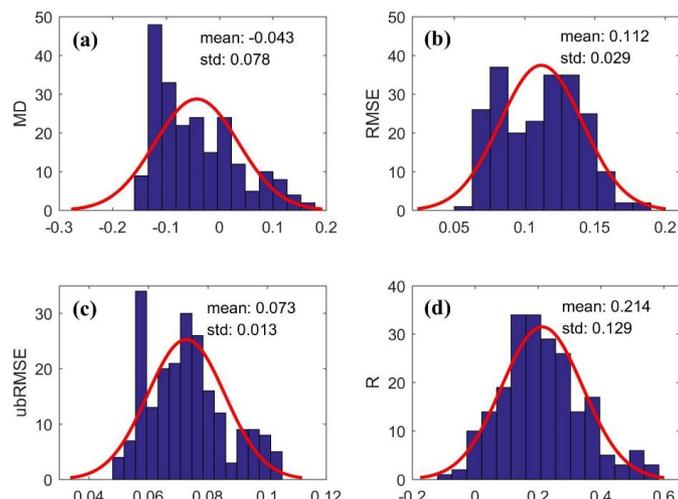
空间一致性统计参数

FY3C土壤湿度反演与地面观测总体趋势一致，西部的非农业区优于东部的农业区。

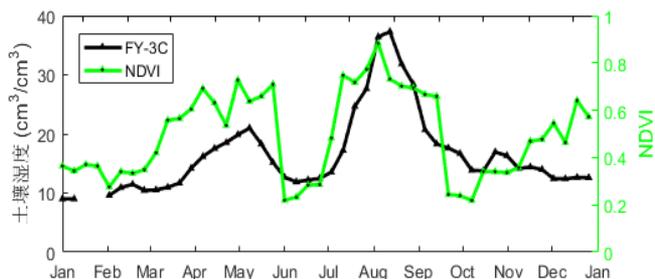
(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (土壤水分)



二者统计参数在2016年度随时间的变化



时间一致性统计参数

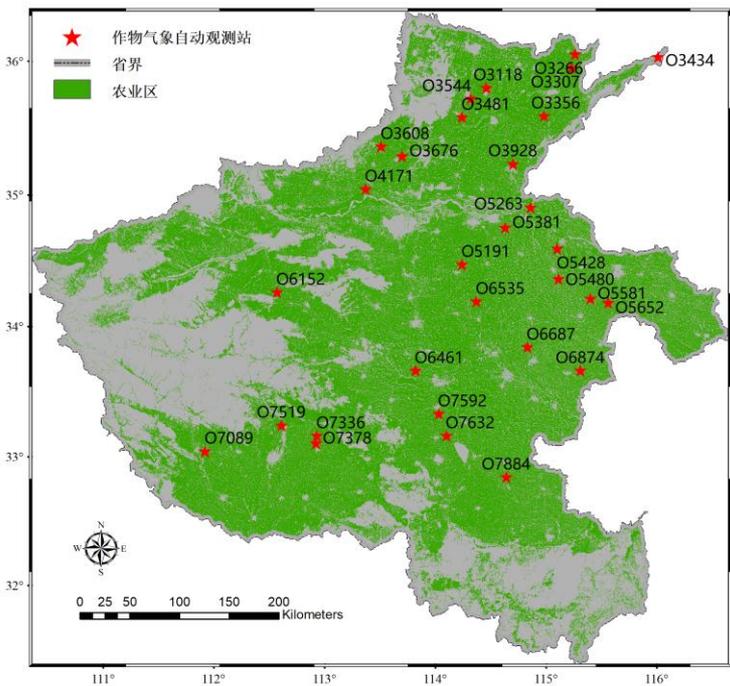


FY3C土壤湿度产品与NDVI植被指数表现了良好的相关性。

总体变化趋势一致，5月和8月，FY3C高于实际观测，而在其他时间低于实际观测，呈现为明显的双峰结构；

该结果与冬小麦-夏玉米的轮作系统表现出高度的耦合性。FY3C土壤湿度产品受农作物生长季中的**植被因素影响明显**，会**高估作物生长季土壤含水量**。

(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (作物长势)



作物气象自动观测站分布图

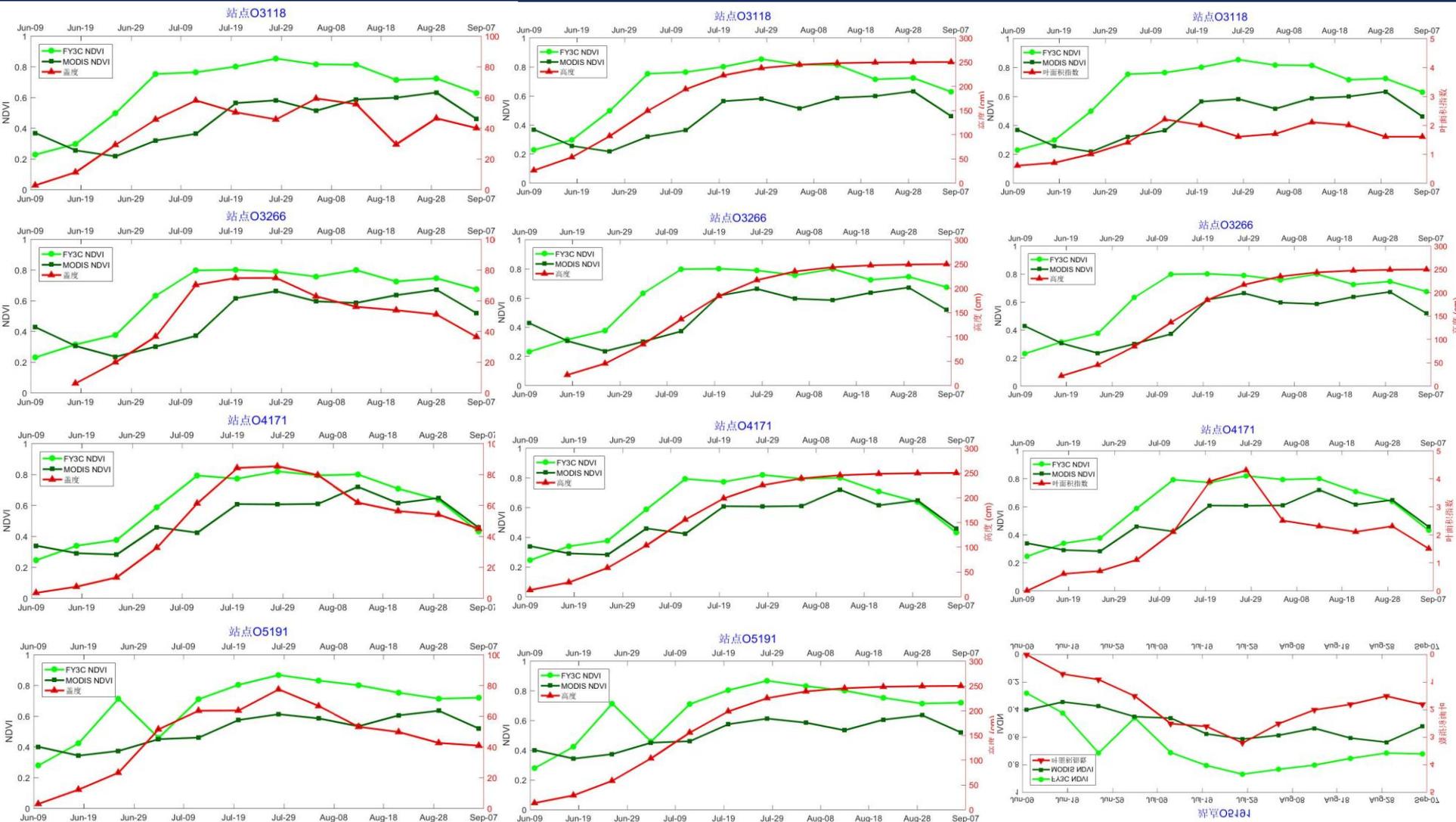
数据	来源	空间分辨率	时间分辨率
FY3C NDVI植被指数	卫星气象中心	0.05° 0.05°	× 10天
MODIS NDVI植被指数	MODIS官网	1 km	8天
作物气象自动观测站	气象探测中心	全省30站点	1小时

地面观测数据：应用2018年6月10日至9月6日，地面夏玉米作物长势数据（盖度、高度和叶面积指数）

MODIS数据：6月10日、18日、26日；7月4日、12日、20日、28日；8月5日、13日、21日、29日和9月6日，共12天数据。

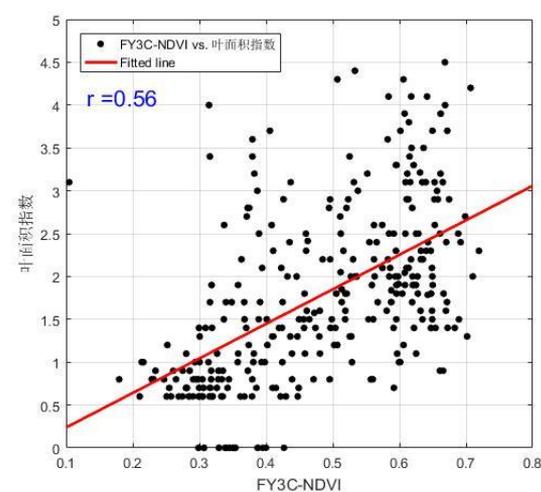
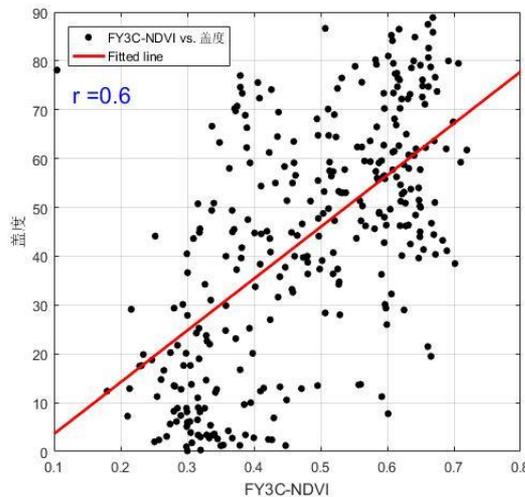
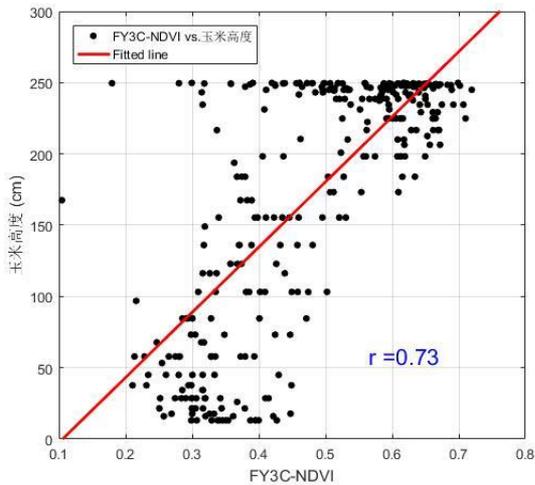
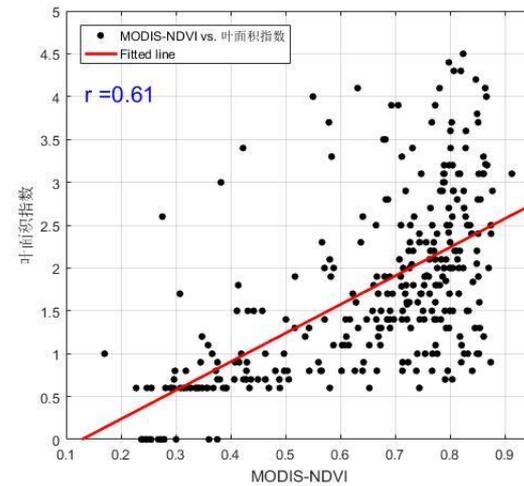
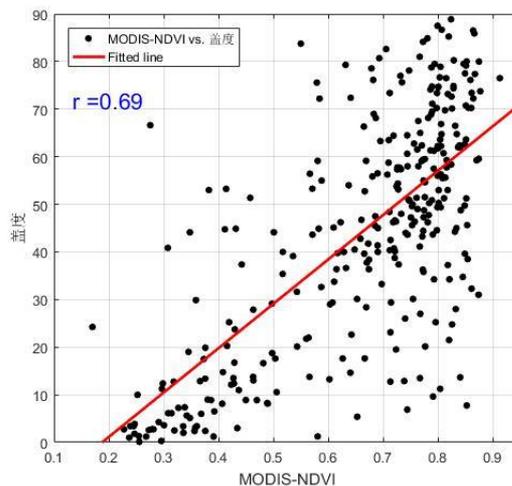
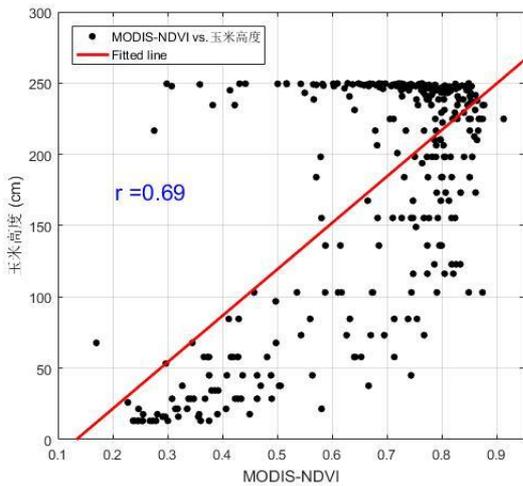
FY3C数据：5月31日；6月10日、20日、30日；7月10日、20日、31日；8月10日、20日、31日；9月10日、20日。

(四) 生态气象产品与卫星对比检验(作物长势)



FY3C的植被指数、MODIS的植被指数与地面观测的盖度、高度、叶面积指数，表现出了较好的时间变化一致性。

(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (作物长势)



地面观测的盖度、高度、叶面积指数与FY-3植被指数和MODIS植被指数，相关性较好。

(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (湿地分类)

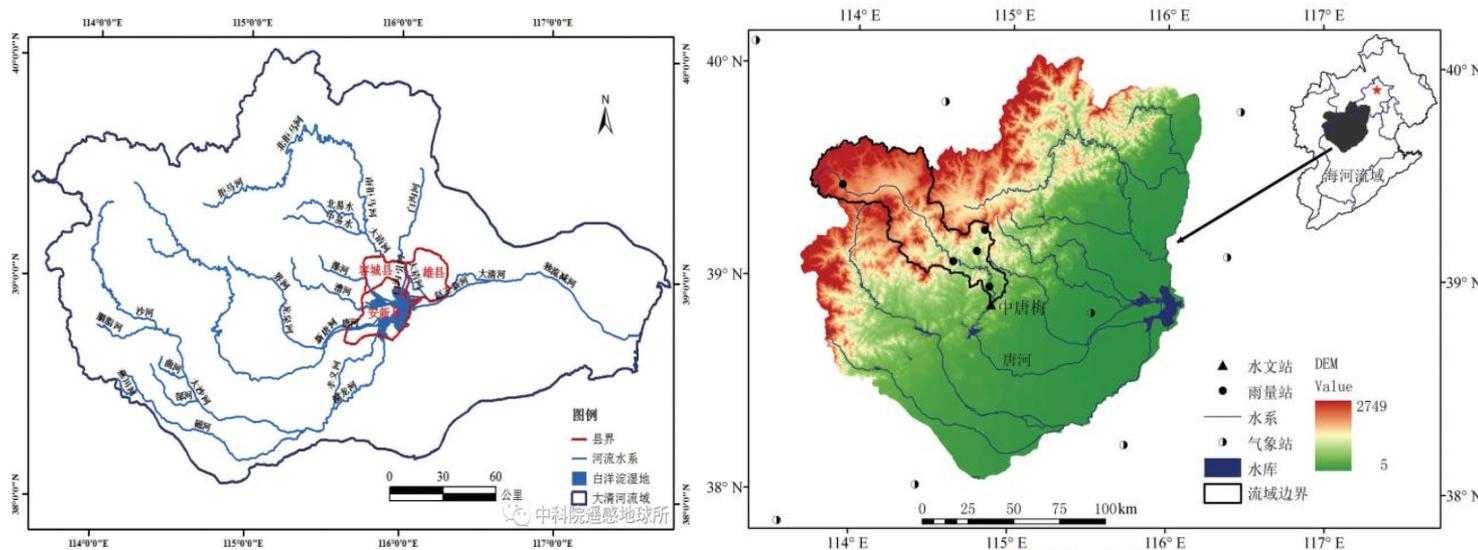


图1 研究区概况图

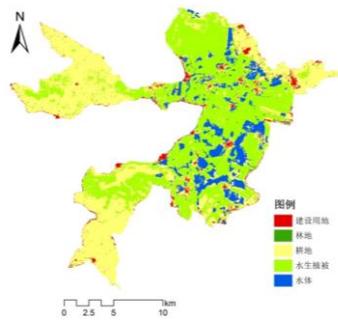
Fig. 1 Sketch map of the study area

图中红色区域为新区所辖雄县、容城县和安新县

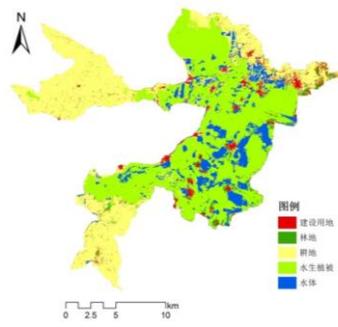
	年份	生长繁殖期	汛期	非汛期	空间分辨率/m	宽幅/视场/km	访问周期/天
1期	2001		9月24日	11月19日	30	185×185	16
	2002	6月7日			30	185×185	16
2期	2004		9月27日		30	185×185	16
	2005	6月7日		11月14日	30	185×185	16
3期	2011	6月8日			30	185×185	16
	2013		9月1日	11月20日	30	185×185	16
4期	2017	6月8日	9月28日	11月15日	30	185×185	16

(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (湿地分类)

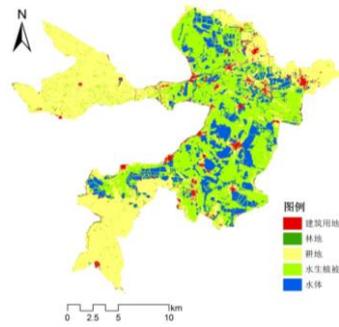
2002年生长繁殖期



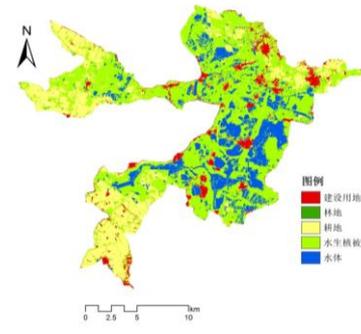
2005年生长繁殖期



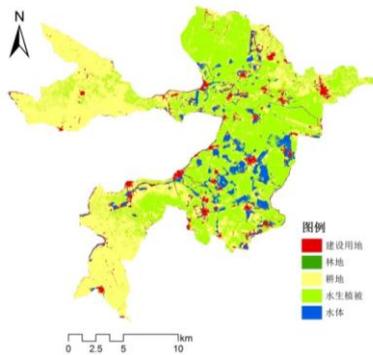
2011年生长繁殖期



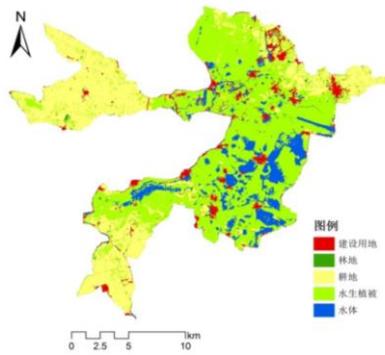
2017年生长繁殖期



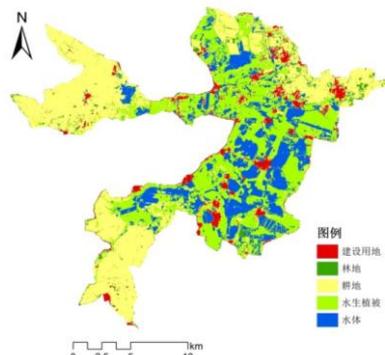
2002年汛期



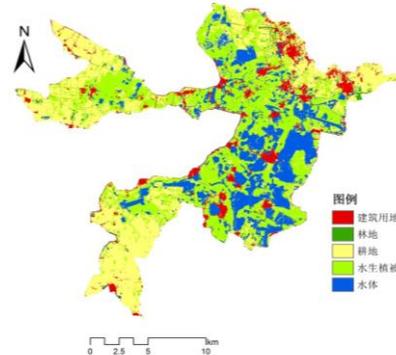
2004年汛期



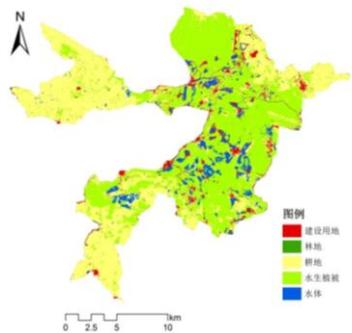
2013年汛期



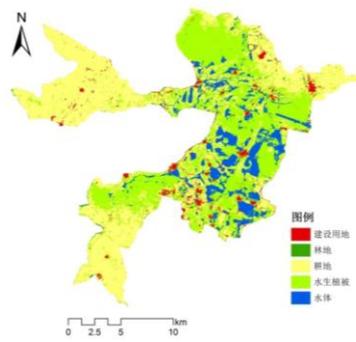
2017年汛期



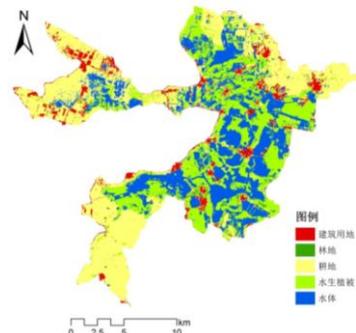
2002年非汛期



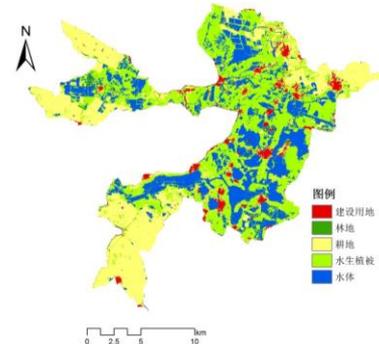
2005年非汛期



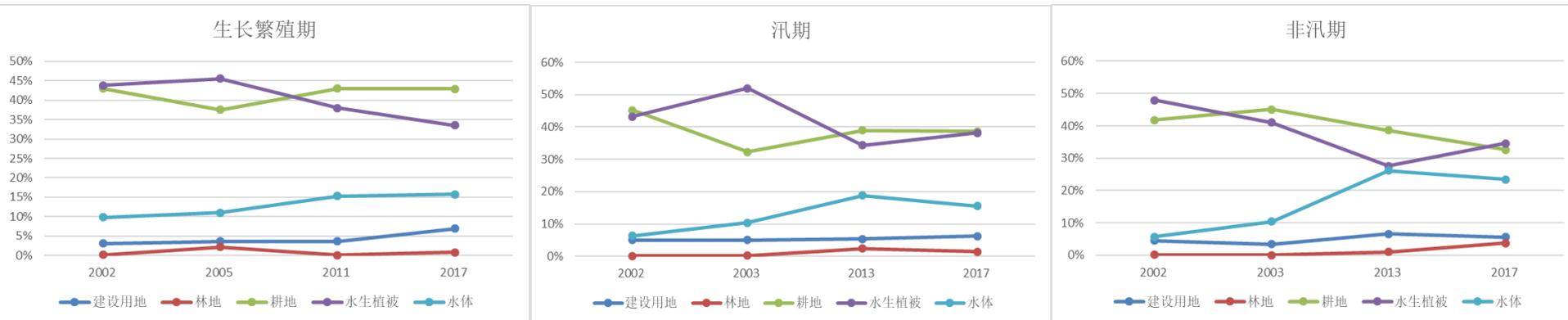
2013年非汛期



2017年非汛期



(四) 生态气象产品与卫星对比检验 (湿地分类)



- 水体整体增加，增加约15%，非汛期变化最显著。
- 水生植被呈减少趋势，下降约10%。
- 耕地整体呈减少趋势，下降约5%。生长繁殖期变化不显著。
- 建设用地略有增加。
- 林地变化不显著。

(五) 展望

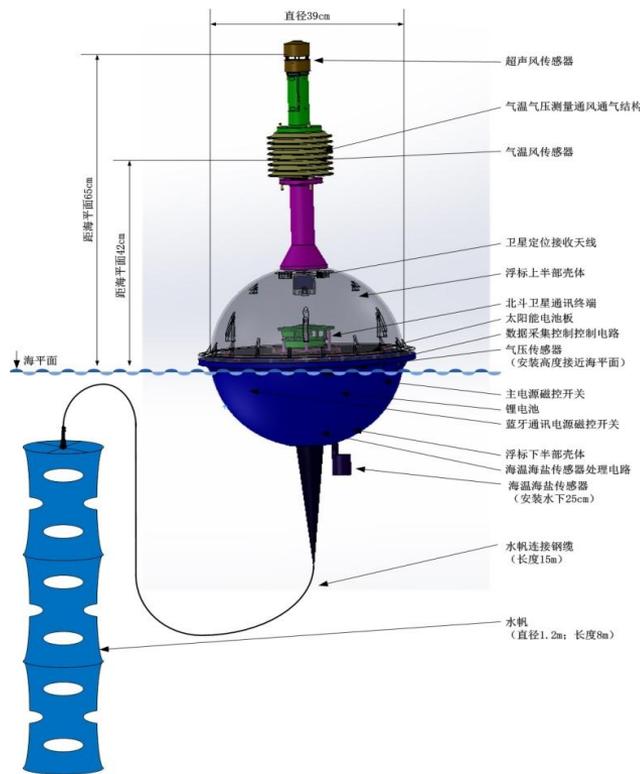
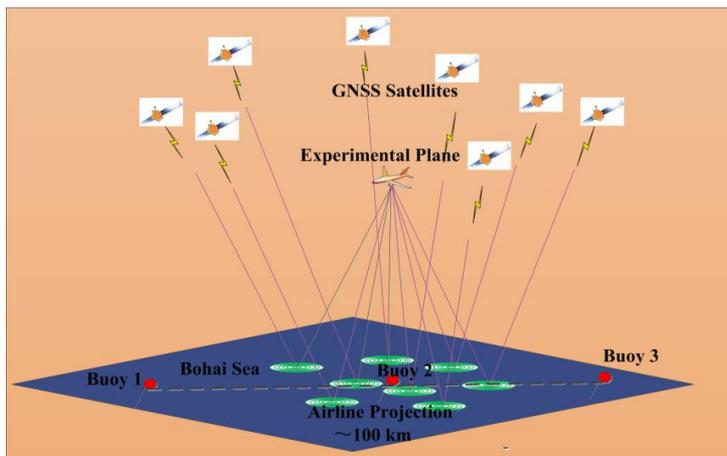
一、FY-3E 星GNOS II 载荷GNSS-R海风探测功能飞行验证

试验地点：东营附近海域

试验时间：2018.10.11~2018.10.30

海面风速：2m/s~12m/s

飞行高度：3000m



Buoy prepared for this experiment

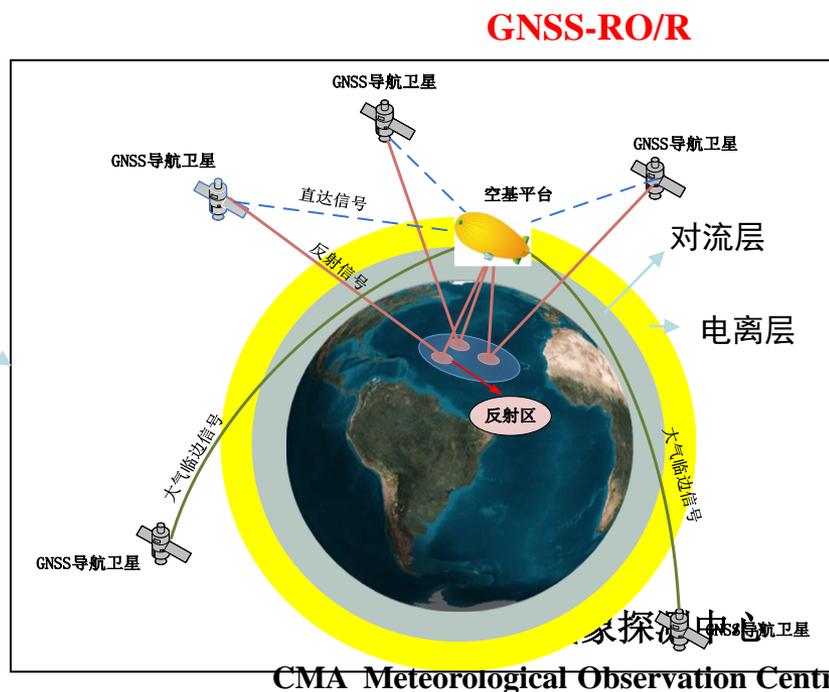
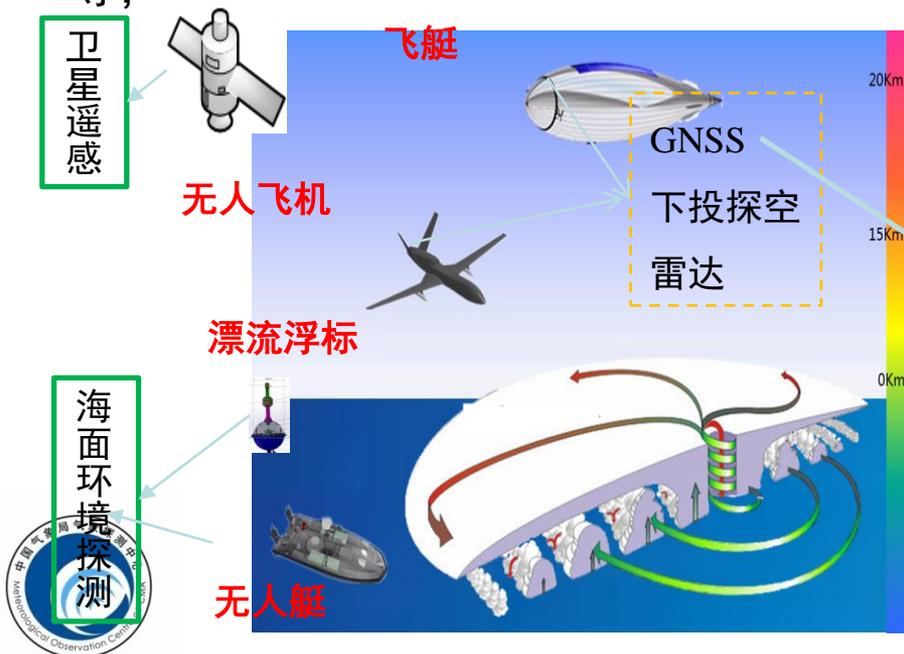


(五) 展望

二、基于目标观测的星地校验计划

目标：实现针对目标进行机动观测的能力，建立国家级业务框架和标准体系；
为卫星遥感校验提供精细化大气三维结构参考数据集；
为卫星载荷飞行验证提供必要试验平台，打造一流临近空间试验平台；

手段：平台包括大型无人机、平流层飞艇、智能无人艇和漂流浮标等；
载荷包括雷达、GNSS-RO/R、下投探空以及海面环境要素传感器等；
探测要素包括大气三维廓线（温、压、湿、风、水凝物和气溶胶）以及海面环境要素等；



(五) 展望

三、规划建立生态环境遥感产品地基校验中心

生态环境遥感产品地基校验中心

遥感产品真实性检验的完整技术流程体系

空间优化采样、尺度上推、检验策略等关键计算方法

编制遥感产品真实性检验标准与技术体系

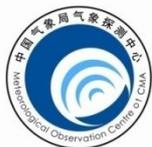
构建遥感产品地基真实性检验网

开展核心观测场的多模式联网观测试验

通过星机地同步试验研制多尺度配套观测数据集

初步形成遥感产品真实性检验网的原型体系和运行机制

创建国家级生态环境遥感产品地基校验业务



谢 谢