

2023年中美碳联盟年会，2023年7月27日，南京

大气CO₂卫星观测与模拟

——2010-2020全球CO₂时空变化及驱动因素

李贵才¹、姚依欣¹、江飞²、唐世浩¹

1. 国家卫星气象中心
2. 南京大学

ligc@cma.cn; guicai_li@163.com

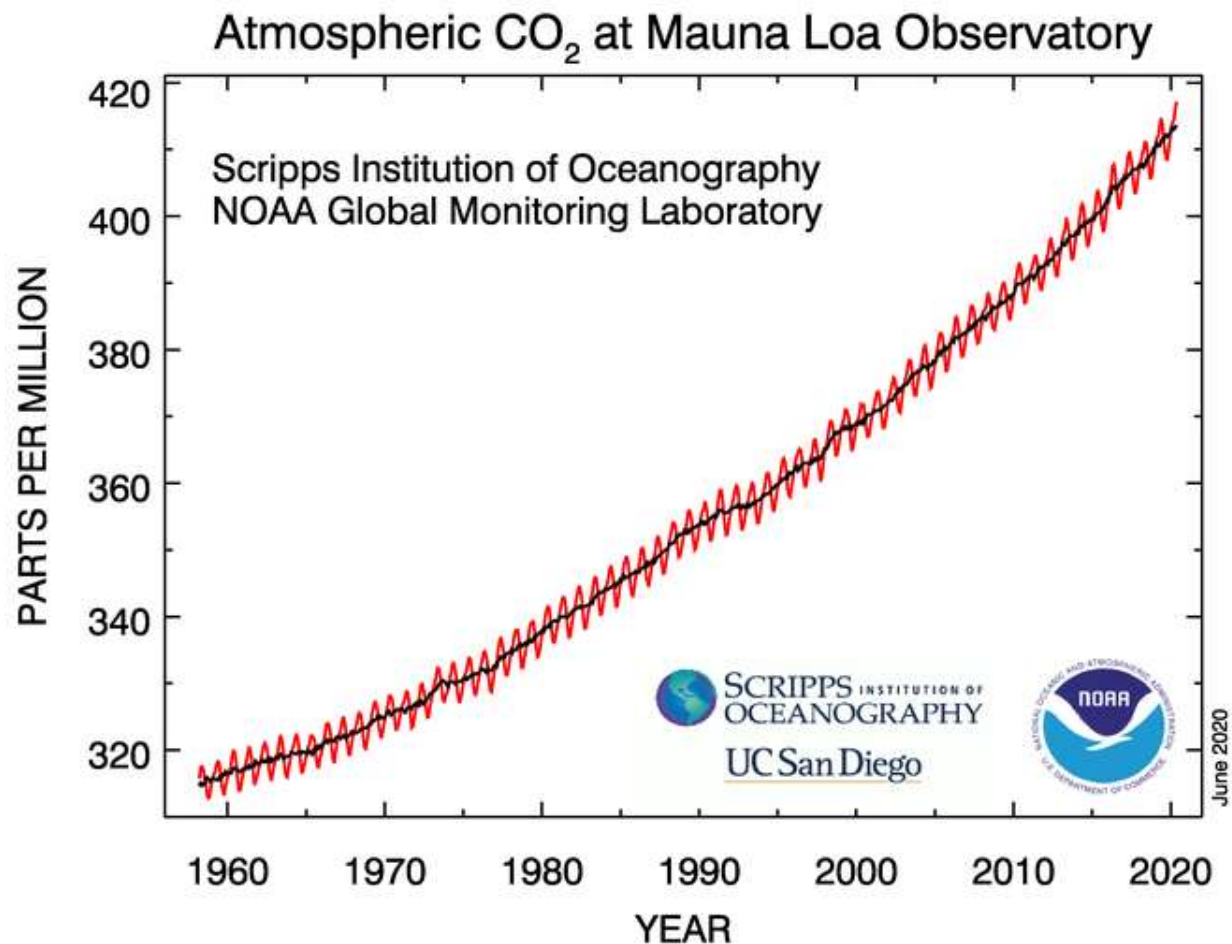
内 容

1. 气候变化与大气CO₂
2. 大气CO₂卫星观测
3. 2010-2020全球CO₂时空变化
4. 大气CO₂模拟
5. 展望

全球气候变化

- ① 全球变暖（冰盖缩小、海平面上升、臭氧洞扩大...）
- ② 气候变化加剧（变率增加、物候提前后延后...）
- ③ 自然灾害频发（干旱、高温、洪涝...）
- ④ 生物多样性减少（物种丧失、多样性减少）
- ⑤

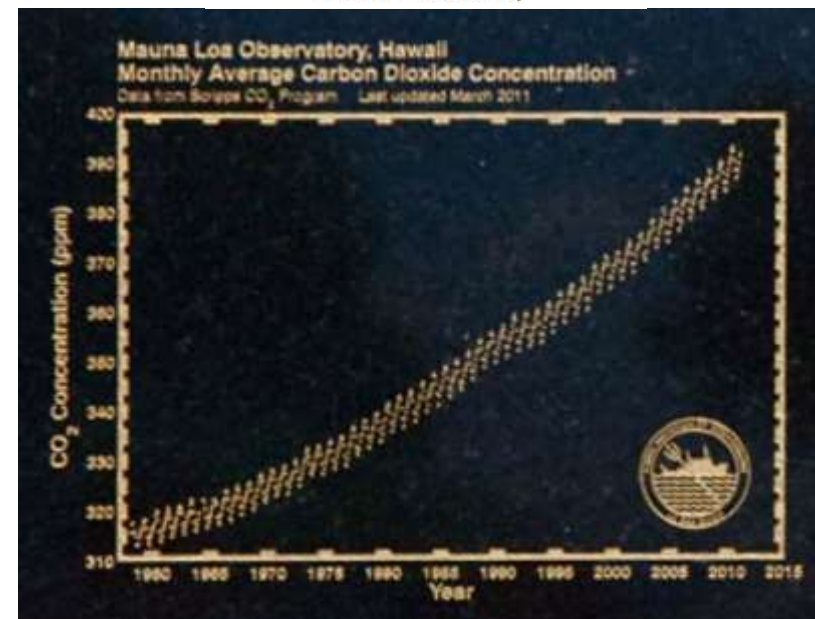
大气CO₂升高



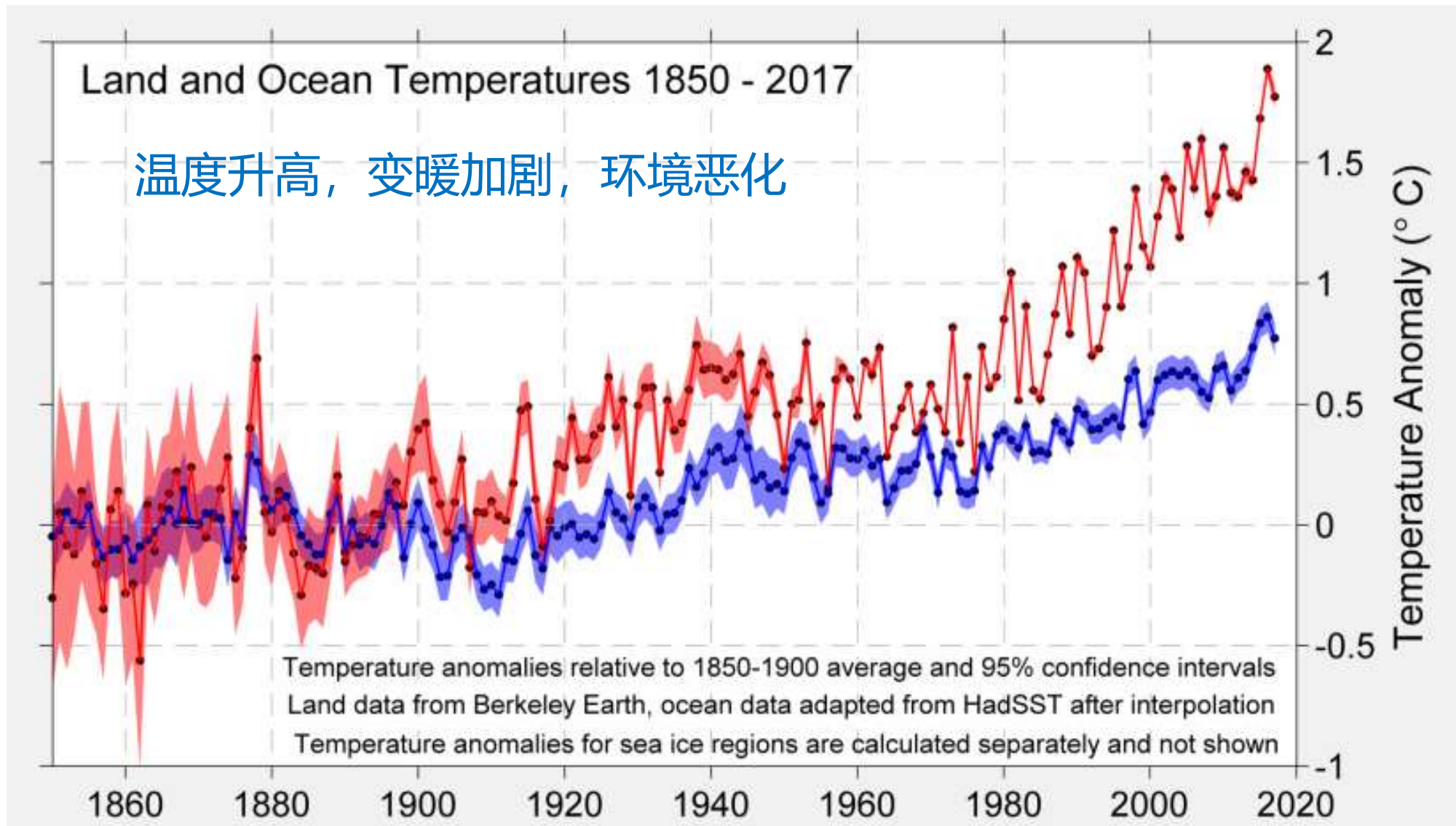
1750年以来，大气温室气体浓度不断上升。二氧化碳等温室气体浓度增加至80万年来最高水平 (IPCC, 2014)。



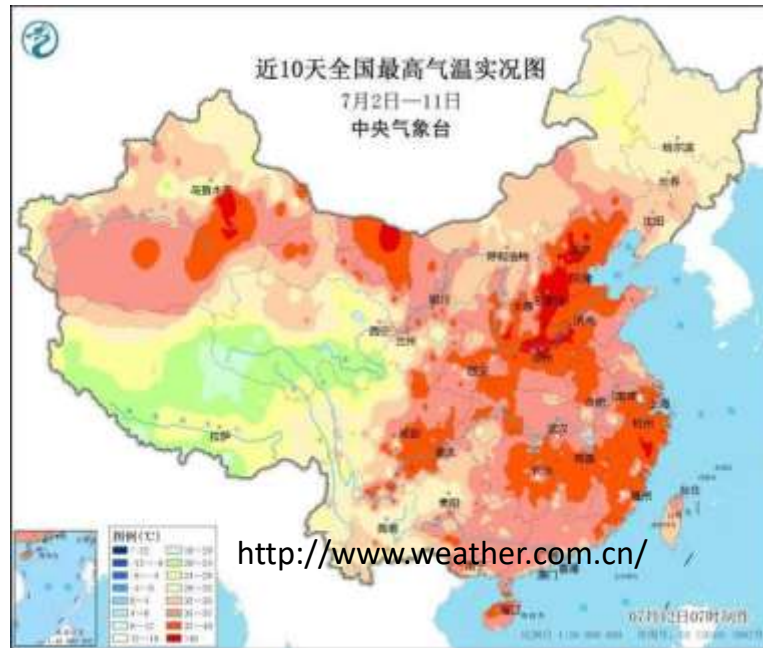
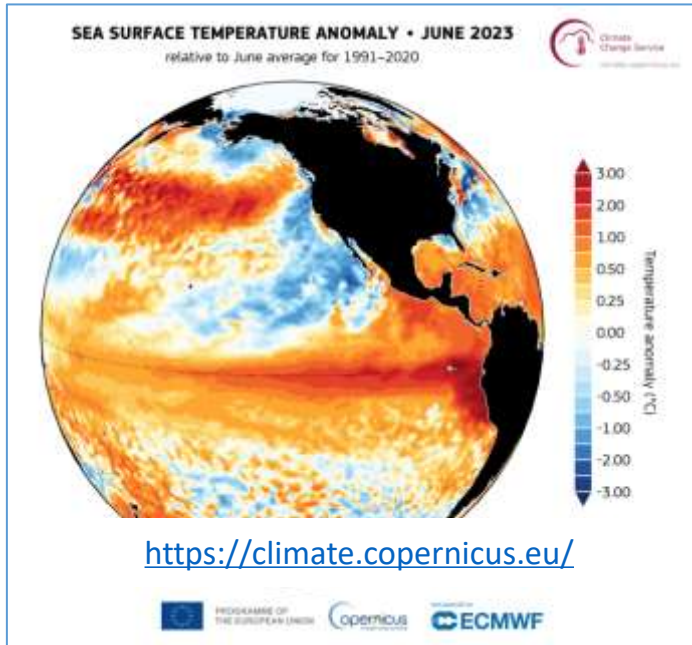
图1 查里斯·大卫·基林
(Charles David Keeling,
1928—2005)



莫纳罗亚天文台基林曲线纪念牌 (贾朋群, 2015)



- 《巴黎协定》力求将全球平均温升控制在低于超出工业化前 2°C , 努力限制在 1.5°C 以内。
- 2021年全球平均气温比工业化前(1850~1900年)高出 $1.11 (\pm 0.13)$ 摄氏度。逼近《巴黎协定》下限!



世界气象组织 (WMO) 2023年7月10日

- ◆ 2023年6月有史以来最热，比1991-2020年平均温度高 0.5°C 。
- ◆ 2023年7月第一周，或是“十万年来最热的一周”。

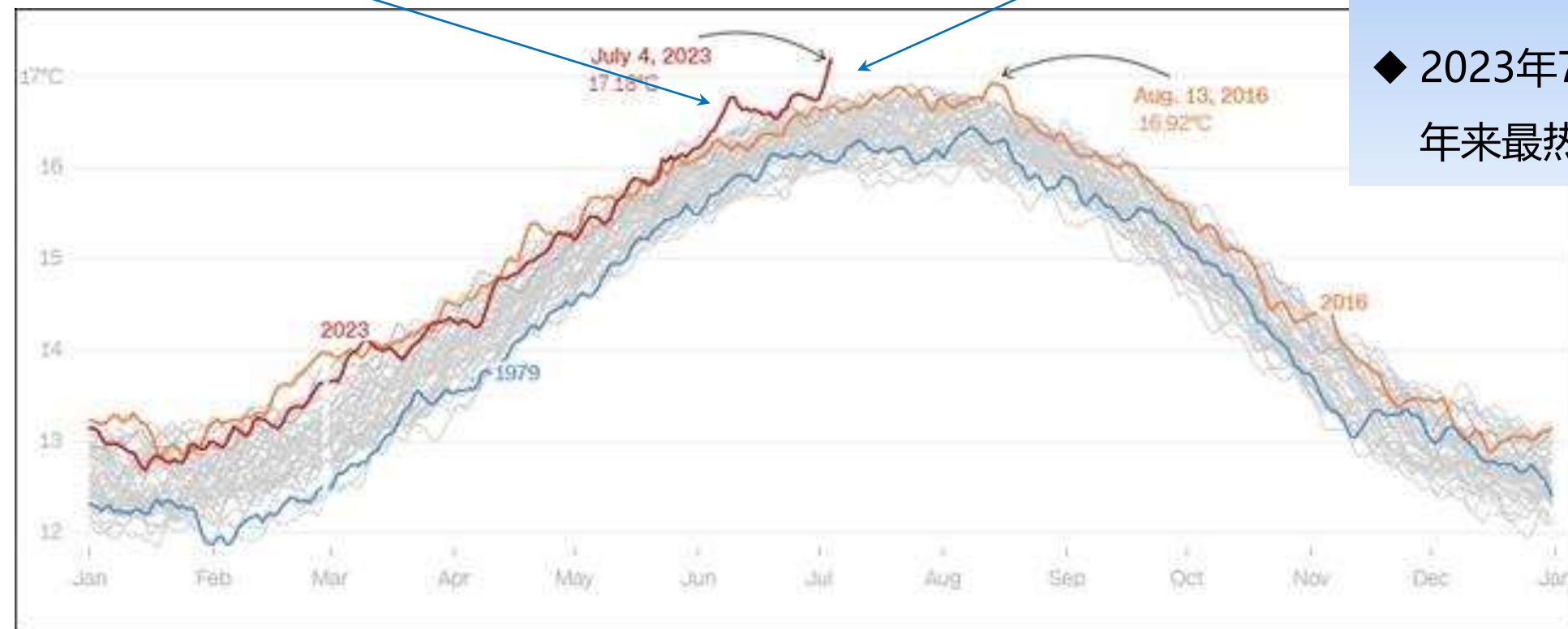
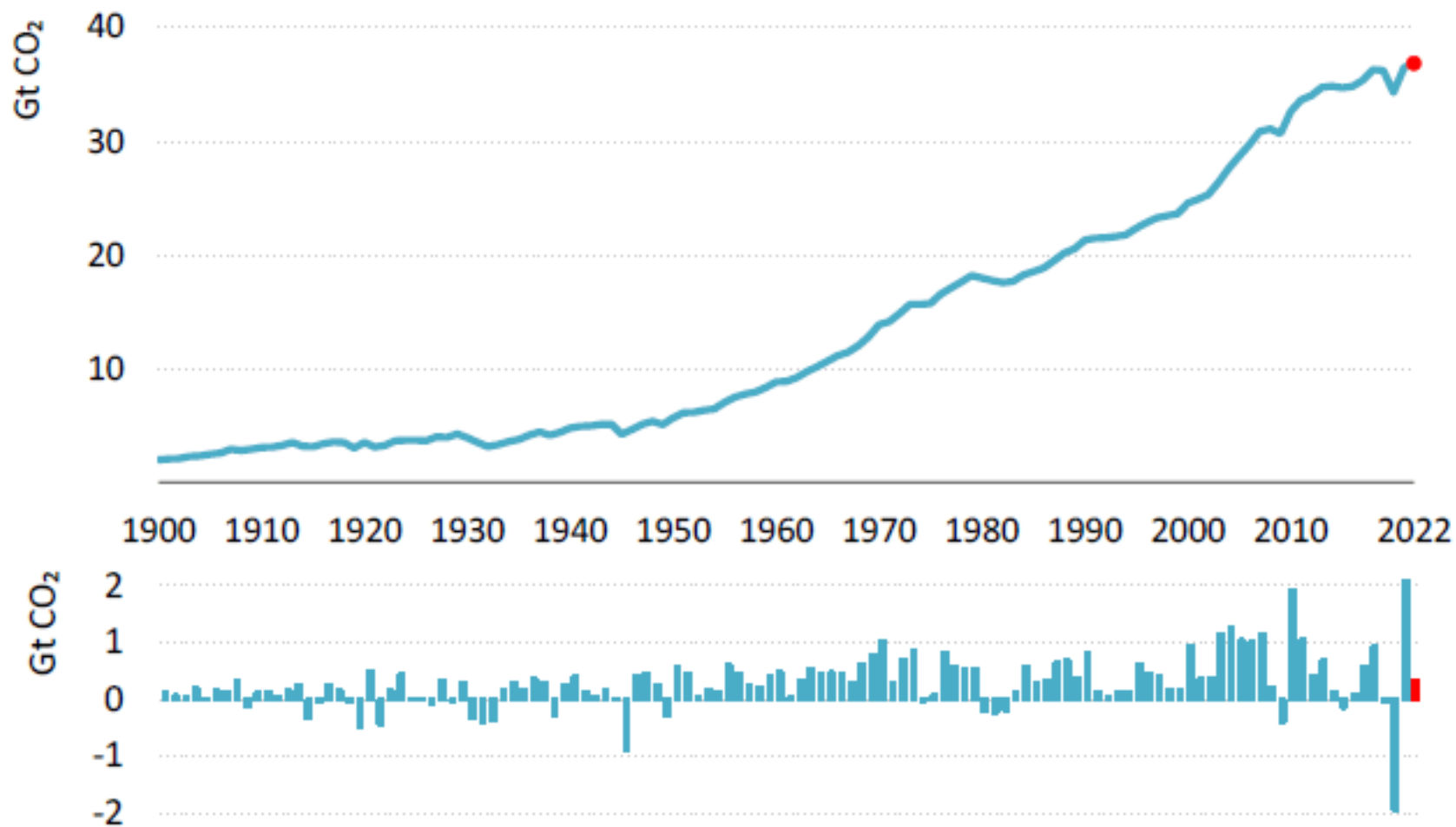


Figure 1: Global CO₂ emissions from energy combustion and industrial processes and their annual change, 1900-2022

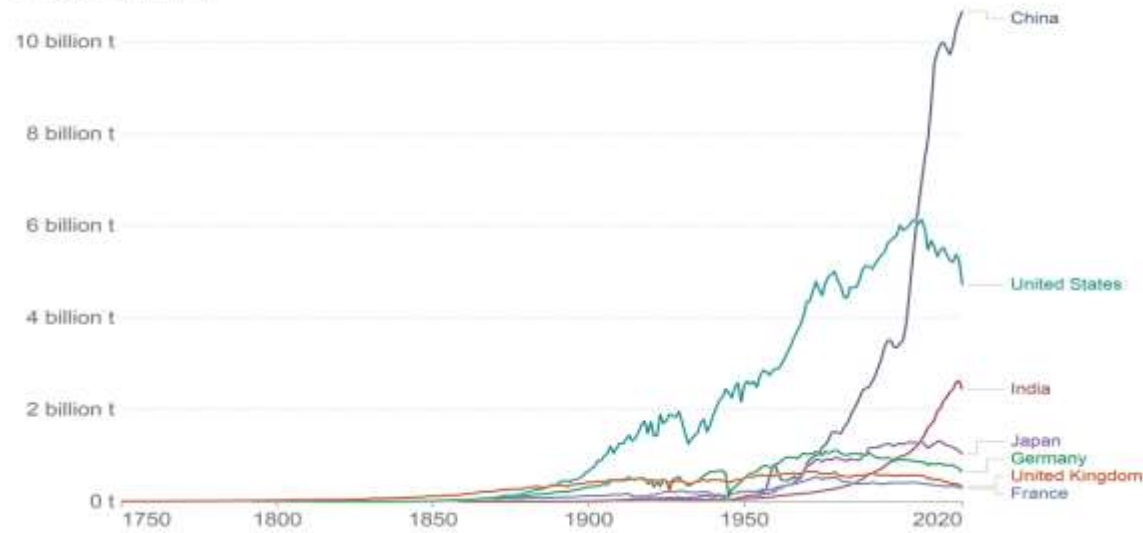




China CO₂ emissions

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

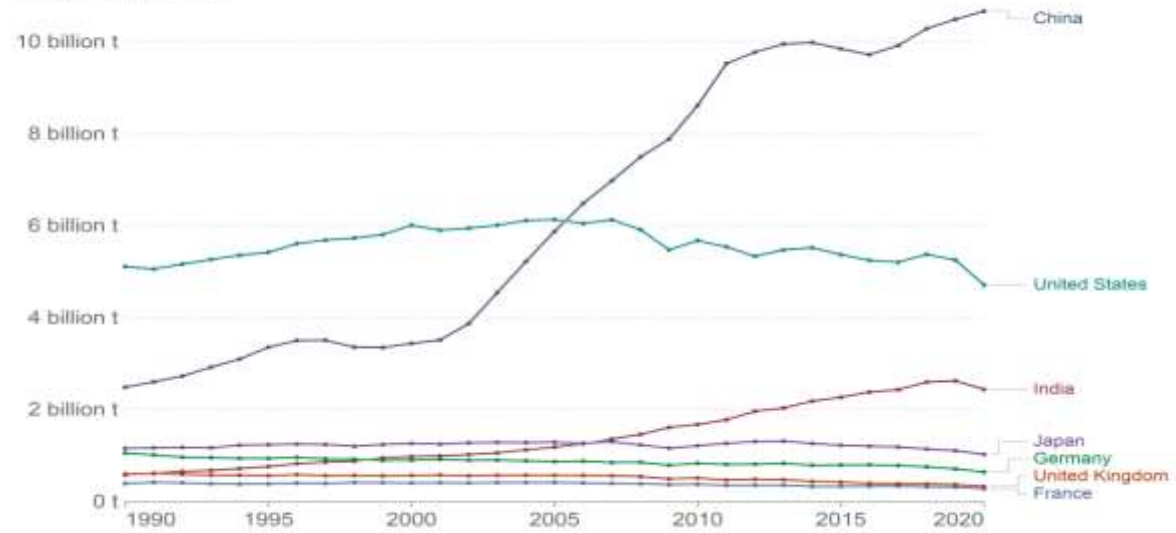


Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.



Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

- 1750年以来CO₂排放不断增加；1900以来全球排放加速，2000以来中国排放加速。
- 1990'至本世纪初，欧美发达国家逐渐实现碳达峰。
- 2005-2006年，中国排放超过美国。但人均排放远低于欧美发达国家及全球平均水平。
- 2022年我国的二氧化碳排放量为114.78亿吨（《2022年二氧化碳排放报告》，国际能源署IEA）

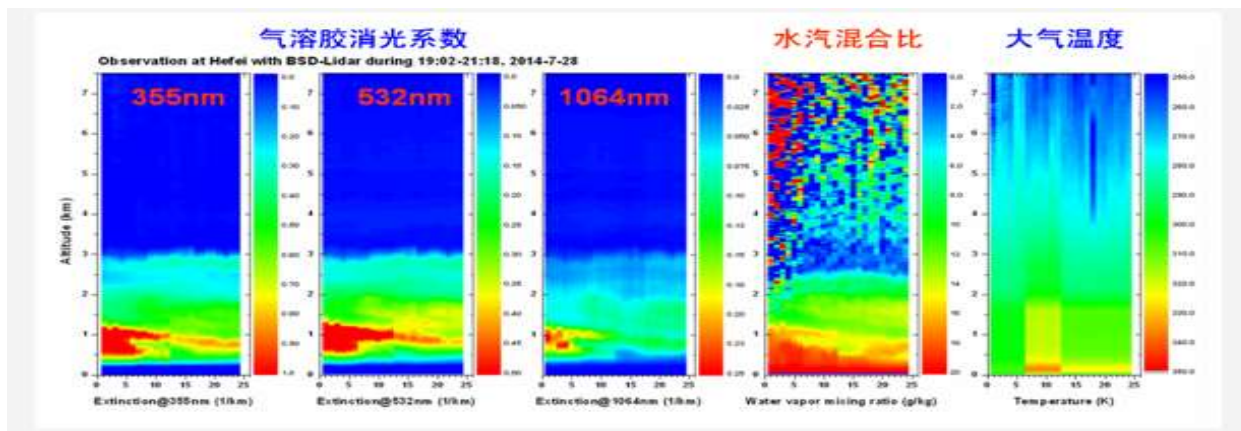
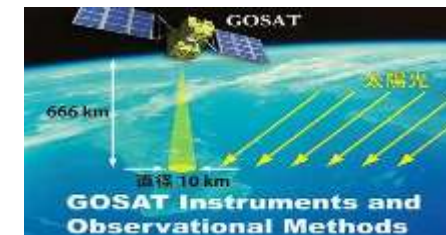
内 容

1. 气候变化与大气CO₂
- 2. 大气CO₂卫星观测**
3. 2010-2020全球CO₂时空变化
4. 大气CO₂模拟
5. 展望

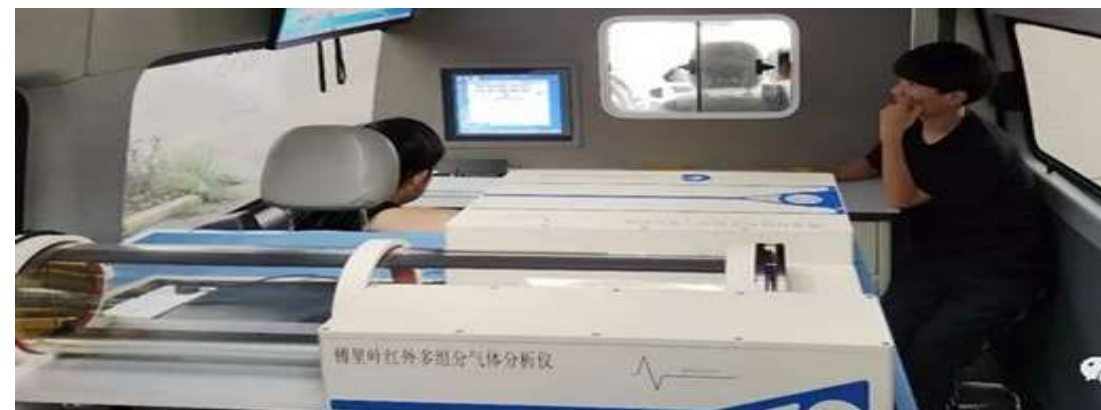
大气CO₂观测 (CO₂, CO₂ flux)

- ① 站点CO₂仪器观测: CO₂
- ② 涡度相关: flux
- ③ 地基激光雷达: CO₂
- ④ 地基高光谱: CO₂
- ⑤ 星载高光谱CO₂探测: Column CO₂, SIF

(TanSAT、GOSAT、OCO2/3...)



大气气溶胶、温度和水汽时空分布连续测量结果 (时间分辨率: 5min, 空间分辨率 7.5m)





大气CO₂观测/估算方法特点

- ① 地面调查
- ② 人为源排放清单
- ③ 站点CO₂浓度/通量观测
- ④ 地基Lidar CO₂观测
- ⑤ 卫星CO₂观测
- ⑥ 飞机船舶CO₂观测
- ⑦ 陆地生态系统过程模型
- ⑧ 大气输送模式
- ⑨ ...

- ① 费时费力、数量有限
- ② 反映人为释放部分
- ③ 长期稳定，数量有限
- ④ 站点有限
- ⑤ 全球覆盖，实时更新
- ⑥ 航迹观测，空间覆盖不完整
- ⑦ 陆地碳通量，未实现闭合
- ⑧ 大气碳通量，未实现闭合
- ⑨ ...



GAW

Global Atmosphere Watch (GAW)



Currently GAW coordinates activities and data from **30 Global stations**, more than **400 Regional stations**, and around **100 Contributing stations** operated by **Contributing networks** (see [GAW SIS](#)).

<https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>
<https://gawsis.meteoswiss.ch/GAW SIS/#/>



GAW



World Data Centre for Greenhouse Gases



CO₂ (274)

Search by a keyword:

DL	Favorite	Station/Mobile (GAW ID, Country) <i>Mobile</i>	Contributor	Data						Platform Sampling Type Buffer	Scale	
				ev	hr	da	mo	met	Metadata			
<input type="checkbox"/>		Alert (ALT, Canada)	NOAA	<input checked="" type="checkbox"/>					<input type="button" value="view"/>	<input type="button" value="click"/>	surface flask ccgg	WMO CO2 X2019
<input type="checkbox"/>		Alert (ALT, Canada)	CSIRO	<input checked="" type="checkbox"/>					<input type="button" value="view"/>	<input type="button" value="click"/>	surface flask data1	WMO CO2 X2019
<input type="checkbox"/>		Alert (ALT, Canada)	ECCC		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="button" value="view"/>	<input type="button" value="click"/>	surface insitu data1	WMO CO2 X2007
<input type="checkbox"/>		Alert (ALT, Canada)	ECCC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="button" value="click"/>	surface flask data1	WMO CO2 X2007
<input type="checkbox"/>		Zeppelin Mountain (Ny Alesund) (ZEP, Norway)	NOAA	<input checked="" type="checkbox"/>					<input type="button" value="view"/>	<input type="button" value="click"/>	surface flask ccgg	WMO CO2 X2019
<input type="checkbox"/>		Zeppelin Mountain (Ny Alesund) (ZEP, Norway)	ITM		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="button" value="view"/>	<input type="button" value="click"/>	surface insitu data1	WMO CO2 X2007
<input type="checkbox"/>		Zeppelin Mountain (Ny Alesund) (ZEP, Norway)	NILU		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input type="button" value="view"/>	<input type="button" value="click"/>	surface insitu data1	WMO CO2 X2007
<input type="checkbox"/>		Mould Bay (MBC, Canada)	NOAA	<input checked="" type="checkbox"/>					<input type="button" value="view"/>	<input type="button" value="click"/>	surface flask ccgg	WMO CO2 X2019



- [Home](#)
- [Documentation](#)
- [Usage Policy](#)
- [Our Products](#)
- [Download](#)
- [Contributors](#)
- [Lab Lookup Table](#)
- [Release Notes](#)
- [Updates](#)
- [Publications](#)

Observation Package (ObsPack) Data Products

Introduction

Observation Package (ObsPack) data products are intended to stimulate and support carbon cycle modeling studies. A variety of ObsPack products are available and vary from one another depending on their intended use. Products may include providers' original data and metadata reformatted into the ObsPack framework (Masarie et al., 2014) or may contain averages or subsets of original data. ObsPack data products are prepared by NOAA in consultation with data providers.

The ObsPack framework (Masarie et al., 2014) is designed to bring together direct atmospheric greenhouse gas measurements derived from one or more national or university laboratories, prepare them with specific applications in mind, and package and distribute them in a set of self-documenting files. ObsPack products include a set of prepared data sets and metadata, a summary of included data sets, and an e-mail address list of all data providers.

While each data set includes extensive metadata, we recognize the included metadata is not comprehensive. If you are interested in source data used to construct a product or would like more complete documentation on measurements, please contact the data provider directly (contact information is included in each data set). Source data may also be available from the WMO World Data Center for Greenhouse Gases (WDCGG).



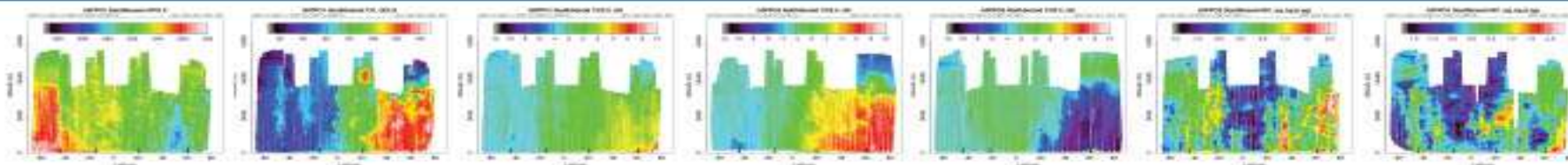
HIAPER Pole-to-Pole Observations of Carbon Cycle and Greenhouse Gases Study



GAS MEASUREMENTS [EOL and ACOM]	NSF/NCAR Aircraft	
	GV	C-130
Description		
Airborne Carbon Dioxide (CO ₂), Methane (CH ₄), Carbon Monoxide (CO), and Water Vapor [ACOM]	✓	✓
Aero-Laser Carbon Monoxide (CO) [ACOM]	✓	✓
QCL Carbon Monoxide (CO) and Nitrous Oxide (N ₂ O) [ACOM]	✓	✓
Water Vapor Isotopic Analyzer (WVISA) [EOL]	✓	✓
Fast Ozone (O ₃) [ACOM]	✓	✓
Total Organic Gas Analyzer (TOGA) (C ₂ - C ₁₀ organic range) [ACOM]	✓	✓
Airborne Whole Air Sampler (AWAS) [EOL]	✓	✓
Chemical Ionization Mass Spectrometer (CIMS) (SO ₂ , HNO ₃ , HNO ₄ , HNO ₂ and others) [EOL]	✓	✓
Medusa Flask Sampler [EOL]	✓	✓
Airborne Oxygen Analyzer (AO2) [EOL]	✓	✓
NO and NO ₂ [ACOM]	✓	✓



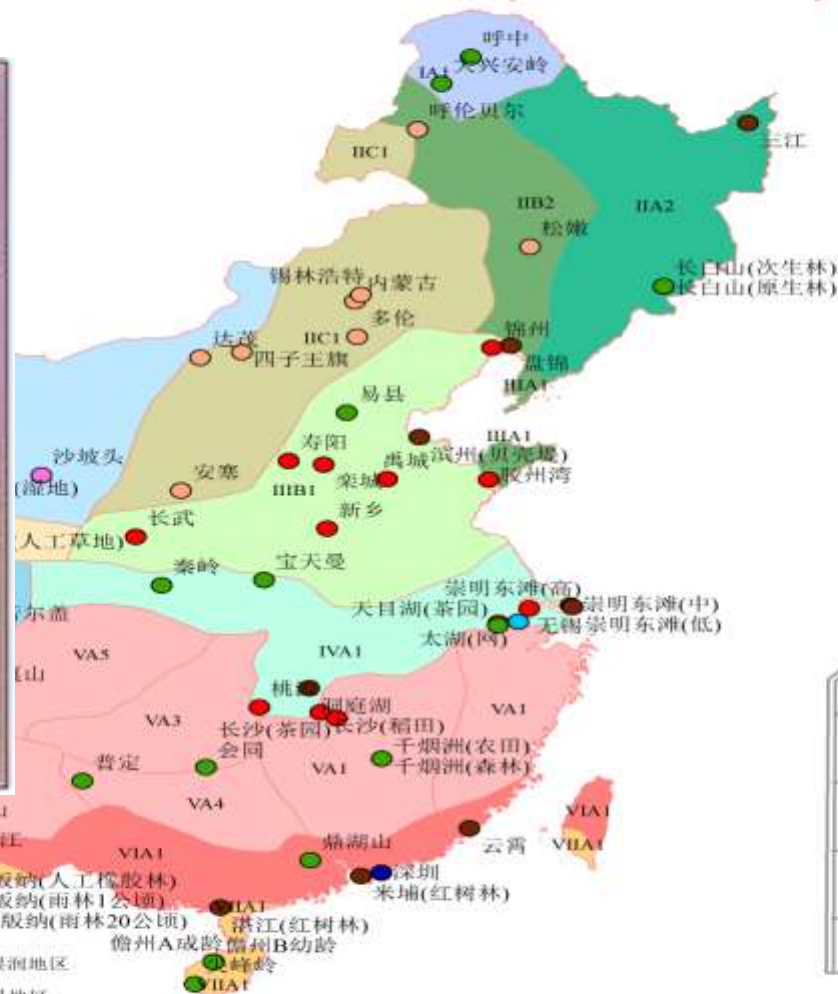
CO₂, O₂:N₂ ratio, CH₄, CO, N₂O, ¹³CO₂:¹²CO₂, H₂, SF₆, COS, CFCs, HFCs, HCFCs, and selected hydrocarbons.





中国通量观测研究联盟 包括79个站点

Chinese Flux Observation and Research Network (ChinaFLUX)



Legend

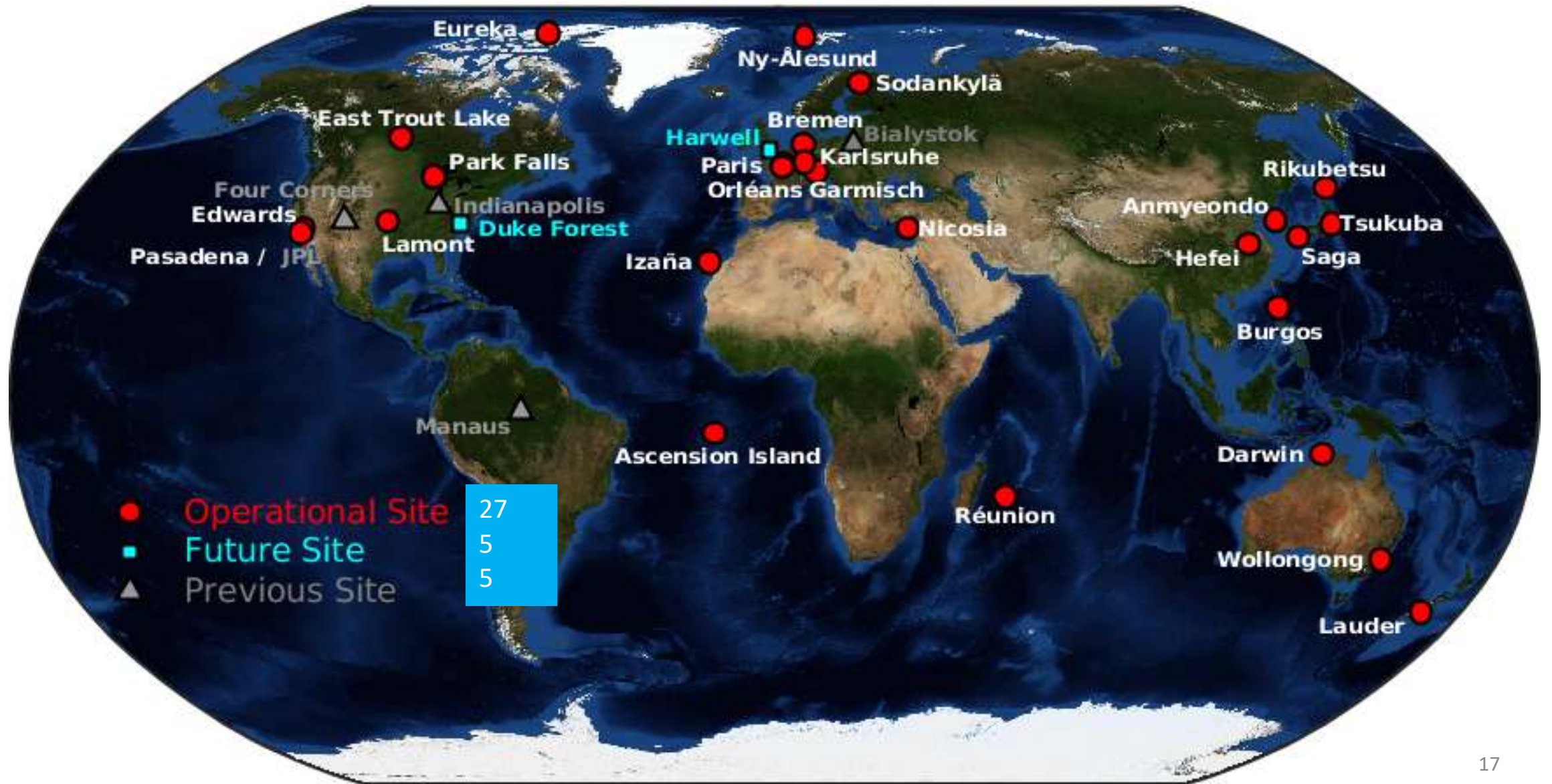
- 森林
- 草地
- 农田
- 湿地
- 荒漠
- 城市
- 湖泊网



生态区类型

- | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HIB 青藏高原亚寒带亚湿润地区 | IA 寒温带湿润地区 | IIIB 暖温带亚湿润地区 |
| HIC 青藏高原亚寒带半干旱地区 | IIA 中温带湿润地区 | IIID 暖温带干旱地区 |
| HIIAB 青藏高原温带湿润、亚湿润地区 | IIB 中温带亚湿润地区 | IVA 北亚热带湿润地区 |
| HIIIC 青藏高原温带半干旱地区 | IIC 中温带半干旱地区 | VA 热带、中亚热带湿润地区 |
| HIIID 青藏高原温带干旱地区 | IID 中温带干旱地区 | VIA 南亚热带湿润地区 |
| HOD 青藏高原寒温带干旱地区 | IIIA 暖温带湿润地区 | VIIA 热带湿润地区 |

TCCON - Total Carbon Column Observing Net

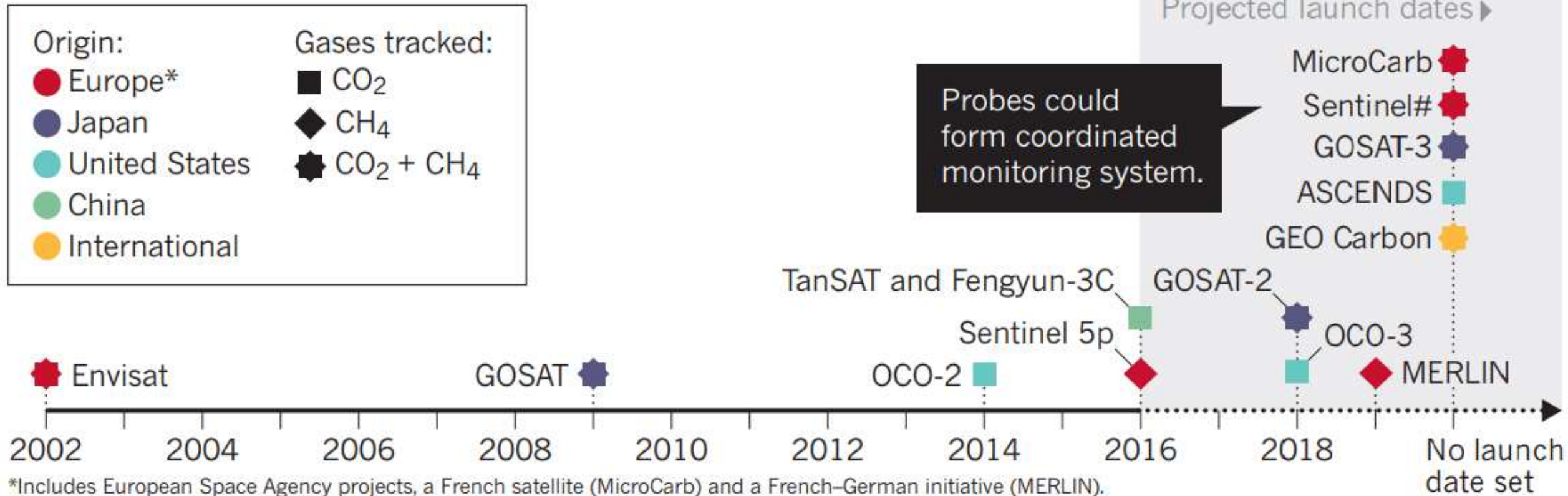


carbon-monitoring satellites



COUNTING CARBON

The number of satellites monitoring the world's greenhouse-gas output could triple by 2030. Scientists are working to make the probes' data on carbon dioxide and methane (CH₄) as accurate as those collected by observatories on Earth.



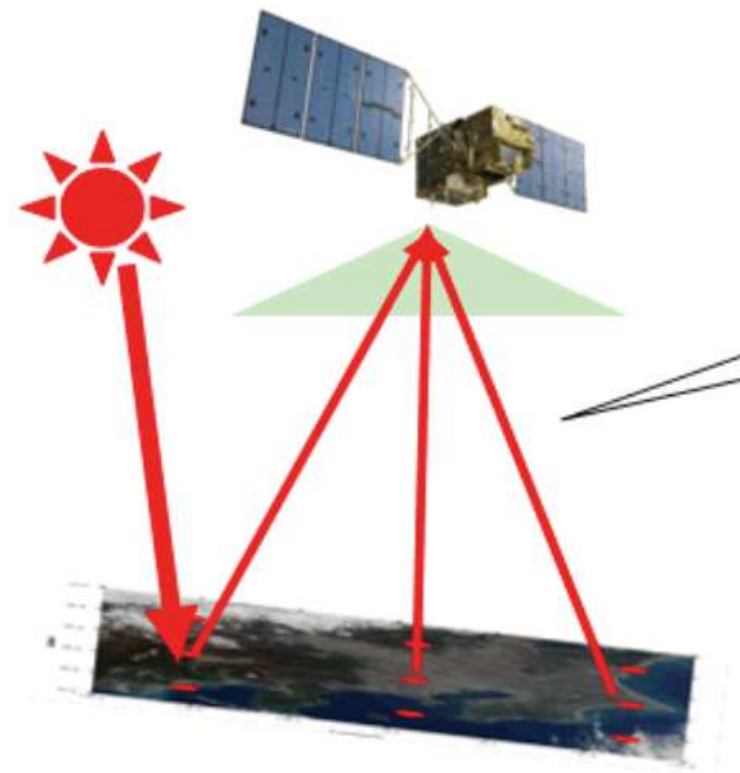
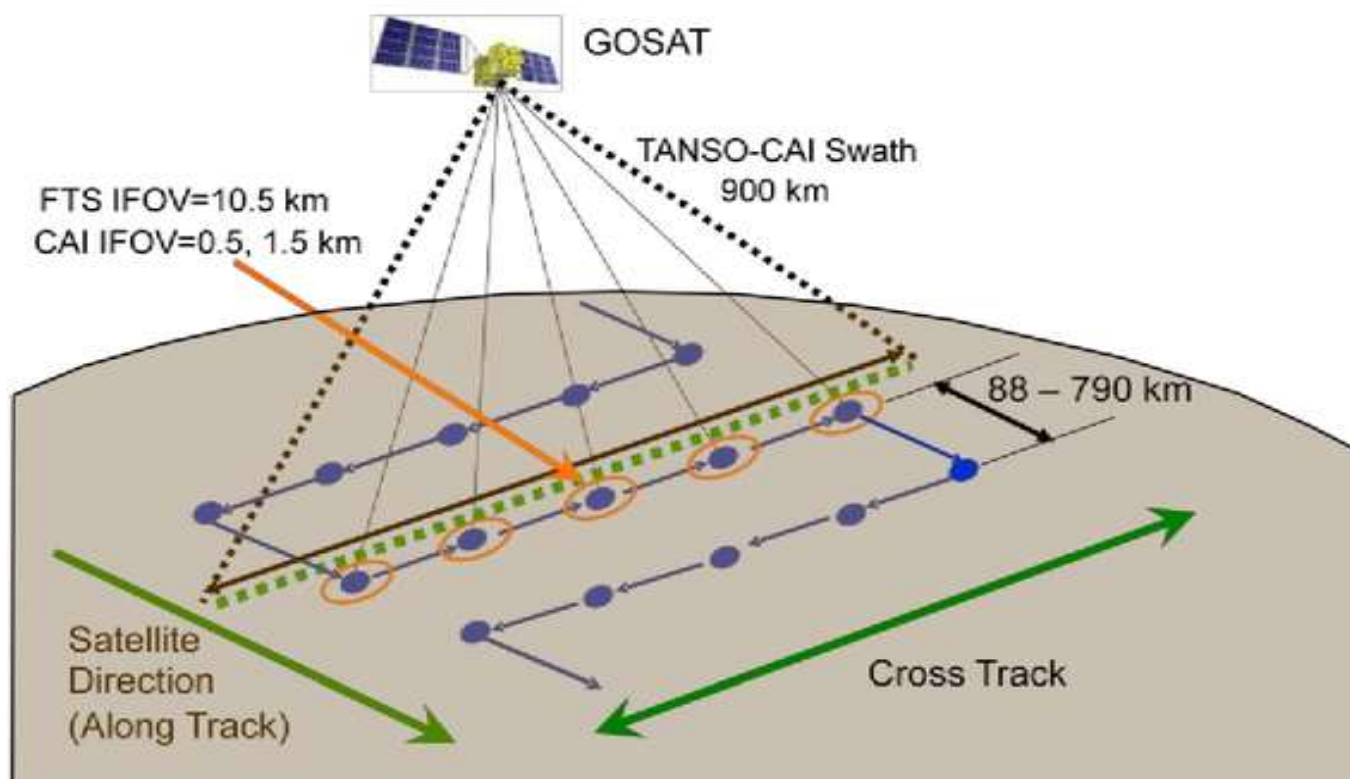
卫星CO₂观测

表2 近红外波段 CO₂ 卫星遥感传感器

Table 2 Summary of space-borne instruments for CO₂ measurement in shortwave infrared

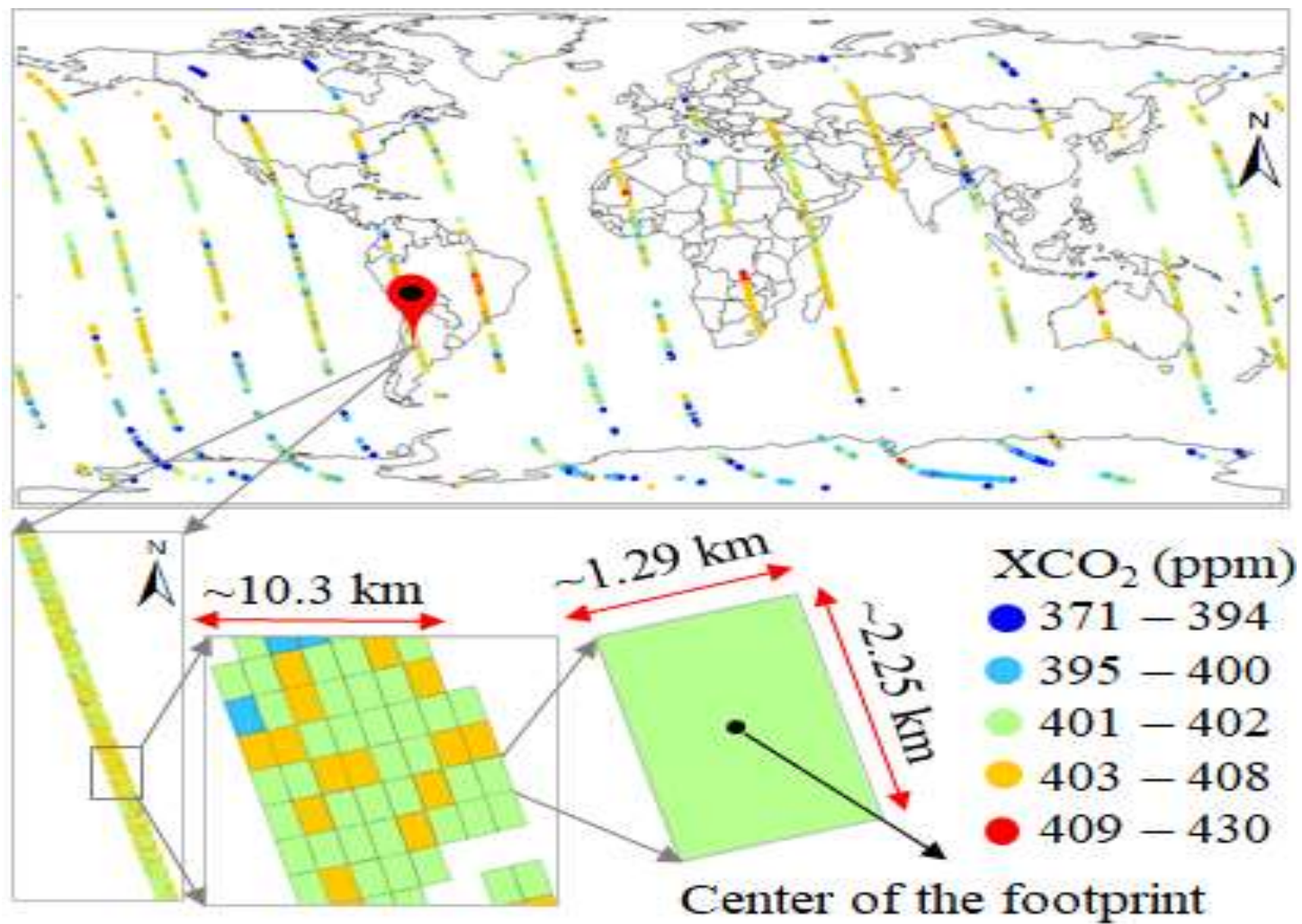
性能指标 传感器	发射时间	传感器 分光类型	光谱范围 (波段数)	光谱分辨率	信噪比	空间分辨率 (星下点) /km	幅宽 /km
SCIAMACHY	2002	光栅	240—2380 nm	0.22—1.48 nm (近红外)	> 240 (近红外)	30 × 60	960
TANSO-FTS GOSAT, Japan	2009	干涉	Band1 : 758—0775 nm Band2 : 1560—1720 nm Band3 : 1920—2080 nm Band4 : 5.56—14.3 μm	Band1 : 0.6 cm ⁻¹ Band2—4 : 0.27 cm ⁻¹	120	10.5	790
OCO-2 OCO2, 2014年7月, USA	预计 2014	光栅	Band1 : 758—772 nm Band2 : 1594—1619 nm Band3 : 2042—2082 nm	Band1 : 18000 Band2—3 : 21000	> 300@ Band2 > 240@ Band3	1.29 × 2.25	5.2
CarbonSat Europe	2020 年以前	干涉	Band1 : 747—773 nm Band2 : 1590—1675 nm Band3 : 1925—2095 nm	Band1 : 1.7 cm ⁻¹ Band2 : 1.2 cm ⁻¹ Band3 : 1.4 cm ⁻¹	未知	2 × 2	240/500
TanSat, 2016年12月, China							

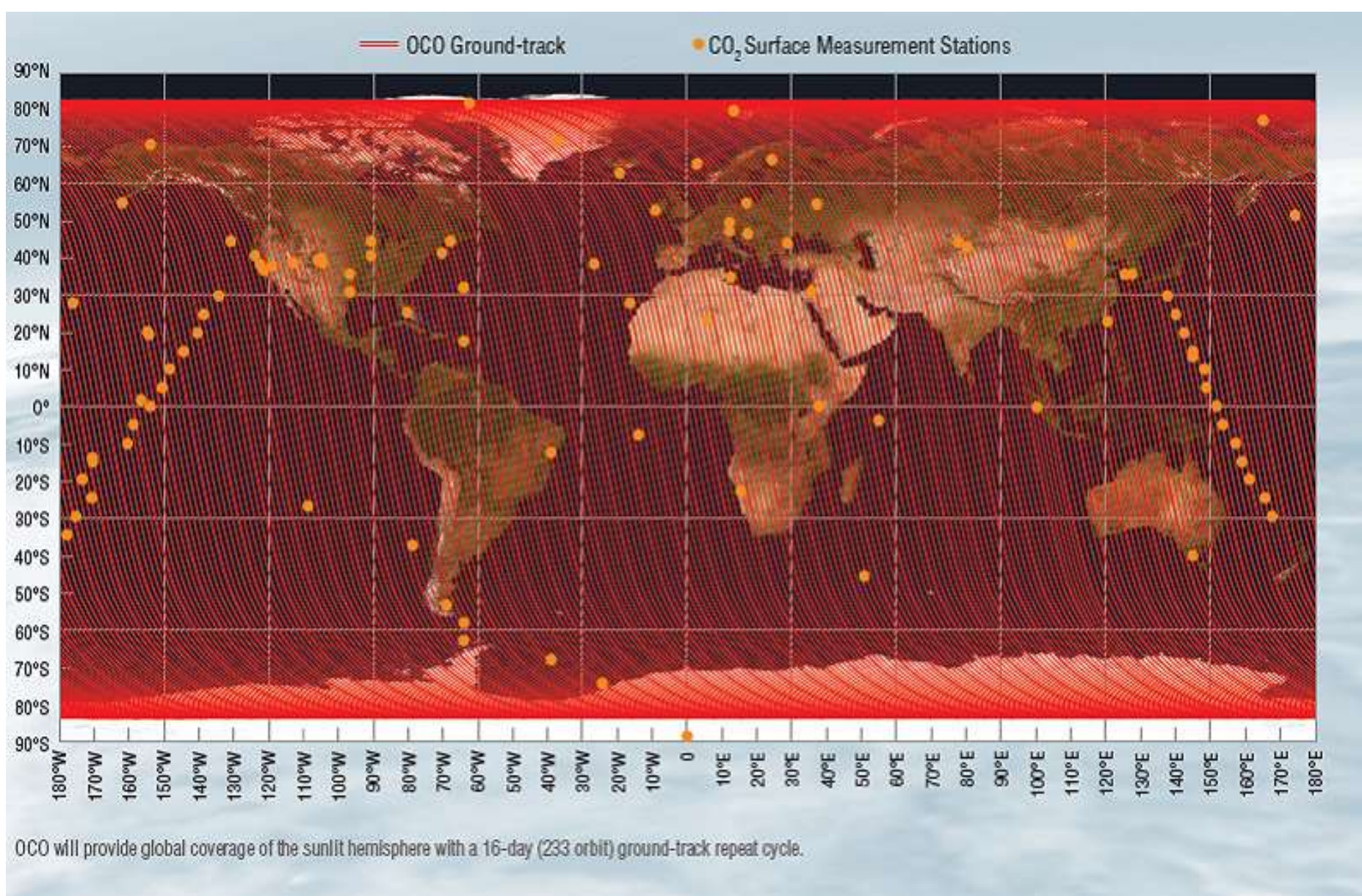
GOSAT观测示意图



- (2009年4月-2010年7月采用5点采用方式, 2010年8月之后采用3点采样方式)
- Hamazaki 2008; ACOS Level 2 Standard Product and Lite Data Product Data User's Guide, v7.3₂₀

OCO2 observation





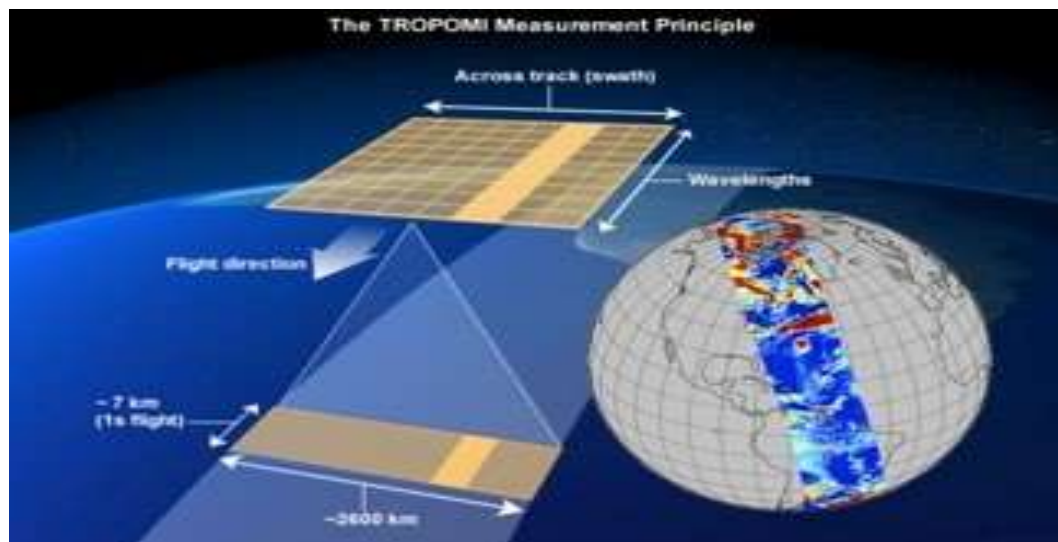
OCO-2观测示意图

<http://spaceflight101.com/spacecraft/oco-2-orbiting-carbon-observatory-2/>

Sentinel-5P TROPOMI

TROPOMI Level 2 geophysical products

Product type	Parameter
L2_O3_	Ozone (O ₃) total column
L2_O3_TCL	Ozone (O ₃) tropospheric column
L2_O3_PR	Ozone (O ₃) profile
L2_NO2_	Nitrogen Dioxide (NO ₂), total and tropospheric columns
L2_SO2_	Sulfur Dioxide (SO ₂) total column
L2_CO_	Carbon Monoxide (CO) total column
L2_CH4_	Methane (CH ₄) total column
L2_HCHO_	Formaldehyde (HCHO) total column
L2_CLOUD_	Cloud fraction, albedo, top pressure
L2_AER_AI	UV Aerosol Index
L2_AER_LH	Aerosol Layer Height (mid-level pressure)
UV product ¹	Surface Irradiance/erythemal dose
L2_NP_BDx, x=3, 6, 7 ²	Suomi-NPP VIIRS Clouds
AUX_CTMFC AUX_CTMANA	A-priori profile shapes for the NO ₂ , HCHO and SO ₂ vertical column retrievals



中国首颗碳卫星TanSAT (2016年12月22日)



仪器介绍

高光谱温室气体探测仪的工作原理，是在可见光和近红外谱段，利用分子吸收谱线探测二氧化碳等温室气体浓度。

高光谱温室气体探测仪采用大面积衍射光栅对吸收光谱进行细分，能够探测2.06 μm 、1.6 μm 、0.76 μm 三个大气吸收光谱通道，最高分辨率达到0.04nm，如此高的分辨率在国内光谱仪器的研制上尚属首次。

搭载卫星	碳卫星 (TanSat)
重量	180kg
功率	170W
通道数量	2000个
扫描方式	推扫式
观测模式	天底观测、耀斑观测、目标观测
空间分辨率	轨迹向：3km，垂直轨迹向：2km

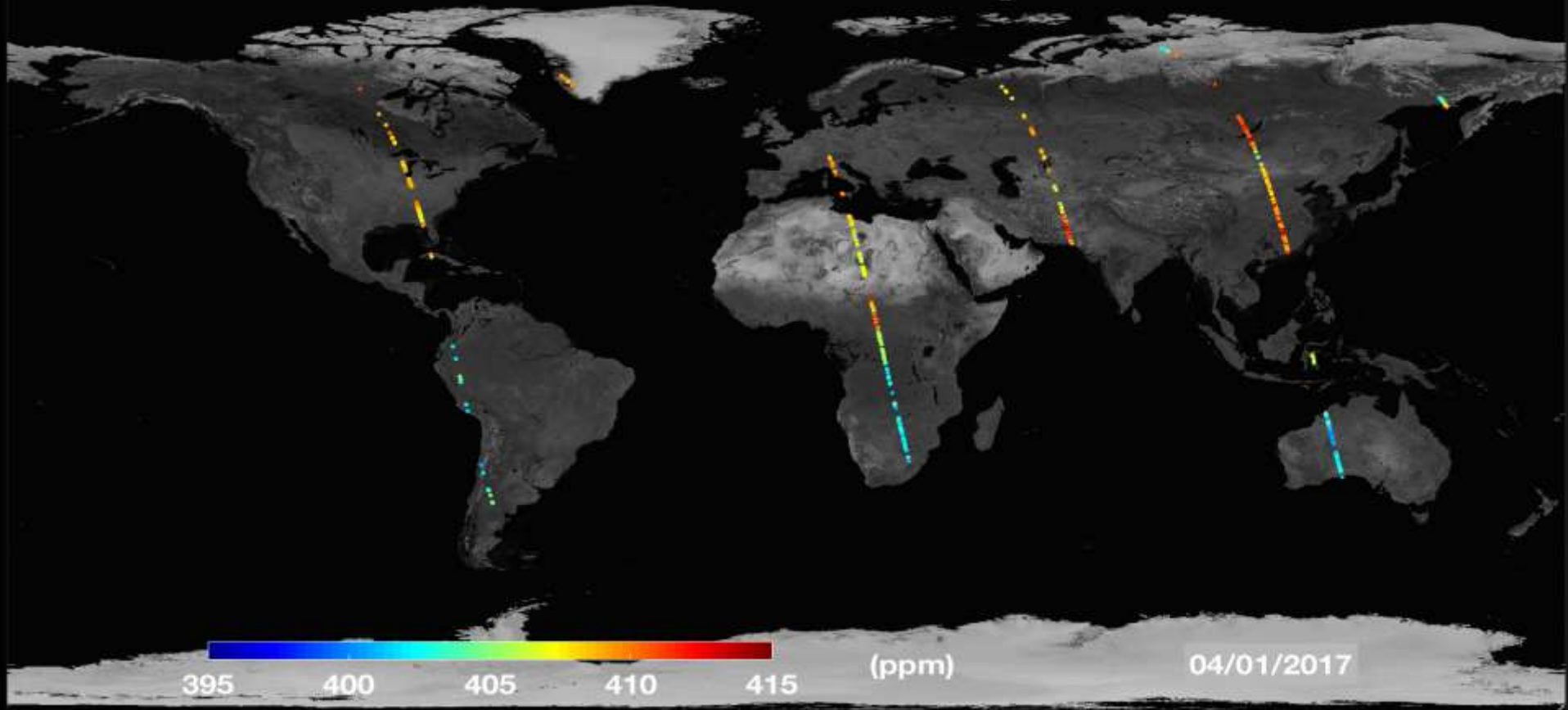
光谱范围	通道数量	光谱分辨率	信噪比	主要用途
758~776nm	1024个	0.044nm	360 @ $5.8 \cdot 10^{19} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$	O ₂ 含量 (A带)
1594~1624nm	512个	0.125nm	250 @ $2.1 \cdot 10^{19} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$	CO ₂ 含量 (弱吸收带)
2041~2081nm	512个	0.165nm	180 @ $1.1 \cdot 10^{19} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$	CO ₂ 含量 (强吸收带)



2016年12月22日，中国成功发射第一颗碳卫星（科技部+科学院+中国气象局）



Chinese Carbon Dioxide Observation Satellite - TanSat Atmospheric Carbon Dioxide Concentration - XCO₂ over land (April 2017)



Nsse

TanSat



FY-3D/GAS 近红外高光谱温室气体监测仪 (2017年11月15日)



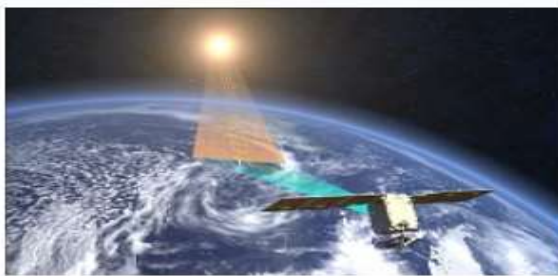
仪器介绍

高光谱温室气体监测仪是一台可以将大气中的微量甚至痕量气体成分通过光谱解析的方法检测出来的光谱仪，利用气体分子对地球反射太阳光谱的吸收特性，测量出吸收谱线的变化，从而推算出大气中二氧化碳、甲烷等成分的浓度变化。作为国内首个星载干涉型温室气体遥感器，对光谱的分辨能力高达0.03纳米，能同时观测多种大气成分。

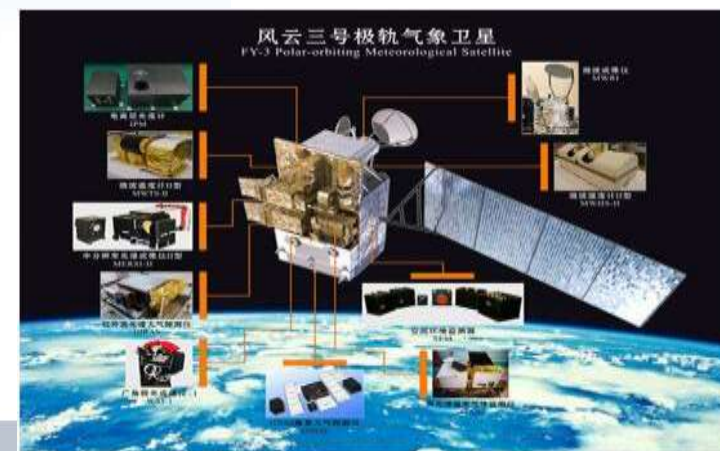
搭载卫星	FY-3D
通道数量	4个 (2个近红外波段, 2个短波红外波段)
探测对象	CO ₂ , CH ₄ , CO, N ₂ O
空间分辨率	10km



天鹿观测示意图



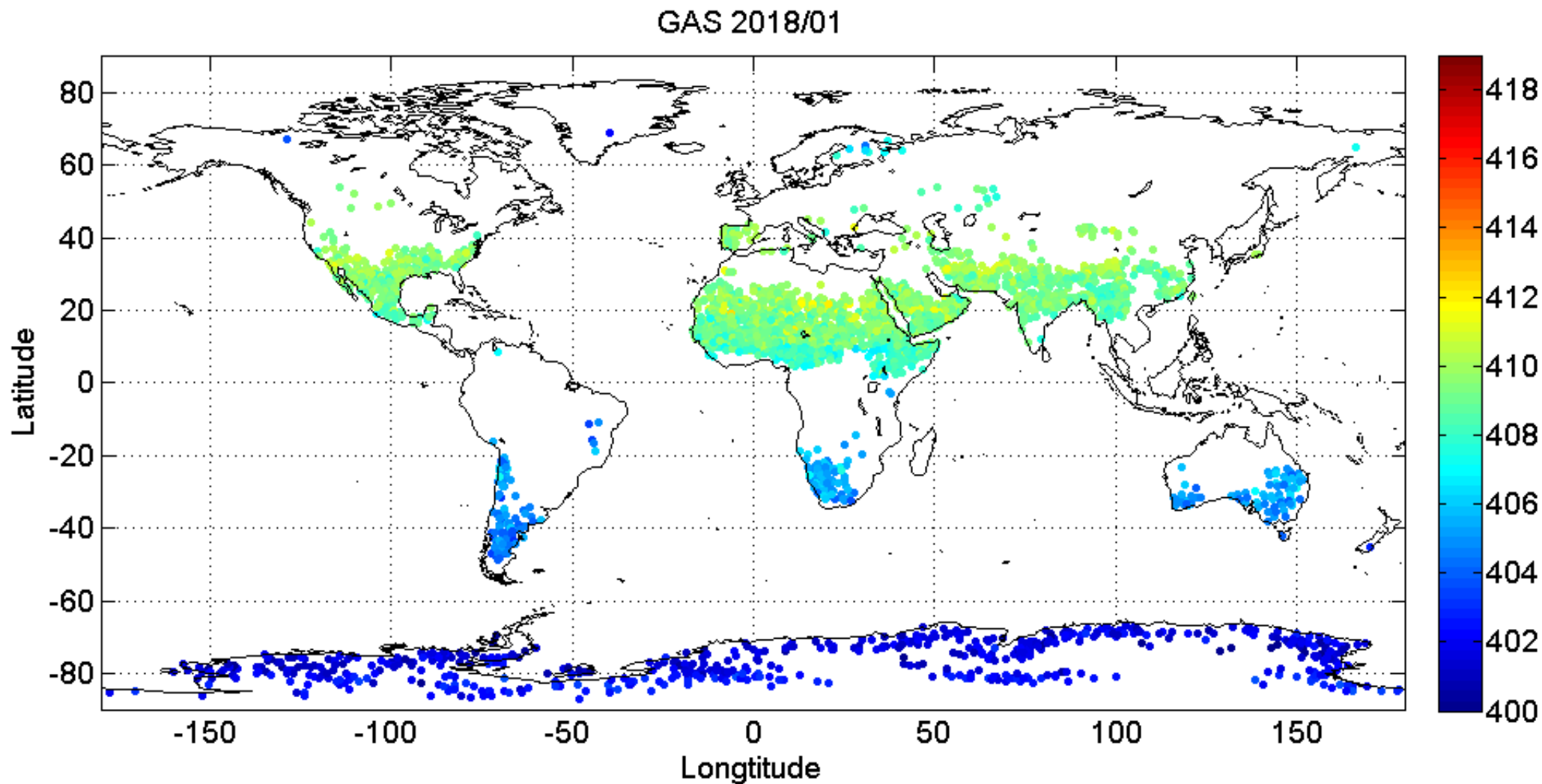
耀斑观测示意图



GAS仪器指标

谱段	1	2	3	4	
探测对象	O ₂ , 气溶胶	CO ₂ , CH ₄	CO ₂ , H ₂ O	CO, CH ₄ , N ₂ O	
中心波长	0.76μm	1.6μm	2.00μm	2.3μm	
波长范围	0.75-0.77μm	1.56-1.72μm	1.92-2.08μm	2.20-2.38μm	
光谱带宽	20nm	160nm	160nm	180nm	
光谱分辨率	0.6cm ⁻¹	0.27cm ⁻¹	0.27cm ⁻¹	0.27cm ⁻¹	
信噪比	范围	320	260-300	160-300	140-300
	限定条件	0.3反照率60°太阳天顶角	0.2反照率60°太阳天顶角	0.1反照率60°太阳天顶角	0.1反照率60°太阳天顶角
空间分辨率	13.2 km				
采样点	9点/1.1秒, 7点/2.2秒				
辐射定标	相对误差 < 2%				
观测方式	天底				

风云三号D星温室气体试验载荷GAS (2017年发射)



(风云三号团队)

GF-5/GMI 温室气体监测仪 2018年5月9日

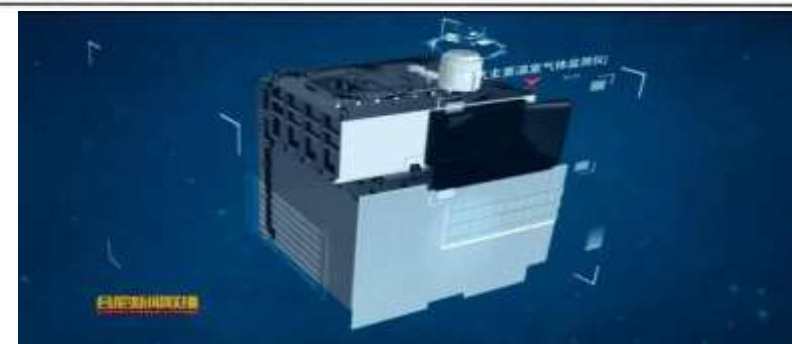


表 1 大气主要温室气体监测仪主要技术指标

Tab.1 Main technical indicators of GMI

(熊伟, 2019)

Parameters	Technical indicators			
	O ₂	CO ₂	CH ₄	CO ₂
Central wavelength/ μm	0.765	1.575	1.65	2.05
Spectral range/ μm	0.759–0.769	1.568–1.583	1.642–1.658	2.043–2.058
Spectral resolution/ cm^{-1}	0.6		0.27	
SNR	300@ $p=30\%$		250@ $p=30\%$	
Radiometric calibration	Absolute accuracy: 5%		Relative accuracy: 2%	
FOV	14.6 mrad(10.3 km@705 km)			
Operating mode	Nadir observation model: 1, 5, 7, 9 points(Default mode is 5 points) Sunlight observation model; Calibration observation model			
Quantitative level/bits	14/16			



中国大气环境监测卫星

——2022年4月16日成功发射



- ① 大气探测激光雷达
- ② 高精度偏振扫描仪
- ③ 多角度偏振成像仪
- ④ 紫外高光谱大气成分探测仪
- ⑤ 宽幅成像光谱仪



- 世界上首个主动探测方式的二氧化碳监测卫星。采用激光路径差分吸收方法，可实现对二氧化碳的全天时、高精度探测。 CO_2 探测精度1ppm。
- 大气探测激光雷达对地发射三个波段的激光，实时接收激光的回波信号，通过回波信号来反演全球大气中的二氧化碳柱浓度。

内 容

1. 气候变化与大气CO₂
2. 大气CO₂卫星观测
3. **2010-2020全球CO₂时空变化**
4. 大气CO₂模拟
5. 展望

全球大气CO₂的典型时空变化特征是什么？

受哪些自然或人为活动影响如何？

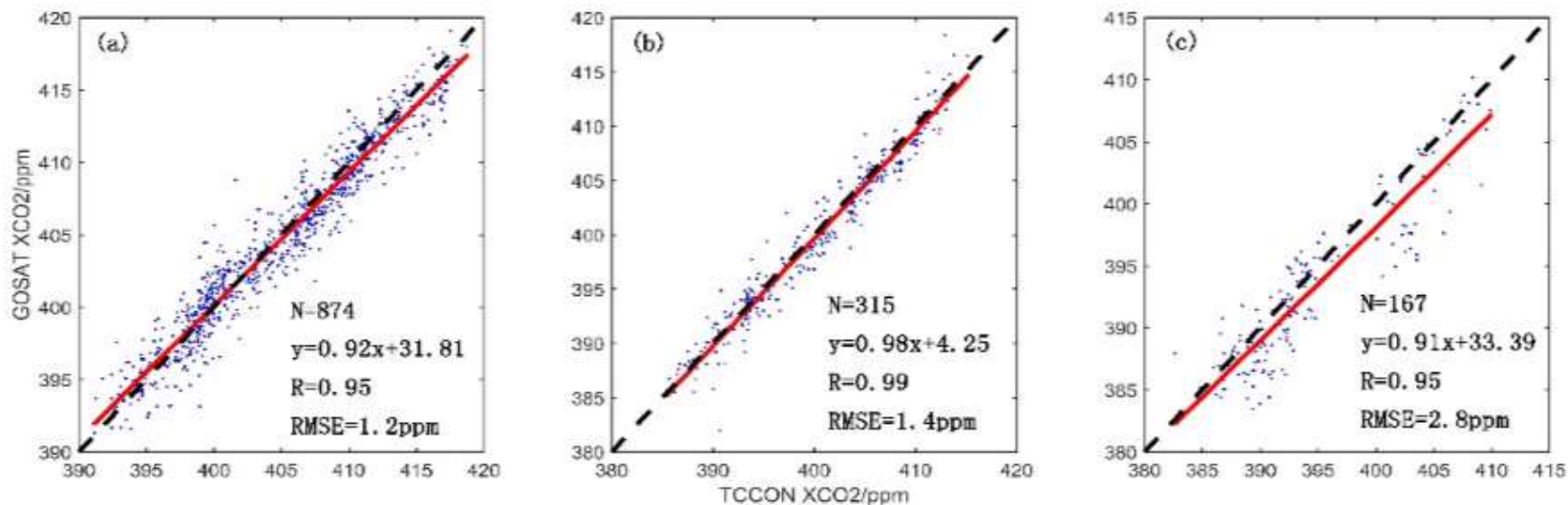


图 1 GOSAT 与 TCCON 站点观测资料相关性分析: (a) CA; (b) OK; (c) WG

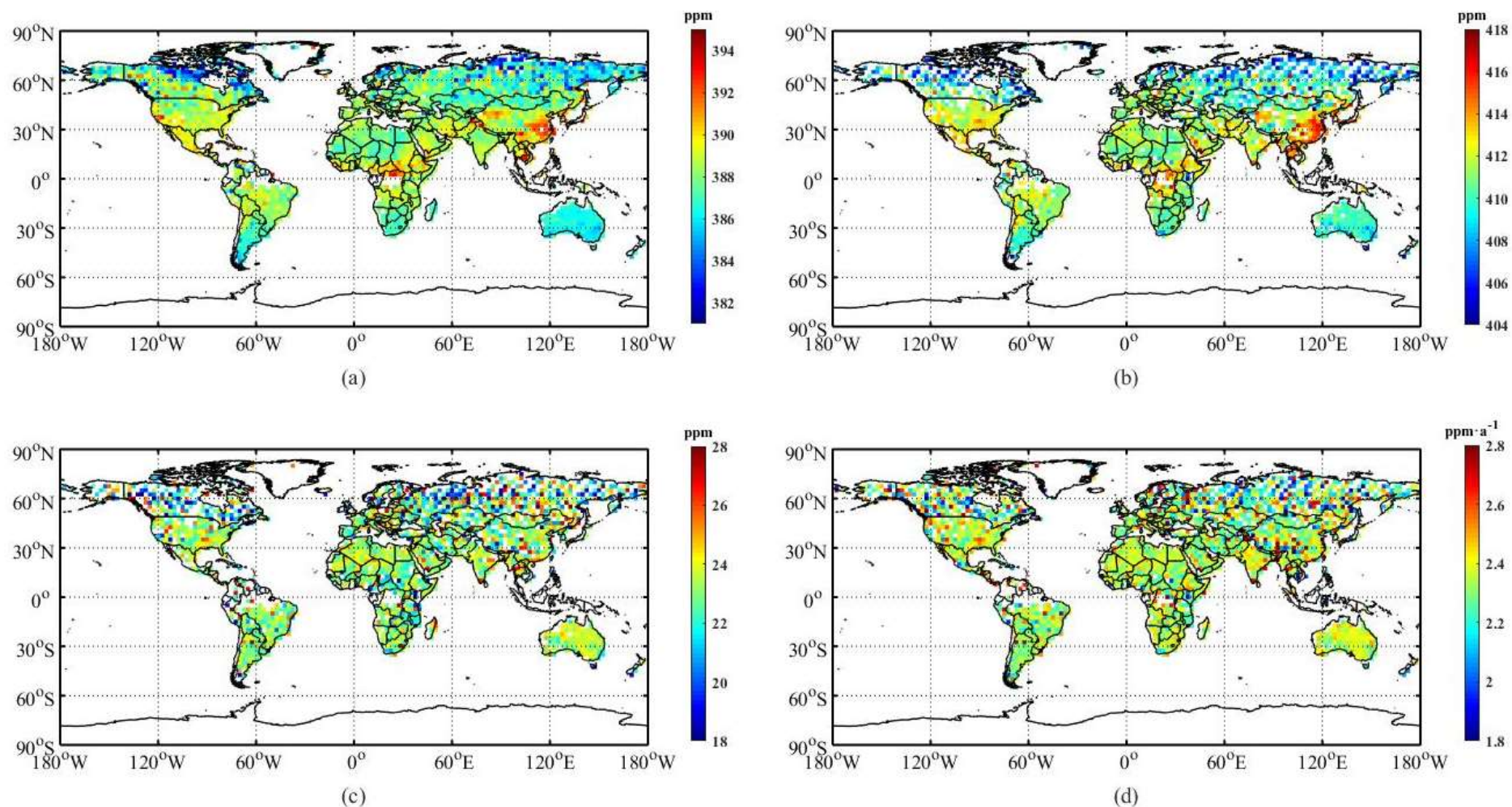
Fig.1 The correlation analysis between GOSAT and TCCON: (a) CA; (b) OK; (c) WG.

表 1 所选 TCCON 站点信息及数据匹配数量

Tab.1 The information of TCCON sites and the matching number.

站点名称 (缩写)	纬度/°N	经度/°E	开始日期	结束日期	样本数量	匹配数量
Pasadena, USA (CA)	34.136	-118.127	2012/09/20	2020/10/31	341988	874
Lamont, USA (OK)	36.604	-97.486	2008/07/06	2020/10/30	552293	315
Wollongong, AU (WG)	-34.406	150.8798	2008/06/26	2020/02/28	212133	167

2010-2020年全球CO₂时空分布

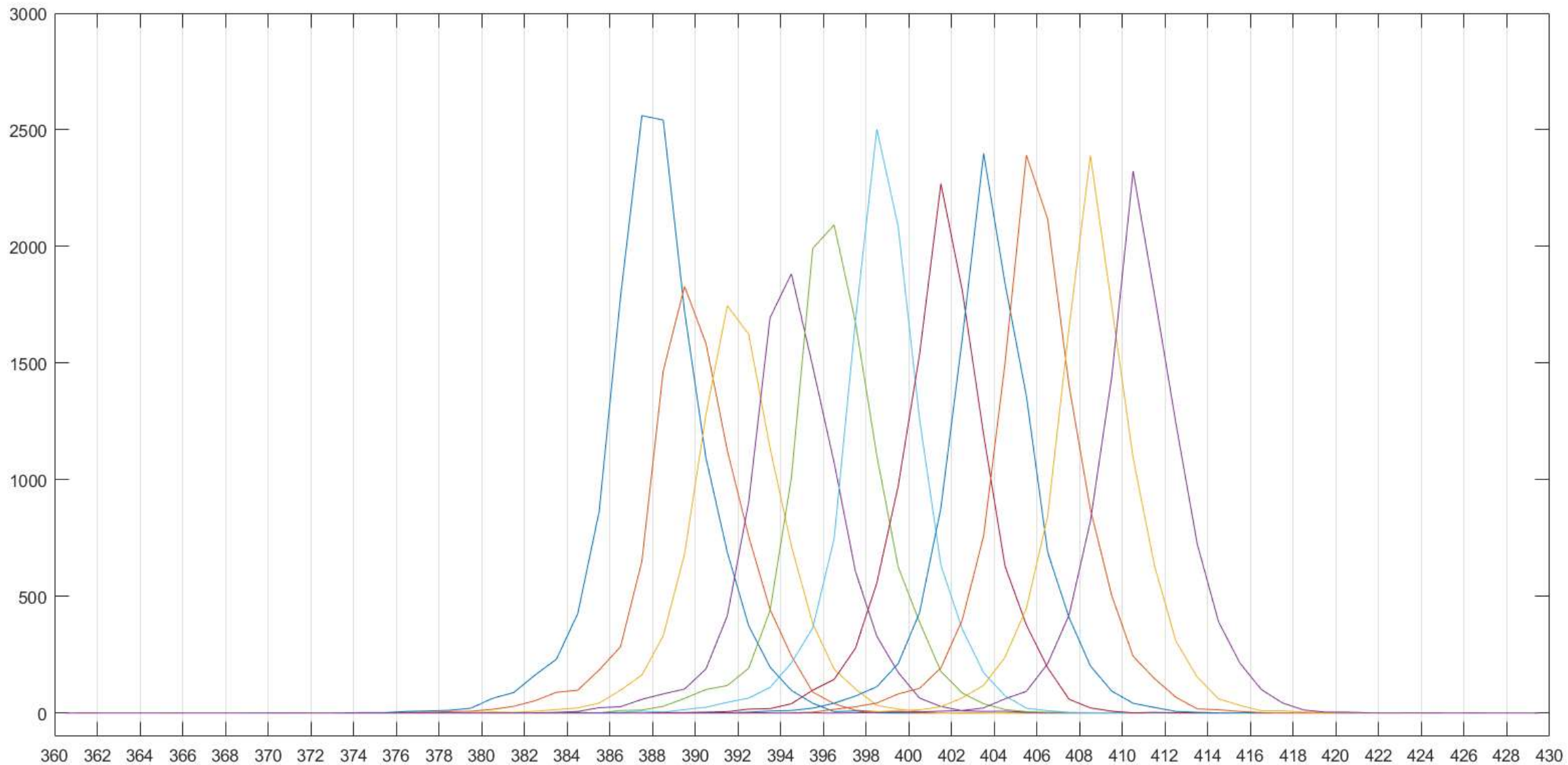


2010-2020年，全球大气CO₂浓度明显升高，年均值从387.42 ppm上升至410.32 ppm，全球平均增长量为22.80 ppm。

中国东部、美国等地区CO₂浓度较高，可能受人类活动导致的碳排放强度较高影响。

11年间，全球陆地CO₂年均增长率为2.33 ppm/a。

图2 全球大气CO₂浓度空间分布: (a)2010年; (b)2020年; (c)2020年相对2010年的增长量; (d)年均增长率



2010-2020年全球CO2空间分布频率直方图

表2 全球大气CO₂浓度空间分布统计

Tab.2 Statistical results of the spatial distribution of global CO₂ concentration.

	均值 /ppm	最小值(-3σ) /ppm	最大值(+3σ) /ppm	标准差 /ppm
2010年全球大气CO ₂ 浓度	387.42	381.33	393.36	2.03
2020年全球大气CO ₂ 浓度	410.32	403.15	417.36	2.40
2020年相对2010年的增长量	22.80	17.15	28.23	1.89
年均增长率	2.33	1.75	2.92	0.20

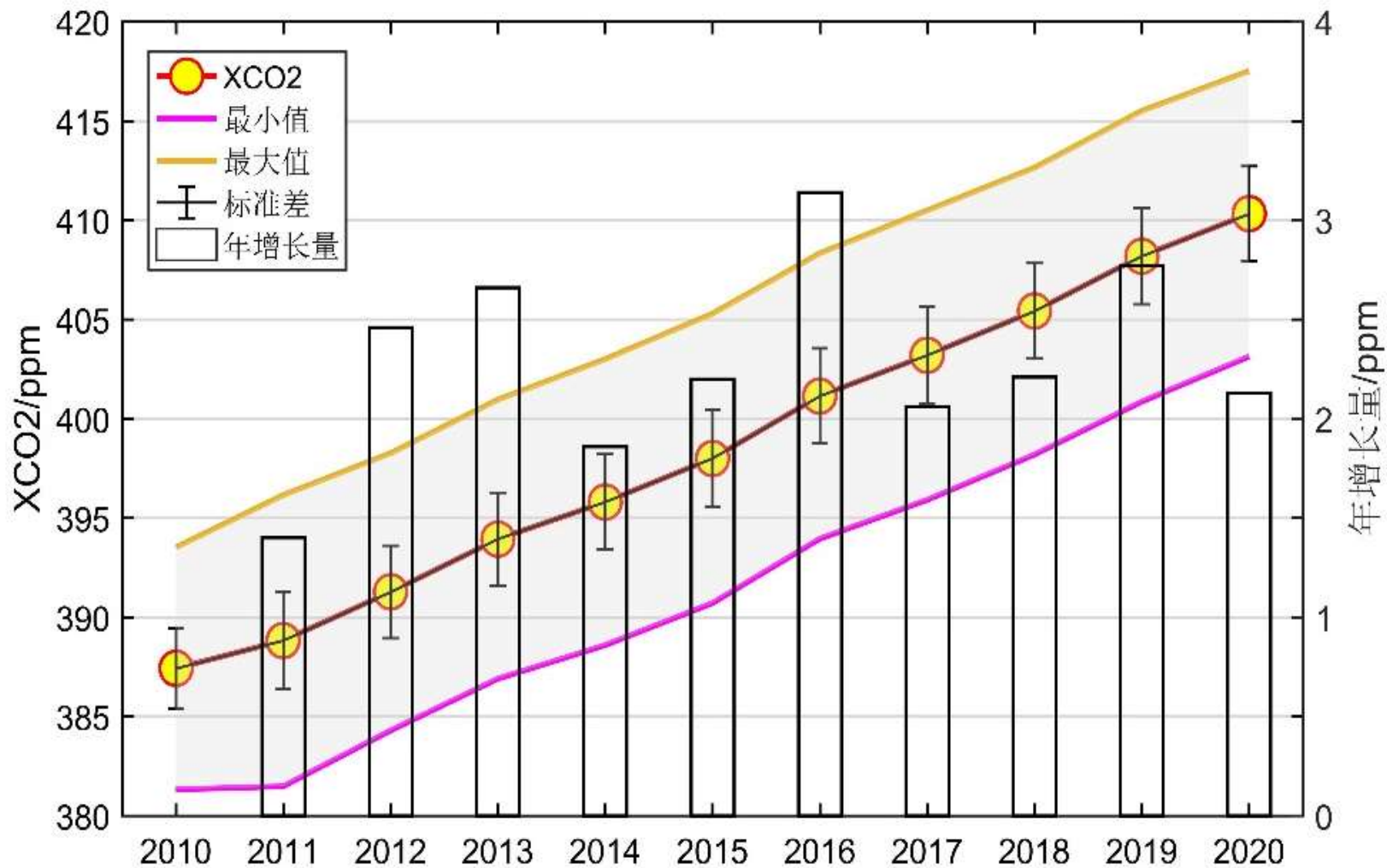
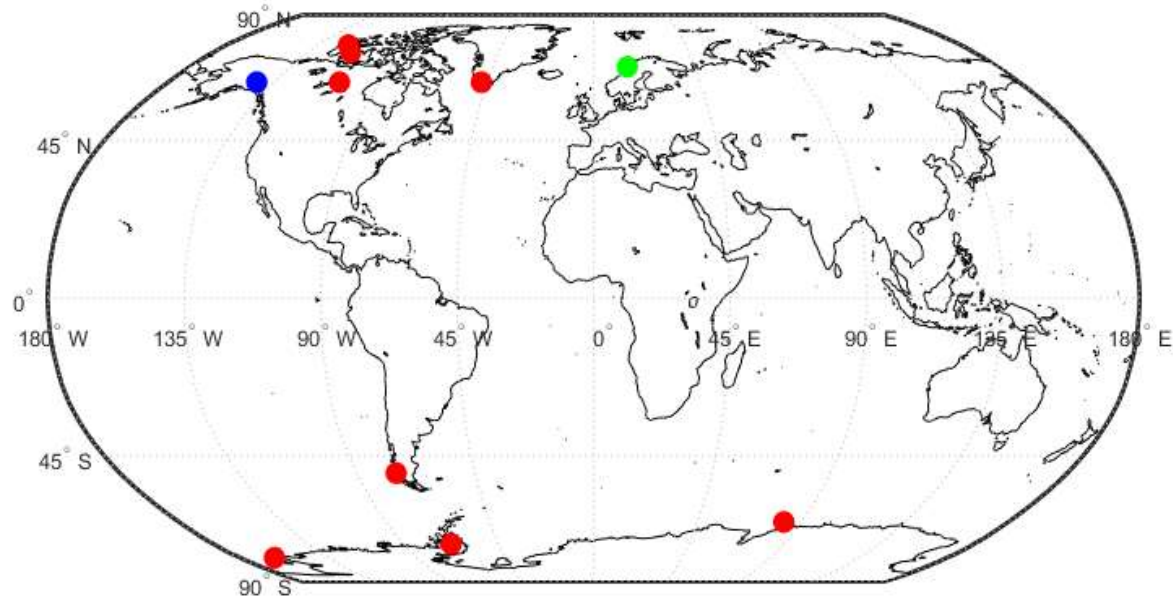
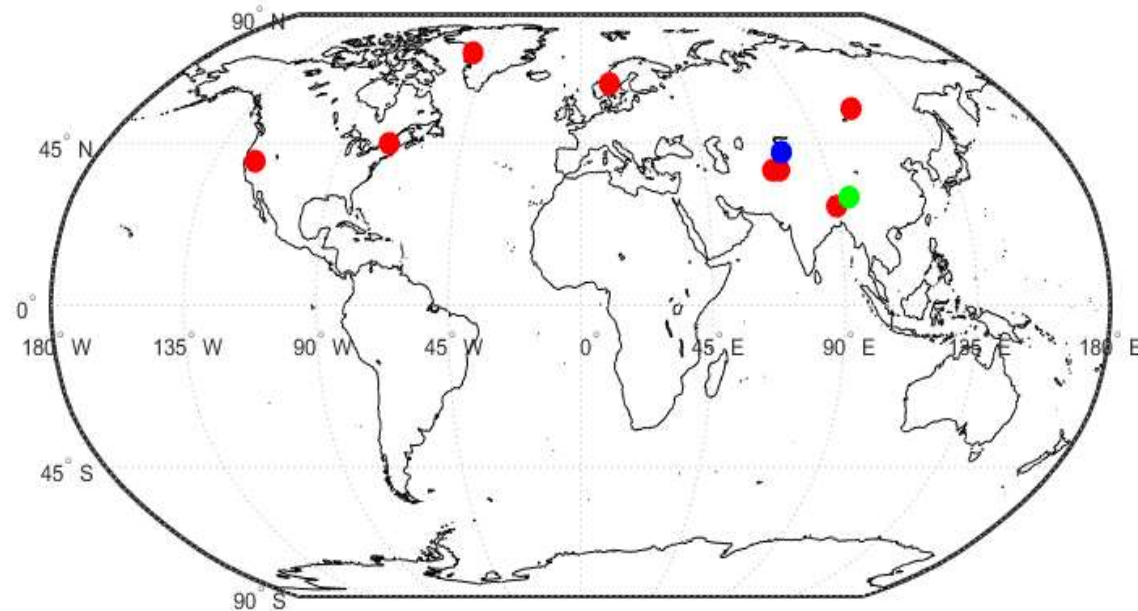


图2 全球大气CO₂浓度空间分布: (a)2010年; (b)2020年; (c)2020年相对2010年的增长量; (d)年均增长率

Fig.2 The spatial distribution of global CO₂ concentration: (a) 2010; (b) 2020; (c) Changes in 2020 relative to 2010; (d) Average annual growth rate.



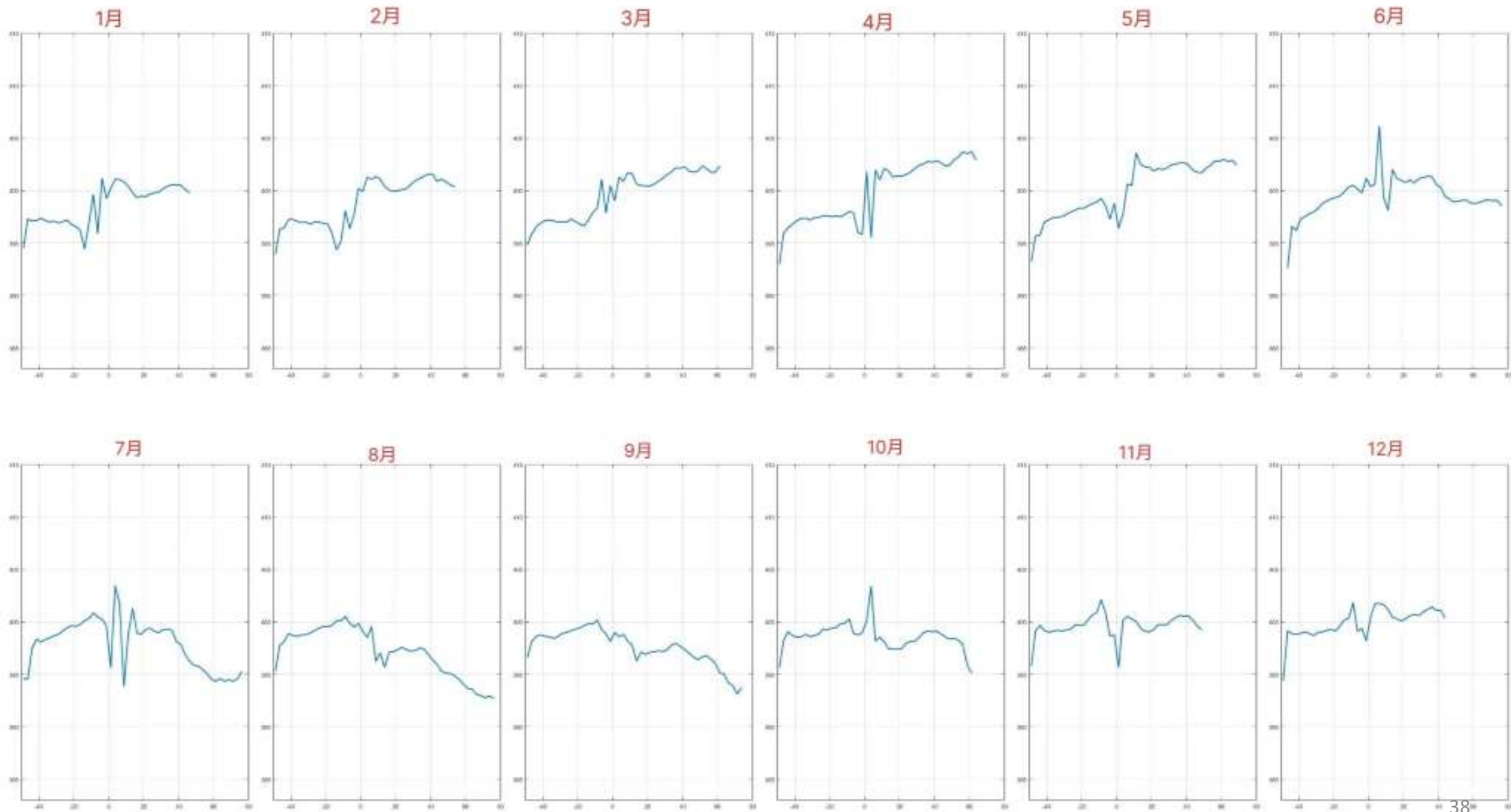
1) 全球CO₂浓度最小值位置分布
(蓝色2010年, 绿色2020年)



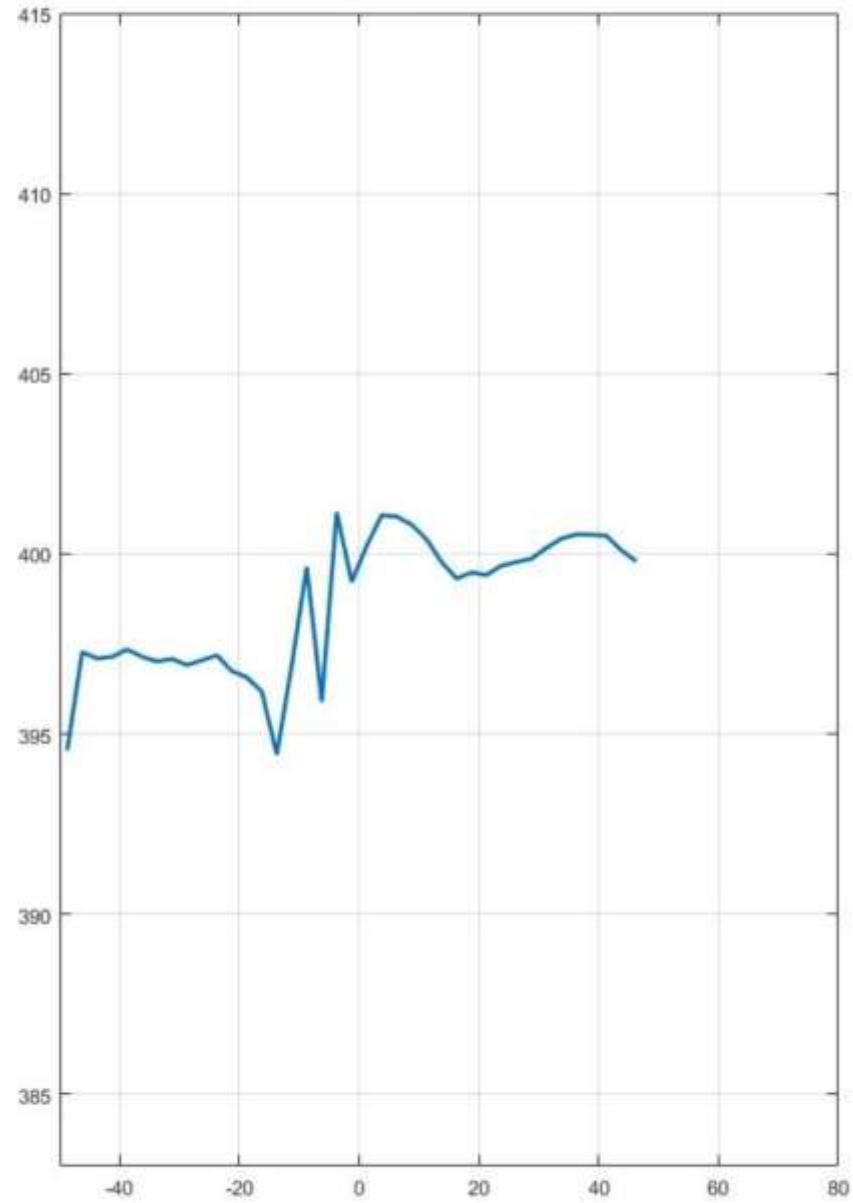
2) 全球CO₂浓度最大值位置分布
(蓝色2010年, 绿色2020年)

- 最小值出现在南北纬60° 以上的高纬度地区。
- 最大值出现在亚洲30~40° 中纬度地区。个别年份出现在北半球55° 以上中高纬度地区。

纬度分布——月



1月



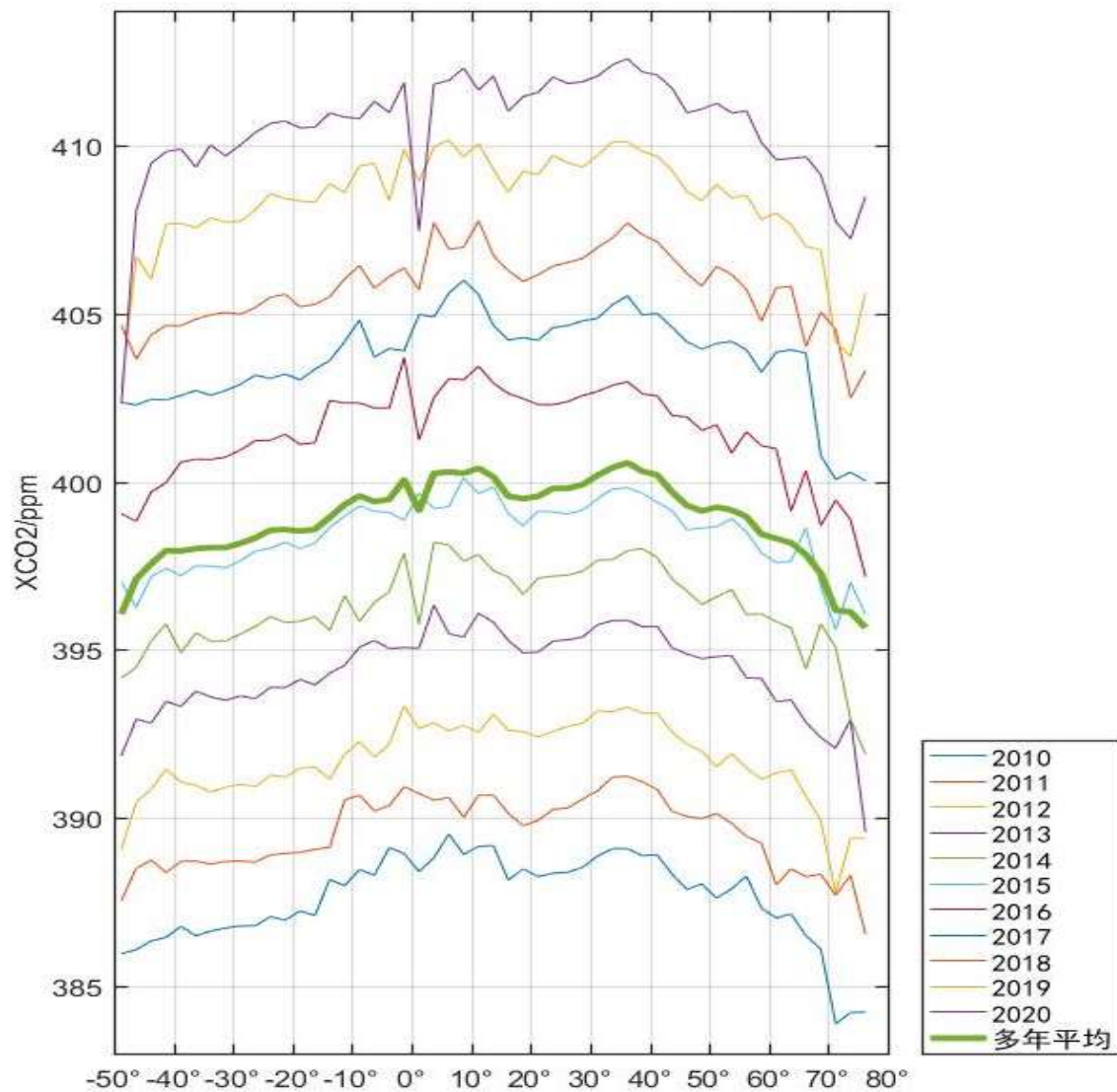


图3 纬向分布特征

Fig.3 Characteristics of zonal distribution.

从南向北总体呈现先升高后降低的纬向分布特征，且在 $0^{\circ} \sim 10^{\circ} \text{ N}$ 和 $30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{ N}$ 存在两个较为明显的峰值。

赤道附近，存在较为明显的下降，这可能与赤道附近观测数据稀少有关。

从赤道向北， CO_2 浓度迅速回到正常水平，达到第一个峰值。在 $30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{ N}$ 附近， CO_2 浓度达到第二个峰值。

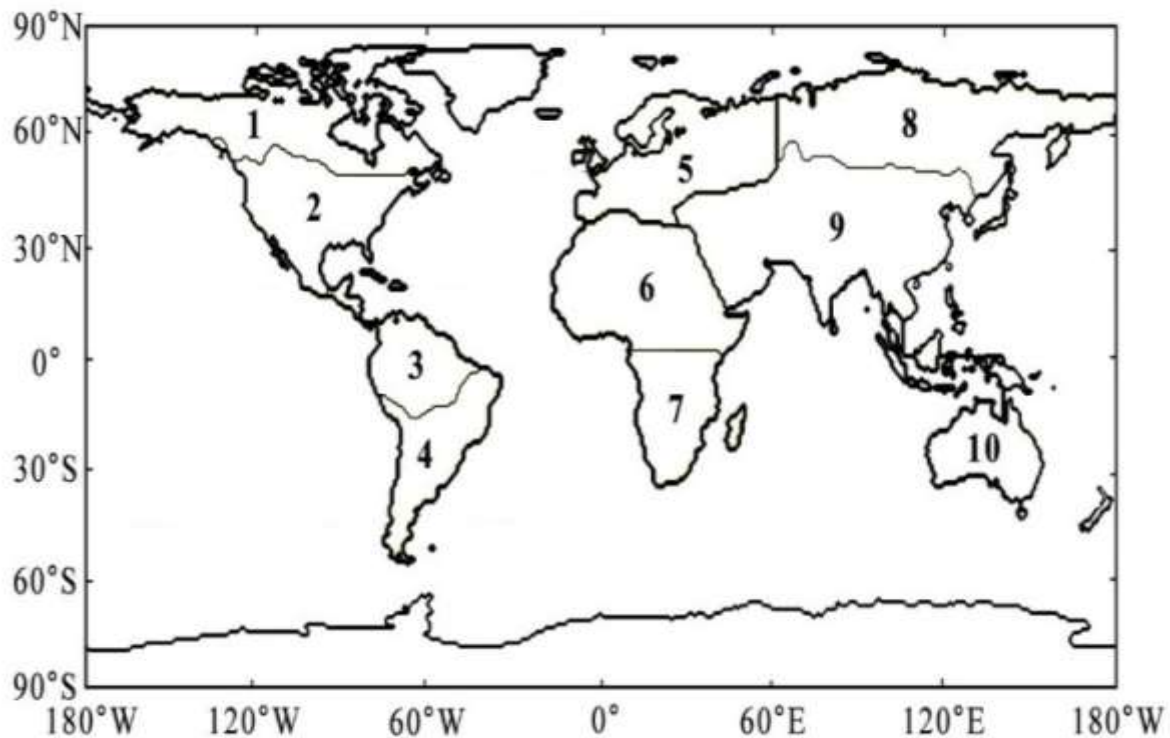


图4 全球分区域图

Fig.4 Global zoning map.

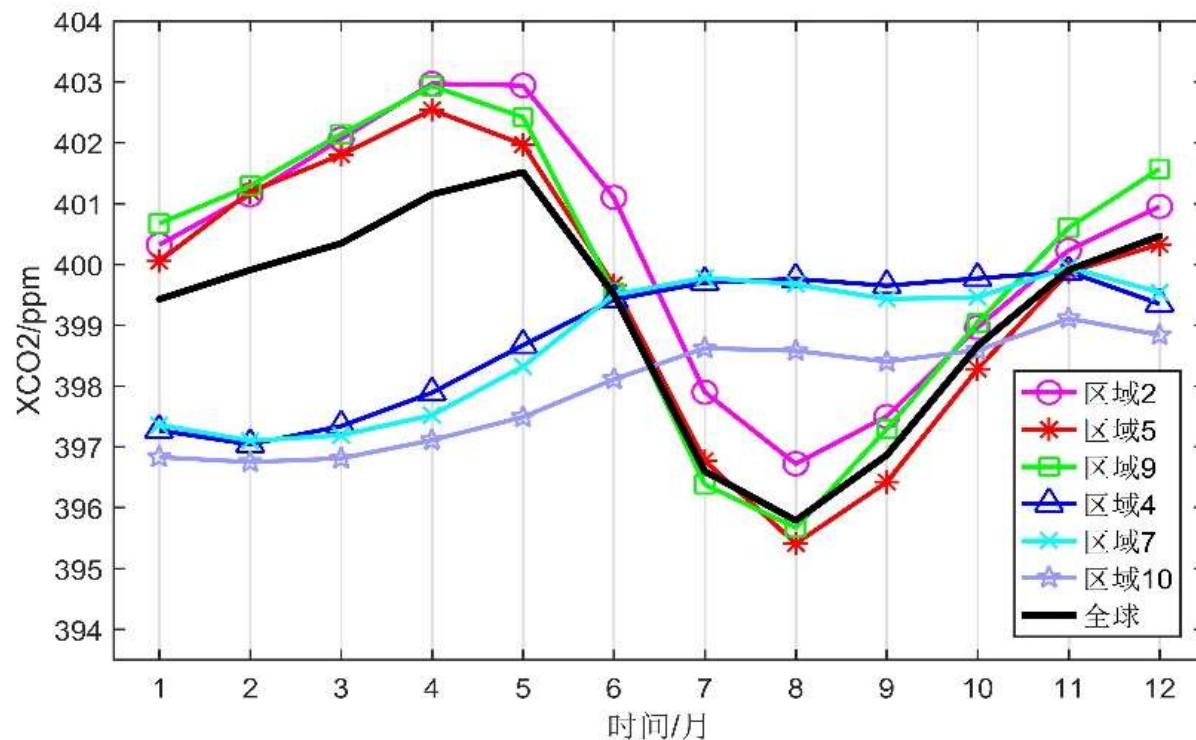
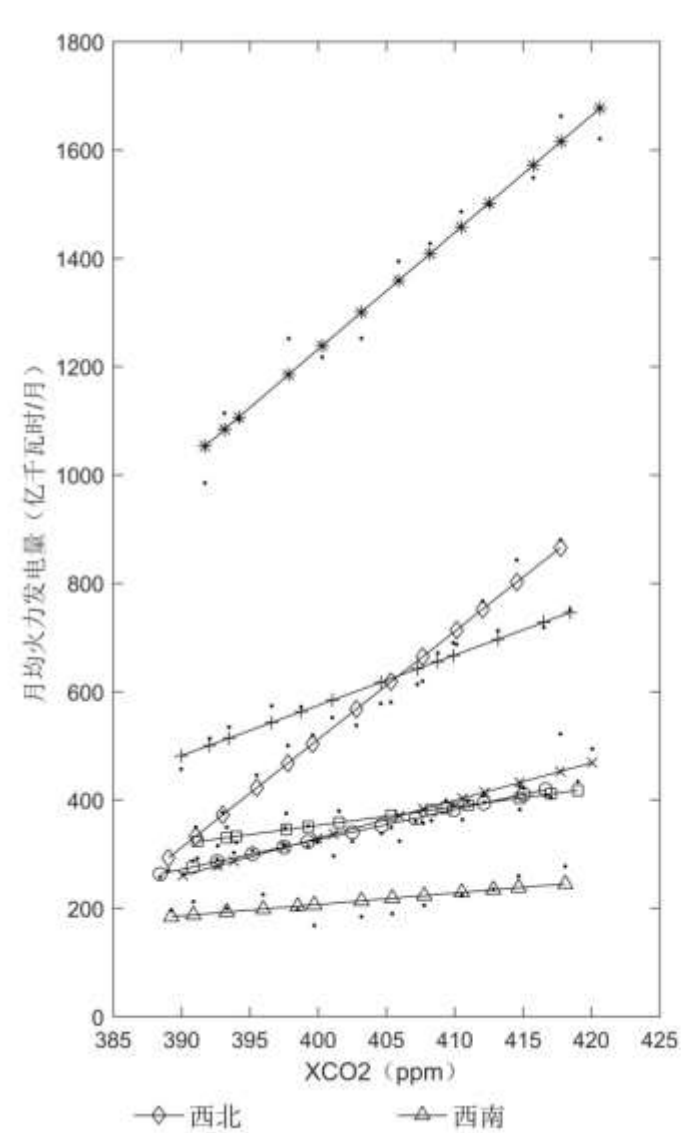
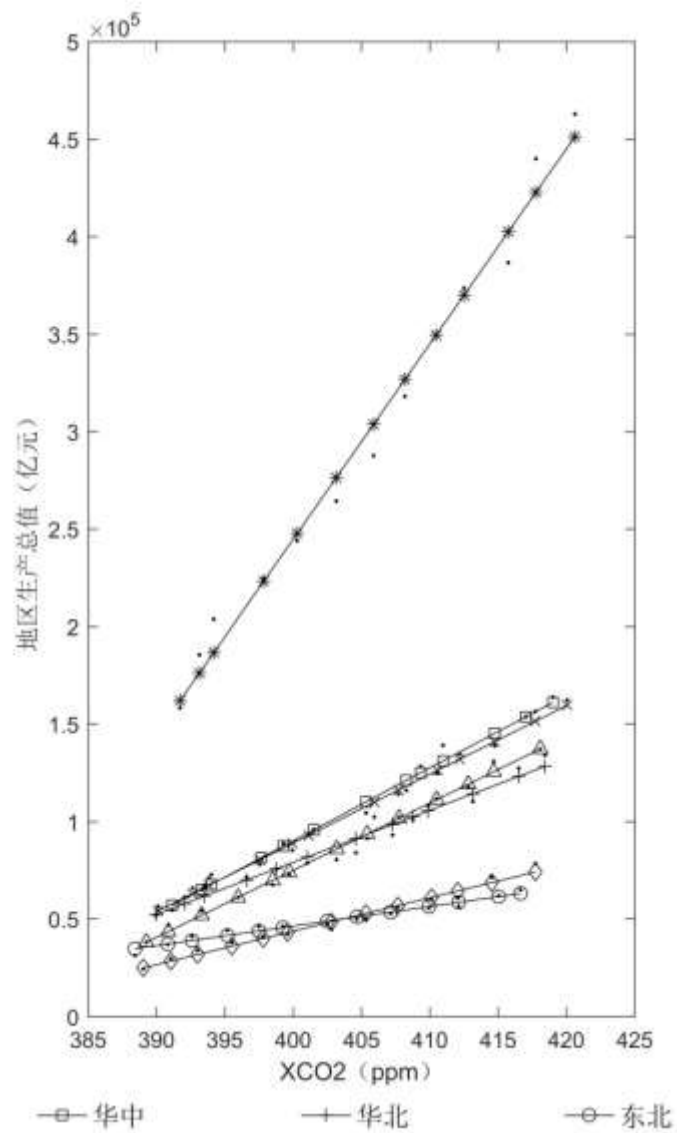
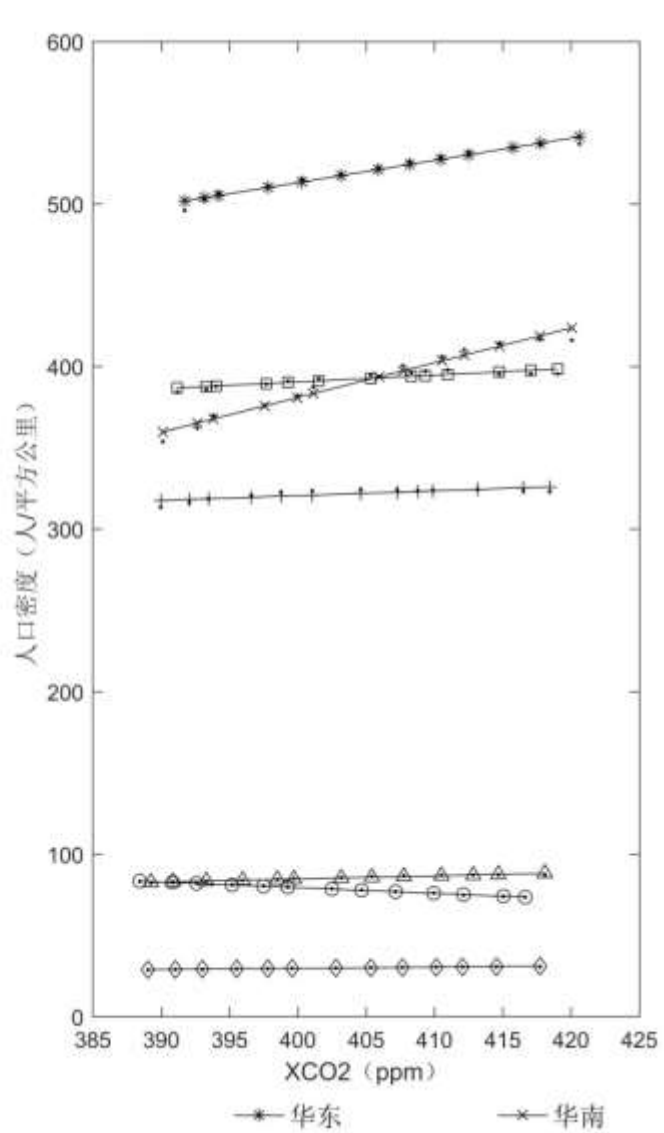


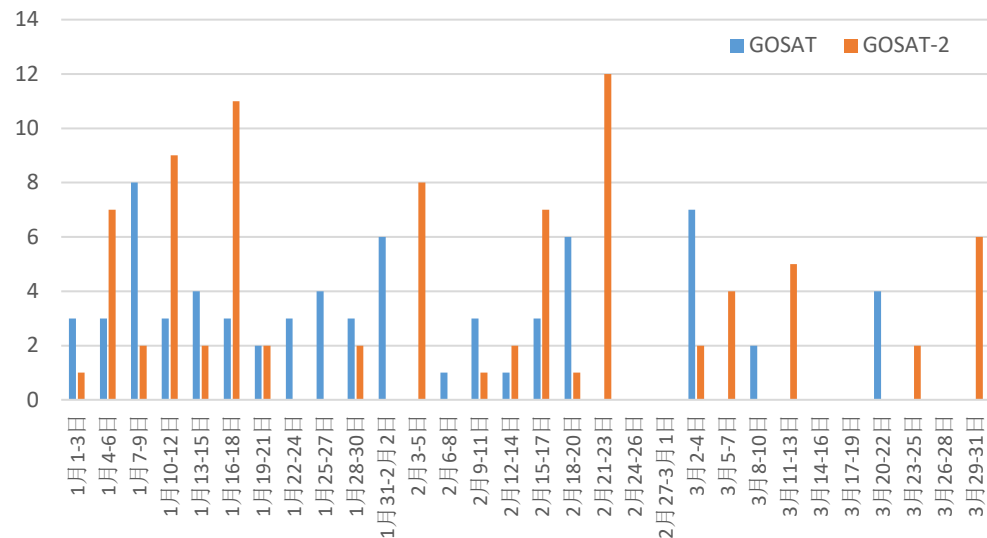
图7 2010-2020年6个典型区域大气CO₂浓度逐月平均值

Fig.7 Monthly mean value of CO₂ in 6 typical areas from 2010 to 2020.

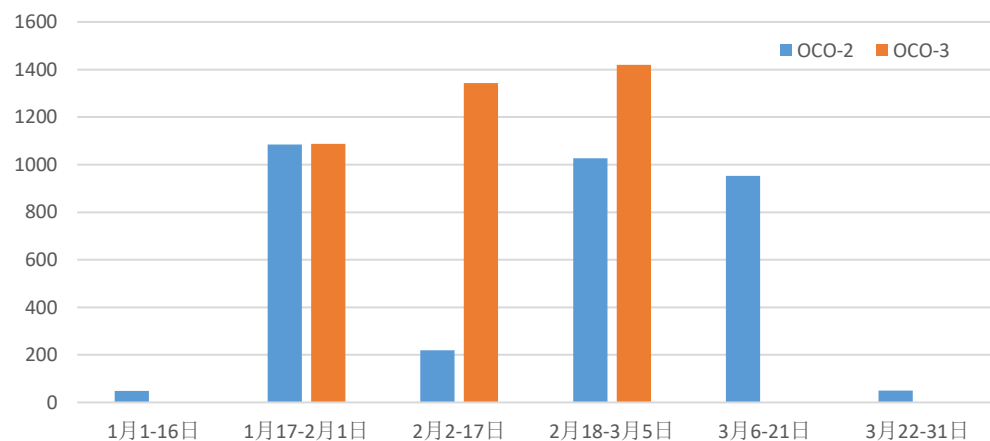


高分辨率CO₂融合产品

山东半岛CO2有效观测数量（3天重访）

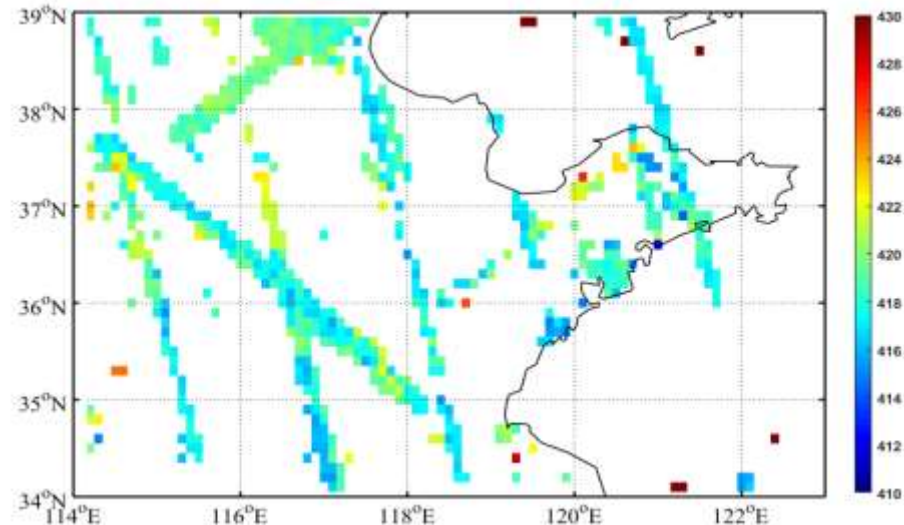
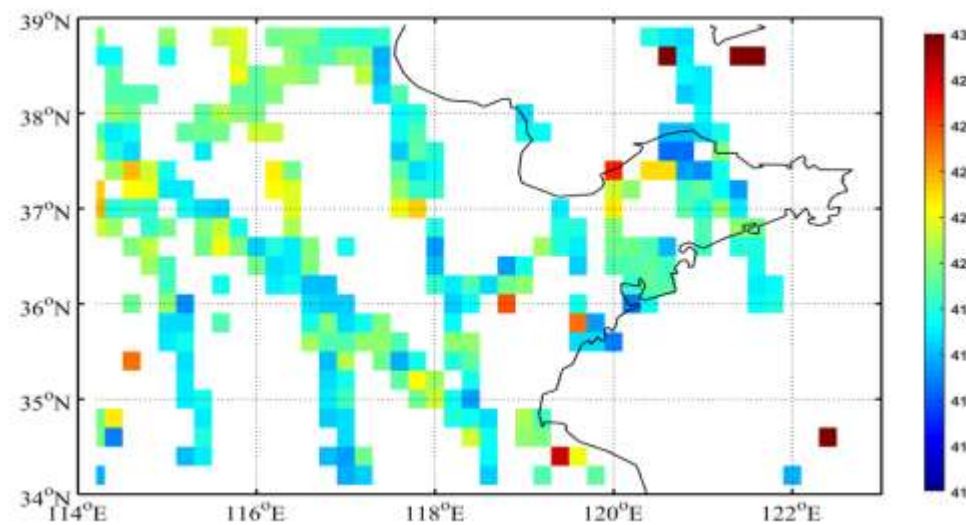
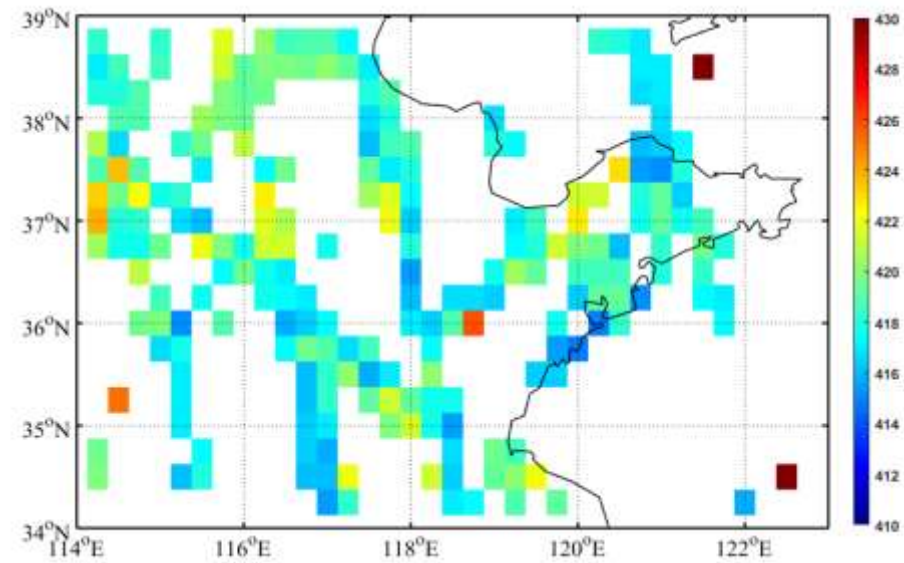
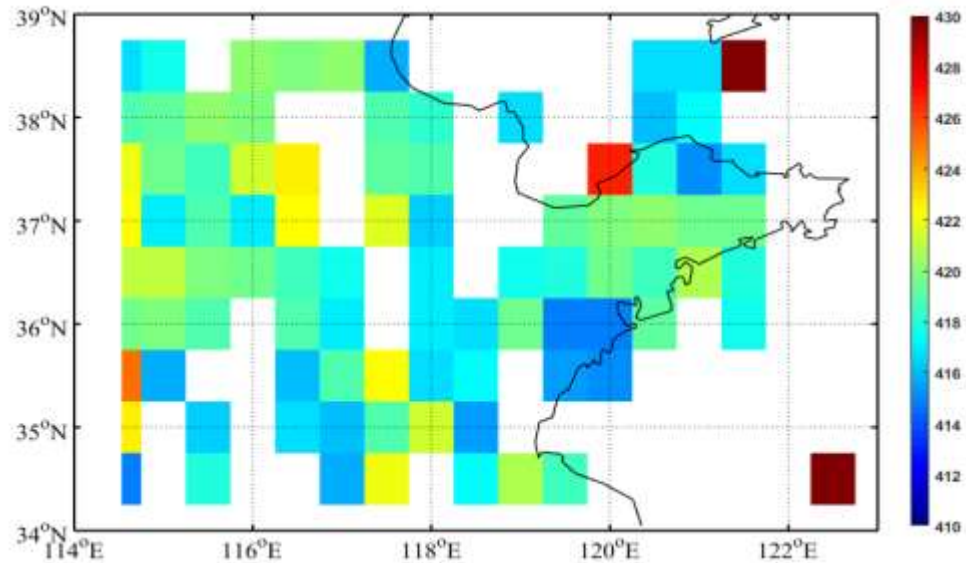


山东半岛CO2观测数量（16天重访）



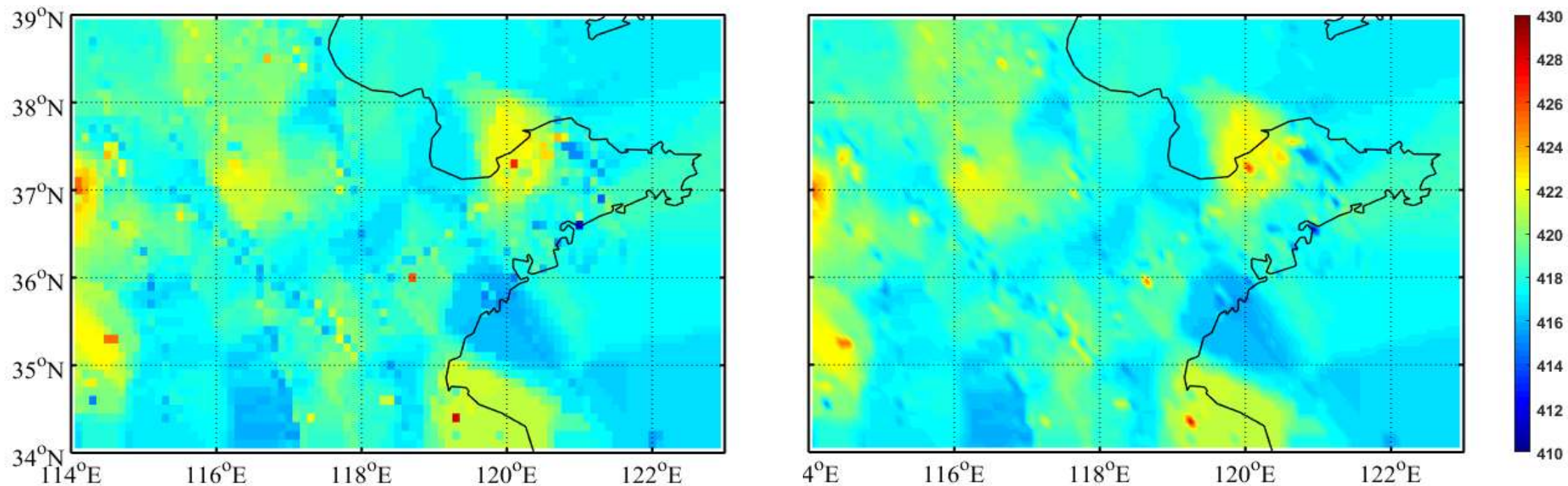
日期	序号	山东省	
		GOSAT	GOSAT-2
1月1-3日	1	3	1
1月4-6日	2	3	7
1月7-9日	3	8	2
1月10-12日	4	3	9
1月13-15日	5	4	2
1月16-18日	6	3	11
1月19-21日	7	2	2
1月22-24日	8	3	0
1月25-27日	9	4	0
1月28-30日	10	3	2
1月31-2月2日	11	6	0
2月3-5日	12	0	8
2月6-8日	13	1	0
2月9-11日	14	3	1
2月12-14日	15	1	2
2月15-17日	16	3	7
2月18-20日	17	6	1
2月21-23日	18	0	12
2月24-26日	19	0	0
2月27-3月1日	20	0	0
3月2-4日	21	7	2
3月5-7日	22	0	4
3月8-10日	23	2	0
3月11-13日	24	0	5
3月14-16日	25	0	0
3月17-19日	26	0	0
3月20-22日	27	4	0
3月23-25日	28	0	2
3月26-28日	29	0	0
3月29-31日	30	0	6
		69	86

日期	序号	山东省	
		OCO-2	OCO-3
1月1-16日	1	48	0
1月17-2月1日	2	1085	1088
2月2-17日	3	220	1343
2月18-3月5日	4	1027	1420
3月6-21日	5	953	0
3月22-31日	6	50	0
		3383	3851



山东地区，2021年1~3月，GOSAT+GOSAT-2+OCO-2+OCO-3
 ($0.5^\circ * 0.5^\circ$, $0.25^\circ * 0.25^\circ$, $0.2^\circ * 0.2^\circ$, $0.1^\circ * 0.1^\circ$)

高分辨率CO2融合产品结果



山东地区，2021年1~3月，GOSAT+GOSAT-2+OCO-2+OCO-3
($0.1^\circ * 0.1^\circ$)

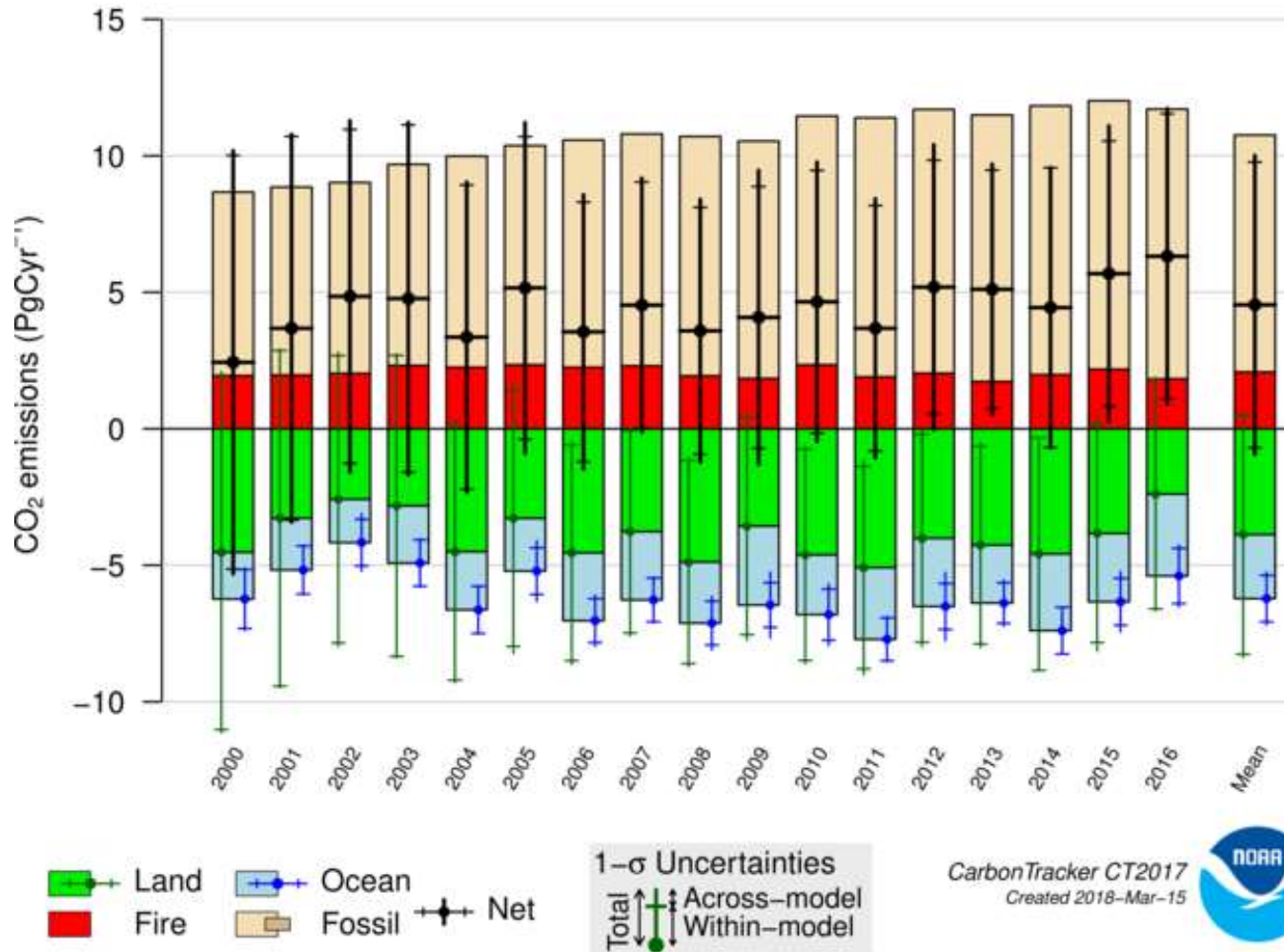
内 容

1. 气候变化与大气CO₂
2. 大气CO₂卫星观测
3. 2010-2020全球CO₂时空变化
4. 大气CO₂模拟
5. 展望

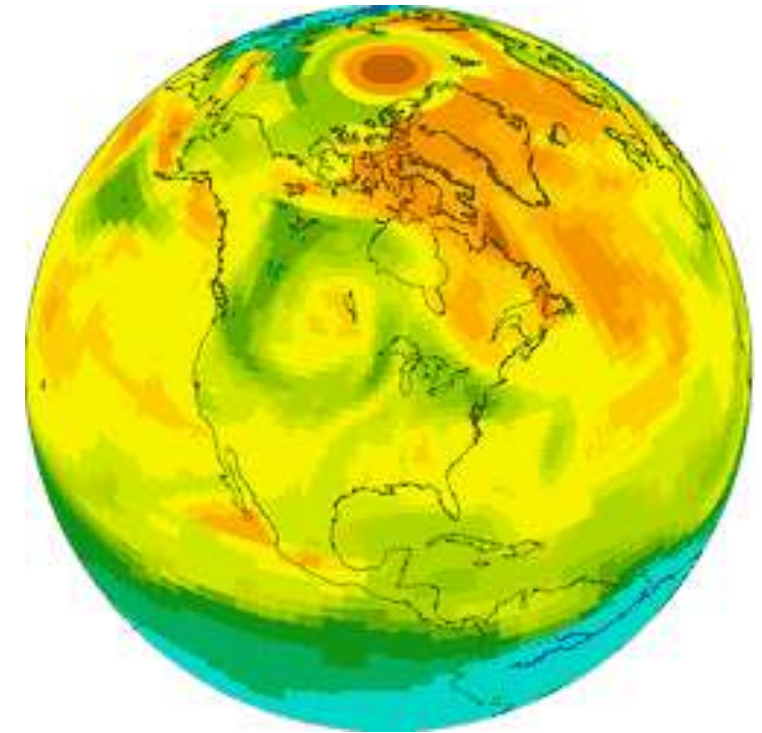
Carbon Tracker (NOAA/USA)

Global annual total emissions

Optimized

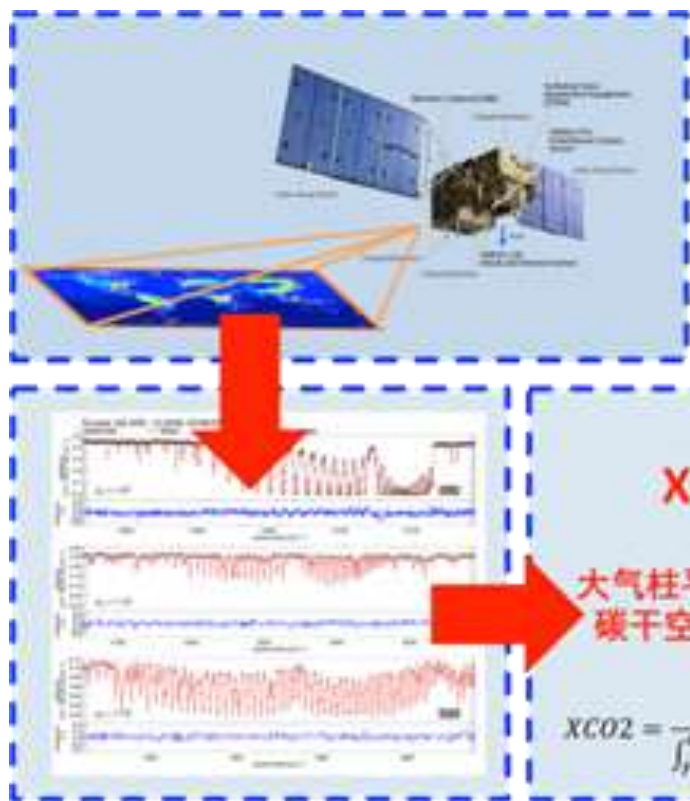


全球3*2度，北美1*1度
(NOAA,2007)



CarbonTracker CO₂ weather for June-July, 2008. Warm colors show high atmospheric CO₂ concentrations, and cool colors show low concentrations.

高分辨率全球碳同化



on System, GCASv2)

高分辨率碳同化系统

载 研究成果 技术团队 admin 返回后台 中文/English



2009-2015年
全球陆地生态
系统碳源汇分布

碳通量优化产品

ion System, GCAS] 是基于地面观测与卫星观测的
优化碳源汇。利用地面二氧化碳观测与卫星二氧化碳
GCAS原型系统由南京大学主持研发, 中科院大气
中国科学院地理科学与资源研究所等单位参与联合
团队研制了GCAS科学产品生产系统与在线发布平
产品版本为GCAS2018, 包含2009年1月至2016年1
月通量。进入GCAS2018



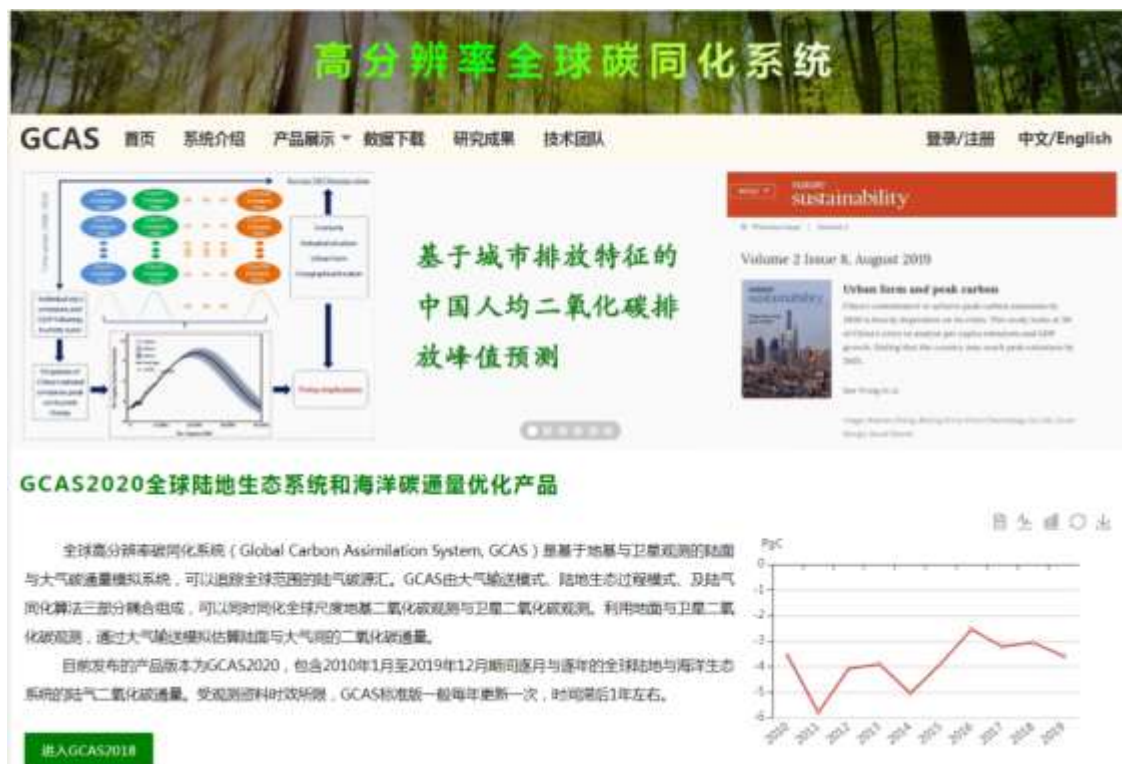
自 全 通 出

海洋碳通量优化产品

高分辨率全球碳同化产品系统 (GCASv2 Product)

<http://www.gcas.net.cn>

1. 2009-2019全球逐月1度*1度碳通量
2. 2001-2017全球5km GPP/NPP/NEP等...



高分辨率全球碳同化系统

GCAS 首页 系统介绍 产品展示 数据下载 研究成果 技术团队 登录/注册 中文/English

基于城市排放特征的
中国人均二氧化碳排
放峰值预测

GCAS2020全球陆地生态系统和海洋碳通量优化产品

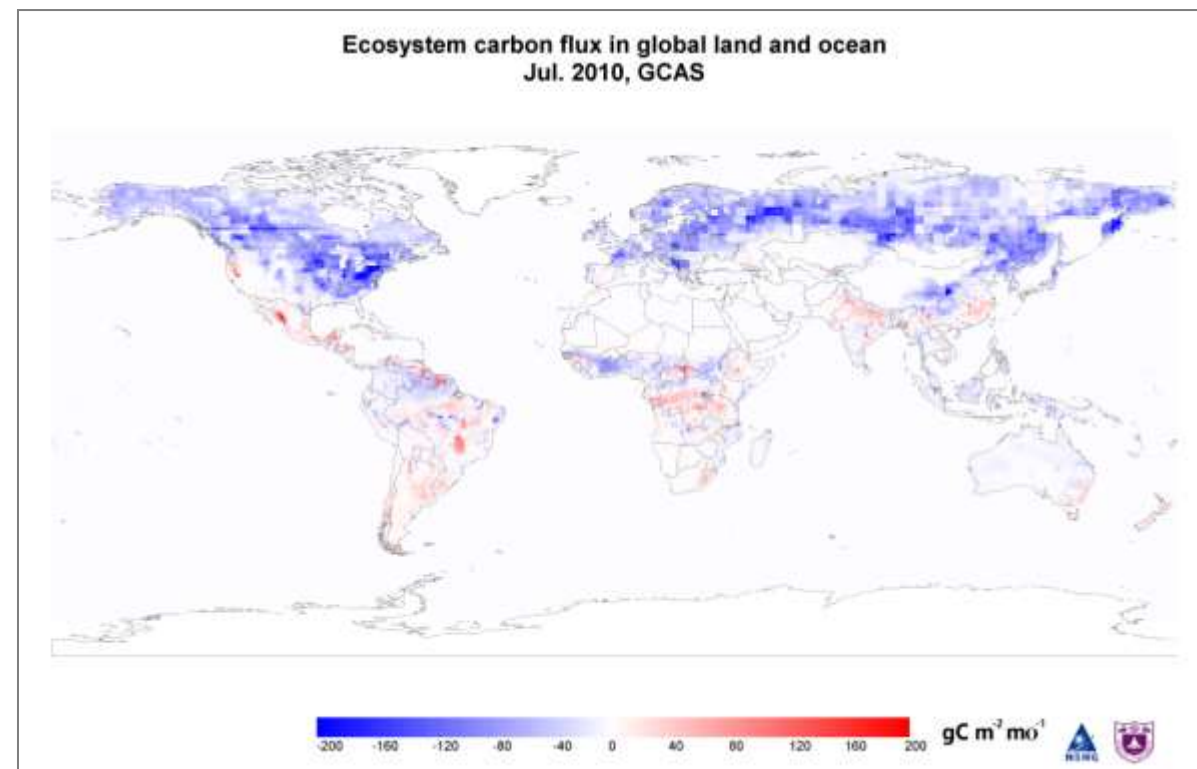
全球高分辨率碳同化系统 (Global Carbon Assimilation System, GCAS) 是基于地基与卫星观测的陆地与大气碳通量模拟系统。可以追踪全球范围的陆地碳源汇。GCAS由大气输送模式、陆地生态过程模式、及陆气同化算法三部分耦合组成, 可以同时同化全球尺度地基二氧化碳观测与卫星二氧化碳观测。利用地面与卫星二氧化碳观测, 透过大气输送模拟估算陆地与大气间的二氧化碳通量。

目前发布的产品版本为GCAS2020, 包含2010年1月至2019年12月期间逐月与逐年的全球陆地与海洋生态系统的陆气二氧化碳通量。受观测资料时效限制, GCAS标准版一般每年更新一次, 时效滞后1年左右。

进入GCAS2018



年份	通量 (PgC)
2000	-3.5
2001	-4.5
2002	-3.5
2003	-3.5
2004	-3.5
2005	-3.5
2006	-3.5
2007	-3.5
2008	-3.5
2009	-3.5
2010	-3.5
2011	-3.5
2012	-3.5
2013	-3.5
2014	-3.5
2015	-3.5
2016	-3.5
2017	-3.5
2018	-3.5
2019	-3.5



内 容

1. 气候变化与大气CO₂
2. 大气CO₂卫星观测
3. 2010-2020全球CO₂时空变化
4. 大气CO₂模拟
5. 展望

问题与不足

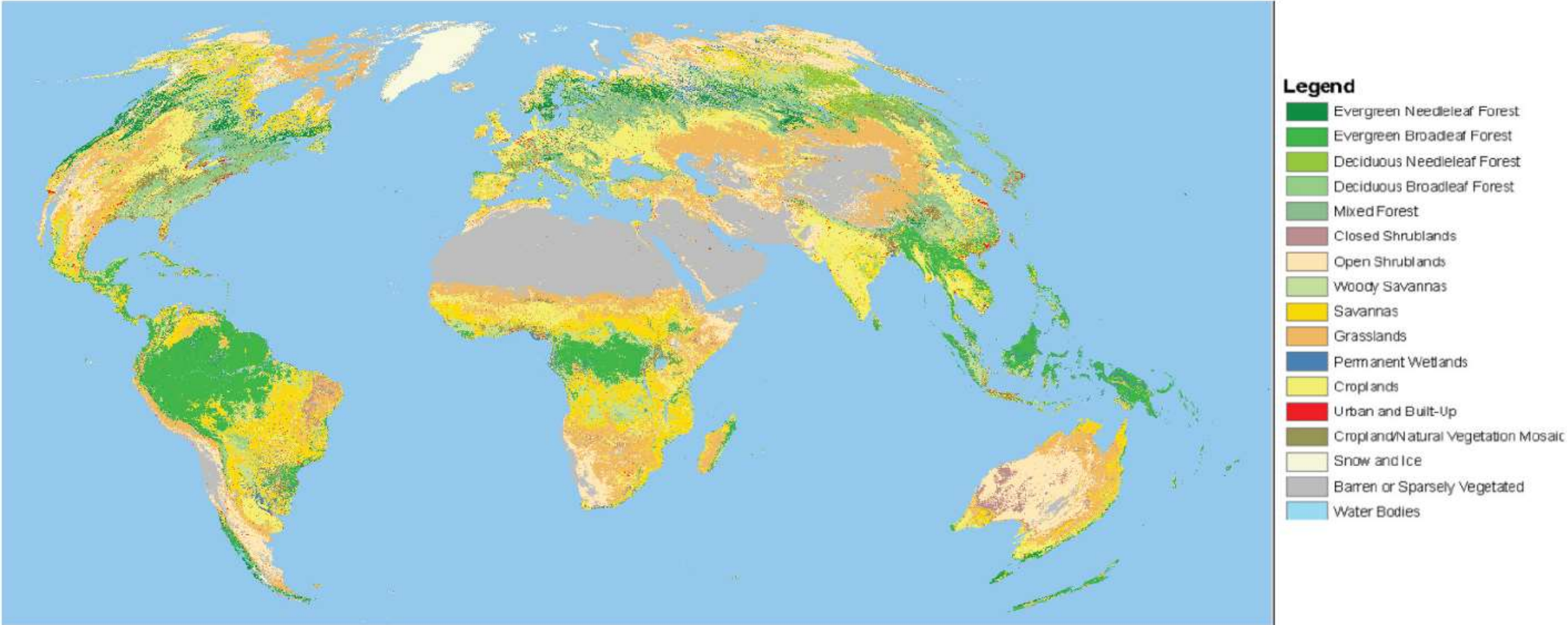
- ① 卫星CO₂精度2-4ppm，可基本满足全球观测精度需求。作为新型全球观测数据源，可与地面观测等互为补充。
- ② 空间覆盖不足，重访周期较长、空间分辨率较低，距离区域尺度研究高时空分辨率CO₂观测的需求差距较大。
- ③ CO₂受人为活动影响剧烈，尤其是工业活动和经济活动，需加强区域尺度CO₂与人类活动（能源消耗、GDP、农业活动等）的关联研究。

展 望

- ① 由于时空覆盖连续完整、数据获取方便快捷、成本相对低等优势，卫星遥感CO₂观测数据未来在大气CO₂探测领域的占比和贡献将不断增加。
- ② 基于卫星CO₂观测的碳同化系统技术日益成熟，向业务化运行方向发展。
- ③ 中国正在发展多个CO₂探测载荷与平台。2023年7月26日，中科院宣布2025年发射新型碳卫星。中国卫星CO₂探测与应用能力不断提升，将为碳观测领域贡献越来越多的中国数据和应用。

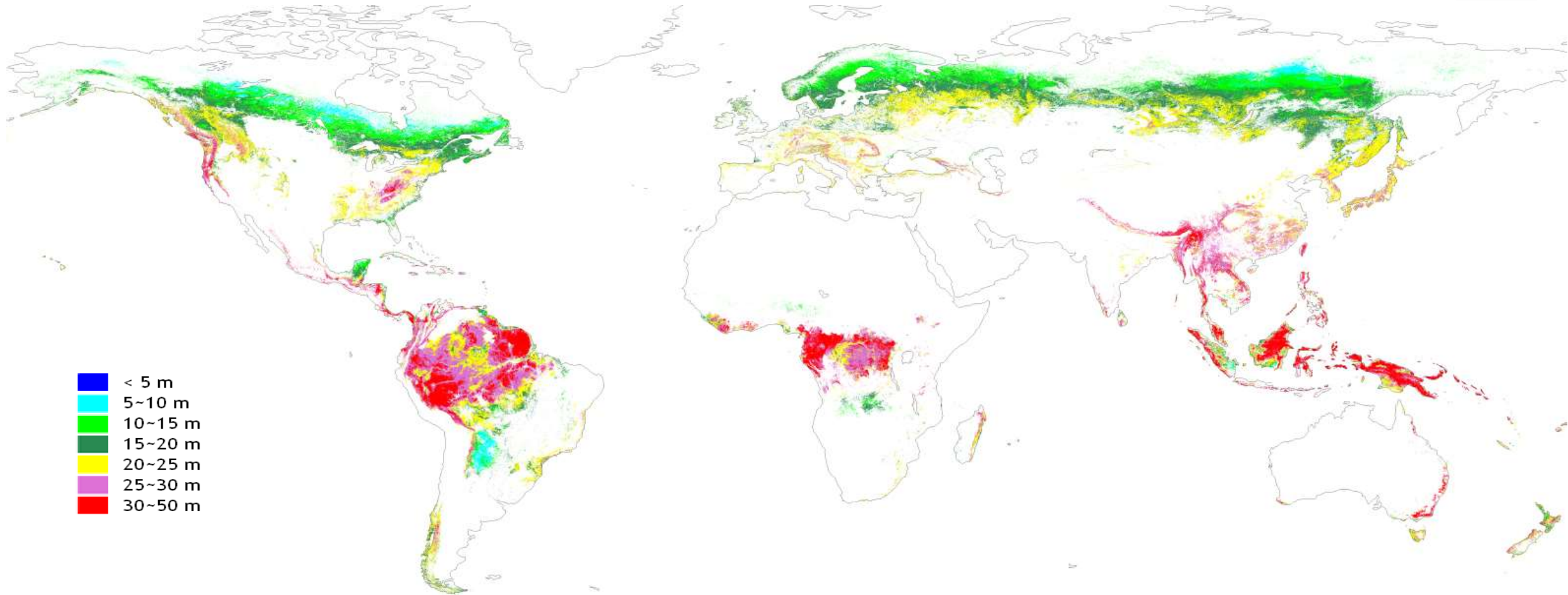
其它工作——
陆地碳观测与模拟

Land Cover (FY3D/MERSI-II)



(a) MERSI- II LC map (2019-2020)

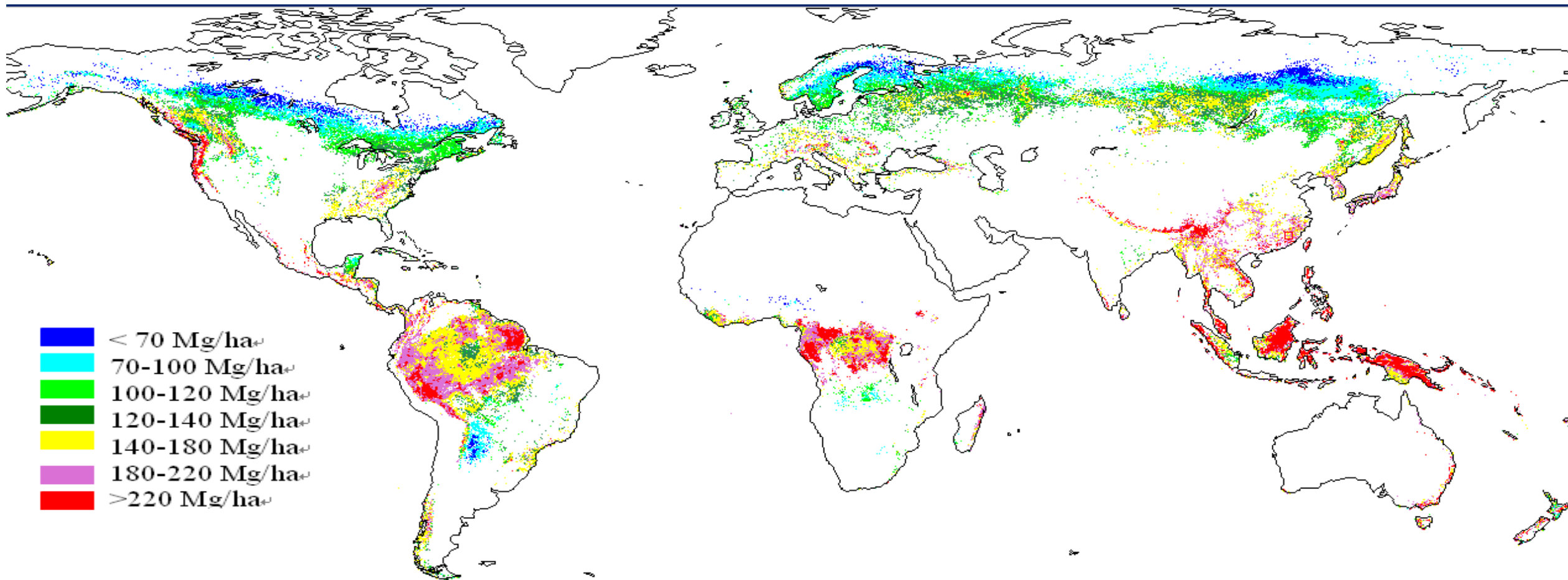
森林冠层高度 (Forest Canopy Height, FCH) (十三五重点研发)



全球森林冠层高度

- ① Yuanyuan Wang, **Guicai Li***, Jianhua Ding, Zhaodi Guo, Shihao Tang, Cheng Wang, Qingni Huang, Ronggao Liu, Jing M. Chen. 2016. A combined GLAS and MODIS estimation of the global distribution of mean forest canopy height. **Remote Sensing of Environment**, Vol.174: P24-43. (2021-IF: 10.2)
- ② Yang T, Wang C, **Li G C***, et al. 2014. Forest canopy height mapping over China using GLAS and MODIS data. **Science China: Earth Sciences**, 57. (2021-IF: 4.4)

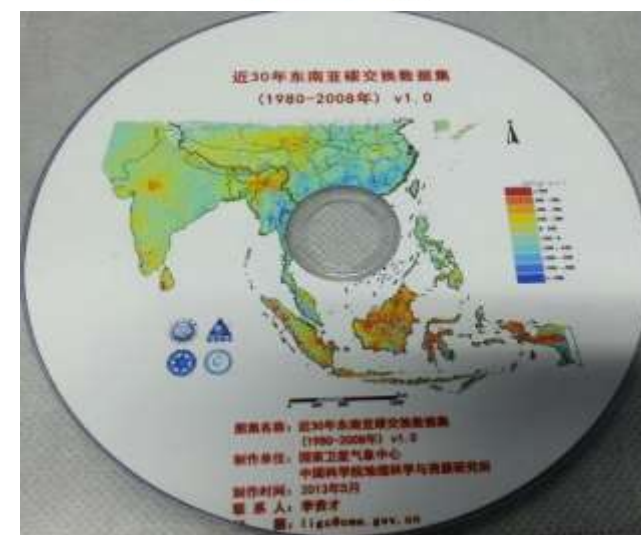
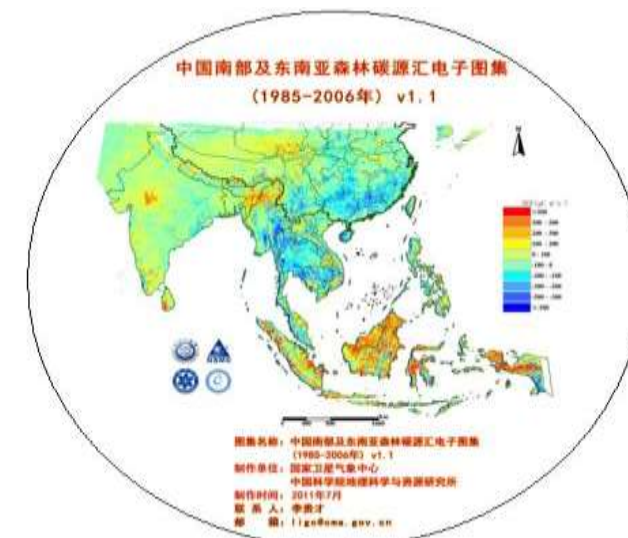
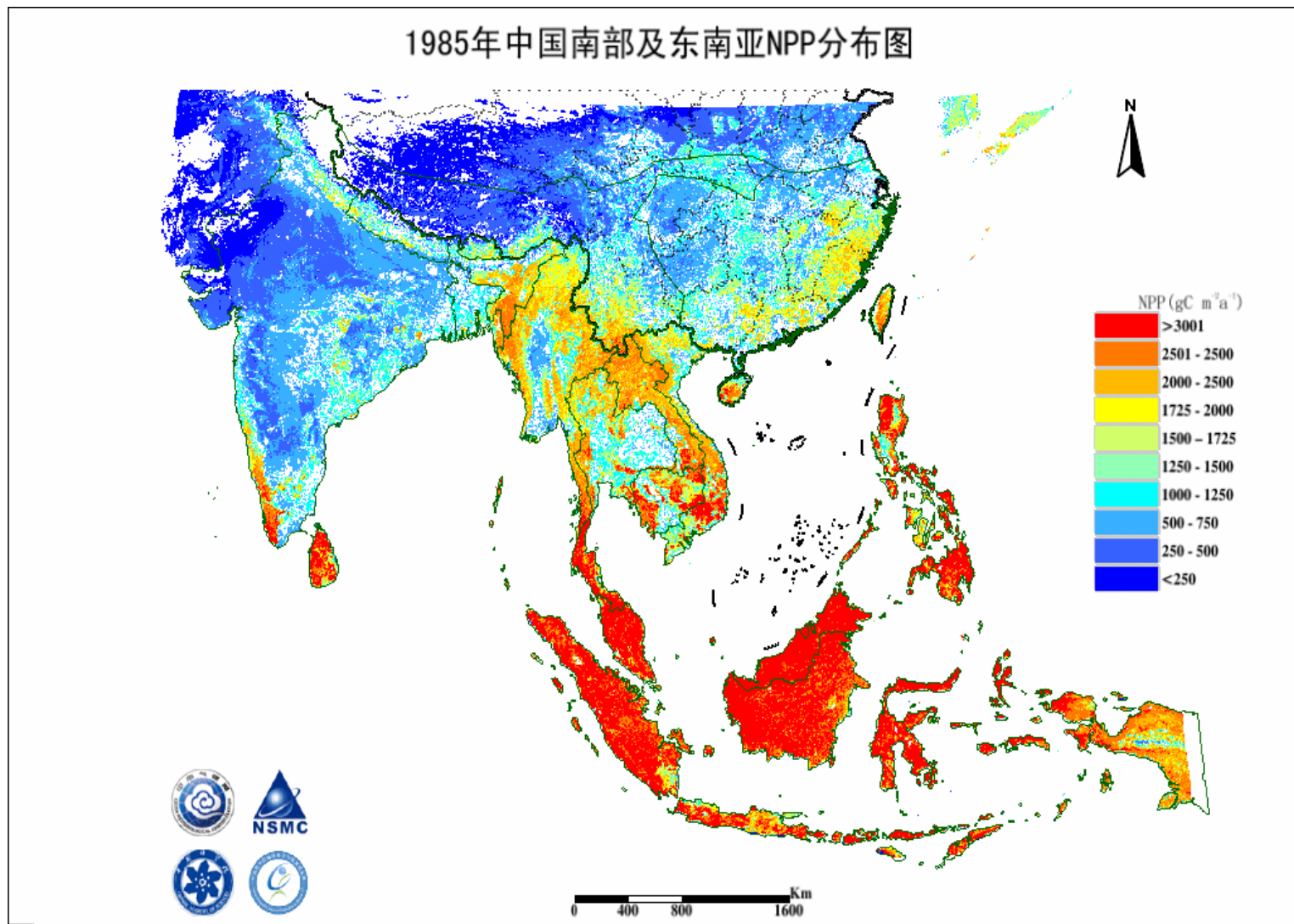
森林生物量(above-ground biomass (AGB))



全球森林生物量

- ① Yuanyuan Wang, **Guicai Li***, Jianhua Ding, Zhaodi Guo, Shihao Tang, Cheng Wang, Qingni Huang, Ronggao Liu, Jing M. Chen. 2016. A combined GLAS and MODIS estimation of the global distribution of mean forest canopy height. **Remote Sensing of Environment**, Vol.174: P24-43. (2021-IF: 10.2)
- ② Yang T, Wang C, **Li G C***, et al. 2014. Forest canopy height mapping over China using GLAS and MODIS data. **Science China: Earth Sciences**, 57. (2021-IF: 4.4)
- ③ 郭兆迪, 李贵才, 唐世浩等. 区域生物量估算[A]//陈镜明等. 全球陆地碳汇的遥感和优化计算方法[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 82-95.

东南亚近30年碳收支数据集



高时频卫星火点实时监测系统（QuickFire）

<http://39.98.174.36:8081/login.html>

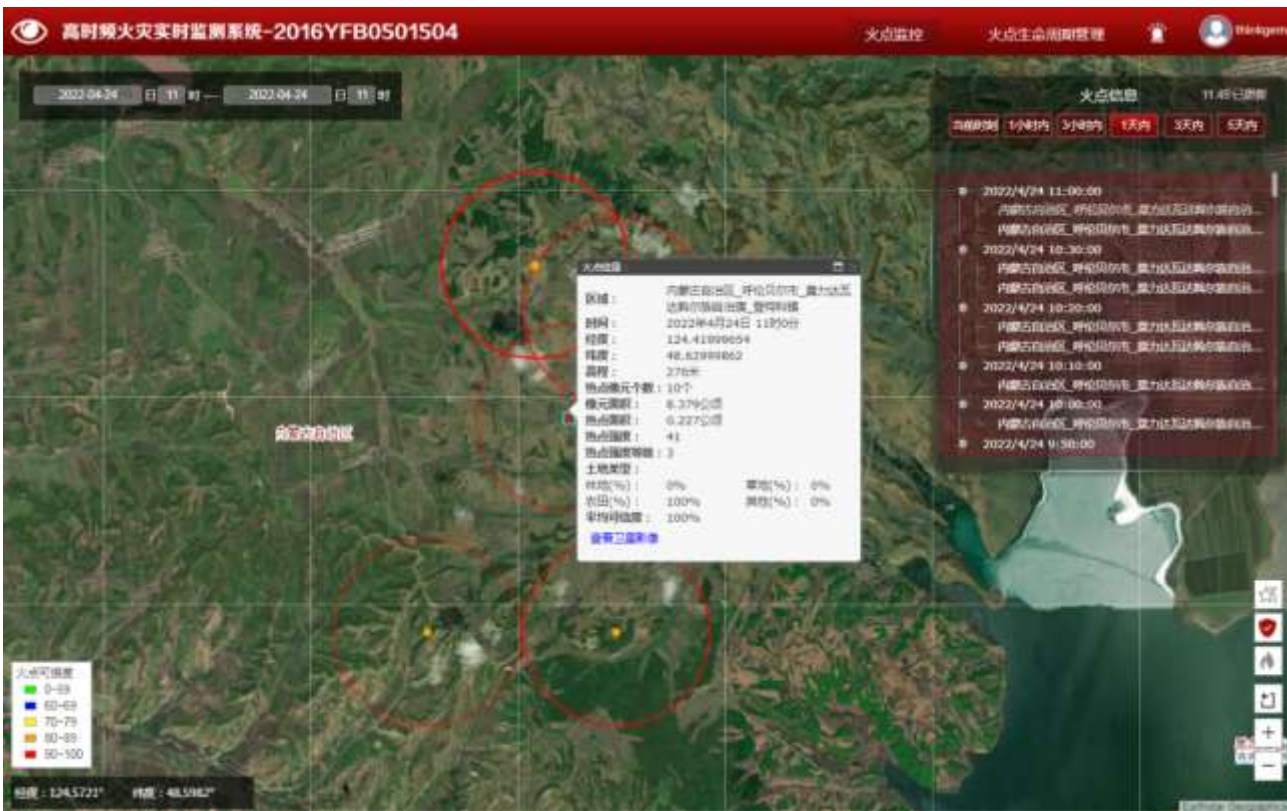
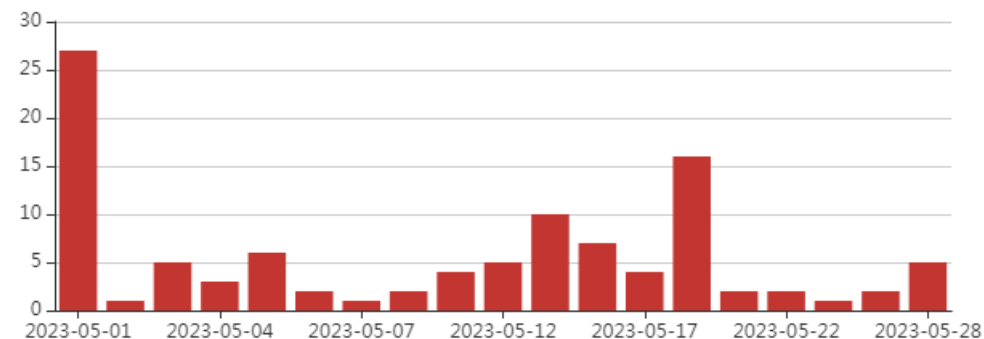
火点产品：位置、时间、火点像元数量、火点强度...

江西火点统计报告

一、统计概述

2023年05月01日——2023年05月28日，发现火点个数105个，2023年05月01日发现火点数量最多，一共发现27个火点。

二、火点分布时间



致 谢

- 王圆圆 研究员，国家卫星气象中心
- 张 艳 研究员，国家卫星气象中心
- 王志伟 副研究员，国家卫星气象中心
- 李 川 副研究员，国家卫星气象中心
- 居为民 教授，南京大学
- 江 飞 教授，南京大学
- 王恒茂 教授，南京大学
-

国家重点研发计划：

 高分辨率全球碳同化系统构建与应用（2016YFA0600204）

国家重点研发计划：

 特大干旱孕育机理与发展过程的链式传导机制研究（2022YFC3002801）

敬请批评指正!

李贵才

ligc@cma.cn , guicai_li@163.com