

基于FY3数据的全球陆地生态系统 碳通量模拟分析

居为民

南京大学国际地球系统科学研究所

南京大学仙林校区昆山楼B433

juweimin@nju.edu.cn

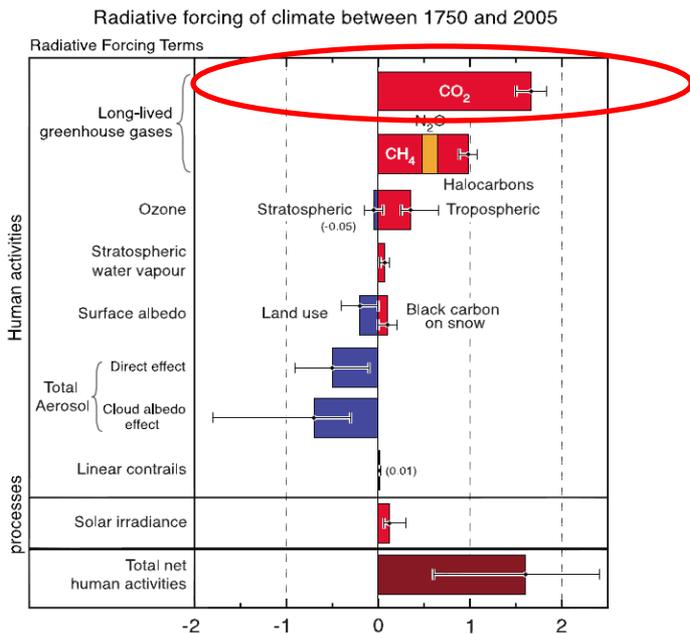
89685670, 13701475920

内容提要

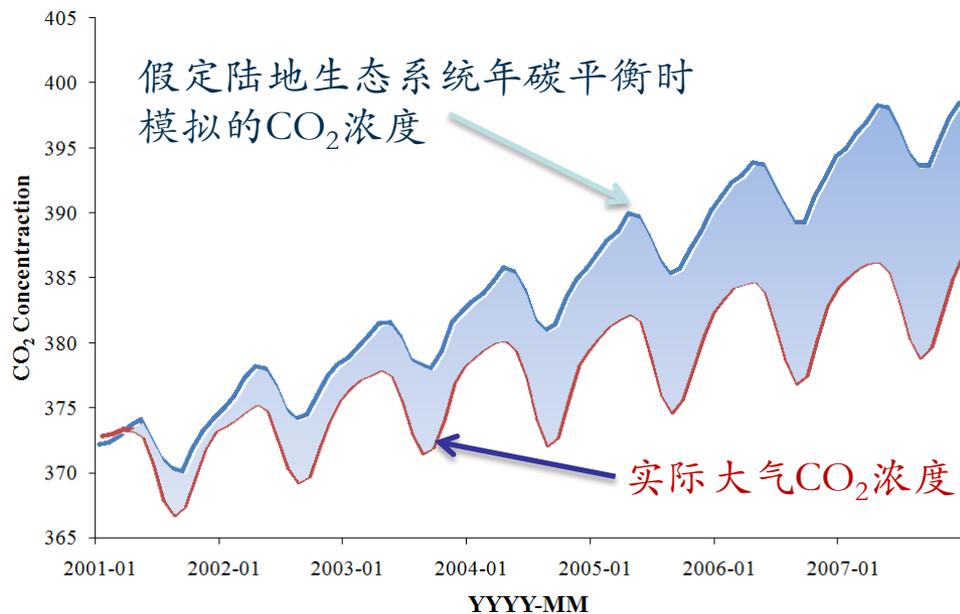
- ◆ 研究背景
- ◆ 研究方法
- ◆ 研究成果
- ◆ 主要结论

研究背景—陆地生态碳循环的重要性

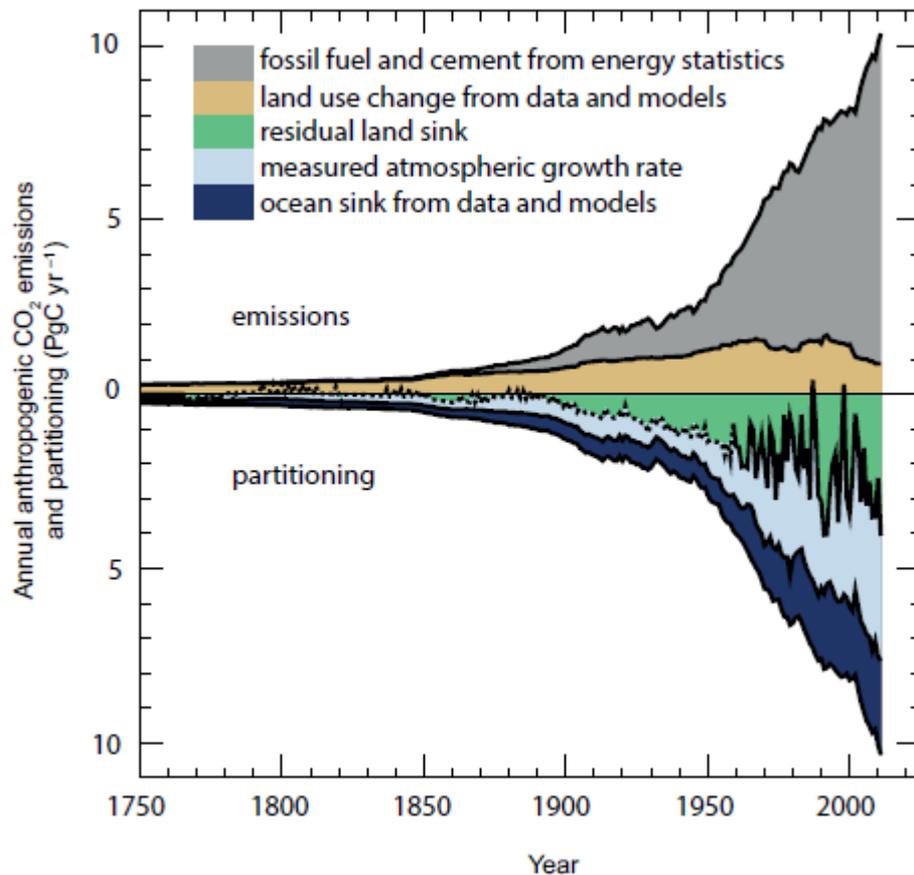
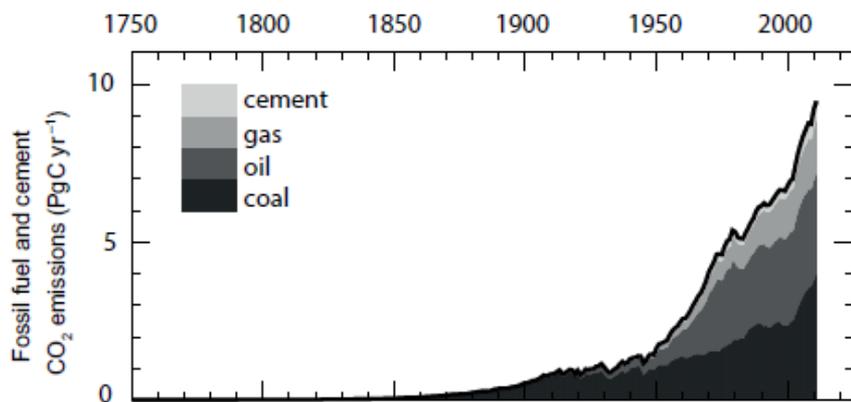
➤ **CO₂浓度增高极可能是全球增温的主要原因**



➤ **陆地碳汇使得大气CO₂浓度增高速度减缓约1/4**



研究背景—全球碳通量变化趋势



- ◆ 陆地生态系统碳汇呈增大趋势，但年际波动明显。
- ◆ 陆地生态系统碳汇的空间分布及其驱动机制？

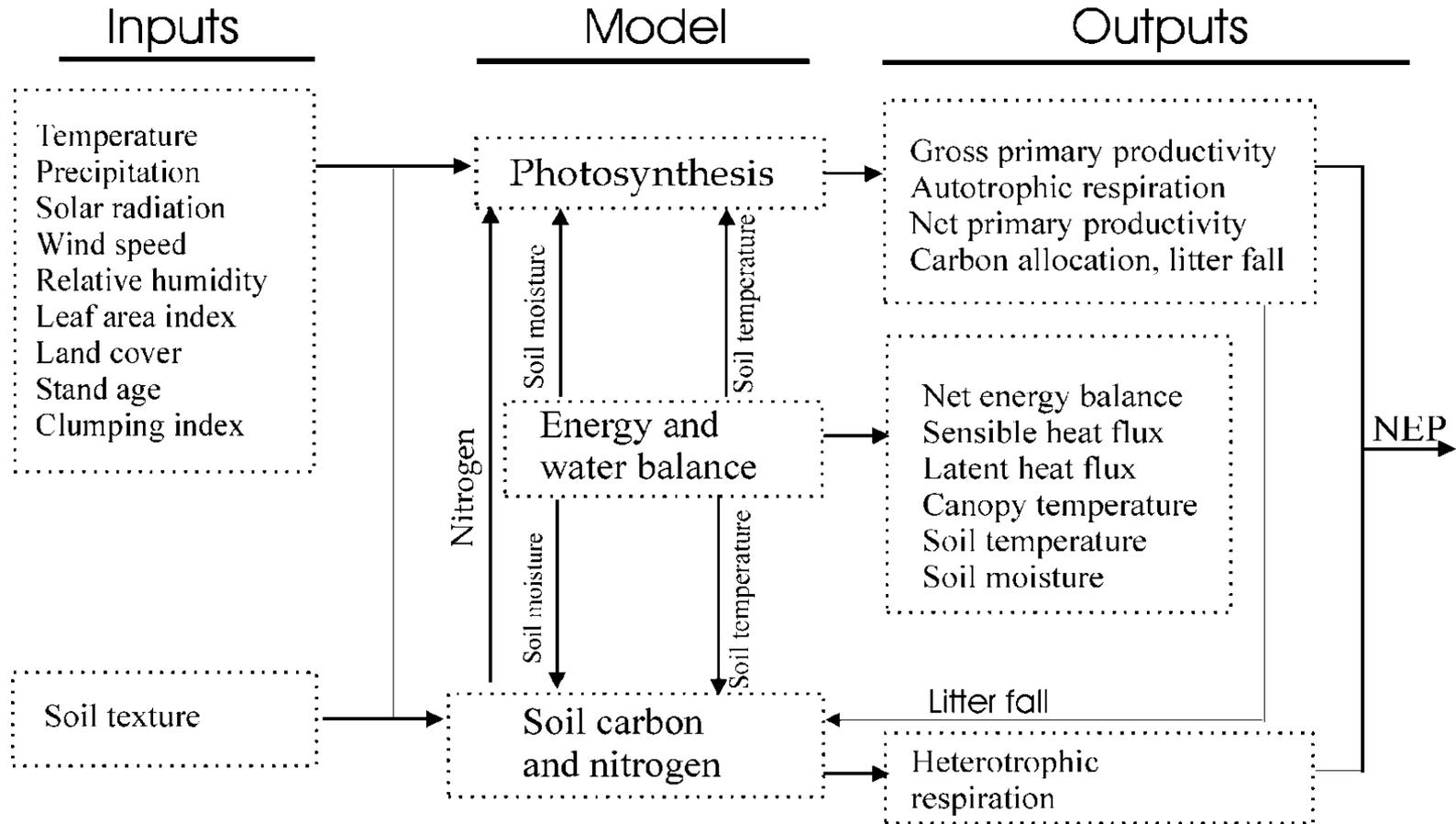
研究背景—陆地生态系统碳通量研究方法

- ◆ 微气象学方法
- ◆ 生物学方法
- ◆ 生态生理学方法
- ◆ 遥感学方法
- ◆ 生态系统模型
- ◆ 大气反演
- ◆ 全球碳同化系统

研究背景—遥感技术的作用

- ◆ 根据获取的地表反射率/发射率信息，提取与地表碳循环有关的参数，进行地表碳循环通/储量的直接和间接估算。包括：
 - 地表覆盖（Land Cover）分类
 - Fraction of PAR absorbed（fPAR）
 - 植被结构（叶面积和聚集度指数等）
 - 植被生化参数（叶绿素和氮含量等）
 - 生物量/碳储量
 - 森林火灾等扰动引起的直接碳排放
 - 碳通量（GPP、NPP）（日光诱导叶绿素荧光SIF）

研究背景—BEPS模型



将冠层分为阴叶和阳叶两部分,分别计算光合与蒸散,进行叶片到冠层的转换; BEPS模型由瞬时到天的时间尺度转换参见Chen et al., 1999, Ecological Modelling

研究背景—BEPS模型

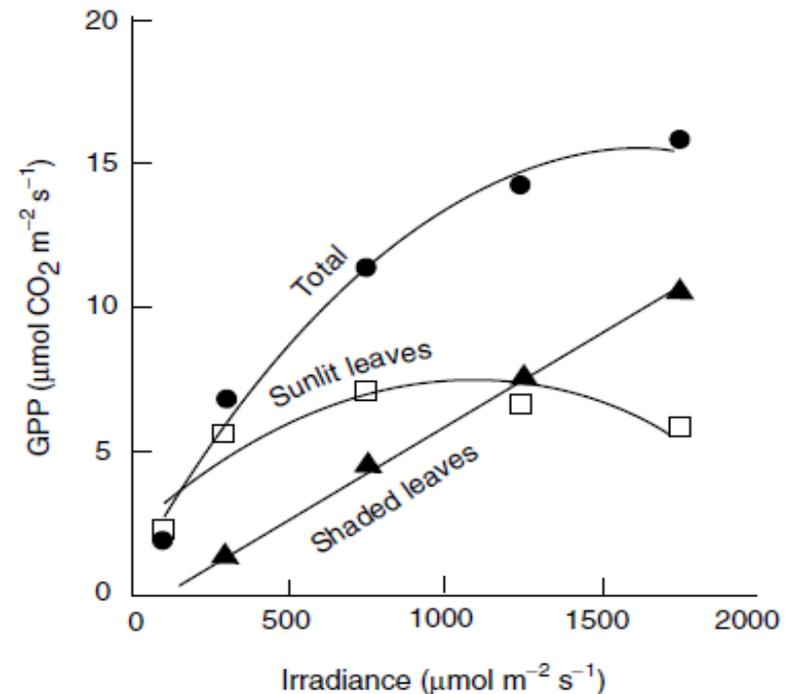
$$Tr = (Tr_{sunlit}LAI_{sunlit} + Tr_{shaded}LAI_{shaded})(\tau_{day} - \tau_{int})$$

$$A_{net} = A_{net,sunlit}LAI_{sunlit} + A_{shaded}LAI_{shaded}$$

LAI_{sunlit} and LAI_{shaded} :光照和阴叶叶片的LAI

$$LAI_{sunlit} = 2 \cos \alpha \left[1 - \exp\left(-\frac{0.5 \Omega LAI}{\cos \alpha}\right) \right]$$

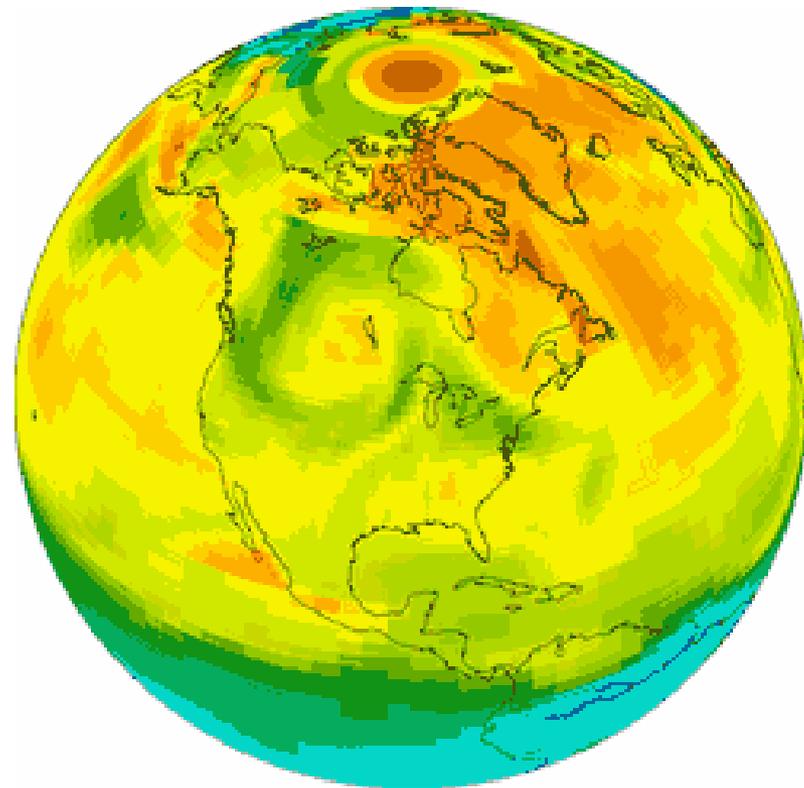
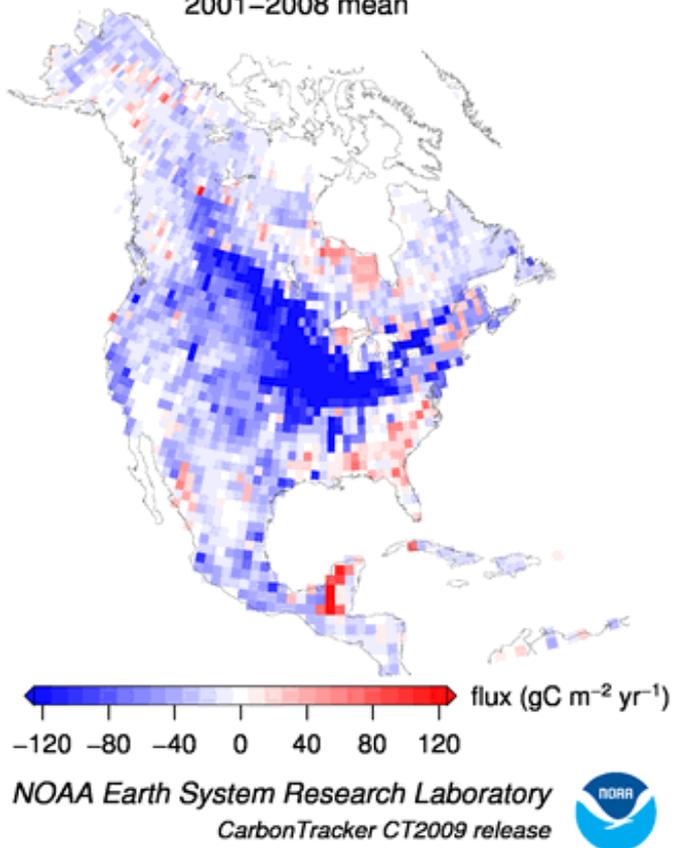
$$LAI_{shaded} = LAI - LAI_{sunlit}$$



Law et al., 2002

研究背景—全球碳同化系统

CarbonTracker 1°x1° land fluxes
2001–2008 mean



产品1：逐星期陆地碳通量

产品2：逐时大气CO₂浓度分布

利用大气CO₂浓度，采用同化技术，优化生态系统碳通量计算结果

研究背景—全球碳同化系统

◆ 全球碳同化系统构成



研究背景—正在建设的新全球碳同化系统

数据

地表和大气
遥感数据

气象、植被
和土壤数据

CO₂和CO浓度
观测数据

不同尺度CO₂
通量数据

支撑

地表碳循环关键
参数遥感协同反演

生态系统模型与
遥感地表数据同化

多源卫星与地面
观测数据联合碳同化

联合同化

全球碳同化系统

模拟的冠层荧光

生态系统模型

碳通量

大气传输模型

模拟的大气
CO₂和CO浓度

冠层荧光遥感数据

参数

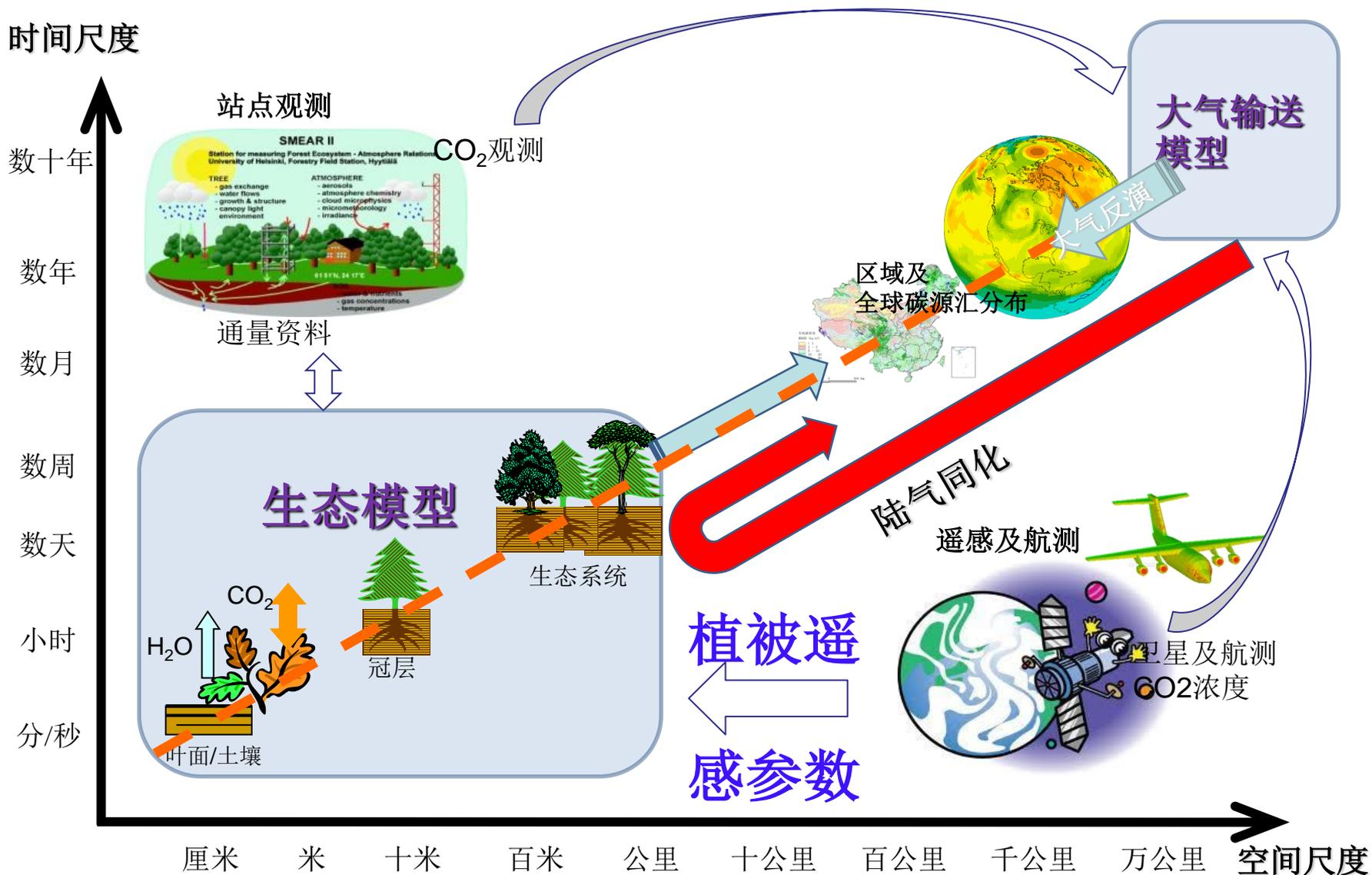
多源观测数据联合同化

地面/卫星
CO₂和CO浓度

结果

碳通量时空格局与驱动机制

研究背景—生态系统碳通量优化计算趋势



研究方法—叶面积指数反演

- ◆ 叶面积指数 (LAI) 表征了植物的密度和生长状况
- ◆ 陆地生态系统与大气物质和能量交换的主要影响因子
- ◆ 地面观测费时、费力，遥感是生成全球LAI的唯一有效手段

“叶片的层数”



LAI = 2.25



LAI = 4.75

研究方法—叶面积指数反演

◆ 遥感提取LAI的两类方法

- ✓ 根据遥感资料计算的点的植被指数与地面观测的LAI之间的经验关系生成区域LAI产品

优点：简单易于实现

缺点：VI与LAI具有强的时空变异性

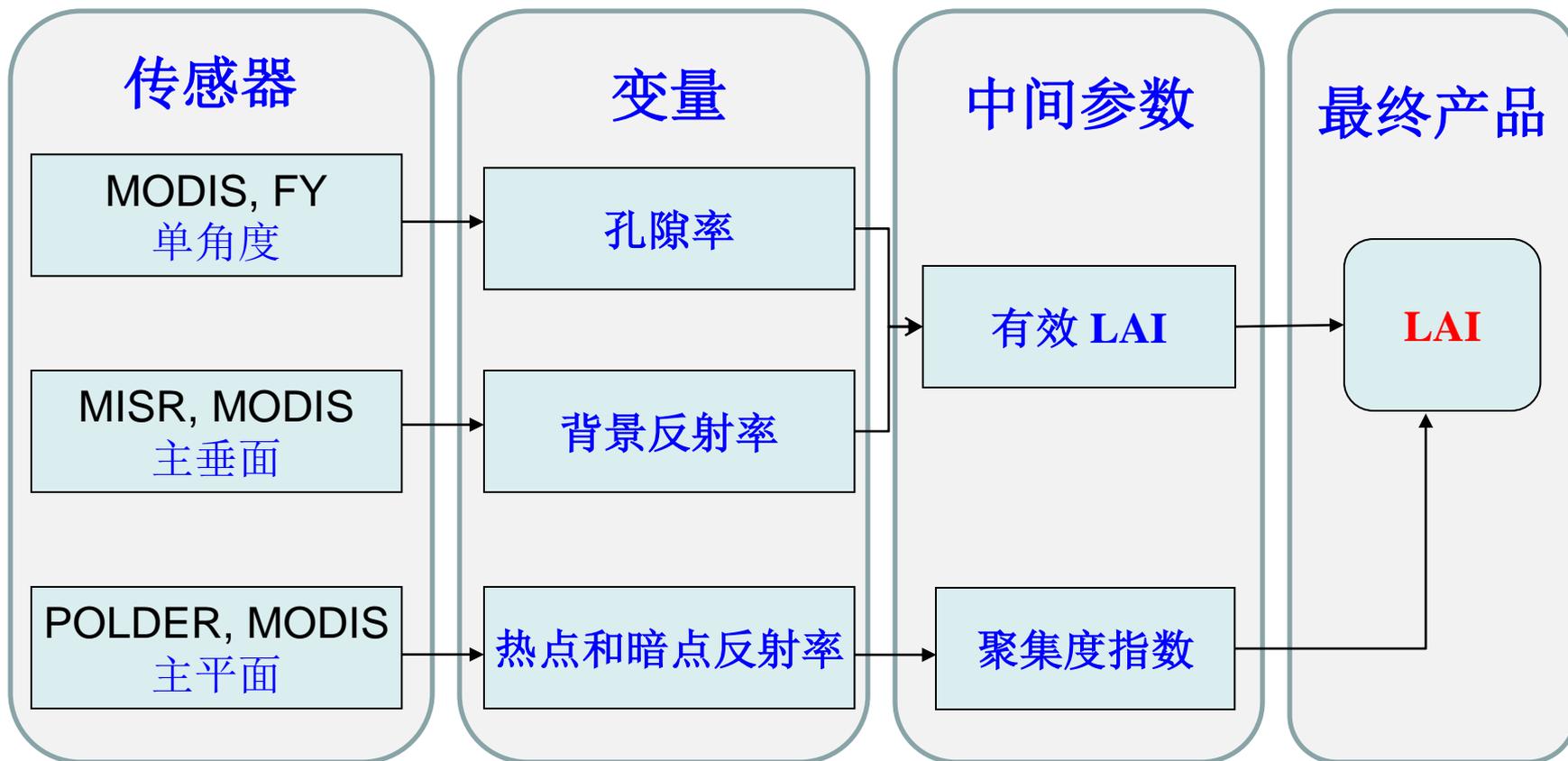
- ✓ 根据辐射传输/几何光学模型的LAI反演

优点：基于辐射在冠层传输的理论进行LAI的反演，物理意义明确，可以在大面积上应用

缺点：模型直接反演的计算量大，需要采用简化技术方可以在区域和全球尺度上使用

研究方法—叶面积指数反演

◆ 多源数据融合是LAI遥感反演的发展方向



研究方法—植被LAI遥感反演

$$L_E = f_{LE_RSR} \left(SR \times \left(\frac{\rho_{SWIRmax} - \rho_{SWIR} f_{SWIR-BRDF}(\theta_v, \theta_s, \phi)}{\rho_{SWIRmax} - \rho_{SWIRmin}} \right) \times f_{BRDF}(\theta_v, \theta_s, \phi) \right)$$

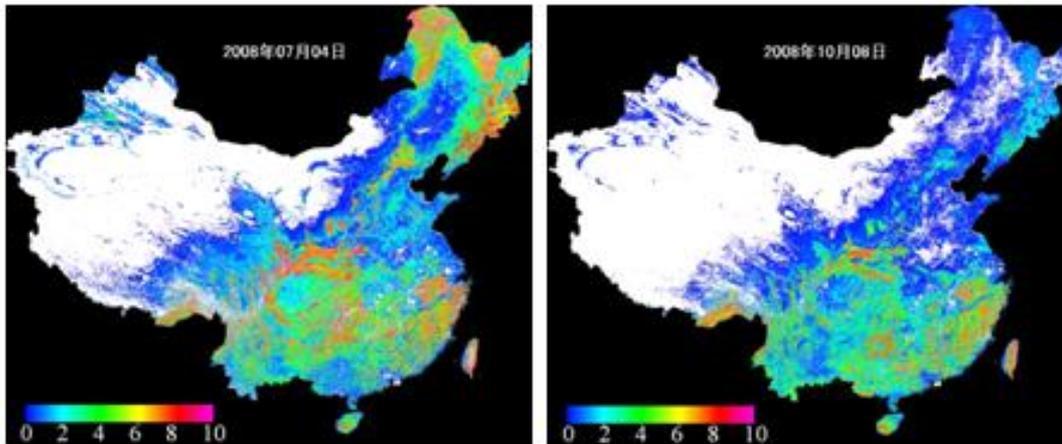
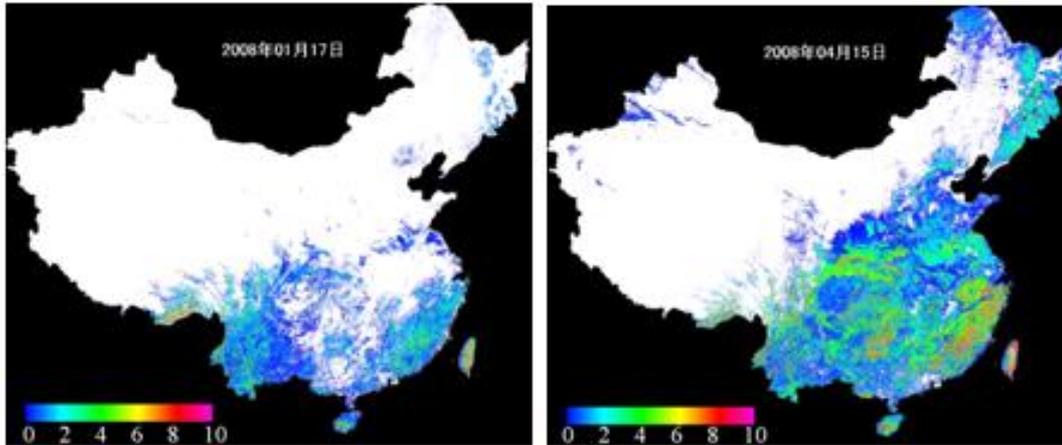
森林

$$L_E = f_{LE_SR} \left(SR \times f_{BRDF}(\theta_v, \theta_s, \phi) \right)$$

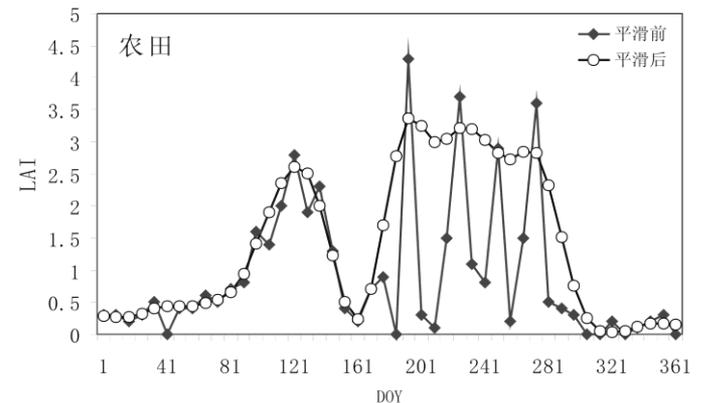
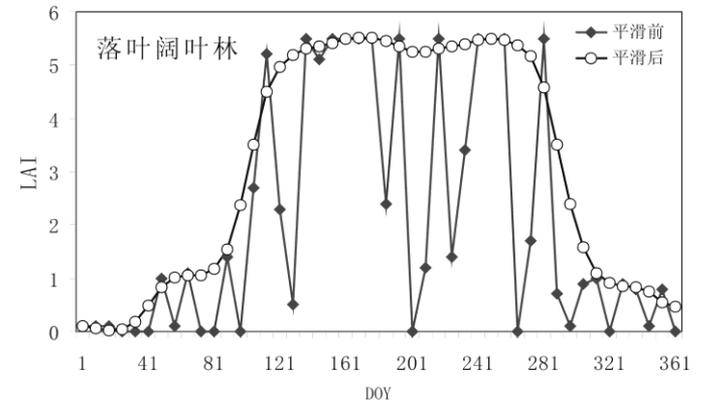
其他

$$LAI = L_E / \Omega$$

Ω : 聚集度指数

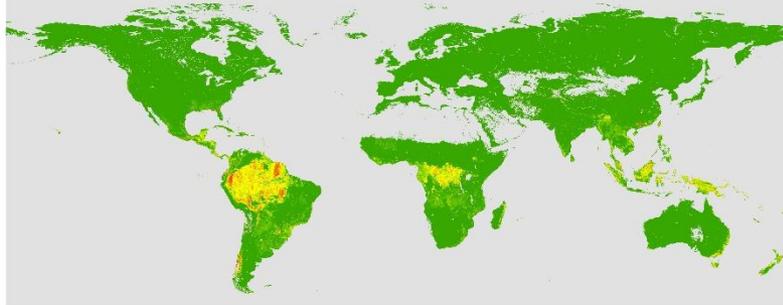


反演的LAI后处理

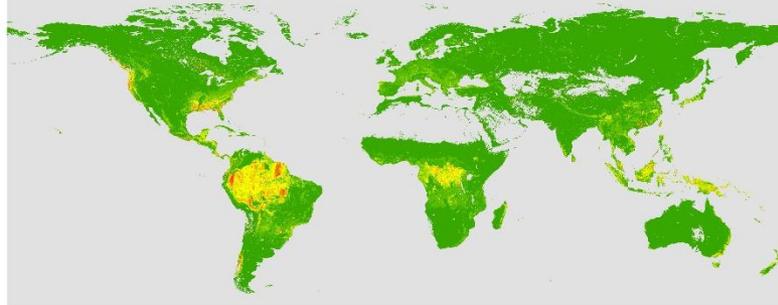


基于FY3 VIRRR 数据反演的LAI空间分布

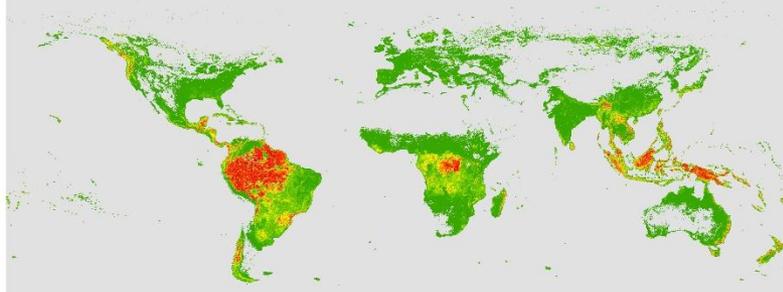
FY-3 LAI 2016 01



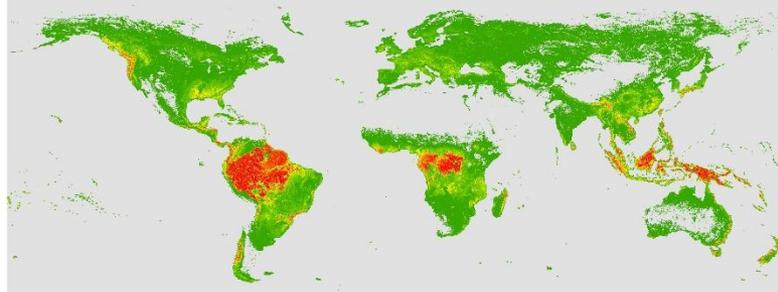
FY-3 LAI 2016 04



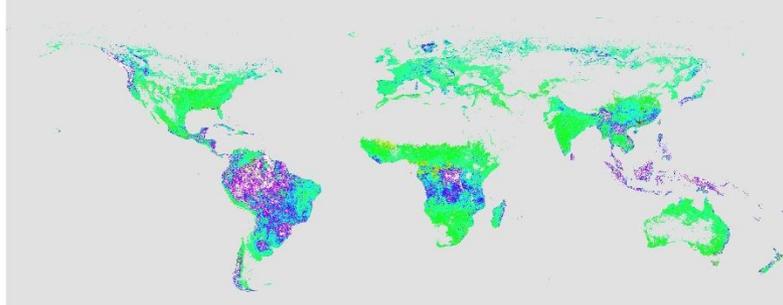
GLOBMAP LAI 2016 01



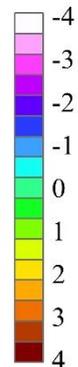
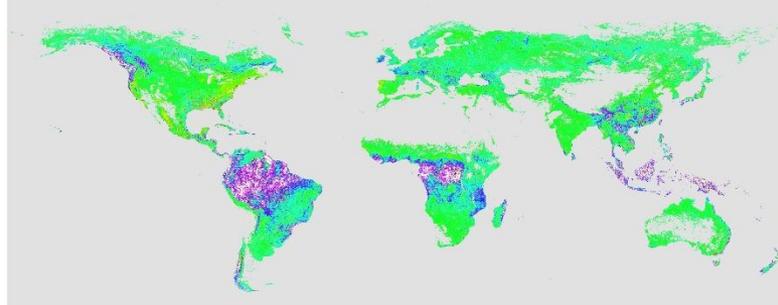
GLOBMAP LAI 2016 04



Diff LAI between FY3 and GLOBMAP



Diff LAI between FY3 and GLOBMAP

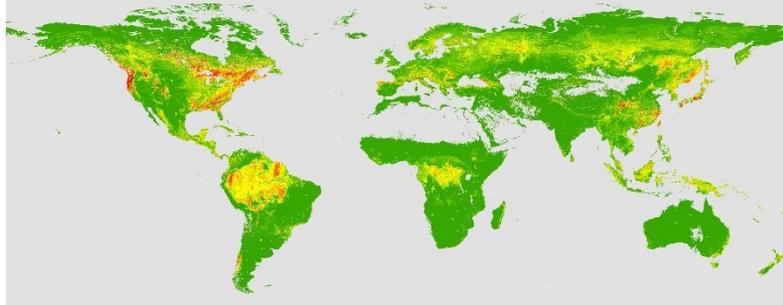


2016年1月

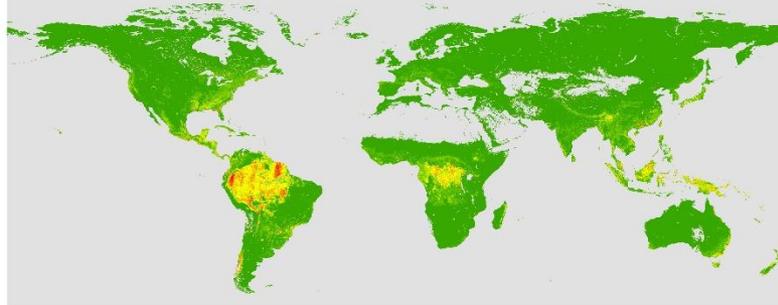
2016年4月

基于FY3 VIRRR 数据反演的LAI空间分布

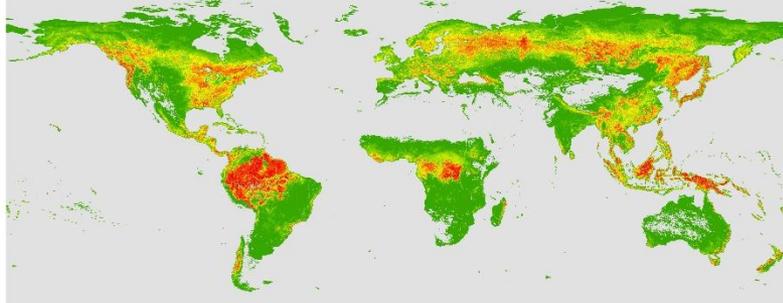
FY-3 LAI 2016 07



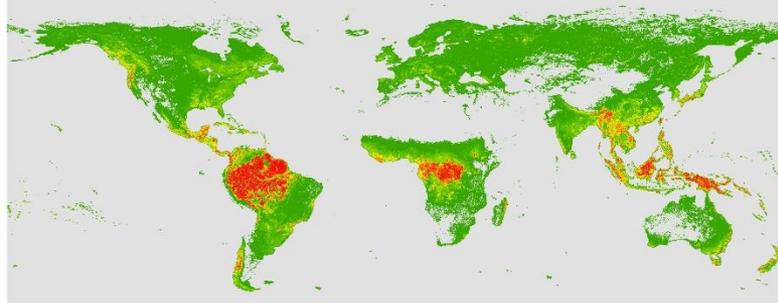
FY-3 LAI 2016 10



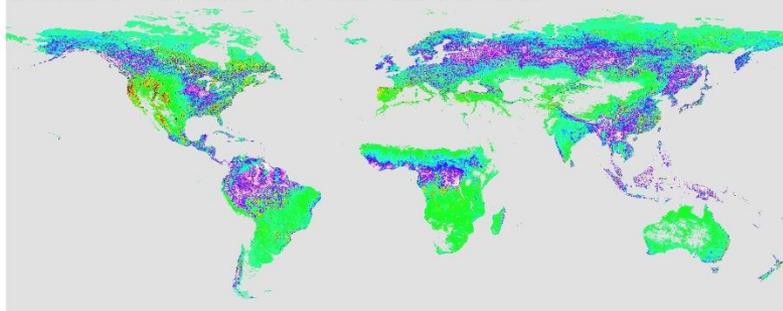
GLOBMAP LAI 2016 07



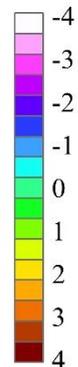
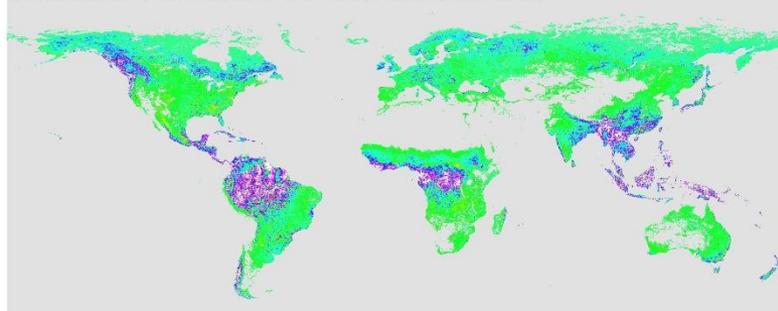
GLOBMAP LAI 2016 10



Diff LAI between FY3 and GLOBMAP



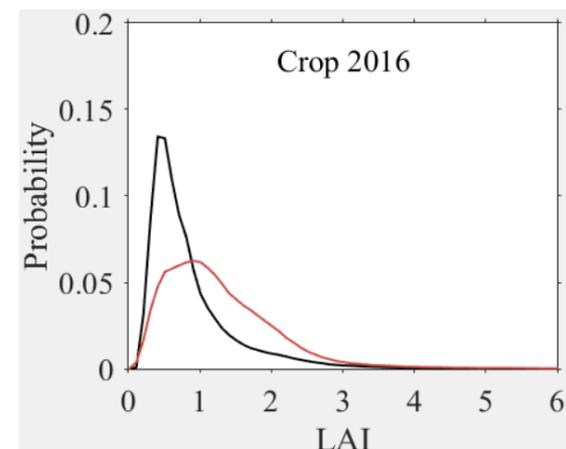
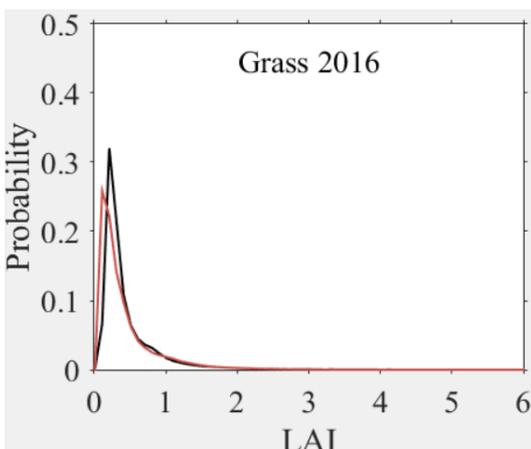
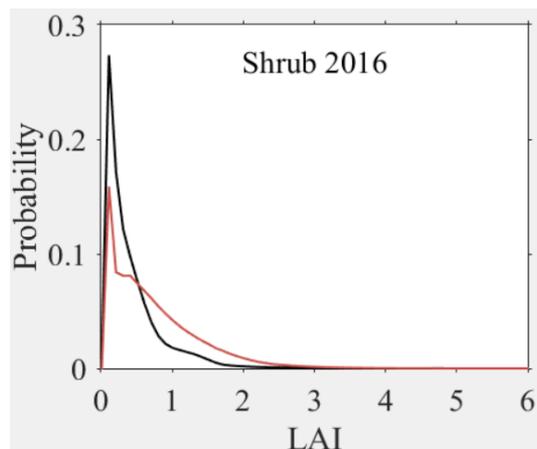
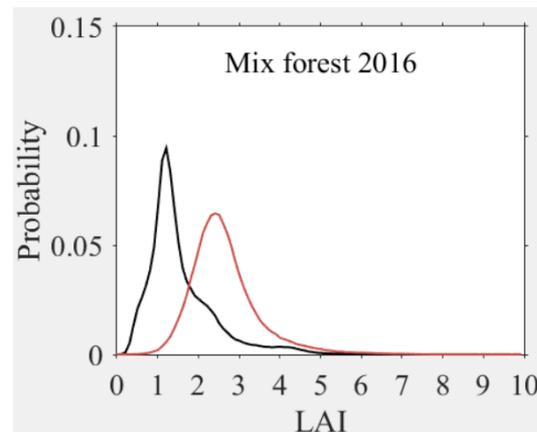
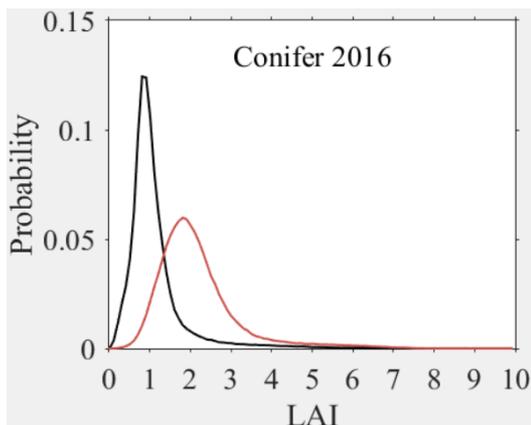
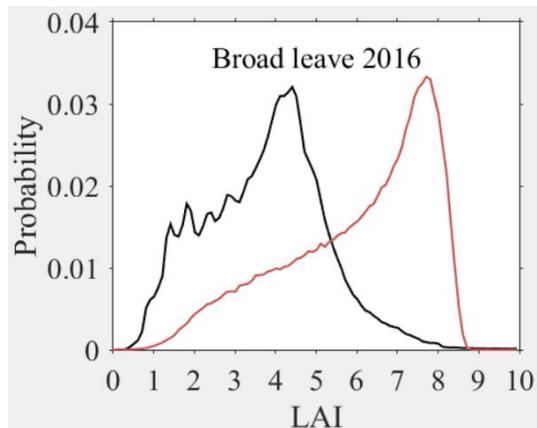
Diff LAI between FY3 and GLOBMAP



2016年7月

2016年10月

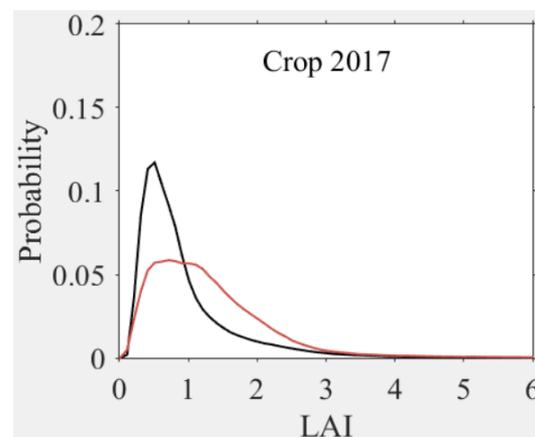
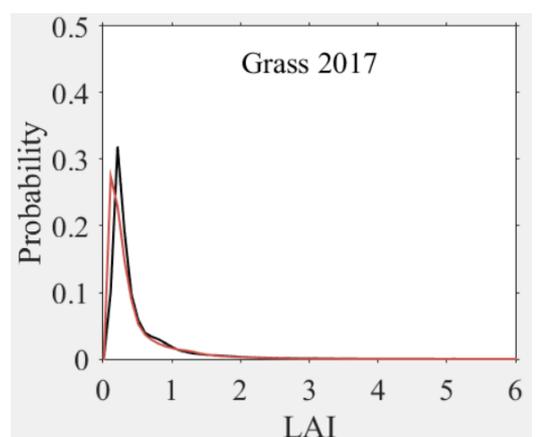
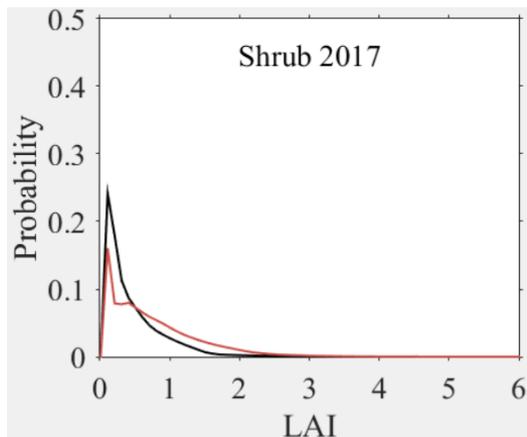
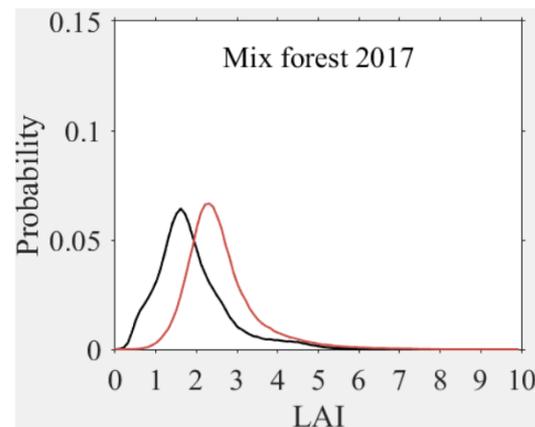
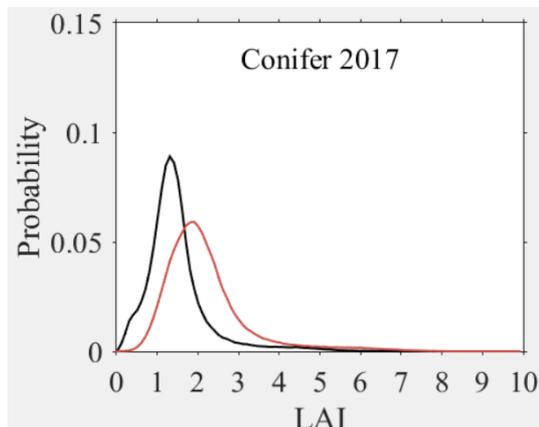
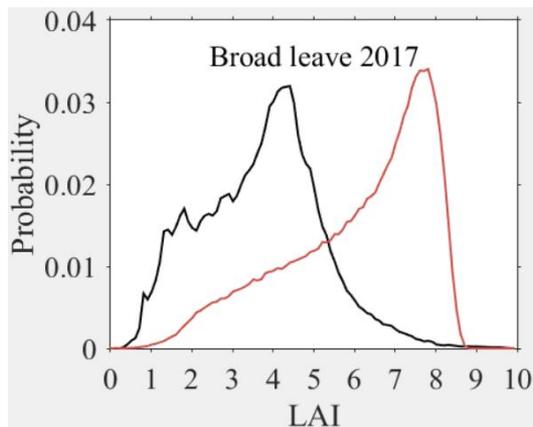
基于FY3 VIRR 数据反演的全球LAI 统计特征与其产品的比较



黑线： 基于FY 数据反演的LAI

红线： 基于MODIS 数据 反演的GLOBMAP LAI

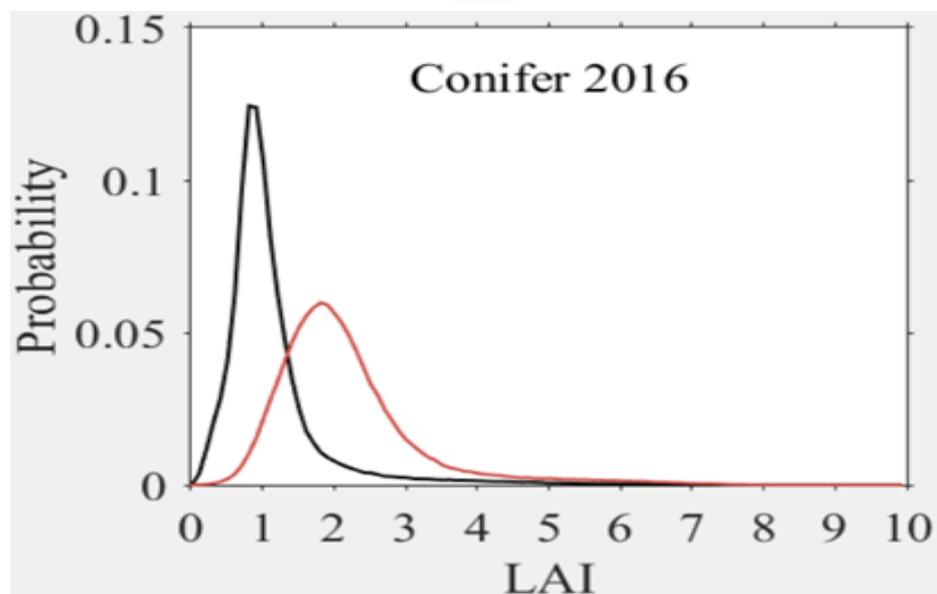
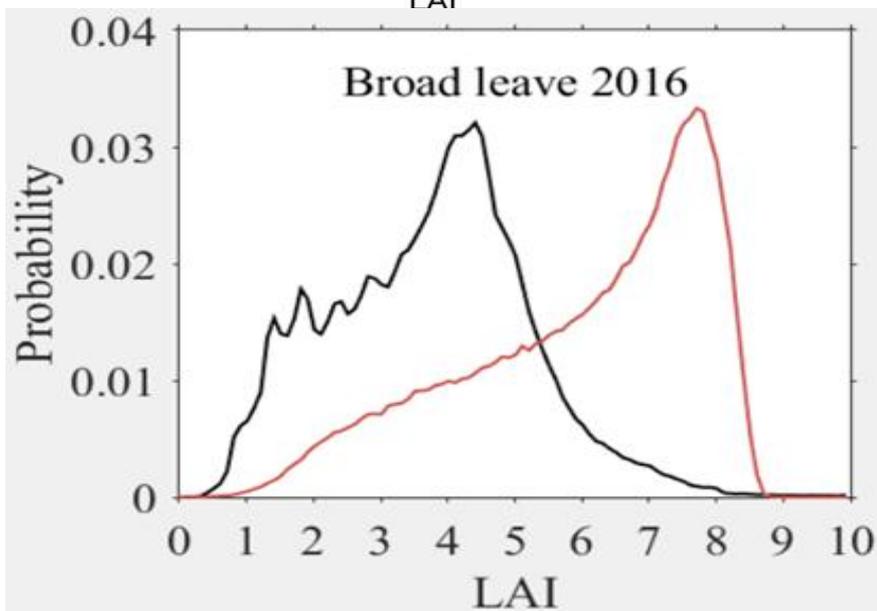
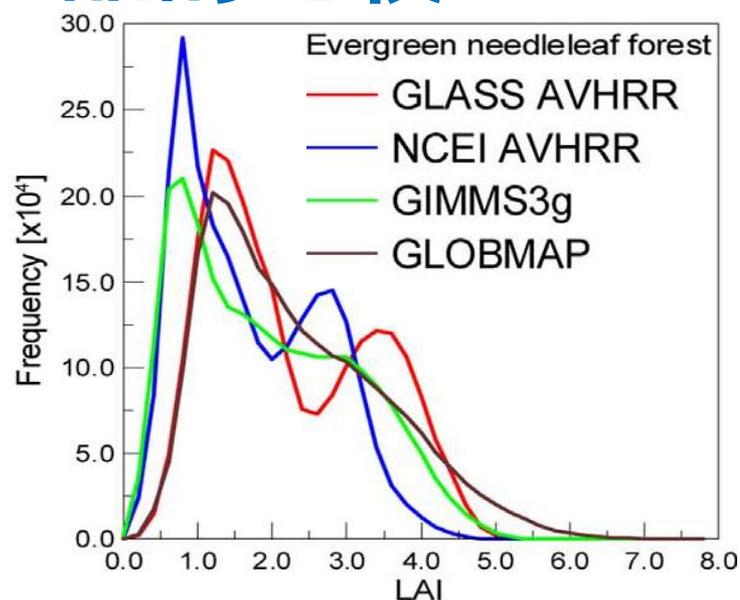
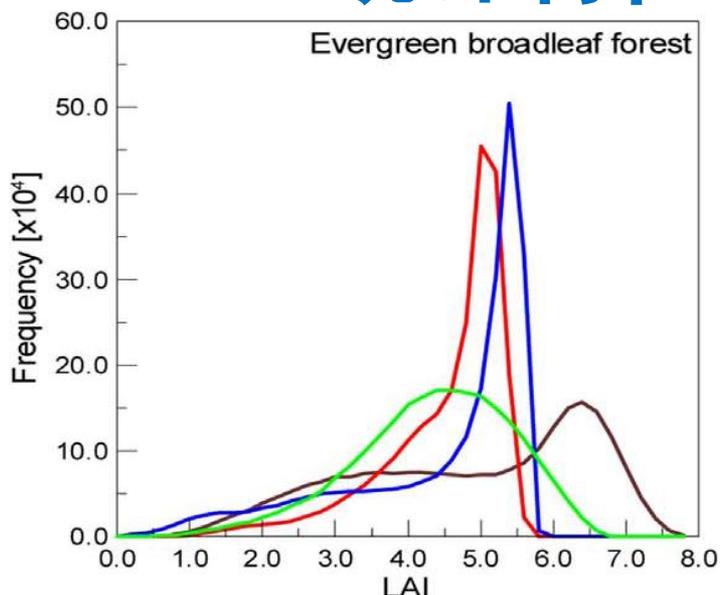
基于FY3 VIRR 数据反演的全球LAI 统计特征与其产品的比较



黑线： 基于FY 数据反演的LAI

红线： 基于MODIS 数据反演的GLOBMAP LAI

基于FY3 VIRR 数据反演的全球LAI 统计特征与其产品的比较



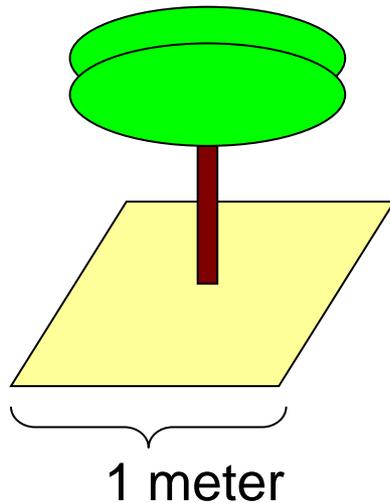
研究方法—聚集度指数遥感提取

➤ 植被叶面积指数与聚集指数

叶密度

叶面积指数

Leaf area index

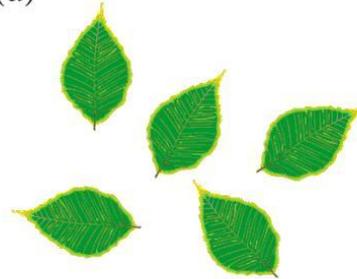


叶空间分布

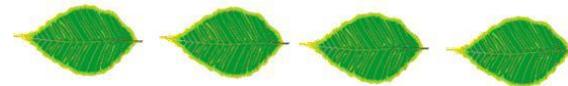
聚集指数

Leaf clumping index

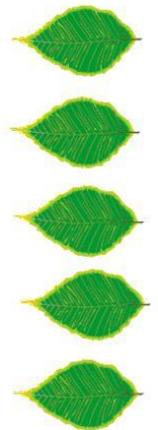
(a) $CI = 1.0$



(b) $CI > 1.0$



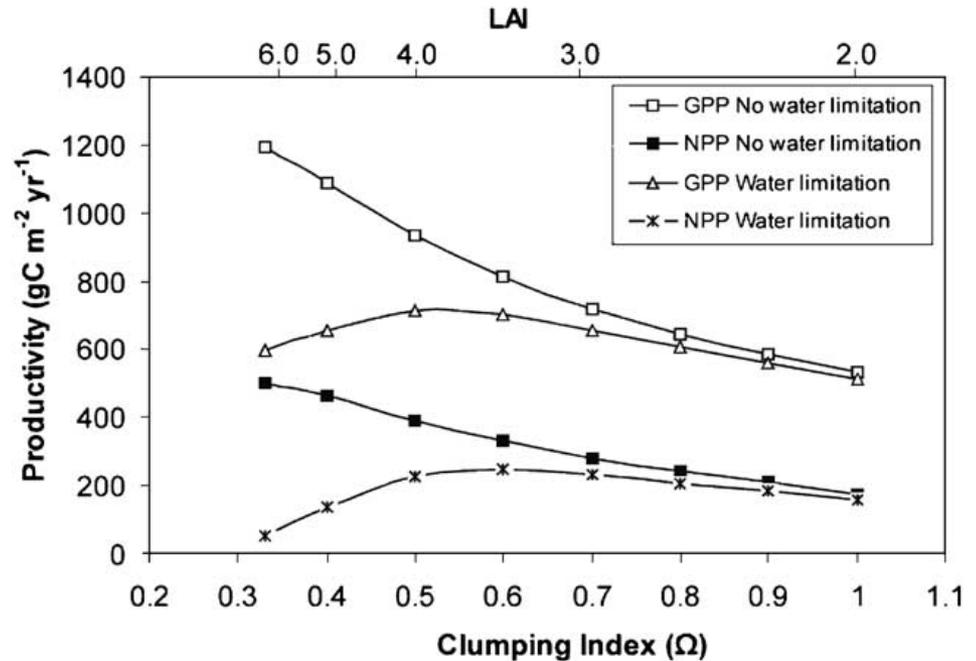
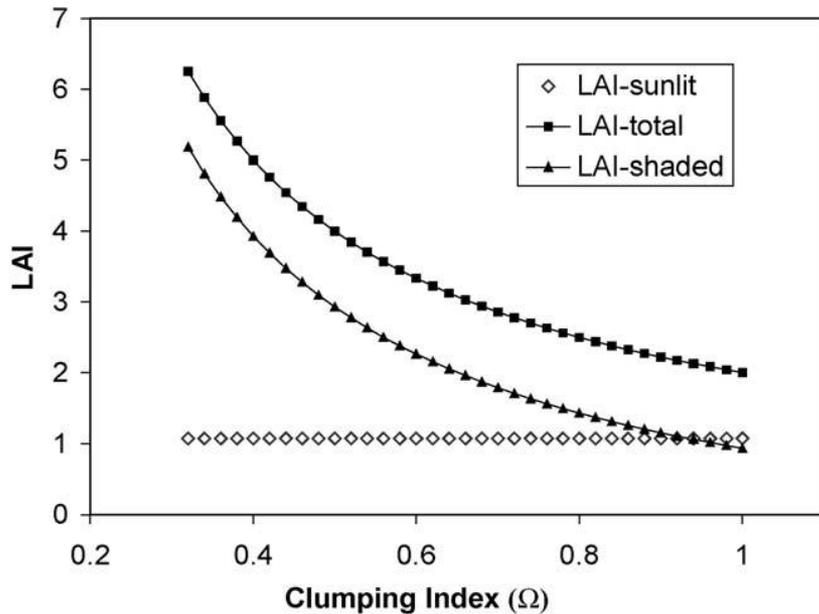
(c) $CI < 1.0$



研究方法—聚集度指数遥感提取

➤ 聚集度指数(Ω) 表征冠层叶片空间分布特征: $\Omega=1.0$, 随机分布; $\Omega>1.0$ 规则分布; $\Omega<1.0$ 聚集分布

➤ $LAI=LAI_e/\Omega$



$LAI_e = 2.0$

研究方法—聚集度指数遥感提取

➤ 聚集度指数估算模型

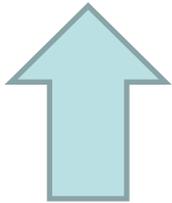
$\Omega = -0.61NDHD + 0.82$, 针叶林

$\Omega = -1.4NDHD + 1.28$, 其他植被

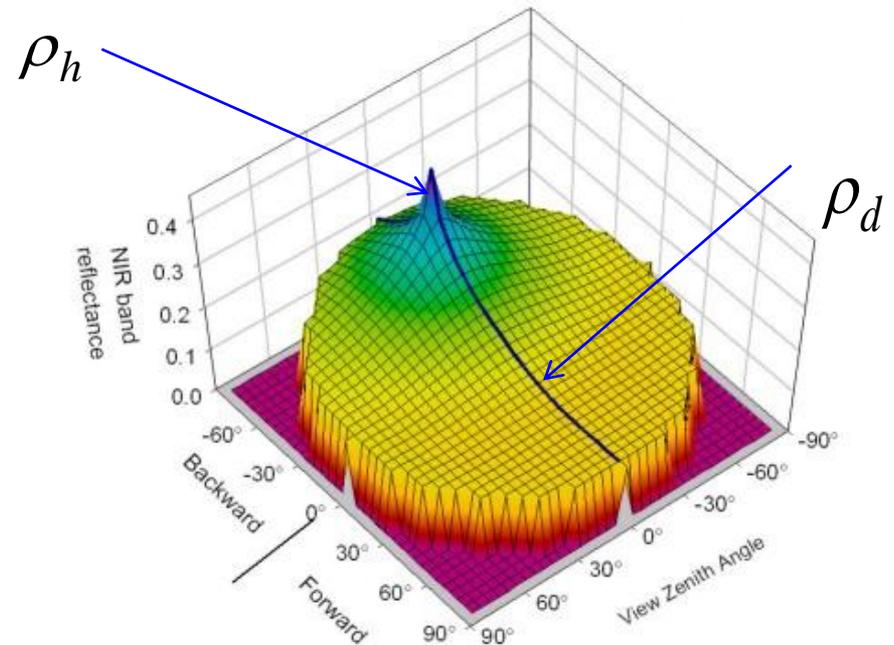
$$NDHD = \frac{\rho_h - \rho_d}{\rho_h + \rho_d}$$

ρ_h : 热点反射率

ρ_d : 暗点反射率

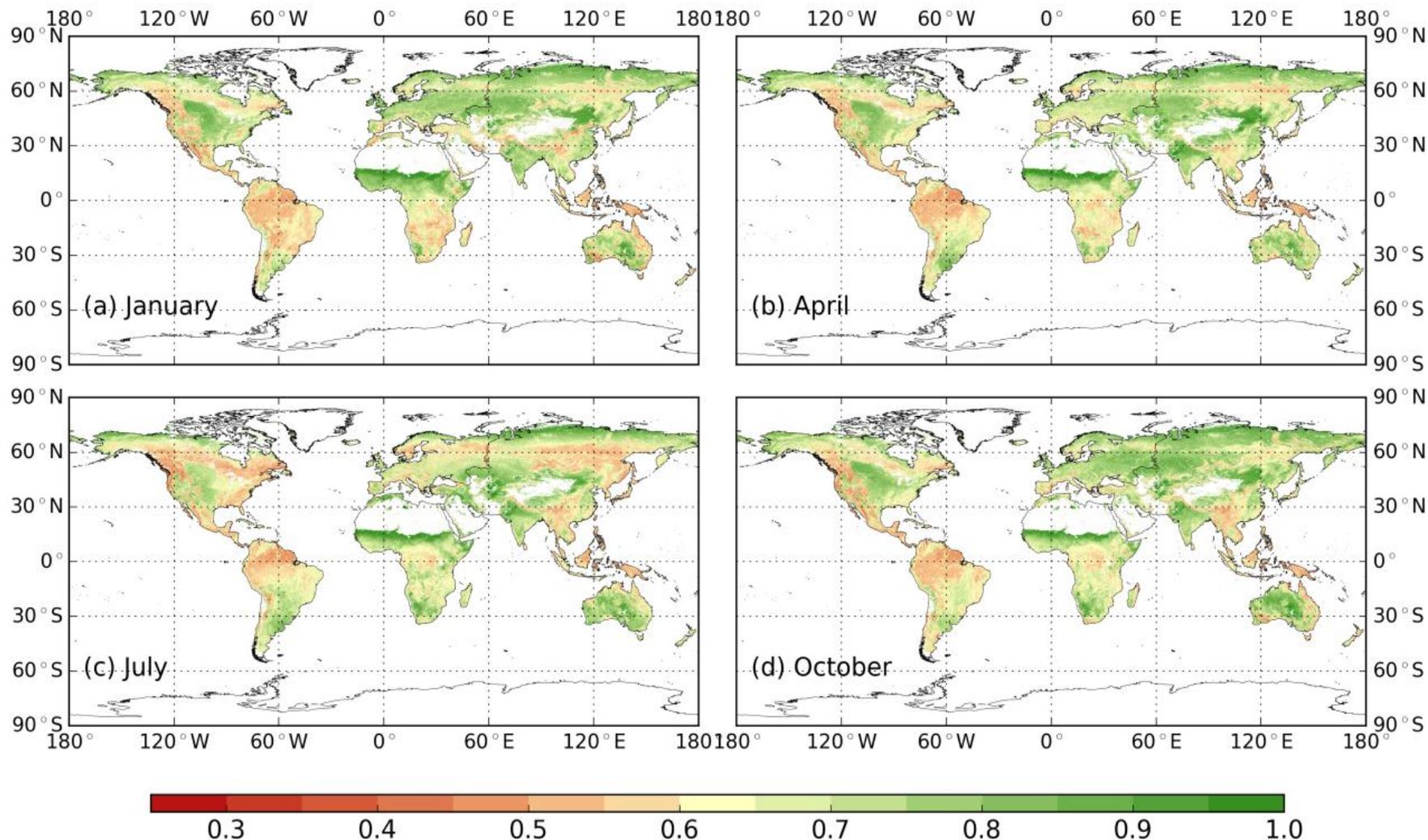


BRDF 产品核系数

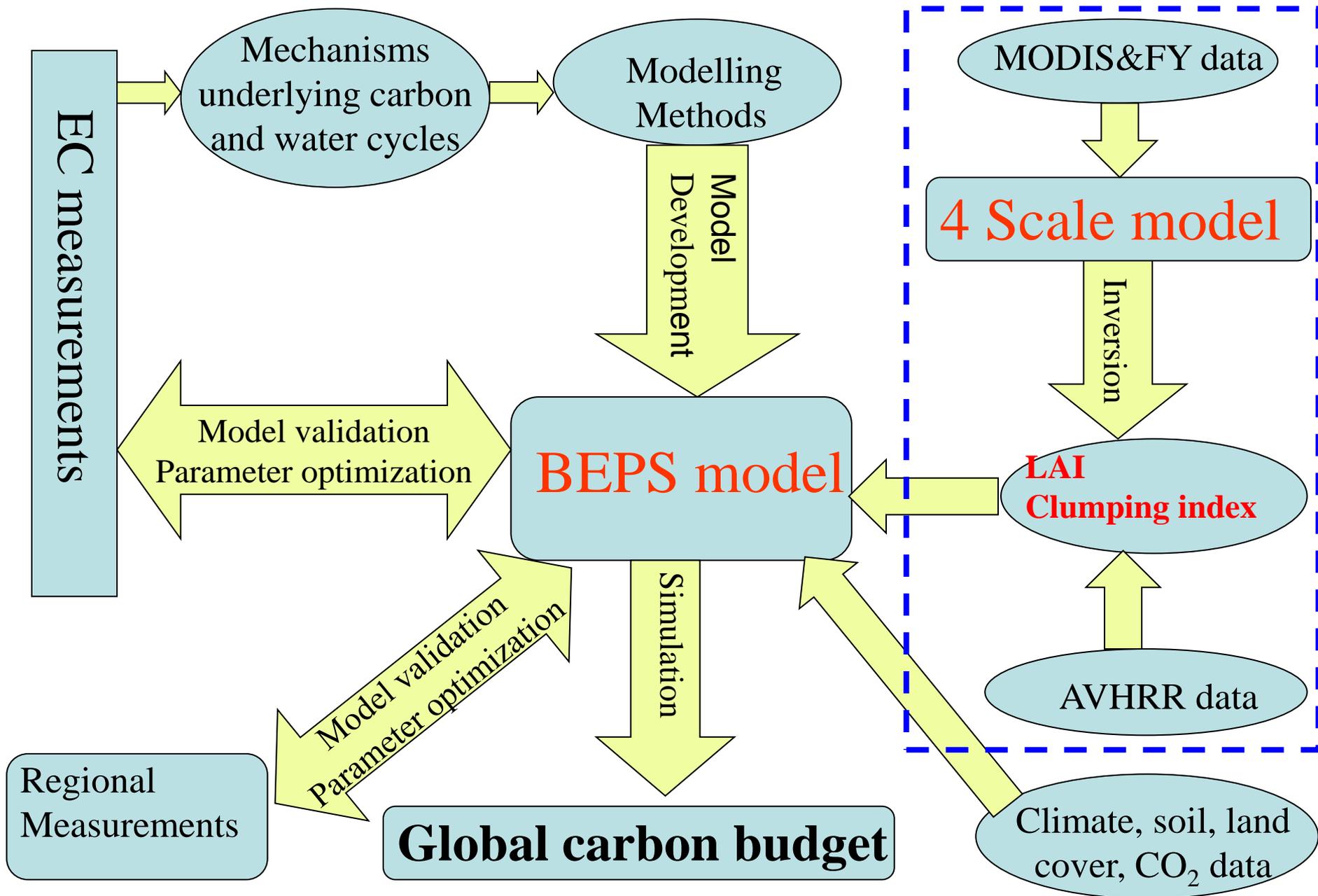


研究方法—聚集度指数遥感提取

不同季节全球植被聚集指数分布



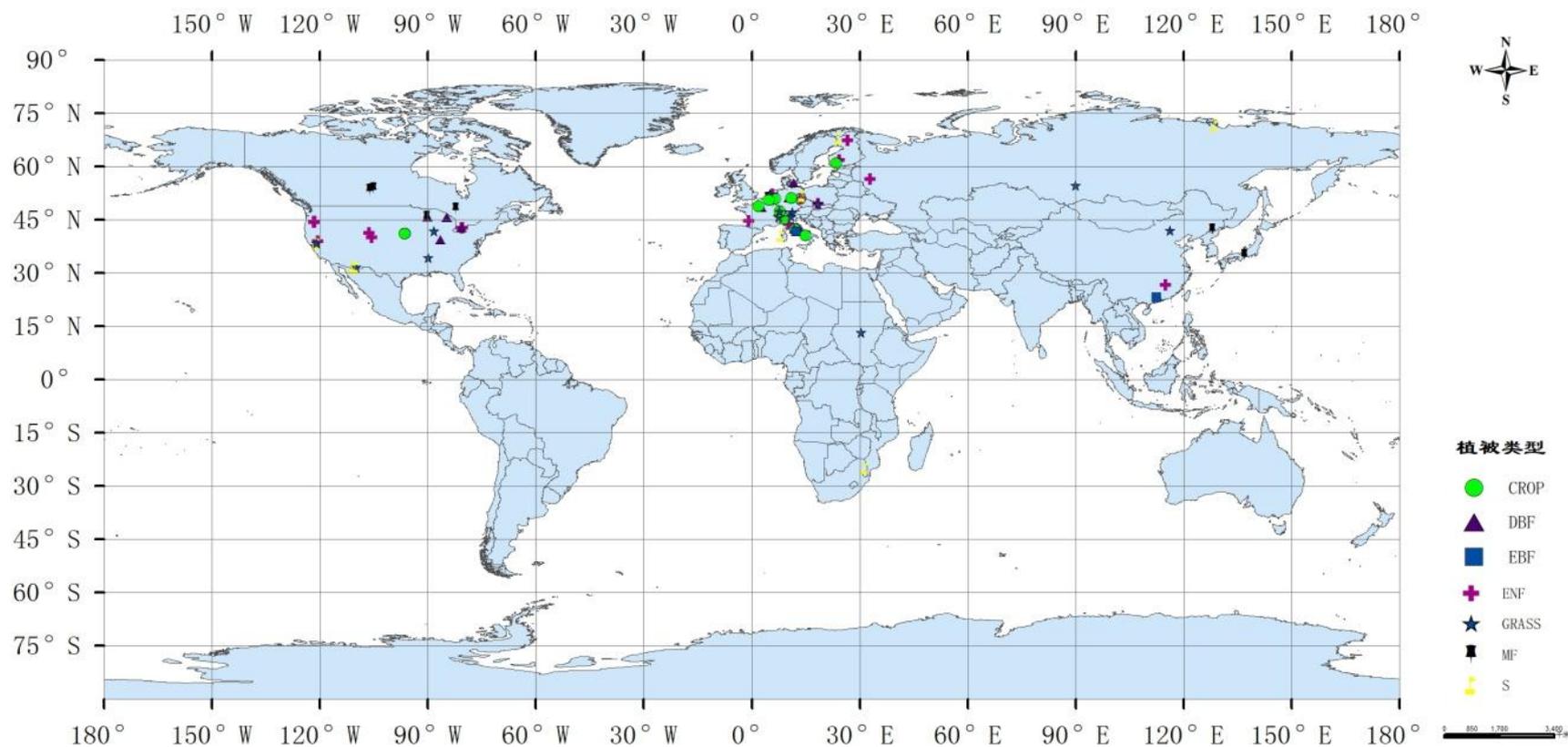
研究方法—全球陆地生态系统通量模拟



研究方法—全球陆地生态系统通量模拟

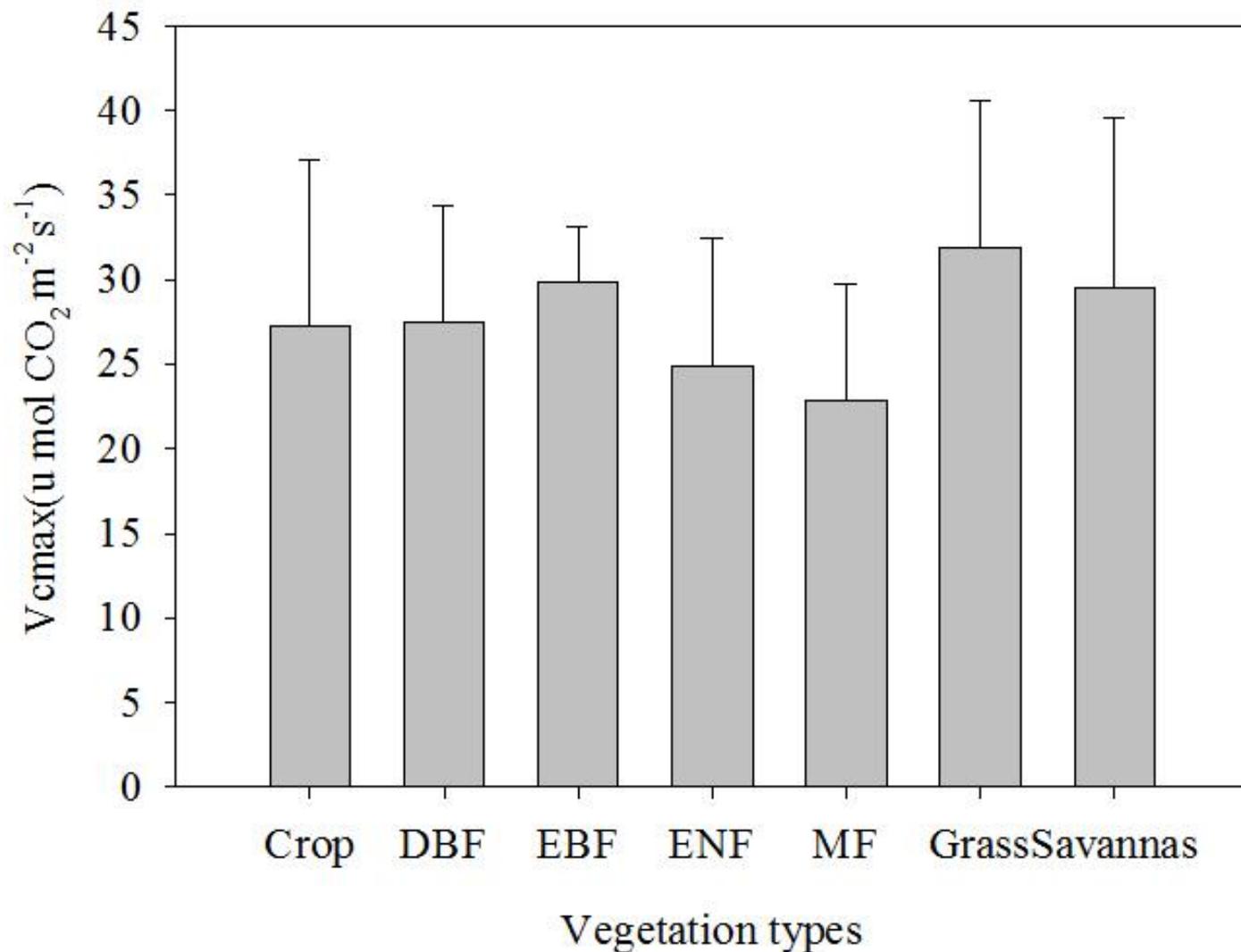
□ 模型参数优化

- ✓ 利用全球典型生态系统碳通量等观测数据、采用集合卡尔曼滤波和马尔科夫-蒙特卡罗方法优化模型参数
- ✓ 全球79个通量站、873站年数据



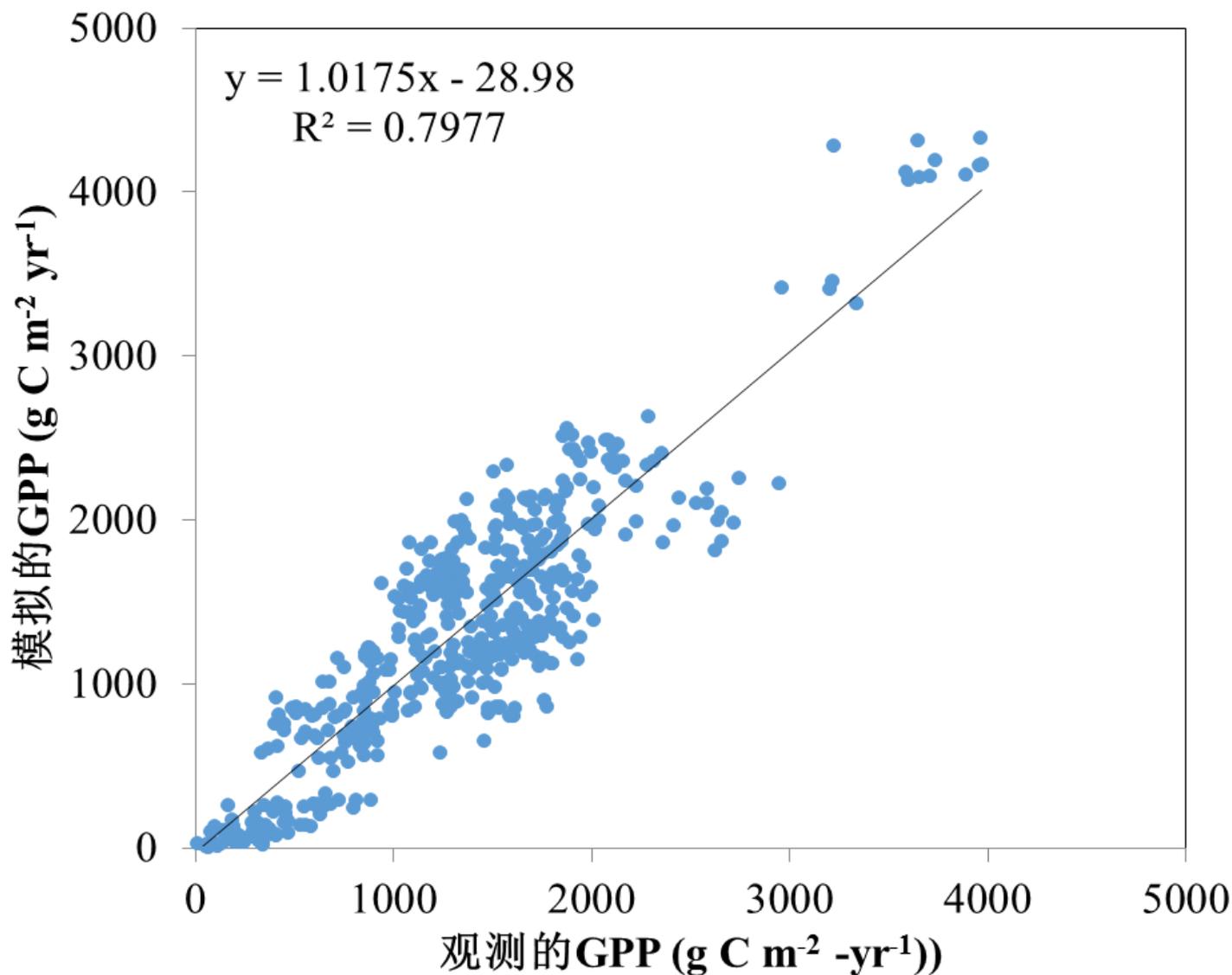
研究方法—全球陆地生态系统通量模拟

◆ 模型参数优化



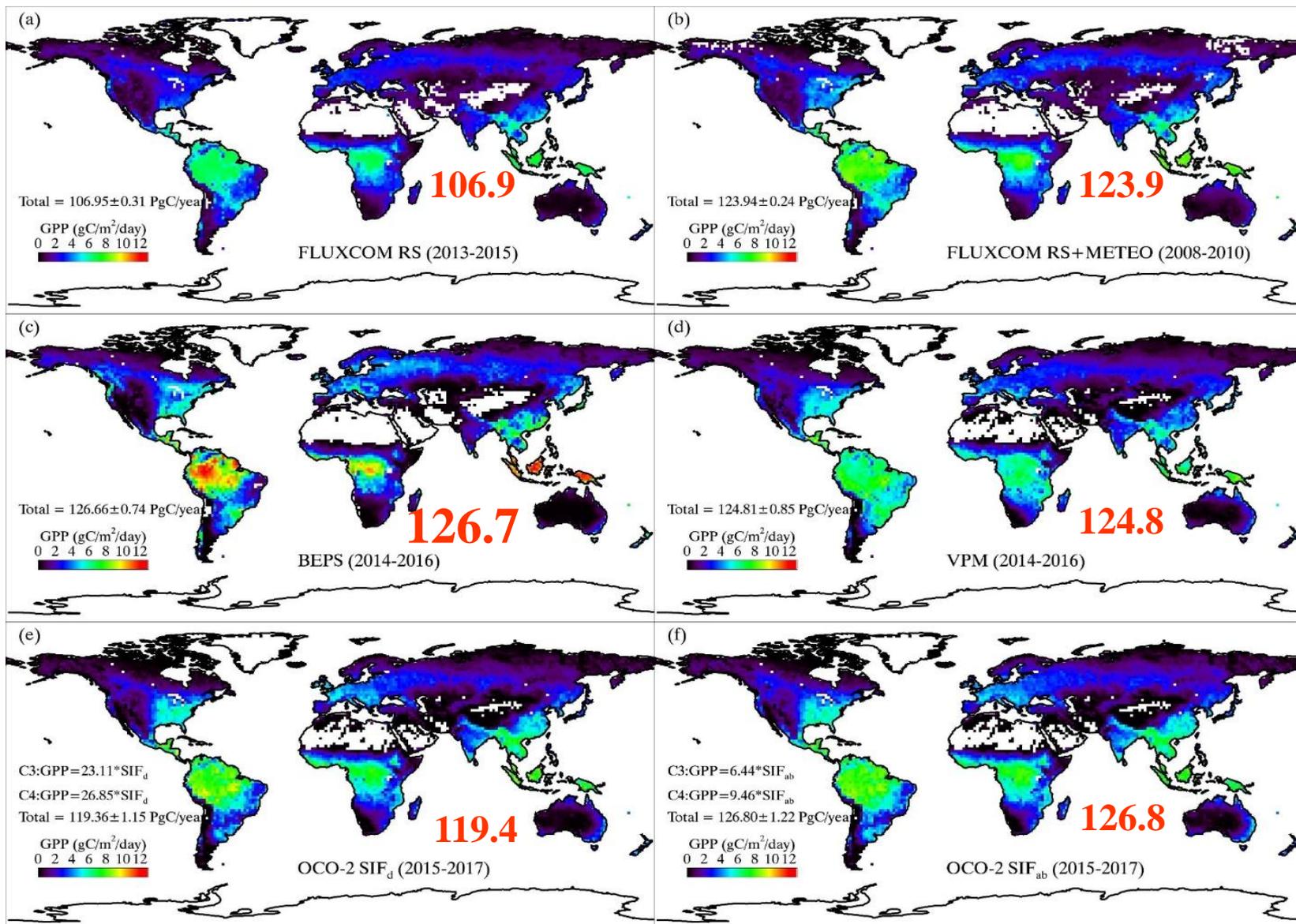
研究方法—全球陆地生态系统通量模拟

◆ 模拟的GPP站点验证



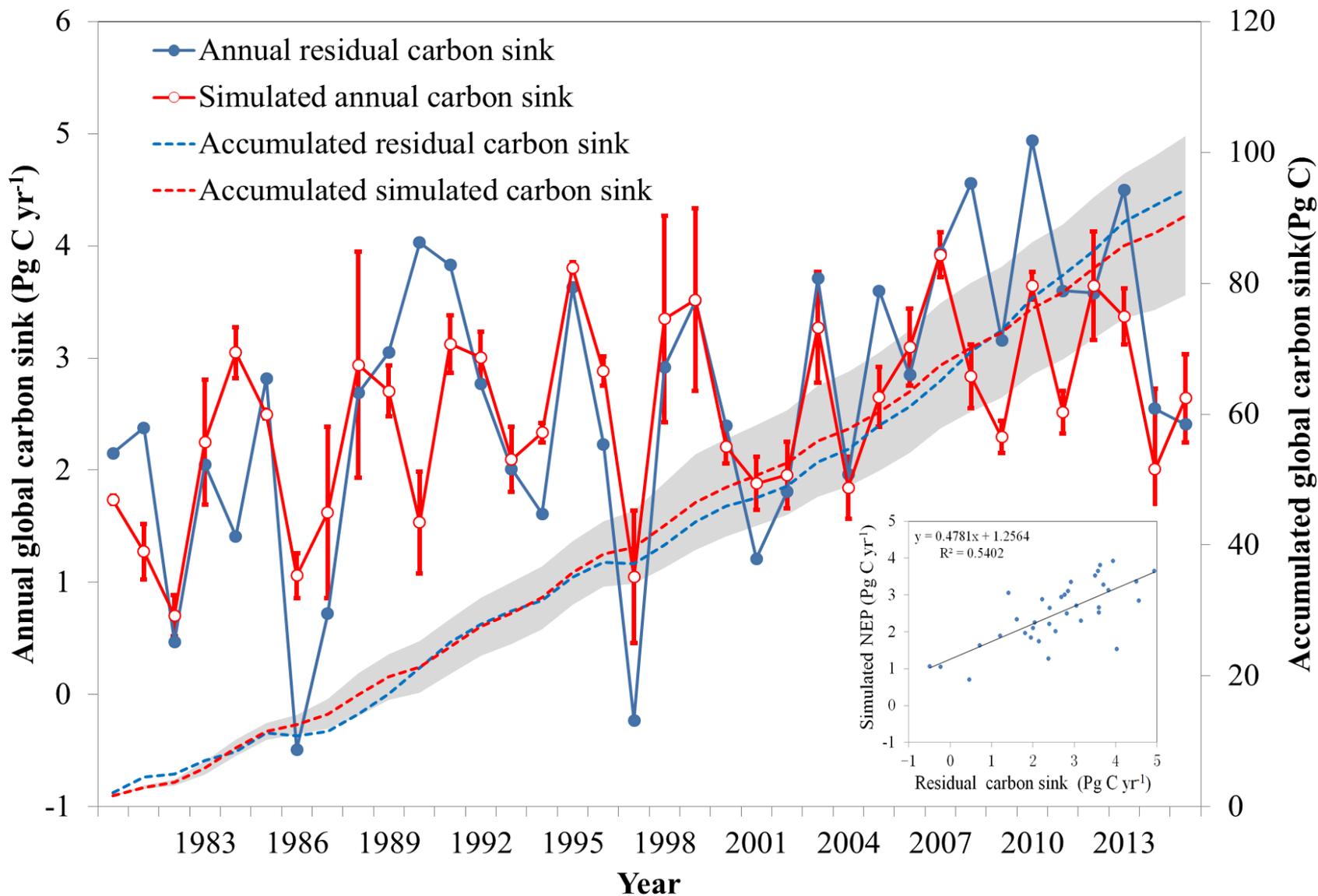
研究方法—全球陆地生态系统通量模拟

◆ 模拟的GPP比较

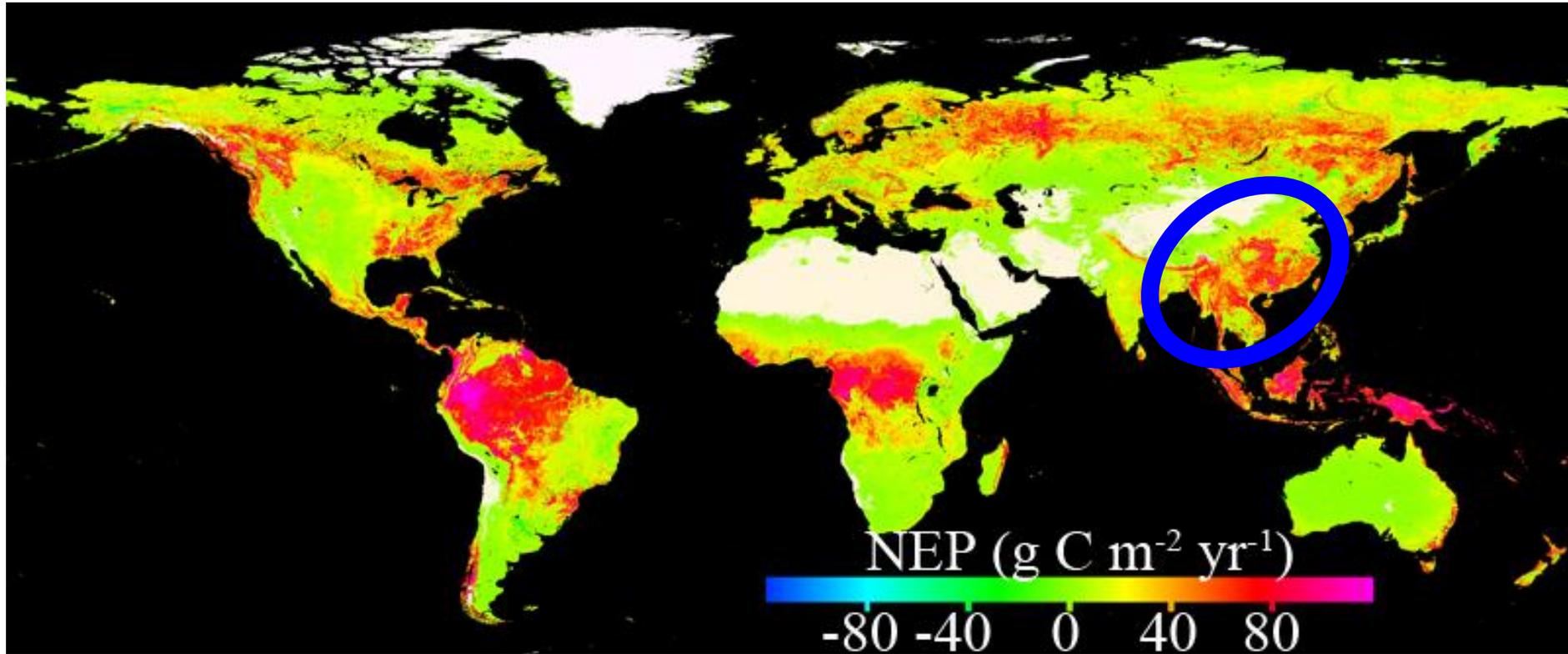


研究方法—全球陆地生态系统通量模拟

◆ 模拟的全球NEP验证

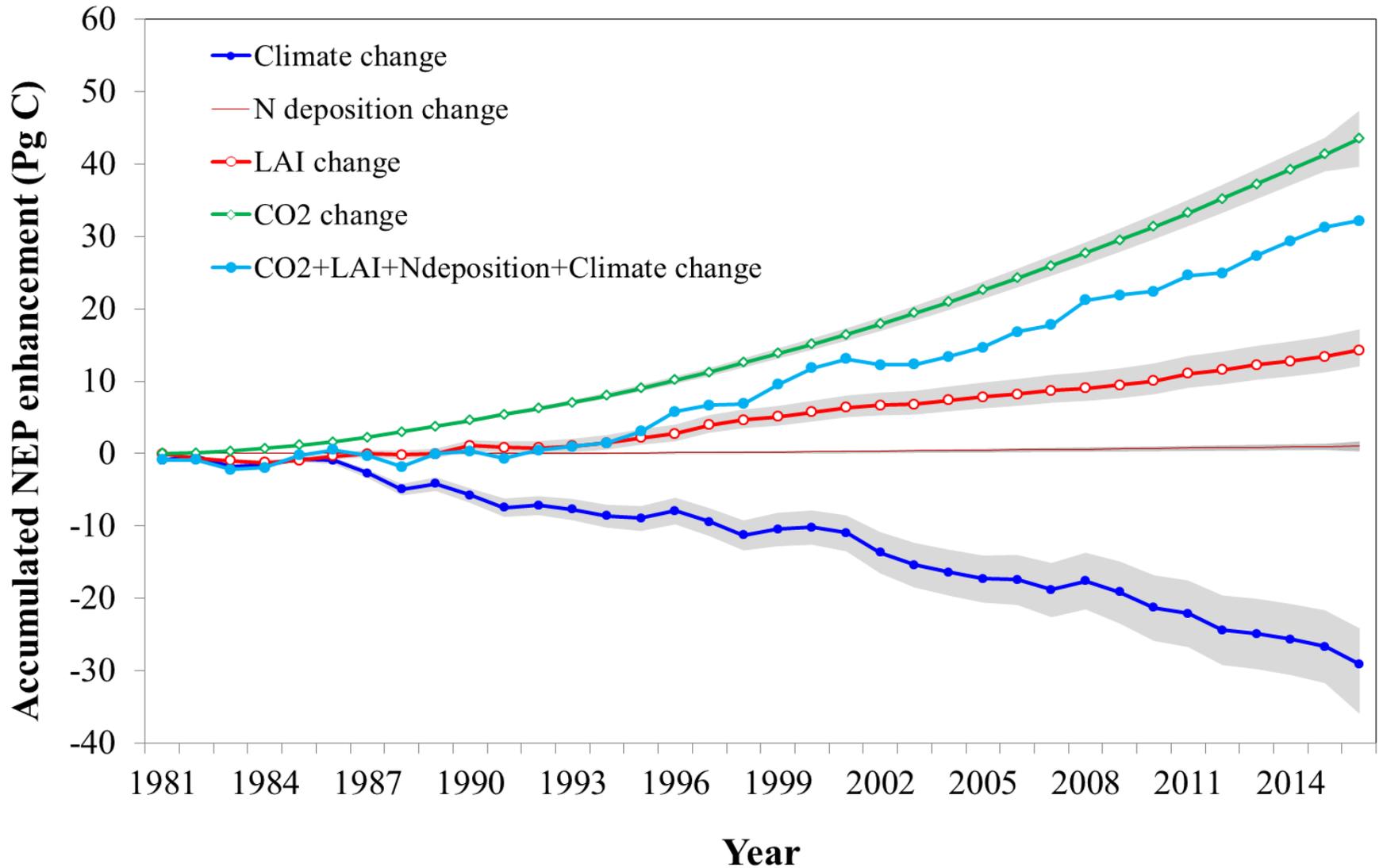


主要结果—全球陆地生态系统碳通量格局

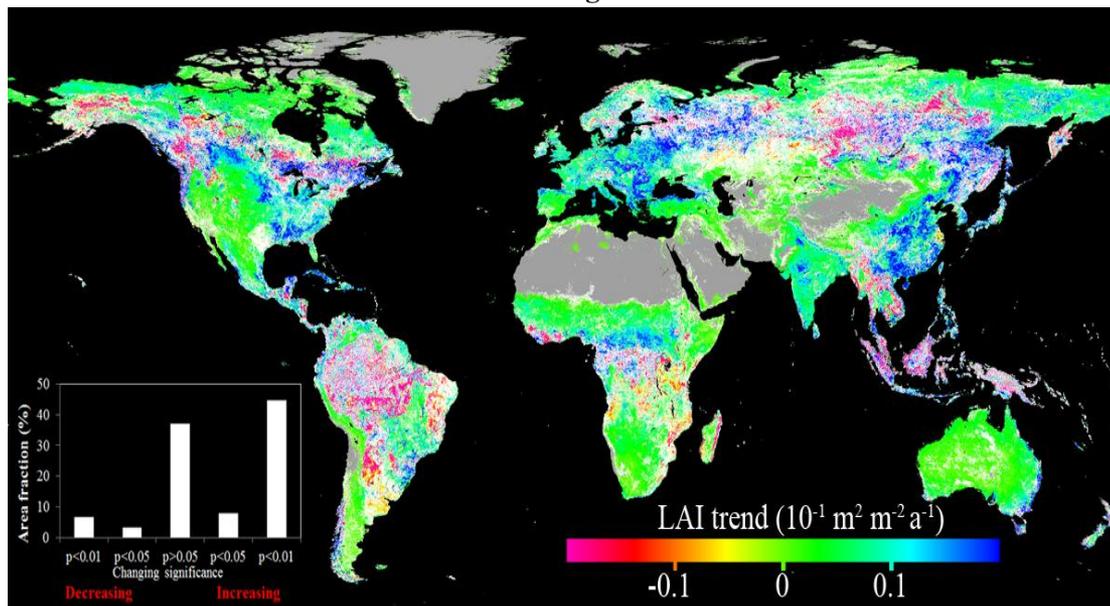
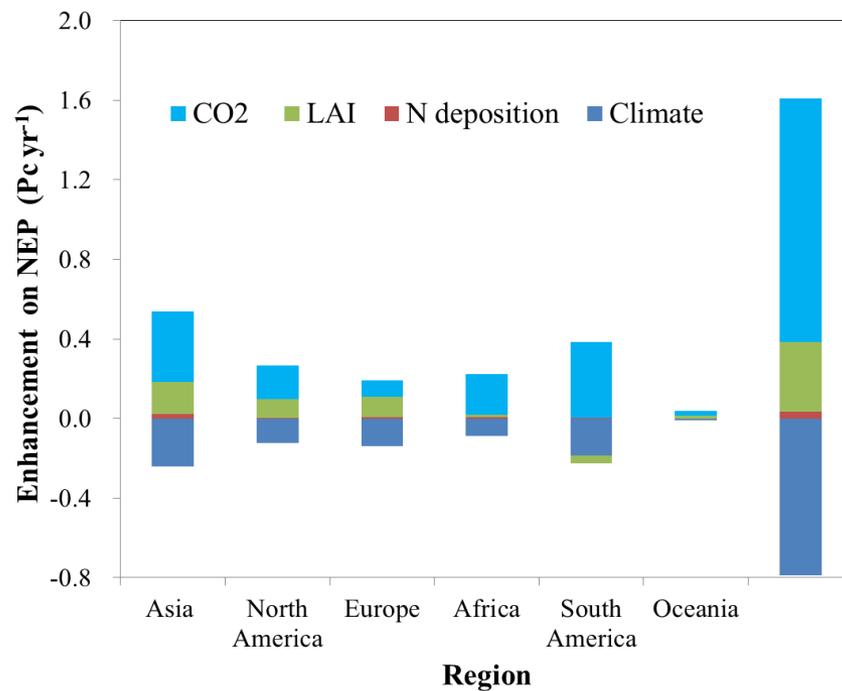


1982-2016年平均NEP

主要结果—不同因子贡献

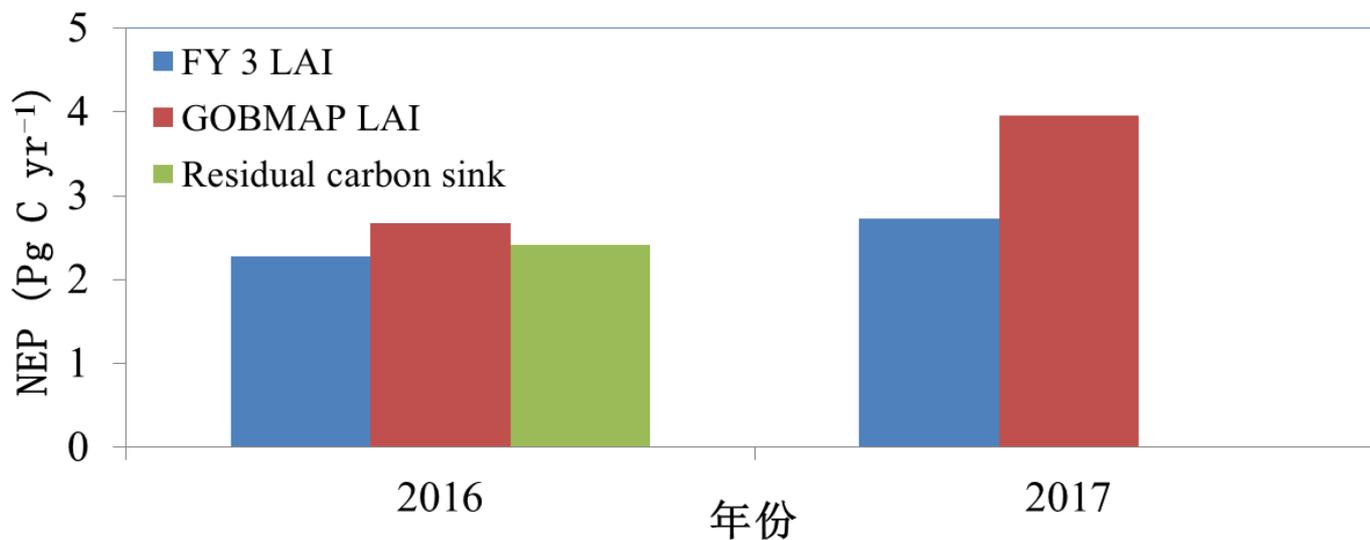
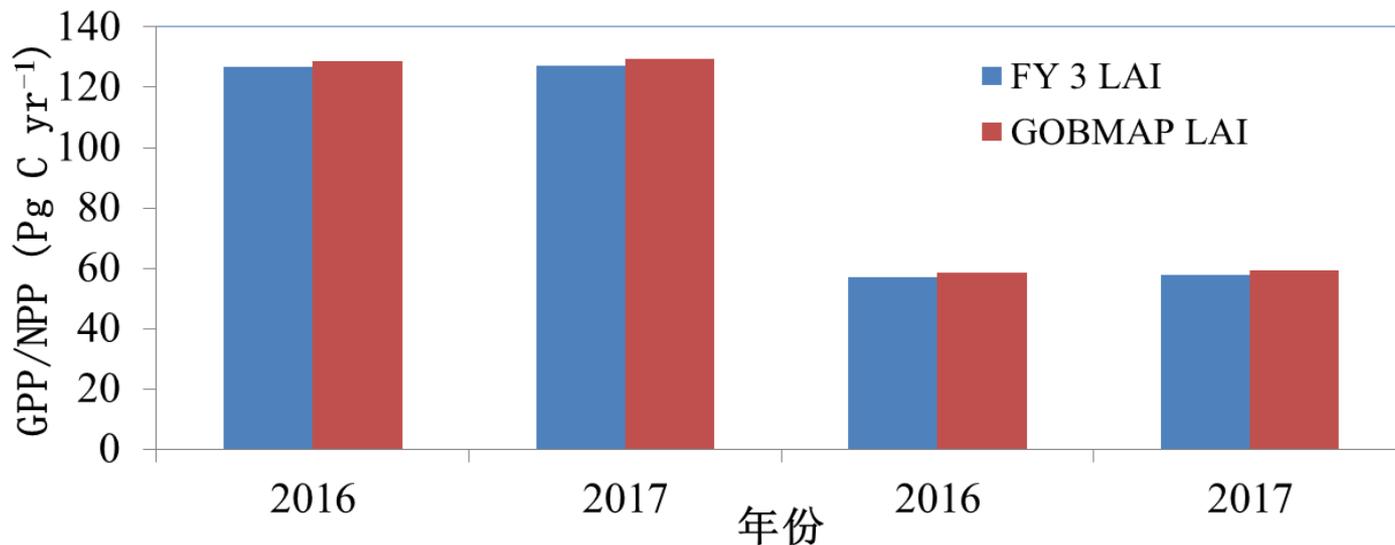


主要结果一不同因子贡献



主要结果—基于FY VIRR LAI数据模拟的碳通量

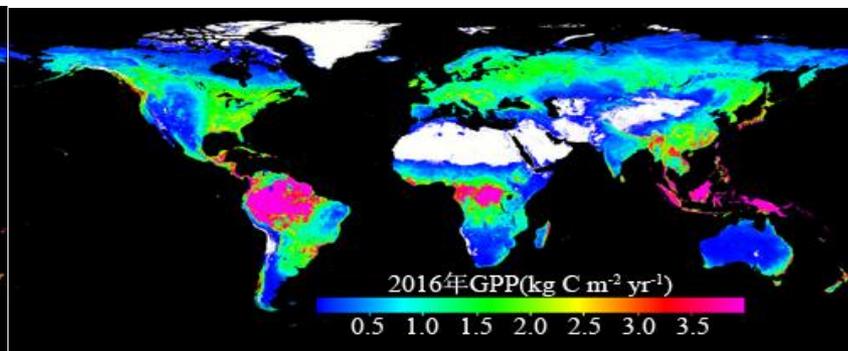
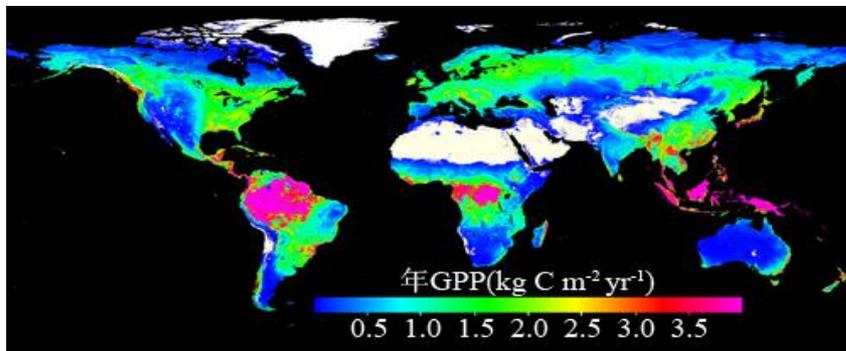
◆ 利用不同LAI数据模拟的全球陆地生态系统碳通量对比



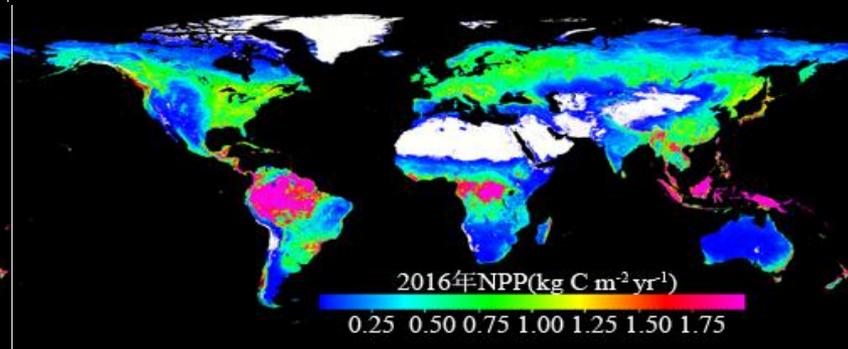
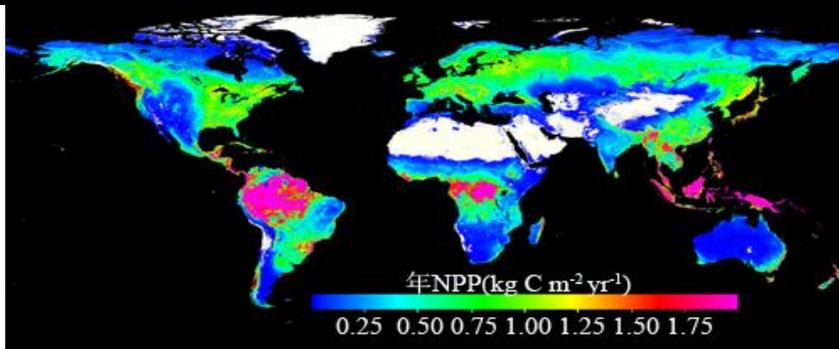
主要结果—基于FY VIRR LAI数据模拟的碳通量

模拟的2016年全球碳通量空间分布

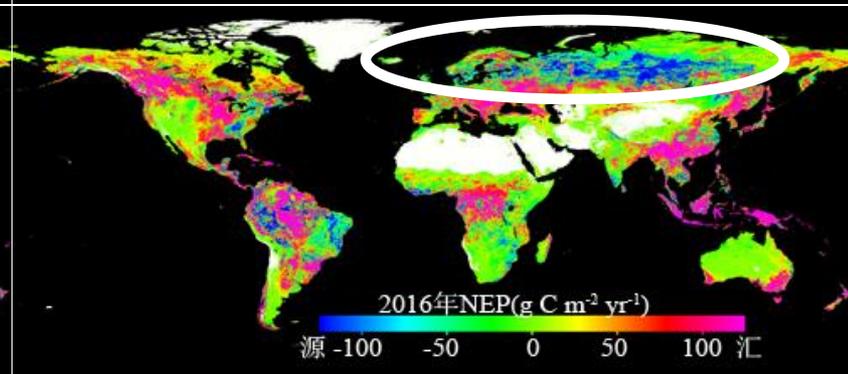
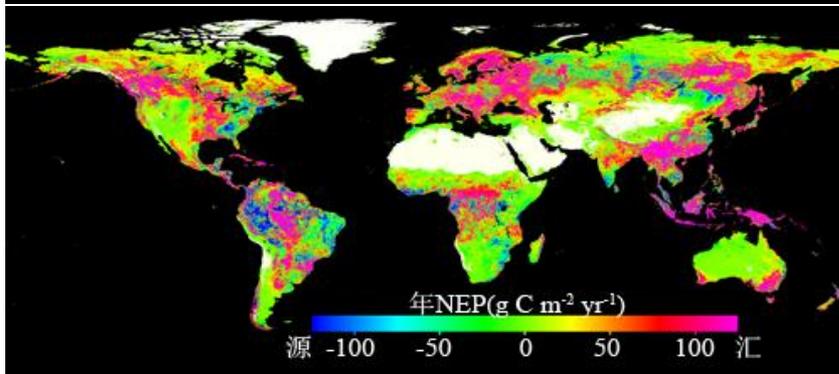
GPP



NPP



NEP



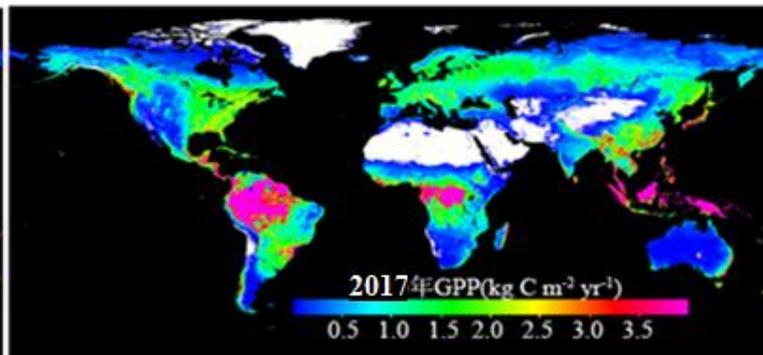
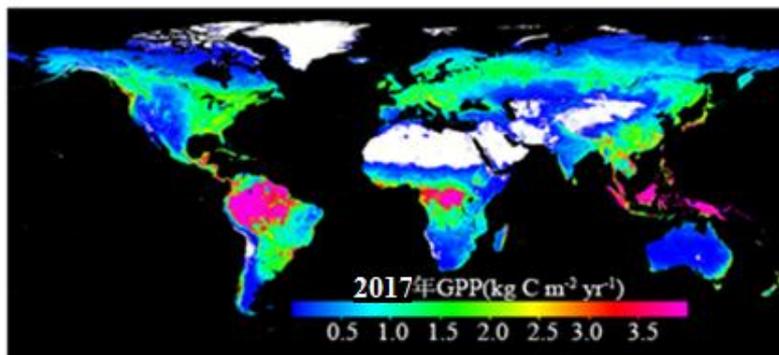
GOBAMP LAI

FY3-LAI

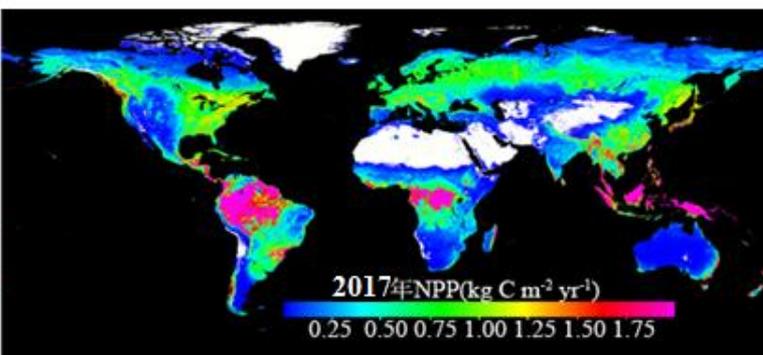
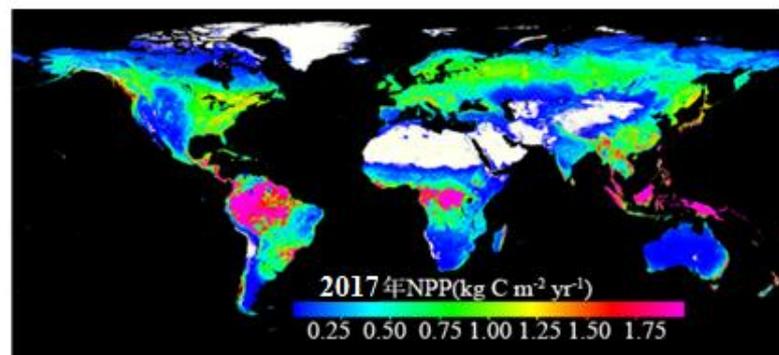
主要结果—基于FY VIRR LAI数据模拟的碳通量

模拟的2017年全球碳通量空间分布

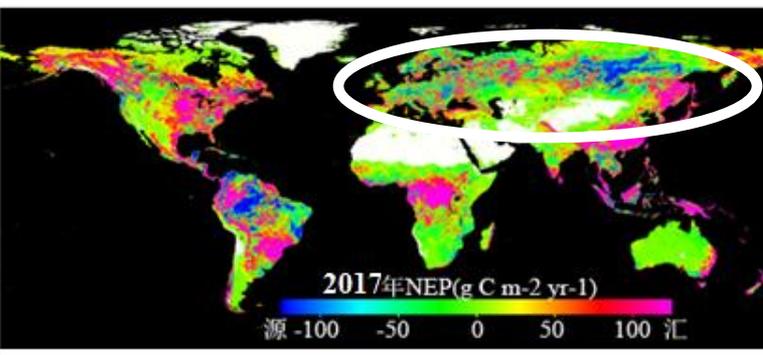
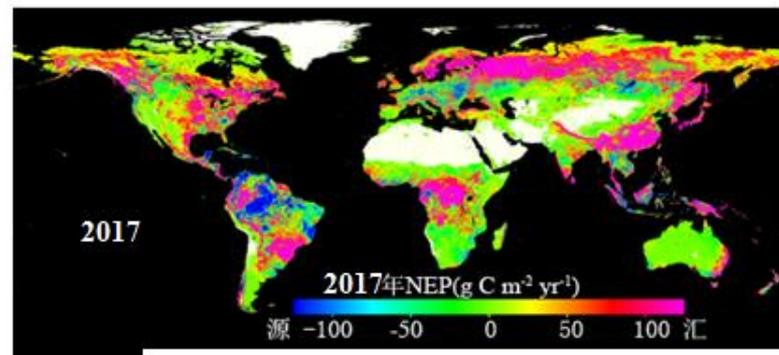
GPP



NPP



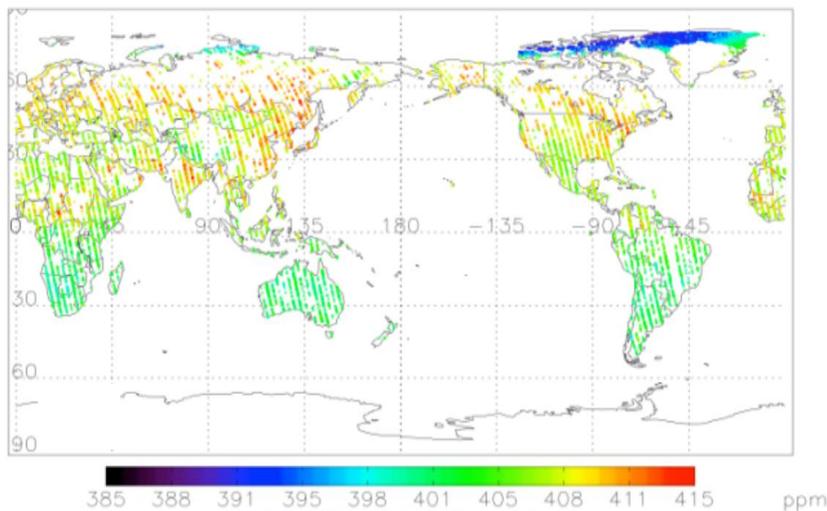
NEP



GOBAMP LAI

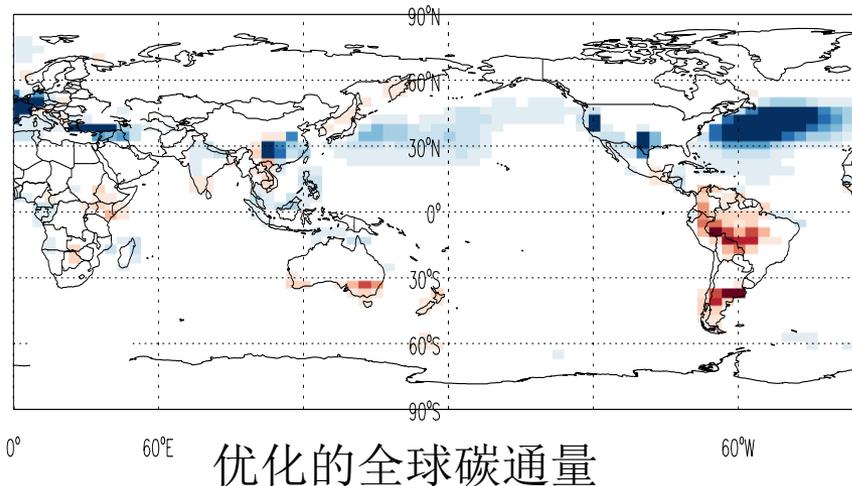
FY3-LAI

主要结果—基于FY VIRR LAI数据模拟的碳通量在全球碳同化系统的应用

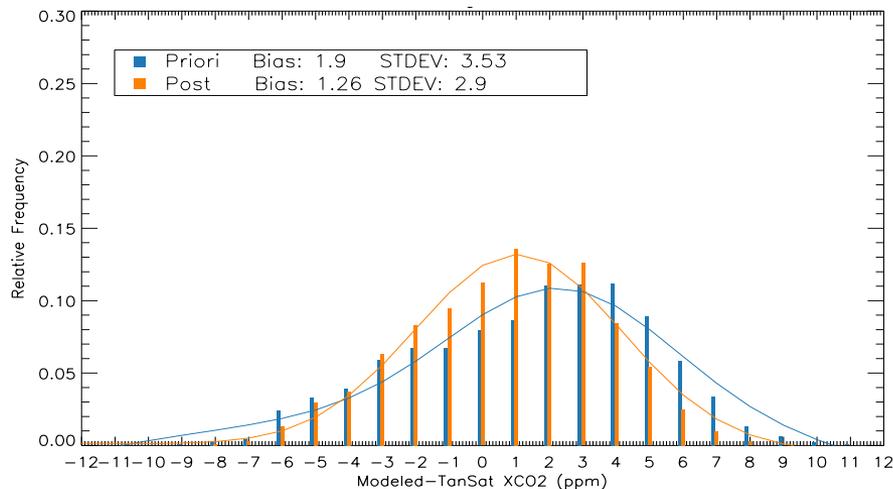


2017年4月TanSat XCO₂产品

以基于FY3-VIRR LAI 反演的LAI 驱动BEPS模型，输入GCAS-II全球碳同化系统，以TanSat的XCO₂产品作为观测，优化陆地生态系统碳通量。



优化的全球碳通量



模拟与TanSat的XCO₂结果的对比

主要结论

- ◆ 利用FY3 VIRR数据反演的LAI与利用 MODIS数据反演的LAI的空间分布总体特征相似，但在茂密森林（热带常绿阔叶林、欧亚大陆寒带针叶林）地区差别较大；
- ◆ 将利用FY3 VIRR数据反演的LAI与MODIS/AVHRR反演的LAI融合对接后可以模拟较好地模拟全球陆地生态系统碳通量的变化特征；
- ◆ 为了更好地利用FY 卫星数据监测全球陆地生态系统碳通量，需要发展FY数据与MODIS/AVHRR数据融合对接的算法，并生成长时间序列的地表参数序列数据。

谢谢大家！