



——第19届中美碳联盟（USCCC）年会——

Increasing temperature regulates the advance of peak photosynthesis timing in the boreal ecosystem

汤旭光

西南大学地理科学学院

杭州师范大学遥感与地球科学研究院

站点尺度涡动
相关技术

数据-模型融合
技术

STE 2022; JOH 2018, 2023

气候变化（极端事件）

影响
响应

生态系统碳、水循环及其
耦合关系研究

FEM/CATENA 2022; STE 2017

生态系统管理（干扰）

影响
响应

AWM 2018, 2022; STE 2018; FEM 2013

AFM 2012, 2022; STE 2016; SR 2014

碳水通量观测数据

卫星遥感数据

气象观测数据

外来干扰资料

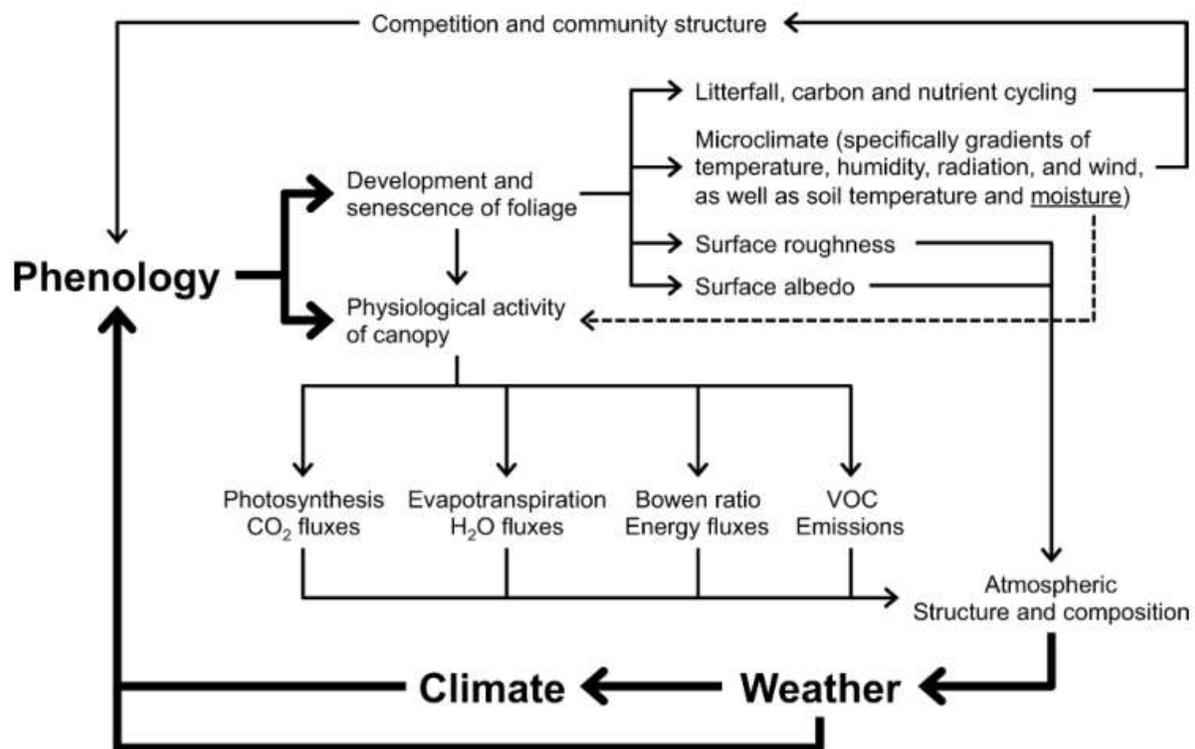


研究背景

Background and significance of the research



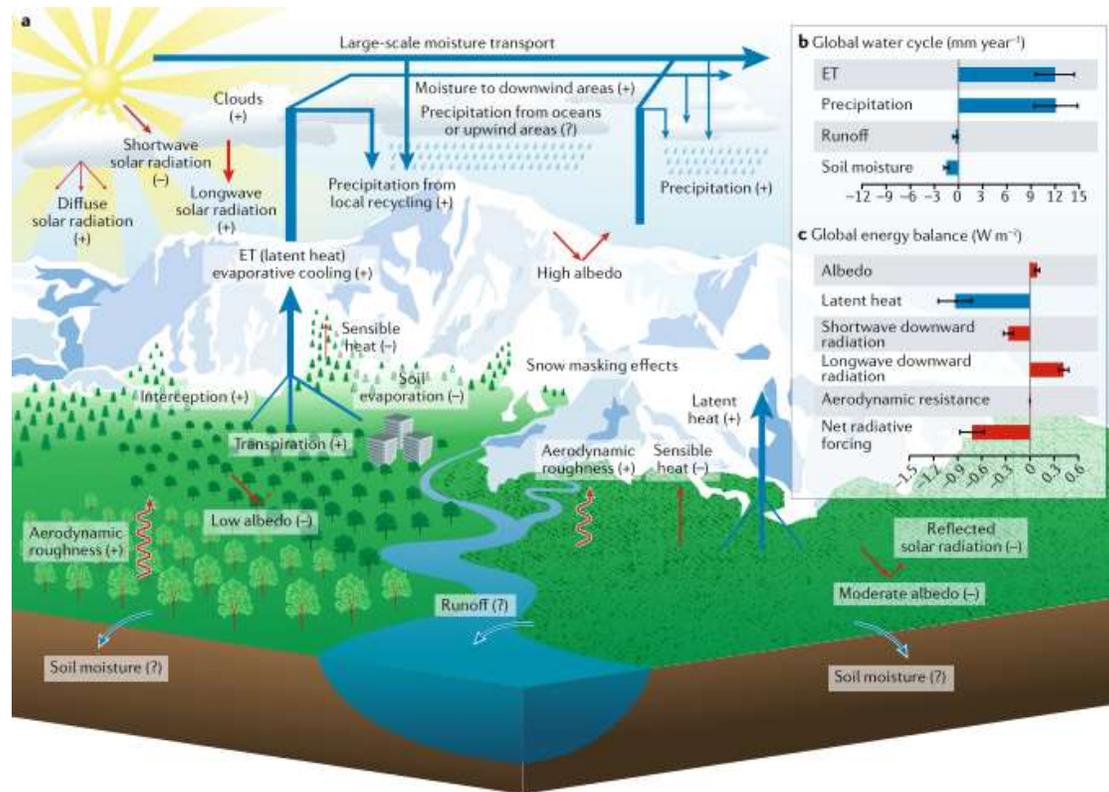
研究背景



(Richardson et al., 2013, Agricultural and Forest Meteorology)



植被物候被称为反映气候变化**最直接、最敏感**的“生物指示器”，植被物候变化对整个生态系统碳、水循环产生**根本性影响**。

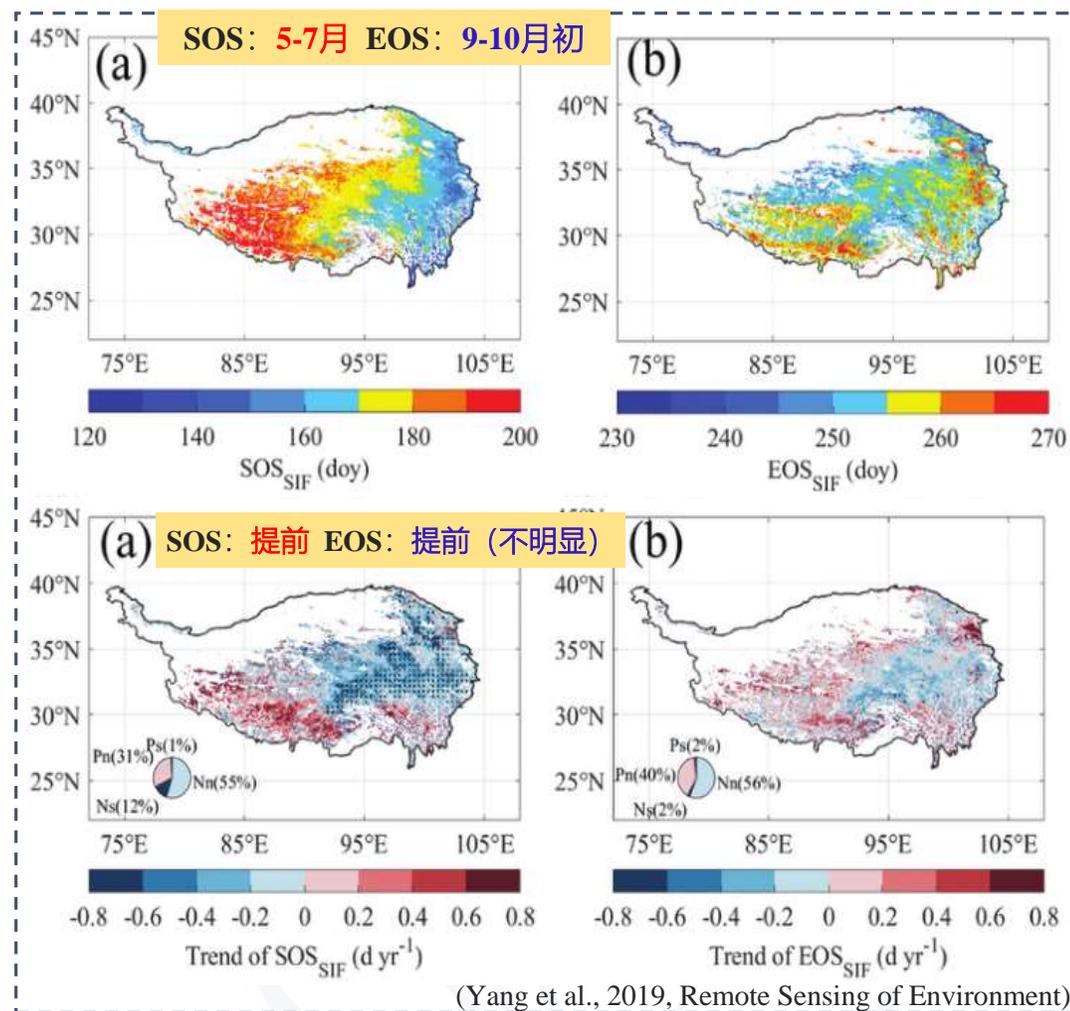
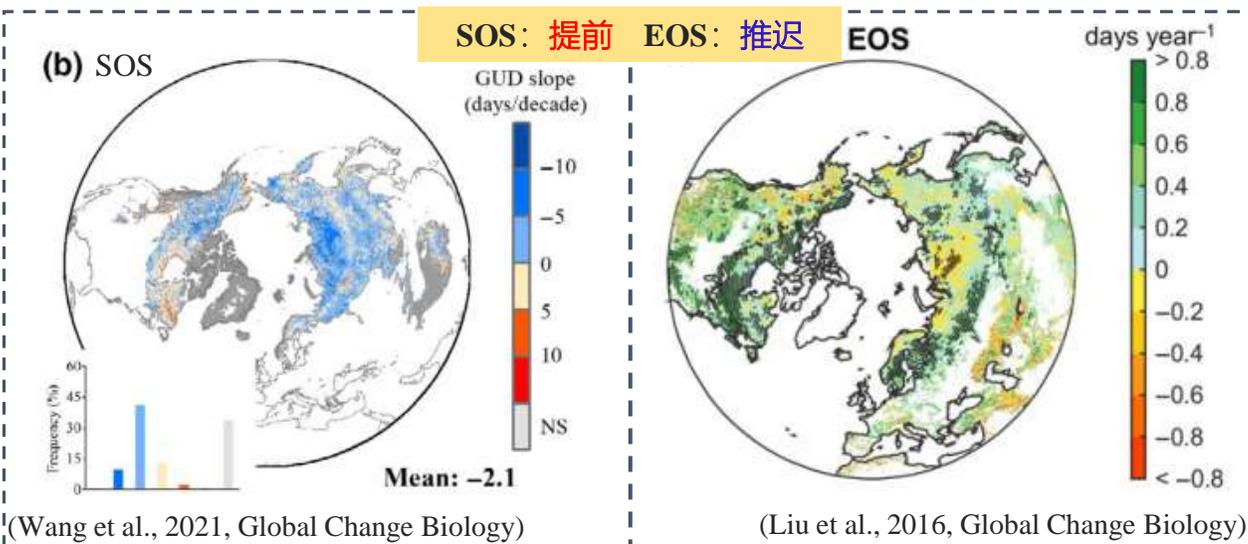
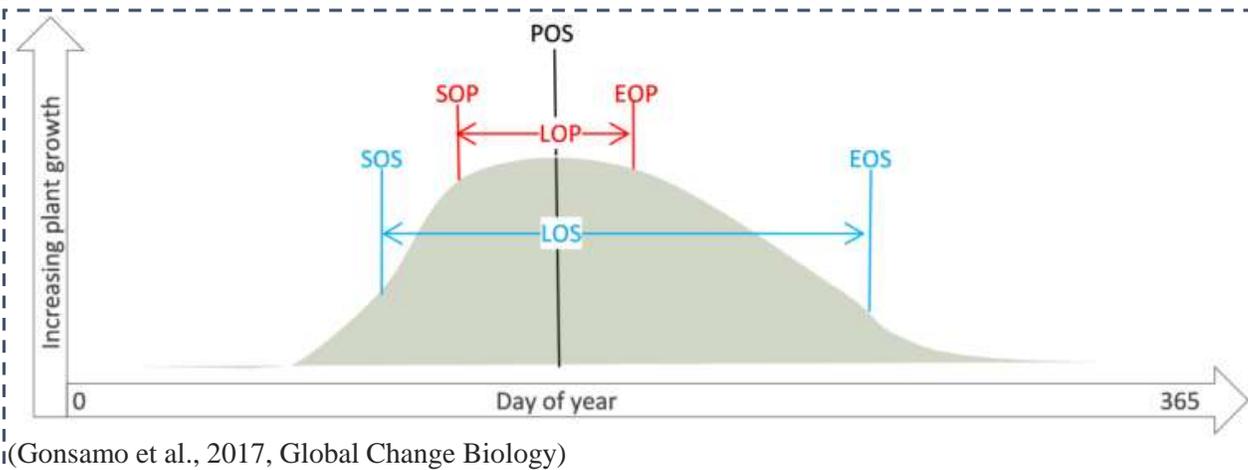


(Piao et al., 2020, Nature Reviews Earth & Environment)



研究植被对全球气候变化的响应，是全球变化生态学研究中的**热点问题**，对实现碳中和应对气候变化具有**重要意义**。

研究背景



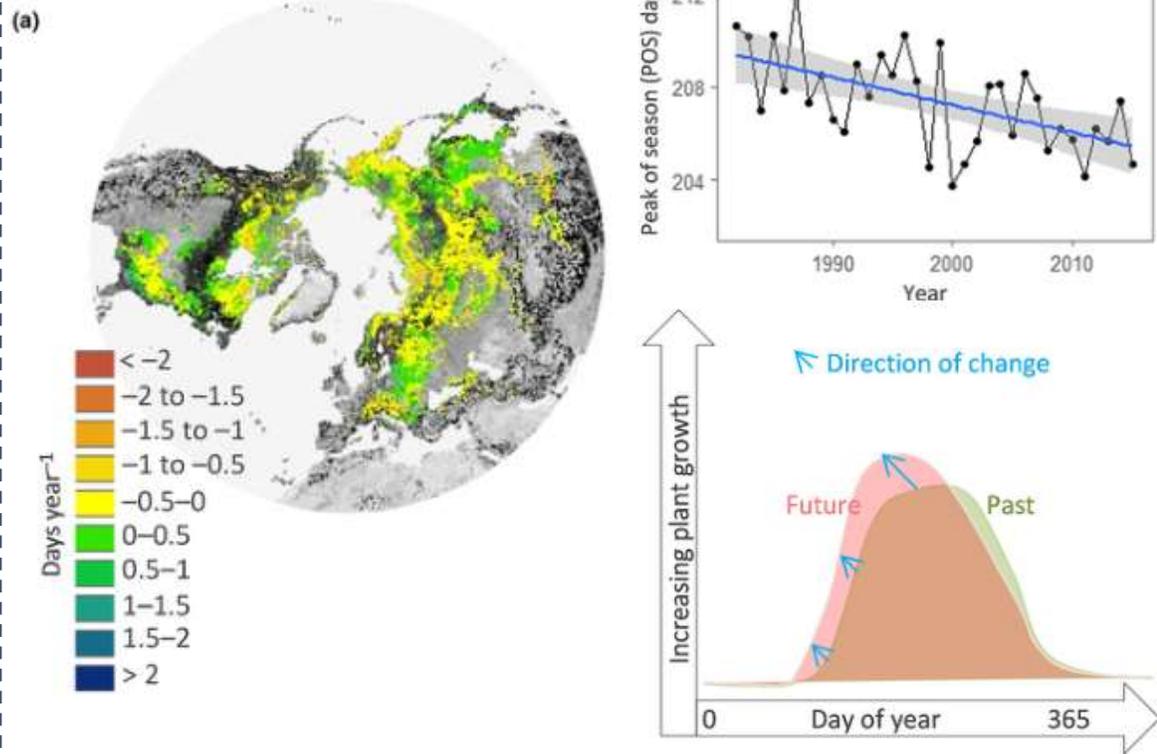
此前的植被物候研究大多聚焦于生长季的开始时间 (SOS)、结束时间 (EOS) 以及生长季的长度 (LOS)，而对**峰值时间**的关注较少。

峰值期: 季节光合能力达到**最大值**的时间，是植被最大资源可利用时间的良好替代指标。峰值期的变化直接影响旺季的陆地碳吸收，从而影响年碳收支。

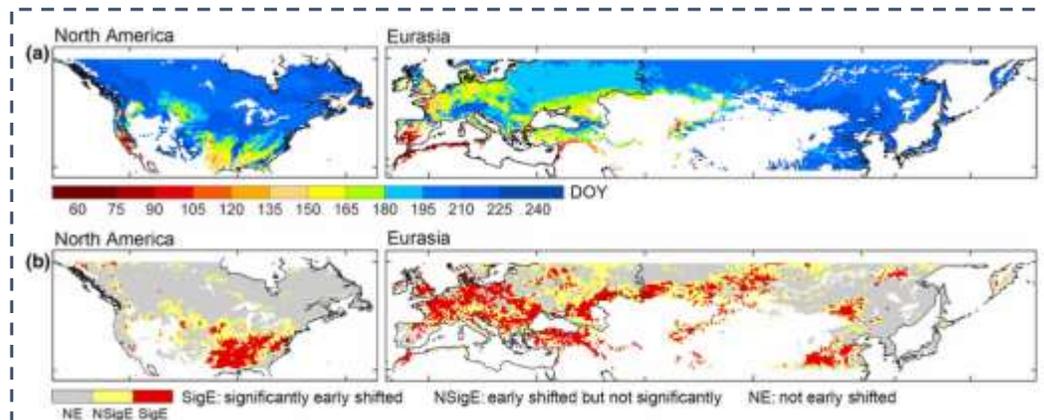


研究背景

北半球：POS提前

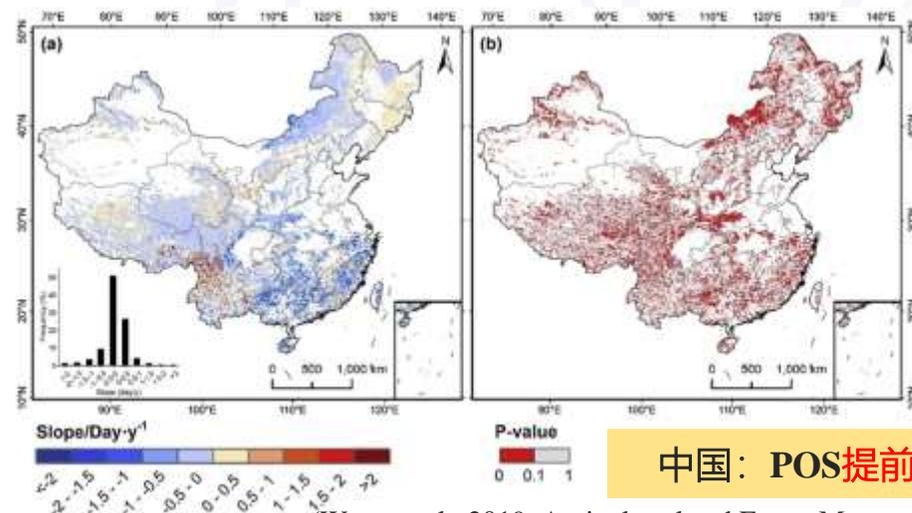


(Gonsamo et al., 2017, Global Change Biology)



中纬度：POS提前

(Xu et al., 2016, Global Change Biology)



中国：POS提前

(Wang et al., 2019, Agricultural and Forest Meteorology)



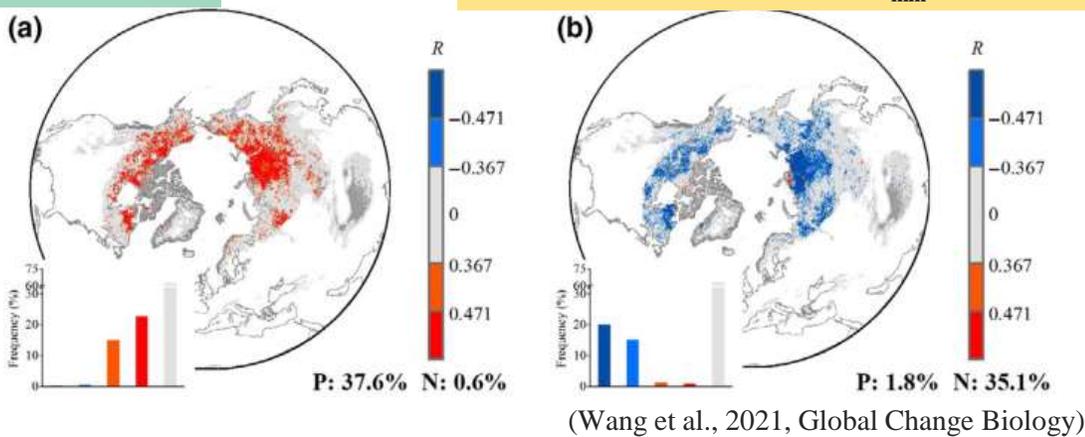
一些研究利用反映生态系统结构的NDVI等植被指数作为研究物候的数据源，但是NDVI衍生的物候指标不能替代冠层光合作用的物候及其季节变化。



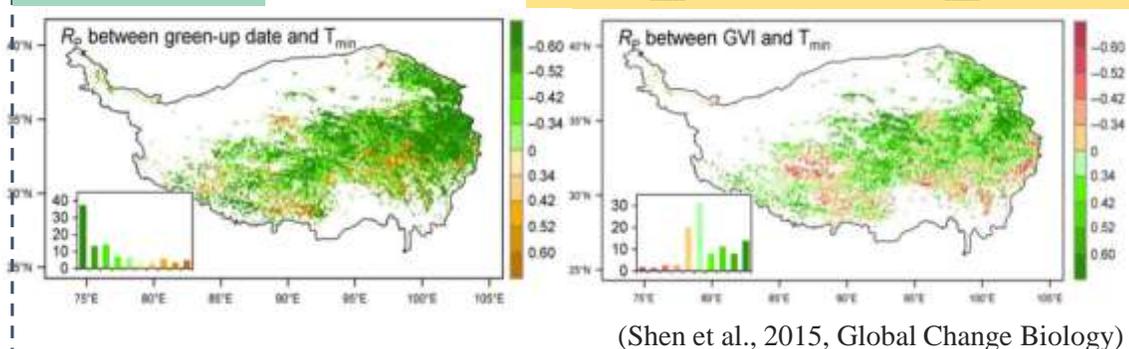
日光诱导叶绿素荧光(SIF)是光合作用过程的副产品，与光合作用活动有更直接的联系，刻画光合物候动态潜力更大。

研究背景

偏相关分析

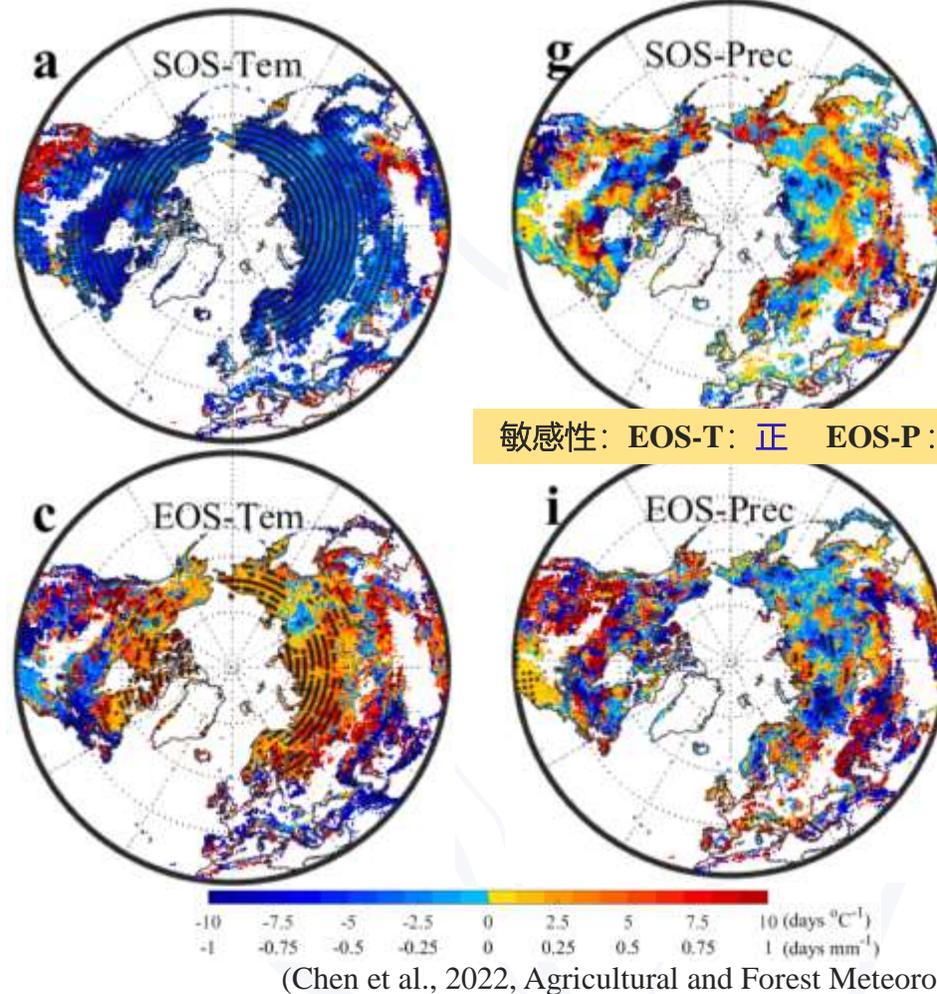


偏相关分析



线性回归分析

敏感性: SOS-T: 负 SOS-P: 正



植被物候变化与气候变化息息相关。众多研究利用各种分析技术来研究物候参数如何对驱动因素作出反应，包括偏相关分析和线性回归分析等。



由于气候因素的非线性影响和潜在的相互作用，很难量化气候因素对植被物候年际变化的个体贡献。

• 研究背景

Therefore, the study aimed:

(1) to examine the spatial and temporal dynamics of PPT in the boreal ecosystem by using the time-series CSIF and GOSIF data during the past two decades;

(2) to reveal the dominant environmental controls on the variability in PPT across the biomes in the boreal zone;

and (3) to disentangle the individual contribution of climatic factors to long-term PPT dynamics.

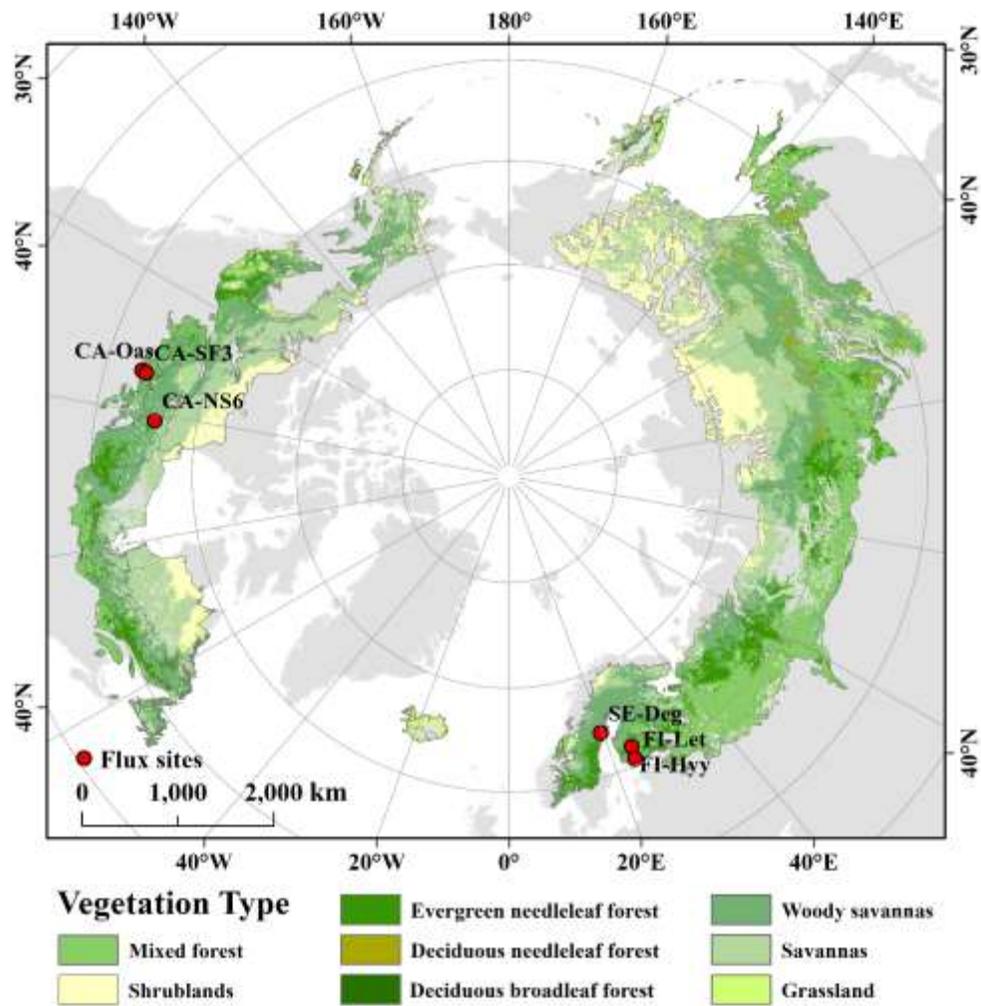


数据与方法

Data and methods



研究区

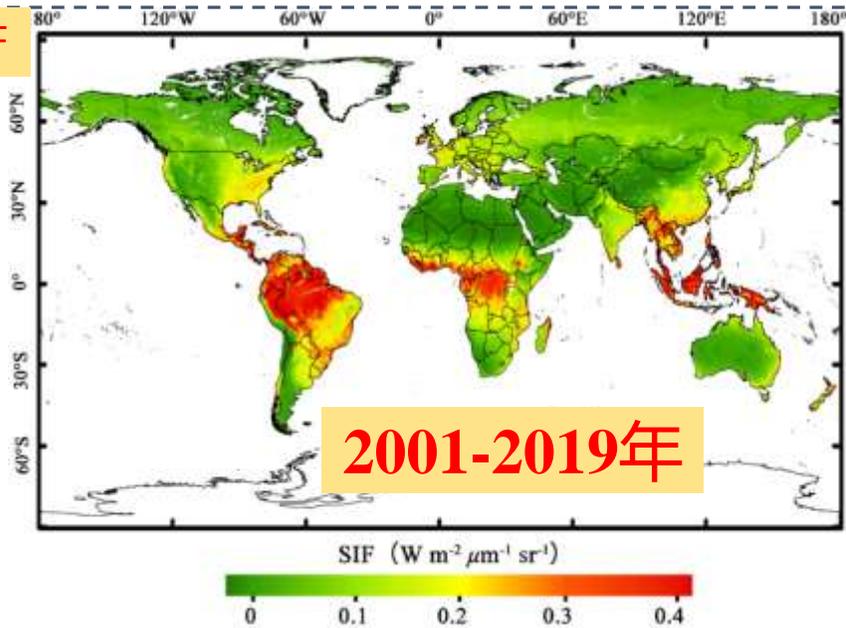


- 覆盖全球陆地面积的14%和森林面积的30%，是碳汇的重要贡献者，在调节和减缓全球气候变化方面发挥着重要的作用；
- 温度和降水的变化趋势比全球平均趋势更为突出，是气候变化影响下最敏感的地区之一；
- 我们将北方生态系统划分为9个植被覆盖类型，并选取6个站点的GPP数据用于验证SIF。

Vegetation type [↵]	Sites ID [↵]	Latitude(°) [↵]	longitude(°) [↵]	MAT(°C) [↵]	MAP(mm) [↵]	Available years [↵]
OSH [↵]	CA-NS6 [↵]	55.9167 [↵]	-98.9644 [↵]	-3.08 [↵]	495.37 [↵]	2001-2005 [↵]
	CA-SF3 [↵]	54.0916 [↵]	-106.0053 [↵]	0.4 [↵]	470 [↵]	2002-2006 [↵]
ENF [↵]	FI-Hyy [↵]	61.8474 [↵]	24.2948 [↵]	3.8 [↵]	709 [↵]	2005-2014 [↵]
	FI-Let [↵]	60.6418 [↵]	23.9595 [↵]	4.6 [↵]	627 [↵]	2009-2012 [↵]
DBF [↵]	CA-Oas [↵]	53.6289 [↵]	-106.1978 [↵]	0.34 [↵]	428.5 [↵]	2001-2010 [↵]
GRA [↵]	SE-Deg [↵]	64.1820 [↵]	19.5565 [↵]	1.2 [↵]	523 [↵]	2014-2018 [↵]

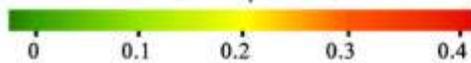
研究数据与方法

CSIF



2001-2019年

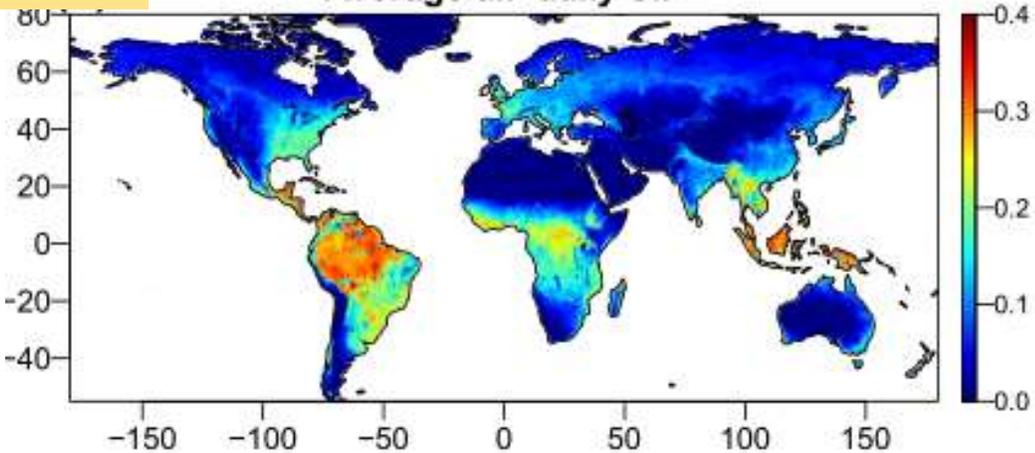
SIF ($W m^{-2} \mu m^{-1} sr^{-1}$)



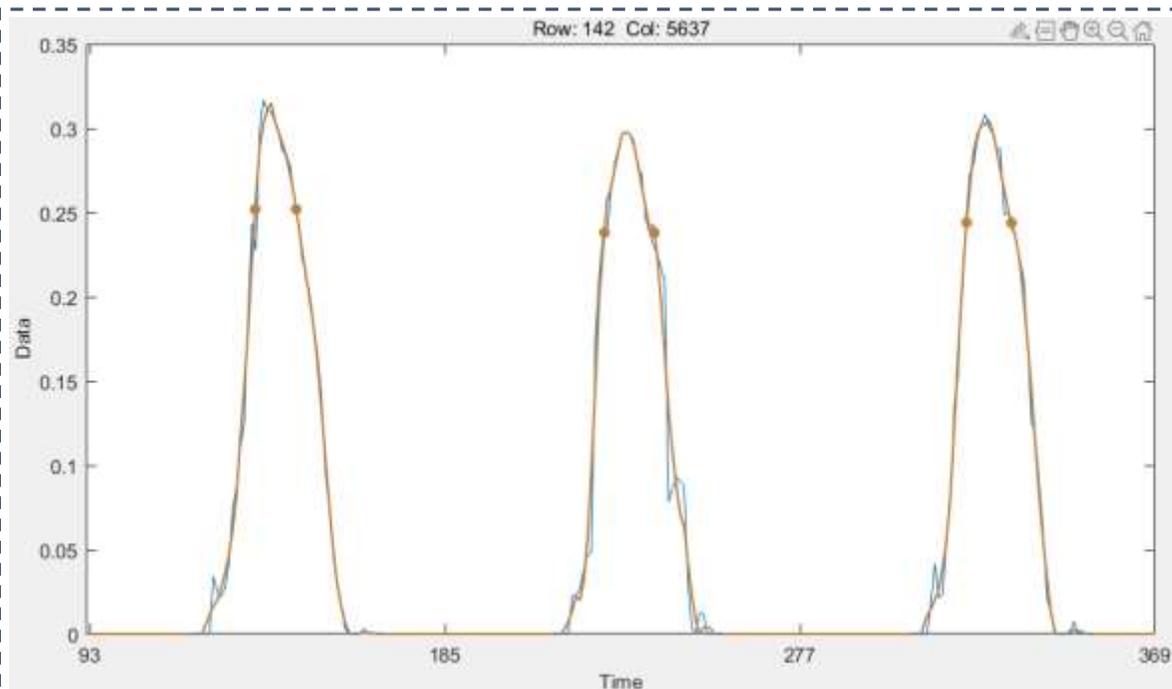
(Zhang et al., 2018, Biogeosciences)

GOSIF

Average all-daily SIF



(Li et al., 2019, Remote Sensing)



趋势分析 → Theil-Sen

相关性分析 → 偏相关

显著性检验 → Mann-Kendall

个体贡献 → 岭回归

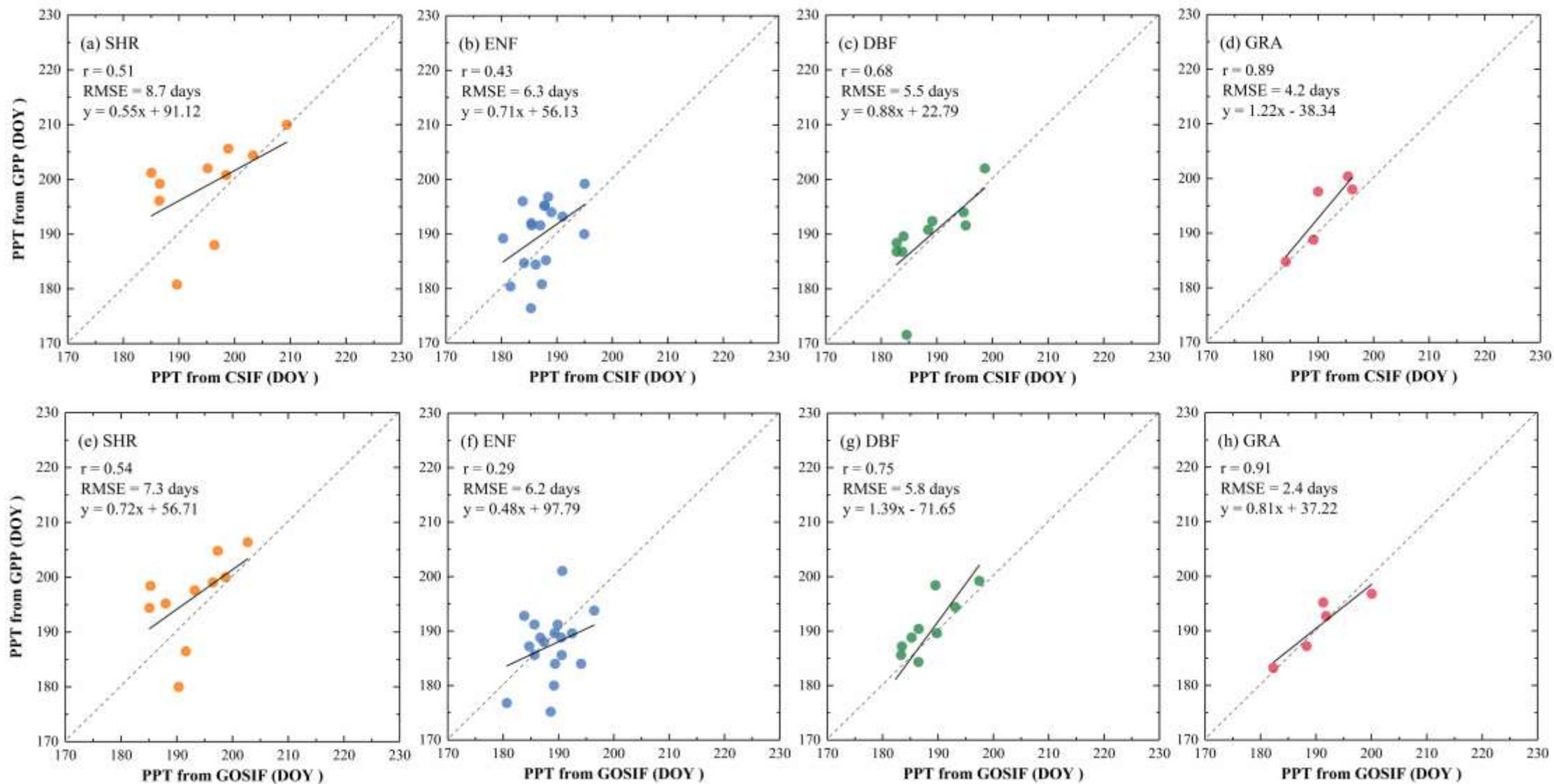


主要研究成果

Main results

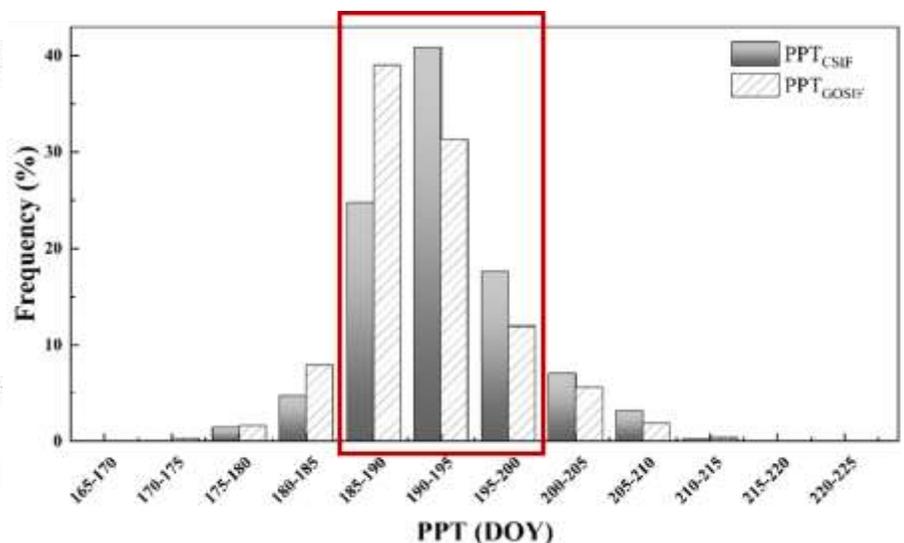
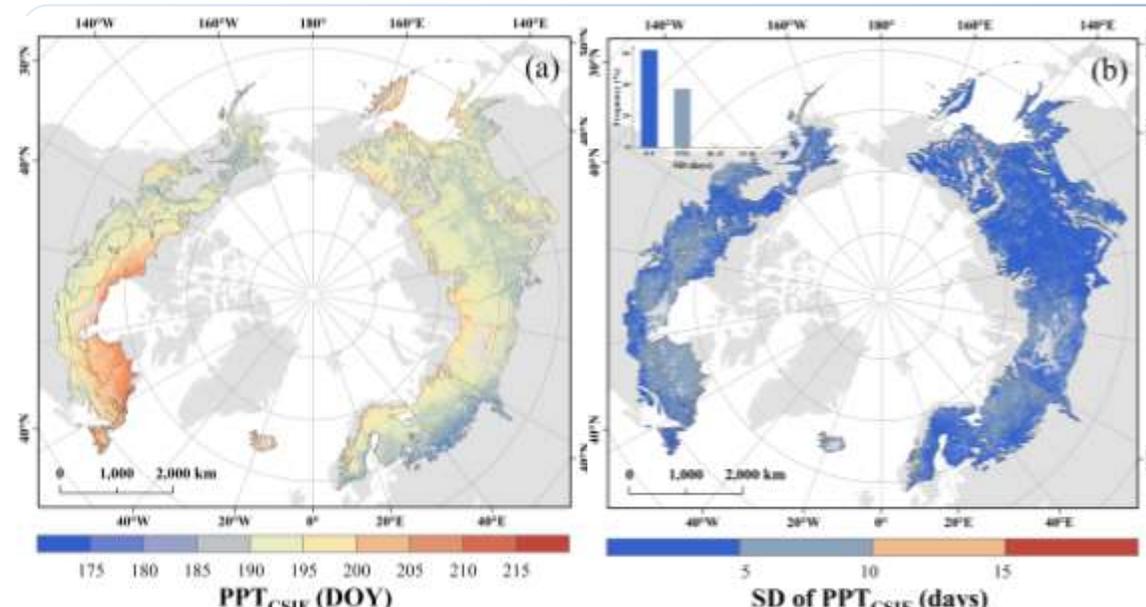


• PPT_{SIF}与PPT_{GPP}一致性验证

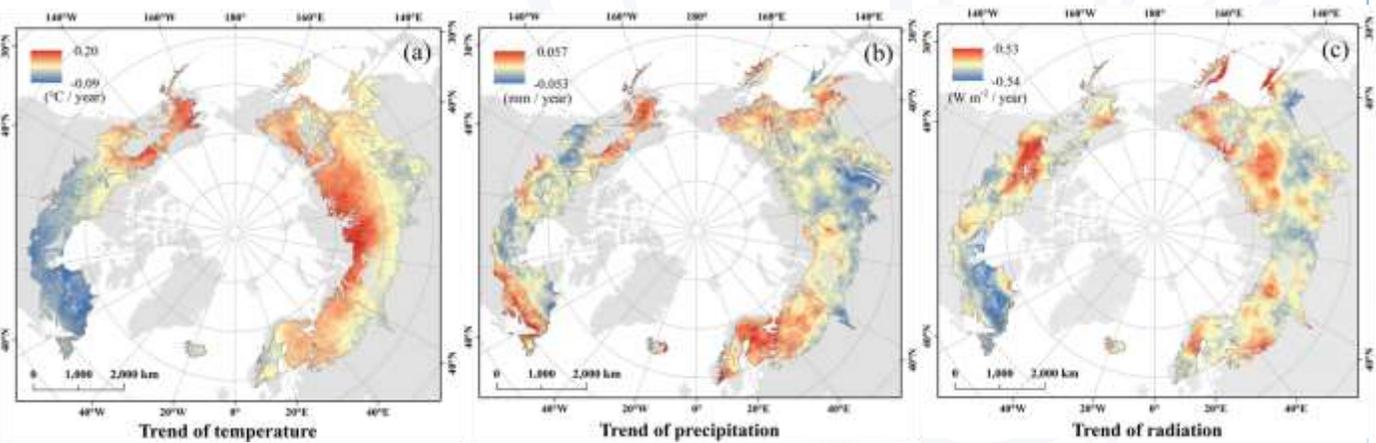
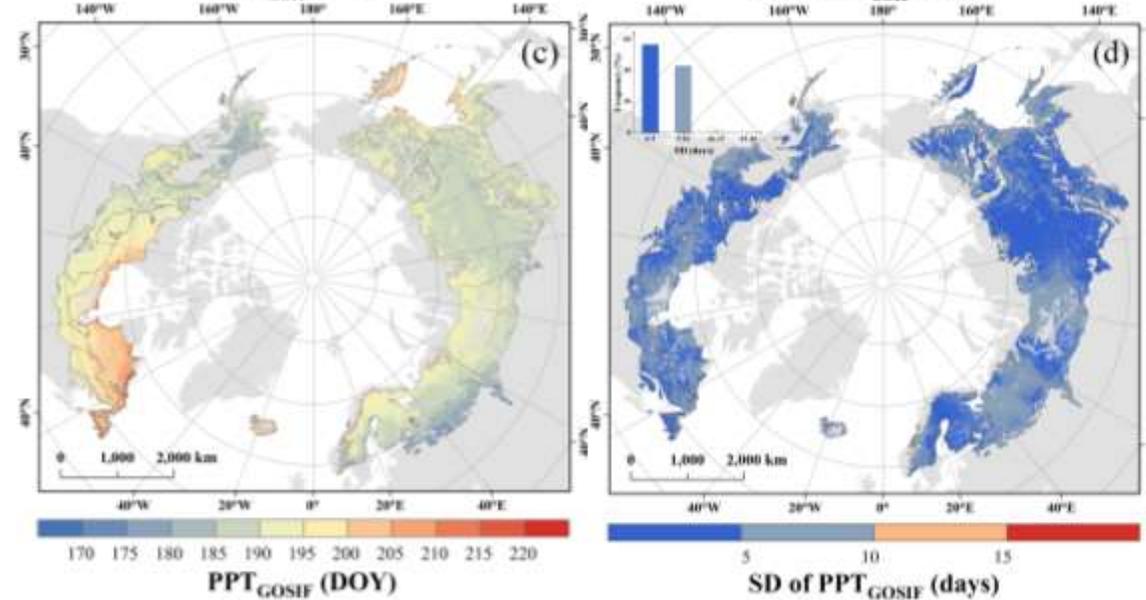


● CSIF和GOSIF在捕捉PPT动态方面表现良好。

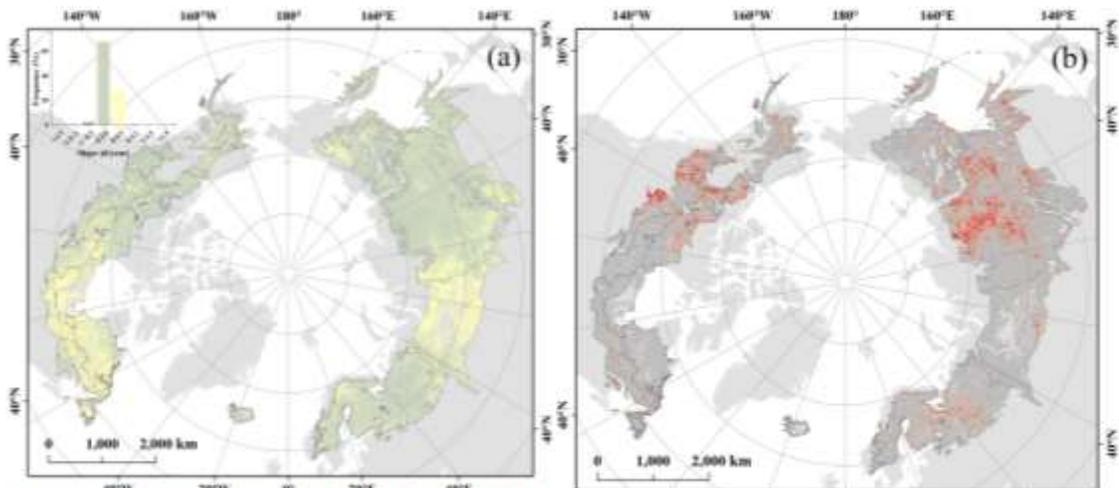
空间格局



- PPT_{CSIF}: 第192.8天
- PPT_{GOSIF}: 第191.0天;
- SD: 主要在0-5天内
- 北美晚于欧亚约4-5天

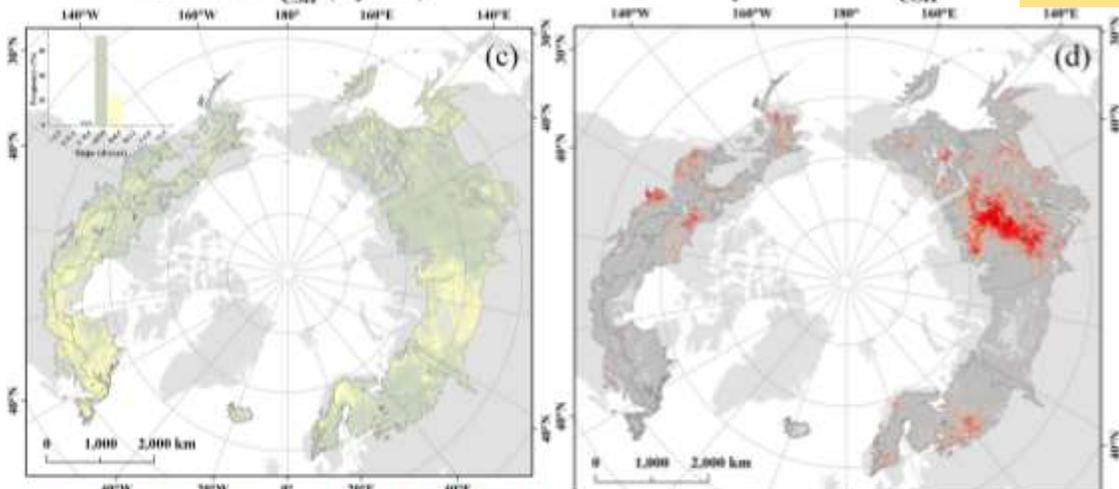


长期趋势



Trend of PPT_{CSIF} (d year⁻¹)

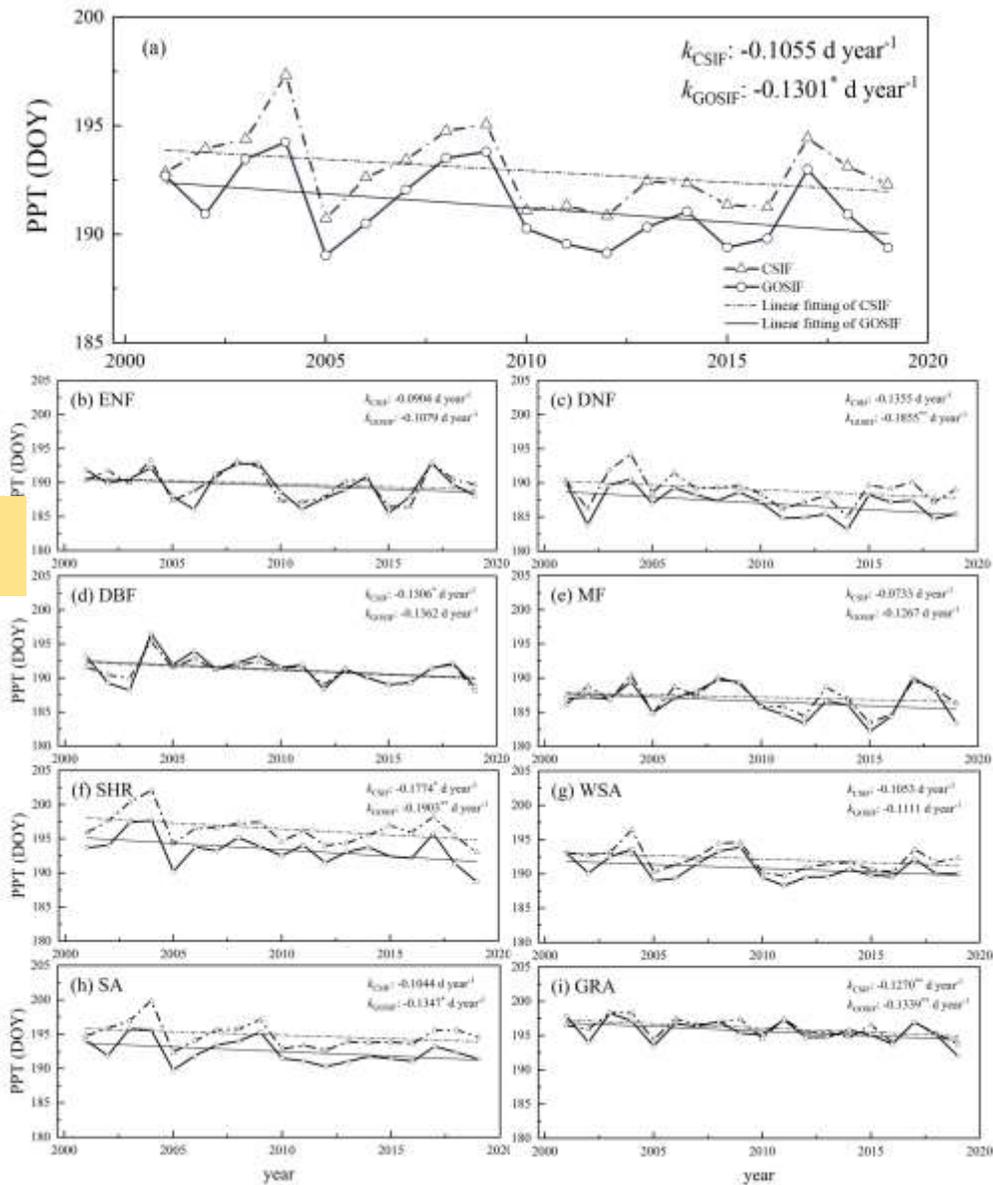
p-value of PPT_{CSIF}



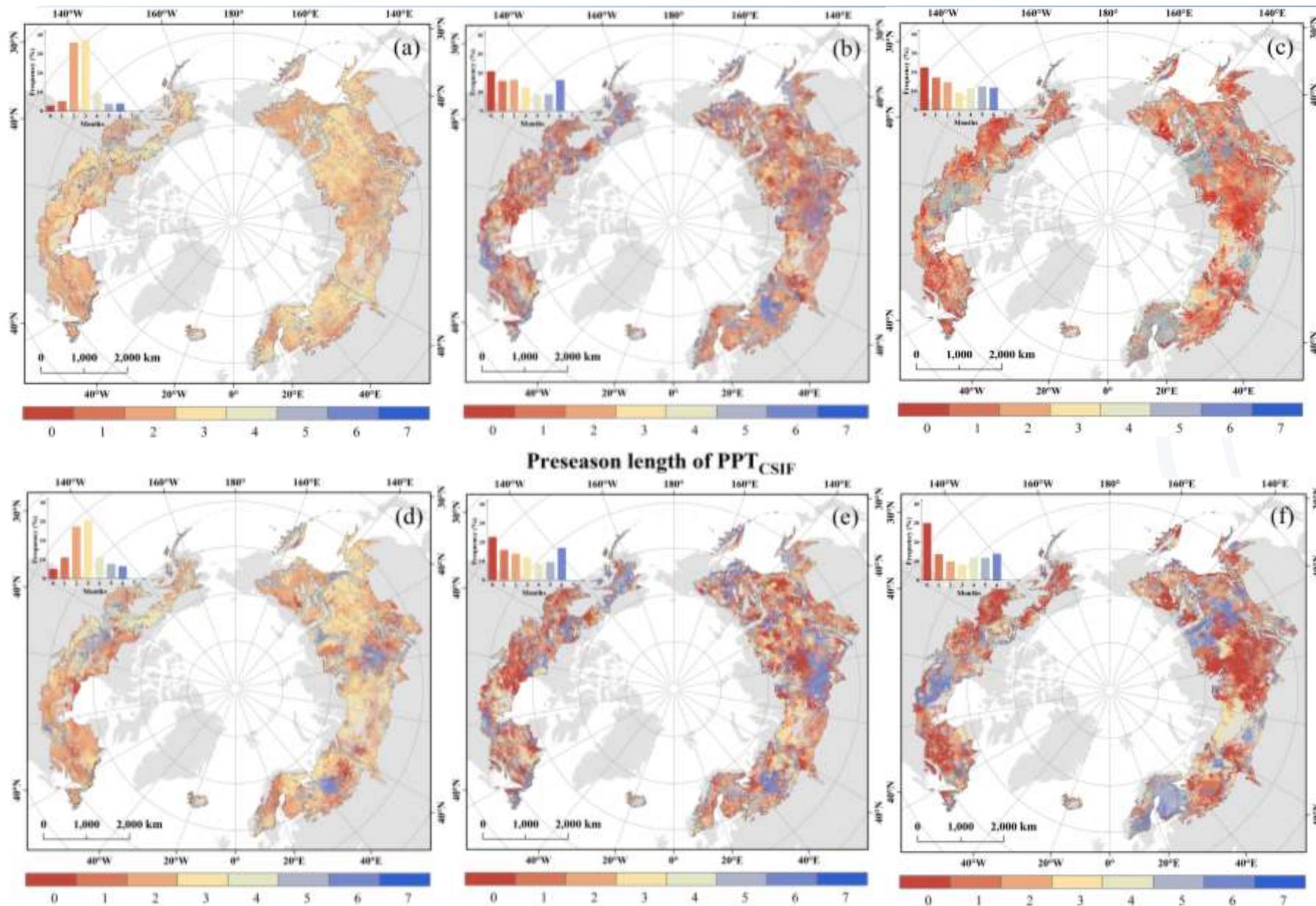
Trend of PPT_{GOSIF} (d year⁻¹)

p-value of PPT_{GOSIF}

提前



最佳季前长度



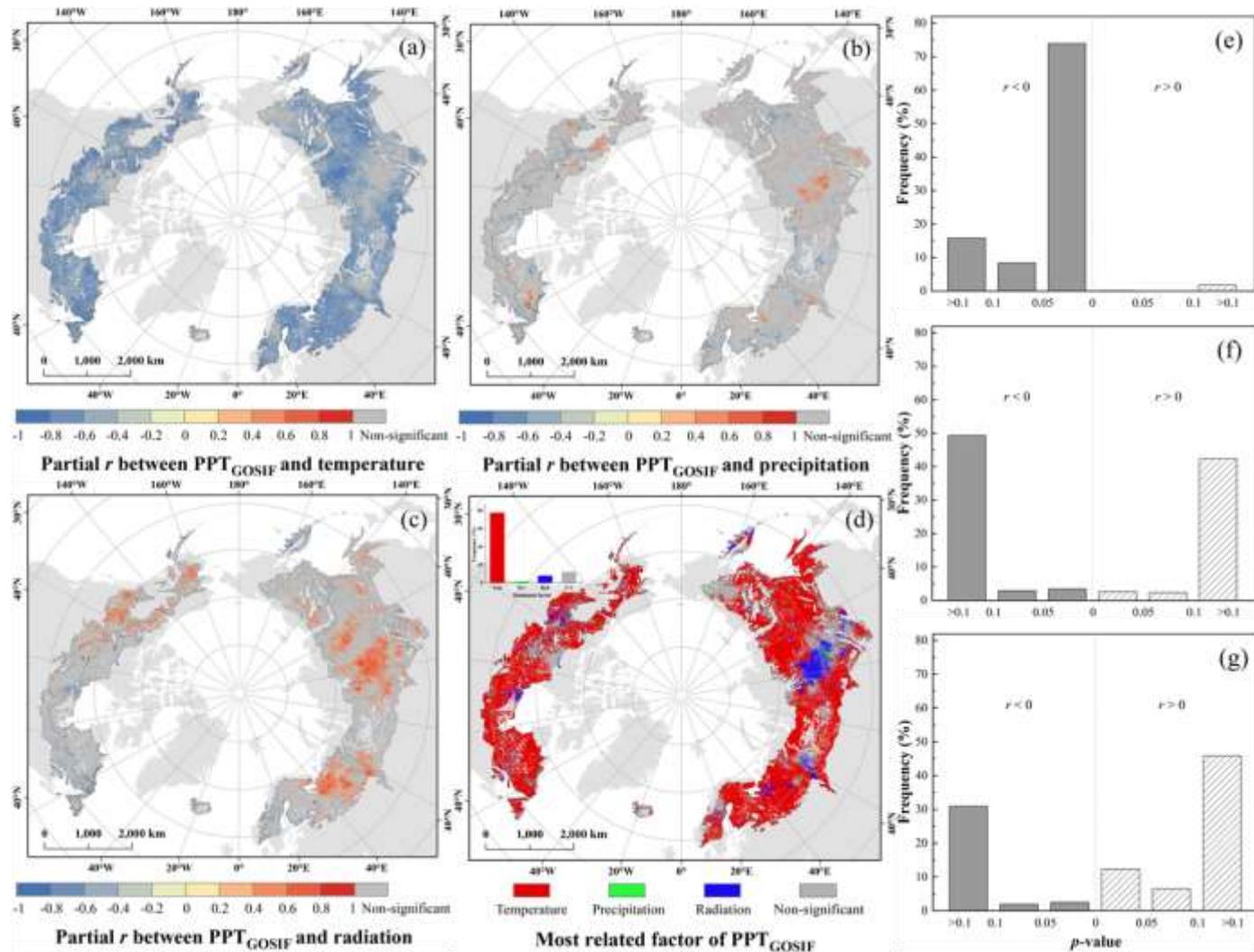
- 前2个月以及3个月的温度对PPT的影响最大

- 当月的降水和辐射与PPT的相关性最大

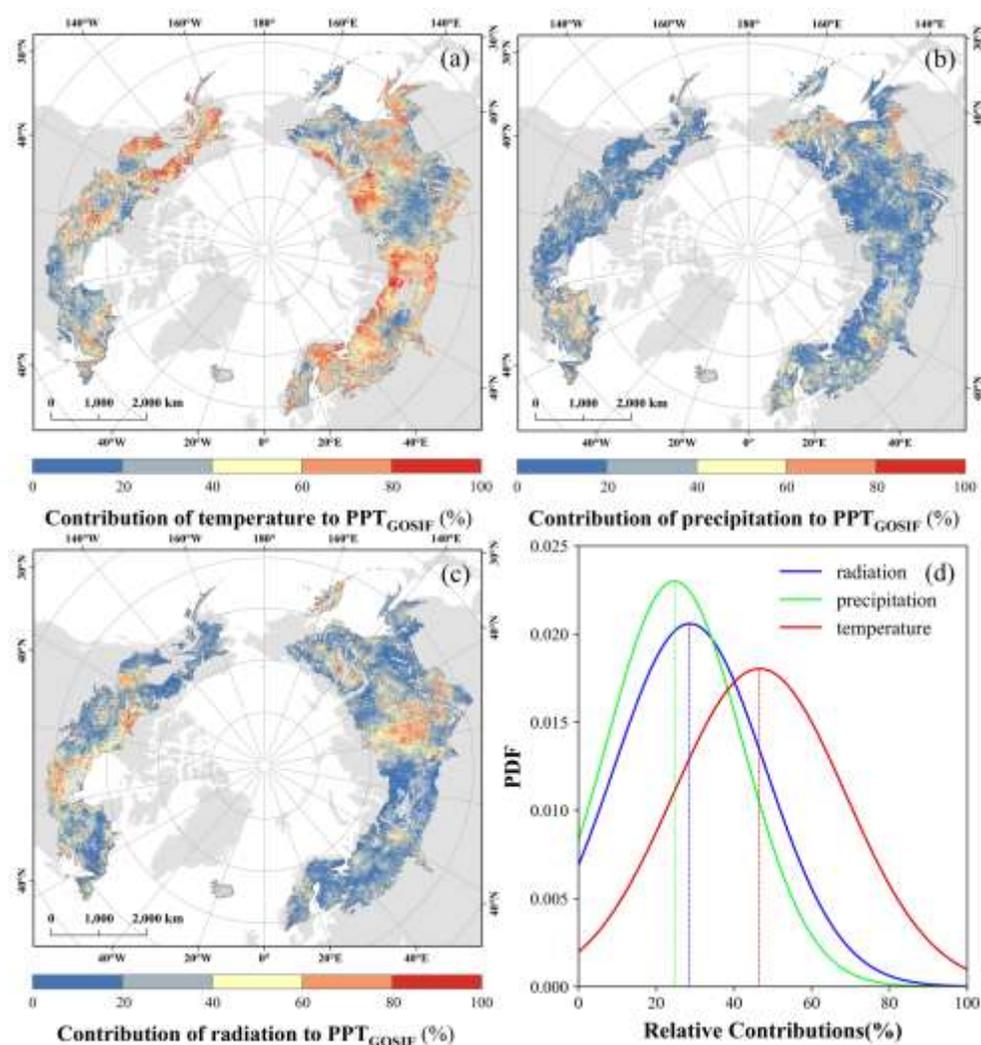
- 冬季的降水和辐射的影响也是不容忽视的

偏相关分析与贡献率

偏相关分析

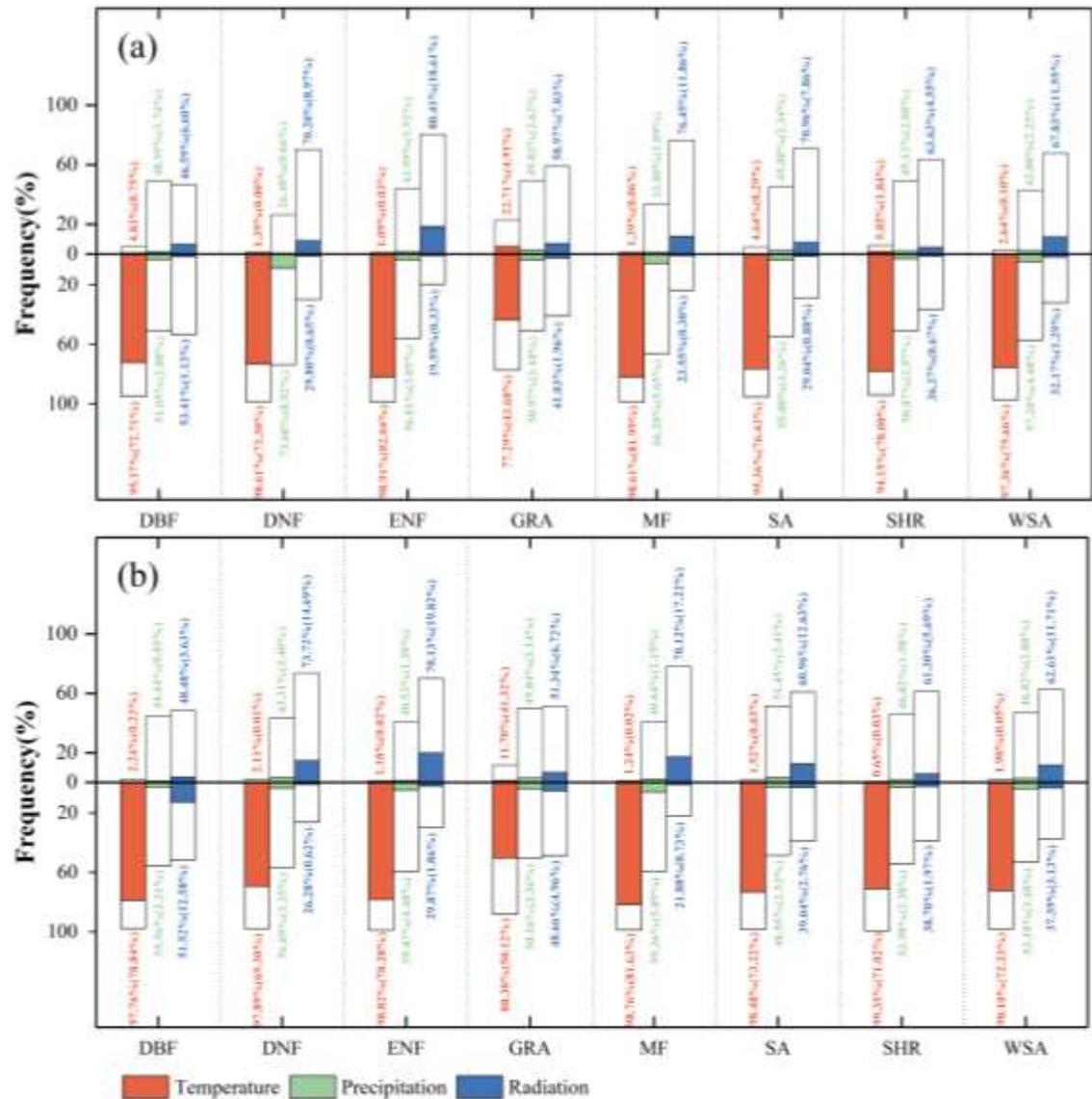


相对贡献



不同生物群落PPT_{SIF}与气象因子的相关性分析

偏相关分析



相对贡献

Vegetation type	SIF product	Temperature (%)	Precipitation (%)	Radiation (%)
ENF	CSIF	51.83±20.43	22.71±16.30	25.47±16.56
	GOSIF	45.12±20.27	24.96±16.58	29.91±17.97
DNF	CSIF	46.96±21.86	27.22±19.70	25.82±17.41
	GOSIF	45.15±22.20	25.28±18.54	29.57±20.02
DBF	CSIF	52.04±22.45	22.59±16.46	25.37±17.38
	GOSIF	47.39±23.67	23.35±15.31	29.26±20.39
MF	CSIF	50.27±21.00	25.30±17.41	24.42±15.84
	GOSIF	47.05±21.02	26.25±16.93	26.70±18.46
SHR	CSIF	53.52±22.79	21.53±16.30	24.95±17.46
	GOSIF	46.64±22.89	22.29±17.55	31.07±19.47
WSA	CSIF	52.57±21.52	23.47±17.40	23.95±16.55
	GOSIF	47.05±21.98	24.93±16.99	28.02±19.23
SA	CSIF	53.47±22.37	22.67±16.97	23.86±17.71
	GOSIF	46.82±22.54	24.70±17.59	28.48±20.00
GRA	CSIF	44.33±24.65	27.49±10.77	28.18±10.34
	GOSIF	42.65±24.18	27.67±19.39	29.69±20.17



——第19届中美碳联盟（USCCC）年会——



谢 谢！

敬请各位专家批评指正。

