



ChinaFLUX第十四次通量观测理论与技术培训

涡度相关与测树学、箱式法测定 森林碳收支比较分析

王兴昌

东北林业大学 哈尔滨

E-mail: xcwang_cer@nefu.edu.cn

北京, 2019.08.08



提 纲

1. 陆地生态系统碳循环研究背景
2. 森林生态系统碳循环研究方法
3. 数据收集和数据分析
4. 结果与讨论
5. 帽儿山不同尺度碳循环试验设计与研究展望
6. 结论



1. 陆地生态系统碳循环研究背景

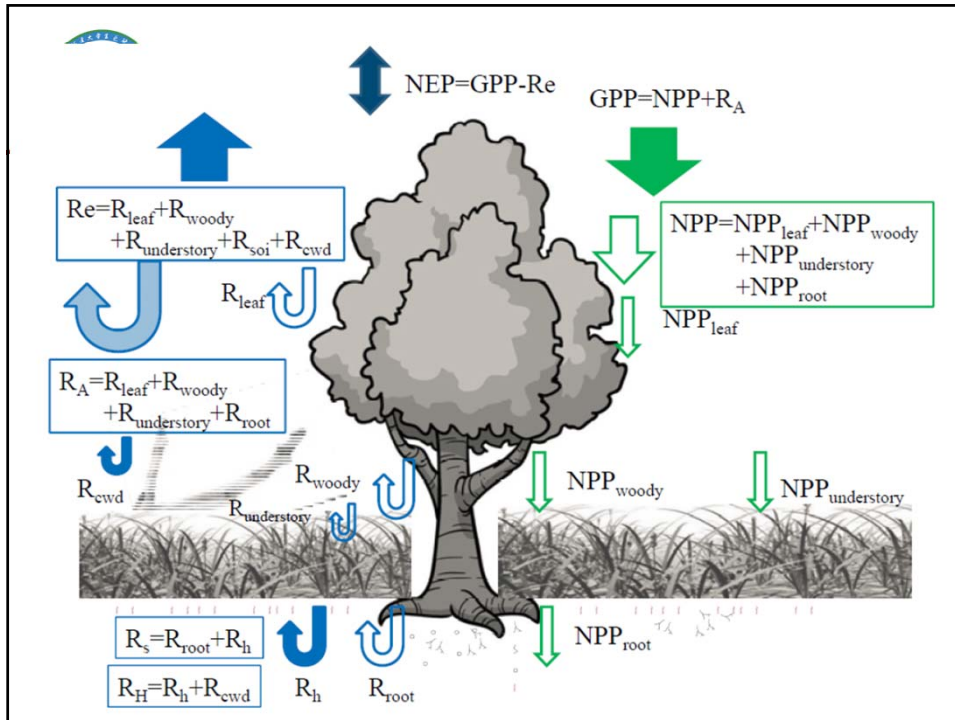
- 陆地生态系统碳循环仍然是全球碳收支中最不确定的组分
- 全球尺度的碳收支估算有模型、遥感和大气反演
- 生态系统尺度CO₂通量有3种测定方法：
 - ✓ 涡度相关(eddy covariance),
 - ✓ 测树学(biometry)
 - ✓ 箱式法(chamber methods)



1. 陆地生态系统碳循环研究背景

简要回顾陆地生态系统碳收支估计值表明方法之间差异大

Pg C yr ⁻¹			
GPP	Re	R_s	NBP
119 – 123 (EC)	96 – 103 (EC)	83 – 108 (Chamber)	
123	112-117 (IPCC)		1-3 (IPCC)



1. 陆地生态系统碳循环研究背景

涡度相关 (EC)

- 净生态系统交换 ($NEE = -NEP_{EC}$)
- 生态系统呼吸 (Re_{EC})
- 总初级生产力 (GPP_{EC})



- 开路 (OP):
表面加热效应
- 闭路 (CP)



2. 森林生态系统碳循环研究方法

测树学法 (BM, 又称清单法、生物量法)

- 净初级生产力 (NPP)
- 异氧呼吸 (R_H)
- 净生态系统生产力 ($NEP_{NPP} = NPP - R_H$)
- 生态系统碳库变化速率 ($NEP_{\Delta C}$)
- 总初级生产力 ($GPP_{BM} = NPP + R_A$)



2. 森林生态系统碳循环研究方法

箱式法 (CHM)

- 生态系统呼吸 ($Re_{CHM} = R_L + R_W + R_S$)
- 总初级生产力 (GPP_{CHM})
- 净生态系统生产力 ($NEP_{CHM} = GPP_{CHM} - Re_{CHM}$)





2. 森林生态系统碳循环研究方法

箱式法 (CHM)

- 土壤呼吸箱类型：
密闭静态 vs. 密闭动态/开放动态
- 叶片呼吸的光抑制：
考虑 vs. 不考虑



3. 数据收集和数据分析

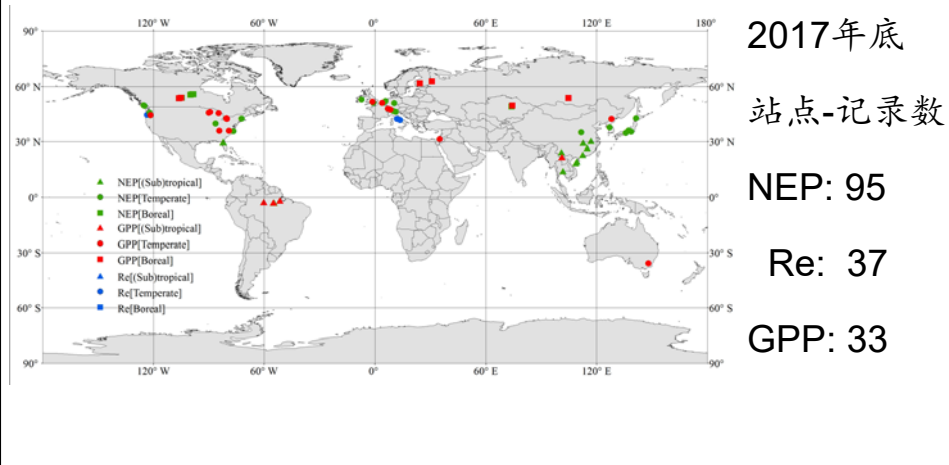
数据筛选标准

- 在SCIE和CNKI检索期刊论文、研究生学位论文等公开的数据
- 同时报道2种或3种方法测定年尺度的碳通量
- 对于知名通量观测站，检索PI论文补充变量和林分因子
- 多年观测取平均值，不同方法观测时间尽量匹配



3. 数据收集和数据分析

全球森林碳通量不同方法比较数据集



3. 数据收集和数据分析

- NEP数据集: NEP_{EC} (= - NEE) vs. NEP_{NPP} 或 $NEP_{\Delta C}$ 或 NEP_{CHM}
- Re数据集: Re_{EC} vs. Re_{CHM} (R_S)
- GPP数据集: GPP_{EC} vs. GPP_{BM} 或 GPP_{CHM}



3. 数据收集和数据分析

数据分析

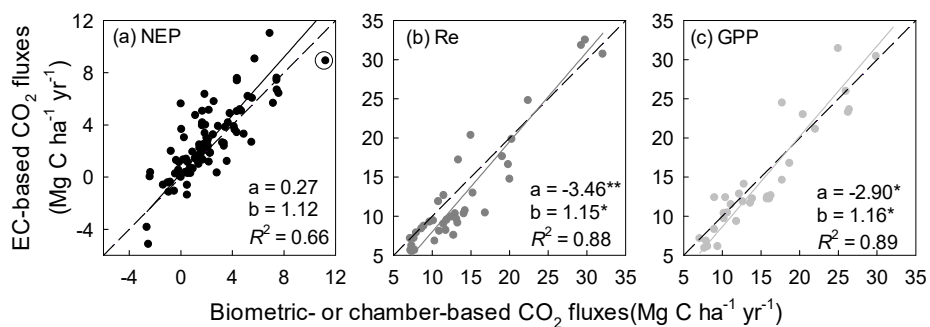
- EC-BM或EC-CHM表达绝对差异
- 3种方法的一致性检验(主轴回归MA和配对t检验)
- 同时报道2种或3种方法测定年尺度的碳通量
- 对于知名通量观测站，检索PI姓名和站点名，补全变量和林分因子数据



4. 结果与讨论

(1) 不同方法之间的差异

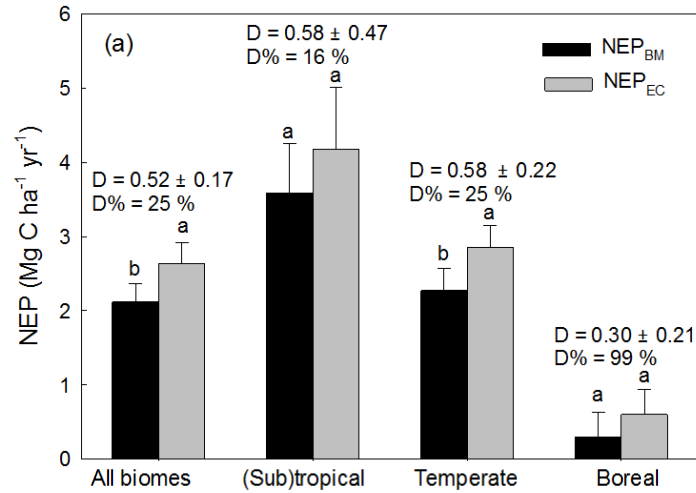
不同方法的NEP和Re估计值出现分异





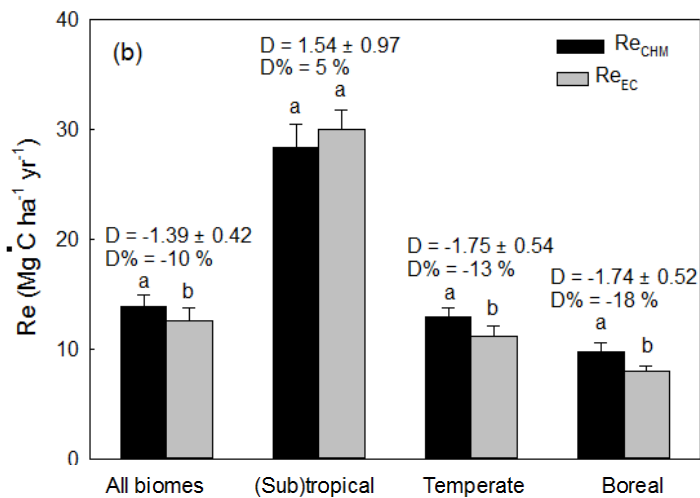
4. 结果与讨论

NEP 相对差异: 25%



4. 结果与讨论

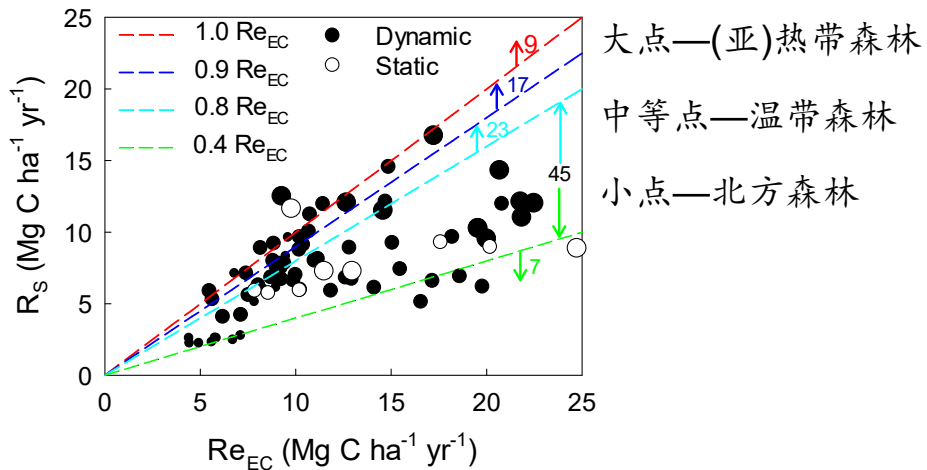
Re 相对差异: -10%





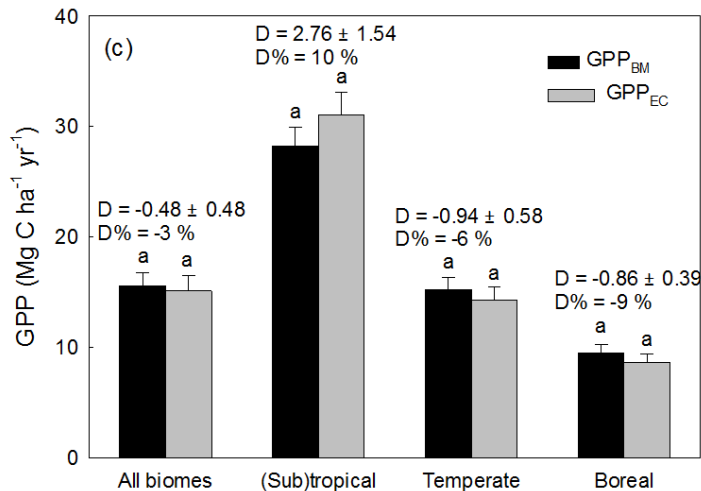
4. 结果与讨论

R_S/Re_{EC} 比值: 9条记录 R_S 超过 Re_{EC}



4. 结果与讨论

GPP相对差异: -3%

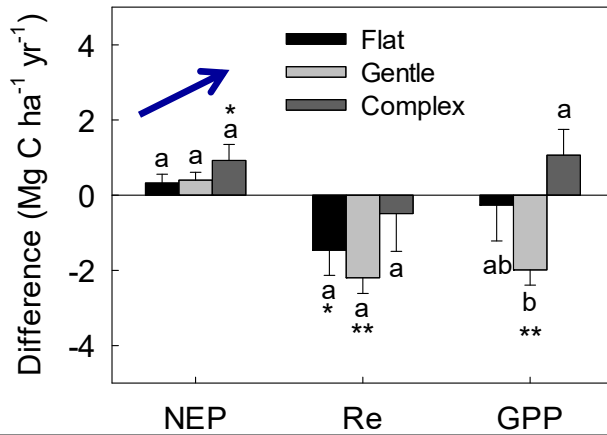




4. 结果与讨论

(2) 地形和林分因子特征的影响

- 地形: 越复杂NEP差异越大



- Flat: <2°
- Gentle: 2-5°
- Complex: >5°

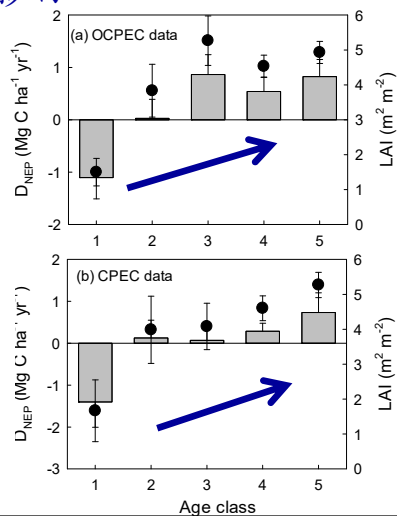
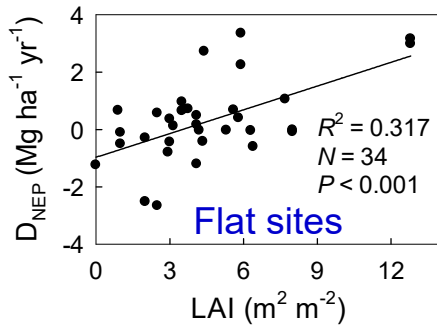
GPP和Re差异与校正Re的白天光抑制有关



4. 结果与讨论

(2) 地形和林分因子特征的影响

- LAI和林龄

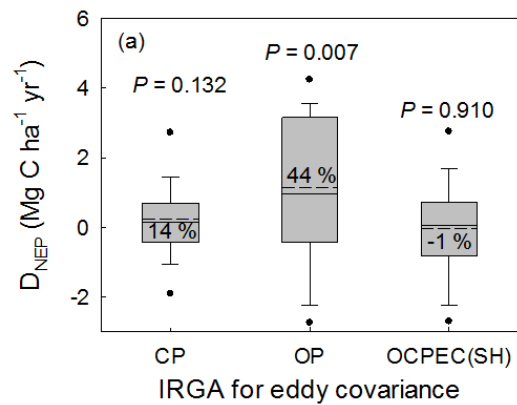




4. 结果与讨论

(3) 具体方法学的影响

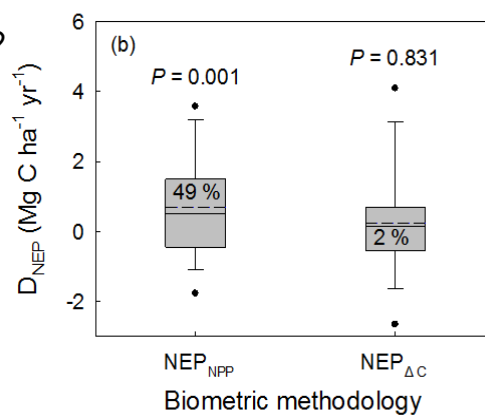
- 闭路系统(CP)差异小
- 开路系统(OP)高估NEP
- 简单校正OP表面加热效应后不再高估

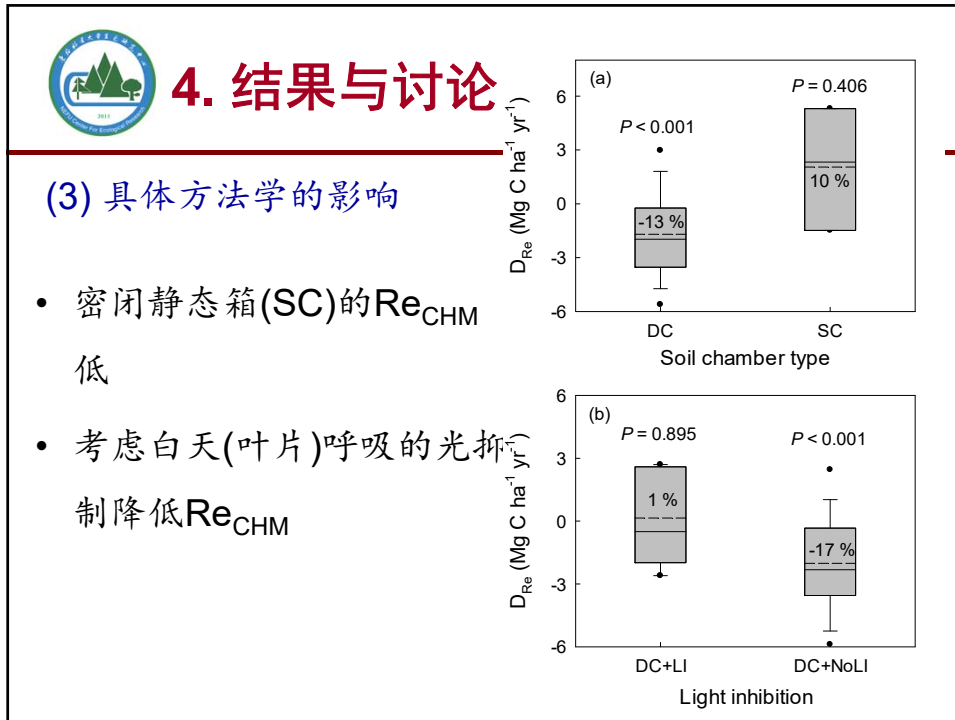



4. 结果与讨论

(3) 具体方法学的影响

- NPP被低估(组分缺失)?
- 平坦地形NEP_{ΔC}偏差 (NEP_{NPP}法: 平坦地形占23%; 而NEP_{ΔC}法: 平坦地形占47%)







4. 结果与讨论

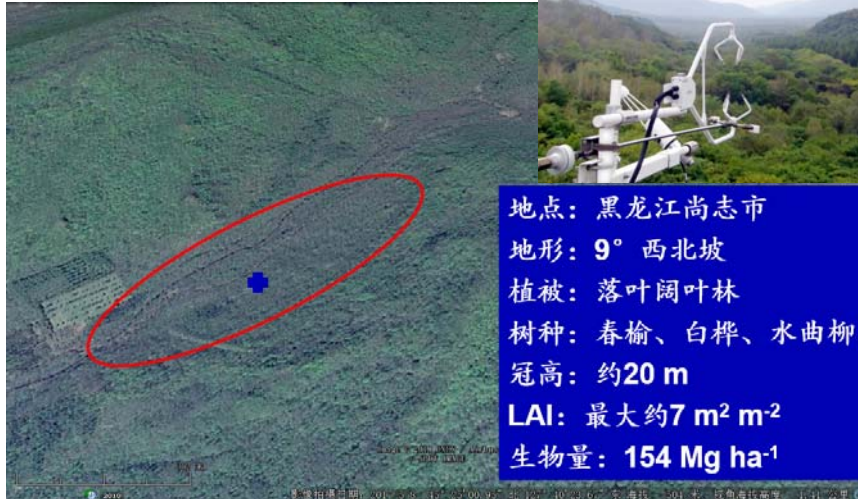
(4) 不同方法之间的差异对全球碳收支的意义

Biome	Forest area × 10 ⁹ ha	NEP _{EC} -NEP _{BM} Pg C yr ⁻¹	Re _{EC} -Re _{CHM} Pg C yr ⁻¹	GPP _{EC} -GPP _{BM} Pg C yr ⁻¹
Grand total	4.03	2.1 ± 0.7	-5.6 ± 1.7	-1.9 ± 1.9
Sum of biomes	4.03	2.0 ± 1.4	0.1 ± 3.1	4.3 ± 4.2
(Sub)tropical	2.15	1.3 ± 1.0	3.3 ± 2.1	6.0 ± 3.4
Temperate	0.66	0.4 ± 0.2	-1.2 ± 0.4	-0.6 ± 0.4
Boreal	1.22	0.4 ± 0.3	-2.1 ± 0.6	-1.2 ± 0.5



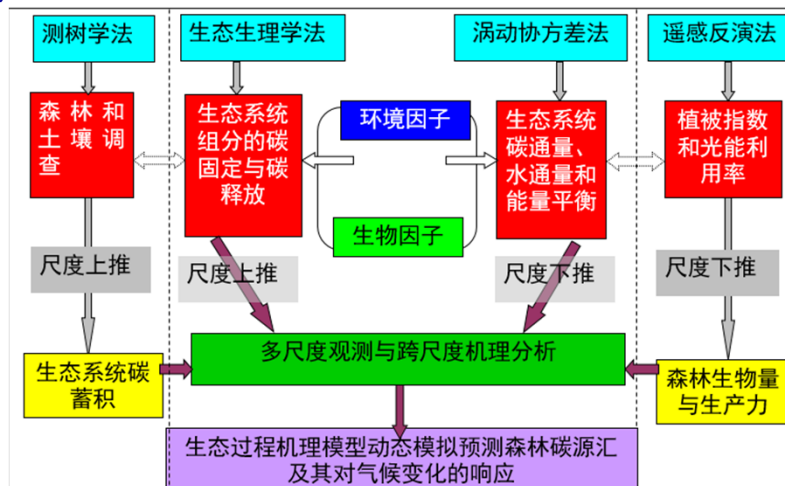
5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(1) 帽儿山站基本信息



5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(2) 试验设计

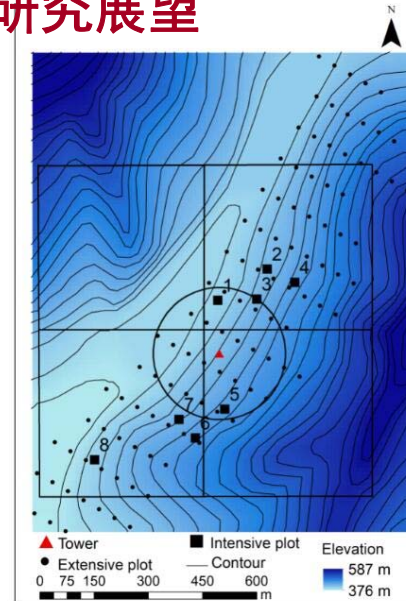




5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(2) 测定内容

- NPP、NEP:
9块加密样地
100余块扩展样地：生物量变化
- Re:
9块加密样地 R_S 、 R_H 、 R_a
个体局部树干呼吸、叶片呼吸
- 林分因子:
LAI、冠层物候、叶N、叶绿素

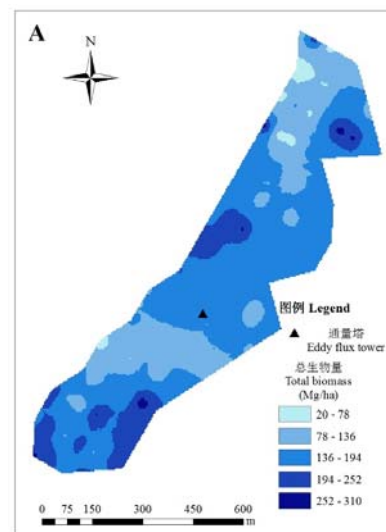


5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(3) 帽儿山站研究进展

生物量和碳库

- 扩展样地乔木总生物量
 154 Mg ha^{-1}
 - 2019年完成样地复查
 - 28个乔木树种的C浓度
 - 9个样地的连年生长和
NPP、NEP正在计算中
- 刘帆等, 2016, 生态学报

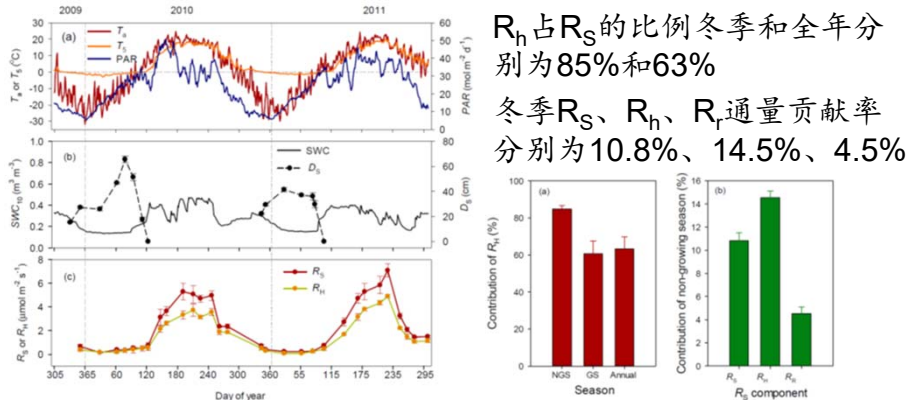




5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(3) 帽儿山站研究进展 Jiao and Wang, 2019, Forests

土壤呼吸及其组分区分: R_S 869、 R_h 547、 R_r 321 $g C m^{-2} yr^{-1}$



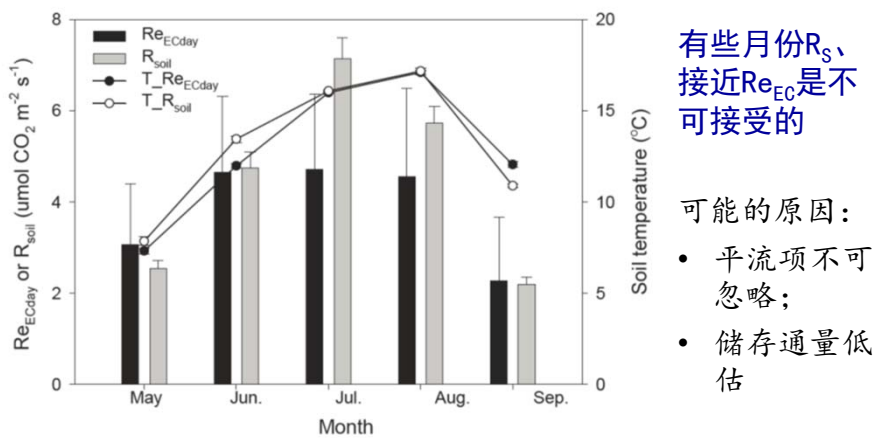
R_h 占 R_S 的比例冬季和全年分别为85%和63%

冬季 R_S 、 R_h 、 R_r 通量贡献率分别为10.8%、14.5%、4.5%



5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(3) 帽儿山站研究进展 Wang et al., Unpublished data





5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

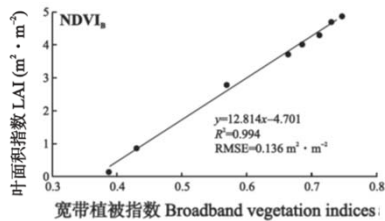
(3) 帽儿山站研究进展

冠层LAI: 发展了方法学

Wang et al., 2019, FEM

基于落叶林凋落物收集的LAI的标准化方法

LAI _{green,litter} m ² m ⁻²	RE _{green,green} %	RE _{rehydr,sen} %	RE _{rehydr,litter} %	RE _{dry,litter} %	RE _{rehydr,rehydr} %
6.95 ± 0.65	-14.25 ± 0.43	-8.71 ± 0.93	-6.82 ± 0.76	-27.18 ± 1.33	3.16 ± 0.97



基于塔载辐射表的宽带归一化植被指数与凋落物法的LAI呈线性关系，可以用于连续监测温带森林冠层LAI动态

刘帆等, 2016, 应用生态学报



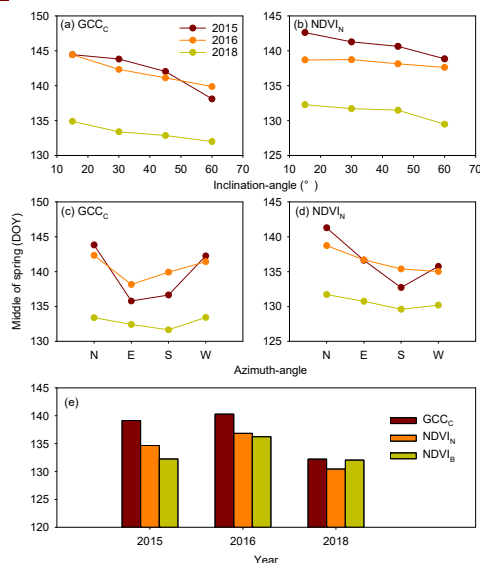
5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(3) 帽儿山站研究进展

冠层物候: 方法论

春季物候随倾斜角增大而提前1-6d, 坡上比坡下提前0-8d, 3类传感器相差0-7d。

Liu et al., 2019, RS





5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(3) 帽儿山站研究进展

10年秋季物候验证

NDVI_B ($R^2 = 0.74$)和

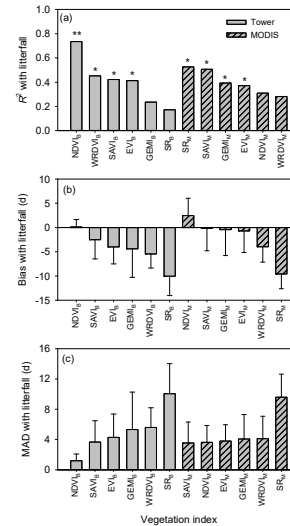
SR_M ($R^2 = 0.53$)估计的

EOS与凋落叶法的相关性

最强, VI估计的EOS比凋

落叶法早0~10 d.

Wang et al., Unpublished data



5. 帽儿山不同尺度碳循环 试验设计与研究展望

(4) 帽儿山站研究展望

- 多途径量化温带落叶阔叶林碳通量

- 探讨森林碳循环方法学问题

- **NPP**和**NEP**的不确定性评价

(生物量方程、碳含量、胸径测量、细根、 R_H)

- 探讨尺度转换问题 (空间变异)

- 碳氮水耦合关系



6. 结论

- EC法测定的NEP平均比测树学法高25%，而EC法测定的Re比箱式法低10%
- EC法与其他方法之间的差异在地形复杂和LAI大的森林站点更大
- 林龄通过改变LAI影响EC法与其他方法之间的差异
- OPEC系统高估NEP主要是因为表面加热效应，但表面加热效应问题仍然没有很好地解决方案
- 提高EC法、测树学法和箱式法测定森林碳通量的准确度是有价值的研究课题



谢谢大家!

