



竹林固碳功能研究

浙江农林大学 周国模
施拥军

二零一三年十月

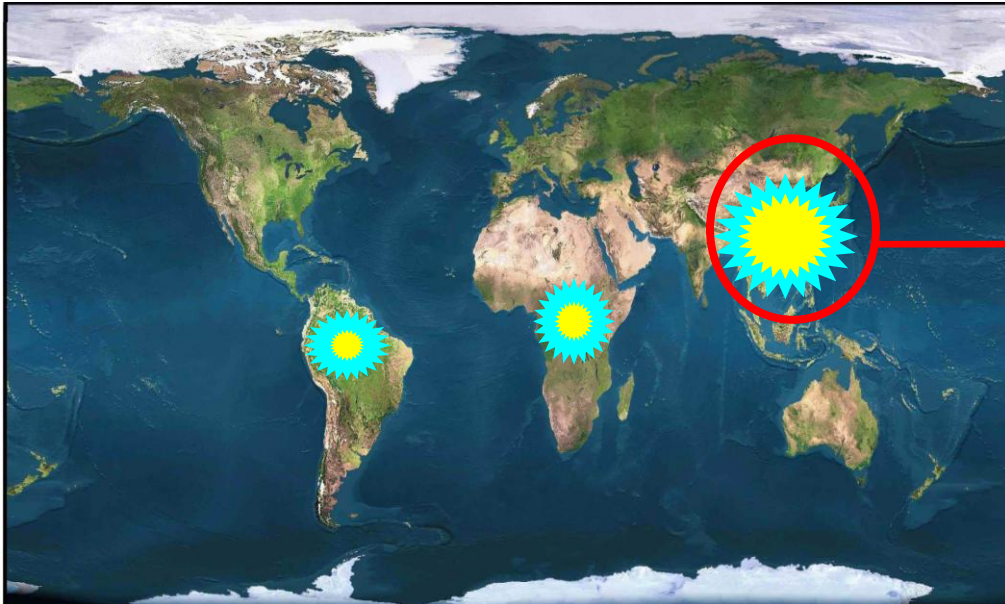
报告内容

- 一、竹类资源与生长利用特性
- 二、竹林固碳特征与碳汇能力
- 三、竹林未来发展与响应措施

一、竹类资源与生长利用特性

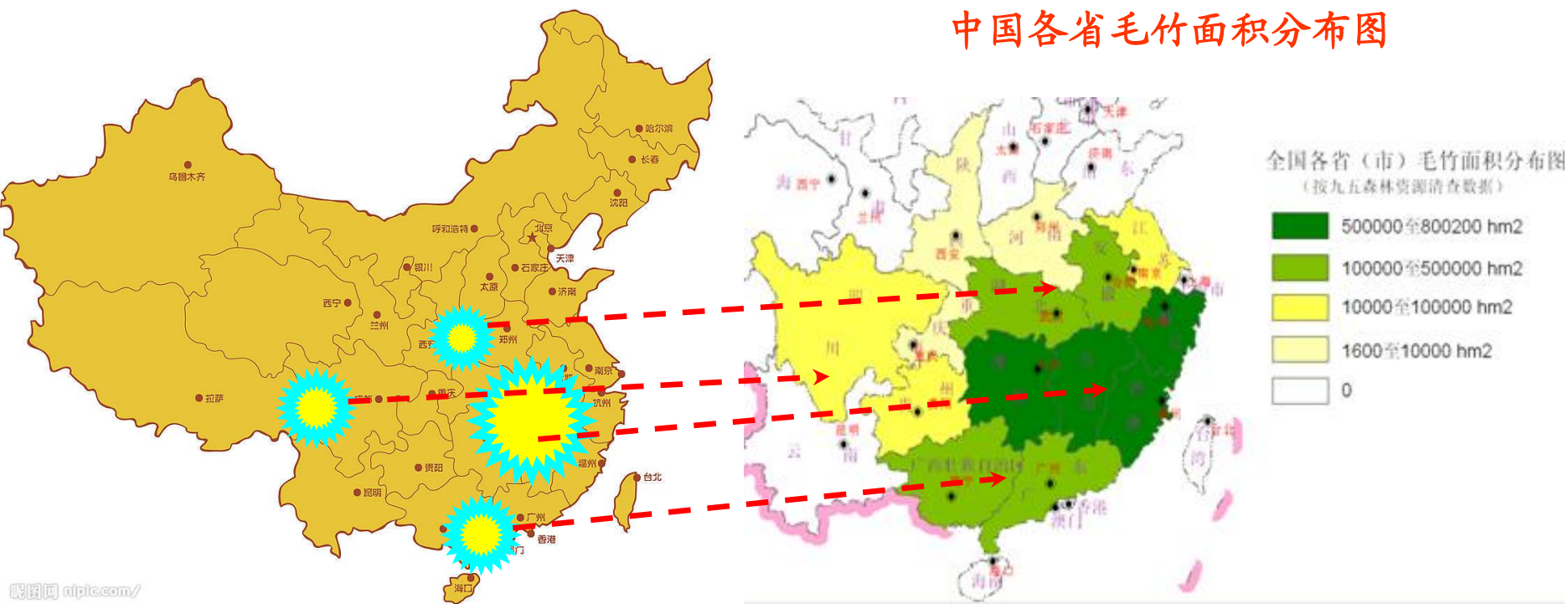
1、资源丰富，分布广泛

- 竹子资源十分丰富，全世界竹种**1200余种**，竹林面积达**2000万hm²**以上，约占世界森林面积的1%。
- 竹子适生性强，广泛分布于世界各地，主要有三大竹区：**亚太竹区**、**美洲竹区**、**非洲竹区**



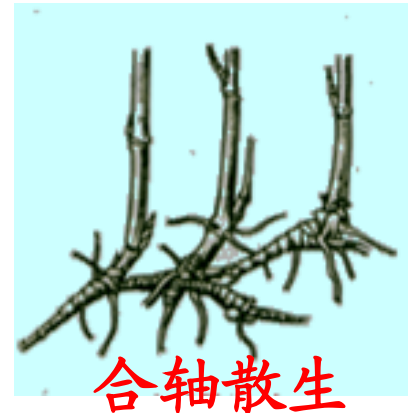
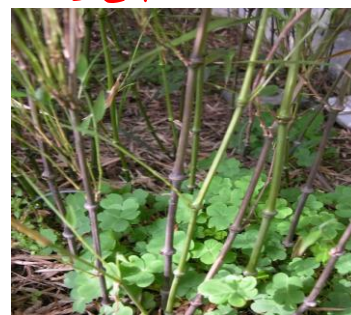
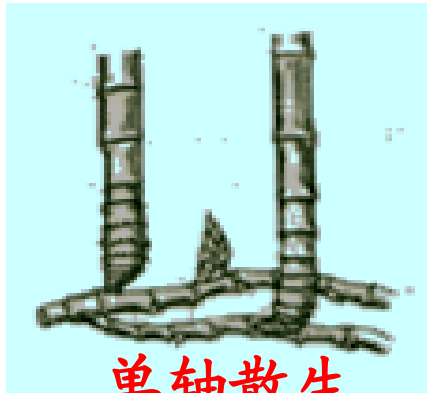
- 中国竹林**538万hm²**，其中毛竹**387万hm²**，面积约占世界的25%
- 主要有**四大竹区**：黄河—长江竹区、长江—南岭竹区、华南竹区、西南高山竹区
- 广泛分布于**浙江、福建、江西、湖南、广东、四川、广西、安徽、湖北、重庆**等**10省市**，占全国竹林面积的93.8%

中国各省毛竹面积分布图



2、扩鞭繁殖，更新特殊

- 按其地下茎形态特征可以划分为单轴散生竹、合轴散生竹、复轴混生竹和合轴丛生竹四种类型
- 形成典型的异龄林。通过不断采伐扩鞭出笋和采伐，实现林分更新，动态平衡，甚至不断扩张。



3、生长快速，易于成材

- 新造竹林（以毛竹为例），通过扩鞭繁殖，7-8年便可成林，立竹株数可达200株以上
- 单株生长速度惊人，以毛竹为例，从出笋到成竹只需50天，即可完成高速增长和粗生长。
- 4-5年生毛竹材质已经成熟，可采伐利用。



4、材质优良，用途极广

与其他建材相比，竹材具有优良的力学性能

项目	竹材				木材				抗钢	抗钢	抗钢	
	毛竹	刚竹	淡竹	麻竹	杉木	泡桐	麻栎	柞木				
抗拉强度/MPa	197	286	184	197	78	99	145	111	382~430	444~500	520~600	>730
抗压强度/MPa	65	55	36	42	40	33	58	47				

力学性能 材料	密度 (g/cm ³)	纵向静弯曲强度 /MPa	纵向静弯曲弹性模量 /MPa	硬度(弦向径平均值) /MPa
毛竹	0.789	152.0	12062.0	36.99
泡桐	0.283	34.89	4310.0	73.21
大青杨	0.390	53.80	7750.0	
鱼鳞云杉	0.451	73.6	10390.0	
柞木	0.615	85.75	8820.0	
麻栎	0.842	111.92	15580.0	

与其他树种相比，竹材弹性强、韧性好

竹板材、复合材、贴面材



竹木复合集装箱底板



竹材胶合板用于火车、装甲车底板



刨切微薄竹产品用于贴面装饰



各类家居竹地板

竹家具、竹炭、竹纤维



西班牙
马德里机场

上海世博会
户外防腐竹材

竹室内地材

火车地板材



- 广泛应用于：竹地板、竹胶板、竹炭、竹纤维、竹家具等
- 我国现在已经开发各种竹产品2000多个
- 它以4.9%的森林占比面积，提供了约15%的森林材质资源



竹家居产品

万科竹家会议厅

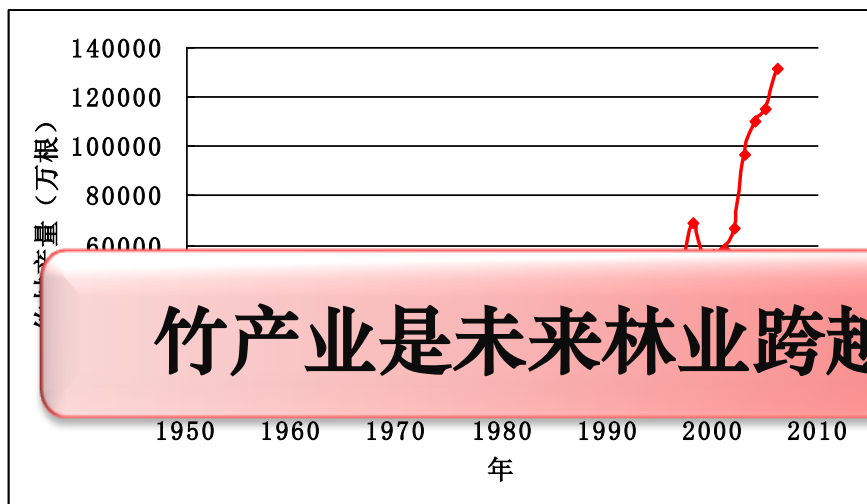
800KW竹制
风电叶片安装

欧洲Nike球场
竹运动地板

5、需求旺盛，效益可观

- 中国竹材产量、产值连年迅速增加。2010年竹材产量达**14亿根**，竹产业**总产值821亿元**，超过中国茶产业的**近一倍**。
- 仅浙江毛竹林面积69.5万hm²，2010年**产值280亿元**，安吉县产值达**112亿元**，竹材**资源缺口相当巨大**。
- 竹子是一个一产二产三产非常容易结合的产业，经济效益可观，为**促进地区发展，促进林农增收的重要途径**。

主要竹产区农民收入的**30-60%**
来自竹产业，财政收入的**25%**
来自竹材加工业



竹产业是未来林业跨越式发展最具潜力的产业

1953-2009年全国历年竹材产量



全国各省市毛竹产品产值情况

报告内容

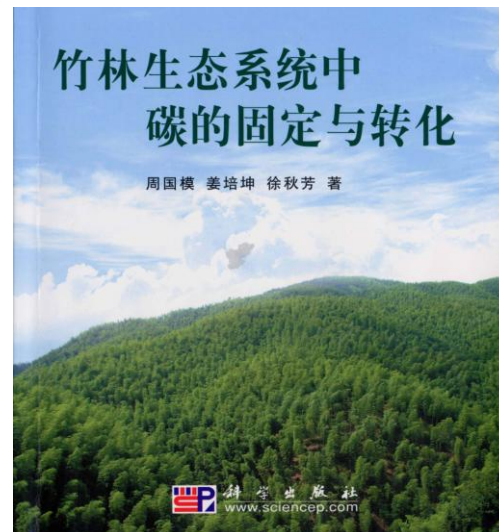
■ 一、竹类资源与生长利用特性

■ 二、竹林固碳特征与碳汇能力

■ 三、竹林未来发展与响应措施

二、竹林固碳特征与碳汇能力

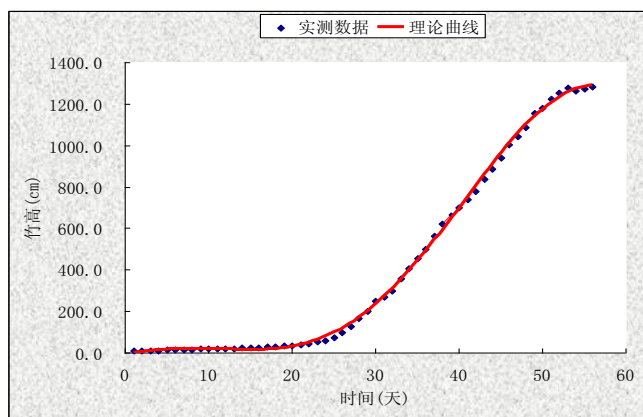
- 从2001年开始，浙江农林大学围绕竹林碳汇持续进行了十余年的系统研究
- 研究表明：竹林具有异于其他森林类型的**固碳特征**，并表现出**优良的固碳能力**。



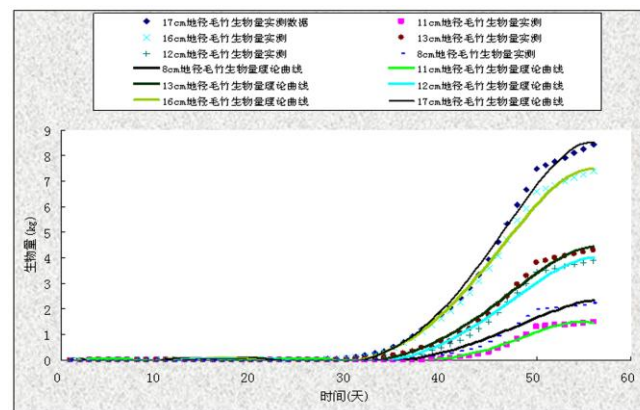
(一) 竹林固碳特征

1、毛竹生长与林分碳积累规律

- 新竹快速长成，55天高径生长基本停止，枝叶生物量呈爆发式增长特点，为后续的光合固碳提供了良好的空间
- 幼竹固碳能力快速形成，其固碳量在6个月时已占全年固碳量的88.8%以上
- 1年生以上老竹对竹林碳积累的贡献率已不到10%，新竹构成竹林林分的固碳主体。



毛竹（笋期）高生长曲线



毛竹（笋期）生物量生长曲线

2、毛竹单株碳空间分配特征

- **含碳率**：毛竹不同器官含碳率波动在0.4683–0.5210 之间，平均含碳率为0.5042。
- **碳储量**：碳储量分配以竹秆占比例最大，为50.97%，其次为竹根，占19.79%，占比例最小的是竹叶，仅占4.87%。
- **地下生物量占比**：地下生物量（（竹蔸、竹根和竹鞭） 占总生物量的37.75%。

毛竹碳分布测试分析结果

Organ	Biomass /t :hm ⁻² (%)	Carbon storage/t·hm ⁻² (%)
Leaf	3.182 ± 0.358 (5.25)	1.490 ± 0.127 (4.87)
Branch	4.034 ± 0.468 (6.65)	2.001 ± 0.160 (6.54)
Trunk	30.539 ± 3.290 (50.35)	15.587 ± 1.357 (50.97)
Underground trunk	3.426 ± 0.297 (5.65)	1.717 ± 0.153 (5.62)
Underground stem	7.847 ± 0.699 (12.94)	3.732 ± 0.339 (12.21)
Root	11.619 ± 1.034 (19.16)	6.053 ± 0.520 (19.79)
Total	60.647 (100)	30.580 (100)

3、毛竹生态系统碳分布格局

毛竹林生态系统碳总储量为 $106.362 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ （土壤层厚度为：0-60cm）

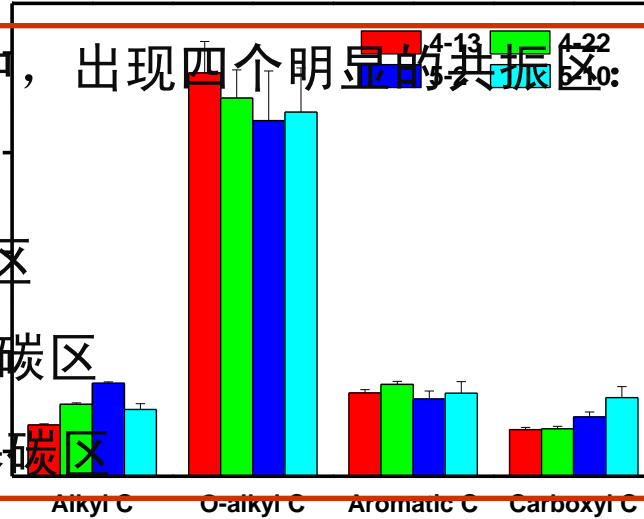
- 植被层（乔木、灌木和草本层）占 32.18%
- 枯落物层占 0.62%
- 土壤层占 67.20%

层次	乔木层	灌木层	草本层	枯落物层	土壤层
碳储量 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	30.580	3.170	0.481	0.656	71.475
占比例/%	28.75	2.98	0.45	0.62	67.20

4、毛竹碳形态与稳定性特征

4-13 在毛竹笋期C形态核磁共振波谱中，出现四个明显的共振区

- 0-50 mm: Alkyl C 烷基碳区
- 50-110 mm: O-alkyl C 烷氧碳区
- 110-160 mm: Aromatic C 芳香碳区
- 160-220 mm: Carboxyl C 羧基碳区



5-2 毛竹碳主要由**烷基碳**、**烷氧碳**、**芳香碳**、**羧基碳**四种碳形态组成

其中**烷氧碳**是碳形态主体，约占**70%**

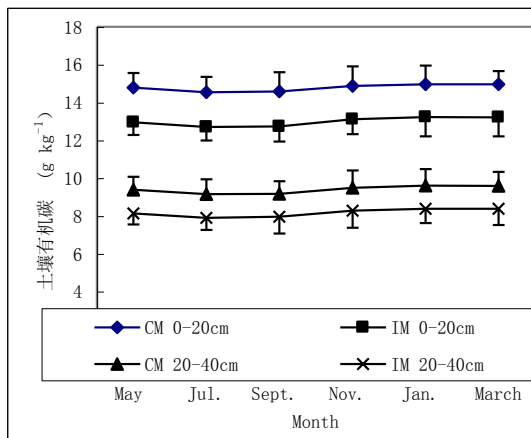
5-10 不同毛竹笋期，四种碳形态所占比例变异不大，说明随着毛竹生长，碳在不断积累，但其**碳形态非常稳定**



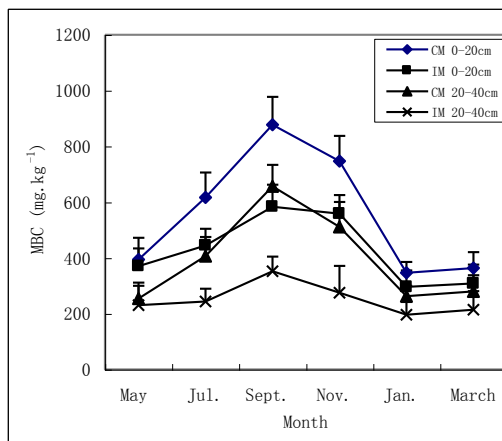
核磁共振波谱仪

5、经营对竹林土壤碳库及稳定性影响

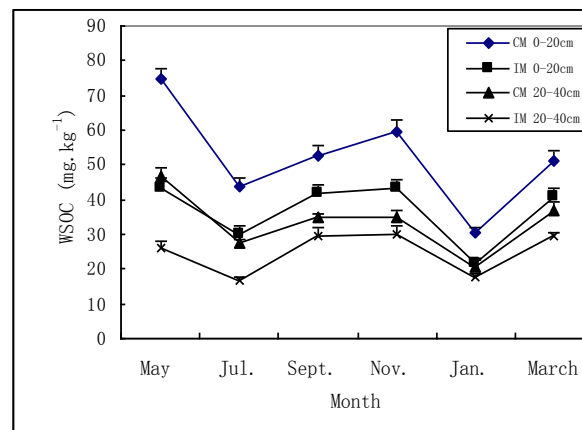
- 集约经营和粗放经营竹林土壤水溶性有机碳、微生物量碳在1年内均呈较大的动态变化特征。
- 集约经营导致毛竹林土壤总有机碳、水溶性有机碳和微生物量碳库显著下降。



总有机碳



微生物量碳



水溶性有机碳

➤ 集约经营过程中竹林土壤不同形态碳库的变化特征

- 长期集约经营对土壤碳库带来负面影响，显著降低毛竹林土壤各种形态碳库含量。

集约经营时间	总有机碳 TOC (g/kg)	水溶性碳 WSOC (mg/kg)	微生物量碳 MBC (mg/kg)	矿化态碳 MC (mg/kg)
0年	25.9 a	65.2 a	490.9 a	24.5 a
5年	22.8 b	41.7 b	387.2 b	13.5 b
10年	18.3 c	39.9 b	364.4 b	11.1 b
15年	16.1 d	38.4 b	330.5 bc	10.3 b
20年	16.5 d	39.5 b	308.9 c	11.3 b
30年	16.9 d	40.1 b	289.4 c	10.5 b

注：集约经营时间0年表示该毛竹林为粗放经营模式

➤ 集约经营过程中竹林土壤不同碳官能团含量变化特征

- 随着集约经营时间的增加，毛竹林土壤烷基碳、羰基碳及 A/O-A 值显著增加，而烷氧碳、芳香碳及芳香度显著下降。
- 长期集约经营措施显著降低毛竹林土壤碳库的稳定性。

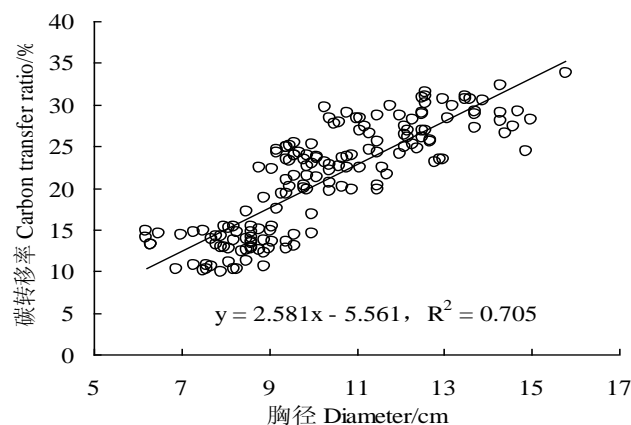
集约经营历史	烷基碳 Alkyl C	烷氧碳 O-alkyl C	芳香碳 Aromatic C	羰基碳 Carbonyl C	A/O-A	芳香度 Aromaticity
0	21.2 c	58.4 a	10.5 a	9.9 c	0.4 c	11.6 a
5	22.5 c	57.1 a	9.7 a	10.7 c	0.4 c	10.9 a
10	26.4 b	55.5 ab	8.6 ab	9.5 c	0.5 b	9.5 ab
15	25.8 b	52.1 b	6.8 b	15.3 a	0.5 b	8.0 b
20	28.7 a	50.4 b	7.8 b	13.1 b	0.6 a	9.0 ab
30	29.3 a	51.0 b	7.1 b	12.6 b	0.6 a	8.1 b

6、竹林产品的碳转移与碳存储特征

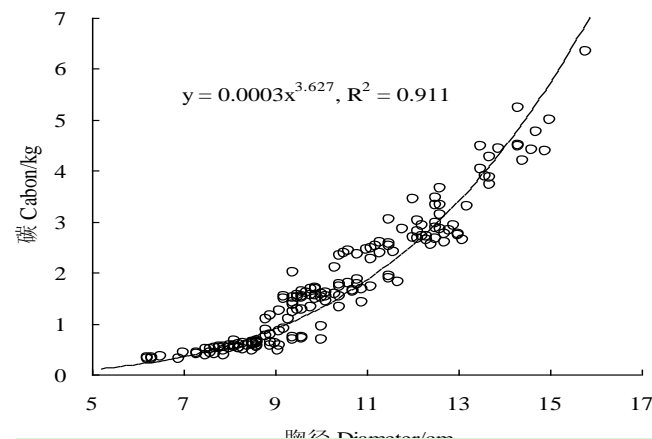
- 竹产品储碳是竹林碳汇中的一个十分重要和关键的组成部分，国际国内十分关注
- 在浙江、福建、江西等省选择重点竹加工企业，开展竹产品加工过程中的碳转移研究
- 全程跟踪竹产品的生产工序过程，研究计量竹产品的碳足迹和碳标签等



- 通过研究发现：采用普通加工工艺，从竹材到竹板材的综合碳转移率一般在**35.0%到39.7%之间**，平均约为**37.0%**。
- 但采用先进的**原竹无裂纹展开技术**，其综合碳转移率可提高到**52.4%到74.4%之间**。
- 我们认为：竹林不断采伐利用，不仅可提供丰富的竹材资源，缓解木材需求压力；从固碳角度看，一方面可**有效拓展和增加毛竹林分的固碳空间**，同时竹材中的碳可转移至竹产品中长期保存。

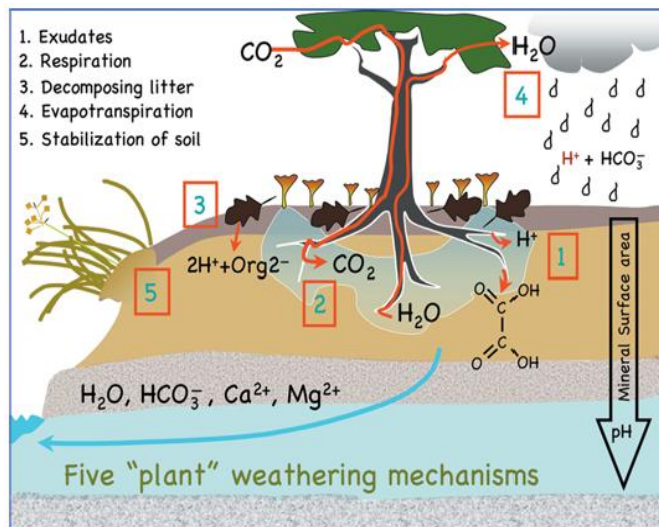


不同胸径毛竹竹板材综合碳转移率

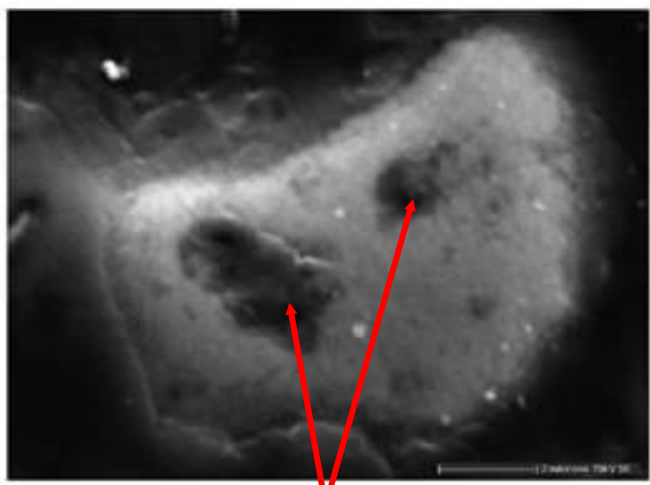


不同胸径毛竹转移到竹产品中的碳储量

7、毛竹林风化碳汇和植硅体碳汇特征



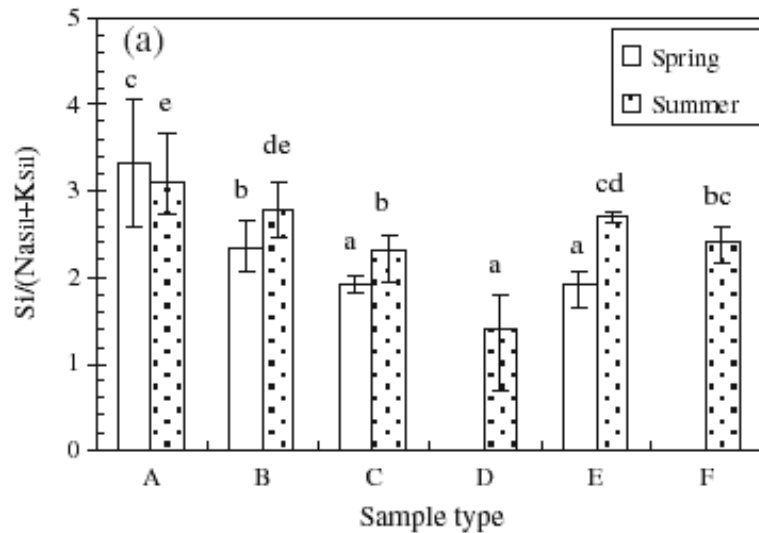
● 陆地风化过程中 CO_2 消耗(约 $0.7 \times 10^9 t a^{-1}$)是全球长期(万年尺度)碳循环的重要环节。禾本科植物可通过硅吸收等机制加速陆地风化过程，提高风化碳汇潜力。



植硅体包裹有机碳

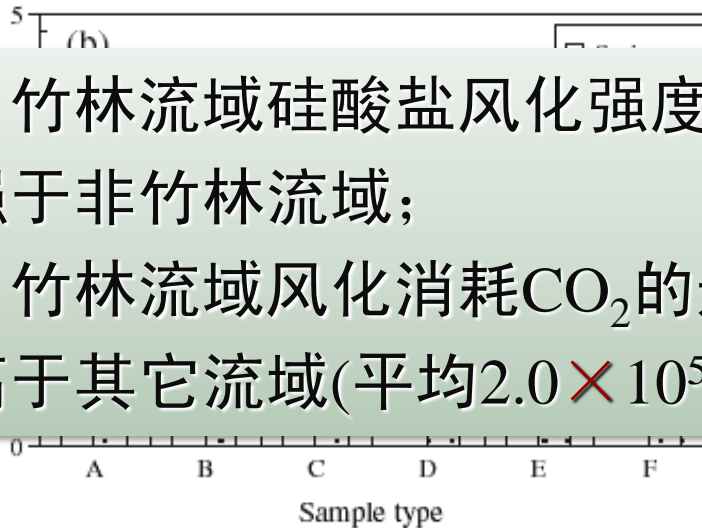
● 禾本科（如竹子）植硅体包裹态有机碳(约6%)在植物降解后能长期累积于土壤中，是陆地生物地球化学固碳的重要机制之一。

(1) 竹林对硅酸盐风化碳汇的影响



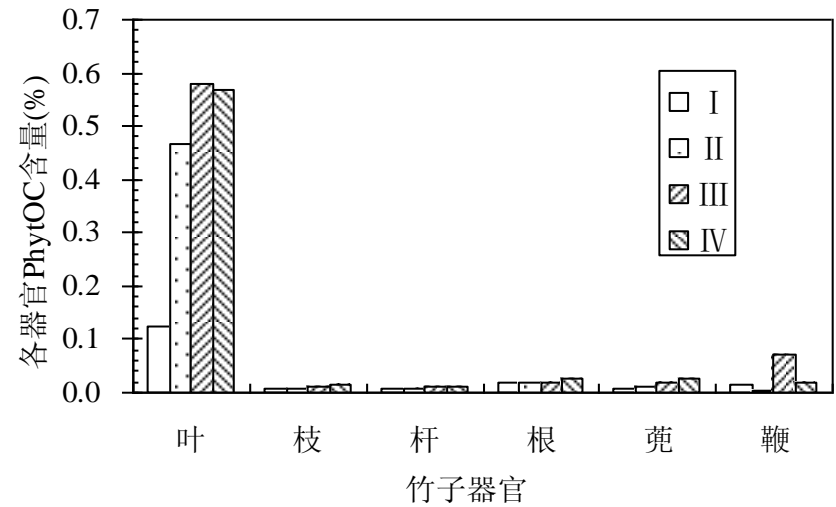
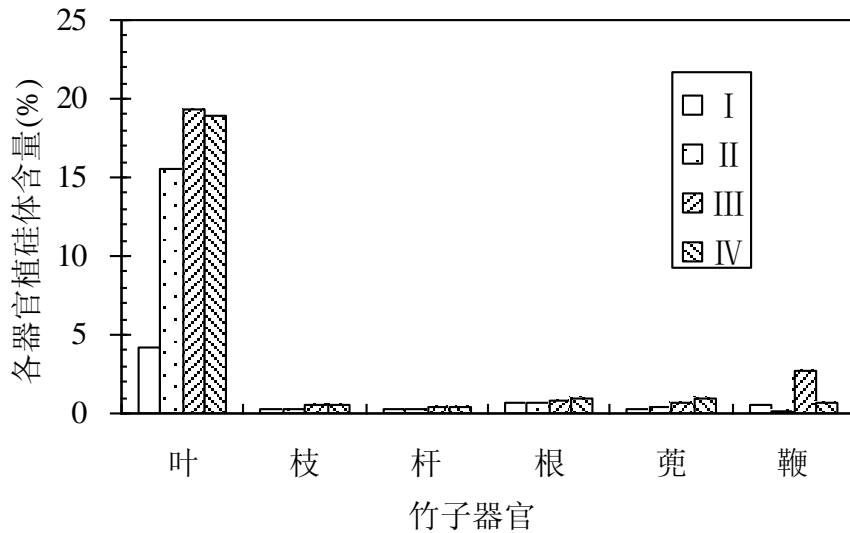
不同类型溪水样品Si/(Na_{Siil}+K_{sil})摩尔比(a)和大气CO₂消耗通量(b)的变化
植被覆盖A和B是竹林，C~E是混交林，F是阔叶林。采集春夏季溪水样。

- 竹林流域硅酸盐风化强度 (Si/(Na硅酸盐+K硅酸盐)摩尔比) 强于非竹林流域;
- 竹林流域风化消耗CO₂的速率平均为 $2.5 \times 10^5 \text{ mol km}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 高于其它流域(平均 $2.0 \times 10^5 \text{ mol km}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)。



(2) 毛竹各器官植硅体和植硅体态碳含量

- 毛竹不同器官植硅体含量和植硅体态碳含量大小排序为：
叶>鞭>根>莖>枝≥杆。

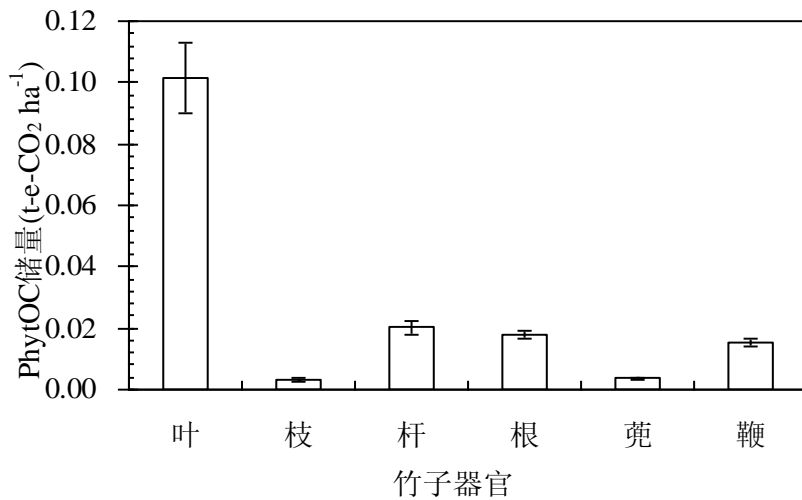


不同年龄毛竹各器官植硅体含量分布
(I 为1~2年竹, II 为2~4年竹, III 为4~6年竹, IV 为>6年竹)

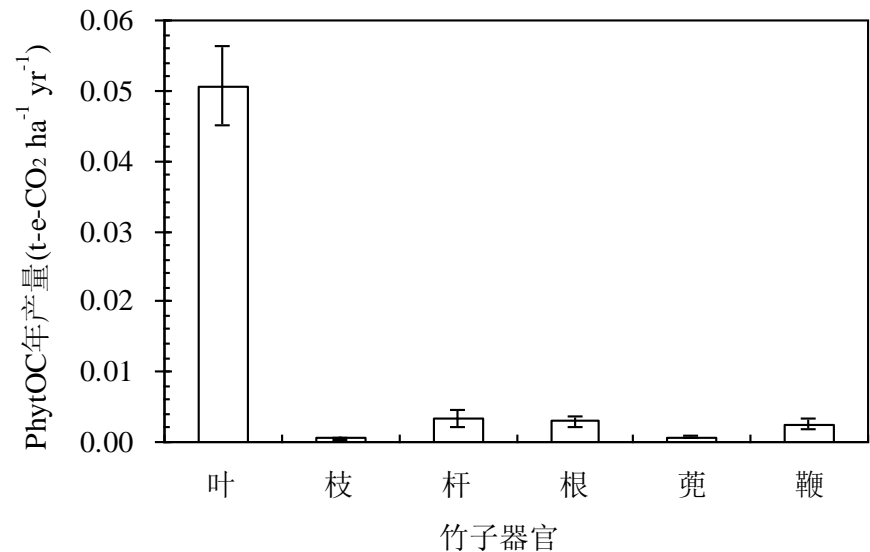
不同年龄毛竹各器官植硅体态碳(PhytOC)含量分布

(3) 毛竹植硅体碳储量和植硅体碳速率

- 毛竹林植硅体碳储量平均 1.56 t hm^{-2} ，主要储存于竹叶中（约占60%）；
- 通过凋落物形式转移到土壤中植硅体碳的平均速率为 $0.06 \text{ t CO}_2 \text{ hm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。



毛竹各器官植硅体态碳
(PhytOC)储量分布



毛竹各器官植硅体态碳
(PhytOC)年产生量分布

(4) 竹林对于中国森林植硅体碳汇的贡献

- 研究和估算了中国八大森林类型植硅体碳汇速率
- 目前中国森林植硅体碳汇速率为 $1.7 \pm 0.4 \text{ Tg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ ，约30%的碳汇速率来自于竹林（竹林面积仅占4.9%）

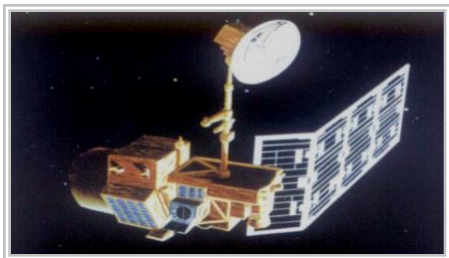
中国森林植硅体碳汇速率（枯落物层和草本层）

森林类型	面积 ($10^6 \cdot \text{hm}^2$)	ANPP 地上净初级生产 力 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$)	植硅体含量 (%)		植硅体态碳通量 ($\text{Kg CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$)		植硅体态碳速率 ($\text{Tg CO}_2 \cdot \text{yr}^{-1}$)	
			平均数	标准差	平均数	标准差	平均数	标准差
冷温带和温带针叶林	24.14	5.19	1.32	0.24	7.54	1.36	0.18	0.03
亚热带和热带针叶林	29.54	5.06	1.19	0.25	6.60	1.40	0.19	0.04
针阔混交林	4.68	6.60	1.24	0.41	9.01	3.00	0.04	0.01
落叶阔叶林	42.40	6.03	1.29	0.28	8.55	1.84	0.36	0.08
亚热带常绿和落叶阔叶林	12.48	8.05	2.45	0.70	21.70	6.22	0.27	0.08
亚热带常绿阔叶林（硬阔）	21.37	8.60	1.36	0.61	12.89	5.80	0.28	0.12
热带森林	0.95	10.89	2.51	2.13	30.06	25.57	0.03	0.02
亚热带和热带竹林	7.20	7.37	10.07	0.88	81.63	7.11	0.59	0.05
总计	142.76	6.37	1.94	0.44	13.62	3.10	1.94	0.44

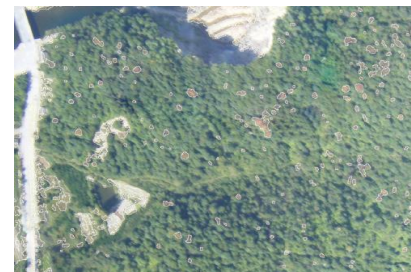
(二) 竹林碳汇能力

1、基于多源遥感估测区域竹林碳密度与碳储量

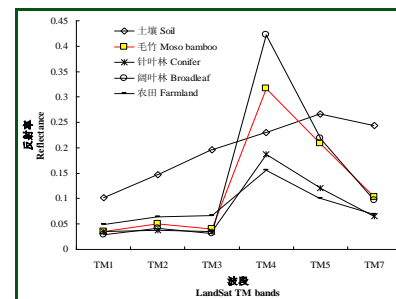
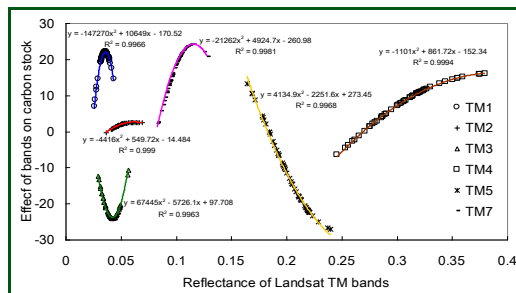
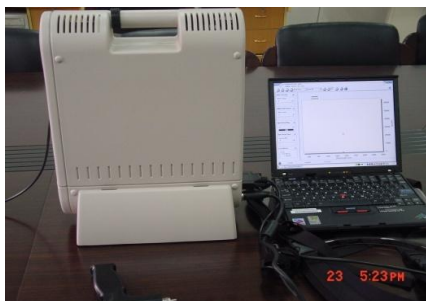
不同
数据平台



多种
遥感数据

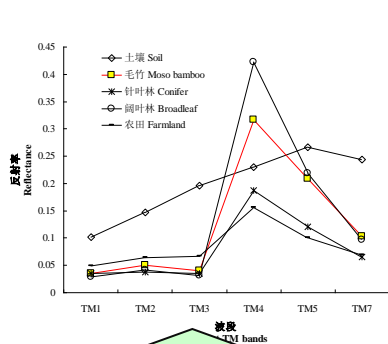


光谱分析
遥感解译

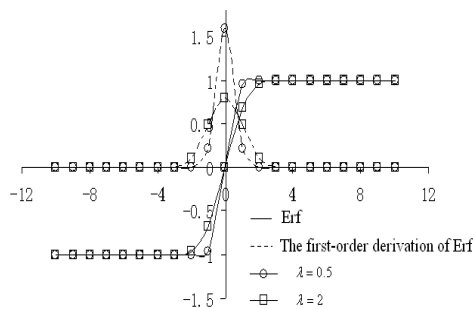


➤ (1) 竹林面积资源的遥感信息提取

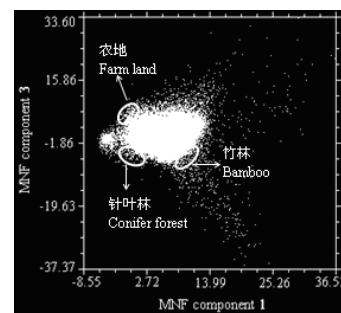
- 基于TM数据，采用光谱特征、神经网络、混合像元分解等方法可有效提取出竹林资源信息，分类精度均达到80%以上。



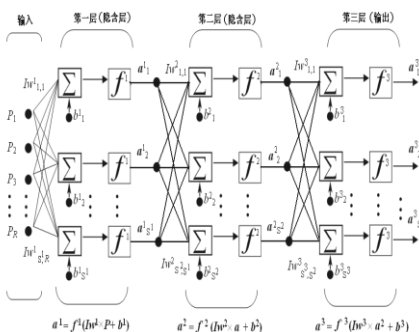
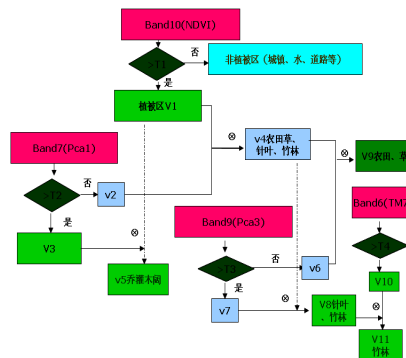
光谱特征法



神经网络法



混合像元分解法

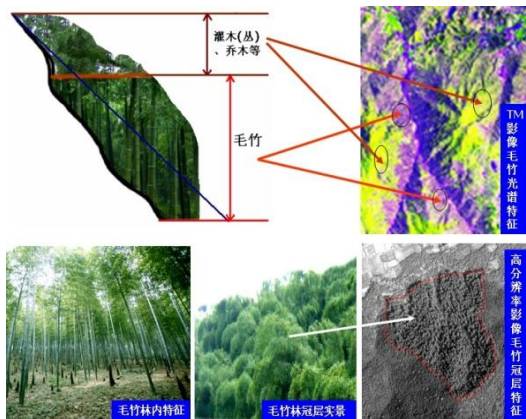


$$R_i = \sum_{k=1}^N f_k R_{ik} + \varepsilon_i$$

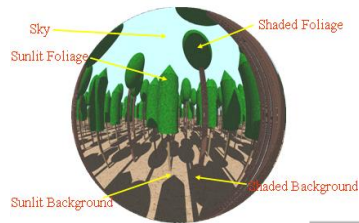
$$\sum_{k=1}^N f_k = 1$$

➤ (2) 竹林冠层参数的遥感定量反演

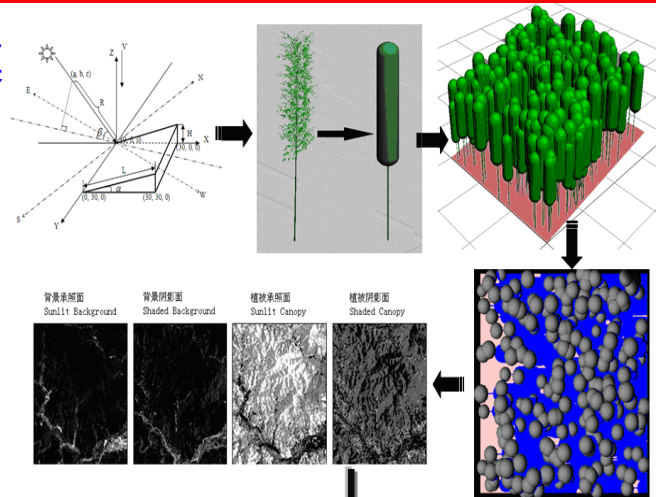
- 基于模拟真实场景的端元提取技术，并借鉴几何光学模型，成功反演出毛竹林冠层郁闭度和叶面积指数。



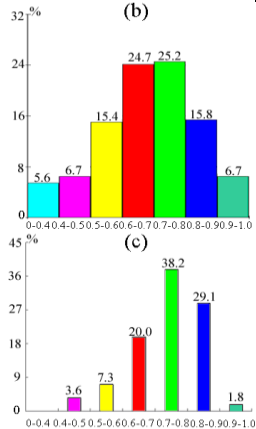
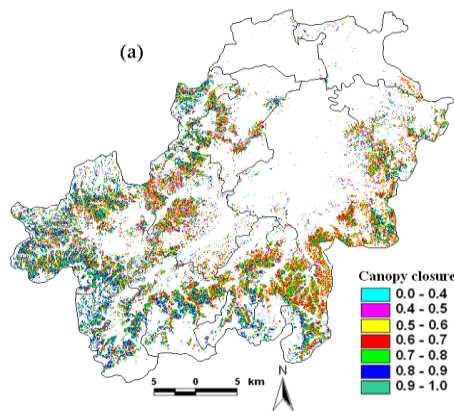
借鉴几何光学模型



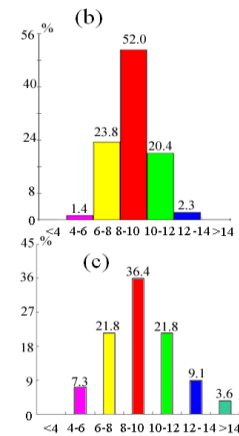
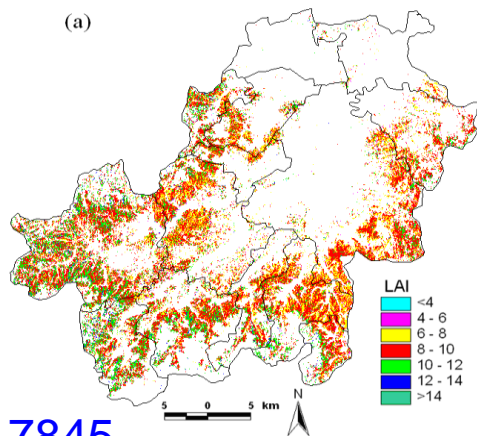
模拟毛竹林真实场景



毛竹林具有特征相似的冠层结构



冠层郁闭度反演结果与实测值的相关性为0.7845



叶面积反演结果

➤ (3) 基于非参数和非线性模型实现竹林碳储量遥感定量反演

非参数模型-Erf-BP神经网络模型

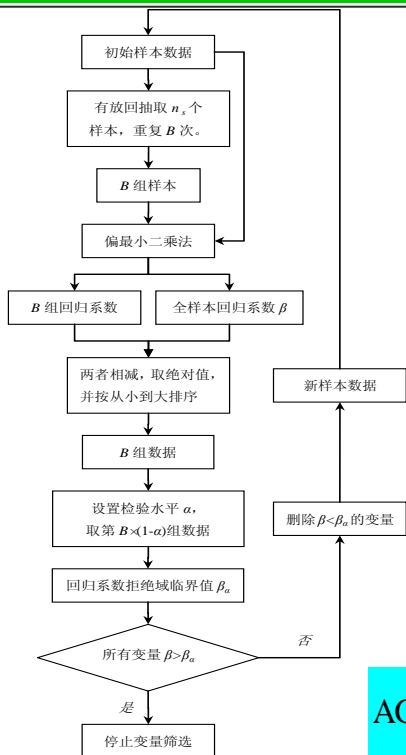
Variable	r	Variable	r	Variable	r	Variable	r
Band 2	0.338*	SR	-0.007	PCA2	0.123	CorrB4_9	-0.362**
Band 3	0.293*	TVI	-0.056	PCA3	0.313*	ContB4_11	0.290*
Band 4	0.355**	PVI	0.316*	TCT1	0.341*	MeanB2_25	0.286*
Band 5	0.217	IVI	0.321*	TCT2	0.298*	MeanB4_25	0.257
Band 7	0.333*	SAVI	0.275*	TCT3	0.167	MeanB7_25	0.207
NDVI	-0.053	EVI	0.255	VariB7_5	0.377**	AsmB2_25	-0.244
DVI	0.320*	PCA1	0.338*	CorrB3_7	-0.314*	EntrB3_25	0.267

波段

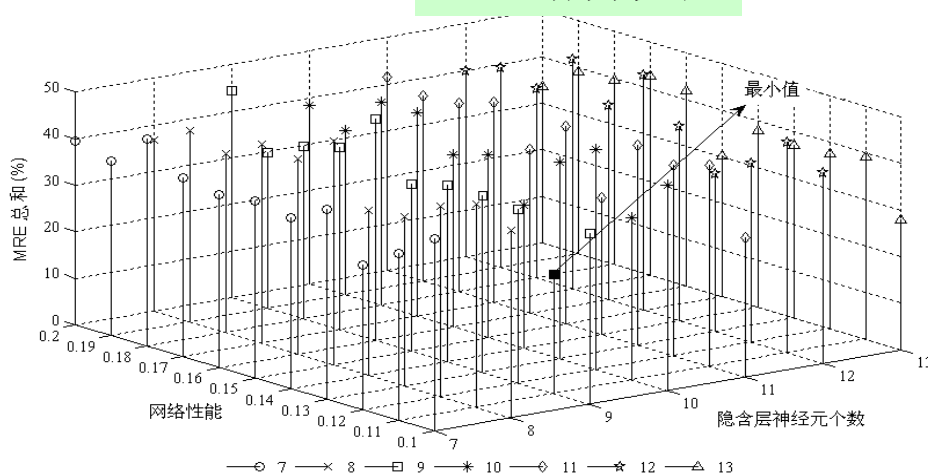
植被指数

空间纹理信息

Bootstrap变量筛选



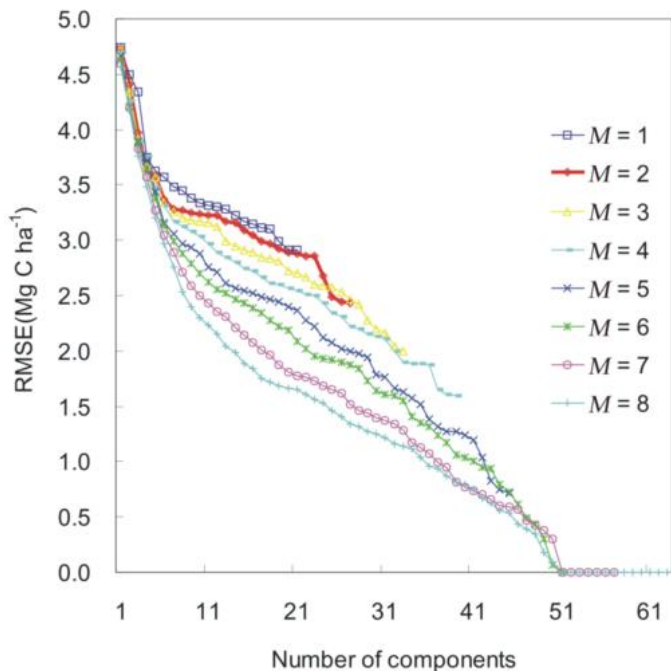
网络结构优化



Erf-BP神经网络模型构建

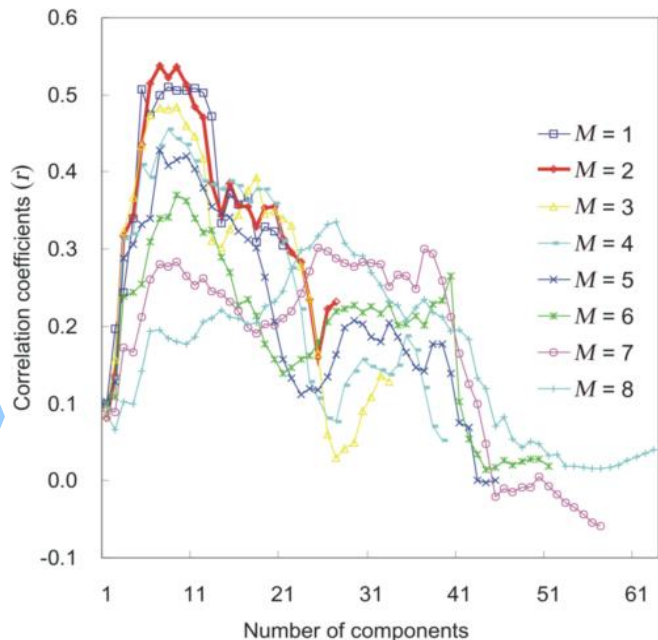
$$AGC_{Erf-BP} = \frac{MAXY - MINY}{(1 + \exp(-(\text{Erf}(X \times IW + \text{ones}(n,1) \times b_1) \times LW + \text{ones}(n,1) \times b_2)))} + MINY$$

非线性偏最小二乘模型



模型参数选择

模型优化

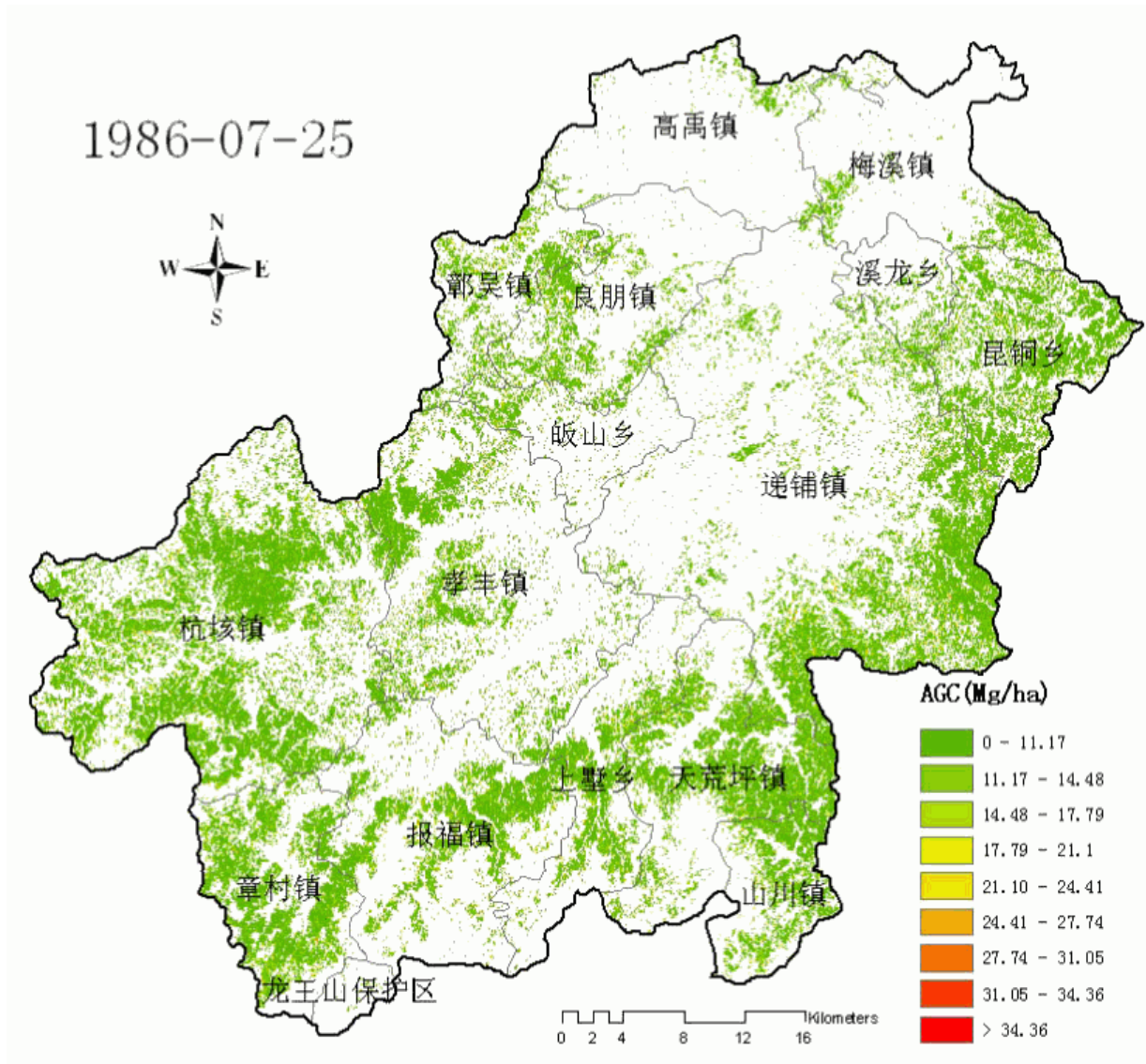


所选模型一般表达式

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_{1,0}Z_{1,0} + \beta_{1,1}Z_{1,1} + \dots + \beta_{6,4}Z_{6,4} + \beta_{6,5}Z_{6,5}$$

- 基于TM中分辨率数据和MODIS低分辨率数据，实现了大尺度毛竹林信息提取和碳储量估算
- 近20多年（1986-2008）安吉县竹林碳密度和碳储量呈逐渐增大趋势，5个时期的碳密度分别是11.50，15.09，18.35，23.41，22.46 Mg hm⁻²

安吉县毛竹林碳储量的时空动态反演结果 (1986~2008年共5期)



2、基于传统测树调查的竹林碳储量测算技术

➤ 构建出毛竹生物量统一模型

$$f(x_1^*, \dots, x_p^*) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k T_{c_1}(x_1^*) T_{c_2}(x_2^*) \cdots T_{c_p}(x_p^*) (c_1, c_2, \dots, c_p = 0, 1, 2, \dots)$$

该模型精度高，模型误差比传统方法降低了一个数量级。模型扩展性良好，可以适应于与生物量有关的任意 p 个因子。

➤ 研建了毛竹单株生物量模型

$$f(D, A) = 747.787 D^{2.771} \left(\frac{0.1484 A}{0.028 + A} \right)^{5.555} + 3.772 \quad \mathbf{R^2=0.937}$$

➤ 构建测树因子二元最大熵与二元Weibull分布模型

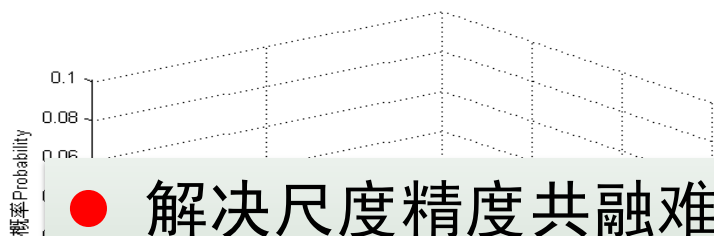
二元最大熵分布模型:

$$\exp(a_0 + \sum_{i=1}^{m_1} b_i x_1^i + \sum_{j=1}^{n_1} c_j x_2^j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} x_1^i x_2^j)$$

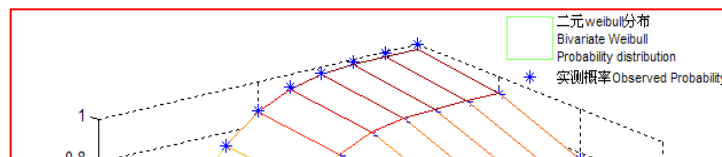
二元weibull分布模型:

$$1 - \exp\left\{-\left(\frac{x_1 - a_1}{b_1}\right)^{c_1}\right\} - \exp\left\{-\left(\frac{x_2 - a_2}{b_2}\right)^{c_2}\right\} + \exp\left\{-\left[\left(\frac{x_1 - a_1}{b_1}\right)^{c_1/r} + \left(\frac{x_2 - a_2}{b_2}\right)^{c_2/r}\right]^r\right\}$$

二元最大熵分布模型图象:



二元weibull分布模型图象:



- 解决尺度精度共融难题，实现任意尺度碳储量的测算
- 只需知道任意区域毛竹总株数一个变量，可准确测算该区域毛竹碳储量。据此计算得到：2009年浙江省毛竹总碳储量为 1.0348×10^7 吨，全国毛竹总碳储量为： 4.6840×10^7 吨。

3、基于林分调查与土壤呼吸测定的竹林碳收支

- 集约经营既能增加净初级生产力(NPP)，同时又会增加毛竹林生态系统土壤呼吸，对净生态系统生产力 (NEP)一般是有利的。
- 集约经营毛竹林年净固碳量约是粗放经营毛竹林的**1.9倍**。

项目	粗放经营毛竹林	集约经营毛竹林
收入项目	单位: ($t\ hm^{-2}\ a^{-1}$)	
新生竹固碳量	6.0563	11.3890
老竹固碳量	0.4211	0.6481
凋落物生产量	2.1558	1.1725
林下植被	0.5459	0
支出项目		
凋落物呼吸	1.0348	0.4690
土壤异氧呼吸	6.342	9.924
收支结余	1.8023	3.4466

4、基于通量塔和无线传感的竹林碳源汇动态

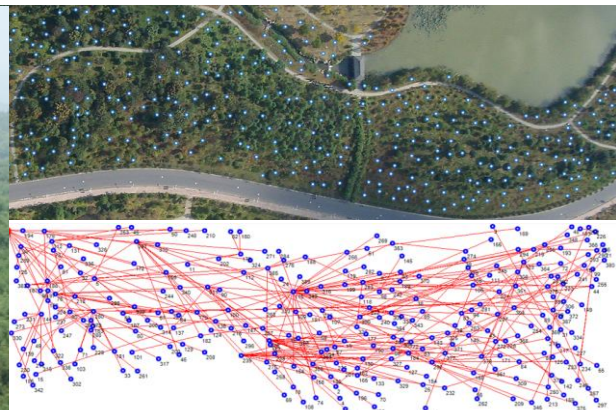
- 建立两座竹林通量塔，并布置了无线传感网，同时结合LI-8150土壤呼吸测定系统
- 连续监测、精确分析毛竹林和雷竹林碳水通量、源汇动态变化及其对环境响应。



安吉毛竹 Eddy Flux
观测铁塔



临安雷竹 Eddy Flux
观测铁塔



无线传感网结点

■ 通量塔上布置的各种监测仪器设备



W200P



HMP45C



A100R



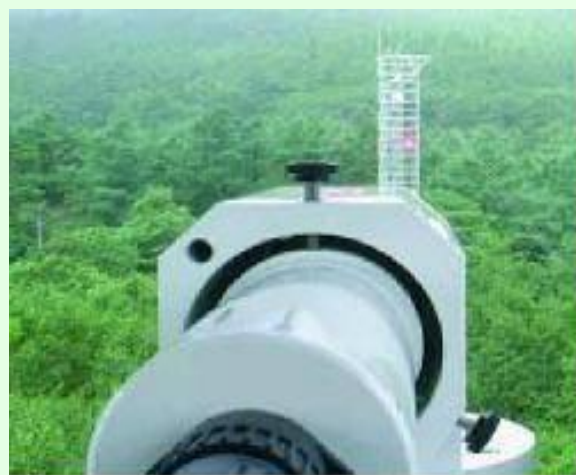
LI820



LI6262



CM11, CNR-1, LI190SB



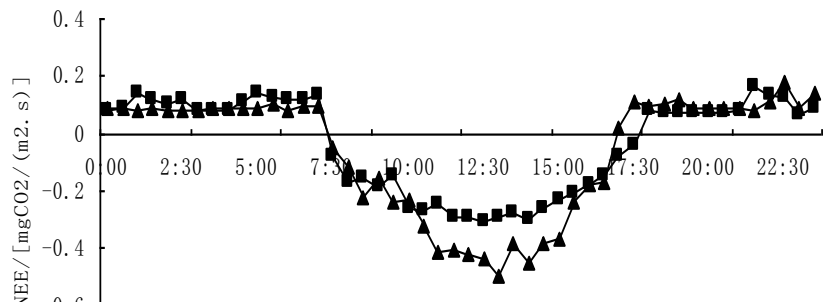
SLSCWA-140



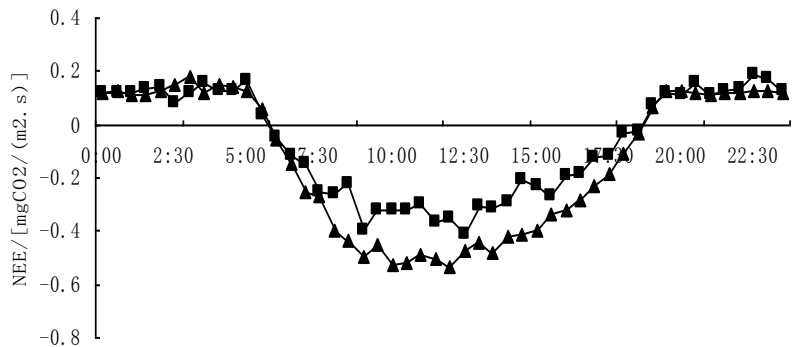
CR5000

毛竹林碳源汇动态监测

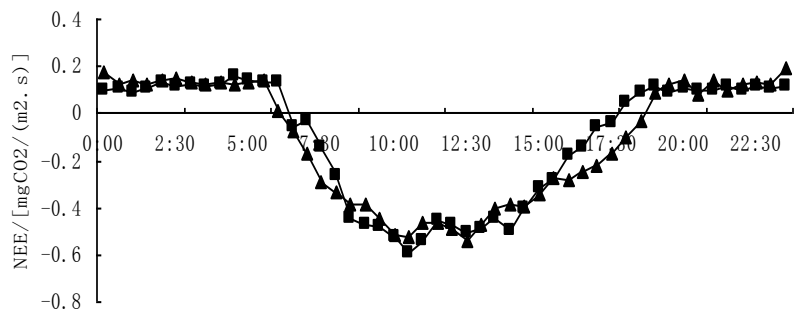
12-1月



6-7月



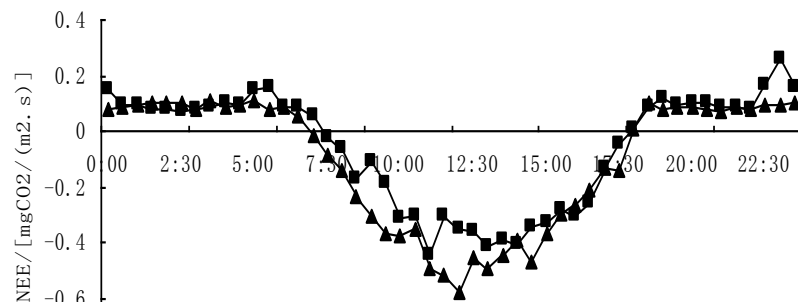
8-9月



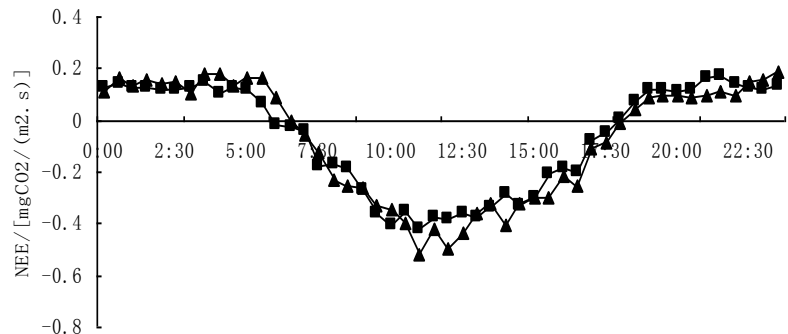
时间

▲ 8月 ■ 9月

2-3月

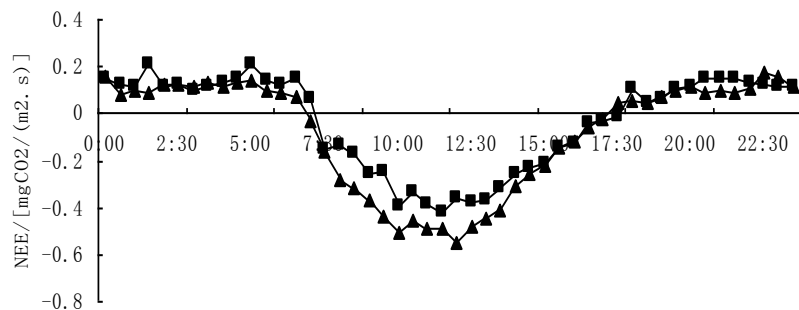


4-5月



▲ 4月 ■ 5月

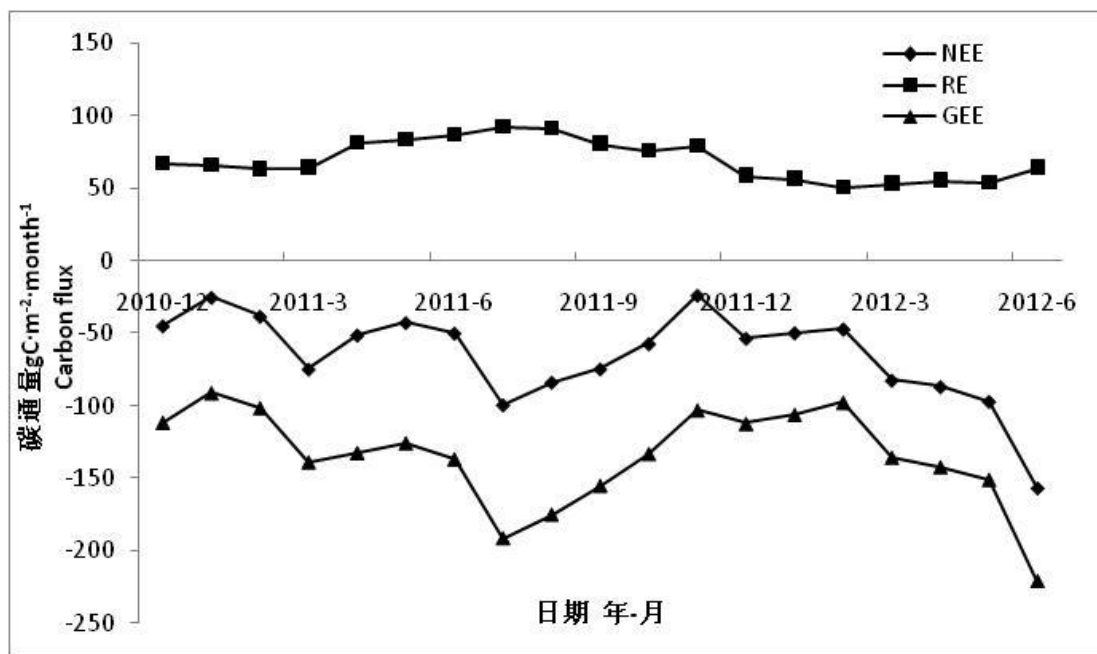
10-11月



时间

▲ 10月 ■ 11月

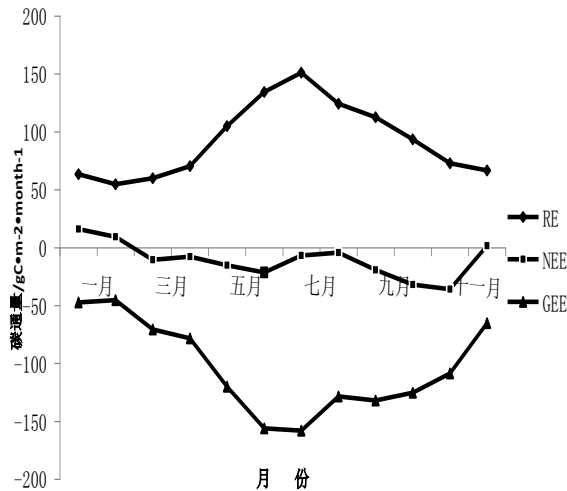
- 毛竹林净生态系统全年均呈较强的碳汇过程，但具有明显的季节变化特征。
- NEE表现为双峰型，在3月份和7月份分别出现了峰值。
- 毛竹林生态系统年净固碳量为6.629 t ha⁻¹ yr⁻¹，净固定CO₂量为24.309 t ha⁻¹ yr⁻¹。



2010年12月-2012年6月毛竹林累积净生态系统CO₂交换量 (NEE)、生态系统呼吸 (RE) 和总生态系统CO₂交换量 (GEE) 的季节过程

■ 雷竹林碳源汇动态监测

- 雷竹林生态系统，12、1、2月份呈现为碳净排放，其中 1月碳净排放最大（ 16.06g C m^{-2} ），其余月份为碳净吸收，其中11月固碳量最大
- 雷竹林生态系统也表现出一定的年碳汇能力，年净固碳量为 $1.263\text{ t ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ ，年净固定 CO_2 量为 $4.631\text{ t ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$



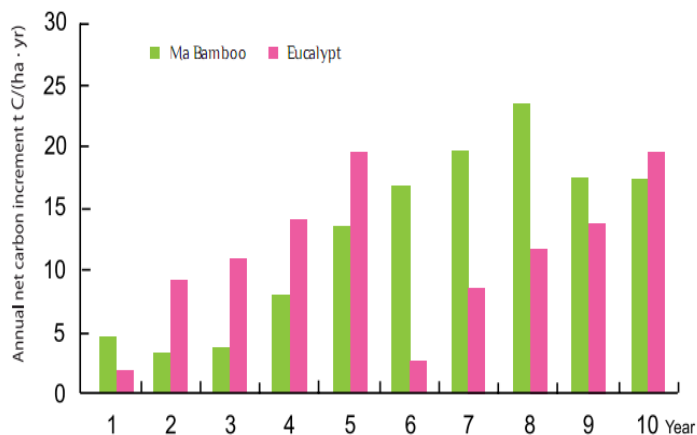
雷竹林全年各月累积净生态系统 CO_2 交换量（NEE）、生态系统呼吸（RE）和总生态系统 CO_2 交换量（GEE）变化过程

5、与其它树种相比，竹林表现出优良的固碳能力

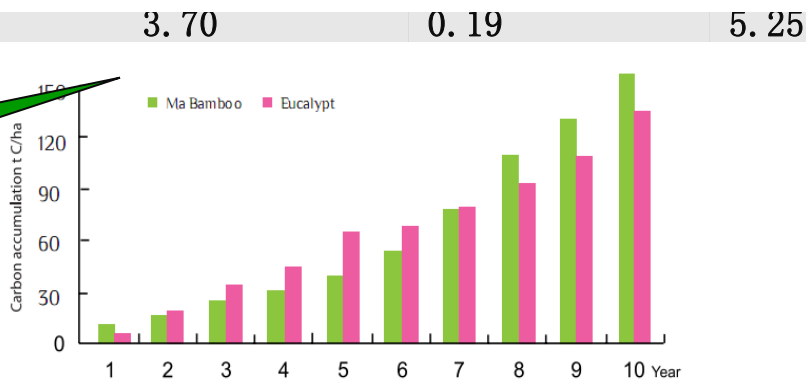
●散生毛竹年固碳量分别是杉木和马尾松的1.45倍，和1.87倍

林分	林龄/年	乔木 (t/ha·yr)
森林类型		植被
落叶松		5.8
云杉		6.2
樟子松		0.2
阔叶红松		1.36
温性针叶林		1.85
暖性针叶林		1.4
0.80		
17.2		
4.02		
常绿阔叶林		9.29
热带林		0.98
竹林		3.14

●丛生麻竹的固碳能力与速生树种桉树相当



麻竹和桉树年固碳量比较



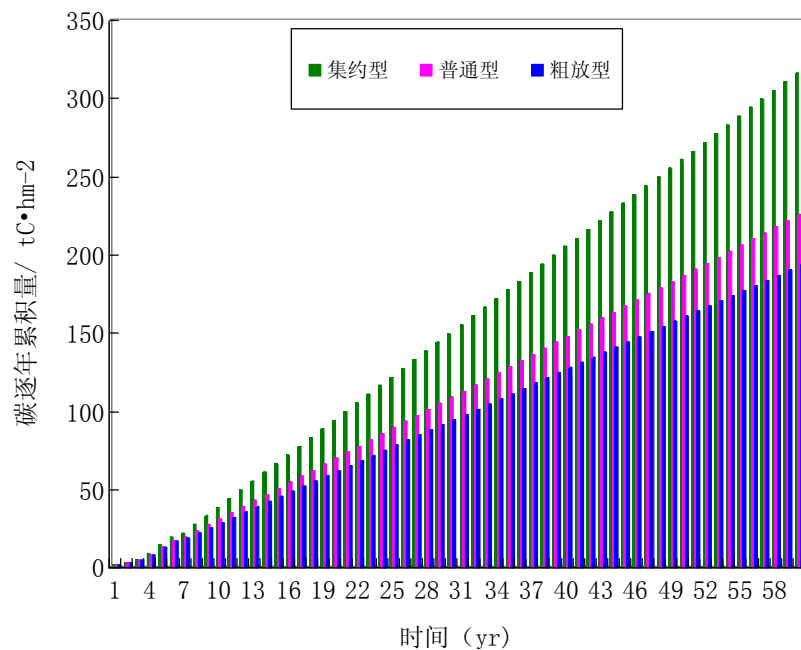
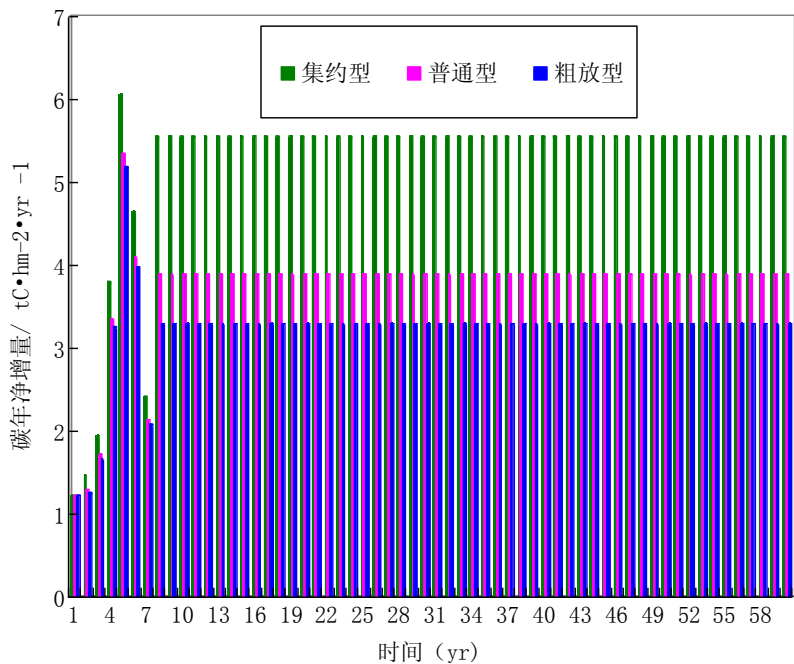
麻竹和桉树10年间碳积累量

碳量
n⁻²)

0
9
59

um⁻²)

6、现有竹林固碳还具有很大的提升空间



不同经营类型毛竹林碳年净增量

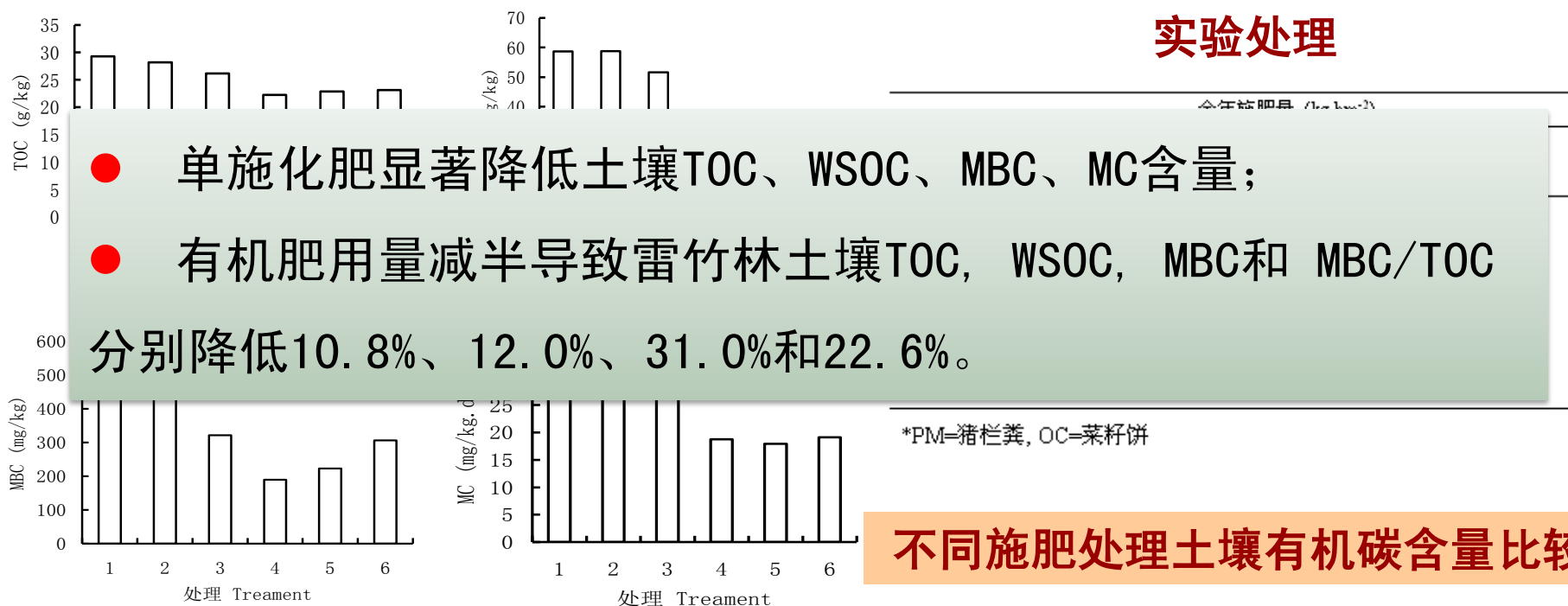
不同经营类型毛竹林碳逐年累积量

经营类型	经营措施	林地一般特点	立竹密度 (株/hm ²)	平均胸径 (cm)
集约型	每年施肥1次或2次，垦复1次，劈山，伐竹，挖笋	乔木层仅竹子，无混交乔木，林下无灌草	4400	10.52
普通型	每年施肥1次，无垦复，劈山，伐竹，挖笋	无混交乔木，林下灌草较少	3360	9.89
粗放型	无施肥，无垦复，不劈山，仅有伐竹，挖笋	可能有混交树种，有灌草层，有乔木更新苗	2895	9.81

(三) 竹林增汇减排技术

1、施肥对竹林土壤温室气体排放影响

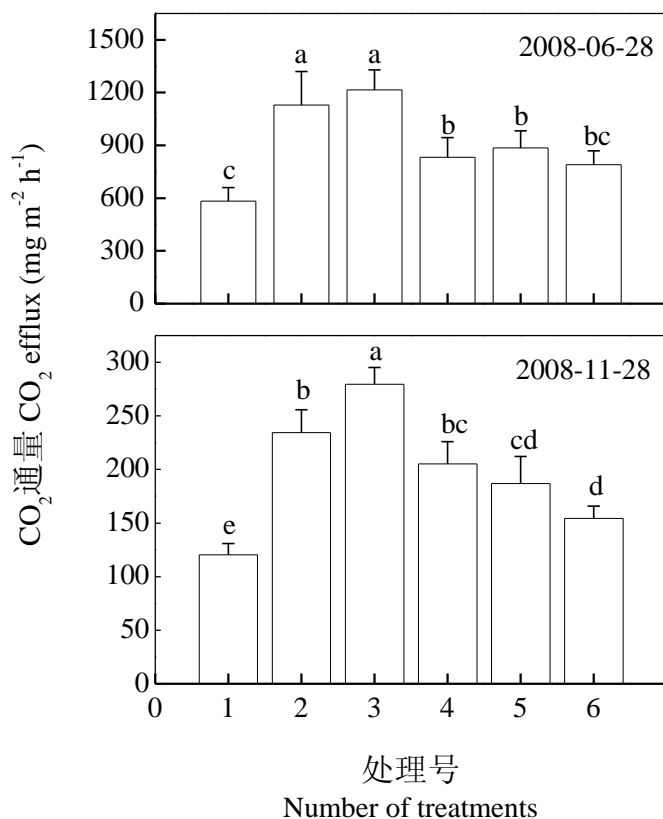
➤ 不同施肥处理对雷竹林土壤有机碳含量的影响



不同施肥处理土壤有机碳含量比较

➤ 不同施肥处理对土壤CO₂通量的影响

- 与对照（不施肥）相比，化肥施用显著增加毛竹林土壤CO₂排放速率。
- 土壤CO₂排放速率随化肥施用量增加而显著增加。



实验处理方案

处理号	施肥量 (kg hm ⁻²)		
	尿素	过磷酸钙	氯化钾
1 (CK)	0	0	0
2	450	450	150
3	900	900	300
4	225	225	75
5	450	0	0
6	0	450	150

2、提高竹林固碳能力的养分调控技术

- 不同施肥处理下，毛竹林净固碳能力差异显著，变幅为9.42~11.84 t CO₂ hm⁻² a⁻¹。
- 通过合理施肥，可使毛竹林的净碳汇能力提高27.6%（合理调控方案：**每公顷施肥265kg，N、P、K肥比例为47：15：38**）。

水平	因素		
	施氮量A kg hm ⁻¹	施磷量B kg hm ⁻¹	施钾量C kg hm ⁻¹
1	62.5 (A1)	20 (B1)	25 (C1)
2	125 (A2)	40 (B2)	50 (C2)
3	250 (A3)	80 (B3)	100 (C3)

不同肥料处理下毛竹林年净固碳量的比较

处理号	因素 (kg hm ⁻²)				毛竹林年净固碳量 (t C hm ⁻² a ⁻¹)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	空列	
1	62.5	20	25	1	2.57
2	62.5	40	50	2	2.69
3	62.5	80	100	3	2.79
4	125	20	50	3	2.99
5	125	40	100	1	3.23
6	125	80	25	2	3.08
7	250	20	100	2	3.04
8	250	40	25	3	2.91
9	250	80	50	1	2.85

3、提高竹林碳汇能力的林分结构优化方法

➤ 分析现有毛竹林分结构特征

- 浙江全省245个毛竹连续清查样地，并补充调查150个毛竹典型样地数据，共计76630株

样地号	株数	平均胸径 (cm)	一度竹 所占比例	二度竹 所占比例	三度竹所 占比例	四度及以 上竹所占 比例	碳储量 (Kg)
1	212	10.17	0.38	0.17	0.13	0.32	1512.09
2	189	8.35	0.01	0.36	0.20	0.43	929.01
...
395	122	10.20	0.01	0.07	0.11	0.80	873.59

➤ 构建毛竹固碳潜力林分结构优化模型

$$\max M_{Total} = (c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4)D_g^{c_5}N^{c_6}$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1$$

$$N = ke^{-aD_g} + b$$

$$x_1 \geq x_2$$

$$x_2 \geq x_3$$

$$x_3 \geq x_4$$

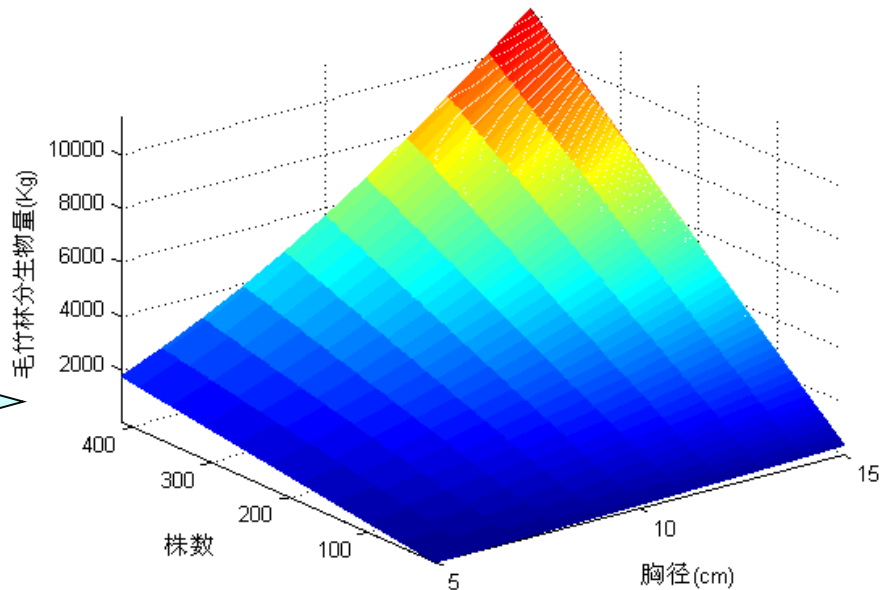
$$x_4 \geq x_3$$

$$x_3 \geq x_2$$

$$x_2 \geq x_1$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 > 0$$

作函数图像



通过结构优化，有望把毛竹固碳能力再提高2.2倍

$$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6 \quad x_1, x_2, x_3, x_4 \quad D_g$$

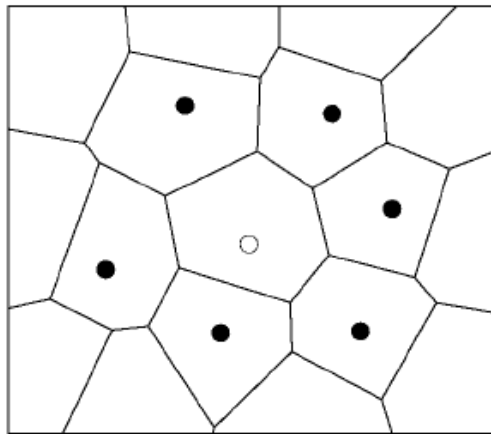
其取值范围确定的依据是全省森林资源连续清查资料确定 N 为毛竹立竹度

- $x_1=x_2=x_3=x_4=0.25$
- $N=4362$ 株, $D_g=12.1691$ cm
- 毛竹林分的碳储量达到最大, 为42.48t/hm²

4、增强竹林碳汇功能的空間结构优化技术

➤ 毛竹林高产的空間结构特征

● 空間结构分析方法



○ 目标竹 Object bamboo ● 最邻近竹 Nearest bamboo

基于 Voronoi 图的空間结构单元

聚集指数 $R_i = 2r_i / \sqrt{F/N}$

竞争指数 $I_i = \sum_{j=1}^{n_i} d_j / (d_i L_{ij})$

年龄隔离度 $M_i = \sum_{j=1}^{n_i} v_{ij} / n_i$

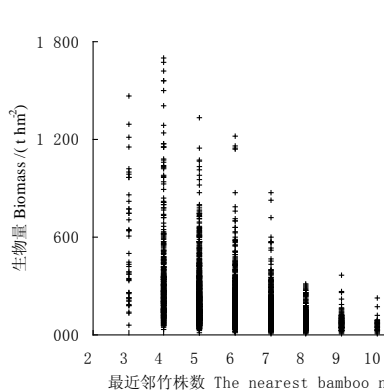
● 毛竹林高产的空間结构指数主成分分析

空間结构指数主成分分析

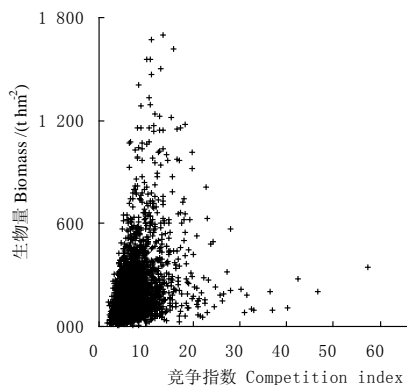
空間结构指数 Spatial structure indices	主分量 1 Principal component 1	主分量 2 Principal component 2	主分量 3 Principal component 3	主分量 4 Principal component 4
竞争指数 Competition index	-0.756	-0.103	0.556	0.329
年龄隔离度 Age mingling	0.175	0.949	0.261	0.011
聚集指数 Aggregation index	0.899	-0.088	-0.063	0.424
最近邻竹株数 Nearest bamboo number	0.603	-0.274	0.716	-0.222
特征值 Eigenvalue	1.774	0.995	0.894	0.337
贡献率 Contribution rate(%)	44.350	24.875	22.350	8.425
累计贡献率 Cumulative contribution rate(%)	44.350	69.225	91.575	100.000

◆ 影响毛竹林生长和生物量的空間结构因子重要性排序：聚集指数 > 年龄隔离度 > 最近邻竹株数 > 竞争指数

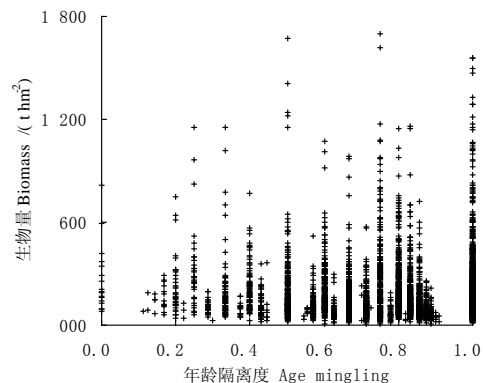
➤ 毛竹林空间结构对生物量碳储量的影响



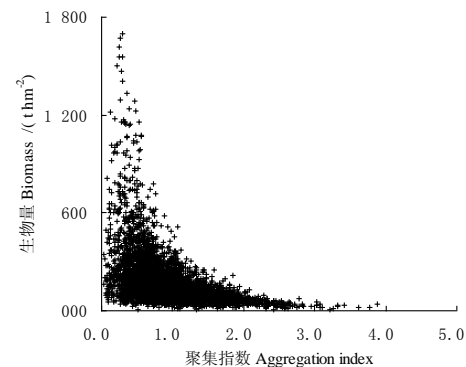
随着最近邻竹株数的增加，毛竹林单位面积生物量降低。



毛竹林应当维持在适当低强度竞争状态，能提高生物量



较高的年龄隔离度，有利于提高毛竹林生物量

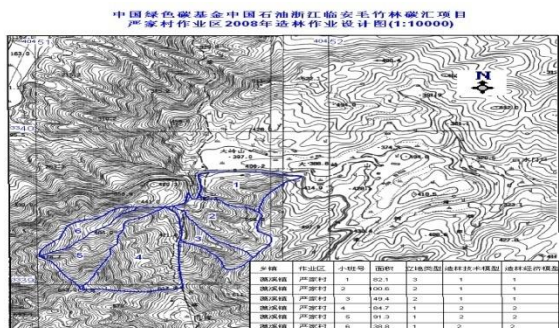


较高聚集程度是提高单位面积生物量的重要前提

- 年龄隔离度的增加可提高毛竹林单位面积生物量，高产的年龄隔离度大于等于0.5；
- 竞争指数增加使得单位面积生物量出现下降趋势；
- 当目标竹有4株最近邻竹时，生物量最高。

5、毛竹碳汇林造林方法与计量技术

- 在国家林业局、中国绿色碳汇基金会支持下，2008年，在浙江临安营造中国首个毛竹碳汇林715.8亩。
- 以此为基地，持续开展毛竹碳汇林基线调查、造林方法、碳汇计量监测研究工作。

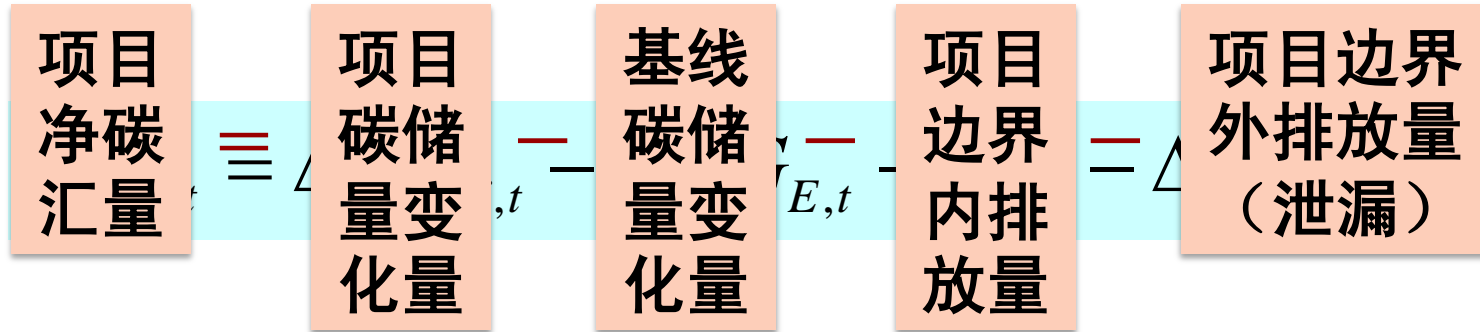


项目设计启动

实地造林实施

计量监测核查

项目净碳汇量计算方法



$C_{Proj,t}$

造林项目产生的净碳汇量, $t CO_2 a^{-1}$

$\Delta C_{Proj,t}$

项目碳储量变化量, $t CO_2 a^{-1}$

$GHG_{E,t}$

项目边界内增加的温室气体排放, $t CO_2 a^{-1}$

LK_t

造林项目引起的泄漏, $t CO_2 a^{-1}$

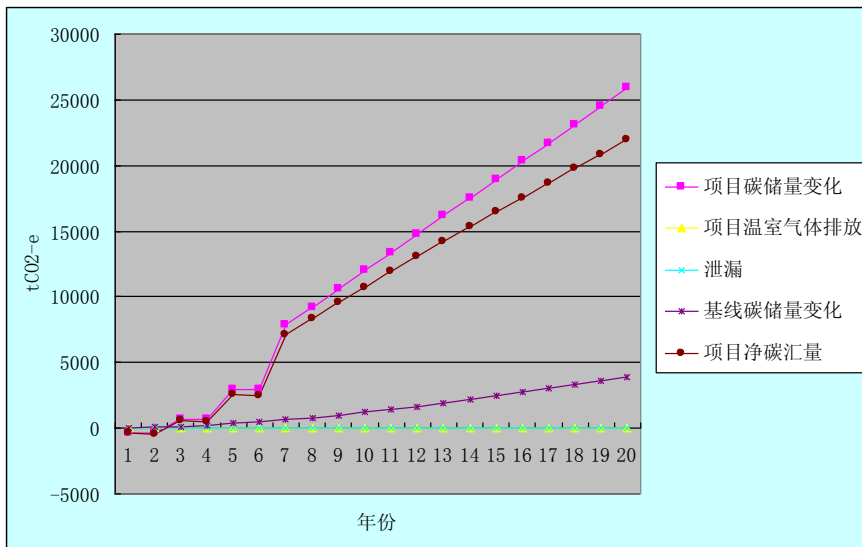
$\Delta C_{BSL,t}$

基线碳储量变化量, $t CO_2 a^{-1}$

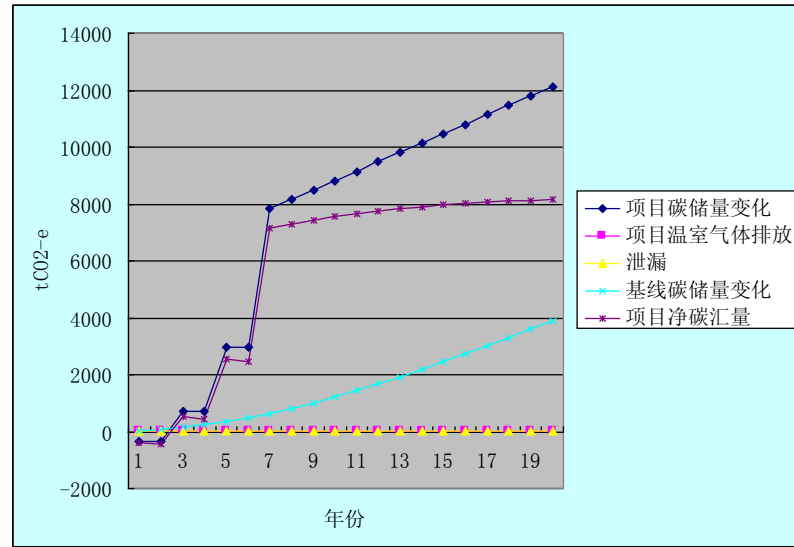
项目净碳汇量计量结果

年份	项目碳储量变化		项目温室气体排放		泄漏		基线碳储量变化		项目净碳汇量	
	年变化 tCO ₂ -a ⁻¹	累计 tCO ₂	年排放 tCO ₂ -e.a ⁻¹	累计 tCO ₂ -e	年排放 tCO ₂ -e.a ⁻¹	累计 tCO ₂ -e	年变化 tCO ₂ -a ⁻¹	累计 tCO ₂	年排放 tCO ₂ -e.a ⁻¹	累计 tCO ₂ -e
1	-331.81	-331.81	6.33	6.33	5.79	5.79	34.52	34.52	-378.45	-378.45
2	0.00	-331.81		6.33	0	5.79	50.88	85.4	-50.88	-429.33
3	1042.25	710.44	6.33	12.66	1.24	7.03	69.54	154.94	965.14	535.81
4	0.00	710.44		12.66	0	7.03	89.7	244.65	-89.7	446.1
5	2246.64	2957.08	6.33	18.99	1.24	8.27	110.6	355.24	2128.47	2574.58
6	0.00	2957.08		18.99	1.09	9.36	131.56	486.8	-132.65	2441.93
7	4863.65	7820.73	6.33	25.32	3.42	12.78	152.05	638.86	4701.85	7143.77
8	1389.63	9210.36		25.32	2.18	14.96	171.67	810.52	1215.78	8359.56
9	1389.63	10599.99		25.32	2.18	17.14	190.11	1000.64	1197.34	9556.89
10	1389.63	11989.62		25.32	2.18	19.32	207.2	1207.83	1180.25	10737.15
11	1389.63	13379.25		25.32	2.18	21.5	222.82	1430.65	1164.63	11901.78
12	1389.63	14768.88		25.32	2.18	23.68	236.92	1667.57	1150.53	13052.31
13	1389.63	16158.51		25.32	2.18	25.86	249.51	1917.08	1137.94	14190.25
14	1389.63	17548.14		25.32	2.18	28.04	260.63	2177.71	1126.82	15317.07
15	1389.63	18937.77		25.32	2.18	30.22	270.34	2448.04	1117.11	16434.19
16	1389.63	20327.40		25.32	2.18	32.4	278.71	2726.75	1108.74	17542.93
17	1389.63	21717.03		25.32	2.18	34.58	285.83	3012.58	1101.62	18644.55
18	1389.63	23106.66		25.32	2.18	36.76	291.79	3304.38	1095.66	19740.2
19	1389.63	24496.29		25.32	2.18	38.94	296.69	3601.07	1090.76	20830.96
20	1389.63	25885.92		25.32	2.18	41.12	300.62	3901.69	1086.83	21917.79
合计	25885.92		25.32		41.12		3901.69		21917.79	

项目净碳汇量变化图



考虑竹子采后碳储存量



不考虑竹子采后碳储存量

● 毛竹固碳效果优良，计入期内（20年），项目可累计实现净碳汇量**21917.79吨CO₂当量**

● 即使不考虑竹子择伐后的碳储存和形成的竹材产品碳库，项目仍可累计实现净碳汇量**8155.47吨CO₂当量**

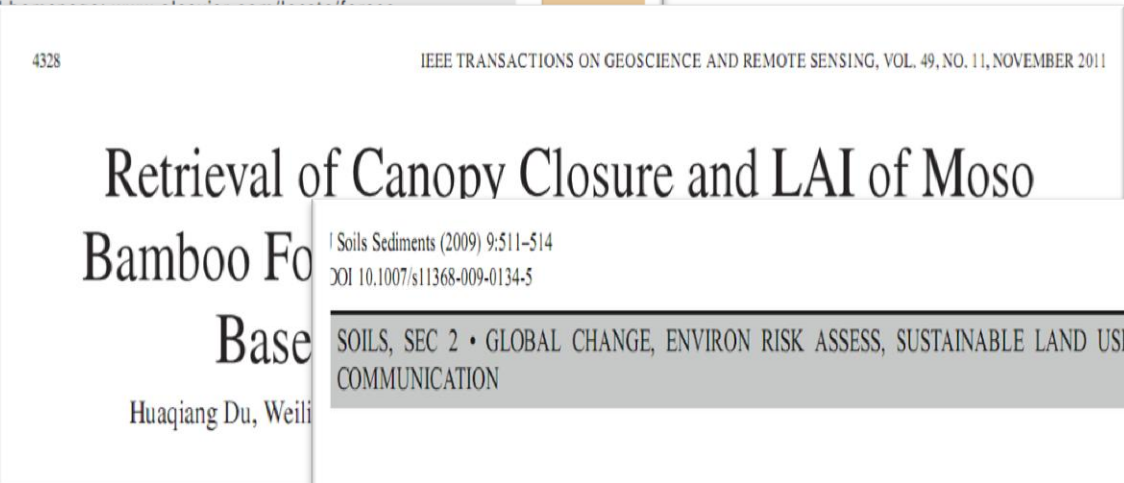
(四) 取得的主要科研成果



Seasonal changes in
Phyllostachys praecox
and winter
P.K. Jiang



Seasonal soil CO₂ efflux dynamics
in Moso bamboo plantation
Yuan Liu^{a,b,d}, Peikun Jiang^{a,b}, Hailong Wang^{a,b}, Jiasen Wu^{a,b},
Qiufang Xu^{a,b}, Guomo Zhou^{a,b}



Retrieval of Canopy Closure and LAI of Moso
Bamboo Forests
Base
Huaqiang Du, Weili

Soils Sediments (2009) 9:511-514
DOI 10.1007/s11368-009-0134-5
SOILS, SEC 2 • GLOBAL CHANGE, ENVIRON RISK ASSESS, SUSTAINABLE LAND USE • SHORT COMMUNICATION

Winter mulch increases soil CO₂ efflux under *Phyllostachys praecox* stands
Peikun Jiang • Hailong Wang • Jiasen Wu •
Qiufang Xu • Guomo Zhou

- 发表学术论文**86**篇；
- 其中SCI收录**30**篇；
- 一级期刊论文**32**篇。

1. Peikun Jiang, Qiufang Xu, ZhiHong Xu, et al. Seasonal changes in soil labile organic carbon pools within a *Phyllostachys praecox* stand under high rate fertilization and winter mulch in subtropical China [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 236: 30-36. (IF=1.995)
2. Juan Liu, Peikun Jiang, Hailong Wang, et al. Seasonal soil CO₂ efflux dynamics after land use change from a natural forest to Moso bamboo plantations in subtropical China [J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262: 1131-1137. (IF=1.995)
3. Huaqiang Du, Weiliang Fan, Guomo Zhou, et al. Retrieval of the canopy closure and leaf area index of Moso bamboo forest using spectral mixture analysis based on the real scenario simulation [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011, 49 (11) : 4328-4340. (IF=2.47)
4. Peikun Jiang, Hailong Wang, Jiasen Wu, et al. Winter mulch increases soil CO₂ efflux under *Phyllostachys praecox* stands [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2009, 9: 511-514. (IF=2.573)
5. Yongfu Li, Peikun Jiang, Scott X Chang, et al. Organic mulch and fertilization affect soil carbon pools and forms under intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) forests in southeast China [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2010, 10: 739-747. (IF=2.573)
6. Guomo Zhou, Cifu Meng, Peikun Jiang, et al. Review of Carbon Fixation in Bamboo Forests in China [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 262-270.(IF=2.66)
7. Guomo Zhou, JianMing Xu, Pei-Kun Jiang. Effect of management practices on seasonal dynamics of organic carbon in soils under bamboo plantations [J]. *Pedosphere*, 2006, 16 (14) : 525-531. (IF=0.978)
8. Guomo Zhou, Peikun Jiang, LuFeng Mo. Bamboo: a possible approach to the control of global warming [J]. *International Journal of Nonlinear Sciences & Numerical Simulation*, 2009, 10 (5) : 547-550.
9. Guomo Zhou, Shunyao Zhuang, Pekun Jiang, et al. Soil organic carbon accumulation in intensively managed *Phyllostachys praecox* stands [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 296-303. (IF=2.66)
10. Guomo Zhou, Xiaojun Xu, Huaqiang Du, et al. Estimating Moso bamboo forest attributes using the k Nearest Neighbors technique and satellite imagery [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2011, 77 (11) : 1123-1131. (IF=0.926)
11. Guosheng Wen, Liyang Zhang, Ruming Zhang, et al. Temporal and spatial dynamics of carbon fixation by Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) in subtropical China [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 271-277. (IF=2.66)
12. Hua Qin, Qiufang Xu, Zhihong Cao, et al. Population size and nitrification activity of soil ammonia-oxidizing bacteria in long-term intensive managed *Phyllostachys praecox* stands [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 313-319. (IF=2.66)13

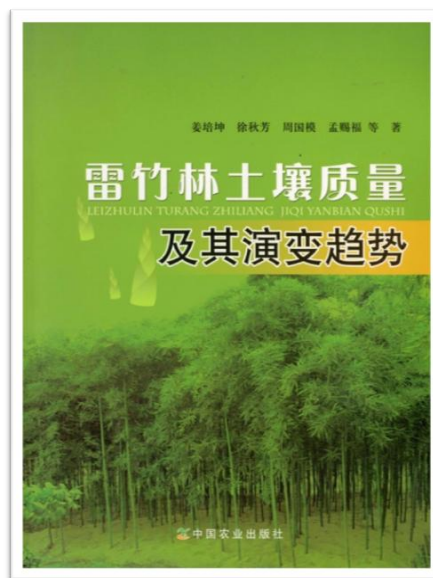
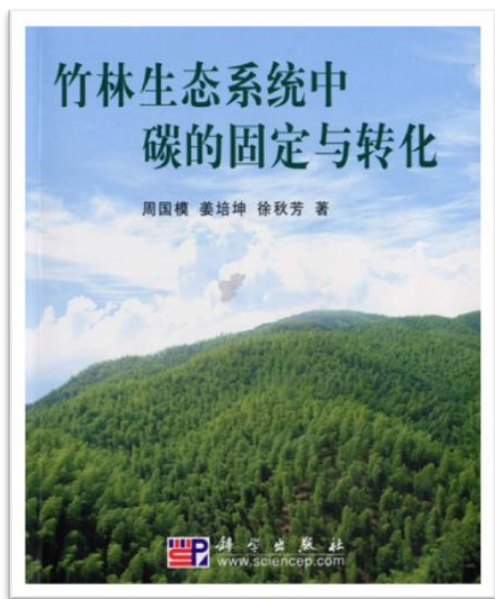
13. Huaqiang Du, Guomo Zhou, Hongli Ge, et al. Satellite-based carbon stock estimation for bamboo forest with a nonlinear partial least square regression technique [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011 (online). (IF=1.182)
14. Huaqiang Du, Guomo Zhou, Wenyi Fan, et al. Spatial heterogeneity and carbon contribution of aboveground biomass of Moso bamboo by using geostatistical theory [J]. *Plant Ecology*, 2010, 207: 131-139. (IF=1.88)
15. Jiasen Wu, Peikun Jiang, Scott X. Chang, et al. Dissolved soil organic carbon and nitrogen were affected by conversion of native forests to plantations in subtropical China [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2010, 90: 27-36. (IF=1.12)
16. Jiasen Wu, Qiufang Xu, Peikun Jiang, et al. Dynamics and distribution of nutrition elements in bamboos [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2009, 32: 489-501. (IF=0.726)
17. Juan Liu, Peikun Jiang, Yongfu Li, et al. 2011. Responses of N₂O flux from forest soils to land use change in subtropical China [J]. *The Botanical Review*, 77 (3) : 320-325. (IF=2.66)
18. Peikun Jiang, Qiufang Xu. Effect of mulching on soil chemical properties and enzyme activities in bamboo plantation of *Phyllostachys praecox* [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2002, 33(15-18): 3135-3145.(IF=0.43)
19. Peikun Jiang, Cifu Meng, Guomo Zhou, et al. Comparative study of carbon storage in different forest stands in subtropical China [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77: 242-251. (IF=2.66)
20. Peikun Jiang, Qiufang Xu. Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation [J]. *Pedosphere*, 2006, 16: 505-511. (IF=0.978)
21. Qiufang Xu, JianMing Xu. Changes in soil carbon pools induced by substitution of plantation for native forest [J]. *Pedosphere*, 2003, 13 (3) : 271-278. (IF=0.978)
22. Qiufang Xu, Peikun Jiang, Zhihong Xu. Soil microbial functional diversity under intensively managed bamboo plantations in southern China [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2008, 8: 177-183. (IF=2.573)
23. Qiufang Xu, Peikun Jiang. Functional diversity and size of soil microbial community induced by different land management system [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2006, 37: 2701-2712. (IF=0.43)
24. Qiufang Xu, Peikun Jiang. Microbial Development in soils under intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) stands [J]. *Pedosphere*, 2005, 15 (1) : 33-40. (IF=0.978)

25. Weiliang Fan, Huaqiang Du, Guomo Zhou, et al. Spectral mixture analysis method based on the simulation of real scenario [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2010, 14 (6) : 1241-1250. (IF=1.182)
26. Xiaojun Xu, Huaqiang Du, Guomo Zhou, et al. Estimation of aboveground carbon stock of Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*) forest with a Landsat Thematic Mapper Image [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32 (5) : 1431-1448. (IF=1.182)
27. Xinzhang Song, Guomo Zhou, Hong Jiang, et al. Carbon sequestration by Chinese bamboo forests and their ecological benefits: assessment of potential, problems, and future challenges [J]. *Environmental Reviews*, 2011, 19: 418-428. (IF=2.318)
28. Yong Xu, Minghung Wong, Jianli Yang, et al. Dynamics of carbon accumulation during the fast growth period of bamboo plant [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 287-295. (IF=2.66)
29. Yongfu Li, Guomo Zhou, Peikun Jiang, et al. Carbon accumulation and carbon forms in tissues during the growth of young bamboo (*Phyllostachys pubescens*) [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 278-286. (IF=2.66)
30. Zhaoliang Song, Songlai Zhao, Youzhen Zhang, et al. Plant impact on CO₂ consumption by silicate weathering: the role of bamboo [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 208-213. (IF=2.66)
31. Zhihong Cao, Guomo Zhou, Guosheng Wen, et al. Bamboo in subtropical China: Efficiency of solar conversion into biomass and CO₂ sequestration [J]. *The Botanical Review*, 2011, 77 (3) : 190-196. (IF=2.66)
32. Liyang Zhang, Guosheng Wen, Guomo Zhou, et al. Carbon fixation and oxygen release of *Phyllostachys pubescens* [A]. RSETE [C]. IEEE, Nanjing: 2011.6 (EI)
33. Zheng Guo, Hong Jiang, Jian Chen, et al. The methods research of deriving bamboo information based on IKONOS Image[C]. MIPPR 2009: Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications. 2009, doi: 10.1117/12.832981 (EI)
34. Huaqiang Du, Ruirui Cui, Guomo Zhou, et al. The responses of Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*) forest aboveground biomass to Landsat TM spectral reflectance and NDVI [J]. *Acta Ecologica Sinica (International Journal)*, 2010, 30 (5) : 257-263.
35. Yongjun Shi, Xiaojun Xu, Huaqiang Du, et al. Remote sensing monitoring of a bamboo forest based on BP neural network [J]. *Frontiers of Forestry in China*, 2009, 4 (3): 363-367.

36. 周国模, 刘恩斌, 刘安兴, 等. Weibull分布参数辨识改进及对浙江毛竹林胸径年龄分布的测度[J]. 生态学报, 2006, 26 (9): 2918-2926.
37. 刘恩斌, 周国模, 葛宏立. 基于最大熵原理的浙江毛竹胸径分布及测量不确定度评定[J]. 生态学报, 2009, 29 (1): 86-91.
38. 刘恩斌, 周国模, 葛宏立, 等. 基于最大熵原理的多尺度毛竹胸径分布统一模型构建及应用[J]. 生态学报, 2009, 29 (8): 4070~4077.
39. 刘恩斌, 周国模, 姜培坤, 等. 生物量统一模型构建及非线性偏最小二乘辨识——以毛竹为例[J]. 生态学报, 2009, 29 (10): 5561~5569.
40. 宋新章, 江洪, 马元丹, 等. 中国东部气候带凋落物分解特征---气候和基质质量的综合影响[J]. 生态学报, 2009, 29 (10): 5219-5236.
41. 马元丹, 江洪, 余树全, 等. 不同起源时间的植物叶凋落物在中亚热带的分解特性[J]. 生态学报, 2009 (10), 5237-5245.
42. 刘恩斌, 李永夫, 周国模, 等. 生物量精确估算模型与参数辨识方法及应用[J]. 生态学报. 2010, 30 (10). 2549~2561.
43. 李雅红, 江洪, 原焕英, 等. 西天目山毛竹林土壤呼吸特征及其影响因子[J]. 生态学报, 2010, 30 (17): 4590-4597.
44. 姜培坤, 周国模, 徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学, 2002, 38 (6): 6-11.
45. 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布[J]. 林业科学, 2004, 40 (6): 20-24.
46. 周国模, 徐建明, 吴家森, 等. 毛竹林集约经营过程中土壤活性有机碳库的演变[J]. 林业科学, 2006, 42 (6): 124-128.
47. 王纪杰, 徐秋芳, 姜培坤. 毛竹凋落物对阔叶林土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 林业科学, 2008, 44 (9): 146-151.
48. 葛宏立, 周国模, 刘恩斌, 等. 浙江省毛竹直径与年龄的二元Weibull分布模型[J]. 林业科学, 2008, 44 (12): 15-20.
49. 汤孟平. 森林空间结构研究现状与发展趋势[J]. 林业科学, 2010, 46 (1): 117-122.
50. 李永夫, 姜培坤, 刘娟, 等. 施肥对毛竹林土壤水溶性有机碳氮与温室气体排放的影响[J]. 林业科学, 2010, 46 (12): 165-170.
51. 刘恩斌, 周国模, 施拥军, 等. 测树因子二元概率分布研究: 以毛竹为例[J]. 林业科学. 2010, 46 (10): 29-36.
52. 周国模, 刘恩斌, 施拥军, 等. 基于最小尺度的浙江省毛竹生物量精确估算[J]. 林业科学, 2011, 47 (1): 1-5.

出版竹林碳汇专著3部

- 周国模，姜培坤，徐秋芳. 竹林生态系统中碳的固定与转化. 北京：科学出版社. 2010.
- 姜培坤，徐秋芳，周国模，等. 雷竹林土壤质量及其演变趋势. 北京：中国农业出版社. 2010.
- 杜华强，周国模，徐小军. 竹林生物量碳储量遥感定量估算. 北京：科学出版社. 2012.

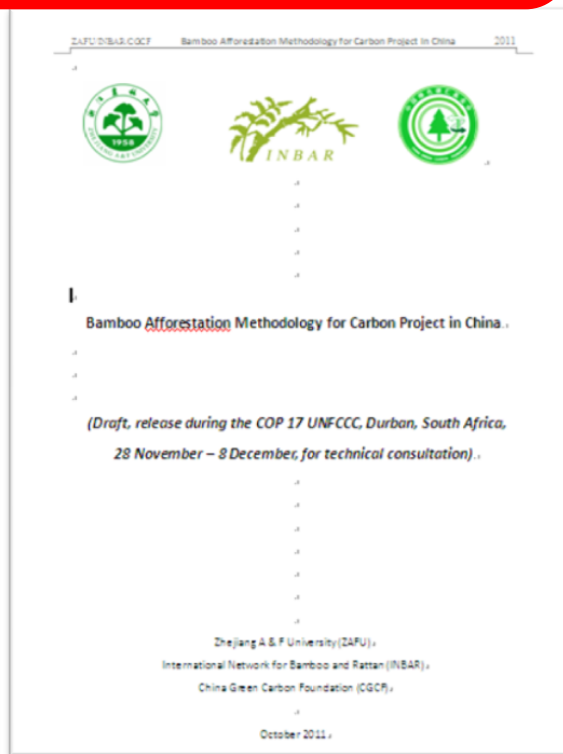


专题研究报告

◆ 在哥本哈根、坎昆、德班联合国气候变化大会上连续发表专题研究报告



The Climate Change Challenge and Bamboo Mitigation and Adaptation



COP15哥本哈根会议

COP16坎昆会议

COP17德班会议

获得软件著作权7项

计算机软件著作权 登记证书

编号：软著登字第0154444号

登记号：2009SR027445

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

开发完成日期：2008年11月12日

首次发表日期：2008年12月30日

根据《计算机软件保护条例》和
《计算机软件著作权登记办法》的规定，对以上



副本

中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第020004号

测量评价与碳汇估算系统

周宇峰;沈振明;陈永刚

2010年1月25日

2010年1月25日

35690

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的
规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



2011年06月08日

副本

中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第0175001号

基于深度学习的遥感图像分类及动态监测软件

葛宏立;杜华强;李进

和《计算机软件著作权登记办法》的
规定，对以上事项予以登记。



2009年11月06日

中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

软件名称：毛竹点格局
V2.0

陈永刚;周宇峰

开发完成日期：2010年05月

首次发表日期：2010年05月

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2011SR0017

根据《计算机软件保护
条例》和《计算机软件著作权登记办法》
的规定，经中国版权保护中心



2011年01月15日

副本

中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

软件名称：毛竹空间
V2.0

汤孟平;周宇峰

开发完成日期：2009年03月

首次发表日期：2009年06月

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2011SR0017

根据《计算机软件保护
条例》和《计算机软件著作权登记办法》
的规定，经中国版权保护中心



副本

中华人民共和国国家版权局 计算机软件著作权登记证书

软件名称：碳汇项目碳汇计算软件
[简称：碳汇计算软件]
V1.0

沈岚;陈拥军;周宇峰

开发完成日期：2010年10月10日

首次发表日期：2010年10月15日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2010SR063093

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的
规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



2010年12月16日



2011年01月15日

副本

- 在浙江临安市、余杭区分别建立了1000亩毛竹林土壤养分调控减排增汇技术、竹林空间结构调控增汇技术推广示范基地。



报告内容

■ 一、竹类资源与生长利用特性

■ 二、竹林固碳特征与碳汇能力

■ 三、竹类未来发展与响应措施

- 竹林具有优良的多重效益和功能 在实施林业应对气候变化背景下，应该充分重视并发挥竹林的碳汇功能
- 在**REDD+机制**下，竹林的碳汇功能和优势将更加彰显
- 可以预见，无论从**国家木材安全和生态安全角度**，未来竹林和竹林碳汇发展都会有强烈的需求和内生动力
- 必须积极引导、科学发展，正视并注意以下问题



1. 我国竹林呈现出持续快速发展势头, 在林业碳汇背景下, 势头也许会更猛。

- 竹林面积从50年代的**245.39万hm²**, 增加到2008年的**538万hm²**
- 竹林总碳储量由50年代的**286.60 TgC**, 增加到2008年的**672.70 TgC**
- 竹林碳储量占森林碳储量比重由过去的**6.5%**, 增加到目前的**11.6%** (竹林面积只占全国森林面积的2.78%)
- 发展势头很快, 目前中国竹林面积年均增加达到**12.6万hm²**

表1 中国森林面积、碳储量及其变化

Table 1 Forest area, total carbon and its changes during seven periods from 1949 to 1998 in China

Time	Total forest area (10 ⁴ hm ²)	Total carbon (Pg C)	Carbon density (Mg/hm ²)	Carbon change (Pg C/a)
1949	10 234	5.06	49.45	
1950-1962	9 808	4.58	46.67	-0.040
1973-1976	10 126	4.44	43.83	-0.010
1977-1981	9 562	4.38	45.75	-0.013
1984-1988	10 219	4.45	43.53	0.011
1989-1993	10 863	4.63	42.58	0.035
1994-1998	10 582	4.75	44.91	0.026

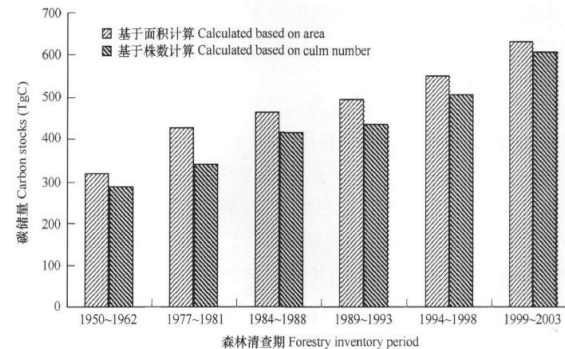


图2 过去50a中国竹林的碳储量变化

年份	50-62	77-81	84-88	89-93	94-98	99-2003	04-2008
竹林总碳储量 Tg C	286.60	341.81	414.54	436.28	504.82	605.51	672.70

2、需要努力控制和减少竹林发展带来的不利影响

- 有研究表明，竹林大规模发展和集约化经营，会导致物种丰富度和植物多样性下降

毛竹林不同经营类型乔木层物种多样性

类型	毛竹纯林	竹杉混交林	竹阔混交林	竹杉阔混交林
辛普森多样性指数 (Simpson)	-	1.1858	2.2221	2.3353
香农-威纳多样性指数 (Shannon-Wiener)	-	0.5607	0.6856	0.7345

高

毛竹林不同经营类型灌木层物种多样性

类型	毛竹纯林	竹杉混交林	竹阔混交林	竹杉阔混交林
辛普森多样性指数 (Simpson)	2.0034	3.0937	3.8952	3.4844
香农-威纳多样性指数 (Shannon-Wiener)	0.7461	0.9482	0.9744	0.9814

高

毛竹林不同经营类型草本层物种多样性

类型	毛竹纯林	竹杉混交林	竹阔混交林	竹杉阔混交林
辛普森多样性指数 (Simpson)	2.5768	3.0766	3.4750	2.9574
香农-威纳多样性指数 (Shannon-Wiener)	0.9139	0.9425	0.9636	0.9379

类型	DFA	DFB	DFC	SNF	SF
辛普森多样性指数 (Simpson)	1.6370	1.8162	2.1823	2.4046	2.1256
香农-威纳多样性指数 (Shannon-Wiener)	0.7585	0.8178	0.8631	0.8719	0.8722

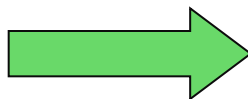
- 毛竹林随经营强度提高，植物多样性均呈明显下降趋势
- 人为干扰强度加大，雷竹林下植被丰富度和多样性随之减少

- DFA: 覆盖栽培技术的雷竹林; DFB: 使用除草剂的雷竹林;
- DFC: 休养雷竹林; SNF: 半自然状态下雷竹林; SF: 次生林

- 提倡斑块状发展竹林，不追求大规模集中连片
- 在特殊敏感地区（自然保护区、珍稀动植物保护区），慎重发展

3、加强经营和结构优化，注重竹林的提质增汇

- 毛竹集约经营年固碳可达**12.7t/hm²**，粗放经营8.1t/hm²，集约经营年均净固碳量是普通型和粗放型的**1.44倍**和**1.68倍**
- 实施空间和非空间结构优化，根据优化模型，毛竹**最优立株数为每公顷4362株**，毛竹林分碳储量达到最大，为**42.48t/hm²**，比目前水平（13.01t/hm²）提高**2.2倍**



4、合理适度经营，注意竹林的减排促汇问题

- 经营方式不同，土壤的碳排放量差异十分显著
- 提倡适度合理经营，减少竹林排放，促进增汇

经营类型 Management type	总有机碳 TOC/ (g·kg ⁻¹)	水溶性碳 WSOC/ (mg·kg ⁻¹)	微生物碳 MBC/ (mg·kg ⁻¹)	矿化态碳 MC/ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)
0-year IM*	24.15 a	60.75 a	540.96 a	22.94 a
5-year IM	21.59 b	36.75 b	439.02 b	12.75 b
10-year IM	17.18 c	34.98 b	403.64 b	10.14 b
20-year IM	15.77 d	37.49 b	273.99 c	10.03 b
40-year IM	15.75 d	36.11 b	280.39 c	9.45 b

森林类型 Forest type	CO ₂ t ha ⁻¹ yr ⁻¹
集约经营 IM	56.81 ± 2.57a
粗放经营 CM	39.25 ± 1.63a
阔叶林 BL	42.29 ± 1.69a

- IM、CM、BL三种类型土壤累积年排放为 56.81、39.25 和 42.29 t
- 差异十分显著

5、充分重视气候变化下竹林发展的自适应问题

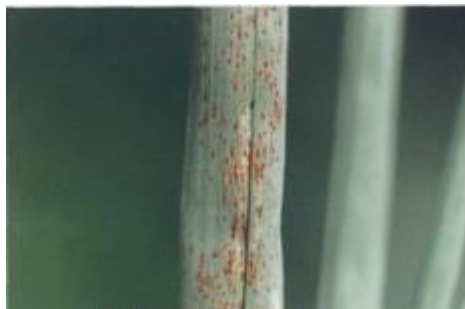
● 竹林分布区的北扩和上移趋势

- IPCC第四次报告指出：春季事件的发生时间提前以及植物生长和动物活动范围朝着两极和高海拔高度推移均与近期变暖有关。
- 随着温度升高，竹林分布区将出现北扩和上移的趋势

● 竹子开花，竹林衰退，竹林病虫、自然灾害出现加剧趋势（08年冰雪，13年高温干旱受损严重）



83·663 桂竹竹叶病（左）和绿粉竹嵌纹病毒病



83·660 刚竹叶锈病叶背面的夏孢子堆



83·659 阔叶箬竹多隔链格孢叶斑病



冰雪压倒折断



高温干旱晒死





联系方式:

周国模 Zhou-guomo 施拥军 Shi-yongjun

浙江农林大学 Zhejiang Agriculture and Forestry University

邮编: 311300

E-mai: zhougm@zafu.edu.cn syjwwh@163.com

Tel/Fax: 0571-63740003

Thank you!

