



浙江省红树林现状与碳储量预估

刘星 陈秋夏 杨升 王金旺 卢翔

浙江省亚热带作物研究所

浙南（温州）林业科学研究院



汇告内容

CONTENTS PAGE

1. 研究背景与意义

2. 浙江省红树植物种类与红树林现状

3. 浙江省红树植物秋茄生物量模型

4. 浙江省红树林生物量预估

5. 研究展望

1、研究背景与意义

- 红树林（Mangrove）是生长在热带和亚热带沿海潮间带的木本植物群落，被称为“海岸卫士”和“地球之肾”。
- 红树植物大多属于红树科，且外皮以内韧皮部富含丹宁，刮开树皮之后，树干呈现红色，因此而得名。
- 全世界已发现红树植物27科36属108种（含变种、变型），以赤道热带为中心，延伸至32°N及44°S左右。

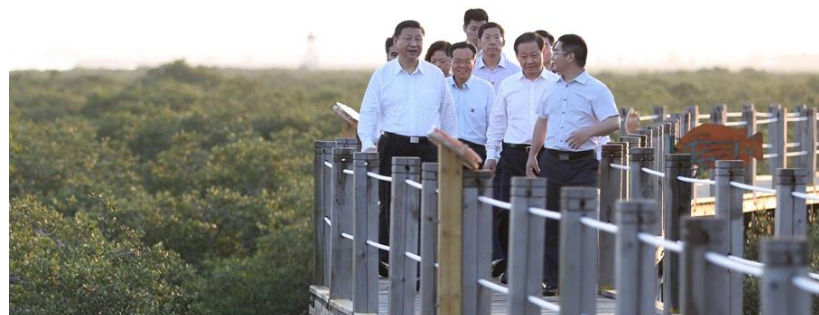


- 我国红树林天然适宜分布南自海南岛的榆林港（ $18^{\circ}90'N$ ），北至福建省福鼎（ $27^{\circ}20'N$ ）附近的沿海地区。
- 20世纪50年代末，浙江沿海开展大规模的红树引种造林，其分布北界已延伸至温州乐清（ $27^{\circ}20'N$ ），台州椒江河口（ $28^{\circ}41'N$ ）亦保留十余株。
- 目前，浙江省红树林造林种苗主要从福建引种，存在着种苗不耐寒、保存率低等问题。例如，2016年初的寒潮，乐清湾的红树林全面受冻。



- 自然资源部、国家林业和草原局关于印发 《红树林保护修复专项行动计划（2020-2025年）》，到2025年，营造和修复红树林面积18800公顷，其中营造红树林9050公顷，修复现有红树林9750公顷。

- 浙江省自然资源和规划局组织专家编制了《浙江省红树林保护修复专项行动实施方案（2020-2025）》，将营造和修复红树林200公顷和257.2公顷。



一定要尊重科学，把红树林保护好！

——习近平

- 全球都在积极采取以“碳减（少）排+碳吸收”为基础的碳中和政策，习近平总书记在第七十五届联合国大会上提出了我国碳排放力争于2030年前达到峰值、2060年前努力争取实现碳中和的目标。
- 红树林面积只占全球滨海面积的0.5%，但却占全球滨海土壤固碳的10~15%（约24 Tg C yr⁻¹），从陆地向海洋输送10~11%颗粒有机碳。
- 据估计，河口红树林和海洋红树林的碳储量分别为1074±171 Mg C ha⁻¹和990±96 Mg C ha⁻¹，是其他陆地森林碳储量的2~4倍。
- 为了如期、高质量实现碳达峰、碳中和等愿景目标，我国有必要将加快发展红树林蓝碳产业。



目前浙江省人工红树林的现状如何？

浙江省红树林碳汇的潜力？

2、浙江省人工红树林种类和分布现状

- 自2008年开始，本团队陆续开展了无瓣海桑、拉关木、木榄、红海榄、老鼠簕、白骨壤、秋茄、尖瓣海莲、桐花、海漆等10种红树植物的引种。但经历了2016年50年一遇的低温，其中乐清湾西门岛的最低气温是-5.5℃，目前留存有秋茄、无瓣海桑、桐花、海漆。

秋茄 *Kandelia obovata*

红树科Rhizophoraceae秋茄属，叶片对生，花两两生长在一起。秋茄树层通常高1.5-6米，最高可达10米。果实形状似笔，成熟后跟茄子相似。是红树植物中最能够耐寒的种类，常见分布在福建、浙江、海南、广西、广东等地。



桐花树 *Aegiceras corniculatum*

紫金牛科Myrsinaceae桐花树属灌木或小乔木；叶革质；花两性，5数，具柄，排成腋生或顶生的伞形花序。蒴果圆柱形，锐尖，弯如牛角，革质，隐胎生。在广东、广西、福建有大片的大范围分布。



海漆 *Excoecaria agallocha*

大戟科Euphorbiaceae海漆属半常绿或落叶乔木，高达15m，全身具白色乳汁（有毒），单叶互生，近革质，叶柄基部有2小腺体。花单性，雌雄异株。蒴果球形。花果期1~9月。分布于海南、广西、广东、香港、台湾和福建(已灭绝)。



无瓣海桑 *Sonneratia apetala*

海桑科Sonneratiaceae海桑属乔木，有笋状呼吸根伸出水面；柱头蘑菇状。浆果球形，每果含种子50粒左右。原产孟加拉国。1985年引种回中国海南东寨港红树林自然保护区试种，三年后开花结果；“八五”期间北移引种到广东深圳湾等地，长势良好。2014年引种到龙湾树排沙岛，目前高约3.5m。



- 秋茄 (*Kandelia obovata*) 为红树科秋茄树属植物，是我国分布最广和耐寒能力最强的真红树植物，也是浙江省红树林的唯一的造林树种。
- 浙江省有过4次较大面积的红树林造林，累计人工造林面积达到 **1700 hm²**，但目前成林郁闭约为 **30 hm²**，



浙江乡土半红树植物-壳桐菜 (*Myoporum bontioides*)



鳌江红树林

鳌江红树林位于鳌江流域，面积合计约400亩，该区域红树林始种于上世纪90年代，以秋茄为优势物种，盖度95%，树高1m~3.5m，并有少量的桐花树。鳌江南岸红树林2019年列入省级湿地公园，鳌江南岸秋茄种源2018年通过省级良种审定定为“龙港秋茄母树林”，每年可产秋茄胎苗80多万株。

龙港秋茄母树林良种



苍南县沿浦湾红树林

苍南县沿浦湾红树林位于苍南沿浦湾，由原苍南县海洋与渔业局、沿浦镇人民政府于2017年开始组织实施红树林造林工程，累计种植面积为1260多亩，栽植树种为秋茄，目前盖度约40%。规划建设为海洋特别保护区。



洞头区霓屿岛红树林

洞头区霓屿岛红树林位于瓯江入海口，2018年栽植400余亩，造林树种为秋茄，经过培育，贝类、鱼、虾、蟹等海洋生物在区域滩涂重新繁衍，丰富了鸟类食物资源，吸引了很多候鸟筑巢栖息。规划未来建成集红树林种植、候鸟观测、生态养殖、湿地生态保护和旅游休闲观光于一体的红树林海洋湿地公园，整体规模将达3000余亩。



龙湾区树排沙岛红树林

龙湾树排沙岛红树林位于瓯江入海口，所在区域为温州湾国际重要湿地，2019年获批为浙江省级海洋特别保护区，浙江省亚热带作物研究所、温州市海洋与渔业局、龙湾区海洋与渔业局等单位于2014年开始组织实施栽红树林造林工程，经费主要来源于海涂围垦生态补偿经费。目前该区域红树林面积为1000多亩，主栽的树种为秋茄（*Kandelia obovata*），树高为0.4m~1.0m，盖度达70%以上，有少量的桐花树（*Aegiceras corniculatum*）、海漆（*Excoecaria agallocha*）、无瓣海桑（*Sonneratia apetala*），并收集国内秋茄种质30多份，合计50多亩。



龙湾区树排沙岛红树林全景图



龙湾区树排沙岛红树林鸟瞰图



黑脸琵鹭 *Platalea minor*



2018年



2019年



2020年



树排沙岛群落监测

年份	秋茄株高 (cm)	乡土草本盖度 (%)
2018	52.89 ± 3.03a	1.33 ± 0.55a
2019	70.62 ± 3.70b	9.83 ± 2.54a
2020	79.81 ± 4.21b	24.83 ± 6.63b



- 种植秋茄后，乡土草本植物回归，盖度达24.83%，植物种由2013年1种（互花米草）增加到现在的10种（秋茄、无瓣海桑、桐花树、海漆、盐地碱蓬、糙叶薹草、海三棱藨草、芦苇、钻叶紫菀、互花米草）。

乐清市西门岛红树林

乐清西门岛红树林位于乐清湾，1957年开始红树林引种栽培，是浙江省最早人工红树林引种点，累计种植面积为2000多亩，以秋茄为优势物种，目前保存面积约为500亩。2017年获批为国家级海洋特别保护区（海洋公园）。



麻雀 (*Passer montanus*)



青脚鹬 (*Tringa nebularia*)

玉环县茅垟岛红树林

玉环县茅垟岛红树林位于乐清湾，始种于2005年，由原玉环县林特局和海洋渔业局牵头种植，面积约1500亩，栽植树种为秋茄，目前秋茄树可开花结果，胚轴成熟期比苍南地区约迟半月左右。





温岭市钨根镇红树林

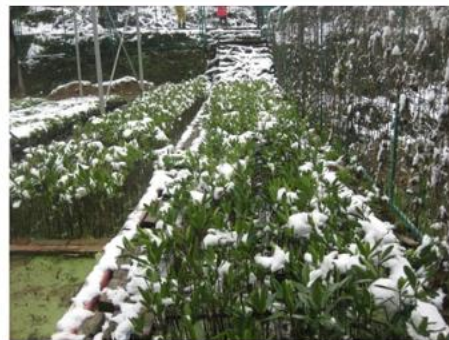
温岭市钨根镇红树林位于温岭市钨根镇滩涂，2003年开始少量引种试种，栽植树种为秋茄，2009年栽植250亩，植株高度为1m~1.6 m，目前秋茄树已开花繁育胚轴，并有少量小苗自然生长良好。



红树林试验



红树林试验



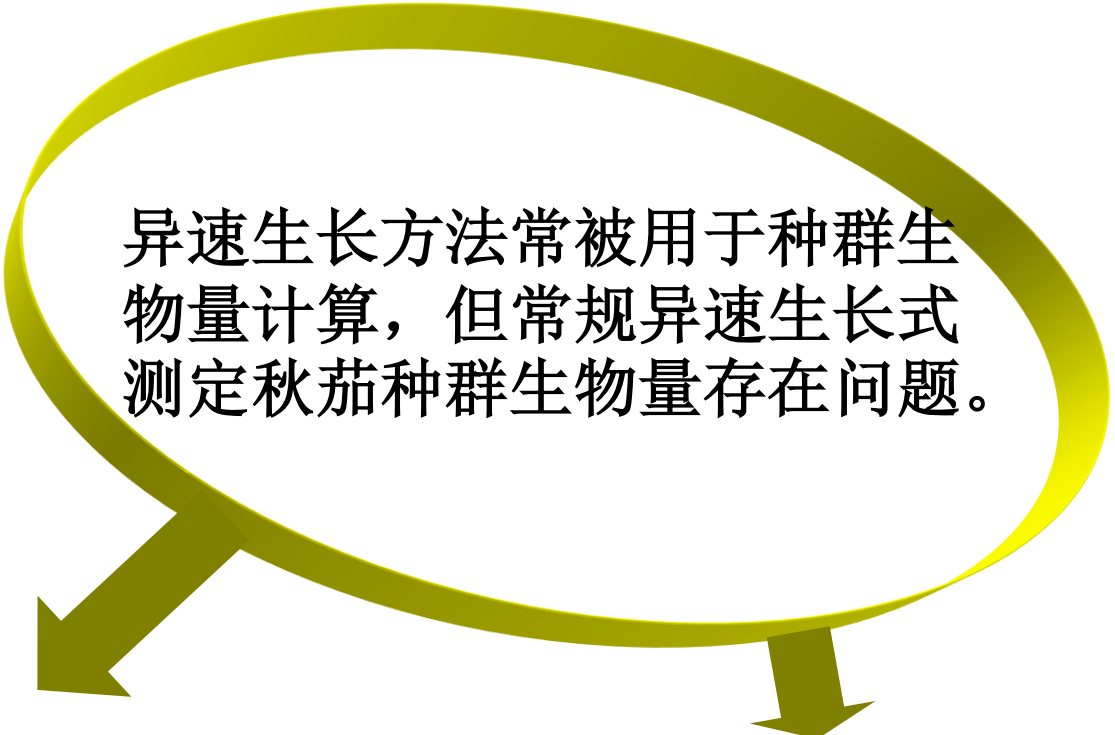
红树林抗寒驯化栽培试验



红树林抗寒驯化栽培试验



3、浙江省红树植物秋茄生物量模型



异速生长方法常被用于种群生物量计算，但常规异速生长式测定秋茄种群生物量存在问题。

1. 秋茄树干近地面分支早，无明显主干，胸径无法准确获得，为“多梗型”植物。

2. 文献数据测量的红树植物，多具有明显主干，为“单梗型”植物。

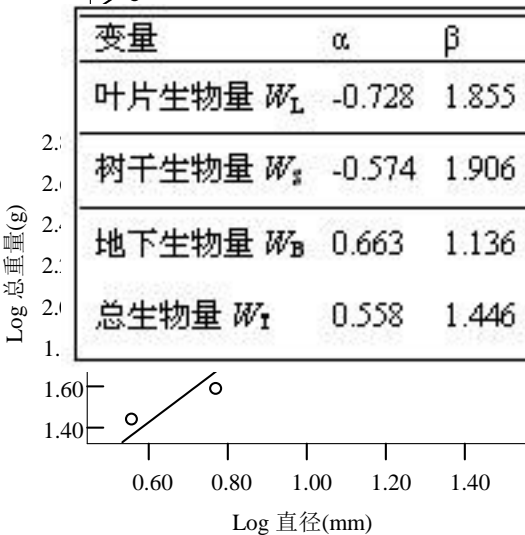
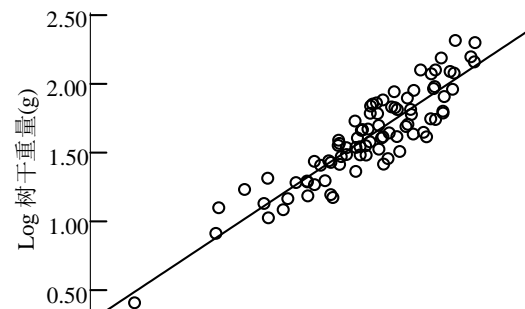
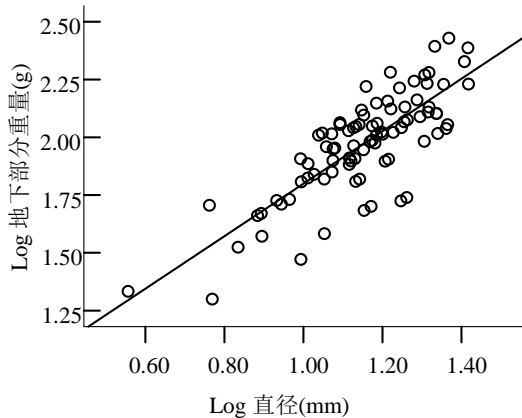
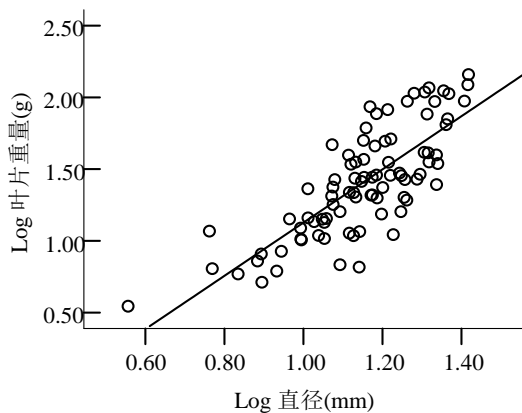
- 由于自相似现象普遍存在植物体形态架构中，如树木的小枝、大枝直到整个树体形态都极为相似，分形可模拟植物形态结构。
- 因此，采用**分形理论**将异速生长方法运用于基部分枝多的树种以计算其种群生物量，即把多分枝类型的红树植物秋茄的每一个树干作为一个独立的树，然后根据其粗细比例分配其占有共同部分如树根、树干基部分枝处之前的部分的生物量，建立**植株生物量与各树干直径的异速生长方程**，以期对浙江省红树林的植物生物量进行估算。

- **实验地：**浙江省苍南县鳌江河口(27°35'N, 120°35'E), 属典型中亚热带海洋性季风气候, 年均气温18.1℃, 极端高温为 40.8℃ , 极端低温-4℃, 年均降雨量1655mm, 年均日照数 1866.8h。秋茄始种于上世纪90年代, 面积约400亩。
- **实验方法：**林地内设置9个2m×2 m小样方(P_{3-1} 、 P_{3-2} 、 P_{3-3} 、 P_{5-1} 、 P_{5-2} 、 P_{5-3} 、 P_{10-1} 、 P_{10-2} 、 P_{10-3}) , 其中 P_{3-1} 、 P_{3-2} 、 P_{3-3} 秋茄林龄为 3a, P_{5-1} 、 P_{5-2} 、 P_{5-3} 秋茄林龄为 5a, P_{10-1} 、 P_{10-2} 、 P_{10-3} 秋茄林龄为 10a。记录树高, 测量小样方内所有植株基部分枝近地面树干长度十分之一处直径(D)。
- 随机选取18株植物, 测量树高, 并小心地挖取所选植株, 测量每株植物树干近地面位置树干长度十分之一处直径, 然后将植株各个部分剪断, 树根、树干、树叶分别整理装好, 称量鲜重, 烘干至恒重, 称量。

秋茄异速生长式模型的建立

$$\lg W = \alpha + \beta \times \lg D$$

$$W = 10^{\alpha + \beta \times \lg D}$$



变量	α	β	r^2	F	SE	异速生长式
叶片生物量 W_L	-0.728	1.855	0.612	136.399***	0.159	$W_L = 0.187 \times D^{1.855}$
树干生物量 W_S	-0.574	1.906	0.821	395.949***	0.096	$W_S = 0.267 \times D^{1.906}$
地下生物量 W_B	0.663	1.136	0.644	156.638***	0.091	$W_B = 4.6 \times D^{1.136}$
总生物量 W_T	0.558	1.446	0.801	346.747***	0.078	$W_T = 3.614 \times D^{1.446}$

秋茄树干直径D与各部分（叶片、树干、地下部分）生物量W经对数转换后的线性关系

浙南鳌江河口秋茄种群生物量

林龄/a	3年			5年			10年		
样方	P_{3-1}	P_{3-2}	P_{3-3}	P_{5-1}	P_{5-2}	P_{5-3}	P_{10-1}	P_{10-2}	P_{10-3}
植株数量	7	8	7	4	4	5	4	4	3
树干数量	19	18	17	26	18	12	16	10	8
树干直径/mm	3.6—16.34	6.83—22.96	6.45—21.01	7.85—22.63	9.88—26.15	15.61—38.54	22.61—78.34	24.84—72.29	26.75—91.40
生物量计算 [§]									
叶片生物量 $W_L / (t/hm^2)$	0.86	1.29	1.22	1.93	1.67	2.45	5.50	5.68	7.81
树干生物量 $W_S / (t/hm^2)$	1.41	2.12	2.01	3.18	2.76	4.15	9.49	9.90	13.84
根系及分枝基部生物量 $W_B / (t/hm^2)$	3.48	4.33	4.04	6.49	5.14	5.54	9.90	8.56	9.43
$W_L+W_S+W_B / (t/hm^2)$	5.75	7.74	7.27	11.60	9.57	12.14	24.90	24.14	31.08
总生物量 $W_T / (t/hm^2)$	5.94	7.98	7.48	11.98	9.85	12.13	23.77	22.29	27.00
RE (%) [#]	3.35	3.09	2.96	3.32	2.94	-0.10	-4.53	-7.65	-13.13
T/R ⁺	1.71	1.84	1.85	1.85	1.92	2.19	2.40	2.60	2.86

4、浙江省红树林生物量预估



- **标准木法：** 随机选择样地内数株树木作为标准木，将标准木挖取后求出生物量，再乘以该样地内单位面积的树木株数，从而获得单位面积上的林木生物量即平均生物量。

苍南沿浦湾：从人工堤岸到秋茄群落前缘，沿堤岸垂直方向拉一条样带，沿样带设3个高程水准横断面，每高程内设置4个10m×10m样地。每样地随机选择3株，重复4次，洗净泥土后分离根、茎、叶，杀青，烘干至恒重，计算生物量。



D3	D6	D9	D12
2.11m	2.08m	2.02m	2.00m
32.8%	46.8%	45.6%	11.6%

D2	D5	D8	D11
2.20m	2.26m	2.16m	2.06m
82.8%	68.4%	62.4%	44.4%

D1	D4	D7	D10
2.44m	2.69m	2.43m	2.32m
70.0%	85.2%	70.4%	57.6%

样方法估算总生物量:

133.029952t

异速生长模型:

1) 6.967618453 (t/hm²) ; 2) 10.95995948 (t/hm²) ; 3) 16.95540095 (t/hm²)

总生物量=**650.102449t**

结合植被覆盖度—**37.67%**

异速生长模型估算生物量***37.67%**=**244.893592t**

洞头霓屿岛： 从人工堤岸到秋茄群落前缘，沿堤岸垂直方向拉一条样带，沿样带设5个高程水准横断面，每高程内设置3个10m×10m样地。每样地随机选择3株，重复3次，洗净泥土后分离根、茎、叶，杀青，烘干至恒重，计算生物量。



D11 1.69m 29.2%	D10 1.70m 24.0%	D5 1.62m 84.4%
------------------------------	------------------------------	-----------------------------

D12 1.83m 10.0%	D9 1.78m 7.6%	D4 1.74m 84.0%
------------------------------	----------------------------	-----------------------------

D13 2.13m 29.2%	D8 1.99m 33.6%	D3 1.98m 83.6%
------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

D14 2.32m 35.6%	D7 2.21m 85.2%	D2 2.16m 83.2%
------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

D15 2.42m 83.7%	D6 2.52m 84.8%	D1 2.42m 82.8%
------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

样方法估算总生物量:

44.741964t

异速生长模型:

- 1) 12.67785934 (t/hm²) ; 2) 12.73431067 (t/hm²) ; 3) 14.84872147 (t/hm²) ;
4) 17.77405958 (t/hm²) ; 5) 16.05571552 (t/hm²)

总生物量=**471.216639t**

结合植被覆盖度—**26.47%**

异速生长模型估算生物量***26.47%=124.731044t**

乐清南塘：从人工堤岸到秋茄群落前缘，沿堤岸垂直方向拉一条样带，沿样带设3个高程水准横断面，每高程内设置3个10m×10m样地。每样地随机选择2株，重复3次，洗净泥土后分离根、茎、叶，杀青，烘干至恒重，计算生物量。



样方法估算总生物量：

7.235255t



D9	D6	D3
1.30m	1.44m	1.36m
39.0%	33.5%	8.5%

D8	D5	D2
1.78m	1.77m	1.85m
94.0%	68.0%	68.5%

D7	D4	D1
2.12m	2.19m	2.19m
66.5%	24.5%	61.0%

- 苍南沿浦湾 ($2.38\text{t}/\text{hm}^2$) > 洞头霓屿岛 ($1.41\text{t}/\text{hm}^2$) > 乐清南塘 ($0.68\text{t}/\text{hm}^2$)，表明随着纬度的升高，各区域红树秋茄的生物量呈下降趋势。
- 异速生长模型估算生物量/样方法估算总生物量=1.84~2.79倍。
- 推测原因：建立异速生长方程： $W_L=0.187 \times D^{1.855}$ ， $W_S=0.267 \times D^{1.906}$ ， $W_B=4.6 \times D^{1.136}$ ， $W_T=3.614 \times D^{1.446}$ ， W_L 为树叶， W_S 为树干， W_B 为根系， W_T 为总生物量， D 为分支直径。主要针对浙江苍南鳌江口红树林的特性，采集的红树林样本为3年，5年和10年。而本次调查的苍南沿浦湾、洞头霓屿岛和乐清南塘的红树林林龄普遍在2年之间。

5、研究展望

- 全面采集浙江省各个地区（如龙湾树排沙岛、乐清湾、温岭坞根镇等）的红树林植物样本，同时考虑林龄的影响，对已建立的异速生长模型进行修正。
- 结合样方法和无人机遥感技术，整体估算浙江省红树林土壤碳储量，明确土壤碳汇的贡献度。
- 厘清浙江省红树林碳汇的驱动因子：1) 植物碳库影响因素，包括气候因子、地形因子、沉积物因子和水文因子； 2) 土壤碳库影响因素，包括土壤呼吸、土壤碳的组成和分子结构、土温、气温、降雨量、土壤盐度、pH、氮磷养分、酶活以及微生物群落结构。



浙江省亚热带作物研究所
Zhejiang Institute of Subtropical Crops

厚德力耕
鼎新致用

林业生态研究室

感谢聆听！

联系电话：0577-88508027，13906635980

邮箱：yzscqx@163.com

