

# 麦秆水热炭引发滨海盐碱土有机碳分解的 负激发效应

王潇、李振、程亚东、姚慧、李慧、尤祥伟\*  
、张成省、李义强\*

中国农业科学院烟草研究所 海洋农业研究中心  
国家盐碱地综合利用技术创新中心

青岛市滨海盐碱地资源挖掘与生物育种重点实验室  
美国北卡罗来纳州立大学



Xiao Wang, Zhen Li, Yadong Cheng, Hui Yao, Hui Li, Xiangwei You\*, Chengsheng Zhang, Yiqiang Li\*. Wheat straw hydrochar induced negative priming effect on carbon decomposition in a coastal soil. *iMeta* 2: e134. <https://doi.org/10.1002/imt2.134>



1

**研究背景**

---

2

**实验设计**

---

3

**结果和讨论**

---

4

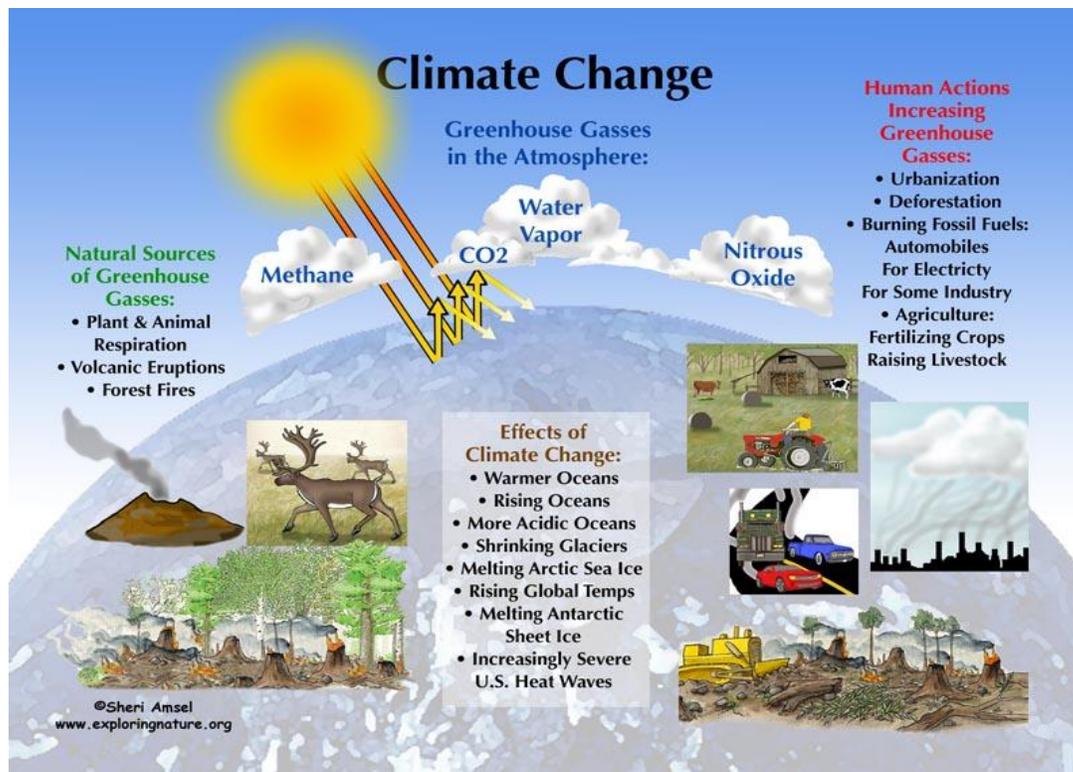
**总结**

---



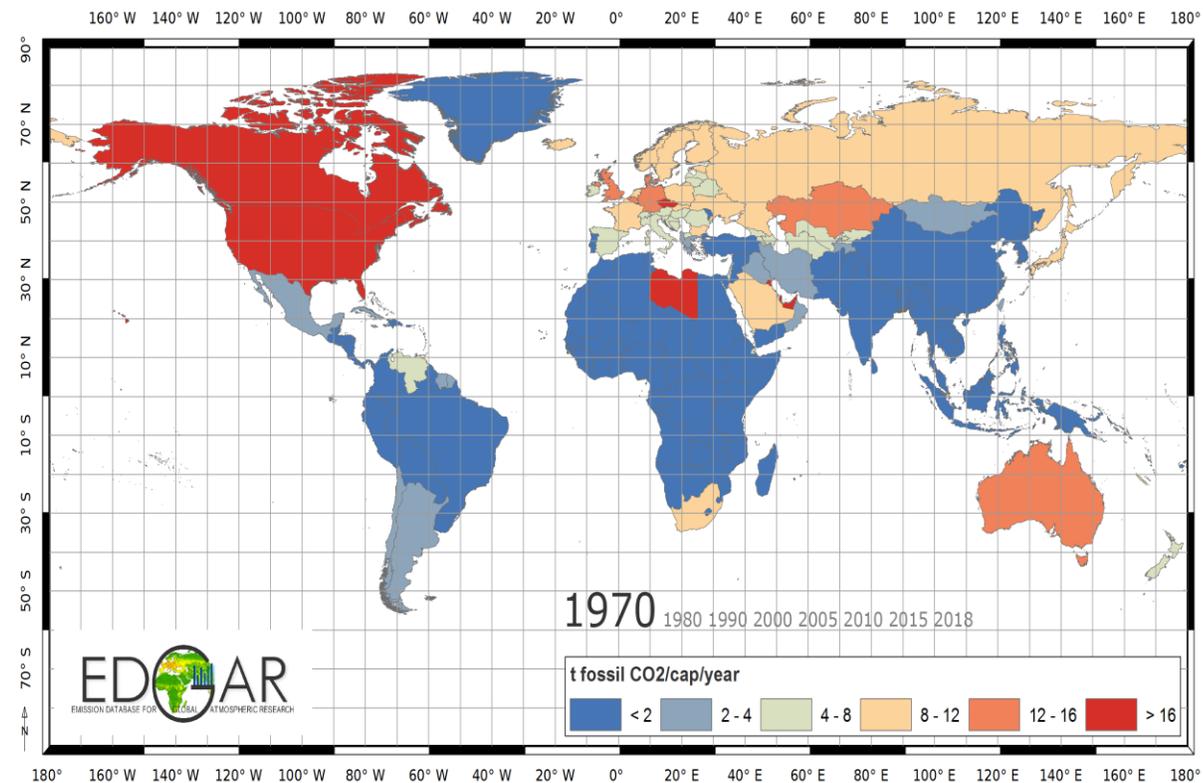
# 研究背景

## 气候变化



(McLeod *et al.*, 2020)

## 全球碳排放

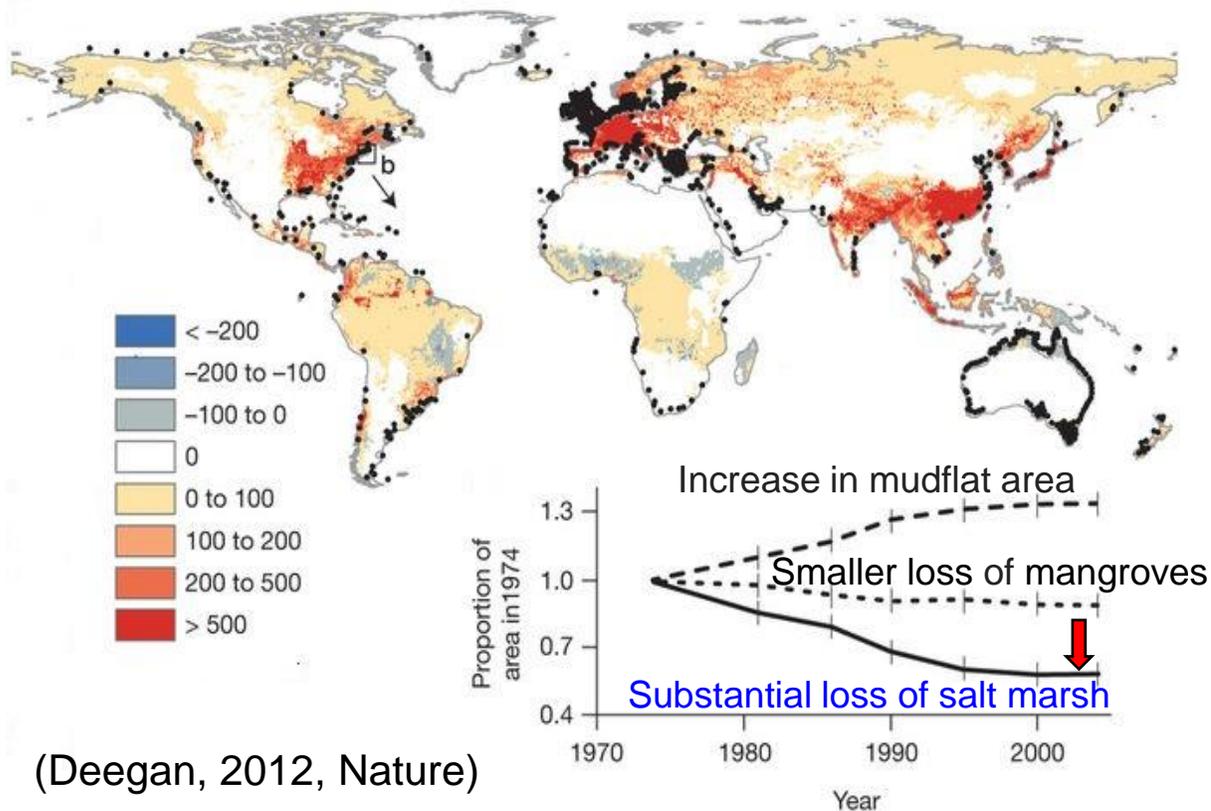


(Crippa *et al.*, 2020, Publications Office of the EU)

- 土壤利用方式的改变、森林砍伐和化石燃料燃烧，导致温室气体排放迅速增加。
- 据估算，全球CO<sub>2</sub>排放量约为每年315亿吨，这加剧了全球气候变化。
- 因此，IPCC呼吁制定有效的固碳策略来减少温室气体的排放。

# 研究背景

## 蓝碳生态系统



(Deegan, 2012, Nature)

## 滨海盐碱地土壤退化



- 盐碱化程度高：盐度为0.4–3%，pH为8–9.5
- 有机质含量低：5–10 g/kg
- 养分含量低：磷 4.68~20.8 mg/kg；氮 4.68~20.8 mg/kg
- 质地差：多为粉土，通气透水性差，易板结

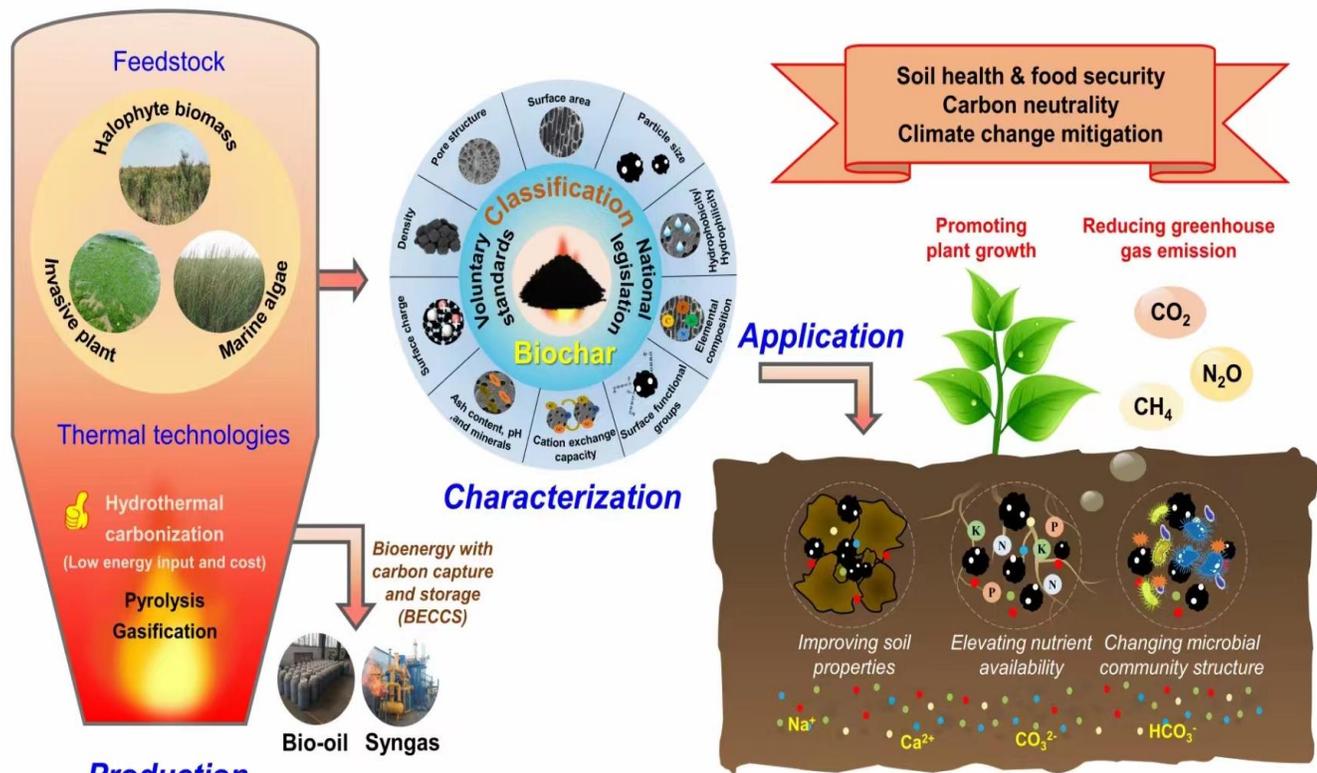
(Huang et al., 2012; Wu et al., 2014)

- 滨海盐碱地对缓解全球气候变化和固碳减排具有积极意义，然而土壤退化导致蓝碳资源大量流失。
- 提高土壤固碳增汇潜力是恢复滨海盐碱地生态功能，减缓气候变化的迫切需求。



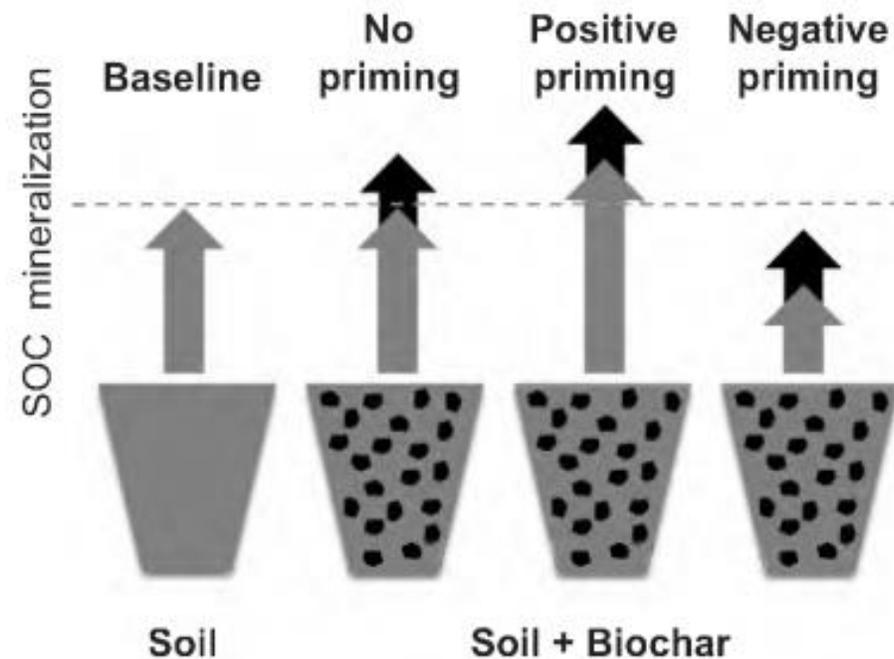
# 研究背景

## 土壤固碳材料



(Liu *et al.*, 2023)

## 有机碳分解的激发效应



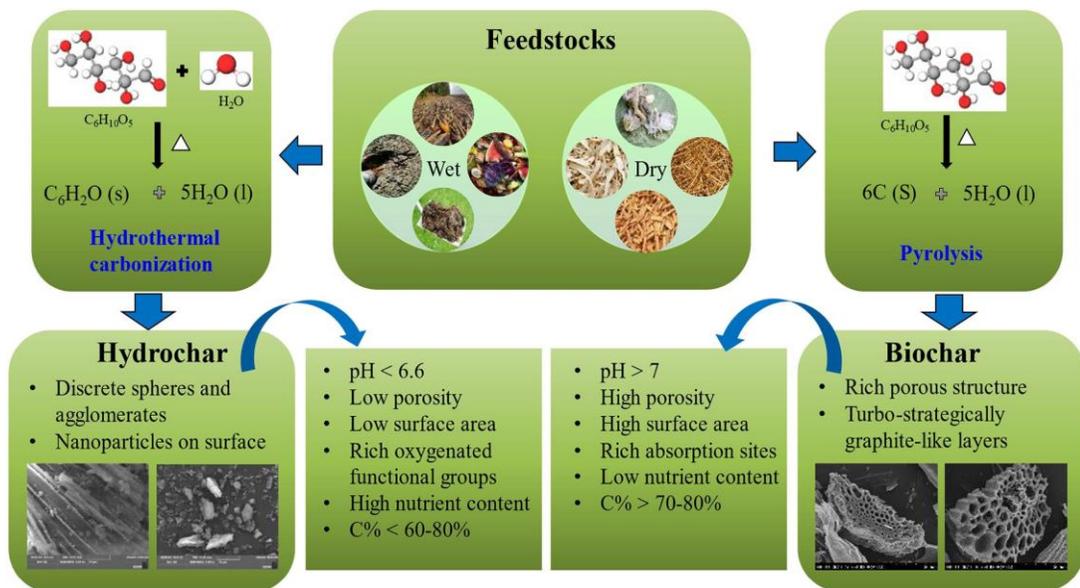
(Whitman *et al.*, 2014)

热解炭和水热炭作为土壤固碳材料受到广泛关注，土壤有机碳分解的激发效应是研究热点。



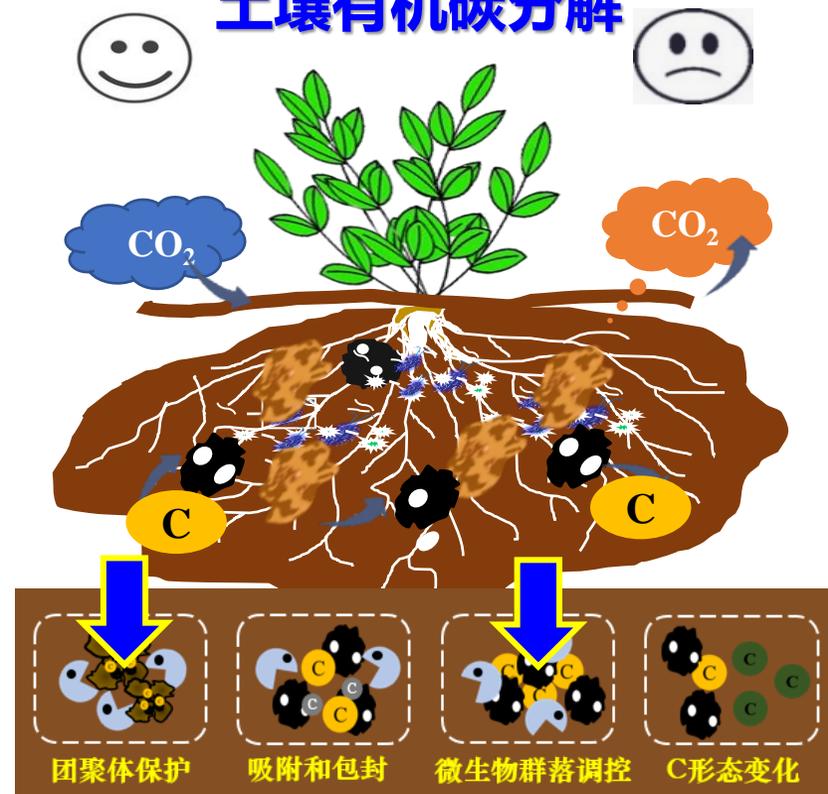
# 科学问题

## 水热炭 vs 热解炭



(Khosravi et al., 2022)

## 土壤有机碳分解



(Liu et al., 2023)

- 现有研究集中于非盐碱土中热解炭对土壤有机碳分解的影响，水热炭和滨海盐碱土的研究十分匮乏
- 水热炭影响有机碳分解的团聚体保护和微生物调控机制尚不清楚

酸性土

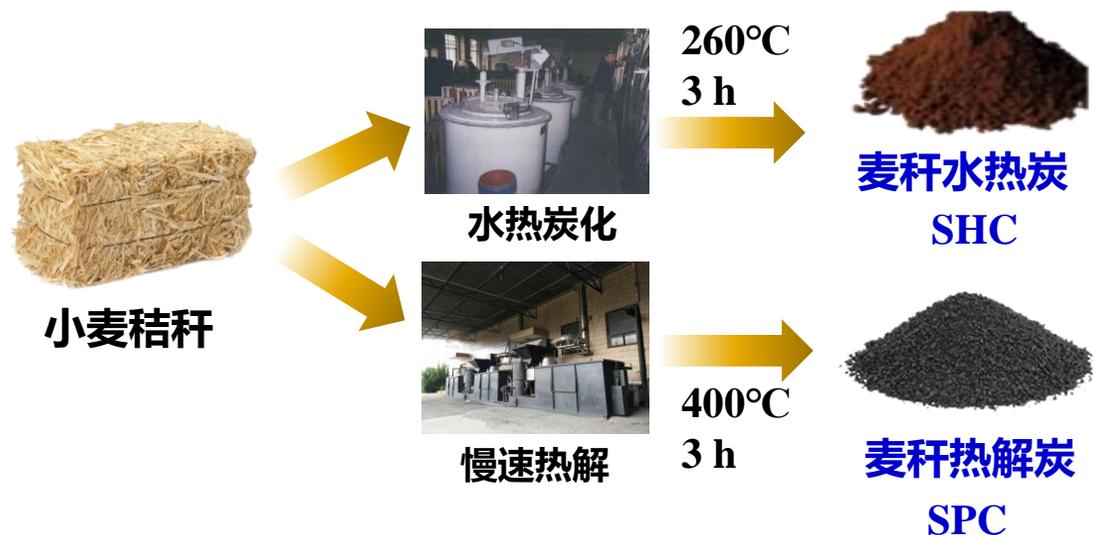
中性土

滨海盐碱地



# 实验设计

## ➤ 水热炭和热解炭的制备



## ➤ 土壤微宇宙实验



## ➤ 供试土壤

黄河三角洲滨海盐碱地



风干、过2 mm筛  
混合



## ➤ 土壤样品分析

### ■ 团聚体分析

- ✓ 大团聚体 (250–2000 μm)
- 微团聚体 (53–250 μm)
- 粉-黏团聚体 (< 53 μm)
- ✓ 平均重量直径 (MWD)



湿筛法

### ■ 土壤有机质分析

- ✓ 三类有机质：富里酸、腐殖酸、微生物代谢蛋白

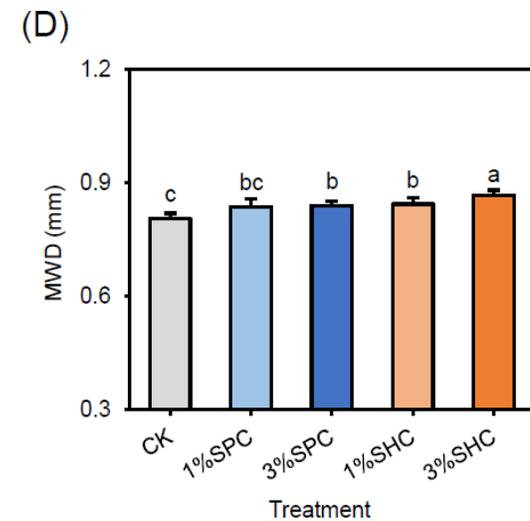
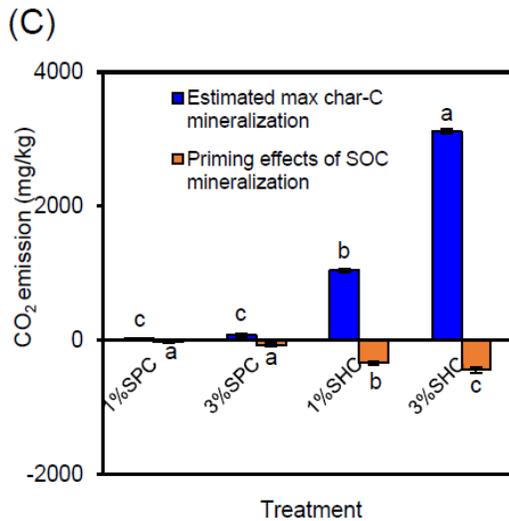
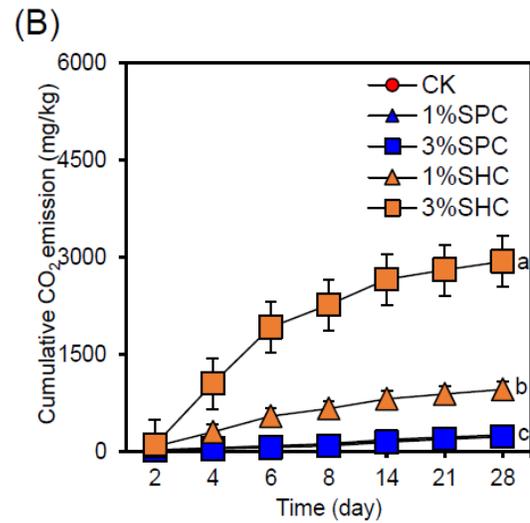
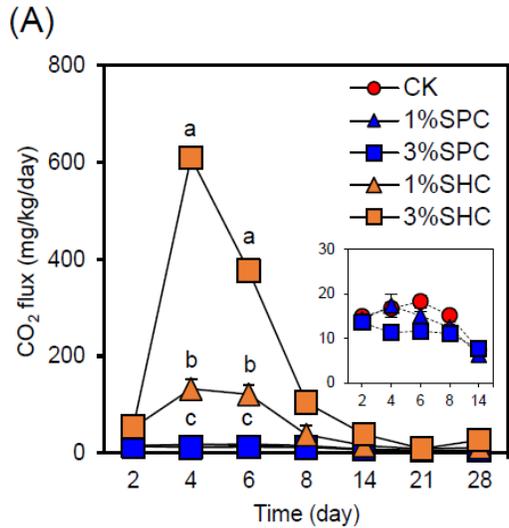
### ■ 土壤微生物群落分析

- ✓ 16S rRNA 细菌群落高通量测序



# 结果

## ➤ 水热炭引发土壤有机碳分解的负激发效应

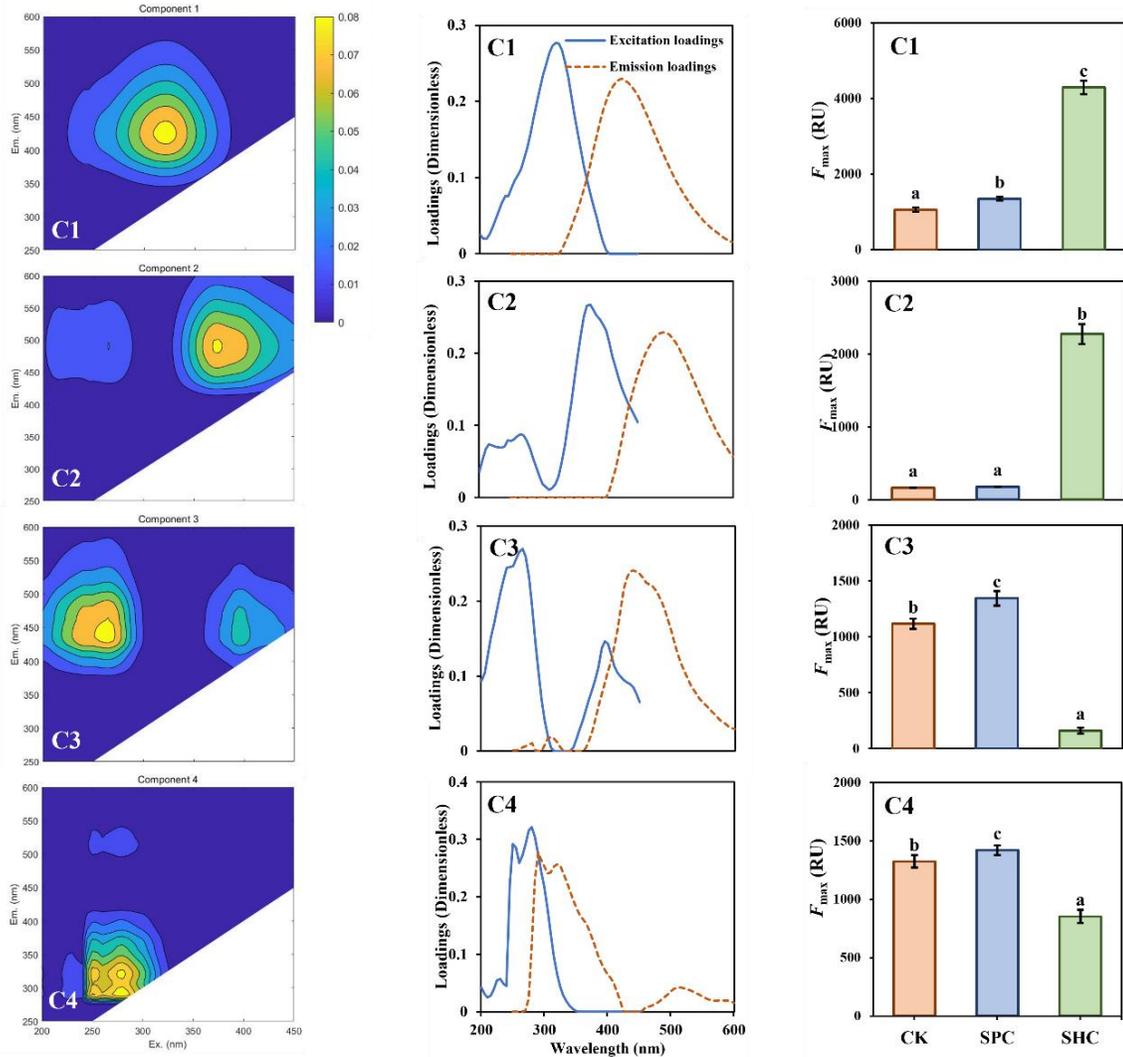


- 添加1%和3%的SHC显著增加了滨海盐碱土CO<sub>2</sub>最大释放通量，且增加的通量为3%SHC > 1%SHC。相比之下，添加1%和3%SPC对CO<sub>2</sub>最大释放通量的影响较小。
- SHC施加显著增加土壤CO<sub>2</sub>释放量，SPC对土壤CO<sub>2</sub>释放无显著影响。
- 经过总释放量扣除炭最大降解量后，估算出SHC和SPC对SOC分解的负激发效应分别为35.2%-80.0%和10.5%-31.5%。
- 相比于SPC，SHC对土壤团聚体稳定性具有更强的促进作用。



# 结果

## 水热炭改变土壤溶解性有机质的组成

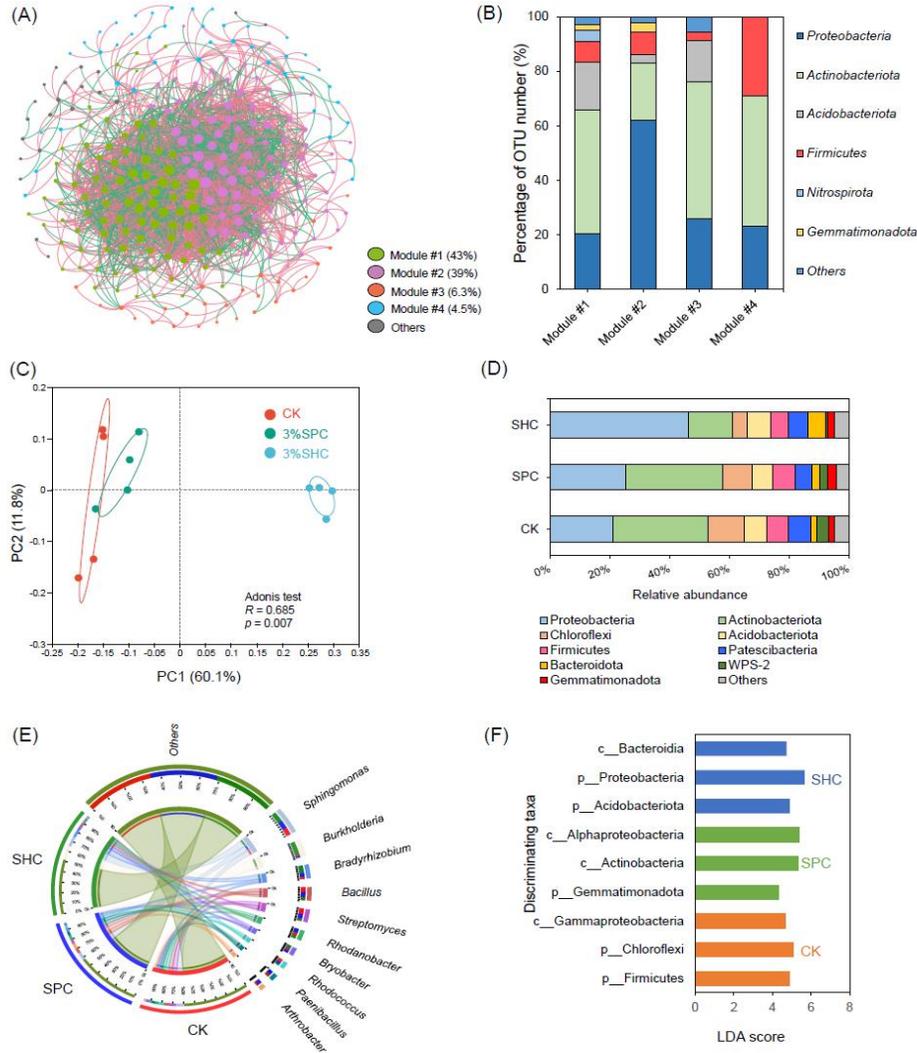


- 土壤溶解性有机质组成是影响土壤碳循环的重要因素之一。
- 相比于SPC, SHC 对土壤有机物腐殖化具有更强的促进作用。
- SHC显著增加土壤微生物量碳, 主要归因于SHC为微生物生长和碳同化提供稳定的活性碳底物, 并改善了微生物群落的生境 (如降低土壤pH和盐胁迫)。



# 结果

## 水热炭改变土壤细菌群落响应

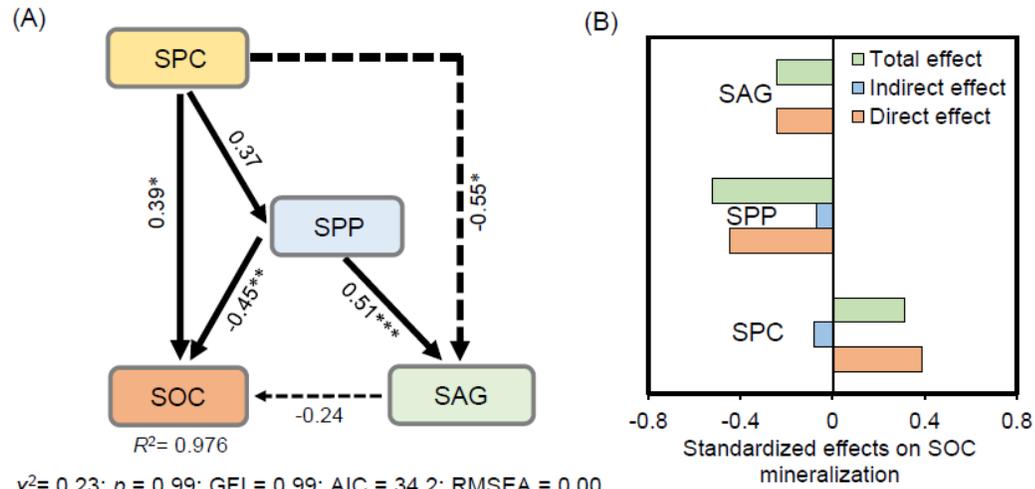


- SHC增加土壤微生物群落辛普森指数，说明细菌多样性增强。对比SPC，SHC更为显著改变土壤细菌群落组成。
- SHC的施加增加了参与土壤团聚作用和多糖降解的细菌类群相对丰度。
- SHC改变微生物代谢功能，有助于促进土壤有机质腐殖化和团聚体固碳。



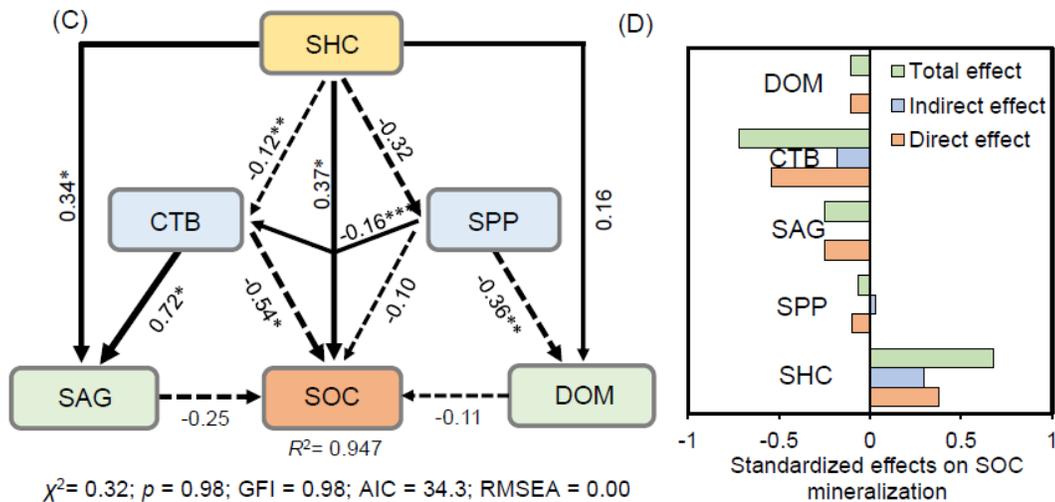
# 结果

## ► 驱动水热炭抑制土壤有机碳分解的关键因素



$\chi^2 = 0.23$ ;  $p = 0.99$ ; GFI = 0.99; AIC = 34.2; RMSEA = 0.00

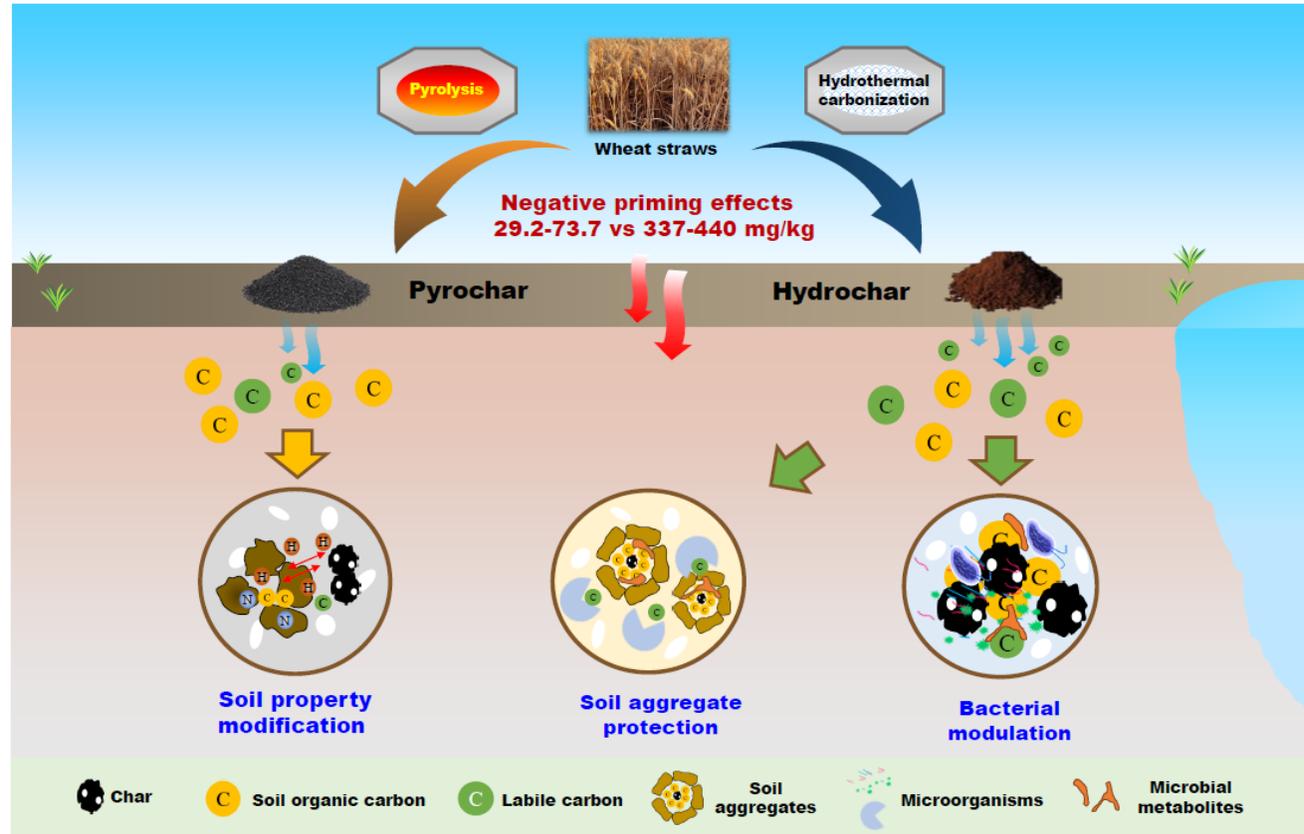
- 结构方程模型评估了水热炭和热解炭特性、细菌群落响应、土壤理化性质、团聚体稳定性和土壤有机物组成等因子的变化对SOC分解变化的贡献
- 土壤理化化学性质改善（如pH降低、碳/氮比和总碳含量增加）是SPC引发SOC分解下降的最主要驱动因素
- SHC介导的细菌群落响应是引发SOC负激发效应的主要原因，其次是土壤团聚体稳定性增强和土壤有机物组分的改变



$\chi^2 = 0.32$ ;  $p = 0.98$ ; GFI = 0.98; AIC = 34.3; RMSEA = 0.00



# 总结



SHC比SPC对SOC分解引发更强的负激发效应。SHC增强土壤团聚体稳定性和有机质腐殖化过程，并提升了碳转化细菌类群的丰度。相关结果为水热炭影响盐碱土中碳的生物化学循环的角色和途径提供新的见解，并为开发提升蓝碳系统土壤碳封存潜力的高效技术措施提供启发。

Xiao Wang, Zhen Li, Yadong Cheng, Hui Yao, Hui Li, Xiangwei You, Chengsheng Zhang, Yiqiang Li. Wheat straw hydrochar induced negative priming effect on carbon decomposition in a coastal soil. *iMeta* 2: e134. <https://doi.org/10.1002/imt2.134>





“iMeta”是由威立、肠菌分会和本领域数百位华人科学家合作出版的开放获取期刊，主编由中科院微生物所刘双江研究员和荷兰格罗宁根大学傅静远教授共同担任。目的是发表原创研究、方法和综述以促进宏基因组学、微生物组和生物信息学发展。目标是发表前10%(IF > 15)的高影响力论文。期刊特色包括视频投稿、可重复分析、图片打磨、青年编委、前3年免出版费、50万用户的社交媒体宣传等。2022年的三月、六月和九月期已正式在线出版发行!

 主页: <http://www.imeta.science>  
出版社: <https://wileyonlinelibrary.com/journal/imeta>  
 投稿: <https://mc.manuscriptcentral.com/imeta>

 [office@imeta.science](mailto:office@imeta.science)

 [iMeta](#)      [宣传片](#)

