



湖南省生态学会2012年学术年会



亚热带稻田生态系统固 碳效应研究

葛体达、朱捍华、吴金水
中国科学院亚热带农业生态研究所

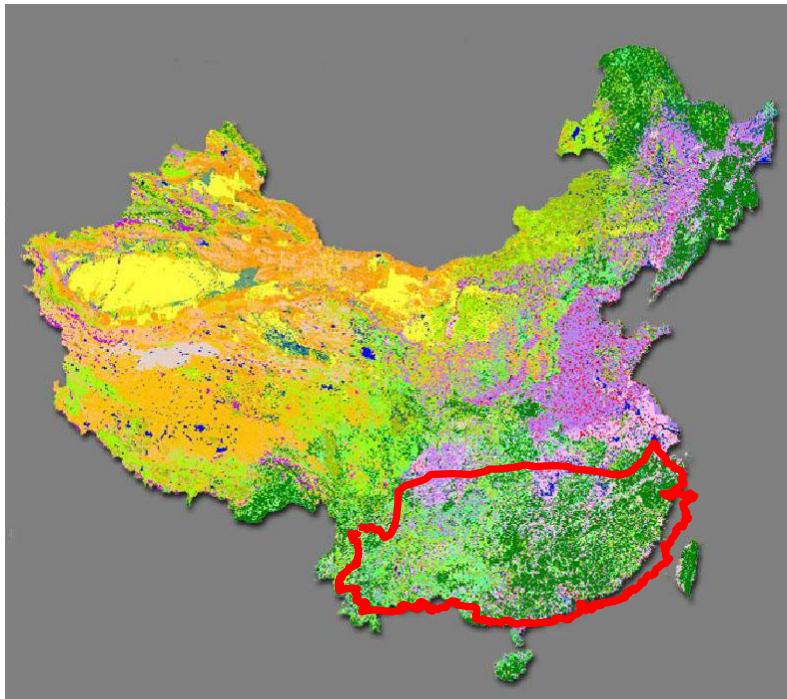
湖南·益阳

2012.12.15

内 容 提 要

- ❖ 研究背景与关键科学问题
- ❖ 主要研究进展
 - ◆ 稻田固碳的生物地球化学机理
 - ◆ 稻田固碳与甲烷排放矛盾及协调机制
- ❖ 研究展望

研究背景



- ❖ 全球: 1.53 亿公顷
(FAOSTAT database)
- ❖ 中国: 0.23亿公顷 (15%)
- ❖ 土壤固碳潜力: 0.5 t C/y
(IPCC, 1995, 2007; Lal, 2004)

国内
研究

- ❖ 第二次土壤普查前后资料比较
- ❖ 长期定位试验典型处理研究

稻田固碳是“双刃剑”，甚至是陷阱！

- ❖ 全国稻田面积：2300万公顷
- ❖ 稻草量：2~3亿吨/年（0.8~1.2亿吨碳）
- ❖ 固碳潜力：500-1000 万吨碳/年（年限？？）
- ❖ CH₄排放量：110 ~ 290 kg / ha
 总量：> 500万吨
 (温室效应：> 5亿吨CO₂当量)

稻田增碳对我国承担温室气体减排义务有利吗？

关键学科问题

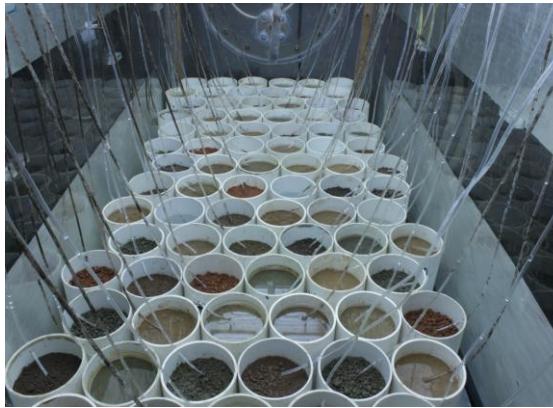
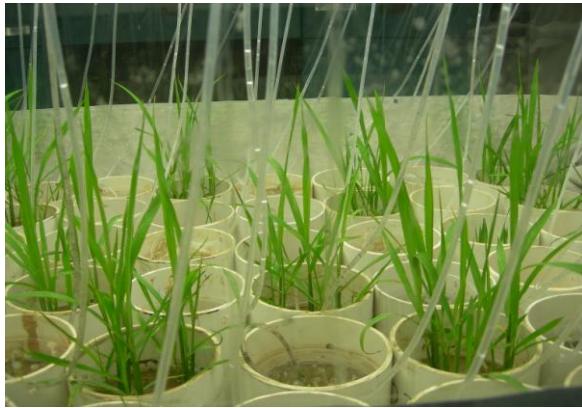
- ❖ 稻田土壤是否存在持续固碳的生物地球化学特性？
- ❖ 如何解决稻田土壤固碳与甲烷排放的矛盾？

主要研究进展

- ❖ 稻田固碳的生物地球化学机理
- ❖ 稻田固碳与甲烷排放矛盾及协调机制

稻田固碳的生物地球化学机理

- ❖ 稻田有机碳来源是否可支撑其长期固碳？
- ❖ 稻田的物理-生物条件是否有利于固碳（分解、矿化）？
- ❖ 稻田是否存在特别的固碳途径？

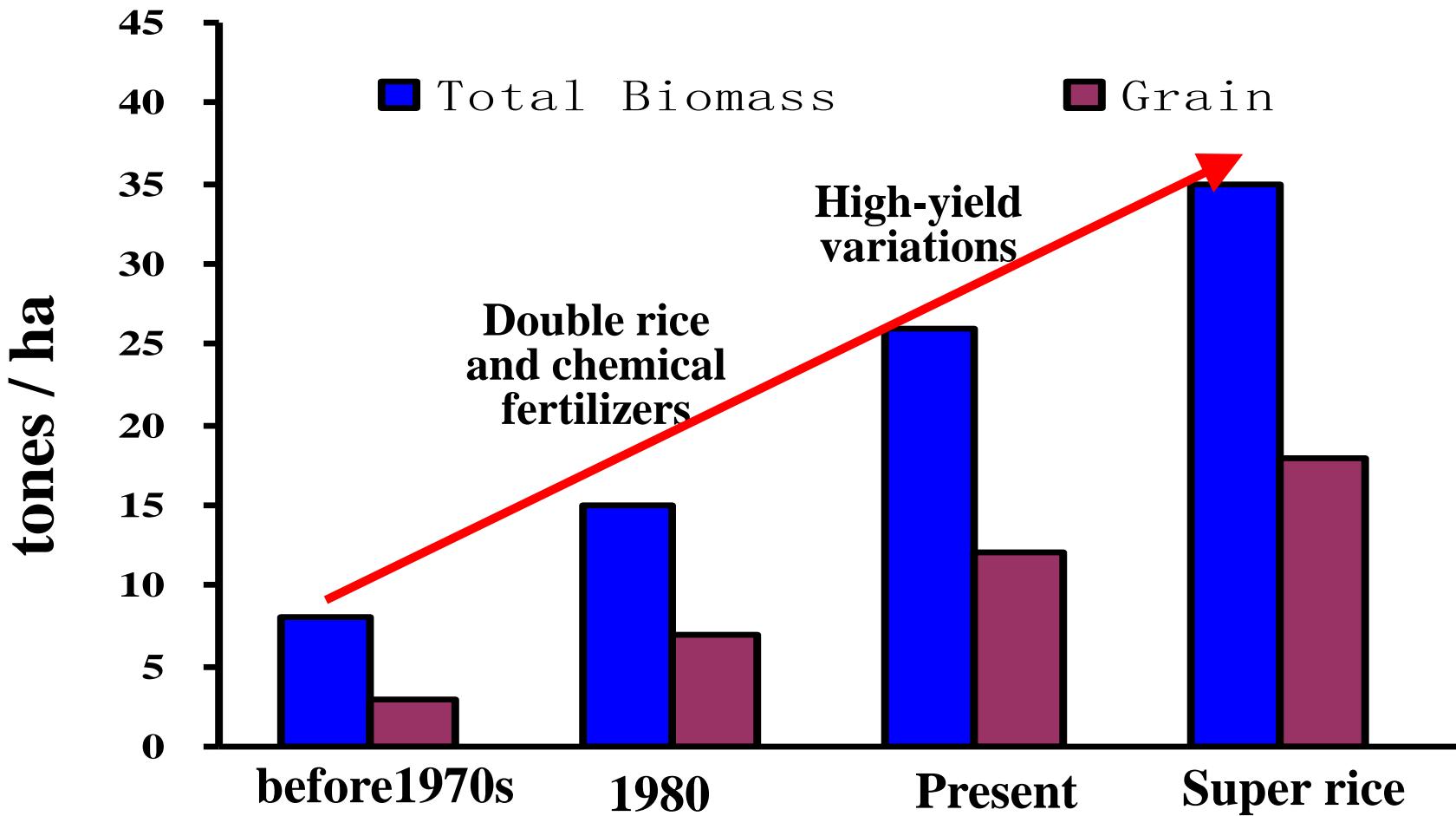


14C-标记模拟试验

有机物矿化
微生物周转
微生物固碳

14C-CO₂连续标记 (水稻、土壤)

亚热带稻田生产力持续增加（50年）

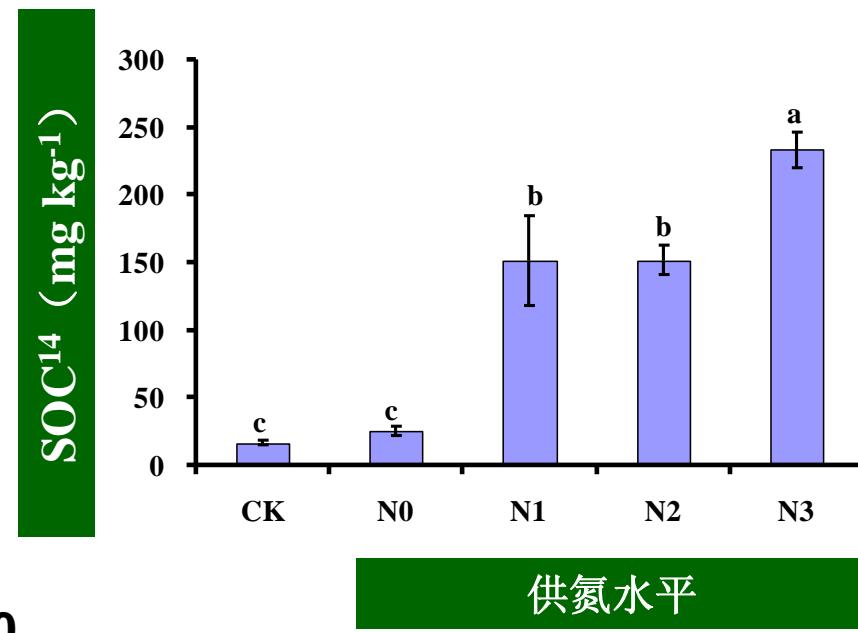


近50年来我国亚热带稻田生产力变化
(Wu, WCSS, 2010; EJSS, 2011)

施氮促进水稻光合同化碳的根际沉积作用

施氮水平对水稻根际沉积效率的影响

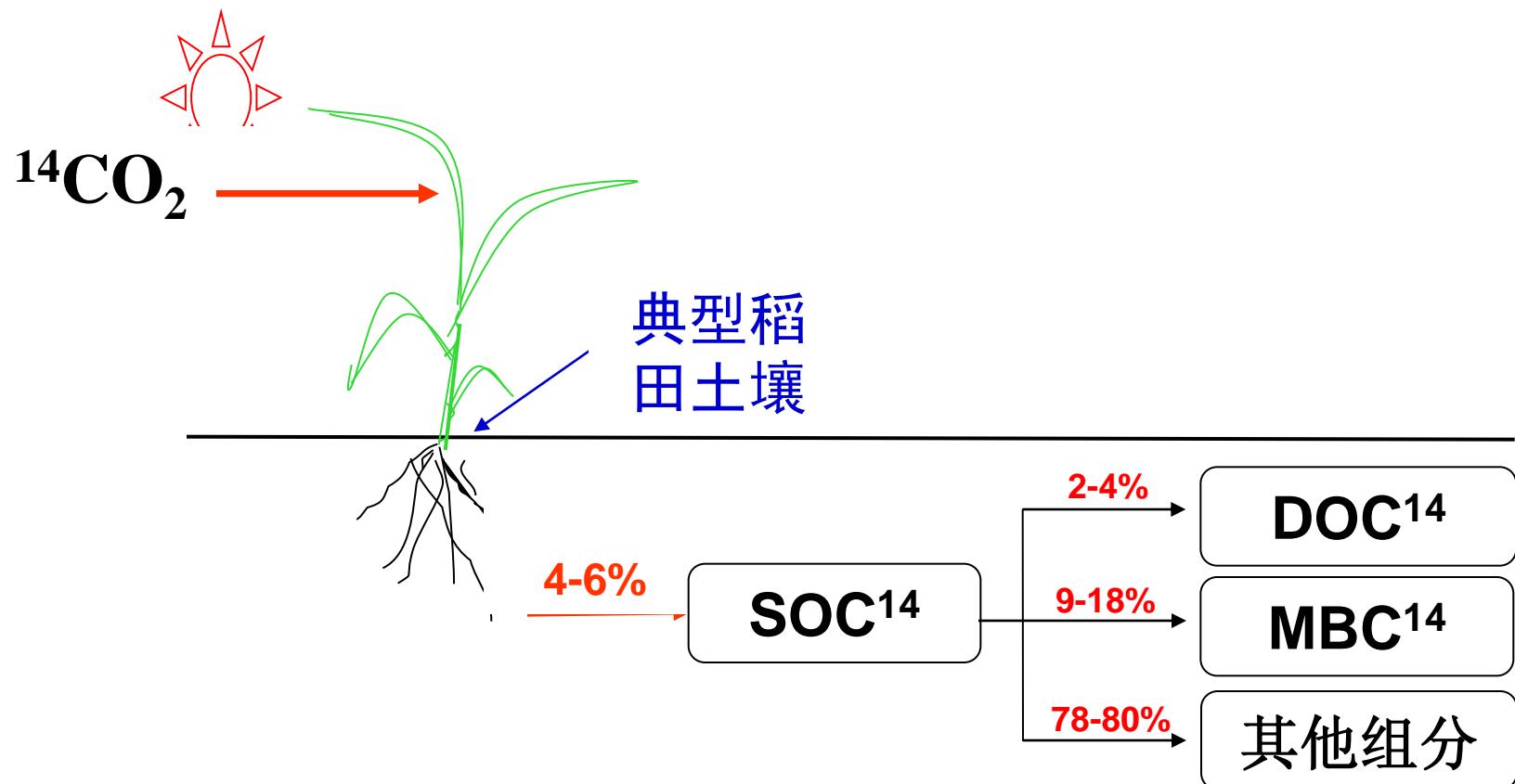
| SOC ¹⁴ /水稻碳累积量 (%) | |
|-------------------------------|--------------|
| N0 | 1.1 ± 0.2 c |
| N1 | 6.8 ± 1.8 b |
| N2 | 6.0 ± 0.8 b |
| N3 | 12.7 ± 3.4 a |



N0, N1, N2, N3分别为0、10、20、40
mg N kg⁻¹±

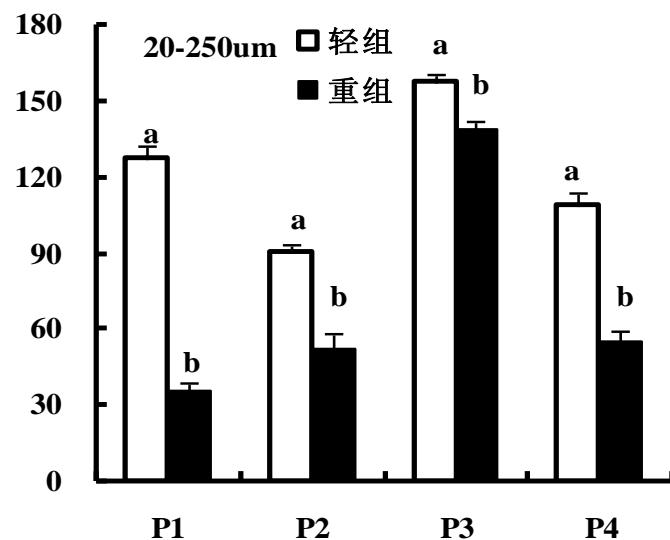
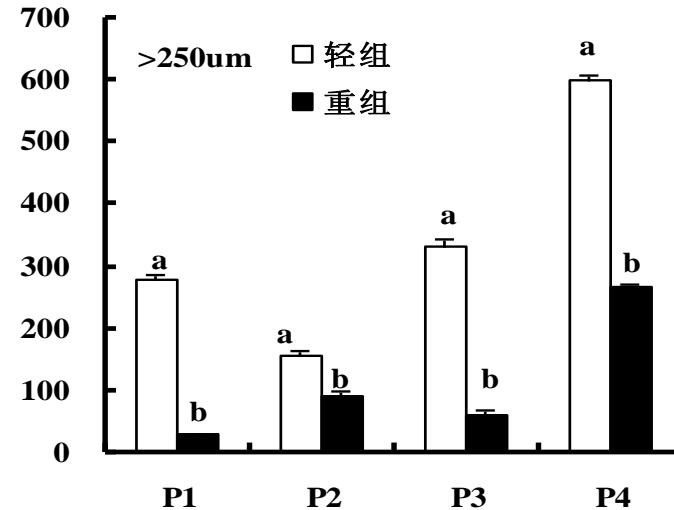
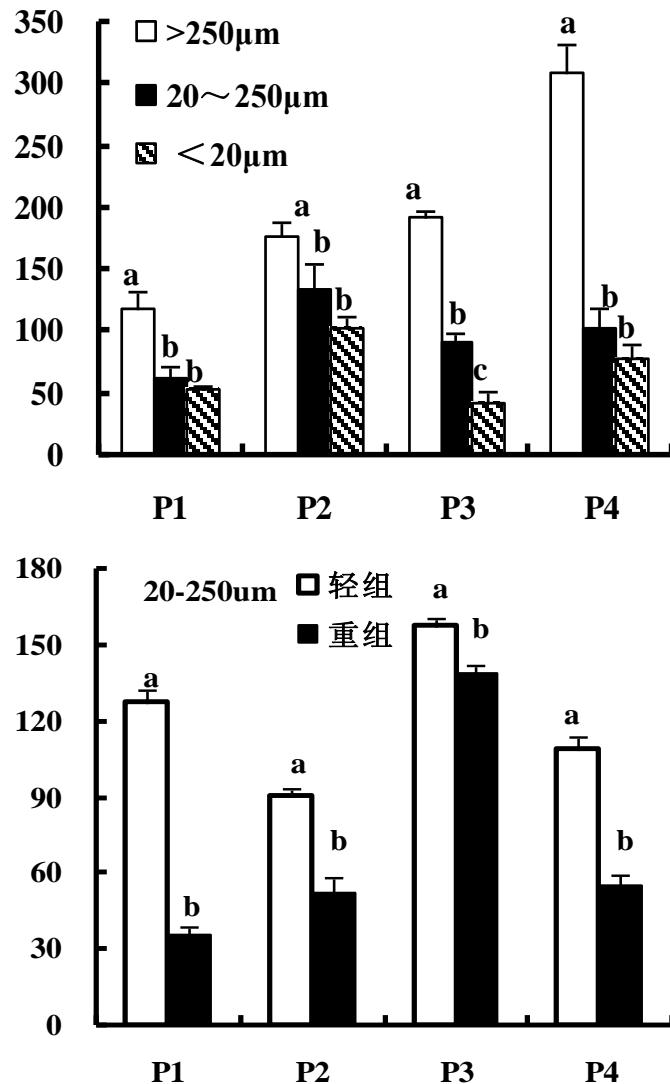
$$\text{根际沉积效率} (\%) = \frac{\text{SOC}^{14}}{\text{水稻碳累积量}}$$

量化水稻光合同化碳对土壤碳库的贡献



水稻光合碳主要固定在 $>250\mu\text{m}$ 粒径的轻组组分中

SOC₁₄ (mg kg^{-1})



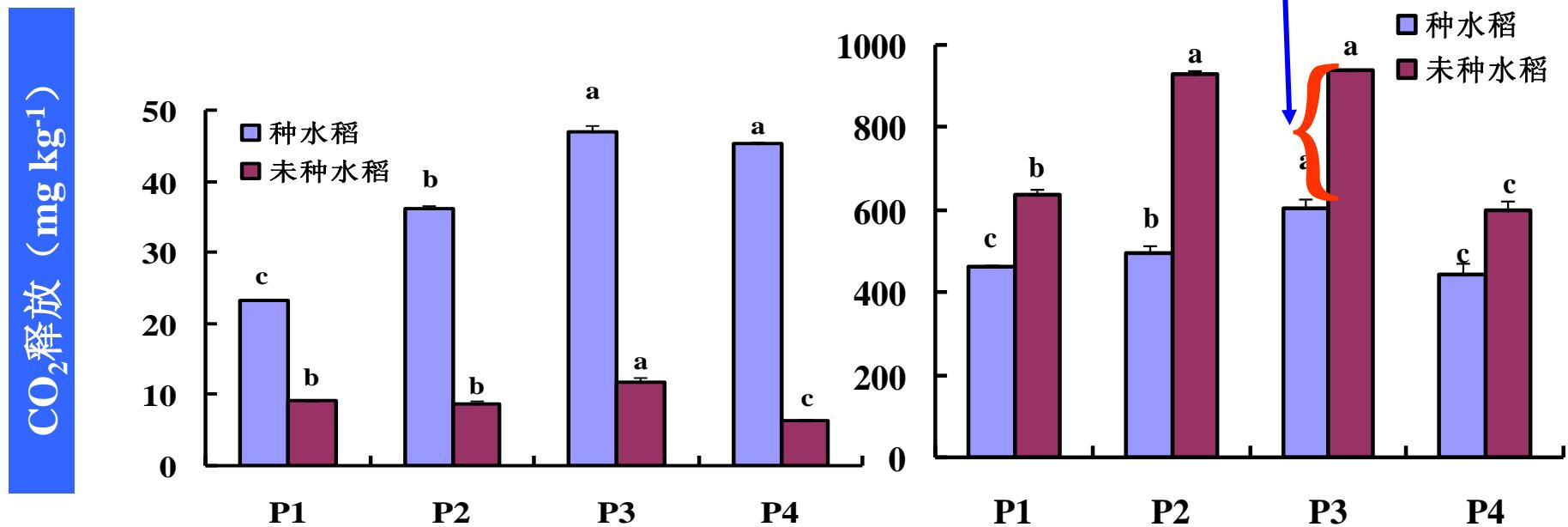
水稻光合同化碳均进入了土壤的各个粒径和密度分组的团聚体中；且主要固定在大粒径的轻组组分中，表现出碳汇功能。

光合碳的输入抑制了稻田土壤原有SOC的矿化

新 碳

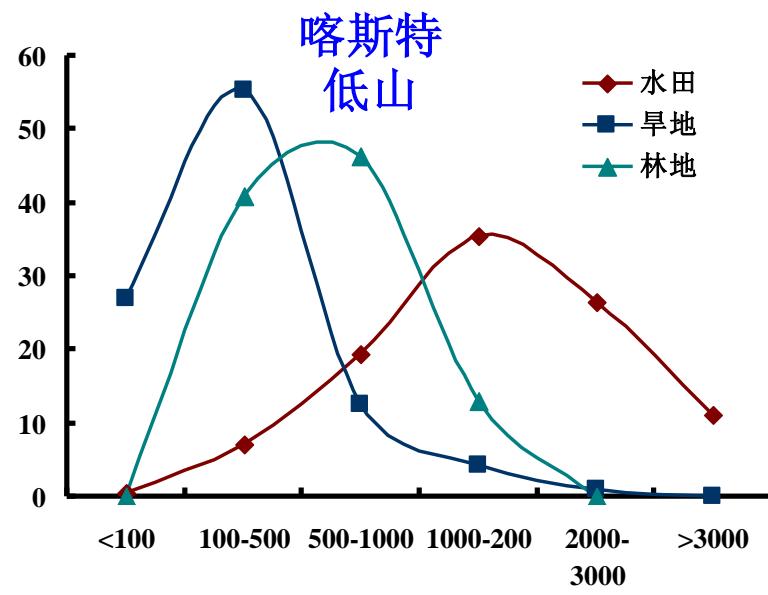
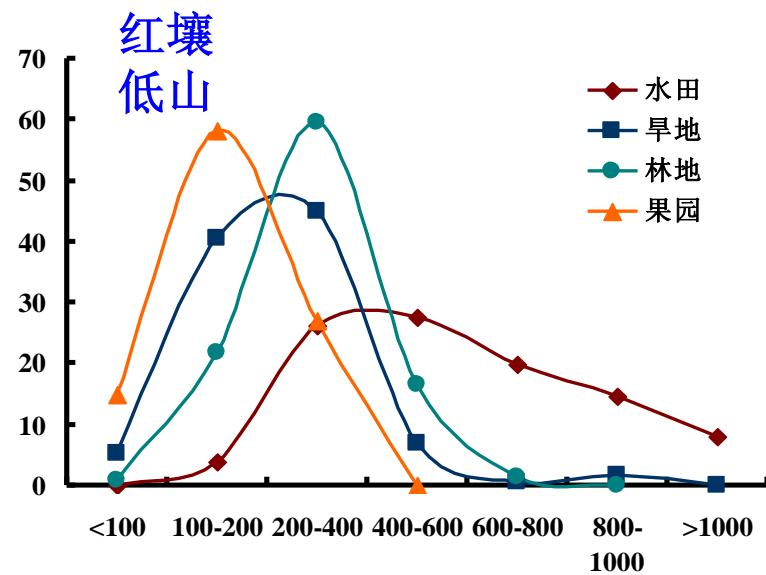
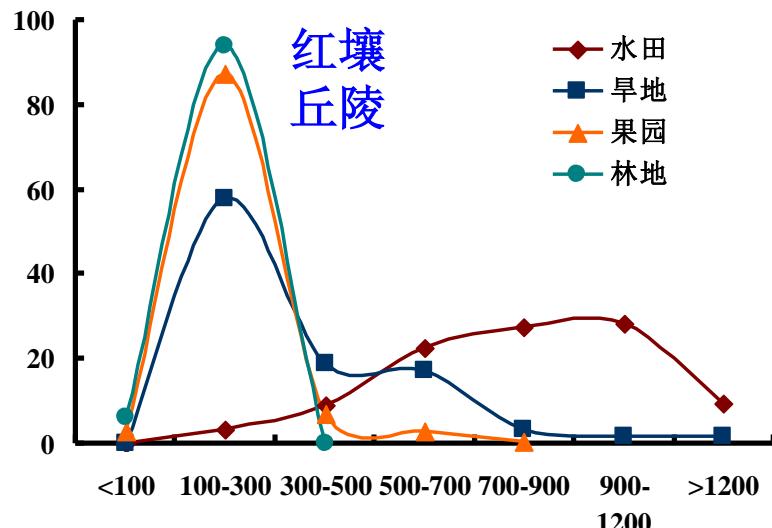
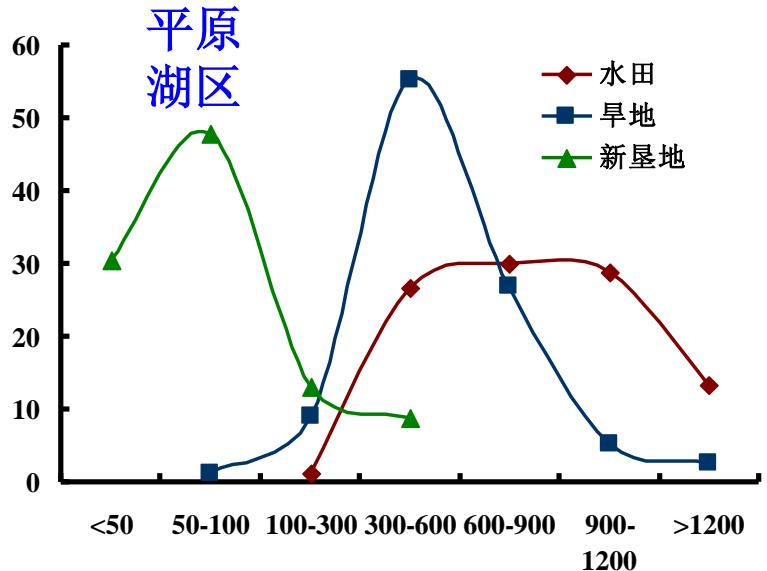
原有有机碳

负激发效应



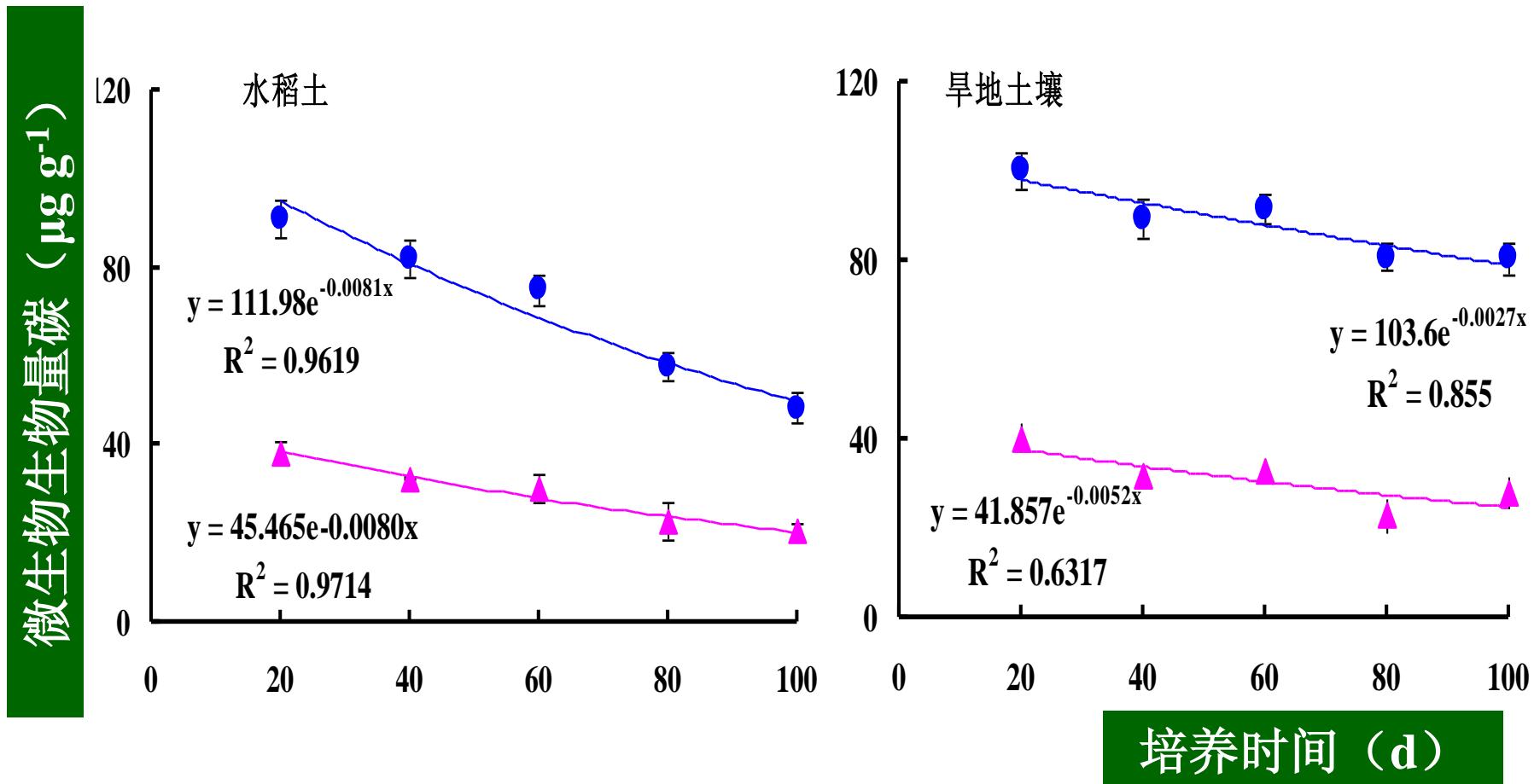
培养100d后，“新碳”和原有有机碳的累积矿化量

分布频率 (%)



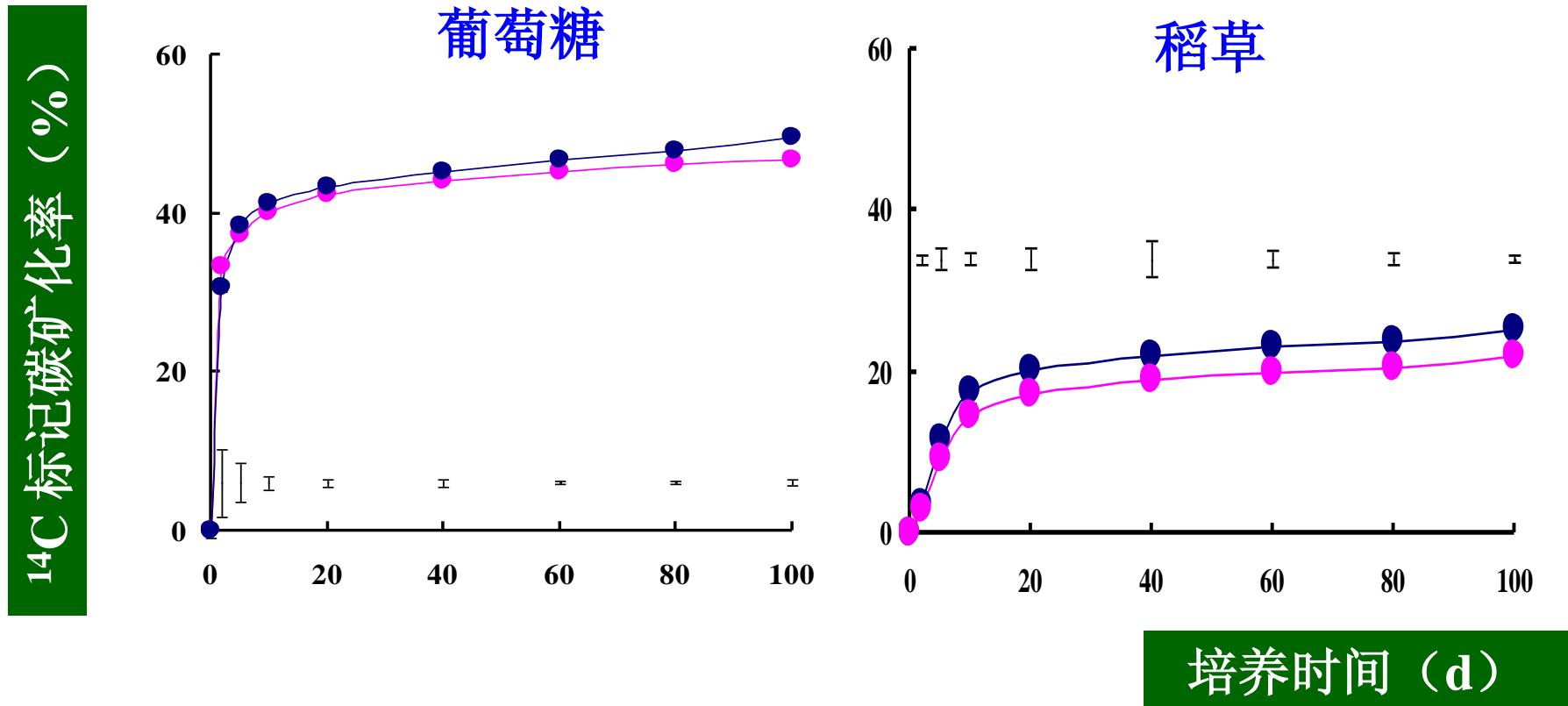
亚热带典型景观单元土壤微生物量碳

稻田土壤微生物生物量的周转速率大于旱地土壤



水稻土和旱地土壤中微生物生物量的周转时间
(●葡萄糖; ▲稻草) (Wu et al. JSFA, 2012, 92:1031-1037)

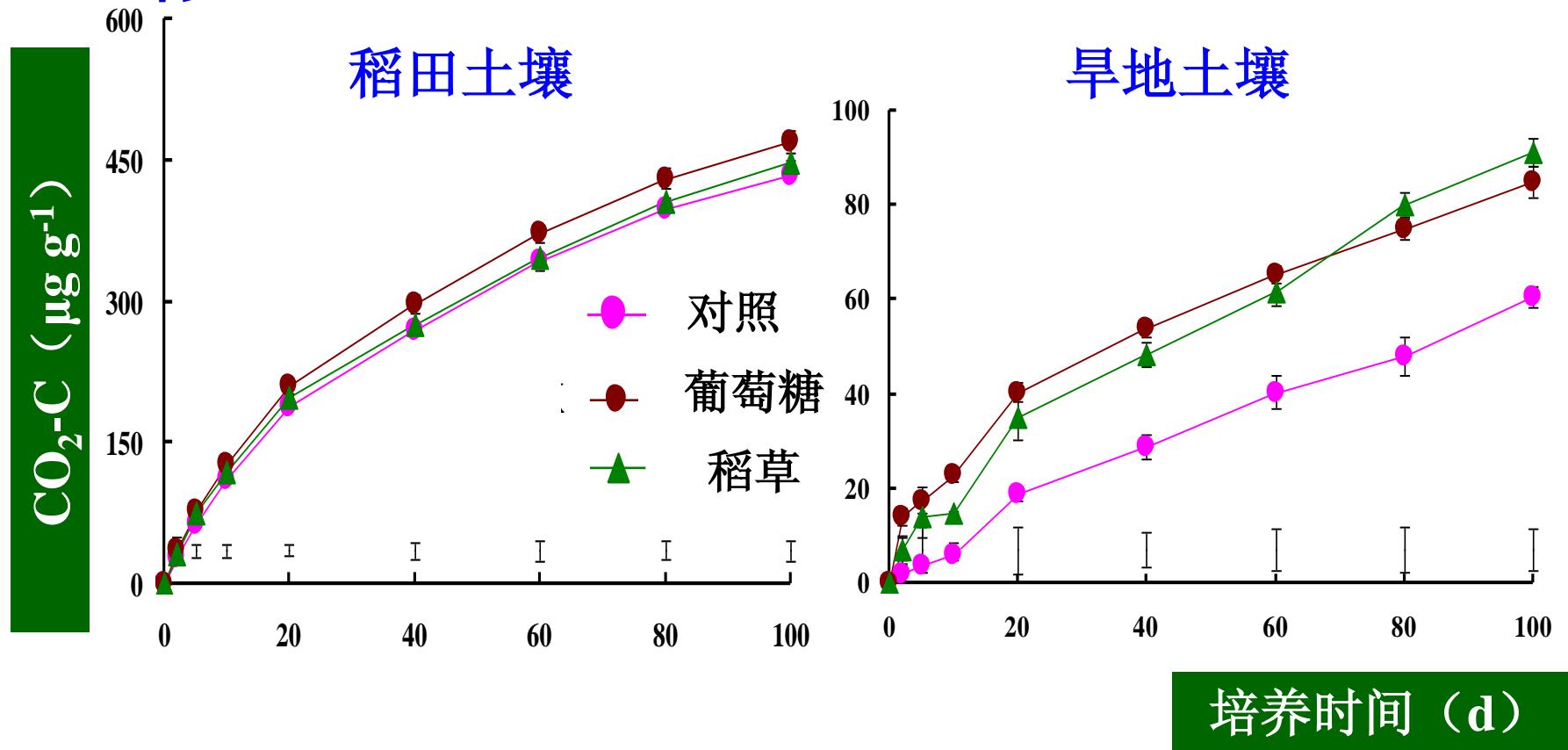
稻田土壤添加葡萄糖和稻草，其矿化率低于旱地土壤



葡萄糖和稻草在水稻土和旱地土壤中的累积矿化率
(● 水稻土; ● 旱土)

(Wu et al. JSFA, 2012, 92:1031-1037)

“新碳”对稻田土壤原有SOC矿化无明显影响

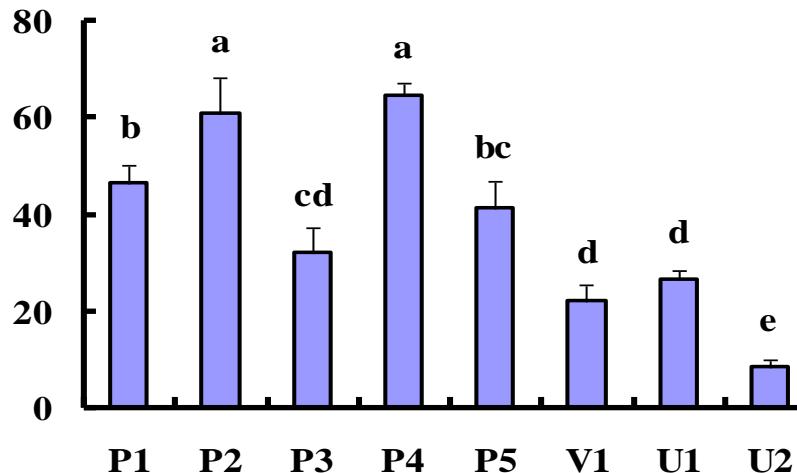


添加葡萄糖和稻草对水稻土原有有机碳矿化的影响

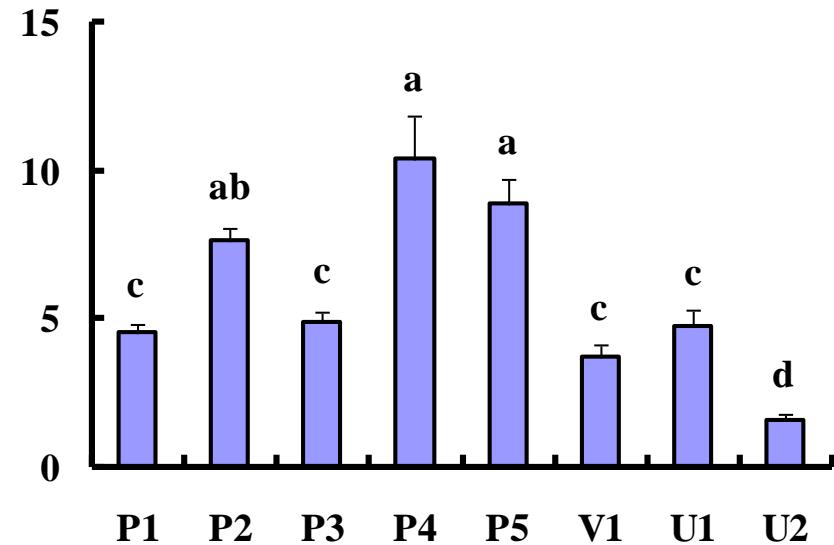
(Wu et al. JSFA, 2012, 92:1031-1037)

土壤微生物具有可观的碳同化潜力

SOC¹⁴



MBC¹⁴

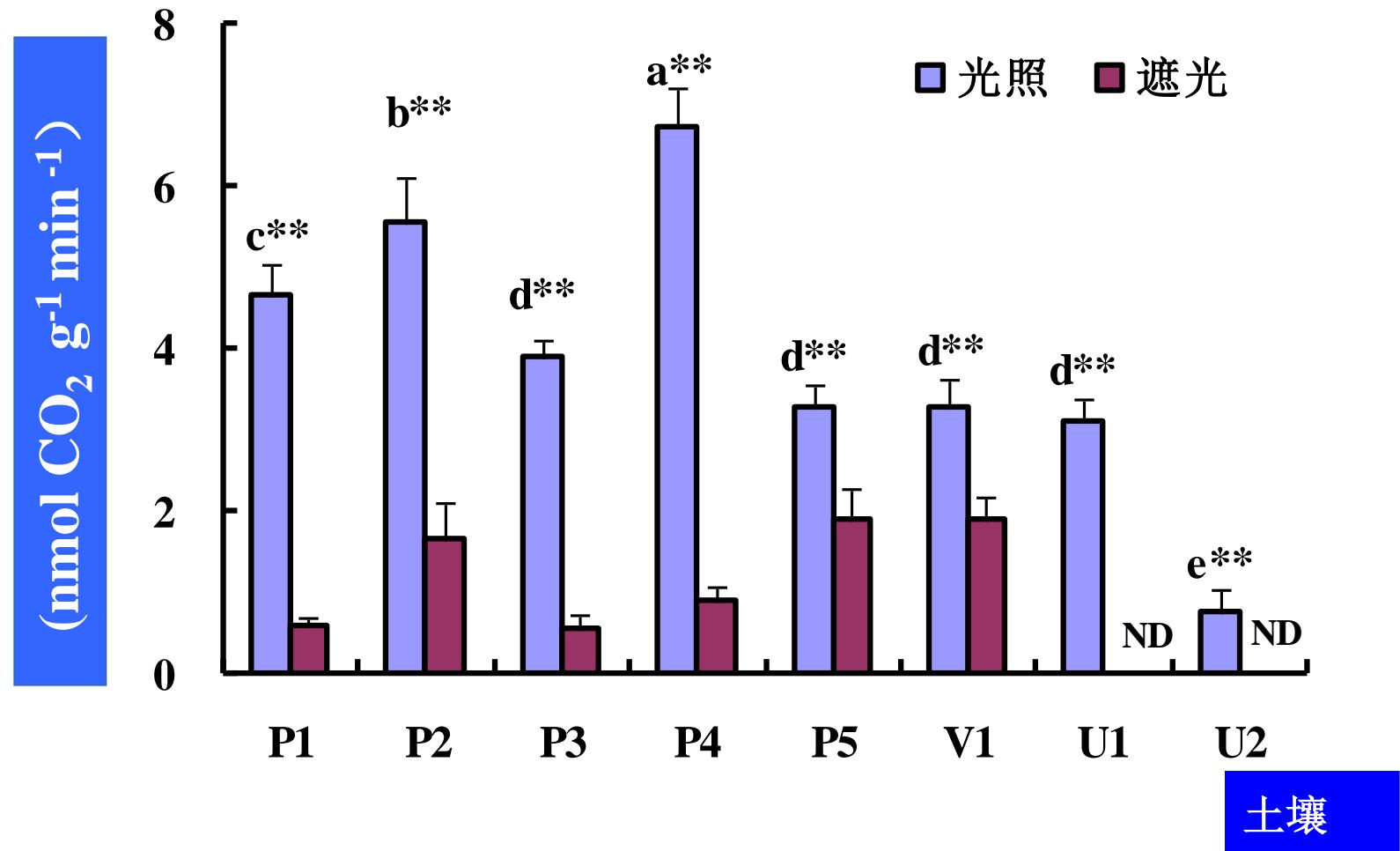


土壤微生物对大气CO₂的同化作用
(25°C; 80天; P为水稻土, U为旱土)

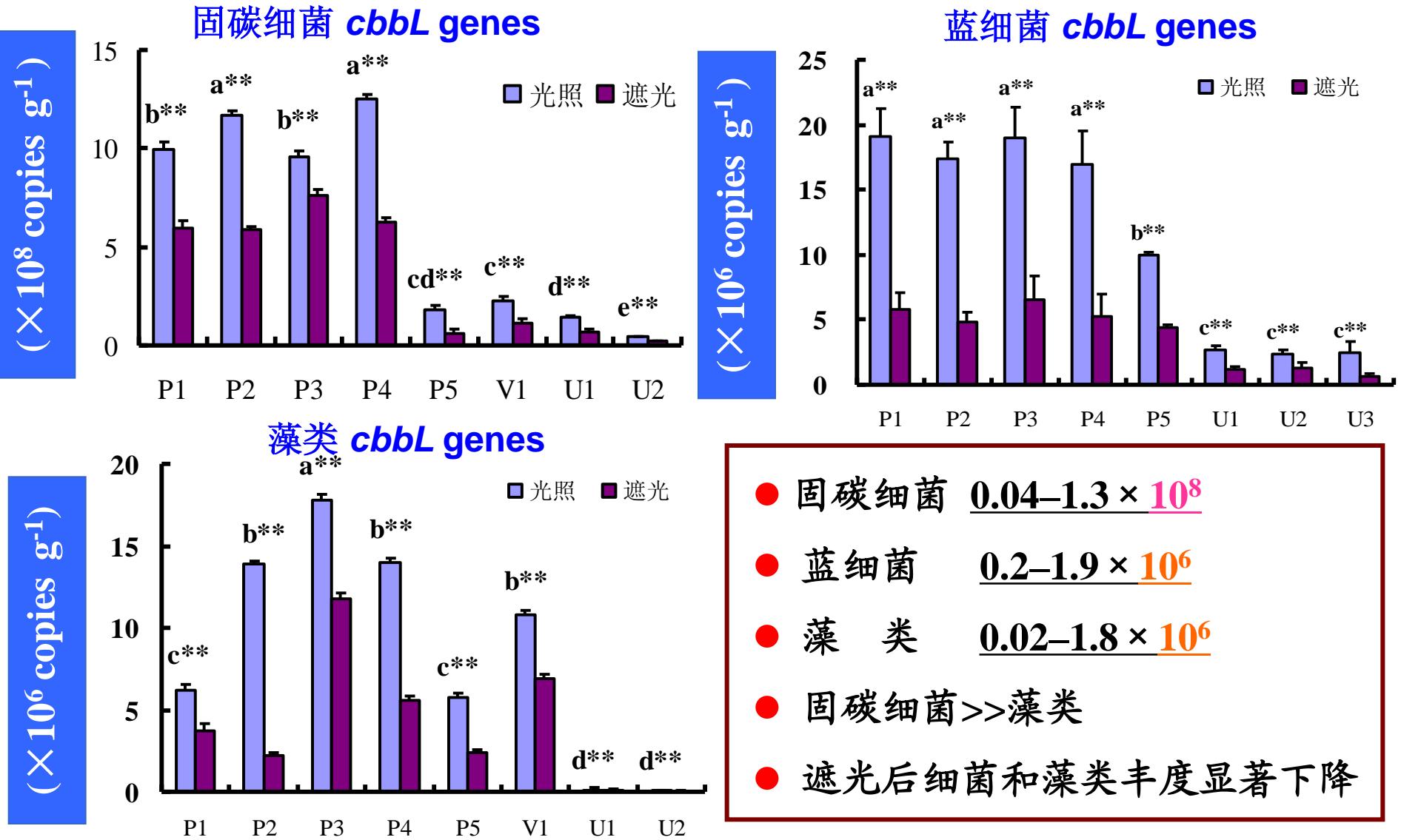
土壤

- ❖ 遮光处理的土壤，未检测到SOC¹⁴和MBC¹⁴
- ❖ 不同土壤SOC¹⁴和MBC¹⁴含量差异显著，稻田的大于旱地

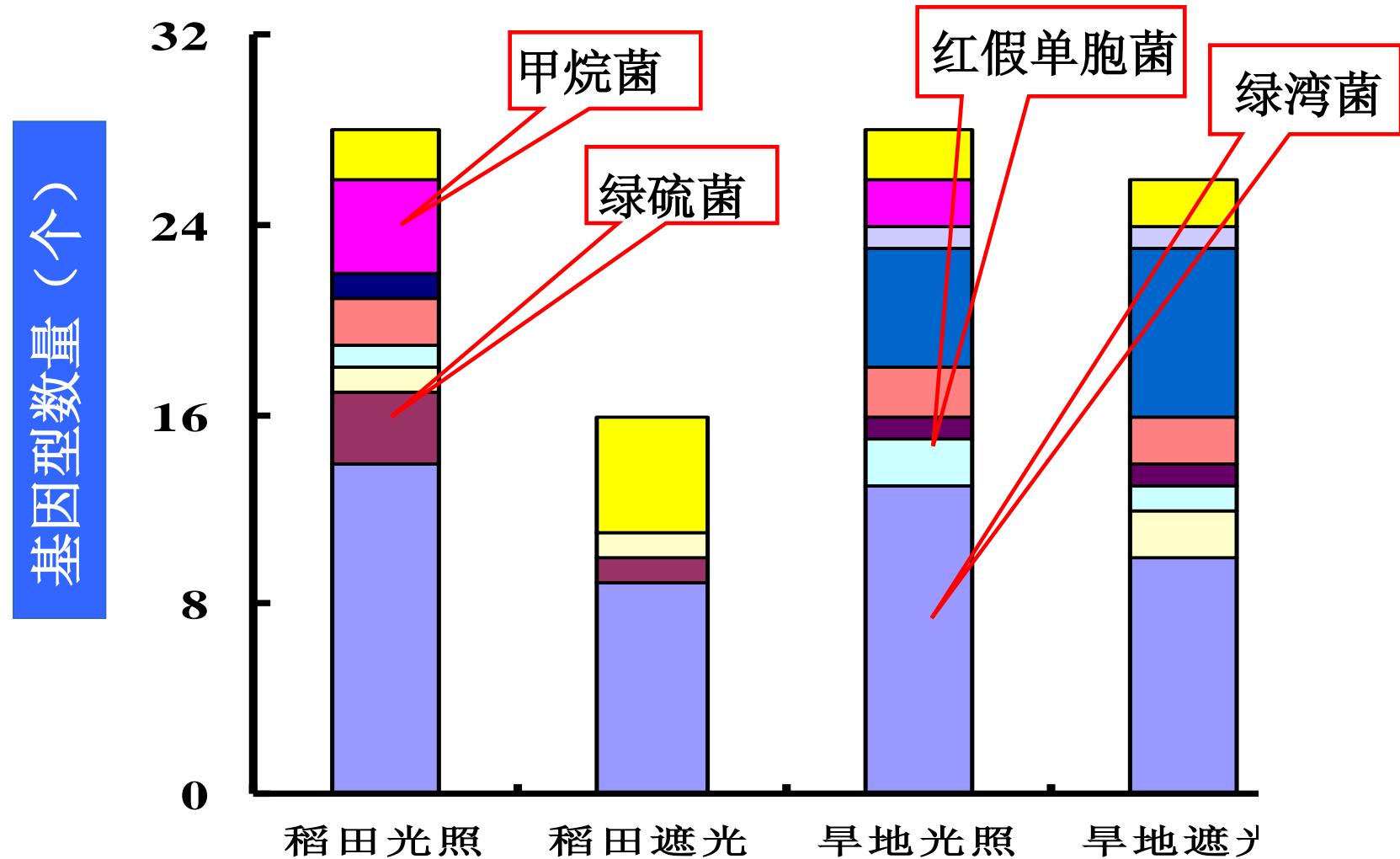
遮光使RubisCO酶活性显著降低



固碳细菌、蓝细菌和藻类*cbbL*基因拷贝数

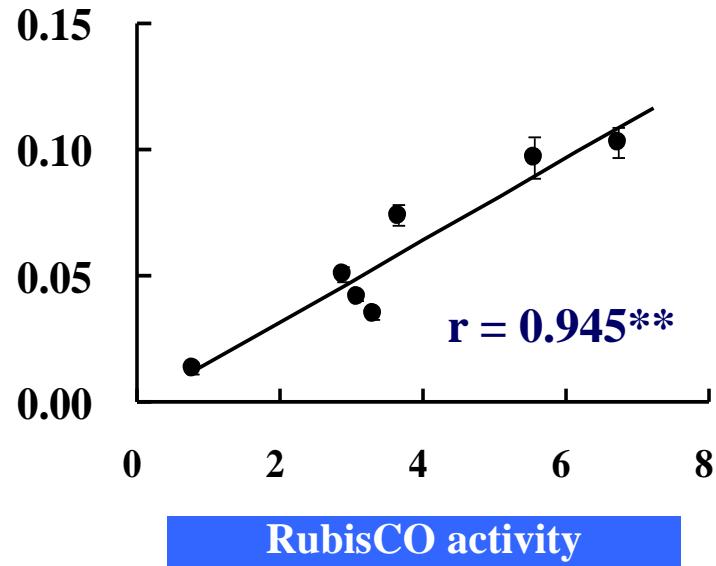


遮光使碳同化功能微生物种群结构发生变化

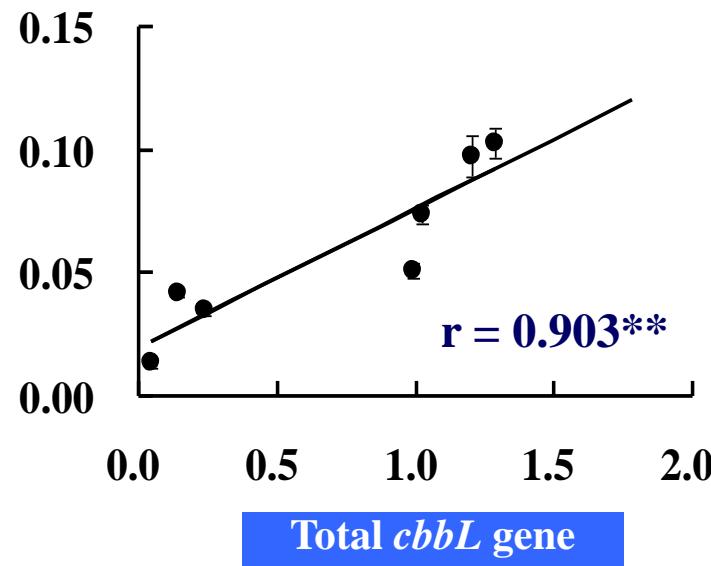


碳同化速率、酶活性、*cbbL*丰度的相关性

Rate
($\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

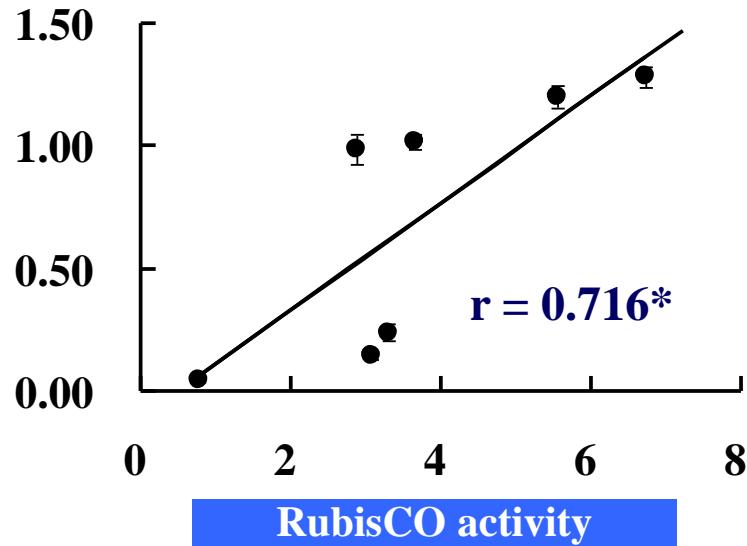


RubisCO activity



Total *cbbL* gene

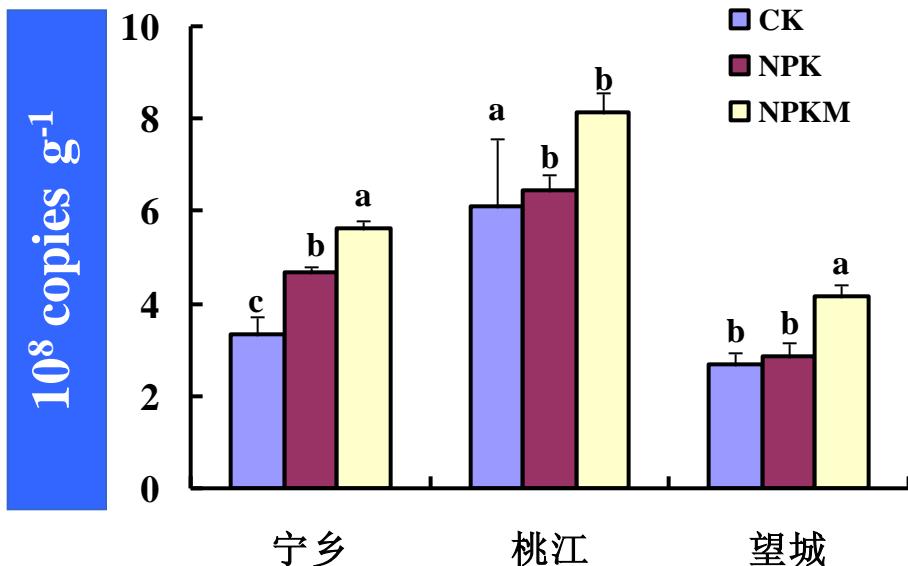
cbbL gene
($\times 10^8$ copies g^{-1})



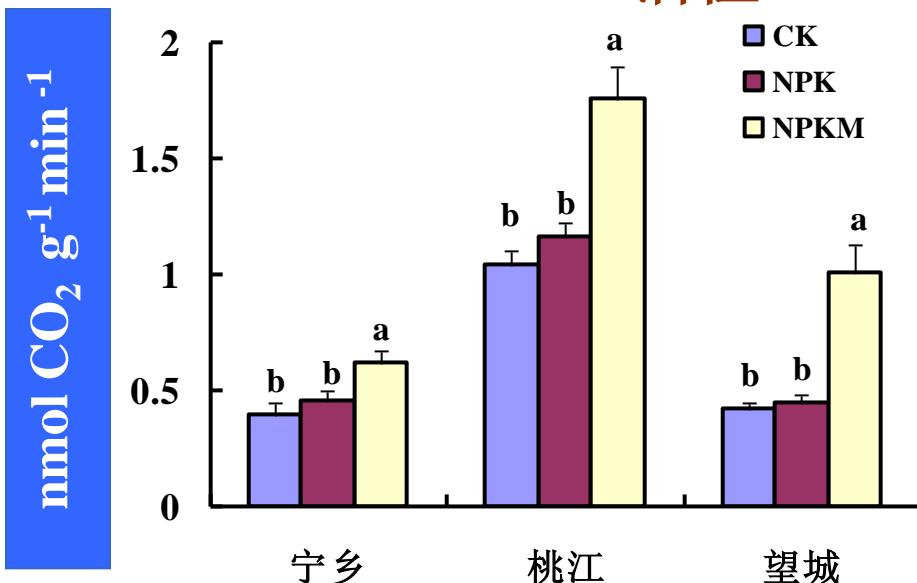
- 光合固碳速率 VS 固碳酶活性
 - 光合固碳速率 VS 固碳基因丰度
 - 光合固碳酶活性 VS 固碳基因丰度
- 呈显著正相关 ($P < 0.01$)

稻田土壤中存在相当数量*cbbL*和较高RubisCO活性

细菌*cbbL*



RubisCO 活性



年同化速率: 100~450 kg C ha^{-1}

长期定位施肥稻田土壤细菌*cbbL*、RubisCO酶活性
(田间原位采样测定)

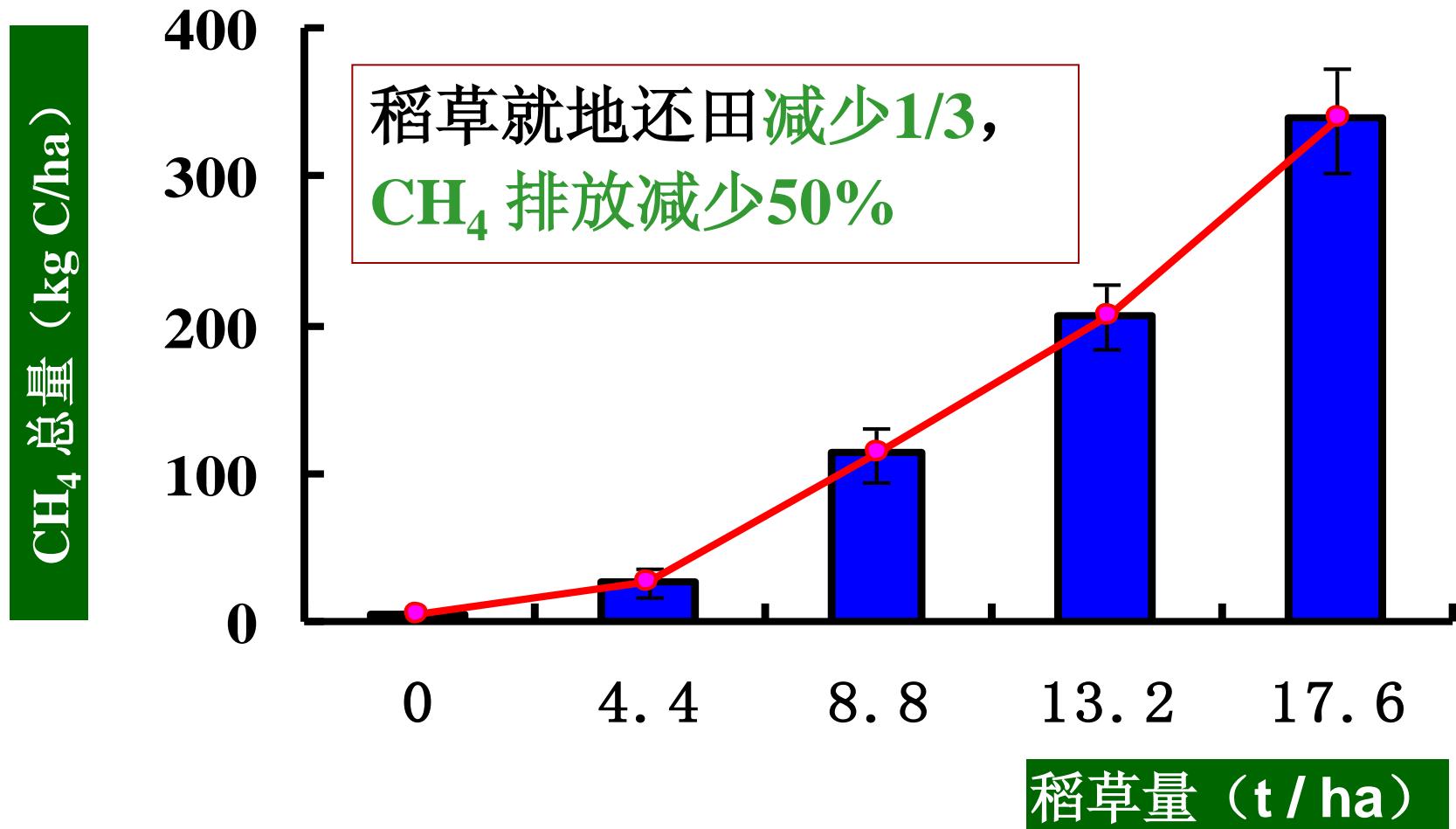
小 结

- ❖ 施氮促进了水稻新鲜根际碳的沉积，高氮水平下根际沉积的碳量高于低氮和中量氮水平
- ❖ 明确稻田土壤较旱地土壤具有更高的微生物生物量，微生物活性，其周转速率更快但对有机质的消耗更少
- ❖ 发现土壤微生物具有固碳功能，量化了光合固碳关键酶RubisCo酶的活性，并明确固碳微生物功能群

稻田固碳与减排的矛盾与协调机制

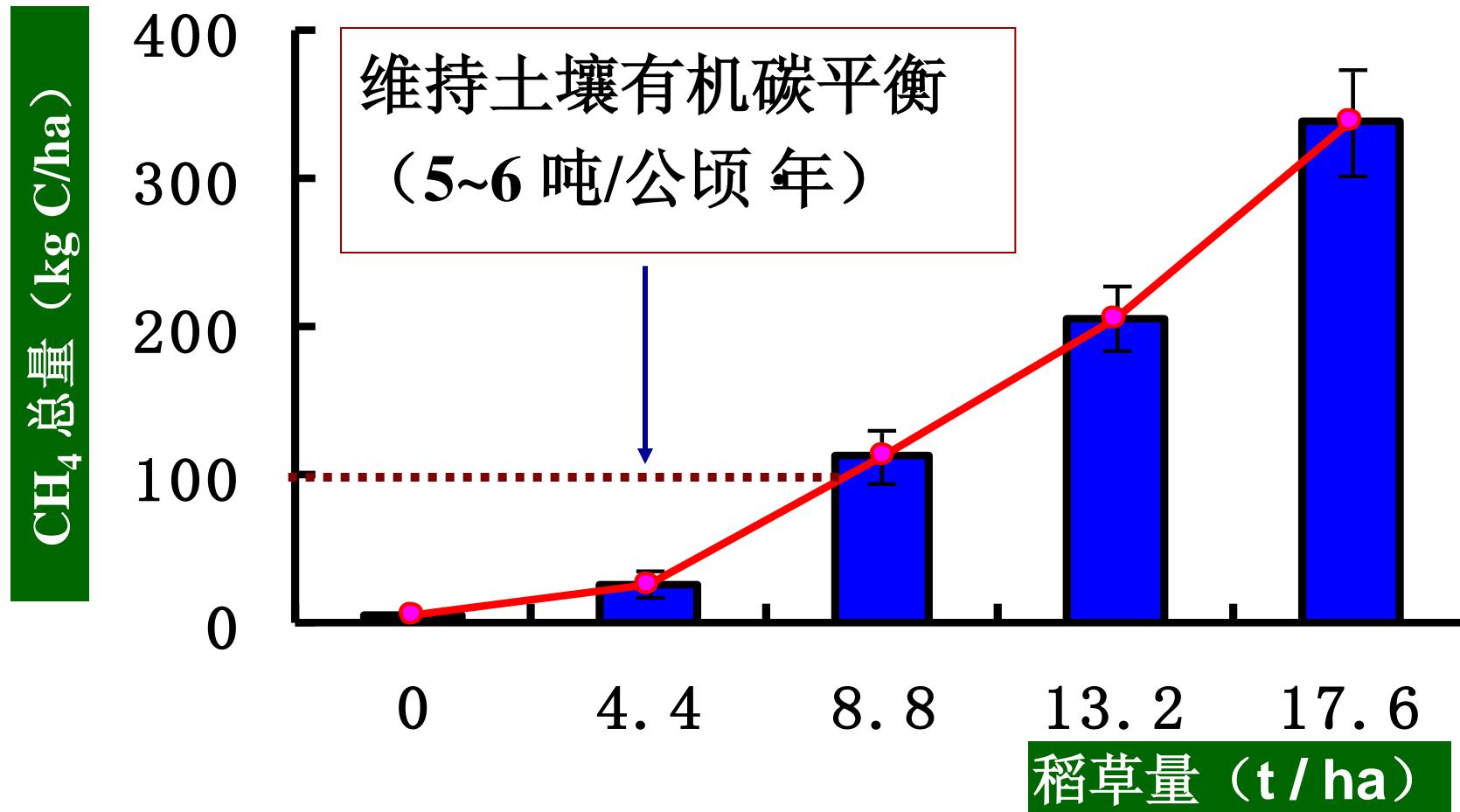
- ❖ CH_4 排放的主控机制?
(^{14}C 标记培养实验)
- ❖ 如何降低 CH_4 排放?
(长期田间试验)

稻田CH₄排放量随稻草就地还田量的增加而增加



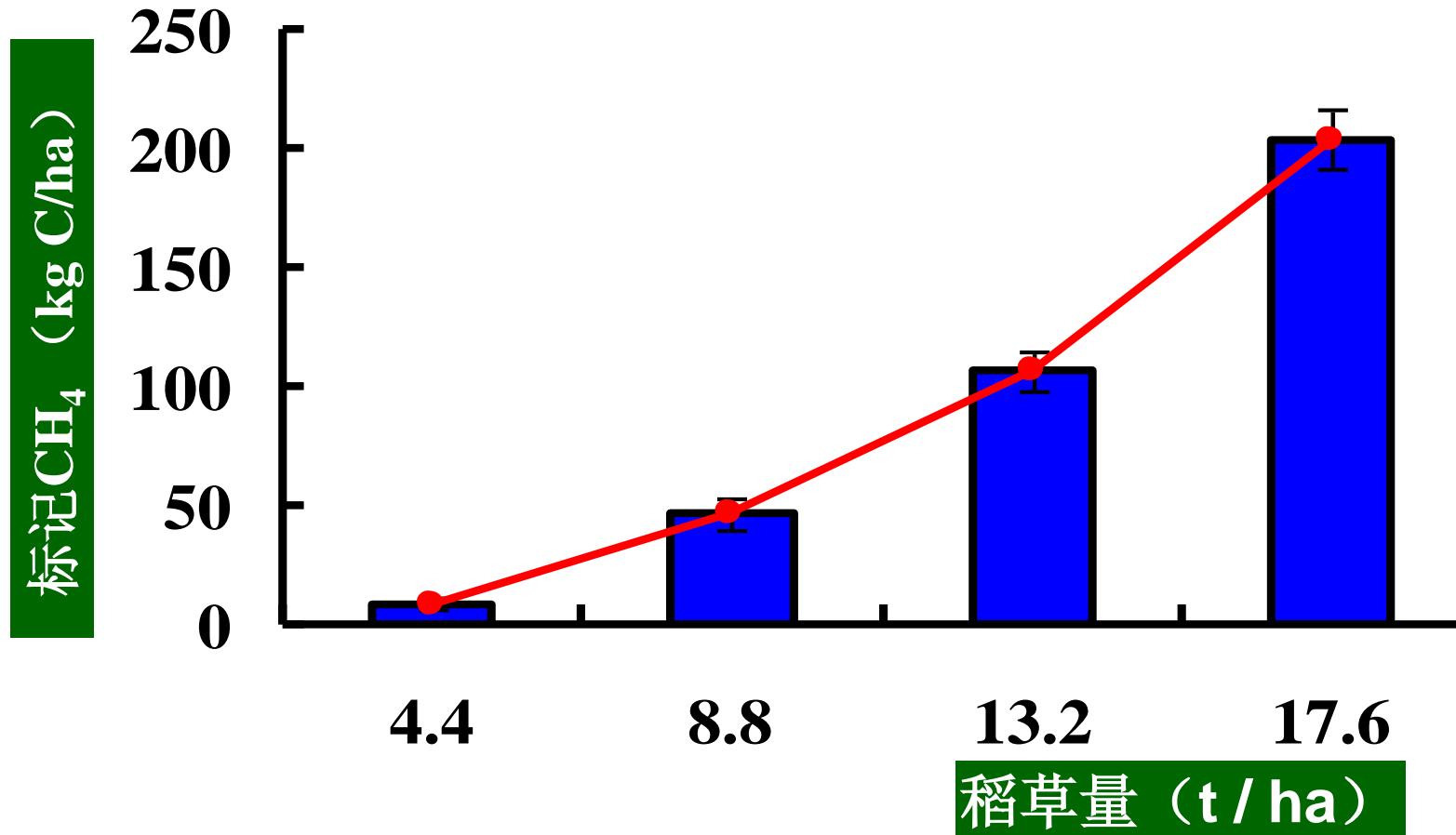
水稻土CH₄释放及其对添加稻草（¹⁴C标记）的响应
(4个稻田土壤平均值和变异状况)

有机物质投入5~6 吨/公顷 年， 可维持SOC平衡



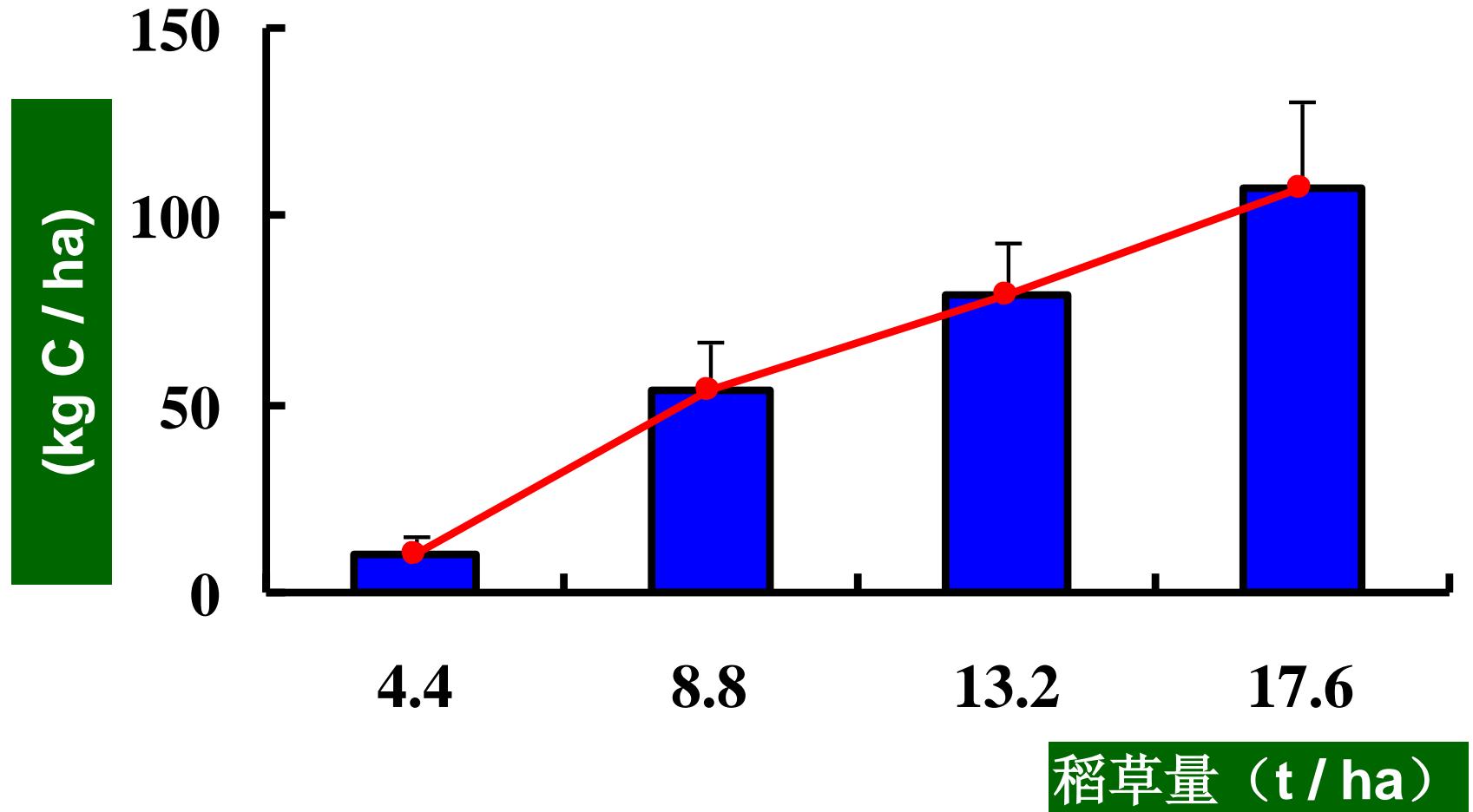
水稻土 CH_4 释放及其对添加稻草 (^{14}C 标记) 的响应
(4个稻田土壤平均值和变异状况)

来源于稻草CH₄释放随着稻草还田量增加呈指数增加



添加稻草形成的CH₄ (¹⁴C- CH₄) 排放量
(4个稻田土壤平均值和变异状况)

稻草对水稻土有机质产生CH₄的“正激发效应”



稻草对水稻土有机质产生CH₄的“激发效应”

(4个稻田土壤平均值和变异状况)

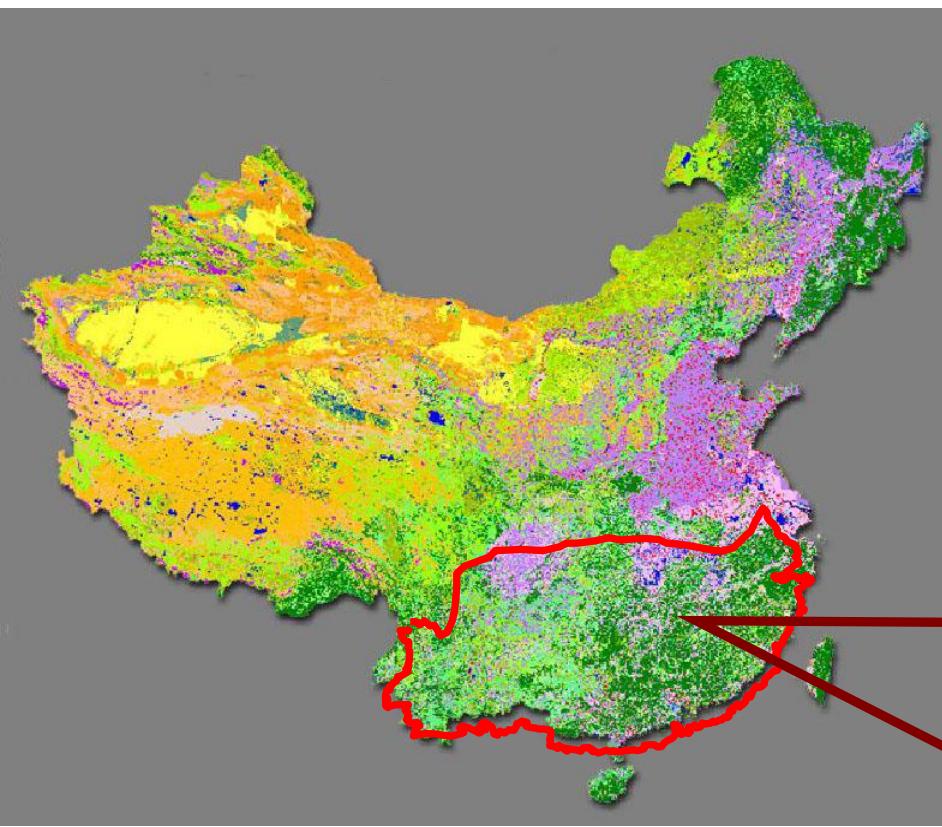
稻田甲烷排放控制机制（稻草“易地还土”）

稻田固碳是有限的、 CH_4 释放是永久的！

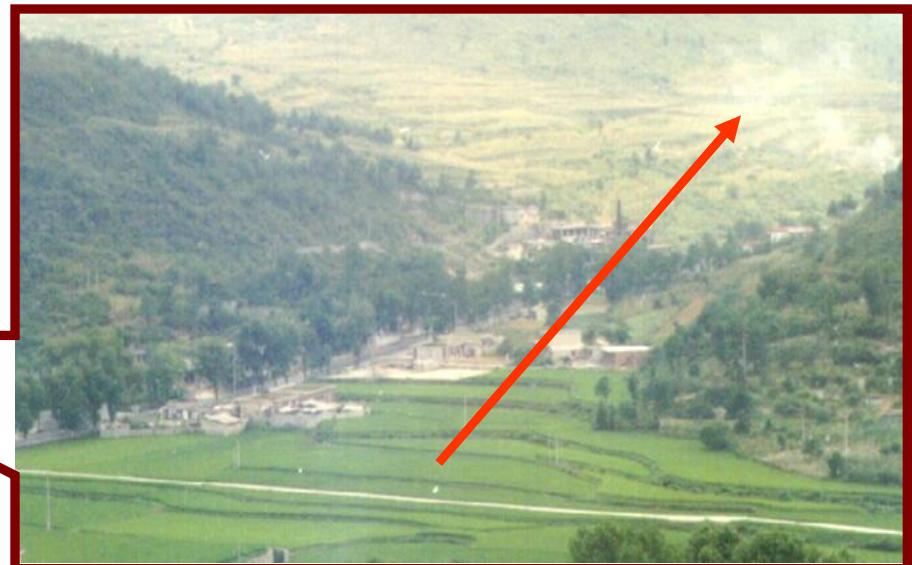


土壤快速改良
水土流失控制
转移固碳
 CH_4 减排

亚热带丘陵区稻田-旱地有机碳系统 管理的可行性



丘陵区稻田：1600万公顷
(占 70%)



亚热带丘陵区稻草“易地还土”定位试验 (2000年起)

试验：旱地、果园、茶园、菜地

施用量：12.8 t/公顷·年

(旱地：前茬覆盖、后茬翻耕入土)

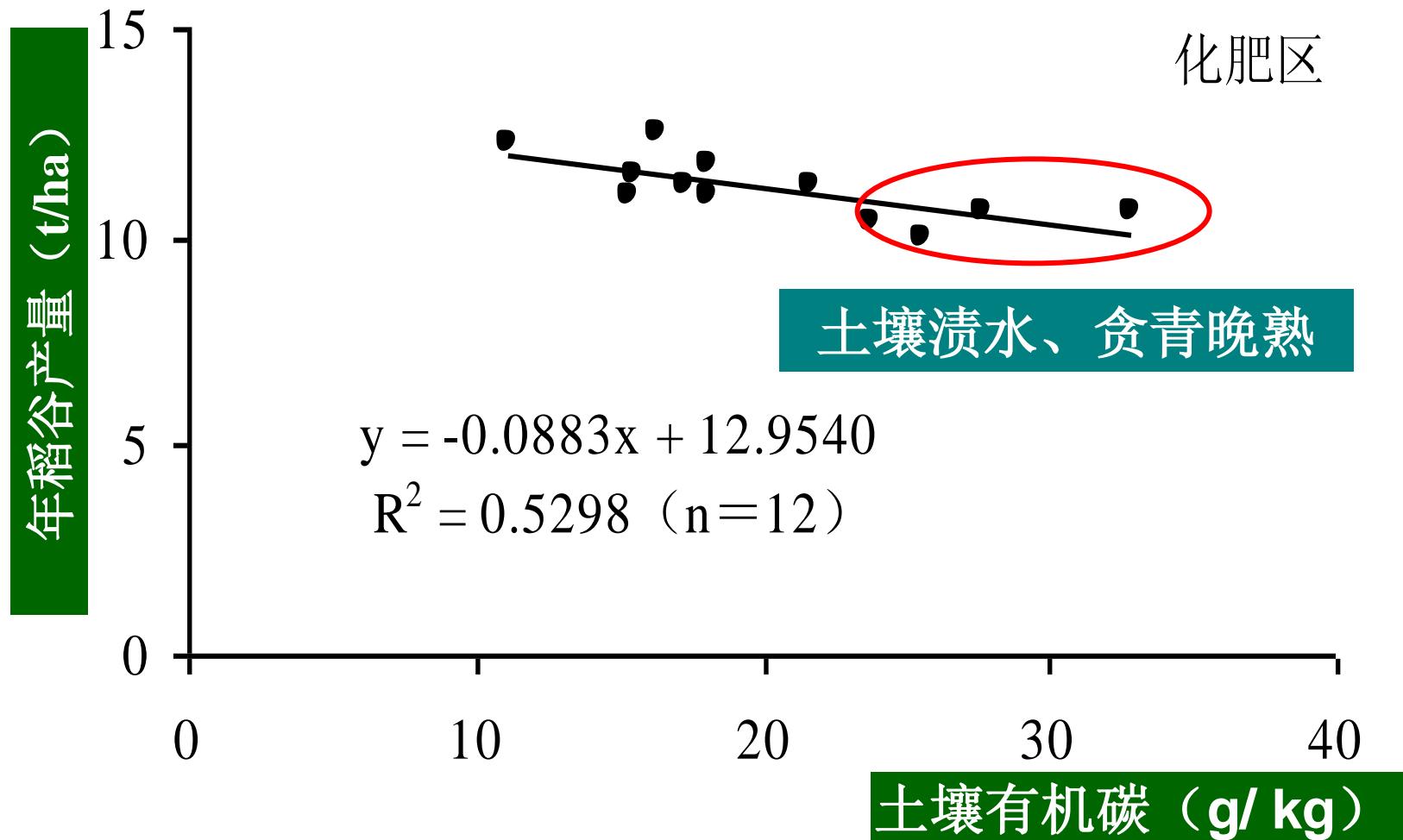
油菜、红薯、玉米、



蚕豆等

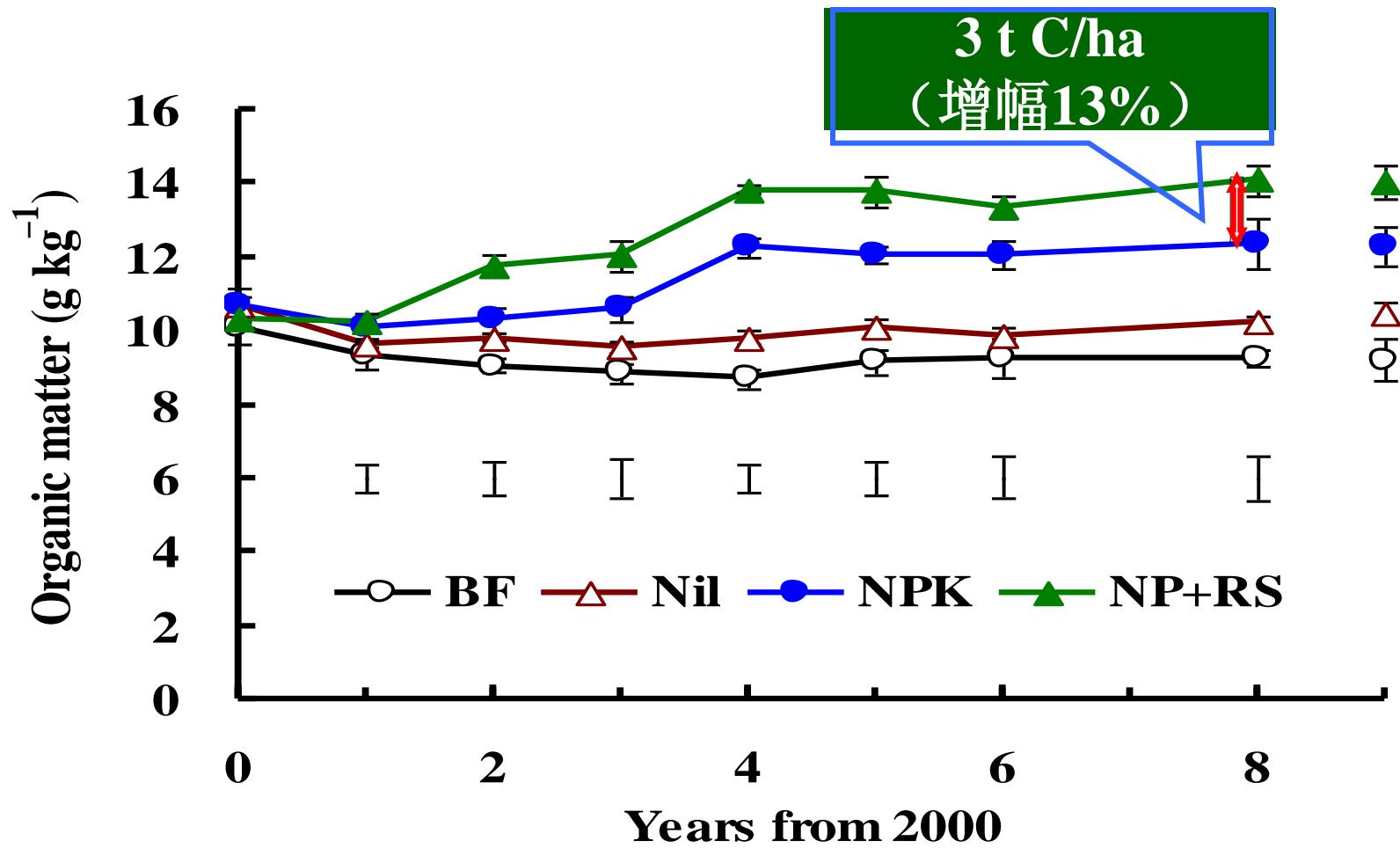


化肥充足的情况下，水稻产量与SOC含量呈负相关



湖南12个长期定位试验：在化肥充足情况下，
水稻产量与土壤有机碳含量的关系

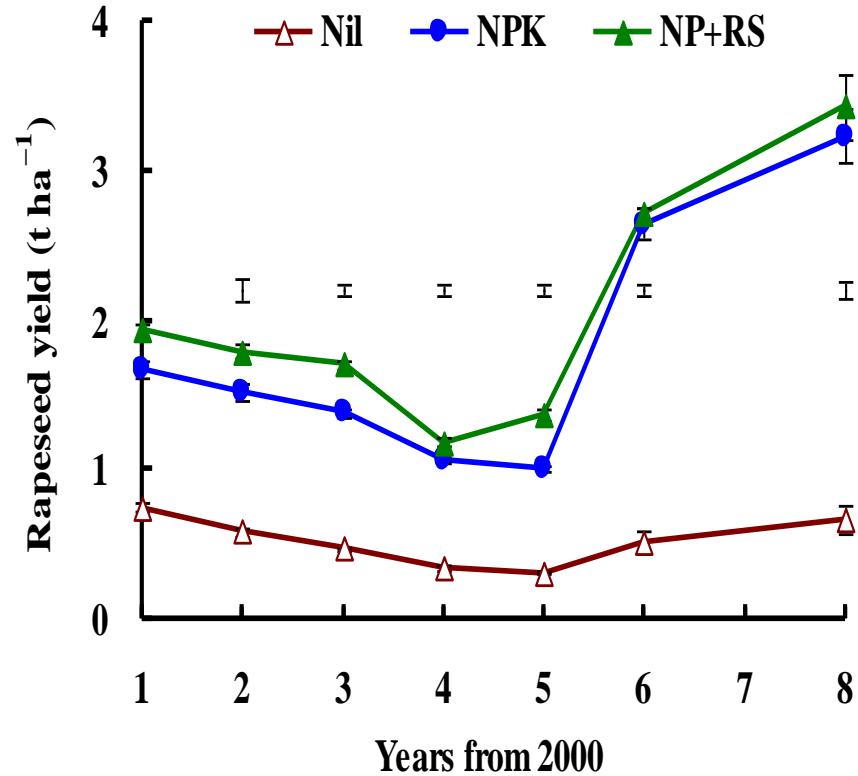
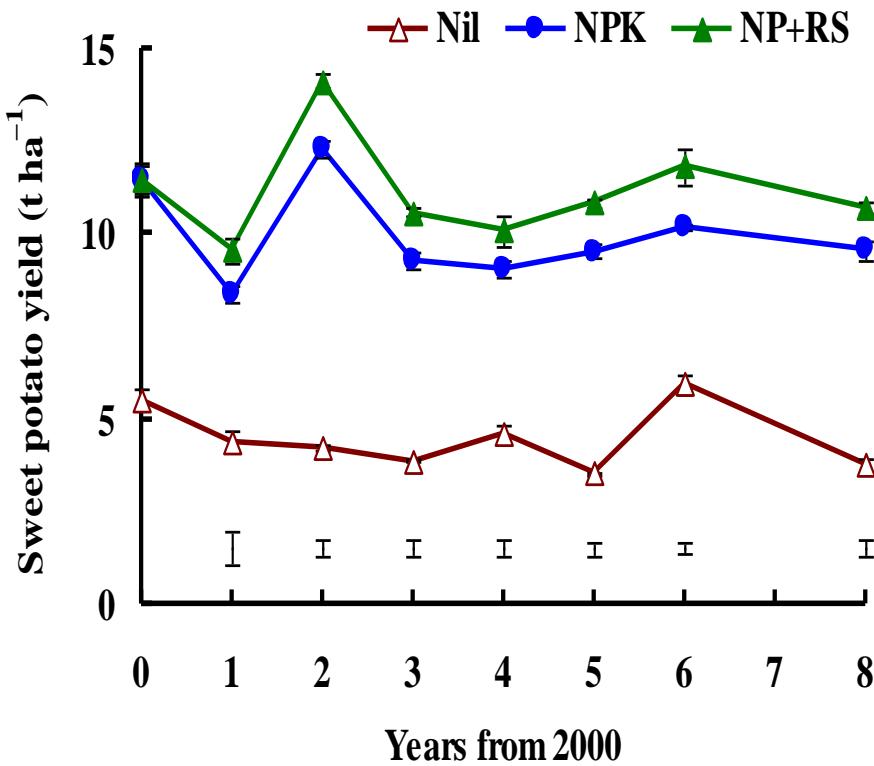
稻草易地还土，新垦旱地红壤SOC含量升高



新垦旱地施用稻草土壤有机碳变化

(Zhu & Wu *et al.* Plant and Soil, 2010, 331: 427-437)

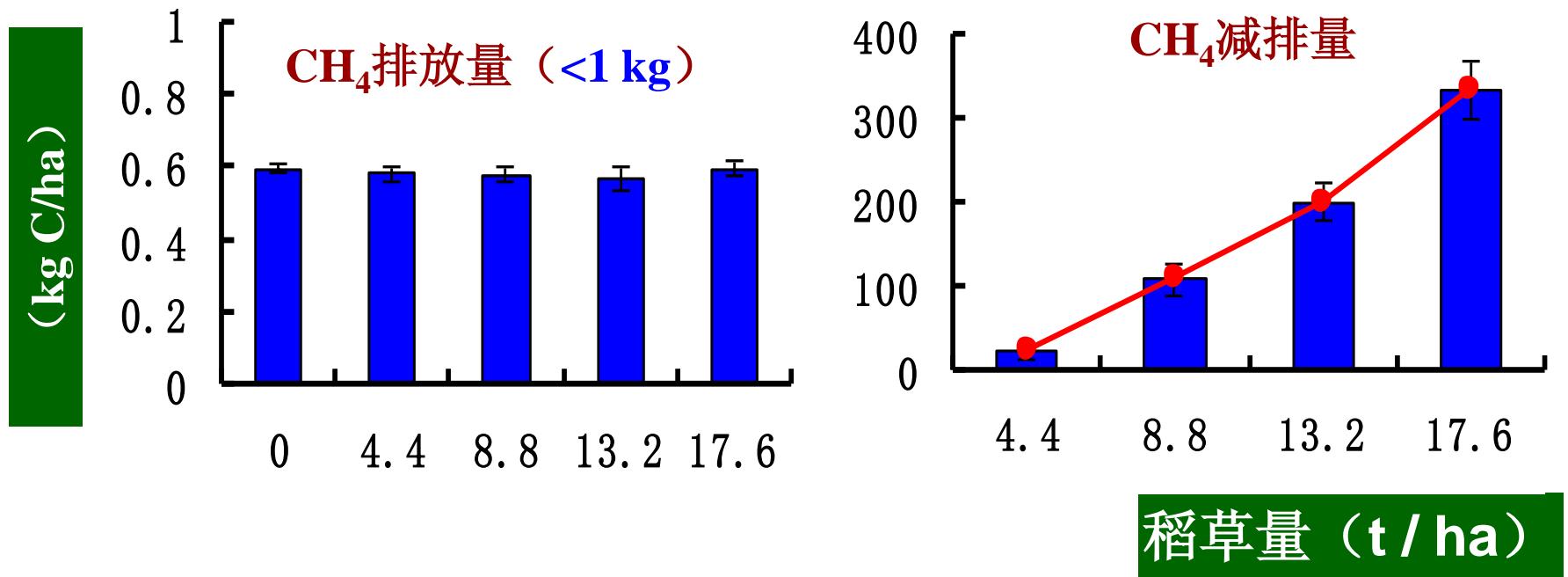
稻草易地还土使红壤旱地生产力提高



旱地施用稻草的作物增产效应 (10-20%)

(Zhu & Wu *et al.* Plant and Soil, 2010, 331: 427-437)

稻草易地还土显著减少旱地甲烷的排放



旱地施用稻草的CH₄排放总量及减排效应

小 结

稻草“就地还田”：

- ❖ 稻田无稻草输入时， CH_4 排放可维持在很低的水平
- ❖ 稻田甲烷排放量随稻草就地还田量的增加而急剧增加
- ❖ 显著诱发稻田土壤原有有机质释放甲烷，具有明显的正激发效应

稻草“易地还土”：

- ❖ 减轻稻草就地还田压力；减少稻田 CH_4 排放
- ❖ 增强旱地土壤的碳汇功能，节省化肥
- ❖ 提高旱地生产力

研究展望

- ❖ 稻田固碳趋势明显，但未来潜力不明确
(加强土壤生物过程研究)
- ❖ 重新审视依靠有机物投入（稻草还田）维持的稻田土壤固碳作用，需要找到稻草处置措施
(推行稻草“易地还土”，温室气体减排潜力巨大：
不仅中国需要、所有水稻种植国家都可适用)
- ❖ 土壤微生物固碳是未被认识的“碳循环”重要过
程
(开展在自然条件下的固碳速率研究)



谢谢大家！

葛体达

中科院亚热带农业生态研究所

Email: gtd@isa.ac.cn

