



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

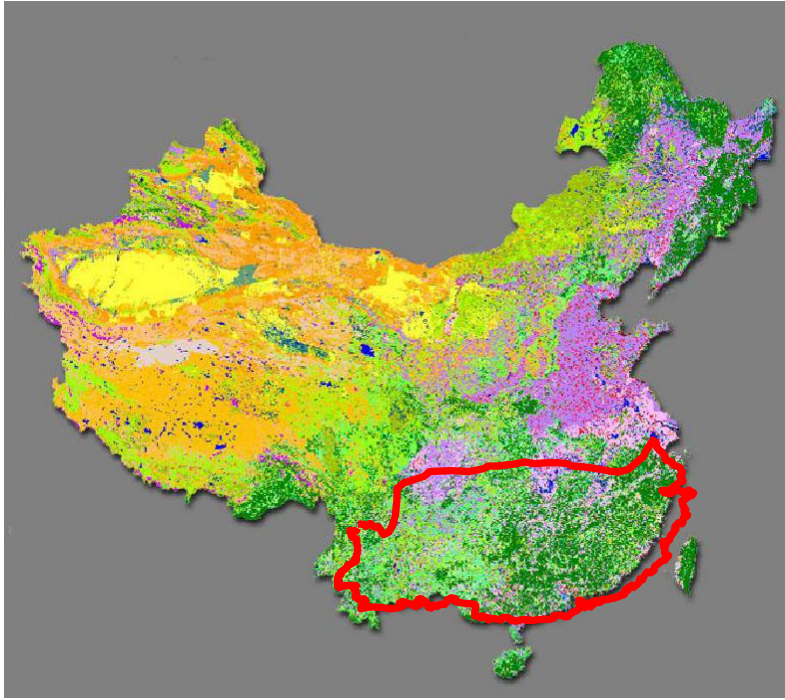
## ❖ 研究背景与关键科学问题

## ❖ 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？ ？ ）
- ❖ CH<sub>4</sub>排放量：110 ~ 290 kg / ha  
总量：> 500万吨  
（温室效应：> 5 亿吨CO<sub>2</sub>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

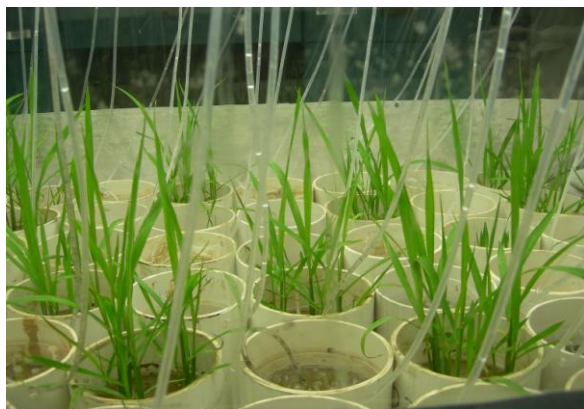
- ❖ 稻田土壤是否存在持续固碳的**生物地球化学特性**？
- ❖ 如何解决稻田**土壤固碳与甲烷排放**的矛盾？

# 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？

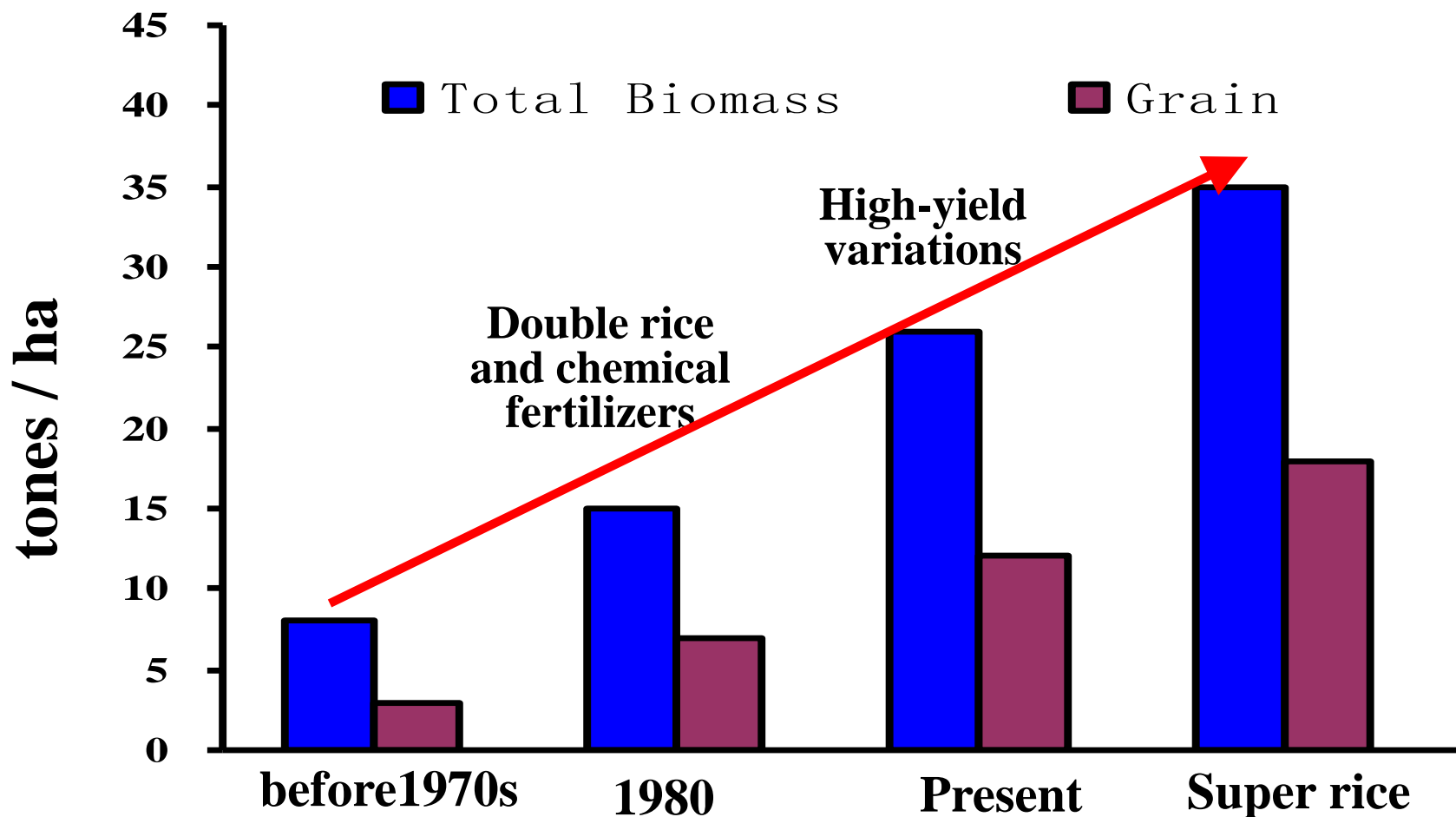


**$^{14}\text{C}$ -标记模拟试验**

有机物矿化  
微生物周转  
微生物固碳

**$^{14}\text{C}$ - $\text{CO}_2$ 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

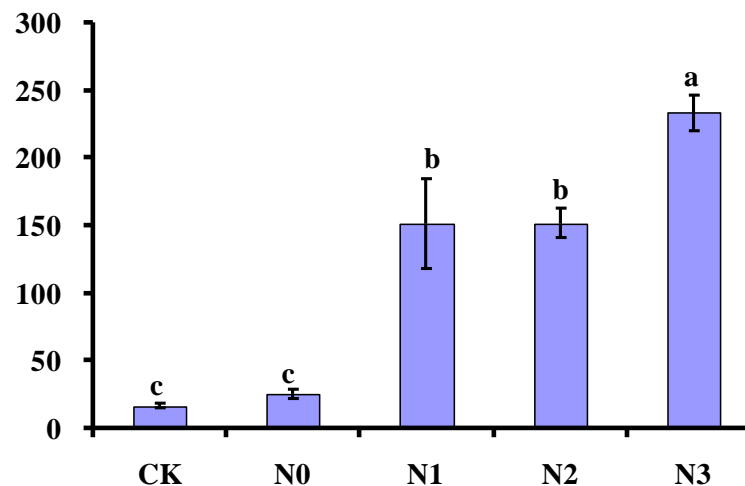
## 施氮水平对水稻根际沉积效率的影响

SOC<sup>14</sup>/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



SOC<sup>14</sup> (mg kg<sup>-1</sup>)

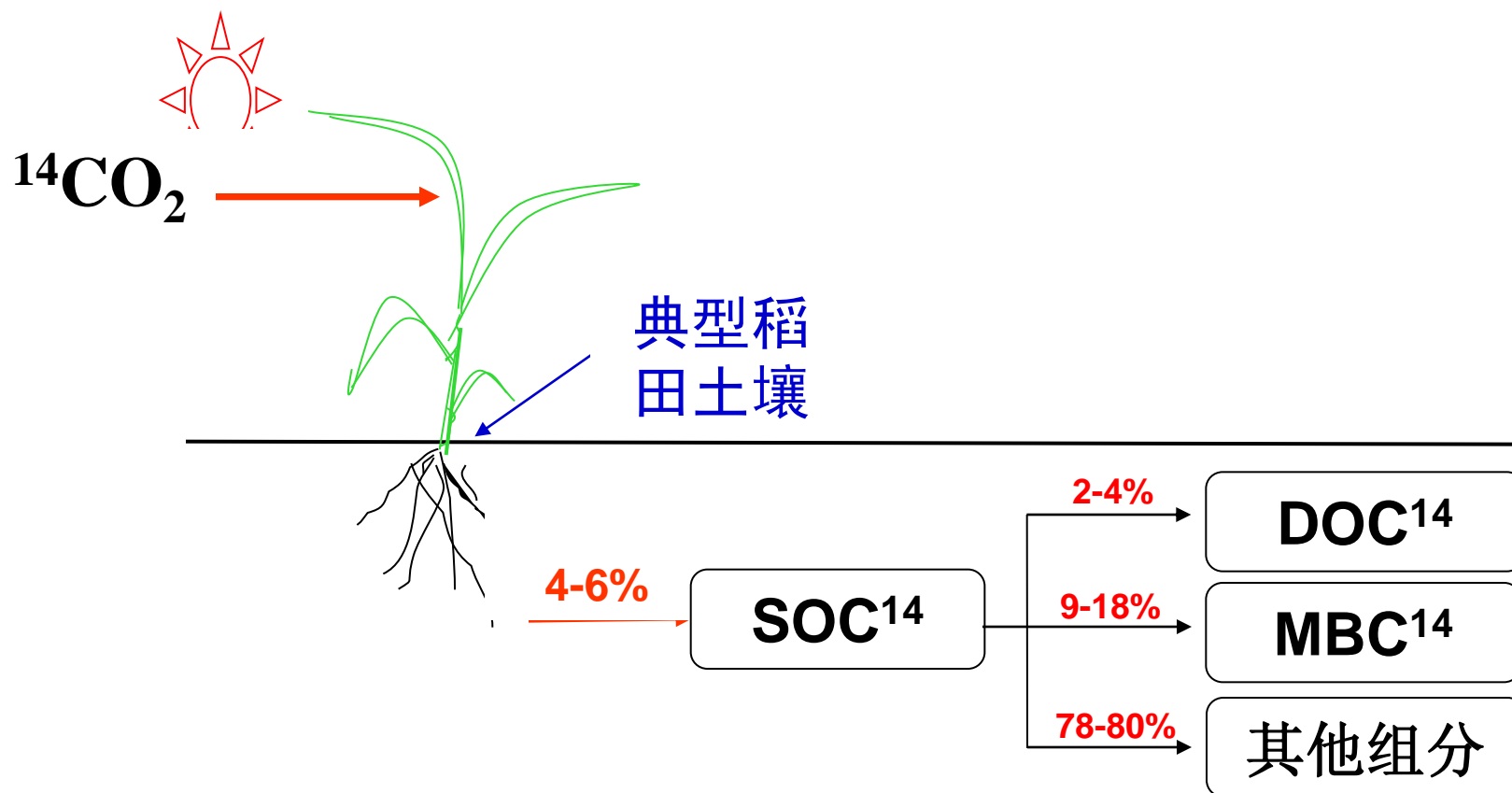


供氮水平

N0, N1, N2, N3分别为0、10、20、40  
mg N kg<sup>-1</sup>±

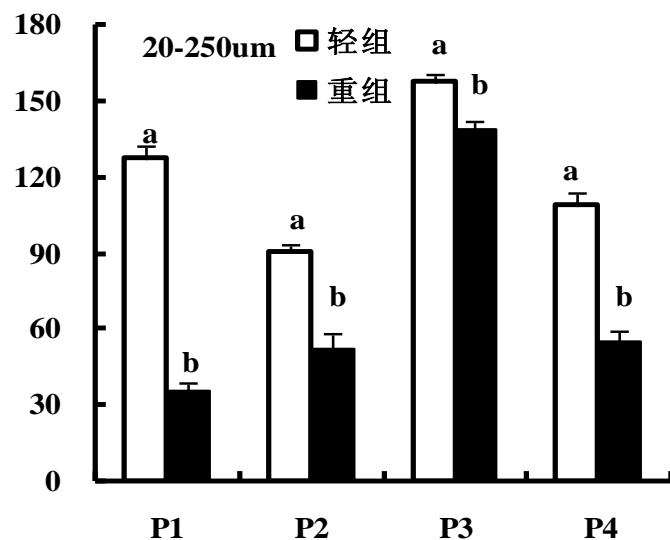
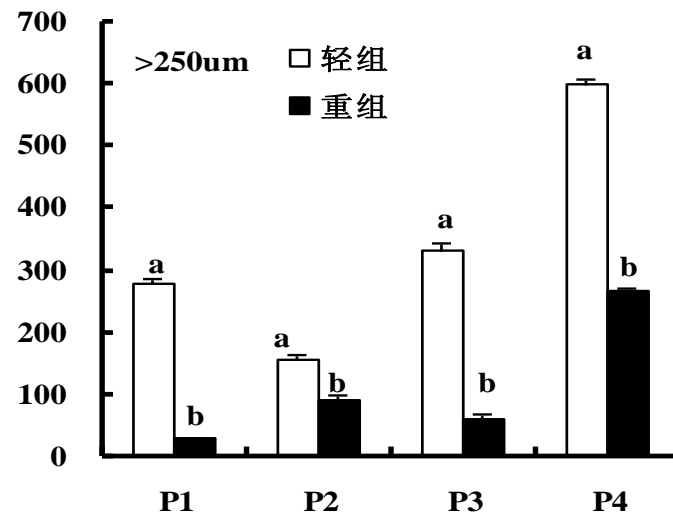
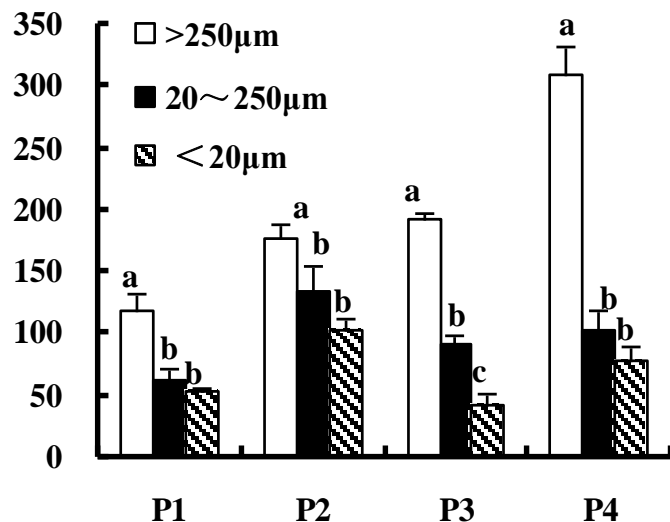
$$\text{根际沉积效率 (\%)} = \frac{\text{SOC}^{14}}{\text{水稻碳累积量}}$$

# 量化水稻光合同化碳对土壤碳库的贡献



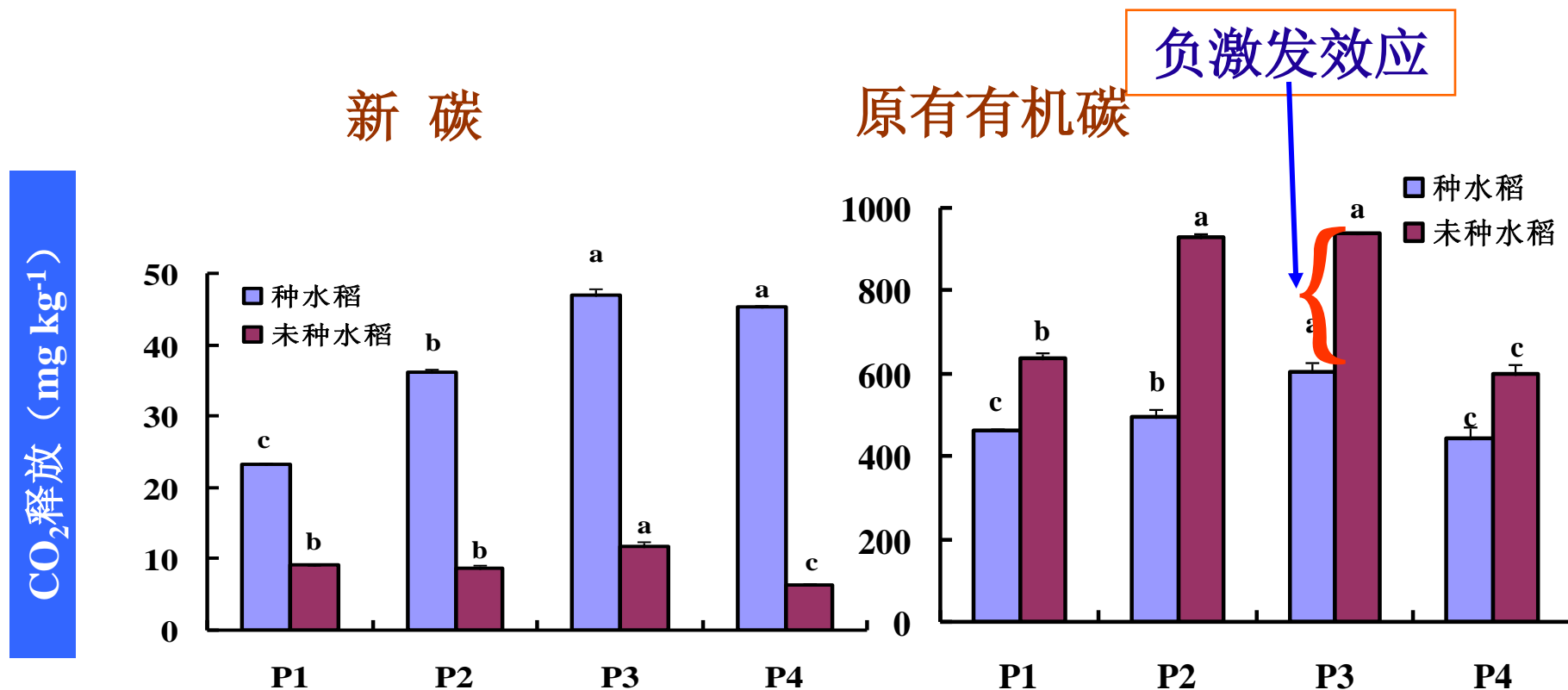
# 水稻光合碳主要固定在>250 $\mu\text{m}$ 粒径的轻组组分中

SOC<sup>14</sup> (mg kg<sup>-1</sup>)

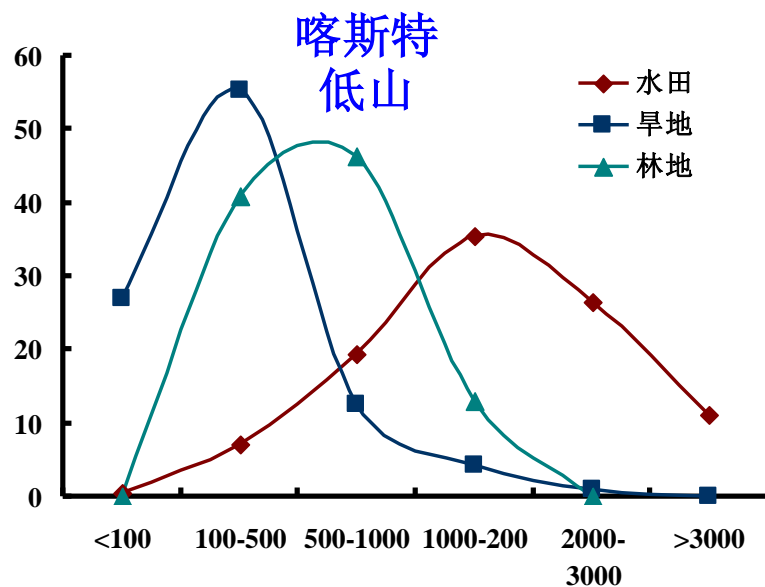
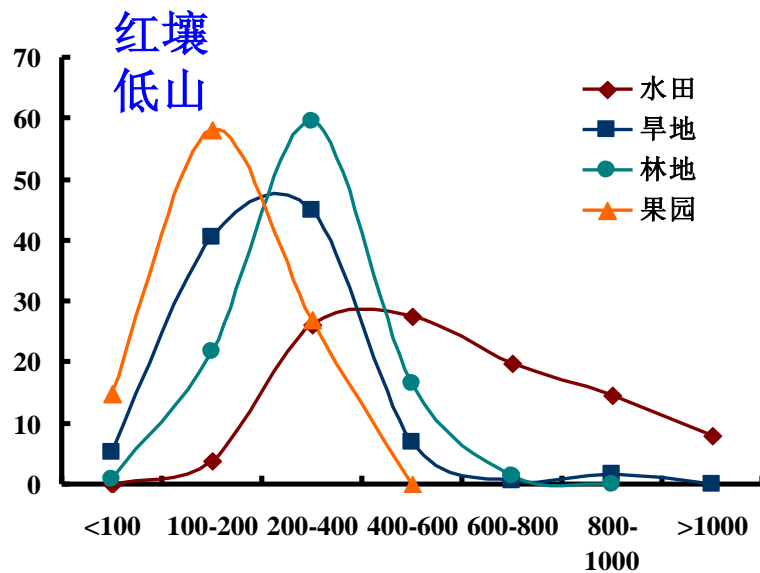
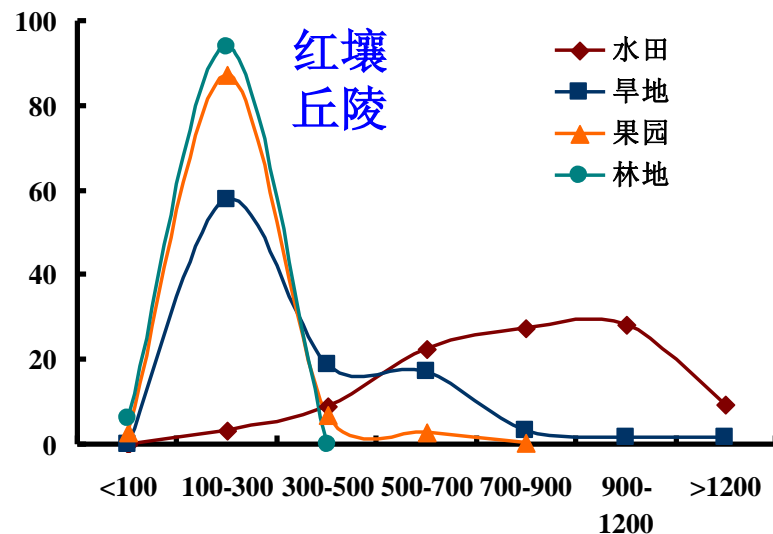
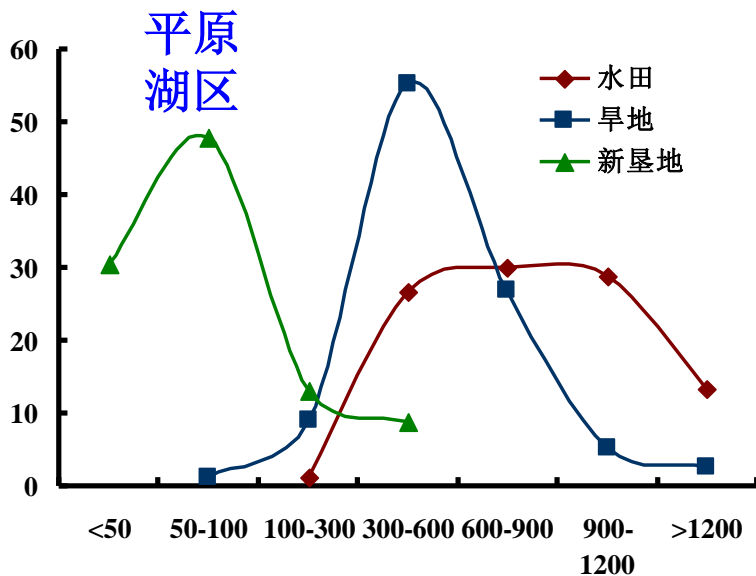


水稻光合同化碳均进入了土壤的各个粒径和密度分组的团聚体中；且主要固定在大粒径的轻组组分中，表现出碳汇功能。

# 光合碳的输入抑制了稻田土壤原有SOC的矿化



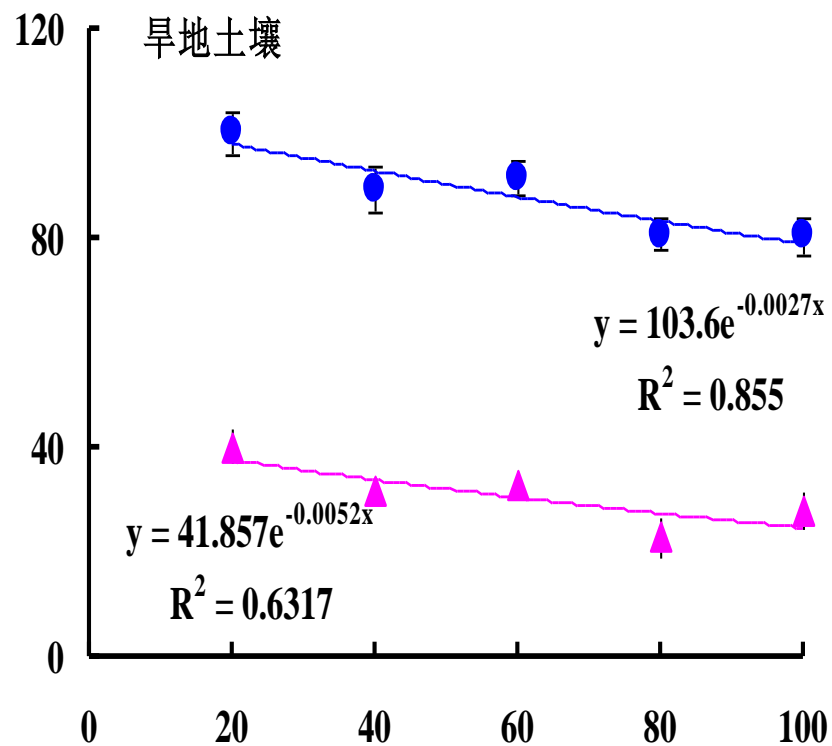
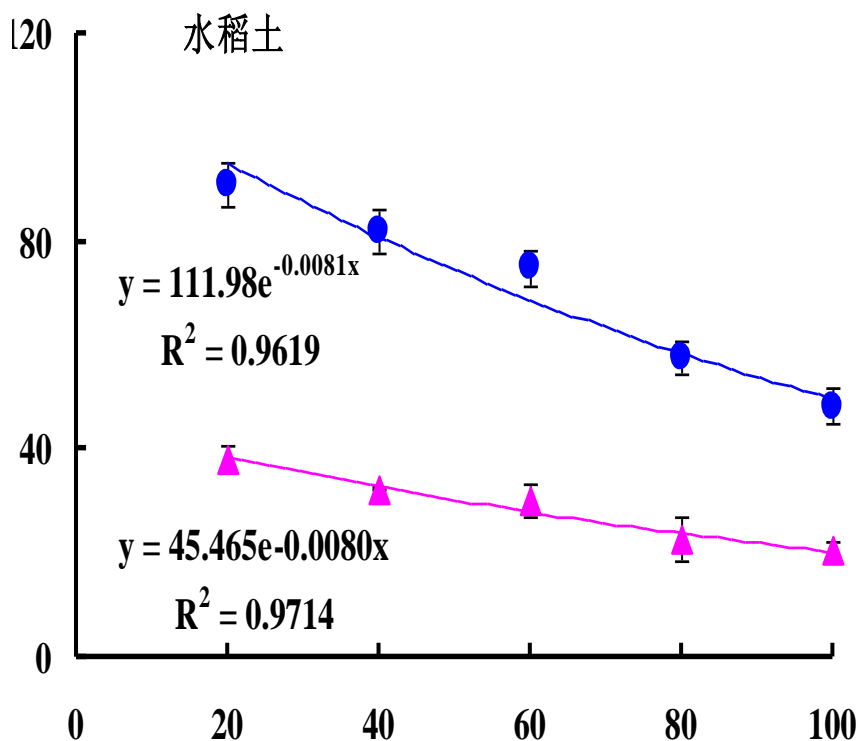
培养100d后，“新碳”和原有有机碳的累积矿化量



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

微生物生物量碳 ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )



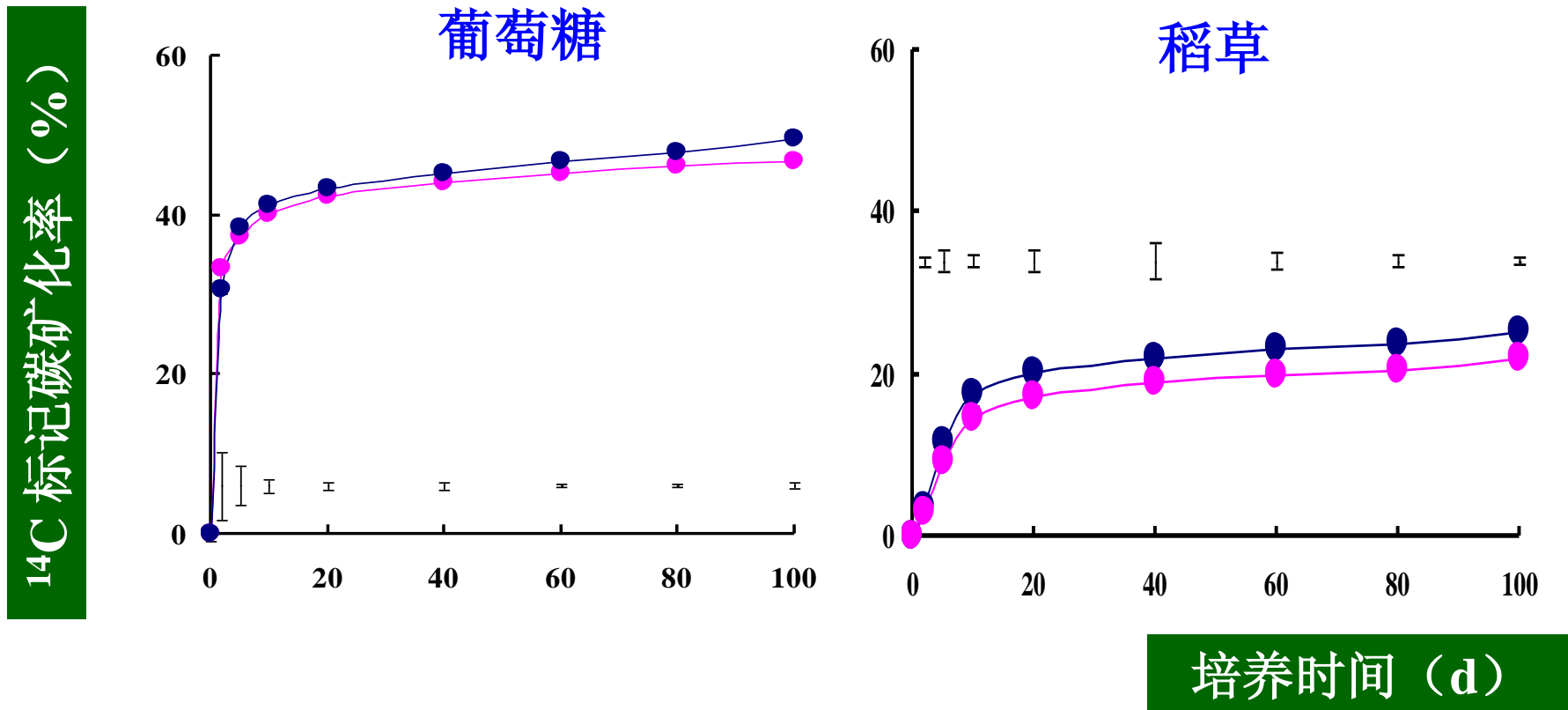
培养时间 (d)

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)

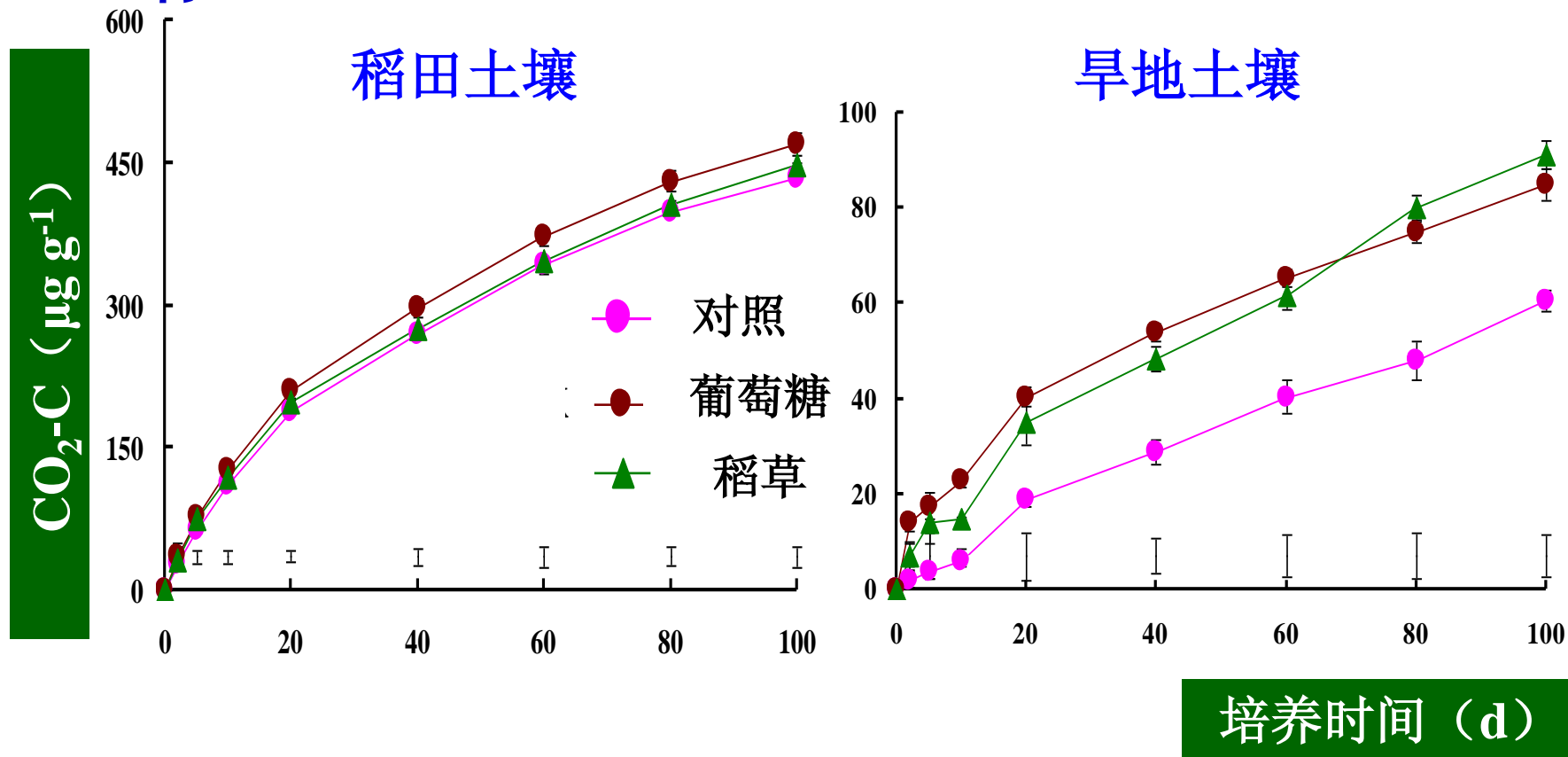
# 稻田土壤添加葡萄糖和稻草，其矿化率低于旱地土壤



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)

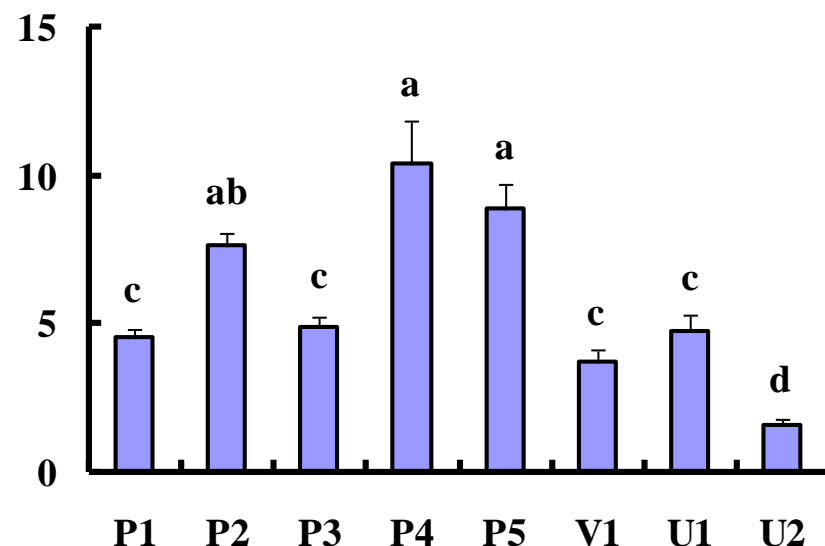
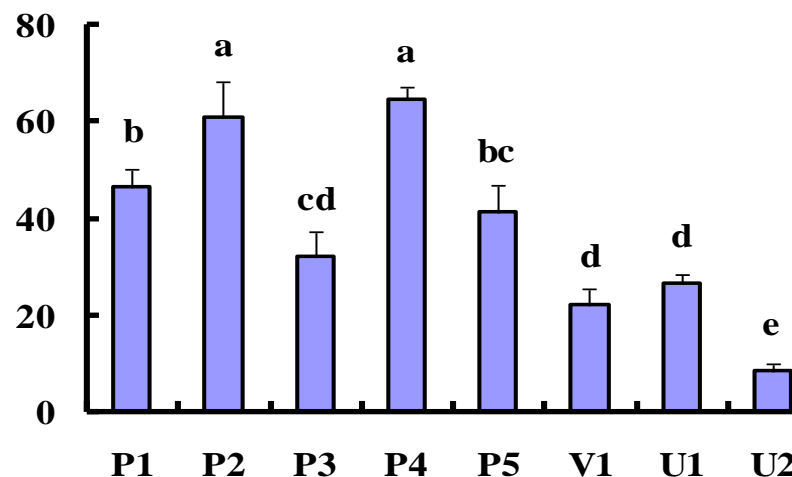


# 土壤微生物具有可观的碳同化潜力

SOC<sup>14</sup>

MBC<sup>14</sup>

( $\mu\text{g g}^{-1}$ )

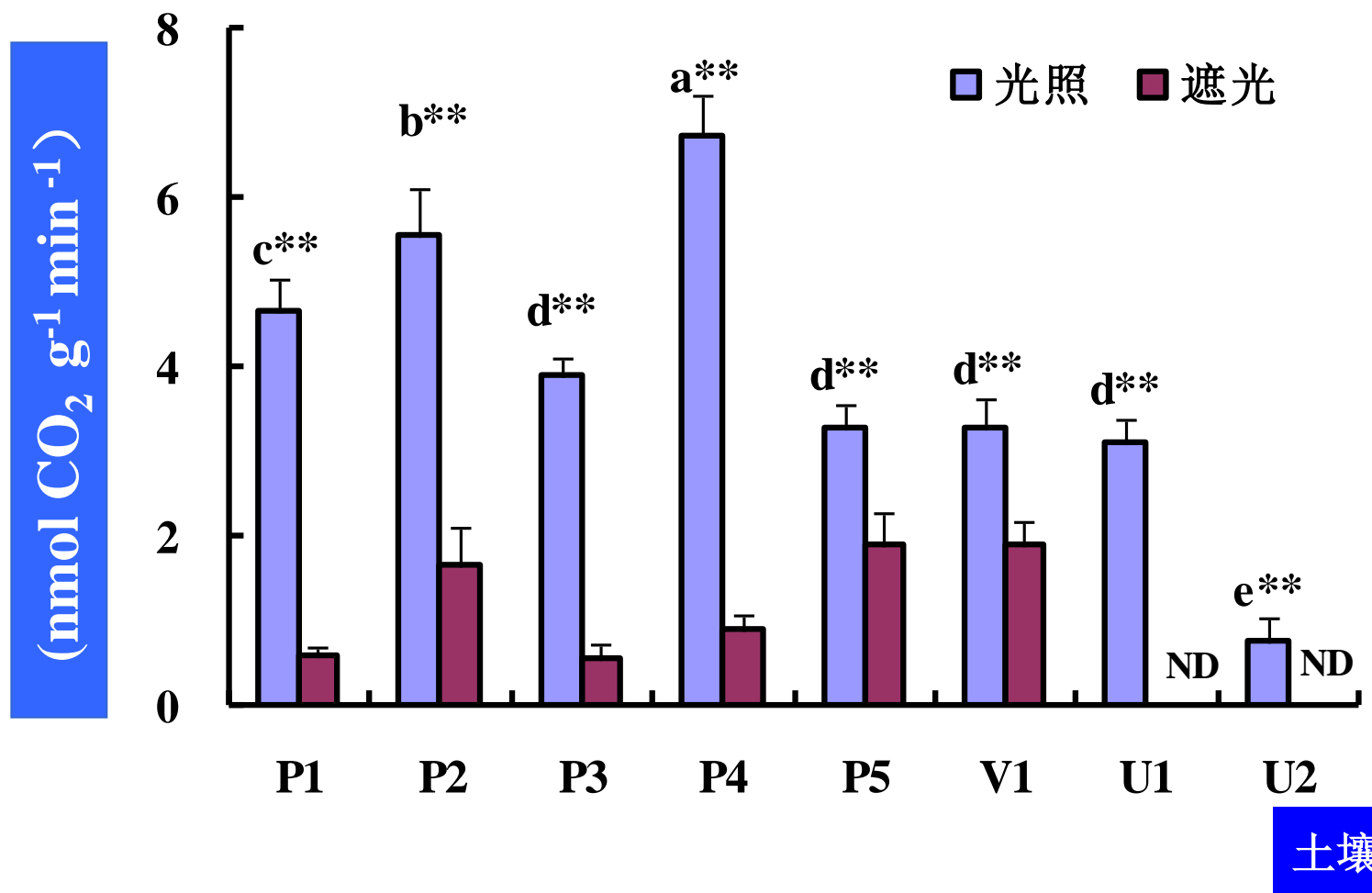


土壤微生物对大气CO<sub>2</sub>的同化作用  
(25°C; 80天; P为水稻土, U为旱土)

土壤

- ❖ 遮光处理的土壤, 未检测到SOC<sup>14</sup>和MBC<sup>14</sup>
- ❖ 不同土壤SOC<sup>14</sup>和MBC<sup>14</sup>含量差异显著, 稻田的大于旱地

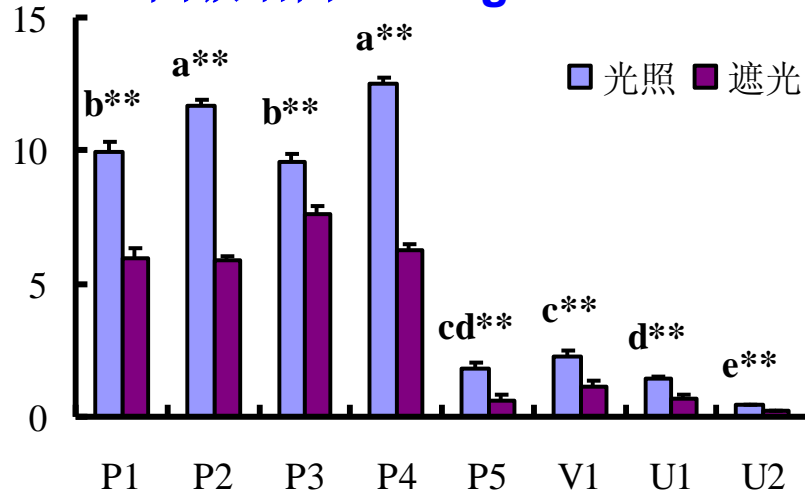
# 遮光使RubisCO酶活性显著降低



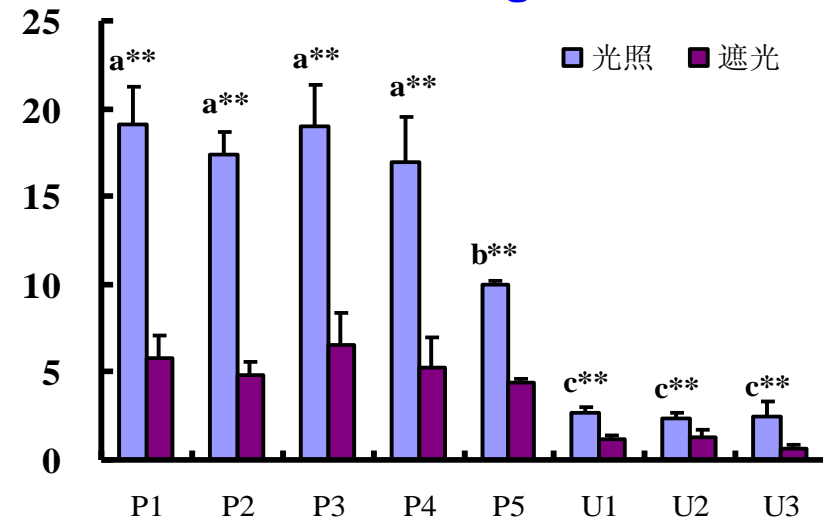
土壤微生物光合固碳酶 (RubisCO) 活性 (光照/遮光)

# 固碳细菌、蓝细菌和藻类*cbbL*基因拷贝数

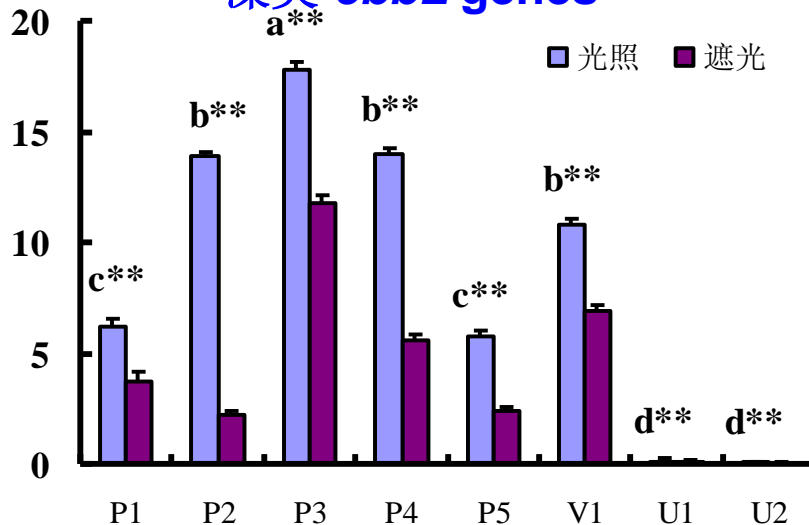
固碳细菌 *cbbL* genes



蓝细菌 *cbbL* genes

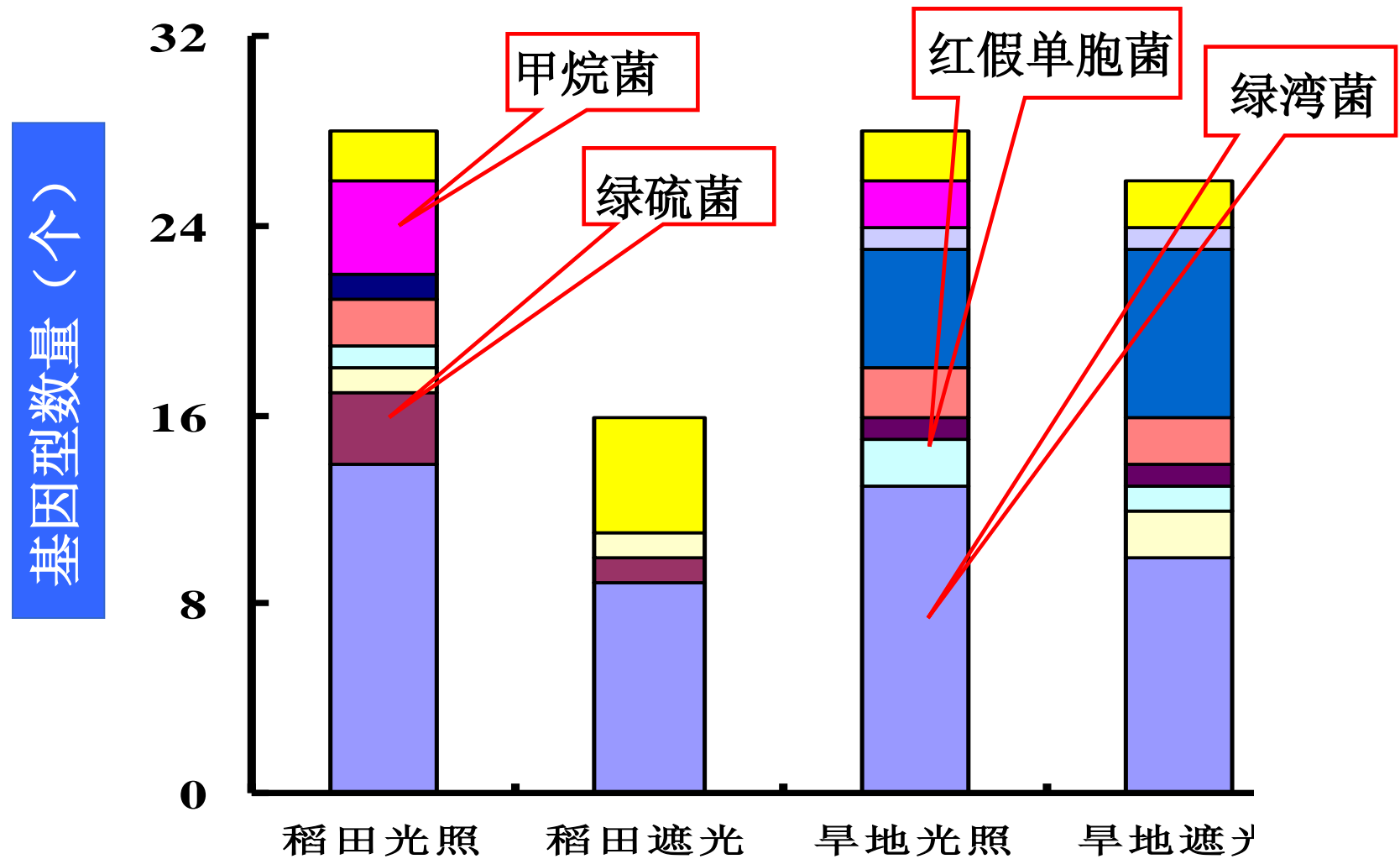


藻类 *cbbL* genes

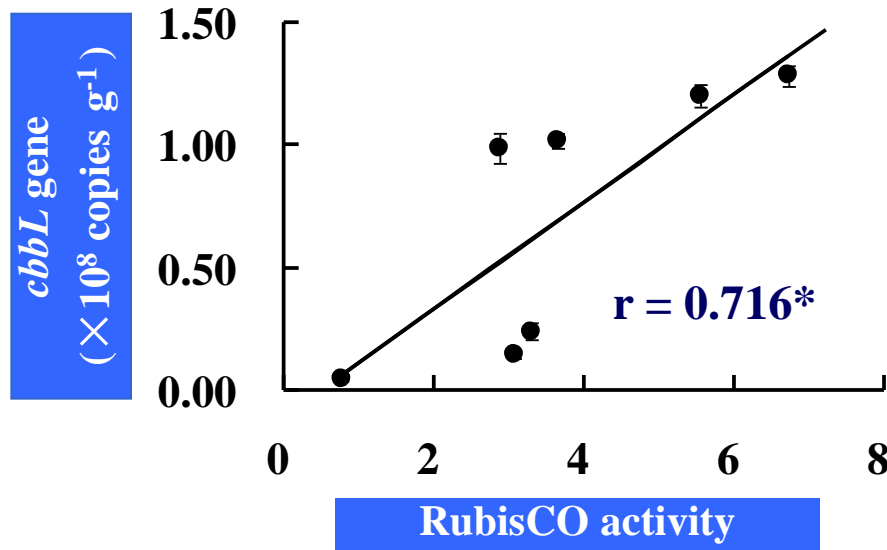
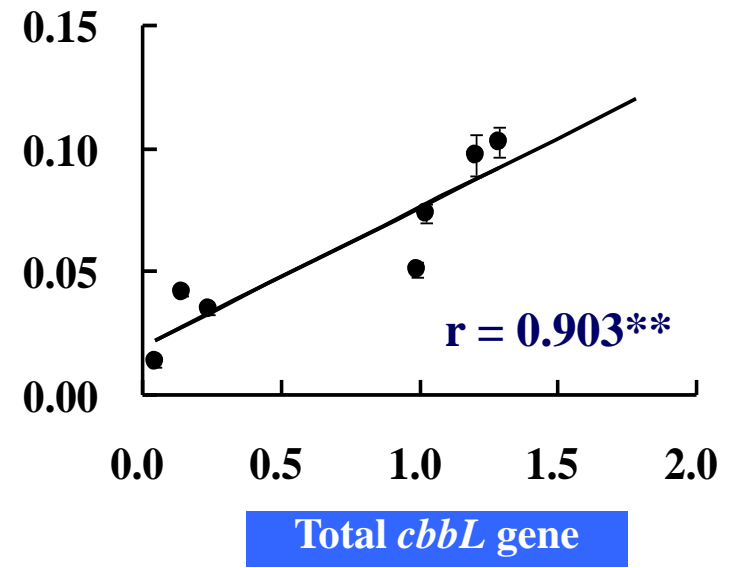
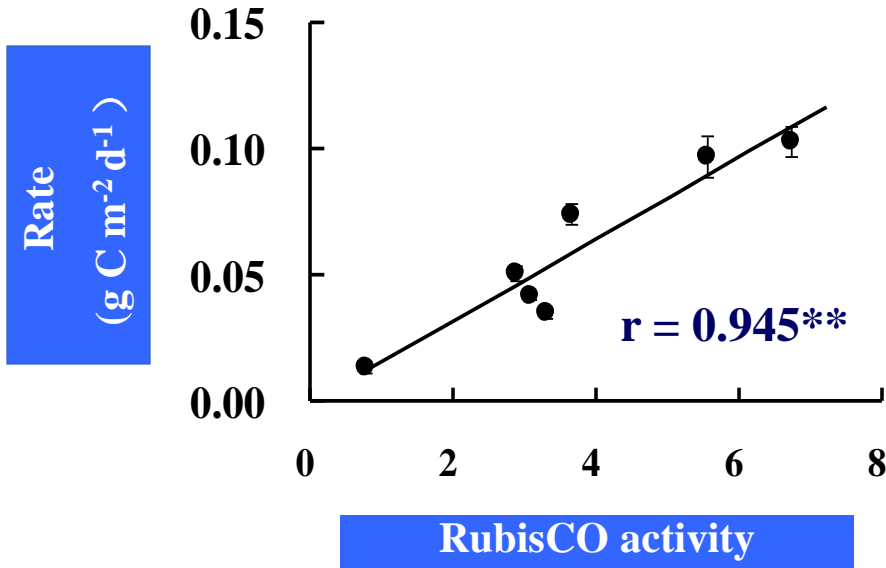


- 固碳细菌  $0.04-1.3 \times 10^8$
- 蓝细菌  $0.2-1.9 \times 10^6$
- 藻类  $0.02-1.8 \times 10^6$
- 固碳细菌 >> 藻类
- 遮光后细菌和藻类丰度显著下降

# 遮光使碳同化功能微生物种群结构发生变化



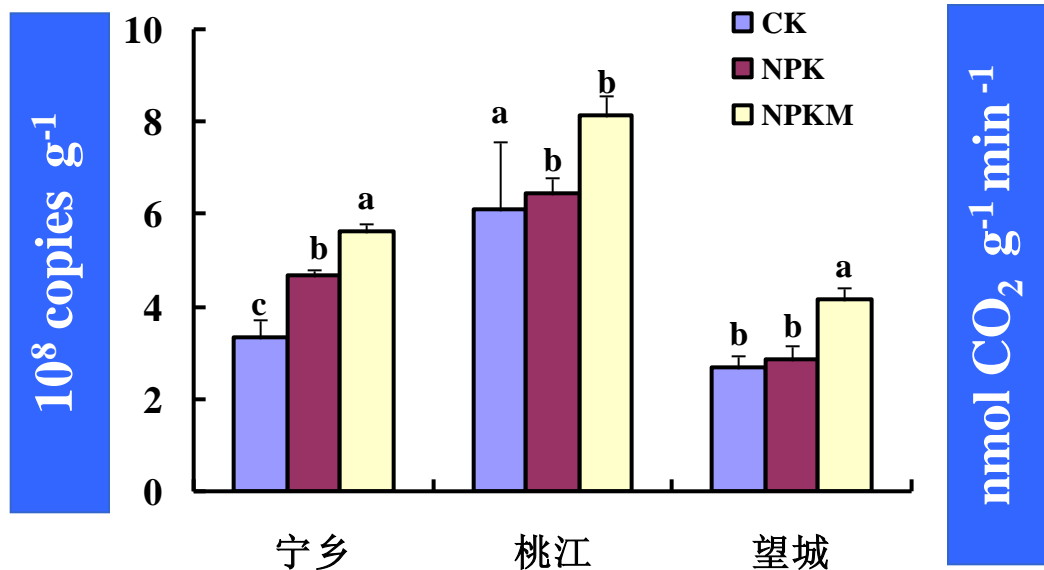
# 碳同化速率、酶活性、*cbbL*丰度的相关性



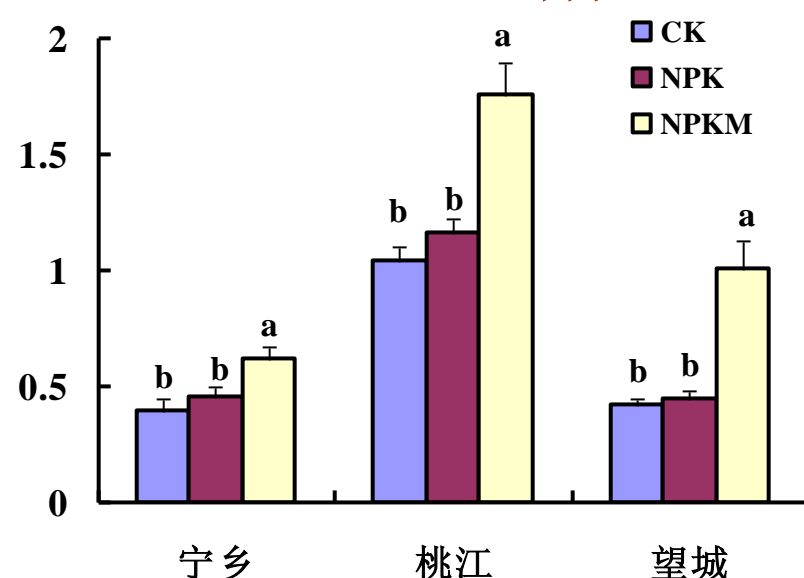
- 光合固碳速率VS固碳酶活性
  - 光合固碳速率VS固碳基因丰度
  - 光合固碳酶活性VS固碳基因丰度
- 呈显著正相关 ( $P < 0.01$ )

# 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<sup>-1</sup>

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

❖  $\text{CH}_4$ 排放的主控机制？

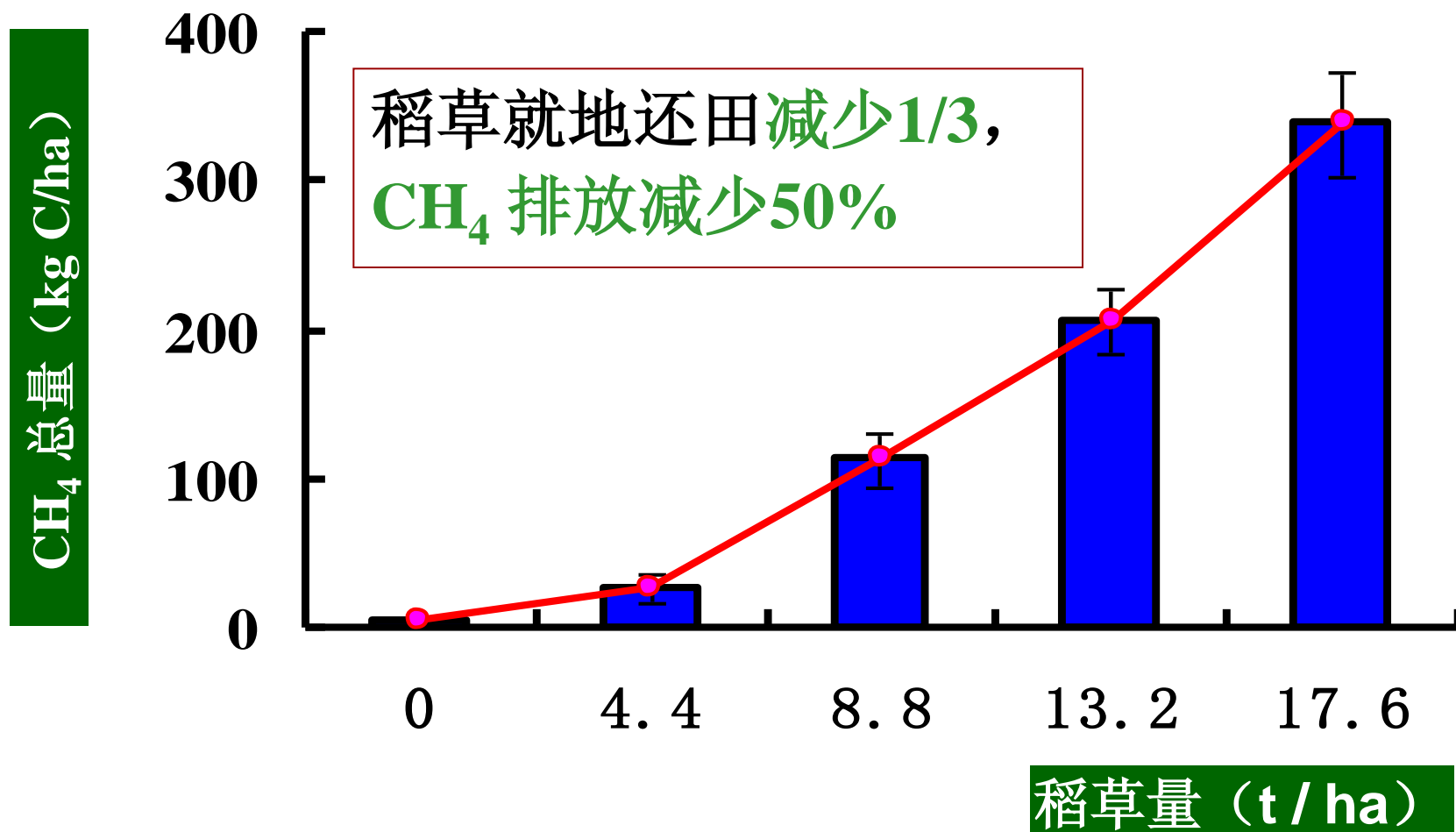
（ $^{14}\text{C}$ 标记培养实验）

❖ 如何降低 $\text{CH}_4$ 排放？

（长期田间试验）

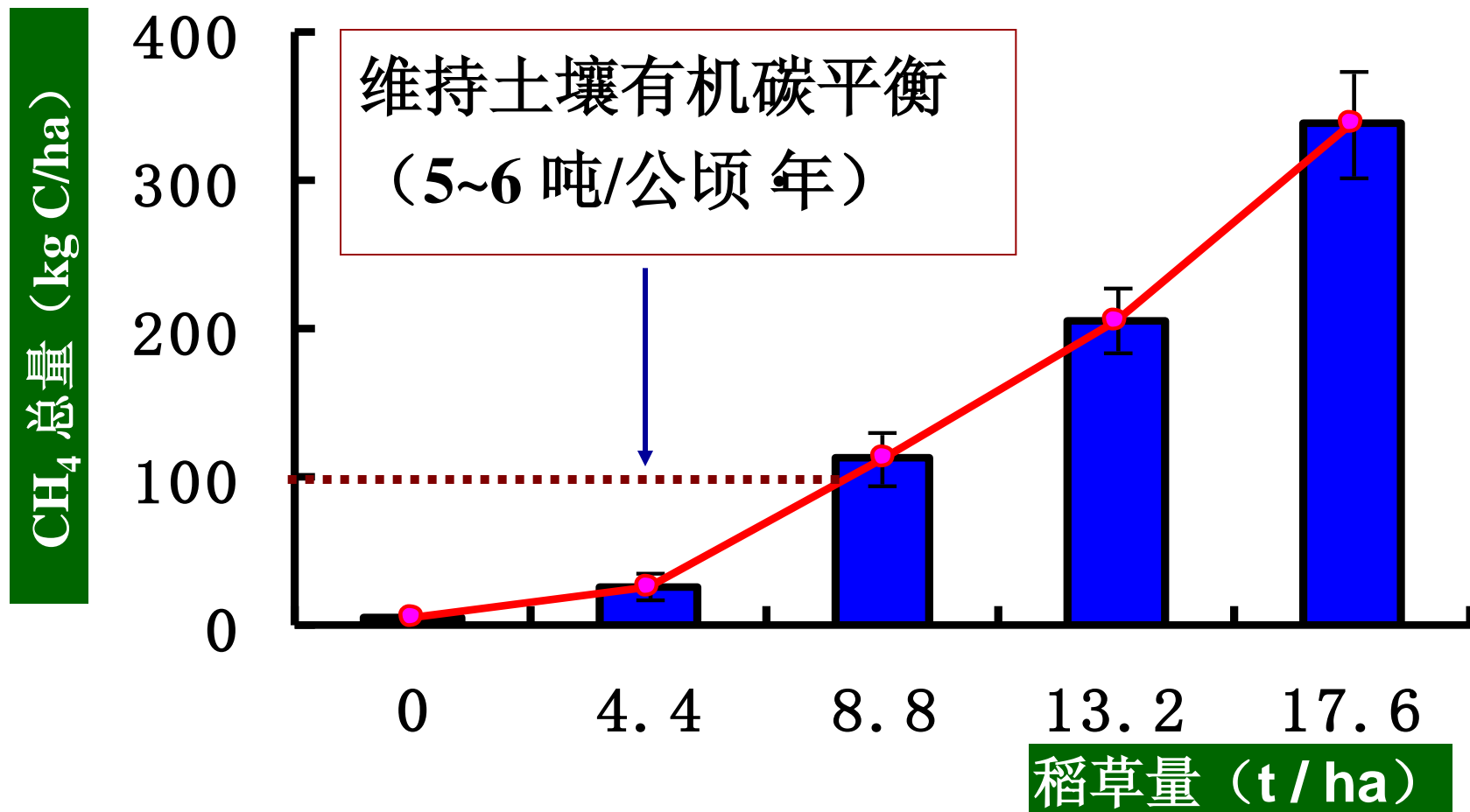


# 稻田CH<sub>4</sub>排放量随稻草就地还田量的增加而增加



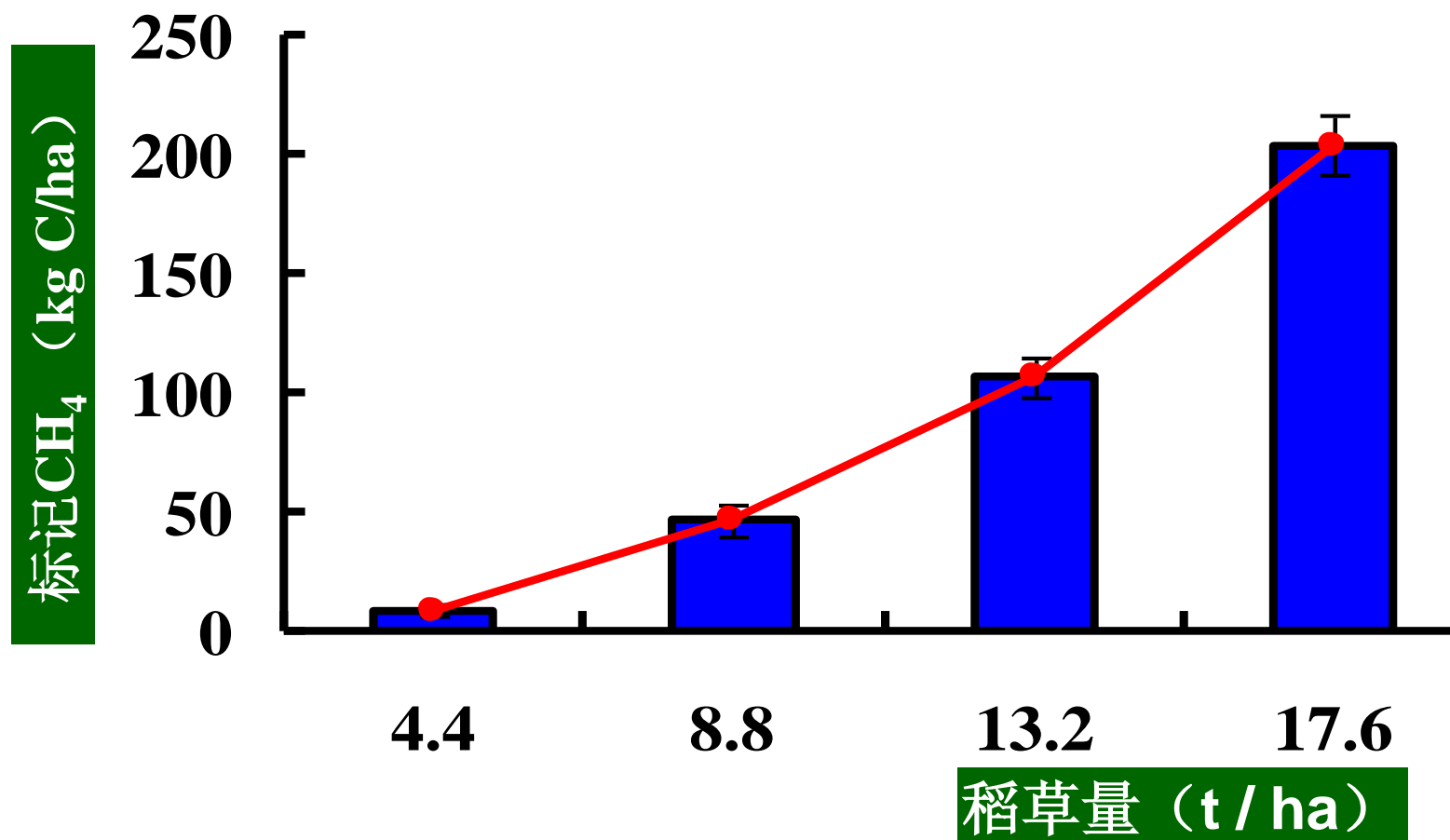
水稻土CH<sub>4</sub>释放及其对添加稻草 (<sup>14</sup>C标记) 的响应  
(4个稻田土壤平均值和变异状况)

# 有机物质投入5~6 吨/公顷 年， 可维持SOC平衡



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

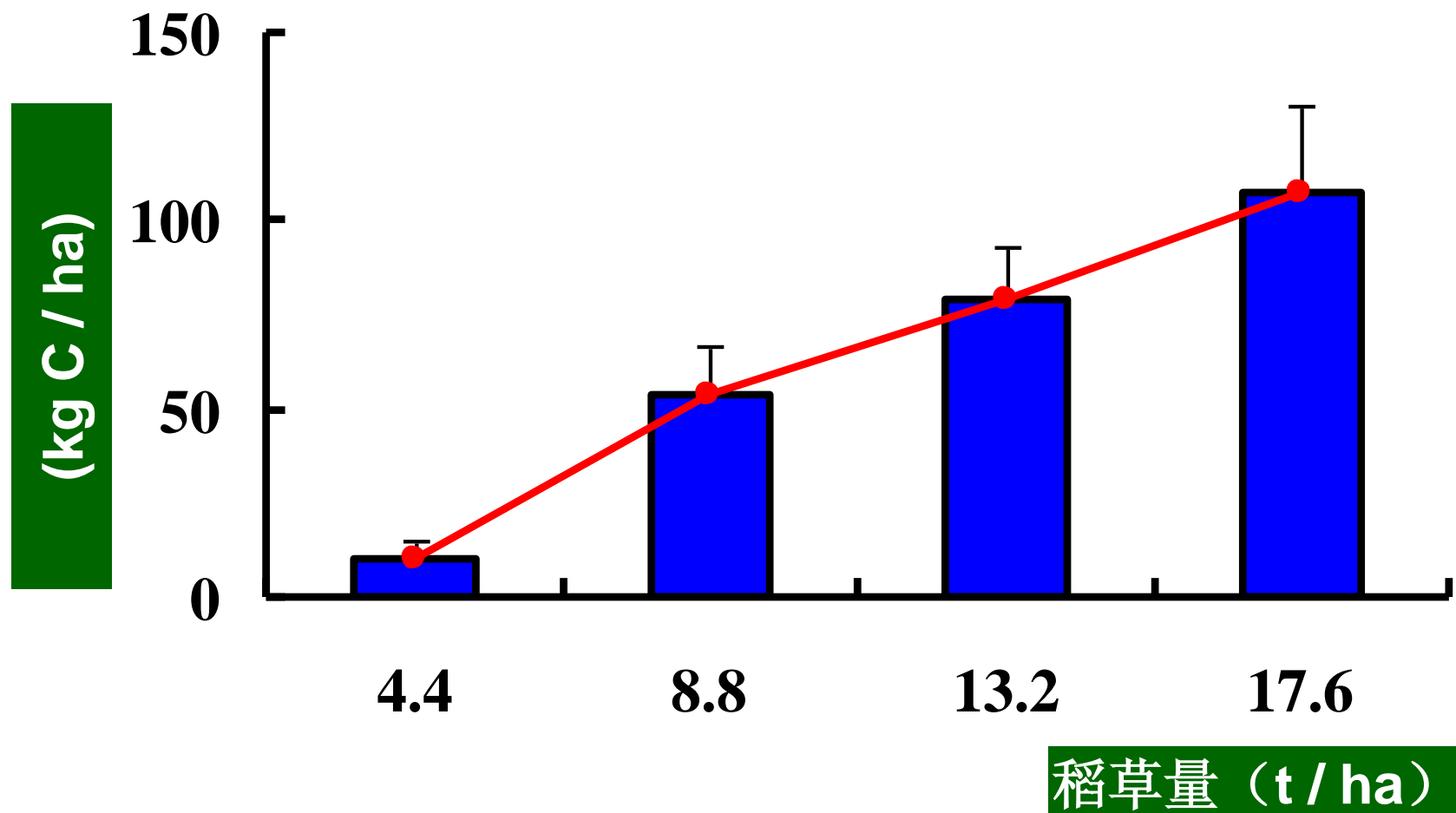
来源于稻草CH<sub>4</sub>释放随着稻草还田量增加呈指数增加



添加稻草形成的CH<sub>4</sub> (<sup>14</sup>C- CH<sub>4</sub>) 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 $\text{CH}_4$ 的“正激发效应”



稻草对水稻土有机质产生 $\text{CH}_4$ 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、 $\text{CH}_4$ 释放是永久的！



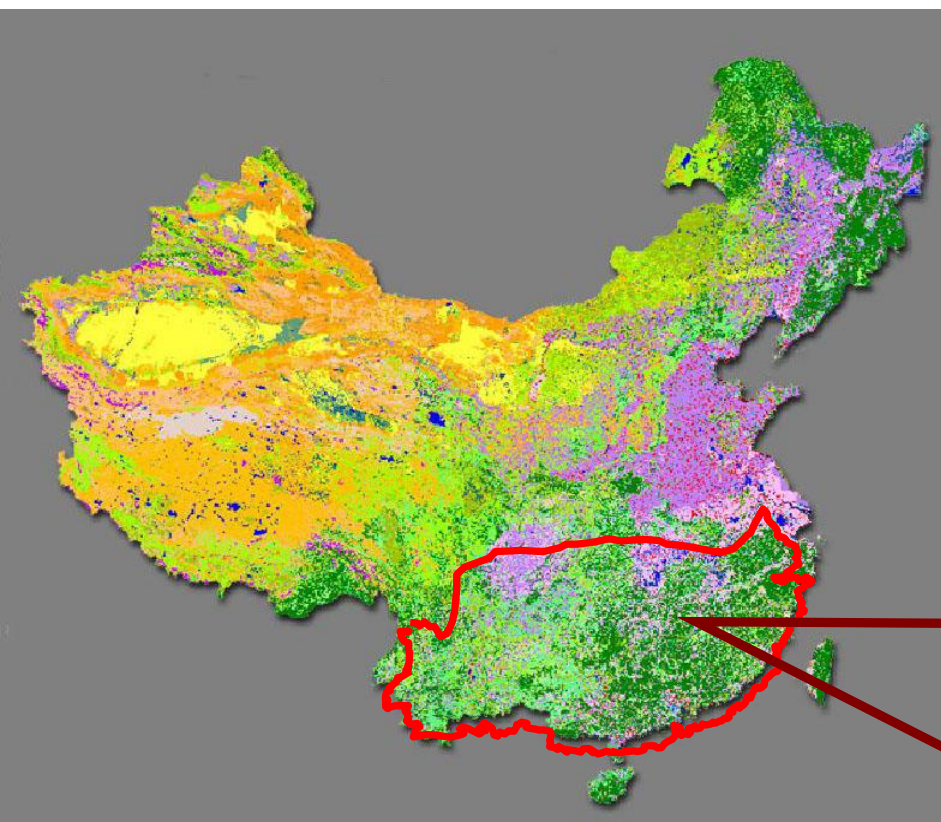
有机碳和养分损失  
环境污染



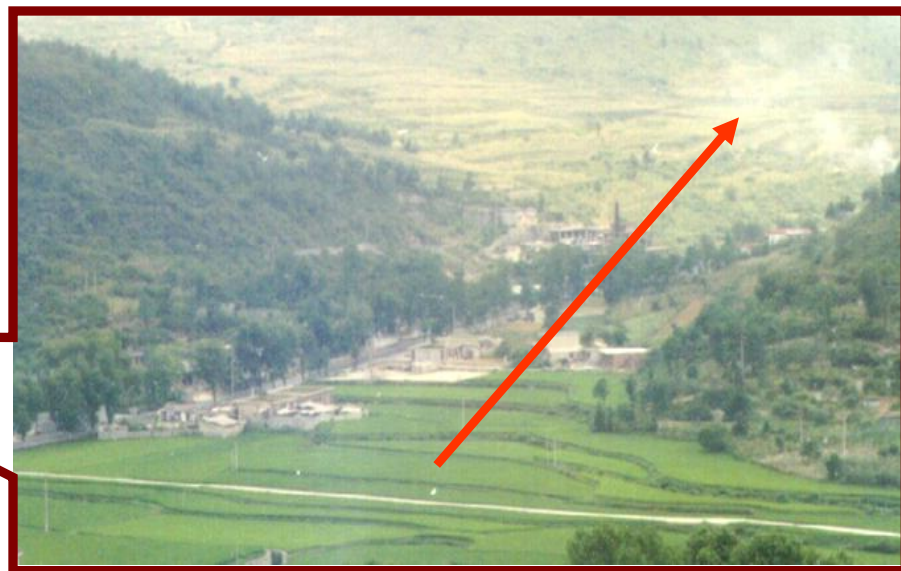
土壤快速改良  
水土流失控制  
转移固碳  
 $\text{CH}_4$ 减排



# 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%)



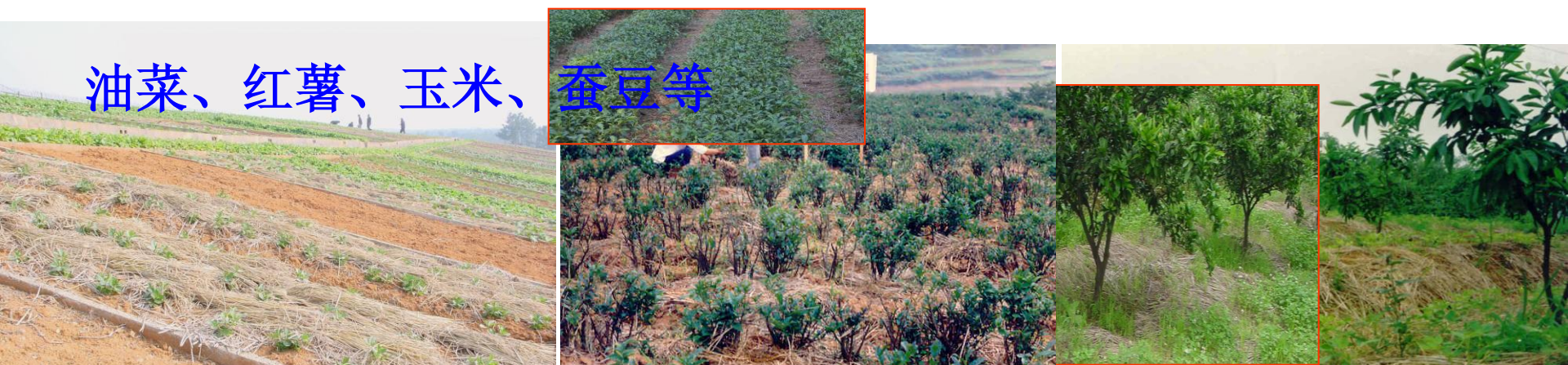
# 亚热带丘陵区稻草“易地还土”定位试验 (2000年起)

试验：旱地、果园、茶园、菜地

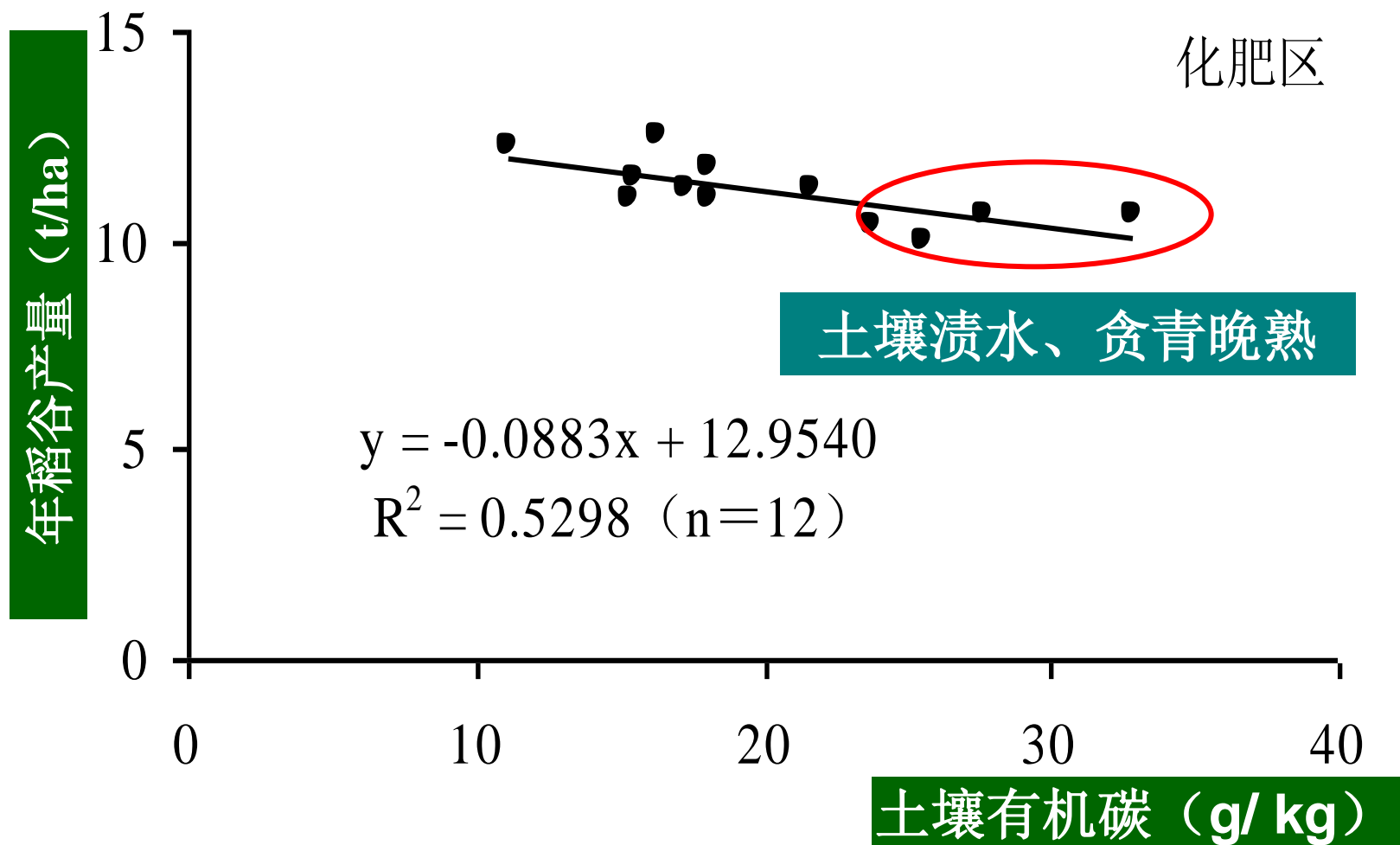
施用量：**12.8 t /公顷·年**

(旱地：前茬覆盖、后茬翻耕入土)

油菜、红薯、玉米、蚕豆等



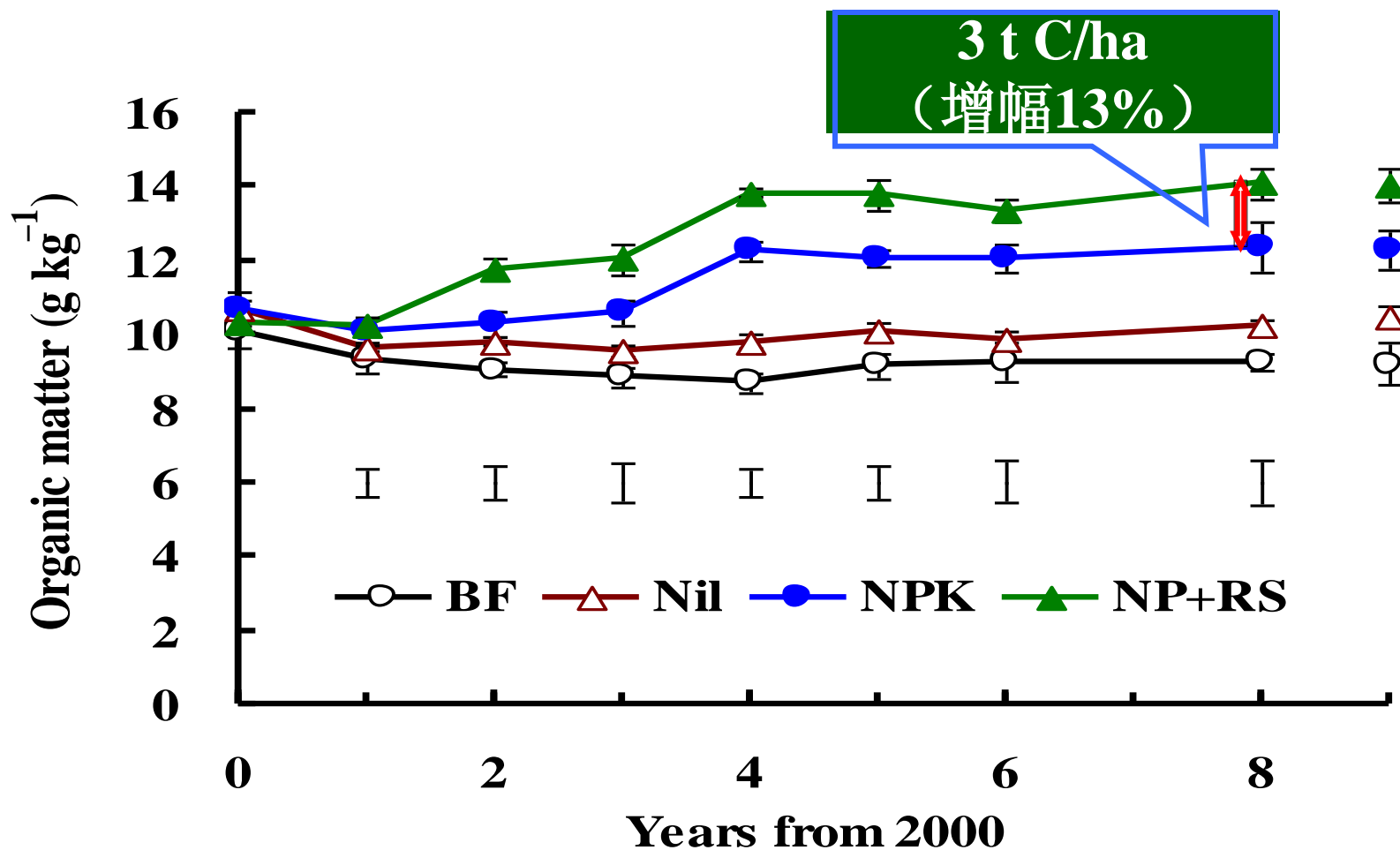
# 化肥充足的情况，水稻产量与SOC含量呈负相关



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



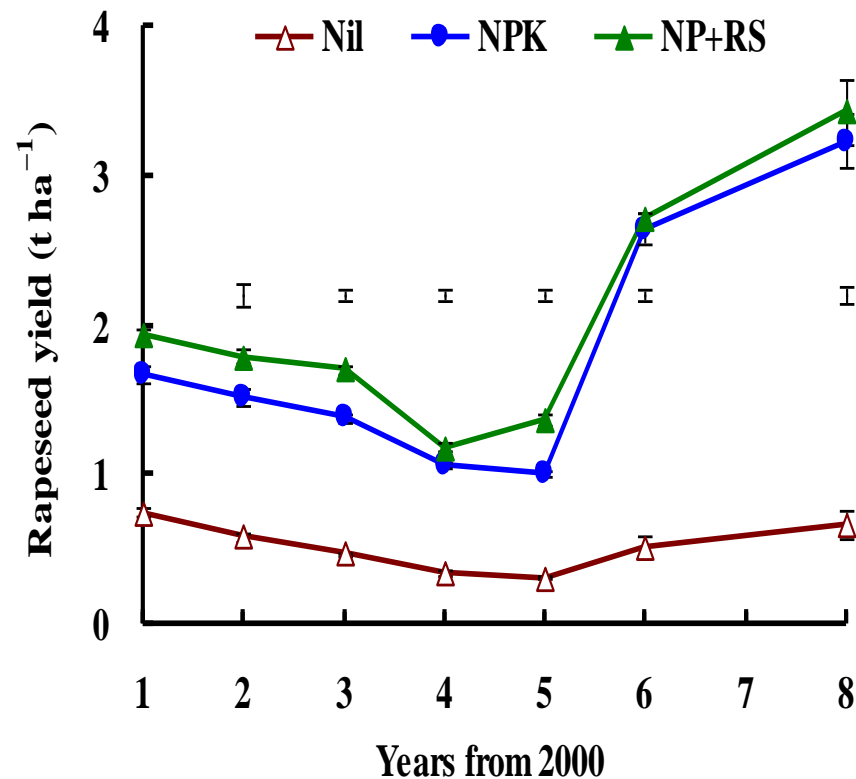
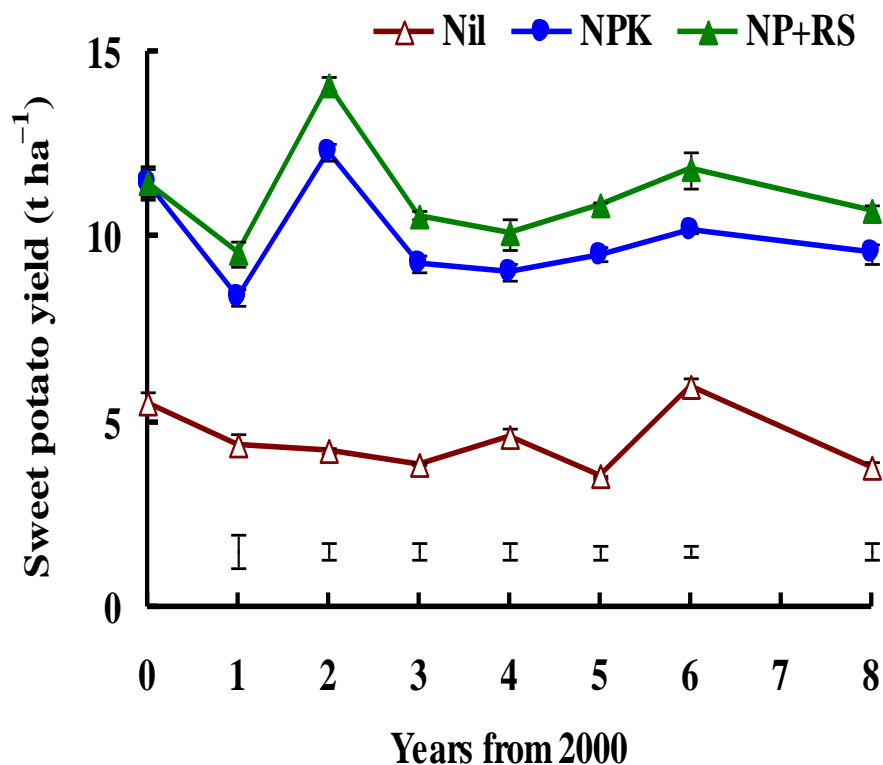
# 稻草易地还土，新垦旱地红壤SOC含量升高



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)

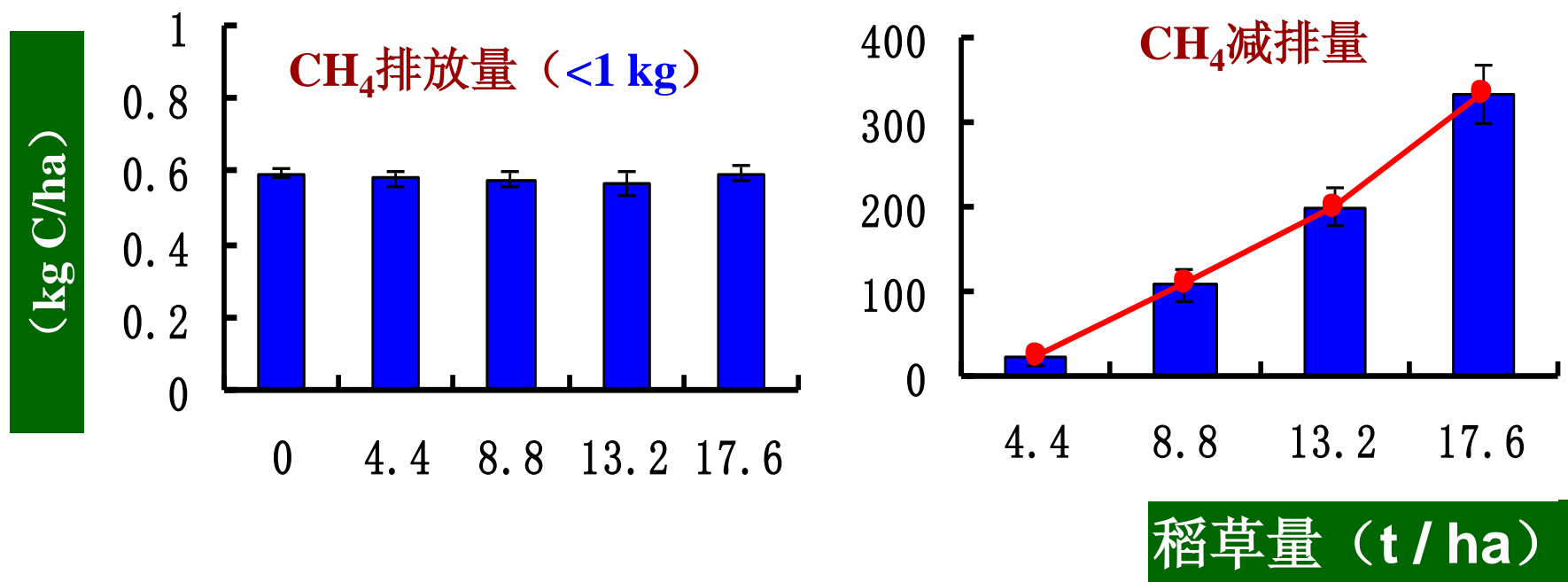
# 稻草易地还土使红壤旱地生产力提高



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CH<sub>4</sub>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， $\text{CH}_4$ 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 $\text{CH}_4$ 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](mailto:gtd@isa.ac.cn)

