

# **Influence of observed precipitation regimes and tillage practices on continuous daily soil respiration of summer maize in the North China Plain**

**李发东 研究员**

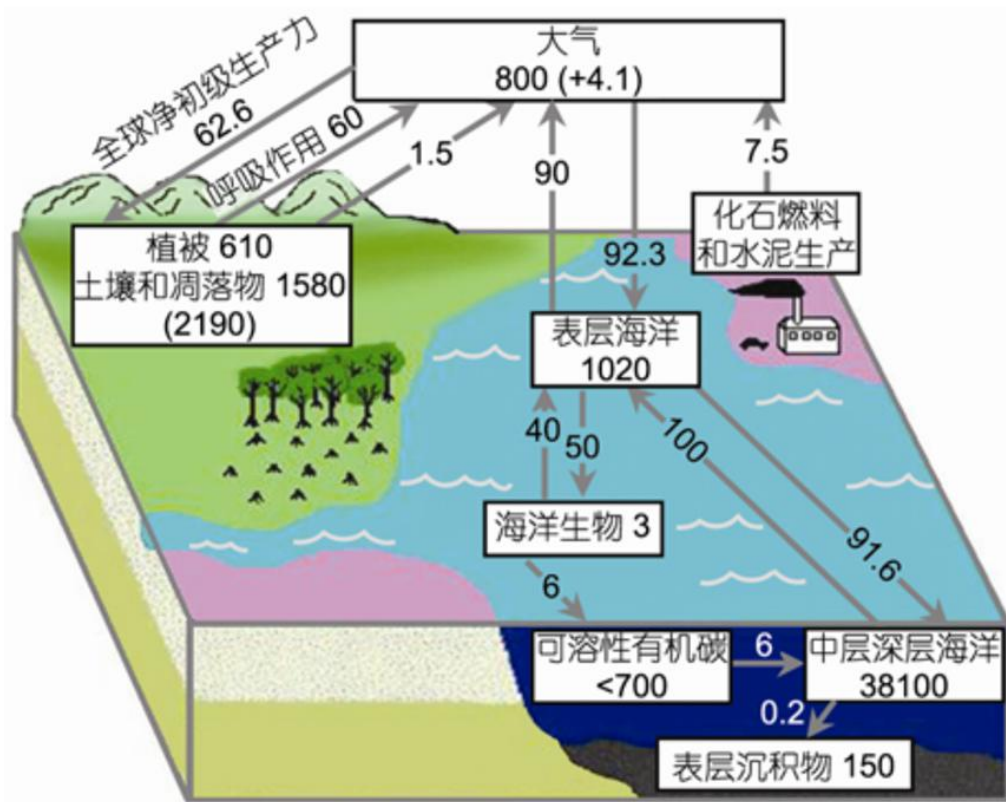
**山东禹城农田生态系统国家野外科学观测研究站**

**中国科学院禹城综合试验站**

**中国科学院地理科学与资源研究所**



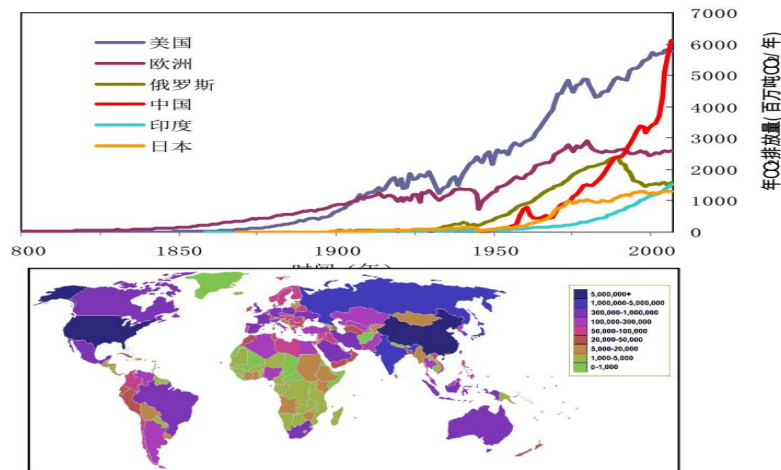
# 研究背景和意义



## 全球碳循环模式图

全球碳排放中，土壤排放占有的比例较大。

(IPCC, 2013)



中国已经成为第一碳排放大国

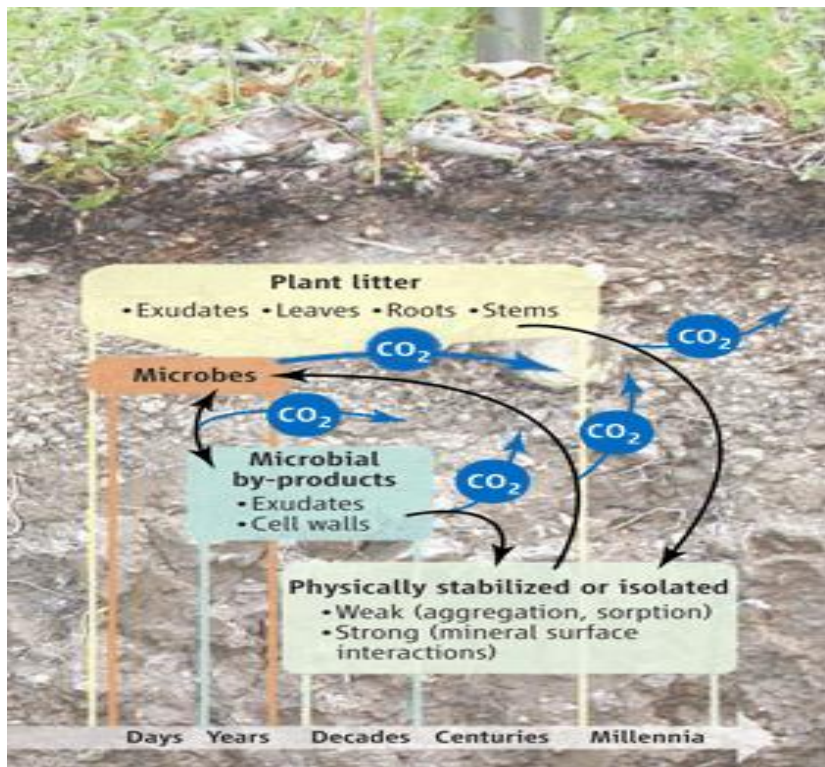
中国由于经济发展和国土面积较大等原因，目前排放总量居于前列。



减排？  
碳中和？



# 土壤碳排放来源



## 土壤中碳元素的转化过程

包含植物残体和凋落物分解、微生物呼吸、植物根呼吸等



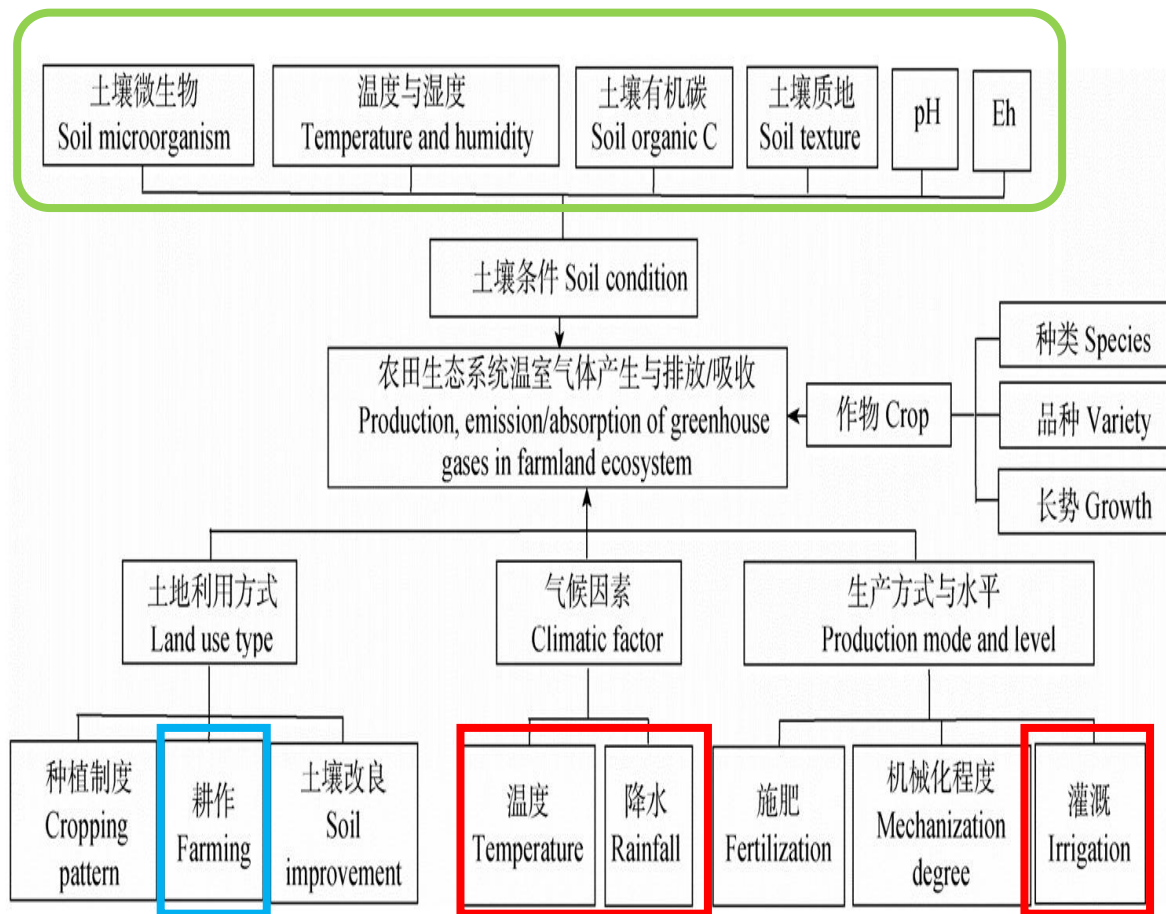
自养呼吸	异养呼吸			动物呼吸	化学氧化过程
纯根呼吸	最广义土壤微生物呼吸				
	根际微生物呼吸 根际共生体呼吸	死亡植物残留物的微生物呼吸	源于有机质添加的土壤呼吸 激发效应		
根源呼吸	广义土壤微生物呼吸 土壤有机质分解 非根参与的土壤呼吸				
	植物呼吸		有机质呼吸		
根际呼吸			狭义土壤微生物呼吸		

## 土壤CO<sub>2</sub>排放的碳来源划分方法 (二元与三元模型)

(Trumbore et al. 2008 Science; Kuzyakov, et al. 2010 GCB; Peterson&Fry, 1987 ARES)



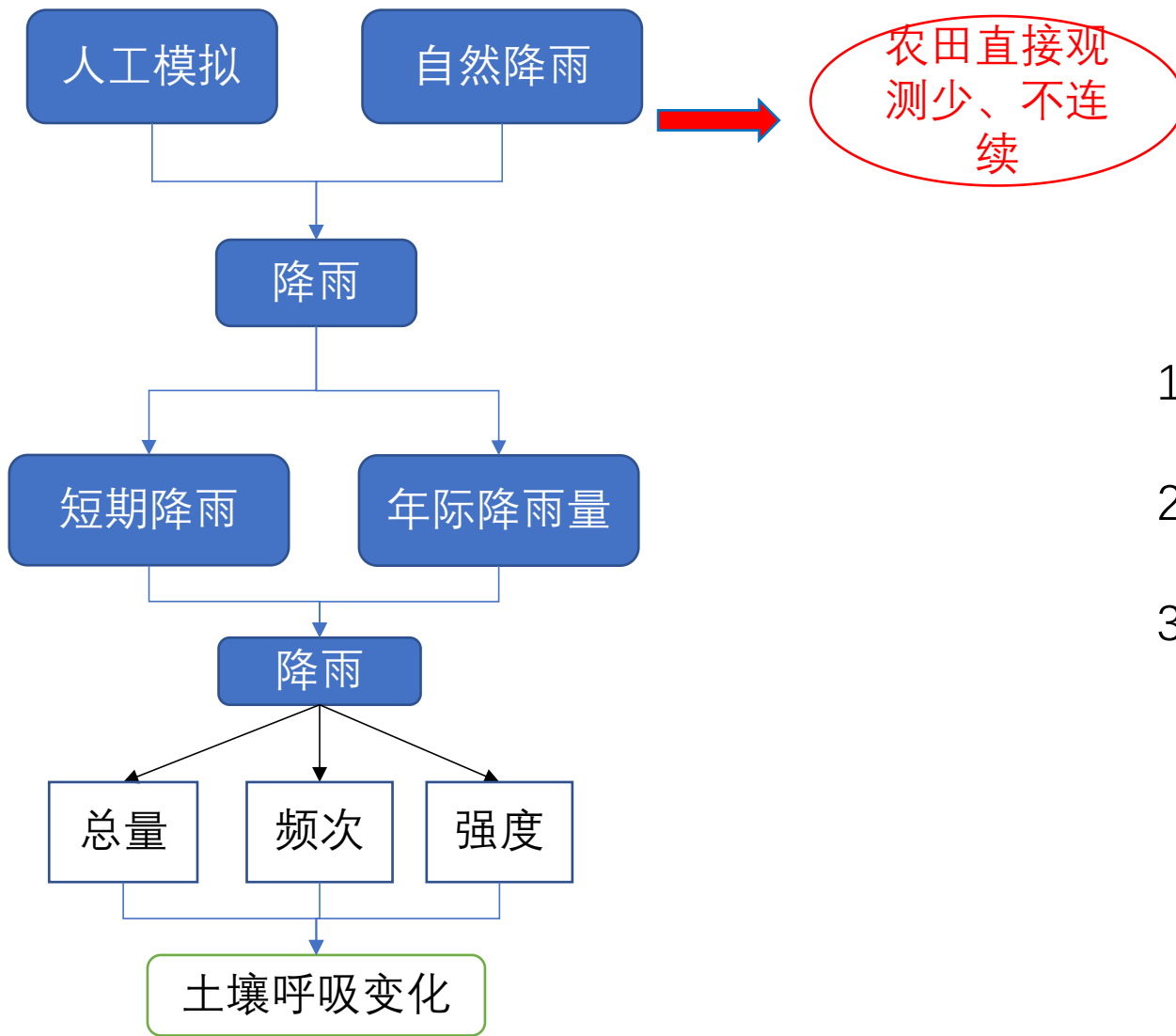
# 农田温室气体排放的影响因素



农田管理措施中的耕作方式（旋耕和免耕等）对土壤微生物和作物根系产生影响，进而导致土壤温室气体排放发生变化。

1. 短期免耕（5年以内）促进土壤呼吸。
2. 长期免耕（5年以上）抑制土壤呼吸。

# 降雨对土壤呼吸的影响研究进展



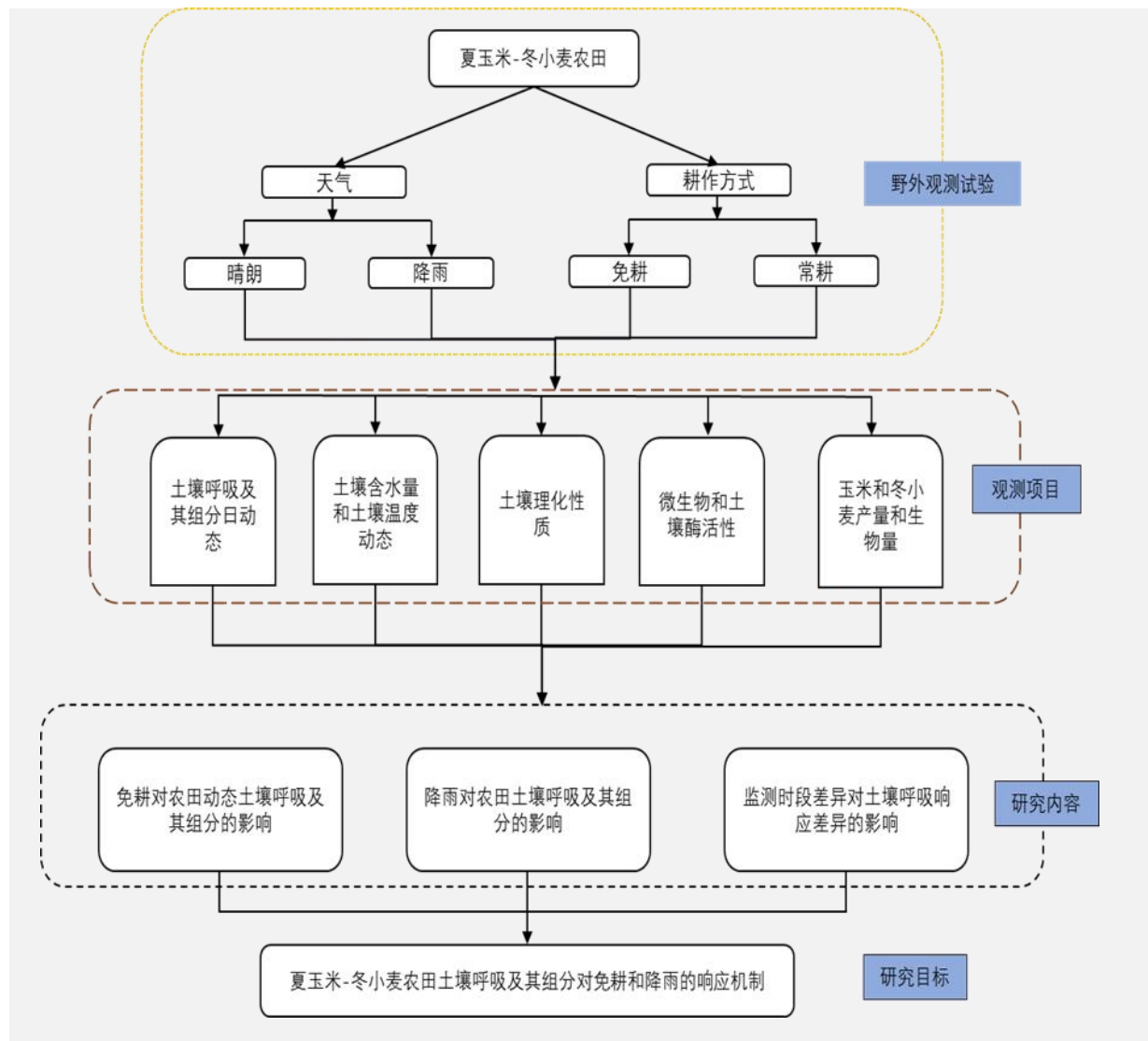
1. 适量单次降雨增加土壤呼吸
2. 年际高降雨量提高年际CO<sub>2</sub>释放总量
3. 降雨前后的连续观测不足

# 研究目标

- 1、研究夏玉米-冬小麦生育期，农田土壤CO<sub>2</sub>排放及其组分对免耕的响应机制。
- 2、探究降雨后夏玉米-冬小麦农田土壤呼吸及其组分的变化，揭示降雨和免耕交互作用对土壤呼吸及其组分的作用机理。
- 3、探讨不同监测时段，免耕和降雨对土壤呼吸作用的变化特征。



# 技术路线



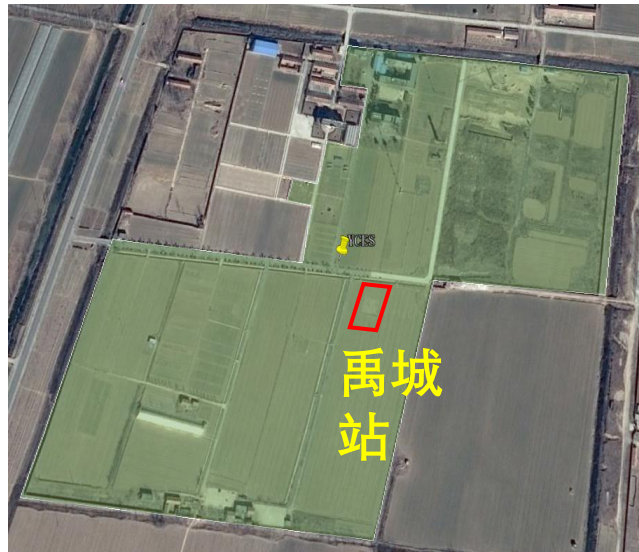
1. 土壤呼吸监测
2. 辅助土壤和植物性状分析
3. 免耕和降雨的机理分析

# 研究区

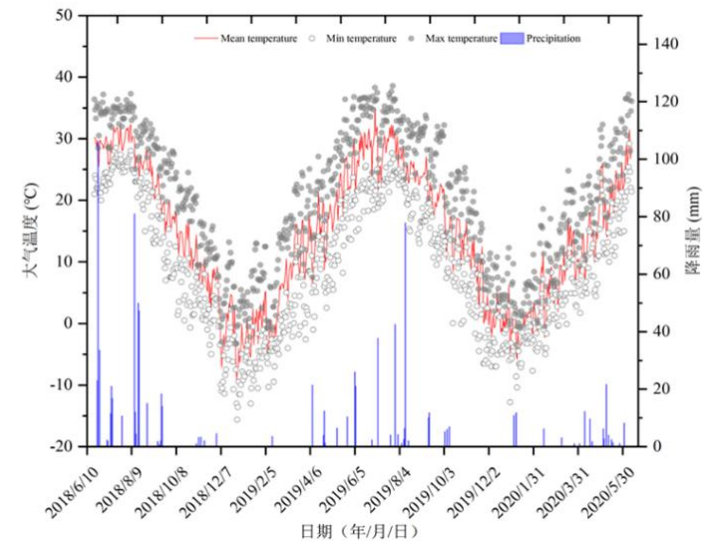
## ○ 中科院禹城试验站



- 华北平原冲积平原
- 潮土和盐化潮土
- 温带半湿润季风气候



- ( $36^{\circ}40' \sim 37^{\circ}12' \text{ N}$ ,  
 $116^{\circ}22' \sim 116^{\circ}45' \text{ E}$ )
- $P=580\text{mm}$ ,  $E_{\text{pan}}>950\text{mm}$
- $T_{\text{ave}}=13^{\circ}\text{C}$
- 冬小麦-夏玉米



2018.6-2020.5试验地大气均温、最高温、最低温和降雨量动态变化



# 同化箱及其内部仪器



- 2018年5月安装同化箱
- 进行去根设置，同化箱内无作物
- 箱体 $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$
- 安装大气温湿度传感器和气压传感器
- 土壤温湿盐传感器
- 各同化箱依次进气200 s

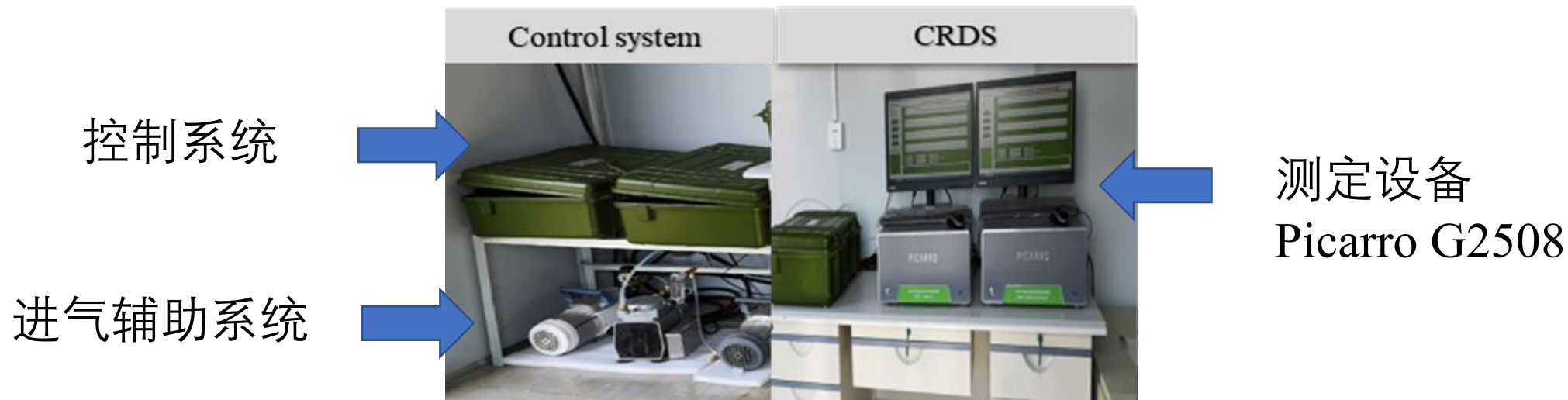


1. 农田试验开始于2014年。
2. 样方面积为 $10\text{m} \times 5\text{m}$
3. 设置免耕/传统旋耕（3重复）



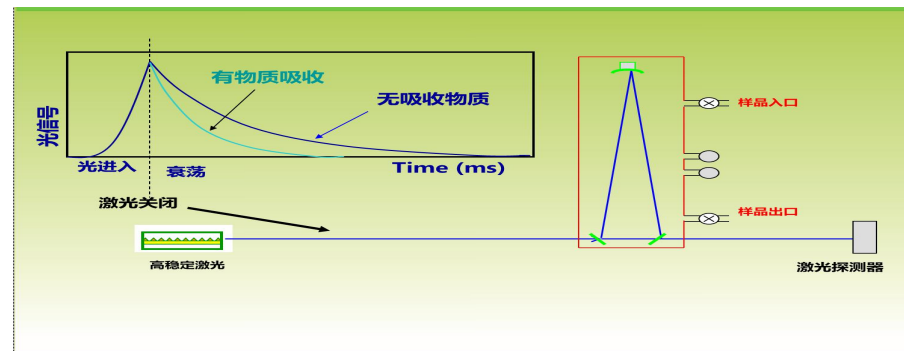


# 在线监测系统



## 波长扫描-光腔衰荡技术

- 激光光源射出特定频率激光进入光腔在三面高反射镜面反射下，循环往复，光腔内物质对这束光吸收，使其衰减。直至强度为零
- 对比有无吸收物质情况下，利用激光衰荡的时间差，直接计算物质的浓度。

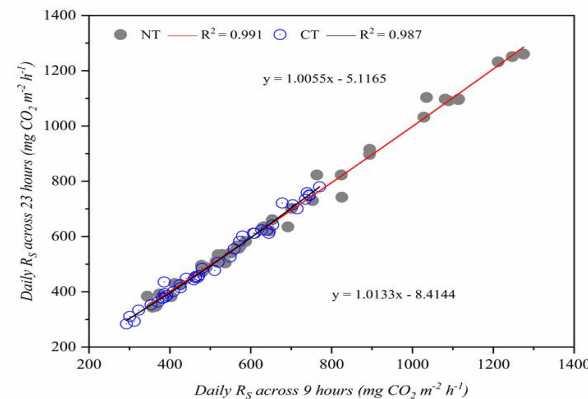
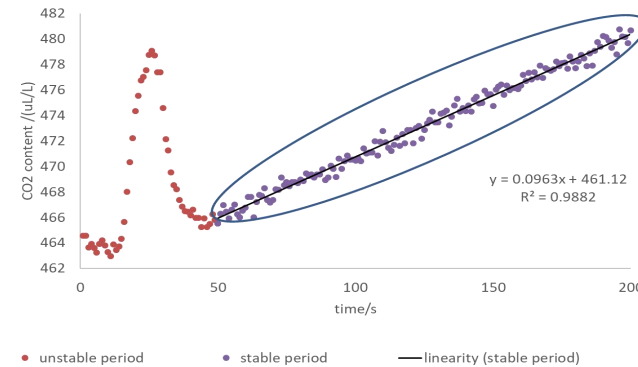




# CO<sub>2</sub>通量计算方法

$$F = \frac{dC/dt \times \rho \times h \times T_0 \times P \times 10^{-3}}{T \times P_0}$$

- F: CO<sub>2</sub> 通量(mg CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>·d))
- T<sub>0</sub>为平均温度(°C), T为实测温度(°C)
- P: 实测大气压力, P<sub>0</sub>为标准大气压力
- $\rho$ : CO<sub>2</sub>密度,
- h: 同化箱高度(m)
- dc/dt: 单位时间内CO<sub>2</sub>排放量( $\mu\text{L}/(\text{L}\cdot\text{hr})$ )



9小时与23小时的日均值通量回归关系

Kutzbach et al.,2007; Liu et al., 2014; Wang et al., 2013a; Wang et al., 2013b)

# 结果与讨论

- 免耕
- 降雨



# 免耕对农田土壤和作物属性的影响机制

## 1. 大气温度均值和累积降雨量

作物期	研究期	气温均值	累积降雨量
玉米	2018	25.5	472.9
	2019	24.9	220.3
小麦	2018-2019	8.9	120.2
	2019-2020	9.1	105.0

# 免耕对农田土壤和作物属性的影响机制

## 2. 生育期内土壤理化性状

作物种类	年限	耕作处理	pH	容重	全碳	全氮
玉米	2018	NT	8.23 ± 0.13 a	1.29 ± 0.04 a	14.01 ± 0.64 a	1.22 ± 0.36 a
		CT	8.24 ± 0.25 a	1.24 ± 0.04 a	13.60 ± 0.41 a	1.19 ± 0.20 a
	2019	NT	8.26 ± 0.09 a	1.28 ± 0.05 a	13.82 ± 0.50 a	1.27 ± 0.11a
		CT	8.17 ± 0.06 a	1.23 ± 0.06 a	12.89 ± 1.65 a	1.29 ± 0.14 a
小麦	2018-2019	NT	8.23 ± 0.07 a	1.31 ± 0.06 a	13.57 ± 0.27 a	1.30 ± 0.38 a
		CT	8.19 ± 0.15 a	1.26 ± 0.04 a	13.40 ± 0.83 a	1.21 ± 0.19 a
	2019-2020	NT	8.21 ± 0.17 a	1.30 ± 0.05 a	13.45 ± 0.59 a	1.18 ± 0.17 a
		CT	8.20 ± 0.19 a	1.28 ± 0.04 a	13.82 ± 1.12 a	1.25 ± 0.26 a

短期免耕对土壤理化性质影响较小



# 免耕对农田土壤和作物属性的影响机制

## 3. 生育期内土壤微生物碳氮量

作物种类	年限	耕作处理	SMC	SMN
玉米	2018	NT	545.49 ± 33.81 a	35.89 ± 10.95 a
		CT	523.14 ± 71.84 a	35.39 ± 6.36 a
	2019	NT	535.89 ± 22.45 a	34.99 ± 6.65 a
		CT	485.50 ± 22.33 a	33.31 ± 5.10 a
小麦	2018-2019	NT	493.61 ± 63.15 a	31.39 ± 2.31 a
		CT	491.59 ± 49.62 a	32.01 ± 4.39 a
	2019-2020	NT	500.37 ± 83.43 a	34.27 ± 6.42 a
		CT	504.26 ± 102.57 a	33.84 ± 5.10 a

# 免耕对农田土壤和作物属性的影响机制

## 4. 作物生物量

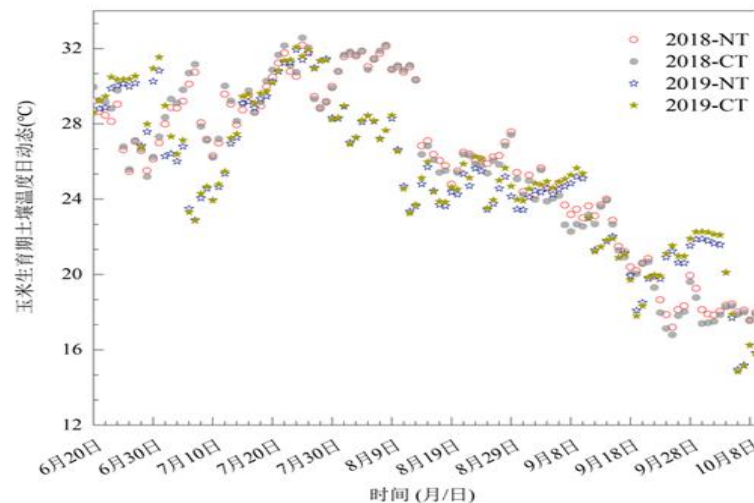
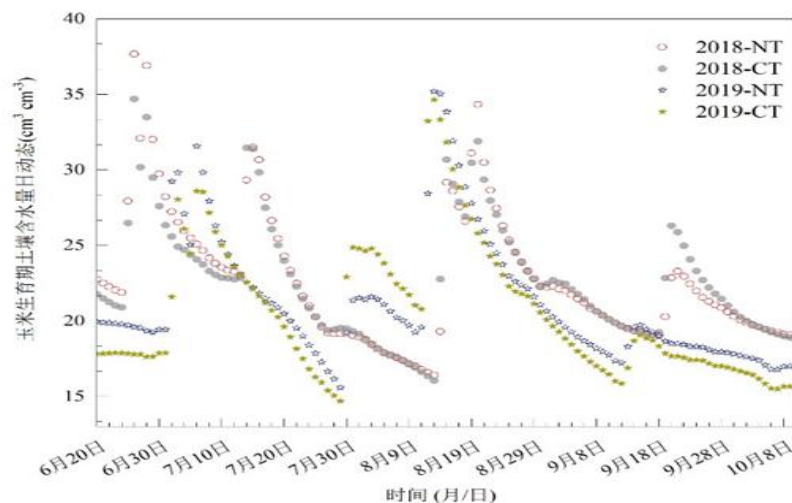
作物种类	年限	耕作处理	产量	地上总生物量	根生物量
玉米	2018	NT	9.11 ± 0.65 b	14.00 ± 1.13 b	3.75 ± 0.34 b
		CT	9.63 ± 0.58 b	14.59 ± 0.83 b	3.75 ± 0.36 b
	2019	NT	8.15 ± 0.30 a	12.25 ± 0.69 a	3.73 ± 0.44 b
		CT	8.53 ± 0.32 a	12.94 ± 0.59 a	3.71 ± 0.73 b
小麦	2018-2019	NT	5.37 ± 0.61 c	12.16 ± 0.41 a	1.45 ± 0.15 a
		CT	5.65 ± 0.54 c	12.54 ± 0.53 a	1.51 ± 0.26 a
	2019-2020	NT	5.38 ± 0.50 c	12.37 ± 0.72 a	1.46 ± 0.09 a
		CT	5.93 ± 0.31 c	13.05 ± 0.91 ab	1.59 ± 0.11 a

短期免耕对作物生物量无显著作用



# 免耕对农田土壤呼吸通量的影响机制

## 玉米期土壤含水量和土壤温度变化

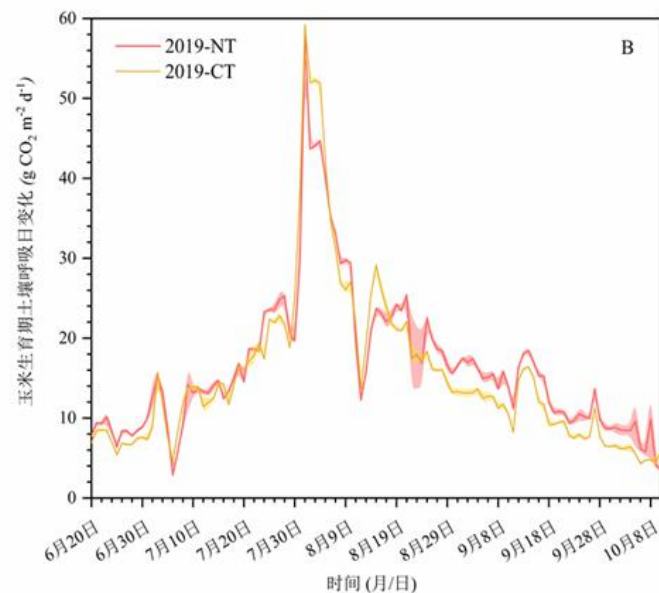
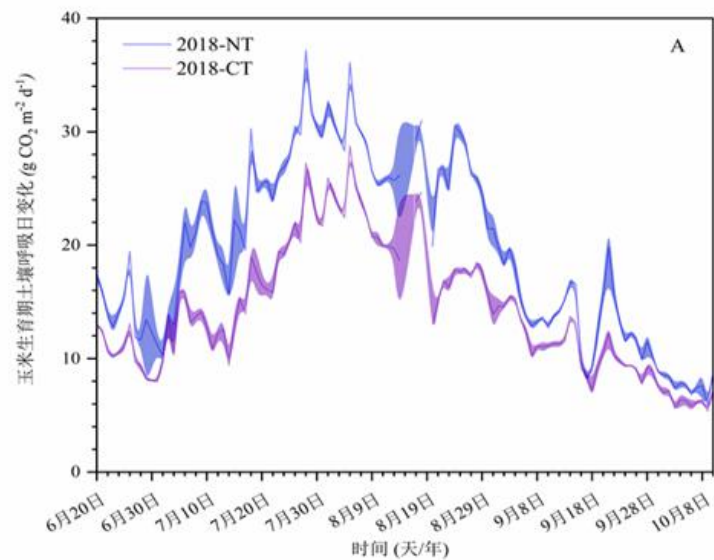


研究期	耕作处理	土壤含水量	土壤温度
2018	NT	$22.81 \pm 0.06 \text{ c}$	$25.83 \pm 0.17 \text{ c}$
	CT	$22.70 \pm 0.07 \text{ c}$	$25.76 \pm 0.16 \text{ c}$
2019	NT	$21.22 \pm 0.08 \text{ b}$	$25.04 \pm 0.06 \text{ a}$
	CT	$20.58 \pm 0.11 \text{ a}$	$25.27 \pm 0.07 \text{ b}$
耕作处理均值	NT	$22.01 \pm 0.02$	$25.46 \pm 0.08$
	CT	$21.64 \pm 0.04$	$25.26 \pm 0.08$
年均值	2018	$22.75 \pm 0.05$	$25.80 \pm 0.16$
	2019	$20.90 \pm 0.01$	$24.93 \pm 0.02$

1. 免耕促进土壤含水量，玉米期免耕抑制土壤温度
2. 多雨年份免耕作用较小

# 免耕对农田土壤呼吸通量的影响机制

## 玉米期土壤呼吸变化



Years	Treatments	Cumulative R <sub>s</sub>
2018	NT	2189.29 ± 21.15 d
	CT	1610.34 ± 23.59 a
2019	NT	1863.61 ± 13.87 c
	CT	1754.73 ± 10.69 b
耕作处理均值	NT	2026.45 ± 163.82
	CT	1688.53 ± 74.48
年均值	2018	1899.81 ± 290.34
	2019	1809.07 ± 55.83

1. 短期免耕促进多雨年份土壤呼吸
2. 干旱年份，短期免耕抑制小麦期土壤呼吸



# 免耕对农田土壤呼吸通量的影响机制

## 土壤呼吸总量

Years	Treatments	Cumulative soil respiration
2018-2019 年	NT	3352.12 ± 40.11 d
	CT	2646.51 ± 16.46 a
2019-2020 年	NT	3108.19 ± 37.15 c
	CT	3017.94 ± 11.27 b

1. 短期免耕促进促进土壤呼吸
2. 干旱抑制了免耕的促进作用

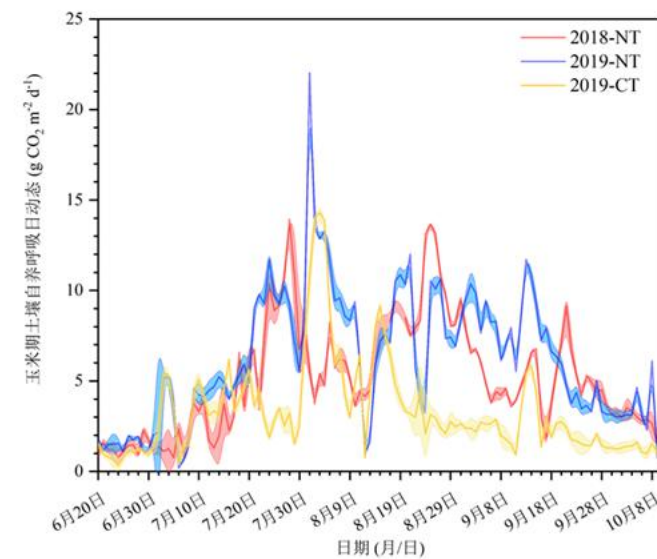
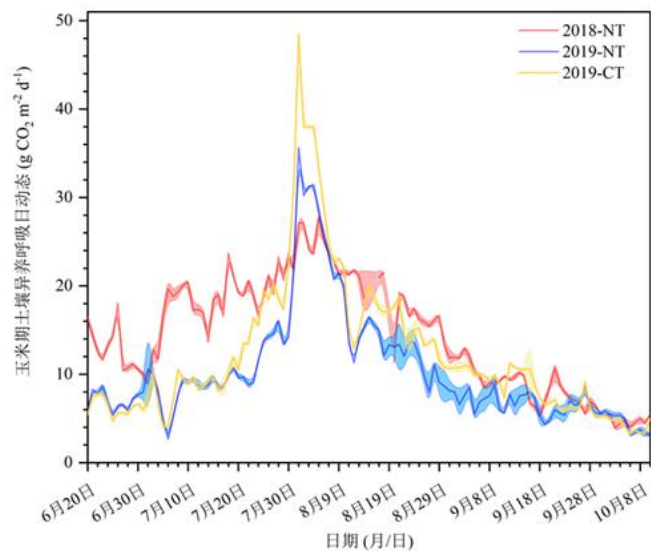
## 土壤呼吸与土壤和植物属性的相互关系

Years	NT/CT	属性	R <sub>s</sub>	SWC	ST	Adjusted R <sup>2</sup>
2018-2019	NT	SWC	0.18			
		ST	0.89*	-0.07		
2019-2020	NT	GY	-0.86*	0.18	-0.97**	0.32**
		AB	-0.37	0.55	-0.46	0.05**
2018-2020	C	RB	-0.90*	0.02	-1.00**	0.23**
		SMC	-0.20	0.38	-0.61	0.69**
2018-2020	NT	SMN	-0.09	0.80	-0.48	
		pH	0.02	0.52	-0.35	
2018-2020	NT	BD	0.83*	0.37	0.54	
		TC	0.46	0.49	0.04	
2018-2020	NT	TN	-0.39	-0.90*	-0.27	

1. 短期免耕促进促进土壤呼吸
2. 干旱抑制了免耕的促进作用
3. 全生育期土壤湿度作用最大
4. 收获期土壤温度作用显著

# 免耕对农田土壤呼吸组分的影响机制

## 玉米期土壤呼吸组分变化



Respiration	2018-NT	2019-NT	2019-CT
$R_H$	$1617.76 \pm 20.24$ c	$1164.71 \pm 21.18$ a	$1378.99 \pm 10.06$ b
$R_A$	$571.53 \pm 14.04$ b	$689.89 \pm 34.96$ c	$375.74 \pm 5.40$ a

增加48.14%

降低15.54%

1. 免耕抑制土壤异养呼吸，促进自养呼吸。
2. 与干旱年相比，多雨促进异养呼吸，抑制自养呼吸

$R_H$ :异养呼吸;  $R_A$ :自养呼吸



# 结果与讨论

- 免耕
- 降雨

# 降雨对农田土壤呼吸组分的影响机制

## 1. 玉米期土壤含水量变化

研究期	耕作处理	晴天	降雨
2018	NT	21.02 ± 0.06 d	25.40 ± 0.15 b
	CT	20.90 ± 0.03 c	25.32 ± 0.21 b
2019	NT	20.66 ± 0.09 b	22.02 ± 0.08 a
	CT	19.64 ± 0.15 a	21.95 ± 0.07 a
耕作处理均值	NT	20.84 ± 0.20	23.71 ± 1.69
	CT	20.27 ± 0.64	23.64 ± 1.69
研究期	耕作处理	晴天	降雨
年均值	2018	20.96 ± 0.08	25.36 ± 0.18
	2019	20.15 ± 0.52	21.99 ± 0.08

## 2. 玉米期土壤土壤温度变化

研究期	耕作处理	晴天	降雨
2018-2019	NT	25.87 ± 0.19 c	25.77 ± 0.15 b
	CT	25.82 ± 0.18 c	25.68 ± 0.18 b
2019-2020	NT	25.14 ± 0.13 a	24.89 ± 0.11 a
	CT	25.47 ± 0.08 b	24.96 ± 0.25 a
两年均值	NT	25.51 ± 0.40	25.33 ± 0.46
	CT	25.64 ± 0.23	25.32 ± 0.41
研究期	耕作处理	晴天	降雨
耕作处理均值	2018	25.85 ± 0.19	25.72 ± 0.14
	2019	25.30 ± 0.20	24.93 ± 0.20

1. 降雨导致免耕对玉米期土壤含水量和土壤温度的作用降低。
2. 多雨年份的降雨对土壤含水量作用更大，干旱年份对土壤温度的影响更明显

BD:晴朗天气;RAD:降雨影响天气 (降雨及其后三天)



# 降雨对农田土壤呼吸通量的影响机制

玉米期土壤呼吸变化

Years	Treatments	R <sub>s</sub> on BD	R <sub>s</sub> on RAD
2018	NT	18.96 ± 0.13 d	20.03 ± 0.32 b
	CT	14.42 ± 0.15 c	13.98 ± 0.30 a
2019	NT	13.93 ± 0.07 b	20.23 ± 0.20 b
	CT	12.05 ± 0.06 a	20.60 ± 0.15 c
两年均值	NT	16.44 ± 2.52	20.13 ± 0.29
	CT	13.23 ± 1.19	17.29 ± 3.32
耕作处理均值	2018	16.69 ± 2.27	17.01 ± 3.04
	2019	12.99 ± 0.94	20.41 ± 0.26

1. 降雨导致免耕对玉米期土壤呼吸的促进作用由晴天的31.43%降低为16.43%（2018年）。
2. 干旱年份，降雨导致免耕对玉米期土壤呼吸无显著作用。

# 致谢

- 中国科学院CERN修购项目、样地项目支持
- 国家基金委面上项目、山东联合基金重点项目支持
- 团队成员的努力，试验不易



A circular pond in the foreground reflects the sunset sky and clouds. In the background, there is a white fence, a line of trees, and a bright sun setting behind the trees. The sky is filled with soft, golden light and wispy clouds. The overall scene is peaceful and scenic.

**敬请大家批评指正！**