



科技赋能 提质增效 2023 中国蔬菜产业大会 湖南 汉寿

# 设施蔬菜水肥一体化的案例分享

陈清

中国农业大学资源与环境学院

梁斌 李俊良

青岛农业大学资源与环境学院





# 報告內容

1. 回顧：“水肥耦合” 施用
2. 水肥機：“少量多次” 新突破
3. 有機水溶肥：多元功能拓展
4. 挑戰：蔬菜水肥需求模型

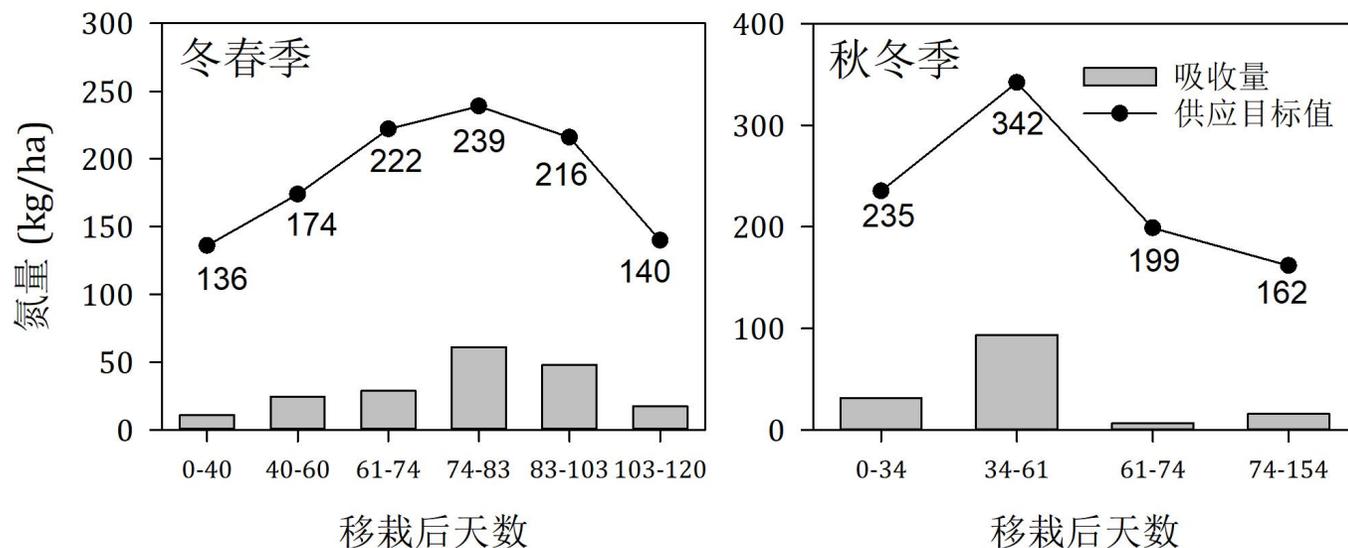
1998-2006 从德国引进 $N_{\min}$  buffer的概念，开展设施土壤根层氮素调控技术研究，但是当时设施菜田的灌溉是畦灌，每次每亩通常在20-40方水。

根层氮素调控技术关键：确定0~30 cm土层矿质氮含量的最低水平（低于这个水平会影响蔬菜产量）

- 确定并优化了氮素供应目标值。
- 追施氮量 = 氮素供应目标值 - 土壤矿质氮 - 源于灌溉水的氮素。



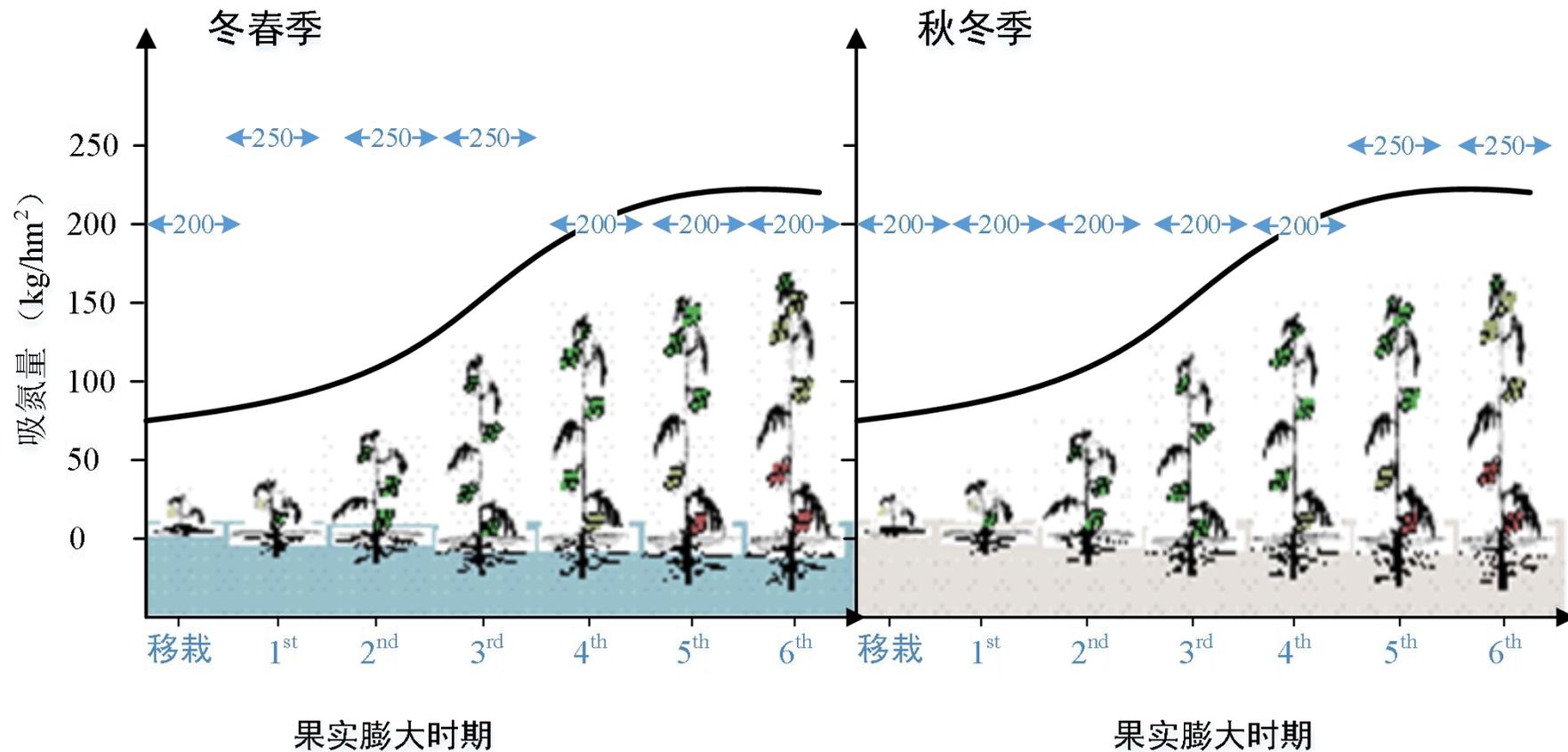
# 初步确定设施番茄等作物的根层氮素供应目标值 (2002-2004)



**施氮量 = 供应目标值 - 土壤矿质氮 - 有机氮矿化 - 来源于灌溉水中的氮**

- 供应值与作物吸收在数量上的匹配;
- 量化指标, 减少了施氮量

- 氮供应目标值远大于氮吸收量; 要考虑因为淋洗导致的损失部分
- 目标值中包括有机氮的矿化, 不利于计算施肥量

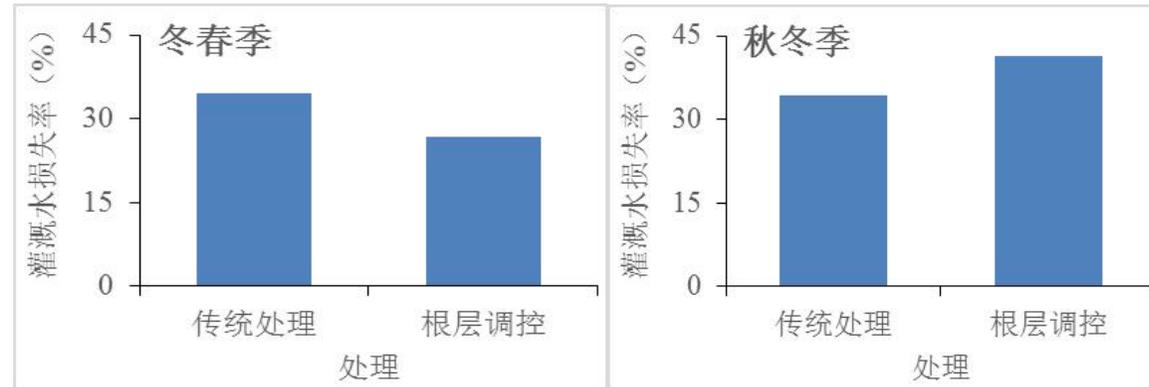
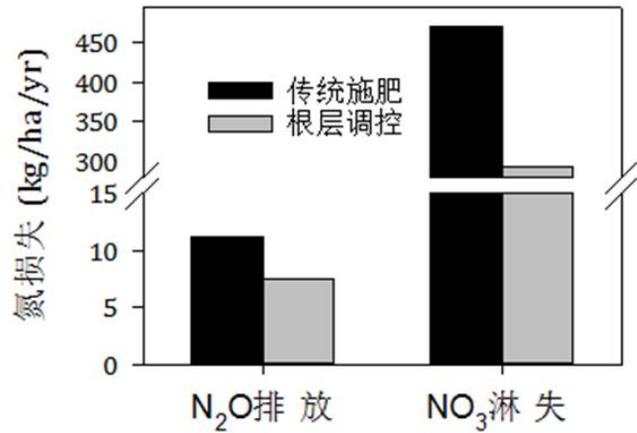


施氮量=供应目标值-土壤矿质氮-来源于灌溉水中的氮

里程碑事件：首次量化了满足设施土壤栽培番茄高产的根层氮素供应目标值；

缺点：1) 当时的追肥灌溉频率下（冬春茬5-7天、秋冬茬6-14天，每次每亩定额20-40方）大水漫灌或者小管出流灌，每次追肥需要进行测土，了解根层土壤无机氮水平，参考作物氮素吸收曲线和阶段氮素吸收量，确定推荐追肥数量）；2) 无法控制灌溉数量，每次都产生氮素淋洗损失，**损失多少取决于灌溉量**

## 灌溉水损失率>30%



- 节氮、高效；
- 有利于生态环境安全

- 粗放的水分管理，仍然导致水肥淋溶损失严重！



设施蔬菜  
栽培的小  
管出流方  
式及场景

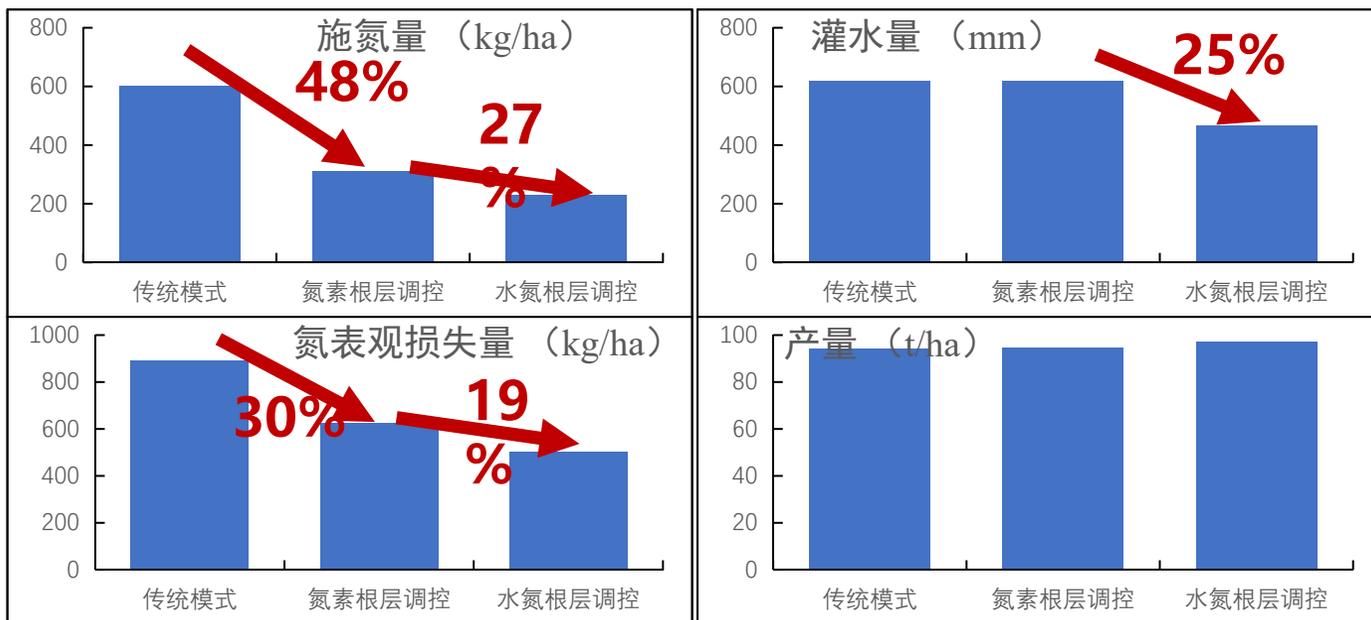
管水管肥的技术

水肥一体化  
技术是利用  
管道灌溉系  
统，将肥料  
溶解在水中，  
同时进行灌  
溉与施肥，  
适时、适量  
地满足农作  
物对水分和  
养分的需求，  
实现水肥同  
步管理和高  
效利用的节  
水农业技术

# 基于水分管理的氮素根层调控技术 (2006-2008)

## 技术要点

- 每次灌水至田间最大持水量 (0-30 cm) ; **开始根据土壤墒情灌溉**
- 1~2穗氮素供应目标值200 kg/ha, 3~6穗250 kg/ha。



- **节水, 提高水分利用效率;**
- **进一步提高氮肥效率, 降低损失, 提高产量。**

- **需测土 (含水量和硝态氮), 可操作性差。**
- **无法进一步严格控制水分, 缺乏监测手段**

# 管水管肥的技术-滴灌施肥的出现

2004-2020年水肥一体化技术的发展主要是体现在管道灌溉设备和管路系统的安装设计和普及等方面



压差式施肥罐



文丘里施肥器



注肥泵



设施蔬菜水肥一体化设备的场景

# 水分实时监测技术（2009-2010年）

## 技术要点

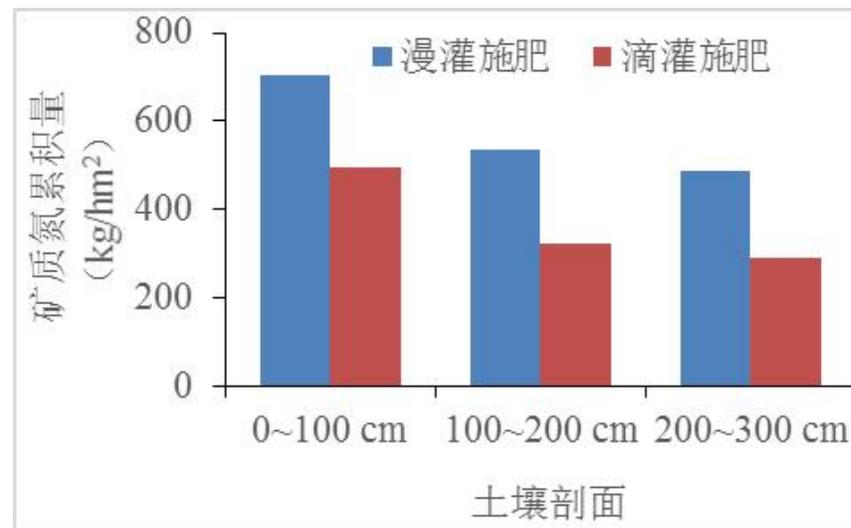
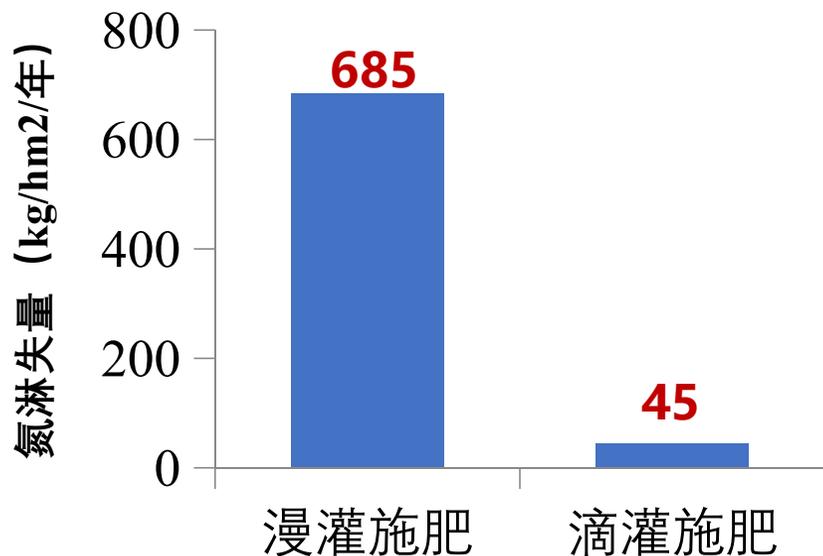
- 张力计法确定灌溉时间，-25 Kpa开始灌溉；
- 蒸发皿法确定灌水定额。灌水量 $I=\alpha ET$ ，蒸发皿系数 $\alpha$ 苗期0.45，开花孕果期0.77，果实膨大期-收获期1.04。

模式	灌溉次数	灌水总量 (mm)	产量(t/hm <sup>2</sup> )	灌溉水利用效率 (kg/m <sup>3</sup> )
传统漫灌模式	9	1156	101.03	8.7
水分监测调控	16	508 (平均32 mm/次)	109.40	21.6

56%



# 管水管肥的技术-滴灌施肥 (2008-2012)



- 节水、节肥50%以上;
- 减少氮肥损失 (640 kg/ha/yr) , 显著提高其利用率;
- 产量有所增加。

- 试验是在严格监测的条件下进行的, 在生产中, 缺少直接监测土壤墒情的传感器, 不了解作物的下一灌溉阶段的水肥需求, 农民操作比较盲目;
- 生产上无法实现滴灌施肥的精细化、高频化灌溉施肥

## 2023年中央一号文件

- **中共中央 国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见（2023年1月2日）**
- 三、强化农业科技和装备支撑（十三）推进农业绿色发展。加快农业投入品减量增效技术推广应用，**推进水肥一体化**...

时间	政策/文件	主要内容
2019年	《〈国家节水行动方案〉分工方案》	指出要大力推进水肥一体化技术，每年发展水肥一体化面积133.3万hm <sup>2</sup> （2000万亩）。
2017年	《推进水肥一体化实施方案（2016-2020年）》	提出到2020年水肥一体化技术推广面积达到1.5亿亩，新增8000万亩。
2017年	中央“一号文件”	指出要大规模实施农业节水工程，与此同时还要加大水肥一体化等先进农艺节水技术的推广力度。
2015年	《全国农业可持续发展规划（2015—2030年）》	提出“一控两减三基本”目标。
2013年	《水肥一体化技术指导意见》	提出确定主推技术模式，创新工作方法，着力推进水肥一体化技术本土化、轻型化和产业化。
2012年	《国家农业节水纲要（2012-2020）》	提出加强水肥一体化的集成应用。
2007年	《关于推进农田节水工作的意见》	将水肥一体化列为主推技术，要求强化技术集成与示范推广。

水肥一体化技术是利用管道灌溉系统，将肥料溶解在水中，同时进行灌溉与施肥，**适时、适量地满足农作物对水分和养分的需求，实现水肥同步管理和高效利用的节水农业技术。**



# 報告內容

1. 回顧：“水肥耦合” 施用
2. 水肥機：“少量多次” 新突破
3. 有機水溶肥：多元功能拓展
4. 挑戰：蔬菜水肥需求模型

水肥机是受新型农业经营主体在减少劳动力投入成本，提高水肥利用效率的需求下推动发展的

物联网智能化技术日趋成熟，为推广自动控制灌溉施肥的水肥一体化技术和设备的应用奠定了基础。

水肥机的应用需要配套的软件和硬件设备、栽培系统等。



橘色区域标配

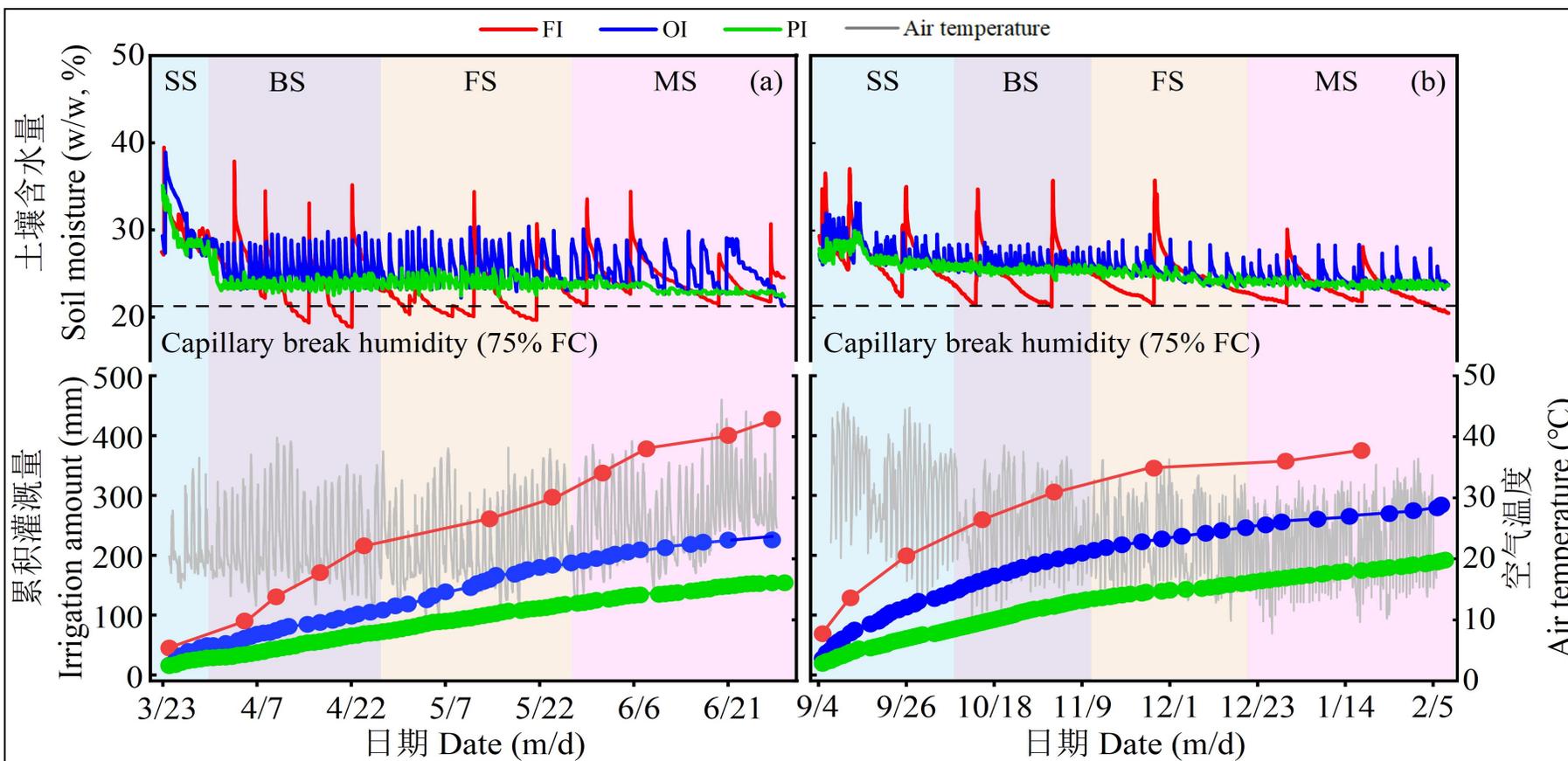


绿色区域选配

根据用户园区实际情况，  
做定制化方案配置

# 基于介质含水量的精细灌溉管理

FI: 传统滴灌; OI: 智能灌溉 (70-85%); PI: 智能精细灌溉 (70-75%)

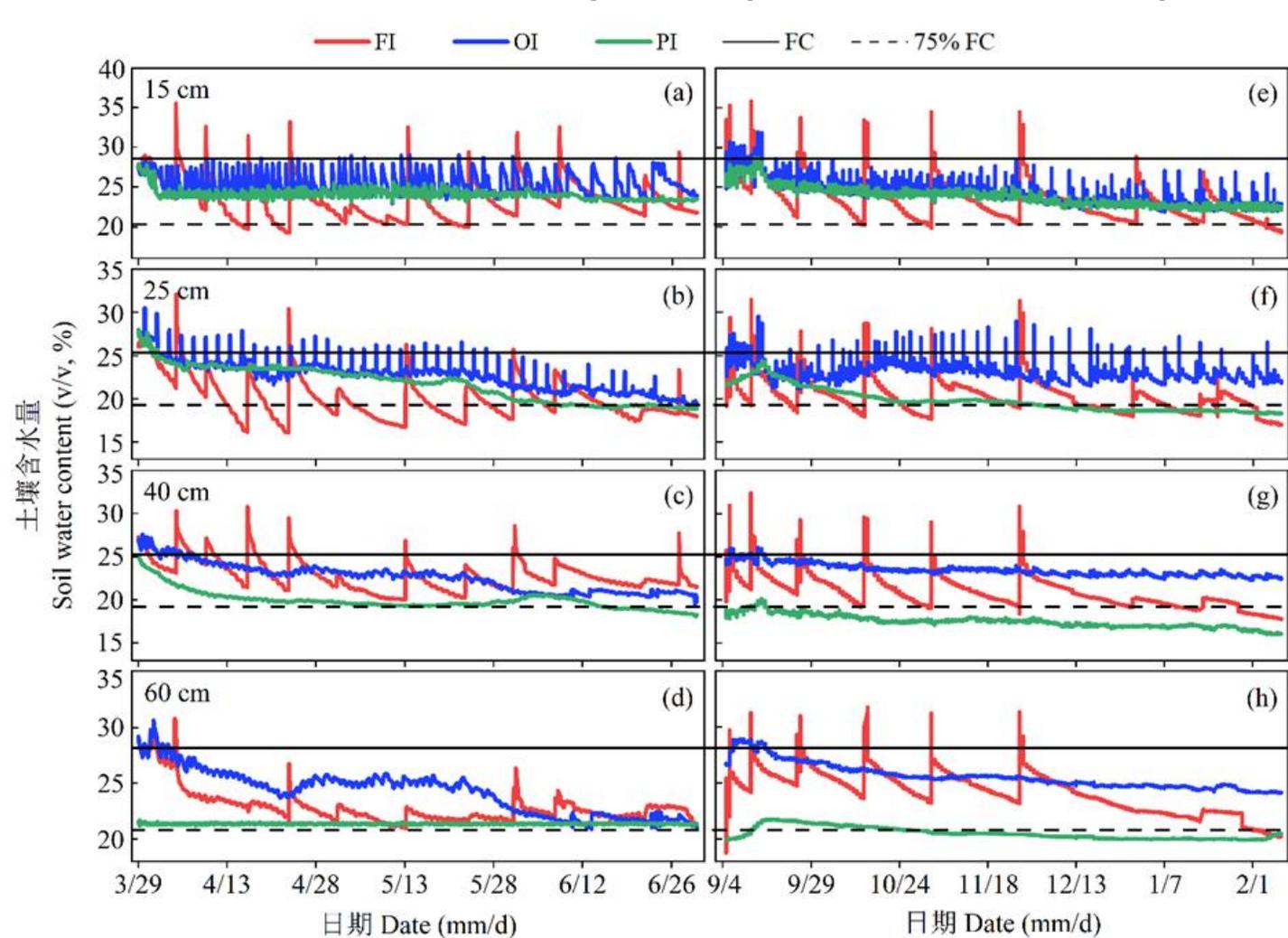


## 智能精细灌溉:

- 单季 (130天) 灌溉次数90-130 次
- 单季灌溉量110-170方/亩。传统滴灌灌溉量270-350 方/亩。

# 基于介质含水量的精细灌溉管理

FI: 传统滴灌; OI: 智能灌溉 (70-85%); PI: 智能精细灌溉 (70-75%)



智能灌溉大幅降低水分深层 (60 cm以下) 渗漏。

# 水肥机适用于规模化设施蔬菜生产园区的精细化水肥自动管理， 需要配套的作物灌溉施肥决策系统支持

根据**番茄**生长模型  
水肥光气温全自动协同控制

适用于所有基质  
栽培模式

设备运行中  
三级预警机制

AI模式识别  
追溯系统



1台  
设备



16座  
大棚

16种  
作物

# 基于介质含水量的精细灌溉管理

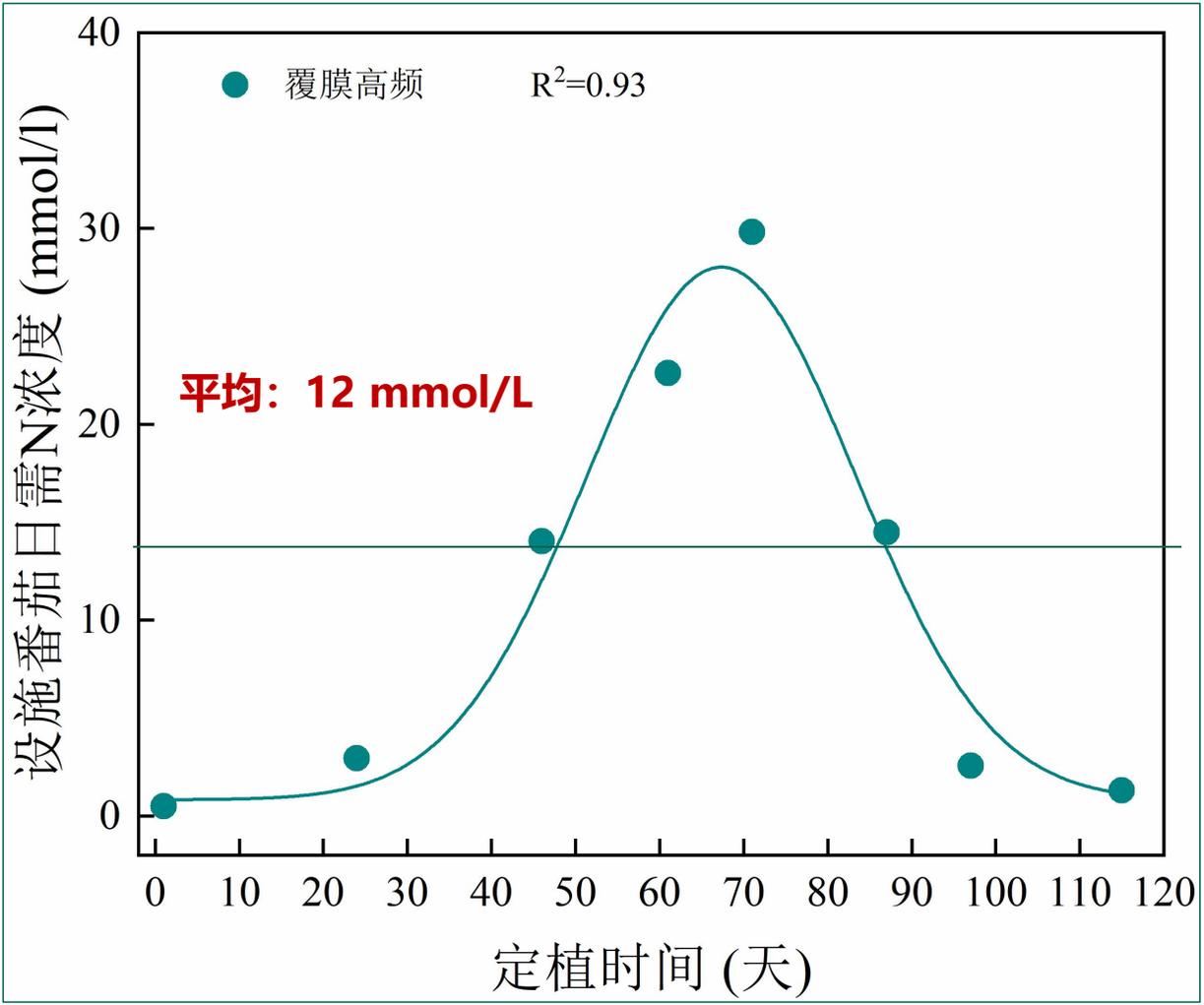
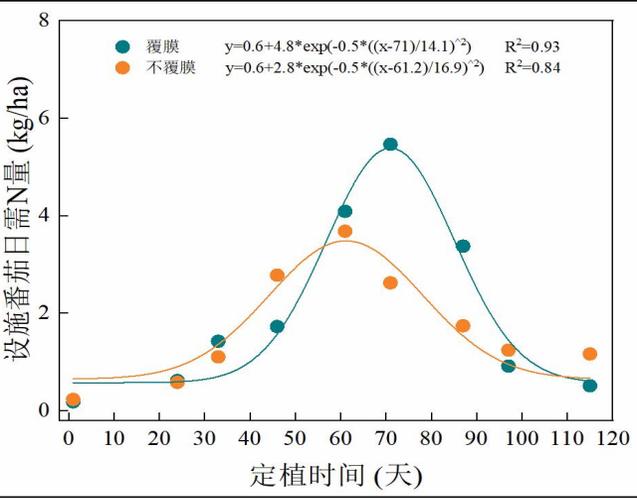
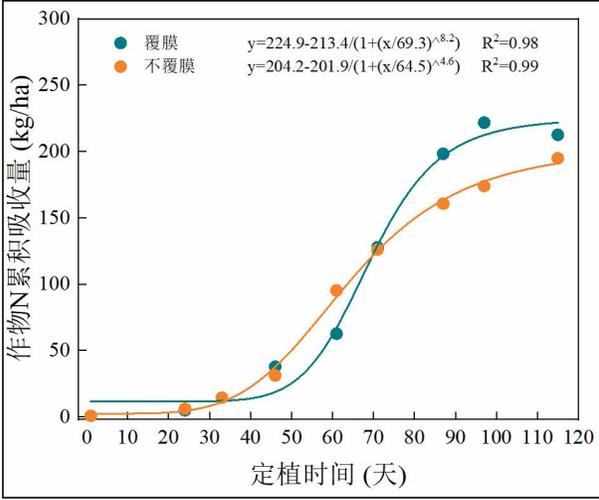
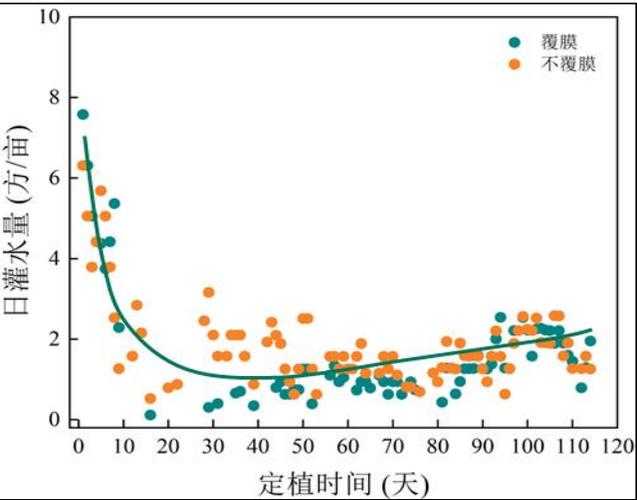
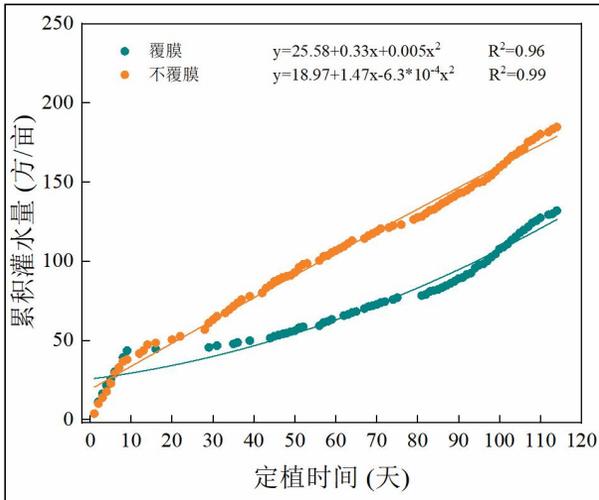
FI: 传统滴灌; OI: 智能灌溉 (70-85%) ; PI: 智能精细灌溉 (70-75%)

生长季 Growth season	处理 Treatment	产量 Yield (t ha <sup>-1</sup> )	灌溉水利用效率 Irrigation water use efficiency (kg m <sup>-3</sup> )
SS	FI	63.3 ± 2.5 b	14.8 ± 0.6 c
	OI	72.6 ± 0.9 a	31.3 ± 0.4 b
	PI	74.3 ± 1.0 a	48.2 ± 0.7 a
AS	FI	60.8 ± 4.9 b	16.1 ± 1.4 c
	OI	67.7 ± 1.5 a	25.2 ± 1.9 b
	PI	67.5 ± 2.8 a	35.0 ± 1.6 a

水分利用效率荷兰水平: 45 kg/立方米

基本实现了作物水分的供需平衡 (需多少, 供多少)

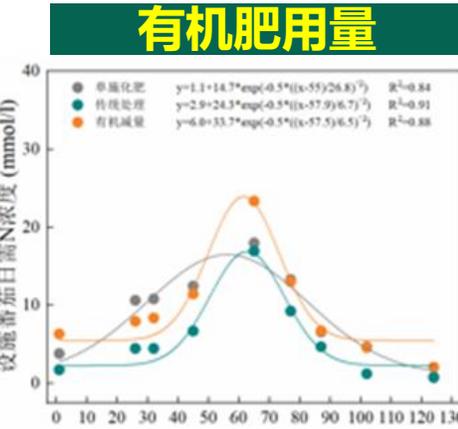
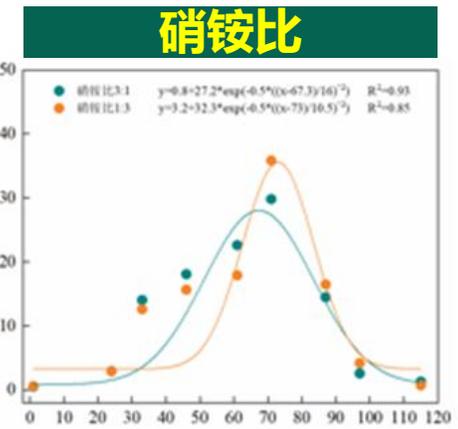
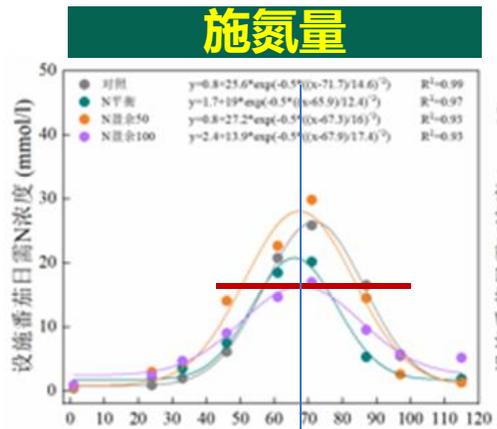
# 基于水肥高效耦合的精准养分管理



是否足够精准?

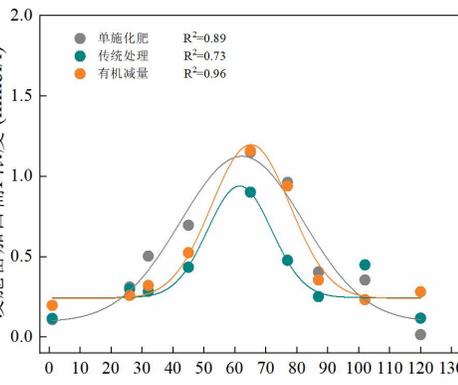
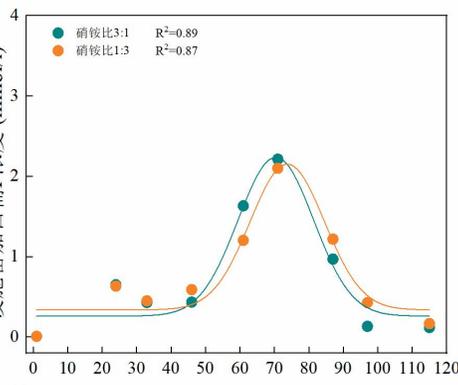
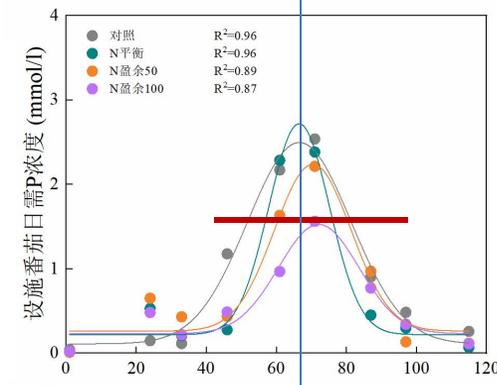
# 基于水肥高效耦合的精准养分管理

N

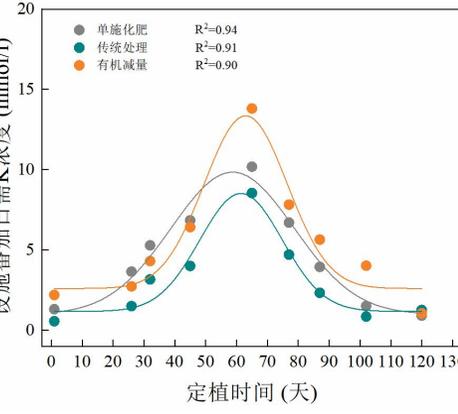
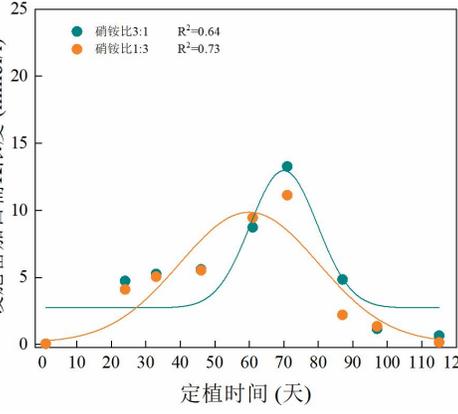
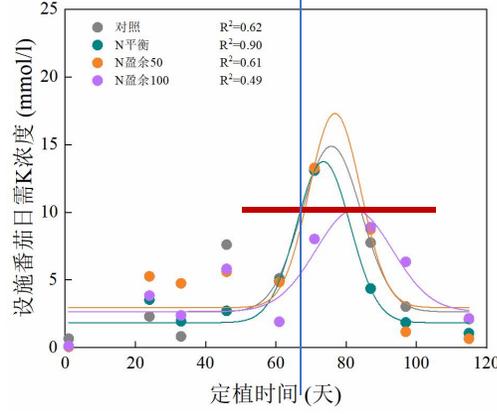


## 施肥对浓度需求的影响

P



K



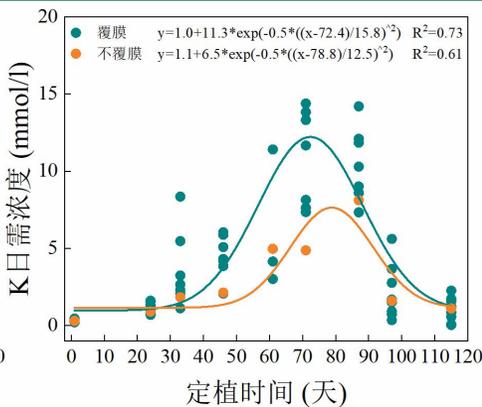
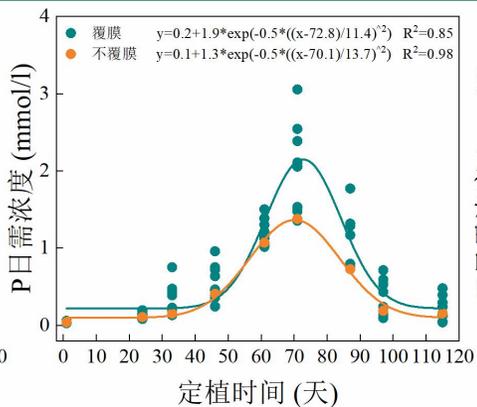
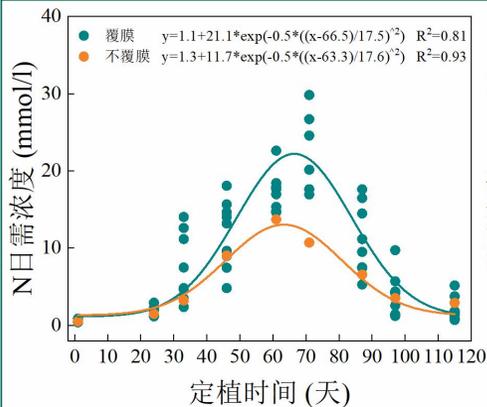
定植时间(天)

定植时间(天)

定植时间(天)

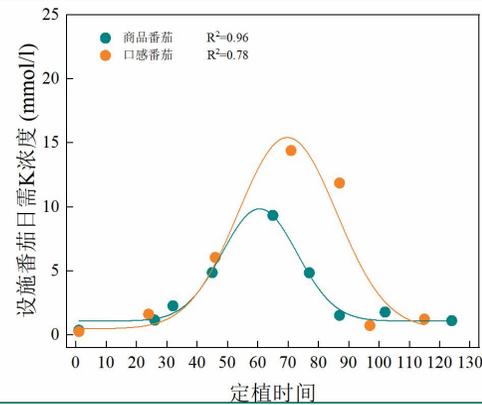
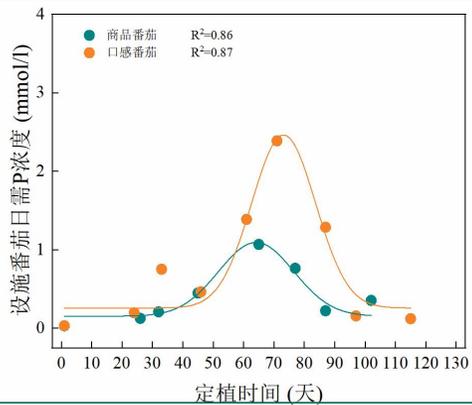
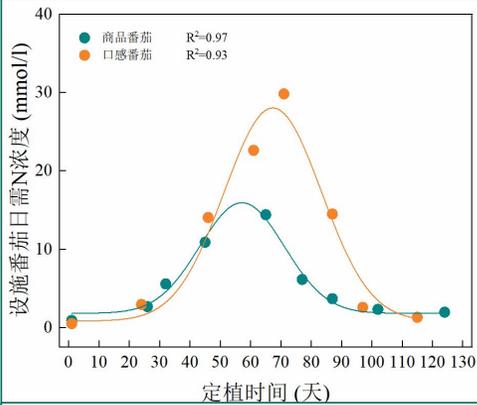
# 基于水肥高效耦合的精准养分管理

## 覆膜的影响

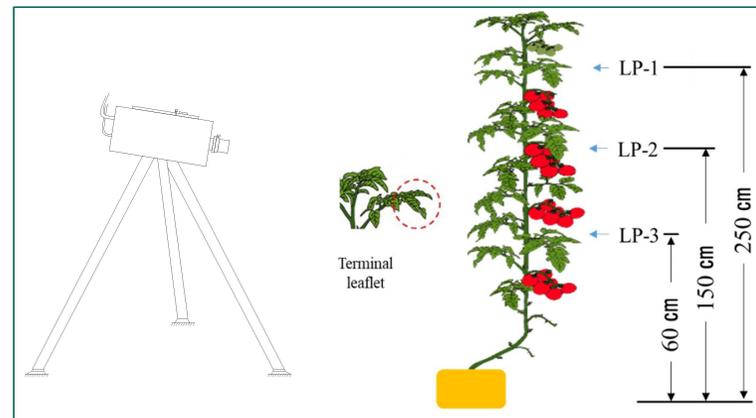


## 土面蒸发

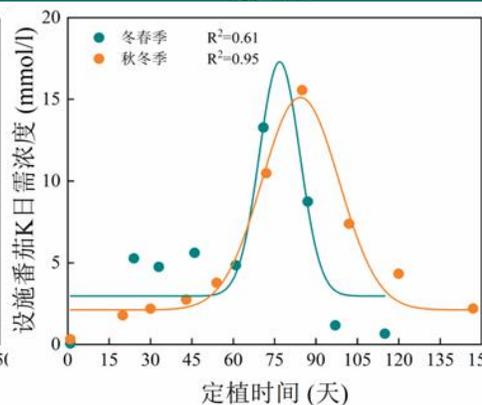
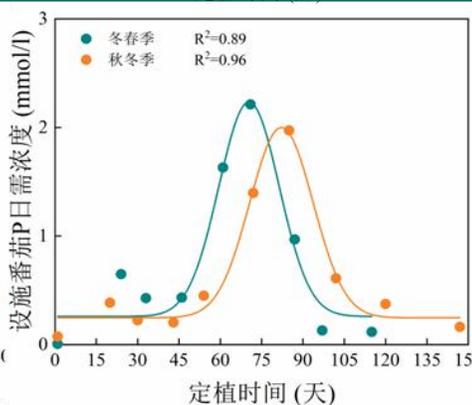
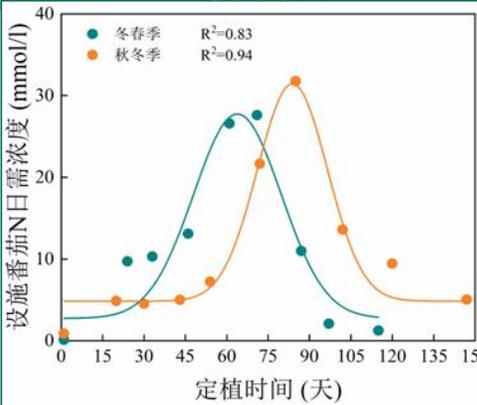
## 品种的影响



## 叶面积指数



## 生长季的影响



## 叶面积指数

如果通过高光谱表型分析，建立叶面积指数与养分浓度的关系，可降低品种、季节的差异，养分管理会更精准。

# 精准养分形态管理

# 形态、来源、施用方法

形态准

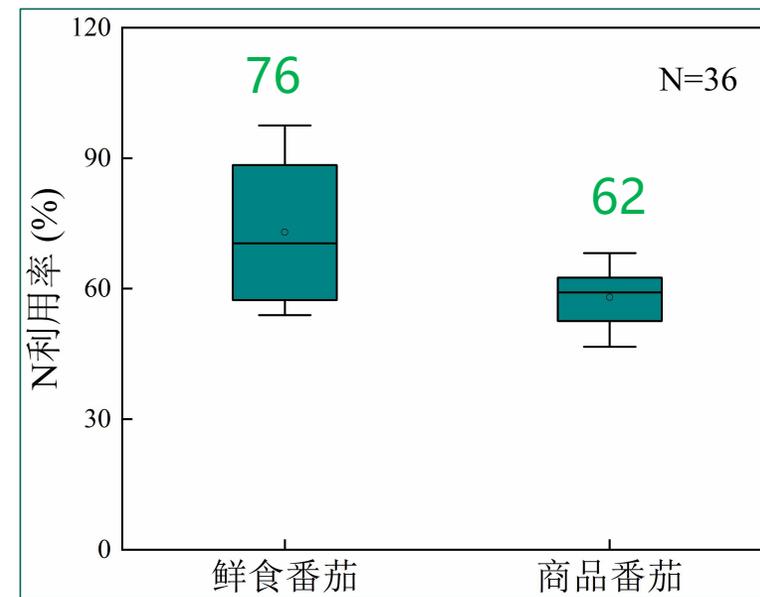
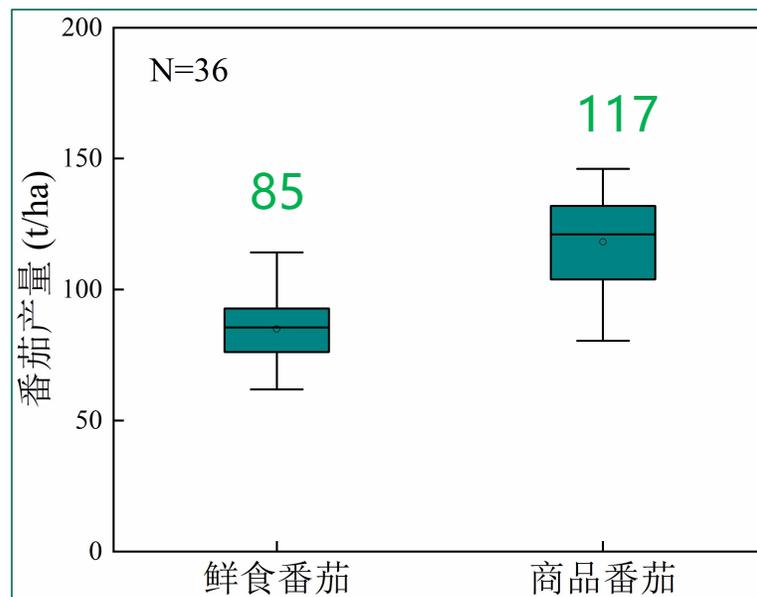
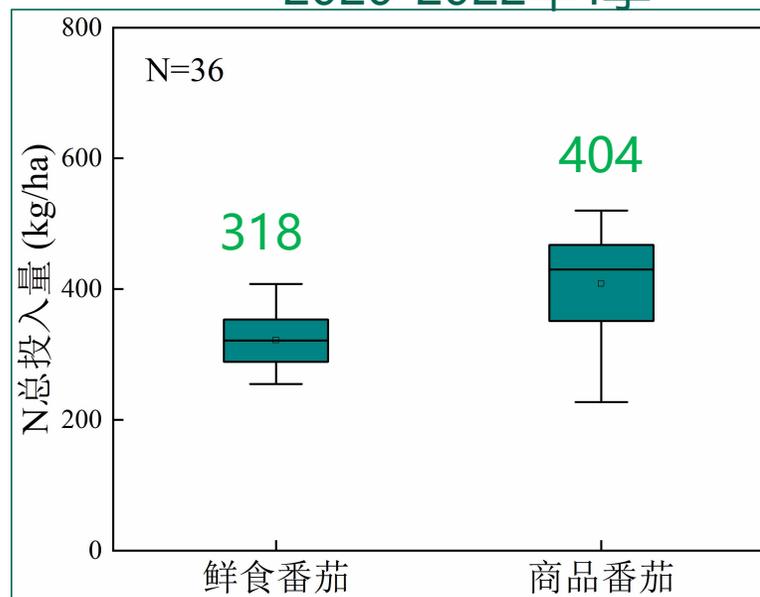


KCl or  $\text{K}_2\text{SO}_4$

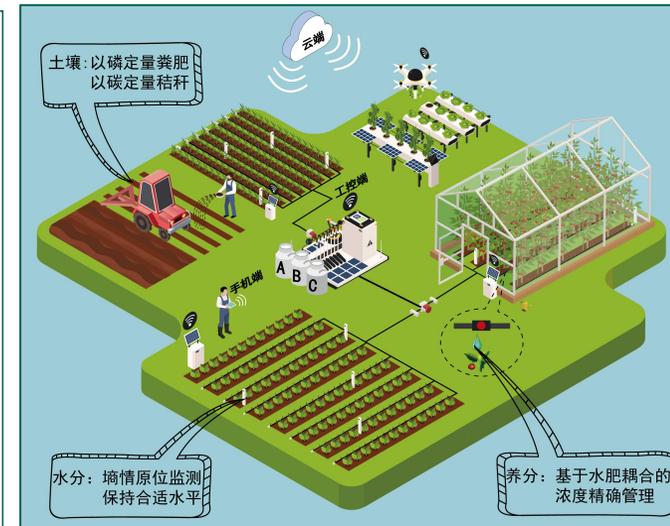
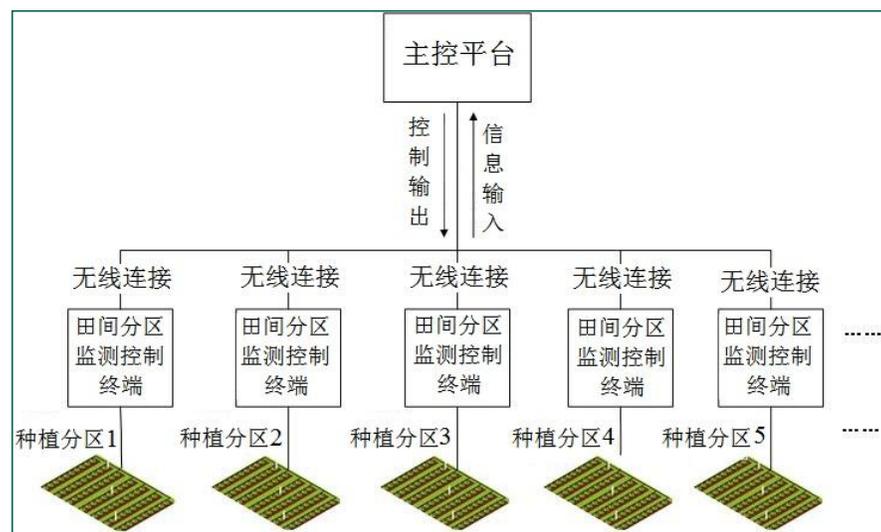


# 精准水肥管理研究进展—技术、工艺与模式

2020-2022年4季



# 从精准技术到工艺与模式



可复制、易推广的模式

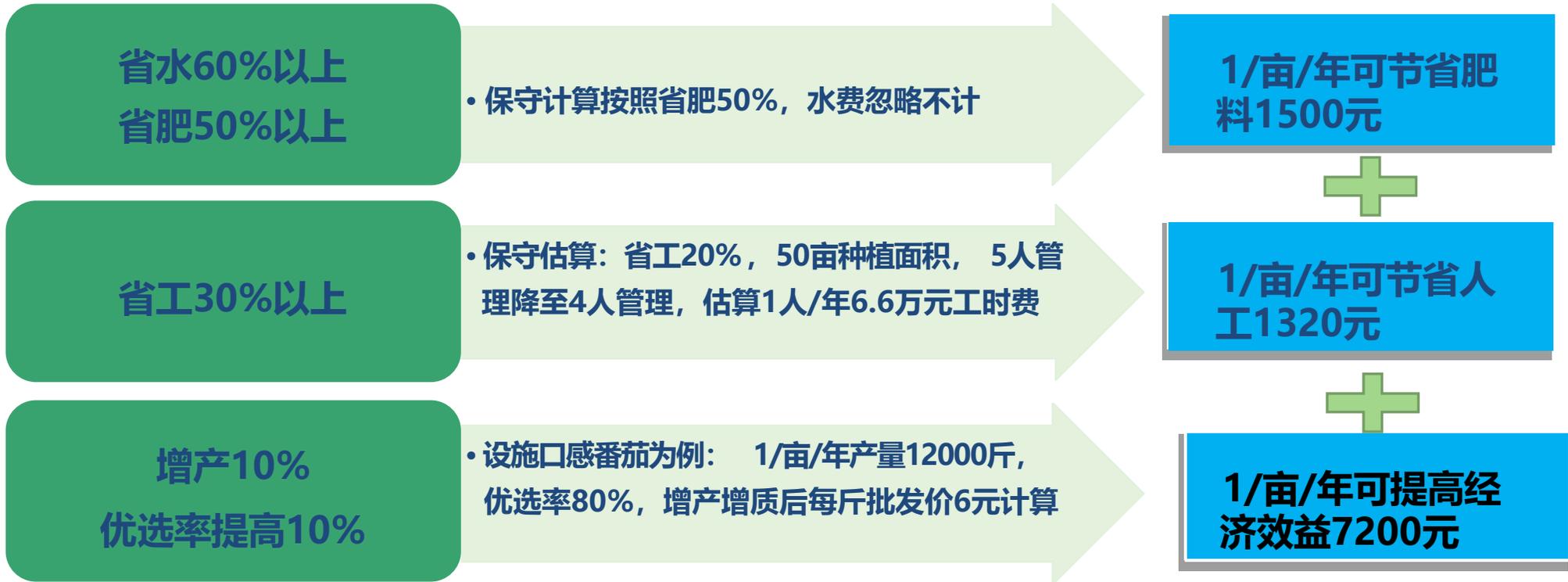
“一终端、多分区”的规模化管理

工控端、手机端、云端“三端同步”

- **精准化管理:** 水肥高效耦合、供需实时匹配;
- **轻简化栽培:** 全生育期无人值守运行;
- **标准化生产:** 有参数、可复制、易推广;

- **绿色化生产:** 投入有控制, 水肥可循环, 溯源有保障;
- **高值化产品:** 优质、高产、高效兼顾;
- **规模化经营:** 一平台、多终端的集群管理。

# 水肥机的应用带来的经济社会效益



经济效益： 降本增资效果明显

生态效益： 实现土地高效利用

社会效益： 缓解农业种植的人力短缺



# 報告內容

1. 回顧：“水肥耦合” 施用
2. 水肥機：“少量多次” 新突破
3. 有機水溶肥：多元功能拓展
4. 挑戰：蔬菜水肥需求模型

# 水肥一体化技术的发展为水溶性肥料提出的基本要求

- 溶液中养分浓度高
- 田间温度条件下能迅速、完全地溶于灌溉水中
- 不会阻塞过滤器和滴头：不溶物含量低最小
- 能与其它肥料混合，与灌溉水的相互作用很小
- 不会引起灌溉水pH的剧烈变化，对控制中心和灌溉系统的腐蚀性小

- 解决滴头堵塞问题
- 解决养分全面供应问题
- 解决低温或劣水质下速溶问题
- ....



# 考虑作物养分比例、有机肥的P、土壤中的K，选择大量元素水溶肥的追肥配方

## 生产番茄过程中追肥配方的选择

菜田	根层土壤肥力特点	有机肥	定植—开花追肥配方 N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O	开花—收获追肥配方 N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O
初始配方	----	----	----	17-7-26
露地菜田	N中等P中等K中等	有机肥施用一般	16-20-14	17-7-26
露地菜田	N中等P中等K中等	大量施用有机肥，如鸡粪	18-12-20	20-5-25
设施老菜田	NPK养分水平极高	有机肥施用一般	16-20-14	24-0-26

注：冬春茬/越冬长茬温度较低时，可适当增加配方中磷的比例

# 设施栽培条件下水肥一体化技术对功能水溶性肥料的需求

满足作物营养生长需求

营养型水溶性肥料

规模化种植

水溶性基础原料肥：UAN、一铵等；  
水溶性复合肥；  
完全水溶肥

小农户种植

水溶性复合肥；  
完全水溶肥（高氮、高磷、高钾与平衡型）等。

解决作物生产障碍问题

功能型有机水溶性肥料

叶面营养提质增效

中微量元素水溶肥：  
糖醇钙等。

低温弱光盐害干旱等

腐植酸水溶肥；含氨基酸、海藻酸水溶肥。

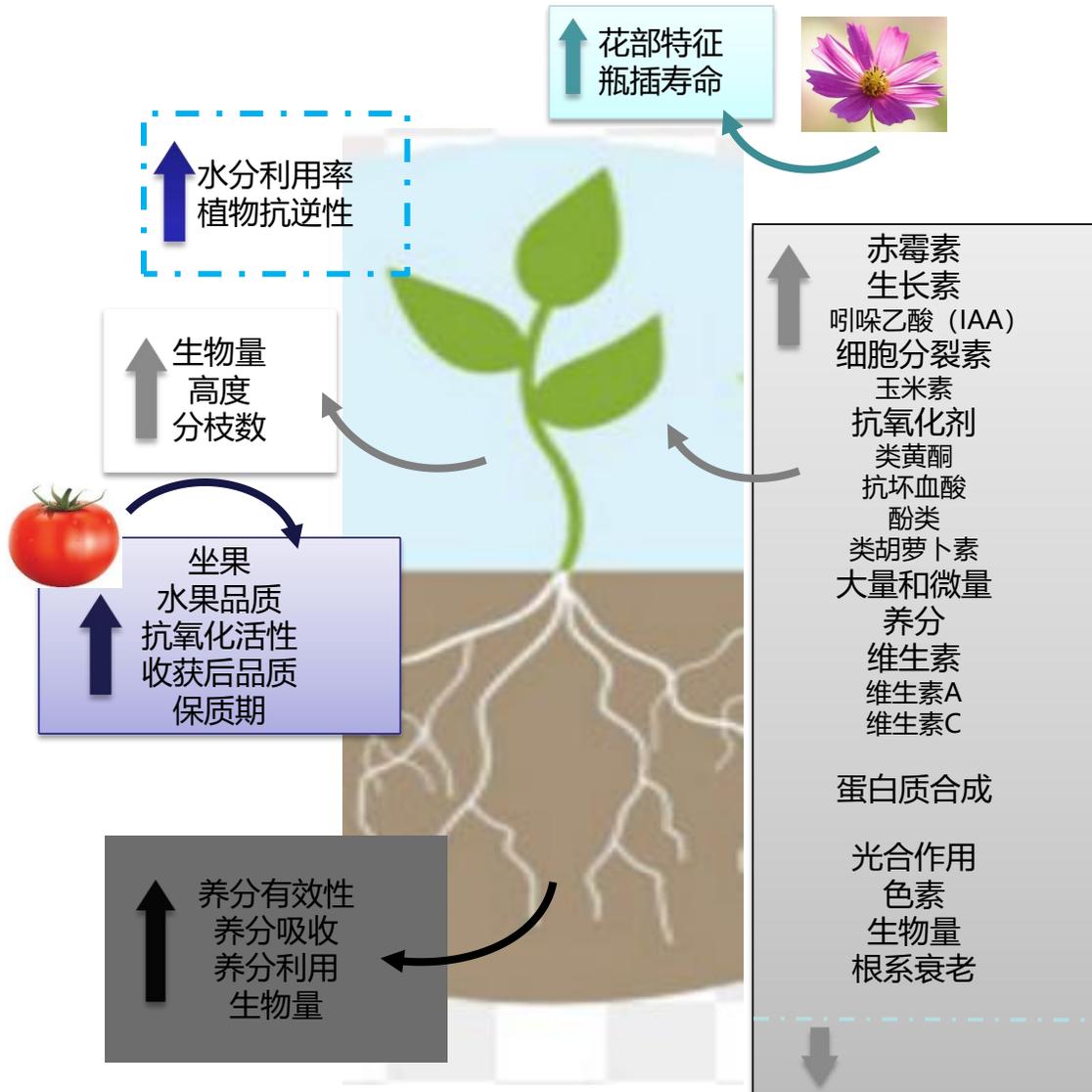
土传病害生物障碍

有机液体生物肥、含腐植酸水溶肥料等。



# 有机水溶肥在作物抗逆、促生、增产和提质方面作用

功能性的增效物质（腐植酸、海藻酸、氨基酸、微生物菌剂等）



1. 增加植物抗逆性和抵御非生物因素的胁迫（抗盐碱、抗低温、抗高温、抗干旱等），促进根系发育；
2. 调节和改善植物体内水分，促进营养物质的吸收，运转和使用，避免营养物质的渗出、流失或损失，
3. 提高农产品的质量属性，包括糖度，颜色等。
4. 提高土壤的理化性质，促进土壤有益微生物的发展，保护和改善土壤健康，提高土壤保水效果

- 有机水溶肥何时产生功效？
- 有机水溶肥给作物带来的益处是什么？
- 有机水溶肥的作用方式是什么？
- 有机水溶肥如何促进作物对营养物质的吸收、运转和利用？



# 報告內容

1. 回顧：“水肥耦合”施用
2. 水肥機：“少量多次”新突破
3. 有機水溶肥：多元功能拓展
4. 挑戰：蔬菜水肥需求模型

# 水肥机和精细水肥管理案例的推广面临一个问题

栽培模式



土壤栽培



椰糠栽培



河砂栽培



袋装栽培

管理作物



甜瓜



贝贝南瓜



西瓜



辣椒

应用地点



重庆奉节



山东寿光



内蒙古通辽



云南昆明



山东昌乐



山东寒亭

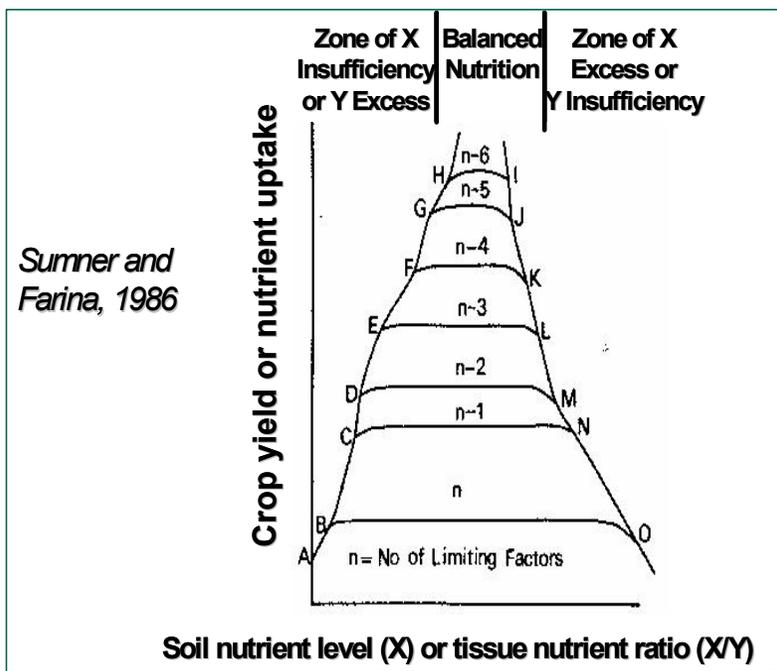
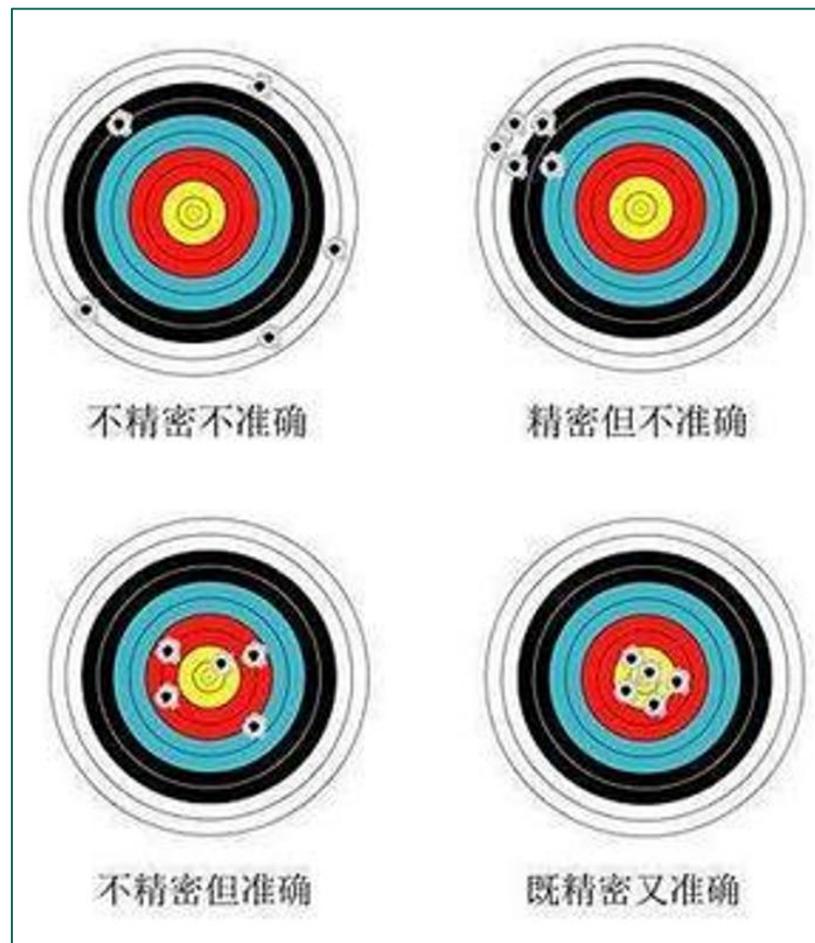
精准策略?

高效产品

智能装备

及时服务

# 精准水肥一体化管控的挑战



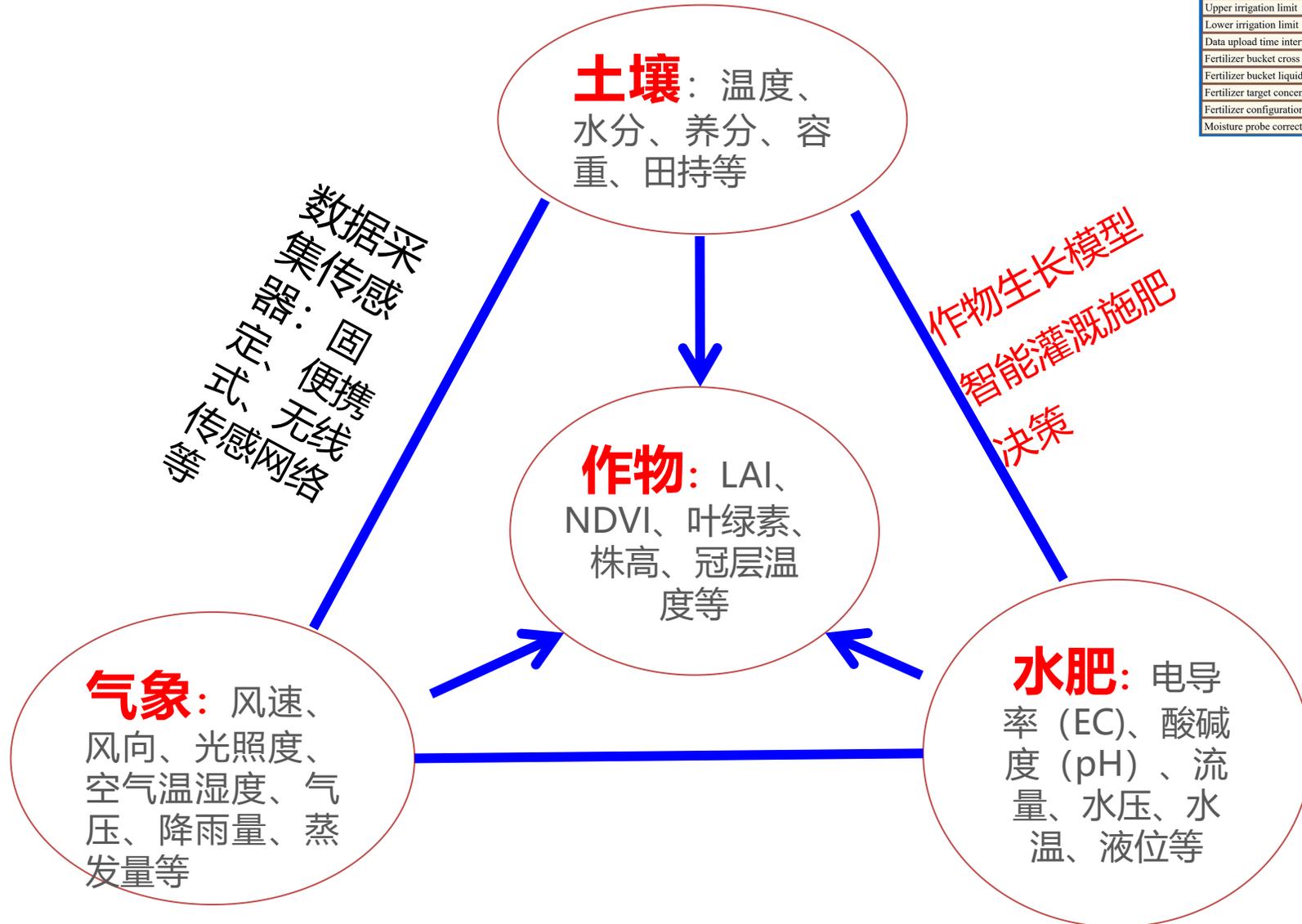
精与准 → 技到艺



测的精 (监测)、算的准 (策略)、控的稳 (装备)

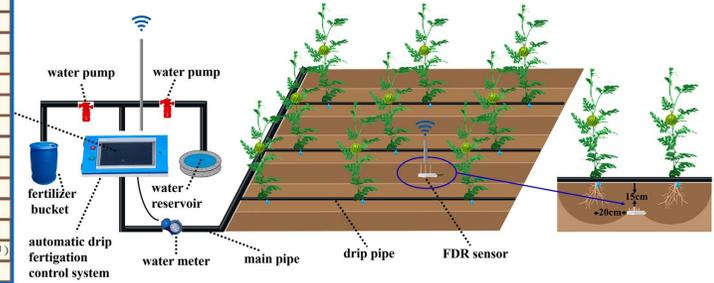
# 研发基于水肥需求模型基础上的灌溉施肥决策系统

## 肥决策系统



The parameters of the control system

Soil type
Irrigated fertilizer aera (m <sup>2</sup> )
Planned wetting depth (m)
Bulk density (kg m <sup>-3</sup> )
Wet ratio (%)
Field capacity (%)
Upper irrigation limit (%)
Lower irrigation limit (%)
Data upload time interval (min)
Fertilizer bucket cross profile aera (m <sup>2</sup> )
Fertilizer bucket liquid range (m)
Fertilizer target concentration (mmol L <sup>-1</sup> )
Fertilizer configuration concentration (mol L <sup>-1</sup> )
Moisture probe correction coefficient



现代水肥一体化技术通过实时自动采集作物生长环境参数和作物生育信息参数，通过模型构建耦合作物与环境信息，智能决策作物的水肥需求，通过配套施肥系统，实现水肥一体精准施入，大大提高灌水和肥料的利用效率。

# 国家重点研发计划—中国和欧盟政府间科技合作项目 中欧基于自然解决方案的农业营养管理国际合作

来帮助引入荷兰、西班牙、希腊的专家决策系统 (DSS)

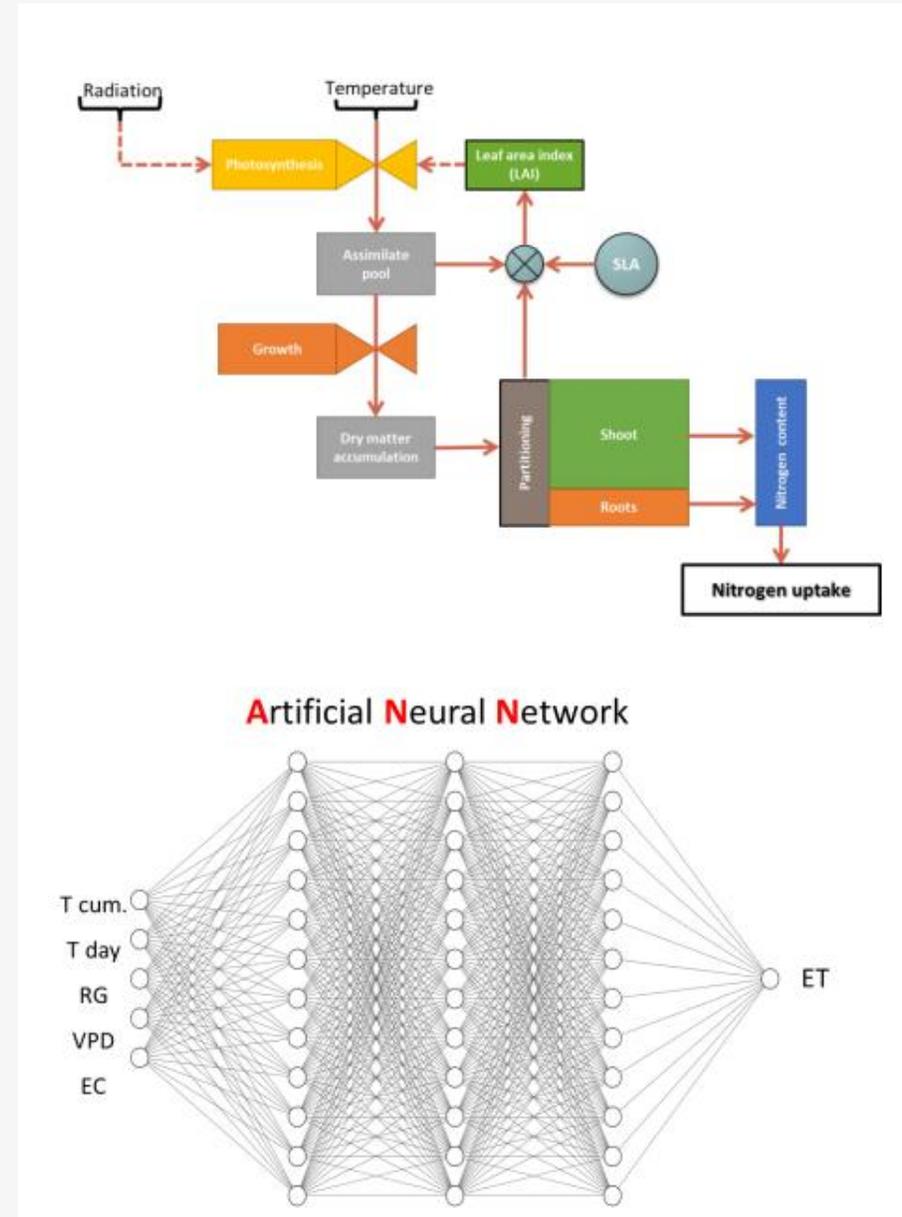
Innovative concepts and technologies for ecologically sustainable nutrient management in agriculture aiming to prevent, mitigate and eliminate pollution in soils, water, and air



# 用于作物营养和灌溉的精准农业：作物模型和决策支持系统

## 荷兰的DSS

- **目标**
  - 水和养分供应
  - 提前预测植物需求
  - 在DSS中集成传感器和模型以实现更稳定的控制
- **方法和工具**
  - 开发施肥的机理和经验模型
  - 灌溉和施肥
  - 机器学习模型
  - 用于环境监测的传感器网络
- **主要成就和展望**
  - 叶菜和果菜的植物营养模型
  - 温室番茄蒸散模型
  - 无土番茄施肥模型 (Sim1Hydro)
  - 许多露地蔬菜施肥模型 (CAL-FERT)

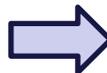


# 水肥一体化，也是省力化、高效化、生态化的代名词

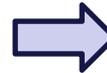
有机物种类和施用量及替代  
化肥量、有机水溶性肥料



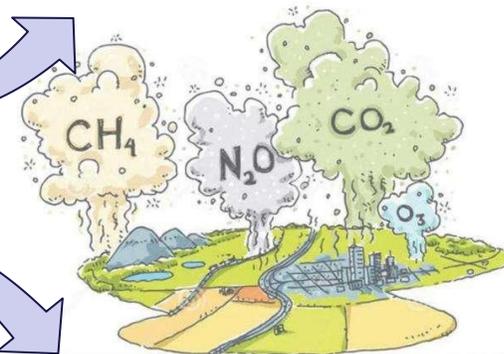
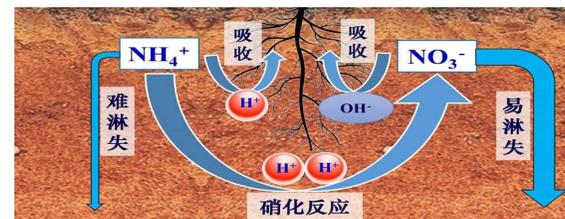
DSS灌溉装备  
平台



实现智能精准  
施肥管理



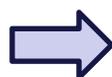
阐明减少氨挥发、GHG 排放  
和氮磷淋失的作用机制



氮磷增效功能  
肥料



智能精准施肥  
管理



功能肥料耦合水肥精准  
调控集成技术与产品





**谢谢!** 联系方式: 13126678192