



中国通量观测研究联盟

ChinaFLUX

**LI-COR**<sup>®</sup>

# 生物气象测量及传感器介绍





# 主要内容



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX

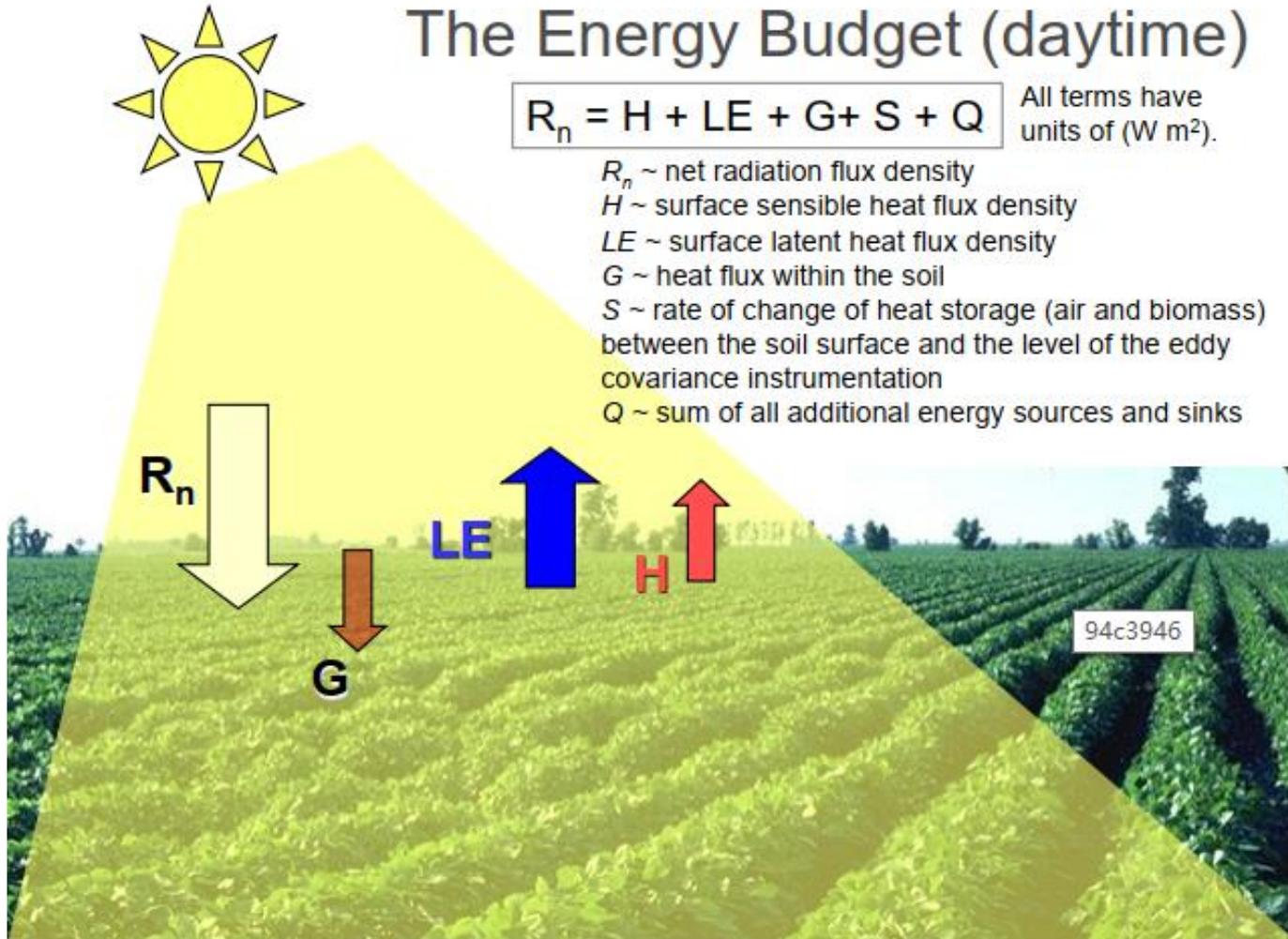
- 1 Biomet气象系统的必要性
- 2 Biomet气象系统组成
- 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项



**LI-COR**

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 能量平衡验证



## 能量平衡验证

$$R_n = H + LE + G + S + Q$$

$R_n$ : 净辐射

$H$ : 地表显热

$LE$ : 地表潜热

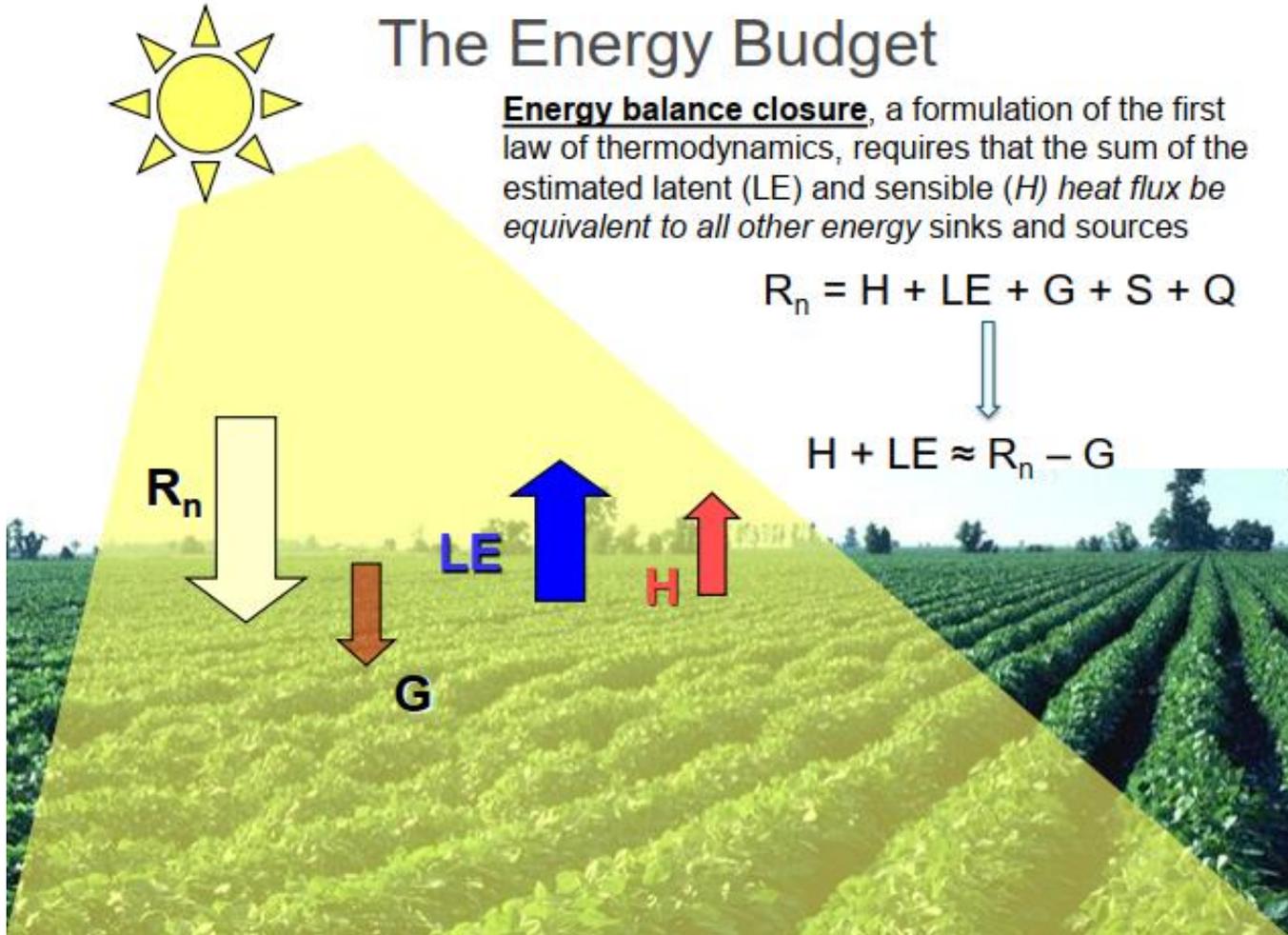
$G$ : 土壤热通量

$S$ : 热存储

$Q$ : 其他的源和汇

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 能量平衡验证



### 能量平衡验证

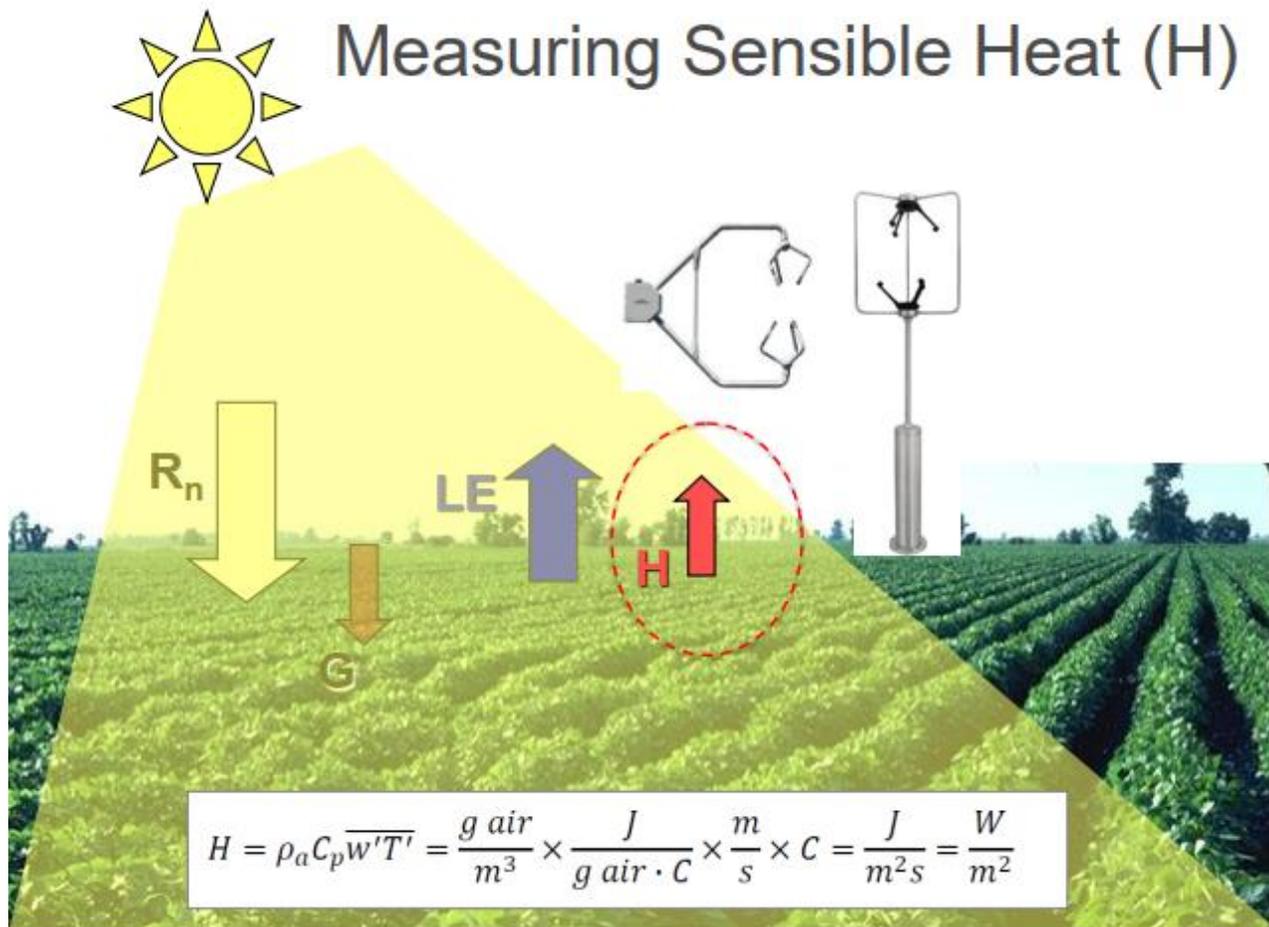
$$R_n = H + LE + G + S + Q$$



$$H + LE \approx R_n - G$$

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 能量平衡验证

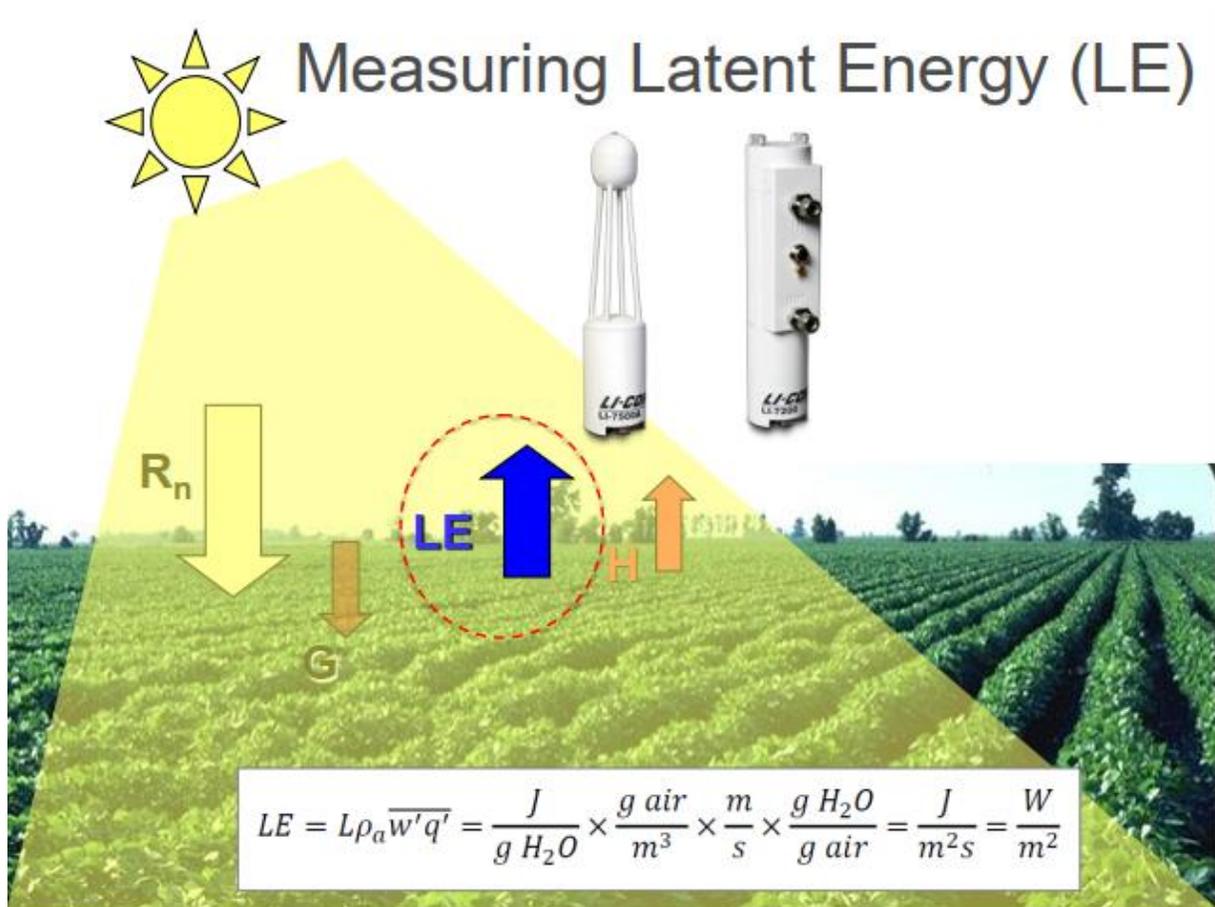


### 显热H的计算

- 测量仪器：超声风速仪
- 计算变量：  
垂直风速w，空气温度T
- 高频采集：10Hz

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 能量平衡验证

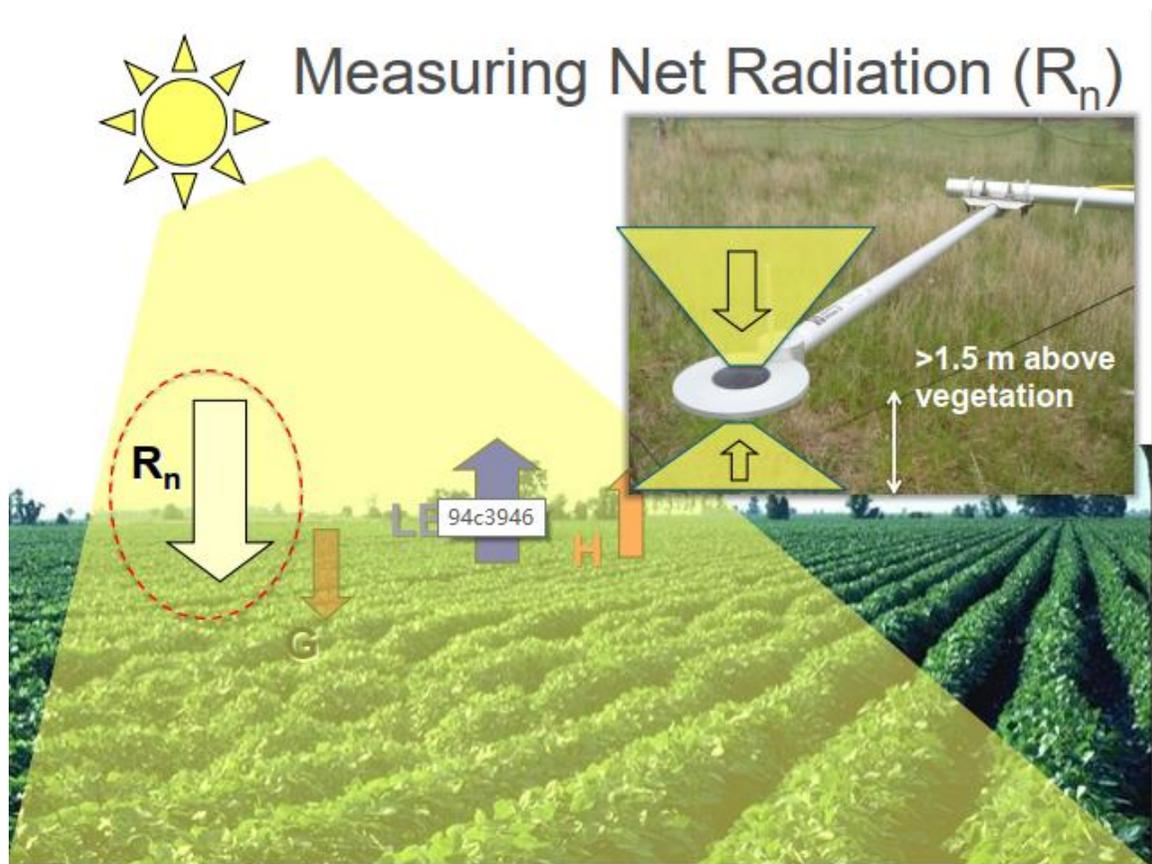


### 潜热LE的计算

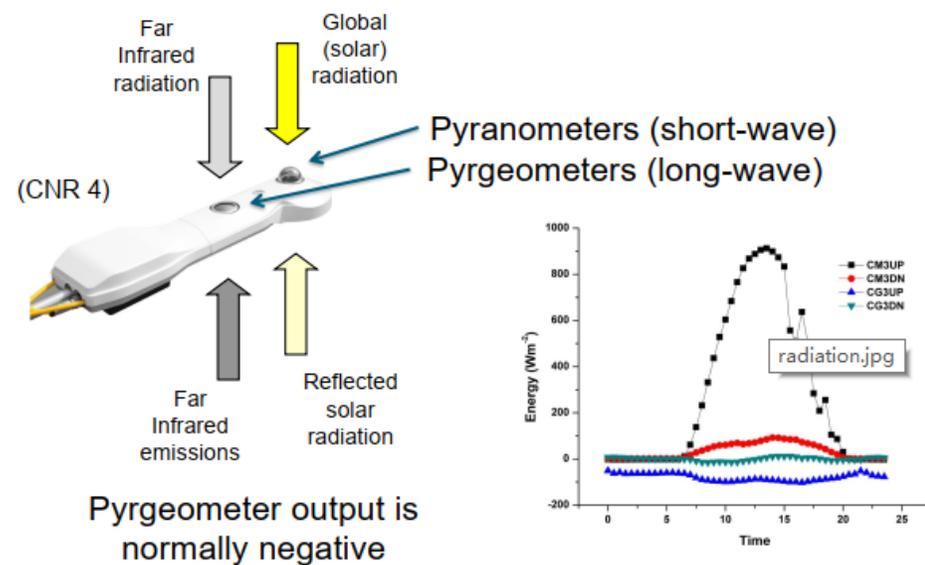
- 测量仪器：  
超声风速仪、H<sub>2</sub>O分析仪
- 计算变量：  
垂直风速w，H<sub>2</sub>O浓度等
- 高频采集：10Hz

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 能量平衡验证



Four component ~ Incoming and Reflected Short-wave and Downward and Upward Long-wave



能量平衡验证

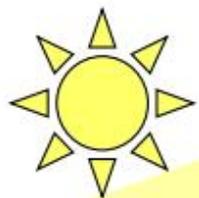
净辐射

测量原理：热电堆

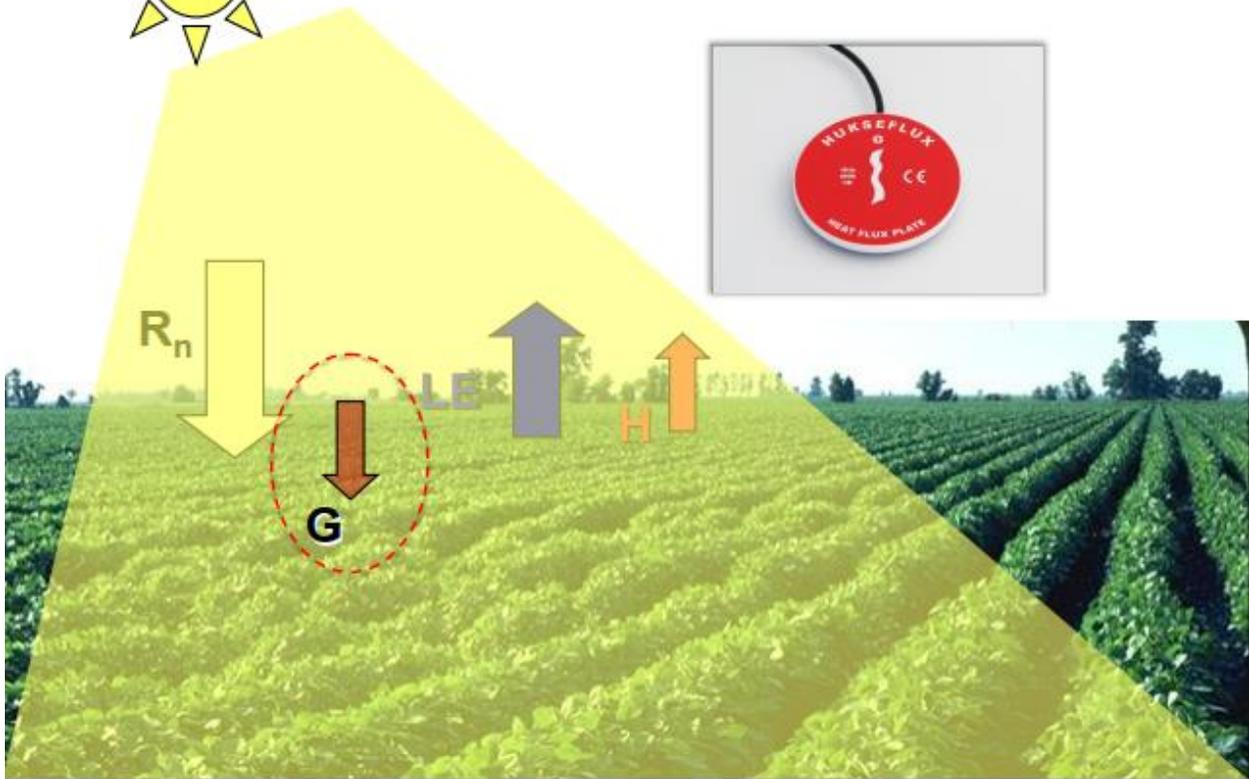
型号：CNR4, NR01, NR-Lite

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 能量平衡验证



### Measuring Soil Heat Flux (G)



### Soil Heat Flux Plates

- Hukseflux HFP01 or HFP01SC
- Thermopile measures direction and magnitude of heat transfer through soil
- Typical values: -100 to +300 W/m<sup>2</sup>

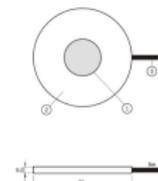


Figure 2 HFP01 heat flux plate dimensions:  
(1) sensor area, (2) guard of ceramics-plastic composite, (3) cable, standard length is 5 m.  
All dimensions are in mm.

能量平衡验证

土壤热通量板

测量原理：热电堆

型号：HFP01或HFP01SC

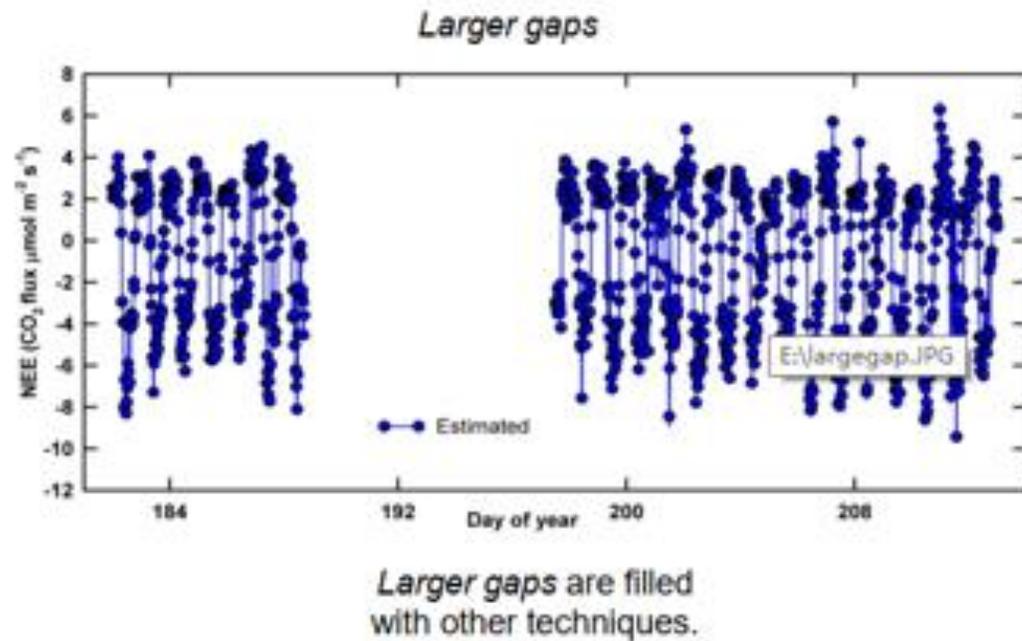
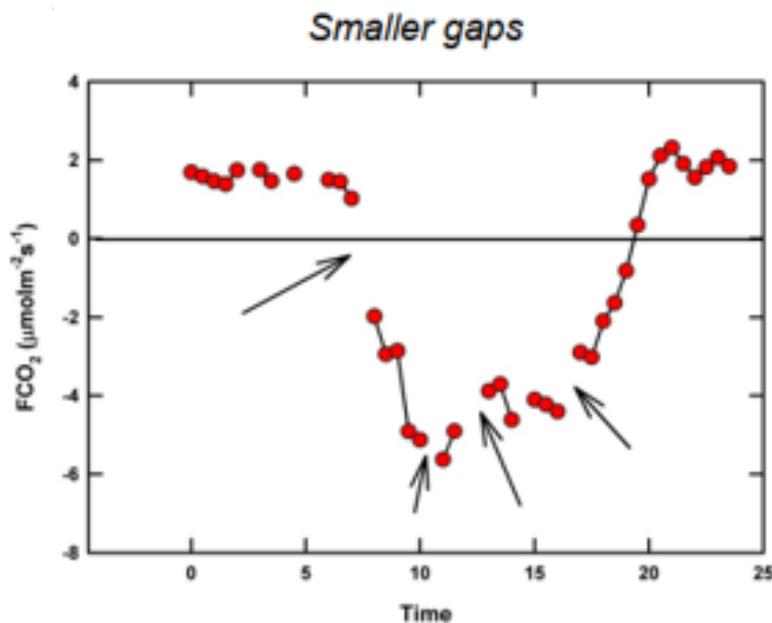
典型值：-100-300 W/m<sup>2</sup>

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 通量数据插补

### 缺失原因

- 降雨导致
- 数据质量控制 (  $U^*$  , 异常值剔除等)
- 仪器故障
- 供电故障



### 数据插补方法

- 短时数据缺失: 差值法
- 长时数据缺失: 其他方法

# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 通量数据插补

### 通量数据插补方法

- (1) 日均值法
- (2) 查表法
- (3) 人工神经网络法
- (4) 非线性回归

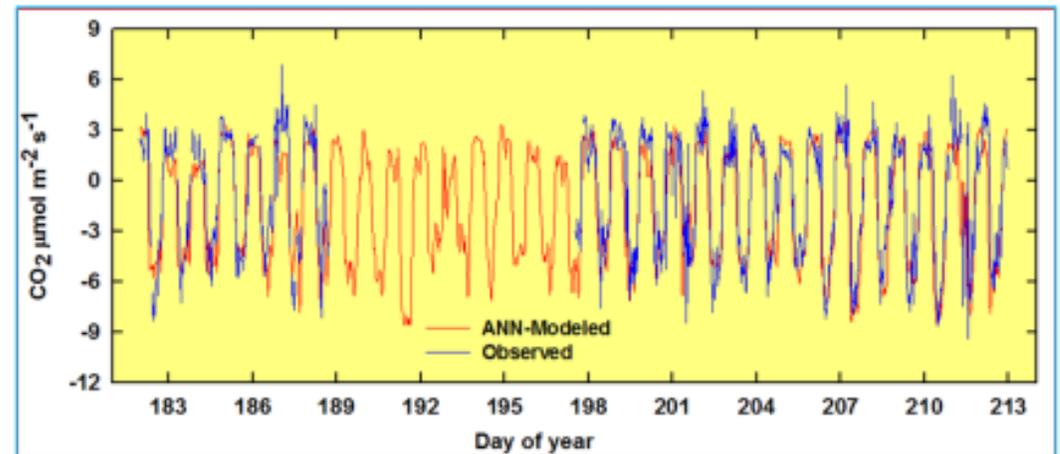
$$NEE = \left[ \frac{a \times PAR}{a/b + PAR} \right] + c \quad R_e = R_{T_{ref}} \exp \left[ \left( \frac{E_a}{T_{ref} \times R} \right) \times \left( 1 - \frac{T_{ref}}{T_{soil}} \right) \right]$$

- (5) 边际分布采样 (MDS)
- (6) 其他模型方法: 例如

CANOAK

### Neural Network example

- $CO_2$  Flux modeled using PAR
- Respiration modeled using  $T_s$



# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 通量数据插补

### 通量数据插补方法

- (1) 日均值法
- (2) 查表法
- (3) 人工神经网络法
- (4) 非线性回归

$$NEE = \left[ \frac{a \times PAR}{a/b + PAR} \right] + c$$

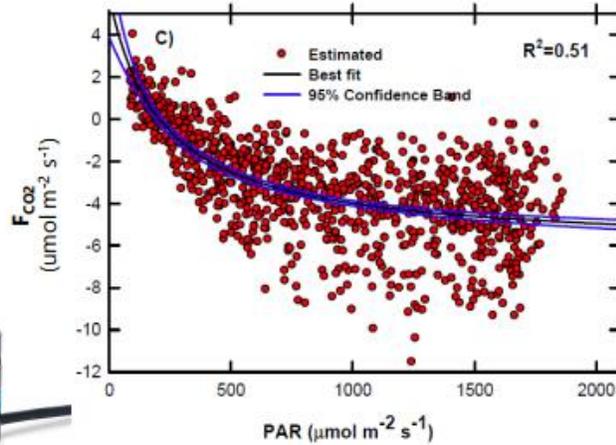
$$R_e = R_{T_{ref}} \exp \left[ \left( \frac{E_a}{T_{ref} \times R} \right) \times \left( 1 - \frac{T_{ref}}{T_{soil}} \right) \right]$$

- (5) 边际分布采样 (MDS)
- (6) 其他模型方法: 例如

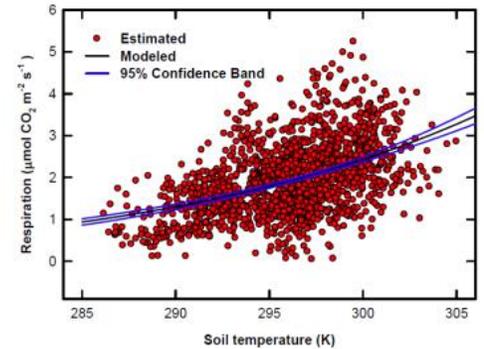
CANOAK



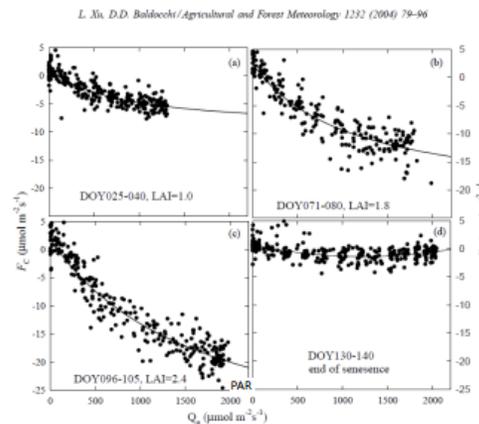
PAR and F<sub>CO2</sub> Relationship



Soil Temperature (Ts) & Respiration (R<sub>Eco</sub>) Relationship

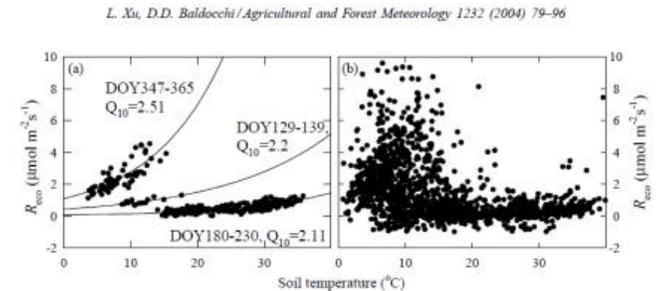


Seasonal relationships: PAR and CO<sub>2</sub> flux



$$F_c = \frac{F_{max} \alpha PAR}{\alpha PAR + F_{max}} + R_{eco}$$

Seasonal relationships: Soil Temperature and Respiration



$$F_c = b_0 \exp(bT_{soil})$$

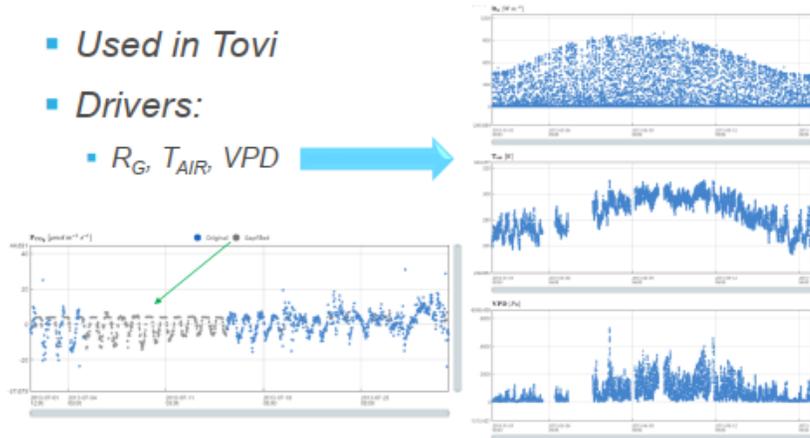
$$Q_{10} = \exp(10b)$$

# 1 Biomet气象系统的必要性

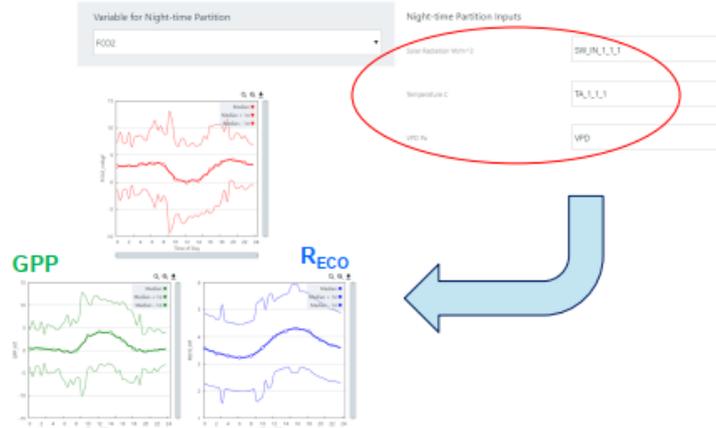
## ➤ 通量数据插补

### Marginal Distribution Sampling example

- Used in Tovi
- Drivers:
  - $R_G$ ,  $T_{AIR}$ ,  $VPD$



### Biomet used for Partitioning...



### 通量数据插补方法

- (1) 日均值法
- (2) 查表法
- (3) 人工神经网络法
- (4) 非线性回归

$$NEE = \left[ \frac{a \times PAR}{a/b + PAR} \right] + c \quad R_e = R_{Tref} \exp \left[ \left( \frac{E_a}{T_{ref} \times R} \right) \times \left( 1 - \frac{T_{ref}}{T_{soil}} \right) \right]$$

- (5) 边际分布采样 (MDS)

- (6) 其他模型方法: 例如

CANOAK



# 1 Biomet气象系统的必要性

## ➤ 数据质量控制及相关分析



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX

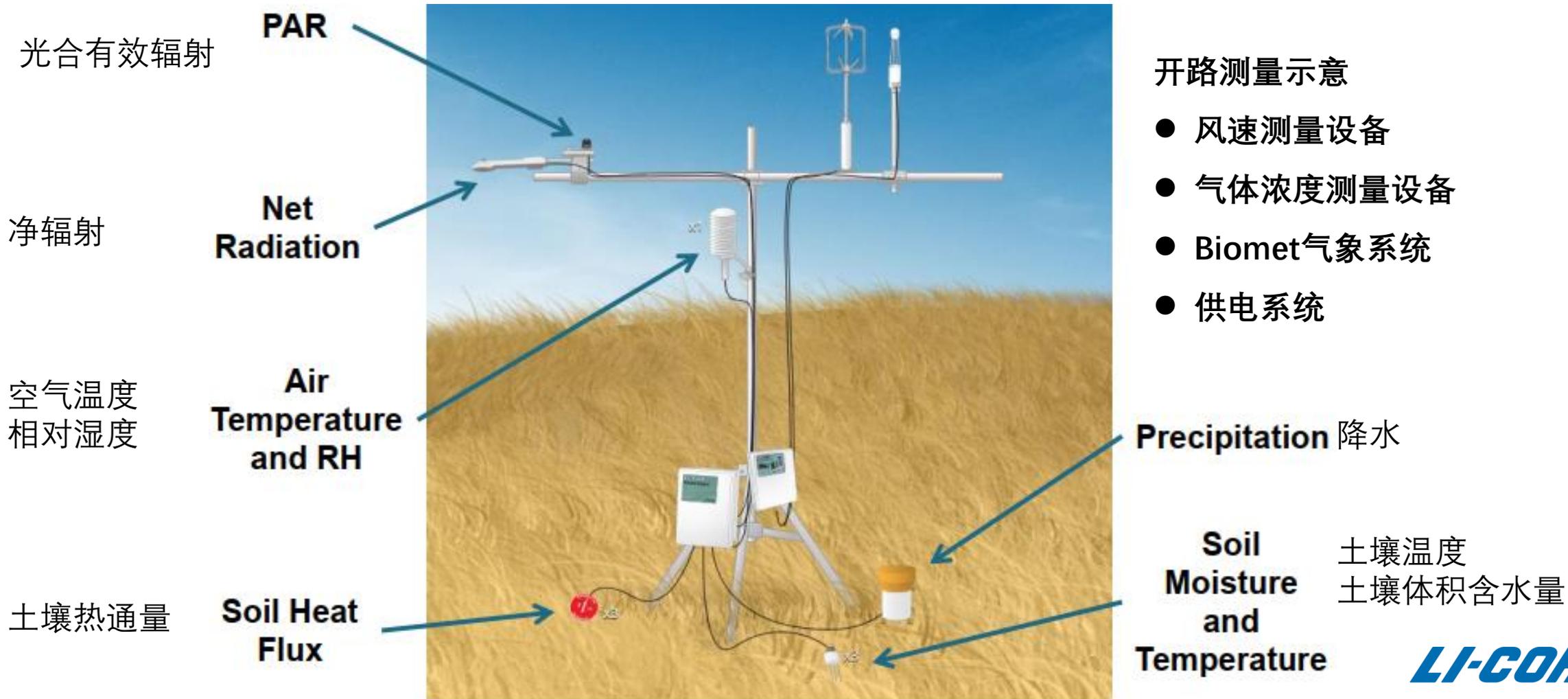
### 通量值异常？

- 环境要素因子辅助分析？降雨导致？

### 通量值分析与解释

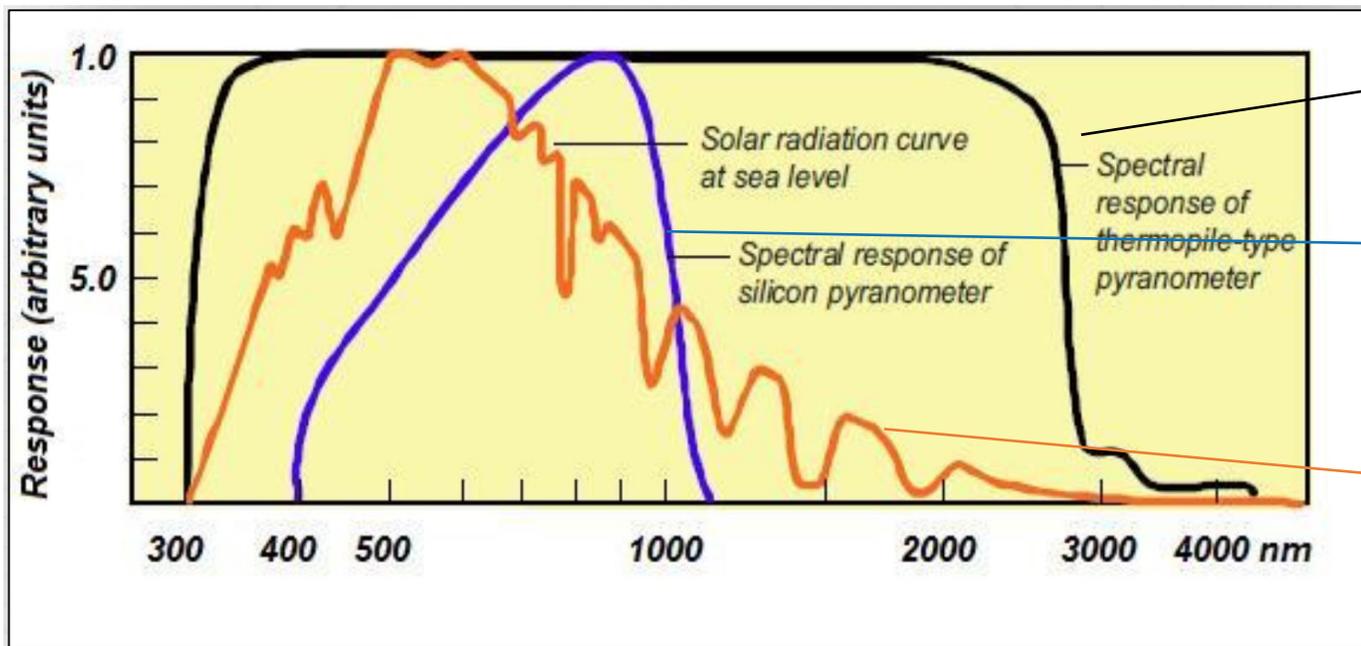
- 通量变化原因解释，环境要素因子相关分析等。
- 例如，通量的日变化规律，早晨通量由正值变为负值，随时间推移，绝对值逐渐增大，午后逐渐降低，同步观察光合有效辐射和总辐射，往往变现出一致的规律。原因：在变天，植物的光合作用，对于通量起到了主要作用。

## 2 Biomet气象系统组成



## 2 Biomet气象系统组成

### ➤ 辐射类传感器



热电堆辐射表光谱响应范围

硅光表光谱响应范围

海平面太阳辐射光谱分布

### 太阳辐射光谱范围

紫外光谱: 200 – 400 nm

可见光光谱: 400 – 700 nm

红外光谱: 700 – 4000 nm



## 2 Biomet气象系统组成

### ➤ 辐射类传感器



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX



LI-190R光合有效辐射传感器

光谱范围：400 - 700 nm



LI-200R总辐射传感器

光谱范围：400 - 1100 nm



## 2 Biomet气象系统组成

### ➤ 辐射类传感器



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX



**NR-Lite净辐射传感器**

光谱范围：0-100  $\mu\text{m}$

输出值：净辐射



**CNR4净辐射传感器**

短波光谱范围：300 to 2800 nm

长波光谱范围：4.5 – 42  $\mu\text{m}$

输出值：向下的短波辐射 (SWIN)，向上的短波辐射 (SWOUT)，  
向下的长波辐射 (LWIN)，向上的长波辐射 (LWOUT)

净辐射  $R_n = \text{SWIN} - \text{SWOUT} + \text{LWIN} - \text{LWOUT}$



**NR01净辐射传感器**

短波光谱范围：285 to 3000 nm

长波光谱范围：4.5 – 40  $\mu\text{m}$

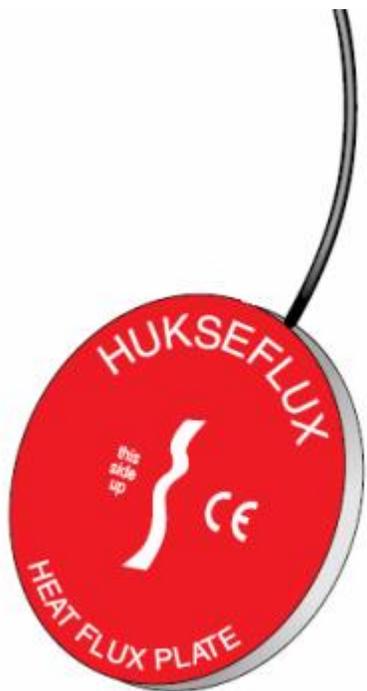


## 2 Biomet气象系统组成

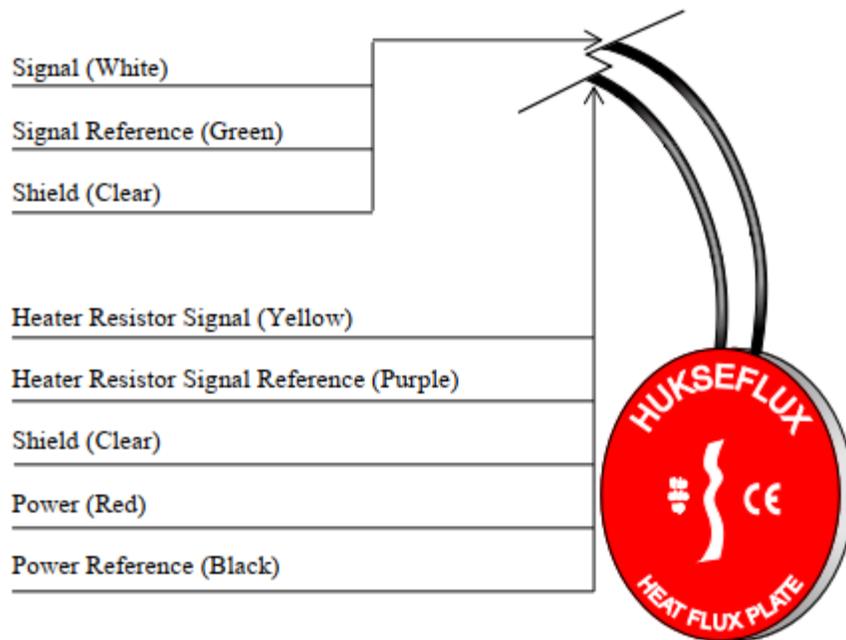
### ➤ 土壤热通量板



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX



HFP01热通量板



HFP01-SC热通量板

带自标定功能

## 2 Biomet气象系统组成

➤ 土壤温度、土壤水分传感器



TEROS12, GS3土壤水分传感器



Hydro Probe土壤水分传感器



CS655 土壤水分传感器

## 2 Biomet气象系统组成

### ➤ 空气温湿度传感器



HMP155A空气温湿度传感器



### HMP155A传感器安装

辐射罩作用:

- (1) 通风
- (2) 防辐射



## 2 Biomet气象系统组成

### ➤ 降水传感器



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX



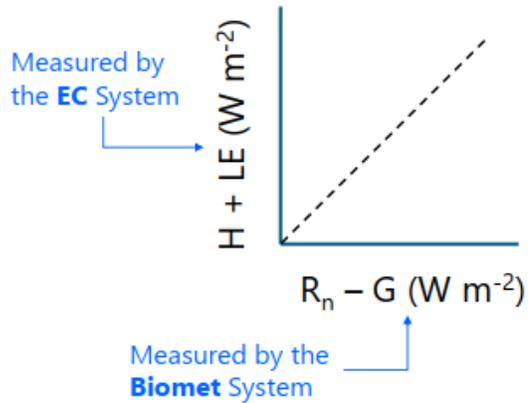
TR525翻斗式雨量筒



T200B称重式雨量筒

# 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项

## ➤ 能量不闭合分析及传感器安装注意事项



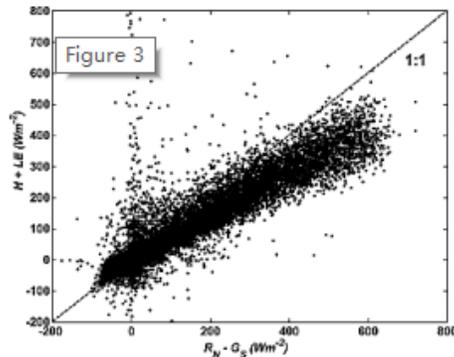
**Ideal closure** is represented by a slope of 1 and an intercept of 0.

理想情况

斜率: 1

截距: 0

**Realistic (measured) closure**



**If not ideal:**

- Sampling errors?
- Systematic biases?
- Neglected energy sinks?
- Other?

实际情况

斜率: < 1,

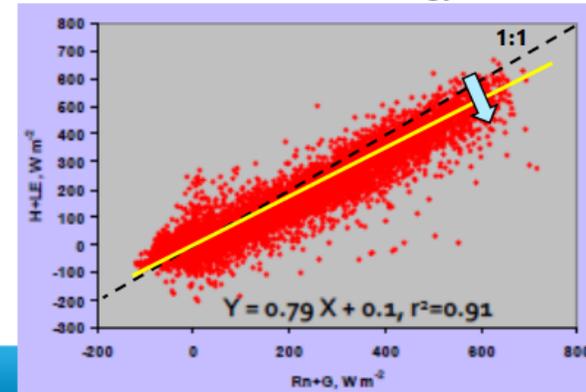
一般在

0.6-0.9

Using Energy Balance Closure...

- ▶ Quality Assurance and Quality Checking (QA/QC)
  - ▶ From many studies (i.e., FLUXNET), a general concern has developed because surface energy fluxes ( $LE + H$ ) are frequently (but not always) underestimated by about 10–30% relative to estimates of available energy flux ( $R_n - G - S$ ).

▶ Why is this?



能量平衡验证

### 能量平衡验证

不闭合原因

示例

传感器采样

传感器测量范围不同

仪器偏斜

净辐射传感器偏斜

忽略的能量源

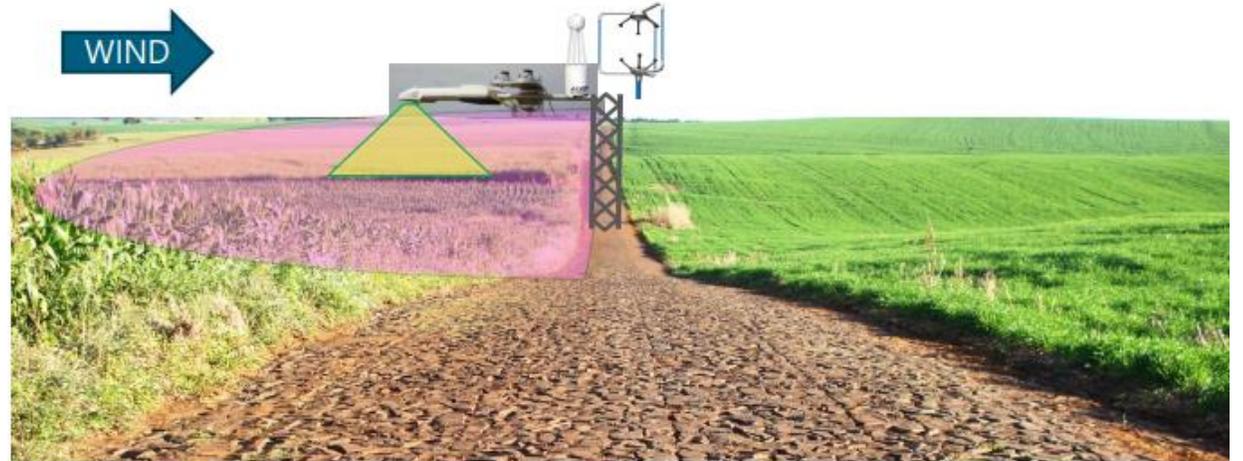
热通量板以上的热量存储

高频、低频损失

传感器分离/大湍流

平流影响

局部循环



### 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项

#### ➤ 能量不闭合分析及传感器安装注意事项

## 能量平衡验证

不闭合原因

示例

传感器采样

传感器测量范围不同

仪器偏斜

净辐射传感器偏斜

忽略的能量源

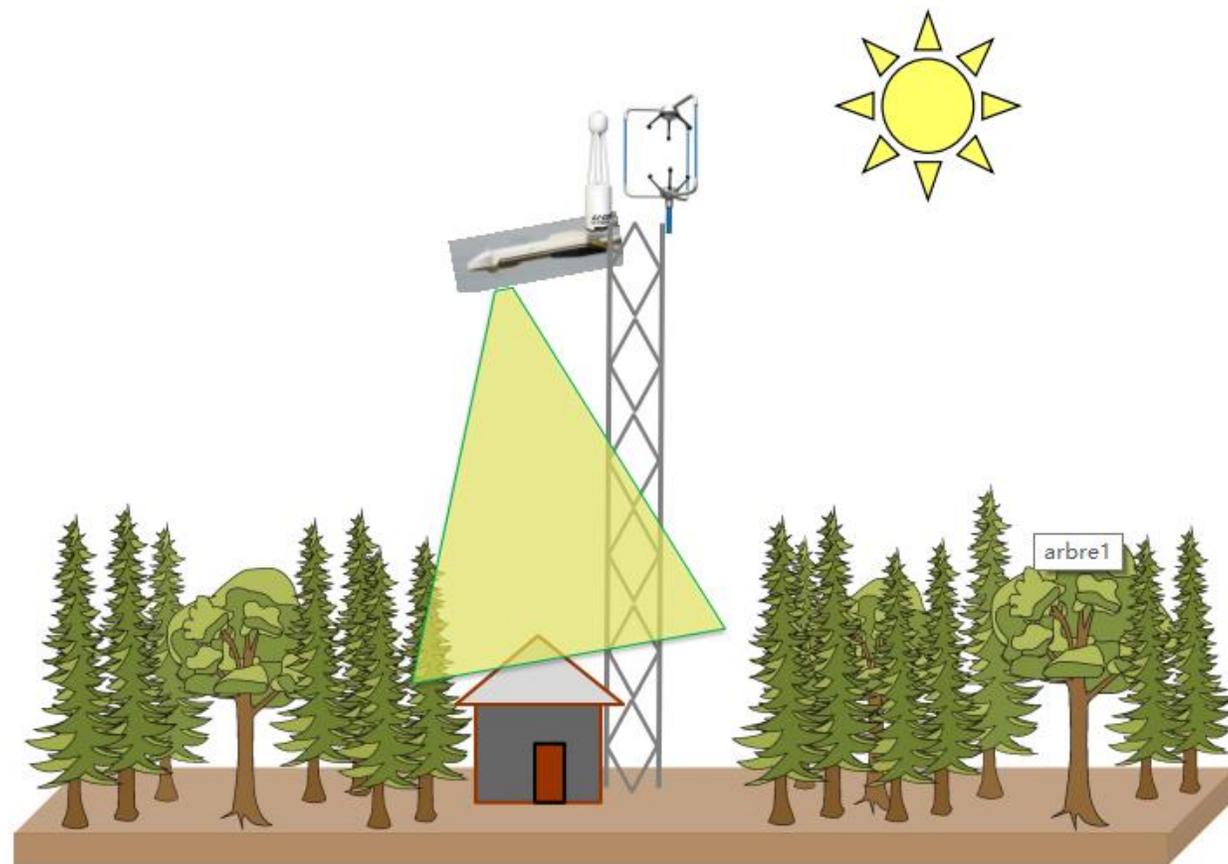
热通量板以上的热量存储

高频、低频损失

传感器分离/大湍流

平流影响

局部循环



### 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项

#### ➤ 能量不闭合分析及传感器安装注意事项

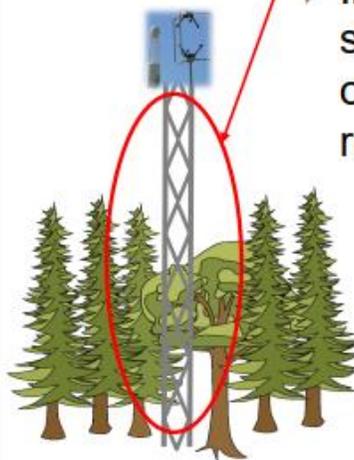
## 能量平衡验证

不闭合原因	示例
传感器采样	传感器测量范围不同
仪器偏斜	净辐射传感器偏斜
忽略的能量源	热通量板以上的热量存储
高频、低频损失	传感器分离/大湍流
平流影响	局部循环

## Role of canopy heat storage...

- ▶ Tall vegetation sites ( $h > 8\text{m}$ ) based on 26 site-years of data:

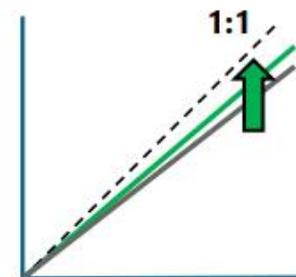
- ▶ 'S' is the rate of change of heat storage between the soil surface and the level of the eddy covariance instrumentation
- ▶ Including 'S' in the regressions for these sites *increased* the slope by an average of 7%, which is why forested sites are recommended to report S.



From the Energy Balance Eqn:

$$R_n = H + LE + G + S + Q$$

$$R_n - G - S \approx H + LE$$



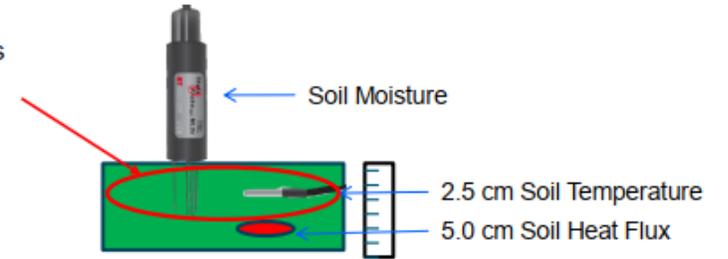
冠层是否有存储?

### 能量平衡验证

不闭合原因	示例
传感器采样	传感器测量范围不同
仪器偏斜	净辐射传感器偏斜
忽略的能量源	热通量板以上的热量存储
高频、低频损失	传感器分离/大湍流
平流影响	局部循环

### Estimating Heat Storage in the Soil (between Heat flux plates and surface)

Heat stored above heat flux plates can be estimated using information on soil properties and soil temperature and moisture.



$S$  = Storage Term ( $W m^{-2}$ )

$$S = \frac{\Delta T_s C_s d}{t}$$

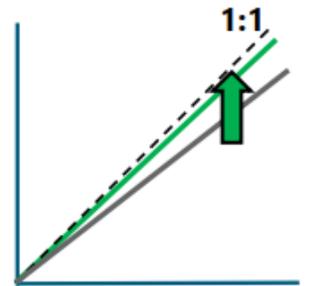
$\Delta T_s$  = Change in soil temperature over flux averaging interval  $t$   
 $d$  = depth of the Soil Temperature  
 $C_s$  = Heat capacity of moist soil

$$C_s = \rho_b C_d + \theta_v \rho_w C_w$$

$\rho_b$  = soil bulk density ( $Kg/m^3$ ),  $C_d$  = heat capacity of dry mineral soil ( $J Kg^{-1} K^{-1}$ )  
 $\theta_v$  = volumetric water content ( $m^3 m^{-3}$ ),  $C_w$  = heat capacity of water

**Soil Heat Flux at Surface = Measured Soil Heat Flux + Storage Term (S)**

- For grasslands, agricultural and chaparral sites, corrected soil heat flux ( $G$ ) increases the average slope by about **20%**. Corrected soil heat flux has much less impact at the forested sites, where the average slope increased by only **3%**.



热通量板到土壤表面是否有存储？如何计算？



### 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项

#### ➤ 能量不闭合分析及传感器安装注意事项



中国通量观测研究联盟

ChinaFLUX

#### 辐射传感器安装及维护注意事项

- 每个辐射传感器有相对应的**校准系数**，确保准确
- 辐射传感器应安装到主塔的正南方并且**正南方**不能有遮挡物，防止阴影对辐射测量的影响；
- 如果安装到三脚架上，辐射传感器应安装到两个支脚之间保障下垫面无干扰障碍物。
- 辐射传感器安装应**调节水平**，用箱内自带的内六角进行调节。
- **维护**：辐射传感器表面灰尘应进行**清洁维护**，以保证数据质量



### 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项

- 能量不闭合分析及传感器安装注意事项



中国通量观测研究联盟  
ChinaFLUX

#### 土壤水分传感器安装及维护注意事项

- 传感器至少至于土壤表面以下3cm
- 保证传感器与土壤**紧密接触**，土壤与传感器之间不要有气泡
- 避免传感器测量范围内土壤**填充物**对于读数造成的影响
- 远离金属，避免**金属**对于传感器介电常数测定造成的影响
- 对于安装方位没有要求，但是传感器平面垂直于**土壤剖面**可以减小**水分迁移**对于读数造成的影响



### 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项

#### ➤ 能量不闭合分析及传感器安装注意事项



中国通量观测研究联盟

ChinaFLUX

#### 土壤水分传感器安装及维护注意事项

- 对于硬度较大的土壤，不宜强制插入传感器，可先使用其他片状锐利工具或先将土壤湿润，再安装传感器
- 土壤回填时，应尽量保证**土壤容重**不发生改变，且传感器头部**连接线**不能有明显的直角（避免连接处受力，内部线缆折断）
- 去除传感器时，不要直接拉拽连接线，以免造成内部线路的断路
- 清洁传感器时，不要直接用手触摸，保证没有油类及其他非导电类物质残留



### 3 Biomet气象传感器安装及维护注意事项

#### ➤ 能量不闭合分析及传感器安装注意事项



中国通量观测研究联盟

ChinaFLUX

#### 土壤热碳通量板安装注意事项

- 每个热通量板有相对应的**标定系数**，安装时确保正确
- **红色面朝上，蓝色面朝下**
- 尽量保持**水平**

#### 雨量筒安装注意事项

- 雨量筒内部的翻斗在为了防止运输过程中的晃动，缠上了一个**橡皮筋**固定，在安装地点使用的时候请务必去掉
- 尽量保持水平
- 维护：承雨口保持**清洁**，注意清洁过滤网，防止阻塞

# 感谢各位老师的聆听

Thank you for listening



中国通量观测研究联盟

ChinaFLUX



- 北京力高泰科技有限公司      电话：010-64093960
- 传真：010-66001652      邮编：100035
- 电子邮件：[hongming@ecotek.com.cn](mailto:hongming@ecotek.com.cn)
- 地址：北京市西城区西直门南大街2号成铭大厦A座22F