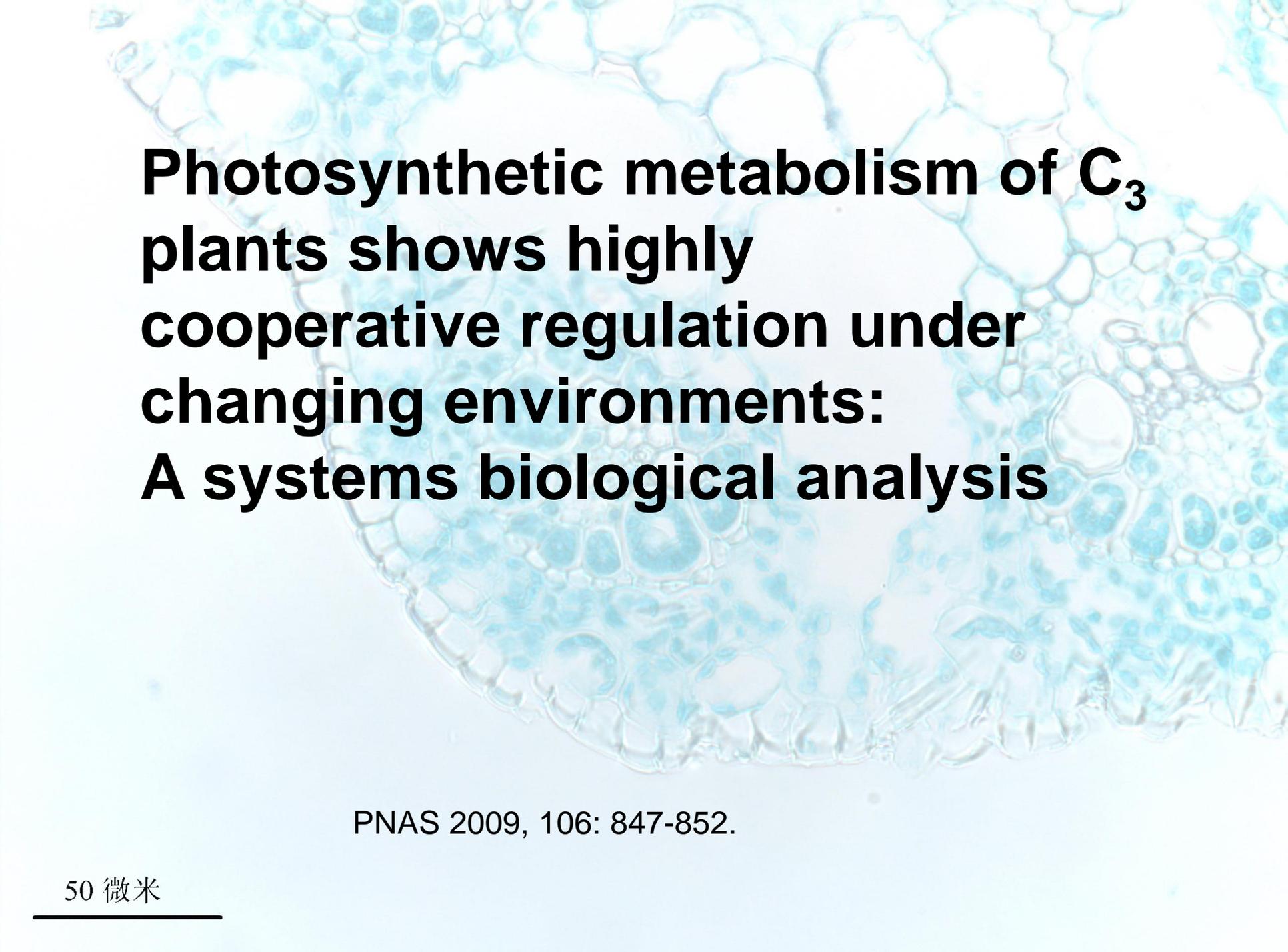


C_3 植物光合代谢的协同调控

报告人：吴杰敏

专 业：遗传学

50 微米

A light micrograph of a C3 plant leaf cross-section, stained with a blue dye. The image shows a network of cells, including large, thin-walled mesophyll cells and smaller, thick-walled guard cells forming stomata. The overall structure is highly organized and interconnected.

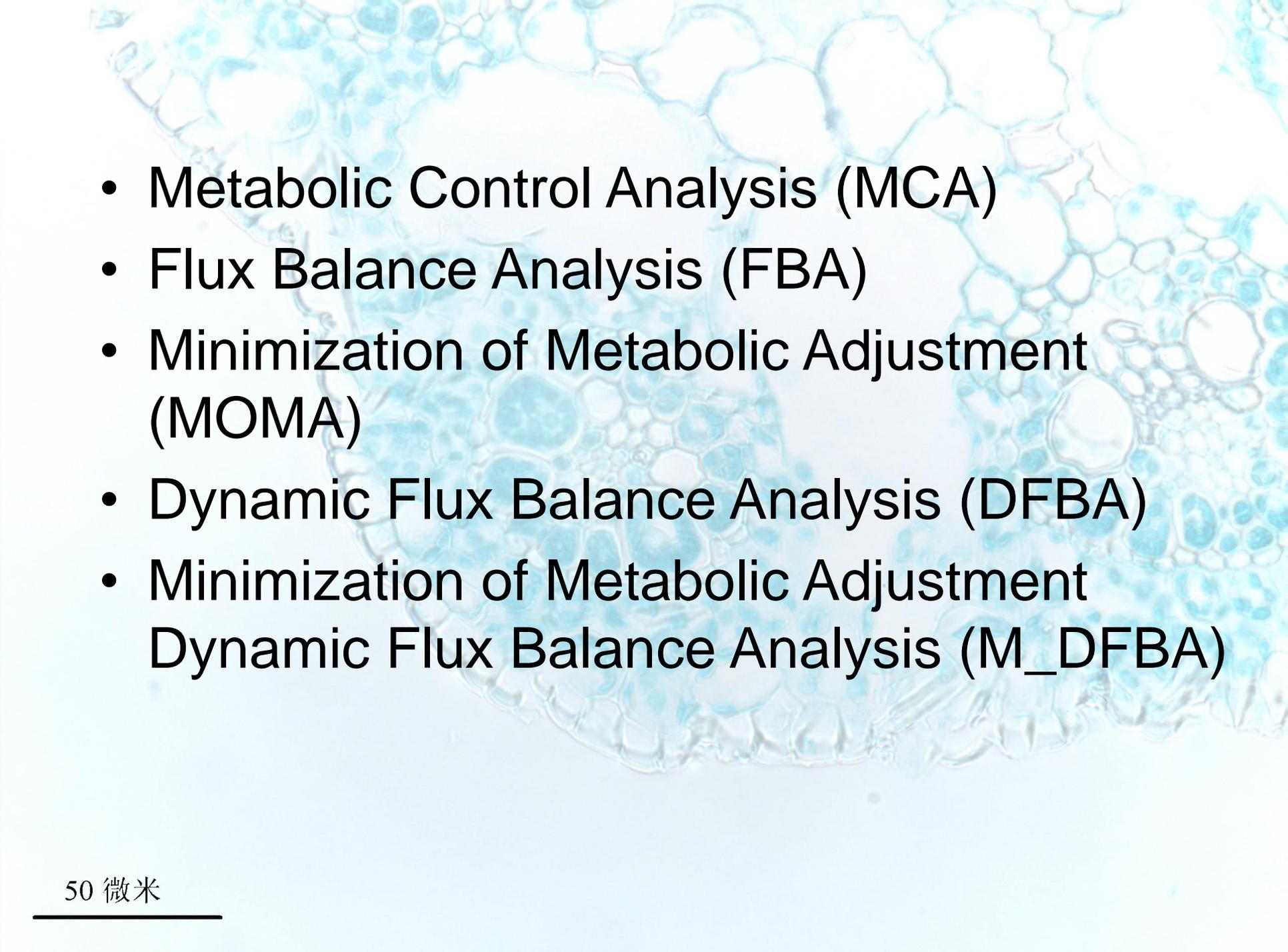
**Photosynthetic metabolism of C_3 plants shows highly cooperative regulation under changing environments:
A systems biological analysis**

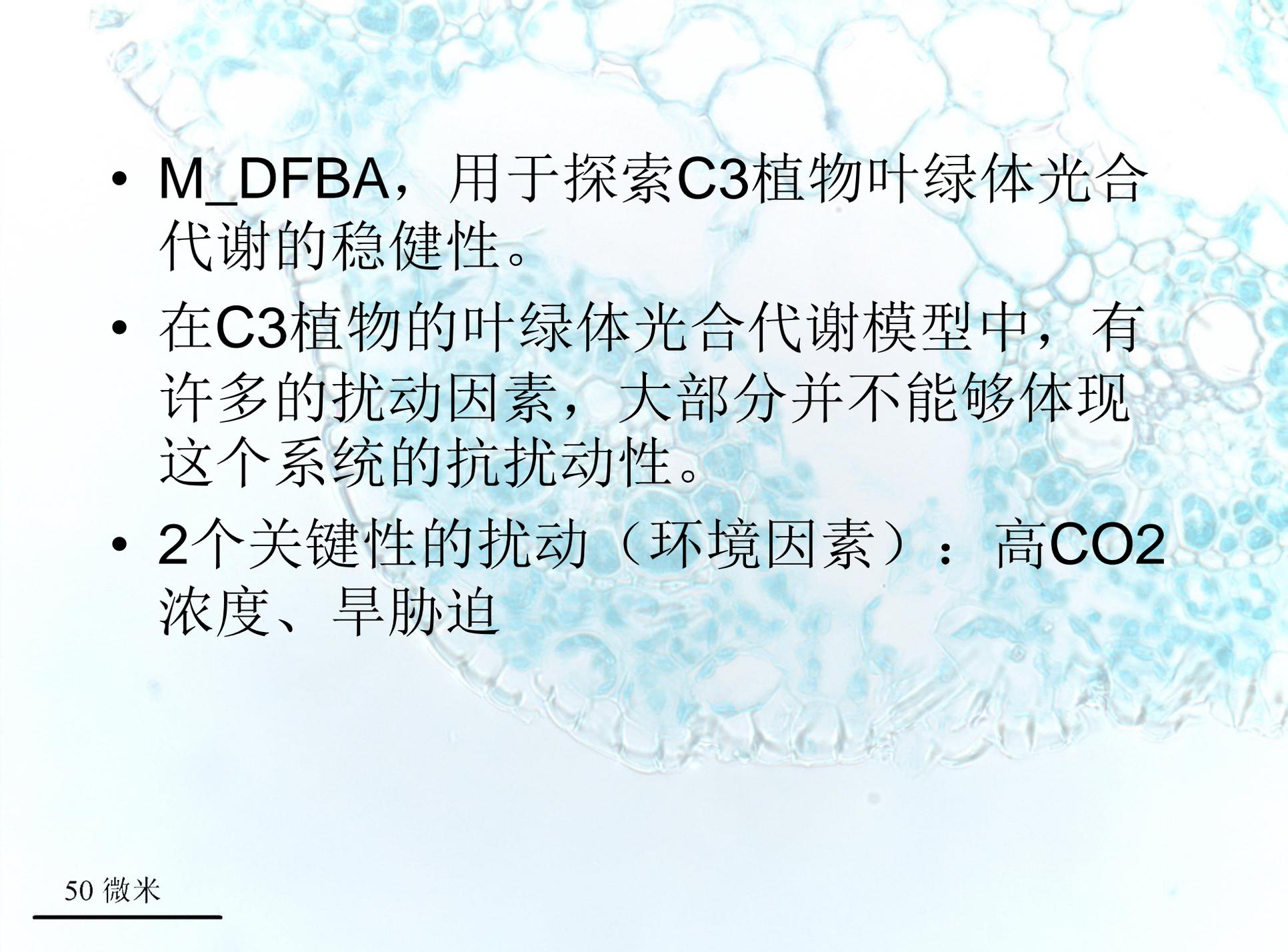
PNAS 2009, 106: 847-852.

研究人员利用一种新的方法对C₃植物在干旱胁迫以及高CO₂浓度下，其叶绿体的光合代谢情况进行分析。这种方法被称为M_DFBA。

研究表明，C₃植物叶绿体中的光合代谢能高度调节新陈代谢的波动。这种高度协调性保证了生物系统的稳定，而且对于稳定生物体的功能至关重要。

这个新的模型有利于了解此类现象和动力学过程中的复杂代谢网络的稳定机制，并可以运用到其他方面。

- 
- Metabolic Control Analysis (MCA)
 - Flux Balance Analysis (FBA)
 - Minimization of Metabolic Adjustment (MOMA)
 - Dynamic Flux Balance Analysis (DFBA)
 - Minimization of Metabolic Adjustment Dynamic Flux Balance Analysis (M_DFBA)

- 
- The background of the slide is a microscopic image of a leaf cross-section, showing various cell types including mesophyll cells and a vascular bundle. The image is in grayscale, highlighting the cellular structure.
- **M_DFBA**，用于探索**C3**植物叶绿体光合代谢的稳健性。
 - 在**C3**植物的叶绿体光合代谢模型中，有许多的扰动因素，大部分并不能够体现这个系统的抗扰动性。
 - **2**个关键性的扰动（环境因素）：**高CO₂浓度、旱胁迫**

1.C3植物叶绿体光和代谢的建模

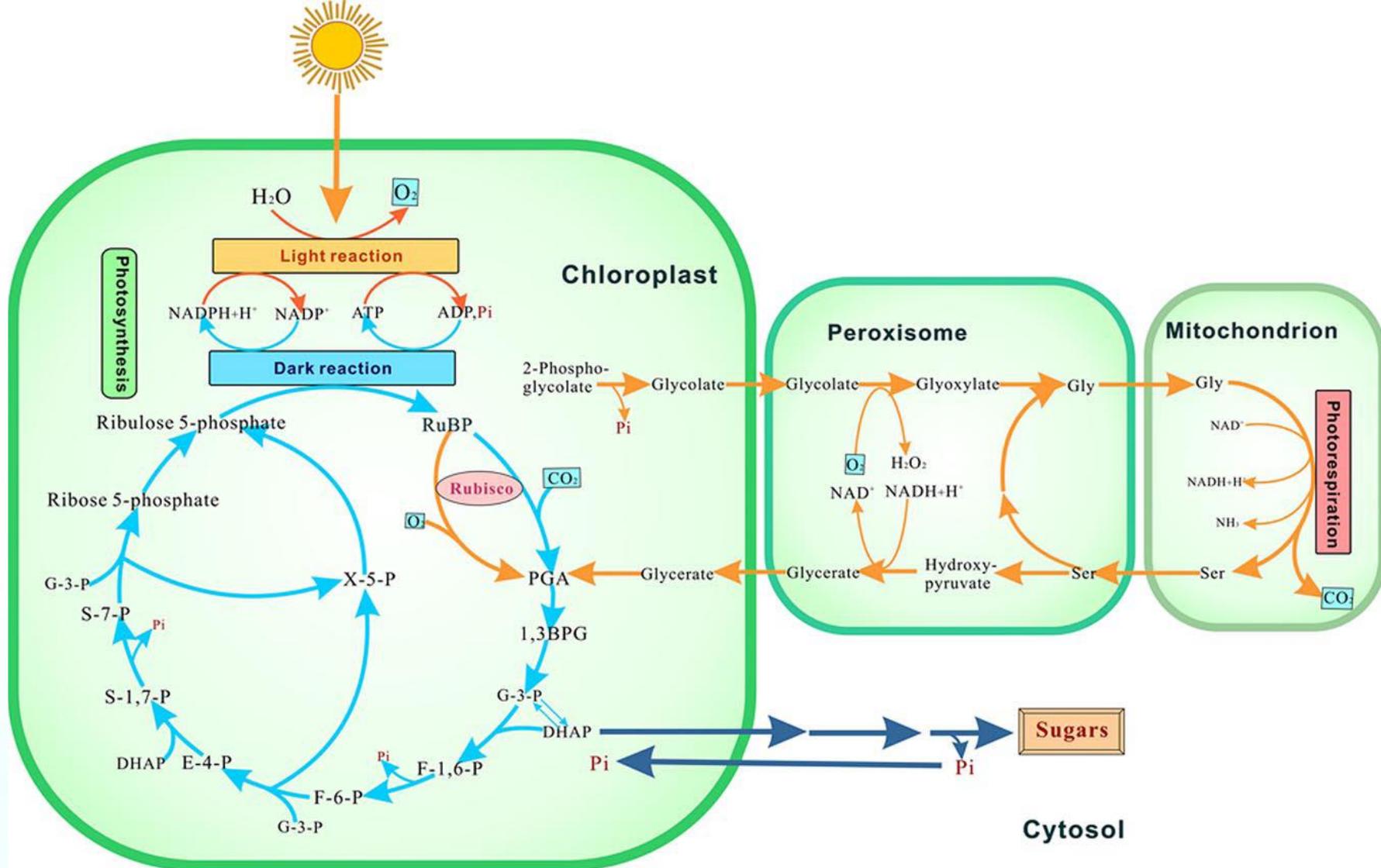
2个因素介入后，用不同的方法，计算检测系统的扰动条件

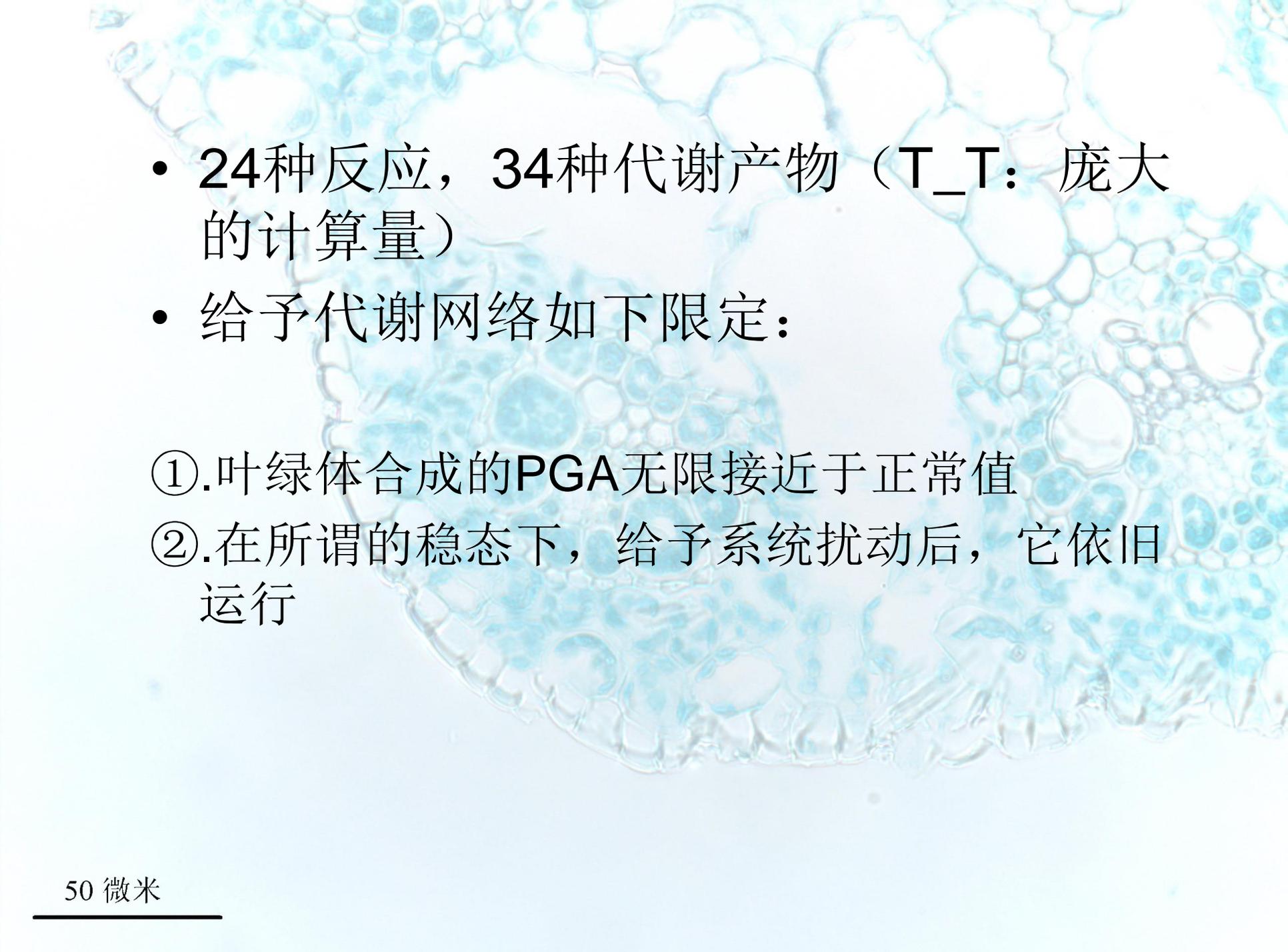
①.运用M_DFBA计算曲线波动的最小值

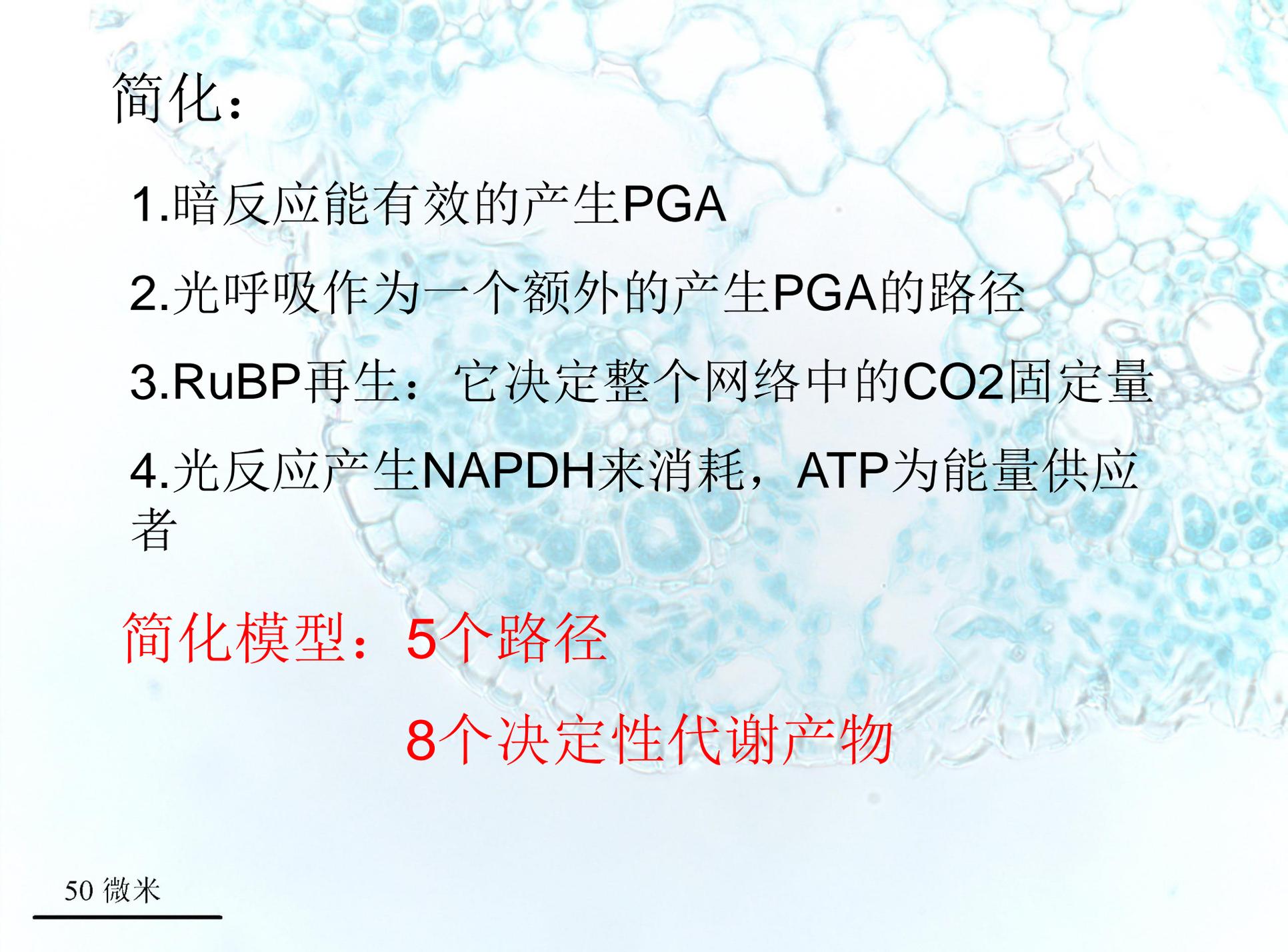
②.运用DFBA求出3-磷酸甘油盐（3-phosphoglycerate，PGA）浓度的极大值

PGA是合成糖类淀粉以及其他重要代谢物的关键，主要由叶绿体产生。

模型中还包括Rubisco的表达量。



- 
- 24种反应，34种代谢产物（T_T：庞大的计算量）
 - 给予代谢网络如下限定：
 - ①.叶绿体合成的**PGA**无限接近于正常值
 - ②.在所谓的稳态下，给予系统扰动后，它依旧运行



简化：

1.暗反应能有效的产生**PGA**

2.光呼吸作为一个额外的产生**PGA**的路径

3.**RuBP**再生：它决定整个网络中的**CO₂**固定量

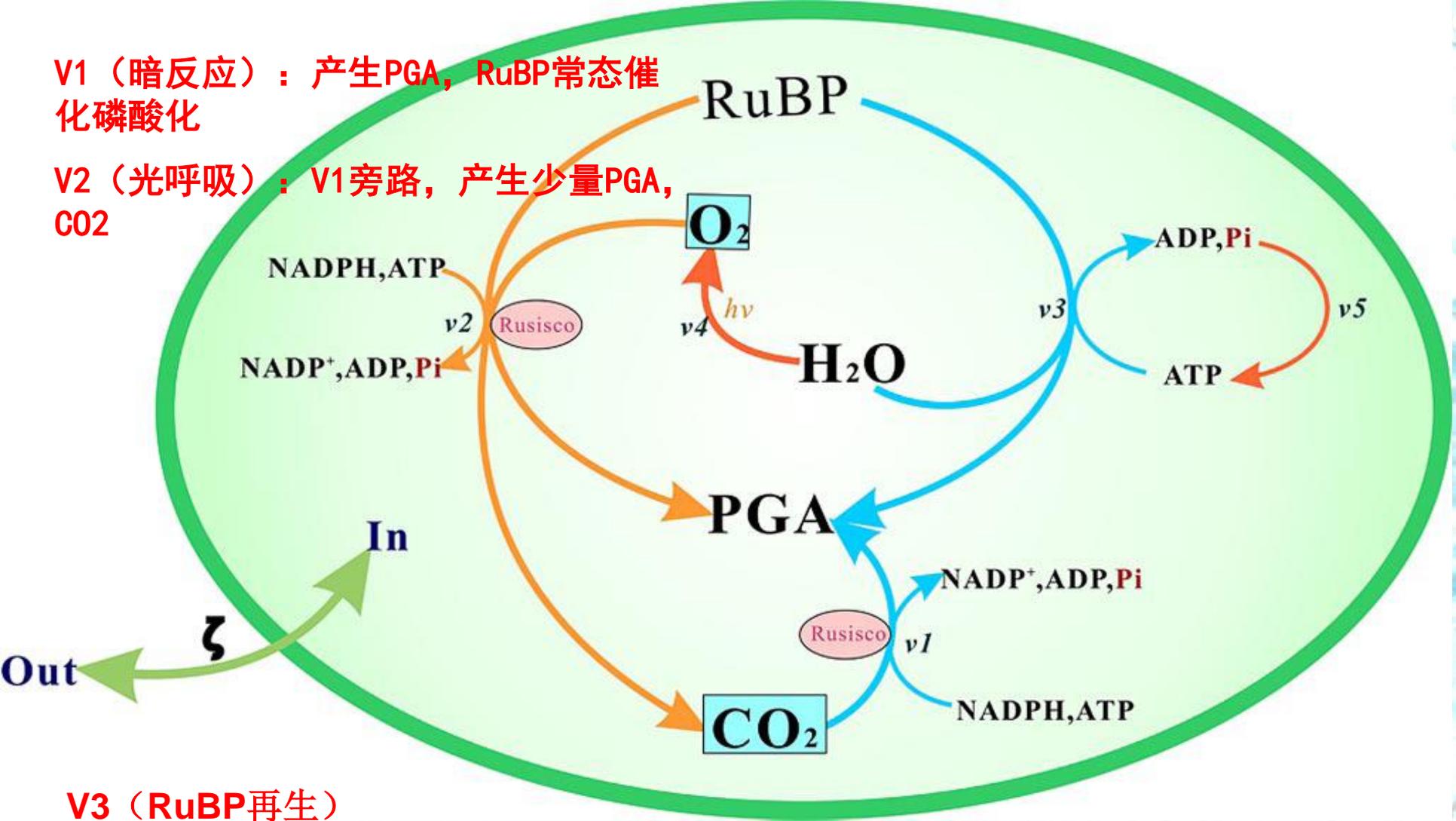
4.光反应产生**NAPDH**来消耗，**ATP**为能量供应者

简化模型：**5个路径**

8个决定性代谢产物

V1 (暗反应) : 产生PGA, RuBP常态催化磷酸化

V2 (光呼吸) : V1旁路, 产生少量PGA, CO₂



V3 (RuBP再生)

V4 (光反应) : 产生NADPH

V5 (ATP合成)

Dynamic Optimization Approach (DOA) 动态最优解趋近

旱胁迫，高CO₂浓度 10h

旱胁迫：气孔关闭，CO₂进入胞间受阻

高CO₂浓度：光合增强，并产生PGA

当两个条件皆为扰动时，M_DFBA获得的预测比DFBA更为准确

M_DFBA更好的描述了脂肪酸氧化，ATP合成，但是DFBA不能。

2. 旱胁迫下模型演示

参数来源于C3植物，下图显示代谢对缺水的应答（F为相对含水量）

最初的2个小时，CO₂浓度下降，2小时之后趋于稳定。

其他底物如ATP，Pi剧烈下降

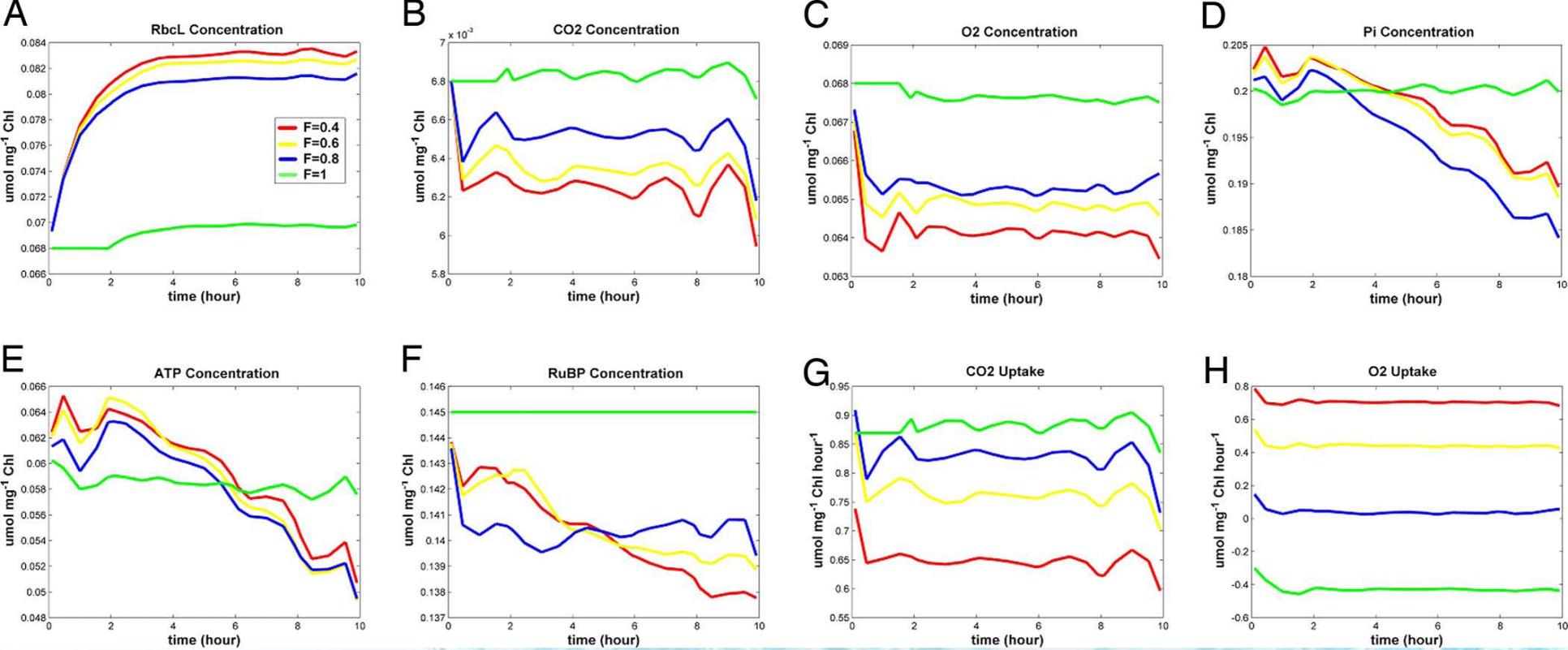


Fig. 3. Modeling results of photosynthetic metabolism in the chloroplasts of C3 plants by the MDFBA method under different levels of water stress. F represents water stress: normal (1), mild (0.8), moderate (0.6), and severe (0.4).

缺水引起气孔关闭，从而叶绿体内的CO₂浓度下降，Rubisco集中，限制PGA的合成，而PGA又与RuBP再生Pi浓度有关。为了提高CO₂浓度，光呼吸增强，消耗O₂产生CO₂，此外低浓度的PGA，Pi可复苏光呼吸。这个响应将消耗更多的ATP，所以植物体会处于持续低能量状态。

某种程度上，被提升的CO₂浓度会刺激光合作用，比光呼吸更有效的产生PGA，光呼吸则会补偿缺水时的光合作用中间代谢物的含量。

植物调节Rubisco浓度从而尽可能多的产生PGA，因此我们推测高Rubisco浓度能尽可能快的催化光合作用与光呼吸作用，从而使得这个扰动最小化，得以优化其光合代谢系统。

3. 高CO₂模型演示

- Pi浓度，CO₂浓度，O₂浓度自始至终在组织液的浓度不变。
- 正常CO₂浓度 两倍与正常CO₂浓度
- 两倍CO₂浓度下，Rubisco的浓度下降，引起Pi，ATP，RuBP浓度下降，从而O₂释放量降低，胞间CO₂，O₂浓度升高。这个结果前人已经验证。

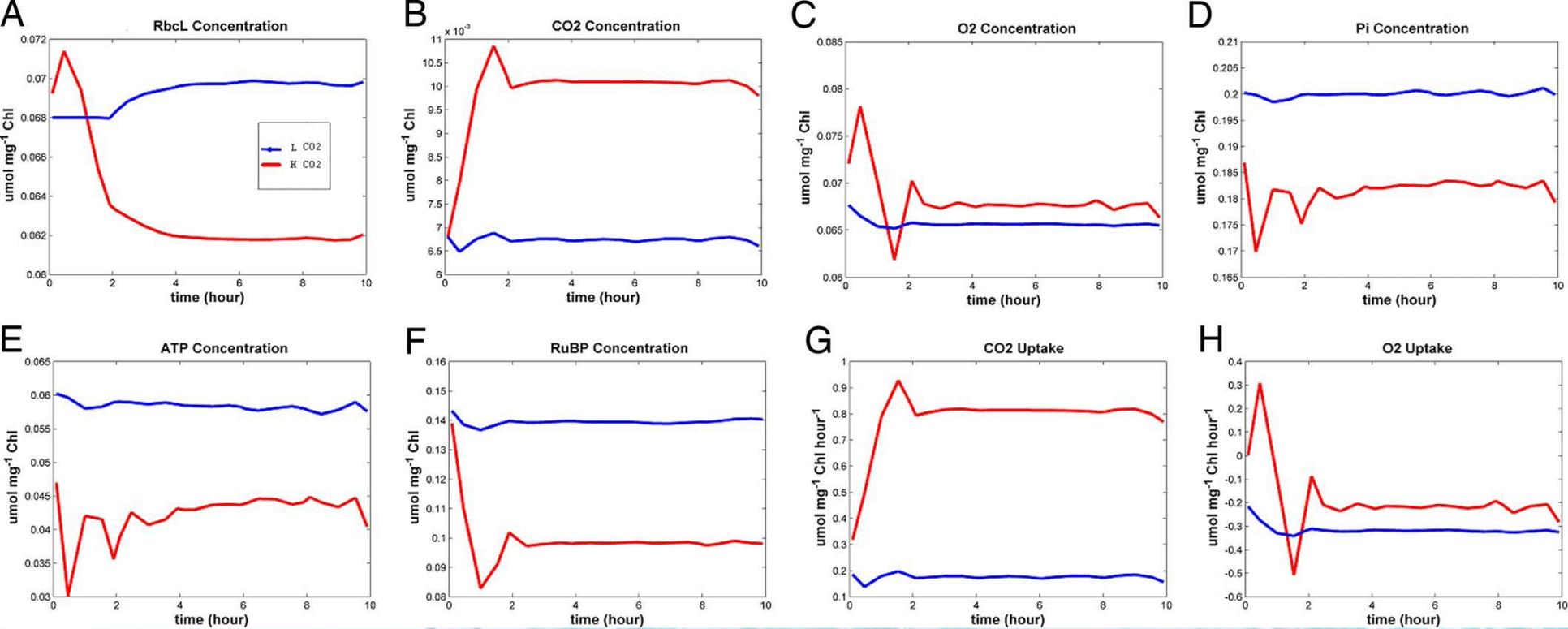


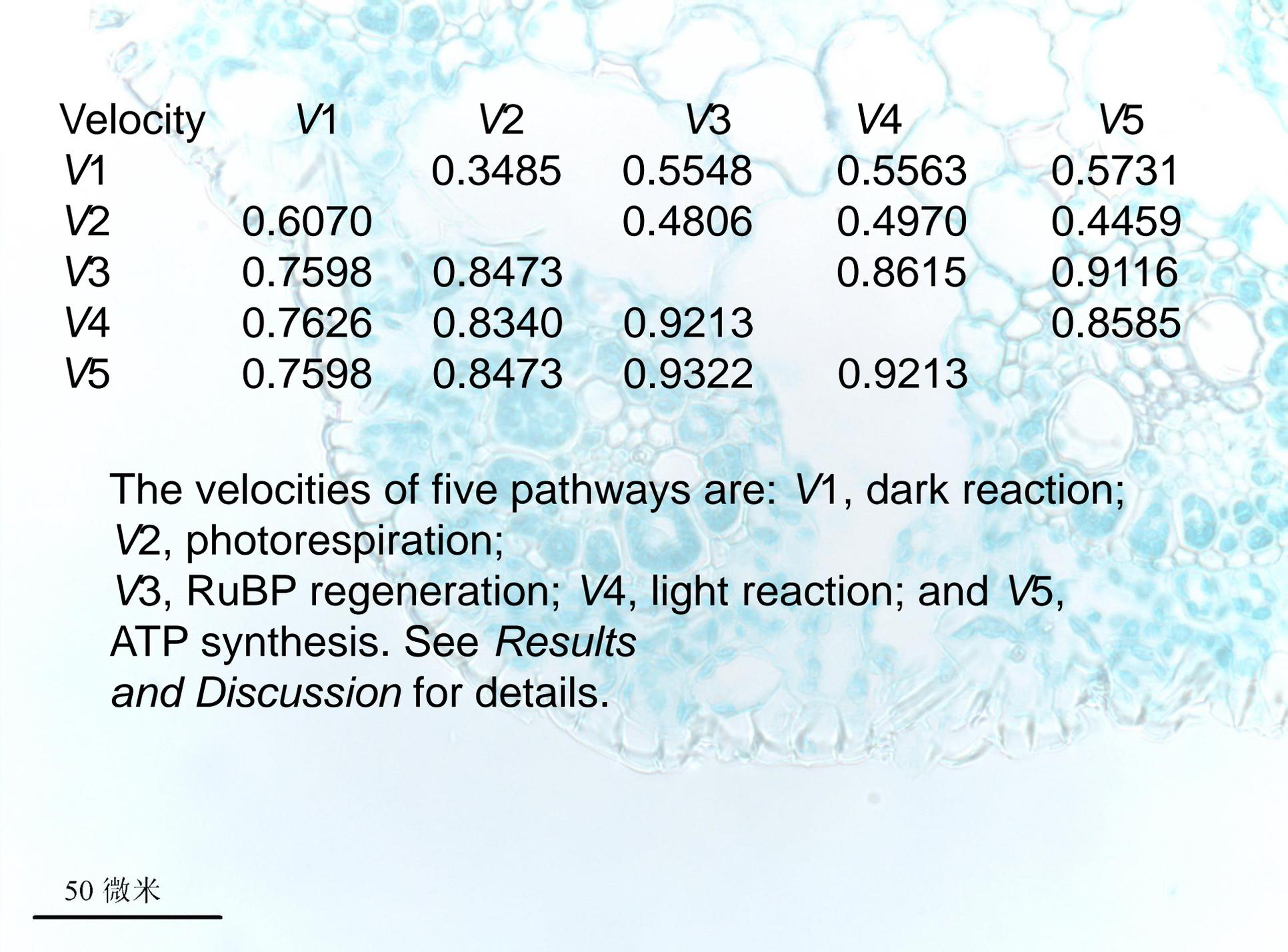
Fig. 4. Modeling results of photosynthetic metabolism in the chloroplasts of C3 plants by theMDFBA method under normal and double concentrations of CO2.

高浓度**CO₂**刺激暗反应进行，更快的小号**Rubp**以及**ATP**，用以固定更多的**CO₂**到**PGA**。**ATP**浓度下降后会推进其合成路径，从而使**Pi**浓度降低。于此同时光反应速率上升，以匹配高速的暗反应，并提供**ATP**，同时光反应代谢产物上升，**O₂**浓度提升。**O₂**浓度上升又会推动光呼吸进行，还会导致**Rubisco**浓度下降，光反应，暗反应速率全部下降，用以确保底物浓度。

尽管这样有利于**C₃**植物产生**PGA**，但是由于它消耗了大量的底物，系统会失去平衡。在漫长的进化中，植物通过降低**Rubisco**浓度来控制这些。通过调控**Rubisco**的浓度来调节光合速率，以保证光和系统只有微小的扰动。

4.互做分析

- 所有的生物进程都是由一系列的相关路径组合互做而来，这也是生物系统高度复杂的原因。植物体通过互做保证其功能的同时也保证其稳定性。
- 运用简化系统进行互做分析
 - M_DFBA, DFBA**两种方式对比
 - DOA**: 每一步的速率参数化。 $F=0.4/F=1$
 - P值**: 与零假设相关



Velocity	V1	V2	V3	V4	V5
V1		0.3485	0.5548	0.5563	0.5731
V2	0.6070		0.4806	0.4970	0.4459
V3	0.7598	0.8473		0.8615	0.9116
V4	0.7626	0.8340	0.9213		0.8585
V5	0.7598	0.8473	0.9322	0.9213	

The velocities of five pathways are: V1, dark reaction; V2, photorespiration; V3, RuBP regeneration; V4, light reaction; and V5, ATP synthesis. See *Results and Discussion* for details.

左下为扰动态，右上为常态。

相比较之下，扰动态比常态的联系更加紧密。

- **V1,V2**相关度低：暗反应中固定CO₂的反应被光呼吸释放的O₂所抑制
- 暗反应与光呼吸都相关于**V3——RuBP**的产生
- **V3**与**V3V5**的相关度高，不管是常态还是缺水态
- 扰动态下**V2**与**V3V4V5**的相关度低于常态下**V1**与**V3V4V5**的相关度。因为暗反应极为重要而光呼吸仅为旁路。
- 与常态比较**V2**与**V3V4V4**在缺水时相关度极高。因为扰动下光呼吸也会被抑制

A microscopic image of a plant tissue section, likely a leaf cross-section, stained with a blue dye. The image shows a network of cells with distinct cell walls. The text "THE END" is overlaid in the center in a large, bold, black serif font. The text "Thanks" is overlaid in the lower right quadrant in a smaller, bold, black serif font. A scale bar is located in the bottom left corner.

THE END

Thanks

50 微米
