



## 港大學者領導國際植物研究團隊 揭開保衛細胞葉綠體如何獲得能量之謎

2022 年 2 月 10 日

關於植物保衛細胞 (Guard Cells, GCs) 能否進行光合作用的爭論已經持續了半個多世紀。早期的研究都提出保衛細胞葉綠體 (Guard Cell Chloroplasts, GCCs) 無法固定二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) (光合作用的重要一環, 提供有機碳供植物生長), 但隨後大量的研究駁斥了這一觀點。直到最近, 有關在保衛細胞和保衛細胞葉綠體裏進行的光合作用是否在氣孔運動中發揮直接作用這一點, 仍然存在爭議。香港大學 (港大) 生物科學學院副教授林文量博士與蘇黎世聯邦理工學院 (ETH Zürich) 的 Diana SANTELIA 博士合作, 發現了保衛細胞真正能量的來源, 解開了謎團。研究結果剛於著名學術期刊《自然通訊》 (*Nature Communications*) 中發表, 論文更被期刊編輯選為精選文章。

清晨時份陽光會促使植物葉片上的氣孔打開讓二氧化碳輸入和氧氣排出, 從而促進光合作用。氣孔開放須要消耗大量的「細胞能量貨幣」三磷酸腺苷 (adenosine triphosphate, ATP), 但這些 ATP 的來源尚不清楚。部分研究提出, 保衛細胞葉綠體能夠進行光合作用, 並將 ATP 輸出到細胞質為氣孔開放提供能量。而在葉肉細胞葉綠體中, 光系統產生的 ATP 和 NADPH (nicotinamide-adenine dinucleotide phosphate, 煙酰胺-腺嘌呤二核苷酸磷酸鹽) 為二氧化碳的固定提供能量。

港大林文量博士的團隊於過往的研究, 曾通過將植物熒光蛋白傳感器導入模式植物擬南芥, 實時觀察擬南芥葉肉細胞葉綠體 (mesophyll cell chloroplasts, MCCs) 中的 ATP (註 1) 和 NADPH (註 2) 的產生。「然而, 在光照期間, 我們無法在 GCCs 中檢測到任何 ATP 或 NADPH 的產生。此出乎意外的發現讓我們感到困惑, 因此我們聯繫上保衛細胞代謝方面的專家— Diana Santelia 博士進行合作。」林博士說。在過去的十年間, Santelia 實驗室對葉表面氣孔周圍的保衛細胞中的澱粉和糖的代謝進行了深入的研究, 並提供了重要的見解。

在雙方的共同努力下, 團隊發現保衛細胞光合作用的活性很低, 與葉肉細胞 (MCs) 中的大相徑庭。原來葉肉細胞合成的糖被運輸進入保衛細胞, 隨後被保衛細胞線粒體消耗以產生 ATP, 從而為氣孔開放提供了能量。



與葉肉細胞葉綠體不同（註 1），保衛細胞葉綠體通過葉綠體膜上的核苷酸運輸器（NTTs）吸收細胞質 ATP，在白天為澱粉合成提供能量。在黎明時分，當葉肉細胞開始合成澱粉並輸出蔗糖時，保衛細胞將澱粉降解為糖，以提供能量並增加滲透壓來促進氣孔開放。因此，保衛細胞葉綠體的澱粉存儲功能對氣孔開放十分重要。儘管葉肉細胞通過卡爾文-本森-巴沙姆（CBB）循環在葉綠體中固定二氧化碳，但細胞質中二氧化碳固定是保衛細胞中二氧化碳同化的主要途徑，其下游產生的蘋果酸也是增加氣孔開放所需的滲透壓的重要溶質。總而言之，保衛細胞的功能更像是接收糖和儲存澱粉的「倉庫」，而非進行光合作用以提供糖的「工廠」（如葉肉細胞）。此外，保衛細胞的功能與葉肉細胞的功能密切相關，能有效地協調通過氣孔的二氧化碳的吸收和葉肉細胞中二氧化碳的固定。

「當林博士聯繫我並希望我們就這個項目展開合作時，我感到非常興奮。我們一直在嘗試用分子遺傳學方法來釐清這些問題。這次我們將各自的專業知識結合起來是一個非常成功的策略。」 Santelia 博士說。

論文的第一作者、林博士團隊的前博士生林雪莉說：「我們研發的植物熒光蛋白傳感器能夠實時觀察植物細胞和細胞器中能量分子濃度的動態變化，這能夠幫助我們解決植物生物能量學中的一些關鍵問題。通過使用這項新技術，我們在《自然通訊》雜誌上發表了兩篇論文，我對此感到十分高興。」

註 1: 新聞稿:有關葉綠體如何優化其能源效益(2018 年 10 月)

[https://www.hku.hk/press/press-releases/detail/c\\_18582.html](https://www.hku.hk/press/press-releases/detail/c_18582.html)

註 2: 新聞稿: 有關植物光合細胞能量流動(2020 年 6 月)

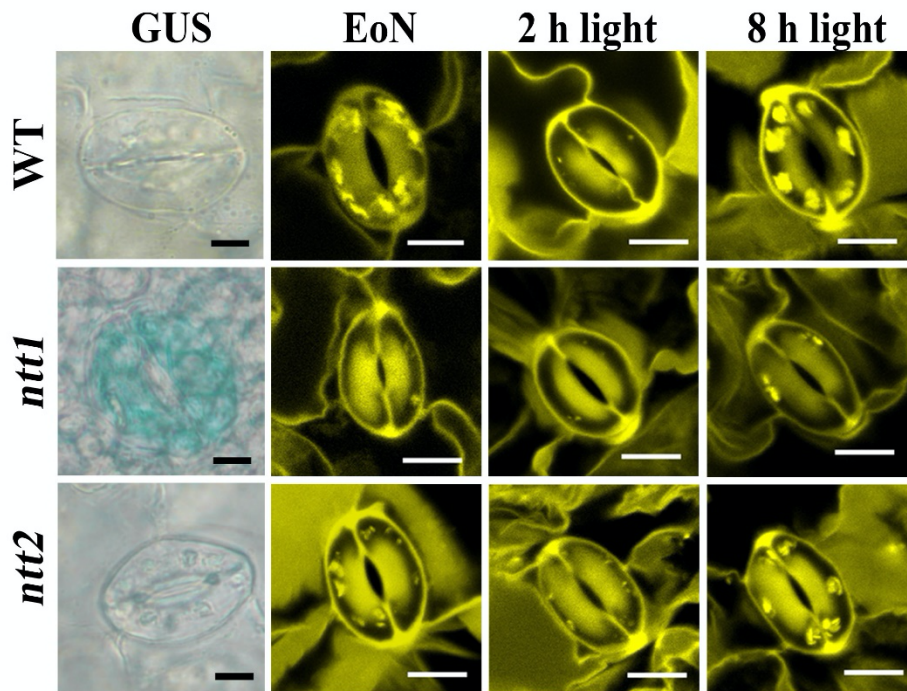
[https://www.hku.hk/press/press-releases/detail/c\\_21231.html](https://www.hku.hk/press/press-releases/detail/c_21231.html)

文章連結：<https://www.nature.com/articles/s41467-022-28263-2>

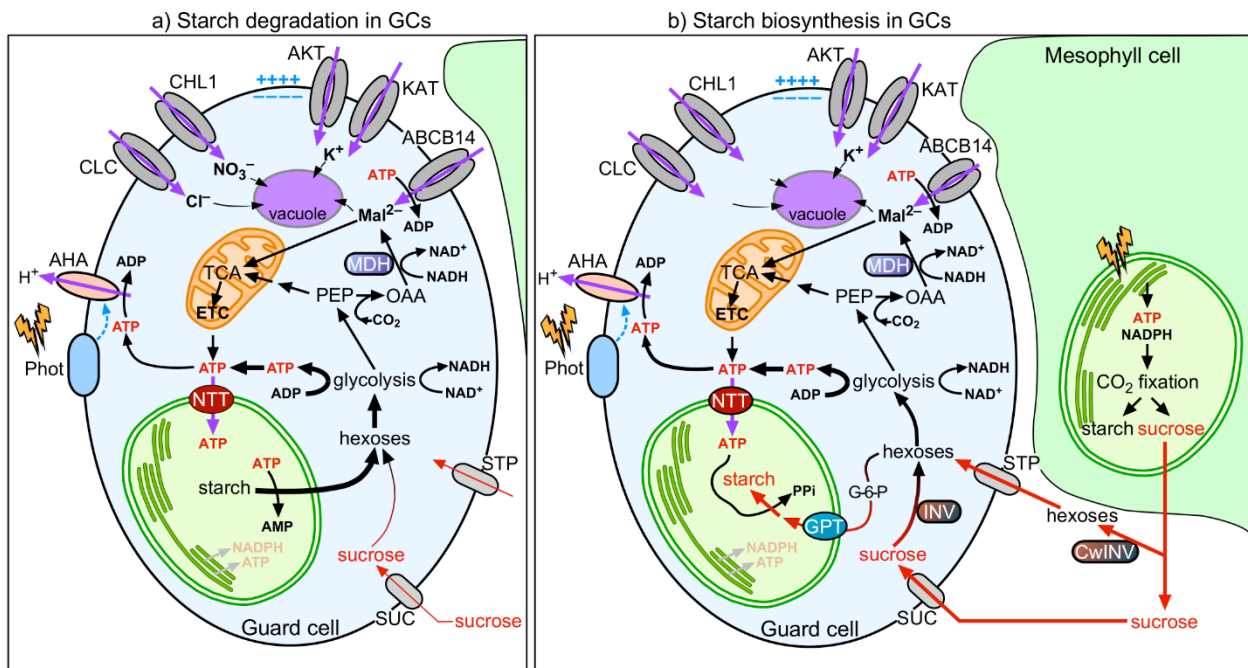
項目視頻：[https://youtu.be/XDBzmffc\\_Jk](https://youtu.be/XDBzmffc_Jk)

圖片下載和說明：<https://www.scifac.hku.hk/press>

傳媒查詢，請聯絡香港大學理學院外務主任杜之樺（電話：3917-4948；電郵：[caseyto@hku.hk](mailto:caseyto@hku.hk)）/  
助理傳訊總監陳詩迪（電話：3917-5286；電郵：[cindycst@hku.hk](mailto:cindycst@hku.hk)）



圖一：保衛細胞核苷酸運輸器的表達（圖中藍色部分）及澱粉顆粒（圖中黃色部分）。



圖二：保衛細胞中氣孔功能及澱粉和蘋果酸代謝的協調模型。