



# 水稻（C3 型）とトウモロコシ（C4 型光合成）

—地球温暖化対策？—

<https://l-hospitalier.github.io>

2021.8

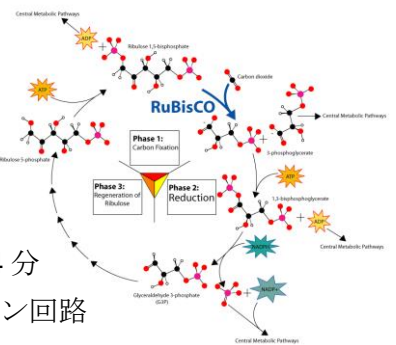
## 感染対策の基礎知識

#290

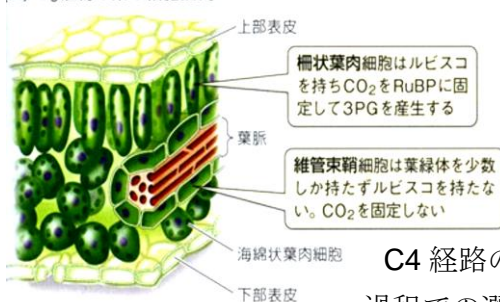
【カルビン回路】植物の光合成は太陽エネルギー固定の唯一の方法で、全ての生物はエネルギーをこのシステムに依存する。光合成には明反応（light reaction）とカルビンとベンソンが解明した暗反応（dark reaction、右下図）があり前者が光エネルギーの固定、後者が糖合成を担う。葉緑体の明反応は光化学系 I（PS I）で 700 nm 以下の波長の光で  $\text{NADP}^+$  を  $\text{NADPH}$  に変換、光化学系 II（PS II）で 680 nm 以下の波長の光で  $\text{H}_2\text{O}$  から電子を取り去り  $\text{H}^+$ （と  $\text{O}_2$ ）、 $\text{NADPH}$  と  $\text{ATP}$  を産生する。暗反応の収支は  $\text{NADPH}$  と  $\text{ATP}$  を消費し  $6\text{CO}_2 + 12\text{NADP} + 18\text{ATP} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 12\text{NADP}^+ + 18\text{ADP} + 18\text{P}_i$ 。明反応からの最終的収支は  $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ 。

【RuBisCo】ルビスコ、リブローズ-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ（ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase）は地上で最も多いタンパク質で暗反応（カルビン回路）の  $\text{CO}_2$  固定の中心。

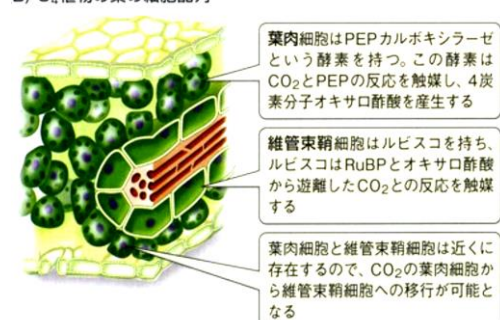
【C3 型と C4 型植物】世界 3 大穀物はトウモロコシ、小麦、米。この中ではトウモロコシだけが C4 型で他は C3 型。イネ科植物のトウモロコシやサトウキビは  $28^\circ\text{C}$  以上の高温乾燥で効率よく  $\text{CO}_2$  を吸収、 $\text{O}_2$  と糖を産生。 $28^\circ\text{C}$  以下では C3 型は光吸収が無い時に  $\text{ATP}$  18 分子で 6 単糖を 1 分子合成し C4 型の 24 分子より高効率。1950~60 年にコーチャックとカルピロフによりカルビン回路の前段階に  $\text{CO}_2$  の濃縮、固定が示され、1966 年に MD ハッチ（豪）と CR スラックにより炭素 4 原子（C4）のオキサロ酢酸を経由する回路が明らかになった。カルビン回路だけで糖合成する植物はルビスコにより 5 炭素のリブローズ 1,5-ビスリン酸に  $\text{CO}_2$  が結合して 2 分子の 3-ホスホグリセリン酸（3 炭素）を生成するので C3 植物と呼ばれる。C4 植物でも  $\text{CO}_2$  固定は葉緑体のカルビン回路によるが、前処理として葉肉細胞のホスホエノールピルビン酸（PEP）カルボキシラーゼで PEP に  $\text{CO}_2$  を結合し 4 炭素のオキサロ酢酸を合成貯蔵（植物によりリンゴ酸に変換）、維管束鞘細胞へ輸送する。リンゴ酸やオキサロ酢酸は維管束鞘細胞で脱炭酸酵素（デヒドロゲナーゼ）により  $\text{CO}_2$



A) C3 植物の葉の細胞配列



B) C4 植物の葉の細胞配列

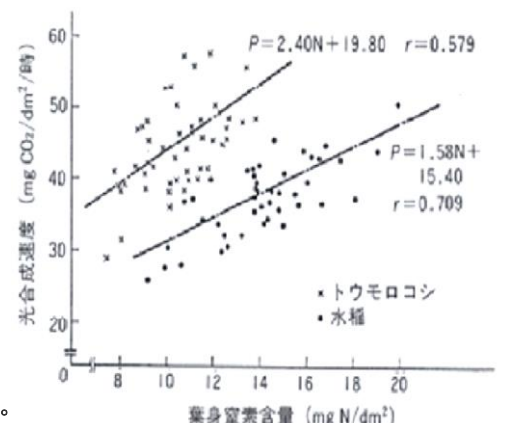


を放出。C4 型の維管束鞘細胞には葉緑体（カルビン回路）があり、ここで

糖を合成。この前処理系により C4 型では高温乾燥で気孔を閉じてでもカルビン回路に持続的な  $\text{CO}_2$  供給が可能（C4 植物は維管束鞘細胞が発達しており見た目に葉脈が太い）。C4 植物は高温乾燥に強くトウモロコシは熱帯、亜熱帯の主要穀物。小麦や稲も PEP カルボキシラーゼの遺伝子配列を持ち

C4 経路の起源は古いと考えられる。進化の過程での選択であろう<sup>\*1</sup>。右はトウモロコシと稲の葉の窒素含有量と光合成速度の関係。乾燥に

強いサボテンなどの多肉植物で CAM 型光合成（Crassulacean Acid Metabolism）を行う植物もある。



<sup>\*1</sup> EU は 3 to 4 project で稲の C4 化を研究中。