



稲 (C3 型) とトウモロコシ (C4 型光合成)

—地球温暖化対策?—

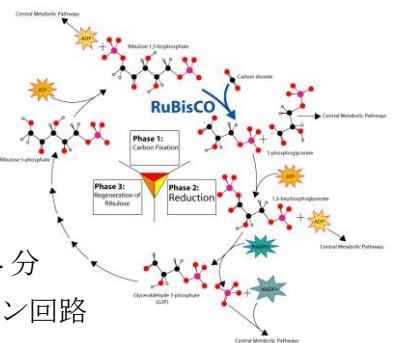
<https://l-hospitalier.github.io>

2021.8

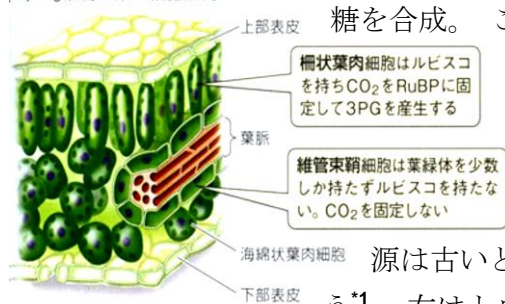
感染対策の基礎知識

#290

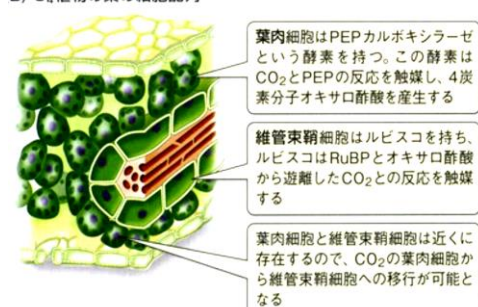
【カルビン回路】植物の光合成は太陽エネルギー固定の唯一の方法で、全ての生物はエネルギーをこのシステムに依存する。光合成には明反応 (light reaction) とカルビンとベンソンが解明した暗反応 (dark reaction、右下図) があり前者が光エネルギーの固定、後者が糖合成を担う。葉緑体の明反応は光化学系 I (PS I) で 700 nm 以下の波長の光で NADP^+ を NADPH に変換、光化学系 II (PS II) で 680 nm 以下の波長の光で H_2O から電子を取り去り H^+ (と O_2)、 NADPH と ATP を産生する。暗反応の収支は NADPH と 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 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°C 以上の高温乾燥で効率よく CO_2 を吸収、 O_2 と糖を産生。 28°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 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 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 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 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 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 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^{*1}。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^{*2}。地球温暖化で乾燥が進めば CO_2 は増えても C4 化が必須?

^{*1} EU は 3 to 4 project で稲の C4 化を研究中。

^{*2} CAM 型は夜間気孔を開き CO_2 取込、有機酸として多肉の葉の液胞に貯蔵、昼に気孔を閉じて糖合成¹。

Crassulacean はベンケイソウ。最初にこの植物の葉が夜間酸性になるのが発見された。

