

お米のはなし

お米や稲に関するちょっとした情報・豆知識を専門家が綴る「お米のはなし」の第52弾をお届けします。

(シリーズ担当：R. I.)

第52話 C3植物とC4植物

今回は、C3植物とC4植物について説明しますが、その前に、両方に関連する「ルビスコ」について簡単に説明します。

ルビスコ (Rubisco : Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) は、カルビン・ベンソン回路において炭酸固定反応に参与する唯一の酵素である。リブロース 1,5-ビスリン酸に二酸化炭素を固定し2分子の3-ホスホグリセリン酸を生成する反応を触媒する。植物に大量に含まれ、地球上で最も多いタンパク質ともいわれる。¹

C3植物

カルビン回路だけで光合成炭素同化を行う植物。最初の光合成固定産物が三炭素化合物(3-ホスホグリセリン酸)であることから、こう呼ばれる。これに対し、光合成のCO₂初期固定をC4ジカルボン酸回路により行う植物をC4植物、ベンケイソウ型有機酸代謝を行う植物をCAM植物と呼ぶ。C3植物には、クロレラなどの藻類やイネ、コムギ、ダイズ、ナタネ、ハウレンソウ

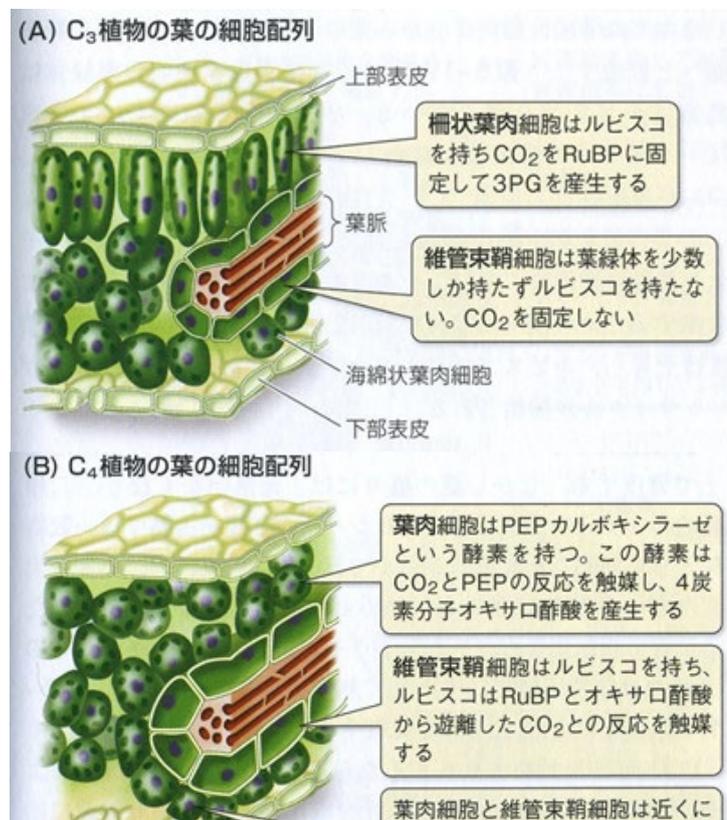


図 52-1 C3植物 (A)と C4植物 (B)の葉の細胞配列
(出典) カラー図解アメリカ版大学生物学の教科書
第1巻細胞生物学 (講談社、2010年)

¹ Wikipedia から抜粋引用。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%AA%E3%83%96%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%B91,5-%E3%83%93%E3%82%B9%E3%83%AA%E3%83%B3%E9%85%B8%E3%82%AB%E3%83%AB%E3%83%9C%E3%82%AD%E3%82%B7%E3%83%A9%E3%83%BC%E3%82%BC%E3%82%AA%E3%82%AD%E3%82%B7%E3%82%B2%E3%83%8A%E3%83%BC%E3%82%B>C (2020年9月17日アクセス)

など多くの植物が含まれる。大気 CO₂ は Rubisco のカルボキシラーゼ反応により固定されるが、このとき同時にオキシゲナーゼ反応も起こり、高い光呼吸を示す。このため、最大光合成速度は一般に C₄ 植物よりも低い。そのほか、光合成速度はより弱い光で飽和し始め、光合成適温も植物に比べ低い。単一種の光合成細胞により光合成を行っており、C₄ 植物のような 2 種類の光合成細胞の分化はみられない。²

C₄ 植物

C₄ ジカルボン酸回路による大気 CO₂ の初期固定に引き続き、カルビン回路を働かせることにより炭素同化を完結する植物。最初の光合成固定産物が C₄ 化合物であることから、こう呼ばれる。サトウキビ、トウモロコシをはじめ熱帯・亜熱帯性のイネ科、カヤツリグサ科、ヒユ科、アカザ科植物など 20 科 1,200 種が報告されている。

C₄ 植物の最大光合成速度は C₃ 植物よりも高く、光合成速度の飽和にはより強い光が必要である。光合成適温も C₃ 植物に比べ高い。C₄ 植物の葉では、葉肉細胞と維管束鞘細胞という 2 種類の光合成細胞が機能分化しており、C₄ ジカルボン酸回路のもつ CO₂ 濃縮機構の働きにより、光呼吸の抑制と高い光合成能を示す。そのほか、水利用効率や光合成窒素利用効率も C₃ 植物に比べ高い。C₄ 植物は C₄ ジカルボン酸の脱炭酸反応過程の違いにより 3 つの C₄ 植物サブタイプに分けられる。³

CAM 植物

CAM (Crassulacean Acid Metabolism ベンケイソウ型有機酸代謝) 型光合成を行う植物。19 世紀にベンケイソウ科植物の葉で酸含量が夜間に増し昼間に消失する現象が、この科の植物に特有な代謝として認識・研究されたことに由来して慣用的に用いられる。CAM 植物はシダ植物 3 科 5 属、裸子植物 1 科 1 属、単子葉植物 8 科 98 属、双子葉植物 33 科 239 属に分布し、ラン科での推定種数 7,000 種を含め約 16,000 種にみられる。この数は地球上の維管束植物の約 6% に相当する。CAM 植物は CAM 型光合成という生理機能と多汁性という形態学的特性を併せもつことから、砂漠や着生環境などの水分ストレスの多発する環境下で生育する植物に多くみられる。CAM 植物も C₄ 化合物みられる。CAM 植物も C₄ 化合物を合成するが、従来、そのバイオマス生産力はきわめて低いとされてきた。しかし、中には、適切な農業的管理

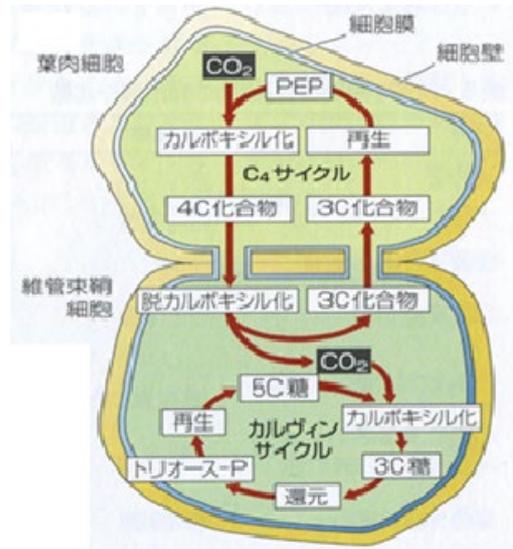


図 52-2 炭素固定の解剖学と生化学

CO₂ ははじめに葉肉細胞の中で固定されるが、維管束鞘細胞の中でカルビン回路に入る。2 種類の細胞は CO₂ 同化のための互いに繋がった生化学経路を共有している。

(出典) 上記大学生物学の教科書から引用)

² 光合成事典 (Web 版) から抜粋引用

<https://photosyn.jp/pwiki/index.php?C3%E6%A4%8D%E7%89%A9>

³ 光合成事典 (Web 版) から抜粋引用

<https://photosyn.jp/pwiki/index.php?C4%E6%A4%8D%E7%89%A9>

下ではC3植物をしのぎ、C4植物に次ぐ高い能力を示す種もある。⁴

表 52-1 に示したように、C3植物とC4植物の光合成には、対照的な違いがあります。カルビン回路を持つという共通点以外は、光呼吸の程度、CO₂受容体、最初の炭素固定産物、カルボキシラーゼの親和性、光合成細胞、葉緑体の種類など、すべての点で異なります。

ここに、C3の水稲とC4のトウモロコシにおける葉身窒素含量と光合成速度を比較した、大変興味深い試験があります(図 52-3)。

両方とも葉身の窒素含量の増加に連れて光合成の速度は高くなるのですが、イネに比べてトウモロコシは、段違いに高い光合成速度を示しています。これが、C3植物とC4植物の光合成能力における実際の違いです。

C4イネの作出は可能か？

C4型光合成植物は、高温で光の強い乾燥下では本領を發揮しますが、低温に弱いという弱点もあります。もし、低温でもよく育つイネにC4型光合成を導入できれば、最高です。その分子育種的研究が国の内

項目	C ₃ 植物	C ₄ 植物
光呼吸	盛ん	わずか
カルビンサイクル	活性を持つ	活性を持つ
主要なCO ₂ 受容体	RuBP	PEP
CO ₂ 固定酵素	ルビスコ	PEPカルボキシラーゼとルビスコ
CO ₂ 固定の最初の産物	3PG (3炭素化合物)	オキサロ酢酸 (4炭素化合物)
CO ₂ に対するカルボキシラーゼの親和性	中程度	高度
葉の光合成細胞	葉肉細胞	葉肉細胞と維管束鞘細胞
葉緑体の種類	1種類	2種類

表 52-1 C3植物とC4植物の光合成の比較
(上記大学生物学の教科書から引用)

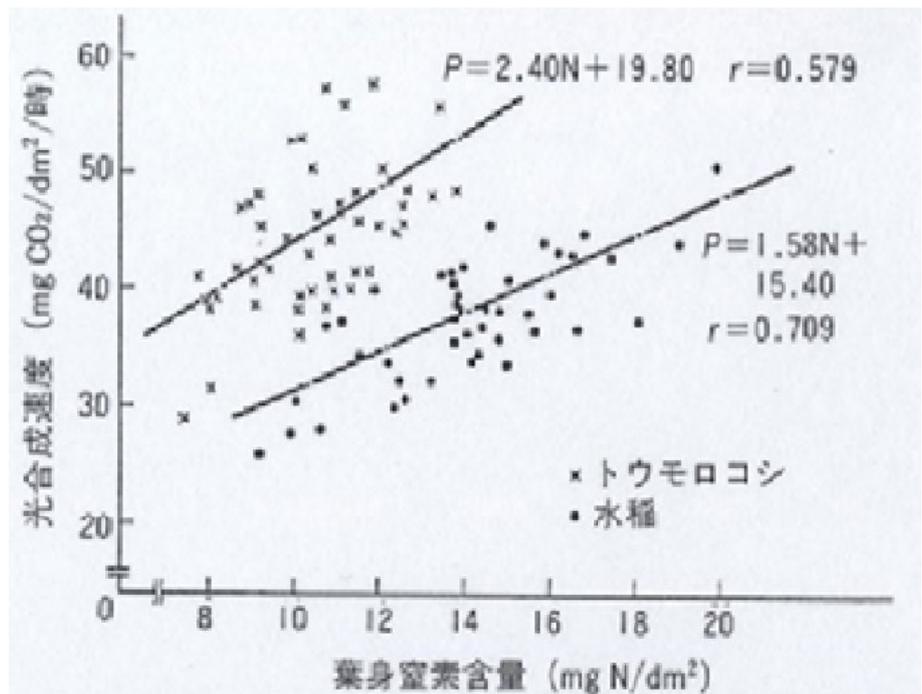


図 52-3 水稲、トウモロコシにおける葉身窒素含量と光合成速度の関係
水稲；生育中期の材料 50 品種、トウモロコシ；絹糸抽出期の材料、親品種とその雑種

(出典) 作物の光合成、光呼吸の種間差に関する研究 光合成、光呼吸および生育の酸素濃度に対する反応の種間差。(秋田重誠、農業技術研究所報告 D 生理遺伝 31 1~94、1980 年 2 月)

⁴ 光合成事典 (Web 版) から抜粋引用
<https://photosyn.jp/pwiki/index.php?CAM%E6%A4%8D%E7%89%A9>

外で始まっています。例えば、深山浩氏（神戸大大学院）は、光合成能力の改良という研究分野で顕著な成果を挙げ、2019年度日本作物学会賞を受賞しました。一方、EUでは”3 to 4 project”で、また国際稲研究所 IRRI では”C4 project”で、それぞれイネの C4 化の研究を推進しています。しかし、まだ C4 型光合成のイネの実現には至っていません。完全な C4 化イネの実現にはもう暫く時間が必要なようです。

発行：(公社)国際農林業協働協会(JAICAF)
〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目 10-39 赤坂 KSAビル 3 階