

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19780052
 研究課題名（和文） ポジトロンイメージング技術を用いた植物のソース・シンク間の糖輸送システムの解明
 研究課題名（英文） Kinetic analysis of photoassimilate flow from source to sink using the positron emitting tracer imaging system
 研究代表者
 鈴井 伸郎 (SUZUI NOBUO)
 独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究職
 研究者番号：20391287

研究成果の概要：炭素の動態を非破壊的に撮像できるポジトロンイメージング技術を用いることで、植物のソース器官からシンク器官の間を流れる糖の輸送速度を定量する実験系を確立した。この実験系を用いて、ソース器官およびシンク器官における糖の積み込み機能を阻害した際の糖輸送の応答を解析したところ、ソース器官を阻害した実験区のみにおいて、糖輸送の速度の低下が確認できた。この結果から、ソース・シンク間の糖輸送の速度を律しているのは、ソース器官での糖の積み込みの活性であることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	390,000	3,490,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学、植物栄養学・土壌学

キーワード：分子イメージング、植物栄養学、糖輸送、ソース・シンク

1. 研究開始当初の背景

植物がどのようにして栄養元素を吸収し、同化し、必要な場所へ輸送しているかについて、主に分子生物学的な手法を用いた研究が数多くなされていた。さらにその過程で得られた有用な遺伝子を利用し、不良土壌や劣悪環境でも生育が可能な形質転換植物を作製する応用的な研究も行われていた。殊に、収量に大きく関わる炭素栄養の研究に焦点を絞ってみると、大気中の二酸化炭素を気孔から吸収し、葉肉細胞において光合成反応によ

り同化し、糖として維管束組織を介して他の器官へ輸送する、という一連の生体反応に関与する遺伝子の多くが既に同定されていた。しかしながら、糖を送り出す同化葉(ソース)と糖を受け取る利用・貯蔵器官(シンク)との間で複雑に情報を交換し、生育段階や外的環境の変化に応じて糖の輸送先や輸送量を制御する機構については知見が少なかった。

2. 研究の目的

本研究は、炭素動態を経時的かつ非侵襲的に測定することができる Positron Emitting Tracer Imaging System (PETIS) を用いることで、上記のソース-シンク器官間に存在する糖輸送の制御機構を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ソース・シンク器官間の糖輸送速度の定量化

実験植物として、播種後 4 週間水耕栽培したイネ (*Oryza sativa* L. cv. Nipponbare) を用いた。原子力機構・高崎量子応用研究所の TIARA AVF サイクロトロンを用いて製造した $^{11}\text{C}\text{O}_2$ (100 MBq) を、5~6 本のイネの最大展開葉に投与し、投与葉の葉鞘から基部にかけた部分を視野として、PETIS による ^{11}C -光合成産物のイメージングを行った。得られた ^{11}C の動画像から葉鞘基部の放射量の経時変化のグラフを作成した。 $^{11}\text{C}\text{O}_2$ を投与してから葉鞘基部に蓄積され始めるまでの時間が ^{11}C の到達時間であると仮定し、グラフの近似直線の X 切片を到達時間と定義した。この X 切片を恣意性を排除して一意に決定する自動プログラムを作成した。得られた到達時間および $^{11}\text{C}\text{O}_2$ 投与葉から葉鞘基部の距離から、ソース・シンク間の糖輸送速度を算出した。

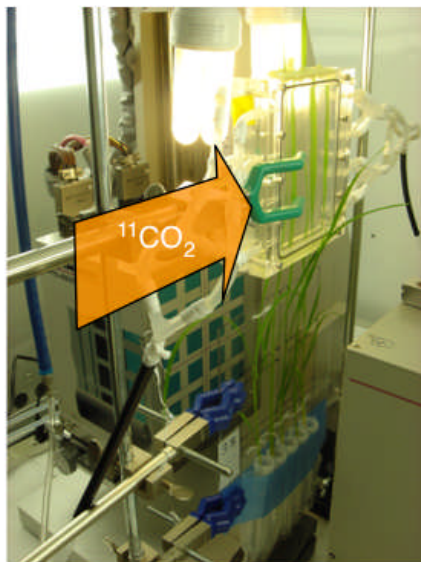


図 1 PETIS および $^{11}\text{C}\text{O}_2$ を用いたイネにおける炭素動態のイメージング

(2) ソース・シンク器官の機能阻害時の糖輸送速度の解析

ソース・シンク器官の機能阻害処理として、ショ糖トランスポーターの阻害剤である *p*-chlorobenzenesulfonic acid (PCMBs) を葉面塗布および経根投与を行った。ソース器官の処理は 2mM PCMBs および 0.01 % Tween-20 を含む 10mM MES-NaOH 溶液 (pH = 6.1) をイネの最大展開葉に塗布することで行った。シンク器官の処理は、5mM PCMBs を含む水耕液にイネを移植することで行った。各処理区および無処理区のイネの最大展開葉に $^{11}\text{C}\text{O}_2$ を投与し、PETIS により ^{11}C の動態画像を取得し、上記の自動プログラムでソース・シンク器官間の糖輸送速度を算出し、実験区間での比較を行った。

4. 研究成果

(1) ソース・シンク器官間の糖輸送速度の定量化

最大展開葉に $^{11}\text{C}\text{O}_2$ を投与したイネにおける ^{11}C -光合成産物の動態画像を PETIS により取得した (図 2)。葉鞘基部の放射量の経時変化のグラフ (図 3) から、ソース・シンク器官間の ^{11}C -光合成産物の移動速度、すなわち糖輸送の速度を算出したところ、 110.9 cm h^{-1} となり、一般的に知られている篩管の輸送速度 ($20\text{-}150 \text{ cm h}^{-1}$) とほぼ一致した。

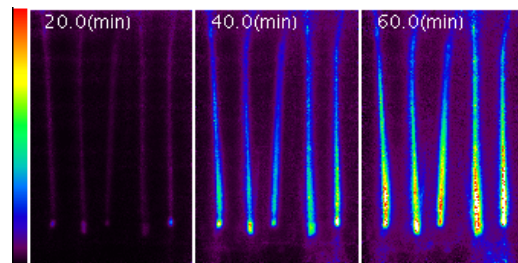


図 2 PETIS による ^{11}C -光合成産物の動態画像

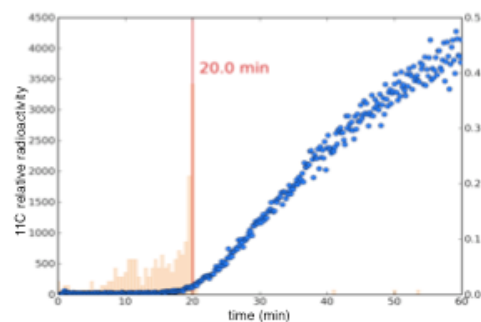


図 3 葉鞘基部の ^{11}C -放射量の変化

(2) ソース・シンク器官の機能阻害時の糖輸送速度の解析

上記の実験系および解析方法を用いて、ソース器官およびシンク器官における糖の積み込み機能を阻害した際の糖輸送の応答を解析した。ショ糖トランスポーターの阻害剤である PCMBs をイネの最大展開葉に塗布した実験区（ソース器官処理区）根に PCMBs を投与した実験区（シンク器官）および無処理区の植物を用いて PETIS による炭素動態のイメージングを行い、糖転流速度の解析を行ったところ、ソース器官処理区のみにおいて、糖輸送の速度の低下が確認できた（図 4）。この結果から、ソース・シンク間の糖輸送の速度を律しているのは、ソース器官での糖の積み込みの活性であることが示唆された。

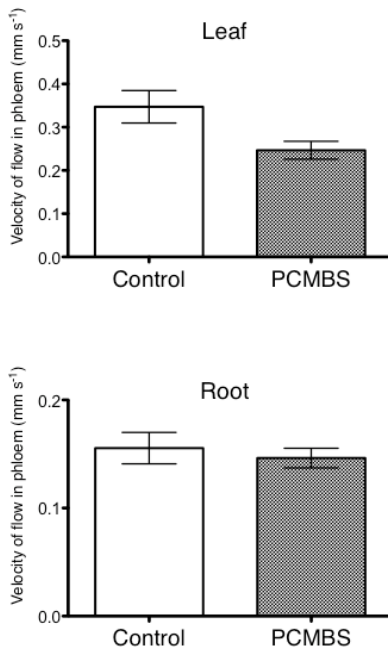


図 4 葉および根に PCMBs 処理を行った植物における糖輸送速度

本研究により、1) 植物のソース・シンク器官間の糖輸送の定量化に成功し、2) ソース器官の糖の積み込み機能を阻害した際の糖輸送速度の低下を確認することが出来た。本成果を日本光合成研究会シンポジウムにおいて発表したところ、最優秀ポスター賞が授与された。¹¹C を用いて植物体中の炭素の動態を非侵襲的にイメージングできる研究機関は世界で数ヶ所しかなく、さらにイメージングのデータを定性的だけでなく、定量的に解析し、植物生理のパラメータを抽出して

いることが、本研究の非常にユニークな点であると考えられる。

今後は、ソース・シンクバランスを多様に変化させた実験区における糖輸送速度を、本実験系を用いて解析することにより、ソース器官からシンク器官へと流れる糖輸送の速度のモデル化を試みる予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 6 件）

Suzui N., Kawachi N., Ishii S., Nakamura S., Matsuhashi S. and Fujimaki S.: Non-invasive estimation of phloem flow velocity under cadmium stress using the positron emitting tracer imaging system, JAEA-Review, 2007-060: 121 (2008). 査読有

Suwa R., Fujimaki S., Suzui N., Kawachi N., Ishii S., Sakamoto K., Nguyen N.T., Saneoka H., Mohapatra P.K., Moghaieb R.E., Matsuhashi S. and Fujita K.: Use of positron-emitting tracer imaging system for measuring the effect of salinity on temporal and spatial distribution of ¹¹C tracer and coupling between source and sink organs, Plant Science, 175: 210-216 (2008). 査読有
Kikuchi K., Ishii S., Fujimaki S., Suzui N., Matsuhashi S., Honda I., Shishido Y. and Kawachi N.: Real-time Analysis of Photoassimilate Translocation in Intact Eggplant Fruit using ¹¹C¹⁸O₂ and a Positron-emitting Tracer Imaging System, J. Jpn. Soc. Hortic. Sci., 77: 199-205 (2008). 査読有

Kawachi N., Fujimaki S., Ishii S., Suzui N., Ishioka N. and Matsuhashi S.: Molecular imaging by using positron emitting tracer imaging system (PETIS) to study plant physiology; Parametric imaging of photosynthesis, JAEA-Review, 2007-060: 120 (2008). 査読有

〔学会発表〕（計 7 件）

鈴井伸郎, ¹¹C を用いた光合成産物のイメージング：ソース・シンクバランスと転流速度の解析、第 9 回日本光合成研究会公開シンポジウム、2009 年 5 月 29～30 日、東京

鈴井伸郎, シンク・ソース機能阻害時の糖転流速度の解析、日本土壤肥料学会

2008年大会、2008年9月9～11日、愛知
鈴井伸郎、Non-invasive, quantitative
and repetitive imaging of
photoassimilate flow after source and
sink manipulations, XVI Congress of the
Federation of European Societies of
Plant Biology、2008年8月17～22日、
フィンランド
鈴井伸郎、Non-invasive Estimation of
Phloem Flow Velocity under Cadmium
Stress using the Positron Emitting
Tracer Imaging System、International
Conference on Plant Vascular Biology
2007, 2007年5月7～11日、台湾

6 . 研究組織

(1)研究代表者

鈴井 伸郎 (SUZUI NOBUO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・
量子ビーム応用研究部門・研究職

研究者番号：20391287