

琉球大学学術リポジトリ

X線CTおよびMRIを用いたサトウキビ茎部の三次元観察

メタデータ	言語: 出版者: 沖縄農業研究会 公開日: 2009-01-29 キーワード (Ja): 医療用X線CT, MRI (核磁気共鳴), 画像, 維管束分布, サトウキビ, 横断面図, 試料観察 キーワード (En): 作成者: 松嶋, 卯月, 佐藤, 昌憲, 加藤, 博史, 福澤, 康典, 川満, 芳信 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002015652

X線CTおよびMRIを用いたサトウキビ茎部の三次元観察

松 嶋 卯 月・佐 藤 昌 憲¹⁾・加 藤 博 史²⁾・福 澤 康 典・川 崎 芳 信

(琉球大学農学部・¹⁾ 駒澤大学・²⁾ 桔梗ヶ原病院)

Uzuki Matsushima, Masanori Sato, Hirofumi Kato, Yoshinobu Kawamitsu,
Yasunori Fukuzawa : 3-Dimensional observation of sugarcane stems using
X-ray CT and Magnetic Resonance Imaging

1. はじめに

高等植物において維管束の発達の水および養分の輸送に密接に関わっている。沖縄の基幹作物であるサトウキビにおいても維管束の充実はそのバイオマス生産に大きな影響を与える。そのため、維管束分布を含めたサトウキビの構造解析は、糖生産の向上につながりうる貴重な情報であると考えられる。サトウキビの根茎から茎、葉に展開される維管束の分布を明らかにすることは、その構造解析に対して有効であろう。これまでのところ、植物解剖学においては光学および電子顕微鏡の使用が主流である。しかし、近年X線CTやMRIおよび陽電子放出型断層撮影などの医療用画像診断技術や中性子CTなどの工業用画像技術を植物体に用いた解剖学的観察への応用も進んで来た(中西ら, 2003, 松嶋ら, 2004)。これらの方法は物体の三次元構造を観察する方法として優れており、植物解剖学分野への寄与が期待されている。本稿では、医療用X線CTおよびMRIを植物体に使用する機会を得、サトウキビ茎を三次元で観察した結果について報告する。

2. 試料および方法

試料：琉球大学農学部実験圃場で育成されたサトウキビ(品種：農林8号)を収穫後、直径

1 cmから2 cm程度の茎部を長さ約5 cmに切りそろえ(図1)、冷蔵宅配便を用いて駒澤大学に送付した。サトウキビはその後家庭用冷蔵庫で保存され、適宜実験に供試された。



図1 サトウキビ試料の写真。

X線CT-1：X線CT撮影はHispeed Dx/I (GEYMS)を用いて桔梗ヶ原病院にて行った。管電圧は80kV、管電流は200mAとした。CTのスライス厚は1mmとし、スライス毎の画像サイズは512x512Pixelとなった。また、画像解像度は0.097x0.097mmであった。撮像時間は1秒毎に1枚のコンベンショナルスキャンとした。

X線CT-2：X線CT撮影はXvision(東芝)を用いて駒澤大学にて行った。管電圧は120kV、管電流は25mAとした。CTのスライス厚は1mmとした。

X線CTにおける造影方法：駒澤大学におけるX線CT撮影では、ヨウ化カリウムによる造影を試みた。試料の一端をヨウ化カリウム水溶液に浸漬し、ポリ塩化ビニリデンフィルムで表面を覆い2日間家庭用冷蔵庫内で調製した。

MRI：MRI撮影には桔梗ヶ原病院のMRI装置 Profile Open Spirit (GEYMS) を用いた。本装置の磁場強度は0.2T、コイルは9 inchGPコイルである。パルス磁場の印加方法には高速回復FSE法 (FRFSE) およびスピンエコー法を用いた。その他の設定を表1に示す。

表1 MRI撮影における各種設定。

パルスシーケンス	加算回数	エコー時間	繰り返し時間
	回	ミリ秒	ミリ秒
FRESE法	15	94.5	2000
SE法 (プロトン強調)	40	32.0	2000
SE法 (T ₂ 強調)	40	90.0	2000

3. 結果および考察

透過X線は物質の密度が高いほど減衰する。そのため、ある物体内の構造は、その密度差があるほど得られる画像のコントラストは高く観察しやすい。植物の場合は、その構成要素のほとんどが水素あるいは炭素などの軽元素である。すなわち、X線で植物体の観察を行う場合は、高コントラストを得るための工夫が必要となる。

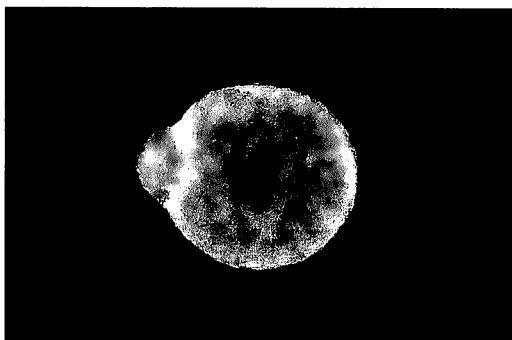


図2 桔梗ヶ原病院におけるX線CT影によるサトウキビ茎の横断面。

図2は桔梗ヶ原病院放射線部にて行ったX線CTで得られたサトウキビ茎の横断面である。画像解像度は0.097x0.097mmと高いが画像は不鮮明であった。これは試料中における各組織の密度がX線で容易に観察できる十分な密度差を持たないということの意味する。維管束を効果的に観察する場合は、コントラストを増すために造影剤を使用する等の工夫が必要である。そこで、今回はヨウ化カリウム水溶液を用い造影を試みた。図3-AおよびBは駒澤大学のX線CTを用いて得られたサトウキビ茎の横断面である。Aは未造影の像、Bは造影を行った像である。ただし、AおよびBにおけるサトウキビ茎の試料は異なり、同一のものではない。造影された試料のCT画像は、横断面全体のコントラストが増加し、その結果像が明るくなった。

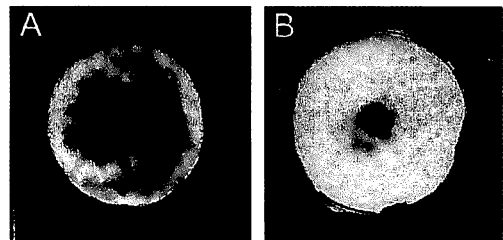


図3-A 駒澤大学におけるX線CTによるサトウキビ茎の横断面。
A：造影剤なし B：造影剤あり

茎の切断面からヨウ化カリウムが茎内部に達した距離は約15mm程度であった。今回の造影では断面全体のコントラストが上昇した。これは長時間ヨウ化カリウムに浸漬したために、試料中の細胞間隙など全体的に溶液が拡散したためであると考えられる。効率的に維管束部分のみの造影を行うには、蒸散を利用して短時間でヨウ化カリウムを吸収させるなどの方法の確立が必要であろう。また、使用するX線装置あるいは管電圧や電流が異なると得られる画像も変化

した。

MRIは核磁気共鳴を利用し、試料中の水分子の結合状態を画像化する手法である(多田ら, 2002)。図4にMRIで得られたサトウキビ横断面を示す。aはFRFSE法, bとcはスピンエコー法で撮像したものであるが, RFパルスを繰り返す間隔が異なる(表1)。aとbおよびcを比較すると, aはb, cより画像が不鮮明である。

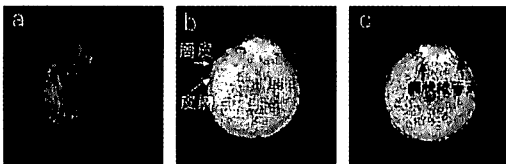


図4 MRIによるサトウキビ茎の横断面。

- a. FRFSE法
- b. スピンエコー法(プロトン強調) 32ミリ秒
- c. スピンエコー法(T_2 強調) 90ミリ秒

両者のパルス磁場の印加方法は異なるが, aの加算回数もまたb, cの半分以下の設定と異なったものであった。今回使用されたMRI装置におけるコイルの径は9 inch, すなわち約23cmであり, 試料の径は約2 cmであるため相対的に大きい。パルス磁場が印加された試料中の水素から発せられた微少な信号をとらえる。その際, 使用するコイルに比較して試料が小さい場合には, S/N比が小さくなり良好な画像が得にくい(巨瀬, 2004)。よって画像を得るために必要な回数信号を加算する必要がある(表1)。bおよびcで良好な画像が得られたのは, 複数回パルス磁場の印加を行い数多く信号を加算したためと考えられる。また, bとcはRFパルスの繰り返し時間が異なるため, 異なった画像が得られた。MRIを用いた撮像では, エコー時間と繰り返し時間の設定を変えることによって, 種々のパラメータを強調することが出来る。bはプロトンが, cは T_2 が強調された画像である。

このように, MRIではパルス磁場の印加法や加算回数およびその繰り返し時間などを変えることによって, 画質を調整することが可能である。

今回撮影したX線CTおよびMRIの画像から, 次のことが観察された。まず, MRIの画像では周皮と皮層が明確に区別された(図4-b, 矢印)。サトウキビ茎部の維管束を染色して切片を光学顕微鏡で観察した結果, 維管束は皮層の近傍にはあまり存在せず, 数mm離れた内側に数多く点在した(データ省略)。MRIで得られた横断面図には複数の白色の点が見られたが, それらの分布傾向は光学顕微鏡で得られた維管束の分布傾向と同様であった。従って, MRI画像中で見られた複数の白点はそれぞれが維管束であると考えられる。しかし, 維管束内の個々の導管, 篩管は判別不能であった。また, 茎中心の髄ではX線CTとMRIの画像から得られた内部構造の情報は異なるものであった。X線CTでは, 髄の存在する中心部は暗く組織構造は認められなかった。一方, MRIでは茎中心部は周囲と比較して相対的に暗いが組織が認められた。このことは, 髄の密度は茎の他の部位と比較し低い, 全くの空洞ではなく水を含む組織が存在することを示す。髄は空隙が多く密度が低いためX線での撮像は困難であると考えられる。すなわち, X線および核磁気共鳴における原理の相違によって, 得られる画像情報が異なる。このように, X線CTとMRIでの撮影を同時に行い, 得られた画像を比較することで, 空隙多さなど, 複数の情報から組織内の構造を多面的にとらえることが可能であると思われる。なおMRIの画像においては, 茎から側枝が生じる部分に網状維管束と思われる横に伸びた組織が認められた(図4-c矢印)。この組織の詳細については今後の検討が求められる。

以上、医療用X線CTおよびMRIは、茎内部の三次元構造を非破壊で観察する方法として効果的であった。これらの手法は、維管束分布を含めたサトウキビの構造解析を行う上で非常に有効であると考えられる。今後はX線および核磁気共鳴の性質をよく生かし、植物試料観察に最適な条件を明らかにする必要がある。

4. 摘要

医療用X線CTおよびMRIを用いてサトウキビ茎を三次元で観察し次の結果を得た。

- 1) 未造影のX線CTにおける茎横断面画像のコントラストは低く、組織の観察は困難であった。しかし、ヨウ化カリウム水溶液を用いた造影によってコントラストを高めることが可能であった。
- 2) MRIによって得られた画像は、分解能が高く周皮と皮層の判別および維管束分布の観察が可能であった。
- 3) 得られる画像情報が異なるX線CTおよびMRIを同時に行うことによって、サトウキビの三次元観測がより多行的に行われると考えられた。

5. 謝辞

本研究において、X線CTおよびMRIの撮影

に協力して頂いた桔梗ヶ原病院関係者諸氏および駒澤大学の学生諸君にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 巨瀬勝美 2004. コンパクトMRI, 共立出版株式会社, 東京, 第1版
- 2) Matsushima U., Kawabata Y., Nakano T., Hino M., Geltenbort P., Nicolai B. M. 2004. High-contrast Neutron Imaging to Observe Water Distribution in Intact Plants, 5th International Postharvest Symposium, Verona, Italy, 6-11 June, Volume of Abstracts: p118. to be published in Acta Horticulturae
- 3) Nakanishi, T. M. Okuni, Y. Furukawa, J. Tono, K. Yokota, H. Ikeue, N. Matsubayashi, M. Uchida, H. Tsiji, A. 2003. Water movement in a plant sample by neutron beam analysis as well as positron emission tracer imaging system. J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 255 (1) : 149-153
- 4) 多田信平, 田中宏, 石井千佳子, 佐藤希光 2002. MRIテクニックマニュアル, 株式会社南江堂, 第1版