

(8) 農作物、土壌等への応用

土壌粒子及び根の分布の可視化

利用者 ○今瀬 肇¹、永石憲道²

所属 ¹茨城県企画部、²東邦レオ(株)

1. はじめに

土壌の違いによる植物根系発育は未知の部分が多く、特に、樹木の根系となると微細環境における形態の研究は破壊的装置や一般環境と乖離した実験状態による確認によるものである。このため、根の実態を明らかにすることが出来ておらず、地上部の育成を見ての評価に終始している。

今課題はいくつかの土壌（植栽基盤）における樹木（レッドロビン）の幼苗の根の育成経過を非破壊で観察できる手法としての中性子線撮影の検討、撮像できた場合、土壌の違いによる根系伸長の検討を行い、標準的手法となりうるか否かに主体を置いて検討することを目的に実施した。

2. 実験方法

いくつかの粒径、組成形状の異なる土壌を植栽基盤としてもちいた。

通常可視観察に用いられる厚みよりも厚い層厚を設定した根箱をアルミニウム平板にて作成し、中性子線による撮像が可能であるか否かの予備（基礎）実験をまず行った。実際に植栽基盤へレッドロビン幼苗を移植して育成経過を追うための実験条件設定のために、予備の撮像実験を行った。

3. 実験結果

植栽基盤の種類によって、構成する粒子の分布が異なることは、実験前より明らかであったが、その粒子の保水状態の影響から、透過像の撮像が困難である試験区が明らかになった。

これまで、根関係での透過実験の標準区として用いられてきた砂に関しては、非常に取り扱いに優れ、かつ、映像も明瞭であったが、実質的に育成に多用される生育良好な植栽基盤となる殖壤土（黒ボク土など）に関しては、撮像が困難であることが明らかとなった。保水状態で中間に位置する人工土壌（真珠岩焼成発泡物主体）や、火山礫質植栽基盤で、実験条件の設定によっては、育成した根の状態が砂よりも明瞭に確認できることが分かった。

4. まとめ

1. 土壌水分条件によって、撮像可否が分かれた。
2. 土壌組成（粒形）の影響は、水分条件よりも低いことがわかった。
3. 土壌中の樹木組織の状態は、ある程度確認できた。

詳細な条件設定が必要となる事象

1. 水分条件を各土壌タイプ別に調整する過程が必要となる。
2. このため、育成経過を追跡する際問題となる水分ストレスを負う可能性がある。
3. ストレスを負ったサンプルを経過実験に復帰させる意味合いが薄く、経過観察を

前提とした今課題の意味合いが薄れる可能性が高い。

育成条件の微細な設定は必要であるが、非常に明瞭で、客観的な経過画像データを得ることができると想定できる結果が出た。

今後、下半期の実験では、撮像の詳細な条件設定を決定していく予定である。

このことを展開して行く事で、中性子線透過撮像技術が植物根系の基礎領域研究から、実際に踏まえた応用領域での材料開発などへの橋渡しとなりえるものと思われる。



植物中の水分動態の可視化

利用者 ○鈴木隆一、駒形智幸、松浦和哉

所属 茨城県農業総合センター

1. はじめに

茨城農業総合センターで研究を行っている作物の中では、環境因子による様々な課題を抱えているものがある。一例として、グラジオラスの穂焼け症による障害、大豆根粒菌の寄与率向上や青立ち症状の発生要因の解明などは重要な課題であるが、これらの発生メカニズムはまだ不明な点が多い。作物の内部を生きたまま時系列的に測定・解析する手法が少ないためでもある。本課題では、生きたまま非破壊で観察できる中性子ラジオグラフィを用いて、グラジオラスとダイズがどのような画像として捉えられるのかを把握し、どのような展開ができるものなのかを検討した。

2. 実験方法

JRR - 3内のTNRF第二撮影室にて中性子の照射を行い、撮像には55mmレンズ、蛍光コンバータ ($^6\text{LiF/ZnS : Ag}$) および冷却CCDカメラを用いた。

グラジオラスは品種‘マスカーニ’を園芸研究所ビニルハウスで栽培し、花穂が完全に出穂した直後のステージで採花したものを供試した。撮影直前に花穂を切り取り、水分供給を絶った直後と撮影室内に1時間放置した後に中性子照射を行い、双方の水分量を比較した。

ダイズは品種‘タチナガハ’を農業研究所内でワグネルポットに植えて栽培したものを供試した。株をポットから抜き取って根を水洗した後、根部と地上部を中性子照射して画像の状況を検討した。

3 実験結果

<グラジオラス>

撮影室内の環境（室温30℃前後、湿度30%前後）条件下でスタート時（0h）と1時間の画像を示す（図1）。乾燥による水分減少がどの程度検出できるかがポイントであったが、部位によって水分の増減が異なることが判った。

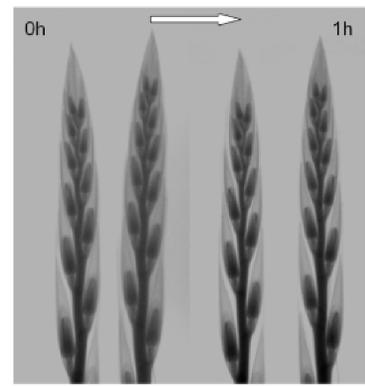


図1 グラジオラス花穂の中性子ラジオグラフィ
左：スタート時、右：1時間後

図2の画像のように選択範囲をとり、垂直方向の相対強度の平均値（数値が大きいほど水分が多い）をグラフにすると、小花の苞葉先端の部位は減少していたが、茎や蕾の中心部は増加していた。苞葉は組織が薄いため、比較的早く乾燥が起こって水分が減少したものと考えられた。増加した部位に苞葉先端蕾茎に関しては、組織の厚みや苞葉に覆われていたこと、1h時間の経過とともに全体0h的に花穂が収縮したこと等が水分増加の要因と考えられるが、詳細についてはさらに検討が必要である。

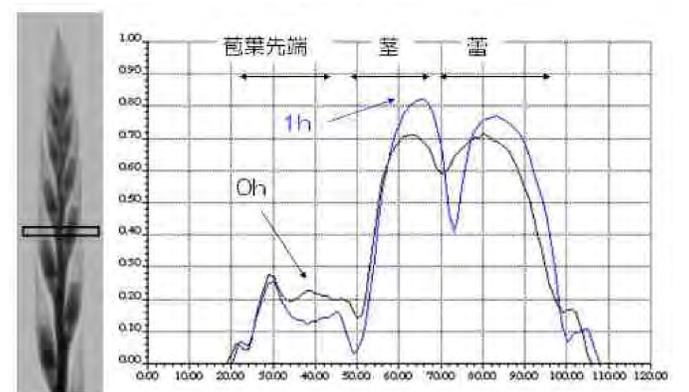


図2 グラジオラス花穂横断部位の水分分布
グラフは左の花穂写真中の長方形部分の水分分布を表す。
横軸は花穂の部位（左の花穂写真に対応）縦軸は水分量。

<ダイズ>

土壌中の根の分布を調べるため、鉢植えのダイズを用意したが、中性子が十分に透過せず、全く土壌中の様子を見ることはできなかった。土壌中の観察を行うためにはアルミ製の薄い根箱のようなものを用意すべきであろう。

試行的にダイズの地上部、および土壌から取り出した根（根粒菌付き）を測定した（図3）。地上部は部位による水分差を撮影することが可能であった。根部は細根まで詳細に撮影できるが、根粒菌の大きいものは黒く写るため根粒内の水分分布の撮影は困難と考えられた。

まとめ

ダイズに関しては、どのような画像が得られるかが判った。今後、我々のニーズとのマッチングが得られれば利用したいと思う。グラジオラスに関しては、中性子ラジオグラフィによって花穂中の水分量の変化をとらえられることが明らかになった。下期においては、撮影室内に投光器を設置し、高温高光度条件下で経時的に撮像を行い、より詳細な部位別の水分増減を調べる予定である。

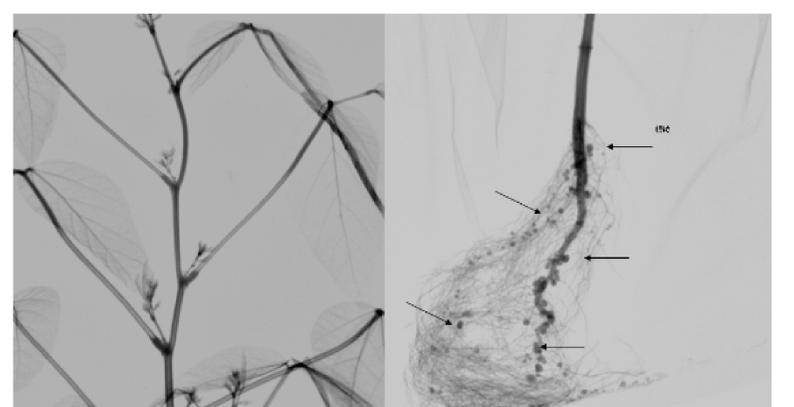


図3 ダイズの中性子ラジオグラフィ
（左：地上部、右：根）

植物を用いた水分分布及び含水量変化の解析

利用者 ○今瀬肇¹、土橋克広²、田野井慶太郎³

所属 ¹茨城県企画部、²放射線医学研究所、³東京大学大学院

1. はじめに

植物体の9割は水が占め、植物の生理活動においては水無しにはおこりえない。特に、養分吸収や養分の転流においては水が大きな役割を果たすのは言うまでもない。それゆえ、最も重要な役割を果たしている植物中の化学物質はなんといっても水である。我々は、生きたままの植物体中の水の動きや分布を探るために、中性子ラジオグラフィを用いて特異的な水の像が得られるのではないかと考えた。本研究では、乾燥につよいササゲを使用して、特に根圏における水動態を観察した。ササゲは、根付近に水が全くない状況を2週間以上続けても、再び水を与えると生育することができる。また、菌根菌との共生により、このように特に乾燥に強い性質を解析するため共生状況での根圏水分量の測定も試みた。

2. 実験方法

根箱に播種後6日目のササゲを移植し、最初の土壌水分含量を30%に設定した砂で2週間生育させ、その後撮影を行った。砂の最大容水量は0.28ml/g、1枚の根箱に100g前後の砂を入れた(図1)中央にナイロン網で根箱を仕切り、植物の根は上部まで、菌根菌は下部までいけるように設定した。

3 実験結果

土壌水分量を定量するため、取得画像の黒化度と土壌水分含量について検量線を引いたところ、相関係数の二乗が0.9422という高い相関が得られ、黒化度から土壌水分含量を求めることが可能となった。(図2)

実際のラジオグラフィ像を、図3に示した。左が乾燥に弱いササゲ(7778)、右が乾燥に強いササゲ(11979)である。中央には、検量線のために水分含量を変化させた砂が配置してある。

左図は撮影した画像で、右図は擬似カラーを施した図である。

その結果、根は中央のナイロン網で止まっていた、実験系の構築には成功した。しかし、初期の土壌水分量30%という値が少なすぎたのか、植物が後半枯れてしまった。よって、菌根菌がどこまで発達したのか不明となってしまった。

土壌中の水分量を数値化したのが図4である。その結果、感受性の7778の方が乾燥に強い11979よりも土壌水分量が多く残っていた。これは、乾燥に弱い方が根圏から水分を吸収する能力が弱い可能性を示唆している。菌根菌の有無で土壌水分量の差は無かった。

4. まとめ

中性子ラジオグラフィ技術が植物根の生理作用の研究に応用できる可能性は示されたと考える。

本研究では、根圏の土壌水分量について乾燥耐性能、および菌根菌の有無をパラメータとして実験を行った。その結果、菌根菌の有無で土壌水分量に変化はなかったが、感受性株と耐性株で土壌からの水分吸収能力に差がある可能性について考えられた。

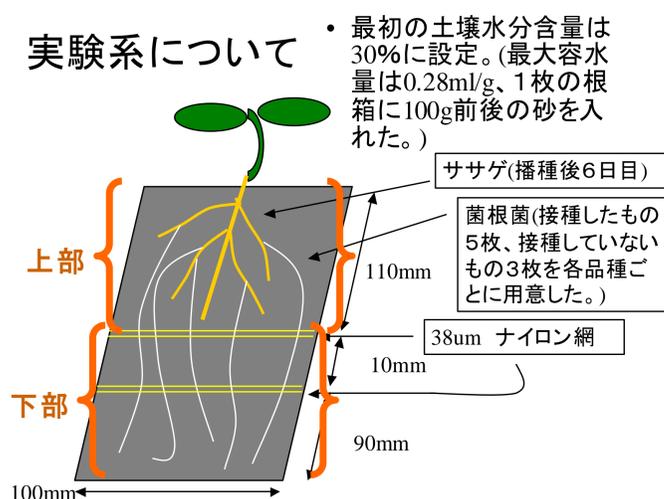


図1 実験系概要

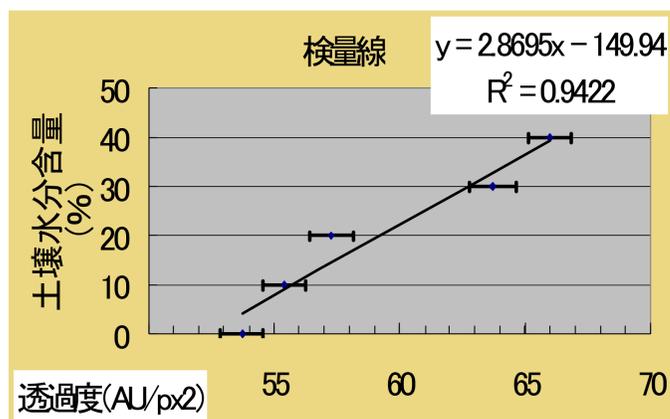


図2 取得画像の黒化度と土壌水分量の相関

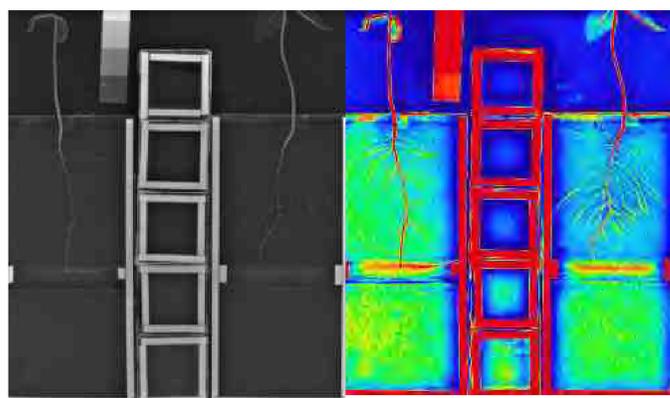


図3 ササゲの中性子ラジオグラフィ画像

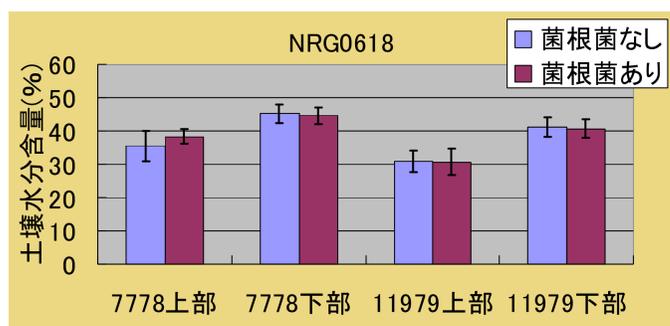


図4 土壌中の水分量

土壌粒子および根の分布の可視化

利用者 ○今瀬 肇¹、永石憲道²

所属 ¹茨城県企画部、²東邦レオ(株)

1. はじめに

土壌の違いによる植物根系発育は未知の部分が多く、特に、樹木の根系となると微細環境における形態の研究は破壊的装置や一般環境と乖離した実験状態による確認によるものである。このため、根の実態を明らかにすることが出来ておらず、地上部の育成を見ての評価に終始している。

今課題はいくつかの土壌（植栽基盤）における樹木（レッドロビン）の幼苗の根の育成経過を非破壊で観察できる手法としての中性子線撮影の検討、撮像できた場合、土壌の違いによる根系伸長の検討を行い、標準的手法となりうるか否かに主体を置いて検討することを目的に実施した。

2. 実験方法

いくつかの粒径、組成形状の異なる土壌を植栽基盤としてもちいた。通常可視観察に用いられる厚みよりも厚い層厚を設定した根箱をアルミニウム平板にて作成し、中性子線による撮像が可能であるか否かの予備（基礎）実験をまず行った。ついで良好な撮像が行われた実験設定を活かしつつ、実際に植栽基盤へレッドロビン幼苗を移植し、育成経過を追いながら、間隔を置いての撮像を行った（右写真上）。



3. 実験結果

植栽基盤の種類によって、構成する粒子の分布が異なることは、実験前より明らかであったが、その粒子の保水状態の影響から、透過像の撮像が困難である試験区が明らかになった（右写真下）。



これまで、根関係での透過実験の標準区として用いられてきた砂に関しては、非常に取り扱いに優れ、かつ、映像も明瞭であったが、実質的に育成に多用される生育良好な植栽基盤となる殖壤土（黒ボク土など）に関しては、撮像が困難であることが明らかとなった。保水状態で中間に位置する人工土壌（真珠岩焼成発泡物主体）や、火山礫質植栽基盤で、乾燥条件といった実験条件の設定によっては、育成した根の状態が砂より明瞭に確認できることが分かった。

4. まとめ

1. 土壌水分条件によって撮像の可否が分かれた（下写真）。
2. 土壌組成（粒形）の影響が設定する水分条件の影響よりも低いことがわかった。
3. 根の状態は低水分状態では明瞭に確認できた（下写真 左から二区目の拡大）。

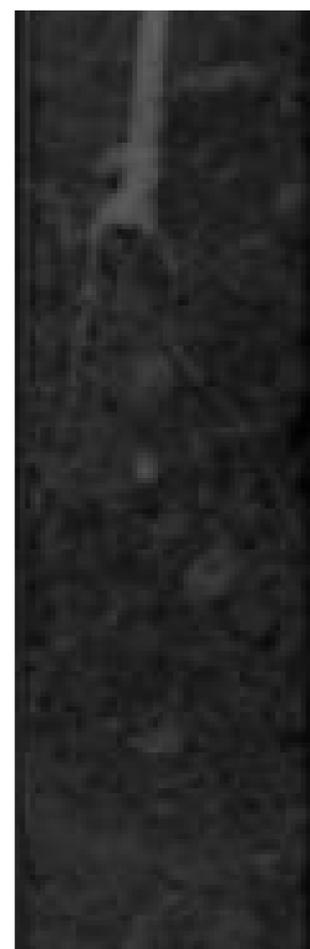
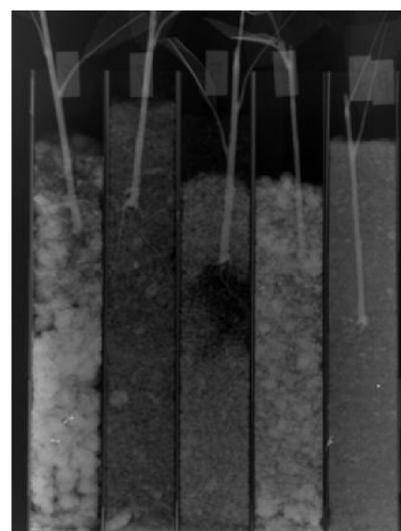
今後の検討課題

1. 土壌のタイプ別に撮像時の水分条件を調整する過程が必要となり、区設定が予備検を含め煩雑化していることから、簡素化した試験区設定を行うべき。

2. 撮影条件の前提として水分調整が必要であり、育成経過時に、植物体が水分ストレスを負って問題の無い実験計画を設定すべき。

また、今後、撮像設定の詳細条件を決定していくことで、植物根系の基礎領域研究から、実際に踏まえた応用領域での材料開発などへの橋渡しとなりえるであろうと思われる。

可能であれば、いくつかの実験設定を見直しての再試験も必要と思われた。



植物中の水分動態の可視化

利用者 ○鈴木隆一、駒形智幸、松浦和哉

所属 茨城県農業総合センター

1. はじめに

茨城県農業総合センターで研究を行っている、グラジオラス穂焼け症の発生要因の解明は重要な課題である。発生メカニズムはまだ不明な点が多いが、それは作物の内部を生きたまま時系列的に測定・解析する手法が少ないことが一因となっている。上期の実験で、中性子ラジオグラフィーによってグラジオラス花穂中の水分量の変化をとらえられることが明らかになったことから、下期においては穂やけ発生器官である苞葉の部位別水分の経時変化を測定する。

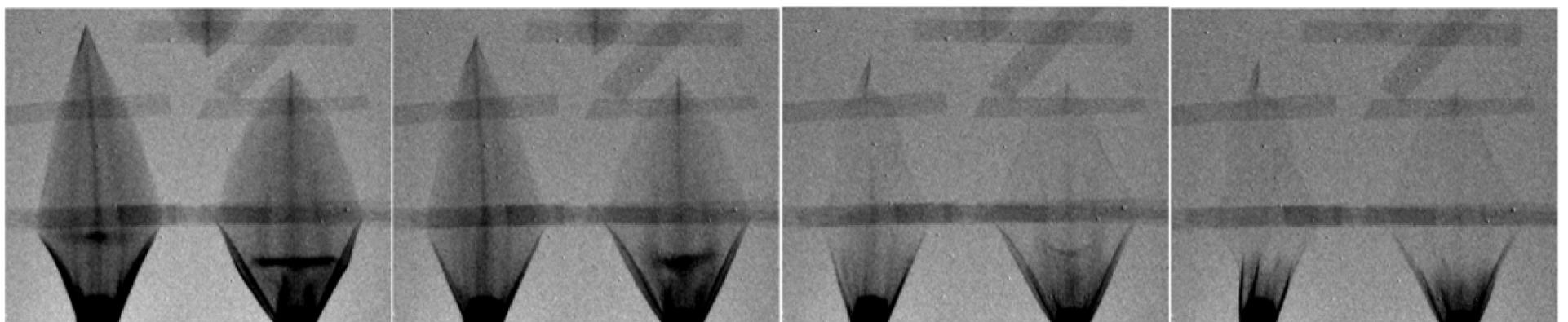
2. 実験方法

JRR - 3内のTNRF第二撮影室にて中性子の照射を行い、撮像には55mmレンズ、蛍光コンバータ（6LiF/ZnS：Ag）および冷却CCDカメラを用いた。品種‘チノン’及び‘ホワイトフレンドシップ’を農業総合センター内ビニルハウスで栽培し、花穂が完全に出穂した直後のステージで採花したものを供試した。‘チノン’は穂やけに強く、‘ホワイトフレンドシップ’は穂やけに弱い品種である。撮影直前に小花柄を付けて苞葉を切り取り、水分供給を絶った状態で投光器をあてたまま撮影室内に放置して経時的に中性子照射を行った。

3. 実験結果

図1に小花苞葉の経時変化を示した。処理開始時に比べて経時的に苞葉画像の色が薄くなり、水分が減少している状況が画像から確認され、同時に体内水分の減少により形状の変化がみられた。

図2の画像のように選択範囲を取り、小花苞葉中の水分量をグラフ化した。両品種とも中心部分から外縁部分に向かうほど水分量が減少した。処理開始30分から60分の間に急激な水分の減少がみられた。‘チノン’は‘ホワイトフレンドシップ’に比べて30分後の水分減少が少ない傾向がみられ、また、苞葉外縁部の水分量が多い傾向が認められた。



処理開始時

30分後

60分後

90分後

図1 中性子ラジオグラフィーによるグラジオラス小花苞葉の経時変化
(各写真とも左‘チノン’、右‘ホワイトフレンドシップ’)

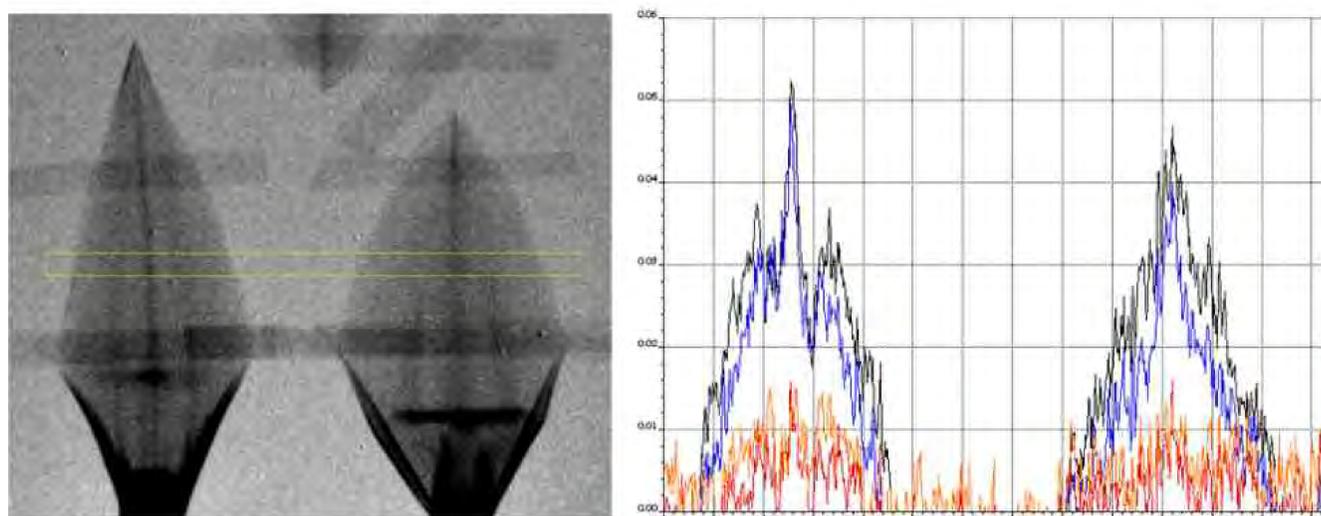


図2 グラジオラス小花苞葉の横断部位別水分分布の経時変化

グラフは左の苞葉写真（左‘チノン’、右‘ホワイトフレンドシップ’）中の黄色長方形に囲まれた部分の水分分布を示す（横軸は黄色長方形の水平方向、縦軸は水分強度を表す。水分強度の値が大きいほど水分量が多い。）。グラフは黒：処理開始時、青：30分後、赤：60分後、オレンジ：90分後

各品種の小花苞葉の部位別水分量の経時変化を図3及び図4に示した。両品種とも水分量は処理開始10分後（目盛り値で15）付近まで上昇し，その後60分後（目盛り値で90）付近にかけて減少した。水分量は外縁部ほど少なく、特に‘ホワイトフレンドシップ’では最外縁部位（水色）で顕著に少なかった。‘チノン’では水分変化のグラフの傾きはいずれの部位もほぼ同程度であり、いずれの部位でも同じ量の水分減少がみられ、外縁部ほど早くベースラインに達した。‘ホワイトフレンドシップ’では中間部位（青色）の水分減少が緩やかな傾向だったが、おおむね‘チノン’と同様な傾向がみられた。‘ホワイトフレンドシップ’では最外縁部位のベースラインが高く表示されており、その原因については今後検討が必要である

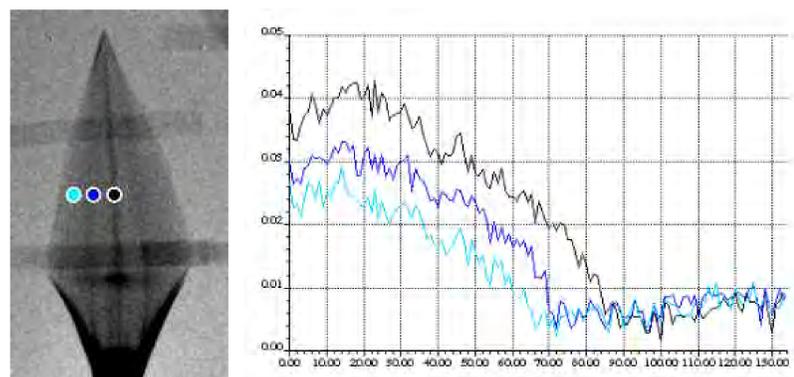


図3 ‘チノン’小花苞葉の部位別水分量の経時変化
横軸は時間（90=60分換算），縦軸は水分強度を表す。
グラフの色は左写真の同色各点の水分強度を表す。

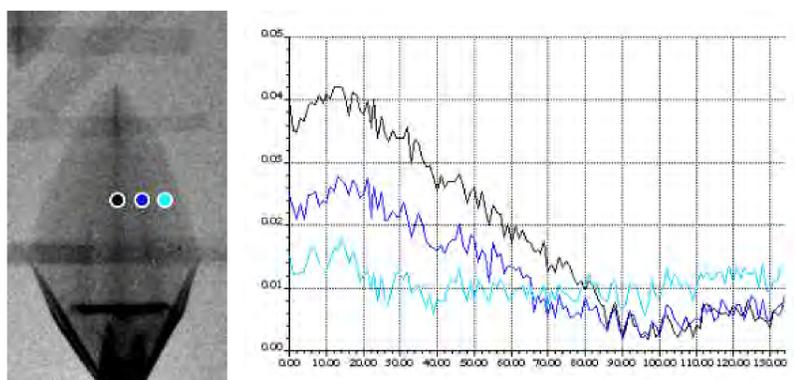


図4 ‘ホワイトフレンドシップ’小花苞葉の部位別水分量の経時変化
注釈は図3と同じ

4. まとめ

今回の実験では、グラジオラスの小花苞葉の部位別水分含量ならびに経時的水分変化の様相をとらえることができた。その結果、穂やけが小花苞葉の外縁部に生ずるのは、小花苞葉中の水分の絶対量が外縁部ほど早く減少するためと推測された。穂やけに弱い‘ホワイトフレンドシップ’では、穂やけに強い‘チノン’に較べて小花苞葉の外縁部の水分含量が特に少なく、水分不足の条件下では短時間に水分量がベースラインに達するため、穂やけが発生しやすいものと考えられた。今後は反復実験を行いデータの信頼性を高めるとともに、他の品種についても検討を加える必要がある。さらに、‘ホワイトフレンドシップ’と‘チノン’の小花苞葉外縁部位の水分差が何によって生じているのか、他の実験手法を踏まえて明らかにしていく必要がある。

植物中の水分動態の可視化

利用者 ○小林則夫、田中研一、坪井真樹
 所属 茨城県農業総合センター

1. はじめに

茨城県農業総合センターでは、県産米の商品性向上技術の開発に取り組んでおり、なかでも白米を炊飯前に水浸した際に発生するひび割れ粒の低減や冷めても美味しい炊飯米の特性解明は重要な課題である。ひび割れ粒は、調査時の観察から正常粒と吸水過程が異なっていると考えられ、登熟期における米粒水分の変化が一つの要因と推察される。また、冷めた時に食感の異なる炊飯米は放冷による米粒内の水分変化が関与している可能性がある。しかしながら、米粒や炊飯米の水分を非破壊で経時的に測定・解析できる手法は少ないため、これらのメカニズムは不明である。そこで、中性子ラジオグラフィを用いて、米粒や炊飯米がどのような画像として捉えられるのかを把握し、水分動態からみたメカニズムの解明に関する研究に利用可能かどうか検討する。

2. 実験方法

JRR-3内のTNRF第二撮影室にて中性子の照射を行い、稲穂と炊飯米の撮像には200mmレンズ、白米のCT撮像には100mmレンズを用い、蛍光コンバータ（6LiF/ZnS：Ag）および冷却CCDカメラによって撮影した。

(1) ひび割れ粒の発生メカニズム解明

◇穂の水分含量がひび割れ粒の発生に及ぼす影響

農業研究所において1/2000aのワグネルポットで栽培した「コシヒカリ」に以下の4処理を行い、登熟後期(8/30)及び成熟後(9/14)に採取直後の各区2穂を撮影した。残りの稲穂は収穫・乾燥後に玄米及び白米の品質調査を行い、画像データとの関係を解析した。

・試験区の構成

A：穂数1本/株(穂重型)、水管理Ⅰ C：穂数3本/株(穂数型)、水管理Ⅰ
 B：穂数1本/株(穂重型)、水管理Ⅱ D：穂数3本/株(穂数型)、水管理Ⅱ

<登熟期の水管理>

水管理Ⅰは土壌表面に水がなくなったら入水を繰り返す間断灌漑を行った。水管理Ⅱは登熟中期から落水を開始し、水分不足による枯死を防ぐため、平均240ml/日の水を与えた。なお、各水管理とも降雨があった際には適宜排水した。

<耕種概要>

5月17日にポット当たり稚苗8個体を円形に移植した。施肥窒素は基肥に3g/m²、分けつ期及び幼穂形成期に計4g/m²を施用した。穂数は分けつを適時切除して制御した。

◇白米吸水過程の観察

水浸した白米を180°回転させながら撮影し、CT画像を構築した。サンプルはひび割れ粒の発生率が異なる18年産コシヒカリ(ひび割れ発生率36%、1%)を用いた。白米を蒸留水に2分間及び10分間浸漬した後、水分をふき取った米粒をアルミ管内に並べて密封し、直立させて撮影した。2枚のアルミ板の間に0~2cmの厚みに炊飯米を置き撮影

(2) 食味の違いが水分低下に与える影響

タンパク質含量の異なる3種類の米を炊飯し、官能食味評価を実施するとともに、炊飯1.5、4、6.5時間後の炊飯米を中性子照射して画像の状況を検討し、食味の違いが水分低下に与える影響を解析した。



2枚のアルミ板の間に0~2cmの厚みに炊飯米を置き撮影

表1 ポット栽培した水稻の収量構成要素・品質

処理区		一穂粉数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米水分 (%)	ひび割れ 粒(%)
穂数	水管理					
1本/株	Ⅰ	130.2 ± 6.3	86.1	20.0	14.7	44
	Ⅱ	130.7 ± 6.6	89.0	19.9	14.9	26
3本/株	Ⅰ	73.9 ± 5.9	84.2	18.7	14.5	0
	Ⅱ	75.9 ± 6.5	84.3	18.6	14.6	0

注) ひび割れ粒調査

玄米10gをパーレストで60秒間搗精した後、碎米及び粉状質粒を除いた100粒を水温21°Cの蒸留水に20分間浸漬した。グレインスコープTX-200で観察し、米粒の外周に口が開いたような亀裂が少しでも確認されればカウントした。

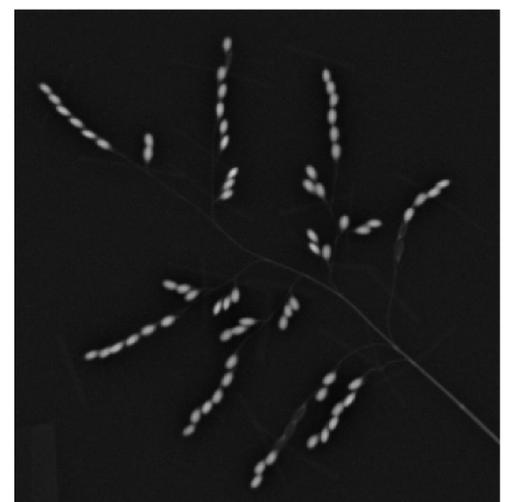
3. 実験結果

(1) ひび割れ粒の発生メカニズム解明

◇穂の水分含量がひび割れ粒の発生に及ぼす影響

供試サンプルの収量構成要素、ひび割れ粒発生率は穂数によって大きく変動し、水管理による差は小さかった(表1)。画像は主にデンプンによる吸収が反映されたため、着粒位置における水分の多少は目視で判別できなかった(図1)。

図1 稲穂の中性子ラジオグラフィ(8/30採穂、穂数3/株、水管理Ⅱ)



そこで、最上位と最下位の各3つの一次枝梗から小穂別に2~4粒を選び、相対吸収強度の粒当たり合計値を比較した(図2)。ひび割れ粒の発生が多かった穂数1本/株区では、発生率が高い水管理の方が両撮影時期とも相対吸収強度が低い傾向がみられた。特に登熟中期では一次小穂の低下が大きかった。一方、ひび割れ粒の発生がみられなかった穂数3本/株区では、水管理の違いによる差が認められなかった。株当たり穂数が同一で穂内の着生位置が同じ米粒は、炭水化物の蓄積程度もほぼ同じと考えられるので、相対吸収強度の違いは水分含量の違いを反映していると考えられた。従って、ひび割れ粒の発生が特に多かった穂数1本/株区の一次小穂では、登熟中期における米粒の水分含量が低下していると推察された。

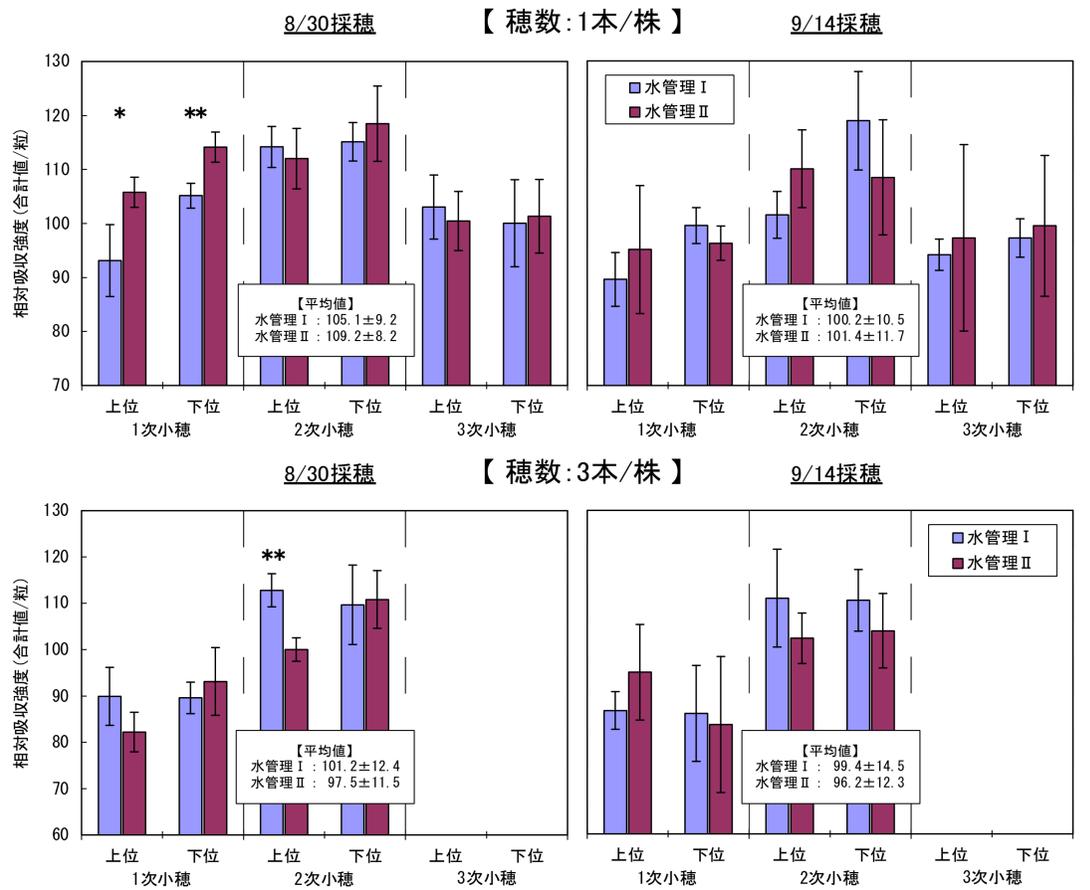
なお、株当たり穂数の違いは、ひび割れ粒の発生にも大きく影響したが、両者では米粒の発達ステージ、玄米粒重が異なるため、相対吸収強度からは比較できないと考えられた。

◇白米吸水過程の観察

まず、ひび割れ粒が多く発生する白米のCTを撮像したが、米粒内部の濃淡の違いは確認できなかったため(データ省略)、水浸時間を変えた白米のCTを撮像した(図3)。ひび割れ粒が多い米粒は少ない米粒に比べ内部の濃淡にばらつきが認められたため、ひび割れ粒の発生が異なる各5粒ずつの米粒断面の相対吸収強度を粒幅及び粒厚方向に取り出して比較した。

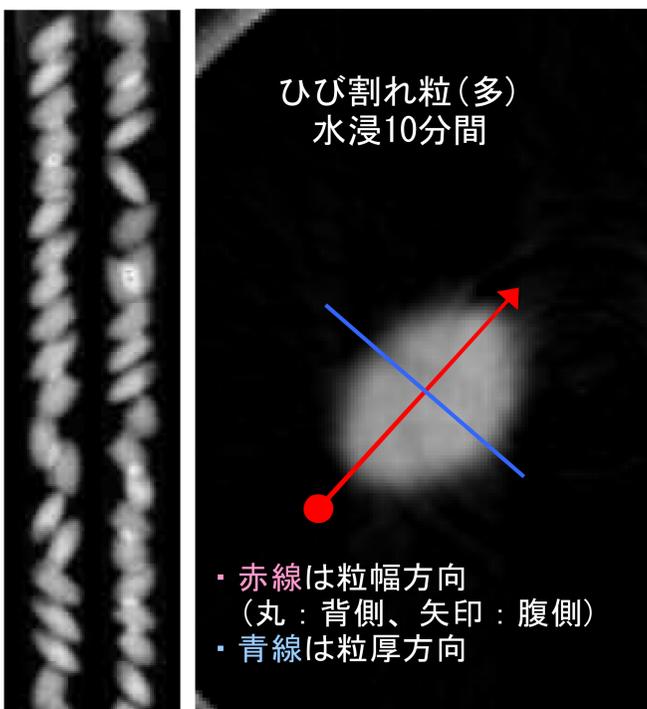
幅及び粒厚方向とも、吸水が進むと内部の相対吸収強度が低下し、その変動も大きくなった(図4、粒厚データ省略)。一方、ひび割れ粒の発生が少ない米粒では、水浸2分間及び10分間の相対吸収強度の変化はほとんど認められなかった。

このことから、ひび割れを起こす米粒は吸水過程で内部に割れを生じ、その部分が相対強度の低下とばらつきとなって表れている可能性が示唆された。



注) 図中の **, * はそれぞれ危険率1%, 5%の有意差があることを示す。

図2 着生位置別の相対吸収強度



(左の回転画像から右のCT断面を構築した。)

図3 白米の中性子ラジオグラフィ

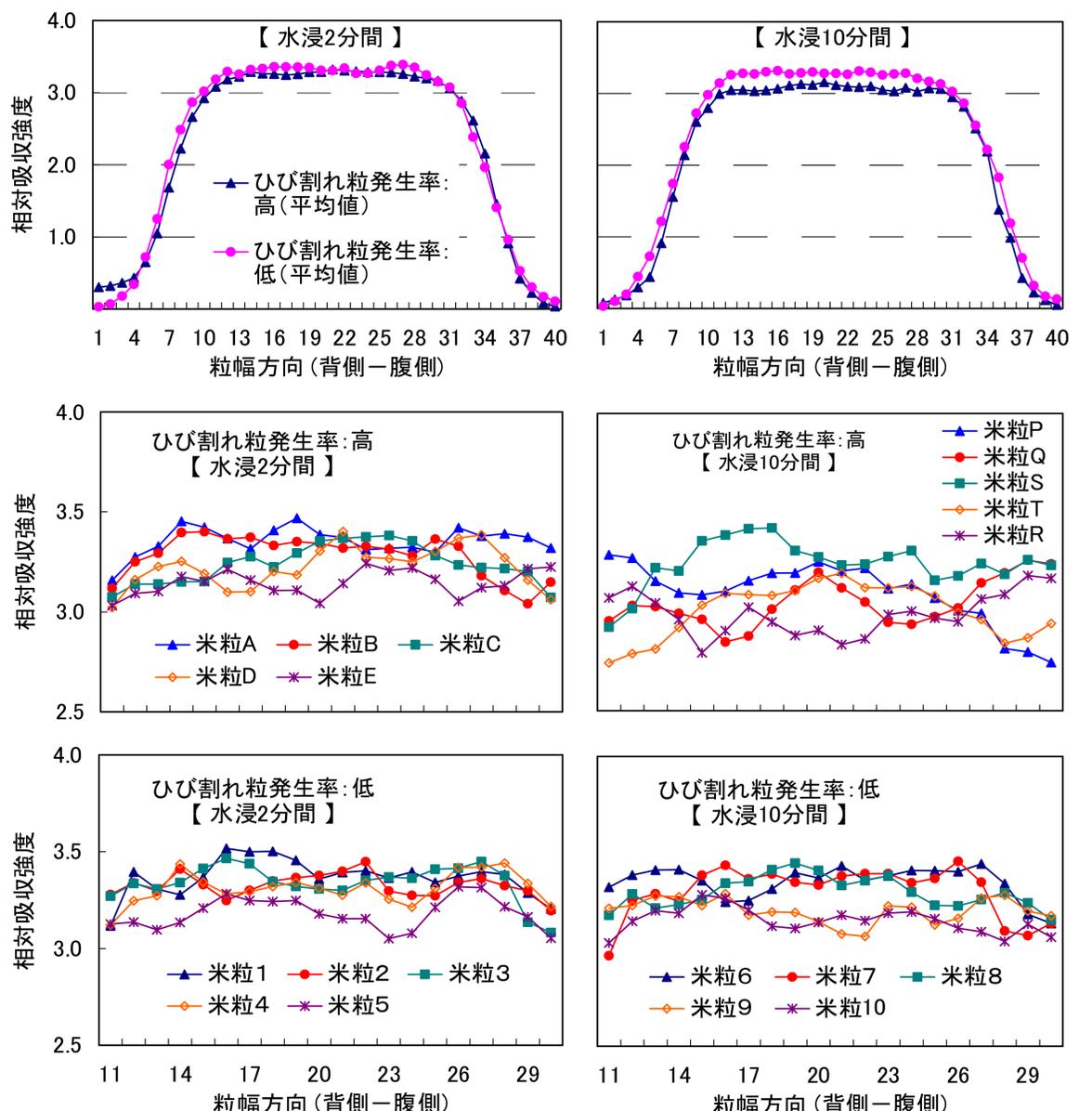


図4 水浸による白米内部の相対吸収強度の変化(粒幅方向)

(2)食味の違いが水分低下に与える影響

供試試料の属性と官能食味評価の結果を示す(表2)。タンパク質含量の増加に従って、食味は硬いという評価になり、総合評価は低下した。

炊飯1.5、4、6.5時間後の撮影画像を示す(図5)。撮影時以外は約20℃の撮影室外に静置した。乾燥による水分減少がどのように撮影されるかがポイントであったが、画像だけでは水分低下の違いが明確に判別できなかったため、白色強度を数値化し指数表示で示す(図6)。また、重量の変化を指数表示で示す(図7)。時間経過に従って、白色強度は弱くなり水分低下を反映していたが、食味の違いによる差は確認できなかった。一方、同じように水分低下を反映していると考えられる重量の変化は、生産年度が古くタンパク質含量が高いと水分低下が多かった。食味評価と白色強度および重量変化の関係が異なる結果となったのは、中性子ラジオグラフィで捉えた画像が、炊飯米の水分だけでなく米に多量に含まれているデンプンの水素元素等も反映していたためと考えられた。

食味概評	生産年度	タンパク質含量(白米乾物%)	外観 悪→良	香り 悪→良	うま味 悪→良	粘り 弱→強	硬さ 硬→柔	総合評価 悪→良
中	H18	6.5	-0.4	0.2	0.2	-1 **	-1 **	-0.2
高	H19	5.1	0	0	0	0	0	0
低	H19	8.1	-0.4	0.2	-0.8	-0.8	-1.4 *	-0.6 *

注) パネラーは5名。供試試料の属性を知らせずに、サンプル「高」を基準として-5~5の範囲で評価。
は t 検定による有意差を表す。: 5%有意、**: 1%有意

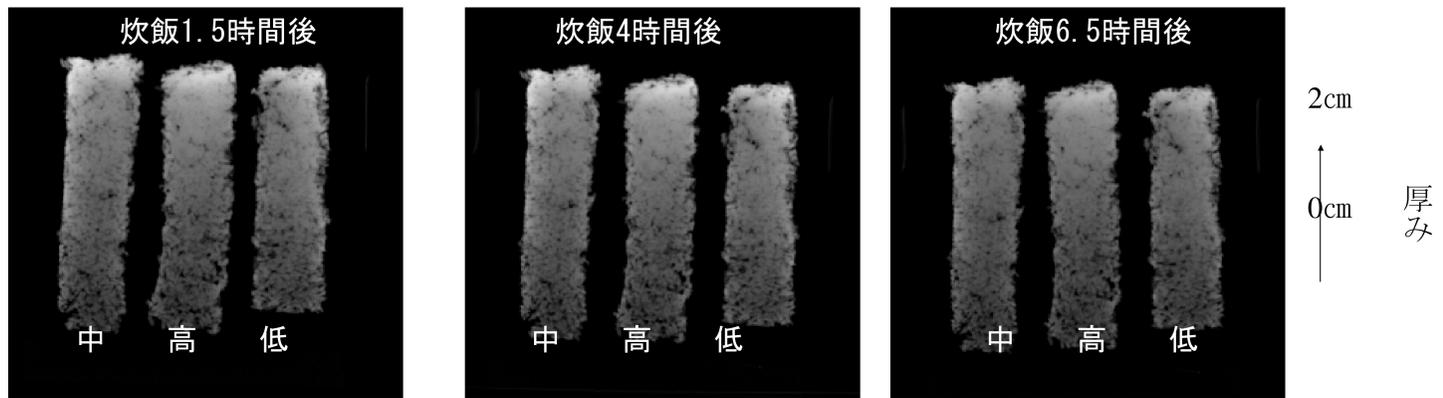


図5 炊飯米の中性子ラジオグラフィ

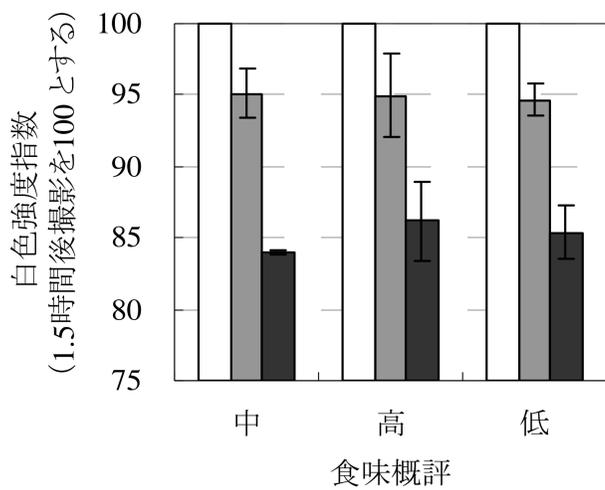


図6 食味概評と白色強度の変化

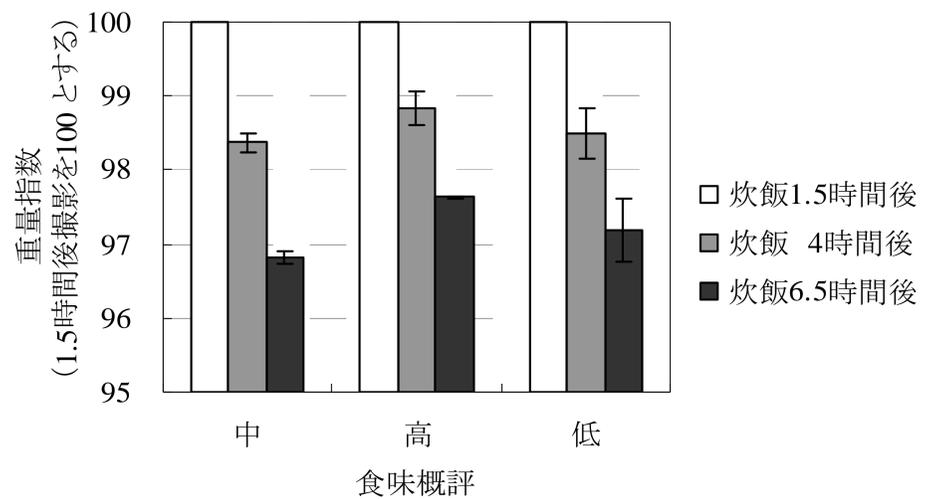


図7 食味概評と重量の変化

4. まとめ

(1)ひび割れ粒の発生メカニズムについて

登熟期における一次小穂の水分含量低下がひび割れ粒の発生に関連している可能性が示唆された。今後、詳細な穂内の水分変化を捉えられるかどうか検討する必要がある。なお、登熟中の米粒はデンプンの蓄積と水分含量の変化が同時に起こっているため、この解析手法は一穂粒数や開花時期、枝梗の着生といった穂内の登熟条件が同様なサンプルに限定されることもわかった。

水浸した白米のCT画像から、ひび割れを起こしやすい米粒は吸水の過程で内部に割れを生じている可能性が示唆された。CT解析によって吸水過程を解明する一つの手掛かりを得たが、米粒内部の割れや水の進入経路などの詳細な可視化は、他の手法を検討する必要があると考えられた。

(2)食味の違いが水分低下に与える影響

水分以外に多量の水素元素を含む生体試料の場合、中性子ラジオグラフィ装置を用いた画像化では、水分の変化を明確に判別することが難しいということが分かった。中性子ラジオグラフィ装置自体は、肉眼で把握不可能な水分分布の新しい把握手法として非常に関心を引かれるものだが、植物体や食品への応用時には、装置の性質上不可避な制限(撮影範囲、画像化可能な対象など)が存在することを考慮に入れる必要があると思われる。

ナシみつ症発生程度の異なる品種間および植物成長調節物質処理果実における中性子線投影像の差異

利用者 ○加藤弘道¹、郷内 武²、霞 正一²、井上栄一³

所属 ¹茨城県農業総合センター、²茨城県農業総合センター生物工学研究所、
³茨城大学農学部

1. はじめに（背景、目的等）

ニホンナシのみつ症は発生すると果実価値を著しく損ね、市場価格を下落させる。「豊水」は食味良く栽培も容易な優れた品種であるが、年次によりみつ症が発生するため、発生が少ない年においても価格が低迷する傾向が見られる。みつ症の発生原因は長年研究されているものの、決定的な要因はいまだ不明である。気象的には5～6月の高温、7～8月の低温が発生を助長するとされているが、平成19年はその傾向に無いにもかかわらずみつ症の多発生年となっている。このようにみつ症には不明な点が多くあるため、育種におけるみつ症の有無の判定は長期間の結実を地道に調査するしか方法が無い。本試験では、みつ症発生程度の異なる品種・系統を材料として、品種間の中性子線投影像の違いの有無を調査した。また、みつ症の発生を助長、抑制することが知られている各種植物成長調節物質処理によるみつ症発生程度と中性子線投影像の変化についてもあわせて調査した。

2. 実験方法

材料としてみつ症を発症しやすい「豊水」、「17-26」、みつ症を発症しにくい「幸水」、「17-3」を用いた。サンプリングは幼果、収穫適期前および収穫適期の3回に分けて行った。果実はスライサーによって厚さ2mmに縦横断した。縦横断した果実のみつ症発生程度と中性子線投影像を比較した。さらに一部の処理区では切片を真空凍結乾燥したのもも供試した。また、みつ症発生を助長するとされるジベレリン処理した果実、発生を抑制するとされるサイトカイニン処理した果実と無処理果実とのみつ症発生程度と投影像の違いについても検討した。得られた像における濃淡を数値化するために、画像解析ソフト「WinROOF」（三谷商事）を用いた。

3. 実験結果(図表を含めて)

みつ症発症程度と中性子線投影像の関連について調査した。「幸水」では生育期を通じてみつ症は確認されなかった。「豊水」は収穫期に軽微なみつ症がみられ、症状はジベレリン処理によって助長された。みつ症の発生が少ないとされた「17-3」は収穫期の果実の果皮直下に水浸状のみつ症が見られた。激しいみつ症を示す「17-26」は収穫期前から激しいみつ症を示し、ジベレリン処理によってさらに助長された。みつ症発生程度と中性子線投影像を比較した結果、みつ症を発症した果実では「す入り」または濃淡ムラのような像が得られ、その程度はみつ症の激しさと比例していた(図1)。また、果実の「す入り」またはムラのある場所はみつ入りの場所に関わらず果肉全体にみられることがわかった。みつ症の発症を抑制するとされるサイトカイニン処理では、収穫前期においてみつ症発生を軽減する効果が認められたが、過熟果においては無処理区と同等の症状が観察された。このことからサイトカイニンはみつ症発生の軽減ではなく、果実の老化(成熟)を遅らせる効果を示すものと考えられた。この「す入り」または濃淡ムラを数値化するために、果肉部分(果芯、果皮を除いた部分)を対象に輝度ヒストグラムを作成した。その結果、各処理区で輝度の平均値に差はみられなかったものの、目視で濃淡ムラの大きかった区では輝度の分散が大きい傾向が見られた(図2)。

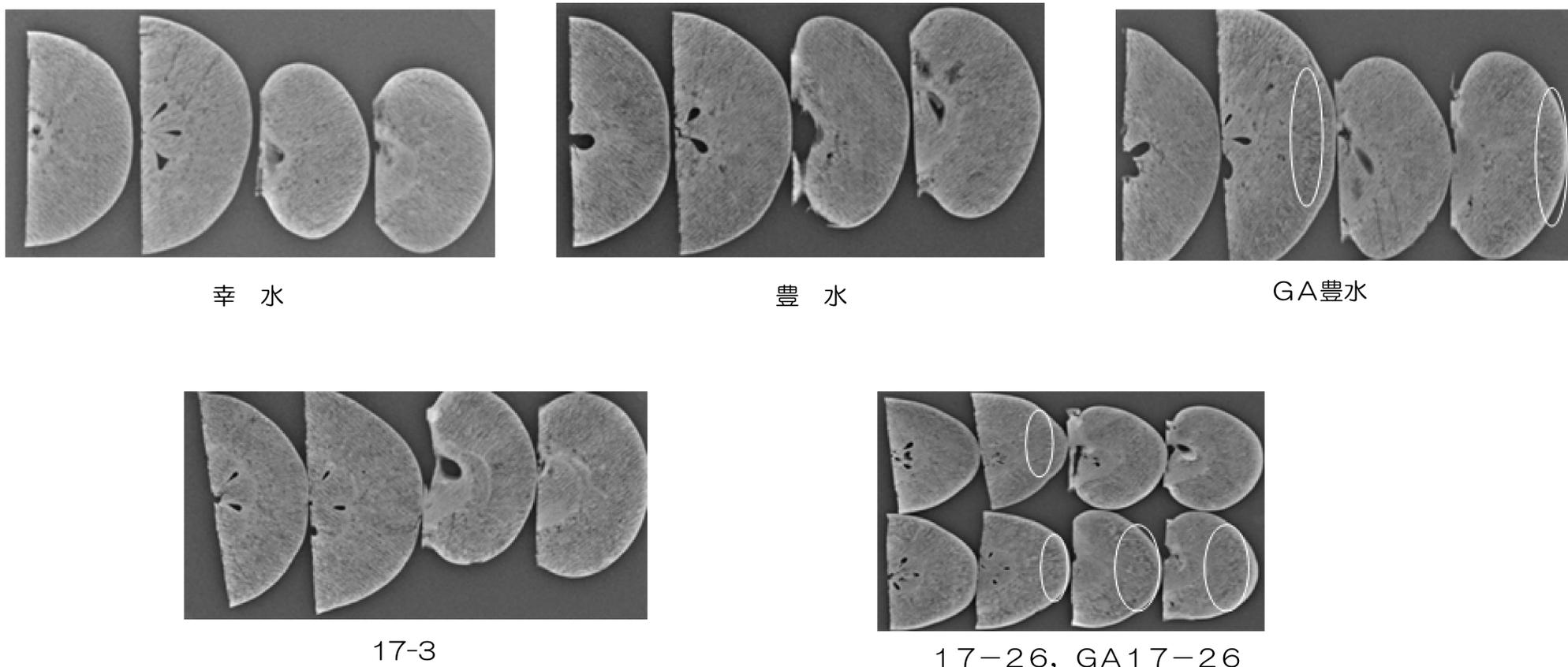
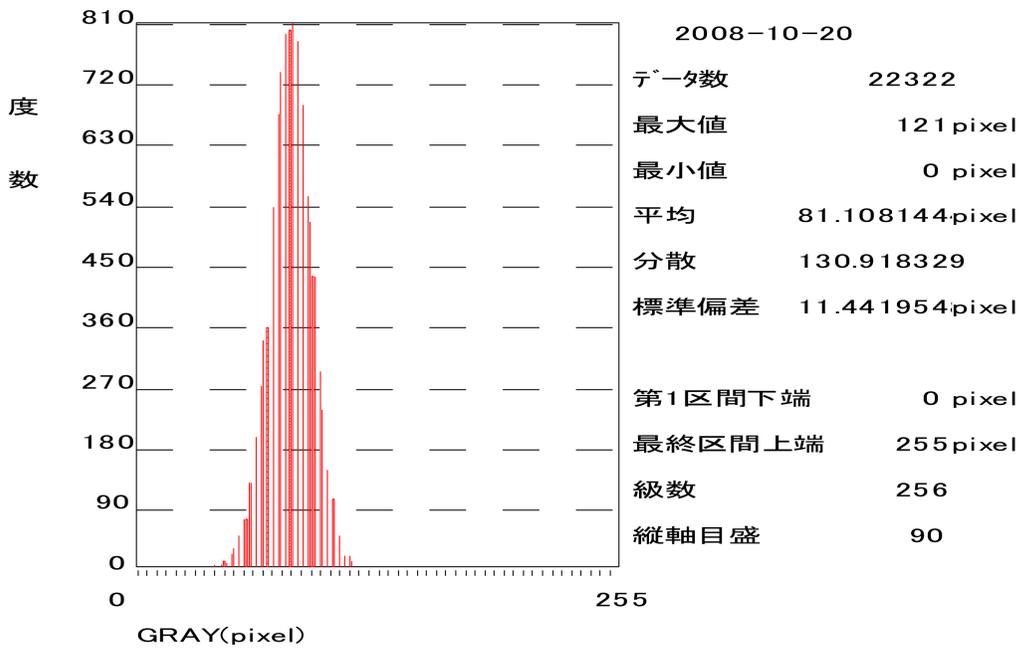
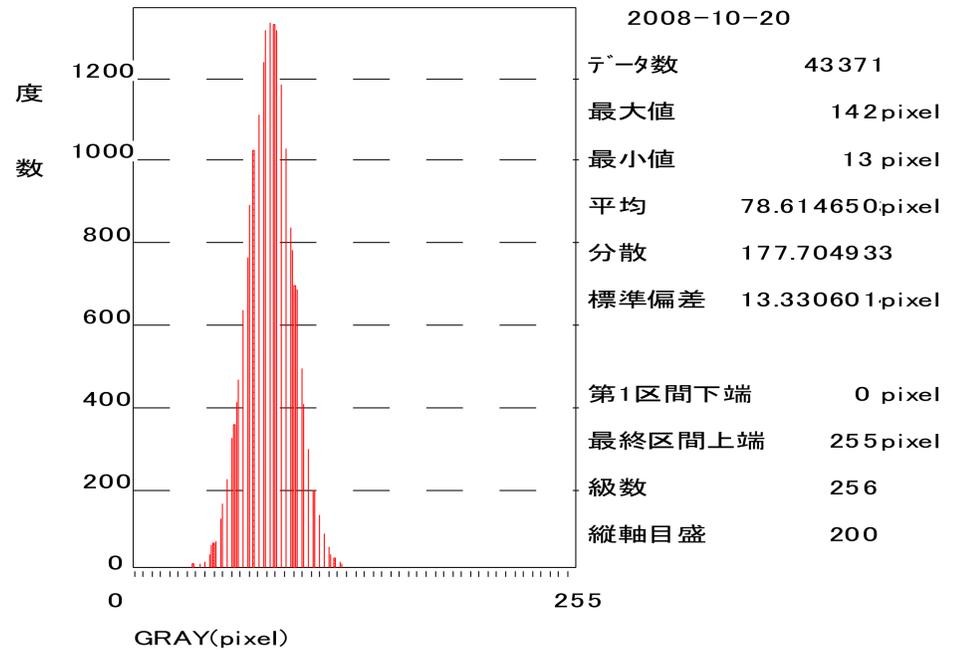


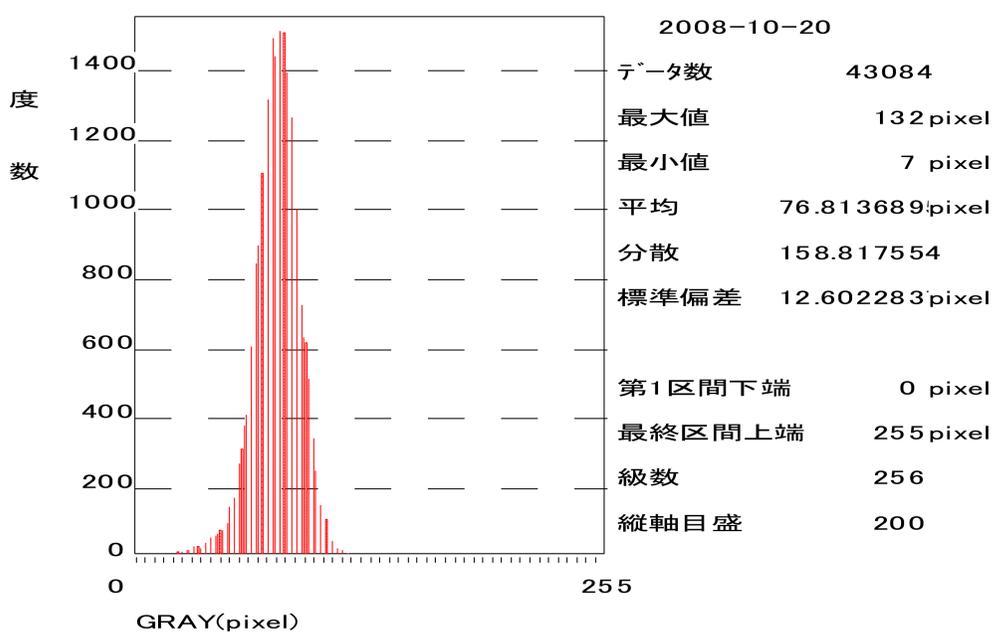
図1 収穫期の各品種・系統果実の中性子線投影像白枠が「す入り」が明確に見られる部分GAはジベレリン処理した果実を示す



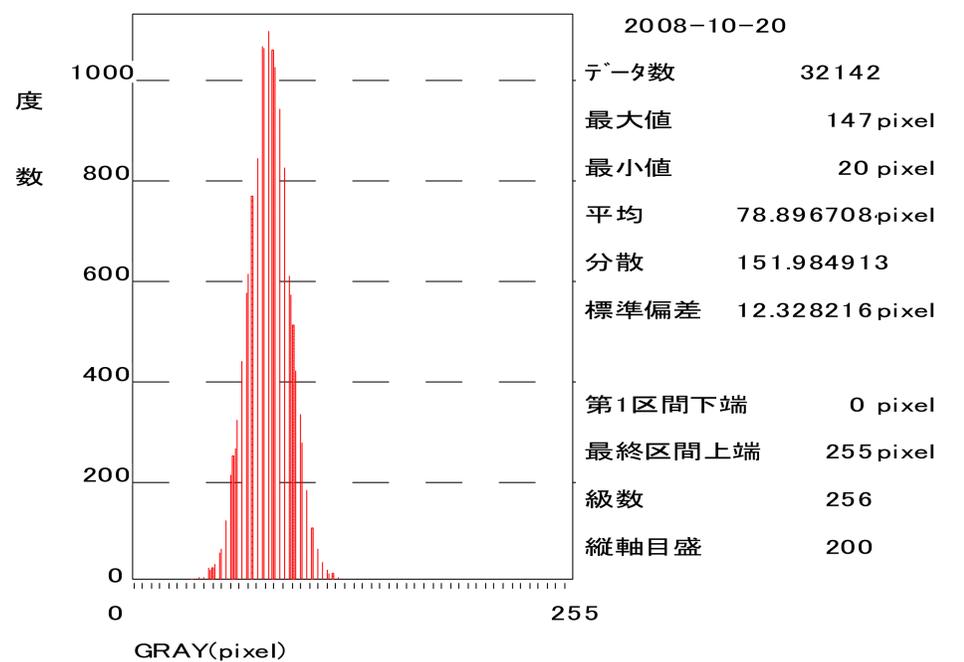
幸水



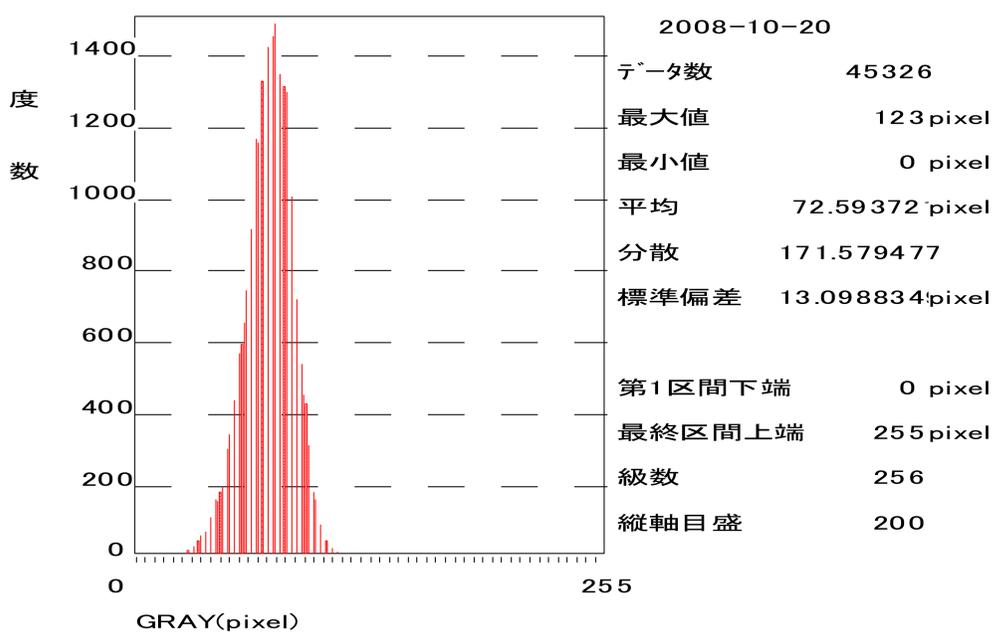
17.3



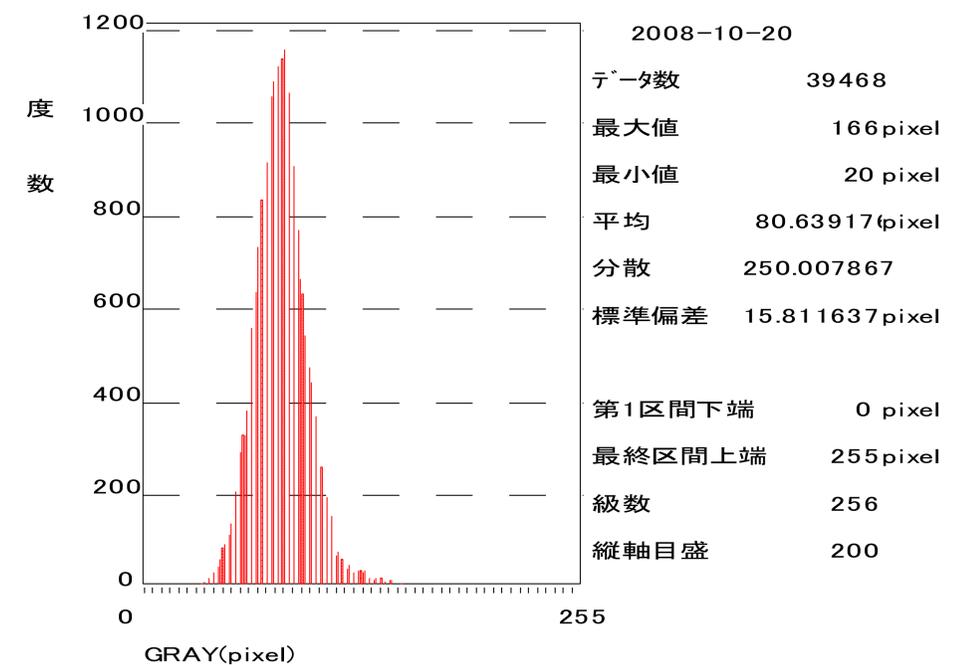
豊水



17-26



GA豊水



GA17-26

図2 品種・処理果実の果肉部分における中性子線投影像の輝度ヒストグラムGAはジベレリン処理した果実を示す

4. まとめ

総合的に、みつ症状の激しい果実ほど「す入り」または濃淡ムラがみられた。このムラは乾燥果実サンプルを撮影した場合にもみられた。つまり、みつ症果実では水分保持能力の低下だけでなく細胞壁の崩壊のような質的变化が果実全体で起きている可能性が考えられた。本法を直接育種の選抜に用いることは難しいと思われたが、みつ症程度と中性子イメージングで得られた像の濃淡ムラとの間に相関がみられることが明らかとなった。今後はフローサイトメトリーやゲノムDNA電気泳動によって核の断片化をともなう細胞死が起きている可能性について調査する予定である。これらの知見は将来的には、育種の選抜時に有用となるみつ症発生能力を判断するためのDNAマーカーの開発に資するものとなることを期待する。