

宮城大学における農業・食産業分野での放射光利用の取組 Vol.2

現在、次世代放射光施設が宮城県内に建設中で、2024年度に運用が開始される予定です。次世代放射光施設は国内外から学術のみならず産業界での利用が期待されています。一方で、「放射光ってなに？ どんなことがわかるの？」という方も多く、特に農業・食産業分野では分析例が少なく、放射光利用の利点が十分に認知されていません。

そこで、農産物や食品の新たな品質評価手法として放射光に着目し宮城県の食材のブランド化を図ることを目的に、国内の放射光施設にて放射光を利用し、農産物や食品を用いて測定しましたので、取組を紹介します。



あいちシンクロトロン光センター



佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター



一般財団法人光科学イノベーションセンター提供

公立大学法人宮城大学

次世代放射光施設
(2024年度運用予定)

米麴の内部構造

宮城大学・食産業学群 教授 金内 誠

背景と研究目的

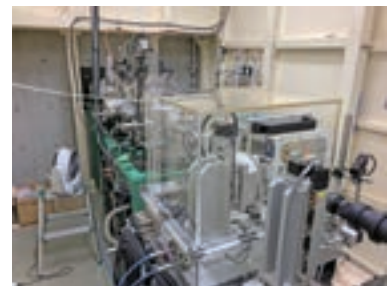
麴は、*Aspergillus oryzae* を穀物上で生育させたもので、伝統的発酵食品の酵素剤として使われている。特に日本では、蒸米に生育させることが多く、菌糸を米粒内部に伸長させることで、アミラーゼやプロテアーゼといった酵素が蓄積する。酵素を多く蓄積させるためには、菌糸の内部への伸長が重要であることが報告されている。特に品質の良い清酒醸造のための米麴は、麴菌の菌糸を米内部に伸長させる「破精込み」が重要である。

そこで、本研究では麴菌の菌糸の伸長を促進させる要因である細胞壁間の多糖類分解酵素の活性が高い菌株を選抜し、通常の市販麴菌株との破精込みの違いを観察することで、分解酵素の活性が高い菌株の優位性を確認し、品質の良い清酒の醸造や麴を使う味噌などの製品の品質向上につなげることを目的とした。

実験内容

米は国産米を使用した。米を洗米し、水浸漬後、100℃で約1時間蒸煮した。蒸煮した米に種麴を散布し、常法にしたがって米麴を調製した。種麴は通常の市販麴菌株と、細胞壁間の多糖類分解酵素を高生産する選抜麴菌株を用いた。麴を真空凍結乾燥し測定試料とした。

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターのビームラインBL07（X線CT）を用い、観察倍率5倍、空間分解能1.3 μmで麴内部を撮像し、像をImageJにてイメージング処理した（赤色：麴、白色：菌糸、緑色：カプトンチューブ）。

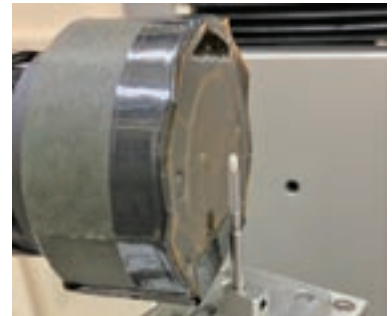


“BL07” 外観

結果および考察

市販麴株の菌糸（Fig. 1、白色部）に比べ、細胞壁間の多糖類分解酵素を高生産する選抜麴菌株の菌糸（Fig. 2、白色部）は、米内部の細胞壁に沿って伸長（破精込み）することが明らかとなった。菌糸の先端では麴菌の酵素によって、細胞壁間の多糖類が分解され、空壁が生じていた。

麴菌は多糖類を分解することで、細胞壁に沿って、深くまで破精込んでいた。すなわち、蒸米の中への菌糸の伸長／破精込みには、多糖類分解酵素が関与し、蒸米への菌糸の伸長／破精込み後に米の主要成分であるデンプンを分解する酵素が生産されることが考えられた。また、深く破精込んでいる麴のデンプン分解酵素は、強いデンプン分解酵素活性を持つ傾向が見られた。



サンプルステージと検出器

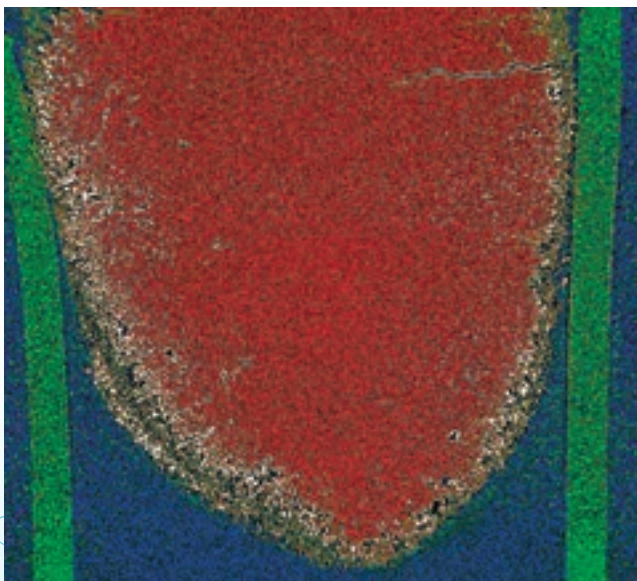


Fig. 1 市販麴の X 線 CT イメージング像

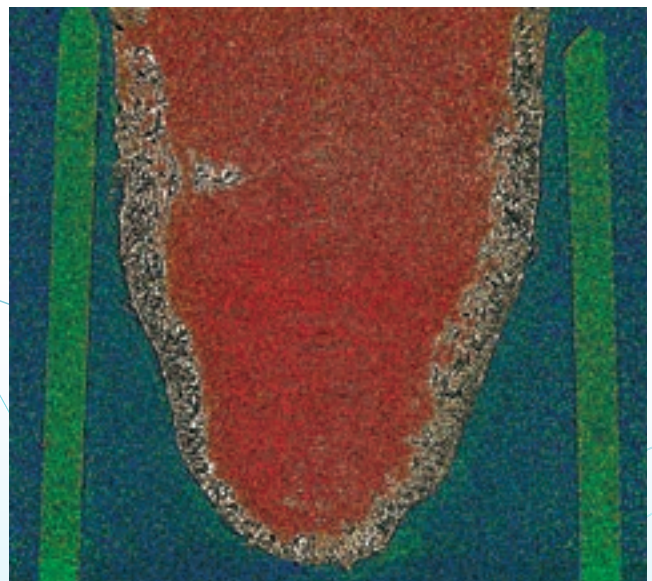


Fig. 2 選抜麴の X 線 CT イメージング像

イネ種子の無機元素分析

宮城大学・食産業学群 講師 鳥羽 大陽

背景と研究目的

お米の美味しさには、主成分であるデンプンの性質はもちろんのこと、お米中に含まれる無機成分が関係している。玄米の中に含まれる無機元素の中で、マグネシウム(Mg)の多さと食味の良さに相関があることが知られている。また、カリウム(K)については食味と負の相関が認められ、玄米中の Mg/K 比率は、イネの品種によっても異なることが知られている。

Mg や K などの無機元素が、お米ができる過程において、どのように蓄積されるのかを知ることができれば、宮城県を代表とするブランド銘柄「だて正夢」などの良食味品種の良さをさらに引き出す栽培手法の開発に生かすことができる。しかし、これまでに玄米中におけるこれら無機元素の分布を明らかにした報告はない。

そこで、本研究では放射光による蛍光 X 線解析により、「だて正夢」玄米中の Mg および K の分布を検出し、その特徴を得ることを試みた。

実験内容

試料には宮城大学にて栽培した「だて正夢」の登熟中の種子を用いた。種子を乾燥機にて十分乾燥させ、剃刀を用いて中央部で半分とし、その断面を観察した。

BL11S2 を用い、マッピング XAFS により解析した。キャピラリー集光および、蛍光測定用 7 素子シリコンドリフト検出器 SDD を用いた。試料は汎用 XZ ステージ上に固定し、 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ ごとにデータ取得を行った。試料と検出器の間を He ガスで満たすために、チャンバーを設置し、キャピラリー、検出器および汎用 XZ ステージを覆うようにした。チャンバーへはガスボンベから He ガスを供給し、チャンバー内の酸素濃度を測定することで He への置換程度を推定した。



BL11S2 および He チャンバー

結果および考察

Mg (K 吸収端エネルギー 1303 eV) を検出するために、チャンバーを設置しチャンバー内にヘリウムガスを満たすよう試みた。チャンバー内のヘリウムガスへの置換がおよそ 57.5%~62.5% (酸素濃度にして 7.5%~8.5% 程度) に留まり、それ以上の置換はできなかった。チャンバーを設置した状態で、試料(種子)からのスペクトルと、大気中で得られた結果とを比較したところ、低いエネルギー帯においてもシグナルが検出できそうであった (Fig. 1)。次に、マッピングを試みたが Mg の分布が分かる像は得られなかった。

同じマッピングデータから、K (K 吸収端エネルギー 3608 eV) については、分布を示す画像データが得られた (Fig. 2)。K は、主に種子中の胚に存在しており、胚の内部でも存在量に違いがある可能性が分かった。なお、K は、チャンバーを用いず大気中においても同様のマッピング結果が得られた。

He チャンバーを使った本研究では Mg を十分に検出する事はできなかったが、得られたスペクトルから、Mg を含め、K よりもエネルギーの小さい元素 (P や S など) をイネから検出できる可能性が分かった。これら軽元素の分析のためには、検出器と試料の間を He ガスで満たすことが必要であり、それを可能とする設備が必要である。

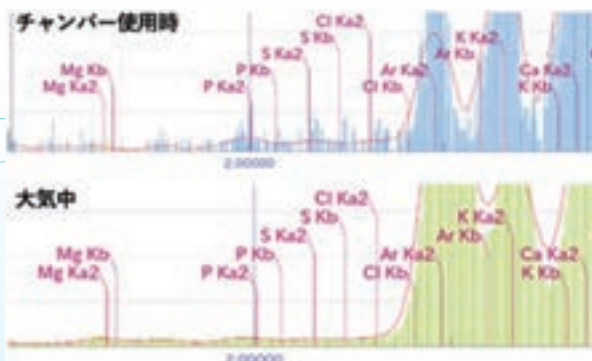


Fig. 1 蛍光 X 線スペクトルの比較

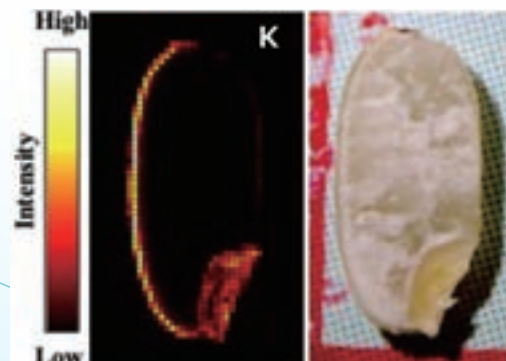


Fig. 2 蛍光 X 線画像 (左) と種子試料 (右)

生理障害を発生したイチゴの葉の無機元素マッピング

宮城大学・食産業学群 准教授 菊地 郁

背景と研究目的

イチゴは宮城県の主要園芸品目であり、年間およそ 4,600 t が生産されている。作物の収量が低下する要因の一つに、必須元素の過不足による生理障害があげられるが、イチゴにおいても多数の生理障害が報告されており、収量低下の要因となっている。いち早く対応するためには、どの元素に起因した障害が迅速に判断する必要があるが、見た目だけで判断するのは難しい障害も多く、簡易的な判別方法が望まれている。また、株全体における元素の絶対量が不足していても障害が局所的に表れることも多く、これには元素の移動や分配、蓄積の局在性などが影響していると考えられる。

そこで本研究では、① 迅速な生理障害判別、② 元素の局在と障害発生との関連解析する目的で、放射光を用いて生理障害の症状が見られたイチゴの葉における無機元素マッピングを行った。

実験内容

供試験材料には宮城県のオリジナル品種「にこにこベリー」を用いた。7月1日にランナーを9cmポリポットに仮定植し、根が活着してからは肥料分を与えずに育苗を行った。8月18日時点で①無症状、②クロロシス、③チップバーンA、④黄化、⑤黒変、⑥チップバーンBなどの症状が表れた葉（Fig. 1）をサンプリングし、凍結乾燥を行った（Fig. 2）。硬X線XAFSビームラインBL11S2を用いて、XRF分析により、分解能1mmで元素マッピングを行った。



① 無症状 ② クロロシス ③ チップバーンA ④ 黄化 ⑤ 黒変 ⑥ チップバーンB

Fig. 1 測定に用いた葉の様子

結果および考察

XRFマッピングにより、K、Ca、Mn、Feのマッピング画像を得ることができた。今回はKおよびCaのマッピング画像のみを示す。

Kは葉脈における輝度が高く、特に葉脈基部において高い傾向がみられた（Fig. 3）。Caも葉脈における輝度が高かったが、葉脈よりも葉縁部で高い様子が見られた（Fig. 4）。このことから、KとCaでは局在が異なることが示された。

障害症状との関連性を見ると、⑥チップバーンBにおいて、Ca量が低い様子が見られた。チップバーンとは、葉の縁や先端が焼けたように褐変したり縮れたりする症状で、Ca欠乏によって引き起こされることが知られている。⑥もカルシウム欠乏による症状であることが明らかとなった。一方、同様の症状が見られた②チップバーンAではカルシウムが低い様子は見られなかった。イチゴではK過剰やN過剰など他の元素によっても似たような症状が引き起こされることから、②はカルシウムではない元素により障害が発生していると考えられた。

本研究から、生理障害の要因特定にXRFマッピングが有効であり、元素の移動や分配、蓄積時の局在と生理障害との関連性の解析に活用できる可能性が示された。



Fig. 2 凍結乾燥した葉の様子

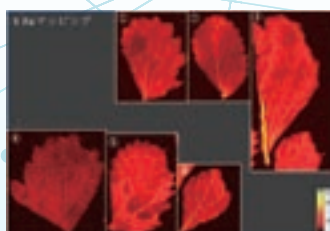


Fig. 3 K マッピング画像



Fig. 4 Ca マッピング画像

小角 X 線による豚筋肉細胞水溶性成分の結晶評価

宮城大学・食産業学群 教授 須田 義人
協力組織 宮城県畜産試験場

背景と研究目的

わが国においては、豚肉は価格が手頃で美味しいため、消費者に馴染み深い食材の1つとなっている。TPP（環太平洋経済連携協定）の施行以降、これまでは価格の安い海外産の輸入が増加し、日本の養豚業界は海外産に対して価格と量で不利な状況となってきたが、コロナ禍の影響もあり輸入肉が相対的に減少し、家庭内消費が伸びて価格が上昇傾向にある。しかしながら、この情勢が改善され海外産輸入量の回復は時間の問題である。その対策として、食味や美味しさによる差別化が求められるが、日本の格付評価基準は大きさや色などの外観に基づいた評価のみであるため理化学的な評価が含まれていない。また、銘柄豚肉は数多くあるがその特性を理化学的には十分に明らかにされてはいない。当研究室では、これまで可溶固形成分光屈折率（Brix 値）を利用した美味しさ評価の検討と提案をしてきた。今後、実用化を図るためには、Brix 値を構成する理化学特性を様々な視点で明らかにする必要がある。そこで本研究では、放射光により結晶ピークをリアルタイムに把握することで、一般的な品種と銘柄豚肉との違いを評価することを目的とした。

実験内容

市販の LWD 系統豚およびデュロック種豚、宮城県畜産試験場で飼養されたデュロック種銘柄豚「しもふりレッド」、沖縄銘柄豚「島豚」のロース芯部肉を供試した。各サンプルから抽出した水溶液について、凍結乾燥して放射光観察に供した。

BL8S3（小角散乱測定）の波長は 0.92 \AA 、カメラ長は 2.2 m として、結晶ピークを測定した。

結果および考察

豚肉の結晶ピークを測定したところ、品種間で結晶ピークに差異がみとめられた（下 Fig）。特に、赤矢印の部分に品種および銘柄間で差異があり、遺伝的な改良によっても異なっていることが分かった。なお、同一品種かつ銘柄内のサンプル間でのバラつきは殆ど認められず、均質であることも分かった。放射光による本測定方法により、品種間の違いや銘柄間の違いを評価できる可能性が示唆された。今回検出されたピークの箇所にはどのような構造があり、このことが他の品種や銘柄間でもどう異なるのか、また遺伝特性を反映したものなのかを詳細に検証する必要がある。これまで、特に銘柄間の違いに関する科学的エビデンスを捉えることは難しかったが、放射光の利用によってそのことを容易にする可能性がある。今後、検出された箇所の構造を明らかにし、簡単に評価できる標的を特定する意義がある。



“BL8S3” カメラ全体



放射光照射部



サンプル設置部



分析サンプル

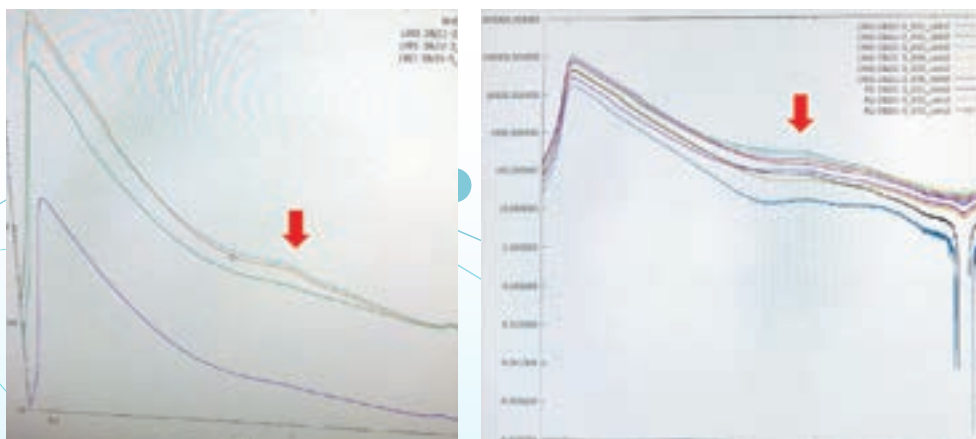
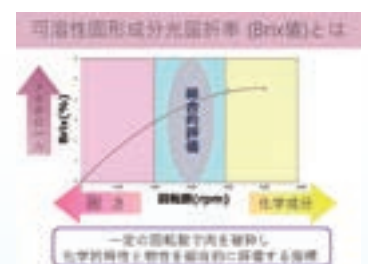


Fig. ブランド豚肉間の水溶液由来結晶ピークの比較（赤矢印：特異性を示す）



柔らかい肉ほど少ない回転数で粉碎され、溶液中の化学物質やメタボローム含量が多くなり、Brix 値が高くなるという特性を利用して化学的特性と物性特性を総合的に評価する。

放射光広角 X 線測定によるアミロース含量の異なる炊飯米の迅速結晶化度の評価

宮城大学・研究推進・地域未来共創センター 准教授 庄子 真樹

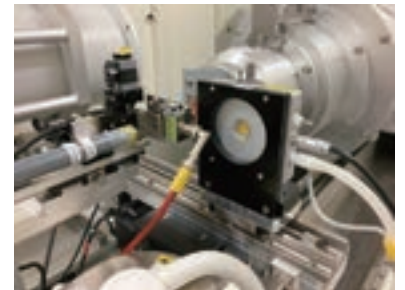
背景と研究目的

米は我々の主食であり、様々な品種が育成されている。近年、食味の良い品種に低アミロース米が多くみられるようになった。米の主成分であるデンプンは、アミロースとアミロペクチンで構成されており、うるち米では約20%のアミロースが含まれ、もち米ではアミロースを含まずアミロペクチンのみであることが知られている。アミロースが食味に及ぼす影響として物性があり、炊飯により糊化(非晶)したデンプンは冷蔵などの保存中に老化(結晶)し、物性が固くなる現象がある。アミロースが低い品種ではデンプンの老化が緩慢になることが知られており、X線回折により評価されている。放射光による広角X線は分解能が高いことからデンプンの結晶ピークを鋭敏に評価できることが期待される。

そこで、本研究では放射光により結晶ピークをリアルタイムに把握することで、一般的な品種と低アミロース米の老化現象の違いを評価する。

実験内容

一般的なアミロース品種として令和3年度宮城県産「ひとめぼれ」を、低アミロース米として令和3年度宮城県産「だて正夢」とした。精白米を粉碎し米粉試料とした。精白米を洗米後、アイリスオーヤマ社製IH炊飯器銘柄モードで、それぞれ炊飯し炊飯試料とした。BL8S3(広角散乱測定)の波長は 0.92 \AA 、カメラ長は20 cmとして、冷却ステージにより $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 雰囲気ですべての結晶ピークを観察し、結晶ピークの経時的な変化量を算出した。



“BL8S3” 冷却モード

結果および考察

精白米の結晶ピークを測定したところ、品種間の結晶ピークに差異はみとめられなかった (Fig. 1)。次いで、炊飯後のひとめぼれ (Fig. 2) とだて正夢 (Fig. 3) の結晶ピークを観察したところ、非炊飯に比べて明確な結晶ピークが消失しており、非晶質状態であることが確認できた。測定中に検出されたピークの経時的なピーク量変化では、ひとめぼれにおいては $q=12, 14 \text{ nm}^{-1}$ でピーク量が増加する傾向がみられた (Fig. 4)。だて正夢では、検出されたピークの増加はみられなかった。これらの結果から、 $q=12, 14 \text{ nm}^{-1}$ は老化現象を鋭敏に反映する結晶ピークであることが示唆され、放射光による本測定方法により、短時間でデンプンの老化しやすさ(しにくさ)を評価できる可能性が示唆された。

本測定方法は、アミロース量の簡易推定、炊飯条件による老化しにくさ評価、冷蔵で保存するための加工技術の開発に応用できると考える。

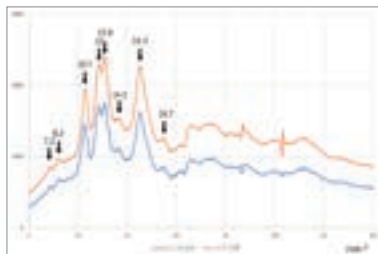


Fig. 1 精白米の結晶ピーク

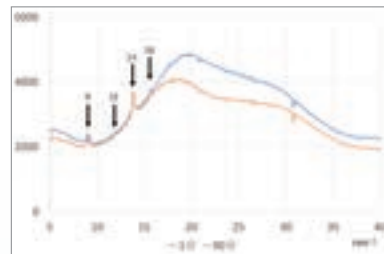


Fig. 2 ひとめぼれの炊飯結晶ピーク

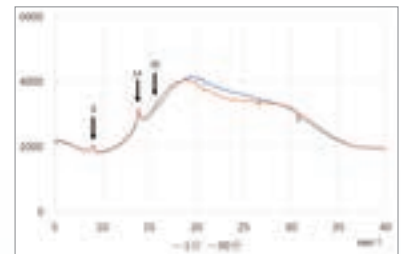


Fig. 3 だて正夢の炊飯結晶ピーク

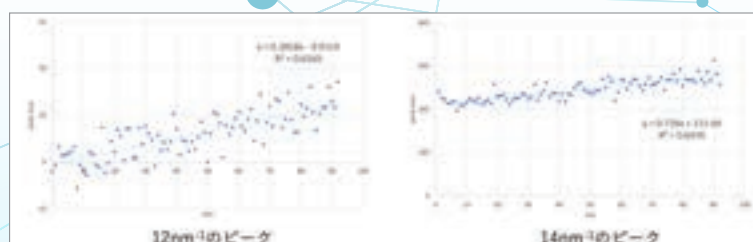


Fig. 4 ひとめぼれの結晶ピークの経時変化量