

生物資源研究センターだより

第22号



酒米の品質評価



金時ニンジンの遺伝解析



小カブ品種の育成



ネギのウイルス病

CONTENTS

研究紹介

- ・栽培条件の異なる酒米「祝」の心白発現と貯蔵タンパク質の評価 2~3
- ・金時ニンジンの根の色はどのように遺伝するか? 4
- ・紫、赤色の小カブ品種の育成を開始 5
- ・九条ネギの IYSV ワクチン開発 6

解説記事

- ・ゲノム編集を利用した作物の改良 7

開催報告

- ・酒米シンポジウム
～酒米生産から醸造・流通まで～ 8

あとがき

- ・当センターの研究は「未知との遭遇」? 8

栽培条件の異なる酒米「祝」の心白発現と貯蔵タンパク質の評価

京の米で京の酒を

日本酒製造に用いる米は酒米と呼ばれ、大粒、低タンパク質で良好な吸水性や溶解性を有する品種が好んで用いられます。京都府の多くの酒造会社では、「京の米で、京の酒を」を合い言葉に、京都府オリジナルの酒米品種「祝」と「京の輝き」を用いた日本酒が醸造されています。京都府の他にも地域オリジナルの酒米を用いた日本酒醸造を目指している地域があり、それら地域（5 府県）が連携し、平成 28～30 年度農林水産省補助金「革新的技術開発・緊急展開事業」（うち地域戦略プロジェクト）「山田錦」レベルの優れた適性を有する酒米新品種と革新的栽培・醸造技術の活用による日本酒輸出倍増戦略」に取り組みました。

酒米の最適な栽培方法の確立に向けて

京都グループでは、栽培から醸造までの各分野の研究機関や酒造会社が連携し、「祝」と「京の輝き」について、異なる栽培条件で育てた酒米と、その酒米を原料とした醸造酒の成分を分析し、味や香りが最適となる酒米の栽培条件を検討してきました。本稿では、生物資源研究センターが担当した「祝」の心白発現と貯蔵タンパク質の評価に関する研究成果をご紹介します。

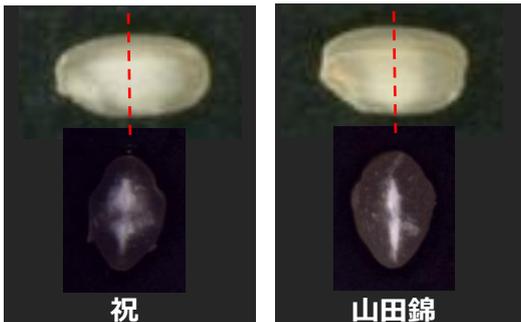


図1 酒米の心白
(上) 玄米側面、(下) 玄米横断面

酒造適性に影響する酒米の心白

多くの酒米は、米粒の中心に心白という白色不透明部分を有しています。心白部分はデンプン粒の間隙が多いため、吸水性が良好で麹菌が入り込みやすくなるため、酒造適性が高いとされます(図1)。一方、過大な心白は精米や吸水の際、米粒の割れの原因となります。特に、近年は 50%以上の高度精米を行う大吟醸酒の需要が伸びており、過

大な心白が敬遠される傾向にあります。当センターでは、従来、目視で評価される心白発現を客観的に評価するため、米粒の側面をスキャナーで、米粒の横断面をデジタルマイクロスコープで撮影し、それぞれに占める心白の面積比率を画像解析により算出し、酒米の心白発現を評価しています(図2)。

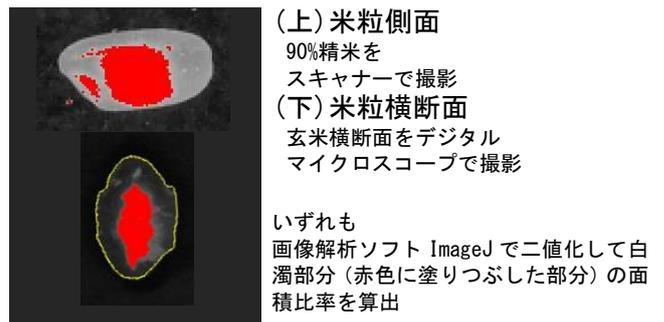


図2 酒米心白の画像解析例

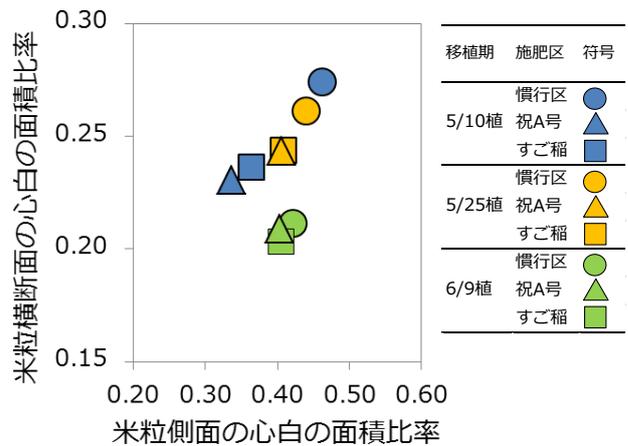


図3 移植期と施肥の異なる「祝」の心白発現
米粒側面は約 350 粒、米粒横断面は 100 粒、各 2 反復の平均値。施肥量はいずれも N 成分で 6.5kg/10a で、「慣行区」は化成肥料の基肥+穂肥の分施肥体系、「祝A号」と「すご稲」は肥効調節型肥料の基肥一括施用。

栽培方法が酒米の心白発現に及ぼす影響

酒米の心白は、品種間でその大きさに差があることが知られており、京都府独自の酒米品種「祝」は代表的な酒米品種の「山田錦」と比べて大きな心白を有しています(図1)。一方、同一品種で異なる栽培条件下での心白発現の差を調べた事例は少なく、栽培方法で心白の大きさを制御できるかは不明です。

そこで、平成 28 年に農林センター(亀岡市)で栽培された移植期と施肥が異なる「祝」の心白発現

を評価しました(図3)。その結果、移植期または施肥により、心白発現に違いが認められました。5/10 植の米粒側面および横断面の心白の面積比率は、いずれも化成肥料分施の慣行区より基肥一発施肥の「祝A号」区、「すご稲」区で小さくなりました。5/25 植では、同様な傾向があるものの施肥による差は少なく、6/9 植では施肥による差は無く、他の移植期に比べて横断面の心白の面積比率が小さくなりました。

日本酒の味に影響する酒米のタンパク質

酒米中のタンパク質は醸造酒の雑味の原因となることが知られています。これまでの筆者らの研究で、米粒の外周部にタンパク質が多く含まれること、玄米中のタンパク質にはグルテリンが70%、プロラミンが30%含まれること、品種によりグルテリン分子種(A~D)の割合が異なり、醸造中に消化されるということ、醸造後の酒にはアルコールの他に、ペプチド類やアミノ酸が含まれ、酒粕にはプロラミンが残ること、などが明らかになりました。

栽培条件が貯蔵タンパク質の組成と量に及ぼす影響

今回、心白発現を調査したのと同じ移植期および施肥の異なる「祝」の酒米サンプルを用いて、栽培条件による貯蔵タンパク質の組成と量に及ぼす影響を調査しました。

まず、1次元電気泳動法を用いて酒米に含まれる貯蔵タンパク質の組成と量について分析しました。その結果、3年間を通し移植時期が遅くなるほど、貯蔵タンパク質が多くなる傾向がみられました。

次に酒質(風味や雑味)に影響するグルテリンについて2次元電気泳動法を用いて詳細な分析を行いました。移植時期の異なる酒米において、グルテリン分子種(A, B, C)の割合を比較したところ、1次元電気泳動の結果と同様に平成27年度産のサンプルでは、祝A号では移植時期が遅くなるとグルテリンBの割合が多くなることが判りました(図4上)。施肥条件としては、慣行区よりも祝A号を用いた試験区での差が大きく出ました。

一方、平成28年産のサンプルでは、移植期の影響、施肥条件の違いにおいて顕著な差が見られませんでした。年次間差については、更にデータを

蓄積して、比較解析することが重要だと考えられました。

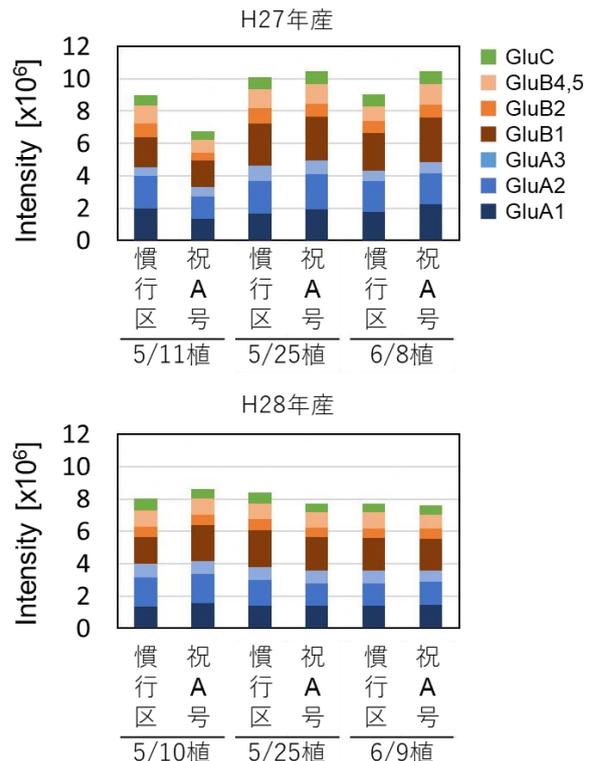


図4 平成27年および28年産米におけるグルテリン分子種の評価

酒米タンパク質を2次元電気泳動し、グルテリン分子種ごとに量と割合を分析しました。

美味しい酒造りのための京都産酒米安定生産に向けて

今回の研究では、「祝」の移植時期や施肥を変えて、心白の大きさに違いが生じることが明らかになりました。また、酒米中の貯蔵タンパク質の量や種類も変化し、中でも特にグルテリン分子種の割合が変化することが明らかになりました。このため、同じ酒米品種であっても栽培方法の違いによって酒造適性やお酒の味に差が生じることが予想されます。共同研究機関においては、今回調査した同じ酒米サンプルを用いて、小仕込み醸造試験や醸造酒の成分分析が行われています。今後、これらの試験結果をとりまとめ、京都府産酒米の最適な栽培技術の開発や醸造技術の向上につなげていきます。

(基礎研究部 増村威宏)

(応用研究部 尾崎耕二)

金時ニンジンの根の色はどのように遺伝するか？



図1 金時ニンジン（左）と西洋系ニンジン（右）



図2 栽培中の研究材料



図3 研究材料の根の外観

ニンジンの来歴と種類

ニンジン、南アジア原産のセリ科の野菜です。東西へ伝播後、東洋系と西洋系のニンジンになりました。現在一般によく見られるものはヨーロッパで改良された西洋系のニンジンです（図1右）。一方、京野菜の「金時ニンジン（京ニンジン）」は、東洋系のニンジンです（図1左）。

西洋系ニンジンの根はβ-カロチンという色素のためオレンジ色をしています。金時ニンジンの根には“リコピン”という色素が多く含まれているため赤色をしています。リコピンは、トマトやスイカに多く含まれており、β-カロチンよりも高い抗酸化作用があるため最近注目されています。

リコピンの遺伝の研究

トマトと比べると、金時ニンジン水分や酸味が少なく、リコピンの供給源として幅広い用途が

期待できます。また、収穫物が硬いため輸送や保存が比較的容易であるという利点があります。一方で、金時ニンジンには、西洋ニンジンより根が長く栽培しづらいという欠点があります。

そこで、従来の金時ニンジンよりリコピンが多く、根が短くて栽培しやすい新品種を育成するための研究を進めています。現在、色々な金時ニンジンの品種同士を交配した材料を育成しています（図2）。これらの材料では、リコピン含量を左右する遺伝子が両親からどのように遺伝するかに応じて、様々な根色の個体が生じます（図3）。リコピンが多い個体に特徴的な遺伝子が見つければ、リコピン含量の高い個体を予想することが出来るため、品種育成を効率的に行うことが出来るようになります。

（基礎研究部 久保中央）

紫、赤色の小カブ品種の育成を開始



図1 伝統野菜のカブ

上から聖護院かぶ、舞鶴かぶ、鶯菜。
スケールバーは10cmを示す。

新しいブランド京野菜をめざして

京野菜が平成元年にブランド認証されてから、30周年を迎えた今、京みず菜に習ってサラダなどの生食や電子レンジ調理など「新しい食べ方で消費拡大につながる京野菜シリーズ」を開発することになりました。中でもカブは栽培面積の全国順位が高く、特徴ある作物です。「聖護院かぶ」は我が国最大の大きさを誇り、その品質は千枚漬 250年の歴史を支えています。また「舞鶴かぶ」は根（胚軸肥大部）の地上部と茎葉が赤紫色で糖度が高く、煮炊き用に優れています。「鶯菜」は早生小カブで、葉は鮮やかな緑色で光沢があり、江戸時代に朝廷の公卿、役人らの専用料理として愛用されていたカブ(図1)です。そこで当センターでは、伝統野菜の良い形質を引き継いだ彩りを持った小カブ新品種の育成を始めることにしました。

紫色や赤色の小カブの育成を始めました

目標とする小カブの特徴は①根の色が赤や紫 ②ヒゲ根が少なく安定した球形 ③甘い(冬期) ④皮が柔らかく辛味が少ない ⑤みずみずしいです。

これらの形質を伝統野菜と市販品種に求めました。伝統野菜からは「聖護院かぶ」の品質のよさ、「舞鶴かぶ」の紫色と甘さ、「鶯菜」の根の小ささと葉の色つやといった長所を取り入れます。一方、市販品種からは鮮やかな赤色、ヒゲ根が少ない、きれいな球形、甘い、辛味が少ない、みずみずしい、生育が早いなどの特徴を持つ品種(図2)を選んで交配しました。



図2 市販品種



図3 交配後代のカブ

根の色は赤、紫、薄紫、半白紫など、葉色は緑、紫の個体などが出現。

今後の取り組み

今後は様々な形質を持つ交配後代から目的の形質を持つ個体を選抜し(図3)、2025年頃の新品種候補決定を目指します。新しい品種は和食だけでなく、イタリアンやフレンチといった洋食にも合う食材となることを期待しています。

(応用研究部 山崎むつみ)

九条ネギの IYSV ワクチン開発

新たな植物ワクチンの開発

当センターでは、露地栽培のウリ科作物のウイルス病：ズッキーニ黄斑モザイクウイルス (ZYMV) のワクチン開発を成功させ、全国のキュウリ産地で利用され、その効果を発揮しています。

本研究では、これまでの研究で蓄積した弱毒株作製からワクチン株選抜のノウハウを活かし、九条ネギで問題となっているアイリス黄斑ウイルス (IYSV) の植物ワクチン開発に取り組んでいます。

ネギのウイルス病：ネギえそ条斑病

ネギアザミウマが媒介する IYSV がネギに感染すると、葉身にえそ斑が生じます。出荷の際は、えそ斑の生じた葉身を除去する必要があり、これが出荷調製の負担や商品化率の低下による収益減少の問題となっています。

現在、ウイルス病に直接効く化学農薬はありません。また、ネギアザミウマの薬害抵抗性の発達が懸念されているため、化学農薬に頼らない防除法が求められています。そこで、新しい植物ワクチンとして IYSV ワクチンの開発を試みました。

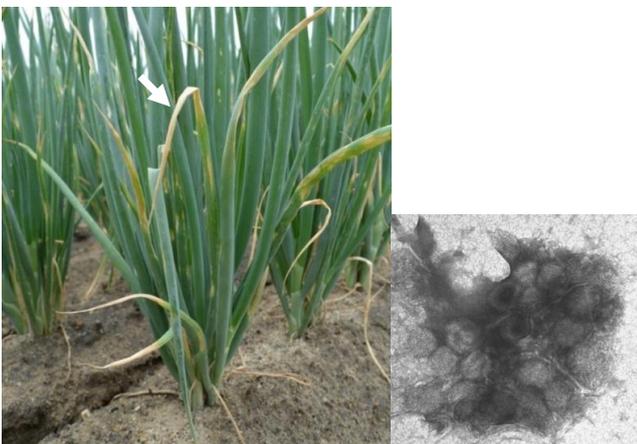


図1 ネギえそ条斑病の被害

左：IYSV 感染ネギ株、右：IYSV (電子顕微鏡図)

弱毒株からのワクチン株選抜

弱毒株とは、極めて弱い病徴を呈したウイルス株のことを示します。弱毒株は将来ワクチン株になる候補生のようなものであり、ここから作物がウイルス病に感染しないために働くワクチン株が選抜されます。

ワクチン株に選ばれる条件は、①優れた弱毒性

(作物への病原性が極めて弱い性質)があること、②強毒ウイルスに対する高い干渉効果があることです。

当センターでは現在、得られた複数の弱毒株を植物ウイルスが感染しやすいタバコ植物へ接種し、この2つの条件を十分にクリアできるか検証を行っています。



図2 タバコ植物上の病徴の強弱

左：弱毒株、右：強毒株

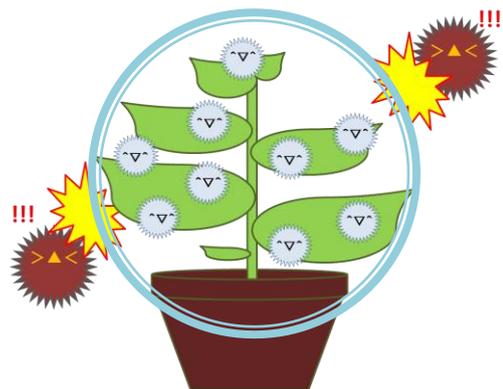


図3 弱毒ワクチンの入っている植物には、強毒ウイルスは感染出来ない (干渉効果)

IYSV ワクチンのネギへの接種

IYSV の弱毒株を獲得後、次はネギへの接種試験を行い、ネギでの効果を検証します。ネギの全身に IYSV ワクチンを巡らせることで、ワクチンの効果を十分に得ることが出来ます。しかし、現時点ではネギへの接種は不安定な状況です。安定して IYSV ワクチンをネギに投与する方法を確立して初めて IYSV ワクチンの完成と言えます。今後は、有望な弱毒株の選抜を行うとともに、ネギへの接種方法の検討も行う必要があります。

(応用研究部 伊藤弓佳)

ゲノム編集を利用した作物の改良

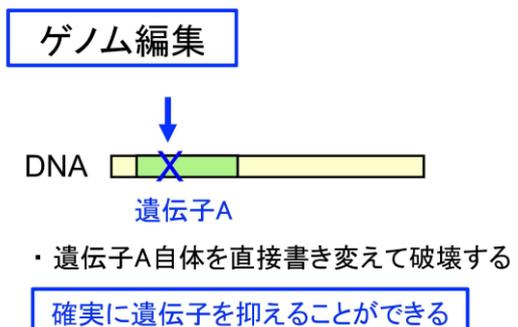
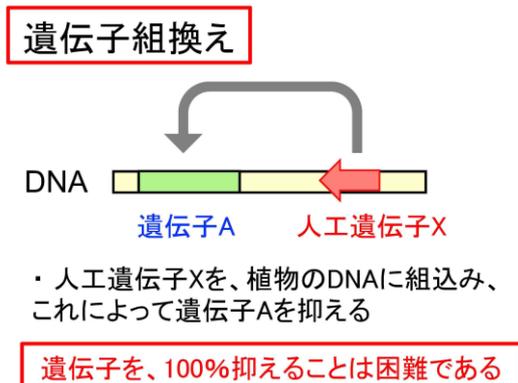
新しいバイオ技術としてゲノム編集が、最近話題となっています。ゲノム編集とは一体どんな技術でしょうか。

ゲノム編集で何ができるのか？

生物が活着している仕組みや性質は、遺伝子によって決まっています。遺伝子はDNAからできていますが、ゲノム編集は改変したい遺伝子のDNA情報を書き変える技術です。動植物を問わずいろいろな生物で、ゲノム編集を適用可能ですが、植物では主に、遺伝子を破壊して働かないようにするのに使われます（これを「ノックアウト」と言います）。

これまでも遺伝子を改変する方法として、遺伝子組換え技術がありました。遺伝子組換えとは、生物のDNAに人工遺伝子を組み込む技術です。遺伝子組換えで、遺伝子の働きを抑えることは可能ですが、完全にゼロにするのは困難でした。

遺伝子組換えで、ある遺伝子Aを働かないようにする場合、これを抑える人工遺伝子Xを設計して植物に組み込みます（下図参照）。しかし人工遺伝子が期待通りに働かないことが時々起こるため、遺伝子Aを100%抑えることが難しいというわけです。



これに対しゲノム編集の場合は、遺伝子A自体を直接書き変えて働かなくするため、確実に遺伝子をノックアウトすることができます。このようにゲノム編集は、自分が狙った遺伝子を効率よく抑えることができるため、便利な技術として研究者に広く普及しています。

ゲノム編集で労力と時間を大幅に削減できる

作物の品種改良では、これまでも化学薬品処理などで遺伝子が変化した植物を利用しています。しかし従来の手法では、多数の遺伝子のうちどれが変化するか予測できません。そのため、数千もの数の植物を作出・選抜する必要があり、多大な労力・時間を要しました。さらにこの手法は、同じ遺伝子を4個や6個持つ作物（4倍体=ジャガイモ等や、6倍体=コムギ等）では、ほぼ適用不可能です。

一方、ゲノム編集は特定の遺伝子を狙って改変することができるため、従来の方法に比べ、品種改良の労力と時間を大幅に減らすことができます。また4倍体や6倍体でも、4個または6個ある遺伝子全てを効率よく改変できます。

これらの利点を生かして、ゲノム編集によってイネ、トマト、ジャガイモなどの作物を改良する研究が行われています。例えばジャガイモの芽には有毒物質ソラニンが含まれています。これを合成する遺伝子をゲノム編集で破壊し、ソラニンを減少させたジャガイモが開発されています。

実用化に向けた展開

このようにゲノム編集を利用した品種改良の研究が盛んに進行中で、今後、ゲノム編集によって改良した作物の実用化が期待されます。

2019年3月に、国（厚生労働省）は、ゲノム編集で開発した食品について、人工遺伝子が入っていない場合は、遺伝子組換え食品とは異なる扱いとする方針を示しました。これによりゲノム編集技術の実用化に向けた道筋ができたことから、今後ゲノム編集を利用した研究開発がさらに進展すると考えられます。

（基礎研究部 森田重人）

酒米シンポジウム ～酒米生産から醸造・流通まで～ を開催しました

日時 平成30年12月7日(金) 13時30分～16時30分
場所 月桂冠株式会社 昭和蔵ホール2階

1 講演

- (1) スマートフォン・アプリによる酒造用米「京の輝き」の生育診断技術の開発
農林センター作物部主任研究員 大砂古 俊之
- (2) 栽培環境の異なる酒米の心白発現と心白解析法の新品種育成への活用
生物資源研究センター応用研究部主任研究員 尾崎 耕二
- (3) 京都産酒米における貯蔵タンパク質の特徴
生物資源研究センター基礎研究部長 増村 威宏

2 特別講演

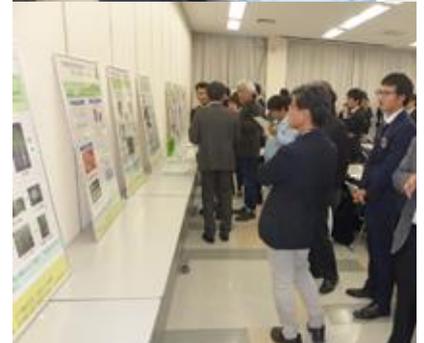
- (1) 日本酒の香味成分分析と新酵母開発
京都市産業技術研究所バイオ系チーム次席研究員 清野 珠美
- (2) 日本酒を世界へ
月桂冠株式会社醸造部生産技術課長 阪本 充

3 ポスターセッション

例年成績報告会として開催してきましたが、本年度は酒米をテーマとしたシンポジウムの形式で開催しました。

講演では、京都府産酒米の酒造適性向上につながる研究成果の報告や、特別講演として日本酒の香り・味を決める酵母の研究開発や日本酒の海外展開の事例について紹介しました。また、当センターでの研究成果についてのポスターセッションを行いました。

約80名の参加者があり、盛会となりました。参加者から寄せられた研究内容についての質問や御意見を、今後の研究に生かしていきたいと考えています。



当センターの研究は「未知との遭遇」?

上記のタイトルは、1977年に公開された映画で、人類が宇宙人と遭遇する内容です。映画の内容のように宇宙人ではありませんが、当センターの品種育成、微生物利用の研究は、今までなかったものを作る仕事で、その意味では「未知との遭遇」と言えるかもしれません。

しかし、当センターの研究は、目的や目標を持って進めているので、全く未知なるものとは違います。それでも、思い通りのものができる保証もなく、思いがけず良いものができたりもします。また、逆に思わぬ欠点が見つかるなど、思いどおりにはいきません。

すべてが品種育成で解決!!とはいきません。欠点を持ちながらも、栽培試験や普及センターとの連携で、欠点を補いながら、現地に普及していくことが重要と考えます。

今回のセンターだよりでも、品種育成の課題を紹介しましたが、育成者自身が気負うことなく、関係機関と連携しながら進めているというスタンスで冷静な目で研究を進めていくべきと考えています。

最近の新聞で、ゲノム編集した作物が早ければ今年の夏から市場に出回るとのこと。これまで以上に、目的に叶ったものを作ることができる時代に入ろうとしています。当センターの研究にとってもプラスの面も大きいと考えられます。ゲノム編集については、まだまだ議論されることではしょうが、未知なるものとの遭遇がたやすくなり、現場の課題を解決することに貢献できることは間違いないと考えられます。

(所長 末留 昇)

生物資源研究センターだより No.22 〒619-0244 京都府相楽郡精華町大字北稻八間小字大路
74番地

2019年3月

京都府農林水産技術センター Tel:0774-93-3525
生物資源研究センター Fax:0774-93-3528

<http://www.pref.kyoto.jp/shigenken/>