

希少糖の植物分野への利用

秋光 和也

D-ブシコース、D-アロースなどの量産体制に入った希少糖の中のいくつかは、低濃度でイネ・カンキツなどの植物防御関連遺伝子群の発現を誘導し、さらに生育調節活性を示すことが明らかになってきた。新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業（生物系特定産業技術研究支援センター）による支援のもとで、マイクロアレイ解析を駆使して希少糖処理で発現が増減するイネ遺伝子を特定し、これらの未知の遺伝子群をイネで発現させ、希少糖作用を担うそれぞれの遺伝子の機能解析が現在進んでいる。本研究により今まで着目されていない経路由来のシグナル伝達を明らかにできる可能性があり、さらに希少糖の生理作用の農業場面での利用の可能性を見いだす研究が、香川大学と三共アグロ株式会社・株式会社四国総合研究所との共同研究で進展している。

希少糖の植物への特徴的な作用

希少糖の植物に対する作用は特徴的かつ明確である。その一つに希少糖のエリシター活性があげられる。自然界におけるさまざまな生物・非生物由来の物質が植物の防御反応を誘導し、これらの物質はエリシター（植物抵抗反応誘導物質）と呼ばれる（表1）。病原菌の感染を受けた植物は、感染の過程で植物細胞壁成分の酵素的・物理的な分解を受け、細胞壁構成多糖の分解産物もエリシター活性を示すことが明らかとなっている。これらエリシターの初期認識が病原菌に対する防御機構の開始における重要なステップであることは明らかである。そこで単糖である各種希少糖のエリシター活性について研究を進めた。

まずは香川県の地場産業作物の一つであるカンキツの切り取り葉に、各種希少糖水溶液を噴霧処理し、植物防御関連遺伝子の発現挙動を調べた。動物の自然免疫機構

と同様に、多岐に渡る植物防御機構を網羅的に検定するために、植物防御、細胞内・細胞間シグナル伝達に関する複数の遺伝子についてその挙動を調べた結果、いくつかの希少糖を処理することにより、これらの植物防御関連遺伝子の発現が誘導されることが明らかになった。

香川大学で明らかにしたカンキツ防御関連遺伝子の中で、脂質過酸化経路の酵素遺伝子である *lipoxygenase* (LOX) 遺伝子¹⁾、*allene oxide synthase* (AOS) 遺伝子²⁾ や、フラボノイド生合成経路の酵素遺伝子である *phenylalanine-ammonia lyase* (PAL)³⁾、*chalcone synthase* (CHS) 遺伝子³⁾ は、病原菌や傷害などのストレスによりきわめて初期に作動し、その結果サリチル酸やジャスモン酸などの植物細胞中のシグナル伝達物質の合成を介して、防御機能を活性化すると考えられる。これらの遺伝子が希少糖処理により起動したことは、植物による希少糖の認識が、ストレス応答反応経路の活性化につながっていることを意味する。また、植物が病原菌の感染を受けて抵抗性が誘導された時にのみ発現し、生体防御に関係するタンパク群である *pathogenesis related* (PR) タンパク群の中で、植物の防御機構に直結することが知られるプロテアーゼ阻害タンパク (MLP2)⁴⁾、キチナーゼ (ChiA) 遺伝子⁵⁾ も希少糖処理により誘導された。PR タンパク型のプロテアーゼ阻害タンパクは、一般に植物において害虫などに対して消化不良を誘起することによる防御作用を持つことや、キチナーゼが病原系状菌壁の主成分のひとつであるキチンを分解し、さらにこのキチン分解物が抵抗性誘導活性を保持することも知られている。また揮発性物質でありながら、シグナル伝達に関与することが明らかとなったモノテルペンの合成酵素遺伝子⁶⁾ も誘導したことから、希少糖は多岐に渡る抵抗性関連遺伝子発現の制御機構に関与するものと考えられる。希少糖は自然界に存在する天然型単糖と類似構造を持ちながら、微量しか存在しない。そのため植物にとって完全に初めて出会う化合物ではないが、大量に吸収・代謝・分解する経路が確立しておらず(または欠失して)、何らかのセンサーシステムにより希少糖が異物認識されて、抵抗反応系への伝達機構(ストレス-シグナリング)を刺激しているのではないかと考えている。

さらに、希少糖は濃度依存性のさまざまな植物生長調

表1. 既知の天然エリシター

β -Glucan elicitors
Chitin/chitosan elicitors
Peptide/glycopeptides elicitors
Low MW compound elicitors
Pectic fragment elicitors

著者紹介 香川大学農学部（教授） E-mail: kazuya@ag.kagawa-u.ac.jp

希少糖生理活性の作用機構と生物生産場面での利用

希少糖作用機構の解明と農業場面での実用化を目指して

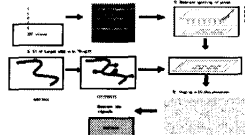
ターゲット遺伝子過剰発現による検証とシグナル伝達経路の解明



環境保全と安全性に優れた新たな農薬（病害虫抵抗性強化資材等）の可能性



イネアレイ解析による発現遺伝子の網羅的解析



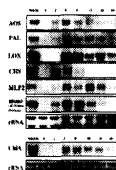
収量・品質を向上させる新たな液肥（生育調節資材等）の可能性



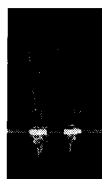
機構解明のための基礎研究

実用化を目指した応用研究

病害虫防御関連遺伝子の発現誘導



濃度依存的・一過性の生育調節（抑制・促進）



植物への希少糖の特徴的な作用

各種希少糖と誘導体の安定供給

Izumoring：希少糖生産戦略の確立

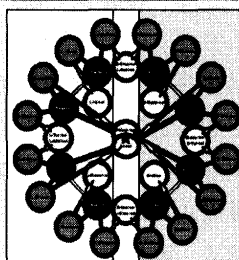


図1. 希少糖を用いた植物研究展開概略図（新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業（生物系特定産業技術研究支援センター）による支援で、香川大学・三共アグロ（株）・（株）四国総合研究所の共同研究プロジェクトにより推進中）

節作用も持つことが明らかになった。これまでにイネ、シロイヌナズナ、ミヤコグサ、トマトなどの多くの植物の生長調節に対するD-ブシコースやD-アロースなどの希少糖の作用を確認している^{7,8)}。これらの作用には、1) 希少糖は低濃度で作用を及ぼし、その作用（抑制・促進）は濃度依存性を示す、2) これらの作用は一過性であり、希少糖存在下では生長調節作用を及ぼすが、希少糖を排除すると生長調節作用は解除され通常の生育に戻るとい

う共通点が示されている。イネへの希少糖の処理条件とその作用を一例としてあげる。播種後5日目のイネ発芽苗を用いて、各種濃度のD-ブシコースを溶かした液肥（木村氏B液）中で育苗すると、0.1 mMのD-ブシコース処理区で約30%の生長阻害が認められ、0.5 mM処理区では10日間の水耕で苗丈・根長ともに60%以上抑制された。この0.5 mM処理区の苗を水耕10日後に土ポットに移植し、さらに1週間D-ブシコースなしで栽培し、葉の

特 集

total RNA を用いて防御関連遺伝子の発現様式を検定したところ、イネ病害抵抗性に関与する遺伝子の発現誘導が認められた。また、水耕時に認められた生育抑制は、D-プシコース処理時の一過的な作用であり、土ポットに移植後 D-プシコースを処理せずに生育させることにより、約3週間で無処理区の80%以上のサイズにまで回復した。また同様な作用は D-アロースでも確認されたが、これまでに供試したいくつかの他の希少糖やフルクトースなどの天然型単糖ではこのような作用は認められなかった。

希少糖は自然界に約 50 種存在すると考えられているが、いずれの希少糖も購入価格がきわめて高いか、購入不可能であったため、植物のみならずさまざまな生物に対するその生理活性についてはこれまでまったく研究されていなかった。希少糖の生理活性に関する研究を進める上で不可欠である、継続的に希少糖生産を続けることが可能な研究拠点は、現在世界において香川大学を中心とした当研究グループ以外にはなく、研究材料の供給・確保という点で圧倒的な優位性があると考えられる。これまで研究されてなかった希少糖の植物への生理作用として希少糖のエリキター活性と植物生長調節作用が明らかになった。これらの作用を利用した農業のための試薬・資材としての実用化に向けて検定試験を進めるとともに、これらの作用を引き起こすメカニズムの解明に向けての基礎研究が現在精力的に推進されている（図1）。

植物に対する希少糖作用研究の今後の展開

筆者らの研究グループでは、現時点で明らかになっている D-プシコースと D-アロースの植物への生理活性から、これら希少糖の持つ生理活性は農業場面での応用・実用化へ発展する可能性があると考えている（図1）。希少糖は天然物であり土壌中では微生物などの作用により速やかに分解するため、環境に対する安全性も高いと考えられる。新技術への応用は、耐病性増強、育苗の集約的作業への応用、種子・塊茎の発芽制御剤、抑草・草刈代替剤、果実の糖度向上や鮮度保持効果、植物工場や養液栽培システムにおける肥料養液への混合など、その可能性は大きく広がる。海外から輸入される安価な農産物に対して、国内では味・香り・外観などに特長のある農作物のブランド化が進められている昨今、希少糖は高い付

加価値を有する収獲物の安定生産に寄与できる可能性がある。農産物のブランド化による地域の活性化も期待できる。農業関連分野における各種農薬市場は3千数百億円が見込まれ、希少糖はこれらの市場の多くの場面での応用が期待できる。

希少糖生産研究の立ち上げ時は、一地方大学からの挑戦と捉えられ、その応用価値の高さは当初から予測されていた。香川県高松地域は平成15年4月に地域限定規制緩和が実施される構造改革特区として糖質バイオクラスター特区に認定され、日経バイオビジネス誌（2005）⁹⁾の全国バイオクラスターランキングでも、特色創出度ランキングで高松希少糖バイオクラスターは第3位に選出され、他項で述べられている医薬品・食品への応用とともに、農薬・農業資材などの生物生産場面への応用が期待されている。本研究の絶対的な独創性・革新性・優位性として、ここまでに繰り返したとおり「希少糖の安定供給」があげられる。これらの優位性をベースに、他に追従できるコンペティターが皆無である状況から、我が国のみならず国際的にも多大なインパクトをもたらし、新たな産業の創成につながる可能性をもつと考える。生物系特定産業における希少糖の実用化の可能性を探るにあたり、国内大手農薬メーカーである三共アグロ（株）と、また葉菜類植物工場や果菜類養液栽培システムの開発など施設園芸関連の研究開発で長年培ってきた技術やノウハウをもつ（株）四国総合研究所との共同研究が進んでいる（図1）。その成果が有効であり、実用性を兼ね備えていれば、天然物であり環境に対する安全性も高い希少糖を用いた新技術への応用の可能性が大きく広がり、生物系特定産業に新技術・新分野をもたらすと期待している。

文 献

- 1) Gomi, K. *et al.*: *J. Gen. Plant Pathol.*, **68**, 21 (2002).
- 2) Gomi, K. *et al.*: *J. Plant Physiol.*, **160**, 1219 (2003).
- 3) Gomi, K. *et al.*: *Plant Mol. Biol.*, **53**, 189 (2003).
- 4) Tsukuda, S. *et al.*: *Plant Mol. Biol.*, **60**, 125 (2006).
- 5) Gomi, K. *et al.*: *J. Gen. Plant Pathol.*, **68**, 191 (2002).
- 6) Yamasaki, Y. and Akimitsu, K.: *J. Plant Physiol.*, **164**, 1436 (2007).
- 7) Izumori, K. *et al.*: 国際出願PCT/JP2005/009474 (2005).
- 8) 秋光和也ら：特許第4009720号(2007).
- 9) 日経バイオビジネス：第2回全国バイオクラスターランキング, p. 78 (2005).