



平成 29 年 3 月 3 日

報道機関 各位

国立大学法人 東北大学大学院農学研究科
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

ダイコンの辛み成分を作り出す遺伝子を発見

—新しい加工品の創出に適した品種育成へ—

【概要】

ダイコンの食味を特徴付ける辛み、たくあんの黄色やにおいては、グルコシノレート（カラシ油配糖体）の一種であるグルコラファサチン（4-メチルチオ-3-ブテニルグルコシノレート：4MTB-GSL）の分解産物によりもたらされます。グルコラファサチンを全く含まず辛み成分の質が変化した突然変異体の存在が知られていましたが、この成分を合成する鍵酵素は不明でした。2014年に東北大学大学院農学研究科の北柴大泰准教授らがダイコンのドラフトゲノム情報を発表したことから、グルコラファサチン合成酵素の同定に向けた研究が加速し、農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）野菜花き研究部門の柿崎智博主任研究員と北柴大泰准教授らによって、グルコラファサチン合成酵素遺伝子が発見されました。この研究の詳細は米国植物生物学会誌「Plant Physiology」に掲載されました。

今回の研究成果を利用して、農研機構野菜花き研究部門では原因遺伝子の塩基配列情報をもとに開発した DNA マーカーを利用し、種苗会社と共同で、グルコラファサチンが合成されず辛み成分の組成が変化したダイコン品種である「悠白」と「サラホワイト」を育成しました。これらの品種は、保存中にたくあん臭や黄変が生じないため、フレッシュ感のあるダイコン加工品の開発が進められています。

【研究の背景】

ダイコンはわが国で最も摂取量の多い野菜です（平成 26 年国民健康栄養調査）。古くから栽培されてきた歴史を背景に、現在では多様な調理方法によって消費されています。ダイコンの食味を特徴付けるその辛みやにおいては、グルコシノレート（カラシ油配糖体）の一種であるグルコラファサチン（4-メチルチオ-3-ブテニルグルコシノレート：4MTB-GSL）の分解産物によりもたらされます（図 1）。肥大した根におけるグルコラファサチン含量は総グルコシノレート含量の 9 割以上を占める事が知られて

いましたが、その生合成経路は不明でした。

農研機構野菜花き研究部門はグルコラファサチンを全く含まない特徴を有する突然変異体を見出し、その合成経路の酵素遺伝子に変異が生じている可能性を示唆していましたがその原因遺伝子は不明でした。2014年に東北大学大学院農学研究科の北柴大泰准教授らがダイコンのドラフトゲノム情報を発表し、DNA マーカーや巨大ゲノム断片を含む DNA ライブラリー (BAC ライブラリー) といった遺伝解析の基盤を整備しました。このことにより、遺伝子の同定に向けた研究リソースが整備されました。以上の経緯から、両研究機関が共同で遺伝学的解析によるグルコラファサチン合成酵素遺伝子の同定やその機能解析に着手しました。

【研究成果】

1. 突然変異体でグルコラファサチンが合成されないのは、ダイコンの第1連鎖群末端に存在するグルコラファサチン合成酵素遺伝子が壊れ、その機能を失ったことによるものでした。正常な機能を持つ遺伝子 (グルコラファサチンを生合成する遺伝子) が優性であることから、そのタイプの遺伝子を *GRS1* (*GLUCORAPHASATIN SYNTHASE 1*) と名付けました。これに対して機能を失ったタイプ (劣性) を *grs1* としました (図2)。
2. *GRS1* の予測アミノ酸配列は、普遍的に植物に存在する酸素添加酵素の一種である2-オキソグルタル酸依存型ジオキシゲナーゼに類似します。
3. 変異体ダイコンの遺伝子にはレトロトランスポゾンの挿入が生じており、正常なタンパク質をコードしていないことが分かりました (図2)。
4. *GRS1* 遺伝子へのレトロトランスポゾンの挿入変異を識別できる DNA マーカーを開発しました。この DNA マーカーによる遺伝子診断を行うことで、煩雑な操作を必要とする成分分析を行うことなく、グルコラファサチンの有無を推定することが可能となります (図3)。
5. グルコラファサチンは、ダイコン特有の成分で、同じアブラナ科で近縁種のセイヨウナタネやキャベツが合成するグルコシノレートとは構造が異なり、モデル植物のシロイヌナズナとも異なります。そのため、これらの既存のゲノム情報はほとんど参考にならず、グルコラファサチン合成酵素遺伝子の正体は謎でした。しかし、今回その合成酵素遺伝子を世界で初めて明らかにし、育種学、生理学の面で非常に意義のある成果となりました。

【今後の展望】

1. 農研機構野菜花き研究部門ではこれまでにグルコラファサチン欠失性変異体から「だいこん中間母本農5号」を育成し、これに由来する *grs1* 遺伝子を有する市販加工用ダイコン品種「悠白」と「サラホワイト」を育成しました (2016年1月28日 農研機構プレスリリース)。両品種ともにグルコラファサチンを含まないことから、たくあん臭や黄変が生じないフレッシュ感のある加工品の原料として使用できます。今後も *grs1* 遺伝子を持った様々なダイコン品種の育成を予定しており、

その育成過程で *grs1* 遺伝子の DNA マーカー選抜を導入し、優れた加工適性を持つ品種の効率的な育成を目指しています。

- シロイヌナズナやナタネ、キャベツなどの他のアブラナ科植物はグルコラファサチンを含みません。ダイコンは種分化の過程で *GRS1* 遺伝子を獲得したことにより、グルコラファサチンを蓄積するようになったと考えられます。植物種間でグルコシノレート合成に関わる遺伝子の配列を比較することで、植物種に特有なグルコシノレート組成が生じた原因が明らかになることが期待できます。
- 本成果は、東北大学農学研究科 北柴大泰准教授らがダイコンで整備した遺伝解析の基盤が品種開発の実用性まで結びついたものです。今後も、ダイコンの根の形や色など、ダイコンの育種に重要な遺伝子の同定や応用技術に貢献すると期待されます。

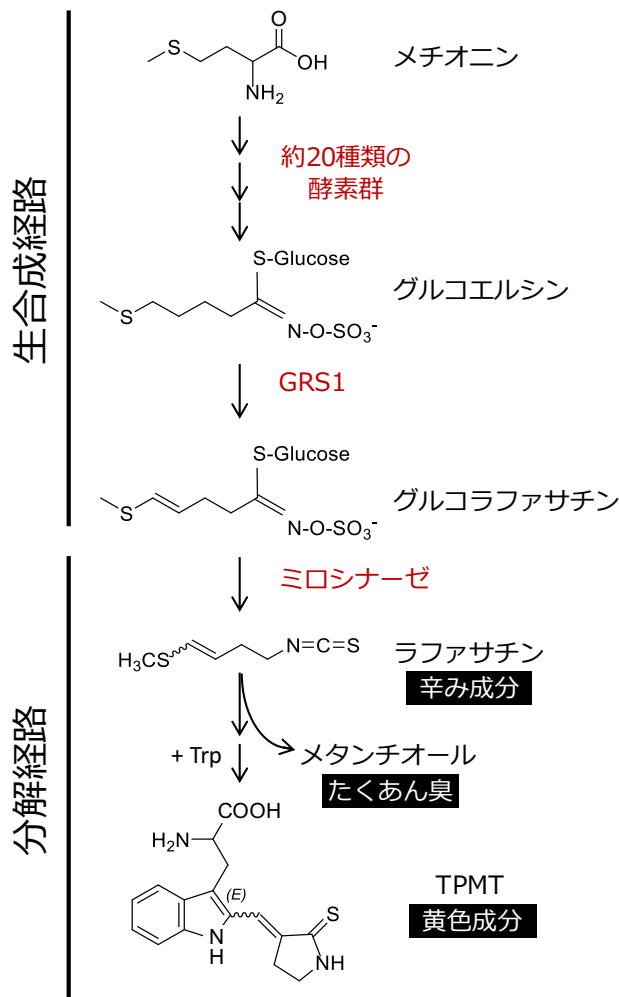


図1. グルコラファサチンの生合成経路と分解経路

通常のダイコンでは機能的な *GRS1* の働きによりグルコラファサチンが蓄積する。変異体ダイコンでは *GRS1* が機能しないため、グルコエルシンが蓄積する。

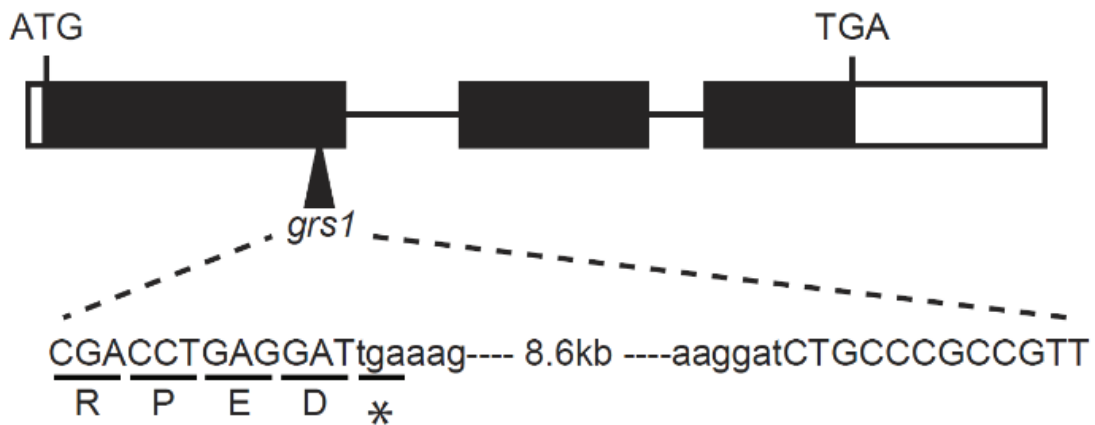


図2. *GRS1* 遺伝子の構造と挿入変異の配列

黒四角はタンパク質をコードする領域を示す。この領域の3つの塩基配列で1つのアミノ酸の暗号となる。変異体 (*grs1*) 型では約 8.6kb のレトロトランスポゾンの挿入 (小文字配列) により、アスパラギン酸 (D) の次がアミノ酸をそれ以上付加しない暗号である「終始コドン (*)」となっており、完全なタンパク質を生産することができない。

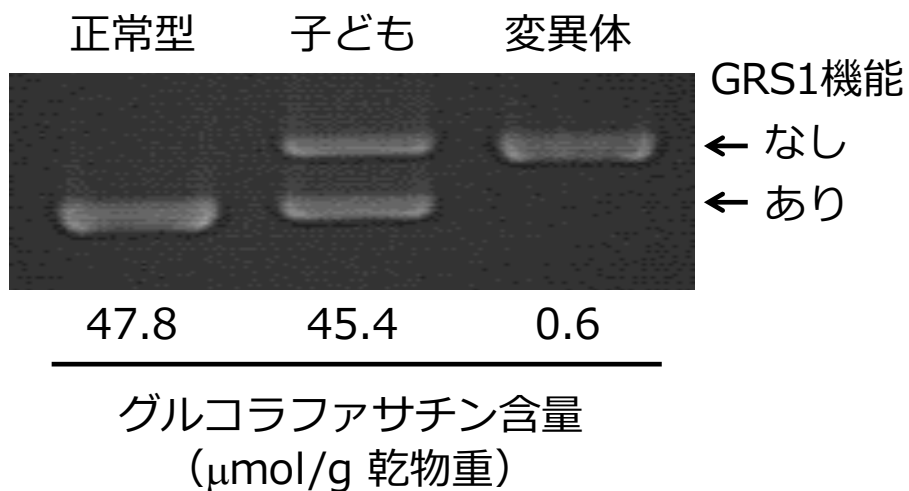


図3. DNA マーカーによる判別とグルコラファサチン含量

正常型 *GRS1* を持つ個体ではグルコラファサチンが蓄積するのに対し、機能を失った個体 (変異体) ではほとんど蓄積しない。両者の子どもは正常型 *GRS1* を持ち、正常型と同程度にグルコラファサチンを蓄積する。

【論文情報】

表題：A 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase mediates the biosynthesis of glucoraphasatin in radish

「ダイコンのグルコラファサチン生合成は 2-オキソグルタル酸依存型ジオキシゲナーゼが介在する」

著者：Tomohiro Kakizaki*, Hiroyasu Kitashiba, Zhongwei Zou, Feng Li, Nobuko Fukino, Takayoshi Ohara, Takeshi Nishio and Masahiko Ishida (*corresponding author)
(柿崎智博、北柴大泰、Zhongwei Zou、Feng Li、吹野伸子、小原隆由、西尾剛、石田正彦)

雑誌：Plant Physiology

巻頁：Published online before print (January 19th) pp.01814.2016

DOI：http://dx.doi.org/10.1104/pp.16.01814

【関連情報】

予算：農林水産省委託プロジェクト「ゲノム情報を活用した農産物の次世代生産基盤技術の開発プロジェクト (HOR1006)」(2013～2017 年度)

特許：「機能欠損型グルコラファサチン合成酵素遺伝子及びその利用」(特開 2016-086761) 2016 年 5 月 23 日

【問い合わせ先】

《研究関連》

東北大学 大学院農学研究科 応用生命科学専攻 植物遺伝育種学分野
准教授 北柴 大泰

E-mail: hkitashiba@m.tohoku.ac.jp

Tel: 022-757-4268 Fax: 022-757-4270

〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1

農研機構 野菜花き研究部門 野菜育種・ゲノム研究領域

主任研究員 柿崎 智博

Email: tkaki@affrc.go.jp ※

Tel: 050-3533-4605

〒514-2392 三重県津市安濃町草生360

《品種育成関連》

農研機構 野菜花き研究部門 企画連携室

室長 石田 正彦

Email: ishimame@affrc.go.jp ※

Tel: 029-838-6574

〒305-8519 茨城県つくば市観音台 3-1-1

※都合により平成29年3月3日18時～3月6日9時の期間はメールをお受けできません。ご了承ください。