

2004年12月3日
独立行政法人 理化学研究所

乾燥ストレスのスイッチとして働く遺伝子を発見

- 乾燥に強い植物の作製に應用 -

◇ポイント◇

- SRK2C という遺伝子を発現させると、乾燥耐性が有意に向上
- 栽培上有利な特性として、作物や樹木への應用期待

独立行政法人理化学研究所（野依良治理事長）は、植物において乾燥ストレスによって活性化するタンパク質リン酸化酵素^{*1}を同定し、この遺伝子を利用して乾燥ストレスに強い植物を作製することに成功しました。理研篠崎植物分子生物学研究室の篠崎一雄主任研究員（兼務：理研横浜研究所ゲノム科学総合研究センター植物ゲノム機能情報グループプロジェクトディレクター）、梅澤泰史協力研究員らの研究グループと独立行政法人国際農林水産業研究センターとの共同研究による成果です。なお、本研究は独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構 生物系特定産業技術研究支援センターの「新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業」のサポートを受けて実施されました。

水分不足や高濃度の塩類などの影響による乾燥ストレスは、植物の生育を著しく阻害し、世界の農業生産に深刻な影響をもたらしています。研究グループでは、バイオテクノロジーを用いた植物の乾燥ストレス耐性の改良を目指し、植物が本来備えている乾燥ストレスに対抗するためのメカニズムに焦点を当てて研究を展開してきました。

今回の研究では、はじめにモデル植物であるシロイヌナズナ^{*2}を用いて、乾燥ストレスによって活性化するタンパク質リン酸化酵素 SRK2C を同定しました。さらに、SRK2C 遺伝子をシロイヌナズナで過剰に発現させると、乾燥耐性が有意に向上することが明らかとなりました。SRK2C を導入した形質転換植物では、乾燥ストレスに応答するタイプの遺伝子群^{*3}が誘導されていたことから、SRK2C の導入によって乾燥ストレスのシグナルが増幅された結果、乾燥耐性が向上したものと考えられます。

今回開発された技術では、従来のように単一の導入遺伝子の機能に頼った方法とは異なり、シグナル伝達因子を用いて植物に内在する仕組みを包括的に活性化させることが可能です。SRK2C は通常条件では活性を持たないので、非ストレス下では植物の生育に大きな影響を与えません。つまり、通常条件では OFF、乾燥時には ON となる分子スイッチとして機能することができます。この特性は栽培上有利であると考えられるため、今後、有用作物や樹木などへの應用が期待されます。この新規の方法に関しては特許を申請しており、将来の分子育種への産業應用が期待されます。

本研究成果は、12月7日付けの米国科学アカデミー紀要『Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America : PNAS^{*4}』に発表されます。

1. 背景

農作物をはじめとする植物にとって乾燥や塩類集積等による水分の欠乏は、その生長や収量に最も影響を及ぼす要因の一つです。半乾燥地やその周辺における砂漠化などの環境問題以外にも、農業においては干ばつによる潜在的な被害が甚大であると言われています。植物の乾燥ストレス耐性を向上させるための技術開発は、現状の問題に対応し、ひいては将来において懸念されている食糧問題を回避する施策として期待されるものです。

植物が乾燥状態にさらされると、植物の中では多種多様な遺伝子が働くことによって、乾燥に対抗するための様々な防御反応が行われます（図 1）。このような応答を素早く行うためには、植物細胞自身が乾燥状態を感知し、そのシグナルを遺伝子に伝えるための仕組みが必要です。そうした仕組みを理解することができれば、植物に乾燥耐性を付与するためのターゲットが見えてきます。今回の研究では、そうしたシグナル因子の中で、「タンパク質リン酸化酵素」に注目しています。

一般的に、タンパク質のリン酸化は細胞内シグナル伝達において主要な役割を担っています。植物の乾燥ストレス応答においても、タンパク質のリン酸化が関与していることは古くから知られていました。研究グループは、SNF1-related protein kinase 2 (SnRK2)ファミリー^{*5}と呼ばれる植物固有のタンパク質リン酸化酵素が乾燥ストレスによって活性化することを見出し、SnRK2が乾燥ストレスのシグナルを伝達するのではないかと予想しました。そこで、これらのタンパク質リン酸化酵素が植物の中でどのような役割を持っているのかを明らかにするために、研究を行ってきました。

2. 研究成果

今回同定したタンパク質リン酸化酵素のSRK2Cは、シロイヌナズナゲノム上に10個存在するSnRK2ファミリーの一つです。研究グループは、シロイヌナズナ培養細胞を用いた実験から、SRK2Cは通常条件ではリン酸化活性を持ちませんが、高浸透圧条件にすると急激に活性を獲得することを見出しました。植物体においては、SRK2Cは乾燥ストレスによって急激に活性化されます。さらに、SRK2Cが乾燥ストレス応答のシグナル伝達に関与するかどうかを調べるために、SRK2Cを過剰に発現させた形質転換植物を作製しました。SRK2C遺伝子をシロイヌナズナの中で過剰に発現させても、通常条件では大きな生育異常は認められません。しかし、乾燥ストレスをかけると野生型が枯れてしまう条件でも多くの形質転換植物が生き残っており、SRK2C過剰発現植物では乾燥耐性が大幅に向上することがわかりました（図 2）。さらに、SRK2C過剰発現植物の遺伝子発現を調べると、植物の乾燥耐性に関わる一群の遺伝子が大量に発現していることがわかりました。このことは、過剰に存在するSRK2Cが乾燥ストレスのシグナルを増強し、遺伝子発現をコントロールすることによって、形質転換植物の耐性が獲得されたことを示しています（図 3）。

3. 農業・園芸分野への展開

SnRK2ファミリーは、イネ、ダイズ、タバコなど多くの高等植物に存在しています。したがって、今回のSRK2Cを用いてシロイヌナズナで得られた結果は、ほ

かの植物にも適用できる可能性が十分に考えられます。今回の成果の特徴は、一つのシグナル伝達因子を導入することによって、幅広い範囲の遺伝子発現がコントロールできる点にあります。また、**SRK2C**は通常条件では活性を持たず、乾燥ストレスによって活性化されることから、ストレスの状況に応じてシグナルの出力の**ON/OFF**が切り替え可能な分子スイッチとしての特徴を有しています。これらの特色は、通常条件での植物の生育に与える影響を抑えながら、耐性を付与することができるという栽培上の利点を生じます。将来、農作物にこの技術を応用することにより、半乾燥地での農耕地の拡大、干ばつによる収量低下の防止が期待され、ひいては環境問題・食糧問題の解決に進展することが期待されます。また、この技術は、水やりを忘れても枯れにくい園芸植物や花の開発にも応用できる可能性があります。

今回の実験で遺伝子組換えに用いた遺伝子は植物本来の遺伝子であり、制御する範囲も植物が元来持ち合わせている応答機構であることから、消費者にも受け入れやすい環境に優しいバイオ技術であると考えられます。

(問い合わせ先)

独立行政法人理化学研究所
篠崎植物分子生物学研究室

主任研究員 篠崎 一雄

Tel : 029-836-4359 / Fax : 045-503-9586

(報道担当)

独立行政法人理化学研究所 広報室

Tel : 048-467-9272 / Fax : 048-462-4715

Mail : koho@riken.jp

<補足説明>

※1 タンパク質リン酸化酵素

英名でプロテインキナーゼともいう。タンパク質の特定の部位をリン酸化し、その機能を変える働きを持つ。細胞外部からの刺激を細胞内部に伝達し、これらの刺激に対する細胞の応答に関与する。タンパク質リン酸化酵素には多数の種類が存在することが知られており、たとえばシロイヌナズナのゲノム上にコードされるタンパク質リン酸化酵素遺伝子は約 1000 個である。

※2 温帯から亜寒帯に広く分布するアブラナ科の一年生の草本で、現在では植物研究の実験用モデル植物として広く知られている。シロイヌナズナは、実験室での取扱いが容易であること、一世代に要する時間が約 2 ヶ月と短いこと、形質転換が容易であることなど、モデル植物として理想的な特徴を備えている。2000 年には高等植物で初めて全ゲノムが解読された。

※3 乾燥ストレスにตอบสนองする遺伝子群

植物が乾燥にさらされると、防御や生命維持に働く多数の遺伝子発現が誘導される。たとえば、適合溶質と呼ばれる浸透圧調節物質の合成酵素の遺伝子（ガラクトキノール合成酵素など）や、親水性タンパク質（RD29A、COR15a など）などの遺伝子が働き、その結果植物は乾燥状態でも生命を維持しようとする。

※4 PNAS

全米科学アカデミー紀要（Proceedings of the Academy of Science of the United States of America : PNAS）は世界で最も引用される科学に関する定期行物の一つ。発行頻度は隔週刊で、1914年の創刊以来、最先端の研究論文等を掲載している。雑誌の重要度を示すインパクトファクターは、10.896と10を越えており高い影響力を持つ学術雑誌といえる。ちなみに Thomson ISI 社の2003年版のリストにおいて、インパクトファクターが10を越えるものは、全5907誌中86誌である。

※5 SNF1-related protein kinase 2 (SnRK2)ファミリー

SNF1-related protein kinase ファミリーは、植物において酵母のSNF1タンパク質リン酸化酵素と類似性が高い一群のタンパク質リン酸化酵素の総称である。SnRK1、SnRK2、SnRK3の3つのグループが存在し、このうちSnRK1が酵母SNF1と機能的に相同であると考えられている。SnRK2とSnRK3は植物に固有のタンパク質リン酸化酵素である。

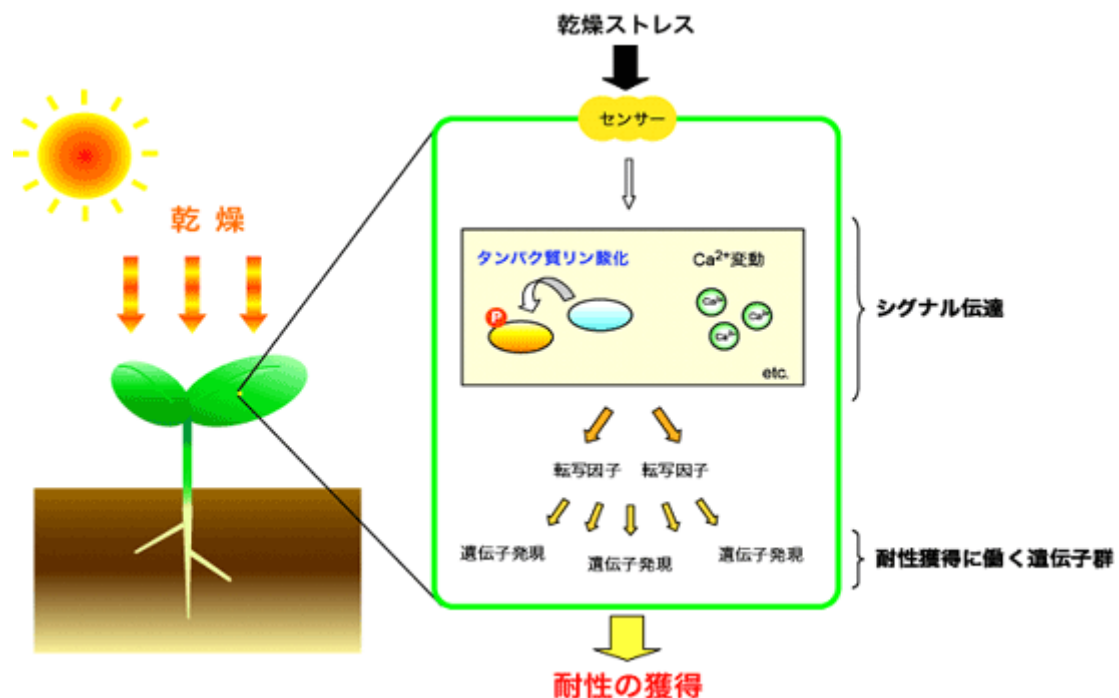


図1 植物の乾燥ストレスに対する応答のメカニズム

植物が乾燥状態を感知すると、その信号（シグナル）が細胞内に伝えられます。シグナル伝達には様々な方法が使われていますが、ここではタンパク質のリン酸化やカル

シウムを例として示しました。シグナルは最終的に遺伝子に到達し、耐性獲得のために働く遺伝子が活性化されます。それらの遺伝子の働きによって、植物は乾燥ストレスに対してある程度の耐性を示すようになると考えられています。

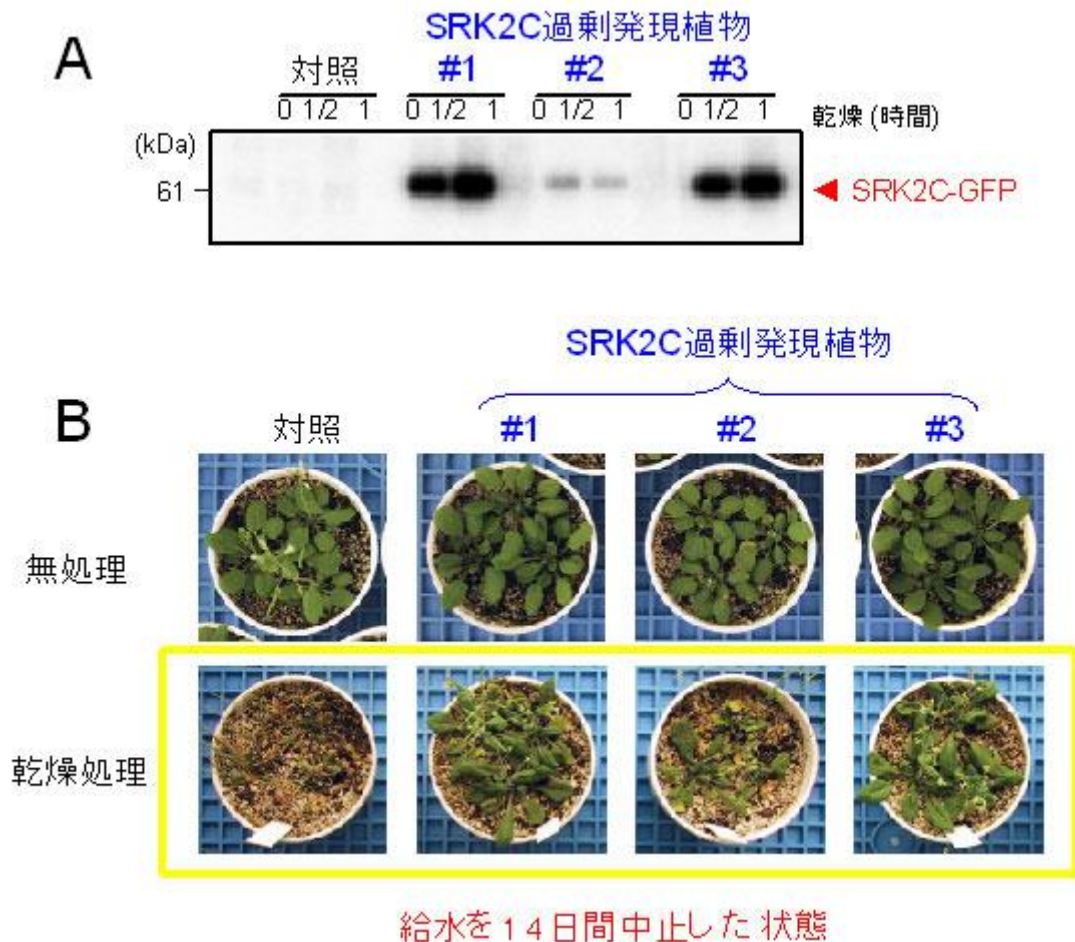


図2 SRK2C 過剰発現植物における乾燥耐性の向上

(A)は、SRK2C 過剰発現植物 (#1、#2 および#3) で、実際に SRK2C が過剰に存在することを示しています。乾燥処理によって現れるバンドは、SRK2C のリン酸化活性です。

(B)の写真は、SRK2C 過剰発現植物の乾燥耐性試験の結果を示しています。水やりを止めて14日が経過すると、対照区の植物はほとんどが枯れてしまいます。一方、SRK2C 過剰発現植物ではそのほとんどが生存していたことから、SRK2C を用いて植物の乾燥耐性を改良できることが明らかとなりました。

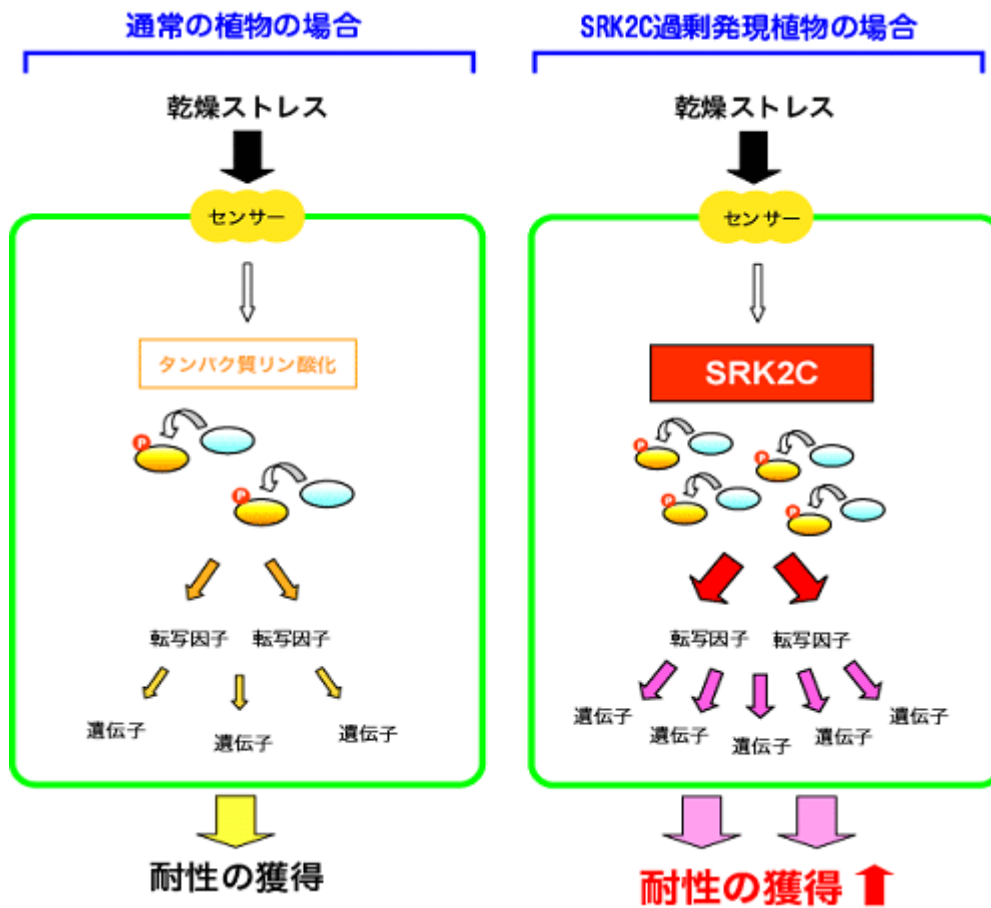


図3 なぜSRK2C過剰発現植物は乾燥に強いのか？

図1でも示したように、通常の植物（左図）では乾燥ストレスを受けると、タンパク質のリン酸化を介して耐性機構を働かせています。SRK2C過剰発現植物（右図）では、このタンパク質のリン酸化の部分強化されるため、耐性機構がより積極的に働くようになって高い乾燥耐性を獲得するものと考えられます。