

2022年12月9日

報道機関 各位

東北大学大学院生命科学研究科
オーフス大学
ノースカロライナ州立大学

ミヤコグサが日本全土に分布域を広げた要因 多年生植物の低温耐性機構の解明

【発表のポイント】

- 多年生の植物の低温耐性についての知見は、これまでは限られていた。
- 多年草であり、日本に自生するミヤコグサの集団を用いた東北大学大学院生命科学研究科付属の湛水生態系野外実験施設での実験で、越冬性に関わる2種類の遺伝子を同定した。
- 同定した遺伝子は、冬季低温下で新芽を形成するために重要で、その変異のパターンにより、低温によって遺伝子の発現量が上昇するようになり、越冬性の獲得につながったことが明らかとなった。
- 越冬性が環境適応にとって重要な要素となる多年生の植物で低温耐性に重要な役割を果たす遺伝子の制御機構を同定した。

【概要】

植物の低温耐性についてはこれまで1年生植物のシロイヌナズナを中心に研究が進められており、越冬性が環境適応に重要な要因となる多年生の植物での知見は限られていました。東北大学大学院生命科学研究科の佐藤修正教授らとオーフス大学(デンマーク)、ノースカロライナ州立大学(アメリカ)の国際共同研究グループは、日本全土に自生するマメ科のミヤコグサ集団を東北大学の圃場で栽培し、越冬性の表現型を指標にした解析を行い、2つの受容体様キナーゼ(*¹)遺伝子が越冬性に関与することを見出しました。本研究ではこれらの遺伝子が、氷点下の気温にさらされた後の新芽の形成に重要な役割を果たすこと、その塩基多型により、低温による発現誘導能を獲得したことが低温環境への適応が必要な地域への分布域の拡大に寄与したことを明らかにしました。多年生植物の低温耐性に普遍的な受容体様キナーゼが関与していることを明らかにしたことにより、関連作物の育種への応用も期待されます。

本研究結果は、2022年11月30日にPlant Physiology誌に掲載されました。

【詳細な説明】

ミヤコグサは日本全土に自生するマメ科の多年生植物であり、歳時記にも取り上げられている身近な植物です。このミヤコグサはマメ科のモデル植物として微生物共生の研究を中心に海外を含む多くの研究者に使われており、その研究のためのリソースを整備する目的で、日本各地から採取されたミヤコグサ野生系統がナショナルバイオリソースプロジェクト (NBRP) で収集されています。東北大学大学院生命科学研究科の佐藤修正教授らとデンマークのオーフス大学、アメリカのノースカロライナ州立大学の研究者の国際共同研究グループは、ミヤコグサ野生系統の情報基盤整備の一環として収集系統のうち 136 系統のゲノムを解読し比較解析を行うとともに、東北大学大学院生命科学研究科付属の湛水生態系野外実験施設 (宮城県大崎市) で栽培し、生育や開花、塩ストレスに対する反応など、さまざまな表現型について調査しました。東北大圃場でミヤコグサを栽培すると、冬の間には地上部が枯れますが、ミヤコグサは多年生植物であるため、春には新芽を出し 5 月から 6 月にかけて一斉に花を咲かせます。この春に新芽を出した個体の割合を越冬率として評価して、この表現型に関与する遺伝子をゲノムワイド関連解析 (GWAS) ^(*)2) で探索した結果、2つの候補遺伝子を同定しました。

この2つの候補遺伝子はともに受容体様キナーゼという生体内の情報伝達に重要な役割を果たすタンパク質をコードしておりました。一方は、FERONIA という遺伝子 (*LjFER*) で、さまざまな植物ホルモンによる制御に多面的に機能することが知られています。もう一つは、G-type lectin S-receptor like kinase (*LjLecRK*) と呼ばれる遺伝子で、病害抵抗性などに関与する多数の遺伝子で構成される遺伝子ファミリー ^(*)3) に属しています。

これらの遺伝子が実際に越年性、冬季の低温耐性に関与することを確かめる目的で、ミヤコグサの研究リソースとして整備されている挿入変異系統ライブラリ ^(*)4) から *LjFER* 遺伝子の変異系統と *LjLecRK* 遺伝子の変異系統を入手し、冬季の低温耐性に対する影響を調査しました。冬季に温室で 4 週間栽培した植物を、野外で 4 週間栽培し、その後温室に戻して栽培するという冬季野外栽培実験を行なったところ、正常な *LjFER* 遺伝子と *LjLecRK* 遺伝子を持つ野生型株は、温室に戻して 2 週間で株元 (クラウン) から新芽が形成され生育が回復したのに対して、*LjFER* 遺伝子の変異系統、*LjLecRK* 遺伝子の変異系統は、温室に戻しても新芽の形成は認められませんでした。このことから、*LjFER* 遺伝子と *LjLecRK* 遺伝子はともに、冬季低温下での株元の維持、翌春の新芽の形成に重要な役割を持つことが示されました。

さらに、ミヤコグサ集団のゲノム情報の解析から、*LjFER* 遺伝子は日本の集団の中に Ref 型と Alt 型の 2 種類の塩基配列のパターン (遺伝子型) が存在し、Alt 型の *LjFER* 遺伝子を持つ系統の方が Ref 型の系統よりも越冬率が高いことが明らかとなりました (図 2)。一方、*LjLecRK* 遺伝子は日本の集団の中に

Hap1 型、Hap2 型、Hap3 型の遺伝子型が存在し、Hap2 型、Hap3 型の遺伝子を持つ系統の方が Hap1 型の系統よりも越冬率が高いことが明らかとなりました (図3)。

LjFER 遺伝子と *LjLecRK* 遺伝子の遺伝子型と遺伝子発現の関係を調査するために、23 種のミヤコグサ系統について 1 週おきに冬季野外栽培実験を行い、野外栽培 1 週目の *LjFER* 遺伝子と *LjLecRK* 遺伝子の発現量を調査しました。その結果、どちらの遺伝子も越冬率が高くなる遺伝子型を持つ系統では、調査時の気温の低さに応じて遺伝子の発現量が上昇していますが、越冬率が低い遺伝子型の系統では、発現量の上昇が見られないという結果が得られました。

そこで、自生地とこれらの遺伝子の遺伝子型の関係を調査した結果、*LjFER* 遺伝子の Ref 型と Alt 型は以前の論文 (DOI:10.1038/s41467-019-14213-y) で報告した日本のミヤコグサ集団を構成する 3 つのグループのいずれにも検出されており、ミヤコグサが日本に定着する前にこの多様性が存在し、低緯度地域の気候では Ref 型が選抜され、高緯度地域の気候では Alt 型を持つ系統が選抜されたと推定されました (図2)。一方、*LjLecRK* 遺伝子の Hap2 型、Hap3 型の遺伝子型は 3 つのグループのうち 1 グループにしか検出されず、この多様性が日本に定着してから獲得されたものであることが推定されました。*LjLecRK* 遺伝子の Hap2 型、Hap3 型の遺伝子型を獲得したことにより、このグループが東北、北海道の高緯度地域を占有したことが推定されました (図3)。

個体として複数年生存する多年生の植物が分布域を広げるためには、新しい環境での四季の気候に適応する必要があります。今回のミヤコグサ集団を用いた解析で、解析例の少ない多年生植物の低温耐性のメカニズムを明らかにするとともに、自生地環境に適応する過程を明らかにすることができました。この成果は、マメ科作物や多年生の作物の育種等に活用されることが期待されます。

本研究はナショナルバイオリソースプロジェクト ミヤコグサ・ダイズからのリソース提供を受け、文部科学省研究費補助金 JSPS 科研費 (JP20H02884)、JST 未来社会創造事業 (JPMJMI20E4)、JST CREST (JPMJCR16O1)、The Novo Nordisk Foundation Grant (NNF129SA0059362) の助成を受けて行われました。

【用語説明】

* 1 受容体様キナーゼ :

シグナルの受容に関与する細胞外のドメインとシグナルの伝達に関与する細胞内のキナーゼドメイン (リン酸化を触媒するドメイン) を持つ膜貫通タンパク質で、植物において広範囲の生理学的反応を制御し、大きな遺伝子ファミリーを形成している。

* 2 ゲノムワイド関連解析 (GWAS) :

遺伝子多型を用いて表現型と関連する遺伝子を見つける方法の 1 つ。ある表現型と SNP の遺伝子型の間で、相関があるかどうかを統計的に検定して調べる。ミヤコグサの解析の場合、ゲノム全体を網羅する 20 万カ所の SNP を用いて、ゲノム全体から表現型と関連する領域・遺伝子を発見する。

＊3 遺伝子ファミリー：

同一の祖先遺伝子に由来する、塩基配列や遺伝子産物の機能が類似している遺伝子群。遺伝的組換えの異常、レトロトランスポゾンの転移、染色体やゲノム全体の重複の結果生じる遺伝子重複に起因するもので、遺伝子のコピー数が増えることで変異を蓄積することが可能となり、同じファミリーの遺伝子間で機能や発現部位が異なることがある。

＊4 挿入変異系統ライブラリ：

ミヤコグサのゲノムに存在しているトランスポゾン（ゲノム上の位置を転移することができる塩基配列）を活性化して、新たな挿入によりランダムに遺伝子の機能の阻害を引き起こした系統を集めて作成した集団。新規挿入位置の大規模解析を行なっているため、データベースを用いて解析したい遺伝子に挿入のある系統を検索して使用することができる。

【図】

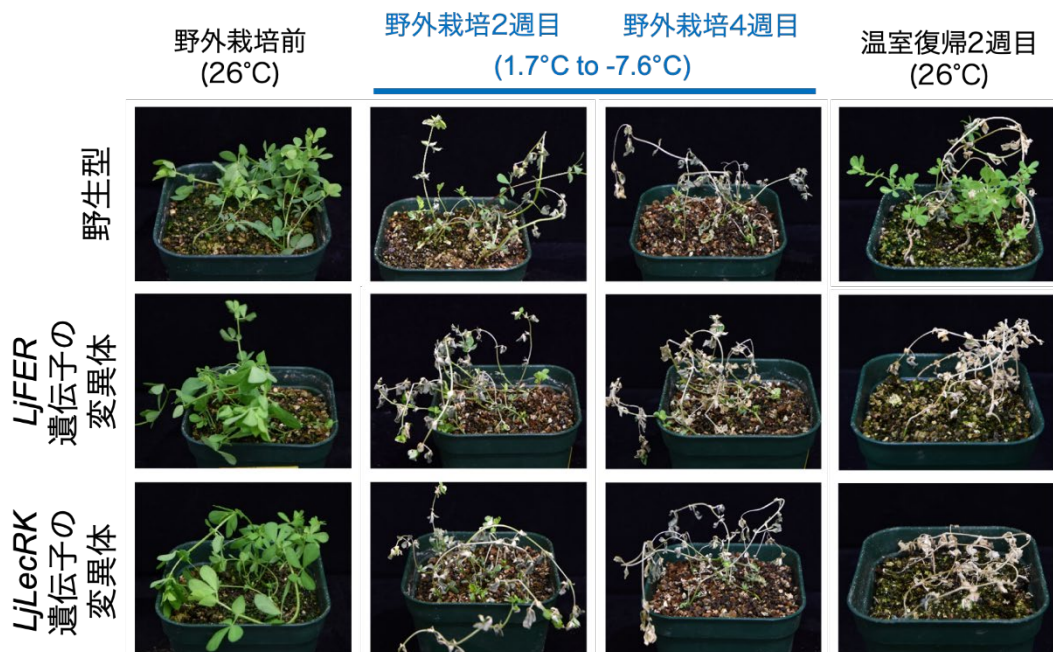


図 1. 冬季野外栽培実験の表現型

冬季に温室で 4 週間生育させた個体を、4 週間野外で栽培した後再び温室に戻すと、野生型は 2 週間で新芽の形成が誘導されるが *LjFER* 遺伝子、*LjLecRK* 遺伝子の変異体は新芽の誘導が起こらない。

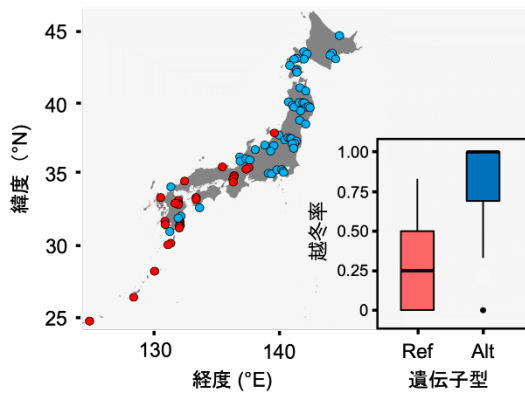


図 2. *LjFER* 遺伝子の遺伝子型の分布と冬季野外栽培実験での遺伝子発現

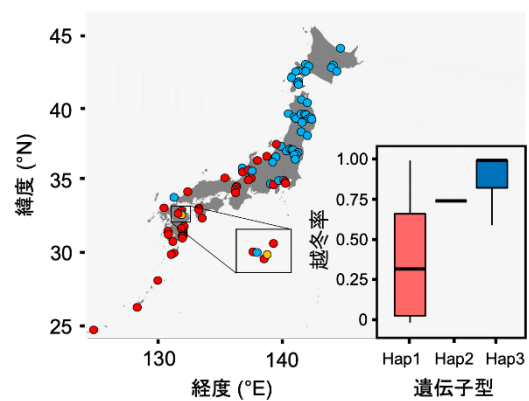


図 3. *LjLecRK* 遺伝子の遺伝子型の分布と冬季野外栽培実験での遺伝子発現

【論文題目】

題目: *FER* and *LecRK* show haplotype-dependent cold-responsiveness and mediate freezing tolerance in *Lotus japonicus*

著者: Yusdar Mustamin, Turgut Yigit Akyol, Max Gordon, Andi Madihah Mangabarani, Yoshiko Isomura, Yasuko Kawamura, Masaru Bamba, Cranos Williams, Stig Uggerhøj Andersen, Shusei Sato

筆頭著者情報: (Yusdar Mustamin、東北大学大学院 生命科学研究科)

雑誌: Plant Physiology

DOI: 10.1093/plphys/kiac533

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科

教授 佐藤 修正 (さとう しゅうせい)

電話番号: 022-217-5688

Eメール: shusei.sato.c1@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院生命科学研究科広報室

担当 高橋 さやか (たかはし さやか)

電話番号: 022-217-6193

Eメール: lifsci-pr@grp.tohoku.ac.jp