

トマトの雄性不稔に関わる遺伝子候補を特定

～トマトの低コスト F1 採種へ～

令和3年12月1日

公益財団法人 かずさDNA研究所
国立大学法人筑波大学
トキタ種苗株式会社

- ◇ かずさDNA研究所は、筑波大学とトキタ種苗株式会社と共同で、トマトで花粉をつくらせない遺伝子（細胞質雄性不稔遺伝子*1）候補をミトコンドリアゲノム*2上に特定しました。
- ◇ トマトを含む多くの野菜では、1代限りの交配品種であるF1品種*3が流通しています。F1品種は、病気などに強く、成長速度がそろい、収量も多く、同時期に収穫できるなどから、現代農業に欠かせない存在となっています。そして、自家受粉を避け、確実にF1の種子を得るために、花粉をつくらない雄性不稔系統*4が種子親*5として利用されています。
- ◇ トマトでは雄性不稔系統が実用化されておらず、F1採種には花から雄しべを取り除く「除雄（じょゆう）」という大変手間のかかる作業が必要になります。
- ◇ 本研究で得られた成果から細胞質雄性不稔の親系統を開発することで、除雄作業が不要となり、トマトのF1種子生産のコストを下げることができると期待されます。
- ◇ 研究成果は国際学術雑誌 Horticulture Research において、12月1日（水）にオンライン公開されます。

(問い合わせ先)

<報道に関すること>

かずさDNA研究所 広報・研究推進グループ
筑波大学 広報室

<研究に関すること>

かずさDNA研究所 植物ゲノム・遺伝学研究室
ゲノムユニット長 白澤 健太（しらさわ けんた）
筑波大学 生命環境系
准教授 有泉 亨（ありいずみ とおる）
トキタ種苗株式会社 大利根研究農場
研究員 松澤 佑馬（まつざわ ゆうま）

1. 背景

多くの野菜では、異なる 2 系統を両親とする交雑で得られる一代雑種 (F1) が品種として開発されています。F1 品種は固定種^{*}に比べて、病気などに強く、成長速度がそろう、収量も多く、同時期に収穫できるなどの特長から現代農業には欠かせない存在となっています。

トマトは世界で最も生産されている野菜で、国内で流通しているのはほとんどが F1 品種です。トマトには世界のそれぞれの地方で伝統的に育てられてきた固定種がありますが、その地方以外では育ちにくいという欠点がありました。そこで F1 品種が開発されてきたのですが、トマトはひとつの花にある雄しべから出た花粉が雌しべに受粉する、いわゆる「自家受粉」ができる植物です。そのため、F1 種子を得るのに種子親 (母親) 系統の開花前の花から雄しべを取り除く「除雄 (じょゆう)」という作業が行なわれています。この作業にはとても手間がかかり、種子親の花粉が残らないよう細心の注意を払わなくてはなりません。

もし、雌雄異株の植物のように花粉ができない花をつける性質 (これを雄性不稔と言います) をもつ系統を種子親 (母親) として利用できれば、除雄せずに F1 種子を採種することができます。植物で最初に雄性不稔が見つかったのは偶然でした。その後、分子生物学的な研究が進んだことにより、雄性不稔のしくみが少しずつ明らかになってきました。同時に雄性不稔のメカニズムは植物種間で異なり、多様であることもわかってきました。そのため、雄性不稔を利用した F1 採種の実用化は野菜の種類ごとに開発しなくてはなりません。トマトで見つかったのは細胞質雄性不稔というタイプで、核と細胞質 (主にミトコンドリア) の遺伝情報の相性が悪いと起こる現象です。

細胞質雄性不稔を利用した F1 採種のしくみは以下のとおりです。

- ① 花粉の発達には、核の遺伝子によるミトコンドリアの遺伝子の制御が必要です。
- ② 核の遺伝子とミトコンドリアの遺伝子には相性があります。栽培種と野生種のように縁が遠い組み合わせでは相性が悪く、核の遺伝子がミトコンドリアの遺伝子を制御しきれなくなり、花粉の成長が異常になります。これが雄性不稔です。
- ③ 栽培種の核と野生種の細胞質 (ミトコンドリア) を持つ植物体では、雄性不稔になることがあります。このとき、雄性不稔を引き起こした、野生種のミトコンドリアにある遺伝子を雄性不稔遺伝子、野生種の核にあってミトコンドリア遺伝子を制御していた遺伝子を稔性回復遺伝子といいます。
- ④ 雄性不稔の系統は花粉ができないので、単独では種子ができませんし、果実も実りません。この系統を種子親 (母親) 系統にします。
- ⑤ 別の花粉親となる系統と交配することにより、F1 品種の種子を得ることができます。F1 では、花粉親のもつ稔性回復遺伝子が雄性不稔遺伝子を正しく制御するため、花粉ができ、自家受粉により果実を实らせることができます。

トマトでも雄性不稔の系統は知られていましたが、雄性不稔に関わる遺伝子は特定されていませんでした。そこで研究グループではトマトで細胞質雄性不稔を利用した F1 採種技術を開発するために、細胞質雄性不稔系統のゲノム解析を行いました。

2. 研究成果の概要と意義

- ① トマトで細胞質雄性不稔系統のゲノム解析を行い、雄性不稔を引き起こすと考えられるミトコンドリア遺伝子を同定しました。

- ② 2021年1月に報告した「トマト野生種のゲノム」中には、この雄性不稔性を回復させる稔性回復遺伝子があります。本研究で見出した雄性不稔遺伝子を持つトマトを種子親（母親）、トマト野生種にある稔性回復遺伝子を持つトマトを花粉親（父親）とすることで、F1採種ができるようになります。
- ③ ゲノム情報は、かずさDNA研究所が運営するKaTomicsDBデータベース (<https://www.kazusa.or.jp/tomato>)からもご覧になれます。

3. 将来の波及効果

- ① これらの性質を従来品種に導入することにより、除雄作業を必要としないトマトのF1採種が可能になり、種子生産のコストを下げられることが期待されます。
- ② 今後、ミトコンドリアDNAのゲノム編集が容易になれば、従来品種にそのまま雄性不稔の性質の導入ができるようになります。

論文タイトル: Organelle genome assembly uncovers the dynamic genome reorganization and cytoplasmic male sterility associated genes in tomato.

著者: Kosuke Kuwabara, Issei Harada, Yuma Matsuzawa, Tohru Ariizumi, and Kenta Shirasawa

掲載誌: Horticulture Research

DOI: 10.1038/s41438-021-00676-y

参考文献: 野生種トマトのゲノム解説

論文タイトル: *De novo* genome assembly of two tomato ancestors, *Solanum pimpinellifolium* and *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, by long-read sequencing.

著者: Hitomi Takei, Kenta Shirasawa, Kosuke Kuwabara, Atsushi Toyoda, Yuma Matsuzawa, Shinji Iioka, Tohru Ariizumi.

掲載誌: DNA Research

DOI: 10.1093/dnares/dsaa029

研究資金: イノベーション創出強化研究推進事業（課題番号 30010A・21448196）、科研費（課題番号 17H03761・21H02181・21J20479）

本研究では、株式会社ニチレイフーズ、および、トキタ種苗株式会社によって開発された細胞質雄性不稔性トマトを使用しました。

用語解説 (番号や項目は後で修正します)

*1 細胞質雄性不稔遺伝子：上述のように花粉ができない性質を担っている遺伝子で、細胞質遺伝*2の性質がある。

*2 ミトコンドリアゲノム：生物をその生物たらしめるのに必要な最小限の染色体のひとつとまり、または DNA 全体のことをゲノムというが、それは細胞の核にある DNA を指す。それとは独立に細胞内小器官であるミトコンドリアにも DNA が存在し、ミトコンドリアゲノムと呼ばれる。ミトコンドリアが細胞内に共生したバクテリアに由来するという細胞内共生説を支持するものである。葉緑体にも DNA があり、光合成細菌の共生が起源と言われる。ミトコンドリアゲノム、葉緑体ゲノムによる遺伝現象を細胞質遺伝と呼ぶ。受精の際、父方の細胞質は伝わらないので、細胞質遺伝は母系のみ伝えられるという特徴がある。

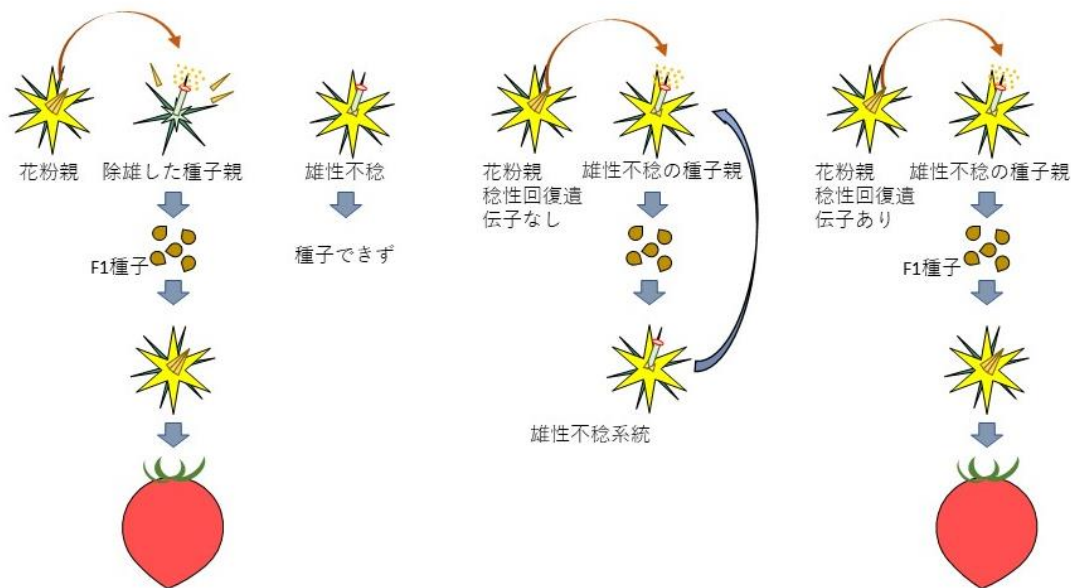
*3 F1 品種：種子親（母親）と花粉親（父親）の固定された組み合わせで作られられる品種。

*4 雄性不稔系統：花粉ができない系統。そのままでは種はできないが、別の系統の花粉で受精させて維持します。

*5 種子親/花粉親：母親/父親に相当。受粉させる花粉が別の花に由来するとき区別して言う。

*6 固定種：世代を重ねても性質が変化しないまでに対立遺伝子（父方母方由来の遺伝子）に違いが無くなった品種。純系と同じ意味。

参考となる図



F1 採種のための受粉：トマトの従来法では除雄が必要。細胞質雄性不稔系統はそのままでは種子ができないが、稔性回復遺伝子を持たない花粉親を使えば維持できる。細胞質雄性不稔を利用して F1 品種を作るには、細胞質雄性不稔株の雌しべに、稔性回復遺伝子を持つ株の花粉をつけられればよい。それで出来た種子 (F1 種子) をまけばその花は自家受粉して実をつける。