

リンゴカラムナー樹
と原因遺伝子

巻頭言 「梨の花、そして実」

トピックス

「リンゴの樹形を変化させる遺伝子の発見！」

**「果樹品種に新たな性質を取り入れるための
新技術の開発－戻し交配育種を加速する－」**



思 い出話から始めて恐縮です。

古典の授業で習った白居易の「長恨歌」と清少納言の「枕草子」で「梨花」に出会いました。白居易の「長恨歌」は、世界三大美女の一人に数えられている楊貴妃と、玄宗皇帝との悲恋の詩で、そこでは楊貴妃の美しさを「梨花一枝春帶雨（梨花が一枝、春の雨を帯びている）」と、雨の中の梨花にたとえています。一方、その二百年ほど後に執筆された、働く女性のエッセイ集である「枕草子」では、



梨の枝について「梨花、世にすさまじきものにして、近うもてなさず、はかなき文付けなどだにせず（梨花の花は、実に興ざめなものとして、身近に取り扱うこともなく、ちよつとした手紙を結び付けたりもしない）」と、散々な言いようです。

当 時の私は梨花を見たことがなく、どちらに賛成か判断が付かなかつたのですが、就職して3年後、農研機構果樹茶業研究部門の前身である果樹試験場への赴任を命ぜられ、自分の目で梨花を確認する機会を得ました。その感想は？ 後ほどご紹介します。

ところで、植物が実を着けるのは花が咲くからです。ただし花が咲いても確実に受精しないと実はありません。果樹では受精に他品種の花粉が必要だったり、雄株と雌株が別の樹に分かれていたりして、2本（以上）の樹がないと結実できない場合も多くあります。一方、イネや麦など主要な穀物では、受精は一つの花の中のおしべとめしべで完結し、さらにはその実（穀実）は収穫物でも、また翌年に次の世代を生む種子でもあります。

人 類の農耕の始まりを想像するとき、イネや麦などでは、大きい、おいしい、採りやすいなど、役に立つ性質の**実（種子）**を選んで持ち帰り、その実を播き、数ヶ月で次の収穫を迎え、その中からまたおいしい実を選んで殖やし・・・、というサイ

クルが自然に生まれ、採集から農耕へ変化したことが直感的に理解できます。一方、**果樹**の場合？ おいしい**果実**を持ち帰ってその**種子**を播いても、それが育って実を着けるようになるまで数年以上かかります。また**種子**は、食べた実とは別の樹の性質を花粉を通じて受け継いでいるので、そこから育った樹にはもとの果実とは性質の異なる（残念ながらほとんどの場合はおいしくない）果物がなつたでしょう（本誌25号「果物の種子をまいても同じ果実が実らないのはなぜ？」参照）。そもそももし樹が1本しかなかったら、実を得られることすら稀だったかもしれません。そんな果樹が長い歴史を経て我々の食生活を彩るまで、どれだけの偶然と工夫が必要だったのでしょうか。

現

在、果樹の樹を増やすには、樹の性質がそのまま受け継がれる挿し木や接ぎ木などの方法を取ります。「**挿し木**」は芽の付いた枝を苗床に挿し、根を出させて株に育てる方法で、「思いつき」に「**運**」が加わればうまくいったことでしょう（始めはそれこそ子どもそのままごとだったかもしれません）。一方、

「**接ぎ木**」は植物の外科手術で、かなりの手先の器用さと試行錯誤が必要です。世界で初めて接ぎ木をした人は、どれだけの工夫をし、どれだけの期間をかけたのでしょうか（接ぎ木は農耕時代をかなり経てから中国で編み出された技術だそうです（**J・ダイアモンド**著「**銃・病原菌・鉄**」）。

数 千年と言われる農耕の歴史は、今、科学の知識と技術で大



雨の中の梨の花

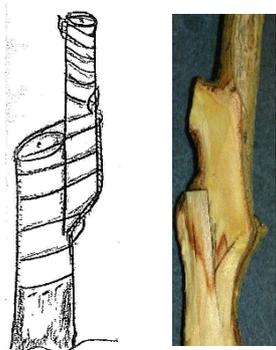


晴天の下の梨の花

大きく変革する時代を迎えています。その時代に立ち会い、その一端を担える幸運を非常にうれしく思っています。

ところで私の梨の花の初見の感想は、「清少納言に賛成」でした。梨の写真に掲載します。

写真では分かりませんが、梨の花には独特の香り（異臭？）があり、満開の果樹園にいと少々鼻がゆがみます。ただ雨に濡れた花の姿に風情がありますね。白居易はここに惹かれたのでしょうか。



接ぎ木の模式図（左）と、接ぎ木部の断面（右）。
 台木（地面から生えている樹）の維管束（水や養分の通り道）の一部を刃物を使って露出させ、同じく露出させた穂木（上に接ぐ枝）の維管束とぴったり貼り合わせて固定します。



挿し木されたブドウの枝(左) 枯れ枝が地面に刺さっているだけに見えますが、きちんと管理をすれば芽を出して樹に成長します



これまで約四半世紀、梨の花の研究に従事してきました。このような人生、学生の頃には想像していませんでしたが、振り返ってみてちよつとした偶然の積み重ねに少々呆然となります。ちなみに私の仕事の一端を本誌の第10号に紹介しています。よろしければご覧ください。また、栽培管理が簡単な「省力樹形」という果樹の仕立て方の研究にも携わりました（本誌第17号）。
 非力でも剪定・収穫が楽にできるとつてもうれしい樹形です。果物を使ったお菓子にもはまっています（もっぱら食べる方）。

いとう あきこ
 研究推進部研究推進室長



左はブラックチョコレート、右はホワイトチョコレートでコーティングしたリンゴがのったケーキです。

トピックス

リンゴの樹形を
変化させる遺伝子の発見！

研究推進部研究推進室渉外チーム

岡田 和馬

はじめに

最近、新型コロナウイルスの変異株が次々と出現することが話題になっていきます。ウイルスや生物はDNA配列の変化を伴う突然変異によって姿・形・性質などを変化させ、多様な環境に適応しています。果樹においても、果皮や果肉の色、果実の大きさ、成熟期などが変化した様々な突然変異体が見つかっています（本誌第19号カチャカチャ（TIPS））。今回は、樹形が変化したリンゴの突然変異体について紹介します。

省力化が期待される樹形

皆さんはリンゴの樹をご覧になったことがあるでしょうか？

「ふじ」や「玉林」、「マツキントツシユ」などの一般的なリンゴは、主幹から多数の側枝が発生し、円錐状〜長方形の樹形を形成します（図1A）。一方、「マツキントツシユ」の突然変異によって出現した「ウイジック」は、枝が太く節間が短い、側枝が少ないといった特徴を持ち、細長い円柱状の樹形を形成します。これらの特性は、円柱状の樹形にちなんでカラムナー（columnar）性と呼ばれています（図1B）。カラムナー性のリンゴは枝や果実の配置が単純であることから、熟練を要するせんだ作業や人手を要する収穫作業を大幅に省力化し、将来の機械化にも適しています（図2お

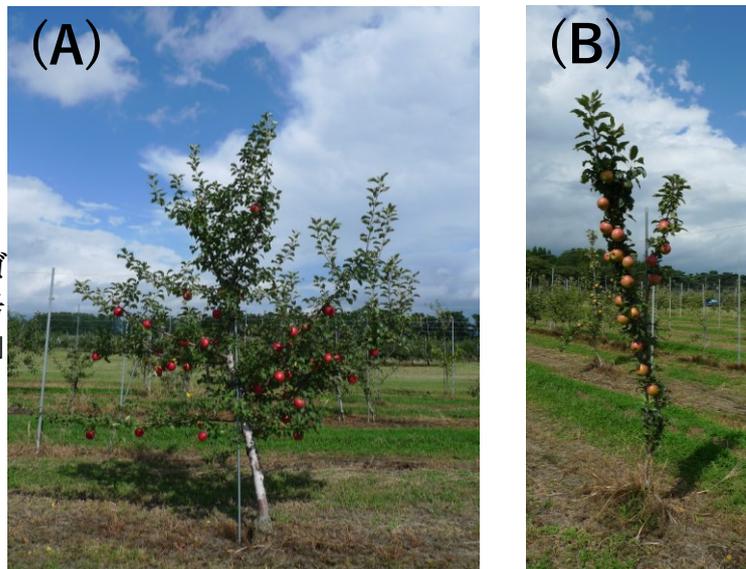


図1 リンゴの樹形の違い
(A) 通常のリンゴ
(B) カラムナー性のリンゴ
（「果実日本」第76号5月号
「果樹の新技术・新発見」より引用）



図2 果実収穫ロボットによる
カラムナー性リンゴの自動
収穫の様子

(<https://youtu.be/xdnUuIldKDY>)
より引用

よび本誌第17号特集記事)。

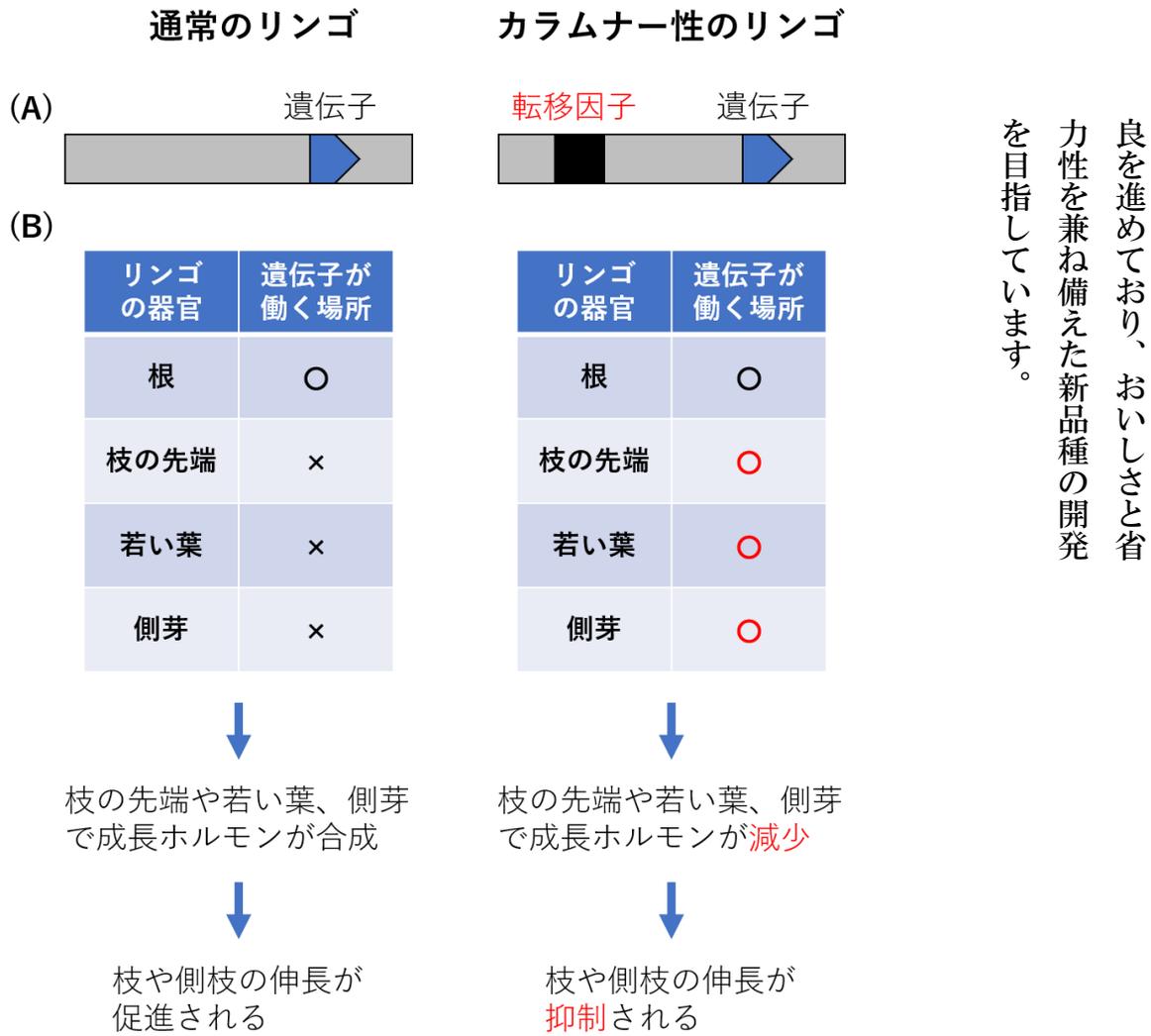
樹形を変化させる仕組み

それでは、この樹形の変化はどのようにして起こったのでしょうか？ カラムナー性のリンゴと通常のリンゴのDNA配列を比較したところ、*MtDox-Co*と呼ばれる遺伝子の近くにレトロポゾン（転移因子のひとつ）が挿入されていることがわかりました（図3A）。この挿入により *MtDox-Co* 遺伝子の樹体内での働く場所に変化が起きていました。通常 *MtDox-Co* 遺伝子は根で働くのですが、カラムナー性のリンゴでは根に加えて枝の先端や若い葉、側芽でも働くように変化していました（図3B）。そして *MtDox-Co* 遺伝子は植物の成長ホルモンであるジベレリンの合成を阻害する遺伝子だということもわかりました。以上のこと

から、カラムナー性のリンゴでは、突然変異（レトロポゾンの挿入）によって *MtDox-Co* 遺伝子の働く場所が変化し、地上部（枝の先端、若い葉、側芽）のジベレリンが減少して枝の伸長が抑制された結果、枝が太く節間が短い、側枝が少ないといった特性を示し、円柱状の樹形になると考えています。

おわりに

カラムナー性のリンゴは整枝せんだ作業や収穫作業などの管理を大幅に省力した栽培ができると期待しています。ただし、現状のカラムナー性リンゴは市販されているリンゴに比べてやや味が劣るため、広く栽培されるには至っていません。現在、農研機構果樹茶業研究部門では、カラムナー性のリンゴの品種改



良を進めており、おいしさと省力性を兼ね備えた新品種の開発を目指しています。

図3 通常のリンゴとカラムナー性リンゴの違い
 (A) DNA配列の違い
 (B) 遺伝子(MdDOX-Co)が働く場所の違いとその影響



これまで、リンゴの品種改良、リンゴの樹形・結実の研究に携わってきました。昨年からは茨城県に赴任し、品種登録などの知的財産に関わる業務をしています。休みの日には、釣りや温泉に出かけてリフレッシュするのが楽しみです。

おかだ かずま
 研究推進部研究推進室
 渉外チーム



トピックス 2

果樹品種に新たな性質を取り入れるための 新技術の開発「戻し交配を加速する」

果樹の新品種開発は加速しています。これまでの品種を超える魅力的な品種の開発は簡単ではなく、品種育成を支援、より良い品種をより早く作るための技術開発も進められています。現在生産されている品種が持つていない優れた性質を備えた、新しい果樹品種育成のための技術開発を紹介します。

果樹の品種育成

果樹の品種育成では、果実の甘さやみずみずしさなどの食味、美味しいことが基本で、膨大な数の食味試験を行い、新しい品種候補を選びます（本誌22号で

は苦痛を伴うとも紹介）。現在は新品種は甘くて美味しいことが当たり前になっていますが、その美味しい果物が消費者の皆さんの元に届くためには、十分な量の果実が生産され、流通する必要があり。そのため新品種には、樹が育てやすいこと、果実がある程度日持ちし流通に耐えることなど、食味以外にも様々な性質が求められます。そんな中、果実の味は最悪でも、他にはない特筆すべき性質をもった果樹があります。例えば、カンキツ類の一種カラタチは、果実が小ぶりで黄色く熟すと甘く華やかに香りますが、中身は

果樹品種育成研究領域 果樹茶育種基盤グループ

遠藤 朋子

ほとんどが種子で、果汁は非常に酸っぱく、ベタベタの樹脂状の成分が含まれています。枝には長く鋭いトゲが発生し、昔はよく生垣として（童謡「カラタチの花」をご存知でしょうか）防犯効果を発揮していたようです。実はカンキツ類の台木として、我が国で最も多く利用されているのはカラタチです。

カラタチ台木

カラタチが台木として優れているのは、カンキツ類で最も寒さに強いことに加え、病気に強いことが挙げられます。カンキツ類の病原性ウイルスの1つ、

カンキツトリステザウイルス（CTV）は、感染するとカンキツ類の様々な品種で樹の衰弱を引き起こし、弱い品種を枯死させることもあります。カラタチはこのウイルスに対し強い抵抗性があります。カラタチとカンキツ類の交配を行うと、子の雑種の約半数にCTVに抵抗性の性質が遺伝します。カラタチとオレンジを交配して得られた雑種の1つ「トロイヤー」シトレンジはCTVに抵抗性で、カラタチより果実は大きいもの、やはり味は悪くとも食べられません。このような雑種から果実が美味しい新品種を作るには、雑種を親としてオレンジなどの果実が美味しい品種を交配し、得られた孫の雑種をまたオレンジなどと交配して…と、食味が

が良い品種との交配を何度も繰り返す必要があります。このように、農産物として利用されていない野生の品種、類縁種など、味が悪かったり栽培が難しかったりするものから、際立った性質を新品種に取り入れるため交配を繰り返す手法は、イネや野菜の品種育成では一般的で、戻し交配育種と呼ばれます。しかし、果樹の新品種育成では、これまでほとんど行われない手法でした。それは、雑種の種子を播いてから樹が生育して果実が結実し次世代の種子が出来るまで、非常に長い期間がかかるためです（本誌22号「桃栗三年柿八年ってなぜ？」参照）。さらに、交配で得られた複数の雑種の中から次の交配に使う親を選ぶためには、雑種を栽培してそ

の性質を調査する必要があります。これにも長い期間を要します。希少な例として、米国で1920年代に開始したプロジェクトでは、リンゴの黒星病に強いカイドウズミという果実の小さなリンゴを交配に用いてから、「ゴールドラッシュ」という黒星病抵抗性の商用品種が作られるまで、約70年もの歳月を要しました。

PT 遺伝子の利用

私たちは、このような状況を何とかできないかと、種子を蒔いてから次世代の種子が出来るまでの非常に長い期間と、次の交配に使う親を選ぶ手間や時間を効率化する技術開発に取り組んでいます（図）。カンキツ類の開花には、本誌10号で紹介した花成遺伝子『』の働きが重要ですが、『遺伝子』を利用することで

極めて早期に開花するカラタチ素材を開発し、これを戻し交配育種に利用します。この早期開花カラタチと食味の良いカンキツを交配し、得られた雑種の種子を播くと、すぐ開花するため、その花粉を使って次の交配が出来るのです。また、カラタチのCTV抵抗性を、極めて高精度に推定できるDNAマーカー選抜技術も開発されたため、微量の検体からDNAを解析し、どの雑種個体がCTV抵抗性を特定して次の交配親選びを行います。その結果、1世代あたり最短1年で世代を進め、カラタチのCTV抵抗性を有しながら食用のカンキツに近づいた素材を得ることが出来るようになりました。地球温暖化等の影響により、従来は問題にならなかった病害虫

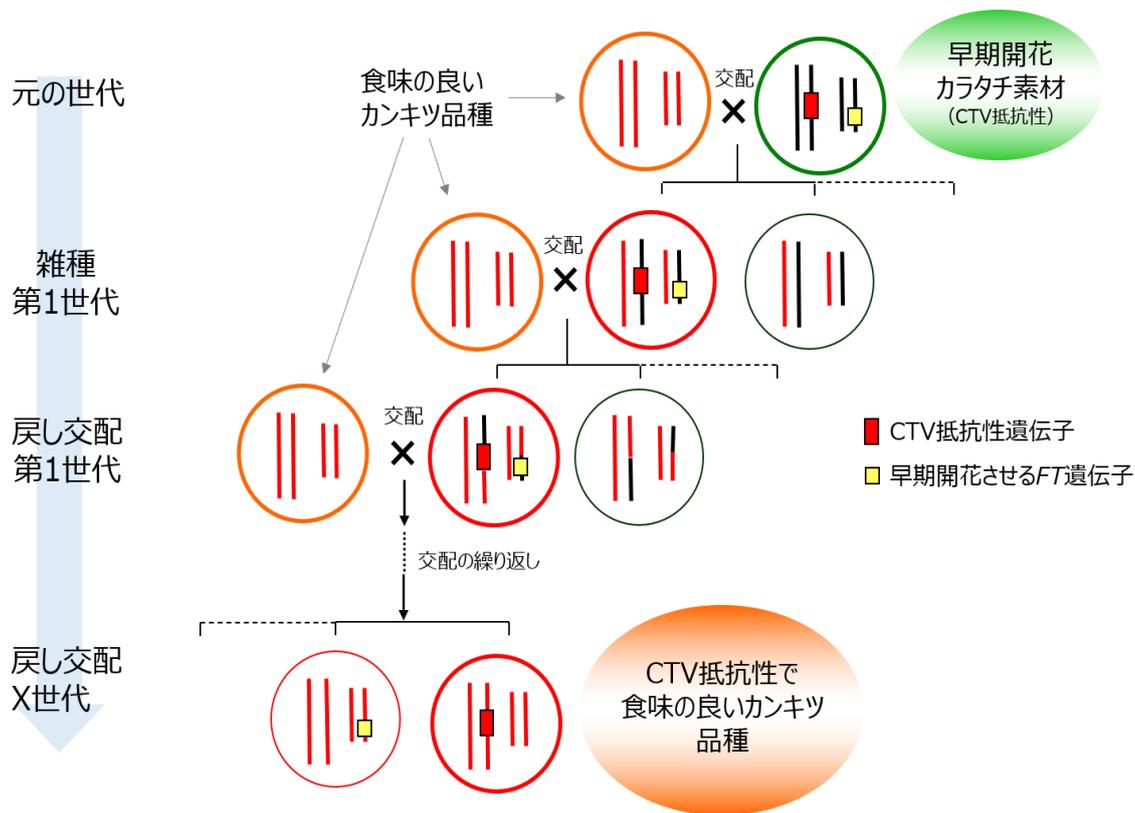


図 早期開花カラタチ素材を用いた戻し交配育種のイメージ
はじめに、CTV抵抗性遺伝子と早期開花させるFT遺伝子を持つカラタチ素材を食味の良いカンキツ品種と交配する。得られた雑種の中から早期開花するCTV抵抗性の個体をDNAマーカーで選抜し、早期に咲いた花から得られた花粉を用いて、食味の良いカンキツ品種と交配する。この選抜と交配の繰り返しにより世代を進めることで、食味の良いカンキツ品種にCTV抵抗性を取り込むことができ、戻し交配に要する期間を大幅に短縮する。

などが農業生産に影響を及ぼす事態が起こっています。このような環境の変化に対応するための新品種開発は、今後ますます求められることになるでしょう。これまで人間が長い時間をかけて選抜し、作り上げてきた新品種は、今後も新しい技術を取り入れながら進化し続けていきます。

えんどう ともこ

果樹品種育成研究領域 果樹茶育種基盤グループ

長年、カンキツ類の果実や花芽形成などに関わる遺伝子の研究を行ってきました。今年度から、果樹茶の様々な作目を対照とする皆さんと一緒に、ゲノム解析、ゲノム編集などの研究に携わっています。ここつくばでも、庭先にミカンの樹を植えておられるお宅が多いことには、少々驚いています。

ポトトレイトは本誌10号。



カチヤカチヤ TIPS

知ってるようで知らない果実
グレープフルーツ

グレープフルーツは、ブタんとオレンジの間で交雑して誕生したカンキツで西インド諸島のバルバドスで18世紀に発見されたといわれています。なぜグレープ（ぶどう）フルーツと呼ばれるかというと、この花の付き方がブドウの房の様であり、結実が良いと果実までが果房状に成り下がるためです。19世紀にはフロリダ州を筆頭にアメリカ合衆国の各地で大規模栽培が始まり、世界各地にも広がります。日本には大正時代に導入されましたが、栽培するには気温

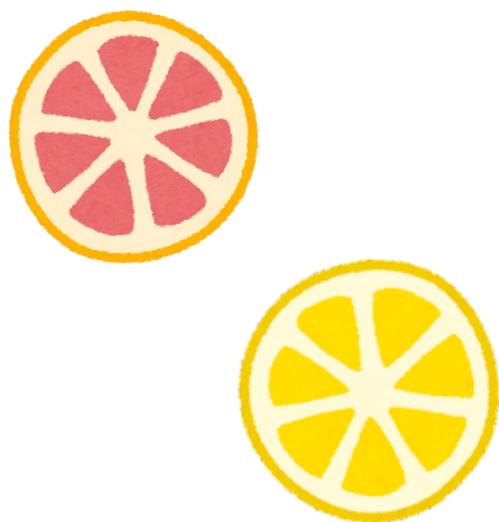
カンキツ研究領域長

塩谷 浩

が少々足りませんでした。また、わが国で常発するカンキツかいよう病に極めて弱いため、現在も限られた産地でごくわずかに生産されるのみです（2018年で18.6トン）。特有のさわやかな香りと酸味、ほろ苦さで長らく高級フルーツとして消費されてきましたが、1972年の輸入自由化から家庭でも気軽に食べられる果実となり、2007年には年間29万トン弱が輸入されました。ところが、主な輸入元であったフロリダ州で上述のかいよう病に加えてさらに難病のグリーンニング病（本誌13号「侵入病害から果樹を守る」参照）が多発し

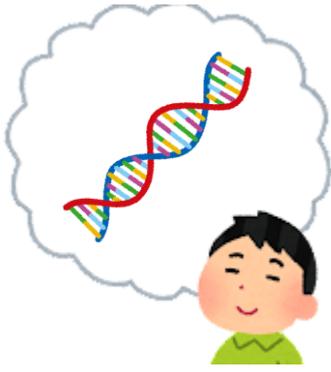
ました。また、ハリケーンの頻発もあいまって著しく生産量が減少し、2000年で約5万haの栽培面積も2019年には1万haを下回りました(フロリダ州統計)。これと機を同じくして我が国の輸入量も2020年には6万トンまでに低下しています。2020年には増産に転じたようですが、輸入量への影響は不明です。グレープフルーツには果肉色が白(マーシュ・シードレス)、ピンク(ルビー・レッド)、赤(スター・ルビー)など、様々な品種があります。必須栄養素であるビタミンCが豊富に含まれており、果実1個で1日に必要な量がほぼ賄えます。また、カロリーも様々な食べ物の中では控えめで、肥満や血糖値が気になる方々にはもってこいの果物といえます。さらに、記憶力

の維持に効果がある機能性成分オーラプテンを果皮に含有することも知られています。一方、果肉に含まれるフラノクマリンは、様々な医薬品と相互作用して医薬品の効果を必要以上に増強します。これはフラノクマリン類が体内にある薬物代謝酵素CYP3A4の働きを妨げ、服用した医薬品を分解しにくくするためです。服薬時のグレープフルーツの摂取には注意が必要です。



編集後記

スーパースাইエンスハイスクール(SHS)の高校生に遺伝子関連の話をして欲しいと依頼されたことがあります。若者相手に話をするには、始めの「つかみ」が重要だと考えました。そこで、良く目にする言葉で、意外に曖昧に使っている言葉について質問することにしました。「新聞などに、ゲノム、遺伝子、DNA、という言葉が載りますが、これらをきちんと区別できてますか?」と高校生達に尋ねます。優秀な彼らは、私の挑発に敏感に反応してくれます。そうなれば「つかみ」は成功です。この「ゲノム、遺伝子、DNA」の違いを理解するには、本号のトピックス記事が大いに役立ちますので、ぜひ熟読玩味して下さい。



アダムU2

い。
 さて、この記事を今読んで
 らっしゃるあなたに伺います、
 この「ゲノム、遺伝子、DNA」
 それぞれの言葉の意味、違いを
 理解してますか？ 漠然と生命
 に関係してて、次代に受け渡さ
 れる情報というイメージをお持ち
 ではないでしょうか。
 では最近よく耳にする「ゲノ
 ム解読」、「遺伝子診断」、「DNA
 鑑定」など一見、似たような印
 象を与えるこれらの言葉、もち
 ろんそれぞれ意味が違います。
 この機会に考えてみると楽しい
 かもしれません。



「国際果実野菜年2021」

「国際果実野菜年2021」とは、果実と野菜を摂ることによってもたらされる栄養上・健康上の利点を世界的な認識に広げる目的で国連が決めた年です。

- 世界的に果実野菜の摂取不足、先進国で肥満人口が増加、生活習慣病が広がる一方、途上国では深刻な飢餓、栄養不足がおきています。
- 健康的な食事をすることで、医療費の大幅なコストダウンが見込まれます。
- 理想的な摂取量は、1日野菜350g、果実200gです。

応援します



国際果実野菜年

2021

我が国の食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立を実現させる新たな戦略



詳細は<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html>
農水省HPでご覧下さい。

Fruit & Tea Times

2016年 11月 1日 創刊
2021年 11月 1日 28号刊行

刊行/国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
果樹茶業研究部門

企画・編集/研究推進部研究推進室 TEL 029-838-6447

住所/ 〒305-8605 茨城県つくば市藤本2-1

URL: <http://www.naro.go.jp/laboratory/nifts/>

