

## モモ ‘桃水’ のエチレン生成と軟化特性

河井 崇<sup>1</sup>・秋田香雅里<sup>2</sup>・渡邊咲音<sup>2</sup>・深松陽介<sup>1a</sup>・高田大輔<sup>3</sup>・  
佐藤 守<sup>3</sup>・牛島幸一郎<sup>1</sup>・福田文夫<sup>1</sup>・中野龍平<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>岡山大学大学院環境生命科学研究科 700-8530 岡山市北区津島中

<sup>2</sup>岡山大学農学部 700-8530 岡山市北区津島中

<sup>3</sup>福島大学農学群食農学類 960-1296 福島市金谷川

<sup>4</sup>京都大学大学院農学研究科附属農場 619-0218 京都府木津川市城山台

### Characterization of Ethylene Production and Fruit Softening in ‘Tosui’ Peach

Takashi Kawai<sup>1</sup>, Kagari Akita<sup>2</sup>, Sakine Watanabe<sup>2</sup>, Yosuke Fukamatsu<sup>1a</sup>, Daisuke Takata<sup>3</sup>,  
Mamoru Sato<sup>3</sup>, Koichiro Ushijima<sup>1</sup>, Fumio Fukuda<sup>1</sup> and Ryohei Nakano<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, Okayama 700-8530

<sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama 700-8530

<sup>3</sup>Faculty of Food and Agricultural Sciences, Fukushima University, Fukushima 960-1296

<sup>4</sup>Experimental Farm of Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kizugawa, Kyoto 619-0218

#### Abstract

Flesh texture of peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) is one of the most important traits regarding post-harvest preservation and consumer preference. Melting flesh peaches show a typical climacteric type of ripening characterized by a burst of ethylene production and rapid loss of firmness in the late maturing stage. In contrast, stony hard peaches produce little ethylene and maintain flesh firmness on the tree and after harvest. Here, we demonstrated that ‘Tosui’ peach, which is selected from open-pollinated seedlings of ‘Kawanakajimahakuto’, bears stony hard characteristics. ‘Tosui’ peach shows a long shelf life and crisp flesh; however, its ethylene production and softening characteristics remain unclear. We investigated the change of ethylene production and flesh firmness of ‘Tosui’ peach treated with or without exogenous propylene, an ethylene analogue. In non-treated control fruit, little ethylene production was detected and marked flesh firmness was maintained irrespective of the harvest season and production area. Although the flesh firmness was significantly reduced by propylene treatment, little ethylene production was detected during fruit softening. Analysis of the *PpYUC11* gene, a strong candidate for the stony hard phenotype in peaches, revealed that the genotype of the transposon insertion of the 5'-flanking region and simple sequence repeat (SSR) of the first intron of ‘Tosui’ is the same as that of other stony hard peaches. These results collectively suggest that ‘Tosui’ is a stony hard peach whose ethylene production and resulting loss of firmness are suppressed.

**Key Words** : post-harvest preservation, propylene treatment, stony hard peach, YUCCA gene

**キーワード** : 硬肉モモ, プロピレン処理, 収穫後貯蔵, YUCCA 遺伝子

#### 緒 言

モモ (*Prunus persica* (L.) Batsch) の肉質や硬度は、収穫後の棚持ちや消費者の嗜好性に影響する重要な形質である。一般的なモモは、果実成熟にエチレンが関与するクライマクテリック型の果実に分類され、その肉質は溶質 (melting flesh) と不溶質 (non-melting flesh) に大別される (Haji ら, 2001)。溶質タイプのモモは、成熟後期にエチレ

ン生成量が急増し、樹上や収穫後において急速に果実の軟化が進む。一方で、不溶質タイプのモモは、エチレン生成後も果実の軟化が緩慢で、収穫後も溶質モモのようにトロとした肉質にならない。溶質と不溶質は、第4連鎖群に座乗する単一の遺伝子座 (*M/m*) によって制御され、溶質 (*M*) が不溶質 (*m*) に対して優性である (Bailey・French, 1949; Peace ら, 2005)。*M/m* の制御においては、ペクチンの分解に関わる endopolygalacturonase (endoPG) の関与が示唆されており (Lester ら, 1996; Peace ら, 2005)、近年、*M/m* 遺伝子座領域内でハプロタイプを形成する2つの *endoPG* 遺伝子 (*PpendoPGM* および *PpendoPGF*) のコピー数の違いが、溶質/不溶質および離核/粘核の決定要因であることが明らかにされた (Gu ら, 2016)。

溶質/不溶質とは異なるモモの肉質として、Yoshida

2019年4月8日 受付. 2019年7月2日 受理.

本研究の一部はJSPS科研費18H02200の助成を受けて実施した。

本報告の一部は園芸学会平成31年度春季大会で発表した。

\* Corresponding author. E-mail: nakano.ryohei.3r@kyoto-u.ac.jp

現在: 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

(1976)により報告された硬肉 (stony hard) が挙げられる。硬肉モモでは、果皮の着色、糖度上昇、酸度低下などは一般的なモモと同様に進む一方で、成熟果におけるエチレン生成が抑制されており、収穫後もほとんど軟化しない (Hajiら, 2001, 2003, 2004)。硬肉性は、*M/m*とは独立した単一遺伝子座 (*Hd/hd*) によって制御される質的形質で、劣性アレル *hd* をホモで持つ場合に硬肉性を発現する (Hajiら, 2005; Yoshida, 1976)。硬肉モモの成熟果では、エチレン生合成経路の鍵酵素の一つ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase 遺伝子のアイソジーン *ACSI* の発現が抑制されており、エチレンが生成されないため、収穫後も硬度が高く維持される (Tatsukiら, 2006)。一方で、エチレンに対しては正常な感受性を示し、エチレン処理や、エチレンのアナログであるプロピレン処理により硬肉モモを軟化させられることが報告されている (Hajiら, 2003; Hayamaら, 2006; Tatsukiら, 2006)。その際、一般的なモモや他のクライマクテリック型の果実と異なり、エチレン処理やプロピレン処理により果肉硬度は急激に低下するにも関わらず、内生的なエチレン生成は極微量なままであり、処理を中断すると軟化も停止することが明らかにされている (Hajiら, 2003; Hayamaら, 2006)。

硬肉モモにおける *ACSI* 遺伝子の発現抑制の原因として、オーキシンの一種 indol-3-acetic acid (IAA) の生合成の抑制との関連が示唆されており、合成オーキシンの 1-naphthaleneacetic acid (NAA) を処理することで *ACSI* 遺伝子の発現、エチレン生成および果実の軟化が誘導される (Tadielloら, 2016; Tatsukiら, 2013)。近年、この IAA 生合成経路に着目した研究が国内外で進められ、IAA 生合成経路の鍵酵素の一つ (Mashiguchiら, 2011)、*YUCCA flavin mono-oxygenase* をコードする遺伝子のうち、第6連鎖群に座乗するアイソジーン *PpYUCII* がモモの硬肉性の有力な候補遺伝子として同定された (Panら, 2015; Tatsukiら, 2018)。Panら (2015) および Cirilliら (2018) は、*PpYUCII* 遺伝子の第1イントロン内のTC繰り返し配列数 (TC (n)) と硬肉性の共分離関係に着目し、TC (20) のアレルをホモで有する個体において *PpYUCII* 遺伝子の発現が抑制され、硬肉性が発現することを見出した。さらに近年、*PpYUCII* 遺伝子の5'隣接領域におけるトランスポゾン様配列の挿入が *PpYUCII* の発現抑制の直接的な原因であることが明らかにされ、このトランスポゾン様配列の遺伝子型調査により、多様なモモ品種・系統の硬肉性をより正確に推定できることが示された (Tatsukiら, 2018)。

硬肉モモは収穫後も果実の硬度が高く維持されるため、その栽培・育種における利用は、一般的なモモで問題となる棚持ち性の悪さの改善につながると期待される。一方で、食味の良い硬肉品種は少なく、その生産は一部の品種・地域に限定されているのが現状である (立木, 2018)。

モモ '桃水' は、品種登録はされていないが、'川中島白桃' の放任受粉の実生から選抜された高糖度の晩生品種と

して紹介・商標登録されている。また、棚持ち性が良く、収穫後も長期間パリパリとした食感が維持される。しかしながら、民間育成品種である '桃水' のエチレン生成や果実軟化の様相については不明な点が多く、有効な軟化方法も明らかにされていない。そこで本研究では、エチレンのアナログであるプロピレンの外生処理に対する '桃水' の応答を調査し、そのエチレン生成および軟化特性の特定を試みた。また、既報を参考にして '桃水' および他のモモ品種の *PpYUCII* 遺伝子の遺伝子型調査を行い、'桃水' の硬肉性や系統関係について考察した。

## 材料および方法

### 1. 供試材料

2017年の調査では、岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センター植栽の '桃水' ((株) インドウの商標名、品種登録なし) の成熟果 (2017年8月31日収穫、以下2017桃水O)、および福島県の(株)菱沼農園から購入した '桃水' の成熟果 (2017年10月6日収穫、以下2017桃水F) を供試した。また、溶質の対照品種として、同時期に収穫され母株が同じと推定されている '西王母' ('川中島白桃' × 'ゆうぞら') の成熟果 (2017年9月25日収穫、以下2017西王母Y) を山形県の滝口氏より購入し、供試した。2017桃水Fについては収穫4日後の2017年10月10日に、2017西王母Yについては収穫2日後の2017年9月27日に岡山大学に搬入された果実を実験に用いた。

2018年の調査では、岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センター植栽の '桃水' の成熟果 (2018年8月30日収穫、以下2018桃水O) を供試した。また、硬肉性を持つ対照品種として、同センター植栽の 'おどろき' の成熟果 (2018年7月23日収穫、以下2018おどろきO) を、溶質の対照品種として、'桃水' の母株と推定されている '川中島白桃' の成熟果 (2018年8月2日収穫、以下2018川中島白桃O) を同センター植栽樹より収穫し、供試した。

傷害・病害がみられる果実や、未熟果・過熟果を除去し、熟度が平均的な健全果を以下の実験に用いた。

### 2. プロピレン処理

2017桃水O、2017桃水F、2018桃水O、2018おどろきOの果実を15Lプラスチックコンテナに入れ、蓋で密閉した。収穫日または搬入日からエチレンのアナログであるプロピレンを5000ppmの濃度で処理し、1日あるいは3日後に処理を中断する区を設けた。処理は25°C条件下で行い、炭酸ガスの蓄積を抑えるために容器にはソーダ石灰を同封した。毎日、容器を開封して換気するとともに、ソーダ石灰を交換し、プロピレンを処理した。処理後0, 1, 3, 6日目に各処理区から3~6果実ずつ取り出し、Kawaiら (2018) の方法によりエチレン生成量、貫入抵抗 (果肉硬度)、糖度を測定した。無処理区の果実についても同じ時期に同様の項目を測定し、プロピレン処理区の果実と比較した。対照の溶質品種については、果実自体がエチレンを

生成するため、無処理区のみを設け、2017西王母Yは0, 1, 3, 6日目に、2018川中島白桃Oは0, 1, 3, 5日目に果実を取り出し、同様の項目を測定した。

### 3. *PpYUC11* 遺伝子の遺伝子型調査

岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センターおよび岡山県農業研究所植栽の‘桃水’および肉質が既知のモモ品種（第1表）の若葉を採取し、液体窒素で凍結保存した。Illustra Nucleon Phytopure Genomic DNA Extraction Kit (GEヘルスケア・ジャパン(株))を用いて各品種の葉からゲノムDNAを抽出し、NucleoSpin gDNA Clean-up Kit (マッハライ・ナーゲル社)を用いて精製した。

*PpYUC11* 遺伝子の第1イントロン内のTC繰り返し配列数(TC (n))をフラグメント解析により確認した。Panら(2015)のプライマーセット(Forward: 5'-CTATCTGGTATATAAGCTGAAACG-3', Reverse: 5'-ACCTTTTGTATTTTACCACAG-3')およびPCR用酵素(KOD-Plus-DNA polymerase (東洋紡(株)))を用いてTCのsimple sequence repeat (SSR)を含むゲノムDNA領域をPCR増幅した。フォワードプライマーは5'-FAM標識したものを用いた。PCRのプログラムは以下のとおりである: 94°Cで2分間、(98°Cで10秒間, 58°Cで15秒間, 68°Cで1秒間)を32サイクル, 68°Cで1秒間。増幅産物をApplied Biosystems 3730xl DNA Analyzer (サーモフィッシュサイエンティフィック(株))で分離し、サイズスタンダード(350ROX)により増幅産物長を算出した。増幅産物長の計算はApplied Biosystems Peak Scanner Software 2 (サーモフィッシュサイエンティフィック(株))を用いた。

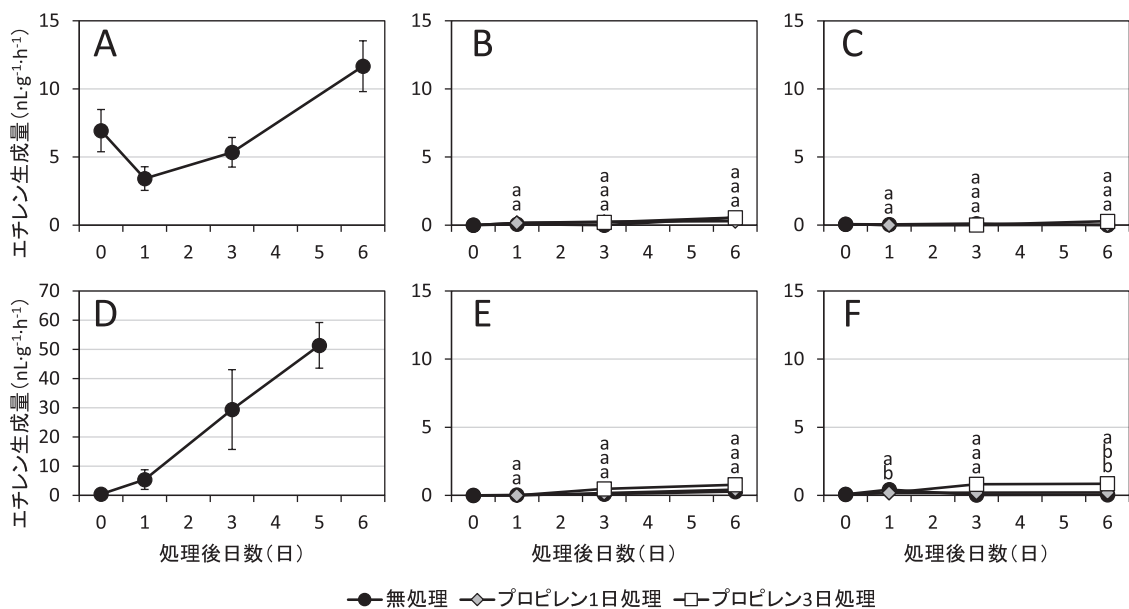
*PpYUC11* 遺伝子の5'隣接領域におけるトランスポゾン様配列の挿入をPCRにより確認した。Tatsukiら(2018)の方法に従い、2組のプライマーセット(F1: 5'-TAAAGCCGCCCCAAAATAAAA-3', R1: 5'-TGGGAAGGAA GAAAATAGTCACA-3', R2: 5'-ATTTTCAACTTTCCC GAGCA-3')を用いてトランスポゾン様配列の挿入アレル(*hd-t*)および非挿入アレル(*Hd*)を識別した。PCR用酵素はBIOTAQ DNA Polymerase (バイオライン社)を用い、PCRのプログラムは以下のとおりである: 95°Cで3分間、(95°Cで20秒間, 62°Cで15秒間, 72°Cで30秒間)を32サイクル, 72°Cで5分間。増幅産物をアガロースゲルで電気泳動して、バンドパターンから*Hd/hd-t*の遺伝子型を確認した。

本研究およびTatsukiら(2018)の遺伝子型調査の結果をもとに、各品種の肉質と*PpYUC11*の遺伝子型との関連を確認した。また、‘桃水’および関連するモモ品種の系統図を作成し、各品種の遺伝子型や肉質と系統関係との関連を考察した。

## 結果および考察

### 1. プロピレン処理による内生エチレン生成および果実軟化の様相

2017年、2018年にプロピレン処理実験に供試した‘桃水’、溶質の対照品種(‘西王母’および‘川中島白桃’)および硬肉性を持つ対照品種(‘おどろき’)における内生エチレン生成量の変化を第1図に、果肉の貫入抵抗(果肉硬度)の変化を第2図に示す。

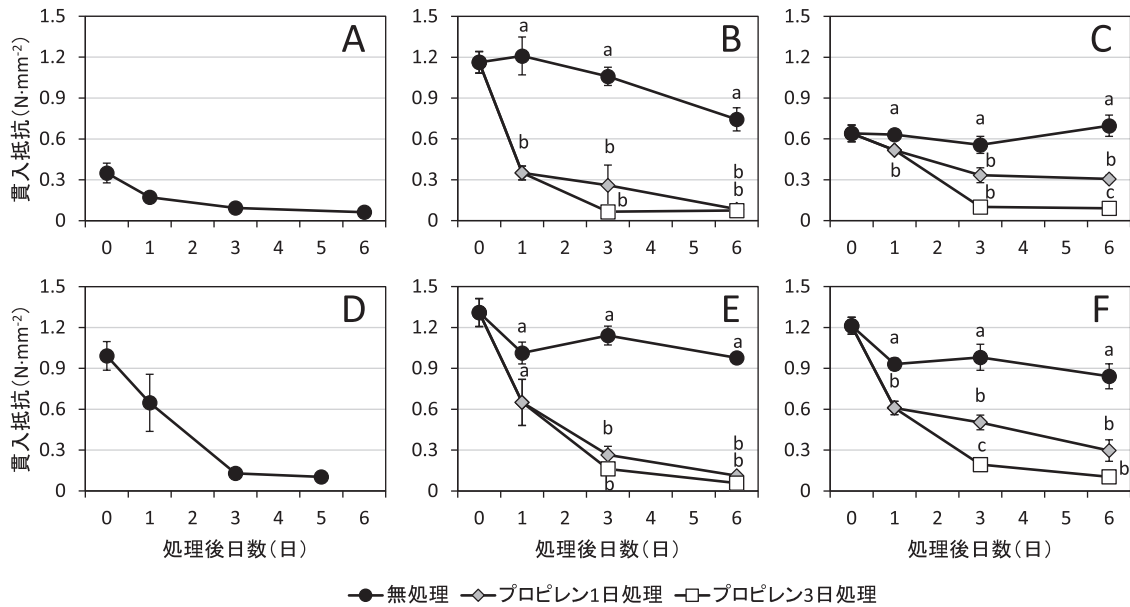


第1図 プロピレン処理による内生エチレン生成量の変化

A: 2017西王母Y, B: 2017桃水O, C: 2017桃水F, D: 2018川中島白桃O, E: 2018桃水O, F: 2018おどろきO  
図中の縦線は標準誤差を示す (n=3~6)

D: 2018川中島白桃Oのみ縦軸の最大値が異なる

異符号間は Tukey-Kramer 法により同じ処理後日数の結果に5%水準で有意差があることを示す



第2図 プロピレン処理による貫入抵抗の変化

A: 2017 西王母 Y, B: 2017 桃水 O, C: 2017 桃水 F, D: 2018 川中島白桃 O, E: 2018 桃水 O, F: 2018 おどろき O  
 図中の縦線は標準誤差を示す (n=3~6)

異符号間には Tukey-Kramer 法により同じ処理後日数の結果に 5%水準で有意差があることを示す

### 1) '西王母' および '桃水' の比較 (2017)

2017年の調査では、栽培地や収穫日が異なる2種類の'桃水'(2017桃水Oおよび2017桃水F)を、同時期に収穫され母株が同じと推定されている溶質品種の'西王母'(2017西王母Y)と比較した(第1図A~C, 第2図A~C)。無処理の2017西王母Yでは、搬入時から $6.94 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ のエチレン生成が検出され、果肉硬度も $0.35 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ と低い値を示した(第1図A, 第2図A)。1日後にエチレン生成量はいったん減少したものの、その後は増加し、6日後の時点で $11.7 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ のエチレン生成が検出された(第1図A)。また、エチレン生成量の増加に伴い果肉硬度が低下し、6日後の時点で $0.063 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ まで軟化が進んだ(第2図A)。一方で、無処理区の2017桃水Oおよび2017桃水Fでは、調査期間を通してエチレン生成はほとんど検出されず、0~6日後までのエチレン生成量はそれぞれ $0 \sim 0.55 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $0 \sim 0.11 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ と微量であった(第1図B, C)。また、果肉硬度はほとんど変化しないか、あるいは硬度の低下が緩慢で、6日後の時点でもそれぞれ $0.74 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,  $0.70 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ と高い値を維持していた(第2図B, C)。

'桃水'にプロピレンを処理したところ、2017桃水O, 2017桃水Fともに無処理区と比較して著しく硬度が低下し、処理3日後の時点でそれぞれ $0.066 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,  $0.10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ と、溶質の対照品種である2017西王母Yと同程度まで軟化した(第2図B, C)。また、プロピレン1日処理区では、3日処理区と比較して2017桃水Oでは有意な差はなかったが(第2図B), 2017桃水Fでは処理中断後の硬度が高く維持される傾向がみられた(第2図C)。一方で、

エチレン生成については、2017桃水O, 2017桃水Fともに、プロピレン処理の期間や軟化の程度によらず調査期間中ほとんど検出されなかった(第1図B, C)。

### 2) '桃水', 'おどろき' および '川中島白桃' の比較 (2018)

2017年の調査で'桃水'における硬肉性が示唆されたことから、2018年の調査では、'桃水'(2018桃水O)に加えて、'桃水'の母株と推定されている溶質品種の'川中島白桃'(2018川中島白桃O)および代表的な硬肉品種である'おどろき'(2018おどろきO)を供試し、比較した(第1図D~F, 第2図D~F)。無処理の2018川中島白桃Oでは、収穫日のエチレン生成量は $0.41 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ と少なく、果肉硬度は $0.99 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ と高い値を示した(第1図D, 第2図D)。その後、エチレン生成量が増加し、6日後の時点で $51.4 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ のエチレン生成が検出された(第1図D)。また、エチレン生成量の増加に伴い果肉硬度が低下し、5日後の時点で $0.10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ まで軟化が進んだ(第2図D)。一方で、無処理区の2018桃水Oでは、2017年の調査と同様に、調査期間を通してエチレン生成はほとんど検出されず、0~6日後までのエチレン生成量は $0 \sim 0.28 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ と微量であった(第1図E)。また、果肉硬度についても2017年と同様、収穫時からほとんど変化せず、6日後の時点でも $0.98 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ と高い値を維持していた(第2図E)。

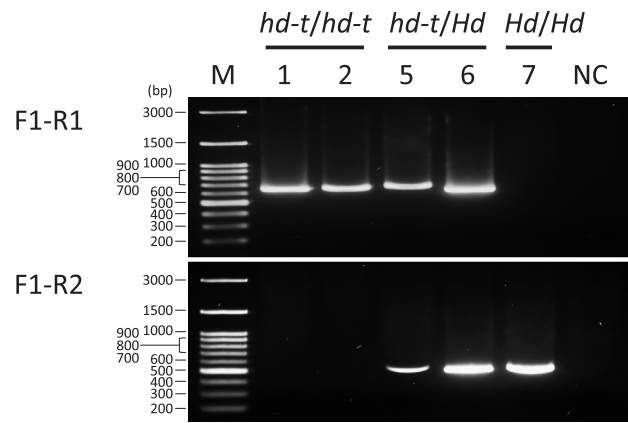
2018桃水Oにプロピレンを処理したところ、無処理区と比較して著しく硬度が低下し、処理3日後の時点で $0.16 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ と、溶質の対照品種である2018川中島白桃Oと同程度まで軟化した(第2図E)。また、プロピレン1日処理区では、3日処理区と比較して有意な差は確認さ

れなかった (第2図E). 一方で, エチレン生成については, プロピレン処理の期間や軟化の程度によらず調査期間中ほとんど検出されなかった (第1図E). これらの傾向は, いずれも2017年の‘桃水’の傾向と一致していた. さらに, 代表的な硬肉品種である2018おどろきOにおいても同様の傾向が確認された (第1図F, 第2図F).

2017年および2018年の2か年の結果から, 年次, 栽培地, 収穫日, 収穫熟度が異なる果実を用いた場合でも, 1) 無処理の‘桃水’において内生的なエチレン生成および果実軟化が抑制されていること, 2) エチレンに対しては正常な感受性を示し, プロピレン処理により果実軟化が誘導されること, 3) プロピレン処理により果肉硬度は急激に低下するにも関わらず, 内生的なエチレン生成は極微量なままであることが示された. これらの傾向は, 2018年の調査で供試した硬肉品種の‘おどろき’に加え, ‘有明’や‘まなみ’などの硬肉品種に対して同様の処理をした先行研究の結果と一致しており (Hajiら, 2003; Hayamaraら, 2006), ‘桃水’が硬肉品種であることが強く示唆された. さらに, プロピレン処理により溶質品種と同程度の硬度まで‘桃水’の果実を軟化させられることが示され, ‘桃水’の果実硬度の人為的な調節方法としてエチレン処理やプロピレン処理が有効であると考えられた.

## 2. *PpYUC11* 遺伝子の遺伝子型

近年, IAA 生合成経路のうちIPyA経路 (YUCCA経路) がモモ果実の主要なIAA生合成経路であることが報告され, この経路の鍵酵素の一つ (Mashiguchiら, 2011) をコードする *PpYUC11* 遺伝子が硬肉性の原因遺伝子として同定された (Cirilliら, 2018; Panら, 2015; Tatsukiら, 2018). これらの先行研究で硬肉性との関連が報告された *PpYUC11* 遺伝子の「第1イントロン内のTC繰り返し配列数」および「5'隣接領域におけるトランスポゾン様配列の挿入」について, ‘桃水’および他のモモ品種の遺伝子型を第3図お



第3図 *PpYUC11* 遺伝子の5'隣接領域におけるトランスポゾン様配列の挿入

上段はF1-R1プライマーを, 下段はF1-R2プライマーを用いたPCR増幅産物の電気泳動の結果を示す

F1-R1のみでバンドが検出される場合は挿入アレルホモ (*hd-t/hd-t*), F1-R1とF1-R2の両方でバンドが検出される場合は挿入アレルと非挿入アレルのヘテロ (*hd-t/Hd*), F1-R2のみでバンドが検出される場合は非挿入アレルホモ (*Hd/Hd*) の遺伝子型を示す (Tatsukiら, 2018)

泳動写真の上の数字は第1表の品種No.を示す

Mはサイズマーカー, NCはネガティブコントロール (滅菌水)を示す

よび第1表に示す.

本研究とTatsukiら (2018) で共通する‘おどろき’, ‘川中島白桃’, ‘西王母’を比較すると, 結果はすべて一致していた. 先行研究と同様, 硬肉品種はTC(20)あるいは *hd-t* のアレルをホモで持つのに対して, 溶質品種はTC(20)以外の繰り返し配列数あるいは *Hd* のアレルをホモかヘテロで持つことが確認された. また, 「第1イントロン内のTC繰り返し配列数」および「5'隣接領域におけるトランスポゾン様配列の挿入」のいずれについても, ‘桃水’の遺

第1表 モモ品種の肉質と *PpYUC11* 遺伝子の遺伝子型

No.	品種	肉質	SSR <sup>z</sup>		トランスポゾン様配列 <sup>y</sup>	
			本研究	Tatsukiら (2018) <sup>x</sup>	本研究	Tatsukiら (2018)
1	桃水	— <sup>w</sup>	20/20	—	<i>hd-t/hd-t</i>	—
2	おどろき	硬肉	20/20	20/20	<i>hd-t/hd-t</i>	<i>hd-t/hd-t</i>
3	有明	硬肉	—	20/20	—	<i>hd-t/hd-t</i>
4	まなみ	硬肉	—	20/20	—	<i>hd-t/hd-t</i>
5	川中島白桃	溶質	20/25	20/25	<i>hd-t/Hd</i>	<i>hd-t/Hd</i>
6	ゆうぞら	溶質	—	—	<i>hd-t/Hd</i>	—
7	西王母	溶質	25/25	—	<i>Hd/Hd</i>	<i>Hd/Hd</i>

<sup>z</sup> *PpYUC11* 遺伝子の第1イントロン内のTC繰り返し配列数

<sup>y</sup> *PpYUC11* 遺伝子の5'隣接領域におけるトランスポゾン様配列の挿入 (非挿入アレル: *Hd*, 挿入アレル: *hd-t*)

<sup>x</sup> Tatsukiら (2018) の結果のうち, 本研究で供試した品種と共通する品種および硬肉品種 (‘有明’, ‘まなみ’) の結果を抜粋して引用

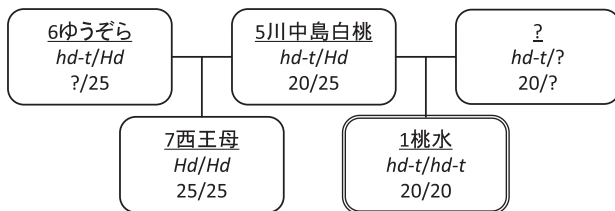
<sup>w</sup> ハイフンは不明あるいは未調査を示す

伝子型は他の硬肉品種の遺伝子型と同じ TC(20)/TC(20) および *hd-t/hd-t* であった。Tatsuki ら (2018) は, *PpYUC11* 遺伝子のプロモーター領域におけるトランスポゾン様配列の挿入により *PpYUC11* 遺伝子の発現が抑制されるため, *hd-t* アレルをホモで持つ個体において IAA 含量の低下, *ACSI* 遺伝子の発現抑制, エチレン生成の増加の抑制, 果実軟化の抑制など硬肉モモ特有の形質が発現すると報告している。本研究では, ‘桃水’ における遺伝子発現量や IAA 含量は調査していないが, ‘桃水’ のエチレン生成および果実軟化が抑制されていたことや, *PpYUC11* 遺伝子の遺伝子型が硬肉タイプであることを考慮すると, ‘桃水’ が硬肉モモであることが強く示唆された。また, 桃水の硬肉性が従来の硬肉モモと同じく *PpYUC11* 遺伝子の変異に由来する可能性が高いことが示唆された。

### 3. ‘桃水’ の系統関係と硬肉性の関連

‘桃水’ および ‘桃水’ との系統関係が示唆されているモモ品種の系統図を第4図に示す。‘桃水’ は, 溶質品種である ‘川中島白桃’ の放任受粉の実生から選抜されたと言われているが ((株) インドウ, 私信), ‘桃水’ の持つ *hd-t/hd-t* アレルの一方が ‘川中島白桃’ (*hd-t/Hd*) の *hd-t* アレルに由来すると考えると, 少なくとも *PpYUC11* 遺伝子の遺伝子型については, 育成者らの主張と矛盾しない結果となった。一方で, 同じく ‘川中島白桃’ を母樹とする ‘西王母’ (*Hd/Hd*) については, 両親品種から *Hd* アレルを受け継いだため, 溶質の肉質を示すものと考えられた。

硬肉モモは, 収穫後も比較的長期間, 果実が軟化しないため, 一般的なモモと比較して貯蔵・輸送時の取り扱いが容易である。一方で, 食味の良い硬肉品種は少なく, このことが硬肉品種の栽培・育種利用の拡大を妨げる一因になっている (立木, 2018) 。‘桃水’ は他のモモと比較して糖度が高く, 軟化後も食味の良さが期待される品種である。実際に, 本研究でプロピレン処理実験に供試した ‘桃水’ の果実 (無処理区, プロピレン1日処理区, プロピレン3日処理区) の全処理区における0~6日後までの果実の糖度は, 2017桃水Oで18.0~22.0°, 2017桃水Fで13.6~16.9°, 2018桃水Oで18.7~20.8°と高い値を示した。プロピレン処理の有無や期間による糖度の差異は確認



第4図 ‘桃水’ および関連するモモ品種の系統図  
品種名の左横の数字は第1表の品種No.を示す  
第1表の結果および親子関係から推測される *PpYUC11*  
の遺伝子型を品種名の下に示す  
?は品種や遺伝子型が不明であることを示す

されなかった (データ略)。また, 試験に関わった10数名の主観ではあるものの, 桃水はプロピレン処理後も肉質やその他の食味が優れており, 今後, 食味に影響する項目の数値化や, 肉質に関わると報告されている細胞壁成分の分析などを行うことにより, その点をデータとして証明できることが期待される。

## 摘 要

モモ (*Prunus persica* (L.) Batsch) の肉質は, 収穫後の貯蔵および消費者の嗜好性の観点から重要な形質である。溶質モモの果実は典型的なクライマクテリック型の成熟を示し, 成熟後期にエチレン生成の急増と果実硬度の急速な低下がみられる。一方で, 硬肉モモではエチレンがほとんど生成されず, 樹上や収穫後において硬度が高く維持される。本研究では, ‘川中島白桃’ の放任受粉の実生から選抜されたと言われている ‘桃水’ が硬肉性を持つことを明らかにした。‘桃水’ は棚持ち期間が長く, 肉質がサクサクしているが, そのエチレン生成や軟化特性は明らかにされていない。そこで, エチレンのアナログであるプロピレンを外生処理した ‘桃水’ 果実のエチレン生成および果実軟化の様相を調査した。無処理の果実では, 収穫時期や栽培地に関わらずエチレンはほとんど検出されず, 果実硬度が高く維持された。プロピレン処理により果実硬度は著しく低下したが, その間もエチレン生成はほとんど検出されなかった。モモの硬肉性の原因遺伝子として同定された *PpYUC11* 遺伝子の遺伝子型調査により, *PpYUC11* 遺伝子の5'隣接領域におけるトランスポゾン様配列の挿入および第1イントロン内のSSRのいずれについても, ‘桃水’ の遺伝子型は他の硬肉品種の遺伝子型と同じであることが明らかになった。これらの結果から, ‘桃水’ はエチレン生成および果実軟化が抑制された硬肉モモであることが示唆された。

謝 辞 植物材料を提供いただいた岡山県農業研究所の藤井雄一郎氏, 荒木有朋氏, 鶴木悠治郎氏に厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- Bailey, J. S. and A. P. French. 1949. The inheritance of certain fruit and foliage characteristics in the peach. *Mass. Agr. Expt. Sta. Bull.* 452: 11–12.
- Cirilli, M., D. Giovannini, A. Ciacciulli, R. Chiozzotto, S. Gattolin, L. Rossini, A. Liverani and D. Bassi. 2018. Integrative genomics approaches validate *PpYUC11-like* as candidate gene for the stony hard trait in peach (*P. persica* L. Batsch). *BMC Plant Biol.* 18: 88.
- Gu, C., L. Wang, W. Wang, H. Zhou, B. Ma, H. Zheng, T. Fang, C. Ogutu, S. Vimolmangkang and Y. Han. 2016. Copy number variation of a gene cluster encoding endopolygalacturonase mediates flesh texture and stone adhesion in peach. *J. Exp.*

- Bot. 67: 1993–2005.
- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi. 2001. Changes in ethylene production and flesh firmness of melting, non-melting and stony hard peaches after harvest. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70: 458–459.
- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi. 2003. Softening of stony hard peach by ethylene and the induction of endogenous ethylene by 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72: 212–217.
- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi. 2004. Varietal differences in the relationship between maturation characteristics, storage life and ethylene production in peach fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 73: 97–104.
- Haji, T., H. Yaegaki and M. Yamaguchi. 2005. Inheritance and expression of fruit texture melting, non-melting and stony hard in peach. *Sci. Hortic.* 105: 241–248.
- Hayama, H., T. Shimada, H. Fujii, A. Ito and Y. Kashimura. 2006. Ethylene-regulation of fruit softening and softening-related genes in peach. *J. Exp. Bot.* 57: 4071–4077.
- Kawai, T., F. Matsumori, H. Akimoto, N. Sakurai, K. Hirano, R. Nakano and F. Fukuda. 2018. Nondestructive detection of split-pit peach fruit on trees with an acoustic vibration method. *Hort. J.* 87: 499–507.
- Lester, D. R., W. B. Sherman and B. J. Atwell. 1996. Endopolygalacturonase and the *melting flesh* (*M*) locus in peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 231–235.
- Mashiguchi, K., K. Tanaka, T. Sakai, S. Sugawara, H. Kawaide, M. Natsume, A. Hanada, T. Yaeno, K. Shirasu, H. Yao, P. McSteen, Y. Zhao, K. Hayashi, Y. Kamiya and H. Kasahara. 2011. The main auxin biosynthesis pathway in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 108: 18512–18517.
- Pan, L., W. Zeng, L. Niu, Z. Lu, H. Liu, G. Cui, Y. Zhu, J. Chu, W. Li, W. Fang, Z. Cai, G. Li and Z. Wang. 2015. *PpYUC11*, a strong candidate gene for the stony hard phenotype in peach (*Prunus persica* L. Batsch), participates in IAA biosynthesis during fruit ripening. *J. Exp. Bot.* 66: 7031–7044.
- Peace, C. P., C. H. Crisosto and T. M. Gradziel. 2005. Endopolygalacturonase: a candidate gene for freestone and melting flesh in peach. *Mol. Breed.* 16: 21–31.
- Tadiello, A., V. Ziosi, A. S. Negri, M. Noferini, G. Fiori, N. Busatto, L. Espen, G. Costa and L. Trainotti. 2016. On the role of ethylene, auxin and a GOLVEN-like peptide hormone in the regulation of peach ripening. *BMC Plant Biol.* 16: 44.
- 立木美保. 2018. 果実軟化の生理. 基50の2–5. 農業技術大系 (果樹編) 第6巻追録第33号. 農文協. 東京.
- Tatsuki, M., T. Haji and M. Yamaguchi. 2006. The involvement of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase iso-gene, *Pp-ACSI*, in peach fruit softening. *J. Exp. Bot.* 57: 1281–1289.
- Tatsuki, M., N. Nakajima, H. Fujii, T. Shimada, M. Nakano, K. Hayashi, H. Hayama, H. Yoshioka and Y. Nakamura. 2013. Increased levels of IAA are required for system 2 ethylene synthesis causing fruit softening in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Exp. Bot.* 64: 1049–1059.
- Tatsuki, M., K. Soeno, Y. Shimada, Y. Sawamura, Y. Suesada, H. Yaegaki, A. Sato, Y. Kakei, A. Nakamura, S. Bai, T. Moriguchi and N. Nakajima. 2018. Insertion of a transposon-like sequence in the 5'-flanking region of the *YUCCA* gene causes the stony hard phenotype. *Plant J.* 96: 815–827.
- Yoshida, M. 1976. Genetic studies on the fruit quality of peach varieties. III. Texture and keeping quality. *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* 3: 1–16. (In Japanese with English Abstract).