

カキ‘西条’における雄花の発見

江角智也¹・渡辺 諄¹・小杉友華菜¹・大畑和也^{2,3}・板村裕之¹

Staminate flowers on ‘Saijo’ persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.)

Tomoya ESUMI¹, Atsushi WATANABE¹, Yukana KOSUGI¹, Kazuya OHATA^{2,3} and Hiroyuki ITAMURA¹

Abstract ‘Saijo’ persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) is a local cultivar in western Japan and a signature agricultural product in Shimane Prefecture. ‘Saijo’ fruit has excellent eating quality with high sugar content, and long history of the cultivation. However, ‘Saijo’ has many problems, such as fruit softening and short shelf-life. The improvement of this cultivar by breeding techniques will contribute to overcome these problems and revitalize the fruit industry in region where it is cultivated. ‘Saijo’ normally set only female flowers which are pistillate flowers without stamens. The bud sports which can bear male flowers with functional stamens were found in commercial orchards in Shimane. The fertile anthers produce viable pollens which germinate on agar media containing sucrose, and the pollens could be used for the artificial self-pollination of ‘Saijo’. The male flowers of ‘Saijo’ open up new possibilities for the cultivar improvement. Moreover, the shoots with male flowers on ‘Saijo’ are scientifically interesting materials to reveal the mechanism of sex determination in persimmons.

Keywords : female cultivar, kaki, male flowers, pollen germination

緒 言

カキ‘西条’(*Diospyros kaki* Thunb.)は中国地方で多く栽培されているカキ品種であり、島根県はその生産量の多くを占めている。‘西条’はひとつの品種として扱われているが、実際には果実の形態や特性によって区別できる30~40の系統が各地に存在しており、それらは地域固有の遺伝資源として系統保存が行われている。昭和53年度に広島県果樹試験場によってまとめられたカ

キの種苗特性分類調査報告書によれば、‘西条’は、方円形から砲弾形の特徴的な果形をし、肉質柔軟緻密で甘みが多く、味は濃厚、品質極上の品種とされている(広島県, 1979)。収穫後にドライアイス脱渋処理を施して流通される生果での生産が多いが、干し柿やあんぽ柿など加工品にも利用され、それらの品質もまた高く評価されている品種である。しかしながら、‘西条’は収量性の問題、発芽不良症、果実軟化の発生、生果の日持ち性が悪いことなど、栽培および流通における課題が多い品種でもある。これらの課題に対しては、既存系統からの優良系統の選抜や、生産技術の改良・開発が長年取り組まれてきているところであるが、交雑育種的な側面から新たな系統などを作り出すといったアプローチはほとんど行われていない。これら課題を克服できるような新系統、また‘西条’の品種らしさを十分に保ちつつも画期的な食べ方や加工方法などを提案できるような新系統を

¹ 生物資源科学部農林生産学科 Department of Agricultural and Forest Sciences, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

² 島根県農業技術センター Shimane Agricultural Technology Center, Shimane Prefectural Government

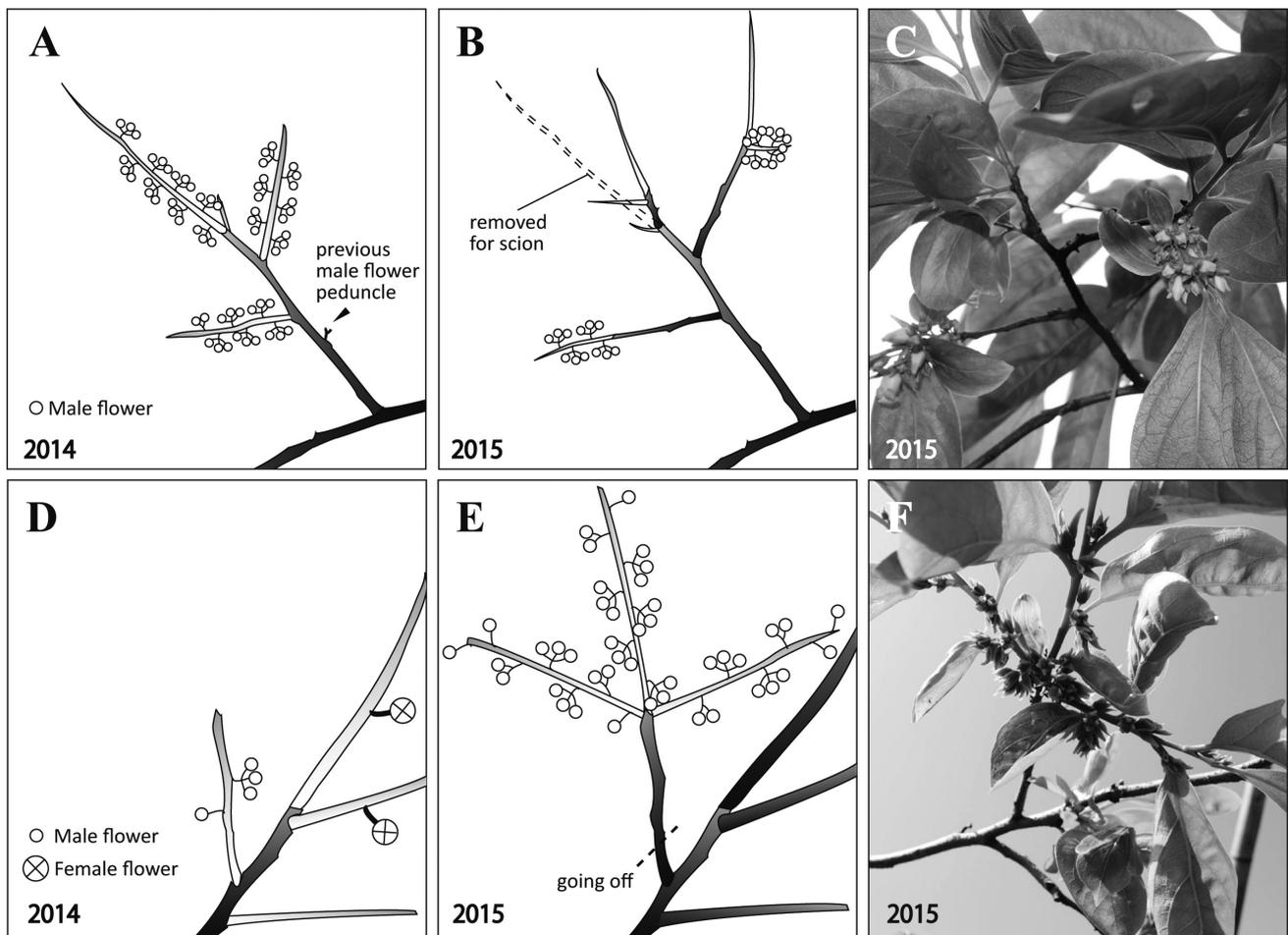
³ 鳥取大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University

育成できれば、特産品としての更なる‘西条’の生産振興やそれに付随する地域産業の活性化に結び付く可能性がある。

カキはカキノキ科カキノキ属に分類される六倍体 ($2n=6x=90$) の植物であり、その花には希に両性花がみられるものの、ほとんどの花は花弁より内部に雌ずいのみを有する雌花か、雄ずいのみを有する雄花のいずれかであり、雌雄異花の形態をとる。カキ栽培種の多くは雌花のみを着生し、一部の栽培種では雌花と雄花の両方を着生する。カキの近縁種で同じカキノキ属の二倍体 ($2n=2x=30$) の植物であるマメガキ (*Diospyros lotus* L.) は、雌雄異株の形態をとり、雌花と雄花の着生が個体単位で分かれている。このカキノキ属植物の雌雄分化に関する研究については、最近マメガキを用いた解析によって大きな進展があった。雌花と雄花それぞれが形成される遺伝学的因子が解明され、その雌雄性の性決定制御

機構は *OGI/MeGI* システムと名付けられた (Akagi ら, 2014)。このカキノキ属における雌雄性の因子は、植物において初めて明らかとなった性決定の遺伝的因子であり、この発見を足がかりに今後カキの育種や栽培における新たな研究展開が期待されている。

カキの雌花は果実生産にとって必要不可欠であるが、雄花は栽培において着果安定のための授粉用花粉の供給源として、または交雑育種時の花粉親としてのみ利用される。とりわけカキの育種においては、雄花を着生する優良な品種や系統が限られていることから、交雑後代の遺伝的多様性を広げたり、有用形質を取り入れたりする上での制限要因となっている。カキ‘西条’は雌花しか着生しない品種であるとされており、‘西条’を育種に用いる場合、通常は種子親として用いることとなる。数多くある‘西条’の系統について、RFLP 分析により遺伝子多型が調べられ、交雑実生由来と思われる系統もい



第1図 雄花の着生枝の様子

A) 恩田樹における2014年発見時の雄花着生位置。雄花を着生している新梢の母枝に前年既に雄花が着生していた痕跡が見られた。B) 恩田樹における2015年の雄花着生位置。前年の雄花着生枝を母枝として雄花を着生した新梢が発生している。一部の新梢には雄花は着生していない。前年の雄花着生枝のうち1本は接ぎ穂として供試された。C) 恩田樹の2015年雄花着生の様子。D) 榊井樹における2014年発見時の雄花着生位置。雄花着生新梢に隣接する新梢には雌花が着生している。E) 榊井樹における2015年の雄花着生位置。前年の雄花着生枝を母枝として3本の雄花着生新梢が発生したが、強風による枝折れのため母枝ごと失われた。F) 榊井樹の2015年の雄花着生の様子(開花前、枝折れ発生前)。

くつか存在することが明らかになっているが（尾山ら，2007），それらはおそらく原型となる‘西条’を種子親にして，別の品種もしくは在来種の花粉が自然交雑して生じたものと思われる。また，この原型となる‘西条’については，古木の遺伝子解析調査によって詳しく考察がなされている（前重，2008）。

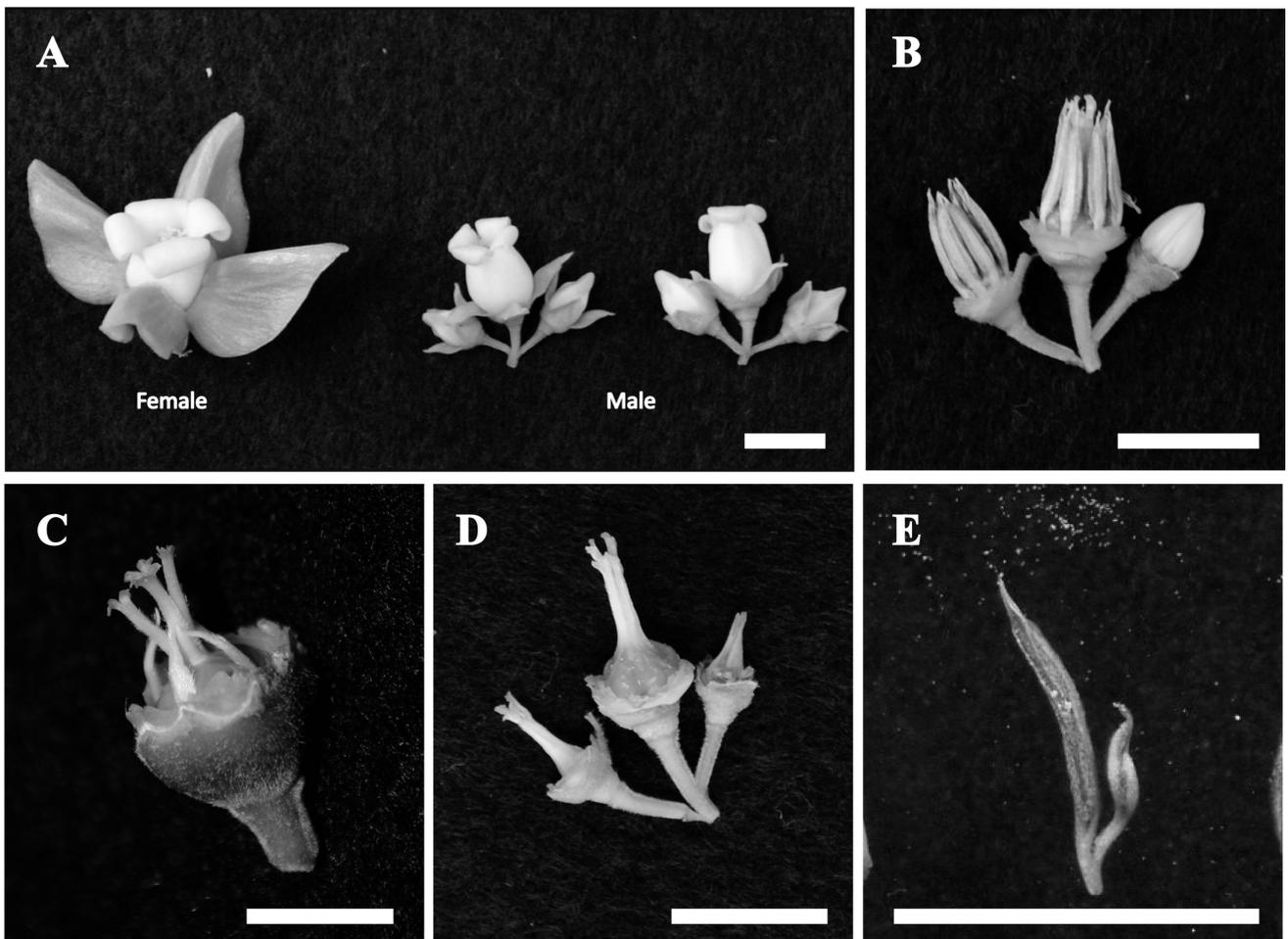
これまでの栽培的知見や文献からは，カキ‘西条’は雌花しか着生しない「非雄花着生品種」とされているが，2014年5月に島根県出雲市東福町（旧平田市）の果樹園において雄花を着生する樹が1樹発見され，また同時期に，出雲市多久町（旧平田市）の果樹園の1樹においても雄花を着生した枝が見つかった。さらに2015年5月にも出雲市多久町の別の果樹園から雄花を着生する1樹が新たに発見された。雌花しか着生しないとされている品種‘西条’において，雄花が形成されるという希少性は植物の性決定制御機構に関する学術的研究材料として興味深いだけでなく，その雄花から得られる花粉を用

いることで新たな‘西条’系統を育種できる可能性も考えられる。そこで，本報においては，カキ‘西条’の雄花の発見について，その基礎的な調査結果を報告する。

材料と方法

1. 植物材料

出雲市東福町の恩田氏園地植栽の系統名不詳の早生系統‘西条’（発見時24年生，台木不明）（以下，恩田樹）の雄花は，2014年5月27日，2015年5月23日，26日，28日に着生状況の観察およびサンプリングを行った。出雲市多久町の榑井氏園地植栽の“出雲大玉”系統の‘西条’（発見時8年生，禅寺丸実生台）（以下，榑井樹）の雄花は，発見時の2014年5月下旬には開花が終了していたため，着生状況の観察のみを行った。同樹の雄花着生枝は，2015年5月13日（開花前）に強風により母枝ごと折れてしまったため，同日，折れた枝につい



第2図 ‘西条’の雄花および雌花の形態（恩田樹）

A) 集散花序を形成する雄花（右）と単生する雌花（左）。B) 雄花のがく片と花弁を除去した様子。C) 雌花のがく片と花弁を除去した様子。中心に正常な雌ずいがあり，周囲に退化した雄ずいが数本ある。退化した雄ずいには花粉は見られない。D) 雄花においてさらに雄ずいを除去した様子。中心に機能しないと考えられる雌ずいがあり，子房部もいくらか肥大しており，両性花のような形態をしている。E) 雄花から採取した雄ずいの様子。葯からは花粉が出てきている。各バーは1cm。

て着生状況の観察およびサンプリングを行った。出雲市多久町の今岡氏園地植栽の系統名不詳の早生系統‘西条’（発見時26年生、台木不明）（以下、今岡樹）の雄花は、2015年5月23日に着生状況の観察およびサンプリングを行った。

2. 雄花の形態調査と花粉採集

サンプリングした‘西条’の雄花について、外観ならびに花卉を取り除いた内部の様子を観察した。また葯を1日ほど乾燥させて開葯した後、葯を振って花粉を採集した。採集した花粉はシリカゲルを同封した乾燥状態で4℃に保管して花粉発芽試験等に供試した。ただし、2014年の発芽試験用花粉は-20℃乾燥状態で約半年間保存したものをを用いた。また花粉の大きさや形状の顕微鏡観察を行った。比較対照として雄花着生品種である‘禅寺丸’、‘西村早生’および‘岩瀬戸’の花粉も観察に供試した。

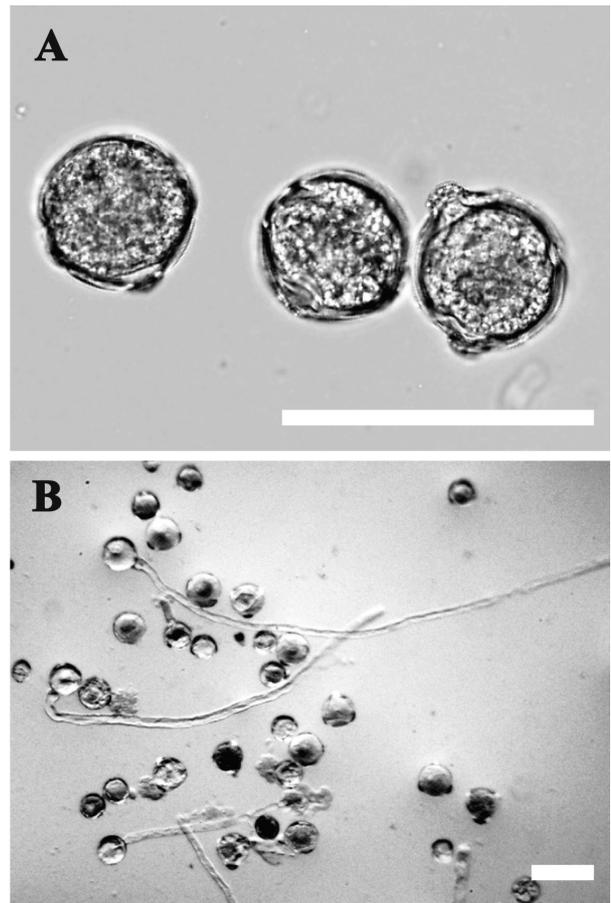
3. 花粉発芽試験

花粉の培地発芽試験は、脇坂（1964）、中村ら（1984）および千々和ら（2012）を参考に条件を設定し、15%シヨ糖を含む1%寒天培地で行った。まず乾燥花粉を15%シヨ糖溶液で懸濁し、懸濁花粉を寒天培地上に散布した。25℃の恒温器内に静置し、3時間後に実体顕微鏡を用いて花粉の発芽の様子を観察した。異なる18~25視野の撮影画像を用いて花粉発芽率を調査した。なお、花粉管が花粉直径より長く伸長しているものを発芽と見なした。

結 果

1. 雄花の着生習性

恩田樹は、2014年の発見時に3本の新梢に雄花が着生しており、それら新梢が発生している母枝には前年の雄花着生の痕跡としてその花梗の一部が残っていた。また母枝の先端部には雄花着生枝とともに花が着生していない短い新梢が1本ほど発生していた。3本の雄花着生枝のうち1本は高接ぎ用の穂木として採取され、2015年には前年の雄花着生枝2本より再び雄花を着生した新梢が発生した（第1図A~C）。櫛井樹は、2014年に初めて雄花着生した新梢が発生し、その枝を母枝として2015年に3本の雄花着生新梢の発生が観察された（第1図D~F）。雄花の着生はそれぞれの新梢の先端部まで見られ、それら新梢には側芽がほとんど発達していな



第3図 ‘西条’花粉の形態と花粉発芽の様子

A) ‘西条’の花粉の光学顕微鏡による観察と撮影。B) ‘西条’の花粉を15%シヨ糖を含む1%寒天培地に置床し、25℃で3時間培養後、実体顕微鏡にて観察した花粉発芽の様子。各バーは100 μm。

かった。残念ながら、この枝は2015年の開花前に強風により母枝から上部がすべて失われた。今岡樹は、2015年5月に初めて雄花を着生する新梢が1本発生した。

2. 雄花の形態

‘西条’の雄花は、‘禅寺丸’などの他の雄花着生品種と同じく、3花程度からなる集散花序の形態をしており、その大きさは雌花よりも小さかった（第2図A）。雄花の内部には雄ずいの発達が見られた（第2図B）。一方、雌花では雌ずいと子房が発達しているが、花粉を持たない退化した雄ずいが数本確認できた（第2図C）。雄花の雄ずいを取り除くと中心に軟弱な雌ずい様器官が観察され、また子房部も若干肥大しており、雄花は両性花のような形態をしていた（第2図D）。雄ずいの葯が開葯すると花粉が放出され、それらを採集することができた（第2図E）。

3. 花粉の形態と活性

‘西条’の花粉は球状で、他の品種のものと同様であった（第3図A）。花粉粒は平均直径49.9 μmであり、大きさも他品種に比べ際立った違いは認められなかった（第1表）。寒天培地を用いた花粉発芽試験では、3時間後に花粉管の伸長を確認できた（第3図B）。採集直後の‘西条’花粉を用いた試験での発芽率は12.5%であり、-20℃で約2週間保存した後に試験を行った‘禅寺丸’（発芽率41.9%）と比べると、発芽能力がかなり劣っていることが明らかとなった。また‘禅寺丸’の花粉では、0℃以下の低温で保存すると、発芽能力が長期間維持されることが知られているが（脇坂, 1964; 長谷川, 1998）, ‘西条’の花粉を-20℃で約半年間保存した後に行った花粉発芽試験（2014年）では全く発芽が認められなかった（第1表）。

第1表 カキ花粉の大きさと寒天培地上における発芽率

品種	花粉粒の直径 (平均値, μm)	花粉発芽率 (%)	備考
西条 (恩田樹, 2014年)	49.9	0	2014年5月27日採集した花粉を-20℃で約半年間保存後、11月12日に試験。
西条 (恩田樹, 2015年)	— ^z	12.5	2015年5月23日採集した花粉を翌日に試験。
禅寺丸	53.2	41.9	2015年5月20日採集した花粉を-20℃で約2週間保存後、6月3日に試験。
西村早生	56.7	—	
岩瀬戸	48.7	—	

^z—は未計測もしくは未実験。

考 察

雌花しか着生しないとされているカキ‘西条’に雄花が形成されるという情報は、これまでにも何件か寄せられていたようである（関係者、私信）。しかしながら、文献としての記録は見当たらず、雄花の形態や花粉の発芽能力については不明であった。通常雌花しか着生しないとされているカキ品種に、希に雄花が形成される事例は‘富有’や‘次郎’でも報告されている（Yakushijiら, 1995）。そのような偶発的な機会を利用して、‘次郎’の雄花から得られた花粉を‘富有’に交配して育成された‘陽豊’という完全甘ガキ品種もある（山根ら, 1991）。今回の‘西条’における雄花の発見では、発芽能力のある‘西条’の花粉を得ることができた。これによって、例えば‘西条’の系統間での交雑や、雄花を着生しない優良品種との交雑など、これまで試みることはできな

かった交雑育種を行うことが可能である。実際に本研究においても、2014年に恩田樹より得られた花粉を用いて、鳥根県農業技術センター植栽の‘西条’の系統である“遠藤”, “鳥取 No.2”および“出雲大玉”の雌花にそれぞれ授粉を行い、交雑実生を得ることができている（データ未発表）。

しかしながら、このような人工授粉を行うにあたり、‘西条’花粉の発芽能力の維持期間については注意する必要があると考えられる。まず、2014年は、事前に花粉発芽試験で花粉の発芽能力について確認を行わず、前述の‘西条’の各系統への人工交雑を5月末に行い、種子を得ることができていた。しかし、その後11月に、-20℃で保存しておいた花粉を用いて花粉発芽試験を行ったところ、全く発芽が認められなかった。そこで、2015年は採集直後の花粉を用いて花粉発芽試験を行うと、発芽率は低いものの受精可能と考えられる程度の花粉管伸長を確認することができた。‘西条’花粉は、‘禅寺丸’花粉に比べると発芽能力が弱く、また活性を失いやすく、保存が困難であるため、採集後なるべくすぐの鮮度の良い状態で人工交雑に使用する必要があると考えられた。

2か年にわたる観察から、‘西条’で雄花を着生した枝は、翌年も雄花を着生した新梢を発生させることが明らかとなった。ある枝がまだ芽の段階で何かしらの変異により雄花を着生するようになると、その枝から発生する以降の枝においてもこの変異は維持されると考えてよいだろう。恩田樹については、未発見時の2013年に既に雄花を着生する枝が発生しており、その枝から2014年に雄花着生枝が複数発生し、さらに2015年にそれを母枝として雄花をもつ新梢が2本発生している。2013年に出現した枝の段階で、既に雄花を着生する能力を得た変異が生じており、その変異はその枝を母枝として維持されていることがうかがえる。また、同母枝から雄花を着生しない新梢も発生していることから、来年以降、それら新梢に雄花の着生が見られるかどうか確認していくことも必要である。櫛井樹は、2014年に初めて雄花を形成した枝が発生し、2015年にそこから3本の雄花着生枝の発生が観察された。今岡樹の雄花着生枝は、2015年に初めて雄花が形成された枝であり、来年以降の成長について追跡調査を行っていく予定である。雄花を着生する変異が具体的にどのような遺伝的変異であるのかは今のところ不明であり、遺伝子の解析などが必要である。これまでに‘富有’や‘次郎’での雄花着生枝の高接ぎ実験では、雄花の着生は安定せず、着生頻度が年次で

変動したり、最終的に雄花を着生しなくなったりしている (Yakushiji ら, 1995). このようなことからエピジェネティックな変異による可能性も考えられる. カキノキ属植物の雌雄の性決定制御機構については *OGI/MeGI* システム (Akagi ら, 2014) が提唱されていることから、それを踏まえた解析を進めることで変異の詳細について明らかにできるものと考えられる.

まとめ

雌花しか着生しない品種とされていた '西条' に雄花を着生する枝が発見された. 雄花からは稔性のある花粉を得ることができ、新たな '西条' 系統を開発するといった交雑育種に利用できるものと考えられた. また、雄花が着生した枝からは、翌年も雄花を着生する新梢が発生し、変異は枝単位で維持されることが確認できた. この '西条' の雄花着生枝は、カキにおける *OGI/MeGI* システムによる性決定制御機構などを踏まえた雌雄性に関する研究にも利用できる植物材料になると考えられた.

謝辞

本研究を遂行するにあたり、雄花サンプルの提供ならびにご協力を頂きました生産者の恩田秀樹氏、櫛井伸幸氏、今岡隆氏に厚く謝意を表します. また、'西条' の雄花着生に関して広く情報提供にご協力頂きました生産者の奥敏昭氏ならびに JA しまねの横野直人氏に深く感謝申し上げます. なお、本研究の一部は平成26年度生物資源科学部ミッション推進経費によって実施した.

引用文献

- Akagi, T., Henry, I. M., Tao, R. and Comai, L. (2014) A Y-chromosome-encoded small RNA acts as a sex determinant in persimmons. *Science*, 346 : 646-650.
- 千々和浩幸・谷川宏行・朝隈英昭・石坂晃・田尾龍太郎 (2012) 九倍体系統の花粉を用いた授粉がカキ '富有' の結実ならびに果実品質に及ぼす影響. *園芸学研究*. 11 : 485-489.
- 長谷川耕二郎 (1998) 花器の発達と結実. 農業技術体系果樹編 (カキ). 基礎編 p41-54. 農文協, 東京.
- 広島県 (1979) 種苗特性分類調査報告書 (カキ). p164-172. 広島県果樹試験場, 安芸津.
- 前重道雅 (2008) 街道を往った西条柿. 遺伝資源西条柿の古木調査研究. 94pp. 中国電力株式会社エネルギー総合研究所, 広島.
- 中村三夫・松井鏑一郎・太田象一郎・矢井治夫 (1984) カキ '西村早生' 花粉の発芽, 及び花粉管伸長と温度との関係. *園芸学会研究発表要旨*. 昭59秋 : 144-145.
- 尾山圭二・吉崎司・前重道雅・倉橋孝夫・吉原利一・猪谷富雄 (2007) 古木の形態形質および RFLP 分析によるカキ品種「西条」の均一性の検証. *育種学研究*, 9 : 47-53.
- 脇坂幸雄 (1964) カキ花粉の超低温貯蔵. *園芸学会雑誌*, 33 : 291-294.
- Yakushiji, H., Yamada, M., Yonemori, K., Sato, A. and Kimura, N. (1995) Staminate flower production on shoots of 'Fuyu' and 'Jiro' persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 64 : 41-46.
- 山根弘康・栗原昭夫・永田賢嗣・山田昌彦・岸光夫・吉永勝一・松本亮司・金戸橘夫・角利昭・平林利郎・小澤俊治・広瀬和栄・山本正幸・角谷真奈美 (1991) カキ新品種「陽豊」. *果樹試験場報告*, 20 : 49-61.