

淺談完全甜柿類型及脫澀機制

新埔分場 助理研究員 李岱耘 03-5894949 分機 16

前言

柿 (*Diospyros kaki*) 原產於東亞地區，為重要的經濟果樹之一，果實的澀味是影響消費者接受度的一大挑戰，因此，種植及選育無澀味的柿品種為全球柿產業目前的趨勢。柿依照果實有無澀味分為甜柿及澀柿，又根據果實內有種子可使果實脫澀分為不完全甜柿及不完全澀柿，故柿共分為完全甜柿 (Pollination-Constant Non-Astringent, PCNA)、不完全甜柿 (Pollination-Variant Non-Astringent, PVNA)、不完全澀柿 (Pollination-Variant Astringent, PVA)、及完全澀柿 (Pollination-Constant Astringent, PCA) 4類。本篇主要介紹完全甜柿的種類及未來育種方向。

澀味來源與自然脫澀機制

通常柿子吃進嘴巴會有一種澀澀的感覺，是因為果肉中含有大量可溶性單寧

(Soluble Tannin)，可溶性單寧會讓口腔的蛋白質凝結，所以嘴巴產生乾燥或收斂的感覺，也就是我們常說的「澀味」。可溶性單寧由原花青素 (Proanthocyanidins, PAs) 合成而來，PAs 是次級代謝物中的一類多酚化合物，主要合成途徑來自莽草酸途徑 (Shikimate Pathway)、苯丙烷途徑 (Phenylpropanoid Pathway)、類黃酮代謝途徑，產生無色花青素 (Leucoanthocyanidins) 後經一系列酵素作用成可溶性單寧，累積在果肉單寧細胞 (Tannin Cells) 的液泡中。另PAs可藉由前驅物質黃烷-3-醇 (Flavan-3-ol) 通過細胞膜上轉運蛋白 (Transmembrane Transporter)，至液泡中進行PAs合成。

澀柿與C-PCNA皆是透過厭氧呼吸產生乙醛 (Acetaldehyde)，將可溶性單寧轉化為大分子的不可溶單寧來達到脫澀的效果。澀柿利用人為誘導，而C-PCNA自

表 1. 柿種類及特性

類型	特色	代表品種
完全甜柿 (Pollination-Constant Non-Astringent, PCNA)	果實成熟時無澀味。脫澀與種子數量無關。	<ul style="list-style-type: none"> 日本系統甜柿 (Japanese PCNA, J-PCNA)：富有、次郎、花御所、早秋 中國系統甜柿 (Chinese PCNA, C-PCNA)：羅田、寶蓋
不完全甜柿 (Pollination-Variant Non-Astringent, PVNA)	可能有澀味，但受授粉 (種子形成) 影響，種子數量足夠 (約 6 粒)，果實周圍的果肉會產生褐斑並脫澀 (無澀味)。	西村早生、甘百目、日本筆柿
不完全澀柿 (Pollination-Variant Astringent, PVA)	澀味持續存在，但受授粉 (種子形成) 影響，有種子處的果肉會變成褐斑並脫澀，但仍有澀味，需人工脫澀後才可食用。	平核無、刀根早生、蜂屋
完全澀柿 (Pollination-Constant Astringent, PCA)	有澀味，脫澀與種子數量無關，果實採收後必須經過人工脫澀處理 (如泡水或二氧化碳處理) 才能食用。	牛心柿、石柿、鑽石蜜柿、四周柿、長果柿 (臺灣筆柿)、市田柿

然脫澀則由內源基因調控，DkWRKY3 和 DkWRKY15 兩種轉錄因子被證明可以與丙酮酸激酶基因 (DkPK1) 的啟動子相互作用，顯著降低可溶性單寧含量，同時上調乙醛代謝相關的基因 (DkPK、DKPDC、DkADH) 的表達。

什麼是「完全甜柿」？

吃一般的柿子通常有澀味，但吃甜柿時卻沒有澀味，因為這類柿子能在樹上穩定地完成自然脫澀，在果實成熟時幾乎沒有澀味，這類柿子稱為完全甜柿 (Pollination-Constant Non-Astringent, PCNA)，是商業生產和新鮮消費中最理想的特徵。另因脫澀機制及原產地的不同，又分為日本系統甜柿 (Japanese PCNA, J-PCNA) 與中國系統甜柿 (Chinese PCNA, C-PCNA)。

日本系統甜柿 (Japanese PCNA, J-PCNA)

原產於日本，果實幼果期即停止合成可溶性單寧，因此果實發育膨大後，果實內可溶性單寧濃度稀釋0.5%以下，食用時沒有澀味。此性狀是由AST 基因座所控制隱性遺傳，柿子通常為六倍體，因此，基因型必須是aaaaaa。因此，育種常限於

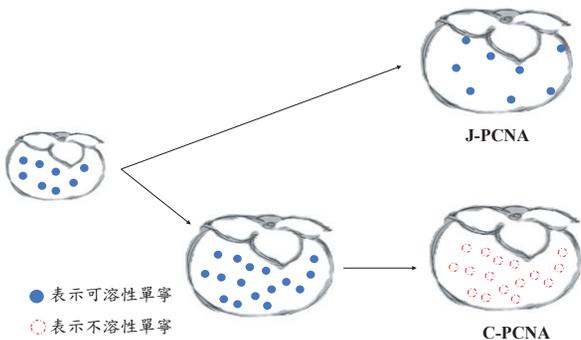
PCNA 品種間的雜交，導致遺傳多樣性低和近交弱勢 (Inbreeding Depression) 的問題，造成產量減少、單果重下降、萼裂率增加和樹勢衰弱等。此外，澀味的形成是多基因調控，因此，果實內可溶性單寧濃度也受到其他基因和環境因素而有所差異。代表品種有「富有」 (Fuyu)、「次郎」 (Jiro)。

中國系統甜柿 (Chinese PCNA, C-PCNA)

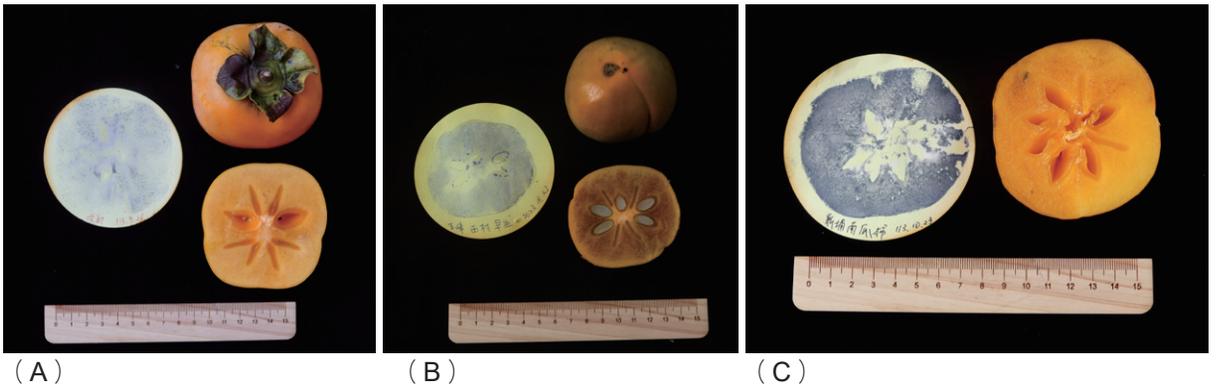
原產於大陸湖北省羅田縣地區，果實發育期持續合成單寧，果實在掛樹成熟後期，才會開始自然脫澀，將可溶性單寧轉化為不溶性單寧，因此，果實尚未完全成熟前依然有澀味。味蕾無法與大分子的不可溶性單寧 (Insoluble Tannin) 結合，所以感覺不到澀味。此性狀由自然脫澀基因 (RO₂) 顯性基因控制 (B---)，與非完全甜柿雜交，後裔有50% 機率為C-PCNA，因此，有利於多樣化柿種原導入，增加遺傳多樣性，克服因J-PCNA內多年雜交導致近交弱勢的問題。且自然脫澀基因 (RO₂) 可利用分子標記 (Molecular Markers, MAS) 輔助育種SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) 標記，早期篩選雜交後代澀味的雜交後代，加速育種進程。代表品種有「羅田甜柿」 (Luotian Tianshi)、「寶蓋甜柿」 (Baogai Tianshi)。

未來展望

C-PCNA為一對基因之顯性遺傳，不論與PCNA及非PCNA雜交，皆有50% 的機率獲得PCNA後裔，大幅增加柿種源的多樣性，且可利用分子輔助育種SCAR



▲ 圖 1. 完全甜柿：J-PCNA 及 C-PCNA 果實澀味變化示意圖。



▲ 圖 2. 不同類型柿果實的澀味程度。利用氯化鐵單寧試紙拓印果肉，顏色越深表示單寧濃度越高，顏色越淺表示單寧濃度越低。

- (A) 完全甜柿：J-PCNA 次郎，果實無論有無種子均可在樹上自然脫澀（試紙顏色淺），果肉色不會有褐斑。
- (B) 不完全甜柿：西村早生，需有種子，才可在樹上完全自然脫澀，果肉有褐斑。
- (C) 完全澀柿：南瓜柿，果實成熟後依然富含單寧。



▲ 圖 3. 不完全甜柿：甘百目種子，附近的果肉脫澀並有褐斑，沒種子附近的果肉無褐斑且沒脫澀（上）；果實內有 7 粒種子的果實（下），果肉有褐斑且完全脫澀。



▲ 圖 5. 無論是完全澀柿（長果柿、牛心柿）、完全甜柿 J-PCNA（富有、次郎）、完全甜柿 C-PCNA（寶蓋、羅田）幼果期皆富含單寧。



▲ 圖 4. 完全甜柿：C-PCNA 羅田甜柿及寶蓋甜柿果皮轉色時，依然有澀味，須完全成熟後果時才會脫澀。

標記進行早期篩選，降低育苗成本，導入C-PCNA的自然脫澀基因為全球目前主要的育種方向。本場目前已將C-PCNA自然脫澀基因導入臺灣本土澀柿（牛心柿等），數個優良雜交後裔單株已在平地（海拔100公尺）開花結果，且果實轉色及自然脫澀良好，期望未來育成適合臺灣平地氣候的甜柿品種。

參考文獻

1. Akagi, T., A. Katayama-Ikegami, and K. Yonemori. 2011. Proanthocyanidin biosynthesis of persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit. *Scientia Horticulturae* 130:373-380.
2. Dorta, T., N. Onoue, T. F. Hsiang, S. Nishiyama, G. Ríos, R. Tao, and M. Blasco. 2024. Phenotypic and Gene Expression Analysis of Fruit Development of 'Rojo Brillante' and 'Fuyu' Persimmon (*Diospyros kaki* L.) Cultivars in Two Different Locations. *Agronomy* 14:1555.
3. Fujiwara, Y., S. Nishiyama, N. Onoue, A. Kono, A. Sato, K. Yonemori, and R. Tao. 2025. Phenotypic characterization of astringent persimmon lines with recessive homozygosity at the ASTRINGENCY marker locus. *Horticulture Journal* 94:148-161.
4. Guan, C., M. Wang, Y. Zhang, X. Ruan, Q. Zhang, Z. Luo, and Y. Yang. 2020. DkWRKY interacts with pyruvate kinase gene DkPK1 and promotes natural deastringency in C-PCNA persimmon. *Plant Science* 290:110285.
5. Ikegami, A., S. Eguchi, K. Yonemori, M. Yamada, A. Sato, N. Mitani, and A. Kitajima. 2006. Segregations of Astringent Progenies in the F1 Populations Derived from Crosses between a Chinese Pollination-constant Nonstringent (PCNA) 'Luo Tian Tian Shi', and Japanese PCNA and Pollination-constant Astringent (PCA) Cultivars of Japanese Origin. *HORTSCIENCE* 41:561-563.
6. Yang, S., M. Zhang, L. Xu, Q. Zhang, C. Zhou, X. Hu, and Z. Luo. 2023. Recent Advances in Natural Deastringency and Genetic Improvement of Chinese PCNA Persimmon (*Diospyros kaki*). *Horticulturae* 9:1273.
7. Yang, S., M. Zhang, M. Zeng, L. Xu, C. Zhou, and X. Hu. 2025. Transcriptome and Metabolome Combined Analysis Reveals Key Genes Controlling Soluble Sugar Metabolism in Persimmon Fruit During Development. *Horticulturae* 11:167.
8. Zaman, F., M. Zhang, Y. Liu, Z. Wang, L. Xu, D. Guo, Z. Luo, and Q. Zhang. 2022. DkmiR397 regulates proanthocyanidin biosynthesis via negative modulating DkIAC2 in Chinese PCNA persimmon. *International Journal of Molecular Sciences* 23:3200.