氣候變遷下龍眼之催花調適技術及產期調節

朱彧瑩[1,*]、柯昱成[1]、張哲瑋[2]

[1]農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系 助理研究員
[2]農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 研究員兼分所長
*聯繫人 e-mail: yuyingchu@tari.gov.tw

臺灣龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)產業長年受限於產季過度集中，近年來受到極端氣候導致暖冬開花不良的挑戰。自 1998 年研究發現氯酸鉀($KClO_3$)可取代涼溫啓動開花機制後，該技術已在泰國、越南及中國等產區引發產業革命，顯著提升了非季節性的產量。催花的生理與分子機制極爲複雜，主要透過四大面向作用：包含荷爾蒙調節，使頂芽細胞分裂素增加並降低吉貝素含量；與此同時改變碳水化合物代謝，增加可溶性糖分以提供能量；再者是引發氧化逆境，產生活性氧訊號以活化開花基因；此外也會抑制硝酸還原酶的活性。在產業應用上，農民可透過土壤灌注、葉面噴施或樹幹注射，彈性調節產期爲早熟或反季節生產，藉此規避汛期天災並穩定市場價格。考量到臺灣多爲坡地老樹且氯酸鉀具爆炸與毒性風險，用量少的葉面噴灑方式可能是較適合的發展方向，以兼顧催花效果、用藥安全與環境永續。目前研究單位正積極尋求催花藥劑的合法化途徑，如評估使用已登記藥劑氯酸鈉的可行性，並致力於研發穩定的夏季催花技術，目標是達成龍眼的周年生產，進一步強化產業因應氣候變遷的調適韌性。

關鍵字：氯酸鉀、周年生產、天然災害

引言

臺灣龍眼的產季集中於 7 月至 10 月，以 8 月爲最多。因龍眼耐旱、適應性廣之特性，早期作爲造林樹種或木材使用，果園多處於山坡地。傳統許多果園以生產加工龍眼乾爲主，管理方式多屬粗放栽培，近年來以鮮果爲主精緻栽培的果園才有陸續增加。龍眼需要一段時間的低溫期誘導花芽分化，一般認爲是 15-22℃約 8-10 週(Paull and Duarte, 2011)，主要產區在亞熱帶地區，熱帶地區低溫需求累積不足可能會抑制某些品種的自然開花，並可能影響其產量(Hau and Hieu, 2020)，但催花技術的應用使熱帶地區龍眼栽培面積急速增加。以往由於龍眼產季適逢汛期，常遭遇的的天然災害以颱風爲主。然而，近年來受到極端氣候之影響，亞熱帶產區的冬季常有涼溫不足情形發生，例如 2019 年暖冬造成開花不良，整體產量銳減，而 2022 年也有發生部分地區開花不良之情形，受到暖冬及前一年豐產所影響，也因此衍生出許多天然災害救助問題。

龍眼催花技術的發現

龍眼催花技術早在 1998 年由屏東科技大學顏昌瑞教授即發現了氯酸鉀($KClO_3$)可以取代涼溫，使龍眼啓動開花機制，達到催花的效果(顏，1999；顏等，2001; Yen et al., 2005)。顏教授早年任職於嘉義試驗分所時發現寺廟旁的龍眼樹結果豐碩，調任至屏科大後持續相關研究，確認是鞭炮中的氯酸鉀成分促進龍眼的開花與結果。但早期研發催花技術並沒有在臺灣廣泛運用，主因是氯酸鉀爲管制藥品，取得數量有限，初期開發的施用方法是土壤施用，每株所需用量多達 1 公斤，有安全風險疑慮，另臺灣的龍眼多種植於坡地，且樹齡較久，根系深，氯酸鉀施用至土壤後不易吸收，殘效較長，導致催花效果不整齊，或易造成樹勢衰弱等負面效果(蔡等，2010)。

然而在該技術發表後的最初十年間，它顯著提升了龍眼的全球種植面積與產量，並徹底翻轉了龍眼產業，改變了龍眼市場原本週期短、收穫期過度集中的現象。在中國海南省與廣東西部，大部分果園已大量採用氯酸鉀催花技術，而在越南與泰國，約有 50% 的鮮果產量來自氯酸鉀所誘導的非季節性開花(鄭等，2019；Huang et al., 2021; Hung et al, 2020; Jaroenkit and Manochai, 2020; Manochai et al., 2005)。

催花技術的原理

氯酸鉀是一種強氧化劑，能取代低溫誘導龍眼開花(Manochai et al, 1999; 2005; Huang et al., 2021)，至今已應用超過二十年，但其作用機制至今仍未明確。根據現有的研究結果，其作用機制主要可從荷爾蒙調節、碳水化合物代謝、氧化逆境反應及硝酸還原抑制 4 個面向來解釋。

1. 荷爾蒙調節

較高的 CK/GA 比值可能是氯酸鉀催花的關鍵。Hegele(2004)指出在氯酸鉀催花後，頂芽中細胞分裂素(CKs)持續增加，離層酸(ABA)和吉貝素(GAs)則沒有被影響。在氯酸鉀處理後所有組織中的 CK 含量增加，GA 含量降低，根部的吲哚乙酸(IAA)和 ABA 也有增加情形(賴等，2011；Wei, 2012)。Potchanasin 等(2009a; 2009b)指出氯酸鉀訊號使枝條中玉米素(ZT)的含量升高，同時頂芽及鄰近側芽下方組織中 N6-異戊烯基腺嘌呤/異戊烯

基腺苷(iP/iPA)型細胞分裂素含量增加。成熟葉片可能參與 iP/iPA 轉化爲玉米素/玉米素核苷（ZT/ZR）的過程(Tiyayon et al, 2010)，頂芽中細胞分裂素的增加與枝條中 iP/iPA 增加有關(Hegele et al., 2010)。在花芽可見(小紅點)出現時，植株體內荷爾蒙的又再次產生變化如：葉片 GA_3 含量初期下降，花芽分化時上升、葉片中 IAA、CK 和乙烯的含量也顯著升高、頂芽的 ABA 增加；在頂芽中，CK 含量顯著增加外，水楊酸(SA)和乙烯含量也同時升高；GA 的含量則顯著降低(Potchanasin et al., 2009b,Chang et al., 2015, Sringarm et al., 2009; Hegele et al., 2008, 楊等，2019)。

2. 碳水化合物代謝與轉運

氯酸鉀處理後，龍眼葉片碳氮營養產生變化，包括澱粉含量減少，可溶性糖、果糖、葡萄糖、蔗糖和可溶性胺基酸的含量增加(常，2010)。在頂芽和枝條中，也觀察到澱粉、蔗糖、可溶性糖和可溶性氨基酸含量的類似增加情形，然而，此狀況與冬季低溫下自然開花情形不同，後者通常花芽分化後期糖和澱粉含量下降，而氯酸鉀處理使花芽分化後總糖和澱粉含量卻增加了一倍(李等，2013；Suthon et al., 2012)，表示兩者可能存在不同的誘導途徑。

3. 氧化逆境反應

氯酸鉀處理使龍眼葉片光合作用速率、氣孔導度、CO_2交換速率、蒸散速率和葉片水勢下降，葉綠素 a、葉綠素 b 和葉黃素含量降低，影響超過 10 日(李，2020；Lu et al.,2017; Sritontip et al., 2012)。葉綠體中類囊體膜(thylakoid membranes)與葉綠餅(grana)的結構亦受到破壞(楊等, 2015a; Huang et al., 2006)。施用氯酸鉀 1 個月後，葉片與頂芽中脯胺酸及丙二醛含量顯著增加，超氧化物歧化酶(SOD)與過氧化物酶(POD)的活性亦顯著升高，植株體內活性氧(ROS)顯著累積(楊等, 2015)。此外，根系活力亦顯著下降(Huang et al., 2006)。逆境反應過程中產生的 H_2O_2 等活性氧可能作爲花芽誘導的重要訊號，促進 *APETALA 1*(*DlAP1*)和 *FLOWERING LOCUS T* (*DlFT*)的表達(洪等，2015；楊等, 2015b)。

4. 硝酸還原抑制

氯酸鹽和硝酸鹽具有共同的運輸機制。氯酸鹽和硝酸鹽。Hegele 等(2010)指出施用抑制硝酸還原酶的化學物質可避免氯酸鉀處理後淨二氧化碳交換率降低，但會減緩龍眼中花芽的誘導，顯示氯酸鉀代謝中間產物對龍眼體內荷爾蒙變化、訊息傳導有關鍵作用。

植物對氯酸鉀的吸收和轉運過程被認爲與硝酸鉀(KNO_3)的吸收和轉運途徑相似，在植體內是類似物，主要由硝酸還原酶(NR)和亞硝酸還原酶(NiR)參與(Guy, 1988; Chodera and Briskin, 1990)。兩者在植物吸收和同化過程中表現出競爭性交互作用，這個現象也常被用於評估作物的氮吸收、同化和訊號傳導(Kabange et al., 2020; Zhang and Chu, 2020; Karunarathne et al., 2021)。氯酸鉀進入植體後被代謝爲亞氯酸鉀($KClO_2$)、次氯酸鉀(KClO)、氯化鉀(KCl)和氧分子，其中亞氯酸鹽和次氯酸鹽等中間產物可導致植物葉片黃化、脫落，嚴重時甚至死亡，故高濃度的氯酸鉀可作爲除草劑或落葉劑使用(Hofstra, 1977; Labri et al., 1991; Thorell et al., 2003)。研究指出氯酸鉀於龍眼體內於處理後 5 天內迅速從根部轉運至葉片，並在 14 天左右達到高峰，隨後被代謝爲 KCl，其含量在 28 天達到高峰(陸，2005；李等，2009；Huang et al., 2006)。

龍眼處理氯酸鉀後會抑制其 NR 活性，其他多種氯酸鹽、亞氯酸鹽、和次氯酸鹽等

相似化學物質也能降低 NR 活性，也有誘導龍眼開花的效果，例如：氯酸鈉($NaClO_3$)、漂白水(次氯酸鈉 NaClO)、游泳池清潔劑(次氯酸鈣 $Ca(ClO)_2$)，但這些替代物在開花率和花序長度方面均不及氯酸鉀的效果(Matsumoto et al., 2007; Sritontip et al., 2005)。但 Manochai 等(2018)的調查顯示，在泰國北部，21.7%的種植者僅使用氯酸鉀，30%僅使用氯酸鈉，而 48.3%的種植者傾向於同時使用。僅使用氯酸鉀約 69.2%的受訪種植者採用土壤灌溉配合葉面噴施，然而僅使用氯酸鈉的受訪種植者約 88.9%採用葉面噴施，同時使用這兩種化學品的受訪種植者則會先用氯酸鉀進行土壤灌溉，然後再用氯酸鈉進行葉面噴施。Jaroenkita 和 Manochai(2020)提到兩種施用方法在誘導泰國龍眼開花方面沒有顯著差異，但由於氯酸鈉毒性較高，建議種植者更加謹慎使用，並降低其濃度。

而深入到分子層面，氯酸鉀刺激會激活一系列光週期途徑、GA 途徑、春化途徑、衰老途徑(age pathway)、自主途徑(autonomous pathway)、開花基因以及花器分生組織調控基因，顯示其誘導開花的過程中發生了激素與開花路徑基因的相互作用(Mei, 2025)。氯酸鉀處理後，頂芽的開花基因如 *DlFT*、*APETALA 1*(*DlAP1*)及 *LEAFY*(*DlLFY*)會顯著上調表現(洪等，2015; 楊等，2015b)。泰國的研究也指出 *DlFT1* 在處理後 11~18 天緩慢下降，但在花形態分化前一週迅速增加 4 倍，而成熟葉片中 *DlFT2* 與 *DlFT3* 的表達在不同時間點顯著下降，*DlAP1-1* 與 *DlAP1-2* 的表達顯著上調(Heller et al., 2014; Winterhagen et al., 2017; 2020)。黃等(2022)分析'石硤'龍眼於氯酸鉀處理後 2、6 與 30 天的頂芽轉錄體，鑑定出 24 個參與開花途徑的差異表達基因，其中春化途徑基因 *VERNALIZATION INSENSITIVE 3* (*DlVIN3*)及生理時鐘相關基因 *LATE ELONGATED HYPOCOTYL*(*DlLHY*)在 2、6 天上調，而其他生理時鐘相關基因 *GIGANTEA*(*DlGI*)和 *CONSTANS* (*DlCO*) 則顯著下調，控制開花相關基因 *DlFT*、*DlAP1* 和 *DlLFY* 的表達在處理後 30 天花形態分化期間迅速增加。參與吉貝素途徑相關基因，例如 *GA REQUIRING 4* (*DlGA4*)、*DlGA5*、*REPRESSOR OF GA1-3-LIKE 1* (*DlRGL1*)、*SCFSL Y1* (*DlSLY1*) 和 *GIBBERELLIC ACID INSENSITIVE* (*DlGAI*)在第 2 天表達上調，*DlGA5* 和 *DlRGL1* 在第 6 天也表達上調，而 *DlGA4*、*DlRGL1*、*GA INSENSITIVE DWARF1* (*DlGID1*)和 *SLEEPY1* (*DlSLY1*)在處理 30 天後表達上調(Huang et al., 2022)。Li 等(2023)在氯酸鉀處理後 4 週對頂芽進行轉錄組定序分析，發現共有 2663 個差異表達基因(DEGs)顯著上調，其中包括 *APETALA 2*(*DlAP2*)、*AUXIN RESPONSE TRANSCRIPTION FACTOR 3* (*DlARF3*)和 *SQUAMOSA PROMOTER BINDING PROTEIN-LIKE 8* (*DlSPL8*)；而 *AGAMOUS* (*DlAG*)與 agamous-like 42 (*DlAGL42*)則下調。Wang 等(2022)報告了不同的結果，在氯酸鉀處理後芽體內生理時鐘相關基因 *DlLHY* 下調而 *DlCO* 上調，與黃(2022)相反；11 個龍眼 MADS-box 家族基因在氯酸鉀處理後 41 天與 54 天(花序分化期)顯著上調，包含 *DlAP1*、*DlMADS98*、*SEPALLATA1/2/3/4* (*DlSEP1/2/3/4*)、*DlAP3-1*、*DlAP3-2*、*PISTILLATA* (*DlPI*)、*DlAG*、*DlAGL6*。

龍眼催花技術的應用

氯酸鉀是目前龍眼產業中應用最廣、效果最穩定的催花藥劑，目前已廣泛應用於中國、泰國及越南等生產大國。泰國是應用最廣泛的國家，當地市場目前全年都能買到新鮮的龍眼(Subhadrabandhu and Yapwattanaphun, 2001)。

氯酸鉀催花後，龍眼樹的頂端分生組織可在 20~60 天內由營養生長狀態轉變爲生殖生長狀態(Manochai et al., 2005; Matsumoto, 2006)。在泰國清邁和中國海南省等熱帶地區，平均僅需 27 天即可完成花芽分化過程(楊等，2015a；Manochai et al., 2005; Winterhagen et al., 2020; Mei et al., 2025)。相較之下，在亞熱帶地區，中國廣西和福建省以及美國夏威夷，該過程大約需要 48 天(賴等，2011；Matsumoto, 2006; Mei et al., 2025;

Wei, 2012)。氯酸鉀可以透過土壤施用、葉面噴施及注射等三種方法施用(Manochai et al., 2005)。氯酸鉀主流的施用方法主要包括冠部滴水線處的土壤開溝條施或溶液灌根，但在部分地區也採用葉面噴灑與樹幹注射(Mei et al., 2025)。Manochai 等(2005)指出葉面噴施操作容易但易出現落葉等不良反應，效果不佳，而注射操作繁瑣，因此生產上建議採用土壤施用的方式。

土壤施用與灌根方式通常展現最高的開花率，以泰國之'E-Daw'品種爲例，於樹冠下施用氯酸鉀 4-8 g・m^{-2} 後灌水幫助根部吸收，即可以誘導開花，'Si-Chompoo'施用 1 g・m^{-2} 即可達 100%開花率(Manochai et al., 2005)。'E-Daw'品種可依照樹冠直徑調整施用量，直徑 3 米樹冠施用 50~150 g(約 7.1~21.4 g・m^{-2})，直徑 6 米樹冠施用 250~500 g(約 8.9~17.9 g・m^{-2})，直徑 10 米樹冠施用 600~2,500 g(約 7.6~31.6 g・m^{-2}) (Jaroenkit and Manochai,2020; Manochai et al., 2018)。

有些研究認爲葉面噴施整體效果較差(Manochai et al., 2005; Pan et al., 2019)，部分原因與苗株根系結構相關。根系較淺之高壓苗感應土施氯酸鉀之效率較佳，開花整齊度亦較高；相對的，樹齡較老的龍眼其根系較深，不易吸收土施之氯酸鉀，而降低催花效果(蔡等，2010；Huang et al., 2021)。噴施超過 2 g・L^{-1} 氯酸鉀會造成龍眼植株葉片受傷甚至落葉(Sritumtip et al., unpublished data)，後續試驗於熱季、雨季與涼季對'E-Daw'龍眼分別噴施氯酸鉀 1 g・L^{-1} 及 2 g・L^{-1}，以涼季之催花效果較佳，開花率爲 96.7%及 90%，雨季次之，開花率爲 61.7%及 63.2%，而熱季最差，開花率僅 12.5%及 11.7%(Manochai et al., 2005)。

對於大多數品種，適合催花處理的葉片年齡約 40~45d，此時葉片顏色由淺綠色變爲深綠色(Manochai, 1999)。然而，有些品種需要在更早的階段進行處理，例如越南品種'Long'、'TDB'和'XCV'需要在新葉呈淺綠色且 35 至 40 天大時進行處理(Hau and Hieu, 2020)。氯酸鉀的促花效果取決於植株冠層大小、施用方法及葉片發育階段。除了這些物理因素外，適宜的氣候條件亦需考慮(Subhadrabandhu and Yapwattanaphun, 2001)。龍眼葉片中碳含量較高 (> 50.93 mg/g) 的頂芽可被誘導開花，而碳含量較低 (< 37.4 mg/g) 的頂芽在非花期則無法被氯酸鉀誘導開花(Hong et al., 2014)。成熟葉片可能參與異戊烯基腺嘌呤/異戊烯基腺苷 (iP/iPA) 型細胞分裂素前體向活性玉米素/玉米素核苷 (ZT/ZR) 型細胞分裂素的轉化，因此葉片可能在花芽分化過程中扮演重要角色（Potchanasin et al., 2009a；Tiyayon et al., 2010）。

適宜的氯酸鉀濃度能促進開花，然而過量濃度則可能導致開花減少、不開花或葉片灼傷(Ongprasert et al., 2010)。合適的濃度取決於樹冠大小、品種及季節（Manochai et al., 2005; 2010）。建議的土壤灌溉用量可從樹冠直徑衡量，無需考慮樹高，因大部分龍眼樹的高度修剪成扁平樹冠，樹高不超過 5 公尺，而雨季土壤淋溶作用強烈，適當的施用量可提高以確保誘導效果(Manochai et al., 2018)。

儘管熱帶地區全年均能催花，不同季節效果仍有差異，旱季與涼爽季節效果較佳，(Manochai et al., 2005; Manochai, 1999; Potchanasin, 2009)。Pichakum 等(2020)指出雨季期間發生的花序分化常受到季節性「熱風」的負面影響，尤其是長度小於 5 cm 的花序，且在氣候變遷加劇下影響了反季節龍眼的產量。也有其他學者認爲，雨季催花不易係因雨水中氮濃度很高所導致(Jaroenkit and Manochai, 2020)。Manochai 等(2005)指出以土壤澆灌方式每月催花，以雨季開花率最低（11.9%–50.9%），而涼季與熱季的開花率較高（77.5%–88.6%）。溫度也會影響花芽萌發時間，Manochai 等(2010)另一試驗顯示雨季(8 月)土壤施用氯酸鉀的開花率僅 78.5%，花芽於 22.5 天後出現，熱季(4 月)與涼季(12 月)開花率均爲 100%，花芽於 23.0 天即 45.4 天後出現。在泰國北部 11~12 月催花時經常有著果率低的問題，推測是由於開花期平均氣溫可能低於 15℃，影響花粉管的萌發，

建議避開此時催花或改用花粉管萌發率較高的'Biaokhiao'品種(Jaroenkit and Manochai,2020)。

多數品種均可透過氯酸鉀誘導花芽分化，包含臺灣的'粉殼'；中國的'石硤'、'儲良'、'鳳梨穗'、'松風本'、'福眼'；泰國的'E-Daw'、'Do'、'Si-Chompoo'和'Biew Kiew'；越南的'Tieu Da Bo' (TDB)、'Xuong Com Vang'(XCV)和'Xuong Com Rao'等(Hau and Hieu, 2020; Hung et al., 2020)。不同品種對氯酸鉀反應不一，例如 Hau 和 Hieu(2019)認爲'E-Daw'需較高劑量之氯酸鉀。4 年生'E-Daw'在施用量分別爲 4 g・m^{-2}與 8 g・m^{-2}時，開花率分別達 80%與 100%，而'Si-Chompoo'僅施用 1 g・m^{-2}即能達到 100%的開花率(Manochai et al., 2005)。越南湄公河三角洲地區'XCV'品種每米樹冠直徑需 24~36 g，'TDB'品種需 20~40 g，而'E-Daw'品種需 40~60 g(Hau and Hieu, 2020)。在同一季節施用氯酸鉀時，'Biaokhiao'品種的開花時間較'E-Daw'品種長(Manochai et al., 2013)。熱帶龍眼'四季蜜'品種本身不需低溫即可開花，但使用氯酸鉀也有催花效果，可使栽培更有計畫與彈性(Mei et al., 2025)。

近年來，泰國種植者除了使用氯酸鉀外，也有人採用氯酸鈉($NaClO_3$)作爲誘導反季節龍眼生長的措施，但由於氯酸鈉對植物的毒性更高，研究人員更傾向於使用氯酸鉀，研究報告所提供的氯酸鉀的建議使用濃度一般是基於試藥級藥品，因此農民在使用前也要注意所購買的藥品純度(Jaroenkita and Manochai, 2020)。在泰國，氯酸鉀被列爲軍事物資，目前農業使用上由泰國農業部(DOA)管轄，歸類爲獨立的分類－「農業有害物質」（Agricultural Hazardous Substances），受《有害物質法案》(Hazardous Substance Act B.E. 2535）列管。龍眼種植者必須獲得官方許可，方能自軍火庫購買與儲存(Jaroenkita and Manochai, 2020)。

搭配催花之栽培手段

在冬、春季噴施巴克素(Paclobutrazol；PP_{333}；多效唑)與益收(Ethrel)可以促進亞熱帶龍眼開花，Huang(1996)指出低濃度的巴克素(100~200 mg・L^{-1})已被證明能顯著促進花芽分化。而不須低溫即可開花的熱帶型龍眼，'四季蜜'龍眼於夏季噴施此組合亦可催花，進行產期調節(朱等，2011；邱等，2020)。催花後 7~10 天內下雨，容易使幼葉會大量萌發， Jaroenkit 和 Manochai(2020)的初步試驗結果認爲可透過施用巴克素抑制，但仍需持續研究。

Hau 和 Hieu(2019)指出包括環割處理及使用氯酸鉀。土壤施用氯酸鉀催花，葉面同時噴施磷鉀肥及益收可提升'E-Daw'雨季催花時純花穗、偏雌花比例及著果率，並可以提前 1 週開花(Thongaon et al., 2013)。氯酸鉀可配合其他輔助措施以提升催花效率可使低產品種的開花率顯著提高超過 10%，例如拉枝、環剝、適度灌溉以及確保充足光照，CK、巴克素以及益收等生長調節劑的聯合使用亦能提高開花率(李，2003；陳，2004；陸，2005；Hau and Hieu, 2020; Chang et al., 2015; Sringarm et al., 2019; Sritontip et al., 2013)。

龍眼產期調節策略

目前氯酸鉀催花技術在產業上應用方式主要分成兩種(Mei et al., 2025)，第一種方式爲培育早熟龍眼，促進其在正常生長季節提早開花，與正期果相比可使開花、結果及成熟期提前約 2~3 週，常用於冬季較寒冷的亞熱帶地區，例如：中國廣東省西部 2020-2021 年間早熟龍眼產量佔總產量的 64.03%(郭等，2023)。然而，提早開花和著果較容易受到春季低溫的影響，在 2021、2022 年該地區早熟龍眼催花生產的果園均受到春季低溫影

響而降低產量(邵等，2013；郭等，2023)。

第二種方法是促進龍眼反季節開花，尤其適用於無明顯冬季的熱帶地區，例如中國海南省、泰國中部地區及越南南部湄公河三角洲地區(Mei et al., 2025)。透過氯酸鉀催花後果實可在約 6 個月後收穫，使農民能依據當地氣候條件與市場需求安排處理時間。此方法有助於避免市場供應過剩，並減輕低溫、暴雨及颱風等不利天氣對產量與市場價值的影響(Mei et al., 2025)。泰國、越南與中國等主要非當季龍眼產區已能全年開花並維持穩定高產量(鄭等，2019；Manochai et al., 2005)。泰國除 6~8 月收穫的龍眼以外，其餘全年供應的果實均來自氯酸鉀誘導的反季節開花，目前約有 50%栽培面積採用反季節生產方法，而其中在某些較溫暖地區，如：泰國東部和中部，幾乎所有的農民皆採用此技術(Jaroenkit and Manochai, 2020)。越南湄公河三角洲各省約 50%的龍眼種植依賴氯酸鉀生產反季節果實(Hung et al., 2020)。反季節果實價值較高，在 12 月下旬至翌年 2 月初市場需求旺盛，尤其春節市場需求高，但與此同時農民也需要較密集的果園管理(Jaroenkit and Manochai, 2020)。

泰國之土壤澆灌龍眼產業催花程序建議土壤澆灌 5~20 g・m^{-2}，花芽約於 21~24 天後萌芽，再 25~30 天後開花，催花至採收約需 6.5~7.5 個月；葉面噴灑建議 1 g・L^{-1} (Khao-Sumeru et al., 1999; Subhadrabandhu and Yapwattanaphun，2001)。在周年生產的海南省爲了分散產期，各地區根據當地氣候條件調整了催花時間，南部與西部地區於 8~9 月催花，果實於隔年 3~4 月上市；中部與西北部地區則在 10~11 月處理，果實於隔年 5~6 月上市；東北部與雷州地區則在 11~12 月處理，果實於隔年 6 月下旬至 7 月上市(王，2008)。

目前較適用於臺灣龍眼產業的催花方式建議以葉面噴灑爲主(圖 1)，因此法之單株用量少，用量的減少可以提升農民使用的意願及取得容易度，並減少了持有風險。在臺灣，氯酸鉀以葉面噴灑方式有效濃度約爲 1-2 g・L^{-1}，相較過往土壤施用建議用量 1kg/株，大幅減少單株所需用量，配製 0.5~1 kg/500L 藥劑約可噴灑 30-50 株(視噴灑器具，動力噴霧耗水量較高)，對環境污染疑慮也大幅降低。朱(2020; 2021; 2024)指出於秋冬季節施用於末段成熟枝梢，成功率高，除了可以穩定植株的開花以外，亦可提早隔年的花期與採收期，錯開一般盛產季，增加農友的收益。而於初春(2 月上旬)催花則可穩定當年度龍眼的開花，適用於冬季抽梢植株或遭遇暖冬時的補救措施(朱，2022)。



圖 1. 目前適用於臺灣龍眼果園的催花建議流程。

氯酸鉀的影響

氯酸鉀的應用對人類健康和環境都構成潛在風險。就人類安全而言，氯酸鉀與易燃物混合時有爆炸性，在其購買、運輸、儲存和使用過程中都存在顯著的安全隱患(Department of Agricultural Extension(Thailand), 2021)。根據物質安全資料表，氯酸鉀氧化性固體屬於第 2 類，表示其氧化能力強；急毒性物質第 4 級，表示毒性相對輕，吞食有毒性；腐蝕/刺激皮膚物質第 3 級，表示有輕微刺激性；嚴重損傷/刺激眼睛物質第 2A 級，表示對眼睛刺激性大；水環境之危害物質第 3 級，表示其有慢毒性。

研究指出氯酸鉀在合理的施用濃度下其環境和生態風險相對較小。氯酸鉀施用後在

土壤中的殘留通常僅持續 15~30 天，在葉片中的殘留量可長達 5 個月，而過量使用氯酸鉀會導致葉片中的殘留量持續超過 8 個月，但在成熟果實中未檢測到氯酸鉀的顯著累積，該處理不會對下一季的開花和產量產生不利影響。然而，在三個月內施用兩次可能會降低開花率(李等，2009；Manochai et al., 2005)。Ongprasert 等(2002)分析表土中的氯酸鹽殘留量在處理後數天內達 136~340 mg/kg，50~55 天後降至 24.2~68 mg/kg，而影響蚯蚓活動的臨界濃度爲 34 mg/kg，肥沃土壤中氯酸鉀的分解速度較快，且使用稀釋的蜂蜜水可加速分解。過量施用氯酸鉀若隨雨水逕流至鄰近農田，會造成其他作物的氯酸鹽逆境，干擾其氮肥的吸收與利用，進而影響產量，而水果和蔬菜中殘留的氯酸鉀存在人類中毒的風險(Garrido et al., 2020)。Baubuom 和 Chatsantiprapa (2019)則認爲氯酸鉀與龍眼的開花和著果率之間存在特定的劑量效應關係，25 g/m^{2}即可促進開花，最大有效濃度應爲 43 g/m^2，過量施用會導致果皮中出現氯酸根離子、氯離子和鉀離子殘留，但果肉中的殘留量極低，不會對人體健康構成重大風險。

結語

催花栽培在世界上已成產業趨勢，此技術也是龍眼產業因應氣候變遷的利器。然而，國內目前尚無廠商開發氯酸鉀商品，申請登記於推薦用藥或農業資材，部分產區農會有協助農民代購原料，使產區農民取得容易度提升，也讓目前產業應用催花技術比例大增。目前農試所正積極尋找合法化途徑，以利產業發展，減少龍眼暖冬不開花的天然災害。氯酸鈉因作爲國內紅豆落葉劑，已有農藥商品申請並核准使用(52% SL)，參考泰國也有部分農民使用氯酸鈉催花，此藥劑或許是國內較容易合法化的催花劑途徑，然而目前國內外相關的學術報告大多使用氯酸鉀，適合國內的氯酸鈉的使用濃度及方法尚待研究。此外，目前也正積極研究如何於臺灣進行穩定的夏季催花，以達成周年生產之目標，產業發展極具潛力。

參考文獻

王光恩。2008。反季節龍眼生產實踐與探索。中國熱帶農業 (3):60-61。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2020。氯酸鉀於龍眼催花之研究。臺灣園藝 66(增刊):47-48。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2021。早秋季節施用氯酸鉀於龍眼催花效果之研究。臺灣園藝 67(增刊):92。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2022。龍眼春季催花作爲調適栽培方法之研究。臺灣園藝 68(增刊):94-95。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2024。內門地區龍眼秋季催花之研究。臺灣園藝 69(增刊):100。

朱建華、黃鳳珠、徐寧、彭宏祥、陸貴鋒、李冬波、秦獻泉。2011。「四季蜜」龍眼(*Dimocarpus longan* Lour. 'Sijimi')成花調控技術研究。中國農學通報 27(25):288–293。

李志強、邱燕萍、袁沛元、歐良喜、向旭。2009。龍眼園施用氯酸鉀促花對環境的影響分析初探。海峽兩岸荔枝龍眼產業發展研討會暨第 20 屆廣東省荔枝龍眼科技協作研討會論文集 2009:144–148

李志強、郭棟樑、袁沛元。2019。氯酸鉀對回縮修剪龍眼的促花效果分析。廣東農業科學 22:55–58

李建光、潘學文、郭棟梁。2019。泰國龍眼反季節栽培技術及對我國龍眼栽培的啓示Ⅱ。中國熱帶農業 2019(4):30-34。

李松剛。2003。氯酸鉀誘導龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)成花及其生理生化變化的研究。福建農林大學碩士學位論文。

李松剛、洪繼旺、張蕾、楊子琴。2013。正造與反季節龍眼成花碳素營養差異研究。廣東農業科學 40(24):43-45

李琳。2020。氯酸鉀處理對"石硤"龍眼（*Dimocarpus longan* Lour. 'Shixia'）開花結果和氧化脅迫相關基因表達的影響。廣西大學農業碩士學位論文。

林威、李金龍、楊耀祥。2012。氯酸鉀促進龍眼非時開花之效果。臺灣園藝 58(1):61-70。

洪繼旺、陳星星、李松剛、張蕾、楊子琴。2015。H_2O_2 和 NO 對反季節龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)成花及 *FT* 基因表達的影響。熱帶作物學報 36(11):2002–2006
柯昱成、方信秀、朱彧瑩、李雪如、張哲瑋、張嵐雁、陳盟松。2023。荔枝、龍眼。農作物天然災害損害率客觀指標:180-185。
蔡尚翰、白欣澤、顏昌瑞。2010。農業科技之探索：龍眼週年開花技術及其機制。農業世界 (324):10-15。
郭棟樑、韓冬梅、黃石連、王靜、呂新民、李建光。2023。2022 年廣東龍眼生產形勢分析。中國熱帶農業 110:5–13。
邱宏業、朱建華、丁峰、潘介春、秦獻泉、徐寧、李鴻莉、李冬波、彭宏祥、侯延杰、張樹偉。2020。四季蜜龍眼 *FLOWERING LOCUS T* (*FT*) 同源基因克隆及其表達分析。西南農業學報 33(2):226–232。
陳燕麗。2004。氯酸鉀對石硤龍眼反季節成花效應及其機理的研究。廣西大學碩士學位論文。
邵光時、鄧振權、楊清照等。2013。茂名「正季早」龍眼栽培技術Ⅱ。中國熱帶農業 2013(2):68-69。
鄭少泉、曾黎輝、張積森、林河通、鄧朝軍、莊伊美。2019。新中國果樹科學研究 70 年：龍眼。果樹學報 36(10):1414-1420。
顏昌瑞。1999。龍眼催花方法與週年生產。高雄區農業專訊 (28):14-15。
顏昌瑞、趙政男、張哲瑋、曾珍琦。2001。化學藥劑對龍眼開花之影響。中國園藝 47(2):195-200。
陸貴鋒。2005。氯酸鉀誘導龍眼反季節成花效應與機理的研究。廣西大學碩士學位論文。
陸潔梅。2005。氯酸鉀對龍眼生物學效應的生理研究。華南農業大學碩士學位論文。pp. 45–67.
賴瑞雲、林建忠、蘇明華、劉志成、謝志南。2011。氯酸鉀誘導龍眼成花根系內源激素水平及根系活力的變化。熱帶作物學報 32(2):225-228.
楊子琴、陳星星、張蕾、洪繼旺、陳業淵、李松剛。2015a。龍眼成花與氧化損傷的關係探討。熱帶作物學報 36(1):120-124
楊子琴、許眞、張蕾、洪繼旺、陳業淵、李松剛。2015b。H_2O_2 和 NO 對反季節龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)成花及 *AP1* 基因表達的影響。中國南方果樹 44(1):13–17。
楊子琴、黃旭明、陳業淵、洪繼旺、李松剛、羅劍斌、張蕾。2019。正造和反季節龍眼花芽分化過程中內源激素水平的变化。安徽農業科學 47(9):47-50。
常強。2010。龍眼反季節成花誘導與碳氮營養的關係研究。福建農林大學碩士學位論文。
農業部農業試驗所。2025/3/27。暖冬不愁龍眼沒開花！農試所改良氯酸鉀催花技術助農民穩產。kmweb.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=variety&id=90714
農業農村部南亞熱帶作物中心。2024。中國荔枝、龍眼產業發展報告。中國熱帶農業 118:5–7。
Aung, P.P.; Traisuwan, N.; Chintakovid, W.; Tulyananda, T.; Pichakum, A. Bloom performances during rainy season of off-season longan (*Dimocarpus longan* Lour. 'Phuang Thong') grown at Samut Sakhon Province, Thailand. Nat. Life Sci. Commun. 2023, 22, 4–4.
Bangerth, K.F.; Potchanasin, P.; Sringarm, K. Hormonal regulation of the regular and 'off-season' floral induction process of longan (*Dimocarpus longan*). Acta Hortic. 2010, 863, 215–224.
Bao, S.; Hua, C.; Shen, L.; Yu, H. New insights into gibberellin signaling in regulating flowering in Arabidopsis. J. Integr. Plant Biol. 2020, 62, 118–131.
Baubhom, T.; Chatsantiprapa, K. Risk assessment for ingestion of off-season longan stimulated by potassium chlorate. Thai J. Pharm. Sci. 2019, *43*, 96–104.
Chang, Q.; Su, M.; Wu, S.; Wang, W.; Li, H. Effects of $KClO_3$ on hormones within leaves and apical buds during floral induction phase in longan. J. Hortic. Sci. 2015, 42, 332–340.
Chang, Q. Study on the Induction of off-season flowering in longan and its relationship with carbon and nitrogen nutrition. Thesis 2010, pp. 25–27.
Chodera, A.J.; Briskin, D.P. Chlorate transport in isolated tonoplast vesicles from red beet (*Beta vulgaris* L.) storage tissue. Plant Sci. 1990, 67, 151–160.
Department of Agricultural Extension (DOAE). "Safety recommendations for farmers using Potassium Chlorate." 20 Aug. 2021, https://doaenews.doae.go.th/archives/14403.
Garrido, Y.; Marín, A.; Tudela, J.A.; Truchado, P.; Allende, A. Chlorate accumulation in commercial lettuce cultivated in open field and irrigated with reclaimed water. Food Control 2020, 114, 107283.
Guy, M.; Zabala, G.; Filner, P. The kinetics of chlorate uptake by XD tobacco cells. Plant Physiol. 1988, 86, 817–821.
Hau, T.V.; Hieu, T.S. Induction of flowering in longan in the Mekong delta, Vietnam. Acta Hortic. 2020, 1293, 193–202.
Hegele, M.; Manochai, P.; Naphrom, D.; Sruamsiri, P.; Wünsche, J. Flowering in longan (*Dimocarpus longan* L.) induced by hormonal changes following $KClO_3$ applications. Eur. J. Hortic. Sci. 2008, 73, 49-54.

Hegele, M.; Naphrom, D.; Manochai, P.; Sruamsiri, P.; Bangerth, F. Control of flower induction in tropical/subtropical fruit trees by phytohormones using the example of longan and mango. Acta Hortic. 2006, *727*, 217–226.
Hegele, M.; Sritontip, C.; Chattrakul, A.; Tiyayon, P.; Naphrom, D.; Sringarm, K.; Sruamsiri, P.; Manochai, P.; Wünsche, J.N. Hormonal control of flower induction in litchi and longan. Acta Hortic. 2010, 863, 305-314.
Heller, W.P.; Ying, Z.; Davenport, T.L.; Keith, L.M.; Matsumoto, T.K. Identification of members of the *Dimocarpus longan* flowering Locus T gene family with divergent functions in flowering. Trop. Plant Biol. 2014, 7, 19–29.
Hofstra, J.J. Chlorate toxicity and nitrate reductase activity in tomato plants. Physiol. Plant. 1977, 41, 65–69.
Hu, G.; Wang, K.; Huang, B.; Mila, I.; Frasse, P.; et al. The auxin-responsive transcription factor SlDOF9 regulates inflorescence and flower development in tomato. Nat. Plants 2022, 8, 419–433.
Huang, X.M.; Lu, J.M.; Wang, H.C.; Zhang, C.L.; Xie, L.; et al. Nitrate reduces the detrimental effect of potassium chlorate on longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees. Sci. Hortic. 2006, 108, 51–56.
Huang, S.; Han, D.; Wang, J.; Guo, D.; Li, J. Floral induction of longan (*Dimocarpus longan*) by potassium chlorate: application, mechanism, and future perspectives. Front. Plant Sci. 2021, 12, 670587.
Huang, S.; Qiao, Y.; Lv, X.; Li, J.; Han, D.; et al. Transcriptome sequencing and DEG analysis in different developmental stages of floral buds induced by potassium chlorate in *Dimocarpus longan*. Plant Biotechnol. 2022, 39, 259–270.
Hung, N.Q.; Hung, V.V.; Hong, N.T.B.; Bay, D.T.B. Current status of longan production in Vietnam. Acta Hortic. 2020, 1293, 15–20.
Jaroenkit, T.; Buamasung, B.; Ussahatanonta, S.; Manochai, P. Effect of temperature, relative humidity and rainfall on leaf flushing, flowering and yield of longan grown in Chiang Mai province, Thailand. Acta Hortic. 2014, 1029, 169–175.
Jaroenkit, T.; Manochai, P. Current practices and research in offseason longan production in Thailand. Acta Hortic. 2020, 1293, 185–192.
Jaroenkit, T.; Manochai, P. Longan and lychee in Thailand: production, industry, research and development. Acta Hortic. 2023, 1447, 13–22.
Kabange, N.R.; Park, S.Y.; Shin, D.; Lee, S.M.; Jo, S.M.; et al. Identification of a novel QTL for chlorate resistance in rice (*Oryza sativa* L.). Agriculture 2020, 10, 360.
Khao-Sumeru, Y.; Sritontip, C.; Changenraja, S. Summary on the use of potassium chlorate and sodium chlorate for inducing off-season flowers in longan (*Dimocarpus longan* Lour.); Inst. Agric. Res. Train., Lampang. 1999.
Karunarathne, S.D.; Han, Y.; Zhang, X.Q.; Dang, V.H.; Angessa, T.T.; et al. Using chlorate as an analogue to nitrate to identify candidate genes for nitrogen use efficiency in barley. Mol. Breed. 2021, 41, 47.
Labrie, S.T.; Wilkinson, J.Q.; Crawford, N.M. Effect of chlorate treatment on nitrate reductase and nitrite reductase gene expression in *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiol. 1991, 97, 873–879.
Lejay, L.; Gojon, A. Root nitrate uptake. Adv. Bot. Res. 2018, 87, 139–169.
Li, S.; Chen, H.; Hong, J.; Ye, X.; Wang, J.; et al. Chlorate-induced molecular floral transition revealed by transcriptomes. Open Life Sci. 2023, 18, 20220612.
Lu, J.; Yang, R.; Wang, H.; Huang, X. Stress effects of chlorate on longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees: changes in nitrogen and carbon nutrition. Hortic. Plant J. 2017, *3*, 237–246.
Matsumoto, T.K. Genes uniquely expressed in vegetative and potassium chlorate induced floral buds of *Dimocarpus longan*. Plant Sci. 2006, 170, 500–510.
Matsumoto, T.K.; Nagao, M.A.; Mackey, B. Off-season flower induction of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) with potassium chlorate, sodium chlorite, and sodium hypochlorite. HortTechnology 2007, *17*, 296–300.
Manochai, P. Effect of potassium chlorate on flowering of longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Natl. Res. Counc. Thail. 1999, 1, 1–14.
Manochai, P.; Jaroenkit, T.; Khaosumain, Y.; Senanan, C.; Chaiwet, W.; Wiriya-alongkorn, W. Manual for Off-Season Production and Quality Improvement; Agricultural Research Development Agency: Bangkok, 2018; pp. 94.
Manochai, P.; Jaroenkit, T.; Ussahatanonta, S.; Ongprasert, S.; Kativat, B. Seasonal effect of potassium chlorate on flowering and yield of longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Acta Hortic. 2010, *863*, 363–366.
Manochai, P.; Suton, V.; Viriya-alongkorn, W.; Charasamrit, N.; Ussahatanon, S. Effect of potassium chlorate on flowering of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) cvs. E-Daw and See Chompoo. In Seminar on Using Plant Hormone for Off-season Production in Fruit Trees; Nat. Res. Coun.: Thailand, 1999; pp. 1-8.
Manochai, P.; Sruamsiri, P.; Wiriya-Alongkorn, W.; Naphrom, D.; Hegele, M.; et al. Year around off season flower induction in longan (*Dimocarpus longan*, Lour.) trees by $KClO_3$ applications: potentials and problems. Sci. Hortic. 2005, 104, 379–390.

Mei, J.; Zhao, G.; Hua, X.; Zhang, J. Advances in research of potassium chlorate-induced flowering in longan. Trop. Plants 2025, *4*, e003.
Ongprasert, S.; Sutikoolabud, P.; Aumtong, S. The impact of application of chlorates in longan plantations on the environment and the remedy. Proc. World Congr. Soil Sci. 2002, pp. 1–10.
Paull, R.E.; Duarte, O. Litchi and longan. In *Tropical Fruits*, 2nd ed.; Paull, R.E., Duarte, O., Eds.; CABI: Wallingford, UK, 2011; Vol. 1, pp. 221-251.
Potchanasin, P.; Sringarm, K.; Sruamsiri, P.; Bangerth, K.F. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees: Part I. Low temperature and potassium chlorate effects on FI and hormonal changes exerted in terminal buds and sub-apical tissue. Sci. Hortic. 2009a, 122, 288-294.
Potchanasin, P.; Sringarm, K.; Naphrom, D.; Bangerth, K.F. Floral induction in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees. IV. The essentiality of mature leaves for potassium chlorate induced floral induction and associated hormonal changes. Sci. Hortic. 2009b, 122, 312-317.
Sringarm, K.; Potchanasin, P.; Naphrom, D.; Bangerth, K.F. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees. III: effect of shading the trees on potassium chlorate induced FI and resulting hormonal changes in leaves and shoots. Sci. Hortic. 2009c, 122, 301-311.
Sritontip, C.; Khaosumain, Y.; Changjaraja, S.; Poruksa, R. Effects of potassium chlorate, sodium hypochlorite and calcium hypochlorite on flowering and some physiological changes in 'DO' longan. Acta Hortic. 2005, 665, 269–274.
Sritontip, C.; Tiyayon, P.; Naphrom, D.; Ruamrungsri, S.; Sruamsiri, P. Changes in photosynthesis characteristic and flowering in longan as affected by water regimes and potassium chlorate. J. Agric. Res. Ext. 2012, 29, 15–24.
Sritontip, C.; Jaroenkit, T.; Manochai, P.; Sangchyoswat, C. The impact of climate change on yield of longan production in northern Thailand. Acta Hortic. 2014, 1029, 155–162.
Subhadrabandhu, S.; Yapwattanaphun, C. Lychee and longan production in Thailand. Acta Hortic. 2001, *558*, 49–57.
Suthon, W.; Lee, C.; Yang, Y. Effects of $KClO_3$ and girdling on offseason flowering in longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Hortic. NCHU 2012, 37, 1-12.
Thongaon, V.; Charoenkit, N.; Sruamsiri, P. Use of ethephon and monopotassiumphosphate combined with potassium chlorate to induce off-season flowering of longan cv. Daw in rainy season. J. Agric., Fac. Agric., Chiang Mai Univ. 2013, 29, 13–18.
Thorell, H.D.; Stenklo, K.; Karlsson, J.; Nilsson, T. A gene cluster for chlorate metabolism in *Ideonella dechloratans*. Appl. Environ. Microbiol. 2003, 69, 5585–5592.
Tiyayon, P.; Sritontip, C.; Hegele, M.; Manochai, P.; Sruamsiri, P.; Wünsche, J.N. Effects of girdling and defoliation on hormonal changes during flower induction in longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Acta Hortic. 2010, 863, 329-334.
Wang, B.; Hu, W.; Fang, Y.; Feng, X.; Fang, J.; et al. Comparative analysis of the MADS-Box genes revealed their potential functions for flower and fruit development in longan (*Dimocarpus longan*). Front. Plant Sci. 2022, 12, 813798.
Wei, Z. Effects of potassium chlorate on endogenous hormones and root activity of longan (*Dimocarpus longan* Lour. cv. Songfengben). Mod. Hortic. 2012, 66, 9.
Werner, S.; Bartrina, I.; Schmülling, T. Cytokinin regulates vegetative phase change in Arabidopsis thaliana through the miR172/TOE1-TOE2 module. Nat. Commun. 2021, 12, 5816.
Winterhagen, P.; Tiyayon, P.; Hegele, M.; Wünsche, J.N. Expression of flowering genes in the subtropical fruit tree *Dimocarpus longan*. Acta Hortic. 2017, *1178*, 13–16.
Winterhagen, P.; Hegele, M.; Tiyayon, P.; Wünsche, J.N. Cytokinin accumulation and flowering gene expression are orchestrated for floral meristem development in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) after chemical flower induction. Sci. Hortic. 2020, *270**, 109467.
Yen, C.R.; Chau, C.N.; Chang, J.W.; Tzeng, J.C. Longan production in Taiwan. Acta Hortic. 2003, 665, 61-66.
Zhang, Z.; Chu, C. Nitrogen-use divergence between Indica and Japonica rice: variation at nitrate assimilation. Mol. Plant 2020, 13, 6–7.

Flower Induction Adaptation Techniques and Off-season Production Management of Longan under Climate Change

Yu-Ying Chu[1,*], Yu-Cheng Ko[1] and Jer-Way Chang[2]

[1] Assistant Researcher, Department of Horticulture, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; yuyingchu@tari.gov.tw; axyz0852406@tari.gov.tw
[2] Researcher and Branch Director, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; jerway@tari.gov.tw
* Correspondence: yuyingchu@tari.gov.tw

Abstract

The longan (*Dimocarpus longan* Lour.) industry in Taiwan has long been constrained by an overly concentrated production season and the recent challenges of poor flowering during warm winters caused by extreme climate change. However, since the 1998 discovery that potassium chlorate ($KClO_3$) can substitute for cool temperatures to trigger flowering, this technology has sparked an industrial revolution in regions like Thailand, Vietnam, and China by significantly increasing off-season yields. The physiological and molecular mechanisms of this induced flowering are highly complex, involving hormonal regulation that increases cytokinin while decreasing gibberellin in apical buds, shifts in carbohydrate metabolism to increase soluble sugars, the triggering of oxidative stress via reactive oxygen species (ROS) to activate flowering genes, and the inhibition of nitrate reductase activity. In terms of industrial application, farmers can employ soil drenching, ditched and then broadcast over the soil, foliar spraying, or trunk injection to flexibly adjust production for early or off-season harvests, thereby avoiding natural disasters during the flood season and stabilizing market prices. Given that Taiwan's longan cultivation primarily involves old trees on sloped land and that potassium chlorate carries risks of explosion and toxicity, low-dosage foliar spraying appears to be a more suitable developmental direction to balance flowering efficacy, chemical safety, and environmental sustainability. Research institutions are currently pursuing legal pathways for these agents, such as evaluating the feasibility of registered sodium chlorate, while striving to develop stable summer-flowering techniques to achieve year-round production and enhance the industry's adaptive resilience to climate change.

Keywords: Potassium chlorate; Year-round production, Natural disasters