

薤菜寒害致災溫度與時間之評估

林秉儀¹、陳彥銘¹、王昭月²、潘怡君^{1*}

摘 要 薤菜為臺灣重要的熱帶蔬菜，栽培溫度對其產量與品質影響甚鉅。近年氣候變遷造成全球溫度改變，強烈冷氣團來襲造成薤菜寒害農損，因此需了解低溫溫度與時間對薤菜寒害程度之影響。本研究結果顯示 12°C 為造成薤菜寒害之臨界溫度，在 12°C 12 小時、10°C 6 小時、或 6°C 4 小時的低溫之下，產生明顯寒害徵狀（寒害等級三、四、五）的薤菜葉片比例分別為 60%、42.5%、31.6%，達到足以影響商品價值的程度。本結果有助於低溫預警系統之建立以及預防研究。

關鍵詞：薤菜、低溫、寒害、離子滲漏率、商品價值

Assessment of the Temperature and Duration for Causing Chilling Injury of Water Spinach (*Ipomoea Aquatic* Forsk)

Ping-Yi Lin¹, Yen-Ming Chen¹, Jau-Yueh Wang² and I-Chun Pan^{1*}

ABSTRACT Water spinach (*Ipomoea Aquatic* Forsk) is an important tropical vegetable in Taiwan. The temperature has great impact on its production yield as well as quality. Due to climate change, recent severe cold air mass had caused its production reduction. Therefore, it is vital to assess the effect of temperature and time on causing chilling injury of *I. aquatic* Forsk. The research results showed that 12°C was the critical temperature to cause the chilling injury of the *I. aquatic* Forsk. The high ratio of chilling injured leaves, which affected the commercial values, was occurred at 12°C treated for 12hr, 10°C treated for 6hr, and 6°C treated for 4hr. The ratios were 60%, 42.5%, and 31.6% respectively. This result is useful not only to establish the low temperature warning system of *I. aquatic* but also to help the research of chilling injury of *I. aquatic* for prevention.

Keywords: *Ipomoea aquatic* Forsk, low temperature, chilling injury, electrolyte leakage, commodity value

¹ 國立中興大學園藝學系。Dept. of Horticulture, National Chung Hsing University.

² 行政院農業委員會農業試驗所。Taiwan Agricultural Research Institute Council of Agriculture.

* 通訊作者。Corresponding author, Email: icp@dragon.nchu.edu.tw

一、前言

薤菜 (*Ipomoea aquatica* Forsk.) 別名空心菜，原產東南亞，是常見的熱帶蔬菜，適合臺灣的高溫環境栽培。薤菜生育適溫為 25~35°C，是我國常見夏季蔬菜(林，2009；劉和林，2005；謝等，2009)。目前臺灣栽培面積達 2,000 公頃，2017 年產量逾 35,000 公噸(林，2009)。雲林縣及桃園市分別為南北主要栽培區，產量占全國 70.2%，其中又以雲林產量最多，總收量占全國 56.7% (農情報告資源網)。薤菜適合熱帶氣候種植，臺灣每年 4~11 月均溫達 20°C 以上，亦為薤菜盛產期。又雲林西螺為臺灣最重要的薤菜產地，栽培面積占雲林縣 88.3%，107 年七月雲林縣均溫為 28.8°C，西螺果菜市場薤菜交易量为 58 萬公斤，而一月份均溫為 16.5°C，交易量則降至 15 萬公斤(中央氣象局觀測資料查詢；農產品批發市場交易行情站；農情報告資源網)，可見低溫為影響薤菜生產及產量最重要的因子之一。

未達凍結之低溫對植物生理造成的障礙稱為寒害(chilling injury)(蔡，1998)，一般認為薤菜在 15°C 以下之生長受到阻礙(許等，2002；謝等，2009)，更低的溫度則造成薤菜葉片呈現褐斑或皺縮等寒害徵狀。先前研究顯示在 1°C 儲藏的薤菜葉片中發現葉綠體因低溫變形且粒線體產生皺褶(mitochondrial cristae)(謝等，2009)。低溫影響植物細胞膜之完整性，將導致胞內電解質滲漏，形成葉片葉面凹陷或水浸狀等寒害外觀，寒害徵狀在回溫後越發明顯(邨田，1986；Morris *et al.*, 1982)。因此，低溫下膜的完整性被認為是耐寒的指標(Wongsheree *et al.*, 2009)，細胞膜傷害程度可藉由電導度計測量電解質滲漏來監測(Sharom *et al.*, 1994)。寒害下膜體受損造成位於葉綠體類囊膜上的多酚氧化酶(polyphenol oxidase)有機會釋出，如與位於細胞質的酚類化合物(phenolic compounds)進行反應，將可形成褐變或褐斑(Degl' Innocenti *et al.*, 2005；Sharom *et al.*, 1994)。不同園產品的寒害徵狀也不盡相同，獼猴桃儲藏時遭遇寒害可導致表皮凹陷、水浸和顆粒狀組織外觀、及皮層木質化等症狀(Burdon *et al.*, 2014；Ma *et al.*, 2014；Yang *et al.*, 2012)，番石榴儲藏時溫度過低則導致果皮褐斑(Germano *et al.*, 2019)，而茄子的寒害徵狀為萼片與果肉褐變(Shi *et al.*, 2018)。

我國冬季經常面臨大陸冷氣團帶來的嚴峻低溫，寒流溫度有時甚至低於 10°C 以下。近年來地球暖化問題也增加極端氣候發生的頻率及強度的增加，2016 年 1

月 23 至 26 日，來自極地渦旋的霸王寒流重創全台，臺北市持續 62 小時 10°C 以下的低溫，高雄市持續 32 小時 10°C 以下的低溫(王等，2016)，造成國內薤菜大規模寒害。由於薤菜的逆境生理與災害防治相關研究甚少，對於寒害對薤菜的致災溫度與時間目前所知甚少，面對未來發生頻率越來越高的極端氣候，對薤菜寒害致災研究有其緊迫性與必要性。本研究藉由建立薤菜寒害傷害等級，進一步探討造成薤菜寒害農損之低溫及時間相對應情形，本研究除了可用於薤菜低溫預警系統之建立，也有助於薤菜禦寒之預措之研究，以期協助農民進行薤菜禦寒措施。

二、試驗材料與方法

(一) 植株材料及栽培

本試驗以薤菜 "桃園一號"(農友種苗，臺灣)為材料。種子清水洗淨後，以 50°C 熱水於保溫瓶內浸泡 30 分鐘後持續浸種三天，待根長約 1 公分後轉種於泥炭土：珍珠石：蛭石 3:1:1(v:v:v)之介質中。利用 21×21×17 公分的方盆盛裝約 1.2 公升的介質，每盆種植 16 顆薤菜，置放於溫室中栽培，每個處理至少三重複。

(二) 寒害試驗

薤菜播種於 29°C 均溫， $1400 \pm 170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光度之溫室，生長約 21 天待本葉達 5~6 片時開始進行寒害實驗，實驗組薤菜置放於 14、12、10、8、6°C 等不同低溫之生長箱，分別進行 4、6、12 小時等不同時間低溫處理，對照組則置於 25°C 生長箱相同時間處理，生長箱光度為 $43 \pm 0.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。低溫處理後之薤菜放回溫室三天。

(三) 葉片寒害等級調查

薤菜低溫處理完於溫室回溫三天後，根據每片薤菜葉片出現寒害徵狀之面積比例，調查每片葉片之寒害等級：第一級：沒有明顯寒害徵狀之葉片；第二級：葉片寒害面積低於 1/10 之葉片；第三級：寒害面積低於 1/3 並高於 1/10 之葉片；第四級：寒害面積達 1/3 以上者之葉片；第五級：寒害面積遍及全葉。調查每一盆薤菜葉片之寒害等級(圖 3)。

(四) 細胞膜滲漏率

根據本實驗之觀察，在不同低溫下薤菜植株第三、第四片葉片之寒害現象最為一致，因此低溫處理後，取第三片葉之中段及靠近葉尖處各取直徑 1 cm 之葉圓片為一樣品，每重複取三樣品共三重複。葉圓片放入加有 20 mL 去離子水的 50 mL 離心管，於真空機抽氣 15 分鐘後，

利用 100 rpm 震盪 90 分鐘，再以電導度計 (Mettler Toledo MC226、瑞士) 測量第一次電導度 (E1)。樣品放至 -20°C 凍箱結凍後，以 100 rpm 震盪 4 小時解凍至室溫，再測量第二次電導度 (E2)。計算細胞膜滲漏率之公式為 $\text{EC} = \text{E1}/\text{E2} \times 100\%$ (Martineau *et al.*, 1978)。

(五) 統計分析

實驗數據利用 SAS 9.4 版 (SAS Institute Inc. 美國) 的 PROC ANOVA 做變方分析 ($\alpha=0.05$)，用 Fishers' s LSD 比較各處理之間有無顯著差異。

三、結果與討論

(一) 薺菜寒害現象

薺菜在合適溫度生長下之莖葉生長正常並直挺 (圖 1A)，遭逢低溫逆境時莖葉呈現倒伏狀態 (圖 1B)，回溫三天後薺菜莖葉雖然恢復挺直，但下位葉黃化，葉片呈乾癟蜷曲或褐化等不同的寒害徵狀 (圖 1C)，顯示薺菜在低溫後回溫初期其寒害徵狀並不明顯，需回溫一段時間後才顯現出明顯的寒害徵狀。為了解薺菜寒害徵狀出現的時間，觀察同一片葉片在 6°C 處理 6 小時之後，葉片外觀隨著回溫時間之變化情形，發現在低溫處理後，葉片呈現癱軟、皺縮模樣，但回到常溫後 18 小時之葉片形狀逐漸恢復成原來樣貌，但葉片周圍較為皺褶，葉片尖端呈綠色乾枯並捲曲，回溫後 53 小時，葉片才開始出現明顯黃褐色斑點等典型的薺菜寒害徵狀 (圖 2)。有研究指出低溫狀態誘發氣孔關閉，間接影響植物根系吸水能力以及長途運輸的能力 (Wilkinson, *et al.*, 2001)，在本實驗寒害發生當下，植物可能因吸水能力受阻而致使細胞膨壓喪失，造成葉片皺縮莖葉倒伏，而溫度回復後，根系恢復吸水能力，葉片細胞有足夠水分支撐膨壓時，回溫 18 小時後，葉片幾乎回復原來樣貌。薺菜之寒害褐斑大約在回溫兩天後才在葉片顯現，而葉片寒害褐斑之成因可能為

低溫造成膜傷害後，葉綠體中的多酚氧化酶釋出至細胞質，經過適當的反應時間與細胞質中的酚類化合物形成黃褐色斑點 (Degl' Innocenti *et al.*, 2005 ; Sharom *et al.*, 1994)。

(二) 寒害等級

薺菜葉片寒害徵狀是影響薺菜商品價值最重要的因子。為了瞭解薺菜寒害程度對薺菜商業價值之影響，以界定薺菜寒害的致災溫度與時間，依照薺菜葉片在寒害處理後，包含黃褐色斑點及葉片變形等寒害徵狀面積所占整體葉片之比例，進行葉片寒害等級之分類 (圖 3)。以商品價值而言，等級一與等級二之葉片在目視上不明顯，對消費者購買意願影響不大，但等級三、四、五之薺菜葉片寒害徵狀明顯，這樣的葉片如果達到一定比例，例如 30% 以上，可能會嚴重影響薺菜之商品價值，造成農損。

(三) 薺菜寒害致災溫度

一般認為 15°C 以下低溫會影響薺菜生長速率，但目前尚不清楚多低的溫度才會造成薺菜寒害，因此利用 14°C 、 12°C 、 10°C 、 8°C 等溫度對薺菜連續處理 12 小時，以了解溫度對薺菜寒害之影響。實驗結果顯示，等級三、四、五之明顯寒害徵狀葉片，在 25°C 、 14°C 、 12°C 、 10°C 、 8°C 低溫下，分別佔總葉片之 0%、19.0%、60.3%、86.4%、88.5% (圖 4 A)，細胞膜滲透率則分別為 13.7%、17.2%、39.6%、29.3%、51.5% (圖 4 B)。由葉片寒害等級之結果發現，在 14°C 與 12°C 間有明顯落差，雖然細胞膜滲透率的結果與寒害後薺菜葉片徵狀未完全吻合，但也可觀察到在 14°C 與 12°C 間的差異，生理指數與寒害外觀的趨勢是一致的，比 12°C 、 10°C 、 8°C 之間的差異顯著。這樣的結果顯示薺菜寒害的致災低溫應該介於 12°C 至 14°C 之間。

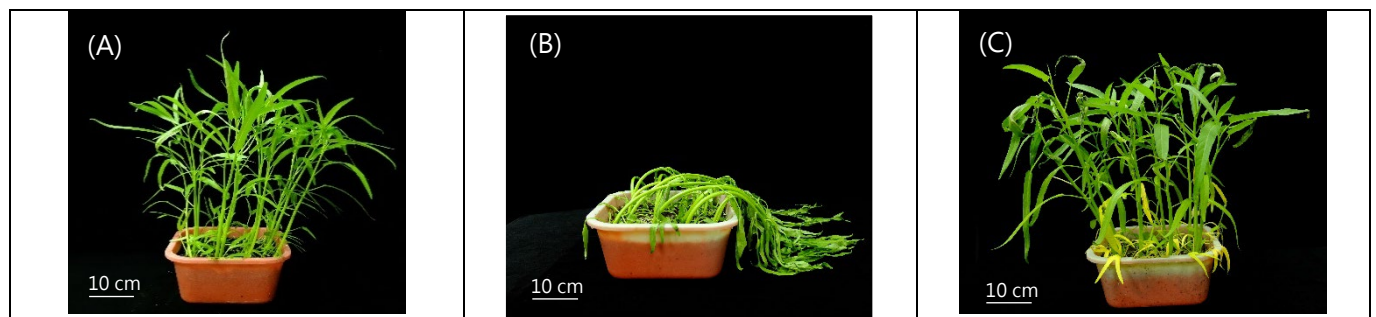


圖 1、薺菜經低溫處理後植株外觀。(A) 對照組、(B) 8°C 、12 小時、(C) 8°C 、12 小時而後回溫 3 天

Fig. 1 The appearance of *I. aquatic* Forsk after low temperature treatment.

(A) control (B) 8°C treatment for 12 hr (C) 8°C treatment for 12 hr and recover at room temperature for 3 days



圖 2、薤菜經過 6°C、6 小時低溫處理後回復常溫不同時間之葉片外觀

Fig. 2 The appearance of *I. aquatic* Forsk leaves treating at 6°C for 6 hours then recovering at room temperature with different duration



圖 3、薤菜葉片寒害等級之界定

Fig. 3 The classification of chilling injured level of *I. aquatic* Forsk based on the brown spots and deformation of leaves

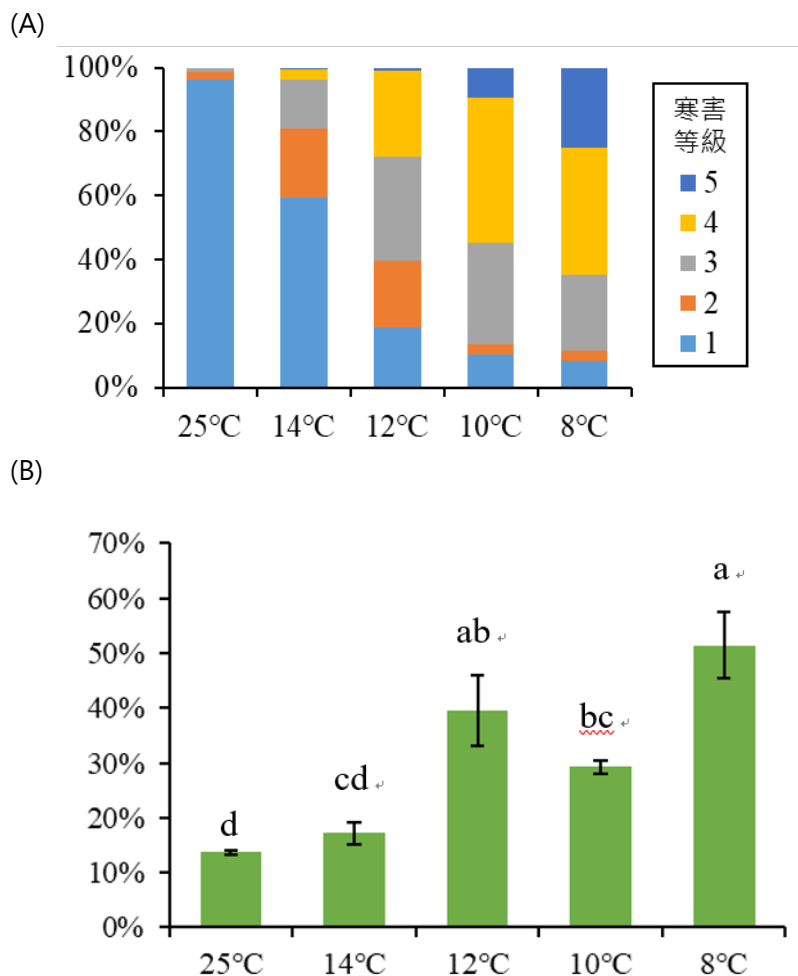


圖 4、薺菜以 25°C、14°C、12°C、10°C、及 8°C 連續處理 12 小時之
葉片寒害等級百分比分布情形 (A) 及葉片細胞膜滲漏率變化 (B)

Fig. 4 *I. aquatic* Forsk treated under 25°C, 14°C, 12°C, 10°C, 8°C, and 6°C for 12 hr.

The percentages of chilling injured leaves (A) and leaf cell membrane leakage rates (B)

(四) 薺菜寒害致災之溫度與時間

薺菜在 12°C、12 小時的明顯寒害葉片比例高達 60.3 % (圖 4A)，完全失去薺菜的商品價值，為了瞭解不同低溫的時間長度對薺菜寒害程度的影響，將薺菜置於 12°C、10°C、8°C、6°C 處理 6 小時。葉片寒害程度三、四、五的比率分別為 18.0 %、42.5 %、59.6 %、71.7 % (圖 5A)，細胞膜滲透率則為 16.4 %、18.8 %、23.3 %、27.6 % (圖 5B)。可以發現 12°C 處理 6 小時的薺菜葉片具有明顯寒害徵狀的比例大約 18%，可能還具有商品價值，但 10°C 處理 6 小時的薺菜有 42.5 % 的葉片具有明顯的寒害徵狀，應屬於大部分消費者無法接受的程度而喪失商品價值，隨著溫度越低葉片傷害品質也越嚴重。

臺灣冬天寒流常低於 10°C，為了瞭解 10°C 以下低溫的致災時間，將薺菜置於 12°C、10°C、8°C、6°C 處

理 4 小時，寒害第三級以上之葉片比例分別為 8.9 %、27.3 %、17.4 %、31.6 % (圖 6A)，細胞膜滲漏率分別為 17.5 %、19.7 %、13.7 %、14.4 % (圖 6B)，顯示低溫時數短於四小時之薺菜葉片寒害徵狀降低很多，除了 6°C 低溫寒害等級第三級以上的葉片超過 30%，其他的低溫有明顯寒害徵狀的葉片都在 30 % 以下，可能都還在消費者可以接受的範圍。實驗數據大致上吻合溫度越低薺菜寒害越嚴重的趨勢，但 8°C 寒害等級與細胞膜滲透率反而優於 10°C，這種在某個低度區間之溫度與寒害程度不成正比的類似的結果，在鳳梨釋迦低溫儲藏研究中 (江和盧，2014) 中也有報導，顯示在某些特定時間的低溫處理下，園產品寒害程度可能會有略為減緩的情形。

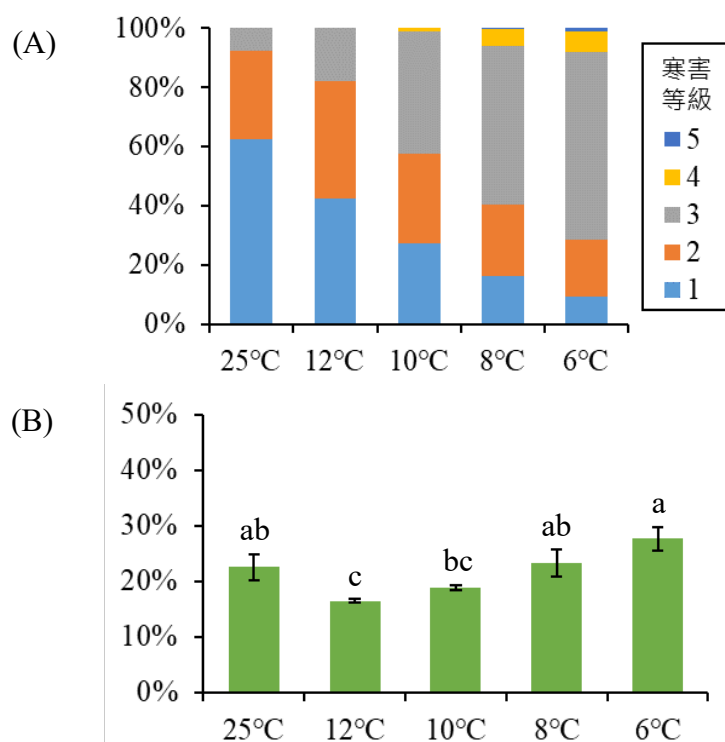


圖 5、薤菜以 25°C、12°C、10°C、8°C 及 6°C 連續處理 6 小時之
葉片寒害等級百分比分布情形 (A) 及葉片細胞膜滲漏率變化 (B)

Figure 5. *I. aquatic* Forsk treated under 25, 12°C, 10°C, 8°C, and 6°C for 6 hr.
The percentages of chilling injured leaves (A) and leaf cell membrane leakage rates (B)

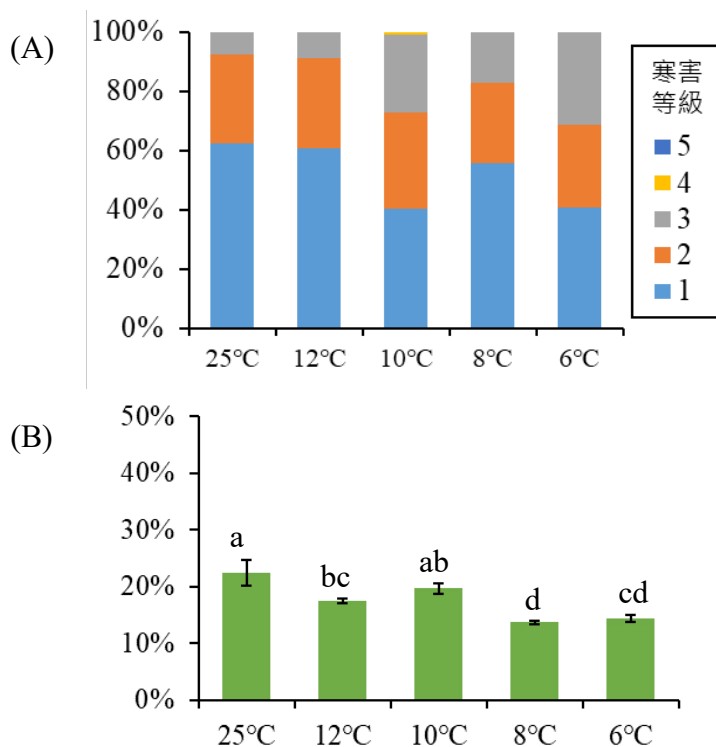


圖 6、薤菜以 25°C、12°C、10°C、8°C 及 6°C 連續處理 4 小時之
葉片寒害等級百分比分布情形 (A) 及葉片細胞膜滲漏率變化 (B)

Figure 6. *I. aquatic* Forsk treated under 25°C, 12°C, 10°C, 8°C, and 6°C for 4 hours. The percentages of
chilling injured leaves (A) and leaf cell membrane leakage rates (B)

四、結論

為了瞭解導致薤菜喪失商品價值的寒害溫度與時間，本研究將薤菜葉片寒害徵狀分成 5 個等級，等級三到等級五為肉眼可見並影響商品價值之寒害徵狀。研究結果顯示薤菜葉片寒害徵狀隨著溫度越低越嚴重，12°C 以下長期低溫即對薤菜造成寒害，短於 4 小時內的 6°C 以上低溫對薤菜的寒害還不至於大幅度影響商品價值。薤菜在 12°C 低溫 12 小時、10°C 低溫 6 小時、6°C 低溫 4 小時狀況下，有明顯寒害徵狀之葉片分別 60.3 %、42.5 %、31.6 %，對於薤菜的商品價值影響甚鉅。

五、參考文獻

- [1] 中央氣象局觀測資料查詢 (<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>)
- [2] 王安翔、龔楚嫻、吳宜昭、于宜強 (2016)。「2016 年 1 月臺灣地區寒害事件彙整與分析」，國家災害防救科技中心災害防救電子報 128:1-15。
- [3] 江淑雯、盧柏松 (2014)。「低溫儲藏對鳳梨釋迦果實品質之影響」，103 年試驗研究推廣成果研討會專刊 pp.5-16。行政院農業委員會臺東區農業改良場。
- [4] 林文華 (2009)。「水生植物食用價值之開發運用」，水生植物多樣性開發與利用研討會專刊 pp.127-140。行政院農業委員會花蓮區農業改良場。
- [5] 許秀惠、許苑培、馮永富、黃晉興、廖君達、徐玲明 (2002)。植物保護技術專刊系列 4 薤菜篇。pp.3-4。行政院農業委員會。
- [6] 農情報告資源網 (https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)。
- [7] 農產品批發市場交易行情站 (<https://amis.afa.gov.tw/main/Main.aspx>)。
- [8] 劉政道、林麗玉 (2005)。臺灣農家要覽-農作篇(二)。三版。pp.403-408。豐年社。
- [9] 蔡龍銘 (1998)。茄子之寒害相關研究。中國園藝 34:117-125。
- [10] 謝明憲、許涵鈞、劉依昌、黃圓滿、林棟樑、王仕賢 (2009)。「設施薤菜週年生產」，台南區農業專訊 67:10-12。
- [11] 邨田卓夫 (1986)。「青果物の低溫障害と保藏適正溫度」，日本冷凍學會論文 3(1): 1-11。
- [12] 於勢(平田)貴美子、茶珍和雄、岩田隆 (1990)。「低溫貯藏中のヨウサイにおける細胞構造の変化と褐変障礙の発生」，園学雑 59(1): 171-177。
- [13] Burdon, J., Wohlers, M., Pidakala, P., Laurie, T., Punter, M. and Billing, D. (2014). "The potential for commonly measured at-harvest fruit characteristics to predict chilling susceptibility of 'Hort16A' kiwifruit." *Postharvest Biol. Tec.*, 94:41-48.
- [14] Degl' Innocenti, E., Guidi, L., Paradossi, A. and Tognoni, F. (2005). "Biochemical study of leaf browning in minimally processed leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Acephala)." *J. Agric. Food Chem.*, 52:9980-9984.
- [15] Germano, T. A., Aguiar, R. P., Bastos, M. S. R., Moreira, R. A., Ayala-Zavala, J. F. and de Miranda, M. R. A. (2019). "Galactomannan-carnauba wax coating improves the antioxidant status and reduces chilling injury of 'Paluma' guava." *Postharvest Biol. Tec.*, 149:9-17.
- [16] Ma, Q., Suo, J., Huber, D.J., Dong, X., Han, Y., Zhang, Z. and Rao, J. (2014). "Effect of hot water treatments on chilling injury and expression of a new C-repeat binding factor (CBF) in 'Hongyang' kiwifruit during low temperature storage." *Postharvest Biol. Tec.*, 97:102-110.
- [17] Martineau, J. R., Specht, J. E., Williams, J. H., and Sullivan, C. Y. (1978). "Temperature tolerance in soybeans. I, evaluation of a technique for assessing cellular membrane thermostability." *Crop Sci.*, 19:75-78.
- [18] Morris, L. L., (1982). "Chilling injury of horticultural crop: An overview." *Hort. Sci.*, 17:161-162.
- [19] Sharom, M., Willemot, C. and Thompson, J. E. (1994). "Chilling injury induces lipid phase changes in membranes of tomato fruit." *Plant Physiol.* 105(1): 305-308.
- [20] Shi, J., Zuo, J., Zhou, F., Gao, L., Wang, Q. and Jiang, A. (2018). "Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit." *Postharvest Biol. Tec.*, 141:33-38.
- [21] Wilkinson, S., Clephan, A. L., and Davies, W. J.

- (2001). "Rapid low temperature-induced stomatal closure occurs in cold-tolerant commelina communis leaves but not in cold-sensitive tobacco leaves, via a mechanism that involves apoplastic calcium but not abscisic acid" . *Plant Physiol.*, 126:1566-1578.
- [22] Wongsheree, T., Ketsa, S. and Van Doorn, W. G. (2009). "The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum× citriodourum*) leaves." *Postharvest Biol. Tec.*, 51(1): 91-96.
- [23] Yang, Q., Rao, J., Yi, S., Meng, K., Wu, J. and Hou, Y. (2012). "Antioxidant enzyme activity and chilling injury during low-temperature storage of kiwifruit cv. Hongyang exposed to gradual postharvest cooling." *Hortic. Environ. Biote.*, 53:505-512.

2019年11月09日收稿

2020年01月18日修正

2020年02月27日接受