



國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系

碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master's Thesis

採收季節及次級休眠誘導對苦瓜種子活勢之影響

The Impact of Harvest Season and Secondary Dormancy

Induction on the Seed Vigor of Bitter Gourd

黃彥華

Yen-Hua Huang

指導教授：楊雯如 博士

Advisor: Wen-Ju Yang, Ph.D.

中華民國 113 年 6 月

June 2024

致謝

研究所生涯終於要結束了，這三年來在教授和學長姐們的帶領之下，除了學習到做研究的方式之外，得到更多的是做人處事的道理和邏輯思考的方式，很感謝當初自己選擇了一個這麼溫暖的研究室，這本論文的完成要感謝一路上幫助我的教授、學長姐們以及我的朋友和親人，你們的鞭策和鼓勵都讓我更有動力繼續前行。

首先我要感謝我的指導教授楊雯如老師，從大學開始就在系上開設許多充實的課程，到了研究所更是仔細指導每位學生的專討以及論文，指導學生思辨的能力，另外也不厭煩於聆聽學生們的煩惱，在學業及人生上都是我這幾年最佳的導師。

接著要感謝研究室的各位學長姐和學弟妹，謝謝君芳、陳靜、馨竹、慈芳、志勇、晨翔帶領我熟悉研究所生涯、帶著我做實驗以及和我討論研究，也謝謝學妹們不吝在實驗繁忙的時候伸出援手。也感謝我的碩士班朋友們，以及球隊的好夥伴，為我的碩士生活增添了不少色彩。

最後感謝我的家人和我的女友旻誼，在我掙扎的時候給予我支持，很感謝一路走來能有你的陪伴。

黃彥華 誌於

國立臺灣大學園藝暨景觀學系研究所

中華民國 113 年



摘要

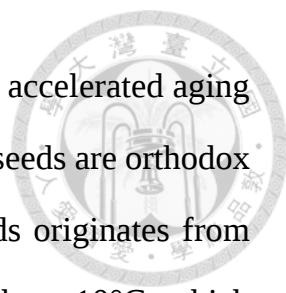
苦瓜是台灣重要的蔬菜作物，有良好的營養和藥用價值，台灣本土即可進行採種且有許多優良之 F_1 品種，但苦瓜種子的儲藏性不穩定，有熱季種子儲藏壽命較短的現象。由於全球暖化的影響，持續上升的溫度可能使種子儲藏壽命進一步下降，對產業造成威脅，然而，對苦瓜種子活勢以及儲藏方面的研究有限，其種子儲藏特性也未有定論。本研究目的在建立熱季苦瓜種子的活勢數據，比較熱季和涼季苦瓜成熟種子的品質，以及探討次級休眠誘導之條件和對種子品質的影響。熱季苦瓜 V 級種子已達生理成熟，其發芽百分比達到最高，雖然活勢較冷季種子差但已具乾旱耐受性，果實開始轉色為 V 級種子開始出現的時機，果實轉色完全時 V 級種子比例達到高峰，可以做為熱季採種指標。熱季苦瓜果實生長速度快，果實由授粉至爆裂的時間較短，種子建立活勢的時間也較短，雖不影響 30°C 的發芽表現，但在 23°C ，約有 50% 種子的胚根無法突出；老化試驗結果顯示熱季種子活勢較差且容易劣變，顯示儲藏性可能較低。利用加速老化配合胚根突出法，可以有效檢驗苦瓜種子活勢，建議的老化條件為 41°C 處理 3 日，胚根突出條件則為 23°C 處理 90 小時。苦瓜種子屬於正儲型種子，苦瓜‘月華’種子的次級休眠源自種子之內生性因素，可透過低於 -10°C 的低溫進行誘導，並且可以 $40-50^{\circ}\text{C}$ 的處理打破，建議的誘導和打破條件為 -20°C 處理 1 日，以及 46°C 處理 10 分鐘，次級休眠的誘導和打破並不會對苦瓜種子活勢造成顯著的負面影響，反而可以提升發芽整齊度，若是處在休眠狀態的種子具有較佳的耐儲藏性，則有望解決熱季苦瓜種子儲藏性差的問題、以及未來苦瓜種子產業可能面臨之威脅。

關鍵字：種子活勢檢測、生理成熟、採收成熟、次級休眠、種子儲藏特性、全球暖化

Abstract



Bitter gourd is an important vegetable crop in Taiwan, with good nutritional and medicinal value. Taiwan has many excellent F₁ varieties that can be locally grown, however, in the context of business related to bitter gourd varieties, the storage stability of bitter gourd seeds often exhibits seasonally unstable characteristics, especially hot season seeds showing a much shorter storage life. Due to the ongoing effects of global warming, the gradually increasing temperature might further decrease the storage time of bitter gourd seeds, posing a future threat to the bitter gourd seed industry. However, there is limited research on seed vigor and storage-related aspects, and the storage characteristics of bitter gourd seeds remain inconclusive. This experiment aims to build seed vigor data along the developing process of hot season gourds, compare the seed vigor of the mature seeds of hot and cold season gourds by accelerated aging method and investigate the conditions for inducing secondary dormancy and their effects on seed quality. Level V seeds of hot season bitter gourds have reached physiological maturity, with the highest germination percentage. Although their vigor is lower than that of cool season seeds, they already exhibit desiccation tolerance. The peak proportion of level V seeds coincides with the complete color change of the fruit, indicating that this can be used as an indicator for seed collection in hot season. Since bitter gourd fruits grow faster in hot season, the time for establishing seed vigor is shorter, although it didn't affect germination performance at 30°C, 50% of the seeds were not able to protrude their radical root at 23°C. Accelerated aging tests show that hot season seeds have lower vigor and are more prone to deterioration, which affects their storage. In addition, using accelerated aging combined with the radicle emergence test can effectively test the vigor of bitter



gourd seeds, the recommended condition is 41°C for 3 days for accelerated aging and 23°C for 90 hours for radical emergence test. Bitter gourds seeds are orthodox seeds. The secondary dormancy of bitter gourd 'Yue hua' seeds originates from endogenous factors and can be induced by temperature lower than -10°C, which can then be broken by treatments at 40-50°C, the recommended condition for secondary formancy induction and breaking is -20°C 1 day and 46°C 10 min, respectively. The sequence of induction and broken of secondary dormancy in bitter gourd seeds do not significantly negatively affect the vigor of bitter melon seeds; instead, they can improve germination uniformity. If dormancy seeds have better storability, it may help solve the problem of poor longevity of hot season bitter gourd seeds and the potential threats to the bitter gourd seed industry in the future.

Keywords : Seed vigor test 、physiological mature 、harvest mature 、seed storage characteristic 、global warming

目次



摘要	i
Abstract.....	ii
表次	v
圖次	v
前言	1
第一章、前人研究	2
第一節、苦瓜介紹	2
第二節、種子結構和發育	3
第三節、種子發芽階段	5
第四節、種子休眠性	7
第五節、種子儲藏	8
第六節、種子活勢檢測	10
第二章、材料方法	13
第一節、苦瓜熱季及涼季種子採種	13
第二節、熱季種子發育成熟度試驗	14
第三節、種子發芽檢測	15
第四節、加速老化試驗	15
第五節、熱季苦瓜種子次級休眠誘導之評估	16
第六節、統計分析	16
第三章、結果	18
第一節、夏季苦瓜種子發育和發芽特徵	18
第二節、加速老化對熱及涼季種子發芽表現的影響	19
第三節、熱季苦瓜種子次級休眠誘導之評估	21
第四章、討論	22

第一節、熱季苦瓜種子發育和發芽特徵	22
第二節、涼季及熱季種子活勢的差異	24
第三節、苦瓜種子儲藏性及初級休眠之探討	26
第四節、熱季苦瓜種子次級休眠誘導之評估	27
第五章、結論	49
參考文獻	51

表次

表 1、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子外觀參數	29
表 2、苦瓜‘台麗 2 號’熱季果實發育過程種子級數變化	30
表 3、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子乾燥耐受性及其發芽參數	31
表 4、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子乾燥耐受性及苗型和未發芽種子分類	32
表 5、溫度對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子老化效果之影響	33
表 6、加速老化處理時間對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子胚根突出法之發芽參 數的影響	34
表 7、苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子經加速老化處理後種子發芽表現類型	35
表 8、低溫處理溫度及時間對苦瓜‘月華’熱季種子次級休眠誘導及發芽參數之影響	36
表 9、次級休眠誘導及打破對苦瓜‘月華’熱季種子發芽指標之影響	37
附表 1、發芽參數縮寫對照表	38

圖次

圖 1、苦瓜‘台麗 2 號’熱季果實生長曲線: (A)果長 (B)果寬 (C)果重	39
圖 2、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子外觀及發育過程: (A)種子分級 (B)種子長、 寬、厚 (C)種子鮮重	40
圖 3、苦瓜‘台麗 2 號’熱季果實與種子發育	41

圖 4、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子乾燥耐受性：(A)新鮮種子 (B)乾燥種子..... 42

43

圖 5、加速老化處理溫度對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子發芽表現劣變之影響：

(A)涼季種子 (B)熱季種子 43

圖 6、加速老化處理時間對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子發芽表現的影響：(A)

涼季種子 (B)熱季種子 44

圖 7、發芽溫度及加速老化處理時間對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子發芽表現之

影響：(A)涼季種子 (B)熱季種子 (C)兩季種子 45

圖 8、苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子 23°C 之單一取樣時間胚根突出率與標準發

芽試驗最終發芽率之迴歸分析：(A)涼季種子 (B)熱季種子 46

圖 9、低溫處理溫度及時間對苦瓜‘月華’熱季種子次級休眠誘導之影響：(A)0°C (B)

-5°C (C)-10°C (D)-20°C 47

圖 10、熱處理溫度及時間打破對‘月華’苦瓜熱季種子次級休眠之效果 48

前言

近年來氣候變遷的程度逐漸上升，對農業的影響規模也隨之擴大，其中由全球暖化造成的平均溫度上升更是對許多糧食和蔬菜作物的生產造成威脅，在全球人口數仍持續增加的狀況下，如何維持甚至是提升作物的產量變成了很大的挑戰 (Abou-Hussein, 2012; Singh et al., 2013)。目前世界上約有80%的經濟作物是透過種子進行繁殖 (Marcos Filho, 2015)，種子的品質對於作物的發育和產量都有很大的影響，由優良之 F_1 種子所發育形成的植株不僅擁有較高的產量，還可能擁有更佳的抗耐性 (Siyal, 2019; Yuan, 1994)，因此其價格也遠高於其它種子，具有相當大的市場價值，探討環境溫度上升對於種子品質所造成的影響相關之研究也有上升之趨勢。苦瓜 (*Momordica charantia* L.) 為葫蘆科 (Cucurbitaceae) 苦瓜屬 (*Momordica*) 之草本蔓性作物，作為蔬菜食用時採收嫩果，果實本身具有相當高之營養價值，近年來又有相關研究指出治療糖尿病以及抑制腫瘤相關之藥用成分 (Fang and Ng, 2011; Khanna et al., 1981; Yeh et al., 2003)，因此越來越受到重視，為台灣重要之蔬菜作物之一。目前商業生產上以種子繁殖為主，台灣國內即可進行採種，且具有許多高價之 F_1 種子，因此確保優良苦瓜種子生產對國內苦瓜產業幫助很大。然而苦瓜屬於東方之特用作物，國際上針對其種子生理相關之研究並不多，目前坊間流傳苦瓜種子之儲藏壽命不穩定，且熱季生產之種子儲藏壽命較涼季種子短之現象，然未有具體之基本活勢資料及相關文獻深入探討，因此本研究調查熱季苦瓜種子發育過程中的活勢變化、比較熱季和涼季種子之活勢差異，並探討透過次級休眠誘導來提升熱季種子儲藏壽命之可能性，以期改善熱季苦瓜採種所遇到的問題。



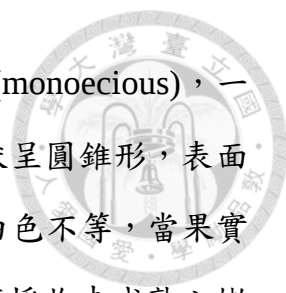
第一章、前人研究

第一節、苦瓜介紹

一、產業現況

苦瓜的生長適溫介於 25 到 35 °C 之間，15 °C 以下則生長及結果較差，且光照不足時，容易導致落花落果的現象 (陳及李，1995)。臺灣中部以北的苦瓜生產季節通常從 2 月開始，一直持續到 10 月結束；而南部則從 8 月開始，一直延續到隔年的 5 月結束 (Huang and Hsieh, 2016)。南部夏季時常受到高溫多雨的影響，容易引發病蟲害，其中包括露菌病、白粉病和炭疽病等 (林及鄧，2005)。此外，苦瓜還可透過嫁接絲瓜砧或南瓜砧的方式來培育苗，以增強其對萎凋病和淹水的抗病能力。一般而言，苦瓜播種至果實採收約需 50 至 80 天，依栽種季節而有不同，溫度越高、時間越短 (張等，2000)。近年來，受到政府禁止在河床地種植以及環境氣候變遷的影響，臺灣的苦瓜總收穫面積逐年減少。在 2010 年至 2019 年期間，每年的總收穫面積約為 1500-1700 公頃，總產量約為 27000-30000 公噸，單位面積產量平均在 17 公噸/公頃以上。屏東縣、高雄市和彰化縣是臺灣的主要苦瓜產區，其中屏東的收穫面積最大，達 644 公頃 (農業統計年報，2019)。苦瓜的栽培方式包括匍地栽培、隧道式栽培和網室栽培 (陳及李，1995)，而目前臺灣大多數的苦瓜栽培採用網室水平棚架栽培 (陳，2019)。早期的臺灣苦瓜品種多為開放授粉，以白色大果品種為主，大多數農民自行保留種子，但品種容易退化。然而，近 10 至 15 年來，F₁ 品種的銷售量因其產量高、品質好且穩定性強而受到農民廣泛接受 (Huang and Hsieh, 2016)。臺灣苦瓜品種可以依外型和顏色分為白玉苦瓜、蘋果苦瓜、粉青苦瓜、大青苦瓜、翠綠苦瓜和營養價值最高的山苦瓜 (陳，2019)。

二、植株型態和生育



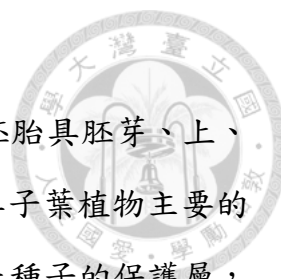
苦瓜 (*Momordica charantia* L.) 是一種雌雄同株異花 (monoecious)，一般來說，雄花比雌花先開放的植物。它的果實是漿果，形狀呈圓錐形，表面有許多瘤狀突起，果皮的顏色因品種而異，從濃綠色到乳白色不等，當果實成熟時會果肉會轉變為黃色，然後再轉為橘色，作為蔬果時採收未成熟之嫩果，種子生產時則是採收轉黃的果實。苦瓜的種子呈淡黃至黃褐色，具有硬化的種殼且表面有花紋，外圍包覆著假種皮，初時為白色或淡黃色、成熟前假種皮轉為深紅色，每個果實約有 20 至 30 粒種子 (張等，2000)。

三、營養價值

苦瓜通常食用未成熟的嫩果，富含豐富的礦物質和維生素，因此其營養價值比其他葫蘆科植物更高。苦瓜特有的苦味來自非毒性生物鹼苦瓜苷 (momordicine)，此外，苦瓜被認為是一種藥用植物，從中分離出許多具有藥理作用的成分，例如抗腫瘤、抗病毒以及免疫毒性的蛋白質 (plant resources of tropical africa database, PROTA)。其中，苦瓜素 (charantin)、維辛 (vicine) 以及多肽-p (polypeptide-p) 被認為是苦瓜果實中主要的降血糖成分，許多研究表明這些萃取物具有類似於胰島素的效果，可以有效降低糖尿病患者的血糖指數 (Khanna et al., 1981; Sofowora, 1993; Yeh et al., 2005)。近年來的研究還指出，苦瓜中的一系列蛋白質具有抗腫瘤和抗 HIV 的活性，其中裂解體蛋白 (ribosome-inactivating protein, RIP) 可以使特定的核糖體失去活性，進而阻止蛋白質的合成，在治療愛滋病和腫瘤方面具有潛力，且苦瓜之 type-1 RIP MAP30 抑制愛滋病毒的療效已受到肯定。因此，苦瓜在許多國家逐漸受到重視並被廣泛栽培 (Fang and Ng, 2011)；由於其繁殖為種子繁殖，因此種子生產也越來越重要。

第二節、種子結構和發育

一、種子結構



被子植物的種子主要由胚胎、種被、以及胚乳組成。胚胎具胚芽、上、下胚軸、胚根以及子葉組成，會發育成新的植株，胚乳是單子葉植物主要的養分儲存構造，雙子葉植物則將養分儲藏於子葉中。種被是種子的保護層，可分外種被 (testa) 及內種被 (tegument)，又各自可分為表 (exo)/中 (meso)/裡 (endo) 三層，由於多數種子具有厚壁組織層，因此可依厚壁層所在的位置，再加上不具厚壁細胞層的種被，共歸類為七種，例如外種被的表層細胞為厚壁組織稱表外種被型 (exotestal seed)。苦瓜種子之厚壁細胞位於外種被裡側，屬於裡外種被型 (endotestal seed)，且苦瓜之外種被硬化、細胞排列緊密可阻礙水分吸收，苦瓜硬化之種被又被稱為種殼 (Endress, 2011; Giuliani et al., 2016)。

二、種子發育

張等人依照苦瓜種子的外觀和質地將苦瓜種子劃分為五種不同的成熟度，I 級種子外觀呈現白色透明狀，長度小於 1 cm，尚未發育出種殼，胚發育至球型期的階段；II 級種子外觀呈白色較不透明，長度介於 1-1.3 cm，仍未具有種殼，胚發育至心臟型期至魚雷期之間；III 級種子外觀呈白色至乳黃色，長度大於 1.3 cm，已具有種殼但種殼仍未硬化，此時期胚發育已經接近成熟；IV 級種子種殼已開始變硬且出現些許紋路，外觀呈淡褐色，胚已發育成熟，種子內子葉尚未充實飽滿具空隙；V 級種子種殼紋路明顯，外觀呈深褐色，子葉充實飽滿 (張等，2000)。

將種子發育過程中的乾重作為縱軸，授粉後日數作為橫軸可以得到種子的充實曲線，並可以依照其特性不同分為滯留期 (lagging phase)、有效充實期 (effective filling) 以及脫水期 (maturation drying) 三個階段，在滯留期間無論胚或胚乳細胞分裂皆旺盛、細胞數目快速增加，然而種子的乾重以及含水率並不會有明顯變化，滯留期的長短依照作物而異。有效充實期間細胞數

量不變，但因胚乳和儲藏組織快速累積養分，種子快速增大，乾物質快速累積且種子含水率會逐漸下降，在有效充實期結束後種子的發芽能力達到最高峰，且種子乾重不再變化，此時稱其達到生理成熟 (physiological mature, PM) (Bewley et al., 2012; TeKrony et al., 1980)。脫水期種子乾重不變，鮮重因含水率快速下降而下降，此時期也是種子乾旱耐受性、休眠性、種子活勢及儲藏性發展的關鍵時期，當種子含水率下降至可以採收時，稱其達到採收成熟 (harvest mature, HM) (郭，2015; TeKrony et al., 1980)。

三、影響種子發育之因子

種子發育過程之中有許多環境因子會影響種子的品質，例如水分、溫度、光照以及逆境等等，其中溫度是最重要的影響因子之一 (Delouche, 1980)，在種子充實期間的高溫會造成穀物裂果，減少種子產量並使其更容易受到病害侵襲 (Farooq et al., 2011)；在低溫下充實的大豆種子發芽百分比、種子活勢均較佳，而高溫則會導致上述指標下降，而此現象可以歸因於高溫對種子蛋白質含量及結構的影響 (Keigley and Mullen, 1986)。在蔬菜作物中果實生長期的高溫會使番茄和胡蘿蔔的種子發育不均勻、大小及成熟度下降，進而影響發芽能力和發芽整齊度 (Bita and Gerats, 2013; Godwin et al., 2023)。

第三節、種子發芽階段

一、發芽階段

種子發芽過程可以分為三個階段，分別是浸潤 (imbibition)、活化 (activation) 以及發芽 (growth)。浸潤期種子快速吸水，逐漸喚醒內部的生化作用。活化期種子內部基因開始活化，透過轉錄以及轉譯啟動下游代謝作用，促使種子釋放出儲藏的養分，並開始啟動各項生理和生化機制，此時期種子含水率不會有明顯起伏，屬於吸水上的停滯期。發芽期胚根已突出種皮，開始快速伸長、子葉開展，此時期種子再度開始吸水，以供應生長所需 (Ibrahim,

2016)。



二、發芽階段和植物賀爾蒙變化的關聯

為了避免種子在尚未發育完全的情況下發芽，而喪失其傳宗接代的生理意義，在種子的發育過程中必須調控其發芽能力 (Bewley et al., 2012; Carrera-Castaño et al., 2020)，植物賀爾蒙 (phytohormones) 扮演了發芽能力調控的重要角色，其中又以離層酸 (abscisic acid, ABA)、植物生長素 (auxin) 以及 gibberellin (GA) 為主。ABA 能夠抑制種子萌發、調節水分平衡並且作為植物抗逆境反應的一部分，在大多數種子中，ABA 負責了種子發育前半段的發芽抑制，於種子發育初期雖然 ABA 的含量較低，但對 ABA 的敏感性較高，到了種子發育中期，ABA 含量逐漸上升，對 ABA 的敏感度則是下降。此時由 ABA 等組織內容物構成的滲透調節物質 (osmoticum) 來接管發芽的抑制，透過增加種子體內的滲透壓來限制水分的進入，達到發芽抑制的效果 (Gubler et al., 2005)。Auxin 能夠軟化種皮或種殼，使種子更容易吸水，同時能夠促使幼苗細胞伸長，幫助其突破種皮或者土壤，並可以用於調控幼苗的生長方向。GA 可以打破種子的休眠、調控種子儲藏養分的釋放，刺激種子的萌發，促使種子進行生長 (Cohn et al., 2005; Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006)。

三、發芽溫度對種子發芽表現之影響

種子的發芽表現受到許多環境因子影響，其中溫度是最重要的影響因子之一，低於發芽適溫的溫度不對種子發芽百分比造成影響，但會降低種子發芽速率，溫度越低、種子基礎活勢越差，受到的影響也較大，在一定範圍內將溫度回升可回復種子的發芽速率 (Totterdel and Roberts, 1979)；當溫度高於發芽適溫，失去發芽能力的種子比例隨溫度上升而增加，並且種子永久失去發芽能力，無法透過低溫回復 (Watt and Bloomberg, 2012)。



第四節、種子休眠性

一、休眠的定義和調控

種子休眠的定義是即使在適合發芽的環境下種子仍然無法萌發，其生理意義是在時間和空間上的錯開種子發芽時間，可以減少競爭、有效增加子代的存活率。種子休眠性的調控受到許多基因、植物賀爾蒙和環境因素的影響，ABA 是主要造成種子休眠的植物賀爾蒙，而 GA、油菜素 (brassinolide, BR) 則可以打破種子的休眠 (Cohn et al., 2005; Gubler et al., 2005)。

二、種子休眠的類型

種子休眠性可依照其特性分為兩種，初級休眠 (primary dormancy) 及次級休眠 (secondary dormancy)。初級休眠可分成物理性休眠及生理性休眠，通常是在種子發育後期形成的，且會在種子採收後持續一段時間再解除，例如種殼休眠、胚/胚軸休眠及雙重休眠等。初級休眠的形成是與種子本身的生理和生化特性所有關，透過種子內部的生長抑制物質或者一些物理上的發芽障礙形成。次級休眠 (secondary dormancy) 是指在不利於發芽的環境所誘導的種子休眠性，由於種子採收時不具此休眠性，因此又被稱為誘發休眠 (induced dormancy) (Baskin and Baskin, 2004; Penfield, 2017)，例如將浸潤過後的需光種子置於黑暗環境下所引起的光休眠 (skotodormancy) (Bewley, 1980) 以及將種子至於高溫底下所引起的熱休眠 (thermodormancy) (Cantliffe et al., 1984)；此外，次級休眠通常會需要更特定且更精準的條件來打破 (Penfield, 2017)。

三、苦瓜種子的休眠性

苦瓜種子具不透水的硬殼，會阻礙種子吸水及發芽，因此透過刻傷、超音波處理或溫水浸種都可以有效破除阻礙，為物理性的初級休眠 (黃, 2011) (Wang et al., 2003)；生理性初級休眠則未有定論。亞洲-世界蔬菜中心研究指

出苦瓜種子經儲藏後有發芽百分比及發芽速率上升之現象，顯示苦瓜種子可能具有生理休眠，並隨著儲藏時間逐漸解除 (Ebert and Huang, 2015)。徐之研究發現，苦瓜種子發芽能力達高峰後若繼續成熟則反而下降，顯示種子可能於成熟後期進入休眠 (徐，2021)。

第五節、種子儲藏

一、種子儲藏性分類

種子的儲藏性與種子含水率 (moisture content) 及儲藏環境溫度有關，一般而言含水率越高、溫度越高，種子活力喪失越快；反之，對特定種子可忍受的條件下，含水率越低、溫度越低，種子活力可以保存越久。因此，依據種子的儲藏性分為正儲型 (orthodox)、異儲型 (recalcitrant) 以及中間型 (intermediate) (Pritchard, 2004)。正儲型種子乾燥耐受性強 (desiccation tolerance)，種子含水率可降低至 2%~6%，在 10-5°C 可保存數年至數十年，並且可在 -20°C 的低溫下冷凍保存，一般農藝作物、草類種子大多屬於此類型。異儲型種子含水率很高、不耐低溫以及乾燥，也不耐儲藏，種子最低含水率大約在 15%-20%，若將含水率調降至過低就會導致種子死亡；此外，此類種子容易失去發芽能力，難以長時間進行保存，即使在 20°C 以上的高溫、高溼環境保存，種子儲藏壽命仍短，例如可可、橡膠的種子都屬於此類型 (Chin, 1990; Chin et al., 1989)。中間型種子介於上述兩種分類之間，可以忍受一定程度的乾燥和低溫，種子最低含水率大約在 10%-12.5% 之間，最低溫則在 5-10°C 左右，並且在該範圍內溫度以及含水率越低就可以保存越長的時間，但當種子含水率更低，或者溫度在 0°C 以下時，種子壽命反而會縮短，番木瓜、咖啡、油棕的種子均屬於此類型 (Ellis et al., 1990)。

二、苦瓜種子儲藏性

苦瓜種子儲藏特性相關的研究並不多，儲藏特性也仍未有定論。皇家植



物園的種子資料庫將苦瓜種子歸類為正儲型種子 (Royal Botanic Gardens, Kew)，另外將含水率調降至 2.7% 後於室溫儲藏 12 個月之苦瓜種子仍有 78.0% 之發芽百分比，也符合正儲型種子可耐乾燥的儲藏特性 (張等, 2000)。然而一些研究也指出不同觀點，Ebert 等的研究指出-18°C 至-20°C 的儲藏溫度會使苦瓜種子喪失發芽能力 (Ebert and Huang, 2015)，Hemal 等觀察到苦瓜種子在低溫環境下儲藏一年後發芽率急速下降 (Hemal Fonseka and Fonseka, 2009)，Lin 等將苦瓜種子含水率調製至 8.4% 儲藏於室溫一年，其發芽百分比降低 60% (Lin et al., 2005)，亞洲-世界蔬菜研究發展中心 (Asian Vegetable Research and Development Center, AVRDC) 以 0°C 以下的溫度儲藏苦瓜種子，發現會對種子造成嚴重傷害，使其喪失發芽能力，此些特質均較接近於中間型種子的儲藏特性。Bopper 和 Kruse 指出苦瓜種子遇-20°C 的低溫會使種子無法發芽，但透過短暫的高溫處理可恢復其發芽能力，顯示 -20°C 是誘導種子次級休眠而非致死，因此認為苦瓜種子是正儲型種子 (Bopper and Kruse, 2018)。

三、種子休眠性和種子儲藏性的關係

延長種子壽命 (longevity) 對於商業生產和種原的保存都有很大的助益 (Solberg et al., 2020)，除了種子的儲藏環境外，休眠性也是影響種子壽命的重要因子，然而種子休眠性和壽命之間的關聯仍未被完全解明。部分研究發現阿拉伯芥調控種子成熟的關鍵基因 *leafy cotyledon1 (lec1)*、*abscisic acid insensitive 3 (abi3)*、*transparent testa (tt)* 以及 *aberrant testa shape (ats)* 等若發生突變，會導致種子休眠性下降，同時也會讓種子更容易在儲藏過程中失去發芽能力，故推測阿拉伯芥種子休眠性和壽命呈正相關 (Clerkx et al., 2004; Debeaujon and Koornneef, 2000; Ooms et al., 1993; Sugliani et al., 2009)。然而，Nguyen 等發現阿拉伯芥調控儲藏壽命相關基因 *Ability after storage (GAASI-*

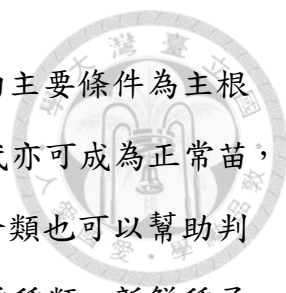
5) 和調控休眠性相關之基因 Delay of germination (*DOG*) 是重疊的，並發現 *DOG1-Cape Verde Island* 這個等位基因在增加種子休眠性的同時卻降低了種子的保存期限 (Nguyen et al., 2012)；此外，在小麥中也發現到種子休眠性和其壽命成負相關的現象 (Zhang et al., 2021)。但也有研究認為種子休眠性和其壽命並沒有顯著的關聯性 (Jurado and Flores, 2005)。綜合上述，種子休眠性和其壽命的關連性並無定論，且所有研究均著重在初級休眠，目前並無研究探討次級休眠和種子壽命之間的關聯性。

第六節、種子活勢檢測

一、種子活勢的定義和檢測

種子活勢 (seed vigor) 是用以描述種子品質的集合概念，包含種子發芽百分比、幼苗出土速度、發芽整齊度以及耐儲藏性等特性 (Marcos Filho, 2015)。國際種子檢查協會 (International Seed Testing Association, ISTA) 將種子活勢的測量方法分為發芽法、生理生化法及複式檢定法，而發芽法為最簡單的方法，不需要複雜設備即能執行，包含標準發芽試驗 (standard germination test)、加速老化法 (accelerated aging test, AA test)、胚根突出法 (radicle emergence test, RE test) 等，上述方法所獲得的發芽參數，除種子的最終發芽百分比 (final germination percentage, FGP)、達最終發芽百分比 25% (GT₂₅)、50% (GT₅₀)、75% (GT₇₅) 所需時間等參數外，還能夠計算出平均發芽時間 (mean germination time, MGT)，並且推估發芽速率以及發芽整齊度 (International Seed Testing Association, ISTA)。

在進行發芽試驗時，也需要對幼苗的正常與否進行判斷，若是種子順利發芽但無法形成正常苗，則該發芽百分比就無法反應於田間的生產能力，也會影響育苗時所需播種的種子數量。ISTA 將種子依照單雙子葉以及出土與否大致區分為四個歸類，再依照各別作物的特色去進行區分以及歸納，其中



苦瓜屬於代號 2.1.1.2 之出土型雙子葉植物，正常苗判別的主要條件為主根要順利生長，若是主根生長受阻但有足夠的二次根做為取代亦可成為正常苗，但若兩者皆無則會被歸類在不正常苗。另外未發芽種子的分類也可以幫助判斷種子品質，未發芽種子可以分為硬粒、新鮮以及死亡三種種類，新鮮種子在試驗結束後大多仍保持原樣而未腐爛發霉，可能是由於吸水後不當的環境條件導致其發芽受阻。死亡種子於發芽試驗結束後已經明顯軟化、發霉或者變色，硬粒種子則是沒有吸水之種子 (International Seed Testing Association, ISTA)。

二、標準發芽試驗和胚根突出法

標準發芽試驗所使用的溫度通常是種子發芽的最適溫度範圍，其意義就是測量種子在最佳環境下的發芽表現，可以定義胚根突出 ≥ 2 mm 為發芽，此時為種子發芽吸水第二階段的結束，也可定義為上胚軸突出介質表面，此種子發芽吸水第三階段。胚根突出法則是專指在低於發芽適溫 5-7°C 的溫度來進行發芽檢測，這種在略低於最適發芽溫度下的發芽檢測屬涼溫測試 (cold test)，因為低溫會使種子的發芽速率下降，且活勢較差的種子受到的影響較大 (Totterdel and Roberts, 1979; Wang et al., 2018)，因此胚根突出法可以有有效的篩選出活勢較好的種子，在試驗初期會密集的觀察並記錄各批次種子胚根突出的數量，將單一時間點的 FGP_{RE} 與田間 FGP 進行回歸分析，找出一個既可分離各種子批次，又可反應種子在田間的發芽能力之時間，藉以快速檢測種子活勢 (Perveen et al., 2010)。

三、加速老化法

種子加速老化是依據種子在高溫高溼的環境下，種子會快速的劣變的原理所擬定的種子活勢檢測方法，將種子暴露在 40-50°C 的高溫，並且將濕度控制在 75%-100%，以促進種子吸收水分並且氧化，農業部門和種子公司常



使用此方法來檢定不同批次間種子的品質的差異 (Kapoor et al., 2011) , Garcia 等透過加速老化選出田間發芽表現較佳的水稻種子 (Garcia and Coelho, 2021) ; McDonald 等則是透過加速老化測試了不同蔬菜種子的品質及壽命 (McDonald, 1999) 。加速老化過程中的溫度和濕度都需要嚴格控制。Hsu 等使用 40°C / 100% RH 的條件加速老化苦瓜種子 (Hsu et al., 2003) , Masoumeh 等以 45°C / 95% RH 處理南瓜種子 (Masoumeh Asadi et al., 2023) , Al-maskri 等則使用 45°C / 100% RH 處理黃瓜種子 (Al-Maskri et al., 2002) , 合適之條件會依物種而略有所差異。



第二章、材料方法

第一節、苦瓜熱季及涼季種子採種

本試驗以 F₁ 苦瓜‘台麗 2 號’(稼穡種子，台南，台灣)為試驗材料。將苦瓜種子刻傷處理後，以流動之自來水浸種 24hr，並置於裝有 6mL 二次水之培養皿中，於 30℃ 無光的環境下進行催芽。待胚根突出種殼 2 mm 後移至裝有泥炭土之穴盤中，於國立台灣大學園藝分場進行育苗，待苗株生長至 4-5 片本葉後定植，熱季苦瓜種子基本調查試驗，植株定植時間為 2022/5/15，種植植株 24 株。涼季及熱季種子活勢試驗，植株定植時間分別為 2022/8/29 及 2023/2/6，各種植 40 株植株。

定植所使用之容器為於內側鋪上黑色塑膠布之橘色長方形塑膠籃(45.5 cm × 33.3 cm × 27.7 cm，約 42 L)，每籃裝有泥炭土:珍珠石 4:1 之介質約 35L，定植兩株苦瓜苗。此外以綠竹及爬藤網搭設棚架供苦瓜藤蔓攀爬。待主蔓成長至約 50 公分時將底部 25 公分之葉片及側蔓去除，以利通風並減少病害的發生，當主蔓高度達到棚架高度後摘心，並將側蔓做牽引以免互相遮蔭，當主蔓出現第一朵雌花後，選取五條較為健壯之側蔓，其餘全數修剪，同時剪除植株下部的老黃葉，並將留下之側蔓再次牽引。於雌花出現後 2-3 周進行第二次修剪，此時去除植株末端長勢較差之藤蔓、植株下部較弱之側蔓以及只開雄花不開雌花之側蔓，另外定期去除多餘之側蔓以及老病葉以利通風並降低植株罹病機率。試驗期間，灌溉參考耿 (2014) 之苦瓜平均日耗水量，苗期 0.68 mm/day、花期 2.39mm/day、幼果期 3.63 mm/day、採收期 2.25 mm/day，保持土壤濕度避免劇烈波動。此外於定植後每週噴施 1500 倍之免賴得 (benomyl) 水溶液以抗白粉病並噴施得芬諾以及亞滅培防治斜紋夜盜蛾，若遇連日潮濕的氣候則會視發病情形施用 400 倍之蕁狀芽孢桿菌以避免萎凋病。營養元素的充足與否對苦瓜植株的產量影響巨大，故於營養生

長期每 5 日噴施一次 1000 倍之葉綠精 (hakaphos blue 15:10:15) 水溶液，第一朵花出現後每 7 日噴施 1000 倍之花精 (basfoliar 15:30:15) 水溶液，並在果實出現後每 7 日噴施 1000 倍之甜果精 (nitrophoska solub 8 : 12 : 24) 水溶液。

熱季苦瓜種子基本調查試驗，於 2022/7/12 開始授粉，授粉時取當日開放之雄花及雌花進行授粉並標記授粉日期，授粉時間為早上 6-10 點。每日授粉所有已開放之雌花，並依照授粉後天數 (days after pollination, DAP) 採收果實，1-13DAP 每 2 日採收一次，每次取兩果，14-22DAP 每日採收至少五果以調查種子成熟和果實發育之關係，並依試驗所需種子級數調整採收數量，果實生長期間溫室內平均日最高溫約 34°C，最低溫約 26°C，均溫約 30°C。

涼季及熱季種子活勢比較試驗，以採收 V 級種子為目的。將果實爆裂日做為採收基準，涼季果實生長期為 2022/11/15 至 12 月底，由授粉至爆裂約需 32 日，果實生長期溫室內最高溫約 20-25°C，最低溫約 15°C，均溫約 22°C；熱季果實生長期為 2023/4 月底至 6 月初，由授粉至爆裂約需 22 日，果實生長期溫室內最高溫為 34°C，最低溫約 24°C，均溫約 29°C。採收後將種子含水率調製到 6%，再儲藏於 4°C 冰箱備用。

第二節、熱季種子發育成熟度試驗

果實採收後調查果實之長、寬、重、種子數以及各級種子占比，種子則依照前人所提之分級 (張等，2000)，調查 II-V 級各級種子百粒重、平均種子長、寬、厚度，各級種子調查 4 重複，每重複 20 粒種子。II-V 級種子保留 100 粒進行新鮮種子發芽檢測外，其餘 IV 及 V 級種子參考徐 (2021) 所測量之種子含水率，將種子秤重後置於 25°C 之恆溫箱中以調降含水率至 6% (以下簡稱乾燥種子)，含水率調製方式參考以下公式:需求種子重 =

$$[(100 - \text{初始含水率}(\%))/[(100 - \text{需求含水率}(\%)) \times \text{初始種子重}] \times \text{得目標種子重}]$$
重後，每日將種子取出秤重直至達到目標重量後儲藏於 4℃ 冰箱備用，並進行種子標準發芽能力檢測。



第三節、種子發芽檢測

種子標準發芽能力檢測是依據 ISTA 規範，將種子置於裝有二次水之培養皿中，使用紙上法於 30℃ 完全無光環境下進行發芽試驗，每處理 4 重複，每重複 25 粒種子。發芽標準為突出之胚根 $\geq 2\text{mm}$ ，試驗時間為 14 日，紀錄每日種子發芽數，試驗結束計算最終發芽百分比 (standard final germination percentage, FGP_{Std})、平均發芽時間 (mean germination time, MGT)、發芽百分比 25% (GT_{25})、50% (GT_{50})、75% (GT_{75}) 所需時間及發芽整齊度 (GT_{25-75})。

種子活勢檢測試驗是以胚根突出法檢定，每處理 4 重複，每重複 25 粒種子；發芽溫度設定為略低於最適溫度的 23℃，其他條件與標準發芽法相同，試驗開始後每 6 小時觀察一次，紀錄突出之胚根 $\geq 2\text{ mm}$ 之種子數，並計算 FGP_{RE} 、 MGT_{RE} 、 $\text{GT}_{\text{RE}25}$ 、 $\text{GT}_{\text{RE}50}$ 、 $\text{GT}_{\text{RE}75}$ 以及 $\text{GT}_{\text{RE}25-75}$ ，以及將各時間點的 FGP_{RE} 與 FGP_{Std} 進行相關性分析，選出苦瓜胚根突出法的單一取樣時間點。熱、涼季種子活勢差異試驗中並調查苗型及未發芽種子類別，並於試驗開始 7 日後將未發芽且仍未死亡之種子移至 30℃ 下觀察 7 日，依然未發芽也未死亡之種子則移至以 0.2% KNO_3 取代二次水之培養皿中觀察 7 日。

第四節、加速老化試驗

本試驗以加速老化及胚根突出法進行種子活勢檢測，評估涼季及熱季種子活勢差異。加速老化條件試驗，先在加速老化盒中加入 200mL 二次水以維持盒內 100 % RH，接著將種子置於絹布網上、種子間彼此不重疊，蓋上蓋子，每處理 2 重複，每重複 10 粒種子；老化溫度處理為 40-42℃，老化天

數為 1-6 天，每日取出一盒以標準發芽法檢測種子發芽能力，檢測方式如第三節所述，由上述發芽參數選定苦瓜種子加速老化條件為 41°C/100% RH 作為後續試驗加速老化條件。涼、熱季種子活勢差異評估試驗，是將種子以 41°C/100% RH 老化 0-6 日後，再以胚根突出法檢測，每處理 4 重複，每重複 25 粒種子，檢測方式如第三節所述。

第五節、熱季苦瓜種子次級休眠誘導之評估

本試驗以稼穡種子公司夏作生產之苦瓜‘月華’ (F₁) 種子作為材料，實驗前測得該批次種子含水率為 6%，以標準發芽試驗測得其發芽百分比為 99%。由於進行預備試驗時發霉狀況嚴重且發芽狀況不佳，因此與苦瓜‘月華’種子相關之發芽檢測試驗前均會先去除種皮。次級休眠誘導條件測試試驗，測試溫度為 0、-5、-10、-20°C、時間為 1-3 日，每處理 4 重複，每重複 25 粒種子，處理後將種子至於回溫 1 日進行標準發芽檢測，檢測方式如第三節所述。

打破次級休眠溫度條件測試，將種子分裝為每小袋 100 粒種子，經次級休眠誘導後，再置於室溫 1 日後，將種子攤平以鋁箔紙包覆成扁平狀，並確保種子間沒有互相重疊，再給予高溫打破休眠，高溫處理為 40、42、44、46、48 及 50°C，每處理各放入 6 包種子，每包種子同樣不相互重疊以確保受熱均勻。於試驗開始後之 2.5、5、10、20、40、80 分各取出一包種子，於室溫下回溫 1 日後，以胚根突出法進行檢測種子活勢檢測，每處理四重複，每重複 25 粒種子，檢測方式如第三節所述。

第六節、統計分析

以 SPSS 統計軟體 (Statistical Product and Service Solutions, SPSS) 進行 ANOVA (analysis of variance procedure) 變方分析 ($\alpha=0.05$)，後以 Tukey HSD test 進行事後檢定，其中發芽率資料經過角度轉換，另外兩季種子比較

時以 Student t test 進行檢定。





第三章、結果

第一節、夏季苦瓜種子發育和發芽特徵

夏季苦瓜‘台麗 2 號’由授粉至果實爆裂約需 22 日，果實生長曲線屬於單 S 型 (圖 1)。果長及果寬 1-11DAP 快速增加，12DAP 開始進入平緩期，此時果長與果寬分別為 14.7 cm 及 4.1 cm，爆裂前果長為 18.6 cm、果寬為 5cm；鮮重在 8DAP 前並未顯著提高，快速成長期為 9-15DAP，由 23 g 增加至 180.7 g，爆裂前達約 220 g (圖 1)。果實外觀顏色在 16DAP 前均呈現淺綠色，17DAP 開始由遠軸端開始轉黃，20DAP 時大多數果實均已完全轉色，每果實約有 25-35 粒種子。

夏季苦瓜‘台麗 2 號’種子成熟過程可依外觀分為 I 到 V 級，I、II 級種子呈白色微透明狀，III 級種子出現仍未硬化的乳白色種殼，IV 級種子種殼已硬化、呈淡褐色且開始出現紋路，V 級種子則呈現深褐色且具明顯紋路 (圖 2A)。種子外觀參數生長曲線成呈 S 型，I 至 III 級為生長快速期、III 至 V 級為平緩期 (圖 2B)，平緩期種子外觀大小變化不大，但此段時間為內含物累積的重要時期，將各級種子大量出現的授粉後天數與各級種子的百粒重做圖，可見 IV 到 V 級的鮮重累積量雖然較為平緩 (圖 2C)，但仍佔總量的 20 % (表 1)，對應時間為 14-22DAP 間，14-16DAP 為 IV 級種子出現的高峰 (表 2)，17DAP 為 V 級種子首次出現的時間 (圖 3)，也是果實開始轉黃的時間；此後果實內 V 級種子數量快速增加，且在 19-20DAP 由 36.3% 上升至 80.6%，此時果實完全轉黃，是夏季苦瓜種子達到成熟的關鍵時期，20-22DAP 各級種子的比例沒有顯著差異。

IV 及 V 級的新鮮種子的 FGP_{Std} 分別是 73 % 及 100 % (圖 4)，兩者均在試驗第 3 日開始有種子突出胚根，II 及 III 級種子則不具發芽能力。新鮮 V 級種子的發芽速率 (MGT_{Std} 及 GT_{Std50}) 顯著較快、整齊度 ($GT_{Std25-75}$) 也

顯著較高 (表 3)。調降含水率不影響 V 級種子的 FGP_{Std} 、發芽速率及發芽整齊度；IV 級種子的 FGP_{Std} 下降 63%，但可發芽的種子的發芽速率及發芽整齊度則不受影響。此外 IV 及 V 級乾燥種子也是從試驗開始後第 3 日開始發芽 (圖 4 和表 3)。

以種子發育成幼苗的數據看，V 級新鮮種子全數可發育成正常苗，有強健的主根及茂盛的次生根，具發育成健康植株的潛力；調降含水率，雖未顯著降低 FGP_{Std} 及正常苗的比例，但 6.3% 種子進入休眠，在標準發芽試驗結束後，移到含 2% KNO_3 的培養皿中，種子在 3 日內盡數發芽且發育成正常苗 (表 4)。IV 級新鮮種子中，73.3% 具發芽能力且發育成正常苗，23.3% 為硬粒種子、3.3% 為死亡種子；種子經過乾燥處理後，90% 的種子在發芽試驗調查期間死亡腐爛，10% 種子胚根雖可突出，但生長停滯或二級根稀少，不具發育成健康幼苗的潛力。

第二節、加速老化對熱及涼季種子發芽表現的影響

涼季與熱季採收的成熟種子，在進行加速老化前， FGP_{Std} 沒有顯著差異，但熱季種子 MGT_{Std} 、 GT_{Std75} 以及 $GT_{Std25-75}$ 顯著較涼季收種子長 (表 5)。加速老化處理的溫度越高， FGP_{AAStd} 下降的速度越快，而熱季種子下降趨勢更快，惟 40°C 老化處理效果不佳 (圖 5)，兩季種子 FGP_{AAStd} 也沒有顯著差異 (表 5)。試驗結束後仍未發芽之種子全數均發霉變色或軟爛死亡，顯示老化處理後沒有發芽能力的種子已經死亡。41°C 處理 6 日能使涼季種子的 FGP_{AAStd} 由 100% 下降至 20%，線性回歸曲線為 $y = -13.57x + 102.14$ ，半數失活時間 (leath time for 50% of seeds, LT_{AA50}) 約為 3.8 日，42°C 老化效果更強，僅需 5 日即可使 FGP_{AAStd} 下降至 0%， LT_{AA50} 為 2.4 日。熱季種子 41°C 與 42°C 的 LT_{AA50} 分別為 2.5 日和 1.8 日。

加速老化時間較短時對苦瓜‘台麗 2 號’種子發芽參數具有改善效果，但

時間拉長後效果會消失甚至使發芽參數劣化，且此時間之長短受到溫度的影響，以涼季採收之苦瓜‘台麗 2 號’種子為例，40 或 41°C 老化處理 1-4 日能降低其 MGT_{AASd} 、 GT_{AASd25} 、 GT_{AASd50} 、 GT_{AASd75} 、及 $GT_{AASd25-75}$ ，但 5-6 日之處理下發芽參數和 CK 沒有顯著差異，當老化溫度提高到 42°C 則只有 1-3 日之處理可以改善發芽參數，4 日之處理沒有顯著差異，5-6 日之處理使全部種子喪失發芽能力 (表 5)。夏季採收之苦瓜‘台麗 2 號’種子和涼季採收種子具有相同趨勢，但加速老化對發芽參數造成負面影響的時間點提前，以 42°C 處理 1 日後種子發芽參數和 CK 無顯著差異，2 日以上處理使發芽參數開始劣化，且 41°C 處理 5 日或 42°C 處理 4 日就使全部種子失去發芽能力 (表 5)。

以胚根突出法檢視 41°C 下的老化處理後的苦瓜種子活勢，觀察到胚根開始突出的時間點隨老化處理的時間增長而延後， FGP_{AARE} 也隨著加速老化處理時間增加而下降 (圖 6)。涼季種子 6 日的老化處理，胚根開始突出時間點由浸潤後 30hr 延後至 114 hr， FGP_{AARE} 由 100 % 下降至 6.3 %。熱季種子也有相同趨勢，老化處理前 FGP_{RE} 為 45 %，處理 6 日後 FGP_{AARE} 降為 0 %，胚根開始突出之時間分別是 36 hr 和 66 hr。老化處理期間， MGT_{AARE} 、 GT_{AARE25} 、 GT_{AARE50} 、及 GT_{AARE75} 等發芽速率相關參數先降後升，涼季與熱季種子趨勢相同，老化處理 4 日內，兩者數值無顯著差異 (表 6)。此外，經老化處理後的種子，胚根可以在 23°C 下突出者，幾乎都可以發育成正常苗，喪失突出胚根能力的種子，以硬粒種子為多數，其次是新鮮種子，再其次是死亡種子 (表 7)。老化處理前，熱季種子僅 45 % 可以在 23°C 突出胚根並發育成正常苗，剩餘的種子 7.5 % 為新鮮種子、47.5 % 為硬粒種子，這些未發芽種子移到 30°C 再浸潤一週，又有 50 % 種子發芽，其中新鮮種子全數發芽，老化處理 2 天內，新鮮種子移到 30°C 仍可發芽，但處理更久就無法發芽 (圖 7B)。涼季種子老化處理 6 天，新鮮種子仍可在 30°C 發芽 (圖 7A)。為求得苦瓜種

子胚根突出法的單一取樣時間點，以加速老化不同天數處理的涼季及熱季種子為材料，將兩批次種子的 FGP_{Std} 和 FGP_{RE} 做線性迴歸，浸潤後 90 hr 涼季和熱季種子的 r 分別為 0.9548 和 0.9383，因此選取浸潤後 90 hr 為合適的單一取樣時間點 (圖 8)。

第三節、熱季苦瓜種子次級休眠誘導之評估

低於 -10°C 的溫度可以誘導熱季苦瓜種子的次級休眠，以 0 或 -5°C 處理 1-3 日對熱季苦瓜種子發芽百分比沒有顯著影響，但發芽時間會隨著處理時間增加而延後， -10°C 處理 1 日能使 60 % 之種子進入次級休眠，處理 3 日可使 92 % 之種子進入休眠， -20°C 處理 1 日即可達到 100 % 之休眠誘導 (圖 8)。低溫處理會對熱季苦瓜種子的發芽參數造成影響，在 0 或 -5°C 之環境下， MGT_{Std} 、 GT_{Std25} 、 GT_{Std50} 、 GT_{Std75} 隨處理時間延長而增加，但由於 GT_{Std25} 相較於 GT_{Std75} 增加較多，整體發芽整齊度反而有些微上升。在 -10°C 之環境下，種子的發芽參數略差於 CK，且不因處理時間不同而有差異 (表 8)。

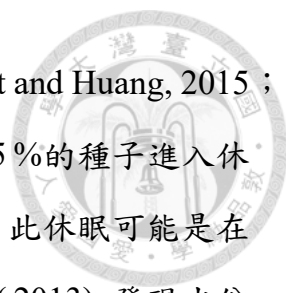
$40-50^{\circ}\text{C}$ 的高溫都可以有效打破前述低溫所誘導的次級休眠，但溫度越高打破的效率越好、所需時間越短， $46-50^{\circ}\text{C}$ 處理 5 分鐘幾乎可以打破所有種子的次級休眠， 40°C 則需要處理約 20 分鐘 (圖 9)。種子經次級休眠誘導及打破後，發芽速率相關參數雖顯著上升，但實際差異大約是 1 天，因 GT_{RE25} 增幅大於 GT_{RE75} ， $GT_{RE25-75}$ 較短，反應出了發芽整齊度的提升 (表 9)。胚根突出法是測試種子活勢，因此數據顯示次級休眠誘導及打破對種子活勢的影響不大。

第四章、討論

第一節、熱季苦瓜種子發育和發芽特徵

夏季苦瓜‘台麗 2 號’種子鮮重於 II 至 IV 級快速增加，IV 至 V 級增加速率趨緩 (圖 2C)，對照徐之研究指出苦瓜 I 及 IV 級種子的相對含水率分別為 89.6% 及 62.0%，下降 28%；IV 至 V 級則再下降 24%，下降幅度較為劇烈 (徐，2021)。對照 TeKrony 等所提出之種子發育曲線與種子含水率變化曲線，可知 II 至 IV 級之苦瓜種子處在有效充實期，種子重量快速增加，且含水率下降速率緩慢；IV 至 V 級之種子重量上升趨緩、脫水速率上升，代表種子在此階段由細胞擴大期逐漸進入脫水期 (TeKrony et al., 1980)。

新鮮 IV 級種子的 FGP_{Std} 僅 73%，雖全數發育為正常苗，但部分種子尚未完全達到生理成熟 (physiological mature)，發芽速率及整齊度都較 V 級種子差；V 級種子的 FGP_{Std} 為 100%，且發芽速率及整齊度都顯著優於 IV 級種子 (表 3 和圖 4)。將 IV 種子含水率依苦瓜種子發育過程含水率變化曲線 (徐，2021) 將含水率調降至 5%-6% 後在 30°C 下進行發芽試驗，完全沒有正常苗、10% 的種子發育成不正常苗，90% 的 IV 種子死亡，顯示 IV 種子的乾旱耐受性尚未建立，於水分調降過程中死亡。V 級新鮮種子的 FGP_{Std} 為 100%，全數可發育為正常苗，調降含水率後 FGP_{Std} 沒有顯著差異，顯示 V 級種子不具休眠性，且經歷過脫水期已經具有乾燥耐受性，進入採收成熟 (harvest mature)，少部分的種子 (6.25%) 呈不發芽的新鮮種子狀態，經 2% KNO_3 處理，可以發芽，證實其為休眠種子 (表 4)。張等認為苦瓜胚胎於 IV 級發育成熟，V 級時種子發育完全且子葉充實；Tekrony 等提出種子在有效充實期結束後達生理成熟，發芽能力達到高峰，並在脫水期發育出乾旱耐受性，達到採收成熟，本研究之結果大致與前人研究相吻合 (TeKrony et al., 1980；張等，2000)；V 級種子不具有生理性的初級休眠，和亞洲-世界蔬菜



研究中心以及徐 (2021) 之研究所提之觀點略有不同 (Ebert and Huang, 2015; 徐, 2021)。此外，V 級種子在調降含水率過程中，有 6.25 % 的種子進入休眠，可以 2 % KNO_3 打破休眠，進而發育成正常苗 (表 4)，此休眠可能是在種子調製過程誘發的，定義上屬於次級休眠。Hoang 等人 (2013) 發現水份是調控大麥種子次級休眠之關鍵因子，且在種子含水量高於 $0.38\text{g H}_2\text{O g}^{-1}\text{DW}$ 時會進入次級休眠。Perkun 等人也發現油菜種子在含水率高時次級休眠的比例較高，並進一步指出種子含水量會影響光敏系統，而光敏系統又與休眠和發芽的調節有關 (Pekrun et al., 1997)。本研究中，在苦瓜含水率調製過程中，部分種子進入休眠，其原因是否與大麥或油菜相同仍待研究。

夏季苦瓜‘台麗 2 號’果實開始轉色時 (17DAP)，才開始出現具商品價值的 V 級種子，果實在 3-4 天內完全轉色 (20DAP)，此時 V 級種子比率也達到最高，此成熟種子比率並不因繼續掛果而增加，由於夏季高溫容易加速果實爆裂，因此果實完全轉色即應採收種子 (圖 3)。許多研究也指出了果實轉色和種子成熟的關聯性，Elias 等發現西洋油菜的種子在果莢由綠轉黃時達到生理成熟，果莢由黃轉褐時達到採收成熟，種子於生理成熟至採收成熟乾重雖無明顯變化，但達採收成熟之種子具有較佳之種子活勢 (Elias and Copeland, 2001)；大豆果莢由綠轉黃時是種子達到生理成熟的時機 (Crookston and Hill, 1978; TeKrony et al., 1979)。以葫蘆科作物而言，目前香瓜和西瓜主要藉由果實的斑點轉黃和卷鬚枯萎來作為種子成熟的判斷標準，南瓜果實此階段種子發育尚未成熟，需要將果實額外留在植株上 10-20 天以提高種子品質 (Maynard, 2007)。苦瓜則仍未有相關研究指出如何透過果實外觀來判斷種子之成熟度。然而，本試驗於涼季種植之苦瓜‘台麗 2 號’果實轉色情形較差，大多數果實至爆裂前都沒有轉色，故無法以此標準來進行判斷。

第二節、涼季及熱季種子活勢的差異

種子活勢 (seed vigor) 是用以描述種子品質的集合概念，包含種子發芽百分比、幼苗出土速度、發芽整齊度以及耐儲藏性等特性 (Marcos Filho, 2015)；因此，判斷種子活勢差異僅以 FGP_{Std} 為依據是不夠的，還需要佐以發芽速率相關參數 (MGT 、 GT_{50} 等)、發芽整齊度 (如 GT_{25-75})、以及/或在逆境下的發芽表現，才能充分判斷各批次種子的差異。

涼季與熱季成熟種子，從授粉到採收的日數分別約為 30 及 20 天，兩者在最適發芽溫度 30°C 下的標準發芽試驗的 FGP_{Std} 沒有顯著差異，但熱季種子 MGT_{Std} 、 GT_{Std75} 以及 $GT_{Std25-75}$ 顯著較涼季收種子長 (表 5)，顯示在高溫下苦瓜果實發育快，種子有效充實時間及成熟的時間短，成熟的種子即使 FGP_{Std} 與涼季種子無顯著差異，但發芽速率及整齊度都較低，數據顯示標準發芽試驗中，發芽速率相關參數 (MGT_{Std} 、 GT_{Std50} 等)、發芽整齊度 ($GT_{Std25-75}$) 較 FGP_{Std} 更適合用以分辨涼季與熱季種子品質的差異。

加速老化 (accelerated aging test, AA test) 和胚根突出法 (radicle emergency test, RE test) 為兩種檢視種子活勢的重要方法。加速老化是將種子暴露在高溫高濕的環境下，因為高溫提升種子吸收水份及氧化速率而加速種子劣變的技術，高溫的處理範圍約為 $40-50^{\circ}\text{C}$ ，依作物而有不同，例如南瓜以及黃瓜種子使用 45°C (Masoumeh et al., 2023；Al-Maskri et al., 2002)、苦瓜種子使用 40°C (Hsu et al., 2003)。本試驗以 40 、 41 及 42°C 進行苦瓜種子劣變溫度篩選，試驗結果顯示隨著老化處理時間增長，種子在標準發芽測試條件下 FGP_{AAStd} 越低，劣變溫度提高劣變速率也加速，熱季生產的種子變化情形也比較劇烈， 41°C 老化 3 天及 42°C 老化 2 天可使涼季種子 FGP_{AAStd} 下降一半，為老化處理建議條件 (表 5)。整體而言，加速老化造成種子活勢下降，但 MGT_{AAStd} 及 $GT_{AAStd25-75}$ 縮短並非代表種子發芽整齊快速、活勢高，而是在高濕環境處理過程中，種子形同在水蒸氣中浸潤，若是老化處理後先

將種子回乾再進行發芽試驗，數據將有所不同。此外，老化處理時間 1-4 天內， MGT_{AASd} 顯著短於對照，但高於 4 天後， FGP_{AASd} 低於 50 %、甚至不發芽， MGT_{AASd} 又開始上升，因為種子劣變過於嚴重，漸漸喪失發芽能力，未死亡的種子發芽速率也漸漸變慢。

由於種子在老化過程中會快速吸水，具有浸潤的效果，因此在發芽適溫下檢測發芽能力時，即標準發芽試驗中使用的溫度 (ISTA rule, 2021)，會觀察到發芽速率相關參數下降 (表 5)，顯示發芽速率較快。在低於最適發芽溫度下，種子發芽速率會減慢，由於活勢高的種子發芽速率較活勢低的種子快，因此以胚根突出法檢測時，發芽速率相關參數的下降，僅在老化 1 天的處理觀察到，當老化天數延長時，發芽速率相關參數會顯著上升，老化越久、上升幅度越大，數據反映高溫高溼加速種子老化的效果。本試驗中，胚根突出法使用的溫度是考徐 (2021) 採用的 23°C，而 RE_{90hr} 為可明顯區分種子品質的時間點 (圖 6 和 8)。加速老化溫度條件部分，41 及 42°C 均為有效的處理溫度，可顯著降低種子發芽百分比及種子活勢，雖然 42°C 下老化速度較快，但種子發霉情形嚴重，因此後續胚根突出試驗選擇 41°C。40°C 的老化溫度對苦瓜種子發芽百分比影響不大，並非有效的處理溫度，但可觀察到種子活勢隨著老化時間的延長而逐漸下降，顯示發芽速率相較於發芽百分比更能反映種子劣變情形 (圖 5 和表 5)，此結果也和國際種子檢查協會 (International Seed Testing Association, ISTA) 所提出的活勢概念相符。

兩季種子老化處理前 FGP_{Std} 無顯著差異，但熱季種子發芽速率較低， FGP_{RE} 也較低，加速老化處理期間活勢下降速率較快，未發芽種子的死亡比例快速上升，顯示熱季生產的種子活勢較差，種子劣變的速率也較快，推測儲藏性可能較差 (表 5、6 和 7)。反觀，涼季生產的種子活勢佳、加速老化處理期間活勢下降速率較緩，未發芽種子的死亡比例則不受老化影響。加速老化處理使種子對低溫更加敏感，降低種子於低溫下的發芽能力 (表 5 和表

6)。Baek 等 (2018) 將種子老化後於不同溫度下發芽，發現活勢較差的種子於低溫下的發芽百分比比較低且易劣變。利用加速老化配合胚根突出法，可以有效檢驗苦瓜種子活勢，將涼季及熱季種子的差異數據化，未來也可能將此策略應用在預估種子儲藏能力上，但仍需要確切的實驗數據印證。

熱季種子，從授粉到採收的日數約為 20 天，果實開始轉色為 V 級種子出現的時候，3 天後果實完全轉色並且 V 級種子比例達到最高，第 5 天果實爆裂，多數種子從生理成熟到採收成熟的關鍵時期僅有 3 天 (圖 3); 相對的，涼季種子從授粉到採收的日數約為 30 天，其中關鍵時期約有 10 天，因此涼季種子有較多時間建立活勢及乾旱耐受性，進而有較佳的耐儲藏性。Li 等人將蝶豆種植在不同海拔以評估溫度對種子品質影響，發現提高生長溫度會加速種子的生長速率，縮短種子生長發育的時間，因此種子重量下降且對活勢造成負面影響，並指出生長適溫下發育的種子在低溫下具有較高的發芽百分比和發芽速率，代表對低溫的敏感性較低 (Li et al., 2017)。Hasan 等人指出在高溫下培育的小麥種子發芽百分比和發芽速率都較差、異常苗的比率較高、且幼苗活力也較低 (Hasan et al., 2013)，上述研究均和本研究觀察到之狀況吻合。徐 (2021) 指出果實後熟可使其種子繼續發育成熟，其 FGP_{Std} 可與在植株上成熟的種子一致，但 FGP_{RE} 則顯著較低，代表後熟種子對低溫的敏感性上升，後熟期間的種子是處在密閉的高濕環境下，雖然仍然繼續發育，但也像短期處在老化環境，可解釋 FGP_{Std} 不變但 FGP_{RE} 降低 (圖 7)，種子活勢較低。因此，為延長熱夏季掛果時間，將未成熟果採下放在室溫下後熟，雖其種子可繼續發育，但活勢較低，若欲透過果實後熟來提升種子成熟度，則對於該批種子的保存和發芽條件都需要格外注意。

第三節、苦瓜種子儲藏性及初級休眠之探討

苦瓜種子雖被歸類為正儲型種子，但因部分研究指出其無法在小於 0°C 的環境下長期儲藏 (Hemal Fonseka and Fonseka, 2009) 以及在 -18 至 -20°C 的

儲藏溫度會使苦瓜種子喪失發芽能力 (Ebert and Huang, 2015)，認為苦瓜種子屬於中間型種子。Bopper 和 Kruse (2018) 指出-20 °C 處理導致苦瓜種子無法發芽是因為次級休眠的誘導而非致死，並且此次級休眠可透過短暫的高溫處理打破，再次將苦瓜種子歸類為正儲型種子。本試驗以零下低溫處理夏季苦瓜‘月華’種子，結果顯示 0、-5°C 處理 3 日不影響苦瓜種子發芽百分比，這現象不吻合中間型種子的特徵；溫度處理低於-10°C 時種子開始失去發芽能力，以-20°C 處理 1 日幾乎所有種子都無法萌發 (圖 8 和表 8)，與 Bopper 和 Kruse (2018) 的試驗結果一致。在短暫的高溫處理打破次級休眠試驗上，高於 40°C 之處理可恢復種子發芽能力，且恢復效率隨處理溫度上升而增加，42°C 處理 20 分鐘就能使種子之發芽百分比回復至 97 % (表 9)。為證實低溫處理的喪失發芽能力，確實是因次級休眠性的誘導而非死亡，可佐以氯化三苯基四唑 (triphenyl tetrazolium chloride, TTC) 檢測。

一般認為苦瓜種子之堅硬種殼會阻礙吸水，形成物理性初級休眠 (黃，2011；Wang et al., 2003)。本論文中以苦瓜‘台麗 2 號’種子進行試驗時，去殼與否並不影響種子之發芽百分比，唯去殼之種子發芽速率較快。苦瓜‘月華’未去除種殼之種子僅有 25 % 之發芽百分比且容易發霉，將種子進行刻傷和去殼後發芽狀況則明顯提升，分別為 72 % 和 96 % 之發芽百分比 (data not shown)，因此推論苦瓜‘台麗 2 號’種子不具有物理性之初級休眠，苦瓜‘月華’種子則具有較強的物理休眠，物理休眠性的存在可能因品種而異。另外，因次級休眠誘導試驗使用的種子材料為苦瓜‘月華’，發芽試驗前種子均先去殼，以排除種殼物理性質阻礙種子萌發的因子，故可確認發芽能力的下降是種子之內生性因素。

第四節、熱季苦瓜種子次級休眠誘導之評估

苦瓜‘月華’種子可透過低溫處理誘導次級休眠，並以短暫的熱處理打破，以種子之發芽參數判斷，最佳之誘導條件為-20°C 處理 1 日，打破條件則為



46°C 處理 10 分鐘 (表 9)。次級休眠的誘導及打破不會對種子活勢造成嚴重的負面影響，甚至可以提升發芽整齊度。若是處在休眠狀態的種子有較佳的耐儲藏性，則有望將此技術應用於延長夏季苦瓜種子的保存期限，及提供一個解決在全球暖化衝擊苦瓜種子儲藏性的問題。然而，苦瓜種子次級休眠性的有無是否會因品種而異，及休眠和耐儲藏性的關聯都仍有待進一步探討。品種差異上，Bopper 和 Kruse (2018) 所使用的品種與本研究所使用的品種不同，但兩試驗次級休眠誘導與打破的條件差異不大，所以該現象比較可能是物種的特性，品種的影響較小。目前所發現之由溫度誘導的次級休眠大多屬於高溫誘導的熱休眠 (thermodormancy)，熱休眠在許多物種中可以透過低溫冷藏來進行打破，例如萵苣種子遇到 28°C 以上的高溫會誘導次級休眠，而低溫處理可以恢復發芽能力 (Daniel et al., 1984)。然而苦瓜卻觀察到了相反的情形，低溫引起休眠、高溫打破休眠，因此這可能是一種新型態的次級休眠，或許可稱之為冷休眠 (cyrodormancy)，水稻和某些草類種子之初級休眠有類似的現象，由低溫誘導休眠，並透過溫暖層積 (warm stratification) 來進行打破 (ISTA, 2017)，不同之處在於溫暖層積需要數周之處理才能打破休眠，Baskin 等人利用 12 至 32 週、15 至 25°C 的條件來打破黑果越桔種子之休眠性，並且發現層積的時間越長，種子的發芽百分比也就越高 (Baskin et al., 2002)。然而，苦瓜種子次級休眠之誘導和打破都相當快速，因此較可能是由溫度改變造成種子內部物質物理或化學上發生可逆的結構變化而導致。Crane 等人發現某些萼距花屬物種之種子在 -18°C 儲藏後失去發芽能力，且可以透過 45°C 的熱處理來恢復。而該現象歸因於種子含有高濃度的月桂酸和肉桂酸，會在零下的溫度凝固，進而阻礙種子發芽，在開始發芽前透過熱處理來使其溶解即可恢復發芽能力。苦瓜種子雖然不具有高濃度的月桂酸或肉桂酸，但其所含之苦瓜苷 (momordicine) 可能具有類似的特性 (Crane et al., 2003)，仍待進一步研究探討。

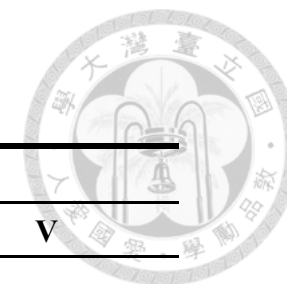


表 1、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子外觀參數

Table 1. The seed characteristics of the five developmental levels of bitter gourd ‘Tai li No. 2’ harvested in hot season.

	Seed level				
	I	II	III	IV	V
Fresh weight (g/100 seeds) ^z	1.47	5.12	10.63	18.45	23.84
Length (mm)	5.14±0.91 b	10.54±0.86 ab	13.03±0.58 a	13.67±0.44 a	13.23±0.53 a
Width (mm)	2.48±0.48 c	5.42±0.37 b	6.83±0.34 ab	7.32±0.29 a	7.93±0.24 a
Thickness (mm)	0.76±0.17 c	1.57±0.43 b	2.84±0.21 ab	3.64±0.32 a	3.92±0.19 a

Data of seed length, width and thickness were presented as mean ± SD (n=100).

Means within each row followed by different letters are significantly different at P<0.05 (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

^z Data of seed fresh weight was presented as mean of 100 seeds (n=1)

Hot season seeds are harvested in summer, 2022.

表 2、苦瓜‘台麗 2 號’熱季果實發育過程種子級數變化

Table 2. The changes in seed developmental levels along with the maturing process in bitter gourd ‘Tai li No. 2’ harvested in hot season.



DAP	Seed developmental level (%)				
	I	II	III	IV	V
14	16.09 a	29.64 a	9.99 ab	44.28 a	0.00 d
15	22.89 a	9.73 bc	14.58 ab	52.79 a	0.00 d
16	17.57 ab	7.43 bc	21.29 a	53.70 a	0.00 d
17	15.49 ab	19.47 ab	23.37 a	28.65 b	13.02 c
18	11.70 ab	25.17 a	14.73 ab	17.85 bc	30.56 b
19	12.06 ab	18.72 ab	13.18 ab	19.70 bc	36.33 b
20	6.37 b	2.57 c	3.90 b	6.57 c	80.59 a
21	3.00 b	7.49 bc	1.04 b	7.32 c	81.14 a
22	2.23 b	6.64 bc	4.51 b	8.51 c	78.11 a

Means within each column followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

Value is mean of 5 fruits.

Hot season seeds are harvested in summer, 2022.

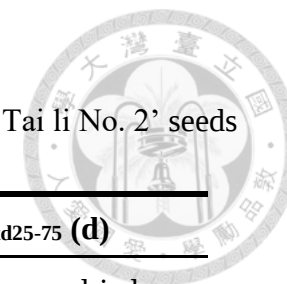


表 3、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子乾燥耐受性及其發芽參數

Table 3. The desiccation tolerance and germination parameters of the seeds of different developmental levels of bitter gourd ‘Tai li No. 2’ seeds harvested in hot season.

Seed level	FGP _{Std} (%)		MGT _{Std} (d)		GT _{Std50} (d)		GT _{Std25} (d)		GT _{Std75} (d)		GT _{Std25-75} (d)	
	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried
II	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV	73.33 b	10.00 b*	6.23 a	5.00 a	5.67 a	4.50 a	4.38 a	3.50 a	7.30 a	5.50 a	2.93 a	2.00 a
V	100.0 a	93.75 a	4.47 b	4.76 a	4.07 b	3.72 a	3.32 a	3.23 a	4.63 b	5.27 a	1.31 b	2.04 a

FGP_{Std} : Final emergence percentage, cumulative emergence percentage till end of the observation (14 days).

MGT_{Std} : Mean emergence time.

GT_{Std25} 、 GT_{Std50} 、 GT_{Std75} : Time to reach 25%, 50% and 75% of final emergence percentage.

GT_{Std25-75} : Seeds emergence uniformity, calculated by GT_{Std75} – GT_{Std25}.

Value is mean of treatments (n=4). Means within each column followed by different letters are significantly different at P<0.05 (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

*means significant at 5% between treatments. Statistical analyses were conducted using student’s t-test.

Germination was tested at 30°C.

Hot season seeds are harvested in summer, 2022.

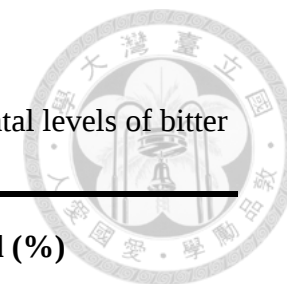


表 4、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子乾燥耐受性及苗型和未發芽種子分類

Table 4. The desiccation tolerance, seedling type and classification of non-germinated seeds of seeds of different developmental levels of bitter gourd ‘Tai li No. 2’ seeds harvested in hot season.

Seed level	Normal (%)		Abnormal (%)		Hard (%)		Fresh (%)		Dead (%)	
	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried	fresh	dried
II	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	100.0	-
III	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	100.0	-
IV	73.33 b	0.00 b*	0.00	10.00 a*	23.33 a	0.00*	0.00	0.00 b	3.33 a	90.00*
V	100.0 a	93.75 a	0.00	0.00 b	0.00 b	0.00	0.00	6.25 a*	0.00 a	0.00

Value is mean of treatments (n=4). Means within each column followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$ (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

* means significant at 5% between treatments. Statistical analyses were conducted using student’s t-test.

Germination was tested at 30°C.

Hot season seeds are harvested in summer, 2022.

表 5、溫度對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子老化效果之影響

Table 5. The effect of temperature on accelerated aging of bitter gourd ‘Tai li No. 2’ seeds harvested in cool and hot season.

Treatment		FGP _{AASd} (%)		MGT _{AASd} (d)		GT _{AASd50} (d)		GT _{AASd25} (d)		GT _{AASd75} (d)		GT _{AASd25-75} (d)	
		W	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W	S
CK	0d	100 a	95 a	4.20 ab	6.16 b*	3.75 ab	4.93 c	3.13 a-c	4.25 c	4.38 ab	7.13 cd*	1.25 b-d	2.88 c*
	1d	100 a	80 a-c	2.20 g	4.50 cd*	1.63 f	2.75 d	1.31 g	2.25 de	1.94 h	5.00 e-g*	0.63 de	2.75 c*
	2d	100 a	80 a-c	2.80 d-g	3.81 c-f	2.20 d-f	2.60 d	1.63 e-g	1.50 f	2.70 f-h	3.67 gh	1.08 b-d	2.17 c-e
	3d	100 a	60 a-d	2.60 e-g	3.58 d-f	2.17 d-f	2.40 d	1.63 e-g	1.60 ef	2.58 f-h	3.75 hg	0.96 b-d	2.15 c-e
	4d	80 ab	90 ab	2.88 d-g	3.89 c-e	2.43 d-f	2.50 d	2.14 c-g	1.64 ef	2.71 e-h	4.50 f-h	0.57 de	2.86 c*
	5d	90 a	80 a-c	4.11 a-c	4.63 c	3.58 a-c	2.83 d*	3.21 ab	2.17 d-f	3.96 a-c	6.33 c-e*	0.75 cd	4.17 ab*
40°C	6d	90 a	80 a-c	3.78 a-d	4.50 cd	2.75 b-f	3.29 d	2.38 b-f	1.80 ef	4.38 ab	6.00 d-f*	2.00 a	4.20 ab*
	1d	90 a	70 a-c	3.33 b-f	2.93 f	2.17 d-f	2.27 d	1.56 e-g	1.50 f	2.92 d-g	2.88 h	1.35 a-c	1.38 de
	2d	70 ab	55 a-d	2.43 fg	3.45 ef	1.88 ef	3.17 d*	1.44 fg	1.69 ef	2.42 gh	4.08 gh	0.98 b-d	2.40 c-e
	3d	70 ab	50 b-d	2.71 d-g	3.60 d-f	2.30 d-f	3.33 d	1.88 d-g	1.83 ef	2.65 f-h	4.38 f-h	0.78 cd	2.54 cd*
	4d	50 bc	25 d	3.00 c-g	3.80 c-f	1.83 f	3.25 d*	1.42 fg	2.63 d*	2.75 e-g	3.88 gh	1.33 a-c	1.25 e
	5d	30 cd	0 e*	3.67 a-e	-	3.25 a-d	-	2.75 a-d	-	3.63 b-d	-	0.88 b-d	-
41°C	6d	20 cd	0 e*	4.50 a	-	4.00 a	-	3.50 a	-	4.50 a	-	1.00 b-d	-
	1d	90 a	65 a-d*	2.56 e-g	6.92 b*	1.90 ef	7.42 b*	1.45 fg	4.63 c*	2.58 f-h	7.96 bc*	1.13 b-d	3.33 bc*
	2d	50 bc	40 cd	3.20 b-g	8.63 a*	2.63 b-f	9.40 a*	2.31 b-f	5.50 b*	2.94 d-g	10.50 a*	0.63 de	5.00 a*
	3d	30 cd	25 d	3.00 c-g	8.00 a*	2.50 c-f	8.50 a*	1.75 e-g	6.25 a*	3.25 c-f	9.38 ab*	1.50 ab	3.13 bc*
	4d	20 cd	0 e*	3.50 a-f	-	3.00 a-e	-	2.50 b-e	-	3.50 c-e	-	1.00 b-d	-
	5d	0 d	0 e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42°C	6d	0 d	0 e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

W and S represented the seeds. Hot season seeds are harvested in summer, 2023 and cold season seeds are harvested in winter, 2022.

FGP_{AASd} : Final emergence percentage, cumulative emergence percentage till end of the observation (7 days).

MGT_{AASd} : Mean emergence time.

GT_{AASd25}、GT_{AASd50}、GT_{AASd75} : Time to reach 25%, 50% and 75% of final emergence percentage.

GT_{AASd25-75} : Seeds emergence uniformity, calculated by GT_{AASd75} – GT_{AASd25}

Value is mean of treatments (n=4). Means within each column followed by different letters are significantly different at P<0.05 (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

*means significant at 5% between different seasons. Statistical analyses were conducted using student's t-test. Germination was tested at 30°C.

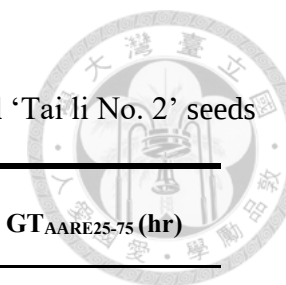


表 6、加速老化處理時間對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子胚根突出法之發芽參數的影響

Table 6. The effect of accelerated aging time on the germination parameter obtained by radical emergence test in bitter melon ‘Tai li No. 2’ seeds harvested in cool and hot season.

Aging time (days)	RE _{90HR}		FGP _{AARE} (%)		MGT _{AARE} (hr)		GT _{AARE50} (hr)		GT _{AARE25} (hr)		GT _{AARE75} (hr)		GT _{AARE25-75} (hr)	
	W	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W	S
CK	98.75 a	45.00 a*	100.0 a	45.00 a*	62.03 d	60.57 c	56.60 d	56.83 cd	51.19 d	49.63 bc	65.61 d	65.13 c	14.42 ab	15.50
1	90.00 ab	40.00 ab*	93.75 a	41.25 a*	54.38 d	51.46 c	47.54 e	45.63 d	38.66 e	39.98 c	57.06 e	54.94 c	18.41 a	14.96
2	85.00 b	22.50 abc*	95.00 a	26.25 b*	72.38 c	77.50 b	66.76 c	73.88 bc	61.52 c	64.06 ab	75.17 c	84.44 b*	13.65 ab	20.38
3	63.75 c	18.75 bc*	70.00 b	25.00 b*	72.36 c	82.97 b	68.05 c	76.88 b	62.06 c	65.81 ab	75.81 c	91.50 b*	13.75 ab	25.69
4	40.00 d	11.25 c*	42.50 c	20.00 b*	74.04 c	86.64 ab*	70.50 c	85.13 ab	64.56 c	69.00 ab	78.19 c	97.13 ab*	13.63 ab	28.13
5	10.00 e	5.00 c	33.75 c	17.50 b	95.10 b	101.36 a	96.78 b	99.00 a	82.88 b	83.81 a	100.6 b	113.63 a	17.70 a	29.81
6	0.00 e	0.00 c	6.25 d	0.00 c	115.5 a	-	112.5 a	-	109.9 a	-	115.1 a	-	5.25 b	-

W and S represented the seeds. Hot season seeds are harvested in summer, 2023 and cold season seeds are harvested in winter, 2022.

FGP_{AARE} : Final emergence percentage, cumulative emergence percentage till end of the observation (7 days).

MGT_{AARE} : Mean emergence time. GT_{AARE25}、GT_{AARE50}、GT_{AARE75} : Time to reach 25%, 50% and 75% of final emergence percentage.

GT_{AARE25-75} : Seeds emergence uniformity, calculated by GT_{AARE75} – GT_{AARE25}.

Value is mean of treatments (n=4). Means within each column followed by different letters are significantly different at P<0.05 (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

*means significant at 5% between different seasons. Statistical analyses were conducted using student's t-test.

Accelerated aging was carried out at 41°C and radical emergence was tested at 23°C.

表 7、苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子經加速老化處理後種子發芽表現類型
Table 7. The seedling/seed types of bitter gourd ‘Tai li No. 2’ seeds harvested in cool and hot season after accelerated aging treatment.

Accelerated aging time (days)	Harvest season	Seedling/seed type (%)				
		Normal	Abnormal	Hard	Fresh	Dead
0	W	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S	45.00	0.00	47.50	7.50	0.00
1	W	92.50	1.25	3.75	2.50	0.00
	S	41.25	0.00	42.50	11.25	5.00
2	W	95.00	0.00	3.75	0.00	1.25
	S	26.25	0.00	53.75	15.00	5.00
3	W	70.00	0.00	23.75	6.25	0.00
	S	25.00	0.00	47.50	18.75	8.75
4	W	41.25	1.25	50.00	3.75	3.75
	S	20.00	0.00	47.50	21.25	11.25
5	W	33.75	0.00	47.50	17.50	1.25
	S	17.50	0.00	55.00	13.75	13.75
6	W	6.25	0.00	66.25	27.50	0.00
	S	0.00	0.00	77.50	1.25	21.25

W and S represented the seeds. Hot season seeds are harvested in summer, 2023 and cold season seeds are harvested in winter, 2022.

Value is mean of treatments (n=4).

Accelerated aging was carried out at 41°C and germination was tested at 23°C.

表 8、低溫處理溫度及時間對苦瓜‘月華’熱季種子次級休眠誘導及發芽參數之影響
Table 8. The effect of lower temperature and time on the secondary dormancy induction and germination parameter of bitter gourd ‘Yue hua’ seeds harvested in hot season.

Treatment		Germination parameters (days)					
temperature (°C)	Time (day)	FGP _{Std} (%)	MGT _{Std}	GT _{Std50}	GT _{Std25}	GT _{Std75}	GT _{Std25-75}
CK	0	99 a	2.44 c	1.91 c	1.45 d	2.43 c	0.97
	1	98 a	2.89 b	2.43 b	2.15 bc	2.72 b	0.57
	2	97 a	3.01 b	2.50 b	2.20 bc	2.80 b	0.60
0	3	99 a	3.01 b	2.50 b	2.22 bc	2.79 b	0.58
	1	97 a	2.89 b	2.43 b	2.14 bc	2.72 b	0.58
	2	93 a	3.58 a	3.16 a	2.69 ab	3.58 a	0.89
-5	3	97 a	3.72 a	3.30 a	2.89 a	3.65 a	0.76
	1	39 b	2.82 b	2.37 b	1.90 cd	2.68 b	0.78
	2	18 c	2.94 b	2.46 b	2.06 c	2.81 b	0.75
-10	3	8 c	2.75 b	2.31 b	1.94 cd	2.66 b	0.72
	1	0 d	-	-	-	-	-
	2	0 d	-	-	-	-	-
-20	3	0 d	-	-	-	-	-

FGP_{Std} : Final emergence percentage, cumulative emergence percentage till end of the observation (7 days).

MGT_{Std} : Mean emergence time.

GT_{Std25} 、 GT_{Std75} 、 GT_{Std75} : Time to reach 25%, 50% and 75% of final emergence percentage.

GT_{Std25-75} : Seeds emergence uniformity, calculated by GT_{Std75} – GT_{Std25}.

Value is mean of treatments (n=4). Means within each column followed by different letters are significantly different at P<0.05 (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

Germination was tested at 30°C.

表 9、次級休眠誘導及打破對苦瓜‘月華’熱季種子發芽指標之影響

Table. 9. Effects of secondary dormancy induction and breaking on the germination parameter of bitter gourd ‘Yue hua’ seeds harvested in hot season.

Temperature (°C)	Time (minute)	FGP _{RE} (%)	MGT _{RE} (d)	GT _{RE50} (d)	GT _{RE25} (d)	GT _{RE75} (d)	GT _{RE25-75} (d)
CK	0	99	2.44 d	1.91 c	1.45 c	2.43 c	0.97 a
CK-SD	0	0	-	-	-	-	-
	20	97	2.68 c	2.56 ab	2.40 b	2.69 bc	0.29 b
40	40	98	2.68 c	2.55 ab	2.39 b	2.68 bc	0.30 b
	80	99	2.71 bc	2.59 ab	2.46 ab	2.71 bc	0.25 c
	20	99	2.70 bc	2.58 ab	2.44 ab	2.70 bc	0.26 c
42	40	96	2.62 c	2.48 b	2.36 b	2.63 c	0.27 c
	80	95	2.62 c	2.49 b	2.35 b	2.65 c	0.30 bc
	10	93	2.62 c	2.50 b	2.36 b	2.64 c	0.28 c
44	20	97	2.63 c	2.53 b	2.37 b	2.65 c	0.28 c
	40	99	2.65 c	2.53 b	2.39 b	2.65 c	0.27 c
	80	98	2.61 c	2.48 b	2.35 b	2.63 c	0.27 c
	5	99	2.73 bc	2.59 ab	2.44 ab	2.72 bc	0.28 c
	10	99	2.68 c	2.55 b	2.40 b	2.69 bc	0.29 bc
46	20	99	2.65 c	2.51 b	2.38 b	2.65 c	0.27 c
	40	99	2.63 c	2.49 b	2.36 b	2.65 c	0.29 bc
	80	97	2.66 c	2.55 b	2.41 b	2.66 c	0.26 c
	2.5	91	2.80 ab	2.67 a	2.48 ab	2.86 ab	0.39 b
	5	94	2.80 ab	2.67 a	2.44 ab	2.88 a	0.44 b
48	10	99	2.79 ab	2.66 ab	2.48 ab	2.85 ab	0.37 b
	20	96	2.78 ab	2.63 ab	2.47 ab	2.83 ab	0.36 b
	40	96	2.68 c	2.57 b	2.39 b	2.72 bc	0.33 bc
	80	97	2.87 ab	2.76 a	2.56 a	2.93 a	0.37 b
	5	96	2.81 ab	2.76 a	2.46 a	2.92 a	0.47 b
	10	94	2.98 a	2.89 a	2.69 a	3.06 a	0.37 b
50	20	99	2.90 a	2.81 a	2.61 a	2.95 a	0.33 bc
	40	97	2.88 a	2.80 a	2.57 a	2.96 a	0.39 b
	80	97	2.81 ab	2.74 a	2.45 ab	2.91 a	0.45 b

FGP_{RE} : Final emergence percentage, cumulative emergence percentage till end of the observation (7 days).

MGT_{RE} : Mean emergence time.

GT_{RE25} 、 GT_{RE50} 、 GT_{RE75} : Time to reach 25%, 50% and 75% of final emergence percentage.

GT_{RE25-75} : Seeds emergence uniformity, calculated by GT_{RE75} – GT_{RE25}.

Value is mean of treatments (n=4). Means within each column followed by different letters are significantly different at P<0.05 (ANOVA and mean comparison with Tukey HSD test).

*means significant at 5% between different seasons. Statistical analyses were conducted using student's t-test.

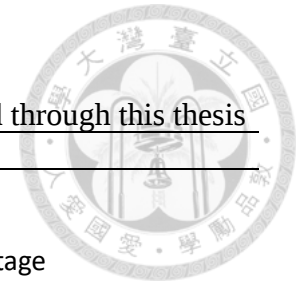
CK means seeds that didn't go through low temperature while CK-SD represents seeds that were treated with -20°C for 1 day.

Radical emergence was tested at 23°C.

附表 1、發芽參數縮寫對照表

Appendix table 1. The abbreviations of germination parameters used through this thesis

Abbreviation	Meaning
FGP _{std}	Standard final emergence percentage
MGT _{std}	Standard mean germination time
GT _{std25}	Standard time to reach 25% of final emergence percentage
GT _{std50}	Standard time to reach 50% of final emergence percentage
GT _{std75}	Standard time to reach 75% of final emergence percentage
GT _{std25-75}	Standard seed emergence uniformity, calculated by $GT_{std75} - GT_{std25}$
FGP _{RE}	Final emergence percentage under radical emergence test
MGT _{RE}	Mean germination time under radical emergence test
GT _{RE25}	Time to reach 25% of final emergence percentage under radical emergence test
GT _{RE50}	Time to reach 50% of final emergence percentage under radical emergence test
GT _{RE75}	Time to reach 75% of final emergence percentage under radical emergence test
GT _{RE25-75}	Seed emergence uniformity under radical emergence test, calculated by $GT_{RE75} - GT_{RE25}$
FGP _{AAstd}	The FGP _{std} of accelerated aged seeds
MGT _{AAstd}	The MGT _{std} of accelerated aged seeds
GT _{AAstd25}	The GT _{std25} of accelerated aged seeds
GT _{AAstd50}	The GT _{std50} of accelerated aged seeds
GT _{AAstd75}	The GT _{std75} of accelerated aged seeds
GT _{AAstd25-75}	The GT _{std25-75} of accelerated aged seeds
FGP _{AARE}	The FGP _{RE} of accelerated aged seeds
MGT _{AARE}	The MGT _{RE} of accelerated aged seeds
GT _{AARE25}	The GT _{RE25} of accelerated aged seeds
GT _{AARE50}	The GT _{RE50} of accelerated aged seeds
GT _{AARE75}	The GT _{RE75} of accelerated aged seeds
GT _{AARE25-75}	The GT _{RE25-75} of accelerated aged seeds



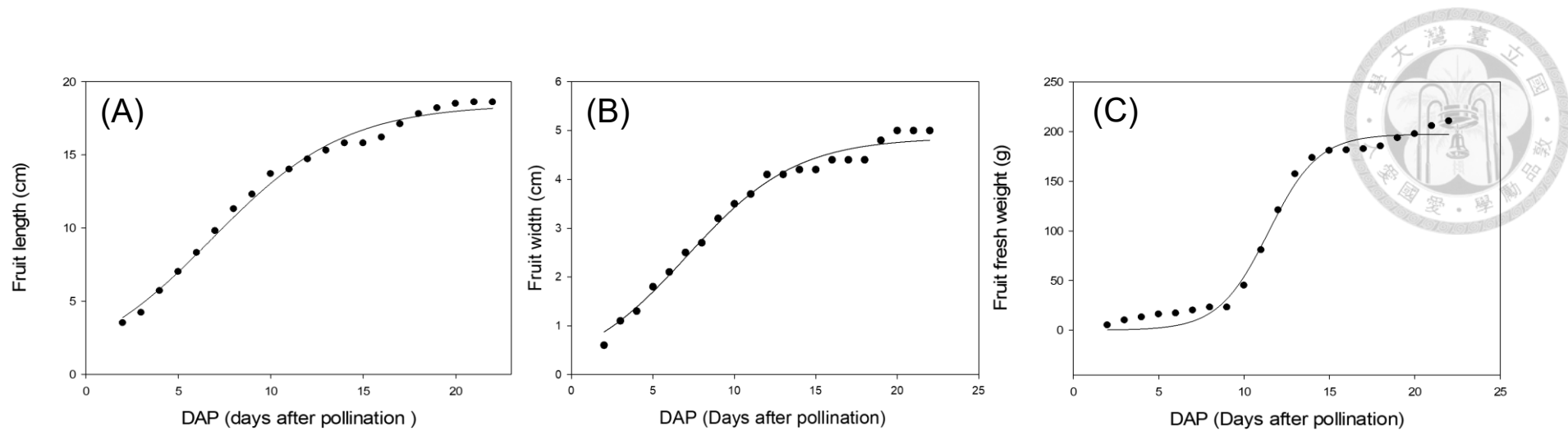


圖 1、苦瓜‘台麗 2 號’熱季果實生長曲線: (A)果長 (B)果寬 (C)果重

Fig. 1. The growth curve of fruit length (A) fruit width (B) and fruit fresh weight (C) of bitter melon ‘Tai li No. 2’ harvested in hot season.

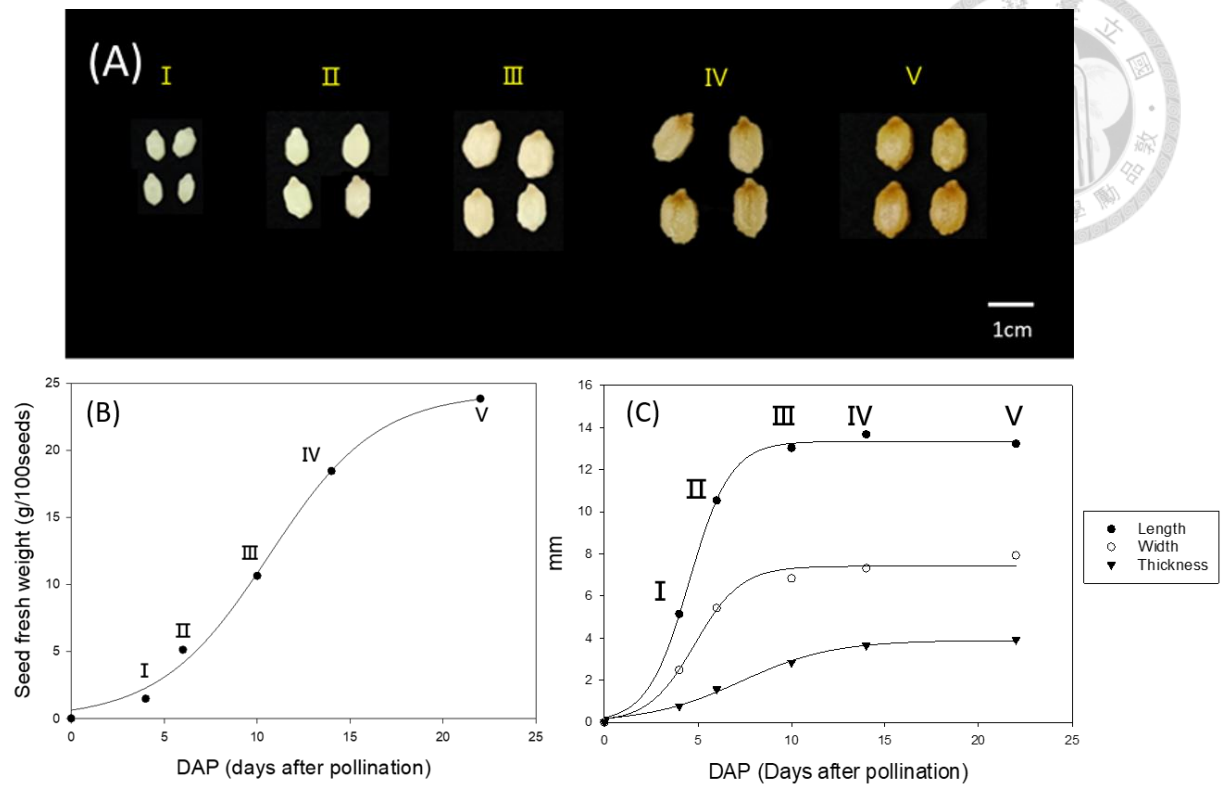


圖 2、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子外觀及發育過程：(A)種子分級 (B)種子長、寬、厚 (C)種子鮮重

Fig. 2. Seed appearance of the five developmental levels (A), seed characteristic (B) and weight increasing along with the fruit developing (C) in hot season fruit of bitter melon ‘Tai li No. 2’.

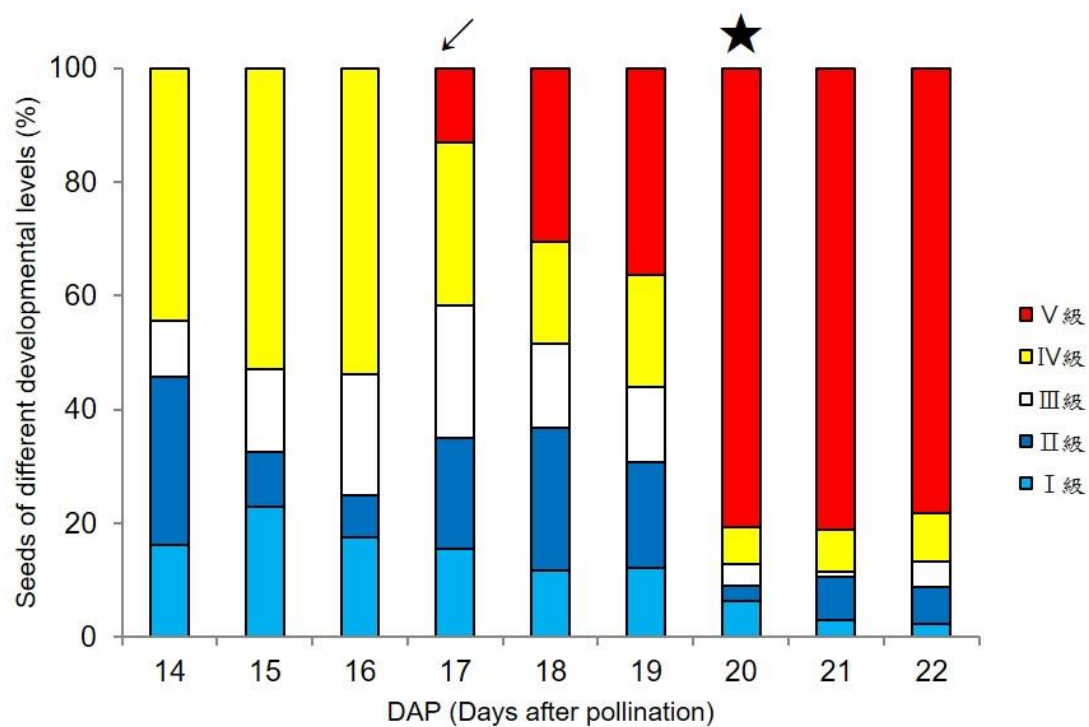


圖 3、苦瓜‘台麗 2 號’熱季果實與種子發育

Fig. 3. The relationship between seed and fruit development of bitter gourd ‘Tai li No. 2’ harvested in hot season.

↙: The fruit begins to turn yellow. ★: The fruit has turned completely yellow.

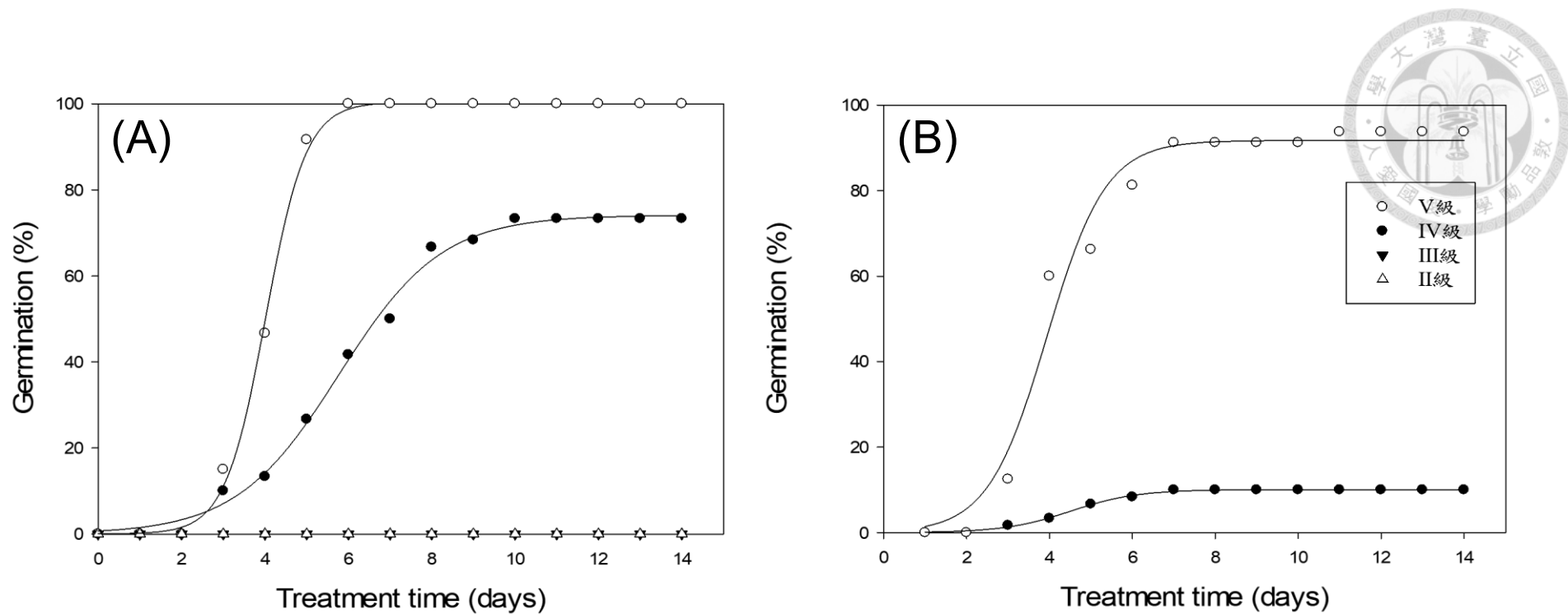


圖 4、苦瓜‘台麗 2 號’熱季各級種子乾燥耐受性：(A)新鮮種子 (B)乾燥種子

Fig. 4. The desiccation tolerance of seeds of different developmental levels in hot season fruits of bitter melon ‘Tai li No. 2’. Fresh (A) dried (B) seeds germination, and the germination was tested at 30°C.

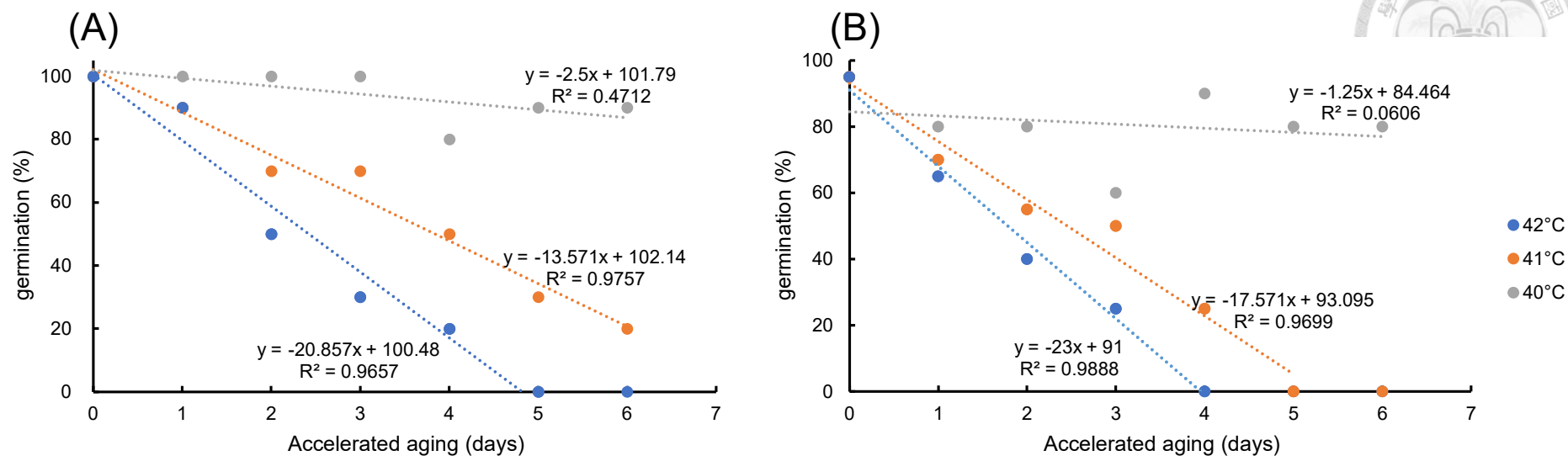


圖 5、加速老化處理溫度對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子發芽表現劣變之影響：(A)涼季種子 (B)熱季種子

Fig. 5. The effect of accelerated aging temperature on the deterioration of germination performance of the seeds of bitter melon ‘Tai li No. 2’ harvested in cool (A) and hot (B) season. Germination was tested at 30°C.

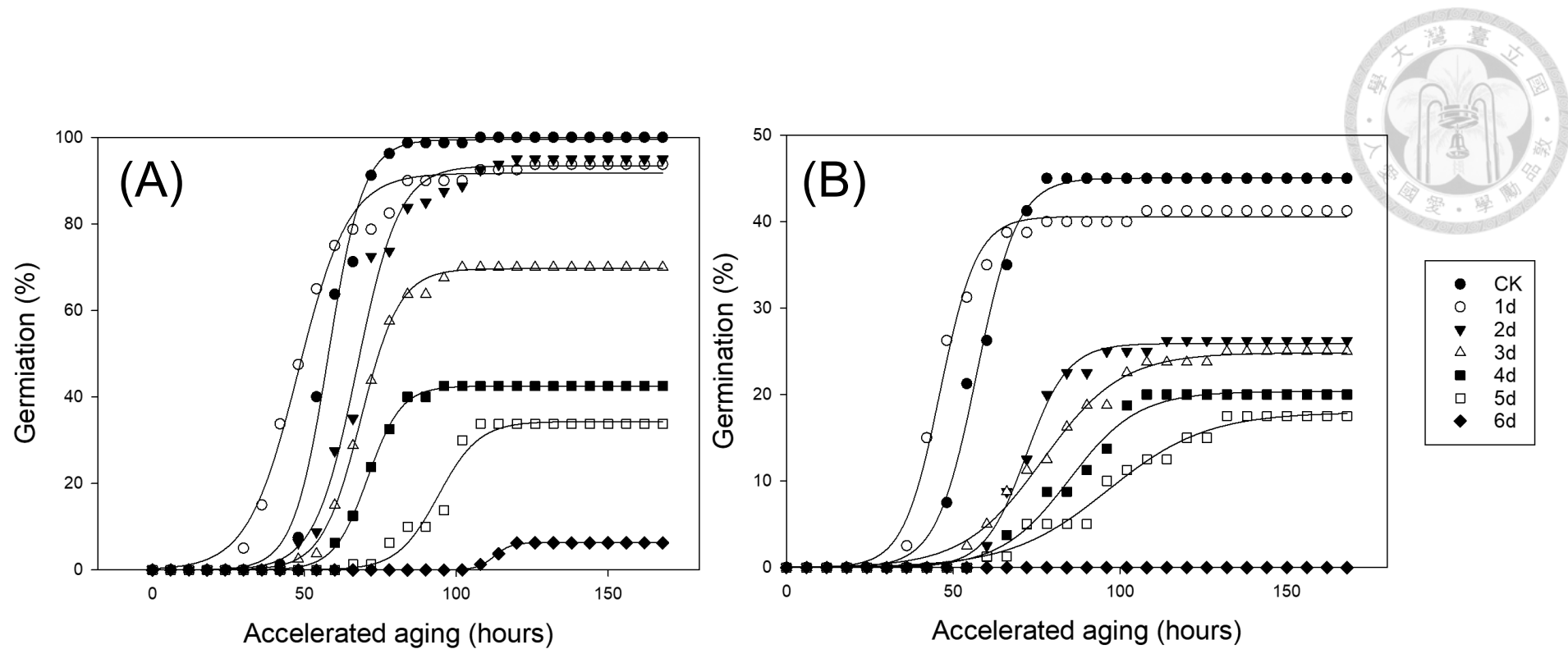


圖 6、加速老化處理時間對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子發芽表現的影響：(A)涼季種子 (B)熱季種子

Fig. 6. The effect of accelerated aging time at 41°C on the radical emergence at 23°C of the seeds of bitter melon ‘Tai li No. 2’ harvested in cool (A) and hot (B) season.

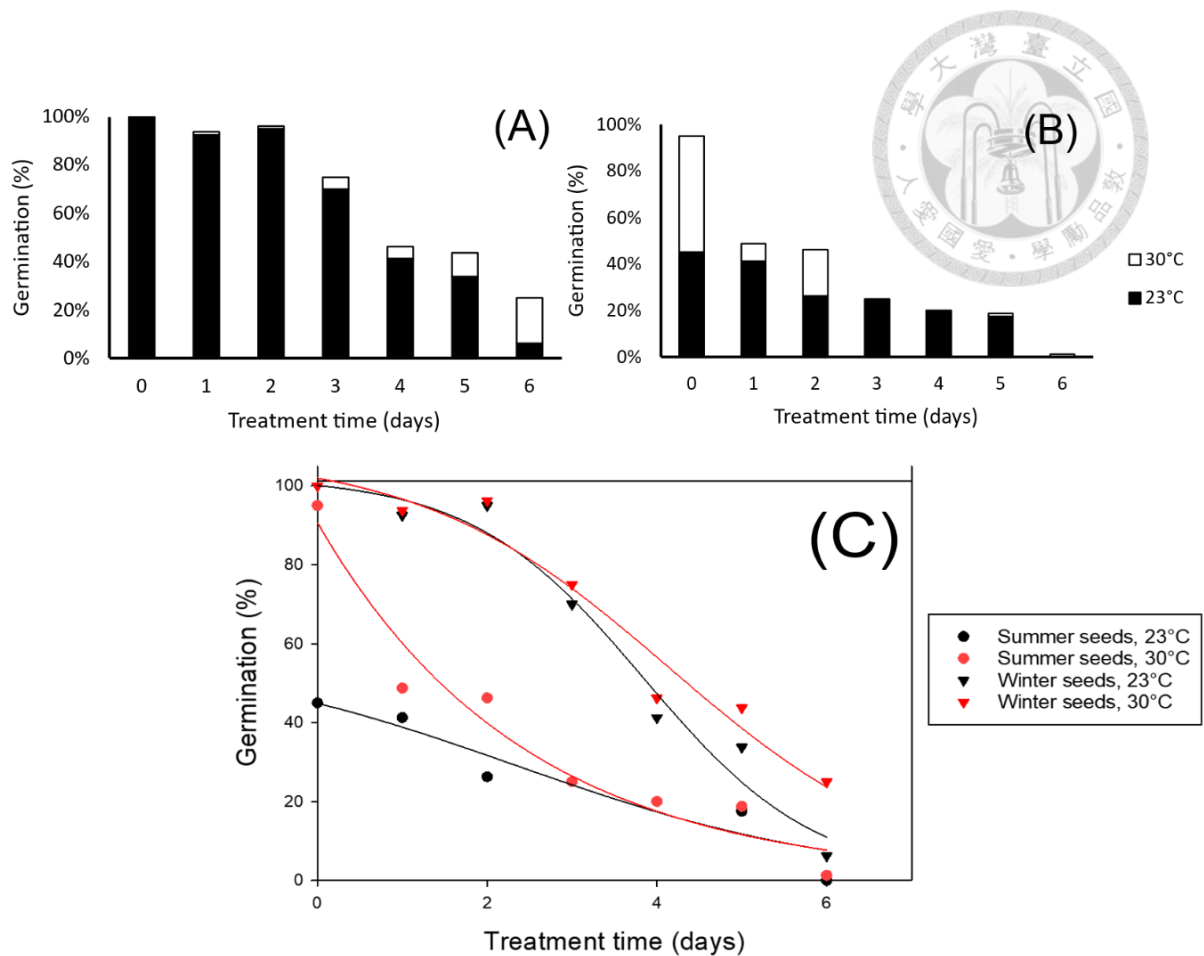


圖 7、發芽溫度及加速老化處理時間對苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子發芽表現之影響：(A)涼季種子 (B)熱季種子 (C)兩季種子

Fig. 7. The effect of incubation temperature and accelerated aging time on the germination performance of bitter melon ‘Tai li No. 2’ seeds harvested in cool (A), hot (B) and combined data (C). Radical emergence was tested at 23°C for 1 week for vigor test, followed by transferring the ungerminated alive seeds to 30°C for another week for viability test.

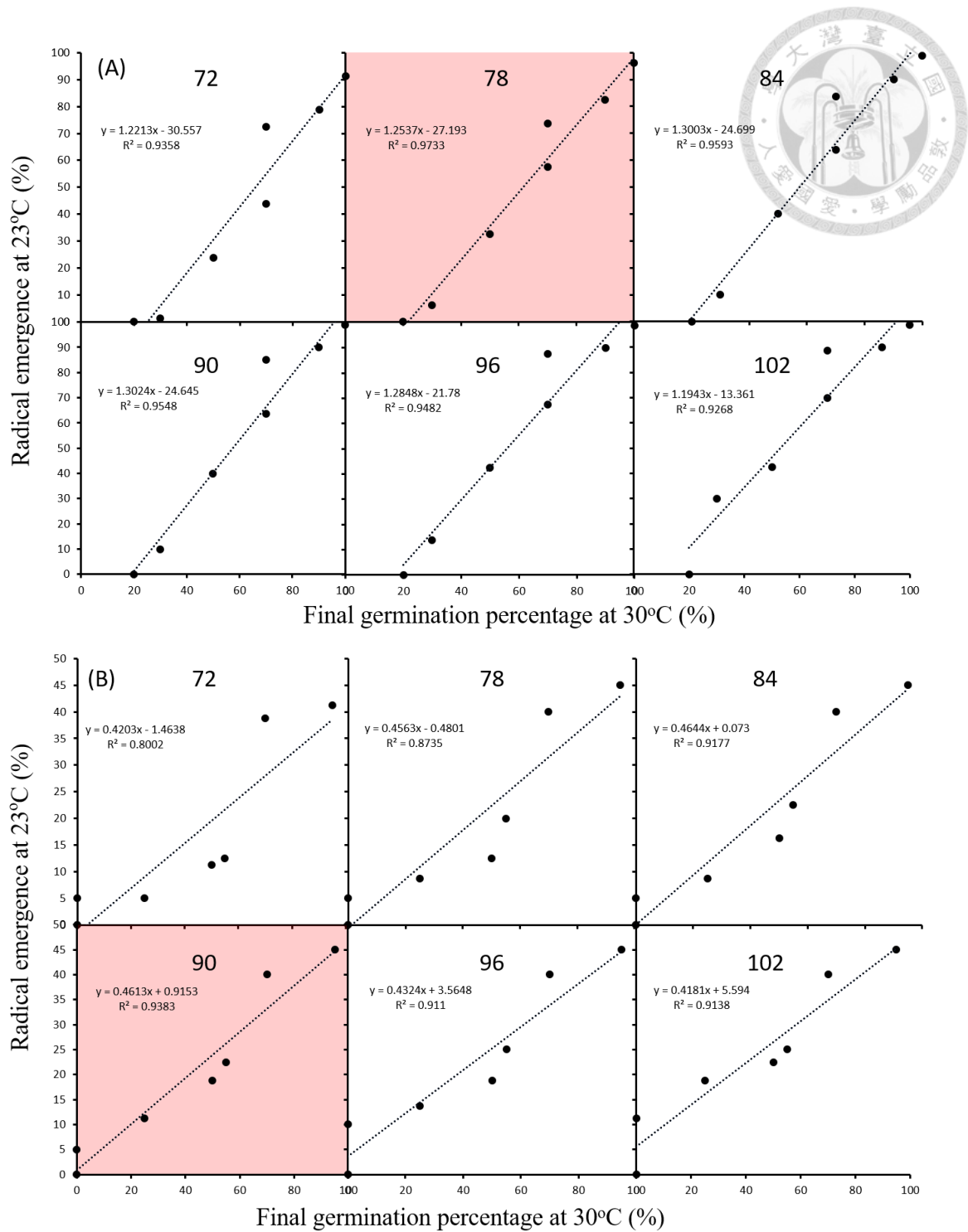


圖 8、苦瓜‘台麗 2 號’涼季及熱季種子 23°C 之單一取樣時間胚根突出率與標準發芽試驗最終發芽率之迴歸分析：(A)涼季種子 (B)熱季種子

Fig. 8. Regression analysis of the radical emergence percentage at a single sampling time (72-102 hours) at 23 °C with the final germination percentage of the standard germination test at 30 °C of bitter gourd ‘Tai li No. 2’ seeds harvested in cool (A) and hot (B) season.

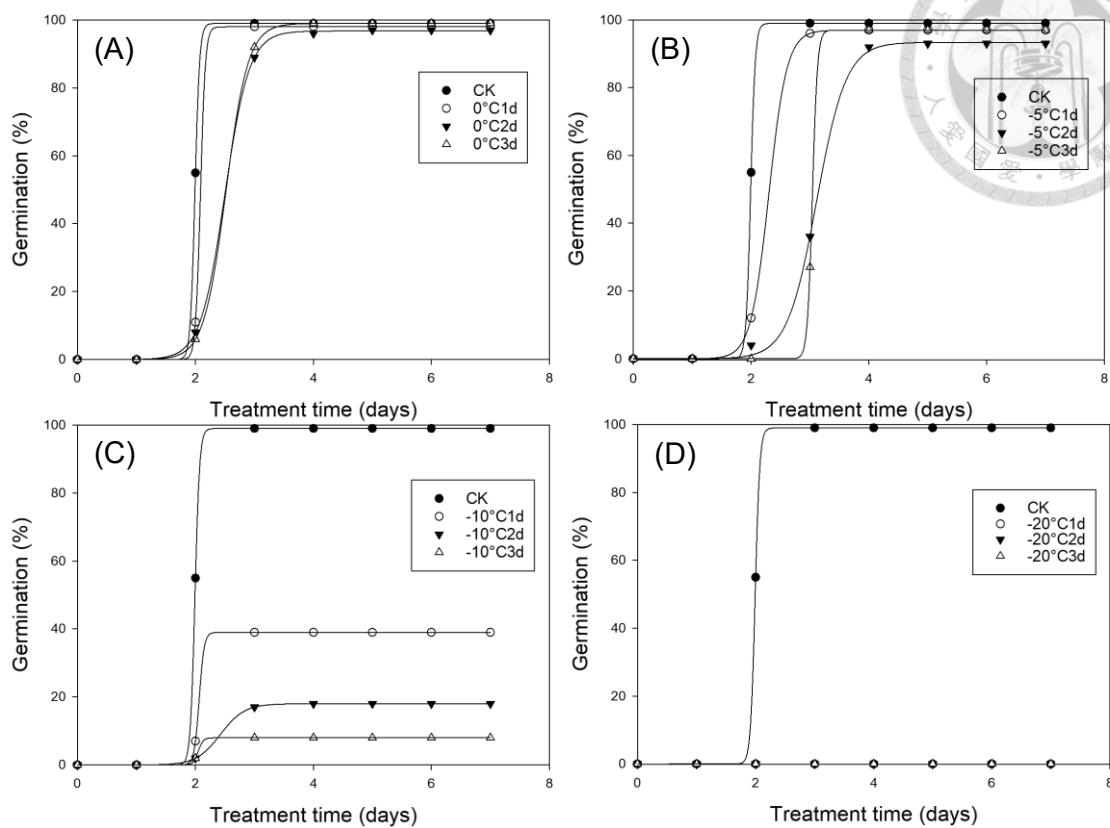


圖 9、低溫處理溫度及時間對苦瓜‘月華’熱季種子次級休眠誘導之影響：(A)0°C (B) -5°C (C)-10°C (D)-20°C

Fig. 9. The effect of lower temperature and time on the secondary dormancy induction of bitter melon ‘Yue hua’ seeds harvested in hot season. Seeds were treated with 0 (A), -5 (B), -10 (C) and -20°C (D) for 1-3 days, and the germinability was test at 30°C.

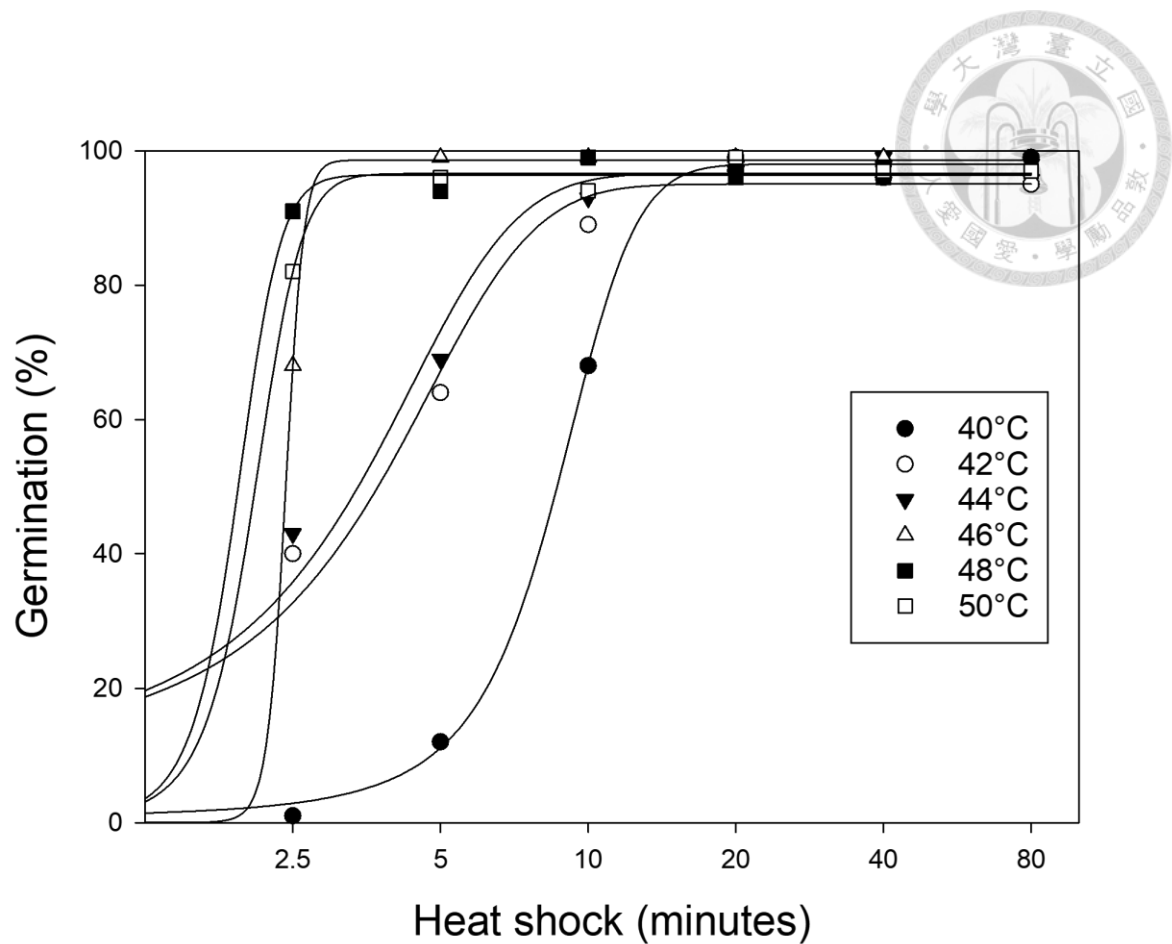


圖 10、熱處理溫度及時間打破對‘月華’苦瓜熱季種子次級休眠之效果

Fig. 10. The effect of heat shock temperature and time on the secondary dormancy breaking of bitter melon ‘Yue hua’ seeds harvested in hot season. Radical emergence was tested at 23°C.

第五章、結論

苦瓜為台灣重要之蔬菜作物，具有高營養以及藥用價值，而商業生產上以種子生產為主，唯其種子生理相關研究並不多，僅坊間流傳苦瓜種子儲藏壽命較短且有熱季種子儲藏壽命更短之現象，因此本研究目的在了解熱季苦瓜種子的活勢，透過加速老化法及胚根突出法比較兩季種子之活勢差異，並且探討次級休眠誘導條件以及對種子活勢造成的影響，據以提供降低氣候暖化對苦瓜種子產業衝擊的方法。

苦瓜種子活勢建立之關鍵時期是從 IV 級發育到 V 級的過程，同時也是種子達到生理成熟，並向採收成熟發育的時期。IV 級種子發芽能力尚未達到高峰，種子不具乾旱耐受性，種子活力會在含水率調降過程中死亡；V 級種子發芽能力達到高峰、種子及幼苗活勢最佳，並已發育出乾旱耐受性。熱季之苦瓜‘台麗 2 號’果實在 17DAP 開始轉色、20DAP 轉色完全，時分別為 V 級種子開始出現及比例達最高之時間，因此果實完全轉色可作為熱季苦瓜採種之判斷標準。涼季溫度較低，果實轉色慢，苦瓜‘台麗 2 號’果實在植株上直到果實爆破都幾乎不轉色。

熱季與涼季初採收之種子發芽百分比差異不大，但熱季種子在低於適溫下發芽能力約有 50% 的種子無法突出胚根。於 41°C 下加速老化處理後種子發芽表現劣變速率較快，涼季種子在老化 120 小時後完全失去發芽能力而熱季苦瓜種子則僅需 96 小時，且在老化過程中未發芽種子的死亡比例快速上升，涼季未發芽種子的死亡比例不受影響。於 41°C 下進行加速老化 3 日，或是透過胚根突出法都可以有效的區別苦瓜種子的活勢。由熱季苦瓜果實發育速度較快，且果實成熟後即爆裂，因此熱季種子沒有足夠時間建立活勢及乾旱耐受性，可能導致儲藏性較差。

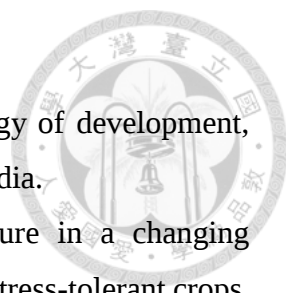
本研究結果顯示苦瓜種子之初級物理性休眠因品種不同有所差異，次級休眠是否為普遍的物種特性則仍需更多試驗佐證。苦瓜屬於正儲型種子，在低溫下發芽能力的喪失是由於次級休眠性的誘導，而非種子死亡；低於 -10°C

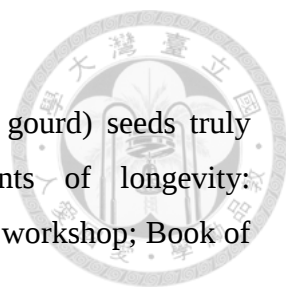
的溫度會誘導次級休眠，以 -20°C 處理 1 日可以達到 100 %之休眠誘導。該休眠性源自於種子之內生性因素，具體機制仍有待進一步探討，並且透過 $40-50^{\circ}\text{C}$ 之短暫處理來進行打破，且打破效率隨著溫度的增加而上升，以 $46-50^{\circ}\text{C}$ 效率較高。此外，次級休眠的誘導和打破並不會對苦瓜種子的活勢造成顯著的負面影響，具延長熱季苦瓜種子之儲藏壽命的潛力，但實際延長效果仍須靠進一步的試驗來印證。

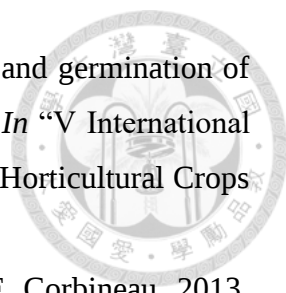
參考文獻

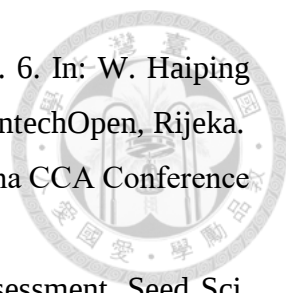


- 行政院農委會. 2019. 農業統計年報.
- 林益昇、鄧汀欽. 2005. 瓜菜類病害. 台灣農家要覽增修訂三版. 農作篇(三): 198-208.
- 徐陳翔. 2021. 苦瓜種子發育及種子活勢檢測. 國立台灣大學園藝學研究所論文. 臺北.
- 張有明、劉邦基、蕭吉雄、許圳塗. 1999. 苦瓜果實構造及發育之研究 I. 苦瓜果實構造與受精過程. 中華農業研究 48:23-31.
- 張有明、鄭櫻慧、許華欣、黃鵬林. 2000. 苦瓜果實構造及發育之研究 II. 苦瓜胚、種子和果實的發育. 中華農業研究. 49:49-60.
- 黃玉梅. 2011. 利用超音波處理促進苦瓜種子活力之研究. 植物種苗. 13:53-67.
- 郭華仁. 2016. 種子學. 國立台灣大學出版中心. 臺北. 臺灣.
- 陳甘澍、李碩朋. 1995. 苦瓜. 台灣農家要覽增修訂再版. 農作篇(二): 481-486.
- 陳品叡. 2019. 臺灣苦瓜產銷供應鏈之研究. 國立台灣大學農業經濟學研究所論文. 臺北.
- Abou-Hussein, S.D. 2012. Climate change and its impact on the productivity and quality of vegetable crops. J. Appl. Sci. Res 8:4359-4383.
- Al-Maskri, A., M. Khan, O. Al-Manther, and K. Al-Habsi. 2002. Effect of accelerated aging on lipid peroxidation, leakage and seedling vigor (RGR) in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seeds. Pakistan J. Agr. Sci. 39:330-337.
- Baek, J.-S., E.E. Cho, D.-B. Lee, and N.-J. Chung. 2018. Evaluation of seed vigor tests for predicting seedling establishment at low temperature in rice (*Oryza sativa* L.). J. Crop Sci. and Biotechnol. 21:155-163.
- Baskin, C.C., O. Zackrisson, and J.M. Baskin. 2002. Role of warm stratification in promoting germination of seeds of *Empetrum hermaphroditum* (Empetraceae), a circumboreal species with a stony endocarp. Amer. J. Bot. 89:486-493.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 2004. A classification system for seed dormancy. Seed Sci. Res. 14:1-16.
- Bewley, J.D. 1980. Secondary dormancy (skotodormancy) in seeds of lettuce (*Lactuca sativa* cv. Grand Rapids) and its release by light, gibberellic acid and

- 
- benzyladenine. *Physiol. plantarum* 49:277-280.
- Bewley, J.D., K. Bradford, and H. Hilhorst. 2012. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science & Business Media.
- Bitá, C. and T. Gerats. 2013. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Sci.* 4.
- Bopper, S. and M. Kruse. 2018. Temperature mediated physiological dormancy in dry bitter gourd (*Momordica charantia*) seeds. *Seed Sci. and Technol.* 46:19-30.
- BÖLEK, Y., M.N. Nas, and H. Cokkizgin. 2013. Hydropriming and hot water-induced heat shock increase cotton seed germination and seedling emergence at low temperature. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37:300-306.
- Cantliffe, D.J., J.M. Fischer, and T.A. Nell. 1984. Mechanism of seed priming in circumventing thermodormancy in lettuce. *Plant Physiol.* 75:290-294.
- Carrera-Castaño, G., J. Calleja-Cabrera, M. Pernas, L. Gómez, and L. Oñate-Sánchez. 2020. An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants* 9:703.
- Chin, H. 1990. Storage of recalcitrant seeds: past, present and future. *Trop. tree seed Res.*:89-92.
- Chin, H., B. Krishnapillay, and P. Stanwood. 1989. Seed moisture: recalcitrant vs. orthodox seeds. *Seed moisture* 14:15-22.
- Clerkx, E.J., H. Blankestijn-De Vries, G.J. Ruys, S.P. Groot, and M. Koornneef. 2004. Genetic differences in seed longevity of various *Arabidopsis* mutants. *Physiol. plantarum* 121:448-461.
- Cohn, M.A., B. Kucera, and G. Leubner-Metzger. 2005. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Sci. Res.* 15:281-307.
- Crane, J., A.L. Miller, J.W. Van Roekel, and C. Walters. 2003. Triacylglycerols determine the unusual storage physiology of *Cuphea* seed. *Planta* 217:699-708.
- Crookston, R.K. and D.S. Hill. 1978. A visual indicator of the physiological maturity of soybean seed. *Crop Sci.* 18:867-870.
- Debeaujon, I. and M. Koornneef. 2000. Gibberellin requirement for *Arabidopsis* seed germination is determined both by testa characteristics and embryonic abscisic acid. *Plant Physiol.* 122:415-424.
- Delouche, J.C. 1980. Environmental effects on seed development and seed quality.

- 
- HortSci. 15:775-780.
- Ebert, A. and Y. Huang. 2015. Are *Momordica charantia* (bitter gourd) seeds truly orthodox. In “seeds for future generations—determinants of longevity: International Society for Seed Science (ISSS) seed longevity workshop; Book of Abstracts”, pp. 58.
- Elias, S.G. and L.O. Copeland. 2001. Physiological and harvest maturity of canola in relation to seed quality. Agron. J. 93:1054-1058.
- Ellis, R.H., T. Hong, and E. Roberts. 1990. An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. J. Expt. Bot. 41:1167-1174.
- Endress, P.K. 2011. Angiosperm ovules: diversity, development, evolution. Ann. Bot. 107:1465-1489.
- F. Fang, E. and T. B. Ng. 2011. Bitter gourd (*Momordica charantia*) is a cornucopia of health: a review of its credited antidiabetic, anti-hiv, and antitumor properties. Current Mol. Med. 11:417-436.
- Farooq, M., H. Bramley, J.A. Palta, and K.H.M. Siddique. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Critical Reviews in Plant Sci. 30:491-507.
- Finch-Savage, W.E. and G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of germination. New phytologist 171:501-523.
- Garcia, J. and C.M.M. Coelho. 2021. Accelerated aging predicts the emergence of rice seedlings in the field. Semina: Ciências Agrárias 42:1397-1410.
- Giuliani, C., C. Tani, and L. Maleci Bini. 2016. Micromorphology and anatomy of fruits and seeds of bitter melon (*Momordica charantia* L., Cucurbitaceae). Acta Societatis Botanicorum Poloniae 85.
- Godwin, A., C. McGill, A. Ward, S. Sofkova-Bobcheva, and S. Pieralli. 2023. Phenological phase affects carrot seed production sensitivity to climate change – A panel data analysis. Sci, The Total Environ. 892:164502.
- Gubler, F., A.A. Millar, and J.V. Jacobsen. 2005. Dormancy release, ABA and pre-harvest sprouting. Current opinion in plant Bio. 8:183-187.
- Hasan, M.A., J.U. Ahmed, T. Hossain, M.A.K. Mian, and M.M. Haque. 2013. Evaluation of the physiological quality of wheat seed as influenced by high parent plant growth temperature. J. Crop Sci. and Biotechnol. 16:69-74.

- 
- Hemal Fonseka, H. and R. Fonseka. 2009. Studies on deterioration and germination of bitter gourd seed (*Momordica charantia* L.) during storage. In “V International Symposium on Seed, Transplant and Stand Establishment of Horticultural Crops 898”, pp. 31-38.
- Hoang, H.H., B. Sotta, E. Gendreau, C. Bailly, J. Leymarie, and F. Corbineau. 2013. Water content: a key factor of the induction of secondary dormancy in barley grains as related to ABA metabolism. *Physiol. plantarum* 148:284-296.
- Hsu, C.C., C.L. Chen, J.J. Chen, and J.M. Sung. 2003. Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter gourd seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Scientia Horti*. 98:201-212.
- Huang, H.Y. and C.H. Hsieh. 2016. Development of bitter gourd industry in Taiwan. *J. Taiwan Soc. Hort. Sci.* 62:101-108
- Ibrahim, E.A. 2016. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *J. Plant Physiol.* 192:38-46.
- Jurado, E. and J. Flores. 2005. Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits? *Journal of Vegetation Science* 16:559-564.
- Kapoor, N., A. Arya, M.A. Siddiqui, H. Kumar, and A. Amir. 2011. Physiological and biochemical changes during seed deterioration in aged seeds of rice (*Oryza sativa* L.). *Amer. J. Plant Physiol.* 6:28-35.
- Keigley, P.J. and R.E. Mullen. 1986. Changes in soybean seed quality from high temperature during seed fill and maturation. *Crop Sci.*
- Khanna, P., S.C. Jain, A. Panagariya, and V.P. Dixit. 1981. Hypoglycemic activity of polypeptide-p from a plant source. *J Nat Prod* 44:648-55.
- Li, R., L. Chen, Y. Wu, R. Zhang, C.C. Baskin, J.M. Baskin, and X. Hu. 2017. Effects of cultivar and maternal environment on seed quality in *Vicia sativa*. *Frontiers in Plant Sci.* 8:1411.
- Lin, R.H., K.Y. Chen, C.L. Chen, J.J. Chen, and J.M. Sung. 2005. Slow post-hydration drying improves initial quality but reduces longevity of primed bitter gourd seeds. *Scientia Horti*. 106:114-124.
- Marcos Filho, J. 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia agricola* 72:363-374.
- Masoumeh Asadi, A., S. Mohammad, P. Ghasem, and D. Beata. 2023. Pumpkin seeds

- 
- germination and seedling growth under abiotic stress, p. Ch. 6. In: W. Haiping (ed.). Biological and Abiotic Stress in Cucurbitaceae Crops. IntechOpen, Rijeka.
- Maynard, L. 2007. Cucurbit crop growth and development. In “Indiana CCA Conference Proceedings”. Purdue University West Lafayette, IN, USA.
- McDonald, M. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Sci. Technol.* 27:177-237.
- Nguyen, T.-P., P. Keizer, F. van Eeuwijk, S. Smeekeens, and L. Bentsink. 2012. Natural variation for seed longevity and seed dormancy are negatively correlated in *arabidopsis*. *Plant Physiol.* 160:2083-2092.
- Ooms, J.J., K.M. Leon-Kloosterziel, D. Bartels, M. Koornneef, and C.M. Karssen. 1993. Acquisition of desiccation tolerance and longevity in seeds of *Arabidopsis thaliana* (a comparative study using abscisic acid-insensitive *abi3* mutants). *Plant Physiol.* 102:1185-1191.
- Pekrun, C., P.J.W. Lutman, and K. Baeumer. 1997. Induction of secondary dormancy in rape seeds (*Brassica napus* L.) by prolonged imbibition under conditions of water stress or oxygen deficiency in darkness. *European J. Agron.* 6:245-255.
- Penfield, S. 2017. Seed dormancy and germination. *Current Biol.* 27:R874-R878.
- Perveen, S., S. Nigar, S. Khalil, and M. Zubair. 2010. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in wheat. *Pakistan J. Bot.* 42:3147-3155.
- Pritchard, H.W. 2004. Classification of seed storage types for *ex situ* conservation in relation to temperature and moisture. *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild*:139-161.
- Singh, R.P., P.V. Prasad, and K.R. Reddy. 2013. Impacts of changing climate and climate variability on seed production and seed industry. *Advances in Agron.* 118:49-110.
- Siyal, A.L. 2019. Hybrid seed production its methods & benefits.
- Sofowora, A. 1993. Medicinal Plants and Traditional Medicine in Africa. Spectrum Books.
- Solberg, S.Ø., F. Yndgaard, C. Andreassen, R. Von Bothmer, I.G. Loskutov, and Å. Asdal. 2020. Long-term storage and longevity of orthodox seeds: A systematic review. *Frontiers in Plant Sci.* 11:1007.
- Sugliani, M., L. Rajjou, E.J. Clercx, M. Koornneef, and W.J. Soppe. 2009. Natural modifiers of seed longevity in the *Arabidopsis* mutants abscisic acid insensitive3-

- 5 (*abi3-5*) and leafy cotyledon1-3 (*lec1-3*). *New Phytologist* 184:898-908.
- TeKrony, D., D. Egli, J. Balles, T. Pfeiffer, and R. Fellows. 1979. Physiological maturity in soybean 1. *Agron. J.* 71:771-775.
- TeKrony, D., D. Egli, and A. Phillips. 1980. Effect of field weathering on the viability and vigor of soybean seed 1. *Agron. J.* 72:749-753.
- Totterdel, S. and E. Roberts. 1979. Effects of low temperatures on the loss of innate dormancy and the development of induced dormancy in seeds of *Rumex obtusifolius* L. and *Rumex crispus* L. *Plant, Cell & Environment* 2:131-137.
- Wang, H., C. Chen, and J. Sung. 2003. Both warm water soaking and matricconditioning treatments enhance anti-oxidation of bitter gourd seeds germinated at sub-optimal temperature. *Seed Sci. and Technol.* 31:47-56.
- Wang, Y., Y. Cui, G. Hu, X. Wang, H. Chen, Q. Shi, J. Xiang, Y. Zhang, D. Zhu, and Y. Zhang. 2018. Reduced bioactive gibberellin content in rice seeds under low temperature leads to decreased sugar consumption and low seed germination rates. *Plant physiol. and Biochem.* 133:1-10.
- Yeh, G.Y., D.M. Eisenberg, T.J. Kaptchuk, and R.S. Phillips. 2003. Systematic review of herbs and dietary supplements for glycemic control in diabetes. *Diabetes Care* 26:1277-94.
- Yeh, Y., K. Chiu, C. Chen, and J. Sung. 2005. Partial vacuum extends the longevity of primed bitter gourd seeds by enhancing their anti-oxidative activities during storage. *Scientia Horti.* 104:101-112.
- Yuan, L. 1994. Increasing yield potential in rice by exploitation of heterosis. *Hybrid rice technology: New developments and future prospects*:1-6.
- Zhang, J., S. Xiang, and H. Wan. 2021. Negative association between seed dormancy and seed longevity in bread wheat. *Amer. J. Plant Sci.* 12:347-365.