

出國報告(出國類別：研究)

水果後熟機制與採後處理技術研習

服務機關：農業委員會農業試驗所

姓名職稱：蔡璿如助理研究員

派赴國家/地區：美國喬治亞大學

出國期間：108年7月29日至109年6月24日

報告日期：109年7月17日

摘要

台灣園產品的品種與栽培技術逐近進步，然而園產品自採收後至國內外消費者手中，如何維持其優良品質，由品質檢測、採後處理技術、包裝至冷鏈物流，其學問環環相扣，採後處理為提升園產品競爭力的其中一重要技術。

本次進修預計前往美國喬治亞大學 Dr. Savithri Nambeesan 的研究室，研究計畫著重在探討調控藍莓成熟與品質轉變的分子機制，學習採後處理於試驗上的相關技術，並且如何由此基礎研究延伸應用，針對提升蔬果品質採後處理進行技術上的改進。另外，參加佛羅里達大學舉辦之 Florida Postharvest Horticulture Tour，實地參訪佛羅里達州內採後處理相關產業。藉由本次進修機會學習該研究室對於園產品成熟機制的研究思維，並增加國際視野做為日後採後處理相關研究之參考。

目次

摘要	-----	1
一、 研習地點與行程	-----	3
二、 研習內容	-----	4
1. Investigating Mechanisms Regulate Blueberries Ripening	----	4
2. Florida Postharvest Horticulture Tour	-----	8
三、 心得與建議	-----	21

一、 研習地點與行程

本計畫執行於 108 年 7 月 29 日至 109 年 6 月 24 日前往美國喬治亞大學進行短期研習，研習內容為水果後熟機制與採後處理技術。Dr. Nambeesan 的果實生理研究室屬園藝系，具試驗農場，實驗室的研究內容包含影響藍莓成熟之相關基因、代謝物及賀爾蒙調控機制，藉以發展提升採後產品品質與儲架壽命的策略，另外亦有鈣與青椒果實尻腐病(blossom end rot)發生原因的相關研究。本研習以藍莓為研究材料，執行個人研究計畫 Investigating Mechanisms Regulate Blueberries Ripening。

期間於 109 年 3 月 2 日至 3 月 6 日參加佛羅里達大學舉辦之 Florida Postharvest Horticulture Tour，參訪佛羅里達州內採後處理相關產業。行程為期五天，內容以田間、產業參觀為主，針對栽種、採收、採後處理、包裝、物流運送等進行講解與問題討論。

• 日程：

3/2(一)

9:00 - 10:00 Fancy Farms. 草莓慣行栽培與採收

10:30 - 11:30 Wish Farms. 草莓壓差預冷設施參觀

13:00 - 14:30 Walmart Distribution Center. Walmart 超市物流中心參觀

15:30 - 16:30 Peace River Packing. 柑橘包裝

3/3(二)

8:30 - 9:30 RC Hatton Farms. 甜菜根機械採收

10:00 - 11:00 Hugh Branch Farms. 甜玉米水冷設施參觀

3/4(三)

8:00 - 9:00 Growers Management. 萵苣機械與人工採收

9:30-12:00 TKM Bengard Farms. 萵苣真空預冷參觀

12:30 - 13:30 Everglades Research & Education Center.

14:30 - 15:30 J&J Produce. 葫蘆科及茄科栽培與採收

3/5(四)

8:00 - 9:00 Thomas Produce. 壓差預冷設施參觀

10:00 - 11:00 Southern Specialties. 進口蔬果處理與包裝

2:00- 4:00 Port Everglades.

3/6(五)

8:00 - 9:00 Natalie's Orchid Island. 鮮榨果汁工廠參觀

1:00 - 2:00 Monterey Mushroom. 蘑菇生產與包裝

2:30 - 3:30 Sunsational Citrus. 農場參觀

二、 研習內容

1. Investigating Mechanisms Regulate Blueberries Ripening

(1) 前言

藍莓 (*Vaccinium* spp.) 為越橘屬作物，因其含有豐富機能性成分 (bioactive compounds)，近年來生產大幅增加。藍莓源生於北美洲，常見栽培種包含 lowbush (*Vaccinium angustifolium* Ait.), northern highbush (*Vaccinium corymbosum* L.), rabbiteye (*V. virgatum* Ait.), and southern highbush (hybrids of *V. corymbosum*, *V. virgatum*, and *V. darrowii* Camp.)。北美洲最常栽培的品種是北方高叢藍莓 (northern highbush)，兔眼藍莓 (rabbiteye) 與越橘屬的其他品種雜交產生的品種可適應美國南部的氣候。

果實成熟機制可劃分為更年性水果及非更年性水果，更年性水果成熟過程中呼吸作用與乙烯含量增加，非更年性水果則無此現象。乙烯在更年性水果成熟過程中扮演種要角色，乙烯前驅物 ACC (1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid) 相關合成基因包含 ACS (ACC synthase) 基因與 ACO (ACC oxidase) 基因表現增加，促進乙烯生合成。研究並發現更年性水果成熟過程中乙烯含量增加會自體催化乙烯生合成，稱為 autocatalytic ethylene production。

藍莓果實成熟期不一致現象，導致採收期長達 2-3 星期，同時增加生產成本，並且研究顯示藍莓目前尚未確定屬更年性水果或非更年性水果，乙烯對於更年性水果成熟過程中扮演種要角色，研究結果亦指出外施乙烯能促進藍莓成熟，釐清藍莓的成熟機制將可應用並提升採後處理效率。

(2) 研究目標

藍莓目前尚未確定屬更年性水果 (Climacteric fruit) 或非更年性水果 (Non-climacteric fruit)，本研究計畫藉由生理與分生實驗技術釐清藍莓在成熟過程中是否有更年性水果的乙烯自體催化生成 (ethylene production autocatalytic) 現象存在。

(3) 研究內容

選定南方高叢藍莓 (Southern highbush) 與兔眼藍莓 (rabbiteye) 其中兩栽培種，共四品種，於藍莓果實不同成熟階段分析乙烯前驅物 ACC (1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid) 含量、乙烯生合成酵素 ACC synthase 與 ACC oxidase 活性分析及基因表現分析。

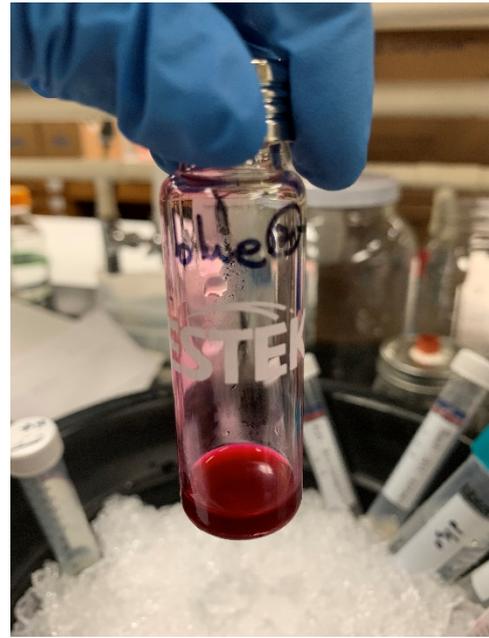
(4) 研究進度

第一季 108/8-10	(1) 完成材料研磨前處理。 (2) 蒐集 ACC 含量、乙烯生合成酵素 ACC synthase 與 ACC oxidase 活性分析 protocol。 (3) 學習 GC 儀器操作，並完成 ACC 含量 protocol 測試。
-----------------	---

<p>第二季 108/11-109/1</p>	<p>(1) 完成兔眼藍莓(rabbiteye) 兩栽培種 Premier 及 Powderblue 之 ACC 含量分析實驗。</p> <p>(2) 學習 blastall 程式操作，以番茄、葡萄基因序列比對藍莓基因體中 ACS (ACC synthase)基因與 ACO (ACC oxidase)基因序列。</p>
<p>第三季 109/2-4</p>	<p>(1) 以葡萄 ACO (ACC oxidase)基因序列比對本實驗室 RNAseq 分析所得之兩栽培種 Powderblue 及 Suziblue 藍莓基因體中可能的 ACO 基因序列，將序列以 NCBI Blast 進行預測，篩選可能的目標基因，並且比對 ACO 基因上的保守性序列做進一步確認。將序列以相似性分群後完成引子設計。</p> <p>(2) ACS (ACC synthase)基因於本實驗室兩栽培種 Powderblue 及 Suziblue 藍莓基因體中推測由於表現量過低，因此無法透過序列比對得到目標序列。改以現有文獻已知之其他藍莓栽培種基因體(Draper)比對可能的序列，資料庫來源 https://www.vaccinium.org/。以葡萄 ACS (ACC synthase)基因序列進行比對，將可能的目標序列以 NCBI Blast 進行預測，並且比對 ACO 基因上的保守性序列做進一步確認。將序列以相似性分群後完成引子設計。</p>
<p>第四季 109/5-6</p>	<p>(1) 田間 Plant growth regulator 試驗 於藍莓果實處於 green immature 時期，噴灑植物生長調節劑，包含促進乙烯合成的 ACC、Ethephon，與乙烯抑制劑 AVG、1-MCP。試驗處理前一天隨機挑選植株上約一公尺長的枝條做標記，並移除枝條上已成熟的藍莓，計算 green immature 及 pink 時期的果實數目。於噴灑後特定天數計算 green immature、pink 及 ripe 不同時期的果實數目，觀察果實成熟比例，同時採集進行其他分析試驗。</p> <p>(2) 採後品質測量 藍莓於田間採回後存放於 4°C 冷藏庫，於採後第 3、14、28 進行測量。測量項目包含重量、外觀判定 (tear、shiver、disease、dent)、質地 (compression、puncture)、直徑、總可溶性固形 (Total Soluble Solids, Brix)。</p> <p>(3) GC-MS 操作 將冷凍藍莓果實磨粉進行萃取，以 GC-MS 分析醣類、有機酸、胺基酸等種類與含量。</p>



與 Dr. Nambesan 合影



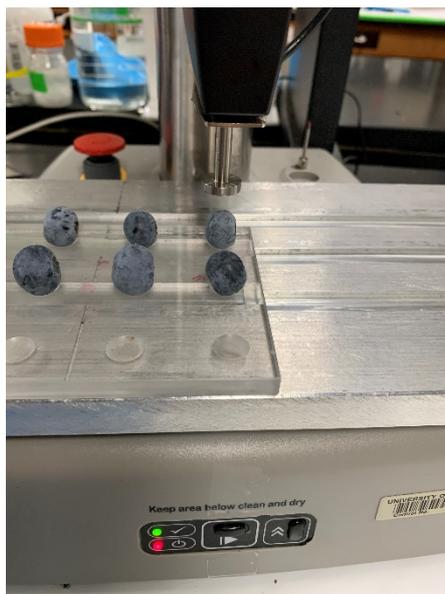
分析 ACC 含量之萃取液



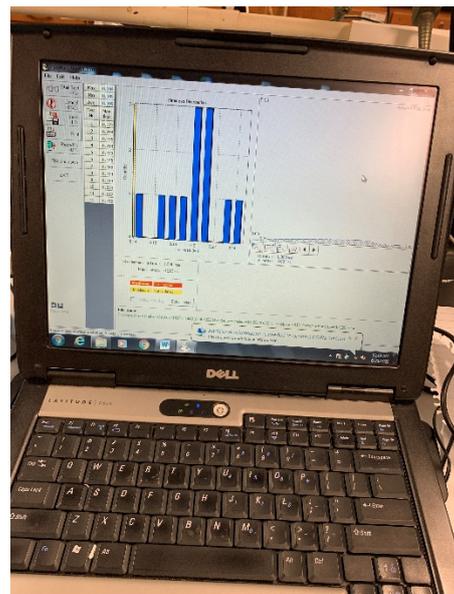
ACC 分析使用之 GC 儀器



次級代謝物分析之 GC-MS



Fruit quality- compression test



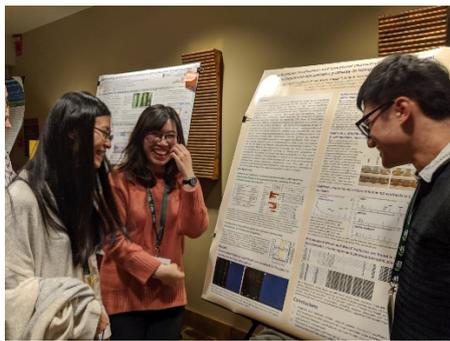
電腦換算結果至堅實度 firmness



藍莓果實有成熟度不一致的問題



植物生長調節劑試驗對標記的枝條進行調查



109/10/24-25 參加喬治亞大學 Plant Center retreat，行程包含碩博生研究海報成果競賽及新進教授專題演講。

2. Florida Postharvest Horticulture Tour

佛羅里達州以觀光業為主要經濟來源，農業為第二大產業，為僅次於加州的美國第二大蔬果生產洲。其生產項目橘子、葡萄柚、甘蔗、瓜類 (cucumber、squash) 及鮮食番茄產值皆為美國第一。另有生產青椒、甜玉米、草莓、四季豆等。

• 收穫與包裝

Fancy Farms <http://www.fancyfarms.com/> 草莓慣行栽培與採收

為一 family farm，主要以草莓為主，參訪當天正進行草莓採收，採收方式為人工收穫，勞力缺乏亦是美國農業問題之一，因此近年農業人力多透過 H-2A Temporary Agricultural Visa Program，引進外來人力(多來自墨西哥)，彌補農忙的人力短缺。農場通常需負擔短工的食宿、日常採買。採收者以小推車於田間進行採收(圖一)，田埂兩側進行初步的品質監測，田間亦有類似監督者隨機抽查各個採收者的草莓狀況，採收完畢後便載至鄰近採後處理與批發廠商。

佛羅里達草莓常見之病害為白粉病與果實灰黴病(圖二)，除了噴灑農藥外，農場會直接移除病株，停止該區域的栽種。



圖一、草莓人工採收



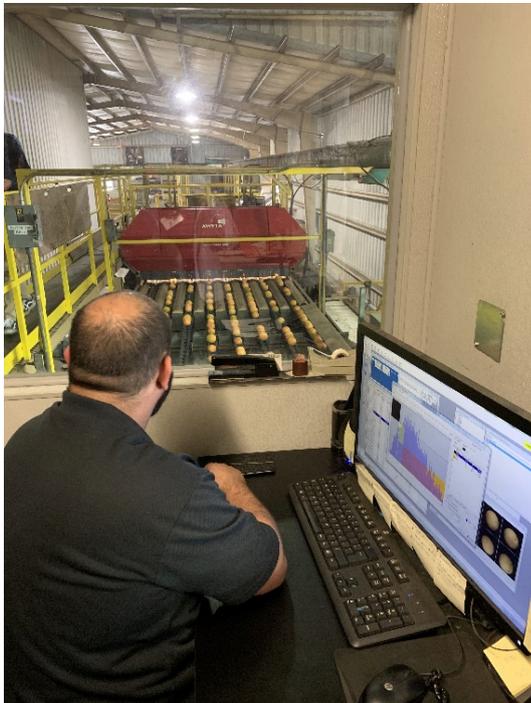
圖二、草莓病害

Peace River Packing <http://www.peacrivercitrus.com/> 柑橘包裝

該業者主要處理柑橘包裝工作，業者表示佛羅里達生產之柑橘約只有5%供鮮食用，該包裝廠位置離鄰近生產者僅約在5英里(約8公里)內。收穫後之柑橘由卡車卸貨後便進入自動化產線，首先機器進行風選去葉(圖三)，較大枝條則由人工挑選，接者進行水洗，水洗時會加入 SOPP，為一種柑橘專用的殺真菌清潔劑，水洗後風乾，接者上蠟，原因是水洗時會洗去柑橘表層天然的蠟質，上蠟可以防止水分流失，增加儲藏的時間，同時外觀較佳具有光澤，接著由人工進行電腦的外觀品質選別(圖四)，依大小進行分級後，由機器自動化包裝，以網袋包裝為主，完成後即可出貨。依出貨對象要求不同，該業者亦設有冷藏室預冷柑橘。在氣候溫暖、收穫前期採收的柑橘，即便果實已經成熟，但果皮尚還有大量的葉綠素，呈現綠色外觀。由於多數消費者仍喜好橘色果皮的柑橘，因此包裝場外業者還設有 Degreening Room，透過 degreening 能促進葉綠素分解為類胡蘿蔔素，達到轉色目的。Degreening Room 必須在 85°F (約 29.4°C)、黑暗高濕度的環境下，以低濃度的乙烯處理。



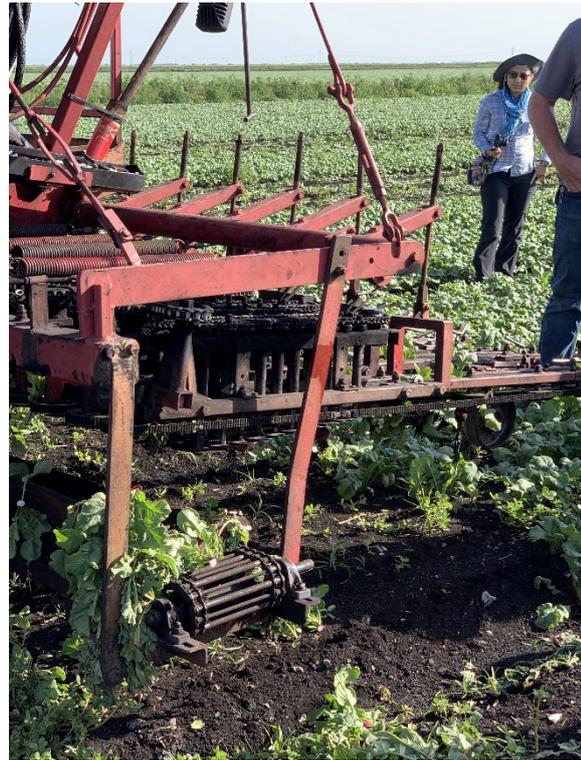
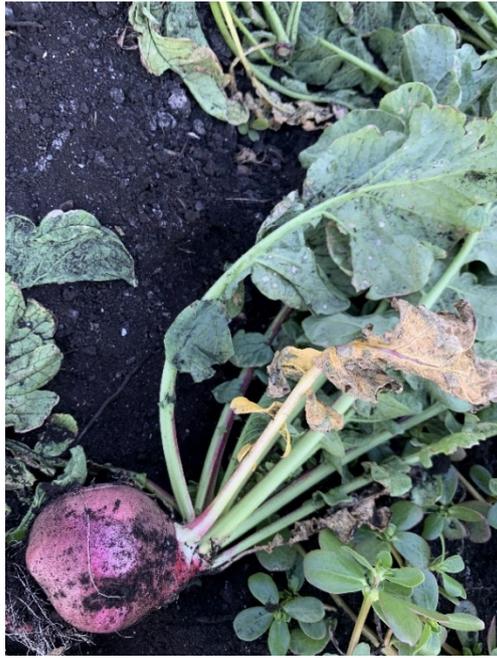
圖三、經風選去除枝條、葉片的柑橘



圖四、電腦輔助選別

RC Hatton Farms. <https://rchattonfarms.c> 甜菜根(beet)機械採收

該農場採機械化採收，前端夾取甜菜根後，履帶向上輸送，刀具自動切除地上部，剩餘地下部保留。



甜菜根與機械收穫

Growers Management. <http://www.growersmanagement.com/> 萵苣機械與人工採收

該農場生產葉菜類產品，負責人表示每天同時會有播種與採收工作進行，人力來源皆為 H2A 簽證的墨西哥勞工。由於佛羅里達屬沼澤地形，四處可見運河(canal)，成為農業灌溉水來源，美國葉菜類多做生食用途，因此食品安全格外重要，農場定期進行灌溉水的品質檢驗，所生產的萵苣針對大腸桿菌、沙門氏菌、李特氏菌進行檢測。

依產品包裝方式不同，該農場有兩種採收機械，採單獨包裝之萵苣，兩人一組，一人採收去核與外層葉並裝袋，另一人封袋將萵苣送上自動履帶裝箱(圖五)。另一則是田間採收後不單獨包裝，直接裝箱(圖六)。裝箱至預冷過程於四小時內完成最佳，通常控制在兩小時內。



圖五、單獨包裝萵苣收穫



圖六、箱裝萵苣收穫

J&J Produce <https://www.jjfamilyoffarms.com> 葫蘆科及茄科栽培與採收

接著參觀葫蘆科與茄科生產農場，參觀時正好進行櫛瓜(zucchini)採收，櫛瓜採收仰賴人力以刀進行收割，採收期可於 11 月底至隔年 5 月，農場大量使用 H2A 人力，採收完後直接於田埂旁的貨車上進行水洗與裝箱，以 40°F (約 4~5°C) 清水人工清洗(圖七)。



圖七、貨車上進行人工水洗後裝箱

• 園產品採後處理與批發

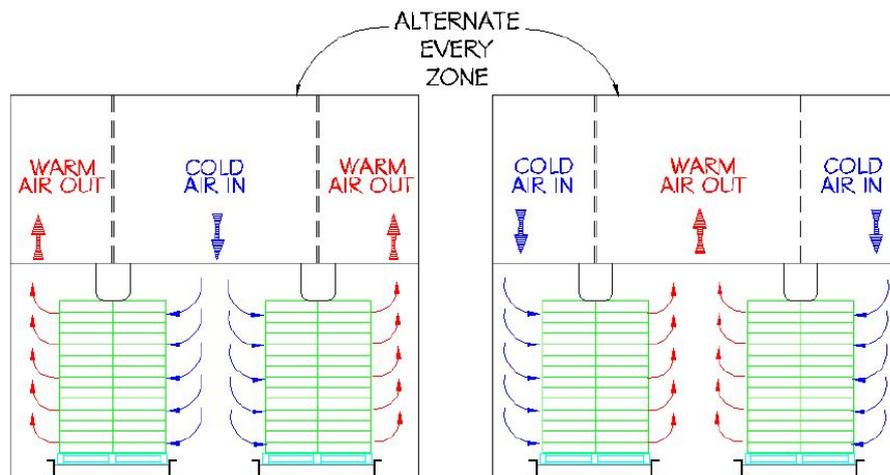
Wish Farms. <https://wishfarms.com/> 草莓壓差預冷設施參觀

Wish Farms 主要進行莓果類產品的採後處理與批發。新鮮草莓採收後，預冷前會再以機器進行品質選別，接著立即冷卻至 40°F (約 4~5°C)，通常使用壓差預冷(forced-air cooling)，不建議使用水冷(hydro-cooling)，水分使漿果類容易腐敗。冷卻時間約 1 至 2 小時，視採收時溫度高低略有不同。

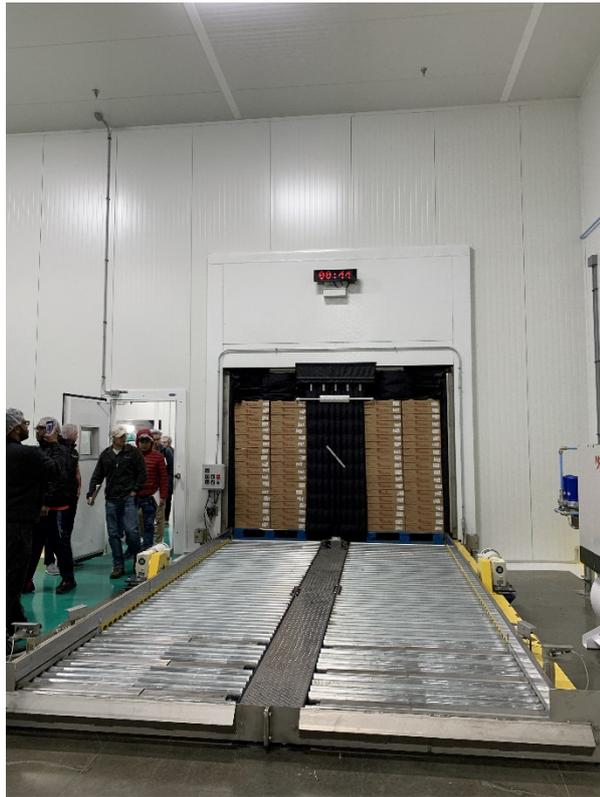
該業者使用 MACS(Modular automated cooling system) cooler(圖八)，為一密閉的冷卻系統，利用壓力差將熱空氣抽出，注入冷空氣(圖九，圖片來源 <http://macscooler.com/product-quality/>)。與傳統壓差預冷方式相比，能更均勻的覆蓋冷空氣，使冷卻更有效率。推高機將貨盤至於入口轉盤後，於面板設定目標溫度、條件，感測器便會自動調整降溫、轉盤及對流進行預冷，待預冷完成後貨盤會自動於轉盤送出(圖十)。整個過程由採收至預冷到出貨至零售商約時四天。



圖八、壓差愈冷設施



圖九、壓差愈冷圖示說明



圖十、預冷結束貨盤送出

WalMart Distribution Center. Walmart 超市物流中心參觀

Walmart 為美國大型連鎖超市，其蔬果倉儲空間依不同蔬果設置不同溫度之 cold room，洋蔥、馬鈴薯適合儲藏於 64°F (約 18°C)，蘋果、蘑菇、漿果類適合存放於 34°F (約 1°C)，冷藏室依序由高至低溫度設計，走過冷藏室後，為後熟管理室 (ripe management)，主要為香蕉催熟，後熟室設有監測器監測乙烯、二氧化碳濃度，進入催熟室的香蕉約為 Stage2，藉由乙烯催熟至約 Stage 3.5 即可出貨，香蕉品質標準依照 USDA 公告之大小、顏色、糖含量進行選別。

Hugh Branch Farms.<https://www.hughbranch.com/>

甜玉米水冷設施參觀

為甜玉米採後處理業者，採收後玉米卸貨後先以人工進行品質檢測，包含玉米大小外觀與成熟狀態，接著進入預冷程序，採水冷(hydro-cooling)方式(圖十一)，以冷水淋洗帶走熱能，溫度設定於 34~36°F (約 1~2°C)，待堆高機將玉米置於轉盤後，設備置有感測器控制轉盤，操控棧板進、出設施。水洗過程為時約 50 分鐘至 1 小時，業者使用 Keeper 進行消毒(圖十二)，為一蔬果採後消毒用產品，主成分為次氯酸鈉，該產品需混合 citric acid，活化 Keeper 的消毒活性，因此在水冷設施旁設有一小型藥品室進行藥品配置(圖十三)。

預冷結束後，進入 cold box (約 36°F, 2°C)進行存放等待出貨，cold box 內以臭氧(ozone)處理，可維持消毒作用。業者提及採 First in-First out 的原則，簡短儲放時間，慣行與有機產品分開儲放互不接觸。廠內另外設有一藥品儲放室，存放消毒等需要的藥品，藥品與牆面均有清楚標示與警語。業者也表示廠內設施、地面等均會定期以漂白水進行清洗，維護食品安全。



圖十一、水冷設施



圖十二、Keeper 消毒液



圖十三、藥品儲存室

TKM Bengard Farms. <http://www.tkmfarms.com/> 萵苣真空預冷參觀

該業者擁有自己的萵苣生產田並且進行採收後的包裝處理，田間採收的萵苣運送至工廠後，首先人工進行品質抽檢，並於裝箱外的標籤清楚標示日期時間、田區來源(圖十四)。由採收、預冷至準備出貨約四小時內完成。

葉菜類產品適合真空預冷(vacuum cooling)方式，以真空環境使一大氣壓下水沸點 100°C 降至 0°C ，減壓狀況下，水汽化過程帶走表面積大量汽化熱，達到迅速降溫效果，適合葉菜類表面積大的蔬菜。預冷時間約 45 分鐘，預冷完成後，員工迅速封袋，以維持溫度(圖十五)。

接著參觀出貨區，業者提及每輛貨車出貨前，會先針對司機資訊、訂單資訊做 check-in 動作，並且為確保運送過程的安全品質，每輛貨車須強制配置追蹤器，單個 10 元美金由貨運公司自付，該追蹤器可針對貨櫃溫度、濕度、光度監測，並有 GPS 功能，供業者進行追蹤，此追蹤器出貨後便不再回收。



圖十四、裝箱標籤



圖十五、預冷結束人工封袋

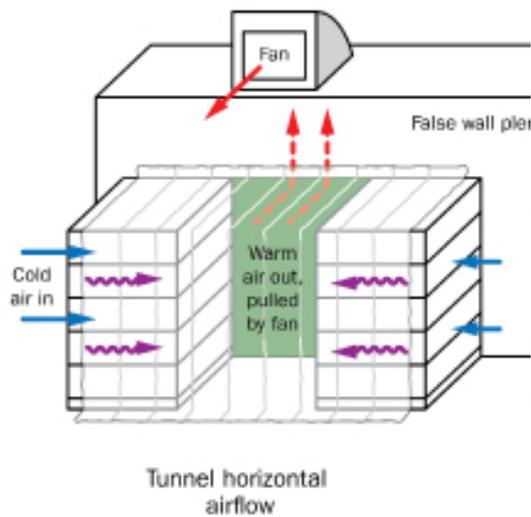
Thomas Produce. <http://www.thomasproduce.com> 壓差預冷設施參觀
該業者為甜椒類(Bell peppers)、辣椒、黃瓜(Cucumber)、夏南瓜(Squash)、豆角(Green beans)等非葉菜類蔬菜的包裝處理廠。參觀當時正在進行豆角的自動裝袋作業，經過水洗後輸送帶會送至一漏斗狀的秤重儀上(Weigher)，待累積至每單一包裝的目標重量後，下方開口便會打開進行包裝。接著參觀壓差愈冷設施(圖十六)，存放於此的是預備出貨的甜椒類產品，壓差預冷於兩列貨盤上覆蓋帆布，利用進風口造成負壓，使熱空氣被抽出，將冷空氣強制流入貨盤商品間，利用空氣流達到冷卻效果，使用壓差愈冷的包裝箱上會預留孔洞，讓冷空氣進入與產品接觸(圖十

七，圖片來源

<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/14-039.htm>。



圖十六、隧道式壓差愈冷



圖十七、隧道式壓差愈冷圖示

Southern Specialties.進口蔬果處理與包裝

<http://southernspecialties.com/>

為負責進口蔬果處理與配送的業者，進口的蔬果入廠後貨櫃溫度約處於 50~60°F(10~16°C)，首先進行水冷式預冷，以 34°F(1°C)冷水進行淋洗，同時也會進行產品消毒，過程約 25 分鐘。預冷完成後轉至儲藏室，依產品不同有適合的儲存溫度，由溫度低至高設置不同的儲藏空間，如蘆筍適合 36~37°F(2~3°C)，熱帶水果芒果、木瓜、鳳梨等適合存放於

45~47°F (7~8°C)。廠內的規劃包含催熟室(ripening room)、包裝材存放室(package material room)與包裝室(repack product room)，根據客戶要求的包裝形式有時必須針對產品重新包裝，並且依客戶要求的出貨條件也會進行不同的消毒條件或者後熟處理的程度。最後便是出貨區的儲藏區域，僅作為短暫存放。

Natalie's Orchid Island. <http://orchidislandjuice.com/>

鮮榨果汁工廠參觀

Natalie's Orchid Island 為鮮榨果汁加工廠，從榨汁、裝瓶至出貨一天內完成，採用佛羅里達當地生產的柑橘，卸貨後先進行水洗、浸潤，然後選別、壓榨，經殺菌後，於管線快速冷卻後裝瓶。根據冷藏保存的方法不同，果汁最長可保存三年，供應海外銷售。每年三月至五月是 Valencia 品種風味最好的季節，並且業者也會根據不同國家消費者喜好(酸甜比例)，使用不同成熟階段的柑橘。

Monterey Mushroom. 蘑菇生產與包裝

<http://www.montereymushrooms.com>

首先參觀推肥製作區(圖十八)，推肥主要原料為乾稻草、雞糞、碳酸鈣等，作為碳、氮來源，加水混合後重複翻埋堆積，下種前進行後發酵殺菌。菌種下種後會在栽培介質表層覆上 casein layer。蘑菇栽培需注意菇舍內溫度及濕度，適時的灑水能維持蘑菇水分，同時冷涼溫度適合生長，過於溫暖容易出現只長菇柄、菇傘生長速度慢的現象。培養期間亦會進行 thinning 讓蘑菇有適當的生長空間，減少不良競爭。



圖十八、堆肥區



圖十九、菇舍內部



圖二十、蘑菇採收後進行裝盒→秤重→包膜→品質檢查→裝箱作

三、心得與建議

學術研究為產業應用的基礎，果實成熟調控機制的研究後續應用廣泛，可應用於果實成熟期的預測、品質控管、不同品種間採後貯藏條件的調整等等。藉由本次進修機會筆者學習該研究室進行園產品調控機制的研究策略及思維，隨著基因體學、代謝體學等新興整合性分析技術發展成熟，讓研究人員能夠更全面性的了解在果實成熟過程中轉錄體基因表現的變化以及醣類、有機酸等代謝物生合成轉換的變化，精準找出對於採後處理品質、成熟時程具有影響力的基因或相關荷爾蒙，掌握成熟過程中具有最佳品質的階段。然而要如何將小型試驗結果放大至產業應用是更大的挑戰，考驗著政府、學界、產業界三方的合作，讓研究價值發揮最大效益。

在美國許多研究經費除了來自官方，部分來自產業界投入，研究計畫內容與產業人員關注的議題緊緊相連，此現象與台灣較為不同；台灣的研究計畫經費多來自政府資源，時因政策變化導致計畫中斷實為可惜。參與 Florida Postharvest Horticulture Tour 過程中也發現學界透過類似的活動深入相關產業，了解產業面的現況與問題。美國將這種"Extension"的產業參與列為研究人員必要的指導工作，由此可見學界與產業界互動之緊密。

此次研習除了專業能力的精進，也增加筆者國際視野與語文能力。於研究層面，筆者感受到在美國強調橫向的社交人際關係，無論是正式的研討會或者 Retreat (在一年的辛苦工作中安排假期到戶外充電、交流) 甚至是 Coffee hour，研究人員樂於討論彼此的研究甚至日常生活，以開放的態度、無先後輩之分，由分享中取得靈感，這種工作氛圍值得學習。在產業方面，美國的農業生產規模雖與台灣不同，但在採後處理、冷鏈技術等仍有值得借鏡之處，如何從中擷取、發展出適合台灣的模式是必需努力的方向。最後感謝本所提供進修機會，深感謝意，期能在未來的相關研究做出反饋。