

國立台灣大學生物資源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 Thesis

包裝方式對茭白筍貯藏品質之影響

Effect of Packaging on Storage Quality of Water Bamboo

(*Zizania latifolia* Turcz.)

賴淵

Yuan Lai

指導教授:王自存 博士

Advisor: Tsu-Tsuen Wang, Ph.D.

中華民國 101 年 7 月

July, 2012

致謝

對於老師在最後時刻拉了我一把，學生不知該怎麼報答，這輩子不會忘記，永遠銘記在心！老爸老媽阿肥的支持與包容，謝謝，將來換我養你們。蜜雪兒小姐是我這輩子第2重要的女人，跟你在一起是天底下最棒的事!!謝謝你之前還願意容忍我那麼久，如果可以的話，我想用剩下的50年還妳放在我身上的10年~~最後感謝所有幫助過我的朋友，小弟感激萬分。

LARRY



摘要

茭白筍(*Zizania latifolia* Turcz.)是屬於新鮮的幼嫩組織，採收下來之後會因為旺盛的呼吸作用而造成品質的衰敗，除了溫度是影響其品質變化的重要的因素之外，包裝方式是另一影響品質的因子。本試驗研究不同的包裝形式對茭白筍貯藏品質的影響。結果顯示真空包裝可維持茭白筍的外觀完好程度如新鮮的狀態下一樣；密封及捆綁處理則隨著儲藏期增加，筍身會有皺縮，並且組織內部會發生空洞化及破裂的情況；未包裝的對照組，在第三天外葉即出現萎凋，第七天筍身也逐漸萎縮並且有雜菌感染並失去食用價值。品質的部分，真空包裝處理對外葉的黃化程度、基部切口褐化、硬度、失水程度以及總可溶性糖的減少，皆是所有處理中變化最少的，其次是密封及捆綁，最後是未包裝的處理。

由於真空包裝處理對於茭白筍的保鮮有較佳的效果，因此進一步使用不同厚度的包裝袋來比較真空包裝之效果，結果顯示幾乎所有的品質項目皆沒有差異，唯獨在乙醇的濃度變化上，0.05 mm 的包膜產生的量比 0.08 mm 少，無氧呼吸的情況輕微一點。真空抽氣的程度不同，對袋內的氣體含量變化趨勢也有不同的影響，氧氣及二氧化碳均會快速的下降與上升，以抽氣時間 12 秒處理最為明顯；因抽氣 12 秒，負壓達 755 mmHg，會讓茭白筍很快的進行無氧呼吸，造成代謝物濃度的上升較其他抽氣時間快速。

由本試驗結果得知茭白筍的最適當真空包裝方式是以厚度 0.05 mm LDPE 袋，以真空壓力- 680 mmHg 抽氣 6 秒包裝。真空包裝的茭白儲藏在 5°C 冷藏庫，各項品質之保存最完好，在無氧呼吸的異味感出現前，可維持 4-5 周的貯藏壽命。

Abstract

Water bamboo (*Zizania latifolia* Turcz.) possesses fresh and tender tissue and its quality deteriorates rapidly after harvest due to high respiration. In addition to temperature, packaging method was considered as another important factor that will affect the deterioration rate. In this study, the effect of packaging on the quality of water bamboo during storage at 5°C was investigated. The results showed that water bamboo packed in vacuum packages maintained its appearance as good as freshly harvested. On the other hand, water bamboo packed in sealed package and tied package showed shrunk appearance as the storage time increased, and there were hollowness and cracking within the tissue. For the unpacked treatment, its sheath leaf wilted after 3 days and its body shrank after 7 days with the appearance of bacteria contamination, and became totally unsalable. With respect to the effect of packing methods on quality changes during storage, the vacuum package showed least change in all the quality factors observed, including yellowing of sheath leaf, browning of cut end, hardness, water loss and total soluble sugar contents. It is followed by sealed and tied package, and the unpacked showed the worst changes.

Since the vacuum package showed the better result in maintaining the quality of water bamboo during cold storage, the conditions of vacuum package were further studies. When water bamboo was vacuum-sealed in LDPE bags of different thickness, most of the quality factors were not affected during cold storage. The only difference was the ethanol concentration inside the tissue, with 0,05 mm bags having lower ethanol than the 0.08 mm bags, indicating less anaerobic respiration. The degree of vacuum, which was controlled by the length of vacuum pumping, also affected the gas contents within the bag. The longer pumping time, the greater changes in oxygen reduction and carbon dioxide increase inside the bag. Twelve second pumping, which

resulted minus 755 mmHg vacuum, was considered too long; because it results a rapid anaerobic condition and the accumulation of more anaerobic metabolites.

The results of this study indicated that the optimum vacuum package condition for water bamboo were: using 0.05 mm LDPE bags and vacuum packed with 6 second pumping to minus 680 mmHg vacuum, and stored at 5°C. The water bamboo will have a storage life of 4 weeks in good quality before the appearance of anaerobic off flavor.



目錄

第一章、前言	1
第二章、前人研究	2
第三章、包裝方式對茭白筍貯藏品質之影響	14
第四章、真空包裝條件對茭白筍貯藏品質之影響	22
第五章、結論	31
參考文獻	59
附表	66



圖次

圖 1. 台灣近十年茭白筍種植總面積	3
圖 2. 台灣近十年茭白筍生產總量	3
圖 3. 台灣近十年茭白筍總產值	4
圖 4. 茭白筍以密封包裝於 5°C 儲藏 50 天之外觀(帶殼)	33
圖 5. 茭白筍以密封包裝於 5°C 儲藏 50 天之外觀(去殼)	33
圖 6. 茭白筍以密封包裝於 5°C 下儲藏 50 天基部之連續切片	34
圖 7. 茭白筍於 5°C 以密封(A)及網綁(B)儲藏 50 天之筍髒切面	34
圖 8. 茭白筍以真空包裝處理於 5°C 下儲藏 50 天之外觀	35
圖 9. 茭白筍以真空包裝於 5°C 下儲藏 50 天之切面	35
圖 10. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間外葉色相角之變化	36
圖 11. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間基部切面 L* 之變化	37
圖 12. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間質地之變化	

.....	38
圖 13. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間失水率之變化	39
.....	39
圖 14. 不同大小之茭白筍中不同部位之總可溶性醣含量	40
.....	40
圖 15. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間總可溶性醣之變化	41
.....	41
圖 16. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之色相角之變化	42
.....	42
圖 17. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之外葉葉綠素含 量之變化	43
.....	43
圖 18. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之切口褐化之變化	44
.....	44
圖 19. 不同樣品新鮮茭白筍中之乙醇濃度	45
.....	45
圖 20. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之乙醇濃度變化	46
.....	46
圖 21. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之外觀評分變化	47
.....	47
圖 22. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之質地品評變化	48
.....	48
圖 23. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之香氣品評變化	49
.....	49
圖 24. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之異味品評變化	

.....	50
圖 25. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之整體品評變化	51
.....	51
圖 26. 茭白筍以不同抽氣時間完成之真空包裝在 5°C 貯藏期間之其袋內殘餘氣體 量之變化	52
.....	52
圖 27. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間其袋內氧氣濃之 變化	53
.....	53
圖 28. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間其袋內二氧化碳 濃度之變化	54
.....	54
圖 29. 茭白筍以密封包裝在 5°C 貯藏期間其袋內氧氣及二氧化碳之變化	55
.....	55
圖 30. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間茭白筍內乙醇濃 度之變化	56
.....	56
圖 31. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間茭白筍內乙醛濃 度之變化	57
.....	57
圖 32. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間包裝袋內乙醇濃 度之變化	58
.....	58

第一章

前言

茭白(*Zizania latifolia* Turcz.)是一種禾本科菰屬，屬多年生宿根植物，古代以採收種子的形式來食用，而近代人類選擇不開花結穗且與黑穗菌共生的植株所形成膨大的幼嫩組織來食用，是台灣夏、秋兩季的重要蔬菜，主要產地集中在南投。茭白屬於水生植物，耐高溫高濕，但採收下來的茭白筍，會常因儲藏期太長或是條件不好，而發生筍殼變黃，組織褐變及纖維化，軟爛甚至發臭腐敗的情形(周等，2006)。茭白筍之採後生理受到環境影響極大，也因為是幼嫩的組織，所以生理代謝作用旺盛，老化速率快；台灣的農民在田間採收後，為暫時保鮮，會將茭白筍浸於冰水中(張及廖，1988)。

國內有關於茭白筍採後處理保鮮之研究甚少，張與廖(1988)的報告指出，茭白筍置於 5°C 約可貯放三週，可有效的保持品質。依據宋(1988)之論文指出，茭白筍採收後在 5°C 及 0°C 貯藏者，比在 20°C 貯藏者可保存較多的酒精可溶性糖、澱粉、蛋白質及維他命 C，減慢粗纖維合成、截切力增加及筍基部顏色的變化。在 20°C 貯藏者品質約維持 3~4 天，在 5°C 貯藏者約可保存 20 天，在 0°C 貯藏者，由於截切力減少，組織蒸煮後呈現水浸狀，顯示 0°C 之貯藏溫度並不適合茭白筍貯藏。在中國大陸，茭白筍是長江以南的重要作物栽培，在民間所採用的貯藏方法包括了清水浸貯、明礬水藏、冷庫貯藏、塑料薄膜袋貯藏、鹽封貯藏法及窖藏法等(松際農網. 2005)。陳(2008)針對茭白筍儲藏溫度及包裝技術進行研究，其結果指出茭白筍以貯藏在 5°C 以塑膠袋真空包裝者有較佳之貯藏壽命。本試驗將針對茭白筍的包裝技術，做更進一步的探討，以期望對維持品質、減少耗損、調節供需、穩定價格，能有更進一步的提升。

第二章

前人研究

茭白起源及台灣發展現況

茭白(*Zizania latifolia* Turcz.)於分類學上歸類在禾本科(Gramineae)菰屬(*Zizania*)的作物，為一種多年生宿根草本的水生植物，原產於中國，且在日本、西伯利亞、中南半島及馬來西亞均有分布(劉，1977；張，1985；Li，1966)。茭白的栽培歷史已有 1000 年以上，栽培區域涵蓋廣泛，包含了溫帶、亞熱帶地區，通常生長於近水周遭，如湖緣、河邊及沼澤。茭白在中國古代稱之為「蔣」，是食用的六穀之一，由此可見在古代之栽培是以採收種子穀粒的方式食用，與稻米相同。有關「茭白筍」的紀錄，自公元前 3-2 世紀起，栽培方向轉變，開始選取無法開花結種但基部會肥大呈現肉質莖的植株做為蔬菜栽培，一直到近代得知是由茭白黑穗菌(*Ustilago esculenta*)與菰所共生而成的菌癭(Fungous gall)。在整個栽培目的的轉變，染病的茭白筍植株之所以成為今日的栽培品種，是人為選種所致。中國人歷經數百年的選育，造就了人類、茭白與黑穗菌的共同演化(高，1995)，於是乎變成為了近代人們所熟知的茭白筍。

台灣的茭白筍約是 200 多年前，從中國大陸引進，由於土地肥沃、氣候溫暖、水利發達且灌溉水源充足，早已成為台灣的特色蔬菜之一(農家要覽)。也由於產期調節技術的進步及品種多元化的結果，即便是冬季 12 到隔年 2 月生產較零星之外，其餘月分皆可產筍，而盛產期集中在夏秋兩季。根據統計，茭白筍的栽培面積，自民國 90 年起，至今十年來從 1500 公頃逐步增加至目前的 2000 公頃左右(圖 1)，產量年約 46000 公噸(圖 2)撇除辛香料作物外，在單一品項的蔬菜產值排行第三，年總產值高達 18 億新台幣(圖 3)，僅次於甘藍及竹筍。其中主要的栽培地區集中在南投縣埔里鎮，占總生產面積 70% 以上，而該縣總生產面積也高居全國之

冠，占了 88 %，為當地重要且最具特色的主要產業。

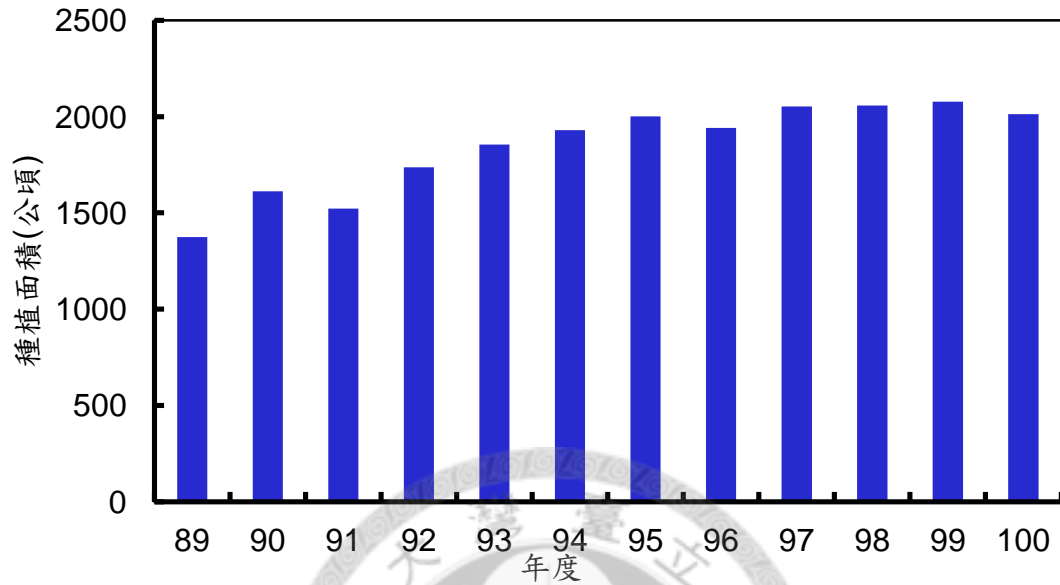


圖 1. 台灣近十年茭白筍種植總面積

Fig. 1. Cultivation area (ha) of water bamboo in Taiwan during last ten years.

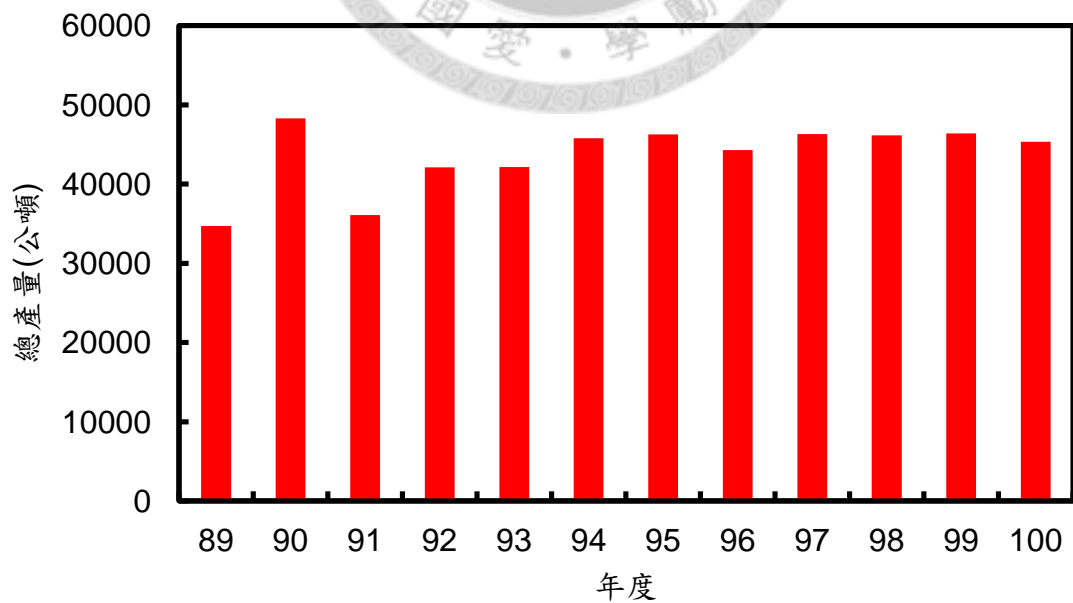


圖 2. 台灣近十年茭白筍生產總量

Fig. 2. Total yield (ton) of water bamboo in Taiwan during last ten years.

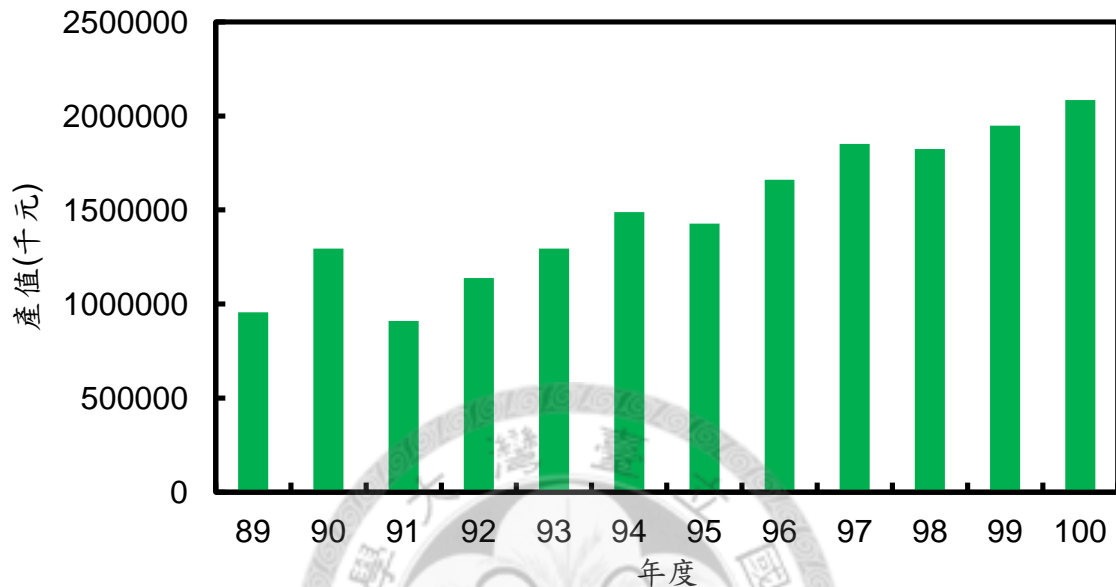


圖 3. 台灣近十年茭白筍總產值

Fig. 3. Total production value (thousand NT dollars) of water bamboo in Taiwan during last ten years

茭白筍分類

以目前來說，台灣茭白筍的栽培品種有‘青殼種’、‘白殼種’及‘赤殼種’；青殼屬早生品種，筍身葉鞘邊緣呈現青綠色，株型較小，單支筍輕，橫切面稍扁，品質中等，主要分布於中南部，以南投埔里地區為主要栽培地區。白殼屬中早生品種，葉鞘邊緣為淡綠色，以白河、名間、外埔及后里等地區以少量栽培，近年來已漸減少。赤殼屬晚生種，在北部地區的淡水、三芝、金山及宜蘭地區栽培為主，筍鞘帶有紅色斑點，株型高大，品質較青殼或白殼佳。此外，另有在埔里地區被譽為茭白筍之父的陳敢當先生，無意中從青殼種當中發現到的變異株，進而細心培養選出來的單株而成為‘敢當種’，該品種特色在於結筍產量高還有黑心發

生率低，而且生長強健產量高，並且快速的在埔里地區發展開來(林等，2002)。

雖然就外表性狀來說，各品種之間存在著一些差異，但根據前人利用 60 條逢機引子試驗針對青殼、赤殼、敢當三個品種來做分類，結果並無法有效鑑別出差異性(洪，1997)，可能是因為茭白長年採無性繁殖，經過多年來的栽培已成為所謂的“營養系”，存在於三品種之間的歧異度很微小(高，1995)。所以洪氏推論茭白品種的差異可能是由菌系所造成的。

茭白植物型態、發育與生長及常見病蟲害

茭白筍為水生植物，種植環境與水稻相似，同為水田栽培，同時也是園藝作物之中少見的 C4 型作物，喜好溫暖、濕潤、陽光充足的氣候；根群為鬚根系，株高大約 1.2-2.4 公尺，莖部有地下地上莖之分，地下部較短而肥大，會在水面下的土壤中匍匐生長，一旦延伸至適當距離會自行形成新的芽群。植株外觀莖直立，成圓柱狀，中空，表面平滑，葉互生，長披針形，平行脈，中肋突出，葉緣粗造。當被茭白黑穗菌感染的時候，其莖部以下 4-5 節處會開始異常膨大，使原本中空的莖部充實，形成不同程度的肥大，基部形狀較粗，越往上方生長點則越細(楊，1976；劉，1977)。

茭白筍的繁殖採用的是採營養繁殖(vegetative propagation)的方式進行，生育期間及選擇優良的叢株標記起來，於生產末期將植株掘起曝曬約 20 天左右，用刀切下根冠上的短縮芽或地下莖，每塊切片應最少留有 3 個短縮莖節，然後可種植於田中或是育苗之後再植回田間(林，2002；楊，1976)。筍子發育的初期溫度在 15-20°C 尤佳，嫩莖發育溫度以 20-30°C 最適當，而溫度低於 10°C 或高於 30°C 皆不利於孕茭，因此可藉由灌水或水位深淺來調節溫度。土壤選擇並不嚴苛，從礫質壤土到黏質壤土皆可生長，以富含有機質的黏質壤土為佳，但在鹼性成分過高的土壤中，不利於栽培。茭白筍為吸肥性強的作物，不宜連作，連作易造成地力消耗過多和病蟲害的發生，將影響生長，使得產量跟品質都降低。

有關於茭白筍嫩莖的膨大發育，Chan 及 Thrower (1980)、劉及郭(1980)均在茭白莖和黑穗菌培養液中測得生長素(IAA)及細胞分裂素(cytokinin)的存在，在兩種荷爾蒙的刺激下，使得細胞壁的體積增加了 15 倍，細胞數目增加了 3 倍，菌腔佔筍體積的 16%(Chan and Thrower, 1980)。孕茭的過程中，已經儲存在葉片和短縮莖的養分會轉移至肉質莖當中，以提供給幼莖發育來使用(江等，2003)，並且在膨大的後期，內部的還原醣會明顯下降。到了採收期，當茭白外葉 3-4 葉長全之後，劍葉短縮，莖部明顯肥大，葉鞘向外 45 度伸長，隱約見到茭白的嫩莖，即代表成熟，需立即採收(林等，2002)。採收時，以銳利鐮刀由筍基部的短縮莖，上留 2-3 節割取，再將基部的葉鞘切掉。(程，1983)。

茭白筍的主要病害主要是基腐病(*Pythiogenon* spp.)，俗稱死心、爛頭，病徵為開始從組織基部褐化腐爛並且會向上蔓延，嚴重會導致整叢死亡；鏽病(*Uromyces coronatus* Yosh.)，危害葉片及葉鞘，初期會散生橘黃色小斑點，爾後轉成褐色，最後佈滿整個葉片，使葉片枯黃失去光合作用；胡麻葉枯病(*Bipolaris zizaniae*)，病斑出期呈現褐色小斑點，再繼續發展成圓形如胡麻大小的暗褐色斑，最後病斑會相互連接成一大片，造成葉片枯萎。有害動物則是以福壽螺(*Pomacea canaliculata*)，是茭白筍栽培時的最大威脅，主要危害茭白幼株以及在春筍採收後的再分蘖期之新苗或是土面的新生根，體型大的螺更會去啃食茭白筍的莖幹基部，造成嚴重損失(楊，1976；林等，2002)，於是近年來發展出，在田間同時養殖菜鴨及烏鰡魚進行福壽螺的防治技術，已有不錯的成效(郭等，2009)。

茭白黑穗菌

茭白黑穗菌(*Ustilago esculenta* P. Henn.) 隸屬於擔子菌亞門(Basidiomycotina)，冬孢子菌綱(Teliomycetes)，黑穗菌目(Ustilaginales)，黑穗菌科(Ustilaginaceae)；此菌再 1895 年由 Hennings 發現並命名之。該菌原產於中國，現今廣泛分布於茭白筍的栽培區域，通常會隨著母莖的分株繁殖一起傳播，至於最早的菌種來源已

不可考，據推測，此一共生型態已達數百年之久。

黑穗菌的孢子並無休眠性，在適宜的環境即可萌發(程等，1989)，前人以培養基測試發現到，以酵母抽出物的培養基，於 28°C 培養，酸鹼度在 pH 6.5-7 最適合讓孢子萌發(郭及劉，1976)。另外，還在幼嫩的組織中已發現到內部充滿了白色的雙價菌絲(Su, 1961)，更進一步切片觀察，在幼苗時期已受此菌侵入，菌絲多為細胞內生(呂及張，1982)，隨著植株生長，菌絲亦一起生長。楊(1976)指出黑穗菌在茭白當中呈系統性分佈，接近身長點最密集，也可侵入幼嫩的維管束組織一起吸收養分。菌絲處的細胞會大量增生，隨著發育使得細胞出現原生質分離的現象，且刺激細胞產生纖維鞘(myelin figure)及小粒體(small dense bodies)，最後導致細胞壁破裂形成空腔，菌絲因而深入並消耗大量養分呈團狀以備冬孢子(teliospores)形成(呂及張，1982)。但因為黑穗菌的冬孢子不似其他冬孢子的休眠性因此又稱為厚膜孢子，又此階段的孢子呈現黑褐色，接著發芽成前菌絲(promycelium)，前菌絲會生出擔孢子(sporidia)，通常發育至此的茭白筍內部充滿黑點並漸擴大，最後充滿整個組織，這種茭白筍就是農民俗稱的“黑心”，早期視為已經不具有食用價值，但近年來因為對黑穗菌有更深一層的了解，它不但是無害的益菌，更進一步分析孢子成分，發現含有大量對人體有益的礦物質及維生素，並且可以預防骨質疏鬆症的發生(Hirokazu, 2006)，而透過大量的宣傳手段，整個食用的風氣也逐漸改變，民眾對於稍有黑心症狀的茭白筍的接受度也越來越高。

茭白筍的儲藏

茭白筍是生理代謝旺盛的組織，故極易老化，莖部組織會乾縮呈現出鬆散、破裂的情況，且筍中的黑色厚膜孢子會增加，讓商品的價值降低，而到最後會被細菌侵入，使其腐敗發臭不能食用(宋，1990)。一般田間做法剛採下來的筍子農民會先浸在水裡暫時避免失水，在很短的時間內就售出(林等，2002)。前人指出赤殼種在帶殼的情況下，先以 4°C 冰水預冷 20 分鐘，以 0.03 mm 的 PE 袋包裝，

可在 5°C 冷藏庫儲藏 23 天(張及廖, 1988)。在更早之前劉及郭(1976)運用熱休克的概念(heat shock), 經 52°C 溫湯處理 10 分鐘, 在儲藏於 5°C, 經 21 天後, 茭白筍仍具有食用的價值。另外進行減壓處理之後, 經過簡易的包裝再儲藏, 能降低氧化程度, 防止基部的切口褐變, 確保有 30-40 天的食用壽命。

除了台灣常用的儲藏方法之外, 在大陸地區亦發展出一些非冷藏手段的儲藏方式, 例如運用鹽來進行醃製儲藏, 其做法先根據醃製數量來選定藏存的容器, 數量大的時候是以水窖來儲藏, 首先將洗淨剝除好外葉的茭白盡可能瀝乾, 再依序整齊的擺入 3-5% 濃度的鹽水當中, 以平整的石板或是重物壓在茭白上面, 因為醃製的效果, 幾天後茭白會縮小, 此時才把石板移開, 繼續添加剛採收下來處理好的新鮮筍子, 石板的重量以每 0.5 平方公尺 40-45 公斤重的壓力最適宜, 鹽水最好每添加新筍時就更新, 避免濃度降低, 茭白之間的空隙越緊密越好, 以利筍身維持白色, 更可以延長儲藏時間達 3-5 個月之久(李, 1996)。

將氣調處藏的技術運用在茭白的保鮮方面, 宋(1990)認為, 以 3% 氧氣+20% 二氧化碳的氣調儲藏品質, 不論是外觀、甜味、纖維、風味、整體都較其他效果好。而以氣變小包裝的儲藏方式可延緩輕度加工茭白常溫儲藏期間呼吸作用, 降低輕度加工茭白中 PAL (Phenylalanine ammonia lyase) 和 POD (peroxidase) 的活性, 抑制茭白中木質素的合成, 延緩了茭白的老化速率(周及許, 2006)。另外大陸學者何等(2007)更提出, 以真空的方式進行對切片的茭白包裝, 施以殺菌劑及保鮮劑處理後, 在 0-4°C 環境下, 可以保持 2 個月還具有食用價值。

呼吸作用

園產品是一種具有生命的植物產品, 為維持生理機能, 無時無刻都在進行呼吸作用, 即便是採收之後與母體分離, 維持細胞基本生命功能的呼吸作用仍在進行。廣義的呼吸作用需要從生物化學的角度來解釋, 係指細胞內的呼吸基質, 如葡萄糖、脂肪酸或胺基酸, 經由一連串的酵素催化與化學反應, 最後產生能量,

釋出水及二氧化碳的反應，產生的能量便可以提供生命體的運作。

醣類是動植物進行呼吸作用的主要基質(除非遭受極端環境壓迫，否則不輕易使用胺基酸或脂肪酸為呼吸基質)，而整個呼吸作用分別是在細胞液(cytosol)及粒線體(mitochondria)之中完成，主要分成三個階段反應：糖解作用(Glycolysis)，三羧酸循環(Tricarboxylic acid cycle)以及電子傳遞與氧化磷酸化(Electron transport chain and oxidative phosphorylation)(Taiz and Zeiger, 2006)。

缺氧逆境與乙醇去氫酶

氧氣是高等真核生物進行呼吸作用所必須，Robison 等(1975)提出，當新鮮蔬果處在 0°C 3% 氧氣的情況下，呼吸率只有正常情況下的 10-46%。所以當植物或是動物遭遇缺氧逆境，無法進行正常的有氧呼吸，為了維持正常的新陳代謝，便轉而進行無氧呼吸；無氧呼吸是一種很浪費基質的呼吸方式，所生成的能量只有正常呼吸時的十八分之一，並且會生成對本體有害的代謝物，如乳酸和乙醇。植物最常遭遇氧氣逆境如大雨過後造成的淹水或是土壤結構長期緊密，再加上氣體在水中的擴散率只有空氣中的萬分之一(Armstring, 1979)，一旦發生缺氧情形，就會迫使作物進入無氧呼吸的階段(Hirofumi, 2002)。

茭白在植物學分類上與稻(*Oryza sativa*)非常類似，是因為與黑穗菌共生之後，才長出可食用的嫩莖，早期則是與稻一樣，食用它結穗的部位。而稻是少數能夠在淹水情況下發芽生長的作物，是一個研究無氧呼吸的模式植物，目前整個在水中的發芽狀況以及訊息傳導都已經被解開，Lee 等(2009)發現到「蛋白激酶」(CIPK15)為調控水稻耐淹水的關鍵基因，當水稻種子在淹水狀態下，將缺氧訊息傳遞到 CIPK15，接著再調控細胞內具有監測能量多寡及感應逆境的多功能蛋白激酶(SnRK1A)，然後透過糖訊息傳遞途徑在水稻種子內大量製造澱粉水解酶(amyase)將澱粉轉化成糖，同時大量製造酒精脫氫酶(alcohol dehydrogenase)將糖醱酵產生能量(ATP)，使種子有足夠碳水化合物及能量而能夠在水中發芽。

乙醇去氫酶(alcohol dehydrogenase, ADH)普遍存在於植物與動物體內，而第一個被純化出來的乙醇去氫酶是從啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)所得到(Negelein, 1937)；目前已知該酵素有許多的異構酶，是一個很龐大的酵素家族(Hellgren, 2009)，是為一個分子量大約 80 kDa 的二元體，活性中心由鋅原子所構成(Hammes-Schiffer, 2006)。此酵素是一種雙向酵素，專門催化乙醇與乙醛之間的反應變化 $\text{RCH}_2\text{OH} + \text{NAD}^+ \rightleftharpoons \text{RCHO} + \text{NADH} + \text{H}^+$ ，要進行哪一個方向反應，端看給予的反應基質而定(Hadizadeh, 2004)；在植物體缺氧時，普遍較容易進行乙醛轉化成乙醇的還原，是為無氧呼吸的典型反應，而在動物體內，因為乙醇的生物毒性比較高，會經由肝臟來解毒，並偏向乙醇氧化成乙醛的方向，所以大都是透過馬的肝臟來研究。

無氧呼吸

一般所指的呼吸作用泛指有氧呼吸(Aerobic respiration)，理論上一個葡萄糖分子可以產生 36-38 個 ATP，這是在正常氣體濃度(21% 氧氣及 0.03% 二氧化碳)下所進行的反應，而無氧呼吸(Anaerobic respiration)是當氧氣濃度低到一個臨界點之後所發生的現象(Ates, 2000)，是細胞缺氧的情況下所進行的另一條呼吸作用。第一步驟仍有糖解作用，但所產生的丙酮酸並不會進入到粒線體來反應，但細胞依舊要有 ATP 來供應以維持生命，因此無氧的情況下，丙酮酸會被丙酮酸脫羧酶(pyruvate decarboxylase, PDC)催化，進行去羧酸作用產生乙醛及二氧化碳，而乙醛再由酒精脫氫酶的作用轉變成乙醇，此路徑的呼吸作用只能產生 2 個 ATP，轉換效率只有 5% (Taiz and Zeiger, 2006)，因此，若是無氧呼吸要產生更多的能量，需要消耗比有氧呼吸更多倍的基質，對已經採收下來的園產品而言，更會加速品質的衰敗。例如 Ke 等(1994)以 50% CO_2 + 0.25% O_2 的氣體組合來處理草莓，會有大量由無氧呼吸所造成的發酵代謝物質累積，而這些物質大部分是乙醇(ethanol)、乙醛(acetaldehyde)或是乙酸乙酯(ethyl acetate)，同時更會促進一些芳香

物質，乙酸丙酯、乙酸異丙酯及乙酸丁酯的大量揮發，氣味混雜的結果，就會降低果實的風味。Yahia 等(1992)更指出，用 0.4% O₂ 處理木瓜 3 天後，會生成不良的氣味；但蘋果卻可以忍受低氧的環境達 1-2% 長達 3-8 個月之久(Kupferman, 1997)。

改變大氣成分儲藏的概念及實際應用

採收後的園產品能具有生命活動，呼吸及代謝都會持續進行，但因採收的動作阻斷了原有的水分養分來源，而呼吸作用又必須持續進行，便會去消耗到產品組織當中的養分，使得品質降低而失去食用價值；所以如何去有效的降低呼吸速率，來減少品質的劣變(Kader, 1986)，改變大氣成分來儲藏作物的技術因而發展。

氣調儲藏(Control atmosphere storage)一字首先是由加拿大農部的 W. R. Philips 所提出，直到現在全世界仍廣泛的使用這個名稱(Smock, 1979)。不論是氣調儲藏或是氣變包裝的基本原理，都是遵循著減少氧氣與提高二氧化碳，再加上低溫儲藏方式的原則下去進行。低氧及高二氧化碳許多文獻都指出能夠有效的降低呼吸率來減緩代謝。氣調儲藏是透過精密的機械設備，來控制溫度、濕度、壓力以及氣體成分比例，每一種園產品都有其適合的條件(Artes, 2006)。而裝置可以是固定的，也能是安裝在運送的交通工具上，例如船運效率的考量，同時需要裝載多種不同的園產品，所以氣調儲藏的技術就變得格外重要(Silva, 1999)。

氣變包裝(Modified atmosphere package)是從氣調儲藏衍伸過來的一個方法，可以當成是小範圍的氣調儲藏。當袋內的氣體調節是透過產品本身的呼吸率與包裝膜的透氣性交互作用來達成平衡，依據自身的呼吸率、質量、產品的氣體擴散特性、包裝袋的透氣性、厚度而定，以上稱之為被動調節(passive modification)。另外如果是透過外來的人工添加特定的混合氣體，或是氧氣吸收劑(FeO)、乙烯吸收劑(高錳酸鉀)、二氧化碳吸收劑(生石灰、氧化鎂)，使其快速達到 MA 的效果，稱之為主動調節(active modification) (Kader, 1989)。如果比較 MAP 與 CA 的優缺

點，MA 使用起來較為便宜，使用規模小，不需大型的設備，在數量不多時的短期儲藏較有優勢(Kader, 1990)，但缺點就是在氣體的組成調控掌握，不是很精確。

氣變包裝已廣泛的運用在園產品方面，在保鮮、延緩後熟、改善生理障礙皆有相當大的功效(Sandhya et al, 2010)

包裝膜的特性與種類

用於氣變包裝的膜非常多樣化，大多是聚烯烴(polyolefin)類的物質其中最普遍使用是聚乙烯(polyethylene, PE)、聚丙烯(polypropylene, PP)以及聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)為主，但其中聚氯乙烯因毒性高，已逐漸禁用。另外為了改善氣體的通透傳導率還會再添加乙酸乙烯酯(vinyl acetate)或是聚苯乙烯(polystyrene)一起做為複合性的材料；因為這些材質有良好的水分及氣體通透性，和熱封效果，因此適合用於園產品的包裝(Artes, 2006)。

良好的包裝材料需具備以下特性：對於氣體需有適當的通透性，尤其是氧氣及二氧化碳；質輕、透明度高、無毒性以確保食品安全；物性方面需有一定程度耐拉扯及張力；能夠再低溫環境下進行熱密封的動作；不能與產品發生物理或化學反應；能夠抵抗臭氧或是紫外線；要有良好的溫度傳導性；合理的價格以適用於商業上的生產及使用(Artes, 2006；Kadder, 1989)，常用的包裝膜如附表 1 (Sandhya, 2010)。

聚乙烯(polyethylene, PE)根據密度分成 medium, low, 以及 ultra low，其中以 LDPE(low density polyethylene)的使用最為廣泛，因為 LDPE 有著良好的抗拉扯及彈性能力，能夠抵抗化學降解，對氣體具有高度通透性。近年來更發展出一種名為線性低密度聚乙烯(linear low polyethylene, LLDPE)，有著更好的物化特性，密度均勻，對氧氣的通透性更高，溫度更容易傳導(Artes, 2006)，但唯獨價格是一般

LDPE 的 3-5 倍，因此在市場上的商業使用也受到限制。

包裝膜的通透性(permeability)程度取決於溫度，從前人研究看來，當溫度從 4 °C 提高到 20°C 時，CO₂/O₂ 的比例由 1.6 提高到 6(Velde et al, 2002)，另外 Moyls 等人(1998) 亦指出，當溫度由 0°C 提高到 23.2°C，其 water/O₂ 為 80.7 下降至 47，這都表示溫度提高氣體的穿透性增加而導致的數值變化，其中以影響氧氣的通透性最高，其次是二氧化碳，最後為水分。通透性的高低會影響袋內的氣體組成，所以有些特別設計過的包裝材料上會有肉眼可見的孔洞(1-2 mm)，而孔洞的大小及數量對包裝袋內的氣體組成分佈有絕對的影響，但空洞的位置卻不會影響袋內的氣體(Sanz et al, 2000)。整體而言，微孔洞的包裝膜提供一個非常高度氣體交換條件，尤其是對於一些高呼吸率的園產品，氣變包裝有很高的潛力存在(Glosh and Anantheswaran, 2001)。



第三章

包裝方式對茭白筍貯藏品質之影響

前言

茭白是一種近水而生的植物，古代中國的栽培形式是以採收穀粒為主，古稱菰米，親源性相似於美洲的野生稻(wild rice, *Z. aquatic* L. 以及 *Z. palustris* L.) (Huang, 1978)，直到西元前 300-200 年開始，人類開始選擇不開花結實但基部會肥大成肉質莖的植株來食用(洪，1997)。

茭白筍因為屬於幼嫩的組織，採收後通常容易受到周遭環境，主要是溫度和相對濕度所影響。台灣茭白筍的採收期是夏秋兩季，環境溫度偏高，容易造成產品的劣變，故採收後如何去包裝儲藏就變得相對重要。茭白筍儲藏時常會有筍殼黃化，組織褐變，纖維化或是軟化染菌腐敗的情形發生(陳等，2003)。除了溫度是保鮮的主要因子外，包裝的形式也同時影響保鮮期的長短。前人(陳等，2003)已針對溫度對茭白筍的影響有深入的探討，本試驗針對不同的包裝方式，觀察其對茭白筍儲藏期間品質的影響，以做為採後處理的參考依據。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗之材料購買自台北農產運銷公司，為埔里生產之 35 公斤裝茭白筍(未去殼)，運回實驗室之後立即進行清洗。清洗分為三步驟，第一道程序先以清水將明顯的泥沙、浮萍沖掉；第二道程序以一次水逐一仔細洗淨筍子髒汙；最後步驟再浸泡於另一桶一次水；取出之後，再把所有的茭白筍頂端已經生長出來的嫩芽用消毒過的鋒利剪刀切齊。再置於 25°C 室溫下稍微風乾後，開始進行以下包裝。

二、包裝試驗

以材質為低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)的袋子進行包裝(厚度 0.08 mm, 45 x 30 cm)，試驗分成四種處理：第一組以真空包裝機進行包裝，壓力設在 720 mmHg，包裝完畢會仔細檢查是否有漏氣發生；第二組直接以熱熔封口機將袋子密封；第三組以含鐵絲的魔帶將開口直接紮緊，模擬市場上的包裝方式；第四組則是全部不包裝，放於籃子當中。所有材料都會先將頂部修剪成可裝進包裝袋的大小，基部同樣用酒精消毒過的刀子重切，以便觀察有無褐化情形。每包以 5 支筍裝，調查時從四大組各取出 3 包分析品質變化，每 10 天調查一次，進行 50 天，儲藏於 5°C 冷藏庫，共調查 6 次，

三、品質測定

(一)外葉黃化程度

以色差計(Dr Lange Tricolor LMF33 colorimeter)測量其外葉之 a^* 、 b^* 再轉換成色相角(Hue angle)，取樣點因外葉的頂端(上部)及底端(下部)的顏色落差大，故選擇在外葉中段平均，前後各取一點。

(二)基部切口褐化測定

切口同樣以色差計測量其 L^* 讀值，表示其明亮度，數值越高代表褐化程度低，切口越潔白。

(三)質地測定

以物性測定儀(Fudoh rheometer NRM-2020J-CW)，配有齒型壓棒；茭白筍取自基部組織的橫切面，厚度 2-3 公分。將壓棒對準中心，垂直下壓 0.5 cm，截切速度為 5.0 mm/sec，此測定代表硬度變化。

(四)失重率變化調查

茭白筍分成 4 組，真空包裝(壓力 720mmHg)、密封包裝、綑綁包裝(以細鐵絲綑綁)以及對照組未包裝。儲藏於 5°C，每 7 日連同包裝袋一起測量總重，以克(g) 表示，失重變化率 = [(原始鮮重 - 當日鮮重)/原始鮮重] × 100%。原始鮮重為試驗第一天所秤得之重量，當日鮮重為調查日所秤得之鮮重，以上皆是含包裝袋一起測量。

(五)總可溶性醣類分析

方法參考 Dubois 等(1956)之方法，並些許修改。取下各組中段筍部位，切碎並均勻混合，以液態氮固定並分裝成 3 包，進行冷凍乾燥後，儲藏於凍箱待分析。接著以磨粉機細碎後，每次取 0.1 g 乾重材料(共取兩次)加入 10 ml 去離子水，於 30 °C 水浴震盪 3 小時，之後以 27000 rpm 離心後取 0.2 ml 上清液稀釋 50-100 倍(初期醣濃度較高，故需稀釋較多倍)，接著從稀釋液取 2 ml 溶液加入 0.1 ml 90% phenol (J.T. Baker，分析級，純度 99.9%)，最後再加入 6 ml 濃硫酸(PRONALYS，分析級，純度 98.07%)，進行反應，待靜置約 10 分鐘冷卻後，以分光光度計測定其 490 nm 之吸收波長，波長須落在標準曲線範圍內。總醣標準曲線(附圖 2)是以葡萄糖做為標準品，配成濃度為 100、80、60、40 以及 20 mg/l 的葡萄糖溶液，樣品測出的吸光值再帶回標準曲線公式換算出相對應值。

結果與討論

(一) 茭白筍儲藏後的生理及外觀變化

由前人(陳，2008)數據得知，茭白筍儲存在 5 或 0°C 時的呼吸率約 20-40 $\text{mg}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ ，歸類在低呼吸率的程度(Kader, 1992)，除了是低溫儲藏的關係，也可能是本身作物特性的緣故。另外，乙烯方面，5°C 的生成率大致維持在 0.1-0.4 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{kg}^{-1}\text{hr}^{-1}$ (宋，1990；陳，2008)，生成率始終處在相當低的程度，並非影響茭

白筍壽命的重要因素，因此本試驗並未對其多加探討。

茭白筍以不同包裝處理在 5°C 貯藏之外觀變化情形如下。未包裝的處理在第三天之後開始，外葉就出現失水皺縮的現象；第七天，筍子本身也逐漸萎縮，有雜菌直接附著在切口及葉片上，此時的狀態，已完全失去食用價值；隨著持續存放，茭白變得越來越乾枯並且出現發霉味。密封及捆綁狀態的處理，在第十天袋內有凝結水產生，基部原本重切過後，平整的切口，也出現突起的現象並且也有褐化產生；第二十天，袋內的凝結水越來越多，但可能因為袋子密封的關係，水分並未大量蒸散，所以失水率測起來仍未有變化。

貯藏三十天，此時的茭白外葉摸起來帶有黏滑的感覺，凝結水的情形更加嚴重，但失水秤重也仍未有變化。另外，頂端會出現推開葉鞘而長出的嫩莖，將外葉剝除後，筍身還算潔白，並未黃化，但部分包裝已有少量可視的雜菌出現在底部葉片。將筍體切開之後並無發現到黑穗菌孢子團的出現，可能是因為敢當品種的原因，本身就比較不會因儲藏時間而造成孢子囊團的堆積，此一結果與前人(宋，1990)相類似。北部的赤殼品種則是較會出現明顯的孢子堆積(陳，2008)，因本試驗並無使用該品種，故沒有觀察到此現在的發生。

貯藏至四十天的外觀可以發現到，雜菌感染的情形更加嚴重，開封時有異味撲鼻，密封及捆綁皆是，頂端的再生長出的嫩莖更加明顯。將外葉剝開後，在最下方筍身的部位有皺縮的情況發生，而筍子表面開始出現凹陷，觸感很明顯的感受到不均勻的軟化；這可能是失水的關係，而水分大都留在袋內形成凝結水，所以在直接秤重並無明顯變化，但確實已經影響到筍子本身狀況。而凝結水除了原本就會生成之後，會因為進行試驗時的失誤，例如沒有先將材料預冷，使其保持在低溫的狀態下進行實驗，如此一來再進冰庫，就不會有太大的溫度差造成凝結水的大量生成，因此，這也是本試驗之所以有大量凝結水的累積。還觀察到筍身不再潔白，看出有黃化的情形發生；基部切口處已變形，形成一個球面的狀態，並褐化也日益嚴重，切開依舊未有察見黑穗菌孢子堆積，此時也觀察到，筍組織

有空洞化及破碎的情況發生，整體變得更加軟爛，但外葉在袋內保有濕度的情況下，並未有失水的現象。當達到第五十天開封調查時，有強烈異味生成，明顯見到細菌已經汙染茭白筍，筍身黃化明顯嚴重(圖 4)，筍外觀表面嚴重凹陷皺縮失水(圖 5)，基部切口更加褐化，而進一步切開更是發現，組織破損空洞化的情況更嚴重(圖 6)。以密封及捆綁處理，直到末期，只有品質的衰敗，並無發現到有黑穗菌的孢子囊(黑心)的出現(圖 7)。

真空包裝處理在 50 天的儲藏期間，就外觀上而言，未將外葉剝除時與第一天無異(圖 8)；頂端的嫩莖再生長情形沒有發生，基部切口處並無像其他處理一樣，有凸起的情形；此可能是因為真空壓力的緣故，抑制了這兩個情況。因陳(2008)提到壓力過大把外葉擠壓出折痕的情況，因此包裝的時候，特別將壓力調整到剛好整個 PE 袋貼在外葉即可，所以不會造成葉片的損傷。前三十天大都與第一天無異，外觀皆有維持；直到第四十天調查，開封時有些許發酵的味道，剝除外葉後將筍身依舊保持潔白，縱切開之後發現到，頂端有水浸狀的情形發生，並且帶有發酵的異味；每支筍發生程度不一，但都是從頂部向下延伸，似乎是有無氧呼吸的情形發生，而且頂部會些微軟化。在青花菜的例子上也有發現經過包裝儲藏後，因發生無氧呼吸所造成的軟化(Serrano, 2006)。除了這個之外，其他外觀就無太大改變。直到第五十天，異味情形日趨嚴重，水浸狀所造成的軟爛更加明顯，此時已經完全不能食用(圖 9)。因此較適合的儲藏期約在 30-40 天左右，可確保外觀無異並且尚未出現無氧呼吸的障礙。

(二) 包裝方式對於茭白筍貯藏品質的影響

由圖 10 所顯示，外葉的黃化情形，以真空包裝所延遲的效果最好，色相角度多維持在 105-107°。當數字越大，代表外觀的顏色就越青綠，是較好的情況；其次是密封及捆綁兩組，效果差不多，數值會隨時間緩慢下降，此結果與前人相類似，不僅茭白筍(陳, 2008)，深綠色的蔬菜如青花菜也會有此現象(Serrano, 2006)。

但因為還有有完整的包裝，顏色不會下降太多，最後色相角大約落在 100° ，而密封包裝在第 40 天有些微上升的原因可能是，該組包裝的大筍太多(生長好，顏色深綠)，而造成的小誤差。而未包裝的處理則是從初期開始就迅速降低，最後黃化的情況非常明顯，甚至變白，色相角到第 50 天約落在 90° ，整個儲藏期的趨勢都比其他三組下降的快。

茭白筍在採收後，基部的切口褐化是一個重要指標，會直接影響購買跟食用意願，儲藏後的基部切口變化，除了溫度影響甚鉅之外，包裝型態也是一個因子。同樣是在 5°C 之下，真空包裝整個儲藏期的 L^* 幾乎與初始數值相同(圖 11)，保持在 83-85 之間，可能是因為真空包裝空氣殘留很少的原因，把會參與褐化反應的氧氣降低到最少量。而密封與網綁處理褐化的情形較為明顯，而又以網綁亮度值下降的較多，可能是因為網綁並未完全密封，空氣的流動程度較高所導致，到了末期密封數值落在 80 左右，而網綁大約是 76-78，另外未包裝的處理則是在第 10 天過後急遽下降，因為曝露在空氣中的緣故，褐化的速度非常快，而且又因帶有水分，很快的細菌黴菌開始滋生，直接影響到 L^* 數值，到最後末期降低到 66，就外觀上看來，整面已無完好之處。

硬度取樣的時候選擇中段，因為頂端偏軟，而底部偏硬，故選中間以得一個平均；結果顯示，真空包裝略維降低，這點與陳(2008)類似，從開始的 2.7 kgw 降至 2.2 kgw(圖 12)。如果是儲藏在 0°C ，或許可以完全的保持在與新鮮狀態的硬度與脆度。在芹菜上的例子，剛採下來為避免纖維化，會立即用冰塊水保鮮來維持脆度。當密封及捆綁處理在第 10 天之後，硬度有明顯下降，隨著儲藏期增加愈是軟化，此呼應了觀察到的觸感變軟及組織上的鬆散，切開之後內部的空洞化跟破碎的現象。密封處理到第 50 天硬度剩下 1.3 kgw，網綁則是 1.1 kgw，已完全沒有口感跟脆度。未包裝的筍子在第 7 天即失去食用的價值，因為有雜菌感染以及失水軟化發生，從第 1 天到第 30 天是呈現下降的趨勢，但從 30-50 天硬度卻上升。根據青花菜的例子(Serrano, 2006)可能是因為失水過度，造成組織硬化，最後乾枯

才導致數值上升，而在圖上形成一個弧形的曲線，這是本試驗所得到的結果，而茭白筍實際上是將軟化視為一種品質的衰敗。

園產品的呼吸作用會生成水分及熱量(呼吸熱)，產生的熱量會讓溫度上升，增加蒸氣壓差，因此蒸散作用也提升。如果是處在高溫的環境，會更加劇烈，再加上並非所有的作物都有厚皮或是角質層來降低蒸散，於是就會造成萎凋、皺縮、脆度及鮮嫩多汁的口感，而失去儲架壽命。當蔬果失去 3-10% 的水分時，也表示失去新鮮度(Burton, 1982)。茭白筍在儲藏時期的失水情形，因對照組完全沒包裝，到了末期，失水高達 60% 以上(圖 13)；而在網綁及密封兩個組，重量變化不大，但不代表沒有失水發生，因觀察到包裝袋內有大量的凝結水生成，再剝除外葉之後，筍身觀察到皺縮的現象；因此推測袋內大量的凝結水，是筍子本身所散失的，因包裝袋阻隔了水分的蒸散，所以重量上並沒有太多變化。密封組最後濕水率約 1%，網綁組因為沒有完全密封，空氣能夠流動，水氣就會被帶走，所以到了末期，約有 4% 的失水情況，趨勢與陳(2008)雷同。真空包裝因為幾乎沒有任何的空隙，並沒有凝結水的出現，失水率只有 0.8%，拆封之後，也沒有在筍的外觀看到皺縮的情形。

前人指出醣類下降的趨勢，會因為溫度越高而下降越快；因為呼吸率提高了，就會去使用更多體內的基質，而最主要的就是醣類(Saltveit, 1997)。茭白筍醣類分布趨勢尚未釐清，不似蘆筍很明確的知道基部與筍尖的含糖量偏低(蕭等, 1981)，因此先針對部位進行醣類分部的釐清。如圖 14 所示可得知一趨勢，即小筍(去殼後總長度 10 公分以內)三個部位的全可溶性糖皆比大(去殼後總長度 15 公分以上)、中筍(去殼後總長度 10-15 公分)還高，而同一支筍則是以基部的醣含量最高，大筍、中筍個部位的差異不大。因此截取中段來做為平均，結果如圖 15，總可溶性醣類變化皆會隨著時間增加而降低，此現象與前人果糖及葡萄糖的下降趨勢相同(陳, 2008)。另外果糖、葡萄糖及蔗糖大約只占全植株的 2-3%，而全可溶性醣卻可以有 30-40%，代表著茭白筍內部有更多不一樣的醣類組成。真空處理對於總醣的維

持性較其他三者佳，到末期還有 222 mg/g 的醣含量，密封及捆綁兩組趨勢相當，最後落在 180-190 mg/g 之間，而未包裝則是在第 30 天之後，減少的醣含量才比其他三組包裝處理多。



第四章

真空包裝條件對茭白筍貯藏品質之影響

前言

真空包裝(vacuum package)是一種較為極端的包裝方式，氣體阻隔性高，常用於加工類型的產品，使用在已經沒有生命的產品上比較適當，因為材料沒有再進行呼吸作用，為了又要預防質變，通常包裝袋選擇上會是越不透氣越佳。但生鮮的園產品大多不適用，因為活的生命體，其呼吸、蒸散作用持續在進行，而且含水量高，再加上處理時產生的傷口，很容易就造成微生物的滋生或是酵素褐變(Hotchkiss and Banco, 1992)。

由上一章得知，以真空包裝處理茭白筍，因為大量阻絕的空氣，可得較好的儲架品質，而原先的出發點是因為茭白筍的組織構成有許多的空腔，可以儲存大量的空氣，因此想嘗試真空效果對它的影響，再加上如果是連外葉不剝除的情況下，外葉組織更富含大量可見空腔，也許整體能夠儲存許多空氣，因此對它施以真空包裝處理，能夠把跟空氣接觸的因素降低。所以本試驗更深入探討，主要是討論包裝袋的厚薄程度以及不同的真空壓力，以得到對茭白筍最有利的儲藏條件。

材料與方法

一、試驗材料

試驗材料取自台北農產運銷公司拍賣所得之 30 公斤裝茭白筍，產地為南投埔里，運送回實驗室後立即進行清洗，經過第一道清水以及兩道一次水洗淨後，於 25 °C 下稍微風乾外葉表面之後，開始進行包裝，包裝前同樣先把所有的材料修整

成適當大小可裝入包裝袋中，基部也用酒精消毒過的刀重切一遍。

二、試驗方法

(一) 不同厚度包裝袋對茭白筍之影響

本試驗使用包裝袋材質為低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)，分為兩種不同的厚度，0.05 mm 及 0.08 mm，利用真空包裝機密封，壓力皆為-680 mmHg，對照組則是以厚度 0.08 mm 直接熱密封不抽真空的方式進行。材料經修剪後裝入袋子，一袋 5 支筍，調查時每一組皆各取出三包為重複，分析其品質變化，每 7 日做一次調查，共進行 35-42 天。以上材料儲藏於 5°C 冷藏庫。

(二) 不同真空時間包裝對茭白筍組織內氣體及無氧代謝物質變化

選擇厚度 0.05 mm PE 袋進行包裝，分別抽氣 6 秒(- 680 mmHg)、8 秒(- 720 mmHg)、10 秒(- 740 mmHg)以及 12 秒(- 755 mmHg)。每袋 5 支，每次取 2 包分析，儲藏於 5°C 之下。

(三) 不同真空時間後茭白筍殘餘氣體體積變化

以 0.05 mm 厚度的 PE 袋包裝，每 4 支筍一袋，同樣以抽氣 6 秒(- 680 mmHg)、8 秒(- 720 mmHg)、10 秒(- 740 mmHg)以及 12 秒(- 755 mmHg)來包裝，之後每隔 7 天分析時，將真空袋內的氣體抽光收集起來，計算茭白筍組織內的氣體體積變化。

三、分析方法

(一) 外葉黃化程度

以色差計(Dr Lange Tricolor LMF33 colorimeter)測量其外葉之 a^* 、 b^* 再轉換成色相角(Hue angle)，取樣點在外葉中段，上下各取一點。另一則是分析葉

綠素的變化：參考 Inskeep 及 Bloom(1985)，以打洞器取 8 片直徑約 1 公分的外葉圓片，接著加入 10 ml 的葉綠素萃取溶劑 DMF (N,N-Dimethylformamide；藥理化學工業，試藥級，濃度 99.5%)確保液面覆蓋所有組織，再以石蠟膜密封置於常溫下暗處 48 小時取出，以分光光度計分析之，計算公式如下

$$\text{葉綠素 } a = 12.70(A664.5) - 2.79(A647)$$

$$\text{葉綠素 } b = 20.70(A647) - 4.62(A664.5)$$

$$\text{葉綠素總量}(\mu\text{g/ml}) = 17.90(A647) + 8.08(A664.5)$$

(二)基部切口顏色變化

切口同樣以色差計測量其 L^* 讀值，表示其明亮度，數值越高代表褐化程度低，切口越潔白。

(三)質地變化

以物性測定儀(Fudoh rheometer NRM-2020J-CW)，配有齒型壓棒；茭白筍取自基部組織的橫切面，厚度 2-3 公分。將壓棒對準中心，垂直下壓 0.5 cm，截切速度為 5.0 mm/sec，此測定代表硬度變化。

(四)總可溶性糖含量

方法參考 Dubois 等(1956)，並些許修改。取下各組中段筍部位，切碎並均勻混合，以液態氮固定並分裝成 3 包，進行冷凍乾燥後，儲藏於凍箱待分析。接著以磨粉機細碎後，每次取 0.1 g 乾重材料(共取兩次)加入 10 ml 去離子水，於 30 °C 水浴搖晃 3 小時，之後以 27000 rpm 離心後取 0.2 ml 上清液稀釋 50-100 倍(初期糖濃度較高，故需稀釋較多倍)，接著從稀釋液取 2 ml 溶液加入 0.1 ml 90% phenol (J.T.Baker,分析級，純度 99.9%)，最後再加入 6 ml 濃硫酸(PRONALYS，分析級，純度 98.07%)，進行反應，待靜置約 10 分鐘冷卻後，以分光光度計測定

其 490 nm 之吸收波長，波長須落在標準曲線範圍內；總醣標準曲線以葡萄糖做為標準品，配製 100、80、60、40 以及 20 mg/l (附圖 2)濃度的葡萄糖溶液，樣品測出的吸光值再帶回標準曲線公式換算出相對應值。

(五) 無氧代謝產物含量測定

採兩種分析模式，第一種是直接取自真空包裝過後所收集到的氣體，直接注入機器；第二種採加熱法，因觀察到出現水浸狀是由茭白筍頂部開始，因此取樣從頂端往下取 5 g 組織，以手壓式榨汁器擠壓組織，迫使筍肉從細孔被推出，來達到細碎的目的；接著置於 65 ml 錐型瓶之中，並加入 5 ml 去離子水，先以乾淨空氣吹洗之，蓋上血清塞密封，放到 60 °C 水浴加熱 20 分鐘，接著每支試管以總容積 10 ml 的針筒頂部空氣 6-8 ml，分析的時候再用 1 ml 針筒從 10 ml 針筒裡面抽出氣體來。分析儀器使用氣相色層分析儀(gas chromatograph)，日本島津公司出產型號為 GC-14B，配備火焰游離檢出器(Flame ionization detector)，分離管柱採不鏽鋼管柱外徑 1.6 mm × 內徑 0.8 mm × 長度 2 m，內部填充 Porapak Q 80/100，管柱烘箱溫度設定為 150 °C，注射口溫度 160 °C，偵測器溫度 180 °C。以氮氣為載行氣體(carrier gas)，壓力設定在 300 kPa。乙醇及乙醛濃度單位以 μ l/l 來表示，乙醛約在 0.8 分鐘出現訊號，乙醇則是 1.4 分鐘出現；標準品配製先以絕對酒精稀釋成 1000、1200、1400、1600、1800、2000 μ l/l，分別以機器測定相對應的積分值，再做出標準曲線公式，樣品測定出來的積分值再帶入公式換算回濃度(附圖 3)。

(六) 官能品評

將茭白筍剝殼，以滾刀法切成適於入口的大小，利用微波爐加熱 1 分 30 秒，品評項目以外觀、質地、氣味、異味以及整體評估打分數，每位品評員食用 3-5 塊，共 5 位。1-2 分表示劣；3-5 分表示尚可接受；6-8 分代表佳；9-10 分表示極

佳。

(七) 包裝袋內氣體成分分析

抽氣方式分為兩種：一種在 LDPE 袋上安裝抽氣閥，在調查的時候直接以針筒取樣即可，但此方法僅限用在直接密封包裝(未真空抽氣)的處理；而另一種稱之為排水集氣法，此方法可以抽取真空包裝處理，其袋子內部的氣體含量變化，原理是利用減壓狀態下，讓植物內部氣體，因為容器內的負壓，從水中浮出。方法如下：1. 首先將大型的真空玻璃器皿中先注入八分滿的水，2. 將真空包裝過的茭白筍放入水中，接著在它上面蓋上取材自大型寶特瓶所自製的漏斗，漏斗上方的蓋子裝上取樣閥，取樣孔是氣密性的軟性橡膠塞，塑膠間的接合處皆會以電器膠帶或是橡膠 O ring 做區隔，以增加抽氣時的氣密性，3. 先確認無空氣在漏斗頂端，在將袋子在水中刺破解除真空狀態，4. 調整角度以利於抽出的氣泡可以順利集中到頂部，5. 加上負重避免抽氣時浮起來，6. 蓋上真空器皿的外蓋後，用橡皮管連接真空幫浦開始抽氣。當器皿內部達到一定壓力後，袋內的氣體會形成小氣泡而浮出，被收集在頂端的漏斗裝置，根據所要分析的項目來決定抽氣時間，之後解容器真空狀態，再以針筒抽取漏斗頂部收集氣體。分析的氣體為氧氣及二氧化碳，使用日本島津公司出品之氣相層析儀，型號 GC-8A，配備熱傳導偵測器 (Thermal conductivity detector；TCD)，二氧化碳的分離管柱外徑 1.6 mm × 內徑 0.8 mm × 長度 1.6 m，填充 Porapak Q 80/100；氧氣分離管柱內徑 1.6 mm × 內徑 0.8 mm × 長度 2 m，填充 Molecular sieve 5 A 80/100。兩種氣體分析皆以氫氣為載型氣體(carrier gas)，壓力為 2 kg/cm²，二氧化碳分析時的管柱烘箱溫度為 40 °C，注射口溫度為 80 °C；氧氣則將管柱烘箱溫度提高為 50 °C，注射口溫度仍為 80 °C。取樣數每包取 6 針，每針 1 ml；氧氣、二氧化碳各 3 針做為平均，數據以分壓的形式呈現(kpa)。

結果與討論

一、不同包裝袋厚度對茭白筍品質之影響

對於外葉黃化，以色相角的方式計算，兩組真空處理趨勢相同(圖 16)，從 111° 下降至 105° 左右，並無差異，而只有對照組黃化程度較大，下降至 98° ；葉綠素分析部分(圖 17)，未包裝的處理最後會減少至 $7.74 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ，而真空包裝組約在 $12 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ，而這兩組之間趨勢相同並無現顯著差異。以色相角或是葉綠素含量分析，均得到相同的變化，由此可知不論包裝袋的厚度差異與否，延緩黃化程度皆有效果。切口褐化的部分(圖 18)，與前個試驗觀察到的結果無異，真空組(0.08 mm 及 0.05 mm)會隨儲藏期些微下降，大部分依舊保持潔白，鮮少有褐化現象，是因為大量降低了氧氣對褐化反應所造成的影響(Saltveit, 2000)，唯獨到了末期，有少部分的筍因為發生無氧呼吸，出現水浸狀，導致 L^* 降低，對照組則是與前試驗無異，最後減少至 78。醣類的變化，三組處理皆會隨時間降低，而未包裝的處理則會消耗較多的醣類，儲藏期結束時，醣含量為 $213.1 \text{ mg}/\text{g}(\text{D.W.})$ ，前人分析葡萄糖在氣變包裝與真空包裝之間的變化，果糖含量高過氣變包裝處理(陳，2008)，結果與本試驗相類似；另外，真空處理的兩組並無顯著差異。

由於茭白在古代是以採收穗穀來食用，在親源性與稻非常相似，雖說到了近代，改以食用與黑穗菌共生所形成的肥大嫩莖。而稻關於無氧呼吸的研究已相當透徹，是少數能在水中發芽與生長的作物(Uchimiya, 2002)，而且經過分析，無氧代謝物的含量都比一般作物還高，但卻可以忍受這些代謝物的毒害，表示它有一套自身的適應模式(Lee et al, 2009)，而茭白筍有極高的可能性承繼了相關特性，可能就造成，即使在最新鮮的狀況下，依然會有非常明顯的乙醇含量(圖 19)，而且每支筍的差異很大，而且濃度及使與其它作物相比，仍高過許多。無氧代謝物的變化情形，在經過真空包裝後的茭白筍，乙醇濃度會逐漸上升，到了第 6 周 0.08

mm 厚度的濃度有 4874 $\mu\text{l/l}$ ，0.05 mm 為 4178 $\mu\text{l/l}$ (圖 20)，密封包裝處理因為含有大量氧氣存在，筍子本身較不需要進行無氧呼吸，因此累積的濃度較低，儲藏末期約 3556 $\mu\text{l/l}$ ，因此可知道 0.05 mm 的包裝袋較能夠減緩乙醇的累積。Kader (1992)提出，雖然 10% 以下的 O_2 及 5% 以上 CO_2 可以延緩園產品的老化衰敗，但不正常的代謝跟異味會在氧氣 2 % 以下或是二氧化碳高於 10 % 時發生，這邊通常指的是無氧呼吸的產生。

官能品評而言，以 4 分為可食用為界限，從外觀、質地、香氣、異味以及整體(圖 21-25)，真空包裝處理不論哪一組，其結果皆比直接包裝好，但真空包裝到了第 5 周會出現可被感受到的異味，並且煮熟後可看出明顯的水浸狀，而且異味感會因加熱而更加明顯，所以儲藏的極限，約是 4-5 周。

二、不同真空時間對茭白筍內氣體成分分析

經過不同秒數的抽氣，各組的空氣殘餘量皆不同，以 12 秒抽氣剩最少空氣體積，剩下約 70-90 的空氣體積(圖 26)，各組均略有波動，但殘餘的體積與抽氣的秒數成反比。

1. 氧氣的變化量

所有處理的濃度皆在第一周下降，而又以 12 秒抽氣時間下降最多(圖 27)，剩下 6.3%，接下來有微幅上升，便維持在 6-7.5% 之間浮動；另外其他三組剛開始濃度也迅速降低，之後有輕微下降的趨勢，整體在 5-7% 之間變化，由此可知，到了儲藏末期，仍然有 5-8% 的氧氣殘留。

2. 二氧化碳變化

從圖 28 看的出，抽氣的時間越久，其在第 7 天上升的幅度最高，相差到 7% 左右，從第一周的氧氣及二氧化碳分布知道，可能跟袋內氣體殘留量最少，因而氧氣也最少有關係，氧氣消耗的較多，所以二氧化碳上升幅度最高；在這之後，

第 21 天全部濃度皆會下降，到了 35 天漸緩，濃度依序是 12 秒抽氣最高、10 秒、8 秒，最後是 6 秒，分別是 16.9%、15.3%、14.1% 以及 10.2%。此現象與前人陳(2008)有趨勢相同。另外在宋(1990)的研究指出，適合茭白筍的氣調儲藏組合為 3% O₂ + 20% CO₂，在 5°C 約可儲藏 30 天，而本試驗最終袋內的平衡濃度為氧氣落在 5-8%，二氧化碳為 10-16%，儲藏的天數也是 4-5 周。

另外，如果用密封包裝，針對茭白筍在 5°C 之下儲藏期的氣體變化量結果如圖 29，氧氣與二氧化碳的濃度在第 12-14 天會相同，隨後氧氣會再逐漸緩慢下降，二氧化碳也會慢慢上升，最後因呼吸率與包裝袋的通透性之間的交互作用，兩者會達到平衡，變化量很少，最終濃度與真空包裝的氣體分布相仿，因此可知道，真空包裝可加速達到氣體的平衡。

3. 乙醇與乙醛濃度變化

以抽氣 12 秒的處理觀察到，乙醇的濃度上升最快，因為抽走的空氣最多，迫使茭白筍快速的進行無氧呼吸，會導致異味提早產生，失去食用壽命；從圖 30 可得知，到第 35 天乙醇的濃度高達 6940 μl/l，再來是抽氣 10 秒的 5142 μl/l、8 秒的 4337 μl/l，最低的是 6 秒的 3362 μl/l。因真空包裝亦可視為一種氣變包裝，前人在對草莓施以 0.25% O₂ + 50% CO₂，在第 7 天時，其乙醇含量有 1800 μl/l (Ke, 1992)，那是因為過低的氧氣所造成的無氧呼吸；宋(1990)在茭白筍的氣調儲藏研究中提到，使用 1% 的氧氣處理會有異味生成，而茭白筍在真空包裝之後氧氣濃度並未低於 5%，卻依然會有無氧的情況發生(異味及水浸狀的產生)，這與陳(2008)所說的儲藏 50 天仍沒有發生無氧呼吸的結果不同。乙醛的濃度在第 1 天是偵測不到(圖 31)，第 7 天開始測得，各組濃度約在 40-60 μl/l 之間，並沒有像乙醇一樣，12 秒抽氣時間有最高的濃度，之後隨著儲藏時間，乙醛濃度最後會上升至 80-100 μl/l。在無氧呼吸的途徑之中，乙醛會由乙醇去氫酶(alcohol dehydrogenase, ADH)得催化來轉換成乙醇，同為無氧代謝物的一種，亦可當成出現無氧呼吸時的一種

指標，濃度大約只有乙醇的十分之一到百分之一不等(Toivonen, 2006)。

如果不經過加熱來直接分析氣體無氧代謝物的組成，是最方便的步驟，但結果與期望的差異甚大，直接從包裝袋內抽氣的結果如圖 32 所示，第 1 及第 7 天均分析不到乙醇或乙醛的含量，第 14 天時以 12 秒的抽氣程度偵測到 92 $\mu\text{l/l}$ 的濃度，其他組仍舊沒有，第 21 天，10 秒抽氣也測到乙醇濃度 74 $\mu\text{l/l}$ ，之後到了 35 天，8 秒抽氣才測到乙醇含量 77 $\mu\text{l/l}$ 。會與加熱有極大的不同，原因可能是材料並未細碎，細胞沒有破壞，表面積小，無氧代謝物不容易揮發的緣故，乙醛的濃度則是完全無測得。

比較兩種厚度包裝袋的效果，兩者品質之間並無太大差異，但保鮮效果皆比對照組(直接包裝)佳，真空包裝所維持的品質與前試驗雷同，但兩者差異只有乙醇含量累積的早晚，厚度 0.05mm 包裝袋可讓濃度上升的較晚。由本試驗得知，新鮮狀態下即可測得乙醇的含量，而在經真空包裝後，含量會有上升的趨勢，可能是一種無氧呼吸的出現，這點與前人研究不同；而測量袋內殘餘氧氣濃度，會逐漸下降，在儲藏末期仍有 5%，真空包裝則是可以很迅速的達到這個濃度，兩者最終氧氣濃度相似。前人無觀察到無氧呼吸發生，可能是尚未突破一個臨界點可以讓感官查覺，而事實上，組織內部的乙醇濃度會持續上升，因此如果是只儲放 4-5 周，可保持茭白筍的新鮮度，仍具有食用價值。

第五章

結論

茭白(*Zizania latifolia* Turcz.)原生中國，西伯利亞及中南半島，是一種亞洲地區特有的蔬菜作物，約在 200 多年前傳入台灣，也因為它是園藝作物中少見的 C4 型植物，夏、秋兩季生長特別旺盛，因此成為台灣地區重要的夏季蔬菜之一。其特殊與黑穗菌互利共生的生長形式，刺激莖部膨大，成為可食用的幼嫩組織。台灣種植面積達 2000 公頃，產值高達 18 億，在市場上占大宗，可見其是相當受到本土喜愛的蔬菜種類，因此就有針對其加以保鮮的重要性。茭白筍產期集中在最熱的夏秋兩季，茭白為幼嫩組織，採收後因氣候炎熱造成高呼吸率，導致自身的基質大量耗損而失去食用品質，若能夠透過外在施予保鮮手段，盡可能維持在與剛採收下來時的新鮮程度，延長整個茭白筍的供應期，對整體市場而言，將是一大益處。

由本試驗的結果顯示，於 5°C 下儲藏，沒進行包裝的處理在一周內就會枯黃、萎凋，完全失去食用價值；密封及捆綁處理，模擬一般市場的包裝方式，壽命大約 2-3 周，之後會因為袋內失水、軟化、筍身黃化或是凝結水造成的微生物滋長，而失去儲架壽命，茭白筍本身的醣類也會隨時間而降低；而真空包裝的部分，經過 50 天儲藏，外觀部分仍保持與新鮮狀態差異不大，總可溶性醣部分只有略微降低，但開封後則是有異味產生，以上顯示出真空包裝對於整體的品質有所維持，可做為一個探討的方向。

第二個試驗部分針對不同包裝程度對茭白筍的影響，外觀結果如同前試驗，皆有良好的維持，處理間並無太大差異。以厚度 0.05 mm 包裝袋較能延緩乙醇的生成，雖然茭白筍本身就是高乙醇含量的作物，而且親源性與稻米接近，一樣在水中生長，可能有一套自身適應的能力。由袋內氣體分布數據顯示，一般包裝的

話樣氣最後落在 5%，二氧化碳則是 9%，與本試驗所推薦的 6 秒抽氣的真空壓力 (-680 mmHg) 所殘留的氣體濃度雷同。

綜合實驗可得知，茭白筍的真空包裝有其潛力存在，雖然前人研究指出氣調儲藏或是主動式氣變包裝，對於整體品質的維持皆有效果，但真空包裝比這兩者更克服了筍子在袋內失水，使得外觀皺縮，以及凝結水的生成會導致細菌的快速滋生這兩項問題；唯獨只有會發生無氧呼吸的問題出現，雖然在新鮮狀態下就會測得乙醇含量，而且濃度會隨時間不斷提升，但是要感受到，必須儲藏了一段時間，因此，如果儲藏期只是 3-4 周，那麼茭白筍的真空包裝就有利用的價值，而最適宜的條件為真空壓力 -680 mmHg，可避免異味過早出現，也不會因為壓力過大而把外葉壓出折痕去影響到外觀，至於要如何克服無氧呼吸，讓儲藏期增加，則有待後人更進一步探討。





圖 4. 茭白筍以密封包裝於 5°C 儲藏 50 天之外觀(帶殼)。

Fig. 4. Appearance(with sheath) of water bamboo stored at 5°C for 50 days in seal package.



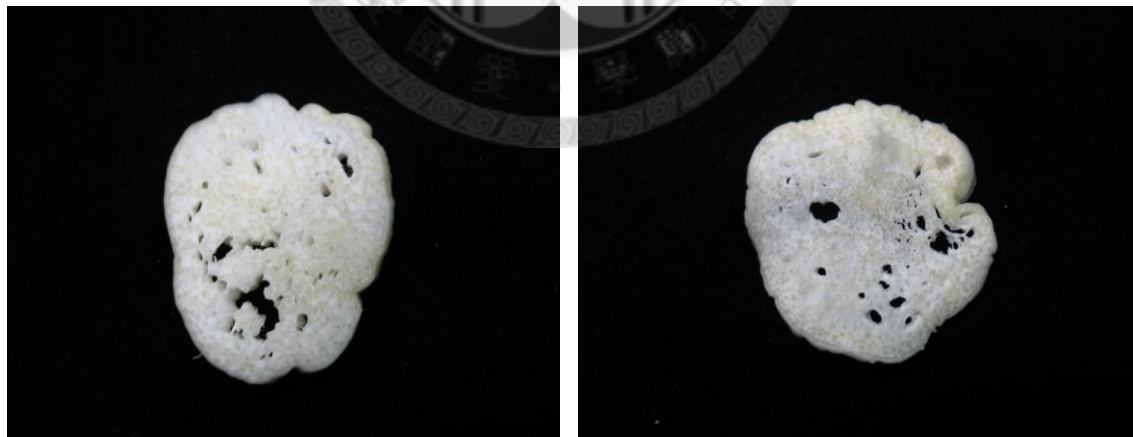
圖 5. 茭白筍以密封包裝於 5°C 儲藏 50 天之外觀(去殼)。

Fig. 5. Appearance of water bamboo (without sheath) stored at 5°C for 50 days in seal package.



圖 6. 茭白筍以密封包裝於 5°C 下儲藏 50 天基部之連續切片

Fig. 6. Consecutive sections of the base part of water bamboo stored at 5°C for 50 days in sealed package.



A

B

圖 7. 茭白筍於 5°C 以密封(A)及綑綁(B)儲藏 50 天之筍髒切面

Fig. 7. Cross section of water bamboo stored at 5°C for 50 days in sealed(A) or tied(B) bags..



圖 8. 茭白筍以真空包裝處理於 5°C 下儲藏 50 天之外觀

Fig. 8. Appearance of water bamboo stored at 5°C for 50 days vacuum package.



圖 9. 茭白筍以真空包裝於 5°C 下儲藏 50 天之切面

Fig. 9. Cross section of water bamboo stored at 5°C for 50 days in vacuum package.

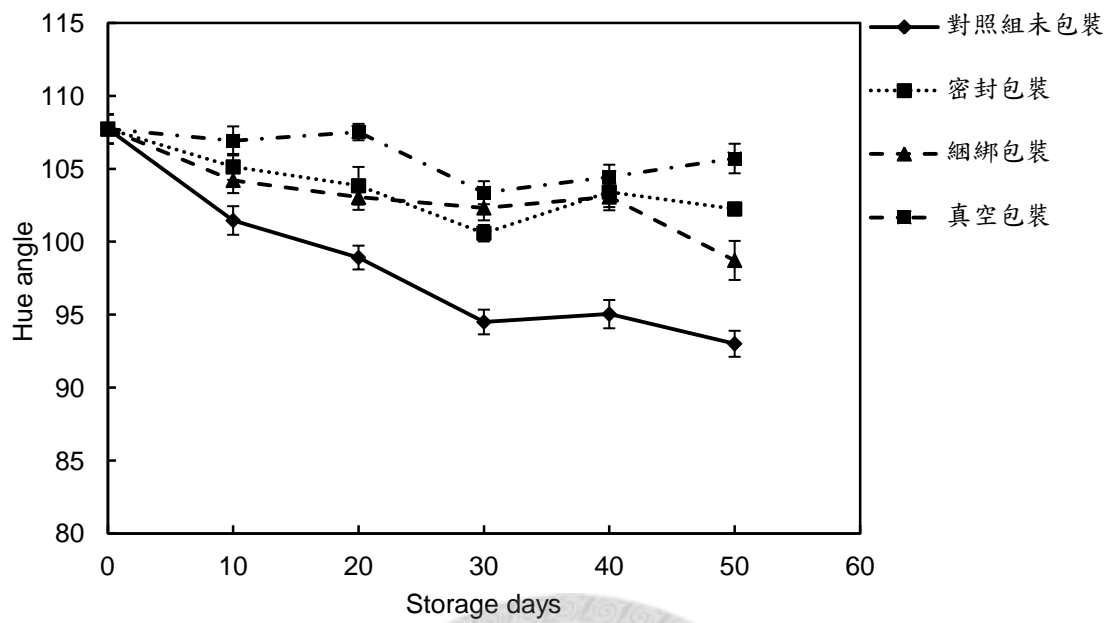


圖 10. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間外葉色相角之變化。

Fig.10. Changes in hue angle of water bamboo packed with different methods during storage at 5 °C. —◆— control (unpacked); ...■...sealed package ;
 - ▲ - tied package ; - ■ - vacuum package. Each data represents mean of three replicates.

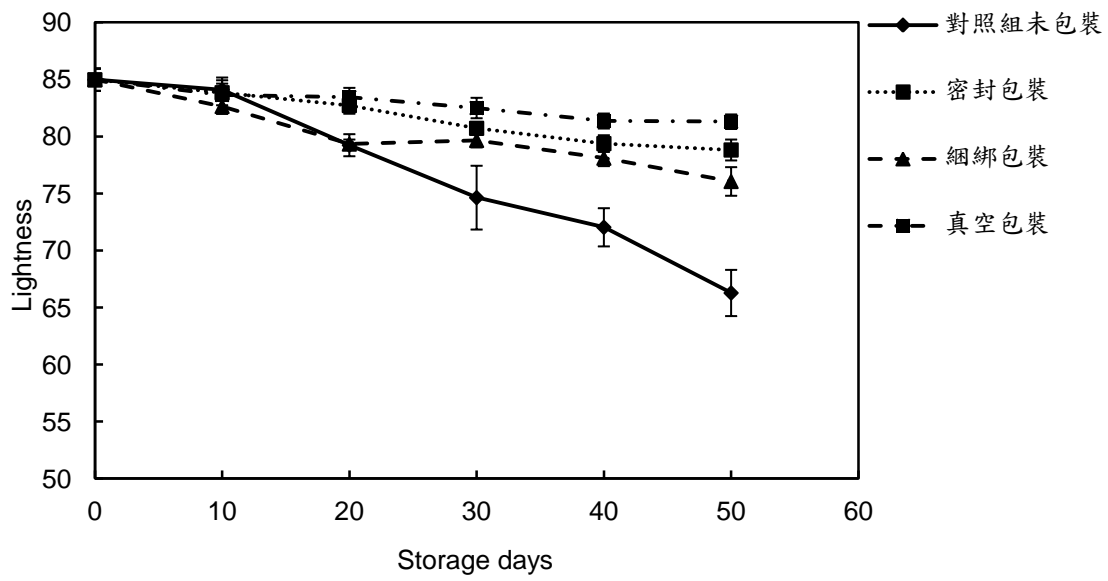


圖 11. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間基部切面 L* 之變化。

Fig.11. Changes in color (L*value) of water bamboo packed with different methods during storage at 5 °C. —◆—control (unpacked) ; ...■...sealed package ; -▲- tied package ; -■- vacuum package. Each data represents mean of three replicates.

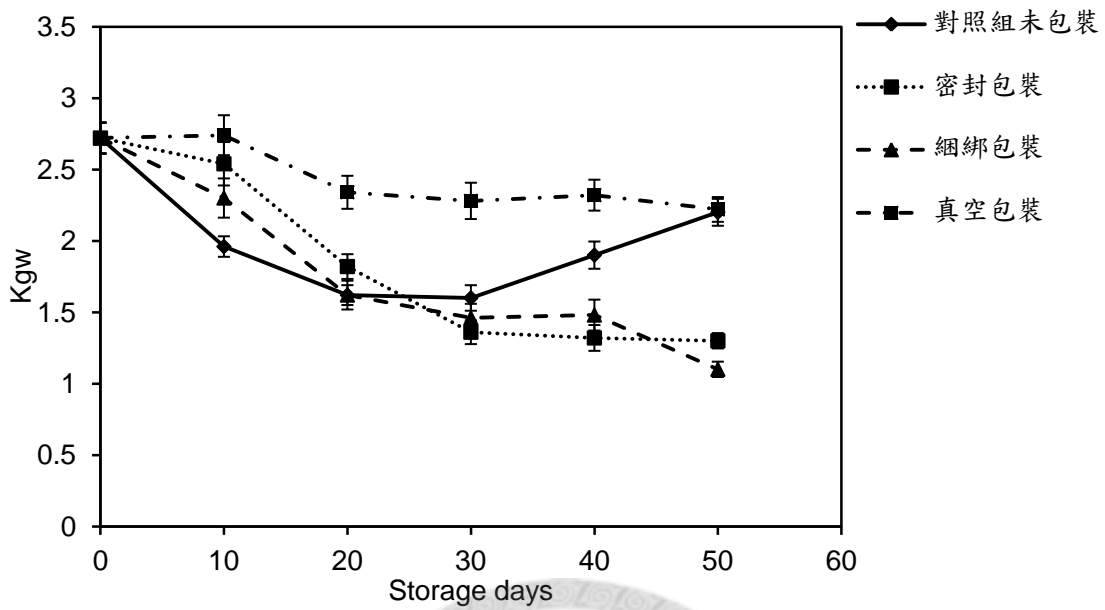


圖 12. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間質地之變化。

Fig. 12. Changes in hardness of water bamboo packed with different methods during storage at 5 °C. —◆— control (unpacked); ...■...sealed package ;
 -▲- tied package ; -■- vacuum package. Each data represents mean of three replicates.

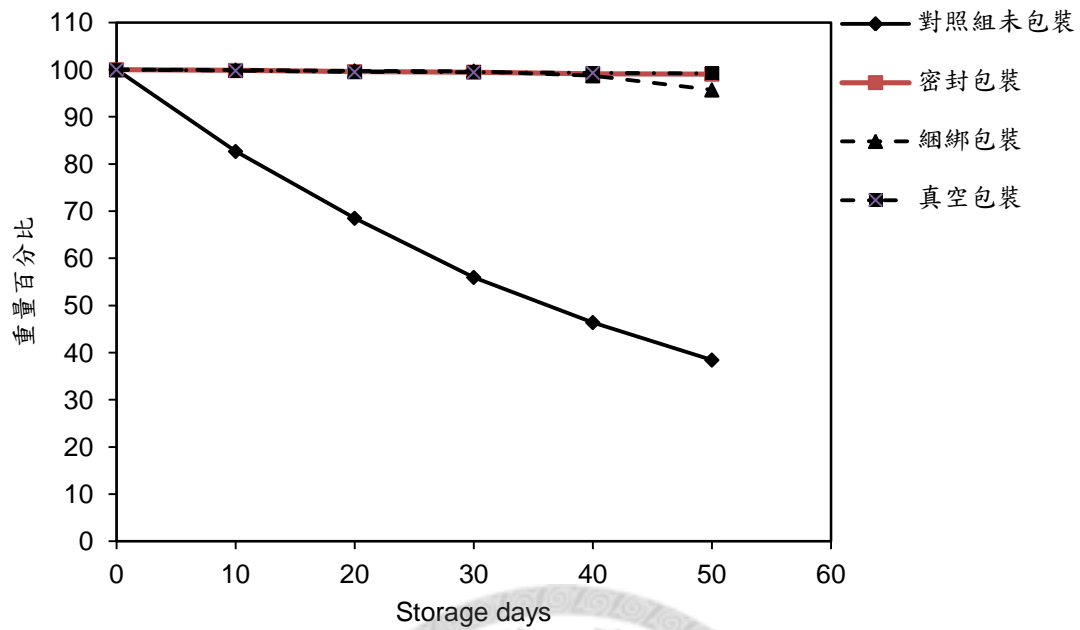


圖 13. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間失水率之變化。

Fig. 13. Changes in water loss of water bamboo packed with different methods during storage at 5 °C. —◆—control (unpacked); ···■···sealed package ;
 - ▲ - tied package ; - ■ - vacuum package. Each data represents mean of three replicates.

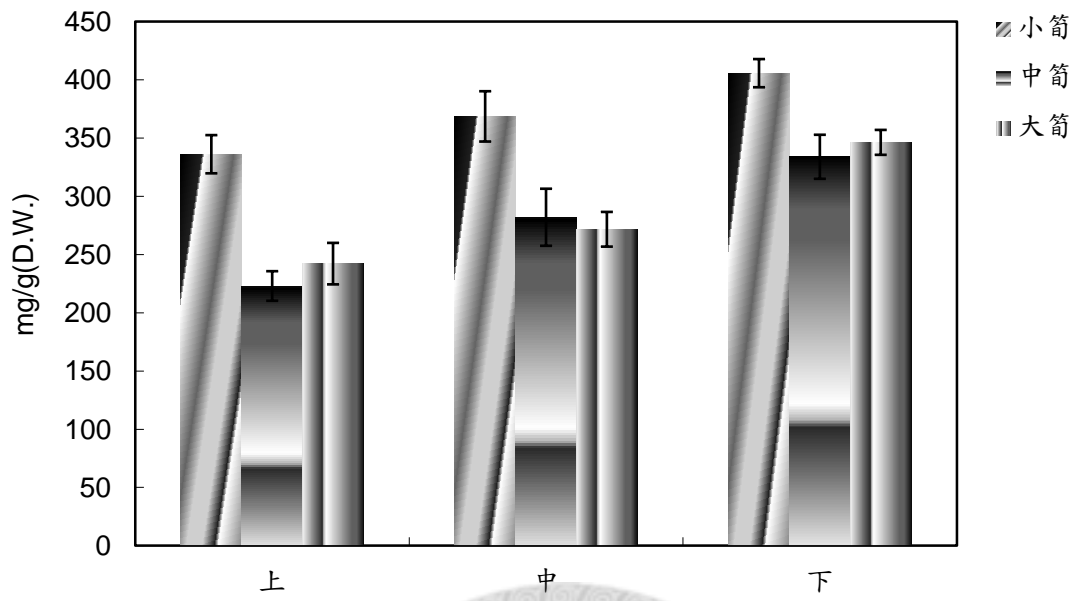


圖 14. 不同大小之茭白筍中不同部位之總可溶性糖含量。

Fig. 14. Total soluble sugar contents in different parts of water bamboo. Blue: small size; Red: medium size; Green: large size.

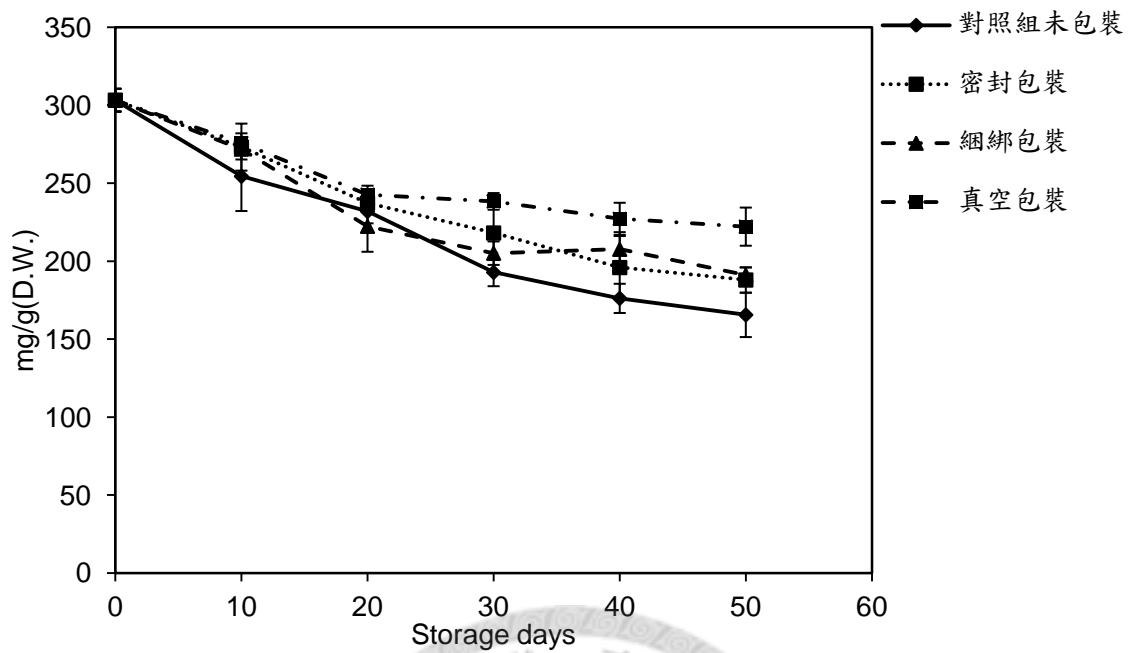


圖 15. 茭白筍以不同方式包裝在 5°C 中貯藏期間總可溶性糖之變化。

Fig. 15. Changes in total soluble sugar of water bamboo packed with different methods during storage at 5 °C. —◆—control (sealed pack); ···■···sealed package; -▲- tied package; -■- vacuum package. Each data represents mean of three replicates.

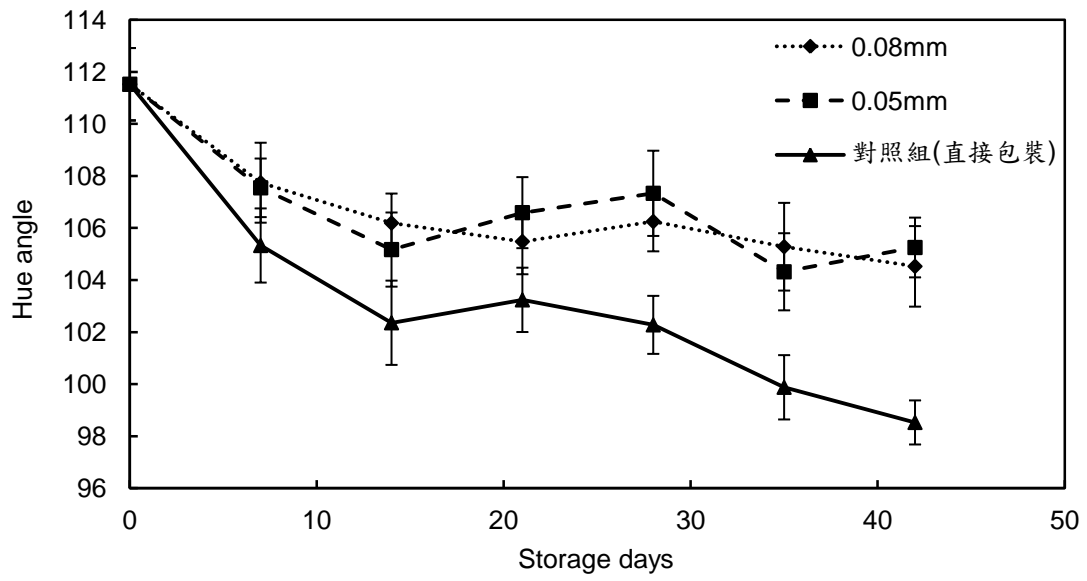


圖 16. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之色相角之變化。

Fig. 16. Changes in hue angle of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲— control (sealed pack) ; ...◆... 0.08 mm ; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

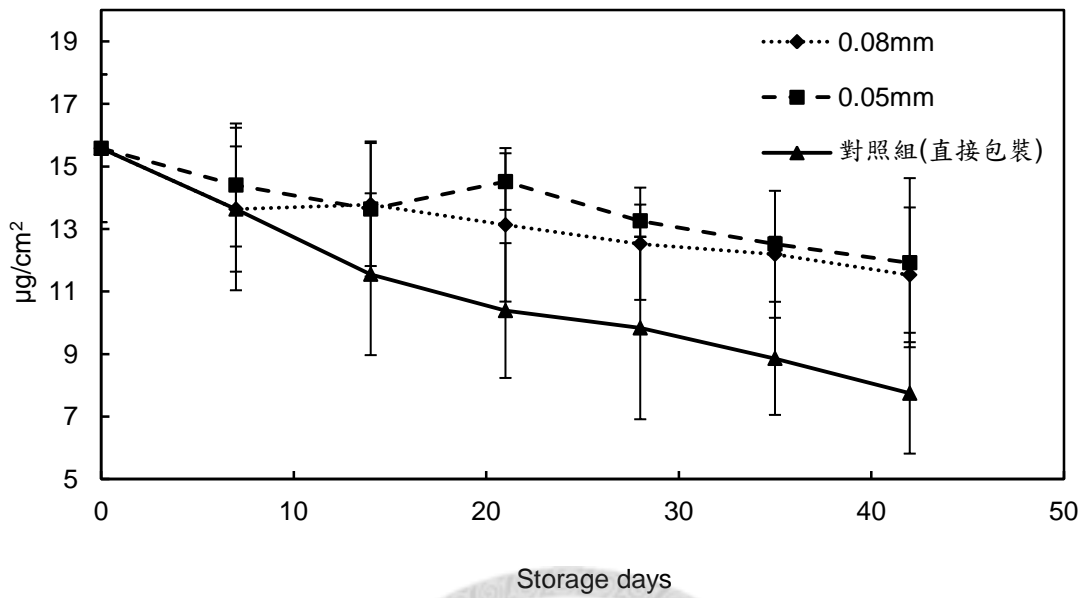


圖 17. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之外葉葉綠素含量之變化。

Fig. 17. Changes in chlorophyll content of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲— control (sealed pack); ...◆... 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

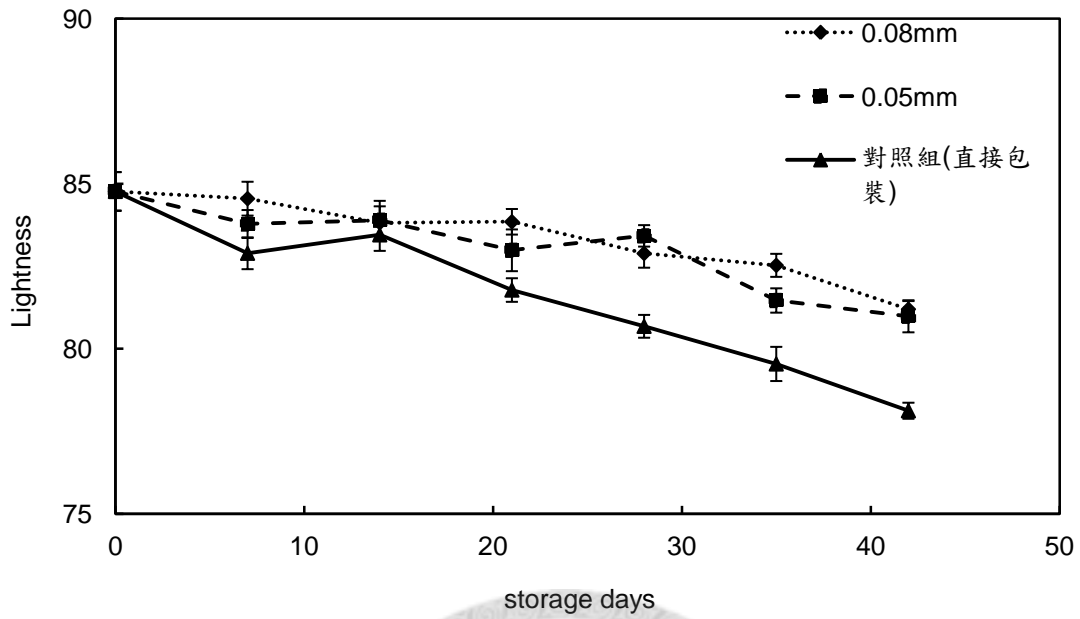


圖 18. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之切口褐化之變化。

Fig. 18. Changes in color (L^* value) of cut end of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲— control (sealed pack); ...◆... 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

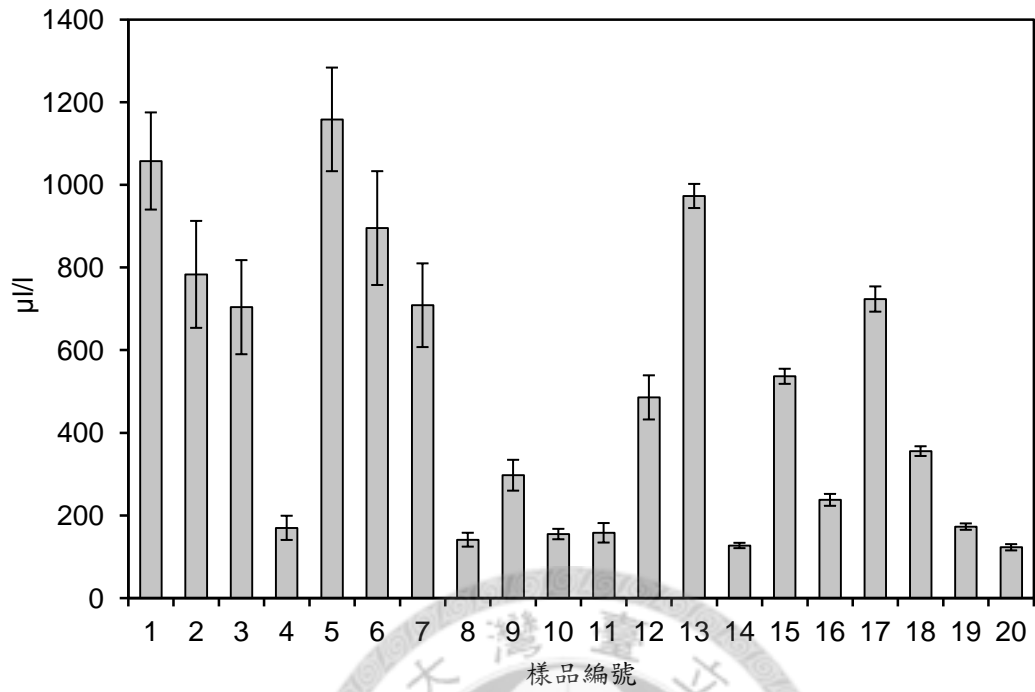


圖 19. 不同樣品新鮮茭白筍中之乙醇濃度。

Fig.19. Ethanol concentration in different samples of fresh water bamboo.

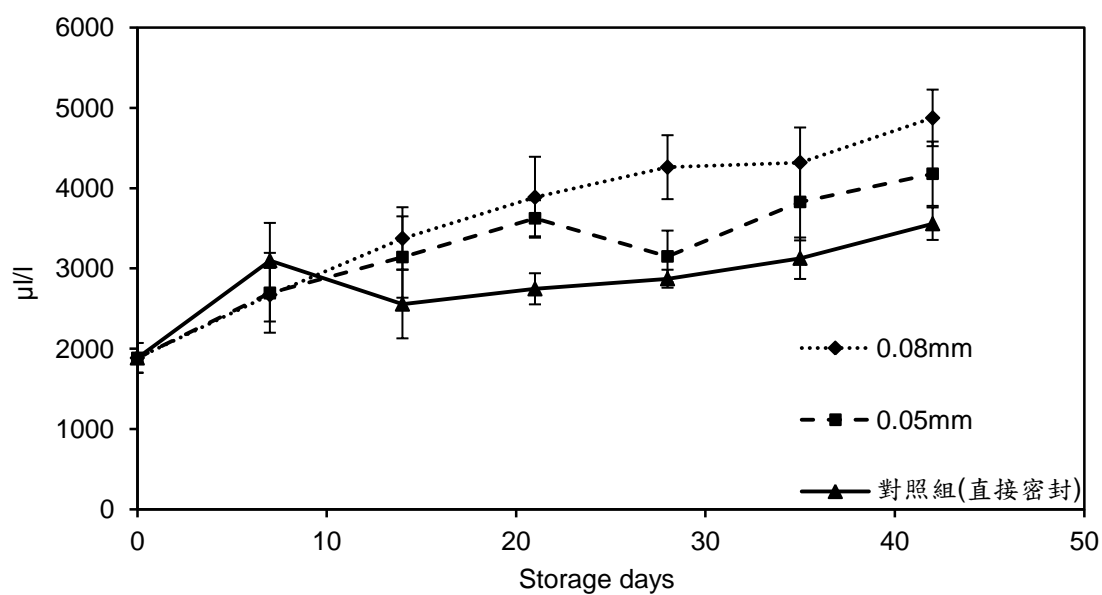


圖 20. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之乙醇濃度變化。

Fig. 20. Changes in alcohol concentration of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲—control (sealed pack); ...◆... 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

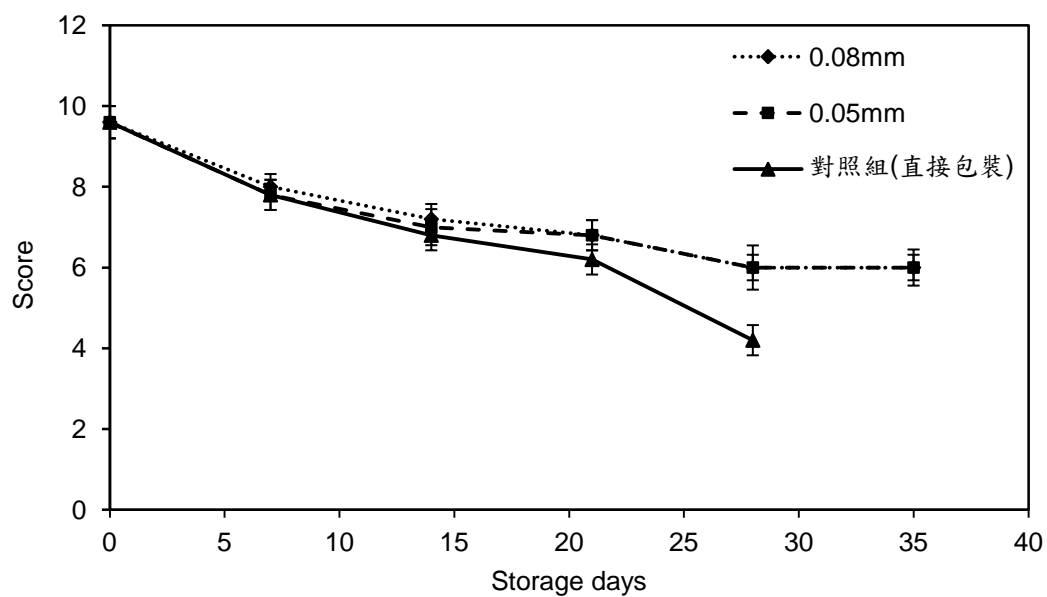


圖 21. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之外觀評分變化。

Fig.21. Changes in sensory evaluation (appearance) of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲— control (sealed pack); ···◆··· 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

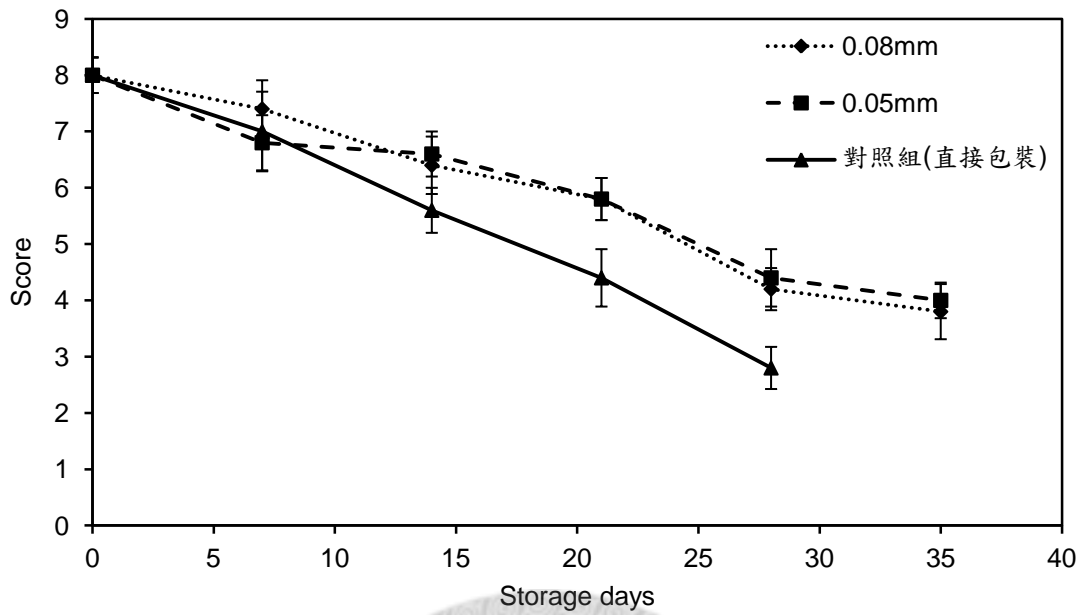


圖 22. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之質地品評變化。

Fig.22. Changes in sensory evaluation (texture) of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲—control (sealed pack); ...◆... 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

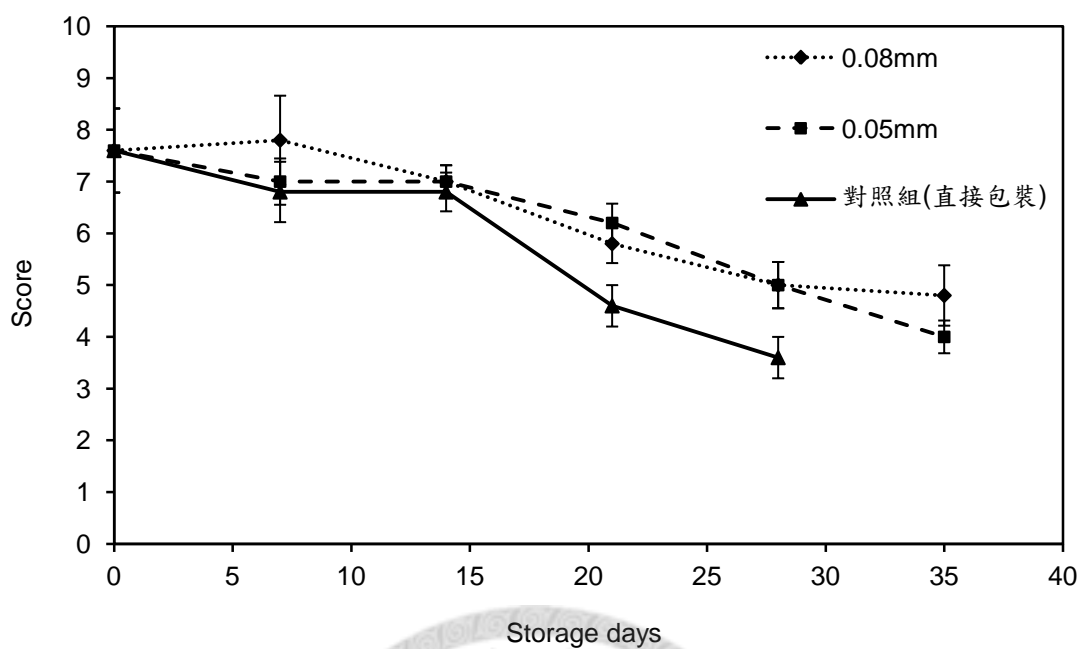


圖 23. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之香氣品評變化。

Fig. 23. Changes in sensory evaluation (aroma) of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲—control (sealed pack); ...◆... 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

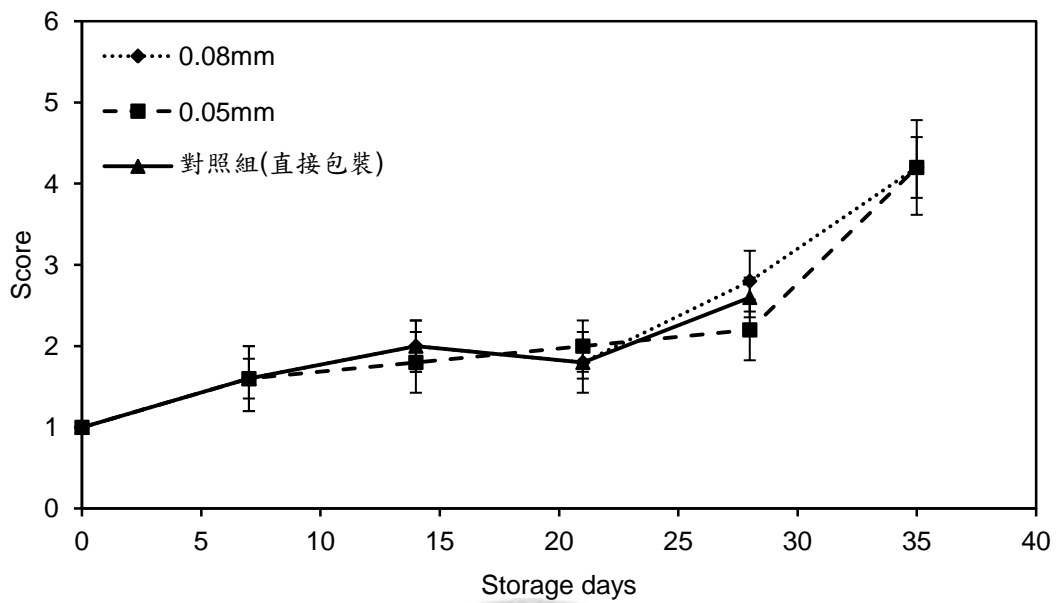


圖 24. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之異味品評變化。

Fig. 24. Changes in sensory evaluation (off odor) of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲— control (sealed pack); ...◆... 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

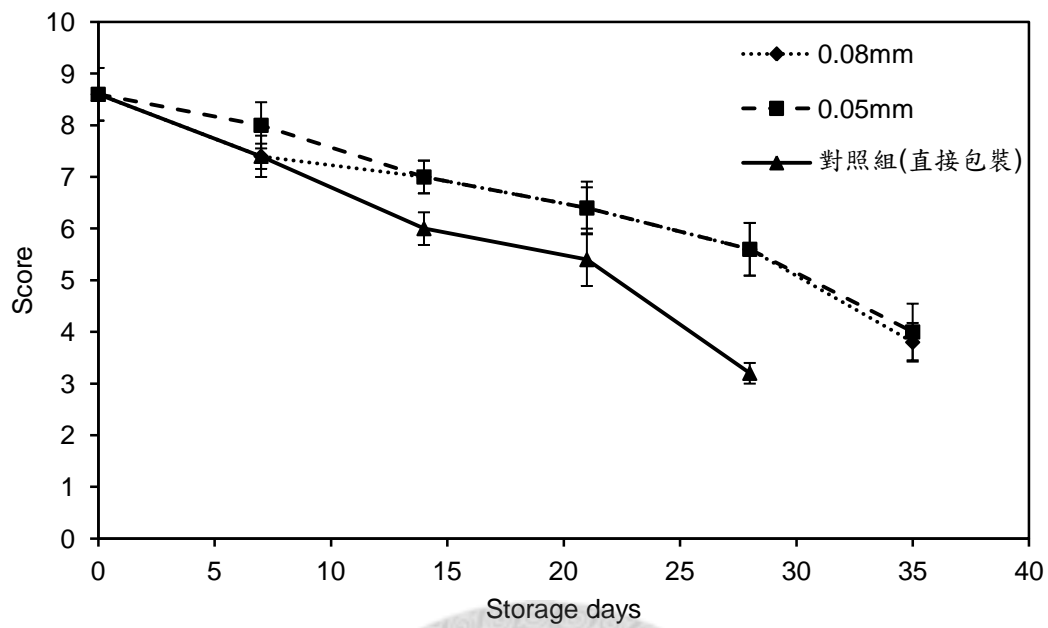


圖 25. 茭白筍以不同厚度 LDPE 袋包裝在 5°C 中貯藏期間之整體品評變化。

Fig. 25. Changes in sensory evaluation (overall acceptability) of water bamboo packed with LDPE bags of different thickness during storage at 5 °C. —▲— control (sealed pack); ···◆··· 0.08 mm; -■- 0.05 mm. Each data represents mean of three replicates.

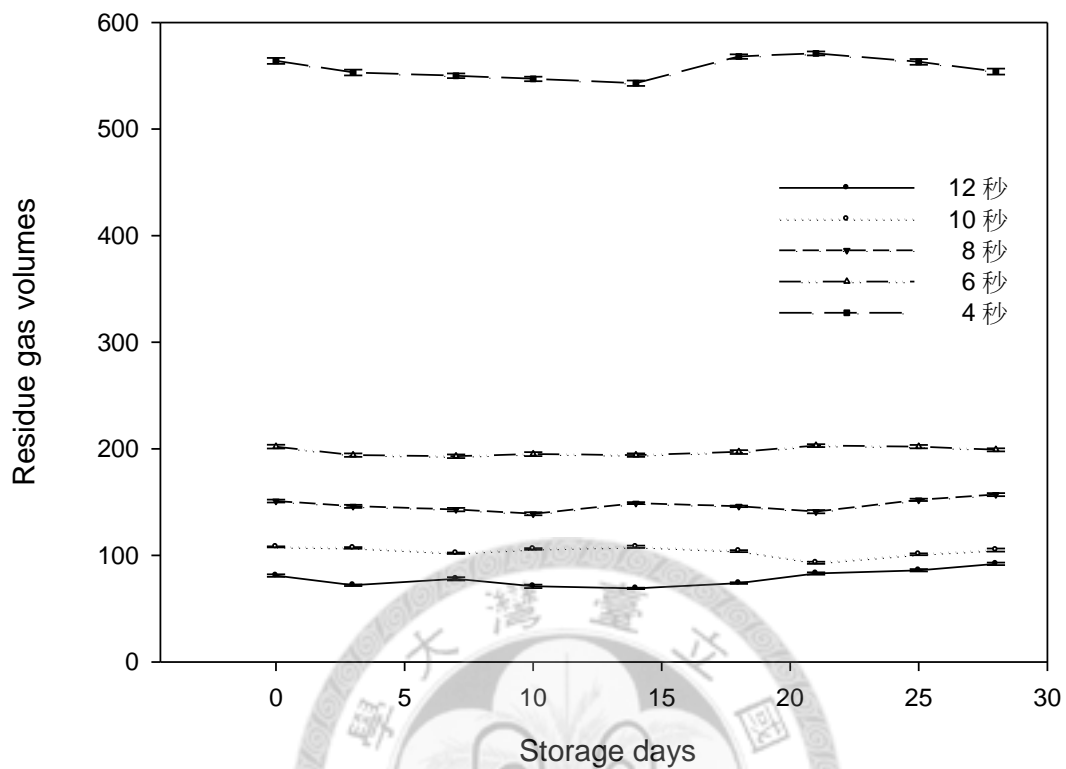


圖 26. 茭白筍以不同抽氣時間完成之真空包裝在 5°C 貯藏期間之其袋內殘餘氣體量之變化。

Fig. 26. Residue gas volumes (ml) within the vacuum package of water bamboo that were sealed under different vacuuming times (seconds) during storage at 5 °C.

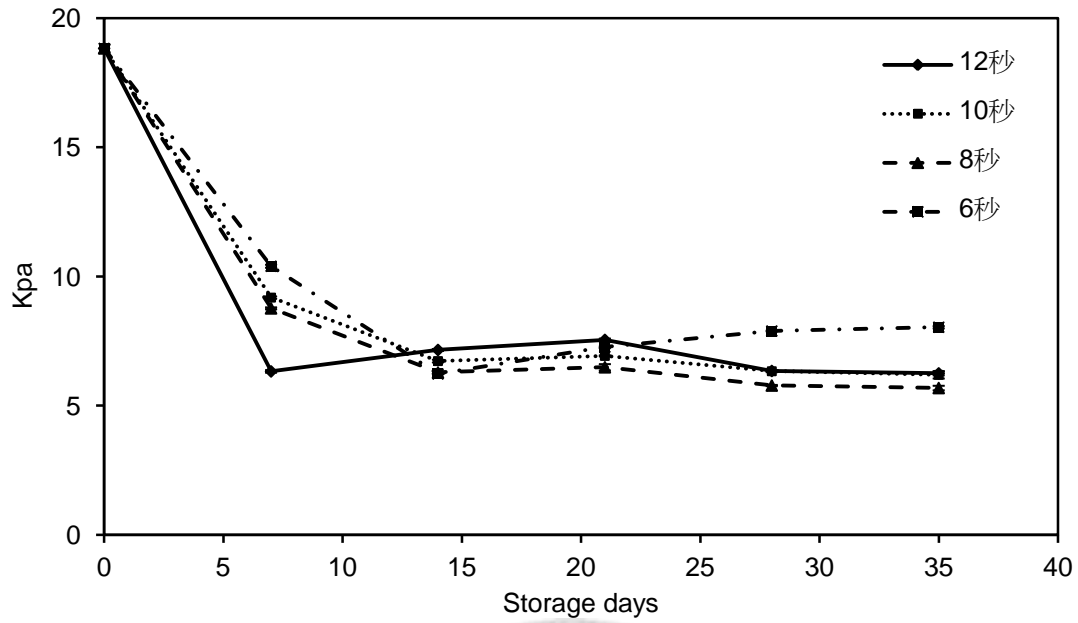


圖 27. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間其袋內氧氣濃之變化。

Fig. 27. Changes in O₂ concentration within the vacuum package of water bamboo that were sealed under different vacuuming times (seconds) during storage at 5 °C.

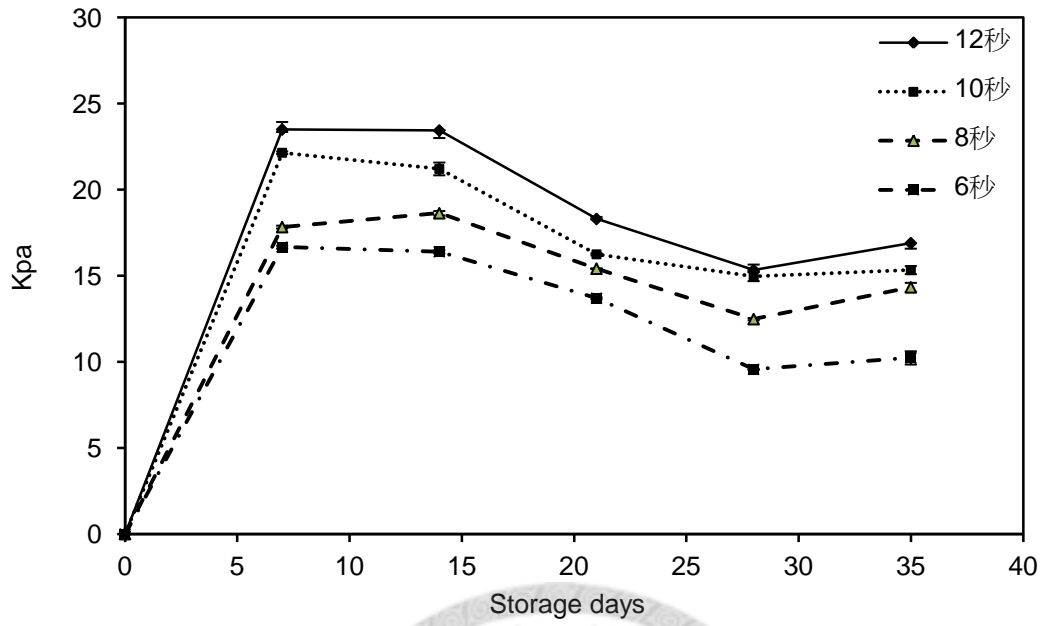


圖 28.以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間其袋內二氧化碳濃度之變化。

Fig. 28. Changes in CO₂ within the vacuum package of water bamboo that were sealed under different vacuuming times (seconds) during storage at 5 °C.

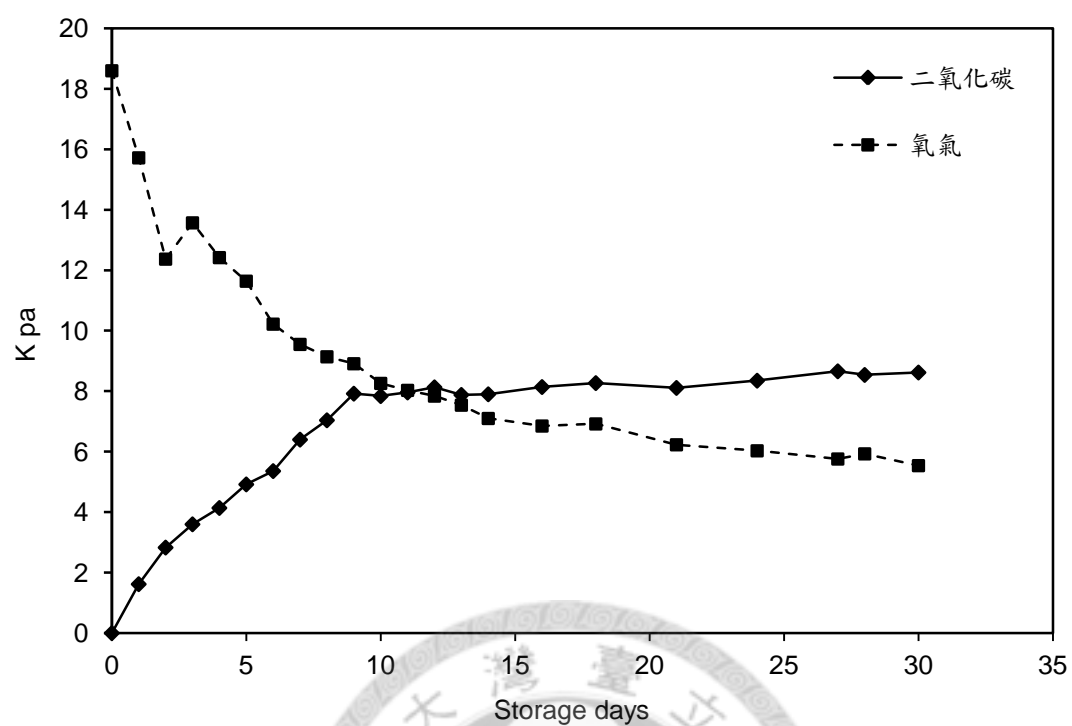


圖 29. 茭白筍以密封包裝在 5°C 貯藏期間其袋內氧氣及二氧化碳之變化。

Fig. 29. Changes in O₂ and CO₂ concentration within the sealed package of water bamboo during storage at 5 °C.

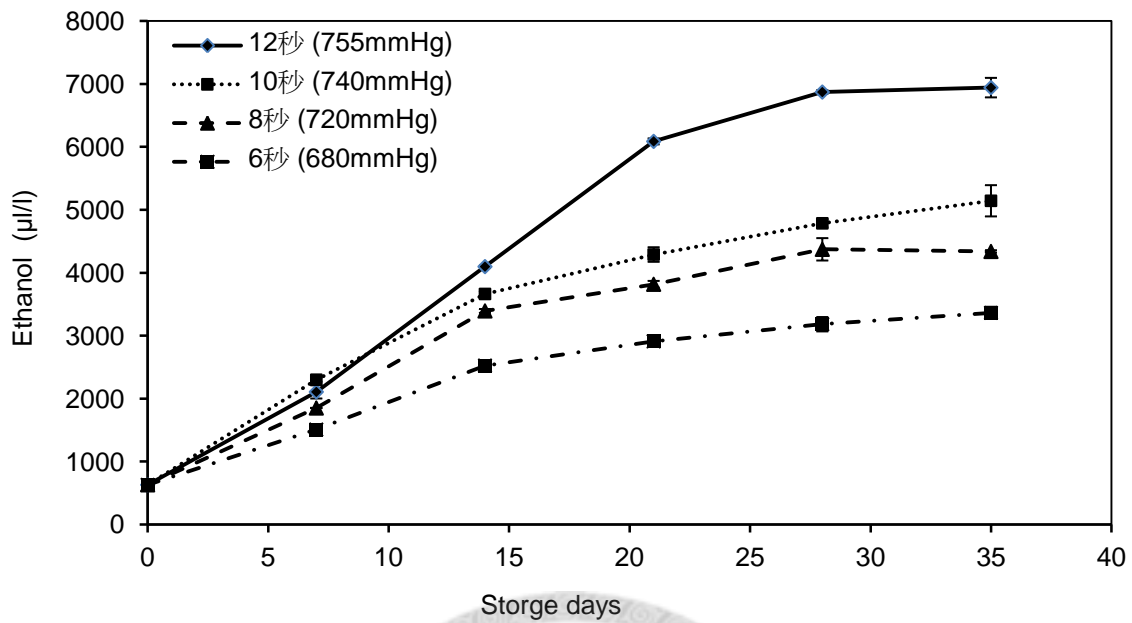


圖 30. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間茭白筍內乙醇濃度之變化。

Fig. 30. Changes in ethanol concentration inside water bamboo that were vacuum-packed by different vacuuming times (seconds) during storage at 5 °C.

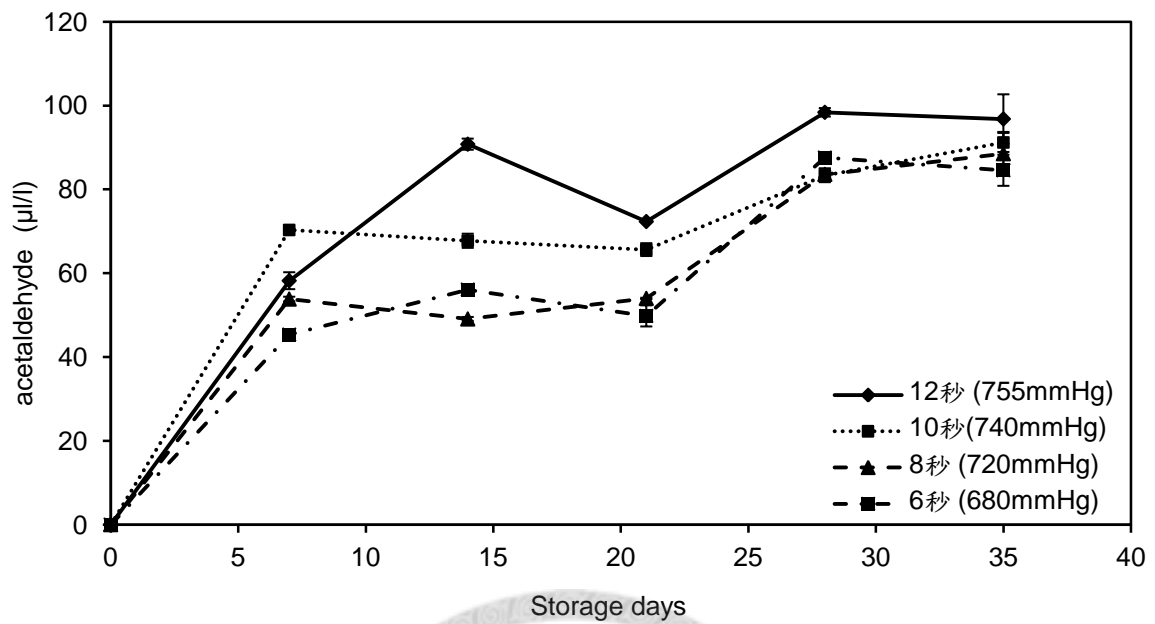


圖 31. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間茭白筍內乙醛濃度之變化。

Fig. 31. Changes in acetaldehyde concentration inside water bamboo that were vacuum-packed by different vacuuming times (seconds) during storage at 5 °C.

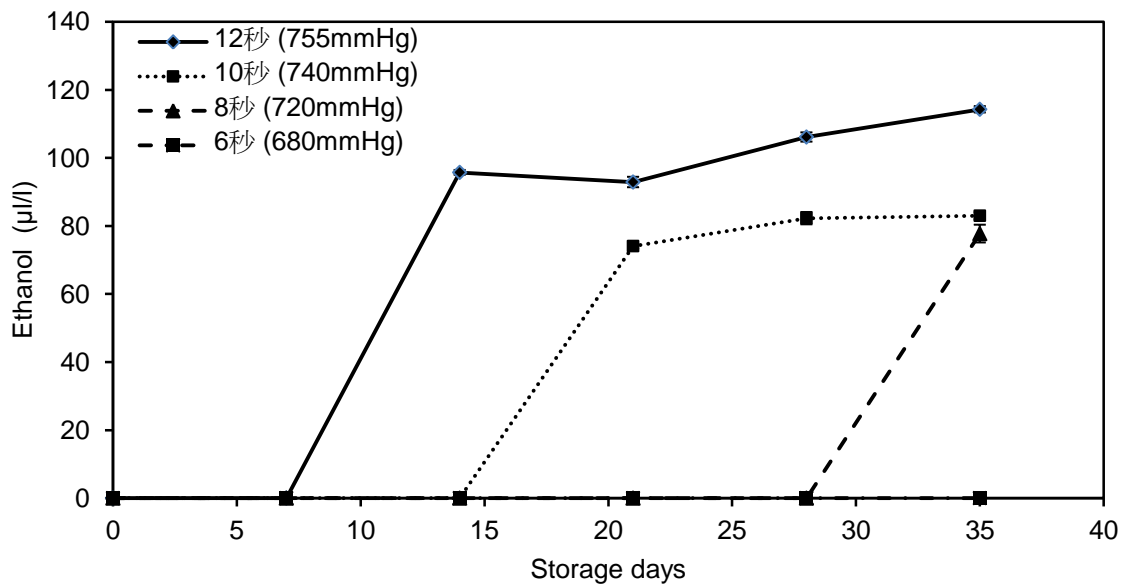


圖 32. 以不同抽氣時間完成之真空包裝茭白筍在 5°C 貯藏期間包裝袋內乙醇濃度之變化。

Fig. 32. Changes in ethanol concentration inside the packaging bag of water bamboo that were vacuum-packed by different vacuuming times (seconds) during storage at 5 °C.

參考文獻

- 呂理燦、張淳文. 1982. 茭白筍組織之電子顯微鏡觀察. 植物保護會刊
24:247-252
- 江解增、曹碇生、邱屈娟、韓秀芹、張牆、朱慶森. 2003. 茭白碳水化合物積累
與分配特性研究. 園藝學報 30(5): 535-539.
- 宋家璋. 1990. 茭白筍採收後生理與氣調貯藏之研究. 國立台灣大學園藝研究所碩
士論文. 80pp.
- 林天枝、黃肇家、廖君達、黃晉興. 2002. 茭白筍栽培管理手冊. 南投縣埔里鎮農
會.
- 周濤、許時嬰、王璋、孫大文. 2006. MAP 對輕度加工茭白品質的影響級其模型
建立. 食品科學 27(3):235-238
- 松際農網. 2005. 茭白貯藏六法. <http://www.99sj.com/Article/6651.htm>
- 高紀清. 1995. 應用RAPD 鑑別茭白品種之研究. 國立台灣大學園藝學研究所碩
士論文.
- 洪聖峰. 1997. 應用RAPD 技術於茭白品種及其黑穗菌系鑑別之研究. 國立台灣
大學園藝學研究所碩士論文.
- 翁一司. 1996. 氣變包裝技術應用在青花菜採後保鮮上之研究. 台灣大學園藝學
研究所碩士論文.
- 郭肇凱、蔡宜峰、魏芳明. 2009. 茭白筍有機栽培實務. 有機農業產業發展研討會
專輯:125-132.
- 程台生. 1983. 茭白筍要莖膨大之生理探討. 中興大學碩士論文
- 張繁如、廖芳心. 1988. 綠竹筍及茭白筍採收後處理保鮮之研究. 76年度園產品採
收處理集運作業之改進計畫工作成果報告. 農林廳特產科. p17-30.
- 陳思穎. 2008. 貯藏溫度與包裝技術應用在茭白筍採後保鮮之研究. 國立台灣大學

園藝學系碩士論文. 105pp.

楊秀珠. 1976. 茭白之儲藏、組織解剖及病原菌 *Ustilago esculenta* Henning 之研

究. 國立中興大學植物病理研所碩士論文.

劉顯達、郭孟祥. 1976. 茭白黑穗病之研究 I：茭白黑穗病病組織之解剖及病菌發

芽培養特性. 屏東農專學報. 17：188-194.

劉顯達、郭孟祥. 1976. 茭白黑穗病之研究 III：茭白無菌苗人工接種生成茭白筍

之試驗. 屏東農專學報. 21：100-105.

劉政道. 1977. 茭白外部型態及其花器構造之研究. 中國園藝. 23(6):281-289.

Artés, F., 2000. Conservación de los productos vegetales en atmósfera modificada.

Edited by Lamúa M. Mundi Prensa.

Artés, F., 2006. El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco.

Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha 7(1):41-47.

Artés, Francisco., P. A. Gómez, and F. Artés-Hernández. 2006. Modified atmosphere packaging of fruit and vegetable. Stewart Postharvest Review. 5:2.

Artés, F. D. 1993. y cálculo de polímeros sintéticos de interés para la conservación hortofrutícola en atmósfera modificada. In: Nuevo Curso de Ingeniería del Frío. Edit Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos. AMV. 2^a Edic. Madrid, Spain. pp:427-453.

Armstrong, W. and P. M. Beckett. 1987. Internal aeration and the development of steller anoxia in submerged roots; a multishelled mathematical model combining axial diffusion of O₂ in the cortex with radial losses to the stele, the wall layers, and the rhizosphere. New Phytol. 105:221-245

Beaudry, R.M. 1999. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena

- affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest Bio. and Technol.* 15:293–303.
- Cia, P.I., E.A. Benato, J.e.M.M. Sigrist, C. Sarantop´oulos, L.e.M. Oliveira, and Padula, 2006. Modified atmosphere packaging for extending the storage life of ‘Fuyu’ persimmon. *Postharvest Bio. and Technol.* 42 (2006) 228–234.
- Chan, Y. S. and L. B. Thrower. 1980. The host-parasite relationship between *Zizania caduciflora* Turcz. and *Ustilago esculenta* P. Henn. IV. Growth substances in the host-parasite combination. *New phyto.* 85 : 223-225.
- Dubios, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28(3):350-356.
- El-Mir, M., D. Gerasopoulos, I. Metzidakis, and A.K. Kanellis. 2001. Hypoxic acclimation prevents avocado mesocarp injury caused by subsequent exposure to extreme low oxygen atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 23, 215–226.
- Ghosh, V. and R.C. Anantheswaran. Oxygen transmission rate through microperforated films: measurement and model comparison. *J. of Food Process Engineering* 2001: 24(2):113–133.
- Hadizadeh, M. and E. Keyhani. 2004. Detection and kinetic properties of alcohol dehydrogenase in dormant corm of *Crocus sativus* L. *Acta Hort.* 650. 127-139.
- Hammes-Schiffer, S. and S. J. Benkovic. 2006. Relating protein motion to catalysis. *Annual Review of Biochemistry* 75:519–41.
- Hirokazu, K., H. Kuniyoshi, M. Kikuko, Y. Kohji, Y. Kazunaga, S. Kanako, U. Naoaki, and M. Yashiharu. 2006. *Osteoclast-Forming* Suppressive Compounds from Makomotake., *Zizania latifolia* Infected with *Ustilago esculenta*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 70:2800-2802.

- Hellgren, M. 2009. Enzymatic studies of alcohol dehydrogenase by a combination of in vitro and in silico methods. Ph. D. thesis. Stockholm, Sweden: Karolinska Institutet.
- Hotchkiss, J., Banco, M. 1992. Influence of packaging technologies on the growth of microorganisms in produce. *J. Food Prot.* 55: 815–820.
- Huang, C. S. 1978. Cytological and agronomical studies on American wild-rice, *Zizania plustris*, and its related species. *J. Agric. Assoc. China (new ser. 103)* : 20-42.
- Inskeep, W. P. and P. Bloom. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiol.* 77:483-485.
- Kader, A.A., 1986. Biochemical and Physiological-Basis for Effects of Controlled and Modified Atmospheres on Fruits and Vegetables. *Food Technol-Chicago* 40:99.
- Kader, A.A., 1990. Modified atmospheres during transport and storage of fresh fruits and vegetables. *International Congress on Food Technol. and Development.*
- Kader, A. A. 1992. Methods of gas mixing, sampling, and analysis. In: Chapter12, Postharvest technology of horticultural crop. A. A. Kader (ed.) Cooperative Extension ,University of California Agriculture and Natural Resources. Publication. 3311, p93-96.
- Kader, A.A. and C.B. Watkins, 2000. Modified Atmosphere Packaging Toward 2000 and Beyond. *HortTechnol.* vol. 10 no. 3 483-486.
- Kader, A.A., D. Zagory, and E.L. Kerbel, 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1989;28(1):1-30.
- Kader, A.A., D. Zagory and EL. Kerbel. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1989: 28: 1–30.
- Ke, D., L. Zhou, and A.A. Kader, 1994. Mode of oxygen and carbon dioxide action on

- strawberry ester biosynthesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(5):971–975. 1994.
- Knee, M. and D. Aggarwal, 2000. Evaluation of vacuum containers for consumer storage of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 19 (2000) 55–60.
- Kanellis, A.K., T. Solomos, and K.A. Roubelakis-Angelakis. 1991. Suppression of cellulase and polygalacturonase and induction of alcohol dehydrogenase isoenzymes in avocado fruit mesocarp subjected to low oxygen stress. *Plant Physiol.* 96:269–274.
- Kanellis, A.K., K. A. Loulakakis, M. Hassan, and K.A. Roubelakis-Angelakis. 1993. Biochemical and molecular aspects of low oxygen action on fruit ripening. In: Pech, C.J., Latche, A., Balague, C. (Eds.), *Cellular and Molecular Aspects of the Plant Hormone Ethylene*. Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 117–122.
- Lee, K.W., P. W. Chen, C.A. Lu, S. Chen, T.H.D. Ho, and S.M. Yu. 2009. Coordinated responses to oxygen and sugar deficiency allow rice seedlings to tolerate flooding. *Plantbio.* vol.2. issue 91. ra61.
- Liam., B.A., Z. Hong, and H.H. Jung, 2011. *Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables*. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, UK ; Ames, Iowa.
- Moyls, A.L., D.L. McKenzie, R.P. Hocking, P.M. Toivonen, P. Delaquis, B. Girard, and G. Mazza. Variability in O₂, CO₂ and H₂O transmission rates among commercial polyethylene films for modified atmosphere packaging. *Transactions of the ASAE* 1998: 41(5): 1441–1446.
- Park, Y. M., Blanpied, G. D., Zozwiak, Z. and Liu, F. W. 1993. Postharvest studies of resistance to gas diffusion in McIntosh apples. *Postharvest Biol. Technol.* 2:329-339.

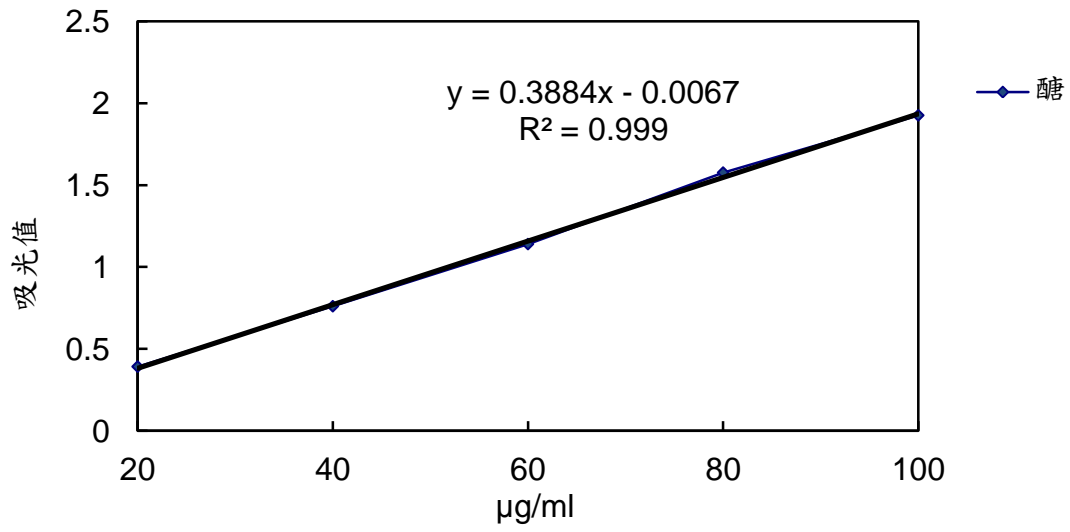
- Robinson, J. E., Browne, K. M. and Burton, W. G. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Ann. Appl. Biol.* 81: 399-408.
- Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *Food Sci. Technol.* 43: 381-392.
- Sanz, C., A.G. Pérez, R. Olías, and J.M. Olías. Modified atmosphere packaging of strawberry fruit: effects of package perforation on oxygen and carbon dioxide. *Food Sci. and Technol. International* 2000: 6(1):33–38.
- Saltveit, M. E. 2000. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biol. and Technol.* 21:61-69.
- Serrano, M., D. Martinez-Romero, F. Guillén, S. Castillo, and D. Valero, 2006. Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biol. and Technol.* 39:61-68.
- Silva, F.M., K.V. Chau, J.K. Brech, and S.A. Sargent, 1999. Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures. *Postharvest Biol. and Technol.* 1999: 17: 1–9.
- Taiz, L. and E. Zeiger, 2006. *Plant physiology*. 4th ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sutherland, Massachusetts. 763pp.
- Toivonen, M.A., and J.R. DeEll, 2006. Chlorophyll fluorescence, fermentation product accumulation, and quality of stored broccoli in modified atmosphere packages and subsequent air storage. *Postharvest Biol. and Technol.* 23:61–69.
- Uchimiya, A. D. H. 2002. Oxygen stress and adaption of a semi-aquatic plant : rice (*Oryza sativa*). *J. Plant Res.* 115 : 315-320.
- Velde MD van-de, Loey AM van and Hendrickx ME. 2002. Modified atmosphere packaging of cut Belgian endives. *J. of Food Sci.* 67(6):2202–2206.

Yahia, E.M., M. Rivera, and O. Hernandez, 1992. Response of papaya to short-term insecticidal oxygen atmosphere. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:96-99.

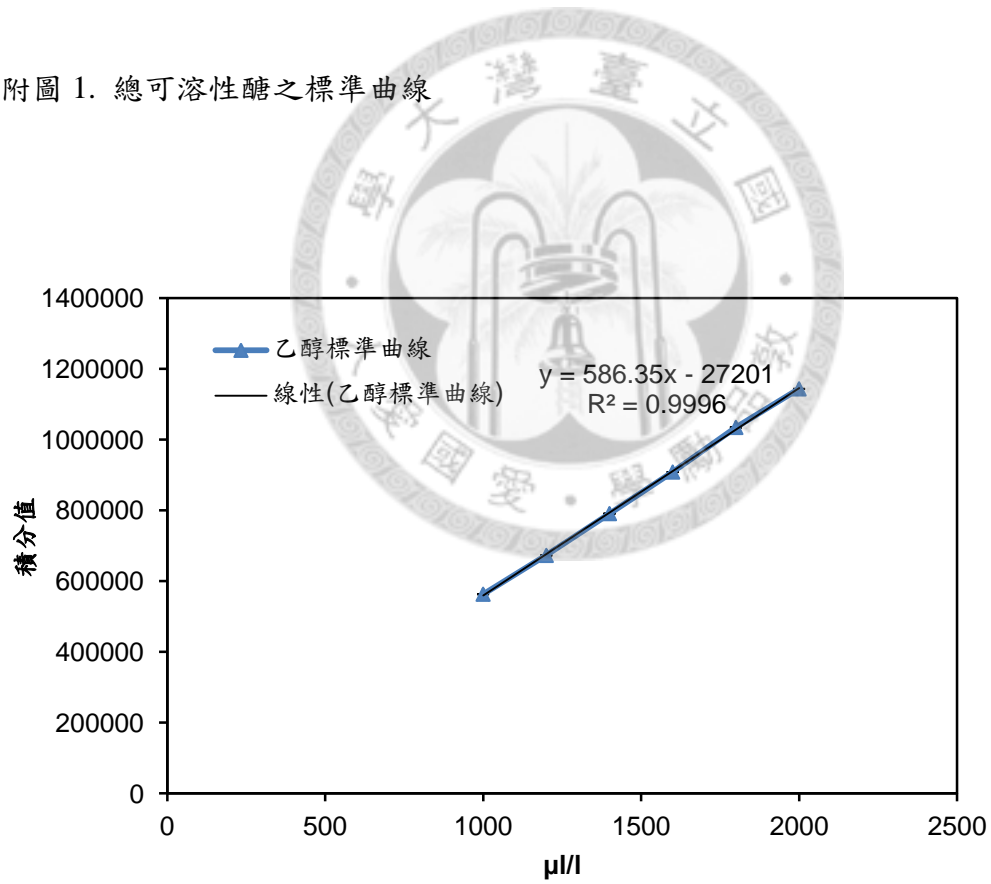


附表 1. 不同種類之塑膠膜及其氣體通透性

Film	Permeability (cm ³ /m ² d atm for 25 μm film at 25 °C)			Water vapour transmission, g/m ² /day/atm (38 °C and 90% RH)
	Oxygen	Nitrogen	Carbon dioxide	
Ethylene vinyl alcohol (EVOH)	3-5	-	-	16-18
Polyvinylidene chloride coated (PVdc)	9-15	-	20-30	-
Polyethylene, LD	7800	2800	42,000	18
Polyethylene, HD	2600	650	7600	7-10
Polypropylene cast	3700	680	10,000	10-12
Polypropylene, oriented	2000	400	8000	6-7
Polypropylene, oriented, PVdc coated	10-20	8-13	35-50	4-5
Rigid PVC	150-350	60-150	450-1000	30-40
Plasticized PVC	500-30,000	300-10,000	1500-46,000	15-40
Ethylene vinyl acetate (EVA)	12,500	4900	50,000	40-60
Polystyrene, oriented	5000	800	18,000	100-125
Polyurethane (polyester)	800-1500	600-1200	7000-25,000	400-600
PVdc-PVC copolymer (Saran)	8-25	2-2.6	50-150	1.5-5.0
Polyamide (Nylon-6)	40	14	150-190	84-3100



附圖 1. 總可溶性醣之標準曲線



附圖 2. 乙醇之標準曲線