綠竹筍採收後生理與保鮮技術

張粲如

桃園區農業改良場

摘　要

綠竹筍是台灣重要的夏季蔬菜之一，其採收後的呼吸速率受到溫度的影響極大，採收後10小時所測定之呼吸速率數值，在30℃中爲457 mg CO_2/Kg/hr，在20℃中爲247mg CO_2 Kg/hr，在5℃及0℃爲31mg CO_2/Kg/hr；至於乙烯的產生量，採收後18小時達最高峰，所測得之數值，在20℃及30℃時爲2.7ul /Kg/hr，而在5℃及0℃時爲0.5 ul/Kg/hr；影響綠竹筍採收後的品質之其他重要生理變化尙有失水，切面褐化與組織纖維化，這些項目亦受到溫度及乙烯之影響甚大；與細胞組織木質化有關的酵素，苯丙氨酸氨基裂解酵素及過氧化酵素的活性，在組織受傷後10小時快速增加。

綠竹筍採收後的處理，以0～2℃冰水預冷45分鐘，再用塑膠袋包裝，貯於0～5℃冷藏庫，或者預冷後，用3%氧氣加10%二氧化碳的氣體組成分，在0～5℃做氣調貯藏對保鮮效果最好，可貯藏達30天。

關鍵字：綠竹筍，採收後生理，預冷，氣調貯藏。

前言

綠竹筍(*Bambusa oldhami* Munro)屬禾本科，爲國內夏季生產之重要蔬菜。具有質細嫩，味鮮美的特性，深受國人的喜愛，本省無論是平地或山地均有栽培，近年來水稻轉作綠竹筍的面積相當大，據統計全省綠竹筍栽培面積高達31,000 ha，鮮筍市場頗爲看好。然由於綠竹筍爲幼嫩之生長組織。採收後的生理變化特別旺盛，極易產生筍之切面褐化及木質化，同時品質迅速劣變，這些因素嚴重影響商品價值。因此有些農民即採用泡水或使用抗氧化劑來防止劣變。

爲了要克服上述問題，徹底了解竹筍採收後的生理變化，包括呼吸速率、乙烯的產生，對大氣中氧氣及二氧化碳的反應，組成分的變化，以及對貯存溫度的效應，藉此從中找出降低生理劣變的方法。這樣也許是較有效而安全的對策。

呼吸作用是園產品採後維持生命供應能量的基本步驟，透過此作用，許多複雜的成分物質如糖、蛋白質、有機酸及脂肪酸等，經過各種酵素的氧化而分解爲簡單的物質，如二氧化碳及能量[32]；因此呼吸速率的大小，反應著該園產品採收後的貯運壽命，呼吸速率愈高，貯運壽命愈短，相反的，呼吸速率愈低貯運壽命愈長，各種園產品的呼吸速率因種類、品種之結構不同而異，且其尙受採收後的外界環境因子，溫度、濕度及氣體組成分，如氧氣、二氧化碳之濃度所影響；乙烯是一種植物荷爾蒙，它調節植物的生長、發育且引發果實後熟，在許多蔬果採收後，會產生受傷乙烯，而促進呼吸速率增加及自動催化乙烯產生，乙烯還可影響某些酵素活性增加，例如日人曾試驗胡瓜果肉組織受傷後，其產生的乙烯誘導苯丙氨物質

(phenyl propanoid)代謝過程相關酵素的形成，如苯丙氨酸氨基裂解酵素(phenylalanine ammonia lyase，PAL)，過氧化酵素(peroxidase，POD)，同時導入二次代謝物質形成，如chlorogenic acid, flavonoids及lignin而促進組織老化[13,20]。

有關綠竹筍採收後之研究，陳與錢等曾報告指出[8]，溫度影響品質劣變，筆者亦曾試驗綠竹筍採收後迅速以冰水預冷，再以PE塑膠袋包裝，貯於5℃，可以保持良好的鮮度達三個星期之久；而以0.1大氣壓之減壓貯藏，可以防止筍基部褐化，並延長貯藏壽命至三十天以上[6]。此結果推測PE塑膠袋與減壓所造成的高二氧化碳或低氧狀況，可能對防止老化與褐變，具有某種程度的效果，氣調貯藏的原理就是利用低氧與高二氧化碳之大氣組成影響蔬果的生理與生化變化，達到保鮮與延長產品壽命的目的[12,18,19,21]。

本研究即針對綠竹筍採收後在不同溫度下的呼吸速率及乙烯產生量，切口之褐化，組成分變化及相關酵素活性變化，並探討預冷及氣調貯藏等保鮮之效果，以提供日後有興趣研究者及保鮮貯藏業者之參考。

材料與方法

本試驗以台北縣五股鄉農民所生產的綠竹筍爲材料，由產地採收後，立即迅速運回台大園藝系園產品處理室，先洗淨後，將竹筍基部切掉約0.5 cm，形成一平整的新切口，再用400 ppm的T B Z (thiabendazole)加chlorophenical 50㎎/ml的溶液泡五分鐘，以防實驗期間眞菌的干擾，遂後滴乾，再進行各項處理及試驗調查。

㈠呼吸速率之測定：先選擇大小相近，外觀良好的綠竹筍一批，以逢機取樣，五支筍爲一樣品，放入壓克力製的呼吸缸（體積爲4l），每處理溫度做三重複，處理溫度共有30℃、20℃、5℃及0℃；將呼吸缸封口，以流通式通入空氣，此空氣係經過高錳酸鉀，氫氧化鉀及水的氣體，故其不含二氧化碳及乙烯，且爲高濕度的氣體，氣體流速控制在每小時約4l；每隔一定時間，由呼吸缸之出氣口，用塑膠針筒抽取1ml，注入日本島津公司出品的氣體層析儀（Model GC-8A)，以熱傳導檢知器(thermal conductivity detector，TCD)，管柱爲6不銹鋼製1/8″ ×6 ft，外環鋼管內填充Porapak Q, 80～100 mesh，分析二氧化碳濃度，並換算爲mg CO_2/Kg/hr。

㈡乙烯之測定：以上述測呼吸速率的裝置，每隔一定的時間，由呼吸缸之出氣口，同樣用塑膠針筒抽取1 ml之氣體，注入日本島津公司出品的氣體層析儀(Model GC-8APF)，管柱爲不銹鋼製1/8″ ×6 ft，內填充活性氧化鋁(active alumina，80～100 mesh)，以火焰游離檢知器(flame ionization detector，FID)，分析乙烯濃度，並換算爲ul C_2H_4/Kg/hr。

㈢綠竹筍之物性（截切力）測定：將綠竹筍基部1.5 cm橫切，依筍形態凸凹面關係，將此基部樣品分爲兩部份，選擇凸面以每1 cm厚度縱切，每一部份再橫切爲2cm，形成爲2×1.5×1 cm^2的立方塊，以物性測定儀(Fudoh rheo- meter NRN-202J-CW型)，齒型押棒B垂直向下切1 cm之切力，以Kg表示之。

㈣綠竹筍基部顏色變化之測定：綠竹筍基部切口，以奇異筆標示出直徑約1 cm之圈作爲測量貯藏期間顏色變化之固定位置，以色差計(Dr. Lang tricolor LFM3 colorimeter)測L、a、b值。L表示亮度，a表示紅色度(+a,表示紅色度，-a表示綠色度)，b值表示黃色度(+b,表示黃色度，-b表示藍色度)。

(五)維他命C之測定：取新鮮樣品5 g（取竹筍生長點下2～3 cm之位置部份），切細，加入20 ml之酸性混合液（6%之metaphosphoric acid含2 N acetic acid），用ploytron均質後，再以同樣的酸性混合液定量至50ml，振盪均勻後，取約20 ml，以冷凍離心機(Hitachi 20PR-52 RPR-20之rotor），1,000 rpm離心十分鐘，取上層澄清液1 ml於試管中，加入0.2% DCIP (2, 6- dichlorophenolindophenol) 0.5 ml，振盪後，加蓋玻璃珠，於恆溫水槽定溫60℃加熱三小時後，用冰水冷卻，再加85%硫酸液2.5 ml，混合均勻，以光電比色計(Shimadzu UV-120-02型)，測波長540 nm之吸光度，以L-ascorbic acid 10～50 ug/ml作標準曲線，樣品定量後換算爲mg L- ascorbic acid /100 gFW。

爲分析酒精可溶性糖、澱粉、還原糖、有機酸等成分，取樣時，以竹筍生長點以下3～5 cm位置之組織，切成碎片，置於瓷杯中，注入液態氮固定，倒入PE塑膠袋，置於冷凍乾燥器(edwards freeze dryer)，操作約48小時完全乾燥後，以磨粉機研磨成粉狀，裝於封口袋，保存於乾燥箱備用。

(六)酒精可溶性醣之測定：取乾燥粉末樣品0.02 g於試管，加入80%酒精5 ml，70℃恆溫水槽加熱30分鐘後，離心，以1,000 rpm十分鐘，取上層澄清液，殘渣再加入80%酒精，依同樣步驟萃取2次，收集澄清液，殘渣保留供測澱粉；將澄清液用減壓濃縮機(Eyela vapor mix S-10)除去酒精及水後，加蒸餾水1 ml，將醣溶出並保存於microtube，備用。以phenol method[14]測定之，取醣抽出液0.02 ml，加入稀釋爲5 ml，振盪均勻後，取1ml，加5% phenol溶液0.5 ml，及濃硫酸溶液2.5 ml，振盪均勻，置於25℃恆溫水槽中10分鐘，再以光電比色計測定波長490 nm之吸光度[14]，以葡萄糖10～100 ug/ml做標準曲線，樣品定量後換算爲g Glucose/100 g DW，即%DW。

(七)澱粉之測定：將酒精可溶性醣所餘的殘渣部分，以恆溫水槽80℃加熱，除去酒精後，加入40 mM HEPES (2-[4-2-Hydroxyethyl]-1-piperazimyl-ethan- sulforic acid)水溶液4 ml (pH 6.3～6.4)，用高溫殺菌釜(autoclave)在120℃，15 kg/cm^{2}壓力下，加熱30分鐘，取出後，冷卻至室溫，加入1 mg/ml的澱粉酵素(α-amylase)水溶液0.5 ml，置於恆溫水槽，定溫在37℃，使作用14小時，再以100℃ 10分鐘破壞澱粉酵素。用冰水冷卻後，加入0.1 N acetic acid 0.2 ml，將pH調至5.3，再加0.1 mg/ml的amyloglucosidase 0.5ml，置於恆溫水槽，定溫在55℃，使作用6小時，再以100℃10分鐘破壞酵素，冷卻後定量爲5 ml，此時已將澱粉水解爲葡萄糖，即以phenol method[14]定量之。取澱粉水解液0.1 ml，加0.9 ml去離子水，再加5% phenol溶液0.5 ml及濃硫酸溶液2.5 ml，振盪均勻，置於25℃恆溫水槽中10分鐘，再以光電比色計測定波長490 nm之吸光度，以葡萄糖10～100 ug/ml做標準曲線，樣品定量後換算爲%DW。

(八)粗纖維含量之測定[15]：精稱0.5 g粉末，置於分解裝置（國洲儀器公司出品）之燒杯中，加入1.25%硫酸溶液100 ml，置於分解裝置之加熱板上，燒杯上方加冷凝設備，以防水分蒸散，連續加熱三十分鐘後，用瓷板過濾篩之過濾杯，以減壓抽氣過濾，並用熱的去離子水連續沖洗至不再呈酸性反應爲止。用1.25%之氫氧化鈉溶液100 ml，將濾杯中之殘渣逐步完全洗下來，置於燒杯中，再繼續於加熱板上如同前面酸處理的手續，如熱三十分鐘後，用95%酒精20 ml洗滌殘渣，將濾杯及殘渣一起放入130℃烘箱兩小時，取出於眞空乾燥器內，冷卻後稱重(W1)，再移至灰化爐，用500℃加熱兩小時灰化後，取之於眞空乾燥器內，冷卻後稱重(W2)。計算粗纖維含量＝W1－W2）／樣品重(g)×100%，以%DW表示之。

(九)苯丙氨酸氨基裂解酵素之抽取及活性測定：取綠竹筍基部組織約 4 g，用 50 mM Borate Buffer (pH 8.5)，加0.4 gPVP，以均質機打碎，在0～2℃操作，再用四層紗布過濾，20,000× g離心 20 分鐘，取上層液爲酵素液。活性測定，以試管內加 100mM 之 L-phenylalanine，Borate緩衝液及上述之酵素液，在40℃溫水浴作用1小時，再用光電比色計，測275 nm之吸收值，標準曲線以cinnamic acid 10～100 mmole作成；以Coomassie blue dye定量酵素中蛋白質含量，酵素活性以nmole cinnamic acid/mg protein表示[17]。

(十)過氧化酵素之抽取及活性測定：取綠竹筍基部組織約5g，用1M NaCl及1M MPMSF緩衝液，以均質機打碎,在0℃～2℃操作，再用四層紗布過濾，20,000× g離心20分鐘，取上層液爲酵素液。活性測定，以試管內加60mM guaiacol，0.1 M Na-phosphate緩衝液，0.3% H_2O_2，及上述酵素液，以光電比色計測470 nm之吸收值，從酵素液加入始計時1分鐘內增加之數值；同9定量酵素液中蛋白質含量，酵素活性以△A470 nm/gprotein表示。

保鮮技術

(一)預冷

綠竹筍採收後以蓄冰式冰水機控制水溫在0～2℃，進行急速降溫處理，並將電隅測溫針插入筍的中心位置，測定中心溫度下降速率；預冷後，將水滴乾後以塑膠袋包裝，貯於0～5℃冷藏庫。

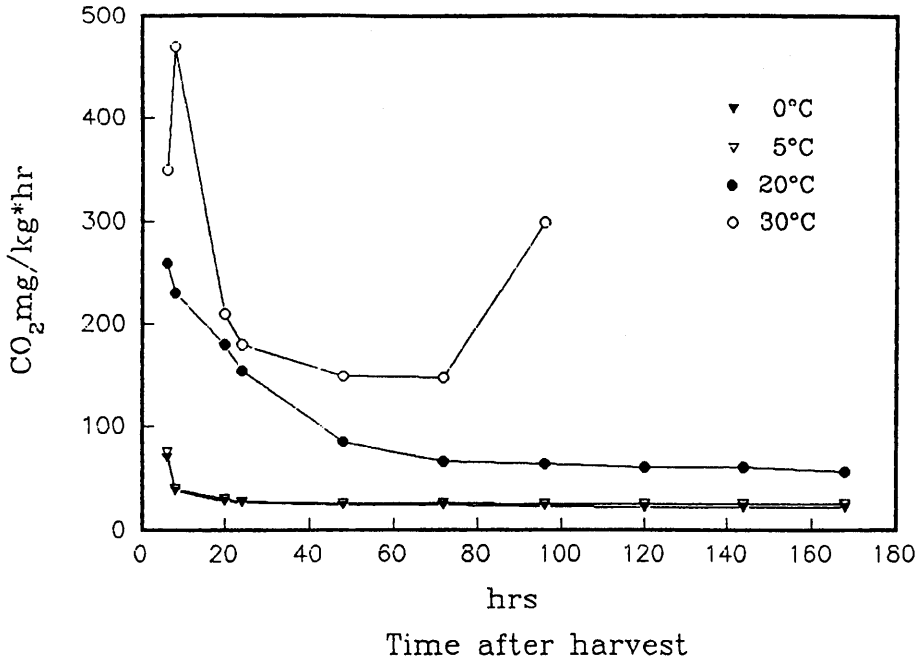
(二)氣調貯藏

以氣體鋼瓶，調配不同比例的氣體，3% O_2＋5% CO_2；3% O_2＋10% CO_2；3% O_2＋20% CO_2；空氣，將竹筍放入呼吸缸中，進氣孔分別通入上述氣體，控制流速，4 l/hr連續通入，上述各處理在0℃、5℃及10℃分別進行，以上各項氣調貯藏後於10、20、30天做官能品評及品質測定[22,28]。

結果與討論

一、綠竹筍採收後呼吸速率之變化

綠竹筍採收後在常溫中（20℃及30℃）貯放，其呼吸速率初期甚高，隨時間之增長而迅速下降，如圖一所示，在採收後 10小時所測之呼吸速率數值，在 30℃時，爲 457 mg CO_2 /Kg/hr，在20℃時爲247 mgCO_2/Kg/hr，而在5℃及0℃中爲31 mg CO_2/Kg/hr，此與樣屬於嫩莖作物的蘆筍之採收後的呼吸速率甚爲相近，其在25～27℃時爲500～600 mg CO_2/Kg/hr, 20℃爲225～500 mgCO_2/kg/hr，在5℃時爲53～136 mg CO_2/Kg/hr，而在0℃時爲27～80mg CO_2/kg/hr；而比甘藍則高出許多，其在25～27℃時爲49～63 mgCO_2/Kg/hr，20℃時爲28～49 mg CO_2 /Kg/hr，在5℃時爲9～12 mg CO_2/Kg/hr，在0℃時爲4～6 mg CO_2/Kg/hr，幾乎高約10倍[22]，可見綠竹筍是屬於相當高呼吸速率之蔬菜，且採收後的呼吸速率受到溫度的影響極大。根據報告[18]，高的呼吸速率產生高量的CO_2，而與熱量的消耗有密切的關係，產生1 mgCO_2相當2.55卡的熱量，所在30℃時，其將產生1,165.35 cal/Kg/hr之熱量，因此在高溫時，呼吸速率高，不但使整個包裝容器之環境內產生高熱量，使綠竹筍加速生理生化的變化，且消耗掉綠竹筍原先所貯存的營養分，使得品質急速下降；爲避免此等現象的發生，綠竹筍採收後能迅速預冷[11,14]，降溫，將可急驟降低呼吸速率及一切生理活動、生化反應，對品質的保存是相當有幫助的[3,4,5,10,11,26]。



圖一、不同貯藏溫度對綠竹筍呼吸速率之影響

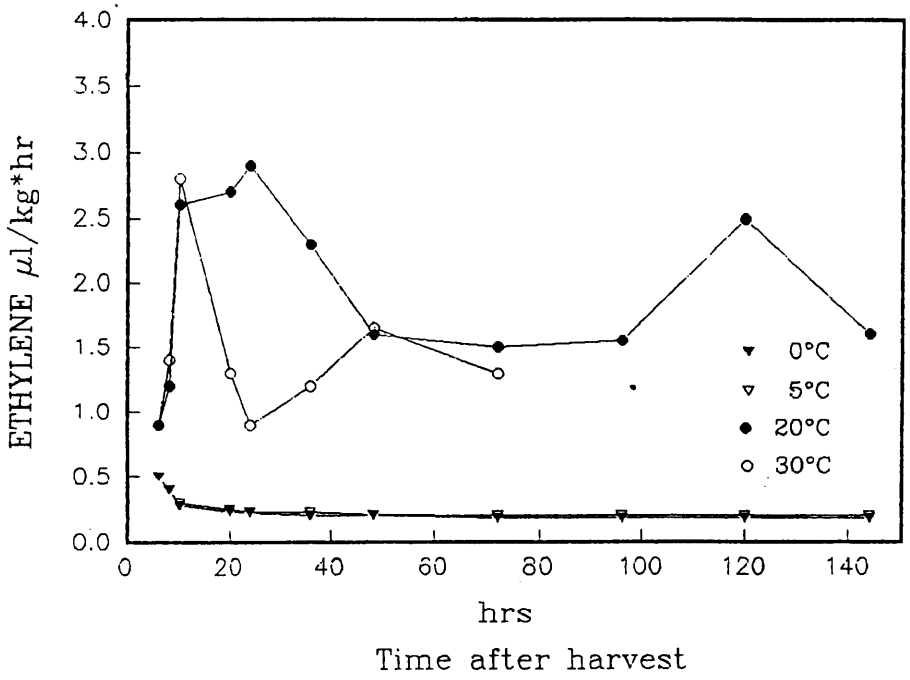
Fig. 1. Effect of different storage temperature on the respiration rate of bamboo shoot.

二、綠竹筍採收後乙烯生成量之變化

由圖二綠竹筍採收後在常溫中（20℃及30℃）貯放，約18小時，乙烯產生量達最高，約爲2.7～3.0 ul/Kg/hr，其後遂呈下降趨勢，而在5℃及0℃時，乙烯產生量均在0.5 ul/Kg/hr以下，此種作物之乙烯生成量在蔬菜中算是相當高，與抱子甘藍(Brussel sprouts)及青花菜(Broccoli)等嫩芽菜及花菜類之乙烯生成量相近，其亦分別爲2.3 ul/Kg/hr及3.3ul/Kg/hr，這些蔬菜在高乙烯生成下，極易黃化，老化，綠竹筍採收後亦極易老化及纖維化，根據Harrad等[16]將蘆筍處理 1ppm 乙烯，促進過氧化酵素形成纖維化，其他蘆筍老化的問題，亦有專家出與乙烯有關的報告[2,3,4,5, 10,11]，因此乙烯與綠竹筍纖維化的關係將列入我們的研究範圍；基於其高乙烯產量而促進老化的原因，吾人可據此特性將乙烯去除或降低乙烯產生量，而達到延緩老化及降低纖維化的對策[28]。

三、綠竹筍之物性變化

綠竹筍的纖維化測定，若以化學方法，需用强酸、强鹼處理後，乾燥及灰化測得粗纖維，本是研究纖維化的方法之一，此法手續較繁複；然以物理方法，測其截切力，亦是極佳的方法； 依本實驗綠竹筍的粗纖維含量與物性測定截切力之間有很高的相關關係， r2=0.79 。所以用物性測定儀來度量其纖維化的程度，也是相當具代表性的，此方法既迅速又方便；經本試驗結果，綠竹筍依凸面與凹面，及由底部至頂端等不同部位，其物性截切力有差異；凸面之截切力比凹面者高約33%，底部位置之截切力比頂端位置者高約4.3倍；在不同貯藏時期，亦可明顯的看出其截切力的變化與差異；所以我們在取樣操作時，應該訂出一定的位置，才能得到較具有代表性的變化規則。

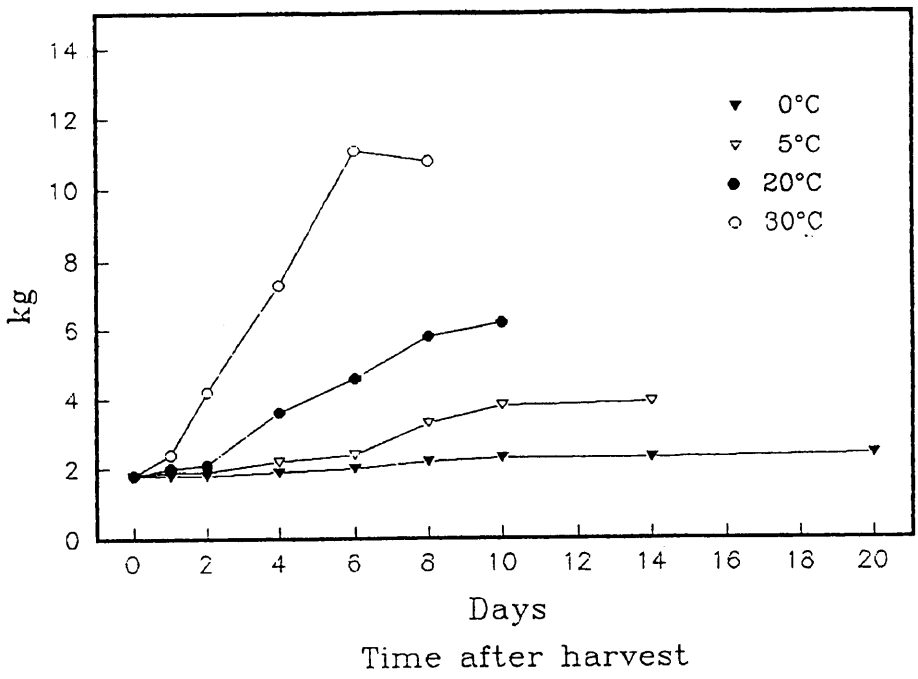


圖二、不同貯藏溫度對綠竹筍乙烯釋放量之影響
Fig. 2. Effect of different storage temperature on ethylene evolution of bamboo shoot.

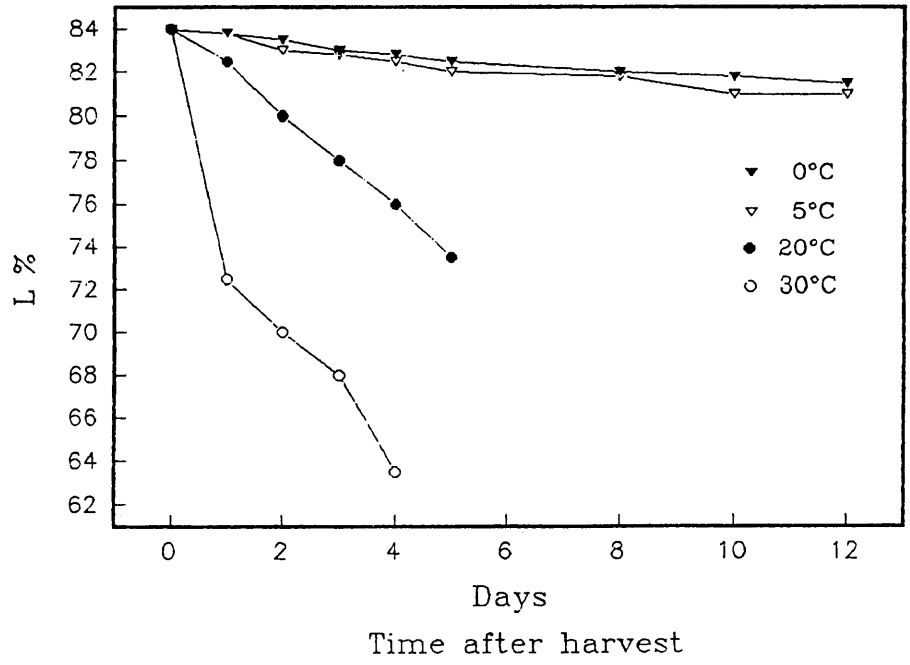
爲明瞭綠竹筍快速纖維化的反應，我們決定取樣部位，每次以取凸面之基部位置，厚度1.5 cm爲取樣基準，再切成長度2.0 cm，寬度1.0 cm之立方塊，進行截切力測定。由圖三在不同的貯藏溫度，可以明顯看出其纖維化的變化勢，在30℃時，四天內截切力由1.63 kg增爲7.4 kg，至第六天甚至增爲11.6～12 kg，在20℃時變化較爲緩慢，在第四天截切力約爲3.5 kg，第十天則增爲7.2 kg，第十四天約爲8.0 kg，而5℃及0℃者變化更爲緩慢，第四天時分別爲2.5 kg及1.8 kg，至第十天分別爲4.4 kg及2.5 kg，至第二十天分別增爲5.2 kg及2.8 kg，足見不同貯藏溫度對於老化硬化的速率影響極大，低溫可以減緩老化及硬化的效果；訂定適當的取樣方法，以截切力測定儀將可測出老化程度具有代表性的數值。

四、綠竹筍基部顏色之變化

綠竹筍採收後基部顏色的變化亦是受貯藏溫度影響極大，在20℃～30℃褐化最快，5℃及0℃之低溫貯藏則褐化較爲緩慢，由色差計的讀值，便可以明顯的由數值的變化看出其差異性，由圖四，L值亮度變化情形來看，本來新鮮的綠竹筍是潔白鮮明亮麗，亮度高達85%，經不同溫度貯藏，在30℃之高溫，一天內，L值降爲73%，四天後降爲62%；在20℃貯藏者，下降速率較爲緩慢，經八天的貯藏降爲72%，十一天後降爲70%；而在5℃及0℃貯藏者，保鮮效果很好，褐化程度極低，經十一天後亮度仍持有81%～83%，即其亮度僅降了3%及1%。a值表示紅色度，b值表示黃色度，a值與b值的增加，表示竭色度的增加，圖五爲a值的變化，顯示30℃的a值增加速率最快，四天內由+0.1增至爲4.2，其次爲20℃握，至於5℃及0℃者，a值增加得很少，僅由-0.2增加+0.5及+1.2。圖六爲b值的變化，顯示30℃的b值增加速率最快，由+1.2，經四天後增爲+20.2，20℃者由10.7經四天後增爲18.5，十天後增爲+21，至於5℃及0℃者增加均很少，由+10.7經十天後分別增爲+13及+12而已，此結果與陳[8]所測

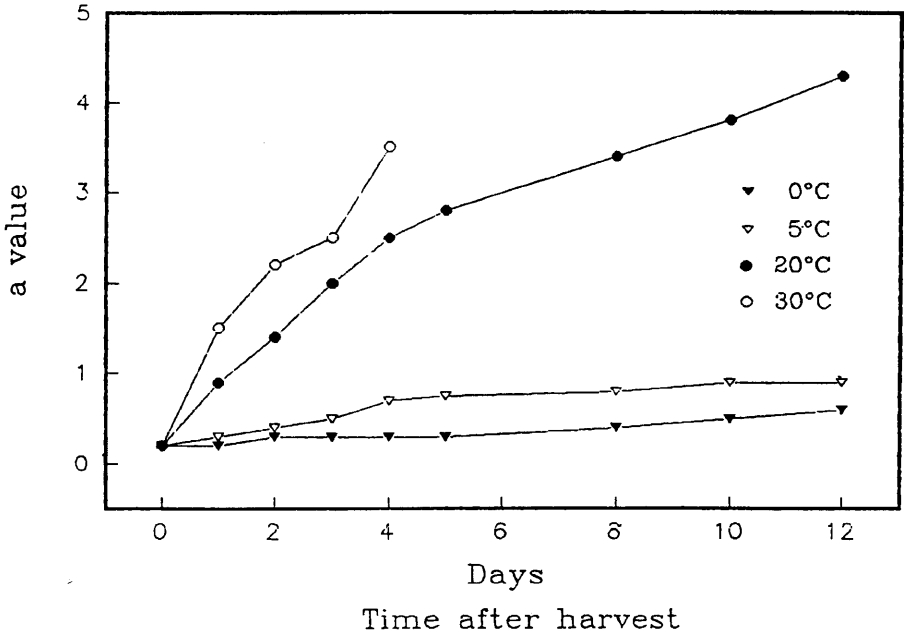


圖三、不同貯藏溫度對綠竹筍截切力之影響
Fig. 3. Effect of different temperature on the cut force of bamboo shoot.

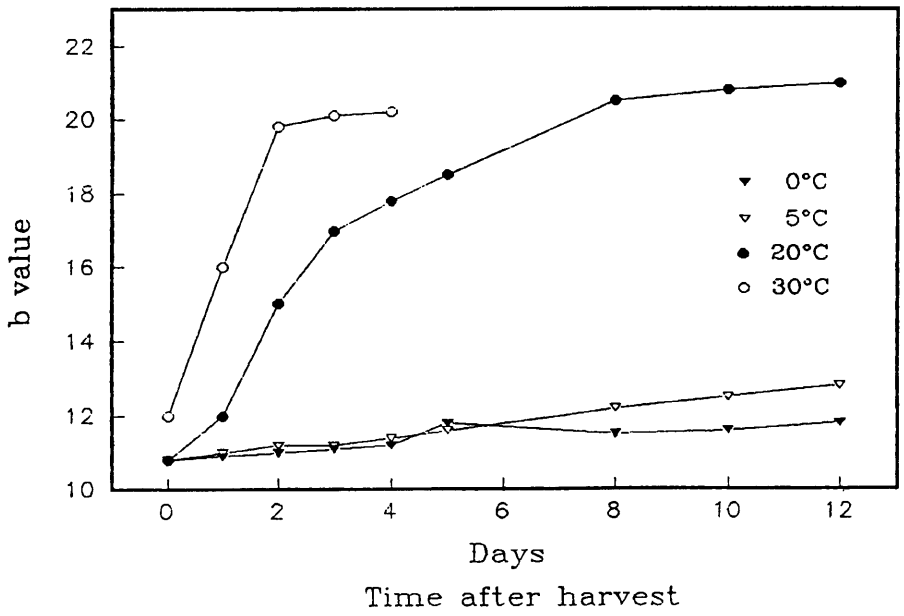


圖四、不同貯藏溫度對綠竹筍L值（亮度）之影響
Fig. 4. Effect of different temperautre on the L value (brightness) of bamboo shoot.

綠竹筍採後在高溫(30℃)及低溫(5℃)貯存期間筍肉顏色變化之趨勢頗相近，綠竹筍採收後老化情形，顏色的褐化亦是一重要指標，但目前市面上所售之綠竹筍，商人常加亞硫酸氫鈉防止其褐化，雖不見老化但品質影響仍很大，且影響健康，對消費者判斷竹筍品質有干擾，實不宜使用此藥劑。



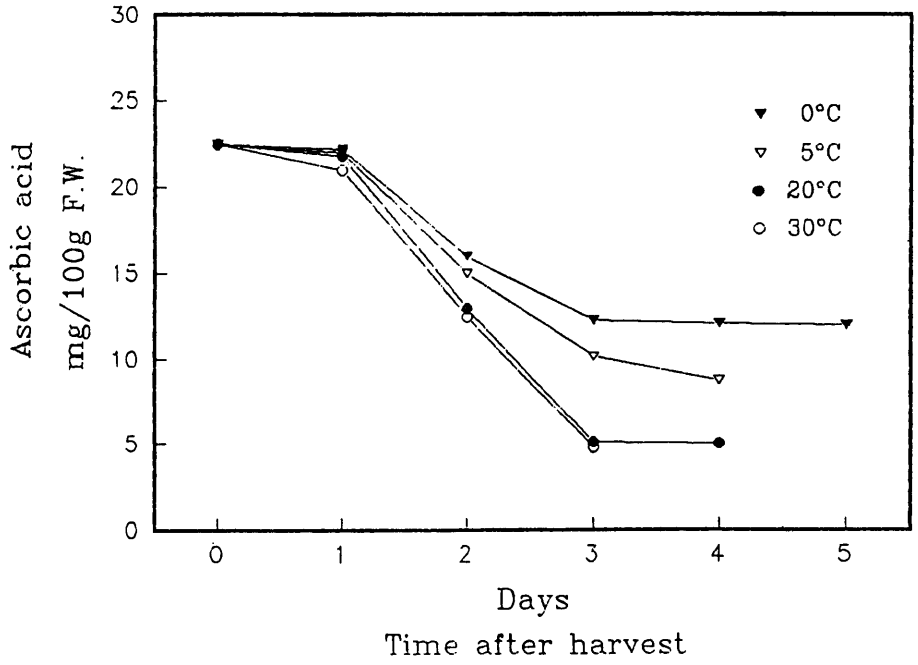
圖五、不同貯藏溫度對綠竹筍a值（紅色度）之影響
Fig. 5. Effect of different temperature on the a value (redness) of bamboo shoot.



圖六、不同貯藏溫度對綠竹筍b值（黃色度）之影響
Fig. 6. Effect of different temperature on the b value (yellowness) of bamboo shoot.

五、綠竹筍採收後維他命C之變化

本試驗維他命 C的含量是採用光電比色法 (colorimetric method) 定量，敏感度較高且穩定亦高，比用 2,6-Dye滴定法敏感且可測得較微量的維他命C含量，在分析蔬菜中維他命C含量時，使用此法可能較爲正確。綠竹筍採收後維他命C含量之變化情形，如圖七所示，在30℃及20℃時，維他命C含量下降迅速，三天內只剩原來含量的五分之一量，而5℃及0℃貯藏者，下降速率較緩和，然而三天內亦下降爲原來的50%；綠竹筍中維他命C的變化迅速，實亦可作爲品質下降的指標之一，本試驗取樣分析維他命C之取樣方法，亦採取生長點下3公分的中間部位做爲取樣基準。新鮮的綠竹筍中所含維他命C約23.5 mg/100 g(鮮重爲基準)，比蘆筍所含維他命C_{33} mg/100 g稍低，但比胡蘿蔔(8 mg/100g)及芹菜(9 mg/100g)含量稍高[30]，此特性亦值得重視。

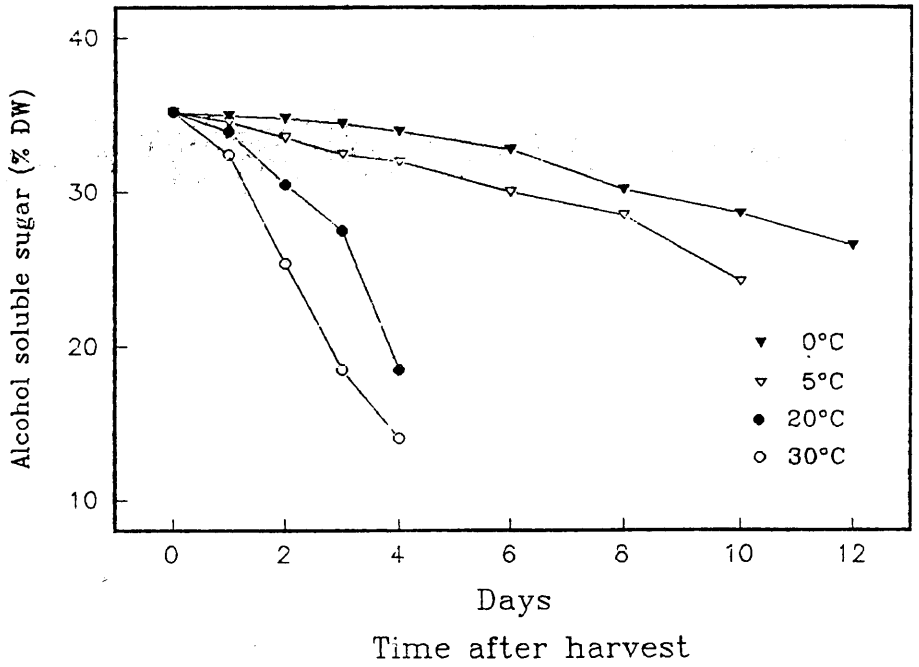


圖七、不同貯藏溫度對綠竹筍維他命C之影響
Fig. 7. Effect of different temperature on ascorbic acid content of bamboo shoot.

六、酒精可溶性醣之變化

本試驗中所採用之酒精可溶性醣之定量法，係以phenol method[14]，此法敏感度高且呈色穩定；爲每次取樣分析能取得具代性之變化，先確定取樣部位。本試驗先將三支筍之凹，凸面分出，再名分爲由下而上，四個部位，測各部位酒精可溶性醣之差異，結果顯示，凸面之合糖量均高於凹面者，而基部者亦逐漸高於頂端部位者，故決定以後取樣部位定爲生長點以下3～4 cm的中間部位爲主，至於不同溫度貯藏期間之變化，如圖八所示，在30℃貯藏，四天內，酒精可溶性醣即由35%（以乾物重爲基準）降爲15%，在20℃貯藏者亦降爲19%，而在5℃及0℃貯藏十天後，分別降爲22%及27%，降幅較小，此趨勢與陳等[8]所作竹筍貯藏於室溫

中總醣及還原醣分解速率比貯藏於5℃者快之結果相似；可見綠竹筍在高溫時，生理代謝旺盛，醣的消耗快，不但呼吸作用，且纖維化等均需碳源[13,15,17]，故綠竹筍在高溫時醣的降低速率特別快，風味亦下降，且影響品質甚鉅，只有低溫貯藏較能保持品質，醣份下降緩慢，纖維化也慢，是保存品質之良好技術之一。



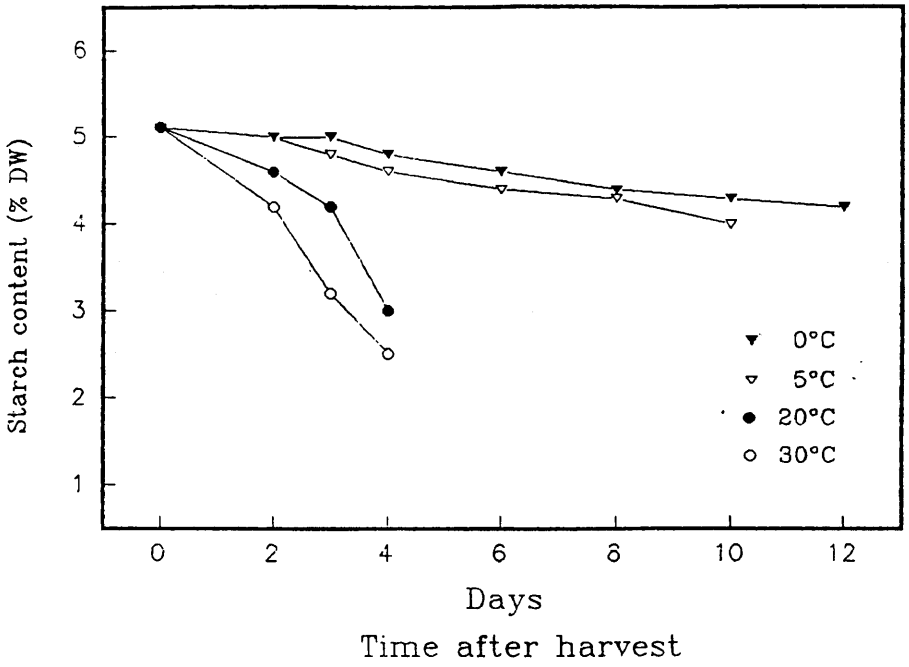
圖八、不同貯藏溫度對綠竹筍酒精可溶性醣之影響
Fig. 8. Effect of different temperature on the alcohol soluble sugar of bamboo shoot.

七、澱粉含量之變化

蔬果在貯藏過程中，碳水化合物是會逐漸減少的，這些碳水化合物有的是以作爲代謝的能源，有的轉變爲其他醣類，不同的作物常有不同的反應，例如馬鈴薯貯藏於20℃，澱粉很快解爲蔗糖，蔗糖還會再繼續分解爲單糖；甜玉米貯藏於20℃，經一天後，蔗糖即降低26%；由圖九本試驗中綠竹筍採收後在高溫環境下，澱粉含量下降速率亦較快，在30℃時，四天內由5.2%（乾重爲基準）降爲2.8%，在20℃時，降爲3.5%，而5℃及0℃貯藏者，經十二天後分別僅降爲4.2%及4.8%；綠竹筍的澱粉含量的降低很可能亦是轉變爲蔗糖及葡萄糖、果糖等還原糖，一部份代謝分解掉，一部份還原糖則由筍基部往筍尖端輸送；在下列的還糖分析結果即可以看出其分布情形，推測其變化之關係。

八、粗纖維含量之變化

綠竹筍採收後纖維化及化問題是件重要的生理現象，而且其各部位纖維化程度亦頗有差異，以筍之基部位置粗纖維含量最高，愈往頂端生長點的位置粗纖維含量則漸次降低，也就是筍基部最硬，木質素含量最高，此在物性截切力測定時已述及此現象，據陳[8]分析竹筍之粗纖維含量也是基部比筍尖含量高， 並且與木質化有關的酵素， 如過氧化酵素 (peroxidase,



圖九、不同貯藏溫度對綠竹筍澱粉含量之影響
Fig. 9. Effect of different temperature on the starch content of bamboo shoot.

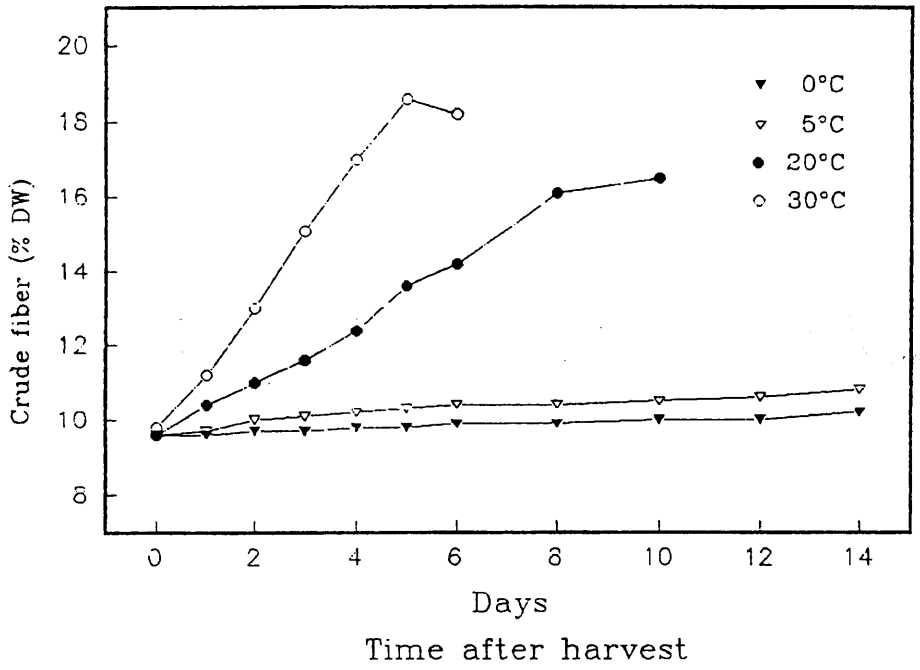
POD)、苯丙氨裂解酵素(phenylalanine ammonia lyase, PAL)及多元酚氧化酵素(pheno- loxidase, PPO)等酵素活性亦是基部者高於筍尖[9]。在不同貯存期間，粗纖維含量之變化，如圖十，在30℃貯藏者，增加最快，四天內，粗纖維含量由9.8%增爲18.8%，其次是在20℃貯藏，十天內增加爲17%，在5℃及0℃貯藏者，粗纖維增加較爲緩慢，二十天時增加爲11.8%及10.2%。陳等[8]報告提出，採收後的綠竹筍若以濕紙巾包裡基部，或以PE袋包裝，維持較高濕度，可以減少粗纖維的生成；所以要維持綠竹筍的幼嫩品質，採收後盡速預冷，以PE塑膠袋包裝後，貯藏於5℃之低溫，應該是減少纖維化及保鮮很好的方法[2,8]。

九、苯丙氨酸氨基裂解酵素活性變化

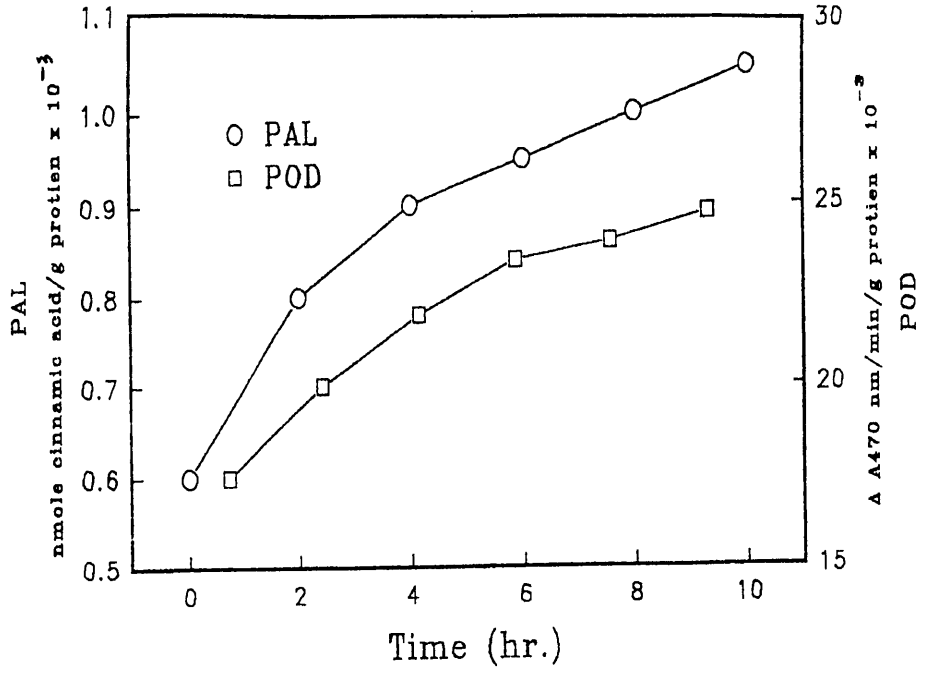
由圖十一中顯示，綠竹筍採收後，PAL酵素活性即逐漸增加，與乙烯增加的趨勢相近，在採收後9小時增加到最高，此亦蘊含著乙烯誘發PAL酵素活性增加；據報導許多植物組織受乙烯作用亦會誘導PAL酵素生成[20]，例如結球萵苣葉片及葉柄，因爲乙烯處理而導致PAL酵素活性急速增加，使得苯丙基物質累積，在代謝過程中產生酚類化合物，而形成銹斑病的病徵，PAL酵素活性的增加與銹斑現象的增加有高的相關性，其認爲PAL酵素活性可作爲銹斑病反應的指標，綠竹筍的褐化與纖維化與此酵素亦有關係[27]。

十、過氧化酵素活性變化

由圖十一中顯示，綠竹筍採收後，POD酵素活性亦逐漸增加，其與PAL酵素活性增加之趨勢相近，蘊含著其與苯丙基物質之代謝有高度相關性，據Hyodo等報告[20]，胡瓜採收後，其過氧化酵素活性增加，木質素亦增加，乃在木質素生合成的過程中，過氧化酵素扮演著將monolignols等酒精類(alcohols)物質進行聚合化(polymerization)作用，形成大分子木質素(lignin



圖十、不同貯藏溫度對綠竹筍粗纖維含量之影響
Fig. 10. Effect of different temperature on the content of crude fiber of bamboo shoot.



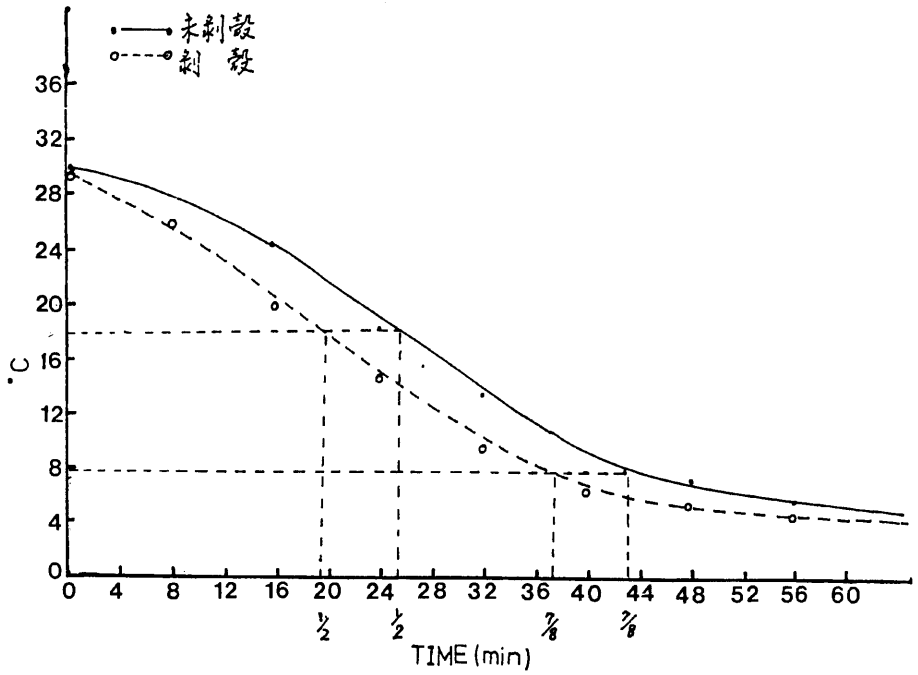
圖十一、綠竹筍切口受傷後苯丙氨酸氨基裂解酵素(PAL)及過氧化酵素(POD)活性變化
Fig. 11. Change of enzyme activity for PAL and POD in excised tissuse of bamboo shoot.

macromolecules)。在前述三及八項中，綠竹筍之物性變化與粗纖維之變化，明顯的看出在高溫時，硬化及纖維化程度較嚴重，乃因綠竹筍採收後，受傷引起PAL及POD酵素活性增加的緣故所致。

保鮮技術

㈠預冷：

綠竹筍採收後以蓄冰式冰水機進行預冷，水溫控制在0～2℃，用C-C型熱偶測溫針插入筍的中心部位，測定溫度變化，結果如圖十二所示，未剝殼的綠竹筍，筍中心降溫之半冷期爲25分鐘，7/8冷期爲45分鐘，因此綠竹筍以冰水預冷時間，至少需45分鐘以上；預冷後，將水滴乾，以厚度0.03 mm之PE塑膠袋包裝，貯存於0～5℃冷藏庫，可貯藏三星期，筍基部之褐化及纖維化程度均比沒做預冷者低，保鮮效果良好[6,7]。



圖十二、綠竹筍採收後預冷降溫之變化
Fig 12. Change of temperature in hydrocooling for bamboo shoot.

㈡氣調貯藏

綠竹筍以三種組合的氣體在10℃，5℃及0℃試驗溫度的效應，在貯藏10天時調查，由外觀、質地味道及內部品質等方面評價即顯出有差異，如表一顯示10℃者，外觀顏色已現褐化且有斑點等缺點，空氣者已高度纖維化，且已無香味，生長點顏色亦有缺點，而低氧組合高CO_2者，品質比空氣者稍微好，但亦證實其在10℃不適貯藏20天，亦只能在12～14天爲宜；而貯藏在5℃及0℃者，除空氣處理者外，其餘品質均仍很好，唯0℃者微呈現寒害；至第30天時，繼續調查5℃及0℃者，結果如表二顯示，顏色方面，0℃者表現很好，極少褐化，纖維化程度亦低，但稍有異味，經官能品評結果，亦顯現5℃之各項結果評價比0℃者爲高，而由表三及表四之品質成分變化情形來看，雖然0℃貯藏者對糖分，維他命

C保存較好，且纖維含量略低，然而品評結果，0℃者風味的喪失而降低其評價。所以成功之氣調貯藏，除了組織成分的減緩變化，風味的保存亦是重要因子[23,24,25,26,29,31]。

表一、綠竹筍氣調貯藏20天，品質調查

Table 1. Investigation of quality of bamboo shoot under CA storage for 20 days

O_2 %	CO_2 %	Browning on base	Toughness	Taste off flavor	Disorder in meristem	Storage temperature
3	5	+[1]	++	-	-	
3	10	++	+	-	-	10 ℃
3	20	++	+++	+	+	
Air		+++	+++	++	-	
3	5	+	-	+	-	
3	10	-	-	-	-	5 ℃
3	20	-	-	-	-	
Air		+++	++	++	-	
3	5	-	-	-	-	
3	10	-	-	-	-	0 ℃
3	20	-	-	-	-	
Air		-	-	-	-	

[1] The degree of disorder, "+" means "light", "++" means "medium", "+++" means "heavy", "-" means "none".

表二、綠竹筍氣調貯藏30天，品質調查

Table 2. Investigation of quality of bamboo shoot under CA storage for 30 days

O_2 %	CO_2 %	Browning on base	Toughness	Taste off flavor	Disorder in meristem	Storage temperature
3	5	+[1]	+	++	+	
3	10	+	-	++	+	5 ℃
3	20	-	-	+	+	
Air		+++	++	+++	+	
3	5	-	-	-	+	
3	10	-	-	-	+	0 ℃
3	20	-	-	+	+	
Air		-	-	++	+	

[1] The degree of disorder, "+" means "light", "++" means "medium", "+++" means "heavy", "-" means "none".

表三、氣調貯藏在5℃，30天後對綠竹筍品質之影響

Table 3. Effect of CA storage on the quality of bamboo shoot stored at 5℃ for 30 days

Treatment O_2%	Treatment CO_2%	ASS %DW	Starch %DW	Ascorbic acid mg/100g FW	Crude fiber %DW
3	5	20.3	7.4	8.6	9.9
3	10	20.8	6.7	8.8	11.6
3	20	25.6	6.0	12.7	10.6
Air(21)		10.8	5.6	8.0	11.6

表四、氣調貯藏在0℃，30天後對綠竹筍品質之影響

Table 4. Effect of CA storage on the quality of bamboo shoot stored at 0℃ for 30 days

Treatment O_2%	Treatment CO_2%	ASS %DW	Starch %DW	Ascorbic acid mg/100g FW	Crude fiber %DW
3	5	27.6	13.3	17.4	8.6
3	10	29.3	12.9	20.2	9.1
3	20	22.3	16.4	22.4	8.0
Air(21)		20.5	11.9	10.5	8.5

參考文獻

1. 王健一　王自存　1988大氣成分對園產品生理與生化之影響　中國園藝34,220～248。
2. 方祖達　區少梅　1974　預冷與貯藏溫度對蘆筍嫩莖呼吸率、品質及保鮮之影響　中國園藝　20：204～212。
3. 張唯勤　張啓正　1975　綠蘆筍嫩莖採收後貯藏溫度對木質素、Gibbere- llins和Cytokinins含量之影響　中國園藝　21：72～78。
4. 張喜寧　1975　蘆筍嫩莖採收後的老化問題　中國園藝　21：171～181。
5. 張喜寧　1979　乙烯及貯藏條件對採收後蘆筍嫩莖長度、重量及老化之影響　中國園藝　25：58～70。
6. 張粲如　宋家瑋　王自存　1989　綠竹筍採收後生理與氣調貯藏之研究　中國園藝學會七十八年度年會論文宣讀摘要#51.　中國園藝　35.300。
7. 陳貽倫　1984　蔬菜預冷　中國農業工程學報　30(1)：41～53。
8. 陳如茵　張長泉　錢明賽　1987　收穫後綠竹筍品質之控制　研究報告第423號　食品工業發展研究所。
9. 錢明賽　陳如茵　曾士洵　1984　收穫後竹筍老化及苦味產生之抑制　研究報告第348號　食品工業發展研究所。
10. 蕭百合　蘇仲卿　宋賢一　1971　蘆筍嫩莖採收後一些酵素活性及代謝物含量的變化　中國農業化學會誌　19：1～11。
11. 蕭百合　蘇仲卿　宋賢一　1971　乙烯對蘆筍嫩莖採收後一些酵素活性及代謝物含量之影響　中國農業化學會誌　19：12～28。
12. Brecht, P.E. 1980. Use of controlled atmosphere to retard deterioration of produce. Food Technol. 34：45－55.
13. Camm, E.L. and G.H.N. Towers. 1973. Phenylalanine ammonialyase. Phytochemistry 12：961－973.
14. Dubois, M.,K. A. Gilles, J. K. Himilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28：350－356.
15. Grisebach, H. 1981. Lignins. p.457－478. In: The Biochemistry of Plants vol. 7, E.E. Conn (ed.). Academic Press.
16. Haard. N.F., S.C. Sharma, R. Wolfe and C. Frenkel. 1974. Ethylene induced isoperoxidase changes during fiber formation in postharvest asparagus. J. Food Sci. 39：452－456.
17. Halbrock, K. and H. Grisebach. 1979. Enzymic control in the biosynthesis of lignins and flavonoids. Annu. Rev. Plant. Physiol. 30.105-130.
18. Hardenburg, R.E. et al. 1985. The Commercial storage of fruits, Vegetables, Florist and Nursery stocks. United States Department of Agriculture Agriculture Handbook Number 66：7～54.
19. Herner, R.C. 1987. High CO_2 effects on plant organs. p.239－254. In: Postharvest Physiology of Vegetables. J. Weichmann, (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York and Basel.
20. Hyodo, H, K. Tanara and T. Suzuki. 1991. Wound-induced ethylene synthesis and its involvement in enzyme induction in mesocarp tissue of *Cucurbita maxima* Postharvest Biology and Technology 1：127－136.
21. Isenberg, F. M. R. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. Hort. Rev. 1：337－394.

22. Larmond, E. 1977. Laboratory method for sensory evaluation of food. Research Branch Canada department of agriculture pp.73.
23. Lipton, W.J. 1965. Postharvest responses of asparagus spears to high carbon dioxide and low oxygen atmospheres. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 86 : 347－356.
24. Lougheed, E.C. and D.H. Dewey. 1966. Factors affecting the tenderizing effect of modified atmospheres on asparagus spears during storage. Proc. Amer. Soc. Hort Sci. 89 : 336－345.
25. Lougheed, E.C. 1987. Interactions of oxygen, carbon dioxide, temperature and ethylene that may induce injuries in vegetables. HortScience 22 : 791－794.
26. Saltveit, Jr., M.E. 1988. Postharvest glyphosate application reduces toughening, fiber content and lignification of stored asparagus spears. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113 : 569－572.
27. Siriphanich, J. and A. A. Kader. 1985. Effect or CO_2 on total phenolics, phenylalanine ammonia-lyase, and polyphenol oxidase in lettuce tissue. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110,249－253.
28. Stone H. et al. 1974. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. Food Techal. 28(11) : 24－34.
29. Wang, C.Y. 1979. Effect of short-term CO_2 treatment on the market quality of stored broccoli. J. Food Sci. 444 : 1478－1482.
30. Wang, C.Y. 1983. Postharvest responses of chinese cabbage to high CO_2 treatment or low O_2 storage. J. Amer. Soc.Hort. Sci. 108 : 125－129.
31. Weichmann, J. 1987. Low oxygen effects. p.231－238. In: Postharvest Physiology of Vegetables. J. Weichmann, (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York and Basel.
32. Wills, R.B.H. et al. 1989. Postharvest. p.17－38. The AVI Publishing Company Inc. Westport, Conn.

Studies on the Postharvest Physiology and Preservation for Bamboo Shoot

Tsan-Ru Chang

Taoyuan District Agricultural Improvement Station

ABSTRACT

Bamboo shoot is one of the important vegetables supply in summer in Taiwan. Its respiratory rate is greatly influenced by temperature. The result of the experiment showed that the respiration was 457 mg CO_2/Kg/hr at 30℃, 247mg CO_2/Kg/hr at 20℃ and 31 mg CO_2/Kg/hr at 5℃ and 0℃ .They were measured at 10 hours after harvest. The ethylene evolution were also measured. Its quantity at 18 hours after harvest was the highest. It was 2.7～3.0 ul/Kg/hr at 20℃ and 30℃, 0.5 ul/Kg/hr at 5℃ and 0℃ .Other important factors which influenced the quality of the bamboo shoot were water loss, browning on the cut surface and toughness. These factors were also affected by temperature and ethylene. The enzyme that related lignification of tissue, such as phenylalanine ammonia lyase (PAL) and peroxidase (POD), their activity was rapidly increased after wounding in ten-hours.

The best postharvest treatment for bamboo shoot was hydro- cooling in 0～2℃ ice water for forty-five minutes then packaged with plastic bag and stored in 0～5℃ cold room, otherwise, after precooling, with the gas combination of 3% oxygen plus 10% carbon dioxide as controlled atmospheric storage under 0～5℃ cold room. It could preserve fresh for thirty days.

Key words: bamboo shoot, postharvest physiology, precooling, controlled atmospheric storage.