

溫度對綠竹筍採收後呼吸速率與乙烯產生之影響

張 榮 如

摘 要

為瞭解溫度對綠竹筍採收後生理之影響，以作為改進採收後處理技術的依據，本試驗以四種溫度處理，測試綠竹筍採收後呼吸速率及乙烯產生量。結果顯示此兩種生理作用受溫度的影響極大，採收後10小時所測得的呼吸率，在30°C時為457mg CO₂/kg.hr，在20°C時為247mg CO₂/kg.hr，而在5°C及0°C時僅為31mg CO₂/kg.hr；採收後約18小時，乙烯產生量達最高，在20°C及30°C所測得乙烯含量為2.7~3.0 μl/kg.hr，而在5°C及0°C時為0.5 μl/kg.hr；另以連續自動取樣測定呼吸速率及乙烯產生量，顯示有相同的變化趨勢，切塊的綠竹筍其呼吸速率及乙烯產生量均高於整支未切塊的綠竹筍，且切塊者，在切傷後2小時有受傷乙烯高峰產生，其後，乙烯產生量逐漸增加，其為扮演加速多種生理及生化反應的角色。

關鍵字：綠竹筍，呼吸速率、乙烯產生量。

前 言

綠竹筍(*Bambusa oldhami* Munro)屬禾本科，為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，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3,200公頃⁽¹⁾，鮮筍市場頗為看好。由於綠竹筍為幼嫩之生長組織，採收後的生理變化特別旺盛，筍之切面極易褐化及木質化，同時品質迅速劣變，因而嚴重影響商品價值。因此，有些農民即採用泡水或使用抗氧化劑來防止劣變，以保持品質。

為克服上述問題，徹底了解綠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，有助於找出降低生理劣變的方法，亦為較有效而安全的對策。

呼吸作用是園產品採收後維持生命供應能量的基本代謝作用，透過此作用，許多複雜的成分物質諸如糖、蛋白質、有機酸及脂肪酸等，經過各種酵素的氧化而分解為簡單的物質，如二氧化碳及能量⁽²⁰⁾；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⁽¹⁹⁾。各種園產品的呼吸速率因種類、品種之結構不同而異，並受環境因子如溫度、濕度及氣體組成分如氧氣、二氧化碳之濃度所影響^(5,9,10)。乙烯是一種植物荷爾蒙，它能調節植物的生長、發育及引發果實之後熟。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，而促使生化反應速率增強，以致蔬果採收後加速老化的現象^(6,7,12,14,15,16,17,18)。

有關綠竹筍採收後的呼吸速率型態及乙烯產生情形，國內外尚缺乏詳細的報導，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加以探究；並另於20°C恆溫下，以連續取樣氣體的方式，測定其呼吸速率型態及乙烯產生速率型態，以明瞭綠竹筍採收後氣體變化，俾供改進貯運技術之參考。

材料與方法

本試驗於民國79年7月至80年9月在台大進行試驗。以台北縣五股鄉農民所生產的綠竹筍為材料，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0.5cm，形成一平整新切口，再用400ppm的TBZ(Thiabendazole)加Chloraphenicol 50 mg/ml的溶液泡五分鐘，以防實驗期間黴菌的干擾，隨後滴乾，再進行各項處理及試驗調查。

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，五支筍為一樣品，放入壓克力製的呼吸缸(體積為4ℓ)。本試驗溫度處理分為30°C、20°C、5°C及0°C，每處理做四重複，將呼吸缸封口，以流通式通入空氣^(5,8)，毛細管控制連接在每一呼吸缸之空氣流速。流經呼吸缸的空氣，係引自室外的新鮮空氣，先經含高錳鉀的淨氣瓶，然後再通入裝有蒸餾水之空氣濕化瓶，再通入呼吸缸中。每隔一定時間，由呼吸缸的出氣口，用塑膠針筒抽取1 mℓ氣體，以氣相層析儀器(Shimadzu Model GC-8AIT)分析二氧化碳，以TCD(Thermal Conductivity Detector)為檢測器，溫度為60°C，層析管為填充Porapak Q(80~100mesh)的不銹鋼管(1/8"×6ft)，管柱溫度為70°C，以氮氣為carrier gas，二氧化碳產生之速率換算為mg CO₂/kg.hr。

乙烯產生速率之測定：以上述測呼吸速率的裝置，每隔一定的時間，由呼吸缸的出氣口，同樣用塑膠針筒抽取1 mℓ的氣體，亦以氣相層析儀(Shimadzu Model GC-8APF)，以FID(Flame Ionization Detector)為檢測器，溫度為110°C，層析管內填充活化氧化鋁(Active Aluminum 80~100mesh)的不銹鋼管(1/8"×6ft)，管柱溫度為70°C，乙烯產生速率換算為 μ l C₂H₄/kg.hr。

連續自動取樣測定呼吸及乙烯產生型式：選擇大小相近之三支竹筍，放入壓克力製呼吸缸(體積為4ℓ)，二重複，另以相同的取樣法，唯將每支筍由基部下1cm、2cm橫切，成為三塊，一齊置入呼吸缸中，各二重複；置於20°C±1°C，將呼吸缸封口，如前述方式通入空氣，在出氣口以塑膠管接自動取樣裝置，每4分鐘取樣一次，連接紅外線二氧化碳偵測器(Rosemount Analytical Model 880)以氮氣為carrier gas，設定每4分鐘自動取樣定量CO₂濃度，換算為mg CO₂/kg.hr；CO₂取樣測定後之管路通入氣相層析儀(China chromatography 8700F)，自動注入，測定乙烯產生量，另外同時通入氧氣自動分析儀，測定氧氣含量，並換算為氧氣消耗量ml O₂/kg.hr。

結果與討論

一、溫度對呼吸速率之影響

不同溫度對綠竹筍呼吸之影響，如圖1所示，綠竹筍採收後在20°C及30°C貯放呼吸速率甚高，隨時間之增長而下降，在採收後10小所測得之呼吸速率數值，在30°C時為457mg CO₂/kg.hr，20°C時為247mg CO₂/kg.hr，而在5°C及0°C時為31mg CO₂/kg.hr，在48小時後趨於平緩，速率維持不變。結果與蘆筍採收後的呼吸速率很接近，其於25°C~27°C時之呼吸速率為500~600mg CO₂/kg.hr，20°C時為225~500mg CO₂/kg.hr，而在0°C時為27~80mg CO₂/kg.hr⁽¹³⁾。Kader報告，溫度是影響採收後呼吸速率最重要的因子⁽¹⁹⁾，它影響了生物各種反應的速率，在生理的溫度範圍內，溫度每增加10°C，其生化反應即增加2~3倍；高的呼吸速率產生高量的CO₂與熱量，產生1mg CO₂相當2.55卡的熱量，以上述綠竹筍在30°C時的呼吸速率來計算，將產生熱量1,165.35卡/kg.hr，因此在高溫時，呼吸速率高，不但使整個包裝容器的環境內產生高熱量，使

綠竹筍加速生理與生化的變化，且消耗掉綠竹筍原先所貯存的養分，致使品質急速下降，顯示高呼吸速率將縮短蔬菜的貯藏壽命⁽²⁰⁾，若採收後迅速預冷，移去田間熱及呼吸熱，並維持高的濕度，則可以減少損失，延緩老化，並增加貯運壽命^(2,3,4,20)。

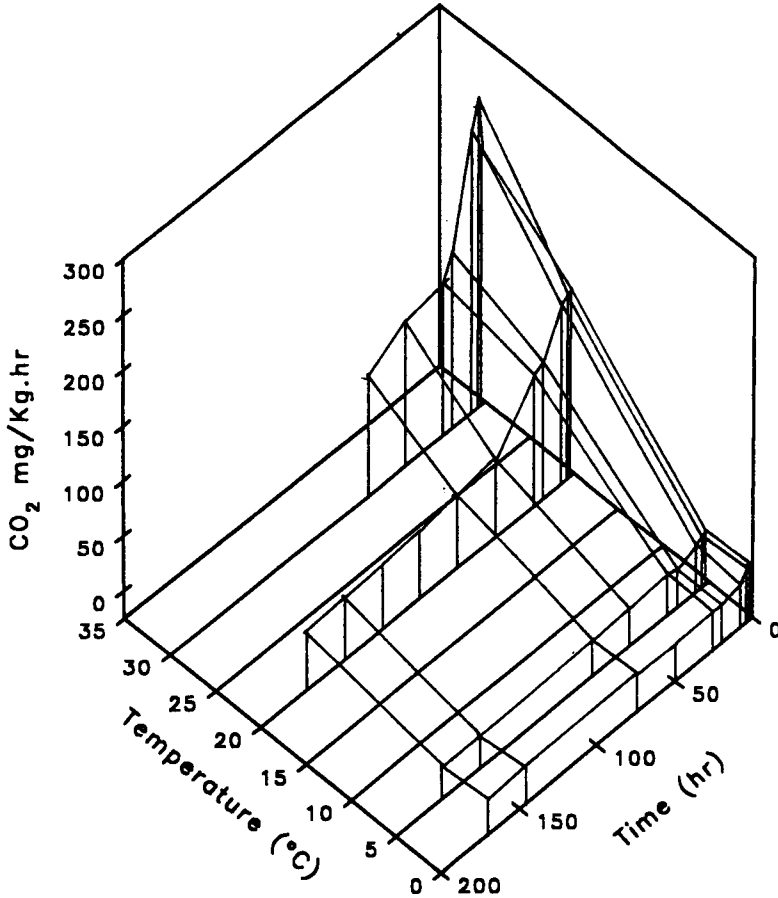


圖1. 不同貯藏溫度對綠竹筍呼吸速率之影響

Fig.1. Effect of different storage temperatures on the respiration rates of bamboo shoot.

二. 溫度對乙烯產生速率之影響

綠竹筍採收後在20°C及30°C貯放，約18小時小乙烯產生量達最高，如圖2所示，約為2.7~3.0 $\mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{hr}$ ，隨後呈下降趨勢，而在5°C及0°C時，乙烯產生量為0.5 $\mu\text{l}/\text{kg}\cdot\text{hr}$ ，此種作物乙烯產生量相當高，與孢子甘藍(Brussel sprout)及青花菜(Broccoli)等嫩芽菜類及花菜類的乙烯產生量相近，這些蔬菜在高乙烯生成下，極易黃化及老化⁽¹³⁾，綠竹筍採收後亦極易老化及纖維化，同樣屬於嫩莖蔬菜的蘆筍，採收後以1ppm乙烯處理，會促進過氧化酵素產生⁽¹²⁾；乙烯是一種植物荷爾蒙，極微量即可激發蔬果的生化及生理反應，Grisebach認為其可被基因表現的調節而控制乙烯的作用⁽¹¹⁾；蘆筍的老化問題亦與乙烯有關^(6,7,12)，是以綠竹筍採收後之纖維化與乙烯的關係，值得將來再加以探究。

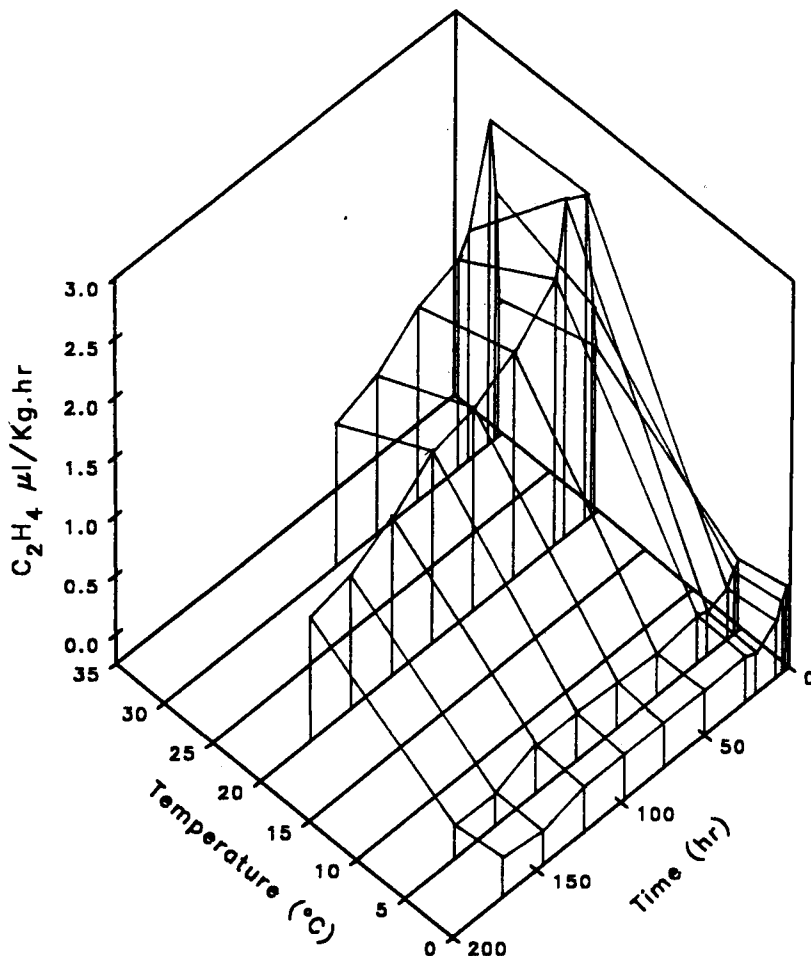


圖2. 不同貯藏溫度對綠竹筍乙烯釋放量之影響

Fig.2. Effect of different storage temperatures on ethylene evolution of bamboo shoot.

三連續自動取樣測定呼吸及乙烯型式

綠竹筍採收後在20°C以連續自動取樣測定二氧化碳及氧氣的變化，如圖3及圖4所示；綠竹筍採收後的呼吸速率起初很高，(圖3)，切塊者變化較大，三次迴歸曲線，決定係數 $R^2=0.94$ ，於10小時呈現呼吸速率在500mg CO₂/kg.hr以上，約在12小時測得呼吸高峰，其值為520mg CO₂/kg.hr；整支筍者變化較小，由直線迴歸決定係數 $R^2=0.89$ ，在3小時內呼吸速率高達380mg CO₂/kg.hr，隨後逐漸下降，約在12小時稍微升高，此後即呈下降現象。氧氣的消耗情形，如圖4在二次迴歸曲線決定係數，切塊筍者 $R^2=0.78$ ，整支筍者 $R^2=0.82$ ，兩者變化趨勢相當，但切塊者氧氣消耗量較整支者高，隨著採收後時間的增長，氧氣的消耗量逐漸增加，切塊者約24小時後才趨於穩定，整支筍者約在12小時後即趨穩定，氧氣消耗量為400~500ml O₂/kg.hr。乙烯產生量之變化如圖5，切塊者在採收後2小時內乙烯產生量驟升，隨後繼續上升，約在8小時達最高峰，其量為7 μ l C₂H₄/kg.hr，隨著時間增長，乙烯產生速率即逐漸下降；整支筍者，亦有類似情形，在採收後9小時達最高峰，其量為3.8 μ l C₂H₄/kg.hr，其後亦呈逐漸下降之趨勢。由上述各種氣體產生的變化情形，足見切塊的綠竹筍均比整支者產生較激烈的變化，此乃因切塊受傷較嚴重，誘導綠竹

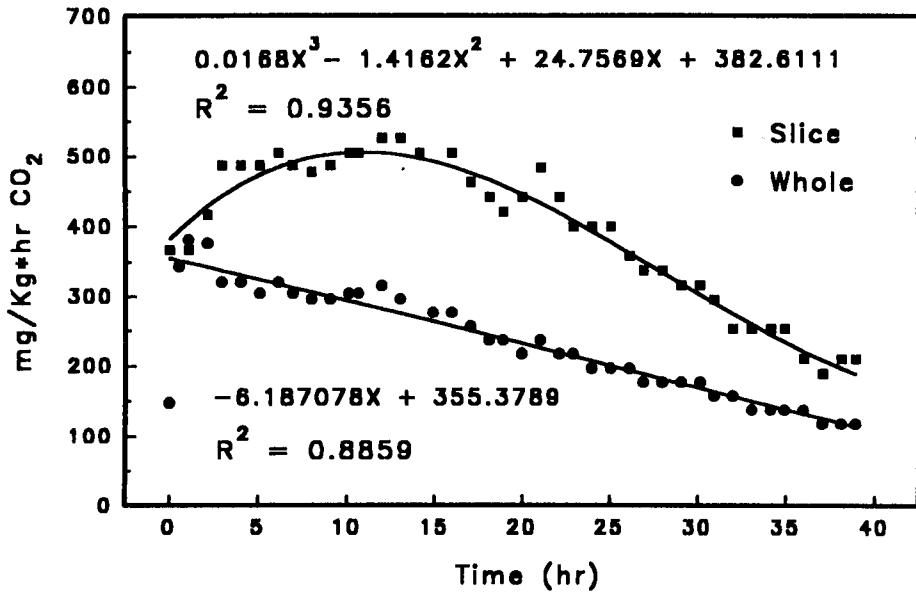


圖3. 連續自動取樣測得呼吸速率CO₂的變化及曲線迴歸。綠竹筍以整支(●)及每支切成三塊(■)，分別置於呼吸缸，以二氧化碳紅外線偵測器，測得CO₂之變化量。

Fig3. Changes of CO₂ in respiration measured by autosampling and regression curves. The whole (●) and sliced (■) bamboo shoot was put in the respiratory jar, CO₂ was monitored by Infrared CO₂ analyzer.

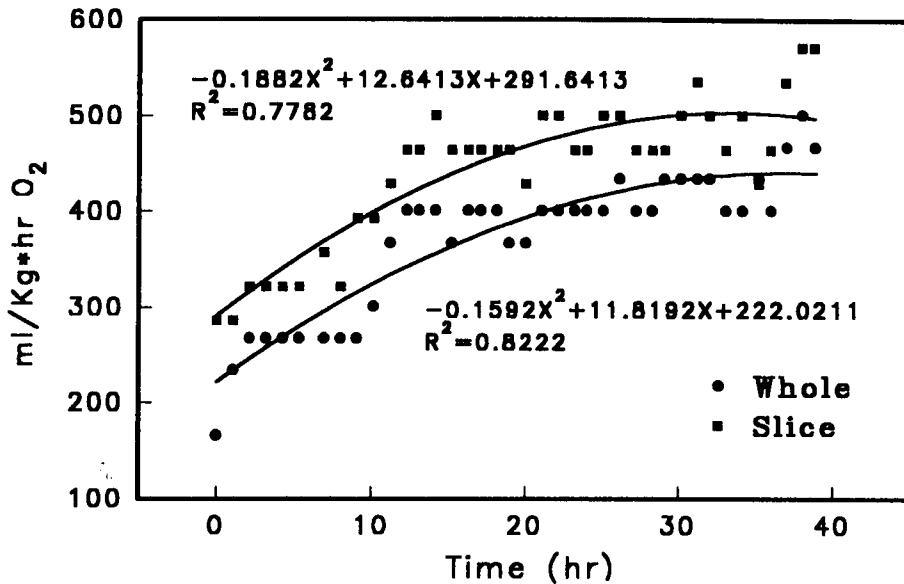


圖4. 連續自動取樣測得呼吸速率氧氣的消耗量變化及曲線迴歸。綠竹筍以整支(●)及每支切成三塊(■)二種處理分別置於呼吸缸，以氧氣分析儀測得尚有的氧氣，將空氣中21%的氧氣減去尚有的氧，即為消耗掉的氧氣量。

Fig4. Changes of O₂ consumption measured by autosampling and regression curves. The whole (●) and sliced (■) bamboo shoot was put in the respiratory jar, oxygen consumption was monitored by oxygen analyzer.

筍組織產生多種酵素，如ACC合成酵素、過氧化酵素等，促進受傷乙烯產生。在胡瓜果肉組織受傷後ACC Synthase 活性快速增加，接著促進ACC形成量的增加，進而使乙烯產生速率增加^(14,15)，受傷也會增加苯丙胺酸氨基裂解酵素(Phenylalanine ammonialyase 簡稱PAL)的活性及過氧化酵素(Peroxidase 簡稱POD)的活性^(16,17)，胡瓜果肉受傷後ACC合成酵素活性急驟增加，隨後受傷乙烯產生增加⁽¹⁸⁾，受傷乙烯所誘發多種酵素產生，其與木質素(Lignin)形成有關，此亦關連到植物產生自身保護的作用，有的植物受病蟲侵襲的組織即能迅速產生木質化組織來保護，防止組織再受破壞的影響，切傷的綠竹筍，有這樣快速乙烯產生，也許是類似的反應，將繼續探討其有關酵素反應，以資證明。

總之，溫度對綠竹筍採收後呼吸速率及乙烯產生之影響極大，且切傷的組織有促進此兩作用的增加，基於此生理變化，對於延緩綠竹筍採收後快速老化及褐化的問題，吾人將可由迅速降溫的措施來改進採收後的處理技術。

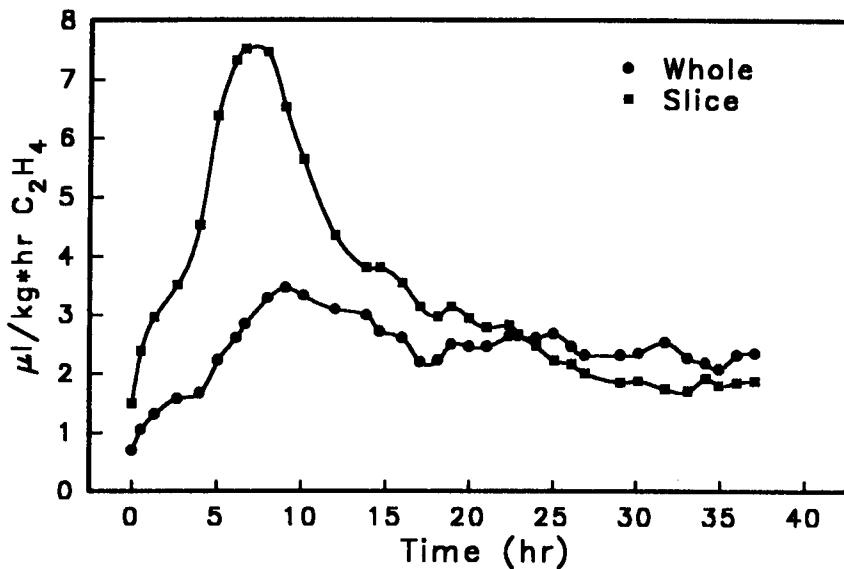


圖5. 連續自動取樣測得乙烯含量的變化。綠竹筍以整支(●)及每支切成三塊(■)二種處理，分別置於呼吸缸，以氣相層析儀，測得乙烯濃度。(每4分鐘自動取樣一次)

Fig5. Changes of ethylene evolution measured by autosampling. The whole (●) and sliced (■) bamboo shoot was put in the respiratory jar, ethylene was monitored by gas chromatograph.

參考文獻

1. 農林廳 1993 蔬菜、竹筍 台灣農業 p.75。
2. 陳如茵、楊瑞森、錢明賽 1983 收穫後竹筍之處理與儲存 食品工業發展研究所研究報告第294號 pp.1~15。
3. 陳如茵、張長泉、錢明賽 1987 收穫後綠竹筍品質之控制 食品工業發展研究所研究報告第423號。
4. 陳貽倫 1988 綠竹筍和茭白筍之預冷及有關物性 農業工程學報 34(3):61~68。

5. 蔣明南 1986 園藝作物採收後呼吸作用測定方法之研究 中華農學會報135:35~48。
6. 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。
7. 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。
8. Claypool, L.L. and R.M.Kefer.1942.A colormetric method for CO₂ determination in respiration studies. Proc.Amer.Soc.Hort.Sci. 40:178-186.
9. Chiang, M.N.1970. The effect of ethylene of low concentrations on the ripening of Taiwan-grown bananas. Proc.Nat.Sci.Council 4(II):43-62.
10. Chiang, M.N. 1970. The effect of the temperature and the concentration of oxygen and carbon dioxide in controlled atmosphere storage upon the respiration and ripening of bananas. Memorirs Coll.Agr., Nat. Taiwan Univ. 11(1):1-13.
11. Grisebach, H. 1981. Lignins. In:The biochemistry of plants vol.7, E.E.Conn(ed.) Academic Press. pp457.
12. 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.
13. Hardenburg, R.E., A.E. Watada and C.Y. Wang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Agri. Handbook No.66.Government printing office, Washington, 130pp.
14. Hyodo, H., K. Tanaka and k. Watancke. 1983. Wound-induced ethylene production and 1-aminocyclo-propane-1-carboxylic acid synthase in mesocarp tissue of winter squash fruit. Plant Cell Physiol. 24:963-969.
15. Hyodo, H.,K. Tanaka and J.Yoshisaka. 1985. Induction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase in wounded mesocarp tissue of winter squash fruit and the effect of ethylene . Plant Cell Physiol. 26:161-167.
16. Hyodo, H.,H. Fujinami, E. Okada and T. Mochizuki. 1989. Wound-induced ethylene production and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase in mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*. In:H. Chijsters, M. de Profit, R. Marcelle and M. Van Poucke(eds.), Biochemical & Physiological aspects of ethylene production in lower and higher plants. Klnmer. Dordrecht, Netherlands. pp.229-236.
17. Hyodo, H. and H. Fujinami. 1989. The effects of 2,5-norbornadiene on the induction of the activity of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase and of phenylalanine ammonia-lyase in wounded mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*. Plant Cell Physiol. 30:857-860.
18. Hyodo, H.et al. 1991. Wound-induced ethylene synthesis and its involvement in enzyme induction in mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*. Postharvest Biology and Technology 1:127-136.
19. Kader, A.A., R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. sommer and J.F. Thompson. 1985. Postharvest technology of horticultural Crops. Cooperative Extension, University of California, Division of Agriculture and Natural Resource. 192pp.
20. Wills, R.B.H., W.B. McGlasson, D. Graham, T.H. Lee and E.G. Hall. 1989. Postharvest, and introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. AVI Book published by Van Nostrand Reinhold. New York.p.17-38.

Effect of Storage Temperature on the Respiratory Rate and Ethylene Evolution of Bamboo Shoot

Tsan-ru Chang

Summary

In order to understand the effect of storage temperature on postharvest physiology of bamboo shoot for improving the handling technique, the experiment was conducted by using four temperature treatments to storage and to measure the respiratory rate and ethylene evolution of bamboo shoot. It showed that the temperature greatly influenced the two physiological reactions. The respiratory rate was 457mg CO₂/kg.hr at 30°C, 247mg CO₂/kg.hr at 20°C and 31mg CO₂/kg.hr at 5°C and 0°C. They were measured at 10 hours after harvest. The ethylene evolution was also measured. Its quantity at 18 hours after harvest was the highest. It was 2.7 ~ 3.0 μl C₂H₄/kg.hr, while only 0.5 μl C₂H₄/kg.hr at 5°C and 0°C, respectively. By using continuous sampling method to measure them, it showed that both respiration and ethylene evolution had a similar trend as it measured before, while the reaction of the cut bamboo shoot was more active than the whole one. There was a wound ethylene peak appeared at 2 hours after cutting, then the ethylene evolution increased gradually, it would play an important role of enhance many physiological and biochemical reactions.