

참다래 착과 과실의 호흡과 증산속도의 일변화

한 상 현

제주대학교 생명자원과학대학 생물산업학부
(2006년 5월 9일 접수; 2006년 8월 29일 수락)

Change of Diurnal Respiration and Transpiration Rate of Fruits in Kiwifruit during Fruit Growth

Sang Heon Han

Faculty of Bioscience and Industry, College of Applied Life Sciences,
Jeju National University, 690-756, Korea

(Received May 9, 2006; Accepted August 29, 2006)

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate change in diurnal respiration and transpiration of the fruits of kiwifruit during fruit growth. Three-hourly fruit transpiration and respiration rate were measured by a chamber technique. Results showed a tendency of higher transpiration and respiration in at maturation to commercial harvest period in 1995 fruit than in 1996 fruit. Fruit respiration rates were very similar to the transpiration rates. The air temperature record for the fruit maturation period in 1996 showed a sudden drop on September 19~24 and October 14 down to 7~13°C. These results suggest that abnormal fruit transpiration and respiration rate in the fruit maturation period might be influenced by the air temperature.

Key words : Kiwifruit, Respiration rate, Transpiration rate, Temperature

I. 서 론

참다래 과실은 과실의 성숙기에 착색이 안 되기 때문에 육안으로 수확기를 결정하기 힘들고, 생리적으로 성숙기 전에 수확을 하면 후숙이 잘 안되고 장기저장도 할 수가 없다(Salinger and Morley, 1988). 따라서 New Zealand에서는 수확기에 있는 과실의 가용성 고형분 함량(Internal soluble solid concentration; SSC)과 후숙후의 전분 및 당 농도가 서로 비례한다는 점을 착안하여(Beever and Hopkirk, 1990), 과실의 고형분함량이 6.2% 이상일 때를 수확시기로 정하고 있다(Hopkirk *et al.*, 1989).

일본에서 확연히 다른 기후조건을 가진 Kanagawa

현과 Yamanashi현에서 1985년과 1986년에 걸쳐 참다래 'Hayward'과실에 대한 성장과 발육상태 등을 조사한 바가 있다. 후자 지역이 가을이 빠리와 상대적으로 참다래의 생육기간이 짧았으나 과실생육에는 차이가 없었다. 이처럼 과실의 생육지역과 계절적인 차이는 과실의 성장에는 영향이 없었지만 전분, 유기산 조성에 있어서는 양 지역간에 차이가 있었다. 그리고 SSC의 증대 시기와 당 구성에 있어서도 계절적인 차이가 있었다(Sawanobori and Shimura, 1990). New Zealand의 참다래의 성숙기는 추위가 빨리 오는 지역에서 빨랐고 따뜻한 지역은 상대적으로 늦었다. 하지만 같은 지역일지라도 수확시기는 년차 간에 상당한 차이를 나타내었다(Harmen, 1981).

Sawanobori and Shimura(1990)는 참다래 ‘Hayward’의 과실생육과 발육에 대한 지역별 계절에 따른 효과를 보고한 바가 있다. 과실은 호흡율은 과실이 어릴때 가장 높았고 만개 후 20주 내외에 이르면서 계속 감소를 했지만 조금은 증가 하는 경향도 있었다. 그 증가에 대해서 서리의 영향이라고 고찰을 한 바가 있다.

참다래 과실은 수확 후에 후숙을 통해 과실이 익는 후숙형 과실로 수확 후 과실의 호흡이 왕성해짐과 동시에 ethylene gas가 다량으로 생성되는 climacteric 과실로 분류되고 있다(Biale and Young, 1981). 그러나 수확 전에는 과실의 성숙기에 다더라도 과실의 호흡량은 극소량이며 ethylene gas가 거의 생성되지 않았다(Inaba *et al.*, 1989). 참다래 과실에 대한 년차당 농도를 비교한 결과 1996년에 같은 장소에서 수확한 과실이 1995년에 수확한 과실의 당 농도가 0.63배 높았고 1995년 초가을 과실조직에 대한 수분상태(Water potential)의 변화 중 삼투 potential의 급격한 변동에 대해 저온조우에 의한 것으로 고찰한 바가 있다(Han and Kwabata, 2002; Han, 2001). 따라서 본 연구에서는 년차적인 과실의 성장과 당 농도에 영향을 미치리라고 생각되는 호흡과 증산속도에 대해 온

도습도에 따른 착과 과실의 일변화를 조사했다.

II. 재료 및 방법

일본 Kanagawa현 Ninomiya에 위치한 동경대 농학부 부속 과수원에 식재된 15년생의 참다래 ‘Hayward’를 본 실험에 이용했다. 수분수(受粉樹)는 일정 간격으로 재식되어 있어 인공수분은 하지 않았으며 재배관리는 관행에 따라 관리했다. 만개는 1995년에는 5월 28일 경 이었고 1996년에는 1995년에 비해 약 10일 빠른 19일경 이었다. 실험 개시 전에 적과를 완료했다.

과실의 호흡과 증산속도의 측정은 Fig. 1의 방법에 의해 측정했다. 즉 공기 중에 CO₂ gas가 안정된 지상 3m의 건조된 공기를 공기펌프로 흡입시켜 30L의 탱크에 저장을 시킨 후 mass flower를 통해 매분 1L의 공기를 과실을 둘러싸고 있는 비닐 chamber에 흘려보냈다. 과실의 호흡과 증산에 의해 비닐 chamber에 일시적으로 축적된 CO₂ gas와 수분을 광합성 측정기(LCA 4, Bio Scientific Ltd.)로 측정하고 공기탱크의 공기를 reference로 하였다. 측정기간은 1995년에는 8월 18일부터과실의 SSC가 6.2%이상이 되는

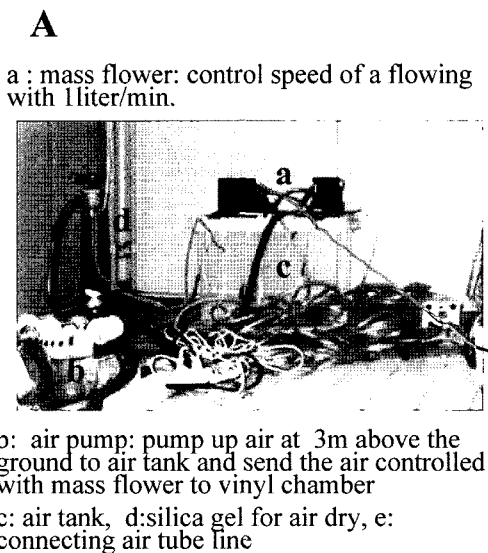


Fig. 1. Installations to measure transpiration and respiration rate of the fruit during the fruit growth. A: Mass flow system, B: Vinyl chamber around fruit and gas analyzer (LCA 4), Grey curve line: process of air flowing.

만개 후 173일까지 1996년에는 7월 12일부터 178일까지 약 2주 간격으로 여명기를 기준해서 3시간 간격으로 24시간동안 성숙기까지의 일변화를 측정하였다.

과실의 호흡속도는 과실의 단위 부피당으로 나타냈다. 과실의 부피는(Han and Kawabata, 2002)의 방법에 의해 계산하였으며 한 주당 한 개의 과실을 1반복으로 하여 3반복하였으며 한 개의 과실에서 3번씩 측정된 평균값들을 $\text{CO}_2(\mu\text{g cm}^{-3}\text{s}^{-1})$ 의 단위로 나타냈다. 증산속도는 광합성 측정기에서 나온 상대습도를 포화 증기압과 관계를 계산하여 과실 1개당의 증산속도의

평균값들을 $\text{H}_2\text{O}(\mu\text{g cm}^{-3}\text{s}^{-1})$ 의 단위로 나타냈다.

일중 기온과 상대습도는 광합성 측정기의 leaf chamber에 있는 온도와 습도 sensor로 측정을 했고 따로 온습도계(HMP 133Y형, Co. Vaisala)와 일조량은 광 sensor(Li-190 SB, Co. LI-COR)를 참다래 덕 높이(약 2 m)에 설치해 10초 간격으로 측정된 기상 data를 main frame(HP E1300A, Co. Hewlett Packard)에 18 channel 51/2-Digit multimeter(HP E1326B, Co. Hewlett Packard)가 설치된computer에 저장하여 해석했다.

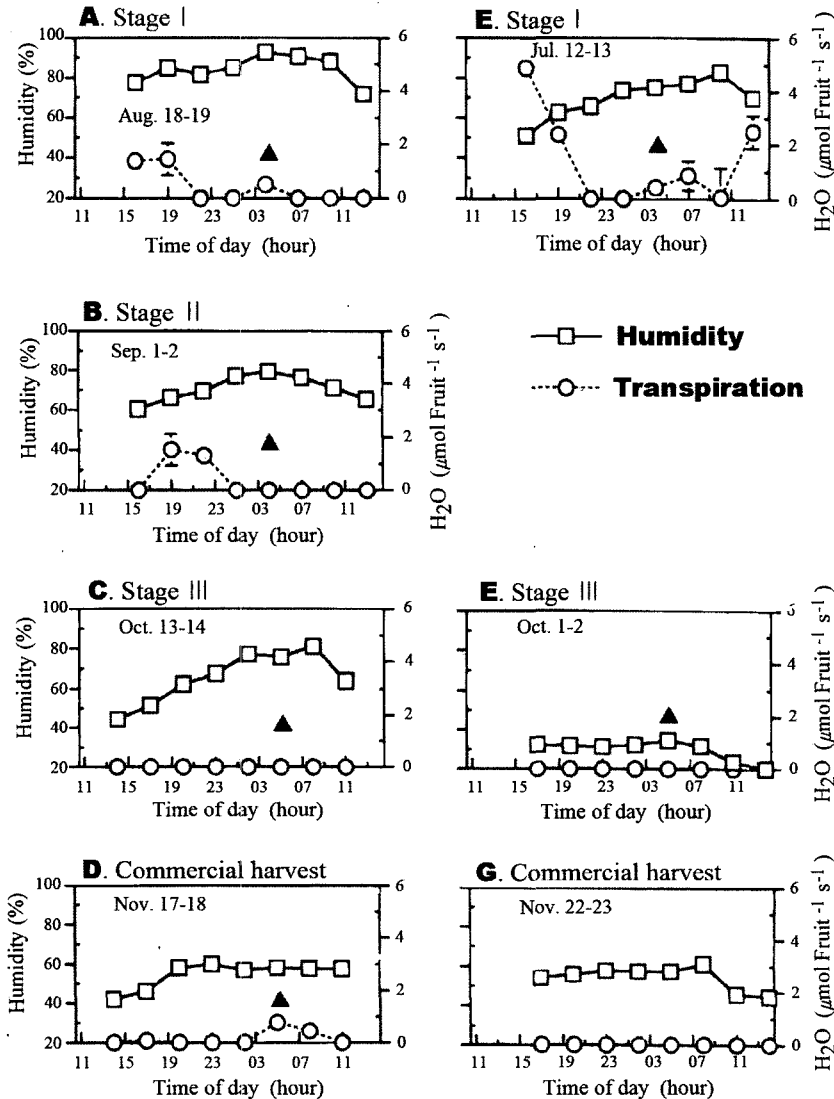


Fig. 2. Change in transpiration of the kiwifruit according to the change of humidity during the fruit growth in 1995 (A, B, C and D) and 1996 (E, F and G). ▲ ; The last measurement before dawn. Values are means \pm SE for n=9.

III. 결과 및 고찰

과실의 성장단계는 Han and Kawabata(2002)에 따라 과실의 생장이 왕성한 제 1단계(stage I)와 과실의 생장이 거의 멈추는 제 2단계(stage II) 그리고 다시 생장을 재개하는 제 3단계(stage III)로 나누고 주요 과실성장 단계별 상대습도의 변화에 따른 일중 과실의 증산속도 변동을 Fig. 2에 표시를 했다. 일중 과실의 증산속도는 과실생육 제 1단계와 제 2단계 동안 상대습도가 높음에도 불구하고 쉽게 변동했다.

과실생육 제 3단계 이후에 상대습도가 상당히 낮음

에도 불구하고 증산속도의 변동이 적었고 그 수준도 낮았다. 1996년의 상대습도가 1995년보다 낮았는데도 과실의 증산율은 1995년과 비슷했다. 이와 같은 경향은 과실 수확 적기에도 계속 되었으나 1995년 과실에서 여명기와 동이 틀 무렵에 일시적으로 상승했다. 약 2주 간격으로 과실 한개 당 하루의 과실 증산속도를 Fig. 4A에 표시를 했다. 1996년 과실은 과실생육 1단계와 2단계에서 높은 경향을 보였으나 과실의 성숙기에 와서는 1995년 과실보다 낮았다가 과실의 수확기에는 비슷한 경향 이었다.

Fig. 3은 과실성장 단계의 주요시기에 대한 기온변화

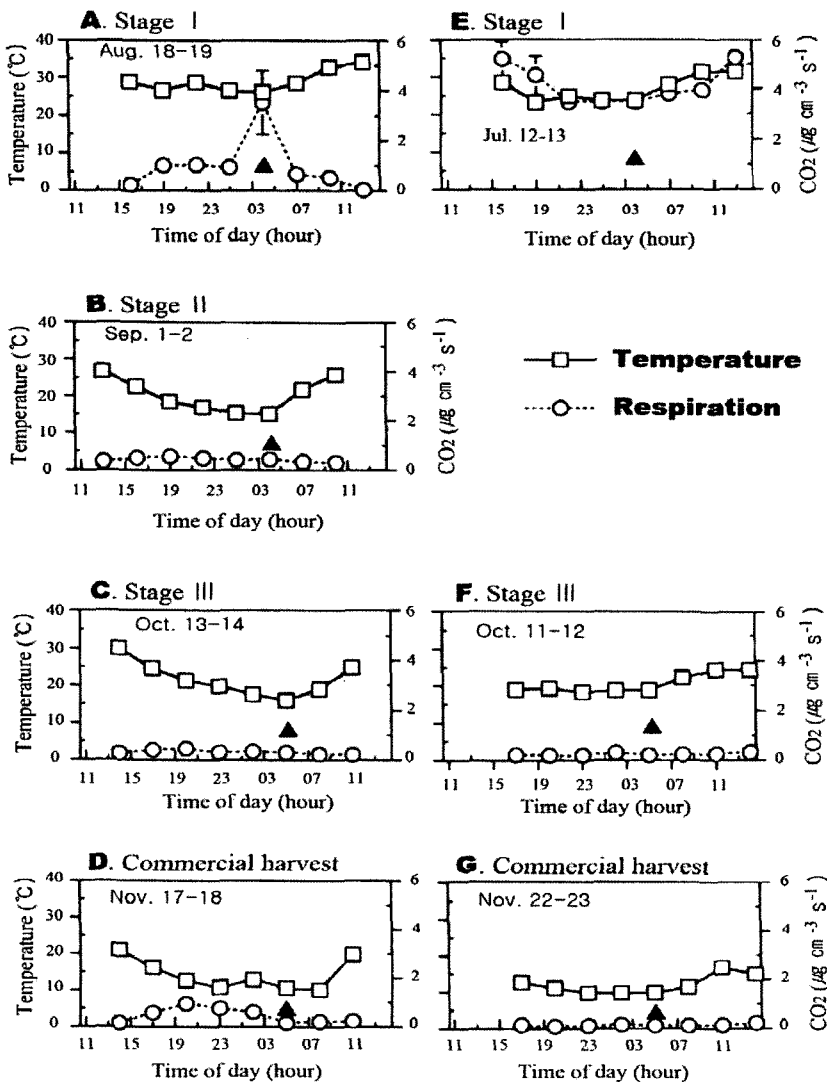


Fig. 3. Change in respiration of kiwifruit according to the change in temperature during the fruits growth in 1995 (A, B, C and D) and 1996 (E, F and G). ▲; The last measurement before dawn. Values are means \pm SE for n=9.

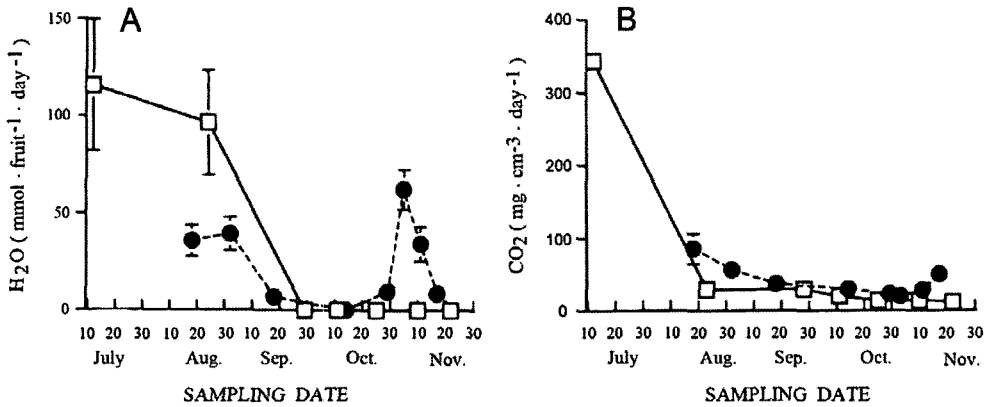


Fig. 4. Seasonal changes of daily transpiration rate (A) and respiration rate (B) on fruits measured by a gas analyzer (LCA 4) in kiwifruit during the fruit growth in 1995 (●) and 1996(□). Values are means ± SE for n=9.

에 따른 일중 과실의 호흡속도 변동을 나타내고 있다.

과실생육 제 1단계의 일중 과실의 호흡속도는 다른 과실생육 단계 보다 기온이 높아질수록 높아지는 경향을 나타냈지만 과실 생육 제 1단계이후에는 1995년과 1996년 과실에서 낮았다. 특히 1995년 과실은 과실생육 제1단계 동안에 1996년 과실 보다 낮았지만 과실의 수확기에 있어 기온 약 10°C이하임에도 불구하고 15:00시 에서 05:00시에 걸쳐 1996년 과실 보다 높았다. 과실의 증산과 마찬가지로 약 2주 간격으로 과실 한개 당 하루의 과실 호흡량을 Fig. 4B에 표시를 했다. 그 결과에 의하면 대체적으로 1995년 과실이 생육 전 기간 동안 높은 경향을 보였는데 특히 과실 성숙기와 수확기에 이르러는 보다 높은 량을 나타냈다.

Fig. 5는 1995년 9월 19일부터 25일까지와 10월 12일부터 15일까지의 기상조건인 기온, 상대습도와 일조량을 10초 간격으로 측정된 결과를 나타내고 있다. 그 중에 기온변화를 보면 9월의 최저기온이 10°C전후를 기록한 날이 거의 6일째 계속 되었다. 10월에 들어서도 10월 14일에도 동일한 경향이였다. 1996년의 경우 그러므로 표시되지 않았으나 9월 중하순에 최저기온이 19°C를 기록했고 10월 중순에는 13.2°C로 최저기온이 10°C가 되는 날이 없었고 10월 하순경에 10°C~13°C정도가 되었다.

처음에는 착과상태의 참다래의 과실은 호흡의 peak와 ethylene gas 생성이 없는 non-climateric 과실로 분류를 하였으나(Wright and Heatherbell, 1967), 그 이후에 수확한 후에는 ethylene gas 생성이 밝혀져 (Hyodo and Fukasawa, 1987) climateric 과실로 분

류되어 이러한 ripening의 양식으로 익는다고 생각해 왔다.

Sawanobori and Shimura(1990)는 참다래 과실생육에 따른 호흡율을 조사한 결과, 과실이 어릴 때 가장 높았고 만개 후 20주 내외에 이르면서 계속 감소를 했지만 조금은 증가 하는 경향을 나타냈다. 그 호흡율의 증가는 서리의 영향이라고 고찰을 한 바가 있다. 또 Inaba *et al.*(1989)등의 보고에 의하면 과실의 성숙기에 극소의 호흡율은 보였으나 ethylene gas는 생성이 되지 않았다고 보고를 했다.

앞의 두 group의 호흡속도 측정방법들은 과실을 채취한 후 일정한 온도인 21°C에 하루쯤 두었다가 측정하는 방법을 이용했다. 본 실험에 있어 일중 과실의 호흡속도 측정은 착과된 상태의 것을 측정해 과실부피당으로 나타냈다. 그러므로 앞의 두 group보다 과실의 크기와 관계가 없는 절대적인 조건 및 노지조건인 기온에서 호흡속도를 비교하고 있어 실제의 과실생육에 따른 호흡속도라고 할 수가 있다. 본 실험에서도 Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 결과에 의하면 과실의 생육초기에는 호흡속도가 높았다가 성숙기에 가까울수록 점점 낮아지는 경향을 보여 Sawanobori and Shimura (1990)의 보고와 일치를 하고 있다. 하지만 1995년 과실에 있어서 과실성숙기(과실생장 제3단계)와 수확기에 그 량이 과실생장 초반기와 비슷한 량을 보일 정도로 높았다. 이러한 호흡율로 보아 Sawanobori and Shimura(1990)이 고찰한 바가 있는 서리의 영향과는 다른 것으로 생각이 된다. 그 원인 중에 하나라고 생각할 수가 있는 기온의 변화를 비교해 보았다.

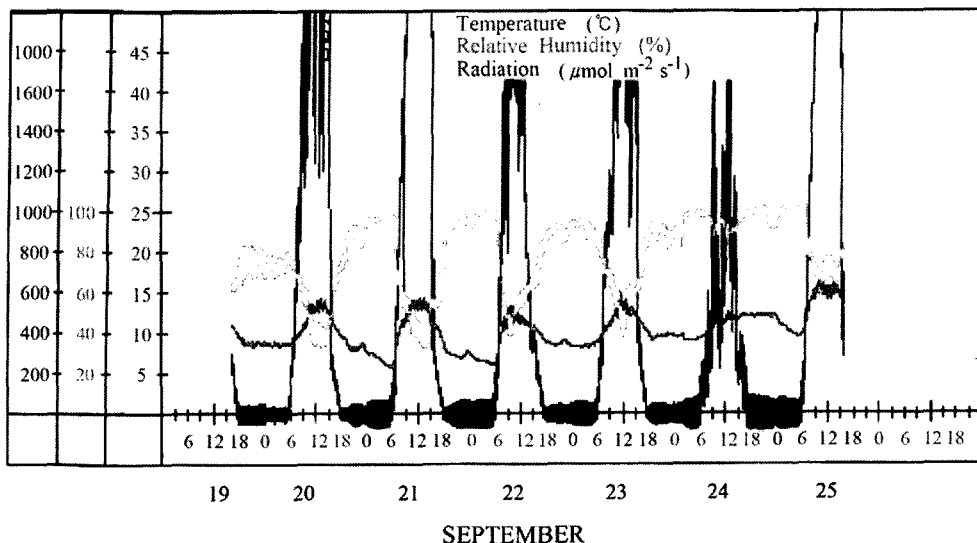


Fig. 5. Weather conditions measured at an interval of 10 seconds during 19-25 September 1995. Solar radiation, air temperature, and relative humidity are represented by black, grey, and whitish grey, respectively.

일중 기온과 상대습도는 광합성 측정기와 온습도 sensor(HMP 133)로 측정된 과실의 성숙기인 9월 중하순의 기온을 분석한 결과, 최저기온이 7°C~13°C 정도가 되는 날이 9월 19일~24일 이었고 10월 중순인 10월 14일에 한차례가 있었다(Fig. 5).

1995년 초가을 과실조직에 대한 수분상태(Water potential)의 변화 중 삼투 potential의 급격한 변동에 대해 저온조우에 의한 것으로 고찰한 바가 있다(Han and Kwabata, 2002; Han, 2001). 이러한 1995년 초가을의 저온조우에 의한 과실조직의 삼투 potential의 이상의 결과, 1995년 참다래 수확기에 과실의 증산과 호흡속도를 상승시켰다고 생각이 된다. 저온 stress에 따른 과실의 증산에 대한 연구보고는 없으나 Saltveit and Moris(1990)는 열대 및 아열대 원산인 원예작물의 경우 저온(10~12°C) stress를 받으면 호흡이 급증하고 저온이 지속되는 동안에 축적된 대사적인 중간생성물에 대한 독성제거 뿐만 아니라 세포막과 다른 부세포질 구조의 손상 수선의 세포기작에 의해서 호흡이 급증된다고 하였다.

그러므로 1995년 과실의 수확기의 호흡상승은 그해 9월중·하순과 10월 중순경의 3차례의 초가을 저온 상태의 지속과 일교차 의한 저온 stress의 가중으로 과실의 증산과 호흡이 상승 되었다고 추측된다. 이러한 호흡상승이 1995년 과실의 당 농도를 1996년 과실보다 낮게 한 것으로 추측되었다.

적 요

본 연구에서는 1995년의 과실과 1996년 참다래 과실에 있어 착과과실의 호흡과 증산속도의 일변화를 조사했다. 그 속도를 과실의 생육에 따라 약 2주마다 3시간 간격으로 조사했다. 1995년에 과실성숙기의 기온은 9월 19일~24일과 10월 14일에 갑자기 7~13°C로 떨어졌지만 1996년에는 이러한 이상저온은 없었다. 착과상태의 과실의 증산과 호흡속도는 과실의 생장에 따라 낮은 경향을 나타냈지만 과실의 수확기에 1995년 과실은 1996년 과실보다 높은 증산 및 호흡속도를 나타냈다. 1995년 과실의 수확기의 호흡상승은 그해 9월 중하순과 10월 중순경의 3차례의 초가을 저온 상태의 지속과 일교차 의한 저온 stress의 가중으로 호흡이 상승 되었다고 생각이 되었다.

REFERENCES

- Beever, D. J., and G. Hopkirk, 1990: *Fruit Development and Fruit Physiology*. Kiwifruit Science and Management. I. J. Warrington, and G. C. Weston (Ed), Ray Richards Publisher, Auckland, 97-126.
- Biale, J. B., and R. E. Young, 1981: *Respiration and ripening in fruits*. Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetables. J. Friend, and M.J.C. Rhodes (Ed), Academic Press, London, 1-39.
- Han, S. H., 2001: Diurnal change in water status of fruit

- tissues during the growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Journal of Bio-Environment Control* **10**, 1-9.
- Han, S. H., and S. Kawabata, 2002: Change in carbohydrate and water contents of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during growth. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **71**, 322-327.
- Harman, J. E., 1981: Kiwifruit maturity. *The orchardist of New Zealand* **54**, 126-127.
- Hyodo, H., and R. Fukasawa, 1987: Ethylene production in kiwifruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **54**, 209-215.
- Hopkirk, W. P., W. P. Snelgar, S. F. Horne, and P. J. Manson, 1989: Effect of increased preharvest temperature on fruit quality of kiwifruit. *Horticultural Science* **64**, 227-237.
- Inaba, A., Y. Kubo, and R. Nagamura, 1989: Maturity characters in tree and after-ripening of kiwifruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **58** (Supplement 2), 610-611.
- Salinger, M. J., and M. J. Morley, 1988: The effect of climate on kiwifruit flowering and fruit maturity. New Zealand kiwifruit special publication no. **2**, 46-47.
- Saltveit, M. E. Jr., and L. Moris, 1990: *Overview of chilling injury of horticulture crops*. Chilling Injury of Horticultural Crops (Ed), C.Y. Wang. CRC Press, Boca Raton, 3-15.
- Sawanobori, S., and I. Shimura, 1990: Effect of growing location and season on fruit growth and development of 'Hayward' kiwifruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **58**, 849-857.
- Wright, H. B., and D. A. Heatherbell, 1967: A study of respiratory trends and some physio-chemical change of Chinese gooseberry fruit *Actinidia chinensis*(Yang-tao) during the later stage of development. *New Zealand Journal of Agriculture Research* **10**, 405-414.