

Breaker 단계 토마토의 착색불량과 호흡률간 상관관계

강호민^{1*} · 김영식²

¹강원대학교 원예학과, ²상명대학교 식물산업공학과

The Correlation between Uneven Ripening and Respiration Rate of Tomato at Breaker Stages

Ho-Min Kang^{1*} and Young Shik Kim²

¹Dept. of Horticulture, Kangwon Nat'l. Univ., Chunchon 200-701, Korea

²Dept. of Plant Science and Technology, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

Abstract. Breaker stage tomato fruits that were stored at low temperatures show typical chilling symptoms such as uneven ripening and a high respiration. Experiments were performed to assess and compare these chilling injury symptoms of breaker stage tomato fruits, and to gather basic data that can be used to decide whether horticultural crops receive chilling injuries. Tomato fruits that had been sorted in the breaker stage were stored at 2°C for 0, 3, 6, and 9 days, and then their respiration rates were measured at 3, 6, 9, 12, 24, 36, and 48 h after moving them to room temperature. This treatment was repeated twice on the same procedures, except the storage periods, which were changed to 0, 1, 2, 3, and 10 days. The respiration rate was increased in a 1 day storage treatment, and the increasing rate rose higher with extended storage periods. The a* value, which represents the surface color of tomato fruits, was measured 10 days after moving to them into room temperature. Those with an increased a* value rate got dull and showed uneven coloring after 2 days' storage treatment. These two factors, the respiration rate and a* value of the surface, showed a high correlation ($r = 0.9716$, $p < 0.001$). Therefore, the chilling injury of breaker stage tomato fruits can be diagnosed by measuring the respiration rate after moving them into room temperature, and the degree of chilling injury can also be assessed in terms of the respiration increase rate.

Key words : a* value, chilling injury, respiration

서 론

농산물에 대한 저온 유통 체계가 자리를 잡으면서 소비자들이 신선한 농산물을 공급받을 수 있게 되었다. 그러나 일부 작물에서는 저온 유통 및 저장이 오히려 농산물의 품질을 저하시키는 경우가 발생하는데 이를 저온장해라고 한다. 저온장해를 입은 식물은 막을 통한 이온유통의 증가와 유통성 변화, 그리고 식물내부의 cytoplasmic streaming과 전자전달의 억제 등의 변화가 나타나면서(Lyons, 1973) 육안으로 관찰되는 pitting, discoloration, water-soaking, 내부갈변, 비정상적인 성숙, off-flavor, 조직붕괴, 그리고 병원균의

침입 등이 발생하게 된다(Saltveit와 Morris, 1990; Wang, 1982). 또한 저온장해는 작물의 호흡을 증가시키는데 고구마(Lewis와 Morris, 1956), 토마토(Cheng과 Shewfelt, 1988; Autio와 Bramlage, 1986), 오이(Eaks와 Morris, 1956), 고추(Lee와 Yang, 1997), 애호박(Lee와 Yang, 1999), 참외(Kang 등, 2005) 등에서 이미 연구된 바 있다.

토마토는 완숙과의 경우 수송 및 유통에 문제점이 있어 백화점이나 대형유통상가를 제외하고는 미숙과 상태에서 유통되고 있다(Park과 Kang, 1998). 토마토의 경우 녹숙과(mature green) 상태만 지나면 상온에서 완숙되므로 외국의 경우에서도 장거리 수송에서는 미숙과를 이용하기도 한다(Pantastico 등, 1975). 그러나 토마토는 미숙과 상태에서 수확하여 5°C 이하의 저온에서 저장 및 수송을 한 후에 판매를 위해 상온으로

*Corresponding author: hominkang@kangwon.ac.kr
Received April 5, 2010; Revised April 22, 2010;
Accepted June 1, 2010

유통될 때 착색불량 등의 저온장해에 의한 문제점이 나타나는데(Dodds 등, 1991; Pantastico 등, 1975), 녹숙 토마토의 경우 저온에서는 성숙이 진행되지 않으며 상온으로 옮겨도 착색이 고루 이루어지지 않는다고 한다(Autio와 Bramlage, 1986; Couey, 1982). 이러한 미성숙 상태의 토마토에서 발생하는 착색불량의 저온장해 증상은 cold chain에서 발생하는데, 토마토 수출 현장에서 문제가 된다고 한다. 이에 본 실험은 이러한 저온 장해 피해를 줄이고자 저온장해와 호흡률 증가와의 상관관계를 분석하고, 나아가 저장 중 원예산물 저온장해의 판단기준으로 이용할 수 있는 기초 자료를 만들고자 실시하였다.

재료 및 방법

관행적인 방법으로 노지 재배한 토마토(트러스트, 디루이터)를 7월 15일에 수확하여 breaker 단계(10% 착색)인 것으로 선별하였다. 선별된 토마토는 세척한 후 2°C 저온처리를 1.2차에 걸쳐 실시하였다. 2°C 저온 처리기간은 1차 실험에서는 0, 3, 6, 9, 12일로 실시하였고, 저온에서의 초기 반응을 알아 보기 위해 2차로 0, 1, 2, 3, 12일간 저온 처리하였다.

2°C에서 각 처리 기간 동안 저장된 토마토는 상온(20°C)으로 옮긴 후 3시간 간격으로 12시간까지 그 후로는 12시간 간격으로 48시간까지 호흡률을 측정하였는데, 토마토를 1.5L 밀폐용기에 넣어 밀폐시킨 후 CO₂/O₂ analyzer(CheckMate® 9900, PBI Dansensor, Denmark)로 증가한 이산화탄소 농도를 측정하였다. 측정된 이산화탄소 발생량은 1kg 토마토 과실이 시간당 발생한 CO₂의 mL로 호흡률을 계산하였다. 또한 저온 처리한 과실은 에틸렌 농도가 0.1ppm 이하인 20°C 저장고로 옮겨 10일 후에 과피색의 변화를 색차계(minolta, CR-400, Japan)를 이용하여 L*, a*, b* 값으로 측정하였다. 이상의 호흡률과 a* 값의 상관관계를 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)로 조사하였다(Healey, 1993).

결과 및 고찰

저온 처리 기간의 간격을 3일로 처리한 1차 실험 결과, 저온3일 처리구부터 0일 처리구(이하 대조구)에

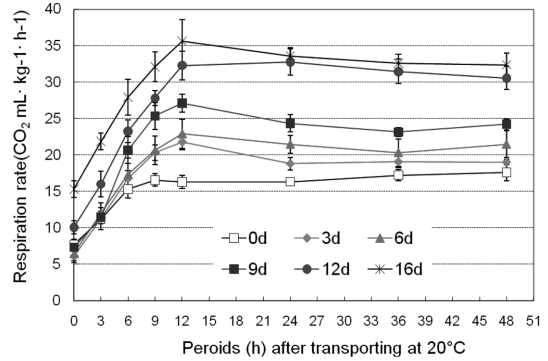


Fig. 1. The respiration rate of breaker stage tomato stored for 0, 3, 6, 9, 12 days at 2°C and then transported at 20°C from 0 hour to 48 hours. Vertical bar represents means ± SD (n = 5).

비해 호흡률은 증가하였다. 특히 상온 이동 후 9시간부터 처리간 차이에 통계적 유의성이 있었는데, 저온 처리기간이 길어질수록 호흡률이 증가하였다(Fig. 1). Breaker 단계 토마토의 호흡률 증가가 2°C에서 3일만에 대조구와 차이를 보였기 때문에 저온 처리 기간을 좁혀 1, 2, 3, 12일로 처리한 2차 실험을 실시하였다. 2차 실험에서 저온 1일 처리구부터 대조구보다 높은 호흡률을 보였는데, 역시 9시간부터 그 차이에 통계적 유의성이 있었으며, 역시 저온 처리 기간이 길어질수록 발생량의 증가가 컸다(Fig. 2).

1차 실험과 2차 실험의 모든 처리구에서 2°C에서 상온으로 옮긴 후 12시간까지 시간이 경과하면서 정비례하여 호흡률이 증가하였는데, 이는 Q₁₀에 의한 결과

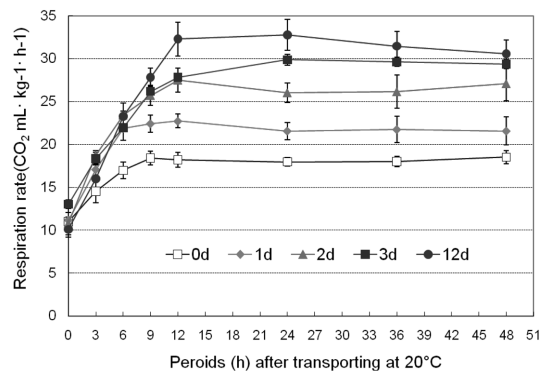


Fig. 2. The respiration rate of breaker stage tomato stored for 0, 1, 2, 3, 12 days at 2°C and then transported at 20°C from 0 hour to 48 hours. Vertical bar represents means ± SD (n = 5).

Breaker 단계 토마토의 착색불량과 호흡률간 상관관계

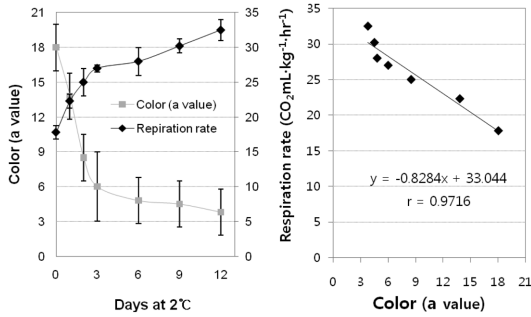


Fig. 3. The relationship between respiration rate and color a value that represented red color of tomato fruit that stored for 0, 1, 2, 3, 6, 9, 12 days at 2°C and then transported at 20°C. The respiration rate was measured at 12 hours after transporting to 20°C. Left; Change of respiration rate and color a value according to increasing low temperature (2°C) periods at 10 days after transporting to 20°C. Right; Regression analysis of two factors.

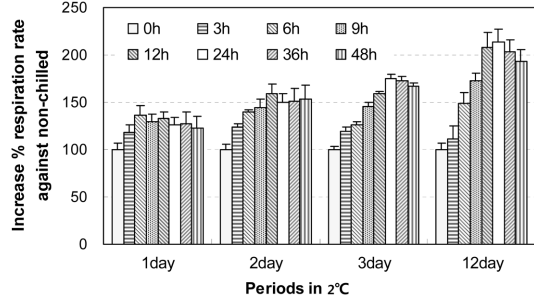


Fig. 4. The increase % of respiration rate against non-chilled tomato (0 day). Treated tomato stored for 1, 2, 3, 12 days at 2°C, and investigated CO₂ production after transporting to 20°C from 0 to 48 hours.

인 것으로 생각된다(Kays와 Paull, 2004). 실제로 토마토의 품온이 상온으로 옮긴 후 12시간 후에는 상온과 같은 수준까지 상승하여 더 이상 증가하지 않았다. 따라서 2°C 저온저장의 경우 1일 정도의 단시간 저장에서도 호흡률 증가와 같은 저온장해가 나타남을 알 수 있었다.

0, 1, 2, 3, 12일간 저온 처리 후 상온으로 옮겨 10일 후에 색변화를 조사하였는데 0일 처리구의 경우 a* 값이 18 이상을 나타내면서 완전히 착색되었다. 그러나 저온 처리구는 그러하지 못했는데, 1일 처리구에서는 12일 처리구에서는 5개의 반복과 모두 부분 착색불량이 심하게 나타났다(Fig. 3). Lurie와 Klein (1992)도 미숙토마토를 2°C와 12°C에서 3주간 저장하다가 상온으로 옮겼을 때 무처리구는 a* 값이 낮게 나타나 착색불량의 저온장해증상이 나타났다고 하였고, Kang과 Park(1999)도 20일간 5°C 저장 후 20°C 이동 8일 후에 이와 같은 착색불량이 나타난다고 보고한 바 있다.

모든 저장 온도에서 호흡률 증가가 멈춘 상온 이동 후 12시간째의 호흡률과 상온 이동 후 10일 후에 a* 값을 비교해본 결과 역시 저장 1일째부터 대조구에 대해 유의성 있는 차이를 나타내었다(Fig. 3a). 또한 저온저장 기간에 증가함에 따라 호흡률은 증가하고 a* 값은 감소하였는데, 이 두 요인간의 상관관계를 계산한 결과 상관계수(r)는 0.9716로 1%의 유의성을 나타내었

다(Fig. 3b). 그러므로 breaker 단계 토마토의 저온장해 여부를 상온 이동 후 호흡률로 알 수 있었으며, 나아가 발생량을 통해 저온장해 정도까지 추측할 수 있었다. 이러한 호흡률에 의한 저온장해 정도 예측은 실제 저온장해가 발생하는 여러 작물에서 상온 이동 후에 수일이 경과 후에 알 수 있는 장해 정도를 미리 예측하여 미국의 경우 전체 농산물의 1/3이 피해를 받고 있는 저온장해(Wang, 1989)를 줄일 수 있을 것이라 생각된다.

1, 2, 3, 12일간 2°C에서 저장처리한 토마토를 상온으로 옮긴 후 시간별 측정된 호흡률을 대조구에 대한 증가정도로 표시한 것 결과, 상온 이동후 6시간까지는 1일처리부터 가장 저온저온장해가 심하였던 12일처리구까지 차이가 없었다(Fig. 4). 그러나 이 대조구에 대한 증가폭은 9시간과 12시간은 12일처리부터 24시간은 전처리간 차이에 유의성이 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 이산화탄소 발생 증가양상으로 breaker 단계 토마토의 저온장해 정도를 예상할 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

Breaker 단계 토마토의 저온장해 증상은 착색불량과 호흡률 증가 등으로 알려져 있다. 본 실험은 이러한 저온장해 증상과 맞물려 나타나는 이산화탄소 발생 증가와의 관계를 분석하고, 나아가 저장 중 원예산물 저온장해의 판단기준으로 이용할 수 있는 기초 자료를 만들고자 실시하였다. Breaker 단계로 선별된 토마토는

2°C에서 1차로 0, 3, 6, 9일간 2차로 0, 1, 2, 3, 10일간 저장 후 상온으로 옮겨 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48시간마다 호흡률을 측정하였다. 저온장해로 인한 토마토 과실의 호흡률은 1일 저장 처리구부터 증가하였으며 저온 저장기간이 길어질수록 발생량 증가폭도 커졌다. Breaker 단계 토마토의 과피색은 a* 값으로 나타내었는데 각 기간별로 저온저장 후 상온으로 옮겨 10일째에 측정하였는데 Breaker 단계 토마토는 2일 저장 처리구부터 a* 값이 증가가 둔화되면서 착색불량이 나타났다. 저온저장 기간에 증가함에 따라 증가한 호흡률과 반대로 감소한 a* 값의 상관계수(r)는 0.9716로 1%의 유의성을 나타내었다 이상의 결과로 보아 Breaker 단계 토마토의 경우 저온 저장후 상온으로 옮긴 직후 이산화탄소 발생 양상으로 저온장해를 미리 진단할 수 있었으며, 그 발생량 증가폭으로 저온장해 정도도 파악할 수 있을 것으로 생각된다.

주제어 : a* 값, 저온장해, 호흡

사 사

본 논문은 2010년 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. Autio, W.R. and W.J. Bramlage. 1986. Chilling Sensitivity of Tomato Fruit in Relation to Ripening and Senescence. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:201-207.
2. Cheng, T.S. and R.L. Shewfelt. 1988. Effect of Chilling Exposure of Tomatoes During Subsequent Ripening. *J. Food. Sci.* 53:1101-1105.
3. Couey, H.M. 1982. Chilling Injury of Crops of Tropical and Subtropical Origin. *HortScience* 17:162-165.
4. Dodds, G.T., J.W. Brown, and P.M. Ludford. 1991. Surface Color Changes of Tomato and other Solanaceous Fruit During Chilling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:482-490.
5. Eaks, I.L. and L.L. Morris. 1956. Respiration of Cucumber Fruits Associated with Physiological Injury at Chilling Temperatures. *Plant Physiol.* 31:308-315.
6. Healey, J.F. 1993. *Statics, a Tool for Social Research.* Wadsworth Inc. Belmont. California, USA.
7. Kang, H.M. and K.W. Park. 1999. Chilling Stress Alleviation Effect of Pre-harvest Heat Treatment During Cultivation of Mature Green Tomato at Low Temperature Storage. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:647-651.
8. Kang, H.M., K.W. Park, I.S. Kim, and J.H. Won. 2005. Effects of Postharvest Heat Treatment on Alleviation Chilling Injury and Improvement Storability of Oriental Melon. *J. Bio-Environ. Cont.* 14:137-143.
9. Kays, J.S. and E.R. Paull. 2004. *Postharvest Biology.* Exon Press, Athens, GA. USA.
10. Lee, K.A. and Y.J. Yang. 1997. Physiological Characteristics of Chilling Injury and CA Effect on its Reduction During Cold Storage of Pepper Fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:478-482.
11. Lee, K.A. and Y.J. Yang. 1999. Effect of Chemical Treatments on Reduction of Chilling Injury and Physiological Changes During Cold Storage of Squash (*Cucurbita moschata*). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:669-672.
12. Lewis, D.A. and L.L. Morris. 1956. Effects of Chilling Storage on Respiration and Deterioration of Several Sweet Potato Varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 68:421-427.
13. Lurie, S. and J.D. Klein. 1992. Ripening Characteristics of Tomatoes Stored at 12°C and 2°C Following a Prestorage Heat Treatment. *Scientia Horticulturae* 51:55-64.
14. Lyons, J.M. 1973. Chilling Injury in Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:445-451.
15. Pantastico, E.B., T.K. Chattopadhyay, and H. Subramanayam. 1975. *Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruit and Vegetables.* AVI Publishing. Westport, CT.
16. Park, K.W. and H.M. Kang. 1998. Transport Distance Affects Quality of Both Mature and Ripe Tomato Fruit. *Kor. Hort. Sci. Technol.* 16:511-513.
17. Saltveit, M.E. and L.L. Morris. 1990. Overview of chilling injury of horticultural crops. pp. 3-17. In: C.Y. Wang (ed.). *Chilling injury of horticultural crops.* CRC Press, Boca Raton, Fla.
18. Wang, C.Y. 1982. Physiological and Biochemical Responses of Plants to Chilling Stress. *HortScience* 17:173-186.
19. Wang, C.Y. 1989. Chilling Injury of Fruits and Vegetables. *Food Rev. Intl.* 5:209-236.