

열풍처리에 따른 조생 온주감귤의 저장 중 품질특성 변화

이현희 · 홍석인[†] · 손석민¹ · 김동만

한국식품개발연구원, ¹호서대학교 식품생물공학과

Storage Quality of Early Harvested Satsuma Mandarin as Influenced by Hot Air Treatment

Hyun-Hee Lee, Seok-In Hong[†], Seok-Min Son¹ and Dongman Kim

Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

¹Department of Food and Biotechnology, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

Abstract

Early harvested Satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) was treated with hot air at 45°C for 2, 4, and 6 hours and stored at 5°C for 3 weeks and additional one week at 18°C (simulated shelf-life) in order to examine the effect of mild heat treatment on the storage quality of the citrus fruits. Quality attributes of the sample fruits evaluated during storage included the respiration rate, internal gas composition, pH, titratable acidity, soluble solids content, flesh weight loss, firmness, peel color, decay ratio, and sensory properties. The initial respiration rates, just after hot air treatment, were significantly higher in the heat-treated fruits compared to the untreated. However, during storage at 5°C, the respiration rates showed a similar level in all treatments. Internal gas composition exhibited no significant difference between the heat-treated and untreated samples. Hot air treatment also exerted no significant effects on the pH, titratable acidity, soluble solid contents, flesh weight loss, firmness, and peel color of the fruits during the whole storage period. The decay ratio was manifestly lower in the heat-treated fruits than the untreated. For sensory attributes including visual and organoleptic quality, no significant difference was observed among sample fruits. Results suggested that mild heat treatment with hot air at 45°C for 4-6 hours could be used as an effective preconditioning method to keep the postharvest quality of Satsuma mandarin by reducing the decay incidence remarkably during storage.

Key words : Satsuma mandarin, hot air treatment, postharvest quality, citrus fruit, preconditioning

서 론

국내의 과일 생산은 전체적으로 증가추세에 있으며 2002년을 기준으로 재배면적은 166천 ha, 생산량은 연간 2,500천 톤이고, 이 중 감귤은 26천 ha, 642천 톤으로 면적은 전국 과수 재배면적의 15%이나 생산량은 전국의 23%로서 우리나라의 주요 과일이다(1). 그러나 국내산 감귤은 지속적인 과잉생산과 WTO 협상에 의한 시장개방, 그리고 품질위주로 변화되고 있는 시장패턴에 대한 대응책이 미흡하여 최근 들어 점차 소비량이 감소하고 있는 실정이다. 향후 전면적인 농산물의 수입 개방에 따라 감귤을 포함한 국내산 농산물이 대외 경쟁력을 갖추기 위해서는 상대적으로 불리한 가격 경쟁력의 제고보다는 품질 면에서의 차별화가 필요하며, 이를

위해서는 고품질의 농산물 재배기술 보급과 아울러 수확 후 유통 관리기술의 확립이 절실한 상황이다. 즉, 감귤의 경우 지속적인 품질향상 노력을 통하여 수입 오렌지류에 대한 대응력을 키우고, 국내 소비시장 확대를 위해서 신선도를 유지할 수 있는 적절한 수확 후 처리기술의 개발 보급이 시급히 요구되고 있다(2). 살아 있는 유기체라는 측면에서 볼 때 과일은 고도의 신선도 유지기술이 필요로 되며 더욱이 신선 농산물로서 그 품목과 품종에 따라 생리적 특성이 현저하게 다르므로 품목별로 품질유지 조건에 맞는 적정 수확 후 처리방법을 개발하여 활용할 필요가 있다.

신선 농산물의 유통 중 품질저하를 방지하기 위해 적용할 수 있는 수확 후 전처리 기술 중 하나로서 최근 들어 새로이 주목받고 있는 열처리기술은 식물조직이 손상되지 않는 범위 내에서 최소한의 열을 가하여 미생물 오염에 의한 부패를 방지하고 고유의 조직과 색깔을 유지하는 방법으로 주요 선진국에서 과일의 방역 및 저장성 향상을 목적으로 다

[†]Corresponding author. E-mail : sihong@kfri.re.kr, Phone : 82-31-780-9053, Fax : 82-31-709-9876

양한 연구를 진행하고 있다(3-5). 현재 시도되고 있는 신선 농산물의 열처리방법은 thiabendazole(TBZ)나 imazalil 등의 방부제 사용을 대체할 수 있는 환경 친화적인 방법이라는 점뿐만 아니라 미생물을 직접적으로 억제시킬 수 있고 특정한 방어가작을 자극시키는 방법으로 알려지고 있다(6,7). 또한 heat shock protein(HSP) 생성과 세포 손상을 방지하여 효소 반응에 의한 갈변을 방지하고, 식물체의 생리적인 반응에 관여하여 숙성을 지연시키며, 특정 작물에서는 저온장해에 대한 저항성을 길러주어 품질저하를 지연시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(8,9).

열처리 방법에 주로 사용되는 열 전달매체는 포화 증기, 열풍, 열수로 나눌 수 있다(3). 증기 처리는 40-50℃의 수증기로 포화된 공기를 이용하여 농산물에 열을 가하는 방법으로 특히 곤충의 알이나 유충을 사멸시켜 병충해를 방지하기 위한 목적으로 사용되어 왔다. 열풍 처리는 가열된 저장고 안에 농산물을 넣거나 뜨거운 공기를 불어넣어 주는 방법으로 열수나 증기처리보다 느리게 가열되지만 공기가 순환되어 골고루 열을 가해 줄 수 있으며 고온에 대한 식물체의 반응을 연구하는데 주로 사용되었다. 열수 처리는 표면 미생물을 억제하기 위해 쓰이는 방법으로 과일, 채소류의 표면이나 표피 안에 잠재적으로 존재하는 곰팡이 포자에 의한 오염을 방지할 수 있다고 보고되었다(3). 감귤류(citrus)에 대한 열처리 선행 연구결과를 살펴보면, 적절한 열수 또는 열풍 처리를 적용했을 때 부패 원인균인 곰팡이의 증식을 억제하고 저온장해와 품질변화를 방지하는 효과가 있는 것으로 밝혀졌다(10-14). 그러나 국내에서는 신선 농산물의 수확 후 처리기술로서 열처리 효과에 대한 연구가 아직까지 미진한 실정이며, 특히 감귤과 같은 주요 국내산 과일의 유통 중 고품질 유지와 관련하여 약제처리 및 저온저장에 관한 연구결과(15-18)가 일부 보고되었을 뿐 열처리방법의 적용효과를 연구한 사례는 찾아보기 어렵다.

이에 본 연구에서는 감귤의 수확 후 저장, 유통과정에서 부패 억제 및 품질유지 효과를 얻기 위하여 환경친화적 방법으로서 중-고온 예조처리의 적용 가능성을 확인하고자, 조생 온주감귤의 열풍처리에 따른 저장 중 품질특성 변화를 살펴보았다.

재료 및 방법

감귤 시료

제주 서귀포에서 재배된 궁천 조생종 온주감귤(*Citrus unshiu*)을 2002년 12월 중순에 수확하여 별도의 선과과정을 거치지 않고 약제처리나 예조처리를 하지 않은 상태로 이중 양면 골판지상자에 담아 실험실로 이송(선박운송: 외기온도 0-8℃에서 약 24시간 소요)한 후 1℃(약 95% RH)로 유지되는 저장고에 3일간 보관하였다. 시료 감귤은 직경이 약

61±2 mm인 중간 크기(평균중량: 약 0.1 kg)로 수확이나 운송 중 발생한 기계적 손상과 및 병해 증상과를 제외하고 건전 과실만을 선별하여 실험에 사용하였다.

열처리 및 저장

선별을 거친 감귤을 통기성 천공(Φ 5 mm) LDPE(저밀도 폴리에틸렌) 필름봉투(300×500 mm)에 25과씩 담아 포장한 후 초기중량을 기록하였다. 개별 포장구를 격자형 플라스틱 바구니에 과실이 겹치지 않게 펼쳐 담은 다음, 열풍이 고르게 통과되도록 일정한 간격을 두고 쌓은 후 공기 순환장치가 장착된 가온실에 넣어 45℃(약 28% RH)에서 2, 4, 6시간 동안 열처리하였다. 처리 도중 30분마다 플라스틱 바구니의 위치를 바꿔 주어 과실 전체에 균일하게 열풍이 가해지도록 하였고, 열처리가 완료된 감귤은 5℃ 저온실에서 3-5시간 충분히 냉각시킨 후 다시 중량을 측정하였다. 열처리 과정 중 무처리 대조구는 실온(20℃)에 보관하였다. 본 연구에서 설정한 열풍 처리조건은 관련 선행연구(5,13) 및 자체 예비실험 결과를 토대로 하여 열처리에 대한 온주감귤의 저항성(생리적 이상증세 및 외관품질)을 종합적으로 검토한 후 결정하였다. 모든 시험구는 5℃(약 87% RH)에서 3주간, 이후 18℃(약 58% RH)에서 1주간 저장하면서 주기적으로 품질특성 변화를 측정하였다. 분석용 시료로는 저장 중 각 시험구 별로 2개의 포장구를 임의로 선정하여 총 50과의 감귤을 사용하였다.

품질특성 분석

호흡률과 과실내부 기체조성: 감귤의 호흡률은 밀폐 시스템 방법(19)에 의거하여 측정하였다. 즉, 실리콘 격막이 장착된 유리 용기(1.9 L)내에 전체 체적의 1/2 정도 분량인 시료(5과, 약 0.5 kg)를 넣고 밀봉한 후 각 저장온도에 보관하면서 경시적으로 용기내의 기체조성을 GC(GC-14A, Shimadzu, Japan)로 분석하여 O₂ 감소 및 CO₂ 발생의 호흡속도와 호흡계수(RQ = CO₂ 생산율/O₂ 소모율)를 계산하였다. 이때 GC의 분석조건은 detector: TCD, column: Alltech CTR I, column temp.: 35℃, injection temp.: 60℃, detector temp.: 60℃, carrier gas: 50 mL He/min이었다. 과실 내부의 기체조성은 gas-tight syringe(#1001, Hamilton, USA)를 이용하여 과정부 표피를 통해 내부기체를 천천히 200 μL씩 채취한 후 GC에 주입하고, 이로부터 얻은 크로마토그램으로 기체조성을 분석하였다.

pH, 산도, 가용성 고형분: 시험구당 2개의 포장구에서 각각 5과씩 감귤을 무작위로 선택하여 과육부만을 균질기(MR-430, Braun, Spain)에 넣고 완전히 마쇄하여 착즙한 후 pH meter(model 420, Mettler-Toledo, UK)를 이용하여 과즙의 pH를 측정하였다. 산도는 착즙액 20 mL를 0.1 N NaOH 용액으로 pH 8.2까지 적정하여 소비된 용액 양을 citric acid %

로 환산하여 표시하였다. 가용성 고형분 함량(SSC)은 시험구당 무작위로 감귤 5과씩을 선택하여 과육부를 가압 착즙한 후 refractometer(N-1E, Atago, Japan)로 측정하여 °Brix로 나타내었다(20).

생체 중량감소율: 필름 포장을 제거한 후 시료의 중량만을 측정하여 그 감소량을 열처리 이전 초기 중량 값에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

경도: 직사각형의 flat probe가 장착된 rheometer(CR-200D, Sun Co., Japan)를 이용하여 감귤의 꼭지 부위가 정면으로 향하도록 이동선반위에 놓은 다음 1.0 mm/s의 속도로 1 kg의 힘이 걸릴 때까지 선반이 이동한 거리(mm)로 표시하였다(21).

표피 색: 과피 표면색은 감귤의 꼭지와 과정부 사이 가운데 부위를 색차계(CR-200, Minolta, Japan)의 광 조사 부분에 밀착시켜 측정 후 CIE-L*a*b* 값으로 표시하였다. 백색 표준판(L*= 97.75, a*= -0.49, b*= 1.96)을 사용하여 색차계를 보정한 후 색 측정에 이용하였다. 모든 생리적, 이화학적 품질 분석은 시험구별로 최소 3회 이상(기체조성, pH, 산도, 생체 중량감소: 3회, 가용성 고형분: 5회, 경도, 표피 색: 10회) 반복 측정하였으며, 실험 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

부패과 발생률: 시험구별로 임의 선정된 2개의 포장구에 대해 꼭지 썩음(stem-end rot), 곰팡이 썩음, 표피 흑변(black rot) 발생 등으로 부패 과실(22)을 구분하여 전체 감귤 시료수에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

관능검사: 훈련된 관능검사 요원 10명을 대상으로 감귤의 변색, 시늉, 광택 등의 외관품질 항목과 경도, 박피성, 신맛, 단맛, 조직감, 즙액정도 등의 체감품질 항목에 대해 9점 척도의 차이식별 검사를 실시하고(23), 그 결과를 ANOVA (Duncan's test)로 통계 처리하여 유의차(p<0.05)를 검증하였다.

결과 및 고찰

생리적 특성 변화

중-고온에 노출된 식물체의 생리적 특성변화를 살펴보고자 열풍처리에 따른 감귤의 호흡률 변화를 측정하였다. 감귤시료를 45°C에서 2, 4, 6시간 동안 균일하게 열풍에 노출시킨 후 5°C에서 3시간 이상 냉각시켜 완전히 품온을 떨어뜨린 다음 측정된 감귤의 호흡률(O₂ 소모율과 CO₂ 생산율)은 무처리 대조구가 3.58 mL O₂/kg·h, 3.76 mL CO₂/kg·h

인데 비해 열풍처리구는 각각 3.88-4.19 mL O₂/kg·h, 4.35-4.65 mL CO₂/kg·h을 나타내어 열처리 시간에 따라 호흡률이 유의적으로 증가하였다(Fig. 1). 그러나 이후 21일간 5°C에 저장한 후 다시 측정된 열처리 감귤의 호흡률은 무처리 대조구의 3.55 mL O₂/kg·h, 3.35 mL CO₂/kg·h와 유사

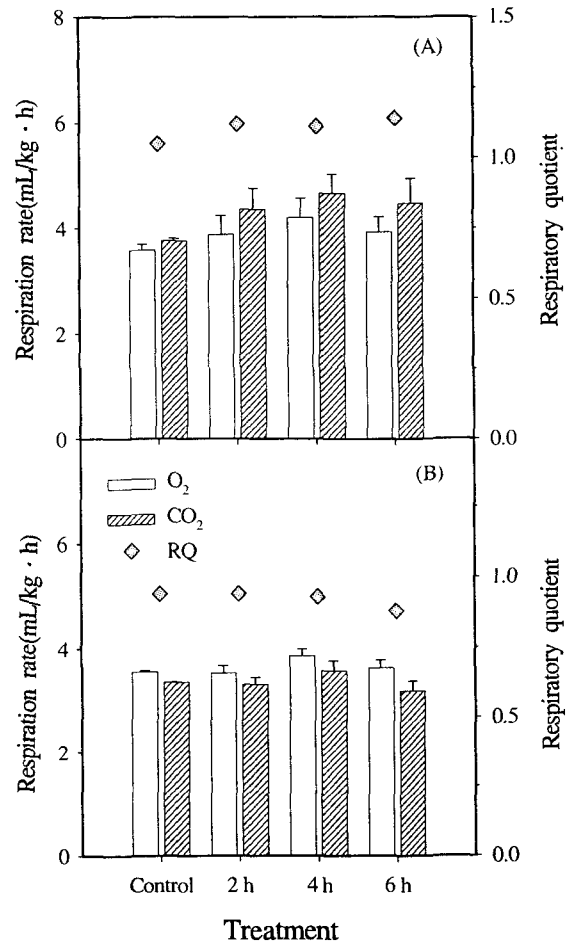


Fig. 1. Changes in respiration rate of early harvested Satsuma mandarin treated with hot air at 45°C during storage at 5°C for 21 days.

(A): measured just after heat treatment, (B): measured after storage of 21 days at 5°C.

한 수준인 3.52-3.85 mL O₂/kg·h, 3.18-3.57 mL CO₂/kg·h을 나타내어 저온저장 중 열처리구의 호흡률이 대조구와 동일한 수준으로 감소하였다. 이와 같은 열처리에 따른 과실의 호흡률 증가는 망고의 경우에서도 확인된 바 있는데, 46°C에서 3-4시간동안 열풍 처리한 망고는 급격한 호흡률 증가를 나타내었으나 처리 후 4-6일이 경과한 다음 호흡률이 감소하였다(24). 식물체의 열처리 직후 호흡률 증가는 표면 또는 내부의 손상부위를 회복시키기 위한 대사작용에 기인하거나 혹은 유기산 대사가 증진되기 때문으로 알려져 있다

(25). 즉, 온도상승에 따라 투과성이 커진 tonoplast 막을 통해 말산(malic acid)이 유입되면 malate decarboxylase 활성이 증대되어 CO₂ 생성량이 증가하고 말산 기질이 다 소비되면 CO₂ 생성량이 감소하게 된다. 실제로 열처리 직후 감귤의 호흡계수(RQ)는 1.1 이상을 나타내었으나 3주간의 저온저장 후에는 0.88-0.94 수준으로 감소하였다. 따라서 이러한 열처리에 따른 호흡률 증가는 결과적으로 과실의 산도 저하를 야기할 수도 있다.

감귤의 또 다른 생리특성 인자로서 과실내부 기체조성을 측정된 결과, O₂와 CO₂ 모두 시험구간의 유의적인 차이를 구분할 수 없었으나 열처리 직후 과실내부 CO₂ 농도가 0.72%에서 0.91-1.19%로 다소 증가하였다(Fig. 2). 그러나 5℃와 18℃의 전체 저장기간 중에는 시험구간의 차이 없이 거의 동일한 수준의 O₂와 CO₂ 농도를 나타내었다. 저장 21일 이후 저장온도의 전환(5℃→18℃)과 일부 부패과 발생에 따라 전체적으로 과실내부의 O₂는 감소하고 CO₂가 축적되었다. 당초 열처리에 따른 호흡률 증가로 인해 과실내부의 O₂ 감소 및 CO₂ 증가를 기대하였으나 유의적인 차이를 구분할 수 없었는데, 이는 본 연구에 사용된 조생 온주감귤의 경우 평균적인 과피 두께가 2.1±0.3 mm로 다른 감귤류에 비해 매우 얇은 편이어서 외부 공기의 유출입이 비교적 쉬운 것에 기인한 결과로 이해된다.

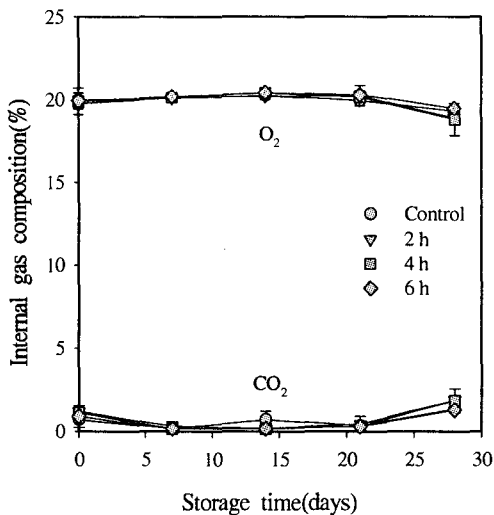


Fig. 2. Changes in internal gas composition of early harvested Satsuma mandarin treated with hot air at 45℃ during storage at 5℃ for 21 days and at 18℃ for additional 7 days.

이화학적 특성 변화

감귤의 이화학적 품질특성 인자로서 pH, 적정 산도, 가용성 고형분 함량을 측정된 결과, 전반적으로 저장기간 중 pH는 증가하고 적정산도는 감소하였으나 가용성 고형분 함량은 저장 27일을 제외하고는 거의 변화가 없었다(Fig. 3). 또

한 열풍처리 직후 처리시간에 따라 감귤의 pH는 다소 증가하고 적정 산도는 다소 감소하는 경향을 나타내었는데, 처리구간의 통계적 유의차를 인정할 수 없으나 이러한 변화 경향은 저장기간 동안 대체로 유지되었다. 열처리에 따른 과실의 pH 증가와 산도 감소는 앞서 언급하였듯이 식물체가 고온에 노출되었을 때 유기산 대사가 촉진되는 것(25)과 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 한편 과즙의 당도를 간접적으로 나타내는 가용성 고형분 함량은 열풍처리 여부에 관계없이 저장 21일까지 약 11.0-11.5 °Brix로 일정한 수준을 유지하다가 저장 말기에 다소 저하되었는데, 이는 저장온도 전환(5℃→18℃)에 따른 호흡대사 증대로 당 소모가 촉진되었기 때문으로 이해된다. 신선 과일류의 숙성 및 품질지표로 흔히 사용되는 SSC/acidity 또는 당/산 비율은 저장기간 중 계속 증가하였고, 대체로 열풍 처리시간이 길수록 당/산 비율이 더 높게 유지되는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 이와 같이 열처리 감귤의 당/산 비율이 상대적으로 높게 유지된 것은 저장기간 동안 전반적으로 가용성 고형분 함량이 일정한 수준을 나타낸 반면, 적정 산도는 열풍처리구에서 더 낮게 유지되었기 때문에 가능한 결과이다.

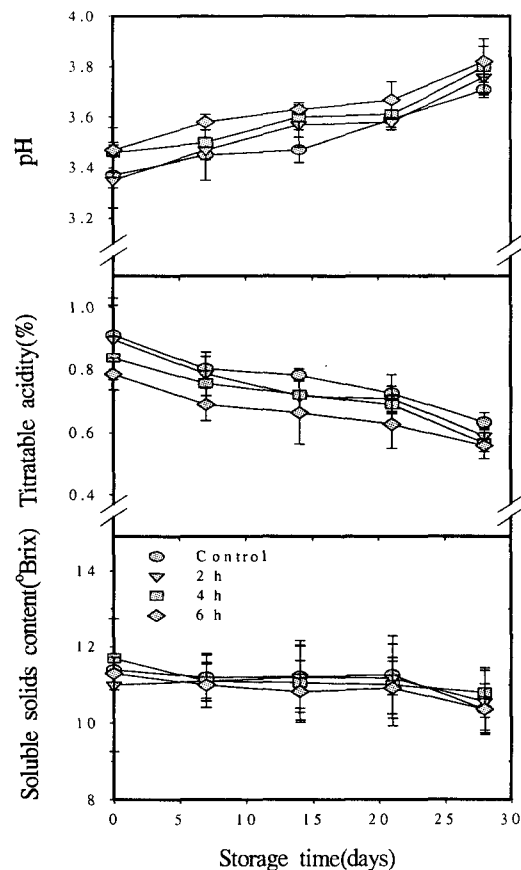


Fig. 3. Changes in pH, titratable acidity, and soluble solids content of early harvested Satsuma mandarin treated with hot air at 45℃ during storage at 5℃ for 21 days and at 18℃ for additional 7 days.

저습도 중-고온의 조건(45°C, 28% RH)에서 열풍 처리한 감귤의 경우 처리시간에 따라 수분증발에 의한 생체중량 감소 및 그로 인한 경도 변화가 예상되어 저장 중 이들을 주기적으로 측정된 결과, 45°C에서 2, 4, 6시간의 열풍처리 직후 감귤은 각각 0.53%, 0.77%, 1.16%의 생체중량 감소를 나타내었고 처리시간이 길어질수록 당연히 중량 감소도 증가하였다(Fig. 4). 그러나 3주간의 저온저장 이후에는 생체중량

감소정도가 처리구별로 구분되지 않고 약 5.0% 내외를 나타내었는데, 이는 비교적 습도가 높게 유지되는 5°C저온실(약 87% RH)에서 시료를 보관하였기 때문으로 비록 초기에 열처리구의 중량감소가 더 크더라도 동일 온습도 조건에서 장기간 저장하는 동안 수분평형이 이루어졌을 것으로 생각된다. 한편 전체 저장기간을 두고 볼 때 저온에서 3주간 발생한 생체중량 감소와 버금가는 수준의 중량 감소정도가 18°C(약 58% RH)에서는 1주 만에 일어났음을 알 수 있다. 이에 반해 감귤의 경도는 예상과 달리 저장기간 중 거의 변화 없이 일정하게 유지되었으며, 열풍처리에 따른 처리구간의 유의적인 차이도 구분되지 않았다. 이는 생체중량 감소의 경우 감귤의 표피에서 주로 수분증발에 의해 유발되었을 것으로 이해되지만, 경도 변화의 경우 단순히 표피의 수분함량보다는 표피와 과육 조직의 복합적인 인자(수분, 칼슘, 펙틴 함량 등)에 의해 좌우되기 때문에 일정한 감소 또는 증가의 경향을 나타내지 않은 것으로 생각된다. 실제로 열처리한 과일의 경도는 대상 품목, 열처리 방법과 조건에 따라 매우 다른 양상을 나타내었는데, 48°C에서 1.5시간 동안 강제열풍 처리한 Navel 오렌지(26)와 38°C에서 3일간 열풍 처리한 토마토(27)의 경우 열처리가 과일의 경도에 거의 영향을 미치지 않았으나, 58°C에서 30분간 포화증기로 처리한 포도(28)는 현저한 경도 저하를 나타내었고 45°C에서 3시간 열풍 처리한 딸기(29)는 열처리 후 더 단단해지고 저장 중 연화가 지연되었다. 또한 과일의 호흡양상에 따라 열처리가 조직연화에 미치는 영향은 달라지는데, 호흡급등형(climateric) 과일의 경우 열처리가 숙성에 관련된 연화과정에 영향을 주고 세포벽 연화효소에 직접적으로 영향을 미치거나 간접적으로 에틸렌 대사에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(25).

전반적으로 저장 중 감귤 과피의 표면색은 초기에 비해 약간 붉은 색으로 변하여 저장 7일 이후 a* 값이 다소 증가하였으나, 처리구별로 색 차이를 구분하기는 어려웠다(Fig. 5). 일반적으로 적절치 않은 조건에서 열처리한 과일은 표면색이 악영향을 받아 흔히 명도(L*) 값의 저하를 유발할 수 있다. 예를 들어 45°C에서 3시간 열풍 처리한 딸기(29)의 경우 붉은색으로의 착색이 지연되었을 뿐만 아니라 L* 값도 저하되었으며, 포화증기로 처리한 포도(28)의 경우에도 과도한 열처리는 L* 값을 급격히 떨어뜨리는 악영향을 초래하였다. 한편 저장 중에 발생하는 수분손실과 표피 수축현상도 색깔에 영향을 미칠 수 있다(28). 조생 온주 감귤의 경우 열처리 여부에 관계없이 전체 저장기간 동안 L* 값은 67.3-68.9, b* 값은 63.1-65.9 범위에서 서서히 감소하였는데, 이는 매우 제한적인 수치상의 감소로 실제 시료 개체간의 오차범위를 넘지 못하는 수준이지만 장기저장으로 인한 생체중량 감소와 표피 수축현상 때문에 표면색이 다소 어두워지고 질어짐을 의미한다.

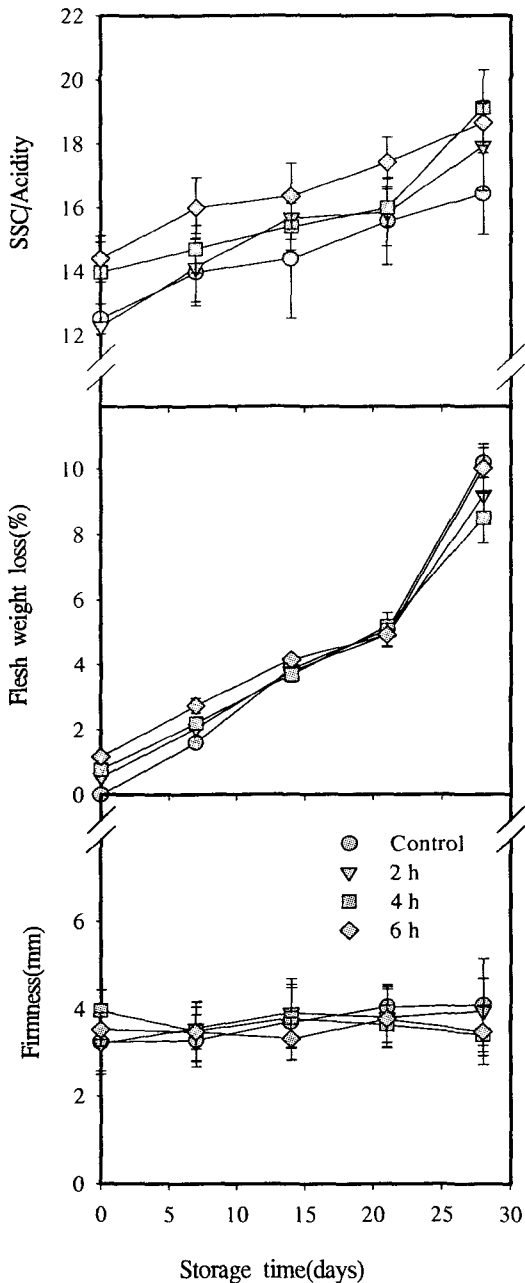


Fig. 4. Changes in SSC/acidity, flesh weight loss, and firmness of early harvested Satsuma mandarin treated with hot air at 45°C during storage at 5°C for 21 days and at 18°C for additional 7 days.

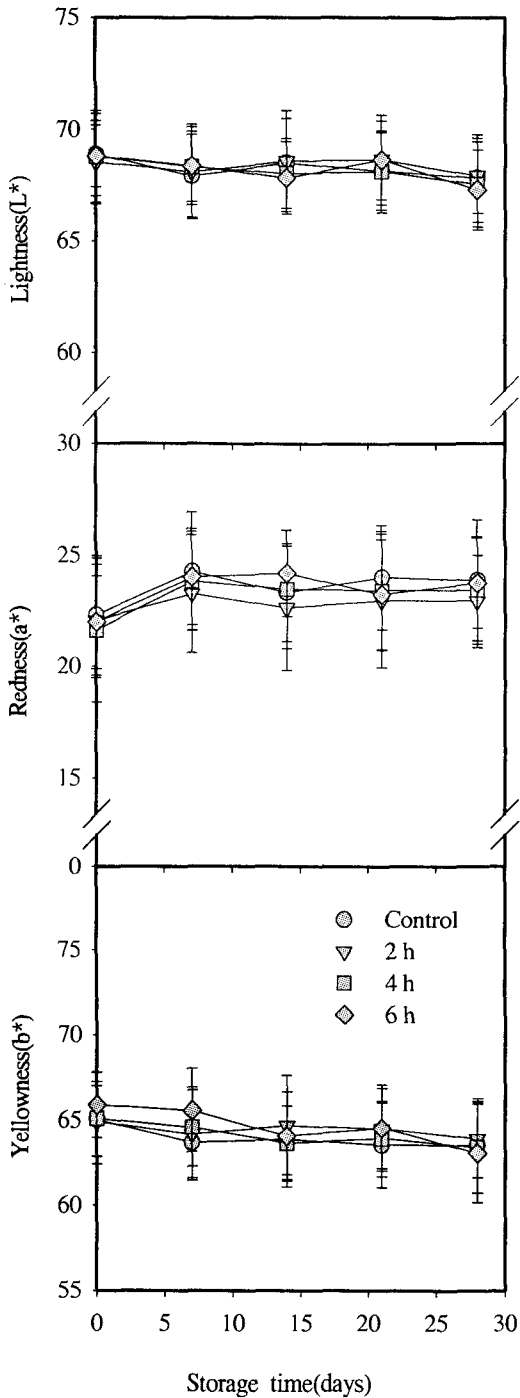


Fig. 5. Changes in peel color of early harvested Satsuma mandarin treated with hot air at 45°C during storage at 5 °C for 21 days and at 18°C for additional 7 days.

관능적 특성 변화

감귤의 저장유통 중 품질열화 및 상품성 저하를 유발하는 주요 품질인자로는 수분증발에 따른 중량감소, 변색, 시늬,

조직감 손실, 당도 저하 등 여러 가지를 들 수 있겠으나 실제 유통현장에서는 무엇보다도 미생물이나 병충해로 인한 부패과 발생이 가장 직접적인 영향을 미치는 대표 인자로 인정받고 있다. 조생 온주 감귤의 경우 5°C에서 저장 14일째부터 꼭지 썩음, 곰팡이 썩음, 표피 흑변 등 다양한 형태의 부패 과실이 나타나기 시작하였다(Fig. 6). 본 연구에 사

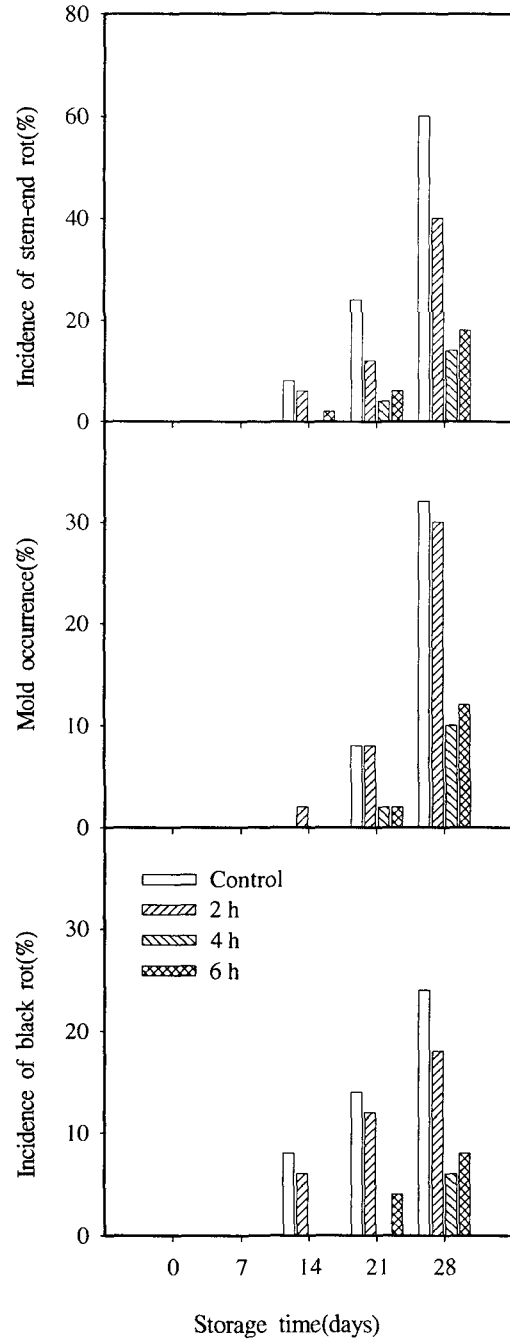


Fig. 6. Changes in decay ratio of early harvested Satsuma mandarin treated with hot air at 45°C during storage at 5 °C for 21 days and at 18°C for additional 7 days.

용된 감귤시료는 수확 후 약제처리나 예조처리를 하지 않은 상태이므로, 무처리 대조구의 경우 저장 21일째에 꼭지 썩음, 곰팡이 썩음, 표피 흑변의 평균 발생률이 각각 24%, 8%, 14%였으며 저장 28일째에는 60%, 32%, 24%로 급격히 증가하였다. 그러나 이러한 부패 과실의 발생빈도는 적정 열풍 처리에 의해 현저하게 감소되어 45℃에서 4시간 이상 열처리한 감귤의 경우 저장 28일째에도 꼭지 썩음 14-18%, 곰팡이 썩음 10-12%, 표피 흑변 6-8%의 평균 발생률을 나타내었다. 감귤의 저장유통 과정에서 흔히 발견되는 부패 과실의 전형적 양상인 꼭지 썩음, 곰팡이 썩음, 표피 흑변 발생은 주로 미생물 감염에 기인하는 현상으로 꼭지 썩음 증세의 경우 *Diaporthe citri*, *Alternaria citri*, *Diplodia natalensis*에 의한 것이며, 곰팡이 썩음 증세는 주로 녹색 곰팡이인 *Penicillium digitatum*, 청색 곰팡이인 *P. italicum*, 잿빛 곰팡이인 *Botrytis cinerea*에 의해 유발되고, 표피 흑변의 경우 *Alternaria* 속 곰팡이에 의해 유발되는 검은 썩음병이 주류를 이룬다(22). 저

장 중 이들 부패과의 발생은 주로 감귤시료가 서로 포개져 있는 부위에서 발견되었으며, 이는 약 87%의 상대습도를 유지하고 있는 5℃ 저장실에서 통기성 포장필름 내부에 밀집해 있는 감귤의 증산작용에 의해 국지적으로 과습 조건이 형성되었기 때문인 것으로 생각된다. 적정 열처리에 의한 온주 감귤의 저장 중 부패과 발생률 감소효과는 다른 감귤류에서도 이미 보고된 바 있는데, 33℃에서 24시간 동안 예조 처리한 오렌지의 경우 녹색 및 청색 곰팡이의 발생빈도가 90% 이상 억제되었다(14). 열풍처리는 건조한 공기를 강제 순환시켜 과일의 품온을 고르게 상승시키는 방식으로 이루어지므로 과일 표면 수분이 건조되어 잠재적 부패 오염균의 증식이 원활치 못한 조건을 형성하는 것으로 이해된다.

열풍처리에 따른 조생 온주 감귤의 저장 중 관능특성 변화를 평가하고자, 변색, 시늬, 표면 광택 등의 외관품질 항목과 경도, 박피성, 신맛, 단맛, 조직감, 즙액정도 등의 체감 품질 항목에 대해 차이식별 검사를 실시하였다(Table 1). 감

Table 1. Changes in sensory scores¹⁾ of early harvested Satsuma mandarin treated with hot air at 45℃ during storage at 5℃ for 21 days and at 18℃ for additional 7 days

Storage time (days)	Treatment	Visual attribute				Organoleptic attribute						
		Discoloration	Wilting	Gloss	Overall quality	Firmness	Peelability	Sourness	Sweetness	Texture	Juiciness	Overall quality
0	Control	3.5 ^a	2.3 ^b	5.1 ^a	5.6 ^a	6.0 ^a	3.1 ^a	4.3 ^a	5.4 ^a	6.0 ^a	5.5 ^b	6.4 ^a
	2 h	3.0 ^a	2.6 ^{ab}	5.0 ^a	5.8 ^a	4.3 ^{ab}	3.7 ^a	3.9 ^a	5.5 ^a	5.5 ^a	5.7 ^b	6.0 ^a
	4 h	3.4 ^a	3.1 ^{ab}	4.2 ^a	5.4 ^a	4.2 ^{ab}	4.1 ^a	4.0 ^a	5.1 ^a	5.5 ^a	6.4 ^{ab}	6.2 ^a
	6 h	3.3 ^a	3.8 ^a	3.8 ^a	5.3 ^a	2.8 ^b	3.8 ^a	3.7 ^a	5.9 ^a	5.7 ^a	6.9 ^a	6.0 ^a
7	Control	4.9 ^a	3.8 ^a	4.4 ^a	4.9 ^a	4.7 ^a	4.3 ^a	5.4 ^a	4.1 ^a	5.2 ^a	5.4 ^a	4.9 ^a
	2 h	4.4 ^a	3.2 ^a	5.0 ^a	5.9 ^a	4.0 ^a	4.8 ^a	4.9 ^a	4.8 ^a	5.9 ^a	6.1 ^a	6.1 ^a
	4 h	3.9 ^a	4.1 ^a	4.4 ^a	5.4 ^a	4.1 ^a	5.0 ^a	4.8 ^a	4.9 ^a	5.4 ^a	5.8 ^a	5.5 ^a
	6 h	3.8 ^a	3.4 ^a	4.4 ^a	5.4 ^a	3.4 ^a	4.7 ^a	4.7 ^a	5.3 ^a	5.8 ^a	6.2 ^a	5.5 ^a
14	Control	4.7 ^a	3.9 ^a	4.3 ^a	5.2 ^a	4.5 ^a	4.5 ^a	5.1 ^a	3.7 ^b	5.1 ^a	4.6 ^b	4.8 ^a
	2 h	4.7 ^a	5.0 ^a	4.0 ^a	5.1 ^a	4.9 ^a	4.7 ^a	4.5 ^{ab}	4.9 ^a	5.3 ^a	5.5 ^{ab}	5.5 ^a
	4 h	4.3 ^a	4.4 ^a	4.0 ^a	4.8 ^a	3.9 ^a	4.7 ^a	4.5 ^{ab}	4.3 ^a	5.6 ^a	6.2 ^a	5.9 ^a
	6 h	5.5 ^a	5.5 ^a	3.1 ^a	4.3 ^a	4.0 ^a	5.4 ^a	3.3 ^b	4.4 ^a	5.4 ^a	6.0 ^a	5.1 ^a
21	Control	4.6 ^a	4.1 ^a	5.0 ^a	5.2 ^a	4.3 ^a	4.7 ^a	4.2 ^a	4.1 ^a	5.2 ^a	4.6 ^a	4.7 ^a
	2 h	4.1 ^a	4.3 ^a	4.7 ^a	5.5 ^a	4.6 ^a	4.3 ^a	4.3 ^a	4.9 ^a	5.2 ^a	5.2 ^a	5.7 ^a
	4 h	4.5 ^a	4.4 ^a	4.9 ^a	5.3 ^a	2.9 ^a	5.4 ^a	4.1 ^a	4.6 ^a	4.9 ^a	5.0 ^a	4.8 ^a
	6 h	4.6 ^a	4.4 ^a	4.7 ^a	4.9 ^a	3.9 ^a	5.8 ^a	4.3 ^a	4.5 ^a	5.6 ^a	5.3 ^a	5.4 ^a
28	Control	5.0 ^a	5.0 ^a	4.5 ^a	4.3 ^a							
	2 h	4.9 ^a	5.8 ^a	4.6 ^a	4.6 ^a	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	4 h	4.5 ^a	5.0 ^a	3.4 ^a	4.1 ^a							
	6 h	5.1 ^a	5.6 ^a	4.0 ^a	4.3 ^a							

¹⁾ The values are means of ten replicates at least. Means followed by the same letter within cells are not significantly different (p<0.05, Duncan's test). As the value increases from 1 to 9, the intensity of sensory characteristics increases.

귤 시료의 외관품질 항목 가운데 시늬에서는 열처리 직후 처리시간이 길어질수록 높은 점수를 나타내었는데, 이는 생체중량 감소 결과(Fig. 4)와도 일치하는 것으로 상대적으로 건조한 중-고온의 열처리 조건에서 노출된 시간에 따라 표

피조직에서의 수분증발이 많았기 때문이다. 그러나 저장 중 시늬 항목의 평가점수는 처리구별로 유의차 없이 동일한 수준이었으며, 아울러 변색, 표면광택, 전체적인 외관품질의 평가에 있어서도 무처리 대조구와 열처리구간의 통계적인

유의적 차이를 구분할 수 없었다. 한편 감귤의 체감품질 항목 가운데 박피성 또는 부피(浮被) 정도에서는 비록 유의적인 차이는 아니지만 저장 중 열처리구가 상대적으로 높은 점수를 나타내어 열풍 처리한 감귤의 과피가 과육에서 다소나마 분리되어(부피현상 발생) 더 잘 벗겨지는 것으로 평가되었는데, 이는 열처리로 인하여 과실 내부 압력이 증가되었다가 냉각에 의해 다시 감소한데서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 신맛 항목에서는 전반적으로 열처리구에서 더 낮은 점수를 나타내어 열풍 처리한 감귤 시료의 신맛이 어느 정도 감소한 것으로 판단되었고, 이는 pH 및 적정 산도 결과(Fig. 3)와도 일치하였다. 또한 과육의 즙액 정도 또는 다즙성에 있어서는 열처리구가 무처리 대조구에 비해 더 높은 평가점수를 얻었는데, 이는 열풍 처리한 감귤의 경우 표피조직에서의 case hardening 효과와 부피현상으로 인해 과육에서 표피로의 수분 이동전달이 다소나마 억제되었기 때문으로 추정된다. 그러나 기타 항목 및 전체적인 체감품질의 평가에서는 저장 중 처리구별로 눈에 띄는 차이를 구분할 수 없었으며, 결과적으로 본 연구에서 적용한 처리조건에서는 열풍처리에 의해 감귤의 외관 및 체감 품질이 적어도 악영향을 받지 않는 것으로 판단되었다.

요 약

감귤의 수확 후 저장, 유통과정에서 부패 억제 및 품질유지 효과를 얻기 위하여 환경친화적 방법으로서 중-고온 예조처리의 적용 가능성을 확인하고자, 조생종 온주 감귤의 열풍처리에 따른 저장 중 품질특성 변화를 살펴보았다. 45℃에서 2, 4, 6시간 동안 열풍을 가한 다음, 충분히 냉각시킨 감귤을 통기성 천공 LDPE 필름에 포장하여 5℃에서 3주, 18℃에서 1주간 저장하면서 호흡률, 과실내부 기체조성, pH, 산도, 가용성 고형분 함량, 과피 표면색, 생체 중량 감소율, 경도, 부패과 발생률, 관능특성 등을 평가하였다. 열풍 처리 직후 초기 호흡률은 처리구 모두 무처리구와 비교하여 높았으나 처리시간과는 유의적 상관성이 없었고, 저장 중 처리구 감귤의 호흡률은 감소하여 21일째는 무처리구와 유사한 수준을 나타내었다. 과실내부 기체조성은 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 과즙의 pH, 산도, 가용성 고형분 함량 및 과실의 생체 중량감소와 경도, 과피 표면색 역시 열처리에 의해 거의 영향을 받지 않았다. 한편 부패과 발생률에 있어서는 4시간 이상의 처리구가 꼭지 썩음 현상과 곰팡이 발생정도, 검은 썩음병인 표피 흑변 정도에서 저장 중 낮은 수준을 나타내었다. 그러나 외관품질 및 체감품질에 대한 관능평가에서는 열풍처리구와 무처리구 사이에서의 유의적인 차이를 발견할 수 없었다. 결론적으로 45℃, 4-6시간의 제한적 열풍처리는 조생 온주 감귤의 저장 중 부

패과 발생률을 현저히 감소시킴으로서 수확 후 품질유지에 효과적인 중-고온 예조처리 조건임을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업(202093-2)의 지원에 의해 수행한 연구결과의 일부로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ministry of Agriculture and Forestry (2004) Statistics Related to Agricultural Industry/Crop Production, In http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp
2. 좌승희 (2002) 제주감귤산업의 발전방향. 감귤원예지, 132, 11-21
3. Lurie, S. (1998) Postharvest heat treatment - Review. *Postharvest Biol. Technol.* 14, 257-269
4. Paull, R.E. and Chen, N.J. (2000) Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 21, 21-37
5. Jacobi, K.K., MarcRae, E.A. and Hetherington, S.E. (2001) Postharvest heat disinfection treatments of mango fruit. *Sci. Hortic.* 89, 171-193
6. Wilson, C.L. and Ghaouth, A.E.I. (1994) Potential of induced resistance to control postharvest disease of fruits and vegetables. *Plant Dis.* 78, 837-844
7. Schirra, M. and Ben-Yehoshua, S. (1999) Heat treatments: a possible new technology in citrus handling-challenges and prospects. In *Advances in Postharvest Diseases and Control of Citrus Fruit*. Schirra, M. (Ed), Research Signpost Publisher, India. p.133-147
8. Ferguson, I.B. and Ben-Yehoshua, S. (2000) Postharvest heat treatments: introduction and workshop summary. *Postharvest Biol. Technol.* 21, 1-6
9. Saltveit, M.E. (2000) Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biol. Technol.* 21, 61-69
10. Rodov, V., Ben-Yehoshua, S., Albagli, R. and Fang, D.Q. (1995) Reducing chilling injury and decay of stored citrus fruit by hot water dips. *Postharvest Biol. Technol.* 5, 119-127
11. Schirra, M. and D'hallewin, G. (1997) Storage performance of Fortune mandarins following hot water dips. *Postharvest Biol. Technol.* 10, 229-238
12. Porat, R., Daus, A., Weiss, B., Cohen, L., Fallik, E. and

- Droby, S. (2000) Reduction of postharvest decay in organic citrus fruit by a short hot water brushing treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 18, 151-157
13. Shellie, K.C. and Mangan, R.L. (1998) Navel orange tolerance to heat treatments for disinfesting Mexican fruit fly. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 123, 288-293
 14. Plaza, P., Usall, J., Torres, R., Lamarca, N., Asensio, A. and Vinas, I. (2003) Control of green and blue mould by curing on oranges during ambient and cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 195-198
 15. Koh, J.S., Yang, Y.T., Song, S.C., Kim, S.H. and Kim, J.Y. (1997) Cold storage characteristics of early variety of Citrus unshiu produced in Cheju with various treatments. *Agric. Chem. Biotechnol.* 40, 117-122
 16. Kim, S.H. and Koh, J.S. (1998) Storage life of Satsuma mandarin as affected by storage temperatures and seal packaging films. *Food Engin. Prog.* 2, 42-48
 17. Koh, J.S., Kim, W.T., Lee, S.Y., Kim, J.Y. and Kang, C.H. (1998) Effects on the storage life of Satsuma mandarin by the pretreatment at various temperatures. *Agric. Chem. Biotechnol.* 41, 228-233
 18. Kim, S.H., Koh, J.S., Kim, B.C., Yang, Y.T., Han, W.T. and Kim, K.H. (2001) Effect of chitosan and calcium treatments on the quality of Satsuma mandarin during storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 8, 279-285
 19. Hong, S.I. and Kim, D.M. (2001) Influence of oxygen concentration and temperature on respiratory characteristics of fresh-cut green onion. *Intern. J. Food Sci. Technol.* 36, 283-290
 20. AOAC (2000) *Official Methods of Analysis*. 17th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., USA.
 21. Zhou, T., Xu, S., Sun, D.W., Wang, Z. (2002) Effects of heat treatment on postharvest quality of peaches. *J. Food Engin.* 54, 17-22
 22. National Institute of Subtropical Agriculture (2004) *Diagnostics of Disease and Insect Damage in Citrus Fruits*, In <http://www.ncaes.go.kr/감귤병해충진단CD/index.html>
 23. Kader, A.A., Lipton, W.J. and Morris, L.L. (1973) Systems for scoring quality of harvested lettuce. *HortScience* 8, 408-409
 24. Micham, E.J. and McDonald, R.E. (1993) Respiration rate, internal atmosphere, and ethanol and acetaldehyde accumulation in heat-treated mango fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 3, 77-86
 25. Lurie, S. and Klein, J.D. (1990) Heat treatment of ripening apples: Differential effects on physiology and biochemistry. *Physiol. Plant.* 78, 181-186
 26. Sharp, J.L. and Mcguire, R.G. (1996) Control of Caribbean fruit fly(Diptera: Tephritidae) in Navel Orange by forced hot air. *J. Econ. Entomol.* 89, 1181-1185
 27. Fallik, E., Klein, J., Grinberg, S., Lomaniec, E., Lurie, S. and Lalazar, A. (1993) Effect of postharvest heat treatment of tomatoes on fruit ripening and decay caused by *Botrytis cinerea*. *Plant Dis.* 77, 985-988
 28. Lydakis, D. and Aked, J. (2003) Vapor heat treatment of Sultanina table grapes. II : Effect on postharvest quality. *Postharvest Biol. Technol.* 27, 117-126
 29. Vincente, A.R., Martinez, G.A., Civello, P.M. and Chaves, A.R. (2002) Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biol. Technol.* 25, 59-71

(접수 2004년 8월 16일, 채택 2004년 9월 10일)