

온도조건에 따른 단감의 호흡특성 및 포장재 조건 선정

김환기¹ · 김해진¹ · 안덕순¹ · 안광환² · 이동선^{1,†}

¹경남대학교 식품생명학과, ²경남농업기술원 단감연구소

Respiration of Fresh Sweet Persimmon and Its Use for Packaging Film Selection

Hwan Ki Kim¹, Hae Jin Kim¹, Duck Soon An¹, Gwang-Hwan Ahn², and Dong Sun Lee^{1,†}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, 449 Wolyoung-dong, Masan, 631-701, Korea

²Sweet Persimmon Research Institute, 262-1, Wodong-ri, Jinyoung-up, Gimhae, 621-801, Korea

ABSTRACT Respiration and quality of persimmon fruits were monitored through the storage at 0, 5, 15 and 25°C. Respiration rate data at different temperatures were used for determining the O₂ and CO₂ permeabilities required to maintain the optimal package atmosphere (1~3% O₂, 4~7% CO₂). The estimated gas permeabilities were then compared to those of available plastic films for examining their potential application at various temperature conditions. O₂ consumption and CO₂ production were at similar order and leveled at stable value after initial time span with higher rates measured at higher temperatures. Major quality indexes during storage were observed to be ascorbic acid content change and firmness destruction with the most significant changes at 25°C. Higher O₂ and CO₂ permeabilities were required at higher temperatures, and common plastic films were shown to be unable to satisfy those requirements. Films or devices of high permeation property such as silicone rubber or microporous film may be combined to increase the permeation properties satisfying the required high gas permeabilities.

서 론

단감은 우리나라에서 보편적으로 저밀도폴리에틸렌을 사용하여 환경기체조절포장(modified atmosphere packaging, MAP)로 저장되고 판매되어 오고 있다. 이 기술에 의하여 가을에 수확된 단감이 다음 해 2월까지 저장되고 유통되게 되었다. 우리나라에서 이 기술의 본격적인 도입은 1970년대에 한국 단감에 대한 적용의 효과가 확인된 이후부터이다^{1,2)}. 현재 우리나라에서 단감의 관행적 포장은 5개 단위로 0.06~0.08 mm 두께의 폴리에틸렌 필름봉지로 이루어져서 0°C 부근에서 저장되다가 그대로 외기조건의 판매환경에 노출되어 판매되고 있다. 냉장저장된 이러한 필름 포장에서 내부에 변형기체(modified atmosphere, MA)가 형성되어 산소 농도 1~12%, 이산화탄소 농도 3~8%를 안정상태에서 얻는 것으로 보고되고 있다¹⁻⁵⁾. 얻어지는 변형기체는 후변을 방지하고 연화와 품질변화를 지연시키는 긍정적

인 효과를 갖는 것으로 알려져 있다. 신선 원예산물의 포장에서 얻어지는 최적의 변형기체는 산물의 호흡과 포장필름을 통한 투과의 상호작용에 의하여 결정되는 것으로 알려져 있으며, 포장조건변수로는 포장단위, 표면적, 포장필름의 종류와 두께 등이 관여하게 된다⁶⁾.

그런데, 포장된 단감은 저온에서의 저장기간 중에는 품질 보존에 적절한 변형기체조성을 유지하지만, 저장과 수송 유통 중에는 온도관리가 적절치 못하거나 높은 외기 온도에 노출되고⁷⁾, 이로 인하여 호흡이 증가하므로 많은 경우 포장내부에 산소의 고갈과 높은 CO₂의 축적을 가져와서 갈변 등의 생리장해를 가져오기가 쉽다⁸⁾. 최적의 포장이라면 이러한 유통 조건에서도 최적 기체조성을 유지할 수 있는 시스템이어야 하지만, 현실적으로 이러한 단계까지 이르지 못하고 있는 형편이다. 장기적으로 이러한 범용 온도조건에서 적용되는 포장 시스템의 설계를 위해서는 포장필름의 조건과 과실의 호흡특성 정보 등이 적절히 분석될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 0~25°C의 넓은 온도범위에서 단감의 호흡특성을 측정하고, 적정기체조성을 유지할 수 있는 포장재의 조건을 검토하였다.

[†]Corresponding Author : Dong Sun Lee
Department of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University,
449 Wolyoung-dong, Masan, 631-701 Korea
E-mail : <dongsun@kyungnam.ac.kr>

재료 및 방법

부유 품종 단감으로 경남 진영 단감연구소에서 2008년 11월 5일에 과실적도부위가 황색을 띠는 중숙 상태에서(무게 190~210 g) 수확된 과일을 3.5 L 아크릴 병(직경 17 cm × 높이 20.5 cm)에 4~5개씩 넣어 0, 5, 15, 25°C 각 온도 아래에서 밀폐하고 경시적으로 O₂ 및 CO₂ 농도를 측정하여 그 기율기에 빈공간 부피를 곱하고 단감 무게로 나누어 호흡속도를 측정하였다. 예비실험에서 단감의 호흡에 의한 O₂ 및 CO₂ 농도변화는 거의 직선적으로 변하여 단감의 호흡이 O₂ 및 CO₂ 농도에 따라 크게 의존하지 않은 것을 확인하여서(Fig. 1), CO₂ 농도 축적이 약 4% 정도에 이를 때까지의 기율기로부터 호흡속도를 결정하였다. 호흡측정을 하지 않은 기간에는 아크릴 병을 개방하여 두어서 상압 공기 조건에서의 저장과 비슷하게 유지하였다. 용기 내 O₂ 및 CO₂ 농도의 측정을 위해서 헤드스페이스 1 mL를 기밀성 syringe로 샘플링하여 Alltech CTR I column (Alltech Associates Inc., Deerfield, IL, USA)과 열전도도 detector가 장착된 Varian Model 3800 gas chromatograph (Varian Inc., Palo Alto, CA, USA)에 주입하였으며, column 온도 50°C, injection 온도 80°C, detector 온도 95°C 조건을 유지하고 carrier gas로는 He(30 mL/min)를 사용하였다.

각 온도 조건에서 저장하면서 저장시간에 따른 호흡의 변화를 측정함과 아울러 단감을 동일한 조건에서 저장하면서 단감의 색도, 경도, ascorbic acid 함량을 측정하였다. 단감의 표면색도의 측정을 위해서는 과실 적도부를 색차계(JC801, Color Techno System Corporation, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하고 L, a, b값으로 표시하였다. 단감 숙성에서 색택의 진행도를 보기 위하여 측정된 L, a, b값을 사용하여 색택지수(color index, 1000a/(Lb))로 변환하여⁹⁾ 경시적 변화를 살펴보았다. 과실의 경도는 단감을 1/2로 절단하여 각각의 적도 중심 부분 2곳을 1 mm의 두께로 외피

를 제거하고 Rheometer Compac-100 (Sun Scientific Co., LTD, Japan)을 이용하여 직경 3 mm의 plunger를 60 mm/min의 속력으로 침투시킨 후 항복점 이후에 측정된 평균 저항값을 과실의 경도값으로 표시하였다. Ascorbic acid함량은 AOAC 방법¹⁰⁾에 준하여 단감 시료 10g을 metaphosphoric acid 용액으로 마쇄하여 추출한 후 여과지로 여과하여 적절히 희석하여 0.025% 농도의 2,6-dichloroindophenol 용액으로 적정하였다. 경도와 색택은 각 저장시기마다 6개의 과일에 대해서 측정하였고, ascorbic acid 함량은 3개 과일을 반복 조건으로 하였다.

온도조건에 따른 호흡률의 결정에 따라 각 온도에서의 적정포장 기체조성을 얻기 위한 포장필름의 투과도를 다음 식(1)과 (2)에 따라 계산하였다.

$$\frac{SP_{O_2}(0.21 - [O_2]/100)p}{L} = WR_{O_2} \quad (1)$$

$$\frac{SP_{CO_2}([CO_2]/100 - 0.0)p}{L} = WR_{CO_2} \quad (2)$$

여기서 [O₂]와 [CO₂]는 각각 포장 내 산소와 이산화탄소 농도(%), S는 포장 표면적 (m²), P_{O₂}와 P_{CO₂}는 각각 O₂ 및 CO₂에 대한 기체투과도 계수(mL μm h⁻¹ m⁻² atm⁻¹), p는 상압(1 atm), R_{O₂}와 R_{CO₂}는 각각 O₂ 소비와 CO₂ 생산의 호흡률(mL kg⁻¹ h⁻¹)이다. 단감의 최적 MA 조성은 O₂ 농도 1~3%, CO₂ 농도 4~7%이므로^{5, 11)} 이 조건을 포장 내에서 생산할 수 있는 P_{O₂}와 P_{CO₂}를 각각 식(1)과 (2)에 의하여 구하였다. 현재 일반적으로 사용되는 포장이 5개 단위 포장이므로 중숙과 평균 무게로 223 g 과일 5개가 60 μm 두께의 플라스틱 필름(14 × 36 cm)의 봉지에 포장되는 조건에 대해서 요구되는 기체투과도 계수를 구하였고, 이를 실제의 플라스틱 필름의 기체투과도 계수값과 비교하여 현실적인 포장설계의 가능성과 한계를 파악하고자 하였다.

결과 및 고찰

Fig. 2에서 단감 호흡의 경시적 변화를 보여주고 있다. 25°C에서는 초기 약간의 증가를 보인 후에 서서히 감소하였고, 15°C에서는 초기부터 값에서 약간의 감소 후 일정한 수준을 유지하였다. 0°C와 5°C에서는 현저히 낮은 값으로 시간에 따라 그다지 큰 변화를 보이지는 않았고, 5°C에서 약간의 증가경향을 보여주고 있었다. 그리고 O₂ 소비와 CO₂ 생산은 거의 비슷한 값과 변화경향을 보여주었다. Takada^{12, 13)}에 의하면 충분히 성숙된 단감은 호흡에서 비교적 상당 기간 일정한 속도를 유지한다고 하였는데, 본 연구의 결과도 이와 상응하는 것으로 생각된다. Fig. 3에서는 저장 중

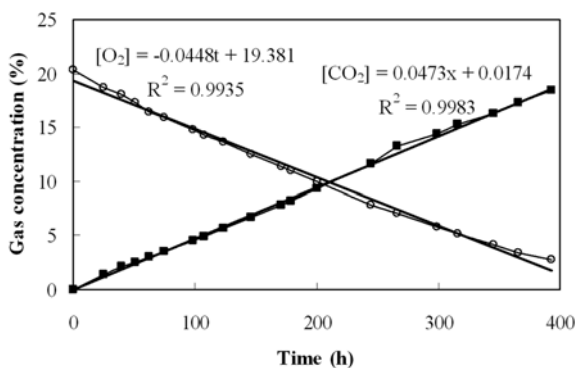


Fig. 1. Typical gas concentration change of the acrylic jar containing persimmon fruits. ○: O₂; ■: CO₂. Four fruits weighing 841g was placed in the jar with free volume of 2610 mL at 5°C.

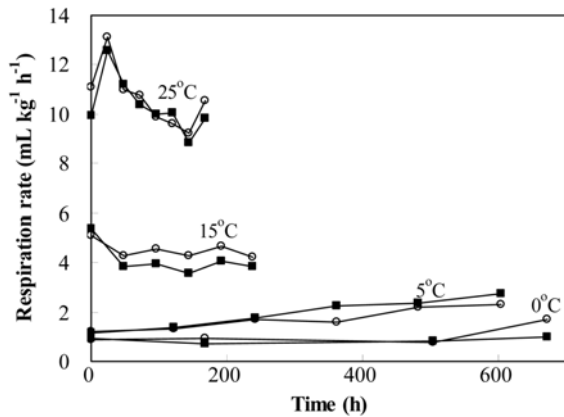


Fig. 2. Respiration rate of persimmon fruits stored at different temperatures. ○: O₂ consumption; ■: CO₂ production.

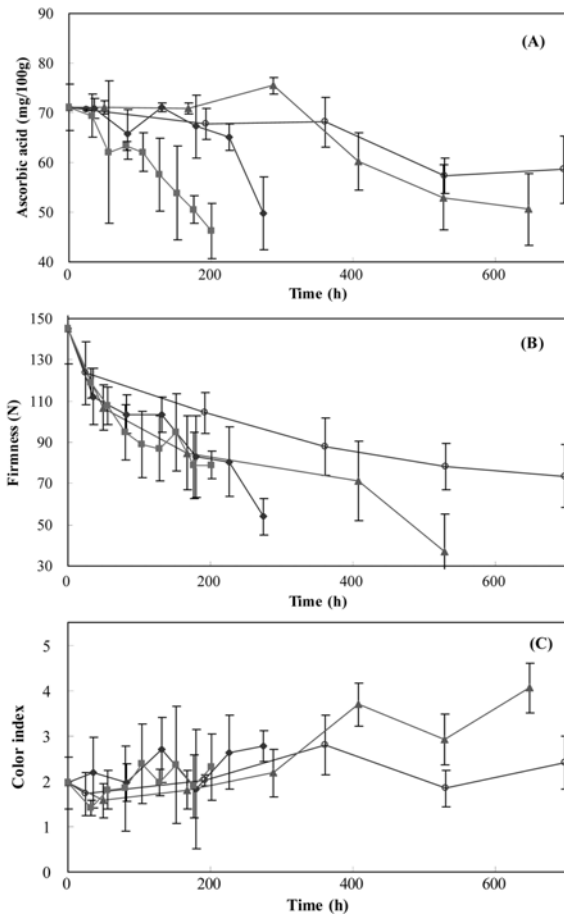


Fig. 3. Ascorbic acid retention (A), firmness (B) and color index (C) of persimmon fruits stored at different temperatures. ○: 0°C; ▲: 5°C; ◆: 15°C; ■: 25°C. Vertical bars are standard deviations (n = 3 for ascorbic acid, n = 24 for firmness and n = 6 for color).

단감의 품질변화를 보여주고 있으며, 25°C에서 급격한 ascorbic acid 파괴와 경도 감소를 관찰할 수 있었다. 15°C

이하에서도 온도차이에 따라 품질변화에서 차이가 나지만 그 차이는 25°C 저장의 경우와 비교하면 상대적으로 크지 않았다. 이는 다시 한번 유통 중 단감 포장의 온도관리에서 저온조건의 범위에서 유지되지 않으면 품질변화가 심각하게 일어날 수 있는 점을 보여주는 것이다. 저장 중 표면 색택의 변화는 L값이 약간 감소하고 a값이 약간 증가하여 색택지수는 완만히 증가하는 경향을 보여주었다(Fig. 3).

위의 Fig. 1 에서 포장기체 조성에 대해서 비교적 일정한 호흡으로 가정할 수 있는 점을 감안하고, Fig. 2에서 수확 직후 이후에는 호흡률의 변화가 크지 않은 점을 고려하여 온도 별 포장조건에 대한 분석을 실시하였다. Fig. 2에서 초기 이후의 평균적 호흡속도로써 산소 소비는 0, 5, 15, 25°C에서 각각 1.075, 2.249, 4.410, 10.081 mL kg⁻¹ h⁻¹, 이산화탄소 생산은 0.865, 2.557, 3.862, 10.142 mL kg⁻¹ h⁻¹ 을 얻고 이를 식 (1)과 (2)에 대입하여 요구되는 P_{O₂} 와 P_{CO₂} 를 얻었다(Fig. 4). 그리고 각 온도에서의 플라스틱 필름의 기체투과도를 문헌으로부터 구하여 함께 대비시켰다. 즉, Yam 과 Lee⁶⁾의 의해 10°C에서의 O₂ 및 CO₂ 투과도가 Arrhenius 방정식 활성화 에너지와 함께 제시되어 있어서, Arrhenius 방정식을 사용하여 여러 온도조건에서의 투과도를 계산하였다. Fig. 4에서 보면 온도가 높을수록 요구되는 P_{O₂} 와 P_{CO₂} 는 증가하였고, P_{CO₂} 의 요구 범위가 조금 더 넓게 나타나고 있다.

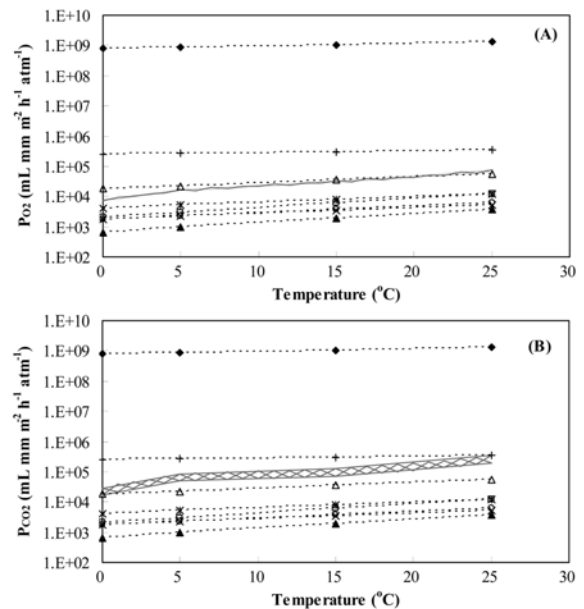


Fig. 4. Required range of (A) and (B) (netted area between solid lines) compared with plastic film gas permeabilities (dotted line) for the 5 fruits package with 60 μm thick film. △: polybutadiene; ×: low density polyethylene; *: linear low density polyethylene; ▲: cast polypropylene; □: ethylene vinyl acetate; ○: ceramic filled polystyrene; +: silicone rubber; ◆: microporous film.

Fig. 4에서 보듯이 기체투과도가 아주 높은 silicone rubber와 미세공성 필름(microporous film)은 적정 포장기체 조성 유지를 위한 기체투과도의 요구범위보다 높은 것으로 나타나고, polybutadiene은 비교적 요구범위와 근접한 것으로 보인다. 이들을 제외한 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스티렌, 폴리비닐아세테이트 계열의 모든 범용성 플라스틱 필름은 요구범위보다 낮은 기체투과도를 가지고 있음을 보여주고 있다. 온도가 높은 조건에서는 요구되는 기체투과도 범위와 이들 범용 플라스틱 필름의 투과도 값과의 차이는 더욱 큰 것으로 나타난다. Polybutadiene은 고무와 같은 물성으로 인해 전체 포장에 온전히 사용하기는 어려운 물성을 가지고 있음을 감안할 때, 현실적으로 많이 사용되는 플라스틱 필름을 사용해서 적정기체조성을 얻기는 어려운 것으로 판단된다. 즉, 기체투과도 값에서 충분하지 못한 것으로 생각된다. 현재 통상적으로 쓰이는 저밀도 폴리에틸렌 (low density polyethylene, LDPE) 필름도 0°C에서도 기체투과도 값이 충분치 못함을 보여주고 있었다. 이는 실제의 사용되는 LDPE 포장도 열접착으로 완전히 밀봉하지 않고 결속으로 제어하여 결속부분을 통하여 일부의 기체가 투과되게 운용되는 이유이기도 할 것이다¹¹⁾. 하지만 이러한 손결속 포장방법은 사람마다 묶음 등에서 차이가 많이 나서 일정한 포장조건을 얻는 데에 한계가 있어서 개선될 필요가 있다.

Fig. 4의 결과를 폴리에틸렌 필름을 사용하는 현실적인 포장조건설계에 적용한다면, 단감의 포장에서는 포장의 모양이나 필름 두께 등에서 약간의 변형을 가져서 높은 기체투과 효과를 얻을 가능성이 있겠지만, 그 범위가 넓지 않기 때문에 여러 온도를 포괄하기에는 어려울 것으로 보인다. 따라서 최적의 기체조성을 얻는 포장조건을 만족하기 위해서는 투과도가 매우 큰 silicone rubber나 미세공성 필름을 일부 결합하는 것이 높은 현실적 가능성을 가진 것으로 보인다. 이미 일부 신선 원예산물의 포장에서 이러한 원리를 적용시킨 예가 있으므로¹⁴⁻¹⁶⁾, 앞으로 이러한 방향으로 계속적인 포장 최적화의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 호흡률에 대한 기체조성의 영향을 고려하지 않은 점에서 단순화된 분석이라는 점을 주의할 필요가 있다. 호흡은 산소 농도 감소나 이산화탄소 농도 증가에 따라 감소하며, 포장설계에서는 이에 대한 고려가 필요하다⁶⁾. 그리고 이러한 호흡의 감소를 통한 신선도 유지가 플라스틱 필름에 의한 MAP의 주된 목적의 하나이기도 하다. 따라서 포장조건 설계를 위한 보다 정확한 분석은 MA 조건에서의 호흡감소를 감안할 때 가능할 것이다. 기체조성에 따른 호흡률의 변화를 고려하지 않은 본 연구의 분석은 이러한 점에서 한계를 가진다. 하지만 앞의 Fig. 1에서 직선적인 O₂와 CO₂ 농도의 변화로부터 관찰된 바와 같이 호흡률의 MA에 대한 의존성이 크지 않은 점을 고려한다면

여러 온도조건에서 적용될 수 있는 단감 포장의 포괄적 문제를 단순화하여 살펴본 점에 의미를 찾을 수 있을 것이다. 단감의 호흡률의 MA 의존성을 검토한 Ahn과 Lee¹⁷⁾의 결과에 의하면 0°C에서 O₂ 2%/CO₂ 5% 농도에서의 호흡은 상압 공기중의 호흡에 비해서 2% 정도만 낮은 것으로 나타나고 있다. 이러한 면에서 단감의 MAP에서는 호흡률의 감소보다는 적정 MA 조건에서 흑변 발생 감소와 연화 지연이 강조되고 있는 것으로 보인다^{5, 11)}. 이런 점에서 볼 때, 본 연구의 접근은 약간 정확성이 결여되지만 문제를 단순화하여 실용적 의미를 간단명료하게 제시할 수 있는 장점을 가진다.

요 약

0, 5, 15, 25°C의 네 온도에서 단감의 경시적 호흡과 품질변화를 측정하고, 호흡률로부터 최적포장 기체조성을 유지할 수 있는 산소 및 이산화탄소 투과도의 범위를 계산하고 이용가능한 플라스틱 필름의 기체투과도 값과 대비하여 다양한 온도조건에서 적용할 수 있는 포장필름의 요건을 검토하였다. O₂ 소비와 CO₂ 생산은 온도에 따라 크게 증가하였고 서로간에 거의 비슷한 수준을 유지하였고, 초기를 지나면서 일정한 수준을 나타내었다. 저장 중 주요 품질 변화로는 ascorbic acid 함량변화와 경도 감소가 두드러졌으며, 25°C에서가 다른 온도에 비하여 현저하였다. 온도가 높을수록 요구되는 O₂ 및 CO₂ 투과도는 증가하였고, 보편적인 플라스틱 필름은 요구수준의 기체투과도를 제공하기에 부족하였다. 여러 온도 조건에서 적용될 수 있는 포장조건을 만족시키기 위해서는 silicone rubber나 미세공성 필름과 같은 고무과성 필름이나 도구의 결합적 설계가 필요한 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원으로, 단감수출연구사업단 연구의 일부로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Min, B.Y. and Oh S.L. 1975. Studies on the CA storage of sweet persimmon in polyethylene pack. Korean J. Food Sci. Technol. 7: 128-134.
2. Shon, T.W., Choi J.U., Seog H.M., Choi R.K., Seo O.S., Kim S.T., Ha Y.S. and Kang J.H. 1978. Studies on the utilization of persimmons-Part 6 Investigation of optimum thickness of film bag for polyethylene film storage of Fuyu. Korean J. Food Sci. Technol. 10: 78-82.

3. Park, Y.S., Na T.S. and Lee K.M. 1997. Effects of O₂ and CO₂ treatments within polyethylene film bags on the fruit quality of non-astringent 'Fuyu' persimmon fruits during storage. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38: 510-515.
4. Lee, E.-J. and Yang Y.-J. 1997. Postharvest physiology and storage disorders affected by temperature and PE film thickness in 'Fuyu' persimmon fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38: 516-519.
5. Ahn, G.-H., Song W.-D., Park D.-S., Lee Y., Lee D.S. and Choi S.-J. 2001. Package atmosphere and quality as affected by modified atmosphere conditions of persimmon (*Diospyros kaki*, cv. Fuyu) fruits. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 200-204.
6. Yam, K.L. and Lee D.S. 1995. Design of modified atmosphere packaging for fresh produce. In: *Active Food Packaging*. Rooney, M.L. (ed). Blackie Academic & Professional, London, pp. 55-73.
7. Ahn, G.-H. and Lee D.S. 2009. Packages of persimmons exported from Korea to USA and temperature conditions during their sea transport. *J. Korea Soc. Packag. Sci. Tech.* 15: 17-24.
8. Ahn, G.H., Song W.D., Chol S.J. and Lee D.S. 2004. The association of post-storage physiological disorder incidence with respiration and ethylene production in 'Fuyu' persimmon fruits. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 283-287.
9. Salvador, A., Arnal L., Besada C., Larrea V., Quiles A. and Perez-Munuera I. 2007. Physiological and structural changes during ripening and deastringency treatment of persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante'. *Postharvest Biol. Technol.* 46: 181-188.
10. AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. Vol. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA, pp. 45-16.
11. Lee, Y.-J. 2001. Discoloration disorder as influenced by sealing methods of PE Film bag in MAP storage of 'Fuyu' persimmon fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42: 721-724.
12. Takada, M. 1967. Changes of respiration rate during development and ripening of Japanese persimmon and tomato fruits. *J. Japanese Soc. Hort. Sci.* 36: 357-362.
13. Takada, M. 1983. Respiration, ethylene production and ripening of Japanese persimmon fruit harvested at various stages of development. *J. Japanese Soc. Hort. Sci.* 36: 357-362.
14. Mannapperuma, J.D. and Singh R.P. 1994. Modeling of gas exchange in polymeric packages of fresh fruits and vegetables. In: *Minimal Processing of Foods and Process Optimization*. Singh, R.P. and Olivera F.A.R. (eds). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 437-458.
15. Nichols, R. and Hammond J.B.W. 1975. The relationship between respiration, atmosphere and quality in intact and perforated mushroom pre-packs. *J. Food Technol.* 10: 427-435.
16. Yun, J.H., An D.S., Lee K.-E., Jun B.S. and Lee D.S. 2006. Modified atmosphere packaging of fresh produce using microporous earthenware material. *Packag. Technol. Sci.* 19: 269-278.
17. Ahn, G.-H. and Lee D.S. 2004. Enzyme kinetics based modeling of respiration rate for 'Fuyu' persimmon fruits. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 580-585.