

온도 및 수확시기에 따른 청매실의 호흡특성 변화

홍석인 · 차환수 · 박종대 · 조재선*
한국식품개발연구원, *경희대학교 식품가공학과

Respiratory Characteristics of Japanese Apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc) Fruits as Influenced by Storage Temperature and Harvesting Period

Seok-In Hong, Hwan-Soo Cha, Jong-Dae Park and Jae-Sun Jo*

Korea Food Research Institute

*Department of Food Science and Technology, Kyung Hee University

Abstract

The respiratory characteristics of 'Nanko' Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc) fruits as influenced by storage temperature and harvesting period were investigated in order to provide the fundamental data for extending its freshness during storage. The instantaneous respiration rates decreased linearly as the oxygen concentration decreased. Regardless of storage temperature, little difference was observed between the rates of oxygen consumption and carbon dioxide evolution until the oxygen concentration reached to the limit of aerobic respiration. The respiratory quotients were maintained near 1.0 before the limit oxygen concentrations of 8, 10 and 17% at 25, 10 and 0°C, respectively. The respiration rates increases with storage temperature, following the Arrhenius equation. The activation energies for oxygen consumption and carbon dioxide evolution were 67.4 KJ/mol and 73.0 KJ/mol. During the harvesting period of the 64th to 92th day after blooming, the respiration of Japanese apricot fruits increased to the climacteric maximum rates of oxygen consumption of 58.7 mL/h·kg and carbon dioxide evolution of 63.6 mL/h·kg at the 78th day, and thereafter decreased significantly.

Key words: Respiration, Japanese apricot, fruits and vegetables, climacteric, freshness

서 론

매실(*Prunus mume* Sieb. et Zucc)은 *Prunus Linn*속 에 속하는 핵과류로서 일찍이 중국과 일본에서는 건조 또는 절임 형태의 약용, 가공 식품, 염료 등으로 사용되었다(黒上泰治, 1967). 우리 나라에서는 삼국시대에 관상용으로 전래되어 고려중엽 이후 약용으로 열매를 이용하여 왔으며 주 재배지역은 전남북 및 경남북, 충청 일부지역에 국한되고 있으나 최근에는 생산량이 점차 증가하는 추세이다(김의부, 1995). 매실의 약리효능으로는 항균 및 항알러지 작용, 정혈작용에 의한 약알카리성으로의 체질개선효과가 있다고 알려졌다 뿐만 아니라 고혈압, 당뇨, 설사, 숙취제거는 물론 식이섬유에 의한 변비예방 등에도 효과가 탁월하

다고 알려져 있다(松本紘劑, 1983).

한편 매실은 청과 유통과 자체 생식(生食)이 불가능한 가공전용 과실로서 품종, 재배지역, 가공목적에 따라 다소 차이는 있으나 대체로 5월말에서 7월초에 수확한다. 생육·성숙과정에 있어서 매실은 초기에 과실 증량과 크기가 급격히 증가하고 그 이후 씨가 갈변되는 시점까지 생육이 일시 정체를 보이다가 다시 과육부의 비대가 낙하 직전까지 계속되어 다른 핵과류나 포도 등에서 나타나는 S자형 생육곡선을 나타낸다(Inaba and Nakamura, 1981). 일반적으로 매실은 다른 과일과는 달리 미숙한 상태에 있는 청매실을 수확하기 때문에 후숙이 대단히 빠르고 수확후 호흡열이 많은 작물로서 수확기간이 짧을 뿐만 아니라 수확후 상온에서 3-4일 내에 과실의 색상이 황색으로 변하면서 조직이 급격히 연화되므로 수확후 즉시 예냉 등의 방법으로 호흡열을 제거할 필요가 있다. 그러나 청매실은 0-1°C의 저온보다 오히려 5-8°C의 중간온도에서

저온장해가 발생되기 쉽다고 알려져 있는데(Iwata and Ogata, 1976), 이러한 측면에서 청매실은 수확직 후에 0°C 정도의 냉수로 급속히 품온을 저하시키면 저온장해가 경감되고 추속도 억제된다고 보고되었다(後昌弘 등, 1984).

청매실의 저장 중 선도유지를 위한 연구로는 CA 저장(Kazi et al., 1991; Koyakumaru et al., 1994), 폴리에틸렌 필름을 이용한 MA 포장(淺見逸夫, 1989), 에틸렌 제거제 첨가 포장(Miyazaki, 1983; Osajima et al., 1987; Zhang et al., 1991; Zhang et al., 1993) 등이 보고된 바 있으며, 이들 연구결과에 따르면 상온에서 산소농도 5~8%, 이산화탄소농도 10~15%의 포장내 기체조성 또는 저장조건일 때 청매실의 황화 및 추속 억제가 가능하였고 에틸렌 제거제를 밀봉 포장구에 병용하였을 경우 선도유지 효과가 현저하게 증가하였다고 한다. 이와 같이 일본에서는 청매실의 저장 중 선도유지에 관한 연구가 상당히 진전되어 있으나, 국내에서는 국산 매실에 대한 연구자료가 비교적 많지 않고 일부 보고된 자료도 숙성중 성분변화(문재식, 1994; 송보현 등, 1997)나 약리효과(이태훈, 1988) 등에 국한되어 있어 신선도 연장 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 생체 과채류의 저장 중 신선도 유지기술 개발에 필요한 기초 자료로 활용하고자 청매실의 저장 온도 및 수확기별 호흡생리특성을 고찰하였다.

재료 및 방법

재료

매실은 전남 해남군 산이면에 위치한 (주)보해매원에서 만개 이후 64일부터 92일까지 7일 간격으로 동일수목에서 수확시기를 달리하여 채취한 남고(Nanko) 품종의 청매실을 실험 재료로 사용하였다. 수목에서 채취한 청매실은 보냉용기에 담아 이송하였으며 실험 장소에 도착한 후 0°C의 저장실에서 하룻동안 예냉시킨 다음 실험에 사용하였다.

호흡율 측정

매실의 호흡율은 밀폐 시스템(Lee, 1987)으로 측정하였다. 즉, 뚜껑에 실리콘 격막이 장착된 유리용기(1.9 L)내에 전체 체적의 1/2 정도 분량인 450 g의 매실을 넣고 밀봉한 후 0, 10, 25°C로 일정하게 온도가 유지되는 저장실에 보관하면서 경시적으로 용기내의 기체조성을 GC (Shimadzu GC-14A, Japan)로 분석하여 매실의 호흡량과 호흡속도를 계산하였다. 이에 사

용된 GC의 분석조건은 detector: TCD, column: Alltech CTR I, column temp.: 35°C, injection temp.: 60°C, detector temp.: 60°C, carrier gas: He 60 mL/min으로 하였다. Gas-tight syringe (Hamilton #1001, USA)를 이용하여 밀폐 유리용기에서 채취한 기체를 200 µL씩 GC injector에 주입한 다음 이로부터 얻은 크로마토그램으로 기체조성을 분석하였다. 저장 온도별 기체조성 변화 결과를 바탕으로 각 측정 시간간격에 대한 기체량의 평균 증감율($\Delta[O_2]/\Delta t$ 및 $\Delta[CO_2]/\Delta t$)을 계산하여 이를 해당 구간의 순간 호흡속도로 나타내었다.

결과 및 고찰

온도에 따른 호흡량 변화

신선한 과일이나 채소는 살아 있는 생체이므로 수확후에도 기본적인 대사유지를 위하여 호흡작용을 지속한다. 이러한 호흡은 당이나 기타 기질이 효소에 의해 단계적인 변화를 거쳐 에너지로 전환되는 과정으로 과채류의 수확후 저장 및 유통과정에서 체내에 축적된 저장물질이 호흡의 기질로 소모되므로서 조직감과 같은 품질이 저하되고 이산화탄소 및 호흡열이 발생한다(Ryall and Lipton, 1979). 생체 자체의 대사유지를 위하여 호흡은 반드시 필요하지만 과채류의 저장 및 신선도 유지라는 측면에서 호흡은 수확후 품질변화에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. Fig. 1은 청매실의 호

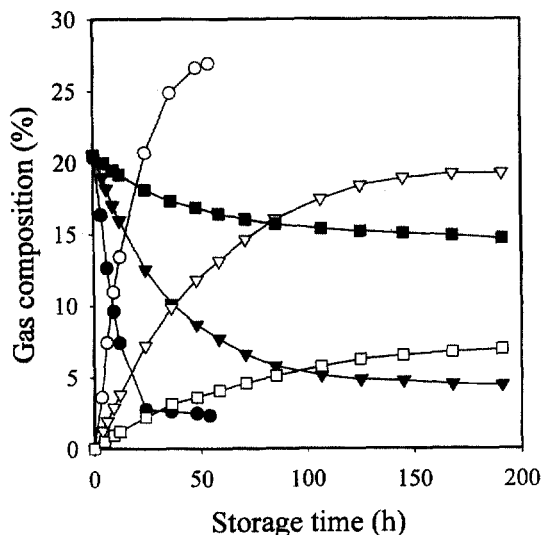


Fig. 1. Changes in gas composition of 'Nanko' Japanese apricot fruits during storage at different temperatures. Open Symbols: oxygen, closed symbols: carbon dioxide. ●—●, ○—○: 25°C; ▼—▼, ▽—▽: 10°C; ■—■, □—□: 0°C

흡특성을 살펴보기 위하여 온도조건에 따른 밀폐 시스템에서의 기체조성 변화를 경시적으로 나타낸 것이다. 우선 25°C에서 청매실의 호흡에 따른 기체조성의 변화를 보면 저장후 24시간만에 산소농도가 약 3%까지 급격히 감소한 후 일정해졌으나, 이산화탄소는 선형적으로 증가하다가 25% 이상에서 완만해지는 경향을 나타내었다. 이러한 산소 감소 및 이산화탄소 증가의 경향은 온도가 낮은 경우에도 그대로 유지되어 10°C에서는 저장후 100시간만에 산소농도가 약 5% 수준으로 감소된 다음 일정하게 유지되었고 0°C에서는 120 시간 이후 약 15% 정도로 일정해지는 결과를 나타내었다.

온도에 따른 호흡율 변화

기체조성 변화의 결과로부터 청매실의 순간 호흡율을 계산하여 각 온도별로 산소농도에 따른 호흡율 변화를 살펴본 바 Fig. 2~4에 나타낸 것과 같다. 그림에서 보듯이 25°C에서 청매실의 호흡율은 초기 호흡율이 얼마간 상승한 후 산소농도가 감소할수록 일정하게 감소하는 경향을 나타내었으며, 산소농도 8%까지는 산소 소모율이나 이산화탄소 증가율간의 차이를 거의 구분할 수 없었다. 10°C의 경우에도 초기 호흡율이 다소 상승하였다가 산소농도가 감소함에 따라 일정한 기울기로 감소하는 경향을 나타내었으며, 0°C에서는 초기부터 산소농도에 비례하여 호흡율이 감소하였다. 특히 25°C와 10°C에서 초기 호흡율이 다소 증가한 것은 충분한 온도 평형시간(약 3~4시간)을 두었음

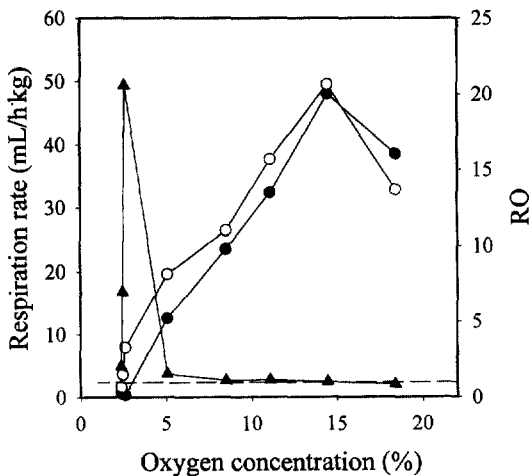


Fig. 2. Changes in respiration rates of 'Nanko' Japanese apricot fruits as a function of oxygen concentration during storage at 25°C. ●—●: O₂ consumption rate, ○—○: CO₂ evolution rate, ▲—▲: Respiratory quotient

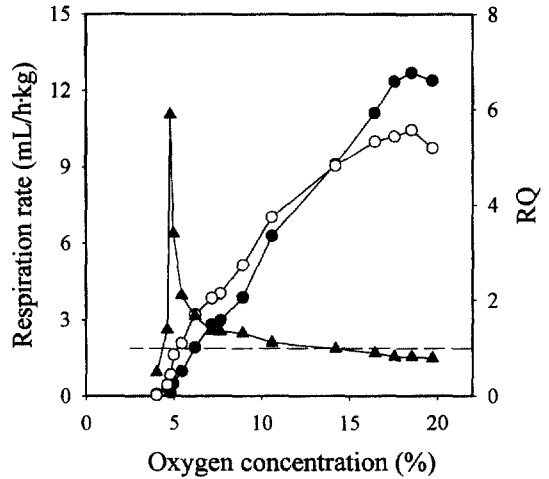


Fig. 3. Changes in respiration rates of 'Nanko' Japanese apricot fruits as a function of oxygen concentration during storage at 10°C. ●—●: O₂ consumption rate, ○—○: CO₂ evolution rate, ▲—▲: Respiratory quotient

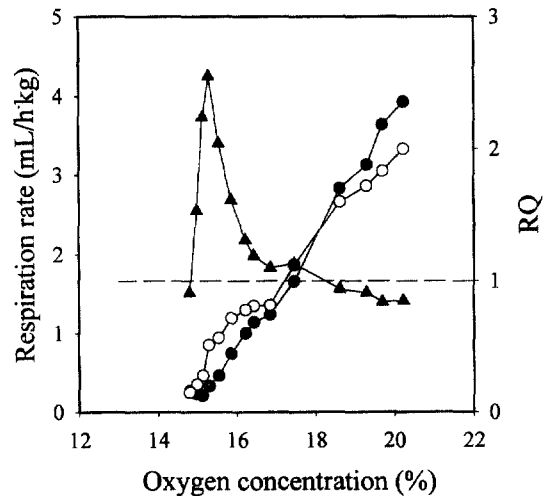


Fig. 4. Changes in respiration rates of 'Nanko' Japanese apricot fruits as a function of oxygen concentration during storage at 0°C. ●—●: O₂ consumption rate, ○—○: CO₂ evolution rate, ▲—▲: Respiratory quotient

에도 불구하고 예냉(0°C) 후 실험에 사용한 청매실의 품온이 호흡율을 측정하는 실제 온도에 완전하게 도달하지 않은 상태에서 측정을 시작하였기 때문으로 판단된다. 따라서 각 온도에서 청매실의 실질적인 평균 호흡율은 초기값보다 최대값을 나타내는 점이 더 정확할 것으로 생각되어 이후 자료분석시 해당 온도의 호흡율 최대값을 평균 호흡율로 활용하였다.

한편 호흡을 통해 생성되는 이산화탄소량(생성율)과

소비되는 산소량(소비율)의 비율 호흡계수(RQ)라 하며, 일반적으로 호기성 호흡일 경우 RQ 값은 0.7~1.3 범위이고, 1.3 이상의 높은 RQ 값은 혐기성 호흡을 나타낸다. 이는 탄수화물이 호흡기질인 경우에만 에너지의 생성을 위해 산소의 소모와 이산화탄소의 발생이 동등한 비율로 이루어지는 반면, 지질이나 유기산과 같은 다른 기질을 이용할 경우 이 비율은 달라질 수도 있다(이승구, 1996). 각 온도별로 RQ 값의 변화 추이를 살펴보면 25°C에서는 산소농도 8%까지 RQ 값이 약 1.0으로 유지되다가 그 이하에서 급격히 상승한 후 감소하였고, 동일한 양상으로 10°C와 0°C에서는 각기 산소농도 10%와 17%까지 RQ 값이 약 1.0으로 유지되다가 그 이하에서 급격히 증가한 후 감소하였다. 이와 같이 RQ 값이 1.0으로 유지되는 최저 산소농도는 각 해당 온도에서 호기성 호흡이 가능한 한계 산소농도를 의미한다고 볼 수 있으며, 청매실의 경우 온도별로 8~17% 범위의 산소농도에서 호기성 호흡이 억제된다는 사실은 호흡에 필요한 산소가 절대적으로 부족하다기보다는 5~25% 이상의 고농도 이산화탄소가 호흡대사에 영향을 미쳐 호흡장애를 유발하였기 때문으로 생각된다.

잘 알려진 바와 같이 과채류의 신선도 유지에 있어 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 저장 온도로서 온도에 따라 호흡 등의 생체내 대사속도가 크게 좌우되는데 청매실의 경우에도 전체적으로 온도가 높아질수록 평균 호흡율이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 이러한 온도와 평균 호흡율과의 상관관계는 Fig. 5에 나타

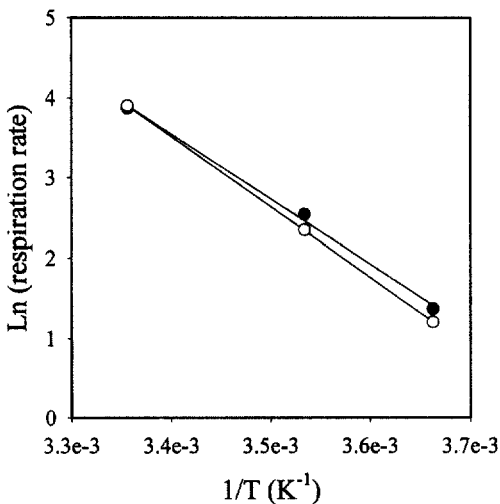


Fig. 5. Arrhenius plot of respiration rates of 'Nanko' Japanese apricot fruits. ●—●: O₂ consumption rate, ○—○: CO₂ evolution rate.

낸 바와 같이 Arrhenius 방정식을 따르는 것으로 확인되었다. 이로부터 얻은 청매실의 산소 소비율과 이산화탄소 생성율에 대한 활성화에너지(E_a)는 각기 67.4 KJ/mol과 73.0 KJ/mol이었으며, 빈도계수(k₀)는 3.2 × 10¹³ mL/h·kg과 3.1 × 10¹⁴ mL/h·kg으로 이산화탄소 생성율에 관한 수치가 다소 높게 나타났다.

수확시기에 따른 호흡율 변화

일반적으로 과일이나 채소의 호흡량 변화는 수분(pollination) 후 세포분열기에 호흡이 극대에 이르고, 비대기를 거치는 동안 호흡량이 점차 감소되는 경향을 보인다. 이후 성숙기에 도달하면서 생체 내부에 생성된 호르몬의 작용으로 성숙말기에 호흡량이 일시적인 급등을 보이는 climacteric 형과 호흡량이 감소하거나 거의 변화를 보이지 않는 non-climacteric 형으로 호흡양상이 구분된다. 사과, 배, 복숭아, 토마토, 수박 등은 전형적인 climacteric 형 과일·채소류이고 귤, 딸기, 포도, 오이, 고추 등은 non-climacteric 형이다(이승구, 1996). 청매실의 경우에도 Fig. 6에 나타난 것과 같이 과일의 숙성중 호흡율이 일시적으로 증가하는 현상을 보임으로서 climacteric 형임을 확인할 수 있었다. 즉, 25°C에서 측정된 개화후 64일에서 92일까지의 청매실 호흡율은 초기에 급격히 증가하여 78일째에 산소 소비율 58.7 mL/h·kg, 이산화탄소 생성율 63.6 mL/h·kg으로 최대값을 나타낸 후 급격히 감소하였다. 이러한 호흡 상승(climacteric rise)의 발생은 온도가 낮은 10°C와 0°C에서도 확인되었다. 또한 호흡계수는 거의

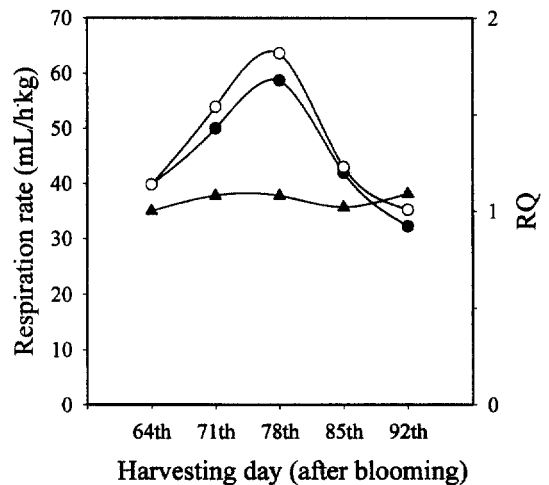


Fig. 6. Changes in respiration rates of 'Nanko' Japanese apricot fruits as a function of harvesting period during storage at 25°C. ●—●: O₂ consumption rate, ○—○: CO₂ evolution rate, ▲—▲: Respiratory quotient

변화 없이 1.0 수준을 유지하므로서 수확시기에 따른 차이를 구분할 수 없었다. 과일의 숙성중 호흡 상승은 식물 호르몬의 일종인 에틸렌 생성과 상당히 관련 있으며(Herner and Sink, 1973), 숙성중 생체내 전분이 자당(sucrose)으로 전환되는데 필요한 에너지 공급을 위해 호흡이 상승하는 것으로 보기도 한다(Hubbard et al., 1990). 한편 심기환 등(1989)에 따르면 저장용 과일은 숙성중 호흡 최저기(climacteric minimum)에 수확하는 것이 가장 좋고 생식용으로 직접 이용할 때는 호흡 최대기(climacteric maximum) 부근에서 수확하는 것이 적당하다고 한다. 따라서 2차 가공을 위한 장·단기 저장을 목적으로 하는 청매실의 경우 과육이 일정 수준 발육된 상태에서 호흡이 급상승하기 시작하는 개화후 64일 부근에서 수확하는 것이 합리적이며, 이는 실제 관행적으로 이루어지고 있는 청매실의 수확시기 결정에 이론적 근거가 될 수 있다고 본다.

요 약

청매실의 장·단기 저장을 위한 신선도 유지기술 개발에 필요한 기초 자료로 활용하고자 청매실의 저장 온도 및 수확기별 호흡생리특성을 관찰하였다. 그 결과, 청매실의 순간 호흡율은 산소농도가 감소할수록 일정하게 감소하는 경향을 나타내었으며, 각 온도별로 한계 산소농도까지는 산소 소모율이나 이산화탄소 증가율간의 차이를 거의 구분할 수 없었다. 25°C에서는 산소농도 8%까지 10°C와 0°C에서는 각기 산소농도 10%와 17%까지 호흡계수가 약 1.0으로 유지되다가 그 이하에서 급격히 증가한 후 감소하였다. 온도가 높아질수록 평균 호흡율은 Arrhenius 방정식에 따라 증가하였고 산소 소비율과 이산화탄소 생성율에 대한 활성화에너지(E_a)는 각기 67.4 KJ/mol과 73.0 KJ/mol로 나타났다. 개화후 64일부터 92일까지의 청매실 호흡율은 초기에 급격히 증가하여 78일째에 산소 소비율 58.7 mL/h·kg, 이산화탄소 생성율 63.6 mL/h·kg으로 최대값을 나타낸 후 급격히 감소하므로서 전형적인 climacteric 형 과일임을 확인할 수 있었다.

문 헌

김의부. 1995. 매실재배, 오성출판사, 서울, p. 21-25.
 문재식. 1994. 성숙과정중 매실의 이화학적 특성변화. 경희대학교 석사학위 논문.
 송보현, 최갑성, 김용두. 1997. 매실 품종과 수확시기에 따른 이화학적 특성과 향기성분의 변화. 한국저온저장학회지, 4: 77-85.
 심기환, 성낙계, 최진상, 강갑석. 1989. 매실의 성숙중 주요

성분의 변화. 한국영양식량학회지, 18(1): 101-108.
 이승구. 1996. 원예작물의 수확후 생리. 성균사, 수원, p. 157-183.
 이태훈. 1988. 암세포 증식에 미치는 *Prunus mume* (매실) extracts의 영향 연구. 고려대학교 박사학위 논문.
 松本紘剛. 1983. 梅の健康法, 文理書院, 東京, 日本, p. 53-119.
 淺見逸夫. 1989. 青ウメのフィルム包装による鮮度保持. 食品流通技術, 18: 62-64.
 後 昌弘, 南出隆久, 井雅弘, 岩田 隆. 1984. 低溫ショックによるウメ果實の低溫障害制御効果と膜透過性及び膜脂質構成脂肪酸の變化との關係. 園藝學誌, 53(2): 210-218.
 黒上泰治. 1967. 果樹園藝各論. 養賢堂, 東京, 日本, p. 317-318.
 Herner, R.C. and Sink, Jr. K.C. 1973. Ethylene production and respiratory behavior of the rin tomato mutant. *Plant Physiol.*, 52: 38-42.
 Hubbard, N.L., Pharr, D.M. and Huber, S.C. 1990. Role of sucrose phosphate synthase insucrose biosynthesis in ripening bananas and its relationship to the respiratory climacteric. *Plant Physiol.*, 94: 201-208.
 Inaba, A. and Nakamura, R. 1981. Ripening characteristics of Japanese apricot fruits on and off the tree. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, 49(4): 601-607.
 Iwata, T. and Ogata, K. 1976. Studies on storage and chilling injury of Japanese apricot fruits. I. General aspects of external and internal changes during storage. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, 44(4): 422-428.
 Kazi, H., Ikebe, T. and Osajima, Y. 1991. Effects of environmental gases on the shelf-life of Japanese apricot. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 38(9): 797-803.
 Koyakumaru, T., Adachi, K., Sakoda, K., Sakoda, N. and Oda, Y. 1994. Physiology and quality changes of mature-green Mume fruits stored under several controlled atmosphere conditions at ambient temperature. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, 62(4): 877-887.
 Lee, J. 1987. The design of controlled or modified packaging systems for fresh produce. In *Food Product-Package Compatibility, Proceedings*, ed., by Gray, J.I., Harte, B.R. and Miltz, J., Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, p. 157-169.
 Miyazaki, T. 1983. Effects of seal-packaging and ethylene removal in the sealed bags on the shelf life of mature-green Japanese apricot fruits. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, 52(1): 85-92.
 Osajima, Y., Wada, K. and Ito, H. 1987. Effects of ethylene-acetaldehyde removing agent and seal-packaging with plastic films on the keeping quality of Mume and Kabosu fruits. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, 55(4): 524-530.
 Ryall, A.L. and Lipton, W.J. 1979. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Vol. 1. Vegetables and melons, 2nd Ed. AVI Publish Co., Westport, p. 588-612.
 Zhang, S., Chachin, K. and Iwata, T. 1991. Effects of polyethylene packaging and ethylene absorbent on storage of mature-green Mume fruits at ambient temperature. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, 60(1): 183-190.
 Zhang, S., Chachin, K., Ueda, Y. and Iwada, T. 1993. Firmness and pectic substances of mature-green Mume fruits packaged with polyethylene bags and ethylene absorbent. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 40(3): 163-169.