

복숭아 '장호원황도'의 엽위별 잎 발달과 광합성능의 변화에 대한 분석

윤익구^{1*} · 윤석규¹ · 전지혜¹ · 남은영¹ · 권정현¹ · 배해진¹ · 문병우² · 강희경³

¹국립원예특작과학원 과수과, ²엠원예기술연구소, ³공주대학교 원예학과

Analysis on on the Leaf Growth and Changes of Photosynthetic Characterization by Leaf Position in 'Changhowon Hwangdo' Peach

Ik Koo Yoon^{1*}, Seok Kyu Yun¹, Ji Hae Jun¹, Eun Young Nam¹, Jung Hyun Kwon¹,
Hae Jin Bae¹, Byung Woo Moon², and Hee Kyoung Kang³

¹National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

²M· Horticultural Technique Research Institute Suwon 441-813, Korea

³Department of Horticulture, Kongju National University, Yesan 340-702, Korea

Abstract. To investigate factors determining peach fruit quality, chlorophyll content by leaf positions, chlorophyll content of foliated leaf, change of leaf area, and photosynthetic capacity were monitored. Photosynthetic rate in response to radiation intensity and CO₂ concentration, and change of sucrose content after shading treatment also were investigated. Chlorophyll content was similar in 5-12th leaves after 10 days of foliation, while young 13-16th leaves showed lower chlorophyll contents. Chlorophyll content was 2.56 µg/cm² on May 28th, just after foliation, and rapidly increased up to 6.35 µg/cm² on June 12th. After this point, chlorophyll content gradually increased during two months showing the highest value of 9.03 µg/cm² on August 14th. Leaf area was 27.1 cm² just after foliation and 37.7 cm² on 10th day of foliation increasing 10.6 cm² during 10 days. Leaf area slowly increased by 3.9 cm² during next one month. Photosynthetic capacity increased rapidly until the 30th day of foliation showing the highest capacity of 13.8 µmol/m²/sec⁻¹. After this point, photosynthetic capacity decreased sharply. Photosynthetic rate in response to radiation intensity increased rapidly until the PPFd reached to 600 µmol/m²/sec⁻¹ and increased gradually from 600 µmol/m²/sec⁻¹ to 1200 µmol/m²/sec⁻¹ of PPFd and stayed stable beyond this point. Photosynthetic rate in response to CO₂ concentration increased until 600 ppm of CO₂. At higher CO₂ concentration, photosynthetic rate stayed stable or decreased. Sucrose content in leaves was not significantly different between control and shading group until one hour of shading treatment while decreased in shading group after two hours of treatment.

Additional key words : CO₂, chlorophyll, leaf area, shade, sucrose

서 론

복숭아는 해에 따라 과실의 품질변화가 심한 것으로 알려져 있다. 이렇게 해에 따른 품질변화가 심한 것은 대부분의 복숭아 품종의 성숙기가 장마기와 중복되는 경우가 많아서 기상변화에 의한 영향을 크게 받기 때문이다. 과실의 품질을 결정하는데 가장 중요한 요소인 당성분은 광합성산물의 과실로의 전류에 의해 축적되는 만큼 잎의 광합성작용은 과실의 품질을 결정하는데 있어 매우 중요하다 할 수 있다. 복숭아의 성숙기와 중복되는 장마기는 과실의 품질을 높이는데 불리한 환경에 처하게 되

는데, 일조부족 혹은 차광(Oh 등, 1997; Kim 등, 2005), 침수 및 배수불량(Kang 등, 2008), 고온(Dejong, 1989; Lee 등, 2009) 및 건조(Kim 등, 2004) 등은 광합성 능력을 저하시켜 과실품질에 불리한 영향을 미친다. 복숭아의 경우 우리나라의 기상환경 특성상 과실의 성숙기에 기상변화에 따른 과실의 품질에 환경요인의 간섭을 많이 받음에도 불구하고 광합성능 및 광에 대한 품질개선 연구가 매우 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 과실품질 향상을 위한 기초자료를 얻고자 복숭아 잎의 발달 특성과 광합성능에 대한 특성변화를 알아보려고 실시하였다.

재료 및 방법

복숭아 과실품질 관련 요인에 대한 기초자료를 얻고자 신초에 있는 잎의 위치별 엽록소 함량, 전엽 후부터 특

*Corresponding author: yik@korea.kr

Received August 14, 2013; Revised October 16, 2013;

Accepted October 24, 2013

정한 위치에 있는 잎의 엽록소 함량, 엽면적 발달 및 광합성능의 경시적 변화 등을 측정하였고, 광도 및 CO₂ 농도에 따른 광합성능의 반응 및 잎을 차광한 후 경과 시간에 따른 엽내 sucrose 함량을 측정하였다.

신초의 엽 위치별 엽록소 함량은 약 30cm 정도 자란 신초상 제 16번째 잎이 전엽되었을 때 각 엽 위치별 총 엽록소 함량을 조사하였고, 엽록소 함량의 경시적 변화는 제5엽을 대상으로 전엽되었을 때부터 약 7~10일 간격으로 측정하였다. 엽록소 함량 측정은 MeOH 25ml에 직경 10mm 잎 절편 5개를 넣고 냉암소에서 12시간 추출한 후 spectrophotometer를 이용, 651nm와 664nm에서 엽록소 a와 b값을 측정한 후 총 엽록소함량은 (25.5 × O.D 651 + 4 × O.D 664) × A값 방법으로 계산하였다.

엽면적은 제 5엽이 전엽된 시점부터 3~5일 간격으로 LI-3100C 엽면적계(LI-COR, USA)로 측정하였다. 광합성률 측정은 엽면적 변화를 측정한 잎을 대상으로 오전 10시경 광합성측정기(LI 6400, LI-COR, USA)를 사용하여 측정하였고, Photosynthetic porton flux density(PPFD)는 1,000μmol/m²/sec⁻¹로 하고 CO₂ 농도는 400ppm으로 하였다.

또한 PPFD와 CO₂ 농도의 상승에 따른 광합성 반응을 알아보기 위해, PPFD는 200μmol/m²/sec⁻¹씩 높이고 CO₂ 농도는 200 ppm 단위로 상승시키면서 광합성 반응을 측정하였는데 LI 6400(LI-COR, USA) 기기를 사용하였다.

잎의 차광처리는 30cm 정도 자라고 생장이 정지된 신초의 중간 잎을 알루미늄 호일로 0.5, 1, 2 및 4시간 빛을 차단한 후 각 시간대별로 잎을 즉시 채취하여 잎 4~5장을 분쇄한 후, 0.2g의 샘플에 10ml의 80% 에탄올을 섞어 균질화하였다. 1시간 동안 교반기 위에서 추출과정을 거친 후 균질화된 샘플을 진공필터를 이용하여 여과된 추출물을 0.45μm 필터로 여과한 후 HPLC로 분석하였다. HPLC시스템은 quaternary 펌프, autosampler, 그리고 reflective index detector로 구성되었다. 당분석에는 RI detector가 있는 HPLC를 이용하였고, 초순수를 유동액으로 사용하였다. Sugar-Pak™ column(6.5 × 300mm)을 90°C의 0.5ml/min 유속으로 하여 사용하였다.

본 연구의 모든 조사에는 10년생 '장호원황도'를 이용하였다.

결과 및 고찰

잎의 위치별 엽록소 함량과 전엽 직후부터 엽록소 함량의 경시적 변화를 살펴본 결과, 전엽 후 10일경부터는 제 5엽부터 12엽까지는 잎의 위치별 엽내 엽록소 함량에 큰 차이가 없었다. 전엽 후 10일이 경과되지 않은 제

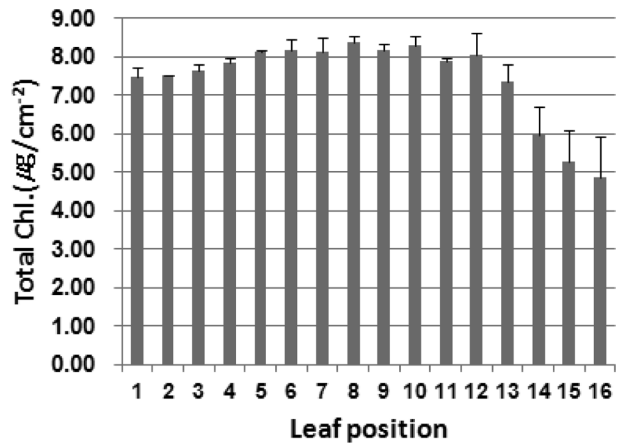


Fig. 1. Total chlorophyll contents by leaf position.

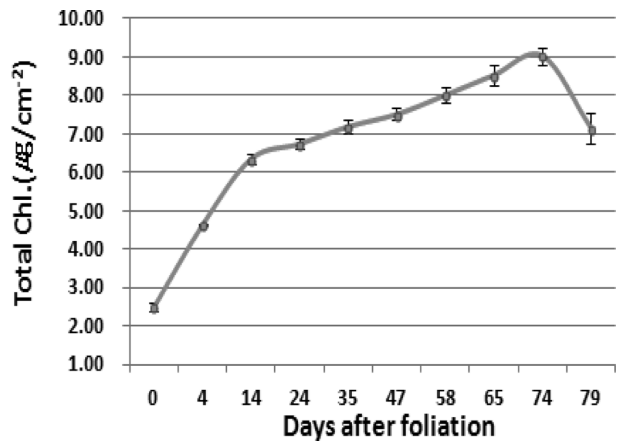


Fig. 2. Seasonal change on total chlorophyll contents of the leaf at 5th position.

13~16순위 잎의 엽록소 함량은 전엽 경과일수가 적을수록 낮은 것으로 나타났으며, 제 1~4순위엽은 중간엽에 비해 엽록소 함량이 다소 낮은 것으로 나타났다(Fig. 1). 한편 동일한 잎의 위치에서 전엽 후 경과일수에 따른 엽록소 함량의 경시적 변화는 전엽 직후에 2.56μg/cm²에서 12일째인 6월 12일에는 6.35μg/cm²까지 급격히 증가하고 이후 약 2개월간 완만한 증가 추세를 보였는데 엽록소 함량이 가장 높은 시기는 전엽 후 11주째인 8월 14일로 9.03μg/cm²이었다(Fig. 2). 이러한 결과는 잎의 광합성 능력에 영향을 미칠 것으로 생각되는데 Jones 등(1991)은 식물의 광합성은 잎의 연령, 엽면적 등의 형태적 요인과 광도, 온도, 이산화탄소 농도 등 환경적인 요인에 의해 영향을 받는다고 한 것과 Kim 등(2013)의 토마토에서 생육단계별 광합성속도에 차이가 있다고 한 것으로 미루어 과실의 탄수화물 집적에는 과실의 착과위치와 근접하고 전엽된지 일정시간이 경과된 기부엽의 영향이 크게 작용할 것으로 판단된다.

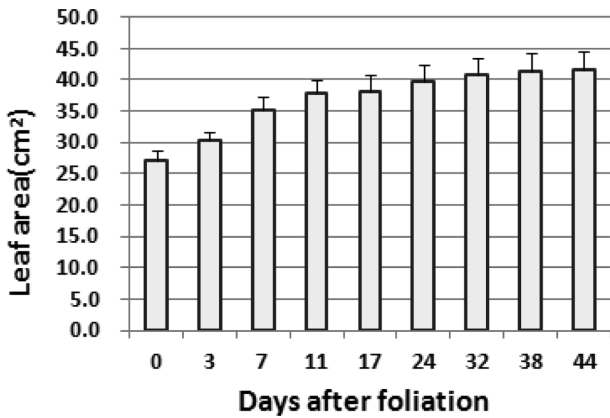


Fig. 3. Seasonal change on leaf area of the leaf at 5th position.

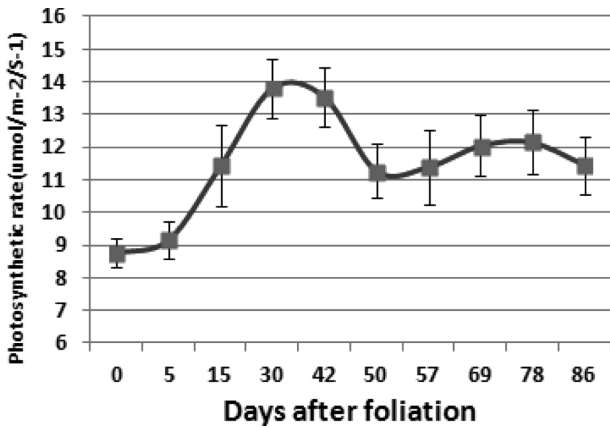


Fig. 4. Seasonal change on photosynthetic rates of the leaf at 5th position.

엽면적은 전엽 직후에는 27.1cm²에서 전엽 후 10일에는 37.7cm²로 이 기간 중 10.6cm²이 급속하게 증가하였으나 그 이후 33일간 증가량은 3.9cm²로 매우 완만한 증가율을 보였다(Fig. 3). 잎의 광합성률은 전엽 후 30일까지는 급격히 증가하여 전엽 30일 후에 13.8μmol/m²/sec⁻¹로 최대치를 보였으며, 이후에는 잎의 광합성능이 급격하게 떨어지는 것으로 나타났다(Fig. 4).

전엽 후 10일경까지 엽면적, 엽록소 함량이 급격히 증가하는 것은 잎이 질과 양적으로 발달해 가는 과정 중에 나타나는 결과라 생각되며 전엽 후 10일 정도 경과해야 형태적인 잎 모양이 완성되는 것으로 생각되었지만, 이후 전엽 후 30일까지 광합성률이 계속 증가하고 있고 Fig. 2에서 나타난 것처럼 그 후에도 엽록소 함량이 높아지는 것으로 보아 광합성률의 증가는 형태 완성보다 더 시일이 소요되는 것으로 생각되었다. 엽록소 함량의 지속적인 증가에도 불구하고 전엽 후 30일부터 잎의 광합성률이 급격하게 감소된 것은 기상환경의 변화에 의한 결과로 생각되는데 조사일인 전엽 후 50일의 2~4일 전

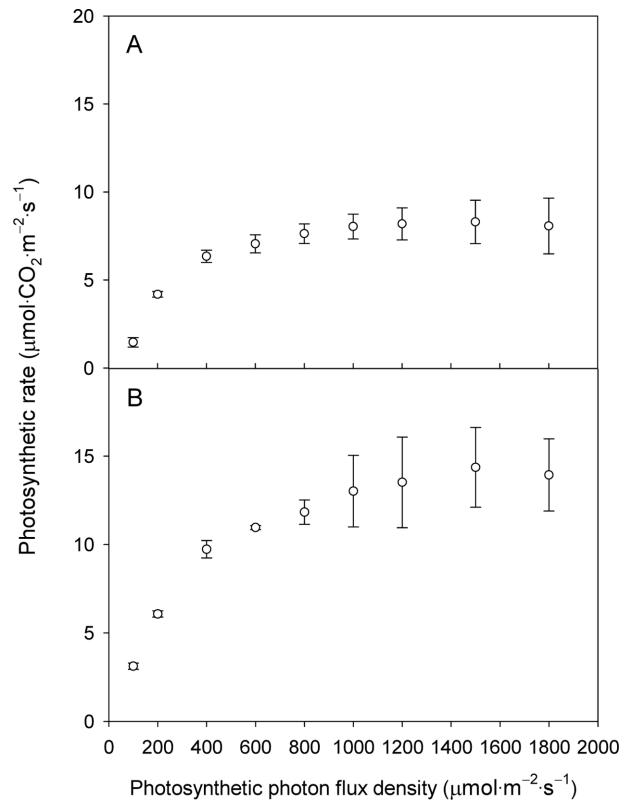


Fig. 5. Photosynthetic rates of 'Changhowon Hwangdo' at first week (A) and fourth week (B) after foliation.

에 418mm의 폭우가 있었으며, 그 후에는 평년에 비해 기온이 3~5°C 높게 유지되었다. Kang(2008) 등은 토양 중의 수분 과다는 토양의 용존산소 공급량을 떨어트리고 뿌리의 호흡을 억제하여 광합성능을 저하시킨다고 하였으며, Dejong(1989)은 복숭아 엽온이 18~32°C 범위에서 최적의 광합성 기능을 발휘하는데 여름철 고온은 광합성률을 저하시킨다고 하였고, Lee 등(2009)은 무에서 온도를 4°C 높여 준 결과 광합성 능력이 저하되었다고 보고 하였다. 따라서 전엽 30일 후의 광합성률이 낮은 것은 이러한 환경적인 요인이 복합적으로 작용했을 것으로 사료된다.

Fig. 5는 전엽 후 1주와 4주의 광도에 따른 광합성률을 조사한 결과이다. 두 시기 모두 PPFD 600μmol/m²/sec⁻¹까지는 광도가 증가할수록 광합성률이 급격히 증가하였으나, 이후 PPFD 1,200μmol/m²/sec⁻¹까지는 완만한 증가율을 보인다 그 이상에서는 변화를 보이지 않았다. 전엽 후 1주와 전엽 후 4주간에는 전엽 후 4주가 전엽 후 1주에 비해 광도 증가에 따른 광합성률이 높은 경향을 보였다. 광포화점에 대한 결과는 Yoon(2002)의 '장택 백봉'과 '대구보'에서의 결과와 일치하였다. Dejong(1989)도 복숭아에서 이와 비슷한 결과를 보인 바 있는데 단일

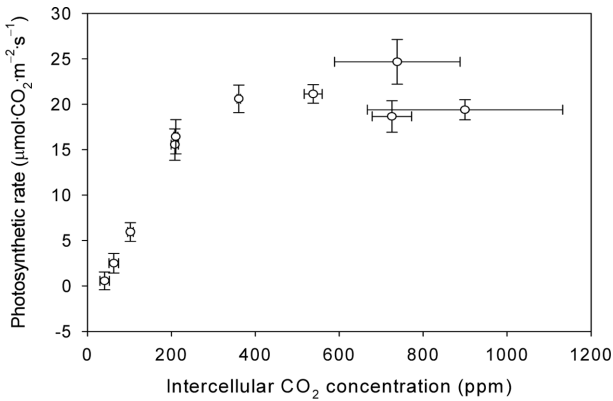


Fig. 6. Inter-cellular CO₂ concentration and photosynthetic rate of 'Changhown Hwangdo' at fourth week after foliation.

잎의 광포화는 full sunlight의 30% 정도라고 하였다. 이러한 점을 고려할 때 복숭아의 광포화는 PPFD 1,200 μmol/m²/sec⁻¹ 정도로 판단되었다.

또한 전엽 후 1주에 비해 전엽 후 4주에서 광합성률이 높은 경향을 보인 것은 상대적으로 엽록소 함량 증가(Fig. 2), 엽면적의 발달(Fig. 3) 및 광합성량의 증가와 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되었다.

한편 CO₂ 농도별 광합성률은 600ppm까지는 농도가 높을수록 광합성률이 증가하였으나 그 이상의 농도에서는 변화가 없거나 오히려 감소하였다(Fig. 6). 이와 같은 결과는 일정수준까지 CO₂ 농도가 증가하면 광합성 속도도 함께 증가하기 때문인 것으로 생각되는데, Ro 등(2001)은 사과에서 CO₂ 농도를 360과 650 μmol mol⁻¹로 구분하여 처리한 결과 농도를 높였을 때 수체생장이 현저히 증가하였고, Lee 등(2009)은 CO₂ 농도를 대기보다 두 배 정도 높여주면 광합성 능력이 현저히 좋아진다고 하였다. Roh 등(2011)은 1년생 복숭아나무 잎에 400과 700 mmol CO₂/mol을 2개월 간 처리한 결과 CO₂ 농도가 높을 때 광합성 속도가 높아지나 장기간 처리 시는 그 효과가 떨어졌다고 하였다.

Fig. 7은 차광시간별 엽내 sucrose 함량의 변화를 살펴본 결과이다. 1시간까지는 차광처리구와 무처리구 간 차이를 보이지 않았으나 2시간부터는 차광처리에서 sucrose 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 과실이 비대 발달하면서 성숙기로 갈수록 복숭아는 sucrose 함량이 급격히 증가하는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 1996). 또한 비환원당으로서 광합성산물의 전류와도 관계가 깊은 것으로 알려져 있어 잎의 차광으로 인해 광합성 생산력이 낮아지고 그 산물이 엽내 sucrose 함량이 낮아지는 것으로 생각되었다. Oh 등(1997)은 사과나무 수관 내 광환경 차이가 광합성 작용에 미치는 영향을 조사 한 바, 음지면 양지면 잎의 엽록소 함량에는 차이가 없었으나 광합

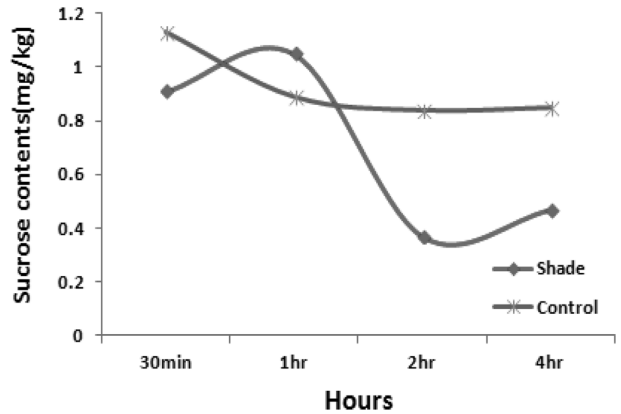


Fig. 7. Sucrose contents of leaf by shade times.

성률은 음지면이 양지면 잎의 1/2수준에 불과하였다고 한 바 있고, Kim과 Kamota(1985)도 복숭아에서 일조량이 풍부한 남측 잎이 중앙부 잎에 비하여 광포화점에서 광합성 양이 훨씬 많았다고 보고하였다. 광합성 능력에 가장 크게 영향을 미치는 것은 광포화점을 유지하는 것으로 해석될 수 있는데 2시간 이상 잎이 광포화점에 달하지 못하면 수체의 광합성 생산력은 현저히 낮아질 것으로 생각된다.

이상의 결과로 볼 때 복숭아 과실품질 향상을 위한 잎의 광합성능 향상을 위해서는 우선적으로 수관 내부까지 광환경 개선이 필요하며, 조기에 엽록소 함량 증가를 위한 엽면적 확보와 더불어 차광량 조절을 통한 엽수확보 및 과실비대 촉진 그리고 관수 및 배수와 성숙기 수체 온도 관리를 통한 광합성능을 상승시키는 것이 필요할 것으로 생각되며, 아울러 복숭아 잎에서 생산된 광합성산물의 전류 및 분배에 관한 이론적 구명을 위한 연구가 필요 할 것으로 생각되었다.

적 요

전엽 후 10일이 경과하면 잎의 위치별 엽내 엽록소 함량에 큰 차이를 보이지 않았고, 전엽 후 10일이 경과되지 않은 잎의 엽록소 함량은 전엽 경과일수가 적을수록 낮았다. 동일한 잎의 위치에서 전엽 후 경과일수에 따른 엽록소 함량의 경시적 변화는 전엽 직후에 2.56 μg/cm²에서 12일째에는 6.35 μg/cm²까지 급격히 증가하고 이후 약 2개월간 완만한 증가 추세를 보였는데 엽록소 함량이 가장 높은 시기는 전엽 후 11주째로 9.03 μg/cm²이었다. 엽면적은 전엽 직후부터 전엽 후 10일까지 급속하게 증가하였으나 그 이후는 거의 변화가 없었다. 잎의 광합성률은 전엽 후 30일까지는 급격히 증가하여 전엽 30일 후에 13.8 μmol/m²/sec⁻¹로 최대치를 보였으며, 이

후에는 잎의 광합성능이 급격하게 떨어졌다. 전엽 후 1주와 4주의 광도에 따른 광합성률은 두 시기 모두 PPFD $600\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}^{-1}$ 까지는 PPFD가 증가할수록 광합성률이 급격히 증가하였으나 이후 PPFD $1,200\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}^{-1}$ 까지는 완만한 증가율을 보인다 그 이상에서는 변화를 보이지 않았다. 전엽 후 1주와 전엽 후 4주간에는 전엽 후 4주가 전엽 후 1주에 비해 PPFD 증가에 따른 광합성률이 높은 경향을 보였다. CO_2 농도별 광합성률은 600ppm 까지는 농도가 높을수록 광합성률이 증가하였으나 그 이상의 농도에서는 변화가 없었다. 차광시간별 엽내 sucrose 함량은 1시간 까지는 차광처리구와 무처리구 간 차이를 보이지 않았으나 2시간부터는 차광처리에서 sucrose 함량이 감소하였다.

추가 주제어 : 당, 엽면적, 엽록소, 이산화탄소, 차광

Literature Cited

- Dejong, T.M. 1989. Photosynthesis and Respiration-Peaches, Plums and Nectarines. University of California. pp. 38-41.
- Jones, J.W., E. Dayan, L.H. Allen, H. Van Kuelen, and H. Challa. 1991. A dynamic tomato growth and yield model. Amer. Soc. Agricultural Biol. Eng. 34:663-672.
- Kamaura, J., H. Yamaya, M. Seito, and S. Ichiki. 1990. Influences of some external treatments and some cultural practices on the occurrence of June drop in apple, with special reference to photosynthates and its translocation. Bull. Aomori Apple Exp. Stn. 26:109-133.
- Kang, S.B., H.I. Jang, I.B. Lee, J.M. Park, and D.K. Moon. 2008. Effect of waterlogging condition on the photosynthesis of "Campbell Early" grapevine. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 26(4):372-379.
- Kim, K.Y. and F. Kamota. 1985. The effect of solar radiation on photosynthesis, dark respiration and leaf characteristics in Japanese pear and peach canopy. J. Kor. Soc. Hort. Sci. Abst. pp. 56-57.
- Kim, S.E., M.Y. Lee, and Y.S. Kim. 2013. Characterization of photosynthetic rates by tomato leaf position. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 31(2):46-152.
- Kim, S.J., D.J. Yu, J.H. Kim, T.C. Kim, B.Y. Lee, and H.J. Lee. 2004. Comparative photosynthetic characteristics of well-watered and water-stressed 'Rancocas' highbush blueberry leaves. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 45(3):143-148.
- Kim, S.J., R.N. Bae, D.J. Yu, and H.J. Lee. 2005. Photosynthetic response and growth characteristics in shaded blueberry. Kor. J. Hort. Technol. 23(SUPPL. II) October p. 25.
- K.M.A. 2009. Weather information. Korea Meteorological Administration.
- Lee, C.H., S.B. Kim, B.J. Park, J.H. Koh, and S.J. Kang. 1996. The fruit growth and changes in soluble sugar contents of two peach fruit cultivars after stone hardening stage. J. Kor. Soc. Hort. Sci. Abst. pp.328-329.
- Lee, S.G., J.H. Moon, Y.A. Jang, S.Y. Kim, and K.D. Ko. 2009. Change of photosynthesis and cellular tissue under high CO_2 concentration and high temperature in radish. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27(2):194-198.
- Oh, S.D., D.G. Choi, and C.H. Cho. 1997. Effect of different light condition within canopy on growth and photosynthesis in apple tree. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38(4):391-395.
- Ro, H.M., P.K. Kim, I.B. Lee, and J.M. Park. 2001. Photosynthetic and Morphometric response of apple trees after three years of exposure to elevated carbon dioxide and temperature. Kor. J. Hort. Technol. 23(SUPPL. I) p. 40.
- Roh, H.M., S.K. Yun, and H.J. Lee. 2011. Photosynthetic efficiencies in the leaves of peach (*Prunus persica*) trees exposed to increased ambient CO_2 concentration. Kor. J. Hort. Technol. 29(SUPPL. I) p. 127.
- Yoon, I.K., J.K. Kim, and H.C. Lee. 2002. Study on fruit qualities of peach fruits. Ann. Rep. Nat. Re. Ins. pp. 163-172.