

LED 램프의 광합성유효광양자속이 오이접목묘의 엽록소형광, 엽록소함량, 활착 및 생장에 미치는 영향

김형곤¹ · 이재수^{2,3} · 김용현^{1,4*}

¹전북대학교 농업기계ICT융합연구소

²국립농업과학원 농업공학부 스마트팜개발과

³전북대학교 대학원 생물산업정밀기계공학과

⁴전북대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학과

Chlorophyll Fluorescence, Chlorophyll Content, Graft-taking, and Growth of Grafted Cucumber Seedlings Affected by Photosynthetic Photon Flux of LED Lamps

Hyeong Gon Kim¹, Jae Su Lee^{2,3}, and Yong Hyeon Kim^{1,4*}

¹Institute for Agricultural Machinery & ICT Convergence, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

²Farming Automation Division, Dept. of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju-gun, 55365, Korea

³Dept. of Bioindustrial Precision Machinery Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

⁴Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, College of Agriculture & Life Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

Abstract. Chlorophyll fluorescence, chlorophyll content, graft-taking and growth of grafted cucumber seedlings as affected by photosynthetic photon flux (PPF) of LED lamps were analyzed in this study. Four PPF levels, namely 25, 50, 100, 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ were provided to investigate the effect of light intensity on the chlorophyll fluorescence, chlorophyll content, graft-taking and growth of grafted cucumber seedlings. Air temperature, relative humidity, and photoperiod for graft-taking were maintained at 25°C, 90%, 16h·d⁻¹, respectively. Maximum quantum yield (Fv/Fm) of rootstock as affected by PPF was found to be 0.84-0.85 and there was no significant change in Fv/Fm. Even though Fv/Fm of scion measured at 2 days after grafting was lowered to 0.81-0.82, after then it gradually increased with increasing PPF. At 4 days after grafting, the chlorophyll content extracted from scion increased with increasing PPF. Graft-taking ratio of grafted cucumber seedlings was 90-95% as PPF was ranged from 25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ to 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. However, the graft-taking ratio of grafted seedlings healed under PPF of 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ was decreased to 80%. Maximum PPF measured required for smooth joining of rootstock and scion was assumed to be 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. At healing stage of grafted cucumber seedlings, Fv/Fm of scion decreased and at least two days after grafting were required for rooting of grafted seedlings. Chlorophyll fluorescence response of rootstock and scion was linked to light irradiation. Therefore, it was concluded that physical environment including light and humidity during healing process of grafted seedlings should be controlled more precisely to facilitate root formation and to prevent scion from lowering Fv/Fm. Further studies are required to investigate the effects of root development and joining of vascular bundles of grafted seedlings on the chlorophyll content of scion.

Additional key words : chlorophyll, cucumber seedlings, grafting, maximum quantum yield, photosynthetic photon flux

서 언

접목묘는 실생묘에 비해서 토양전염 병해 또는 환경 변화에 따른 저항성이 크므로(Lee et al., 2010; Schwarz et al., 2010), 그 수요가 꾸준하게 증가하면서 수박, 오이, 토마토 등 주요 과채류의 정식에 필요한 묘들이 대

*Corresponding author: yhkim@jbnu.ac.kr
Received May 16, 2018; Revised July 4, 2018;
Accepted July 5, 2018

부분 접목묘의 형태로 생산되고 있다. 이러한 접목묘는 접수와 대목이 분리된 상태에서 결합되므로 결합 과정의 스트레스를 줄이면서 원활하게 결합이 이루어지려면 활착 기간에 습도, 광, 기온 등의 물리적 환경이 적정 수준으로 관리되어야 한다(Kim and Park, 2001).

현재 과채류 접목묘의 활착은 온실 내의 벤치 위에 폴리에틸렌 반투과성 또는 차광용 필름으로 만들어진 터널 내에서 이루어진다. 터널 내에서는 태양광의 투과가 상당 부분 차단되고 상대습도가 90% 이상으로 높게 유지되므로 접수와 대목의 결합이 가능하다. 그런데 터널 내에서의 상대습도와 광량을 정확하게 조절하기가 어려울 뿐만 아니라 접목 후 일정 기간이 경과한 시점부터 상대습도와 광량을 조절하고자 터널을 개폐하기 때문에 관리노력이 많이 소요되고 있다. 때문에 기존의 활착 관리 방법 대신에 인공광을 이용한 활착실의 개발이 제안된 바 있다(Kim, 2000).

활착실의 인공광원으로 초기에는 형광등이 사용되었으나, 최근에는 발광다이오드(Light-emitting diodes, LED) 램프가 많이 사용되고 있다. 다단식의 이동용 대차에 부착된 LED 램프로부터 조사되는 광강도는 $20\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 내외의 낮은 수준을 유지하고 있다. 이러한 광 조건에서 활착된 접목묘는 접목 후 4-5일 경과한 시점에 온실 내로 옮겨서 순화 과정을 겪게 된다. 이러한 이유는 낮은 광 조건에서 활착된 접목묘가 많은 광량이 투과되는 온실 내의 광 환경에 바로 적응하기가 어렵기 때문이다.

엽록소가 흡수한 광 에너지 가운데 광합성 초기의 광화학 반응에 사용되지 않고 외부로 방출되는 광 에너지를 형광이라 부른다(Maxwell and Johnson, 2000). 일반적으로 작물이 가뭄, 염, 수분, 온도 등의 스트레스를 받아 광 에너지를 제대로 이용하지 못할 때 엽록소형광의 방출이 증가하는 것으로 알려져 있다(Lang et al., 1996; Koscielniak and Biesaga-Koscielniak, 2006; Moradi and Ismail, 2007; Hazrati et al., 2016). 때문에 엽록소형광 지수는 작물의 광합성 능력을 비파괴적으로 평가하거나(Baker and Rosenqvist, 2004), 작물의 스트레스 생리를 구명하기 위한 지표로 사용되고 있다(Krause and Weis, 1991; Willits and Peet, 1999).

인공광의 광강도 또는 광질에 따라 접목묘의 엽록소형광 반응, 엽록소 함량, 활착 및 성장 특성이 다를 것으로 예상되나, 이에 관한 종합적인 보고가 제시되지 않고 있다. 접목묘의 활착이 진행되는 단계에서 엽록소형광, 엽록소함량 및 활착 특성의 구명은 활착 과정에서 나타나는 스트레스 해석뿐만 아니라 적정 활착 조건의 제시에 필요한 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다. 본 연구의 목적은 LED 램프의 광강도가 오이접목묘의 엽록

소형광, 엽록소함량, 활착 및 생장에 미치는 영향을 분석하는데 있다.

재료 및 방법

1. 공시품종 및 접목방법

본 실험에 사용된 접수와 대목의 공시품종은 각각 백다다기오이 (*Cucumis sativus* L. cv. Joeun Baekdadaki, Dongbuhitek, Korea)와 흑종호박(*Cucurbita ficifolia* cv. Heukjong, Monsanto, Korea)이었다. 배지로는 육묘용상토(BM1, Berger Peat Moss, Canada), 원예용상토(Middle, Punong, Korea) 및 펄라이트(Perlite, Misung, Korea)를 8:1:1의 비율로 혼합하여 사용하였다.

각각 128공 플러그트레이에서 9~10일간 육묘된 접수와 대목은 단근합접 방식으로 접목되었다. 접수는 자엽 아래 1cm 부위에서 45° 각도로 비스듬히 절단되었고, 대목은 뿌리가 제거된 상태에서 자엽 하나만 남겨두고 접수와 결합되었다. 이 때 접수와 대목의 원활하게 결합하도록 접수와 대목의 절단면을 일치시킨 후 접목용 클립을 사용하여 고정하였다.

2. 접목묘 활착 환경

접목된 오이묘는 전북대학교 농업기계공장에 설치된 폐쇄형 묘생산 시스템(이하 '폐쇄형시스템')에서 활착되었다. 폐쇄형시스템의 크기는 3,500×3,200×3,060(W×D×H)mm로서, 두께 100mm 폴리우레탄을 단열재로 충전한 강판으로 제작되었다. 폐쇄형시스템 내부에는 크기가 1,200×600×2,000(W×D×H)mm로서 알루미늄 프로파일로 제작된 4단식 선반을 설치하였고(Fig. 1), 선반 각 단의 상부에 적색광과 청색광을 혼합한 LED 램프를 설치하였다.

폐쇄형시스템 내부의 기온, 상대습도 및 기류속도는 냉난방기(DUR-020E, Dong Wha Co. Ltd, Korea), 가습기(MH-601, Mtech, Korea), PID 컨트롤러(IPC5000D, Honeywell, USA) 및 인버터(iG5A, LS Industrial System Co., Ltd, Korea)에 의해서 제어되었다. LED 램프의 작동과 광양 조절은 램프제어기(v1.0, ODTECH, Co, Ltd, Korea)와 전원공급장치(SE-450-36, Mean well, Taiwan)에 의해서 이루어졌다.

접목묘 활착 과정에서의 엽록소형광반응, 엽록소함량 및 활착에 미치는 광강도의 영향을 구명하고자 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF)을 25, 50, 100, 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 4수준으로 설정하였다. 광합성유효광양자속의 측정에 Quantum센서(SK215, Skye, UK)가 사용되었다. 한편 폐쇄형 시스템 내의 기온과 상대습도는 각각 25°C, 90%로 조절되었고, LED 램프의 광주

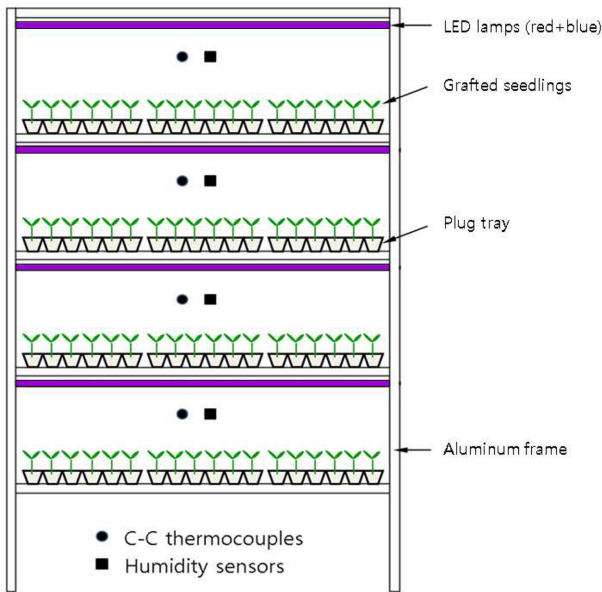


Fig. 1. A growing bed designed for graft-taking of grafted seedlings under LED lamps used as artificial lighting sources.

기는 16h·d⁻¹이었다. 건전한 접목묘를 만들고자 접목 후 7일째에 모든 처리구에서의 PPF를 150μmol·m⁻²·s⁻¹으로 고정하였고, 반면에 상대습도를 70%로 낮추었다. 양액은 접목 후 7일째, 10일째, 12일째에 저면관수 방식으로 공급하였다. 사용된 양액의 pH와 EC는 5.5~6.0, 1.5dS·m⁻¹로 조정되었다.

3. 엽록소형광반응 측정

공시묘의 엽록소형광 반응 특성을 측정하고자 휴대용 엽록소형광반응 측정기(Handy Fluorcam, Photo Systems Instruments, Czech Republic)를 사용하였다. 엽록소형광반응 측정기로 부터 10cm 떨어진 선반에 놓인 오이접목묘를 대상으로 각 플러그트레이당 3주씩 3반복으로, 총 9주를 측정하였다. 엽록소형광 측정 방법은 암적응된 잎에 광을 조사한 후 최소형광 Fo를 측정하였고, 다음으로 포화 수준의 광을 조사하여 암적응된 최대형광 Fm을 측정하였다. 최대형광과 최소형광의 차이를 변이형광(variable fluorescence, Fv)이라 부르며, 최대형광에 대한 변이형광의 상대적인 크기, 즉 Fv/Fm는 최대양자수율(maximum quantum yield)에 해당한다.

선정된 샘플의 형광 반응 특성은 접목 후 9일 동안 명기 개시 2시간 전에 측정되었다. 측정된 엽록소형광 영상을 분석하고자 전용프로그램(FluorCam V7.0, Photo Systems Instruments, Czech Republic)을 사용하였다. 측정된 엽록소형광 영상을 대상으로 선택영역 분할도구를 이용하여 대목과 접수를 구분하였고, 선택영역에서 접수와

대목의 변이형광 및 최대양자수율의 평균값을 구하였다.

4. 엽록소함량 측정

본 연구에서는 엽록소 추출을 위한 용매로서 DMSO(Dimethyl sulphoxide)를 사용하였고, 접목 후 1일째, 4일째, 8일째, 12일째에 접목묘의 엽록소를 추출하였다. 선정된 샘플의 대목과 접수를 분리한 후 각각 100mg의 잎 조직을 떼어 내어 7mL의 DMSO에 담근 후 65°C에서 0.5시간 가열하면 대부분의 엽록소가 추출된다(Hiscox and Israelstam, 1979). DMSO가 실온에서 냉각되면 증류수와 1:4의 비율로 혼합하여 희석시킨 후 희석된 용액을 측정용 셀에 넣고 분광광도계(DU-720, Beckman Coulter, USA)를 사용하여 645nm와 663nm에서의 흡광도를 측정하였다(Arnon, 1949). 다음으로 측정된 흡광도를 식(1)과 식(2)에 대입하여 엽록소a와 엽록소b의 함량(g·L⁻¹)을 계산하였다.

$$\text{Chlorophyll } a = 0.0127A_{663} - 0.00269A_{645} \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll } b = 0.0229A_{645} - 0.00468A_{663} \quad (2)$$

여기에서 A₆₄₅: 645nm에서 측정된 흡광도, A₆₆₃: 663nm에서 측정된 흡광도이다.

5. 활착률 및 성장조사

접목 후 14일째에 광강도에 따른 오이접목묘의 활착률과 성장특성을 조사하였다. 본 연구에서 활착율은 접목된 전체 묘의 개체수에 대하여 정상적으로 활착된 묘의 개체수로 정의하였다.

활착율 조사에 사용된 묘는 본엽이 3cm² 이상의 크기를 갖는 접목묘로서, 잎이 시들거나 변색된 묘는 고사된 것으로 간주하였다. 접목묘의 성장특성으로 엽면적, 생체중, 건물중, 엽장, 엽폭 및 엽록소함량 등을 조사하였다. 성장조사에 추출된 표본은 MATLAB(R2011b, MathWorks Inc., USA)을 이용하여 각 처리구 당 9주씩 무작위로 선택하였다. 엽면적은 CCD카메라(VK-C370, Hitachi, Ltd., Japan)를 사용하여 접수와 대목의 영상을 획득한 후 기지의 물체 면적과 영상 내에 포함된 화소수 사이의 회귀관계를 적용하는 방식으로 산출하였다. 생체중과 건물중의 측정에 전자저울(AB204-S, Mettler Toledo, Switzerland)을 사용하였고, 건조기(ON-21, Jeio, Korea)에서 70°C조건으로 48시간 이상 건조시킨 후 건물중을 측정하였다. 엽장과 엽폭의 측정에 캘리퍼스(CD-15CP, Mitutoyo Co., Japan)를 사용하였고, 엽록소함량은 휴대용 엽록소계(SPAD-502, Minolta Co., Japan)를 사용하여 측정하였다. 측정된 모든 데이터는 SAS(v9.1.3,

SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 최소유의차 검정(LSD: Least Significance Difference)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 광강도에 따른 오이접목묘의 엽록소형광반응 특성

변이형광은 오이접목묘에 광을 조사하였을 때 나타나는 전기적 신호의 크기이다. LED 램프의 광강도에 따른 대목의 변이형광은 접목 후 경과일수에 따라 점차 감소한 가운데 유의차가 나타나지 않았다(Fig. 2). 접수의 변이형광은 접목 후 4~6일째에 광강도가 높은 처리구에서 높게 나타났다. 한편 광강도에 따른 접목 후 1~3일째에 대목과 접수의 변이형광에서 유의차가 나타나지 않았다. 그러므로 접목 후 초기 단계에서 대목과 접수의 변이형광에 미치는 광강도의 영향은 크지 않았다. 식물이 스트레스를 받게 되어 형광반응의 중심에 에너지를 전달할 수 없는 엽록소 분자들이 많아지면 최소형광은 증가하나,

최대형광은 줄어든다(Kooten and Snel, 1990).

할착 기간 동안 대목의 최대양자수율은 0.84-0.85로 높게 나타났으나, 광강도에 따른 분명한 차이가 나타나지 않았다. 최대양자수율은 비광화학적 소멸의 효율 변화에 기인하며, 암적응된 잎의 최대양자수율은 광합성을 수행할 수 있는 잠재력을 의미한다. 일반적으로 건강한 잎의 최대양자수율은 0.83 정도이며(Johnson et al., 1993; Maxwell and Johnson, 2000), 생물적 또는 무생물적 스트레스에 노출된 잎의 최대양자수율은 감소하는 것으로 알려져 있다(Kycko et al., 2018). 한편 접목 후 2일째에 접수의 최대양자수율은 0.81-0.82로 낮게 나타났으며, 3일째부터 광량이 높을수록 증가하였다(Fig. 3). 이러한 결과는 대목과 결합되기 전에 접수의 최대양자수율이 감소하였으나, 대목과 접수가 접합부를 형성하며 통도조직이 결합되는 단계에서 양자수율이 증가하였음을 의미한다. 결과적으로 접수와 대목이 결합되면서 접수의 최대양자수율에 미치는 광강도의 처리 효과가 있는 것으로 판단된다.

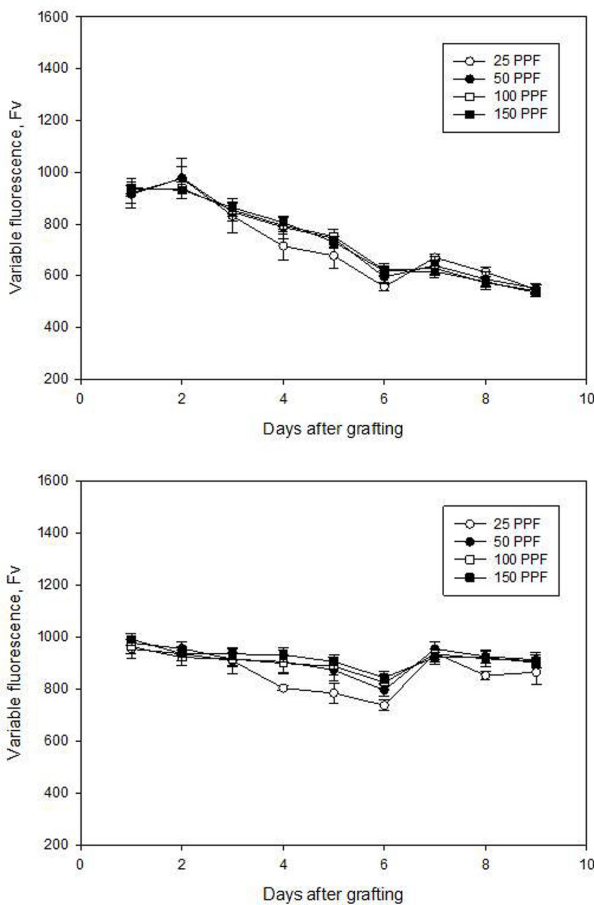


Fig. 2. Variable fluorescence(Fv) of grafted cucumber seedlings healed under LED lamps with different light intensity (top: rootstock, bottom: scion).

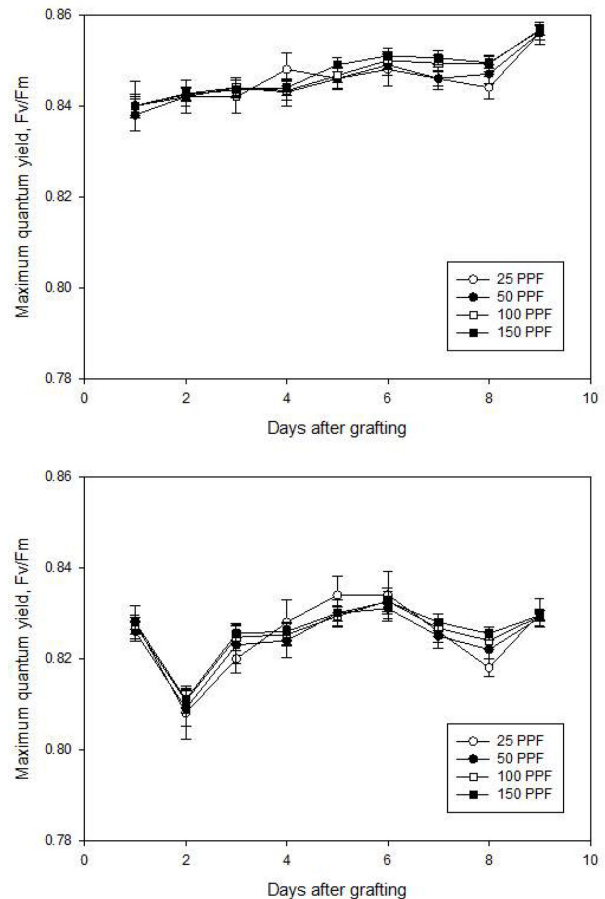


Fig. 3. Maximum quantum yield (Fv/Fm) of grafted cucumber seedlings healed under LED lamps with different light intensity (top: rootstock, bottom: scion).

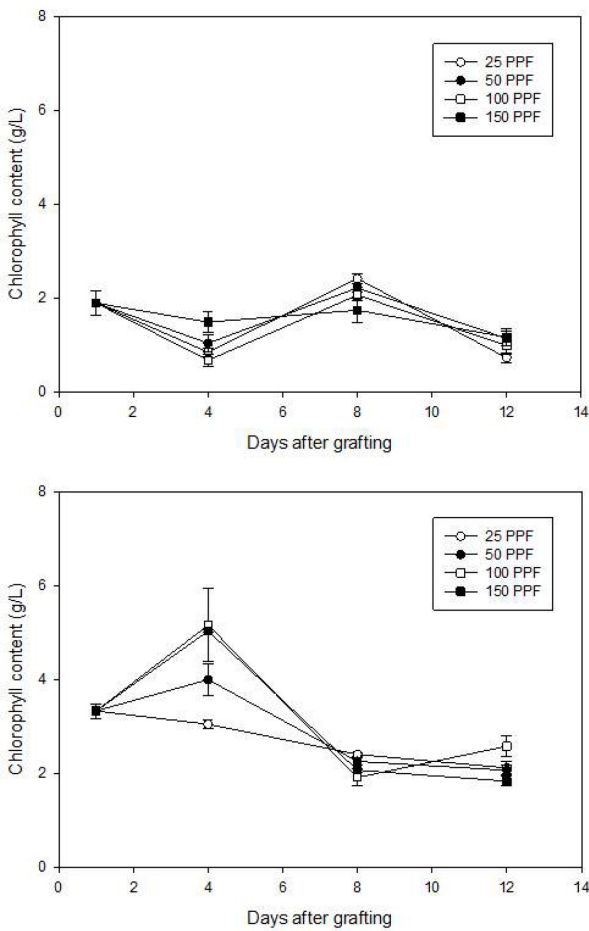


Fig. 4. Chlorophyll content of grafted cucumber seedlings healed under LED lamps with different light intensity (top: rootstock, bottom: scion).

2. 광강도에 따른 오이접목묘의 엽록소합량 특성

추출법을 적용하여 오이접목묘의 엽록소합량을 분석한 결과 대목에서는 LED 램프의 광강도에 따른 유의차가 분명하게 나타나지 않았다. 접수의 경우 접목 후 4일째에 엽록소합량이 늘어나면서 광강도에 따른 유의차가 나타났다(Fig. 4). 즉 광강도가 상대적으로 높은 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 처리구에서 엽록소합량은 크게 증가하였으나, 광강도가 낮은 처리구에서는 광강도가 줄어들수록 엽록소합량이 감소하였다. 한편 접목묘의 활착이 진행될수록 광강도에 따른 엽록소합량의 차이는 줄어들었다. 따라서 LED 램프의 광강도가 접목묘의 활착 초기 단계에서 접수의 엽록소합량에 영향을 준 것으로 판단된다.

작물의 잎에 빛이 도달하면, 엽록체에 있는 엽록소에 의해 빛이 흡수되면서 광합성 반응이 활발하게 일어난다. 작물의 잎이 지니고 있는 엽록소합량과 작물의 광합성속

도의 관계가 일정한 것만은 아니다. 광강도에 따른 엽록소합량 관련 연구 결과로서 광량을 달리하였을 경우 광량이 높은 처리구에서 작물의 엽록소합량 또는 광합성속도가 증가하였으나(Buttery and Buzzell, 1977; Han et al., 2011), 고광도 조건에서 엽록소합량이 감소된 화훼류의 구근 비대가 더 왕성하였다(Kim et al., 2001). 그러므로 작물의 엽록소합량에 미치는 광강도의 영향이 같지 않은 것으로 판단된다.

LED 램프의 광강도에 따른 엽록소합량과 엽록소형광반응 특성을 비교한 결과 접목 후 4일째에 광강도가 높은 처리구에서 접수의 변이형광과 엽록소합량이 모두 증가하였다. 접목 후 4일째에 측정된 엽록소합량이 늘어난 이유로서 대목과 접수를 통한 수분의 이동을 들 수 있다. 이 시기에는 접수와 대목의 결합이 제대로 이루어지기 전에 해당하므로 수분이 접수까지 도달할 수 없다. 때문에 접수의 수분함량이 줄어든 상태에서 접수의 엽록소합량이 일시적으로 증가한 것으로 추정된다. 한편 접목 후 8일째에 LED 램프의 광강도에 따라 대목과 접수의 엽록소합량에 유의차가 나타나지 않았으며, 변이형광과 최대양자수율에서도 유의차가 나타나지 않았다. 그러므로 접목묘의 활착에 소요된 일수에 따라 엽록소합량은 다르게 나타났다.

본 연구에 사용된 오이접목묘에서 접수의 엽록소합량과 엽록소형광반응 특성 사이에 상관관계가 높을 것으로 기대하였으나, 최대양자수율에서만 제한적으로 나타났다. 본 연구에서 엽록소합량을 접목 후 1일째, 4일째, 8일째, 12일째에 측정하였는데, 접수의 엽록소합량과 엽록소형광반응 특성 사이에 관련성을 정확하게 분석하려면 엽록소형광반응 특성이 측정된 전체 일수에 대한 엽록소합량 데이터가 필요할 것이다.

3. 광강도에 따른 오이접목묘의 생장 및 활착율

접목 후 14일째에 측정된 접목묘의 엽면적, 지상부 생체중, 지상부 건물중, 엽장, 엽폭 등의 생장 특성은 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광강도 처리구에서 유의차가 인정될 만큼 높게 나타났다(Table 1). 한편, 휴대용 엽록소계로 측정된 엽록소합량은 광강도에 따른 유의차가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 추출법을 적용하여 분석된 엽록소합량의 결과와 유사한 것이다(Kim, 2014).

본 연구에서 적용된 광강도 가운데 25, 50, 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 처리구에서 오이접목묘의 활착율은 90-95%로 나타났으며, 광강도 처리에 따른 유의차가 없었다(Fig. 5). 한편, 상대적으로 광강도가 높은 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 처리구에서의 활착율은 80% 정도로서 유의차가 인정될 만큼 낮게 나타났다. 본 연구에서 처리된 4수준의 광강도에 16h·d⁻¹의 광주기를 적용할 경우, 1일 적산광량은

Table 1. Growth of grafted cucumber seedlings healed under LED lamps with different light intensity at 14 days after grafting.

Light intensity ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Leaf area (cm^2/plant)	Top		Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	ODD ^y
		Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)			
25	41.76b ^z	1.67bc	0.17b	73.7b	77.0b	35.0a
50	48.74a	2.03a	0.22a	77.3a	80.8a	36.4a
100	39.93b	1.68b	0.18b	69.7c	72.3c	34.4a
150	40.48b	1.83b	0.19b	75.0ab	77.2ab	36.0a
LSD _{0.05}	4.44	0.19	0.03	3.5	3.6	2.5

^zMeans with the same letter are not significantly different.

^yOptical density difference (ODD) measured by a chlorophyll meter (SPAD 502, Minolta, Japan) MINOLTA, Japan)

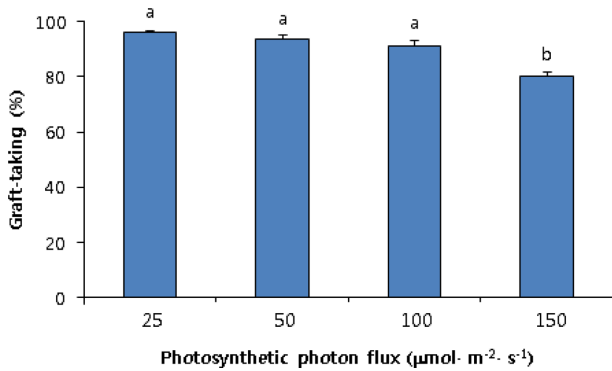


Fig. 5. Graft-taking of grafted cucumber seedlings healed under LED lamps with different light intensity.



Fig. 6. Rooting of grafted cucumber seedlings as affected by photosynthetic photon flux (PPF) of LED lamps and the days after grafting (DAG).

각각 $1.44\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, $2.88\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, $5.76\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 및 $8.64\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 에 해당한다. 오이접목묘의 CO_2 교환 속도와 생장에 미치는 광강도의 효과를 분석한 보고(Jang et al., 2011)에서 처리된 광량은 2수준($142, 237\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)으로서 활착율은 95% 정도로 나타났다. 상기 실험에서의 광주기는 $12\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ 로서, 1일 적산광량으로 환산하면 각각 $6.13\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, $10.24\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 에 해당한다. 그러므로 본 실험 결과와 이전 보고(Jang et al., 2011)를 종합하면 $16\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ 의 광주기에서 오이접목묘의 활착에 적합한 광량은 $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도로 판단된다.

단근합접된 접목묘는 활착 단계에서의 광강도가 $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상일 때 접목 후 3일째에 모든 처리구에서 발근이 이루어졌다(Fig. 6). 한편 광강도가 낮은 $25\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 처리구에서는 접목 후 4일째에 발근되었다. 따라서 광강도에 따라 차이가 있으나, 접목묘의 발근에 최소 2일이 필요한 것으로 판단된다.

단근합접된 접목묘에서 통도조직의 결합이 이루어지기 전에는 대목으로부터 접수로의 수분 이동이 제한을

받게 된다(Kim and Kim, 2000). 더구나 접목묘가 발근되지 않은 상태이므로 수분을 흡수할 수 없고, 이로 인하여 대목과 접수의 수분함량은 줄어들 수밖에 없다. 본 연구에서 접목 후 2일째에 접수의 최대양자수율이 일시적으로 감소하였다가 서서히 증가하는 것으로 나타났다. 한편 접수의 엽록소함량은 접목 후 4일째까지 증가하였으나, 이후로는 감소하였다. 이러한 결과는 접수의 수분함량에 따라 접수의 엽록소형광 반응 특성과 엽록소함량이 다르게 나타남을 의미하는 것이다. 향후 접목묘에서 수분 이동에 따른 엽록소형광 반응과 엽록소함량 변화를 정량적으로 해석할 수 있는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

초 록

본 연구는 대목과 접수의 결합 단계에서 나타나는 스

트레스를 오이접목묘의 엽록소형광반응, 엽록소함량, 활착 및 성장 특성 측면에서 분석하고자 수행되었다. 이를 위해서 활착실 내의 광합성유효광양자속은 25, 50, 100, 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 4수준으로 설정되었고, 기온, 상대습도 및 LED 램프의 광주기는 각각 25°C, 90%, 16h·d⁻¹이었다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다. 대목의 최대양자수율은 0.84-0.85로서 광량에 따른 분명한 차이가 나타나지 않았다. 한편, 접수의 최대양자수율은 접목 후 2일째에 0.81-0.82로 낮게 나타났으나, 3일째부터 광량이 높을수록 접수의 최대양자수율이 증가하였다. 활착 후 4일째에 측정된 접수의 엽록소함량은 광량이 증가할수록 높게 나타났다. 오이접목묘의 활착율은 광량이 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이하일 때 90-95% 정도로 높게 나타났으나, 150 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 처리구에서는 80% 정도로 저하되었다. 광주기에 따라 다르나, 오이접목묘의 활착에 적합한 한계 광량은 플러그 트레이 표면에 조사된 광량을 기준으로 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도이다. 본 연구에서 처리된 광강도 하에서 활착된 오이접목묘의 발근에 최소 2일이 소요되었고, 이 기간에 접수의 최대양자수율은 최저치로 나타났다. 활착 단계에서 조사되는 광량에 따라 대목과 접수의 변이형광과 최대양자수율이 다르게 나타났다. 그러므로 접목묘의 활착 단계에서 나타나는 스트레스를 줄이면서 대목의 발근을 촉진하고, 접수의 최대양자수율이 급격하게 저하되는 것을 방지하려면 광 및 습도 등의 물리적 환경이 정확하게 제어되어야 한다. 향후 접목묘의 활착 단계에서 대목의 발근, 통도조직의 결합 상태, 수분의 이동에 따른 엽록소함량 변화를 정량적으로 구명할 필요가 있다.

추가 주제어: 광합성유효광양자속, 엽록소, 오이묘, 접목, 최대양자수율

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ01277902)의 지원에 의해 수행되었음

Literature cited

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15. doi:10.1104/pp.24.1.1

Baker, N.R. and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55:1607-1621. doi:10.1093/jxb/erh196

Buttery, B.R. and R.L Buzzell. 1977. The relationship between

chlorophyll content and rate of photosynthesis in soybeans. Can. J. Plant Sci. 57: 1-5. doi:10.4141/cjps77-001

Han, S.H, D.H. Kim, G.N. Kim, and J.K. Byun. 2011. Changes of leaf characteristics, pigment content and photosynthesis of *Forsythia saxatilis* under two different light intensities. J. Kor. For. Soc. 100:609-615. (in Korean)

Hazrati, S., Z. Tahmasebi-Sarvestani, S.A.M. Modarres-Sanavy, A. Mokhtassi-Bidgoli, S. Nicola. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. Plant Physiol. Biochem. 106:141-148. doi:10.1016/j.plaphy.2016.04.046

Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57:1332-1334. doi:10.1139/b79-163

Jang, Y., E. Goto, Y. Ishigami, B. Mun, and C. Chun. 2011. Effects of light intensity and relative humidity on photosynthetic rate, growth and graft-take of grafted cucumber seedlings during healing and acclimatization. Hortic. Environ. Biotechnol. 52:331-338. doi:10.1007/s13580-011-0009-8

Johnson, G.N., A.J. Young, J.D. Scholes, and P. Horton. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. Plant, Cell & Environ. 16:673-679. doi:10.1111/j.1365-3040.1993.tb00485.x

Kim, S.K., H.J. Kim, K.J. Choi, J.H. Lee, G.C. Chung, and S.J. Chung. 2001. Effect of light intensity, temperature and leaf chlorophyll content on photosynthesis and respiration of colored calla (*Zantedeschia spp.*). Proc. Kor. J. Hortic. Sci. Technol. 19:98. (in Korean)

Kim, H.G. 2014. Chlorophyll fluorescence, graft-take and growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grafted seedlings as affected by light quality and light intensity of LED lamps. MS Thesis. Chonbuk National University. (in Korean)

Kim, Y.H. 2000. Design of a prototype system for graft-taking enhancement of grafted seedlings using artificial lighting -Effect of air current speed on the distribution of air temperature and relative humidity in a graft-taking enhancement system- J. Kor. Soc. Agric. Mach. 25:213-220. (in Korean)

Kim, Y.H. and C.S. Kim. 2000. Three dimensional visualization for vessel structure of grafted seedlings. Proc. Kor. Soc. Agric. Mach. 5:492-498. (in Korean)

Kim, Y.H. and Y.S. Park. 2001. Evapotranspiration rate of grafted seedlings affected by relative humidity and photosynthetic photon flux under artificial lighting. J. Kor. Soc. Agric. Mach. 26:379-384. (in Korean)

Kooten, O. and J.F. Snel. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. Photosynth Res. 25:147-50. doi:10.1007/BF00033156

Koscielniak, J, W. Filek, and J. Biesaga-Koscielniak. 2006. The effect of drought stress on chlorophyll fluorescence in *Lolium-Festuca* hybrids. Acta Physiol. Plant. 28:149-158. doi:10.1007/s11738-006-0041-y

- Krause G.H. and F. Weis. 1991. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42:313-349. doi:10.1146/annurev
- Kycko, M., B. Zagajewski, S. Lavender, E. Romanowska, and M. Zwijacz-Kozica. 2018. The impact of tourist traffic on the condition and cell structures of Alpine swards. *Remote Sens.* 10:220-241. doi:10.3390/rs10020220
- Lang, M., H.K. Lichtenthaler, M. Sowinska, F. Heisel, and J.A. Miede. 1996. Fluorescence imaging of water and temperature stress in plant leaves. *J. Plant Physiol.* 148:613-621. doi:10.1016/S0176-1617(96)80082-4
- Lee, J.M., C. Kubota, S.J. Tsao, Z. Bie, P.H. Echevarria, L. Morra, and M. Oda. 2010. Current status of vegetable grafting diffusion, grafting techniques, automation. *Sci. Hortic.* 127:93-105. doi:10.1016/j.scienta.2010.08.003
- Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51:659-668. doi:10.1093/jexbot/51.345.659
- Moradi, F. and A.M. Ismail. 2007. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Ann. Bot.* 99:1161-1173. doi:10.1093/aob/mcm052
- Schwarz, D., Y. Roupael, G. Collac, and J.H. Venema. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses. *Scientia Horticulturae* 127:162-171. doi:10.1016/j.scienta.2010.09.016
- Willits, D.H. and M.M. Peet. 1999. Using chlorophyll fluorescence to model leaf photosynthesis in greenhouse pepper and tomato. *Acta. Hort.* 507:311-315. doi:10.17660/Acta-Hortic.1999.507.36