

Effects of Soil Water Potential and Nitrogen Fertilization on Characteristics of Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence Induction in *Schisandra chinensis* Baillon

Young-Jin Seo*, Beung-Sung Kim, Jong-Phil Lee, Jong-Su Kim, Kee-Choon Park¹, Chun-Geun Park¹, Young-Sup Ahn¹, and Seon-Woo Cha¹

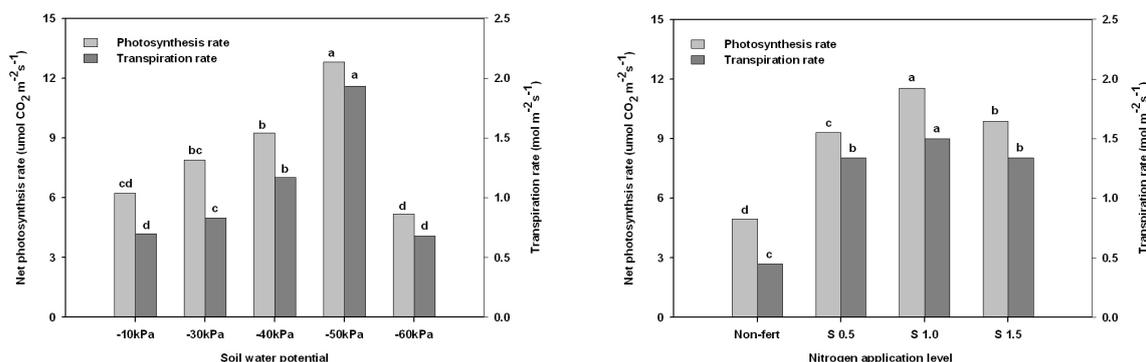
Bonghwa Medicinal Plant Research Station, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research and Extension Services,
Bonghwa 36229, Republic of Korea

¹Department of Herbal Crop Research, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA,
Eumseong, 27709, Republic of Korea

(Received: September 7 2015, Revised: December 21 2015, Accepted: December 22 2015)

Management of soil water and fertilization is known to primarily affect physiological properties and yield in plant. The effect of soil water potential and nitrogen application on characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Schisandra chinensis* Baillon was investigated on a sandy loam soil. Net photosynthesis rate and transpiration rate increased as a photon flux density and was highest at -50kPa of soil water potential. Light compensation point ($1.5 \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) and dark respiration ($0.13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{s}^{-1}$) was lowest at -50 kPa but maximum photosynthesis rate ($13.10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{s}^{-1}$) and net apparent quantum yield ($0.083 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-1} \text{s}^{-1}$) was highest at -50 kPa. As results of chlorophyll fluorescence by OJIP analysis, maximum quantum yield (Fv/Fm) of photosystem II (PSII) and PI_{abs} was higher in treatments of -50 kPa and -60 kPa respectively, which reflects the relative reduction state of PSII. But the relative activities per reaction center such as ABS/RC and DIO/RC were low with decreasing soil water potential. Net photosynthesis rate and transpiration rate were highest at treatment of soil testing 1.0 times (92 kg ha^{-1}). Application of nitrogen resulted in high Fv/Fm, PI_{abs} and low ABS/RC, DIO/RC . This result implies that -50 kPa of soil water potential and nitrogen fertilizer may improve the efficiency of photosynthesis through controlling a photosystem in *Schisandra chinensis* Baillon.

Key words: Soil water potential, Nitrogen, Photosynthesis, Chlorophyll fluorescence, *Schisandra chinensis* Baillon



Effects of soil water potential and nitrogen application level on photosynthesis rate and transpiration rate in *Schisandra chinensis* Baillon. †Same letters are not significant at $p < 0.05$ probability level by Duncan's multiple range test. S 0.5, S 1.0 and S 1.5 was a nitrogen application levels calculated from soil testing method.

*Corresponding author: Phone: +82546738064, Fax: +82546738066, E-mail: francisc@korea.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ011263)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

식품과 한약재 등으로 널리 사용되는 오미자과 (科) (*Schisandraceae*)의 식물은 세계적으로 *Schisandra*속 (屬), *Kadsura*속 (屬) 등 2屬, 22종 (種)이 존재하며 우리나라를 비롯한 동아시아에 광범위하게 분포를 하고 있다 (Bailey and Bailey, 1976). 우리나라에 분포하는 오미자과 식물은 북오미자 (*Schisandra chinensis*), 흑오미자 (*Schisandra nigra*), 남오미자 (*Kadsura japonica*) 등 2속 3종이 분포하고 있다. *Schisandra* 속의 북오미자와 흑오미자는 낙엽활엽성 식물로서 북오미자는 수염뿌리를 가지는 천근성 식물인데 여름철 기온이 시원하고 배수가 잘되며 공극이 많은 토양이 재배에 적합한 것으로 알려져 있으며 자생지의 토양환경 특성은 고도 500~700 m의 준산간지 산록 북서쪽 방향에 위치하고 경사도는 17.6~36.4%, 마사토와 부엽토가 섞여 배수가 양호하고 양분함량이 풍부한 지역에서 자라며 (Lim et al., 2010), 경북 북부 태백산, 황장산, 지리산, 속리산 등의 중북부 이북지역에서 분포하는 것으로 알려져 있다. 흑오미자는 한라산의 일부지역에서 자생하고 있다. 남오미자는 상록 활엽성 식물로서 남부 도서지방, 제주도의 저지대에서 분포하는 것으로 한다 (Kim et al., 1999).

오미자 재배지는 주로 산간 경사지에 재배되고 있으므로 기후변화에 따른 고온이 지속되고 봄철 생육기에 강수량이 부족하거나 여름철에 집중강우시 수분의 과다, 부족에 의한 생리장애의 발생이 쉬운 편이다. 따라서 고품질의 오미자를 생산하기 위하여 종 특유의 생리특성을 조사하여 생육지역의 기후, 토양의 양분 및 수분의 상태 등 환경요인이 생육에 미치는 영향을 구명하는 연구가 매우 중요하다. 현재까지 오미자의 생육환경에 연구는 Kim et al. (1999)의 오미자 종류별 광합성 특성에 대한 보고 뿐이며, 토양수분 및 토양의 양분상태에 따른 오미자 반응에 연구는 전무하다. 오미자의 열매는 맛이 독특하여 차와 같은 기호식품으로 사용될 뿐만 아니라 항산화 작용과 알콜해독 등의 약리적 기능이 있으므로 오미자에 대한 연구는 간보호 기능 (Lee, 1995; Lee and Lee, 1991), 세포손상 억제 (Lee et al., 2009), 면역력 증강 (Park et al., 2004), 간암세포 사멸 (Rho and Oh, 2002), 혈당강하 및 항산화 효과 (Chae et al., 2005), 미백효과 (Doo et al., 2007) 등 열매가 지닌 성분의 함량과 다양한 약리활성에 대한 연구가 주로 수행되고 있다. 또한 종 특유의 형태와 생리적 특성 (Kim et al., 2010), 잎 표면을 현미경

으로 분석한 분류학적 연구 (Ao et al., 2006)와 종간 품종 감별을 위한 유연관계 구명 (Lee et al., 2013)에 대한 보고가 있었고 재배방법과 관련하여 전정방법 및 개화생리 (Kim et al., 2003), 번식방법 (Kim et al., 2014), 병해충 방제 (Lee et al., 2009) 등의 연구가 수행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 적정 토양수분 및 양분관리 조건을 구명하고자 우리나라에서 주로 재배되고 있고 대한약전에 수록된 북오미자 (*Schisandra chinensis* Baillon)를 대상으로 토양수분 조건과 양분함량에 따른 오미자의 광합성 특성 및 광합성에 영향을 미치는 인자 분석을 위하여 엽록소 형광반응을 조사하였다.

Materials and Methods

공시작물 및 시험처리 오미자 재배시험은 경상북도 농업기술원 봉화약초시험장의 사양토를 사용하였으며 시험전 토양의 이화학적성은 Table 1과 같다. 공시토양을 직경 36 cm × 높이 44 cm의 플라스틱 포트에 토양 5 kg을 충전하고 문경지역 재배종 2년생 오미자를 식재한 후 재배하였다. 토양수분 관리를 위하여 15 cm 깊이에 토양수분장력계 (pF meter 02, Daiki Inc., Japan)를 매설하여 토양수분 함량을 측정하였다. 수분함량별 광합성 및 엽록소 형광특성 조사를 위해 6월 15일부터 관수종말점을 -10 kPa, -30 kPa, -40 kPa, -50 kPa, -60 kPa와 관수개시점은 -15 kPa, -35 kPa, -45 kPa, -55 kPa, -65 kPa의 5 수준으로 처리하여 1개월 간 재배를 하였다. 질소시용 효과를 조사하기 위해 10a의 토양무계를 120톤으로 간주하고 포트에 사용되는 요소의 검정시비량을 산출하였고 토양 5 kg당 검정시비 0.5배는 0.415 g, 검정시비 1.0배는 0.830 g, 검정시비 1.5배는 1.245 g을 8월 3일에 사용하고 10일 후 조사를 실시하였다.

광합성 및 엽록소 형광반응 측정 토양수분 함량별 광합성 및 엽록소 형광반응은 오미자를 온도 25°C, 상대습도 65%, 광량 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조건에서 측정을 하였다. 순 광합성속도 (net photosynthesis rate), 기공증산속도 (transpiration rate)는 광합성측정기 (LI-6400XT, Licor Inc., USA)를 이용하여 오미자 줄기의 중간 부위에 위치하는 만개한 잎을 대상으로 측정챔버의 공기유량은 250 $\mu\text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$, 온도 20 \pm 2°C의 조건에서 오전 9시부터 오후 1시까지 3반복으로 측정하였다. Photosynthetic photon density (PPFD)

Table 1. Physico-chemical properties of soils before experiment.

pH	EC	O.M.	Avail.P ₂ O ₅	Exch. cations			NO ₃ -N	Texture
				K	Ca	Mg		
(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹	
7.2	0.77	33.0	781	1.90	13.0	1.90	77.5	Sandy Loam

는 LED light source를 이용하여 0, 50, 100, 250, 500, 1000, 1500, 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 단계로 조절하였다. 광-광합성 곡선을 측정하여 광보상점 (Light compensation point, LCP), 암호흡 (Dark respiration, DR), 순양자수율 (Net apparent quantum yield, NAQY), 최대광합성속도 (Maximum photosynthesis rate, MPR)을 구하였다 (Kim et al., 1999; Kim and Lee, 2001a).

엽록소 형광반응 측정기 (FluorPen FP100 Fluorimeter, Photon System Instrument, Czechia)를 사용한 OJIP 분석은 20분간 암상태에 적응시킨 잎에 $1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광을 1초간 조사하고 50 μs (O 단계), 2 ms (J 단계), 30 ms (I 단계), 300 ms (P 단계)의 엽록소 형광밀도를 3반복으로 측정하여 구하였다. OJIP 분석을 통해 오미자 잎의 생체물리학적 변수 (V_j , V_i , F_v/F_m , P_i abs, ABS/RC, ETo/RC, DiO/RC)를 산출하였다 (Strasser et al., 2000).

분석방법 토양중 질산태질소 분석은 채취한 토양 10 g에 2M KCl용액 50 ml을 가하고 30분간 추출하여 Toyo 2 여과지로 여과하고 여액을 후 켈달증류하여 질산태질소 함량을 정량하였다. 오미자 잎의 질소함량은 성숙된 잎을 채취하여 열풍건조기에 넣고 40°C에서 48시간 건조하고 분쇄하여 원소분석기 (PE 2400 series II, Perkin-Elmer, USA)로 분석하였다.

통계분석 통계처리는 SAS 통계프로그램 (Ver. 9.13, 2006)을 사용하였으며, 토양수분 함량 및 질소 시용수준에 따른 효과분석을 위하여 분산분석 (ANOVA)과 던칸검정 ($p \leq 0.05$)에 의한 처리평균간 비교를 실시하였다.

Results and Discussion

토양수분 함량과 광의 세기에 따른 오미자의 광합성 및 증산에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 1과 같았다. 광의 세기가 증가할수록 광합성율은 증가하는 경향을 나타내었는데, 광합성율은 -50 kPa처리구에서 가장 높았고 -40 kPa, -30 kPa, -60 kPa, -10 kPa 순으로 낮아졌다. -10 kPa처리구에서는 광의 세기가 1,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 증가하다 감소하는 경향을 보였고, 그 외 처리는 1,500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 증가를 보였다. 증산율 또한 광도가 증가할수록 높아지는 경향이었고 -50 kPa처리구에서 2.38 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 가장 높은 증산속도를 나타내었으며 다음으로 -40 kPa, -30 kPa, -60 kPa, -10 kPa 순이었으며 특히 -10 kPa 처리구는 1,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상에서 증산율의 감소를 나타내었고 -60 kPa에 처리구보다 낮은 증산율을 나타내어 오미자는 수분이 과다한 조건에서 광합성 및 증산율이 크게 저해되는 것으로 나타났다. 침수 등 과습한 토양수분 상태

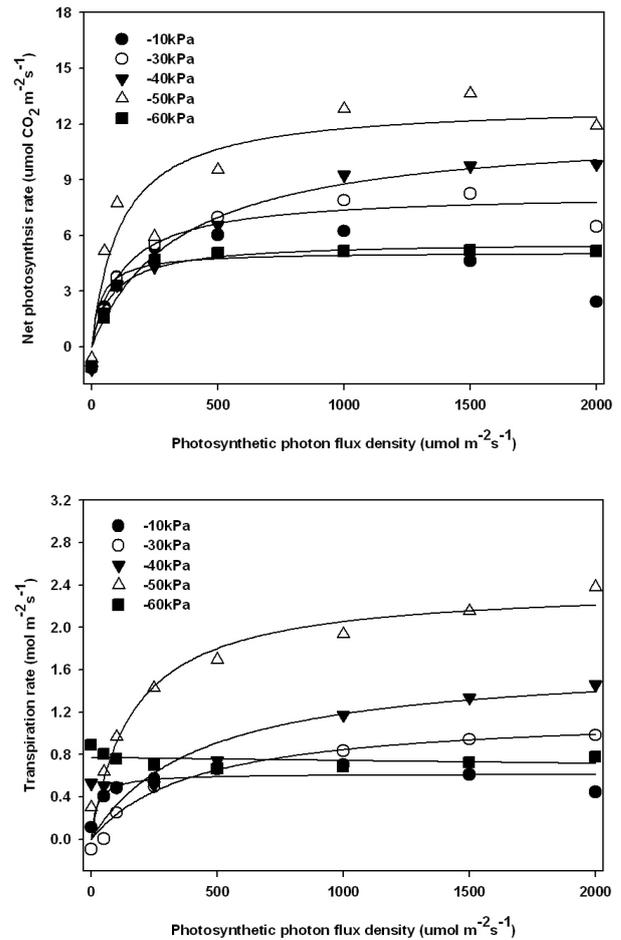


Fig. 1. Effect of soil water potential on kinetics of net photosynthesis rate and transpiration rate depending upon photon flux density in *Schizandra chinensis* Baillon.

에서 뿌리의 수리전도도가 감소되고 수체내 수분 스트레스를 높이고 잎의 팽압과 기공전도도를 감소시키며 잎의 수분 포텐셜의 뚜렷한 변화가 없더라도 기공폐쇄가 유도되어 증산율이 감소되는데 이러한 이유는 과습한 상태에서 식물의 생존율을 높이기 위한 기작으로 여겨지며 침수기간이 경과함에 따라 기공전도도 및 증산율이 감소하는 것으로 보고하였다 (Davis and Flore, 1986; Kozlowski and Pallardy, 1979; Kozlowski, 1984; Mielke et al., 2003; Pezeshki, 2001).

약광조건인 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이하에서 광도와 광합성의 관계는 직선적이므로 직선회귀식을 이용하여 Kim and Lee (2001a)의 방법에 따라 호흡속도, 광보상점, 순양자수율, 최대광합성속도를 산출하였다 (Table 2). -50 kPa처리에서 순양자수율은 0.083 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 으로 가장 높았다. 특히 순양자수율은 약광 조건에서 광합성능력의 지표로 빛에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 나타내며 (Evans, 1987), 외부의 스트레스를 받지 않고 25°C, CO_2 농도가 350 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ 의 생육조건에서 대략 0.04 ~ 0.06 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 을 나타내고 0.04 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Table 2. Effect of soil water potential on photosynthetic parameters in *Schizandra chinensis* Baillon.

Treatment	LCP	DR	MPR	NAQY
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
-10 kPa	16.5 b	0.80 a	5.83 d	0.147 bc
-30 kPa	17.5 b	0.83 a	7.85 c	0.048 bc
-40 kPa	11.2 c	0.59 b	9.25 b	0.054 b
-50 kPa	1.5 d	0.13 c	13.10 a	0.083 a
-60 kPa	19.4 a	0.88 a	5.01 d	0.042 c

* Same letters within column are not significant at $p < 0.05$ probability level by duncan's multiple range test.

† Light compensation point (LCP), Dark respiration (DR), Maximum photosynthesis rate (MPR), Net apparent quantum yield (NAQY)

이하인 경우 광화학계가 손상을 받은 것으로 보고하고 있다 (Bjorkman and Demmig, 1987). 본 연구에서는 순양자수율이 $0.042 \sim 0.083 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 범위를 나타내어 광화학계의 손상은 발생하지 않았지만, -10 kPa 처리구는 $0.047 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, -60 kPa 처리구는 $0.042 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 으로 -50 kPa 처리구에 비해 51~57% 수준의 순양자수율을 감소를 나타내었다. 광보상점과 암호흡은 각각 $1.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $0.13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 으로 유의하게 낮았고 최대 광합성속도는 $13.10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 으로 가장 높은 수준을 나타내었다.

자연환경의 일상적인 조건에서 토양수분 함량의 영향을 조사하기 위하여 온도 25°C , CO_2 농도를 $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ 과, 빛의 세기를 $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 하여 광합성과 증산에 미치는 영향을 조사하였다 (Fig. 2) -50 kPa 처리구에서 광합성과 증산율이 가장 높았으며 토양수분 함량이 높아질수록 유의하게 낮아졌다. -60 kPa 처리구는 -10 kPa 처리구와 유사한 수준을 나타내어 토양수분이 과습하거나 건조할 때 오미자의 광합성과 증산율을 크게 저해되는 것으로 조사되었다. 수분부족 및 저온 등 환경스트레스를 받는 조건에서 광반응에 이용되는 빛 에너지에 의해 광합성 저해가 일어나는데 이러한 원인은 광산화적 스트레스를 회피하기 위한 방어기작으로 간주되고 있다 (Kim and Lee, 2001b). 오미자는 천근성 작물로 수염뿌리를 가지는 약용작물이므로 수분이 과다할 경우 생리적 특성이 불량할 가능성이 매우 높다. 캄벨얼리와 거봉과 같은 포도의 경우 침수에 의해 뿌리로부터 수분흡수 저해에 따른 잎의 기공전도도가 감소하여 증산율이 떨어져서 증산작용에 의한 엽온 조절기능이 교란되어 일사에 의한 광에너지 방출이 원활하지 못하므로 엽온도 상승, 정상적인 광합성이 억제되어 잎의 광계 II의 광수확 복합체 (LHC II)의 광수확 안테나가 닫히고 막 단백질이 변형되어 광에너지가 광합성에 효율적으로 쓰이지 못하고 비광화학적 에너지 방출이 증가한다고 보고하였다

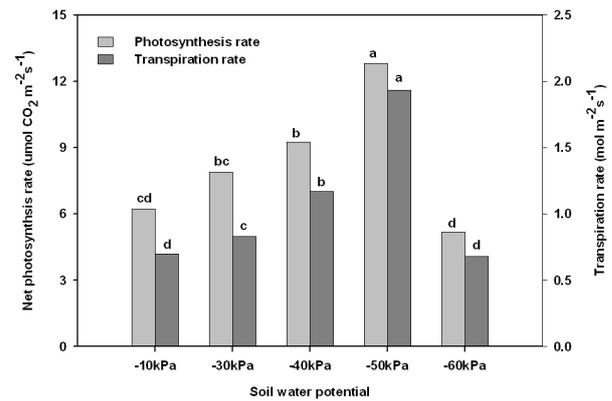


Fig. 2. Effect of soil water potential on net photosynthesis rate and transpiration rate in *Schizandra chinensis* Baillon at 25°C . † Same letters are not significant at $p < 0.05$ probability level by duncan's multiple range test.

(Kang et al., 2007). 토양수분의 감소에 따라 건조한 조건이 지속될 경우 수분스트레스로 인한 엽내 수분함량 부족이 엽록체내 막의 손상을 야기하고, ABA의 함량증가로 기공폐쇄를 유도하여 증산과 광합성 율의 감소를 초래하는데 따듯름에서는 14일 정도 건조한 상태가 되면 광합성율과 증산율의 감소가 나타나는 것으로 보고하였다 (Lee et al., 2014).

광계 II의 안테나 엽록소에 흡수된 빛 에너지 (ABS)는 에너지의 전이과정을 거쳐 반응중심 (P680)을 들뜬 상태로 만들고 들뜬 반응중심은 전하의 분리과정으로 인접한 페오피틴 (pheophytin)에 전자를 방출하여 전하 안정과정을 통해 초기 전자수용체인 Q_A 를 환원시키게 된다 (TR₀). 이 과정에서 일부 에너지는 반응중심에 포획되지 못하고 열 등의 형태로 방출되고 (DI₀), Q_A 의 환원 이후 전자전달계를 거쳐서 (ET₀) 최종적으로 NADP^+ 를 NADPH 로 환원시키게 된다 (Strasser et al., 2000). OJIP 분석법에 의한 엽록소 형광반응의 가장 초기에 O-J 구간은 광계 II의 반응중심에 Q_A 의 환원 (Q_A^-)을 나타내고 J-I 구간은 Q_A^- 의 환원과 재산화간 불균형, I-P 구간은 플라스토퀴논 (Plastoquinone)의 급격한 환원을 의미한다 (Oh et al., 2009). 토양수분함량에 따른 엽록소 형광분석 결과는 Table 3의 내용과 같았다. -10 kPa, -30 kPa 처리구는 V_i , V_j 가 유의하게 높은 편이었는데 높은 V_j 는 Q_A^- 의 재산화율이 낮아서 전자전달이 저해됨을 의미하고 산소발생복합체 (oxygen-evolving complex)의 비활성도와도 관계가 높은 것으로 나타났다 (Wang et al., 2012; Spoustová et al., 2013). 초기 광화학반응에서 최대 양자수율을 나타내는 F_v/F_m 은 수분함량이 많은 -10 kPa 처리구에서 가장 낮았다.

PI_{abs} 는 흡수된 빛에너지를 이용하여 전자운반체가 환원되는 과정에서 에너지 보존효율을 나타내는데 (Holland et al., 2013) 광계 II의 반응중심에서 광합성 활성을 조절하는 3가지 단계, 즉 활성 반응중심의 전체밀도, 반응중심에 흡

Table 3. Effect of soil water potential on characteristics of chlorophyll fluorescence in *Schizandra chinensis* Baillon.

Treatment	Vj	Vi	Fv/Fm	PI _{abs}	ABS/RC	ETo/RC	DIo/RC
-10 kPa	0.66 a	0.91 a	0.67 b	0.43 c	2.77 a	0.61 b	0.93 a
-30 kPa	0.58 ab	0.92 a	0.74 a	0.87 b	2.43 ab	0.76 a	0.63 b
-40 kPa	0.56 b	0.84 b	0.76 a	1.03 b	2.44 ab	0.81 a	0.60 b
-50 kPa	0.52 b	0.90 b	0.75 a	1.20 ab	2.33 b	0.84 a	0.59 b
-60 kPa	0.50 b	0.89 b	0.77 a	1.48 a	2.28 b	0.88 a	0.53 b

* Same letters within column are not significant at p<0.05 probability level by duncan's multiple range test.

수된 에너지가 광화학과정으로 포획되는 비율, Q_A의 환원 후 전자수송과정 내에 전자이동을 모두 반영하는 것으로 광계 II의 Fv/Fm 보다 더욱 민감한 환경스트레스 지표로 사용되고 있는데 (Van Heerden et al., 2007) 본 연구에서는 PI_{abs}가 -10 kPa에서 가장 낮았으므로 과습에 의한 저해가 발생하는 것으로 사료된다. 반응중심당 에너지 흐름의 변화를 나타내는 ABS/RC는 -10 kPa에서 가장 높았고 수분함량이 감소함에 따라 낮아지는 경향을 보였으며 -10 kPa에서 ETo/RC가 낮았고 DIo/RC는 높았으며 그 외 처리는 비슷한 수준을 나타내었다. ABS/RC의 증가는 환원상태의 반응중심이 많아져 비활성 상태임을 의미하며 (Spoustová et al., 2013), ETo/RC의 감소는 Q_A의 환원이후 광계 I (P700)을 환원시키기 위한 전자전달이 저해되며, DIo/RC의 증가를 통해 활성상태의 반응중심이 감소되어 반응중심당 포획되는 에너지와 열로 방출되는 에너지가 증가하여 수분스트레스로 인한 과도한 여기에너지의 유입에 따른 피해를 줄이기 위한 광저해 현상의 발생과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다 (Falgueto et al., 2010). 따라서 토양이 과습하게 되면 광화학반응에 이용하기 위해 포획되는 에너지가 줄어들고 전자전달에 이용되지 못하는 에너지가 증가하여 광계 II의 활성이 감소하며 과도한 여기 에너지로 인하여 광산화를 막기 위한 환원상태의 반응중심과 비광화학적 에너지의 소실을 증가시키는 반응을 나타내므로 광합성, 증산율 및 엽록소 형광반응을 고려하면 오미자 재배를 위한 적정 토양수분 함량은 -50 kPa가 합리적인 것으로 판단된다.

질소 추비가 광합성 및 증산율에 미치는 영향을 조사한 결과 (Fig. 3) 광합성율은 검정시비 1.0배에서 가장 높았고 다음으로 검정시비 1.5배, 검정시비 0.5배, 무비구 순이었다. 증산율은 검정시비 1.0배에서 가장 높았고 검정시비 0.5배와 검정시비 1.5배, 무비구 순이었다. 토양중 질산태 질소 함량은 시비량이 증가할수록 유의하게 높아졌으며 잎의 질소함량은 검정시비 1.0배와 검정시비 1.5배 처리구가 무처리와 검정시비 0.5배구에 비해 유의하게 높았다 (Fig. 4). 잎의 질소성분은 엽록소 단백질 함량을 증가시키며 특히 엽록소 b의 증가는 빛이 약한 조건에서도 빛을 포집하는 능력을 증가시켜 광합성곡선의 초기 기울기를 높이는 것으로 보고되어 있다 (Evans, 1987). 질소 사용에 따른 엽록소

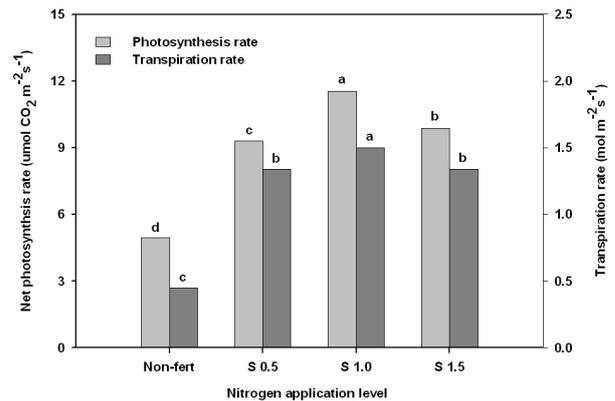


Fig. 3. Effects of nitrogen application level on net photosynthesis rate and transpiration rate in *Schizandra chinensis* Baillon. † Same letters are not significant at p<0.05 probability level by duncan's multiple range test.

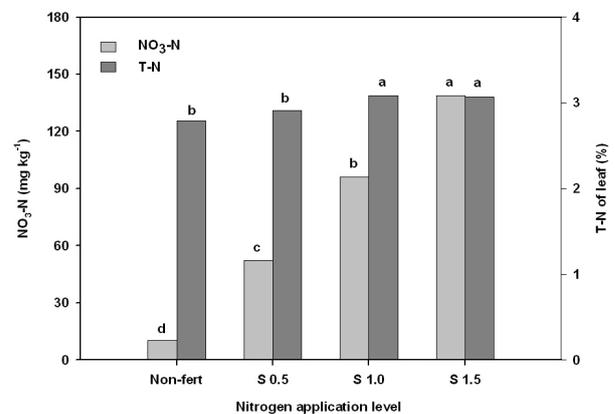


Fig. 4. Effects of nitrogen application level on contents of NO₃-N in soil and total nitrogen in leaf. † Same letters are not significant at p<0.05 probability level by duncan's multiple range test.

형광분석 결과 (Table 4) 무비구에서 Vj가 가장 높았고 질소 사용량이 많아질수록 낮아지는 경향을 보였다. Fv/Fm는 무비구에서 가장 낮았고 그 외 처리는 비슷한 수준을 보였으며 PI_{abs}는 질소사용량에 따라 증가하는 경향을 나타내었고 ABS/RC와 DIo/RC는 감소하는 경향을 보였다. 질소추비가 전자전달과 양자수율을 높이고 반응중심의 활성화와 비광화학적 에너지 소실을 감소시키는 것으로 조사되었다. 반면

Table 4. Effect of nitrogen fertilization on characteristics of chlorophyll fluorescence in *Schisandra chinensis* Baillon.

Treatment	Vj	Vi	Fv/Fm	PI _{abs}	ABS/RC	ETo/RC	DIo/RC
Non-Fert.	0.56 a	0.88 a	0.73 b	0.81 b	2.70 a	0.87 a	0.72 a
S0.5	0.52 ab	0.88 a	0.76 a	1.22 ab	2.49 ab	0.92 a	0.59 ab
S 1.0	0.52 ab	0.86 a	0.77 a	1.31 ab	2.43 ab	0.89 a	0.57 b
S 1.5	0.50 b	0.89 a	0.76 a	1.46 a	2.23 b	0.85 a	0.54 b

* Same letters within column are not significant at $p < 0.05$ probability level by duncan's multiple range test.

† S 0.5, S 1.0, S 1.5 indicate recommended nitrogen fertilization rate based on soil testing.

ETo/RC는 처리간 차이가 없어 Q_A의 환원이후 광계 I (P700)을 환원시키기 위한 전자전달에는 영향이 없는 것으로 나타났다. 따라서 적정 질소추비 사용량은 검정시비 1.0배가 합리적인 것으로 나타났다.

Conclusion

토양수분 함량 및 추비사용이 오미자의 광합성을, 증산을 및 엽록소 형광특성에 미치는 영향을 조사하였다. 광의 세기가 증가할수록 광합성과 증산율이 증가하는 경향이었고 -50 kPa처리구에서 가장 높았다. -50 kPa처리에서 순양자수율과 최대광합성속도가 높았고 광보상점과 암호흡은 유의하게 낮았다. 토양이 많은 조건에서 환원된 전자의 재산화율, 최대양자수율, PI_{abs}, ETo/RC가 -10 kPa처리구에서 가장 낮았고 DIo/RC는 높아 전자전달이 저해되는 경향을 나타내었다. 광합성과 증산율은 검정시비 1.0배에서 가장 높았고 토양중 질소함량은 시비량이 증가할수록 유의하게 높아졌으며 잎의 질소함량은 검정시비 1.0배와 검정시비 1.5배 처리구에서 높았다. 질소 사용은 환원된 전자의 재산화율, 최대양자수율, PI_{abs}을 증가시키고 ABS/RC와 DIo/RC는 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 오미자의 광합성 및 엽록소 형광특성을 고려할 때 토양수분은 -50 kPa, 질소추비 사용량은 검정시비 1.0배가 적절한 것으로 나타났다.

References

Ao, C.Q. 2006. Morphological characters of leaf epidermis in *Scisandraceae* and their systematic significance. *J. Plant Biol.* 49:80-87.

Bailey, L.H. and E.Z. Bailey. 1976. Hortus third a concise dictionary of plants cultivated in the United states and Canada. McMillan Pub. Comp. 620-1017.

Bjorkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta.* 170: 489-504.

Chae, H.J., H.I. Hwang, I.S. Lee and H.Y. Moon. 2005. Comparison of on rat intestinal digestive enzyme inhibitory activity and antioxidant enzyme activity of Korean and

Chinese *Schisandra chinensis*. *J. Exp. Biomed. Sci.* 11:517-523.

Davis, F.S., and J.A. Flore. 1986. Flooding, gas exchange and hydraulic conductivity of highbush berry. *Physiol. Plant.* 67:545-551.

Doo, I.S., K.S. Lim, C.Y. Hwang, M.C. Park, and N.K. Kim. 2007. A study on the melanin synthesis inhibition and whitening effect of *Schizandrae fructus*. *The J. Kor. Orien. Med. Ophthal. & Otol & Demat.* 20:51-62.

Evans, J.R. 1987. The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. *Aus. J. of Plant Physiol.* 14:445-483.

Falqueto, A.R., F.S. Silva, D. Cassol, A.M. Jünoir Magalhães, A.C. Oliveira, and M.A. Bacarin. 2010. Chlorophyll fluorescence in rice; probing of senescence driven changes of PS II activity on rice varieties differing in grain yield capacity. *Braz. J. of Plant Physiol.* 22:35-41.

Holland, V., S. Koller, and W. Brüggemann. 2013. Insight into the photosynthetic apparatus in evergreen and deciduous European oaks during autumn senescence using OJIP fluorescence transient analysis. *Plant Biol.* doi;10.1111/plb. 12105.

Kang, S.B., H.I. Jang, I.B. Lee, J.M. Park, and D.K. Moon. 2007. Changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence of 'Cambell Early' and 'Kyoho' grapevine cultivars under long-term waterlogging condition. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25:1-8.

Kim, J.Y., C.S. Kim, D.H. You, D.W. Kim, D.C. Choi, J.M. Kim, N.G. Oh, C.G. Park, Y.S. Ahn, and K.S. Lee. 2014. Cuttings of mass propagation affecting the impact of increasing reproductive efficiency of *Schisandra chinensis*. *Korean J. Med. Crop Sci.* 22:2310-236.

Kim, P.G., and E.J. Lee. 2001a. Ecophysiology of photosynthesis : Effect of light intensity and intercellular CO₂ pressure on photosynthesis. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 3:126-133.

Kim, P.G., and E.J. Lee. 2001b. Ecophysiology of photosynthesis 2 : Adaptation of photosynthetic apparatus to changing environment. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 3:171-176.

Kim, P.G., K.Y. Lee, S.H. Kim, and S.S. Han. 1999. Foliar characteristics and photosynthetic efficiency of three species

- of Schizandraceae trees distributed in Korea. Korean J. Agric. For. Meteorol. 1:90-96.
- Kim, S.H., M.Y. Lee, E.S. Baik, J. Han, and M.S. Kang. 2010. Morphology and chlorophyll contents of leaf and wood anatomical characteristics of three *Schizandraceae* species in Korea. Korean J. Plant Resour. 23:31-37.
- Kozlowski, T.T. 1984. Response of woody plants to flooding. In T.T. Kozlowski (ed.). Flooding and plant growth. Acad. press. Ontario. Fl. USA. 129-163.
- Kozlowski, T.T., and S.G. Pallardy. 1979. Stomatal responses of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings during and after flooding. Physiol. Plant. 46:155-158.
- Lee, J.S. and S.W. Lee. 1991. Effect of water extracts of endocarps and seeds of omija (*Schizandra chinensis* Baillon). J. of the East Asia. Soc. of Diet. Life. 1:185-190.
- Lee, K.C., S.H. Kim, W.G. Park, and Y.S. Kim. 2014. Effects of drought stress on photosynthetic capacity and photosystem II activity in *Oplopanax elatus*. Korean. J. Med. Crop. 22:38-45.
- Lee, M.Y., B.C. Moon, Y.U. Ji, H.S. Seo, and H.K. Kim. 2013. Development of RAPD driven SCAR Markers and multiplex PCR for authentication of Scisandrae Fructus. Korean J. Med. Crop. 21:165-173.
- Lee, Y.K. 1995. Effect of omija (*Schizandra chinensis* Baillon) methanol extract on benzo (a)pyrene induced hepatotoxicity in rat. J. of the East Asia. Soc. of Diet. Life. 5:21-27.
- Lee, Y.M., K.S. Lee and D.K. Kim. 2009. Aqueous extract of *schizandra chinensis* suppresses dextran sulfate sodium induced generation of IL-8 and ROS in colonic epithelial cell line HT-29. Nat. Prod. Sci. 15:185-191.
- Lim, S.J., K.S. Lee, H.R. Jung, Y.G. Kim, M.S. Song and J.Y. Cho. 2010. Soil and environmental characteristics of *Schizandra chinensis* Baillon habitat located in Jangsu-gun, Jeollabuk-do. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):771-775.
- Mielke, M.S., A.F. Almeida, F.P. Gomez, M.A. Aguila, and P.A. Mangaberia. 2003. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth response of *Genipa americana* seedling to soil flooding. Environ. and Experi. Bot. 50:221-231.
- Oh, S.J., K.L. Zhin, and S.C. Koh. 2009. Characterization of Chl a fluorescence of hydrophytes under cadmium stress. Environ. Sci. 18:1361-1368.
- Park, J.H., J.H. Kim, D.H. Kim, H.C. Mun, H.J. Lee, S.M. Seo, K.H. Paik, L.H. Ryu, J.I. Park, and H.Y. Lee. 2004. Comparison of immuno-stimulate activities by purification process of *schizandra chinensis* Baillon fruits. Korean J. of Med. Crop Sci. 12:141-148.
- Pezeshki, S.R. 2001. Wet plant response to soil flooding. Environ. and Experi. Bot. 46:299-312.
- Rho, S.N. and H.S. Oh. 2002. Effect of omija (*schizandra chinensis* Baillon) extracts on the growth of liver cancer cell line SNU-398. Korean J. of Nutri. 35:201-206.
- Spoustová, P., H. Synková, R. Valcke, and N. Ceřovská. 2013. Chlorophyll a fluorescence as a tool for a study of the potato virus Y effects on photosynthesis of nontransgenic and transgenic Pssu-ipt tobacco. Photosynthe. 51:1-11.
- Srasser, R.J., A. Srivastava, and M. Tsimilli-Michael. 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic sample. In Yunus M. et al., (eds.) Probing photosynthesis : Mechanism, regulation and adaptation. Taylor and Francis. New York. NY. USA. 445-483.
- Van Heerden, P., J. Swanepoel, and G. Krüger. 2007. Modulation of photosynthesis by drought in two dessert scrub species exhibiting C3-mode CO₂ assimilation. Environ. and Experi. Bot. 61:124-136.
- Wang, Z.X., L. Chen, J. Ai, H.Y. Qin, Y.X. Lin, P.L. Xu, Z.Q. Jiao, Y. Zhao, and Q.T. Zhang. 2012. Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in amur grape (*Vitis amurensis* Rupr.). Photosynthe. 50:189-196.