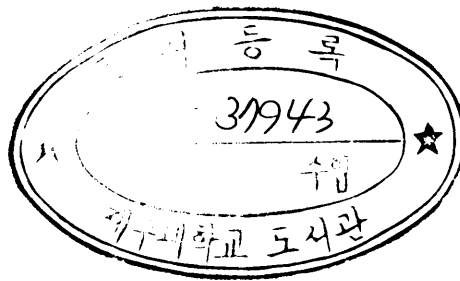


H
H2A.65
H3P20

석사학위논문

온주밀감 앞에서 엽록소 형광의 일주기 변화와 그 특성



제주대학교 대학원관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
생물학과

박영철

1998년 12월

온주밀감 앞에서 엽록소 형광의 일주기 변화와 그 특성

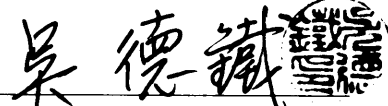

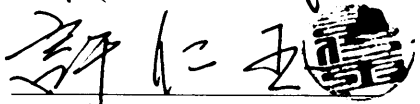



지도교수 고 석 찬

박 영 철

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

1998년 12월

박영철의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장  
위 원  
위 원  


제주대학교 대학원

1998년 12월

**Diurnal Fluctuation and Characteristics of
Chlorophyll Fluorescence of
Satsuma Mandarin(*Citrus unshiu* Marc.) Leaves**

Young-Chul Park

(Supervised by Professor Suck Chan Koh)

 A THESIS SUBMITTED
IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1998. 12.

목 차

Abstracts	1
I. 서 론	2
II. 재료 및 방법	4
III. 결과 및 고찰	7
IV. 적 요	19
V. 참고문헌	20



제주대학교 중앙도서관

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

ABSTRACTS

Chlorophyll fluorescence was non-destructively measured from leaves of *Citrus* species and the responses of Satsuma mandarin leaves to light, temperature and humidity were investigated in order to apply it to studying the responses of Satsuma mandarin to environmental stress.

Chlorophyll fluorescence parameters of Satsuma mandarin leaves was compared with those of other 7 *Citrus* species and *P. trifoliata*; All parameters and the effects of light shock were different among species.

Diurnal fluctuation pattern of Fv/Fm of Satsuma mandarin leaves was shallow v-shaped; Fv/Fm was lowest at noon and kept up the highest values continuously after 20:00. Although the range of diurnal fluctuation was different by environmental condition, fluctuation of Fv/Fm was similar to that of humidity, but contrary to that of light density. Fv/Fm after dark adaptation was higher than before dark adaptation. And after 20:00, there were no changes in all parameters, so dark adaptation was not required for measuring chlorophyll fluorescence. Fv/Fm showed positive correlation with humidity and negative correlation with light density and temperature under the condition that light density, temperature and humidity were in 0.4961~1788 μM , 23.21~31.44°C and 69.39~91.30%, respectively. Fm was similar to that of Fv/Fm, but Fm was contrary to that of Fv/Fm.

These results suggest that chlorophyll fluorescence is useful means to identify Satsuma mandarin from other *Citrus* species. It was correlation with light density, temperature and humidity, so it is able to apply chlorophyll fluorescence to studying responses of Satsuma mandarin to environment stress. And if more study on characteristics of chlorophyll fluorescence should be followed under various environmental condition, it can be used for study on culture.

I. 서 론

광합성 명반응은 식물체가 빛에너지를 이용하여 전자수용체를 환원시키고 O_2 를 생성하는 과정이며, 광합성 색소가 흡수한 빛에너지를 화학에너지로 바꾸는 광화학반응이다. 명반응은 700 nm 부근의 파장을 주로 이용하는 광계I과 680 nm 부근의 파장을 주로 이용하는 광계II로 구성되어 있다. 빛에너지의 흡수는 주로 광계II에서 일어나며 이 때 빛에너지를 흡수한 광합성 색소는 들뜬 상태가 되어 에너지를 다음 전자전달체인 plastoquinone에 전달하게 되는데 이때 발생하는 빛을 형광이라고 한다. 그러므로 식물체의 형광은 광계II의 엽록소 형광과 관련이 높다(Schreiber 등, 1994).

엽록소 형광과 광합성의 상호관계에 대하여는 엽록소 형광의 분석(Krause과 Weis, 1991; Schreiber와 Bilger, 1993), 광억제(Krause와 Behrend, 1986; Demming-Adams, 1990; Osmond, 1994), 광합성의 일주기(Björkman 등, 1988; Demming-Adams 등, 1989; Ögren과 Sjöström, 1990), 광합성의 계절적 변화(Öquist, 1983; Strand와 Landmark, 1987) 등에 관한 연구가 1980년대 후반부터 많이 이루어져 왔다. 이 외에도 식물의 생장과의 관계(Ort와 Baker, 1988; Long 등, 1994), 생태의 유동성과의 관계(Kamaluddin과 Grace, 1992) 등이 연구가 수행되어 왔다.

또한 엽록소 형광은 잎의 환경스트레스에 대한 의미 있는 정보를 제공하여(Long 등, 1994), 스트레스를 유발하는 화학물질 처리(Briantais 등, 1988; Chung과 Park, 1992)와 기타 자연조건에서의 환경스트레스(Somersalo와 Krause, 1990; Lee 등, 1995)에 따른 엽록소 형광의 변화 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

많이 이용되는 변수로는 F_0 , F_m , F_v/F_m 등이 있는데, F_0 는 Q_A 가 완전히 산화되어 있는 상태에서 발하는 형광을, F_m 은 완전히 환원되어 있는 상태에서 발하는 형광을 의미하며, F_v/F_m 은 F_m 과 F_0 의 차인 F_v 를 F_m 으로 나눈 값으로 엽

록체에 의해 흡수된 광광자가 광화학 반응에 이용되는 효율을 뜻한다(Kitujima와 Butler, 1975). F_v/F_m 은 대부분의 식물에서 대개 0.80~0.83의 범위에 존재하며 이 변수는 광계II의 최대 광효율을 나타내는 척도 중 하나로 알려져 있다 (Demming과 Björkman, 1987).

엽록소 형광은 CO_2 흡수와 O_2 생성으로 측정하는 것보다 용이하게 잎의 광합성 효율을 측정할 수 있고, 또한 비파괴적으로 수행할 수 있어 외부 환경변화에 따르는 광합성능의 일주기 변화 및 광억제의 일주기 변화 등을 측정하는데 유리하다.

한편, 제주도의 주요 작물인 감귤에 있어서는 주로 재배법과 병충해 방제에 대한 연구로 제한되어 있어 환경스트레스에 대한 연구는 미미한 실정이다. 감귤의 환경스트레스에 대해서는 하우스 감귤재배에서의 수분스트레스에 의한 당도의 향상(임, 1991)과 바람의 차단에 의한 감귤품질 향상에 관한 연구 등이 진행되고 있는데, 이러한 연구들도 생리적인 현상 규명은 배제되어 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 온주밀감 잎의 엽록소 형광을 비파괴적으로 검사하여, 빛, 온도, 습도에 의한 온주밀감 잎의 반응특성을 밝히고, 이를 이용하여 환경스트레스에 의한 식물의 반응특성을 규명하는데 활용코자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 제주도농업기술원에서 품종보존 중인 감귤류 중 *Citrus unshiu* MARC. cv. Miyagawa(온주밀감 '궁천'), *C. platyamma* Hort. ex TANAKA(병귤), *Poncirus trifoliata* RAF(탱자)와 학명이 명확하지 않은 *Citrus* 속 식물인 동정귤, 사두감, 빈귤, 산귤, 감자, 편귤을 이용하였다.

2. 기상요인 조사

기상조사는 LI-COR사의 LI-1000 Data Logger를 이용하여 광량, 온도, 습도를 조사하였다. 기상 조사용 센서의 위치는 지상에서 1 m 높이에 설치하였으며, 엽록소 형광의 일주기 변화 조사시에는 8시부터 20시까지 1시간 간격으로, 방위별 및 종별 조사시에는 각각 14시, 21시에 측정하였다.

3. 엽록소 형광의 측정 및 특성 분석

1) *Citrus*속 식물간의 엽록소 형광 비교

(1) 엽록소 형광의 종간 비교

엽록소 형광의 측정은 Hanstech사의 Plant Efficiency Analyzer를 이용하였으며, 10분간 광을 차단하여 암적응시킨 후 $1,500 \mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$ (μM)의 광량을 5초간 조사(照射)하여 측정하였다. 재료는 온주밀감 등 *Citrus*속 8종과 *P. trifoliata*에서 외부로 노출되어 있는 잎 중 엽색이 비슷하고 성숙한 잎을 이용하였다.

(2) Light Shock 효과의 종간 비교

Light shock의 효과는 1,500 μ M의 광량을 5초간 조사(照射)하여 light shock를 처리한 다음 5초 후에 상기한 방법으로 엽록소 형광을 측정하여, 각 변수를 비교하였다. 재료는 1998년 봄순 중 남쪽가지에서 건강한 잎을 선택하여 10반복으로 21시에 측정하였다. 온주밀감 및 근연식물과의 유의성의 검증에는 SAS program을 이용하였다.

2) 온주밀감 잎의 엽록소 형광의 특성 분석

(1) 엽록소 형광의 일주기 변화의 분석

엽록소 형광의 일주기 변화는 8월 16일, 8월 24일 및 8월 25일 8시부터 20시까지 12시간 동안 1시간 간격으로 측정하여 각 변수의 일주기 변화를 분석하였다. 재료는 1998년 봄에 생성된 가지 우 남쪽에 위치한 가지에서 건강한 잎을 선택하여 10반복으로 실시하였다.

(2) 방위별 엽록소 형광의 비교

광량에 따른 엽록소 형광의 변화를 알아보기 위하여 동, 서, 남, 북쪽 방향의 가지에 달린 잎에서 8월 24일 14시에 측정하여 각 변수를 비교하였다. 재료는 1998년 봄에 생성된 가지에 달린 건강한 잎을 선택하여 10반복으로 실시하였다.

(3) 암적응 전후의 엽록소 형광의 비교

암적응 효과는 암적응 없이 측정한 엽록소 형광의 각 변수와 10분간 암적응시켜 측정한 각 변수를 비교하였다. 재료는 1998년 봄에 생성된 가지 중 남쪽에 위치한 가지에서 건강한 잎을 선택하여 10반복으로 실시하였다.

(4) 기상요인과 엽록소 형광과의 상관관계 분석

기상요인과 엽록소 형광의 상관관계는 8월 25의 일주기 변화 측정결과를 가지고 분석하였으며, 8에서 20시까지의 광량, 온도, 습도와 Fv/Fm, Fo, Fm 값을 Microsoft사의 EXCEL program으로 분석하였다.



III. 결과 및 고찰

1. *Citrus*속 식물간의 엽록소 형광의 비교

1) 엽록소 형광의 종간 비교

온주밀감 잎의 엽록소 형광의 특성을 다른 근연식물과 비교하기 위하여 감귤속 8종과 탕자의 잎을 이용하여 측정하였다(Table 1). 측정시 기상조건은 광량, 온도, 습도가 각각 $0.02 \mu\text{M}$, 24.33°C , 96.65% 였다. 각 종의 잎에서 엽록소 형광의 각 변수별로 5% 유의수준에서 Duncan 검정을 실시한 결과 F_v/F_m , F_o , F_m 각각에서 유의성을 나타냈다. F_v/F_m 은 $0.81\sim 0.84$ 로 많은 식물과 같은 범위에 존재하였다(Demming과 Björkman, 1987).

F_v/F_m 은 동정귤, 사두감, 감자, 편귤, 온주밀감, 산귤에서 $0.845\sim 0.828$ 로 a group에 분류되었고, 온주밀감, 산귤, 탕자, 빈귤의 $0.830\sim 0.812$ 로 b group에, 산귤, 탕자, 빈귤, 병귤은 $0.828\sim 0.809$ 로 c group으로 분류되었다. 온주밀감은 a와 b 두 group에 속하였으며 산귤과 가장 유사하였다. 또한 F_v/F_m 값이 높은 동정귤, 사두감, 감자, 편귤, 온주밀감, 산귤인 경우도 F_o 와 F_m 이 다르게 나타나는데 동정귤과 사두감은 F_o , F_m 의 값이 모두 높으나, 편귤과 감자는 F_o 는 낮고 F_m 은 높아 동정귤과 사두감과는 다른 특성을 나타냈다. 온주밀감은 동정귤, 사두감보다 F_o 와 F_m 이 모두 낮고, 감자와 편귤보다는 F_o 는 높고 F_m 은 낮았으며, 산귤보다는 F_o 와 F_m 이 모두 다소 높게 나타나 a group의 다른 종들과 다른 특성을 보였다. b group에 속한 온주밀감, 산귤, 탕자, 빈귤에서는 온주밀감이 산귤에 비해 F_o 와 F_m 모두 다소 높게, 탕자와 빈귤보다는 F_o 는 낮고 F_m 은 높았으나 F_o 와 F_m 모두에서 유의차가 없었다.

2) Light Shock 효과의 종간 비교

Light shock를 처리한 후에 엽록소 형광을 측정한 결과를 처리전과 대비하였

다(Table 2). 전체적으로 light shock를 처리하지 않은 것보다 F_v/F_m 이 감소하였는데, 이는 F_o 는 증가하고 F_m 은 감소한 결과이며 그 차이는 종에 따라 다소 달랐다. 이것은 F_o 값이 PSII의 Q_A 가 완전히 산화했을 때의 형광값이고 F_m 의 완전히 환원된 상태의 형광값이므로 종에 따라 Q_A 가 5초 동안에 산화하는 정도가 다를음을 의미한다. Light shock 처리에 따른 F_m/F_v 변화는 F_m 의 변화보다는 F_o 가 크게 증가하였기 때문인데, 그 처리전에 대한 처리후의 비(처리후/처리전)는 동정굴, 사두감에서 가장 낮게 나타났으며 감자에서 가장 낮게 나타났다. 온주밀감은 다른 종과 비교하여, F_v/F_m 의 변화는 빈굴과 비슷하였으며, F_o 의 변화는 감자, 탕자, 빈굴, 병굴과 F_m 인 경우는 종간에 차이가 없었다. Light shock에 따른 F_v/F_m , F_o , F_m 을 모두 비교하였을 때 온주밀감은 빈굴과 가장 유사한 특성을 보였다.

Light shock 효과를 종합해 보면 F_o 가 크게 증가한 동정굴과 사두감은 Q_A 의 산화의 회복속도가 낮아 암적응 시간이 다른 종에 비해 많이 필요함을 알 수 있었으며, 온주밀감을 비롯한 다른 7종은 회복속도가 비교적 빠르다는 것을 알 수 있었다.

2. 온주밀감 잎의 엽록소 형광의 일주기 변화와 특성 분석

1) 엽록소 형광의 일주기 변화

8월 16일, 8월 24일, 8월 25일 3일간 광량, 온도, 습도와 온주밀감 잎의 엽록소 형광의 일주기 변화를 측정하였다(Fig. 1). 광량과 온도는 12시까지 증가하다가 이후 감소하는 경향이었고 습도는 광량 및 온도와는 반대 경향을 나타냈다. 측정시의 최고 광량, 온도, 습도는 $1,882 \mu M$, $37.48^\circ C$, 94.56% 였으며 최저는 $0.187 \mu M$, $24.24^\circ C$, 52.67% 였다. 한편 온주밀감의 광포화점인 $30,000 \sim 40,000$ Lux에 해당하는 광량은 $480 \sim 640 \mu M$ 로 9~10시와 17~19시 사이에 지속되었으며, 온도는 측정일 동안 최적온도 $25^\circ C$ 를 전반적으로 상회하였다. 습도는 8월 16

일은 50~70% 범위로 낮았으나 8월 24일과 8월 25일은 70% 이상으로 유지되었다.

엽록소 형광의 측정 결과를 보면 Fv/Fm의 일주기 변화는 대체로 V자 모양을 나타냈다. 8월 24일과 8월 25일에는 일주기 변화가 크지는 않았으나, 각각 11시, 13시까지는 감소하다 이후 4시간, 2시간 동안 비슷한 값을 유지한 후 증가하였다. 8월 16일에는 7시경부터 떨어지기 시작하여 10시까지 직선적으로 감소하다가 이후 14시까지는 비슷한 수치를 보였고, 그 이후 다시 올라가 20시 이후부터 다음날 7시까지는 일정하게 유지되었다. Fm은 8월 24일과 8월 25일에는 12시 전후까지는 감소하다가 이후에는 증가하는 양상을 보였으며, 8월 16일에는 Fv/Fm과 비슷한 양상을 보였다. Fo는 Fm과는 반대로 14시경까지는 증가하다가 이후 감소하였는데 역시 8월 16일에 변화의 폭이 가장 컸다.

Fv/Fm의 증가는 Fm의 증가와 Fo의 감소로, Fv/Fm의 감소는 Fm의 감소와 Fo의 증가에 기인하였는데, Fo의 변화보다는 Fm의 변화에 따라 Fv/Fm의 변화가 이루어졌다. 특히 8월 16일에 Fv/Fm의 변화가 심한 것은 Fm의 감소와 Fo의 증가폭이 심하였기 때문인데, 이는 Fig. 1의 B에서 나타나듯이 8월 16일에 습도가 특히 낮았기 때문으로 생각된다. 또한 10시부터 15시까지 광량이 비교적 급격한 변화에도 Fv/Fm의 변화가 완만하게 감소하는 것은 Fo가 높게 유지되었기 때문이다. 광합성 능력을 나타내는 Fv/Fm이 광량이 증가에도 불구하고 계속하여 감소하지 않는 것은 광포화점을 초과하는 여분이 광에 의한 광합성 기구의 파괴를 방지하는 광억제 반응에 기인한다고 생각되는데, 이러한 현상은 식물색소의 하나인 zeaxantin의 농도와 관련있어(Demming-Adams 등, 1989) 이에 대한 연구가 필요하다

온주밀감 잎의 엽록소 형광의 일주기 변화 측정결과를 종합하면, Fv/Fm의 일주기 변화 추세는 V자형의 변화를 보여, 습도의 일주기 변화추세와 유사하였고, 광량과 온도의 변화 추이와는 반대현상을 나타내었다. Fm의 일주기 변화 추세도 Fv/Fm과 유사하였으나, Fo의 일주기 변화 추세는 Fv/Fm, Fm과는 달리 습도의 일주기 변화와 유사하고 광량과 온도의 일주기 변화와는 반대현상을 나타냈다.

한편 F_v/F_m , F_o , F_m 의 오차는 8시 이전과 20시 이후가 낮시간 보다 적은데 이는 환경요인이 낮시간보다 밤시간에 안정되어 있기 때문이라고 생각된다. 따라서 온주밀감 특성을 다른 식물과 비교하고자 할 때나 엽록소 형광을 안정적으로 측정하기 위해서는 20시 이후에서 다음날 8시까지 측정하는 것이 적합할 것으로 생각된다.

2) 방위별 엽록소 형광의 비교

광량에 따른 광합성능을 조사하기 위하여 온주밀감 봄순의 동·서·남·북쪽 앞에서 엽록소 형광을 측정하였다(Fig. 2). 측정시의 광량, 온도, 습도는 각각 $1547 \mu M$, $33.91^\circ C$, 54.27% 였다. 잎 위치에 따른 F_v/F_m 값은 빛을 비교적 적게 받는 서쪽이 가장 높았고 다음으로 북쪽, 동쪽 순으로 낮아졌고, 빛을 가장 많이 받는 남쪽에서 가장 낮았다. F_o 와 F_m 도 북쪽과 서쪽에서 높고 동쪽과 남쪽에서 낮은 경향이었다. F_v/F_m 이 서쪽에서 특히 높은 것은 비슷한 F_v/F_m 을 갖는 북쪽과 비교할 때 F_o 는 북쪽보다 작는데 반해 F_m 은 오히려 컸기 때문이다. 이러한 차이는 수년간 반복적으로 조사된 빛의 양과 질의 차이에 따른 적응현상인 것으로 생각된다.

빛을 많이 받는 남쪽과 동쪽에서 F_v/F_m 이 낮고, 적게 받는 서쪽과 북쪽에서 F_v/F_m 이 높은 것은 Fig. 1의 C, D에서 처럼 한낮에 F_v/F_m 이 아침과 저녁에 비해 낮게 나타난 일주기 변화의 측정결과와 일치한다.

3) 암적응 전후의 엽록소 형광의 비교

암적응 효과를 조사하기 위하여 암적응 전후의 엽록소 형광을 측정하였다(Fig. 3). 암적응 후의 F_v/F_m 은 암적응 전보다 높았으며, F_m 도 같은 경향이었다. F_o 는 암적응전에서 암적응후보다 높은 경향이었으나 14시를 전후하여 암적응 후가 높게 나타났다. F_v/F_m 은 8시를 전후하여 차이가 커지기 시작하여 11시부터 감소하였는데 가장 차이가 심하였을 때는 11시였고 20시 이후에는 차이가 없었다. F_o 와 F_m 의 경우도 20시 이후에는 암적응 전후의 값이 거의 같게 나타나

Fig. 1의 C에서 7시 이전 및 20시 이후 Fv/Fm의 변화가 거의 없었던 것과 이 결과를 종합해 보면 7시 이전 및 20시 이후 시간에 광상태에서는 엽록소 형광을 측정하기 위해서 암적응이 필요없는 것으로 생각된다.

4) 기상요소와 엽록소 형광과의 상관관계

환경요인의 변화에 따른 엽록소 형광의 변화를 알아보기 위하여 환경요인과의 상관관계를 분석하였다(Fig. 4). Fv/Fm은 상관계수(r)가 광량, 습도, 온도 순으로 각각 -0.897, +0.783, -0.717로 높은 상관관계를 나타냈으며, 특히 광량과의 상관관계는 아주 높았다. 온도의 상관관계가 비교적 적은 것은 측정일 동안의 온도가 대부분 최적온도보다 높았기 때문인 것으로 생각된다. 또한 Fv/Fm은 광량과 온도와는 음의 상관관계 관계를 가졌으며 습도와는 양의 상관관계를 가져 Fig. 1에서 한낮에 Fv/Fm의 감소는 습도가 낮은데서 기인한 것으로 판단된다. Fm과 환경요인의 상관계수는 온도, 광량, 습도 순으로 각각 -0.918, -0.897, +0.891로 매우 높게 나타났다. 반면 Fo와 환경요인의 상관계수는 습도, 광량, 온도 순으로 각각 -0.450, +0.371, +0.265로 다른 변수와는 달리 상관관계가 적은 것으로 나타났다. 하지만 Fo는 습도와 비교적 높은 상관관계를 갖고 있으며 음의 상관관을 보이고 있어, Fig. 1의 B와 D에서 8월 16일에 Fo가 특히 높게 나타난 까닭을 뒷받침하여 주고 있다.

환경요인이 엽록소 형광에 미치는 영향을 종합하면, Fv/Fm은 습도와 양의 상관관계를, 온도 및 광량과는 음의 상관관계를 나타냈다. Fm은 Fv/Fm과 동일한 상관관계를 나타냈으나, Fo는 광량과 온도와는 양의 상관관계를 습도와는 음의 상관관계를 나타냈다. 그러므로 본 측정조건(광량: 0.4961~1788 μ M, 온도: 23.21~31.44 $^{\circ}$ C, 습도: 69.39~91.30%)에서는 온도가 높고, 광량이 많을수록 전자를 전달할 수 있는 능력, 즉 광합성능력은 작아지고, 습도가 높을수록 광합성 능력이 커진다는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터, 엽록소 형광은 온주밀감과 다른 근연식물과 구분에 활용될 수 있을 것으로 생각되었으며, 본 실험조건에서는 광량, 온도, 습도와 상관관

계가 인정되어, 환경스트레스에 따른 온주밀감의 반응을 연구하는데 유용한 수단으로 활용될 수 있을 것으로 보여진다. 또한 보다 광범위한 환경조건에서 온주밀감의 엽록소 형광의 특성에 대한 검토가 이루어진다면 재배측면에 있어서의 활용도 가능할 것으로 생각된다.



Table 1. Chlorophyll fluorescence parameters from leaves of *Citrus* species and *P. trifoliata*.

Species	Fv/Fm	Fo	Fm
Dongjeongkyul [#]	0.842 ± 0.021 ^{a*}	483.40 ± 89.65 ^{ab}	3024.20 ± 238.19 ^a
Sadookam [#]	0.839 ± 0.007 ^a	489.20 ± 34.50 ^{ab}	3044.40 ± 171.32 ^a
Kamja [#]	0.845 ± 0.008 ^a	431.60 ± 13.46 ^{bc}	2792.00 ± 196.06 ^{ab}
Pyunkyul [#]	0.845 ± 0.015 ^a	417.40 ± 13.25 ^c	2711.60 ± 245.82 ^{bc}
Satsuma mandarin (<i>C. unshiu</i>)	0.830 ± 0.011 ^{ab}	455.20 ± 18.99 ^{abc}	2690.80 ± 254.07 ^{bc}
Sankyul [#]	0.828 ± 0.007 ^{abc}	430.60 ± 14.47 ^{bc}	2507.40 ± 84.83 ^c
Trifoliata (<i>P. trifoliata</i>)	0.817 ± 0.010 ^{bc}	487.00 ± 12.09 ^{ab}	2659.40 ± 101.07 ^{bc}
Binkyul [#]	0.812 ± 0.008 ^{bc}	480.40 ± 20.28 ^{ab}	2556.40 ± 49.80 ^{bc}
Byungkyul (<i>C. platymamma</i>)	0.809 ± 0.020 ^c	500.60 ± 46.41 ^a	2630.60 ± 55.20 ^{bc}

Chlorophyll fluorescence was measured under the condition that light density, temperature and humidity were 0.001 μ M, 24.33°C, 95.65%, respectively.

[#] The scientific names of these *Citrus* species are not defined evidently.

* Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 2. Effect of light shock on chlorophyll fluorescence parameters from leaves of *Citrus* species and *P. trifoliata*.

Species	Chlorophyll Fluorescence Ratio ¹		
	Fv/Fm	Fo	Fm
Dongjeongkyul ²	0.731 ^{e,2}	2.38 ^a	0.96 ^{ab}
Sadookam ²	0.751 ^{de}	2.22 ^{ab}	0.96 ^{ab}
Kamja ²	0.804 ^a	1.98 ^c	0.96 ^{ab}
Pyunkyul ²	0.800 ^{ab}	2.05 ^{bc}	0.98 ^a
Satsuma mandarin (<i>C. unshiu</i>)	0.788 ^{abc}	1.96 ^c	0.96 ^{ab}
Sankyul ²	0.774 ^{bcd}	2.01 ^{bc}	0.96 ^{ab}
Trifoliata (<i>P. trifoliata</i>)	0.774 ^{bcd}	1.95 ^c	0.97 ^{ab}
Binkyul ²	0.790 ^{abc}	1.83 ^c	0.96 ^{ab}
Byungkyul (<i>C. platymamma</i>)	0.761 ^{cd}	1.92 ^c	0.95 ^d

Chlorophyll fluorescence was measured under the condition that light density, temperature and humidity were 0.001 μ M, 24.33°C, 95.65%, respectively.

¹The ratio of chlorophyll fluorescence parameters after light shock at 1,500 μ M for 5 sec per those of no light shock.

²The scientific names of these *Citrus* species are not defined evidently.

³Duncan's multiple range test, 5% level.

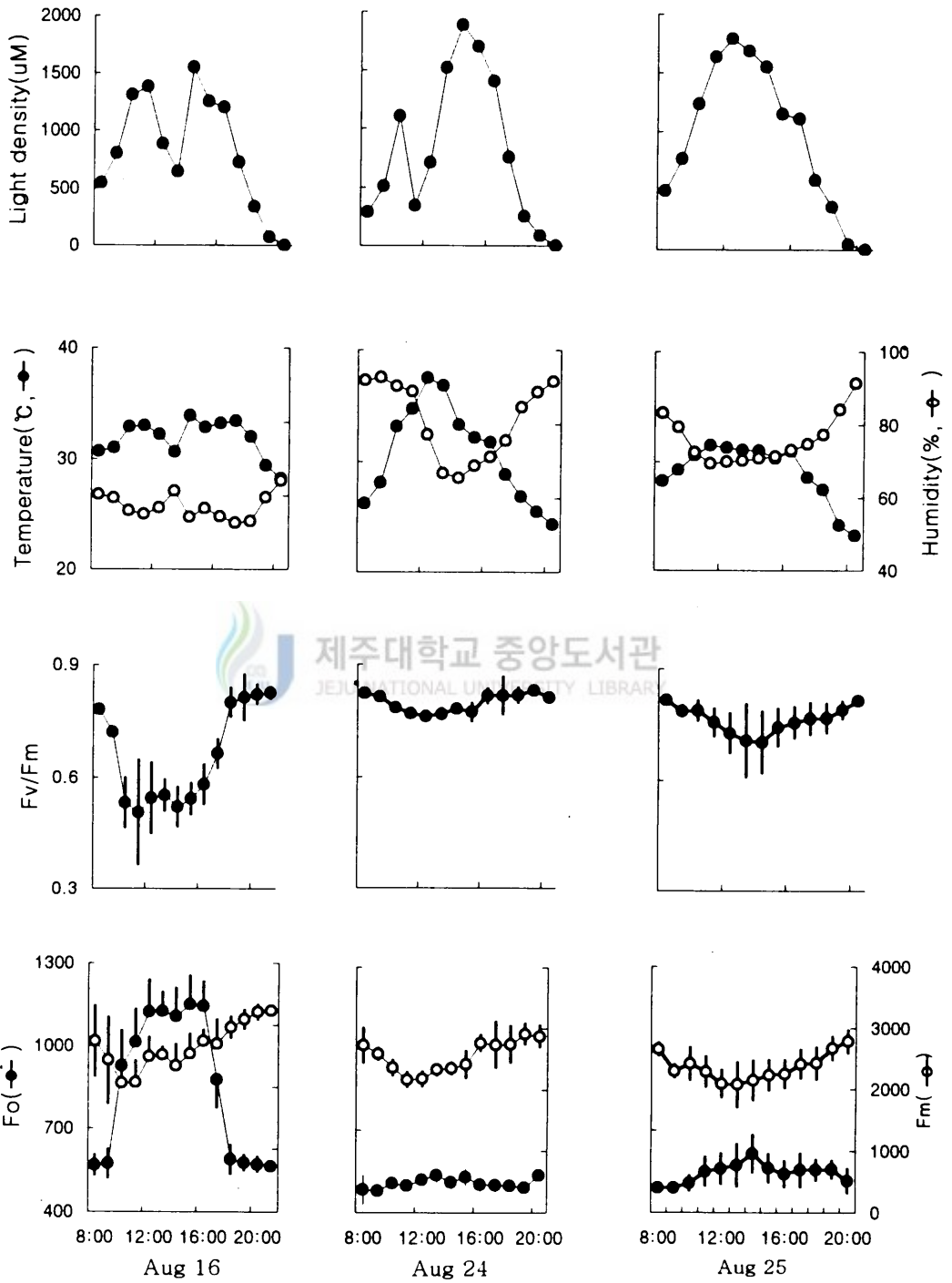


Figure 1. Diurnal fluctuation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters of Satsuma mandarin leaves.

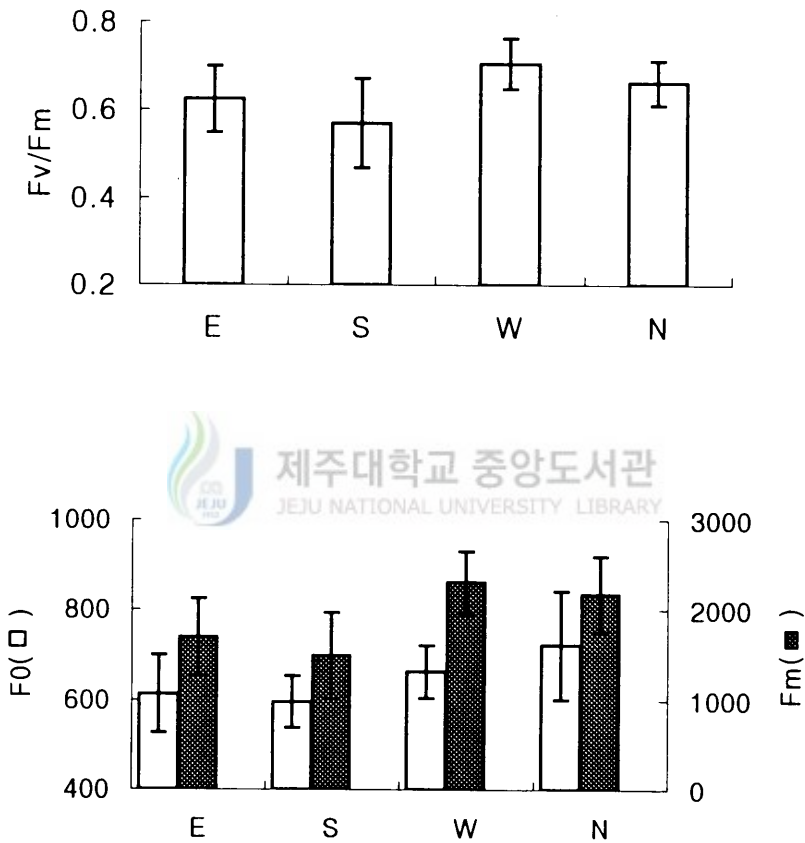


Figure 2. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters of Satsuma mandarin leaves among directions.

Chlorophyll fluorescence was measured under the condition that light density, temperature and humidity were 1,882 μM , 33.28 $^{\circ}\text{C}$, 65.58%, respectively.

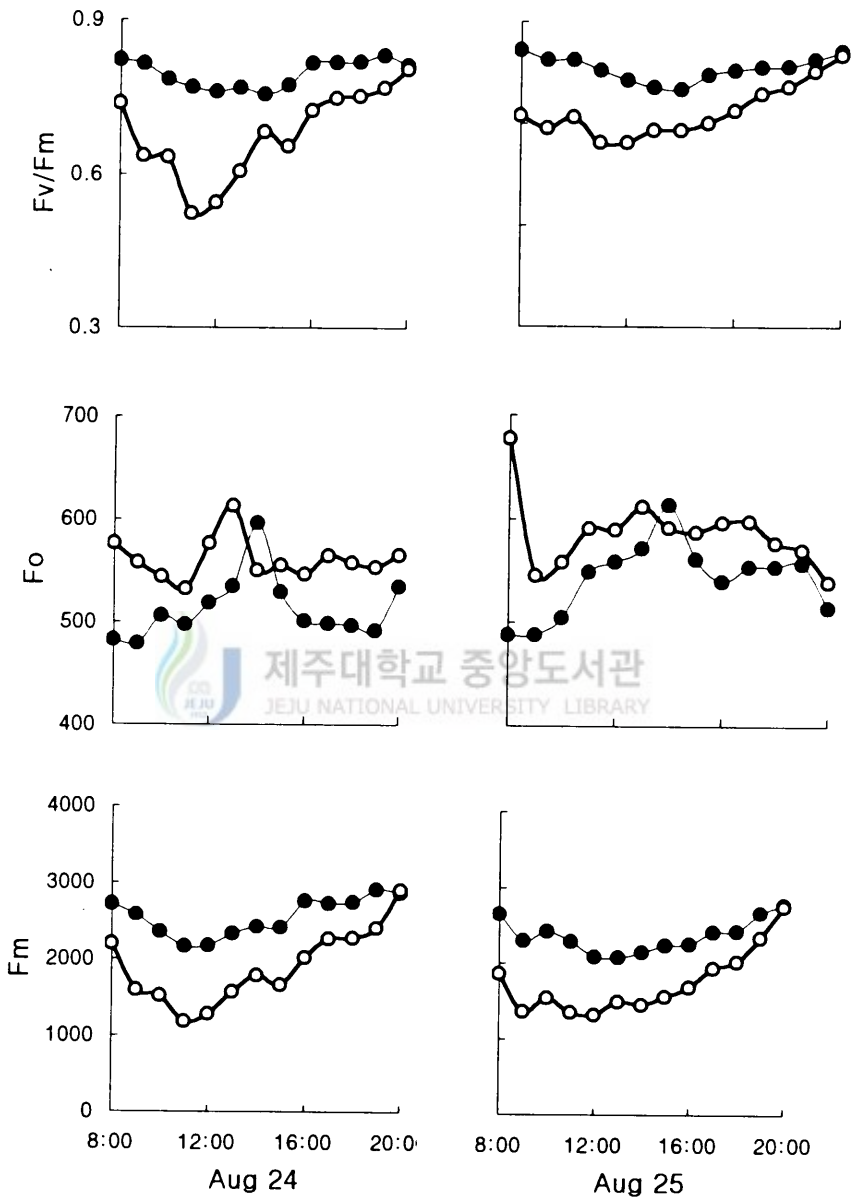


Figure 3. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters of Satsuma mandarin leaves between before(\circ) and after(\bullet) dark adaptation.

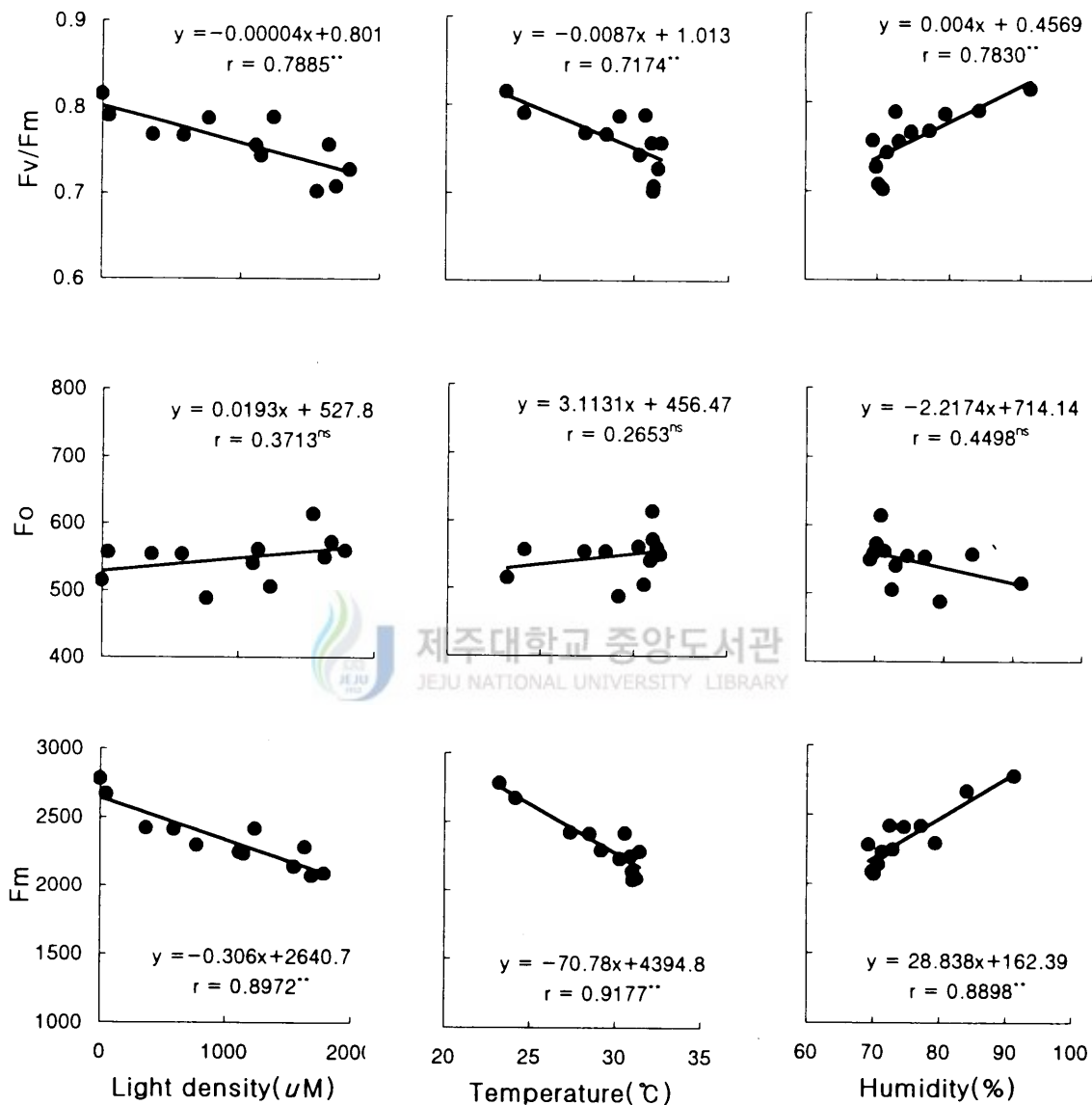


Figure 4. Correlation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters of Satsuma mandarin leaves.

** Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed).

IV. 적 요

본 연구는 온주밀감 잎의 엽록소 형광을 비파괴적으로 검사하여, 빛, 온도, 습도에 의한 온주밀감 잎의 반응특성을 밝히고, 엽록소 형광을 이용하여 환경스트레스에 대한 식물의 반응을 규명하는데 활용코자 실시하였다.

온주밀감 잎의 엽록소 형광의 특성을 근연식물과 비교한 결과, F_v/F_m , F_0 , F_m 모두에서 차이를 보였으며 light shock 효과에서도 차이를 나타내었다. 온주밀감 잎에서 F_v/F_m 의 일주기 변화 추세는 V자형의 변화를 보여, 습도의 일주기 변화 추세와 유사하였고, 광량과 온도의 변화 추이와는 반대현상을 나타내었다. 즉 F_v/F_m 은 오전 동안 작아지다가 오후에 커져 20시 이후에는 더 이상 증가하지 않았으나 기상에 따라 그 변화 양상이 차이가 있었다. 암적응 후의 F_v/F_m 은 암적응 전보다 높았으며, 20시 이후에는 암적응 전후의 차이가 없어, 20시 이후에는 엽록소 형광을 측정하기 위해서 암적응이 필요없는 것으로 생각되었다. 환경요인의 영향을 분석한 결과, 본 측정조건(광량: 0.4961~1788 μM , 온도: 23.21~31.44 $^{\circ}\text{C}$, 습도: 69.39~91.30%)에서는 F_v/F_m 은 습도와 양의 상관관계를, 온도 및 광량과는 음의 상관관계를 나타냈다. F_m 은 F_v/F_m 과 동일한 상관관계를 나타냈으나, F_0 는 F_v/F_m 과 상반된 상관관계를 나타냈다.

연구결과를 종합하면, 엽록소 형광은 온주밀감과 다른 근연식물과 구분에 활용될 수 있을 것으로 생각되며, 본 실험조건에서는 광량, 온도, 습도와 상관관계가 인정되어, 환경스트레스에 따른 온주밀감의 반응을 연구하는데 유용한 수단으로 활용될 수 있을 것으로 보여진다. 또한 보다 광범위한 환경조건에서 온주밀감의 엽록소 형광의 특성에 대한 검토가 이루어진다면 재배측면에 있어서의 활용도 가능할 것으로 생각된다.

V. 참고문헌

- Björkman O., B. Demming and T. J. Andrews, 1988. Mangrove photosynthesis: response to high irradiance stress. *Australian Journal of Plant Physiology* 15:43-61.
- Briantais J. M., G. Cornic and M. Hodges, 1988. The modification of chlorophyll fluorescence of *Chlamydomonas reinhardtii* by photoinhibition and chloramphenicol addition suggest a form of photosystem II less susceptible to degradation. *FEBS Letters* 236(1):226-230.
- Chung H. S. and K. E. Park, 1992. Effects of iso-butanol on photosynthetic electron transport activity in isolated spinach chloroplasts. *J. Plant. Biol.* 35(3): 247-252.
- Demming-Adams B., 1990. Carotenoids and photoprotection in plant: a role for the xanthophyll zeaxanthin. *Biochimica et Biophysica Acta* 1020:1-24.
- Demming-Adams B., W. W. III. Adams, K. Winter, A. Meyer, U. Schreiber, J. S. Pereira, A. Kruger, F. C. Czgan and O. L. Lange, 1989. Photochemical efficiency of photosystem II, photon yield of O₂ evolution, photosynthetic capacity, and carotenoid composition during the midday depression of net CO₂ uptake in *Arbutus unedo* growing in Portugal. *Planta* 177:377-387.
- Demming B. and O. Björkman, 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence(77K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171:171-184.
- Kamaluddin M. and J. Grace, 1992. Photoinhibition and light accimilation in seedings of *Bischofia javanica*, a tropical forest tree from Asia. *Annals Botany* 69:47-52.

- Kitujima M. and W. L. Butler, 1975. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochimica et Biophysica acta* 376:105-115.
- Krause G. H. and E. Weis, 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual review of Plant physiology and plant Molecular Biology* 42:313-349
- Krause G. H. and U. Behrend, 1986. pH-dependent chlorophyll fluorescence quenching indicating a mechanism of protection against photoinhibition of chloroplasts. *FEBS Letters* 200:298-302.
- Lee C. B., C. H. Lee, H. S. Chang and S. B. Ha, 1995. Mercury-induced light dependent alterations of chlorophyll a fluorescence kinetics in barley leaves. *J. Plant. Biol.* 38(1):11-18.
- 임한철, 1991. 土壤水分 條件이 施設 柑橘의 品質 및 水分 스트레스에 미치는 影響. 석사학위논문. 제주대학교
- Long S. P., S. Humpries and P. G. Falkowski, 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 45:633-662.
- Ögren E. and M. Sjöström, 1990. Estimation of the effect of photoinhibition on the carbon gain in leaves of a willow canopy. *Planta* 181:560-567.
- Öquist G., 1983. Effects of low temperature on photosynthesis. *Plant, Cell and Environment* 6:281-300.
- Ort D. R. and N. R. Baker, 1988. Consideration of photosynthetic efficiency at low light as a major determination of crop photosynthetic performance. *Plant Physiology and Biochemistry* 26:555-565.

- Osmond C. B., 1994. What is photoinhibition? Some insights from comparisons for shade and sun plants. pp. 1-24. In 'Photoinhibition of photosynthesis: from Molecular Mechanisms to the Field'(Ed. N.R. Baker and J.R. Bowyer). BIOS. Scientific Publisher LTD. Oxford.
- Schreiber U., W. Bilger and C. Neubauer, 1994. Chlorophyll fluorescence as a noninductive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. pp. 49-70. In 'Ecophysiology of Photosynthesis'(Ed. E.D. Schulze and M.M. Caldwell). Springer-verlag. Berlin.
- Schreiber U. and W. Bilger, 1993. Progress in chlorophyll fluorescence research: major developments during the last years in retrospect. *Progress in Botany* 54:151-173.
- Somersalo S. and G. H. Krause, 1990. Reversible photoinhibition of unhardened and cold accimilated spinach leaves at chilling temperature. *Planta* 180:181-187.
- Strand M. and T. Landmark 1987. Effects of low light on chlorophyll fluorescence of field-grown seedlings of Scots pine(*Pinus sylvestris* L.). *Tree Physiology* 3:211-224.