ISSN : 1225-9918
Journal of Life Science **2012** Vol. 22. No. 5. 681~686 DOI : http://dx.doi.org/10.5352/JLS.2012.22.5.681

Effect of Light on Root Growth and Gravitropic Response of Phytochrome Mutants of Arabidopsis

Ji Hye Park†, Sang Seoung Lee, Soon Hwa Woo and Soon Young Kim*

Department of Biological Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea

Received April 3, 2012 / Revised May 1, 2012 / Accepted May 7, 2012

Light, one of the environmental stimuli, is fundamental to the growth and development of plants. Red and far-red light are sensed using the phytochrome family of plant photoreceptors. To investigate the effect of light on root growth and gravitropism, we used the Arabidopsis phytochrome mutants grown in several light conditions. The root growth of *phyA* reared in all light conditions except white light and was stimulated compared to the WT. The stimulation of root growth was obvious in *phyA* grown in red light. On the other hand, the root growth of *phyB* grown in all light conditions decreased, and the lowest rate of decrease was observed in *phyAB* grown in white and red light. The gravitropic response of *phyA* was stimulated compared to the WT when it was grown in all light conditions except far-red light. *PhyAB* grown in all light conditions showed the inhibition of gravitropic response. The transcript level of ACS, one of the enzymes regulating ethylene biosynthesis, increased in *phyA* grown in white and red light, but not in *phyA* grown in far-red light. In conclusion, these results suggested that the P_{fr} form of phyB regulates the root growth and gravitropism.

Key words : Root growth, gravitropic response, phytochrome, ethylene biosynthesis

서 론

빛은 식물에서 종자 발아나 광합성과 같은 작용 이외에도 식물의 생장에 영향을 미치는데, 식물 조직에 따라 빛의 생장 효과는 다르게 나타난다. 즉, 빛은 일반적으로 하배축 신장을 억제하는 반면, 자엽과 뿌리 신장은 촉진한다[2]. 최근 연구에 따르면 빛 수용체인 phytochrome과 phototropin은 뿌리에 존재하며 뿌리 생장과 발달에 영향을 주며, 뿌리 생장 효율을 증진시키고[6], 토양에서 자라는 식물에서 phytochrome은 측근의 발달 개시를 유도한다[15]. 이와 같이 빛에 의존적인 뿌리의 반응과 뿌리에 빛 수용체가 있다는 것은 뿌리도 빛에 따라 광형태발생이 일어나 환경에 적응을 한다는 것을 나타낸다. 또한 뿌리에 있는 빛 수용체가 이외에도 지상부에 있는 조직에서 빛을 인지하여 뿌리까지 영향을 미친다고 알려져 있다[11]

Kiss *et al*[9]에 따르면, 뿌리에 있는 phyA와 phyB는 red light를 흡수하여 뿌리 굴광성 반응을 조절한다. 또한 microarray 분석에 의하면 red light는 뿌리 발달을 조절하는 유전자를 조절하였다[12].

중력은 식물의 생장 방향과 발달을 조절하는 환경 요인 중 하나이다. 수평으로 자라고 있는 식물에서 줄기는 위로, 뿌리는 아래로 향하여 생장한다[13]. 식물에서 중력 인지는 amyloplast라고 하는 녹말체의 침전으로 일어나며, 중력 신호의 전달이 일어난 후 auxin의 재분포가 일어나 elongation zone의 차등 생장을 유발하여 굴중성 반응이 일어난다.

빛과 중력은 auxin의 재분포에 영향을 주어 각각 굴광성과 굴중성 반응을 일으키며, 이 두 자극의 신호 경로는 서로 의존한다. 즉, 빛은 중력에 의해 유도된 반응을 조절하고, 중력은 빛에 반응한 식물의 생장에 영향을 미친다. 예를 들면, 황백화된 Arabidopsis 유식물의 하배축은 중력에 정상적으로 반응하여 위로 생장하지만, 계속적인 red light나 far-red light에서 자란 유식물의 하배축은 정상적으로 반응하지 못하고 무작위로 휜다[7]. 그리고 벼의 *phyA* 뿌리는 dark에서 수평으로 자라고, red light와 far-red light를 계속 비추면 아래로 자란다[16]. 이러한 결과는 중력과 빛이 서로 상호작용을 하며 식물의 생장과 발달을 조절한다는 것을 제시한다.

그러므로 본 연구는 white light, dark, red light, far-red light와 같이 여러 빛 조건에서 키운 Arabidopsis phytochrome mutant를 이용하여 phytochrome이 뿌리 생장과 굴중성 반응에 미치는 작용을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

식물 재료

Arabidopsis (*Arabidopsis thaliana*)의 Landsberg *erecta* (*Ler*) wild type (WT)과 *phyA-201, phyB-1, phyA-201phyB-5* mutant [7]을 실험 재료로 사용하였다. 종자는 70% 와 95% ethanol에서 각각 5분 동안 표면 살균을 한 후, 생장배지(1/2 MS salts, 1 mM MES buffer, pH 5.8, 1% [w/v] sucrose, 1% [w/v] agar)

***Corresponding author**
Tel : +82-54-820-5647, Fax : +82-54-820-7705
E-mail : kimsy@andong.ac.kr
†**Present address** : Greenplant Institute, Inc., Suwon, Korea

가 든 Petri dish (87×15 mm)에 일렬로 심었다. 4℃에서 하루 동안 저온 처리 한 후, Petri dish를 수직으로 세워 22℃, white light (50 μmol m^{-2} • s^{-1}) 아래에서 2일 동안 발아시켰다. 광원은 Led Plant Radiation System (LPRS, GFPM-1600, Good Feeling, Korea)을 사용하였다.

뿌리 굴중성 반응과 길이 생장 측정

White light에서 2일 동안 발아시킨 종자를 white light (50 μmol $m^{-2}s^{-1}$), red light (650~680 nm; 24 μmol m^{-2} • s^{-1}), far-red light (710~740 nm; 1.3 μmol m^{-2} • s^{-1}), dark 등 여러 빛 조건에서 1일 동안 키운 유식물을 실험에 사용하였다. 굴중성 굴곡과 길이 생장 측정은 암소에서 적외선 PC CAM (DS 400, REXSA, Korea)을 사용하여 촬영하였고 capture된 사진들은 Image Tool Program을 이용하여 측정하였다.

Quantitative Real-Time PCR (qReal-time PCR)

White light에서 2일 동안 발아시킨 종자를 white light (50 μmol $m^{-2}s^{-1}$), red light (650~680 nm; 24 μmol m^{-2} • s^{-1}), far-red light (710~740 nm; 1.3 μmol m^{-2} • s^{-1}), dark 등 여러 빛 조건에서 5~6일 동안 키워 1.5~2.0 cm로 자란 뿌리에서 total RNA를 추출하였다.

Total RNA 3 μg으로 합성된 first-strand cDNA를 사용하여 qReal-time PCR을 수행하였다. Primer는 Table 1에 표시하였고, 각각의 T_m 값은 primer express 1.5 software (Applied Biosystems)를 이용하여 확인하였다.

ABI Prism 7500 cycler (Applied Biosystems, USA)가 qReal-time PCR 증폭과 탐지에 이용되었다. qReal-time PCR을 위해 MicroAmp optical 96-well plates에 20 μl의 reaction mixture (Power SYBR® Green PCR Master Mix 10 μl, 2 μM Forward primer 2 μl, 2 μM Reverse primer 2 μl, Template cDNA 6 μl)를 triplicate로 준비하여 분주한 후 optical adhesive covers (Applied Biosystems, USA)로 덮은 후 qReal-time PCR은 다음과 같은 cycle 상태로 수행되었다: 50℃, 2분; 95℃, 10분; 40 cycles of 95℃, 15초; 54℃, 30초; 72℃, 33초. PCR 반응이 끝난 즉시 60℃에서 95℃까지 온도를 천천히 증가시키면서 형광을 탐지하여 background가 되는 primer-dimer의 생성을 검출하는 melting curve 분석을 수행한 후 각 product의 T_m값을 확인하였다.

Table 1. Gene-specific primers used for qReal-time PCR experiments

Gene	Sequence (5′ to 3′)	
ACS2	F	AGATCGTCGAGAAAGCATCTG
	R	GAAGAGGTGAGTGTGGTGAC
Actin8	F	TCCAGCAATGTGGATCTCTAAGGCA
	R	TCCCGTCATGGAAACGATGTCT

Relative transcript level은 Foo *et al.* [4]에서 설명한 comparative Ct (Critical threshold) method를 이용하여 계산하였다. PCR reaction으로 평균 Ct value를 구한 후, 각 sample의 normalized value는 다음과 같은 공식에 대입하여 계산하였다.

$$\triangle Ct = \text{Average Ct (target gene)} - \text{Average Ct (Actin)}$$

실험 sample 중에서, WT은 대조구로 지정하였고, 각 sample의 WT과의 상대적 유전자 발현은 다음과 같은 식을 이용하여 계산되었다.

$$\text{Control/Treatment (RQ)} = 2^{-(\text{Average } \triangle Ct \text{ (treatment)} - \text{Average } \triangle Ct \text{ (control)})}$$

데이터 분석

데이터의 통계적 분석을 위해 Sigma Plot software (v8.0, SPSS)를 이용하였다. 모든 결과는 평균 ± 표준오차(SE)로 표시하였고, $p < 0.05$ 유의성 검정을 위해 two-way ANOVA test와 Duncan method를 사용하였다.

결과 및 고찰

Phytochrome과 뿌리 길이 생장

지상부에서 phytochrome 역할이 광범위하게 연구되는 동안 일부 연구는 phytochrome이 뿌리 발달에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 그 중 뿌리 털 신장의 조절에 대한 phyB의 역할이 밝혀졌으며, phyA, B 그리고 D는 red light에 의해 중재된 일차뿌리의 신장을 조절한다[3]. Far-red light에 의해 조절되는 phyA는 Arabidopsis 하배축의 신장 억제에 관여하는 일차 빛 수용체이다[7,16]. 이러한 사실을 바탕으로 본 연구에서는 phytochrome mutant와 WT 유식물을 dark에서 수직상태로 1시간 동안 전 처리 한 후 8시간 동안 뿌리 길이 생장을 측정하였다(Table 2).

White light에서 키운 뿌리의 생장을 측정한 결과, 4시간 후에 WT와 비교하여 *phyAB*은 47% 억제되었고, *phyB*는 16%, *phyA*는 약 5% 정도 억제되었다(Table 2). 그러나 시간이 경과되어 8시간 후에 각 mutant는 WT와 비교하여 모두 20~40% 정도의 생장이 억제되었으며 *phyAB*가 가장 많이 억제되었다.

Dark에서 키운 뿌리에서는 4시간과 8시간 후 모두 *phyB*만 약 15% 정도 뿌리 생장이 억제 되었고, *phyA*와 *phyAB*의 뿌리 생장은 WT와 비교하여 약 20~30% 촉진되었다. White light에서 키운 뿌리 생장의 결과와 dark에서 키운 뿌리 생장이 다른 결과는 빛이 뿌리 생장을 조절할 가능성을 제시한다.

Red light에서 키운 뿌리에서는 4시간 까지는 WT와 비교하여 *phyB*는 거의 차이가 없었고, *phyA*는 약 50% 정도 뿌리 생장이 촉진되었다. 그러나 *phyAB*는 45% 억제 되었다. 이러한 효과는 8시간에도 4시간에서와 비교하여 거의 같은 정도로 억제

Table 2. Root elongation in wild type and phytochrome mutants of Arabidopsis grown in the several light conditions

	White		Dark		Red		Far-red	
	4 hr	8 hr	4 hr	8 hr	4 hr	8 hr	4 hr	8 hr
WT	1.20±0.05[a]	2.93±0.08	0.41±0.05	0.87±0.06	0.77±0.05	1.71±0.08	0.44±0.01	1.40±0.01
phyA	1.14±0.06	2.34±0.02	0.51±0.05	1.07±0.03	1.18±0.02	1.97±0.05	0.55±0.01	1.50±0.02
phyB	1.01±0.04	2.00±0.04	0.35±0.08	0.73±0.04	0.69±0.01	1.48±0.03	0.59±0.01	1.32±0.02
phyAB	0.64±0.02	1.67±0.07	0.40±0.02	0.90±0.05	0.42±0.03	1.19±0.03	0.60±0.02	1.20±0.01

a: root length (mm) grown during 4 hr and 8 hr and the numbers represent the mean±SE (n=8)

되거나 촉진되었다. 그러므로 이 결과는 red light에 의해 phyB가 뿌리 생장을 촉진하고, phyB가 없다면 뿌리 생장이 억제된다는 것을 제시한다.

Far-red light에서 키운 뿌리에서는 4시간 까지는 mutant의 뿌리 생장이 WT와 비교하여 20~30% 정도 촉진되었다. 그러나 8시간 후에는 *phyA*와 *phyB*는 WT와 비교하여 거의 차이가 없었으나, *phyAB*는 15% 억제되었다. 그러므로 phyB의 P_{fr} 형태가 Arabidopsis 뿌리 생장을 조절한다는 사실을 제시한다.

WT을 각 빛 조건에서 키웠을 때, white light와 비교하여 각 조건에서 모두 약 40~60% 정도 뿌리 생장이 억제되었다(Table 2). 이 결과는 뿌리가 정상적으로 생장하기 위해서는 빛이 필요하며, 이 빛은 phytochrome에 의해 흡수되어 생장을 조절한다는 것을 제시한다. *phyA*의 경우 white light와 red light에서 키웠을 경우에는 거의 차이가 없었으나, dark와 far-red light에서 키웠을 경우에는 모두 white light에서 키웠던 뿌리와 비교하여 약 50% 정도 생장이 억제되었다. 즉, *phyA*는 white light와 red light에서 키웠을 때 생장이 가장 잘 일어났다. 그러나 *phyB*와 *phyAB*는 white light와 비교하여 모든 빛 조건에서 모두 생장이 억제되었다.

Far-red light에 키웠을 때 phytochrome은 주로 P_r 형태로 존재하며 *phyA*와 *phyB*의 뿌리 생장에 차이가 없었다(Table 2). 그러나 red light에서 키웠을 경우 phytochrome은 주로 P_{fr} 형태로 존재하며 *phyA*가 *phyB*보다 뿌리 생장이 촉진되었다(Table 2). 이상의 결과를 종합하면 phyB의 P_{fr} 형태가 뿌리 생장의 조절에 관여한다는 것을 제시하고 있다.

Arabidopsis 뿌리에 phytochrome이 존재하여 red light와 far-red light을 흡수하고, UV-B와 blue light도 뿌리에서 흡수하여 뿌리와 유식물의 발달에 영향을 준다[10]. 그러므로 지상부 조직에서 인지한 빛이 뿌리의 생장을 조절하거나, 아니면 뿌리에 존재하는 광 수용체가 빛을 인지하여 뿌리 생장을 조절할 가능성을 제시하고 있다. 이러한 사실을 확인하기 위하여 현재 charcoal 배지를 이용하여 토양과 같은 조건을 만들어 뿌리가 빛을 인지하는 것을 제한하여 실험 중에 있다. 이 연구 결과가 나오면 빛에 의한 뿌리 생장에 미치는 영향을 줄기와 뿌리의 상호 관계를 통하여 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

Phytochrome과 뿌리의 굴중성 반응

뿌리 굴중성에 대한 phytochrome의 역할에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다. 몇몇의 재배 변종인 옥수수 뿌리는 암소에서 수평으로 자라고, 계속적인 red light와 far-red light에서 자란 뿌리는 아래로 자란다[16]. 그러므로 phytochrome이 굴중성 반응에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각 빛 조건에서 키운 유식물을 dark에서 수평상태로 놓고 8시간 동안 굴중성 반응을 측정하였다.

White light에서 키운 유식물에 8시간 동안 중력 자극을 주면 *phyA*의 굴중성 반응이 60°를 나타내어 가장 큰 굴곡을 나타냈으며, *phyA*와 비교하여 WT는 6%, *phyB*는 20%, *phyAB*는 약 40%로 굴중성 반응이 억제되었다. 또한 *phyB*와 *phyAB*는 *phyA*와 WT와 비교하여 1시간 정도 굴중성 반응이 나타나는 시간이 지연되었다(Fig. 1A). 따라서 phyB가 굴중성 반응을 조절하는데 결정적인 역할을 하고 있다.

Dark에서 키웠을 때는 *phyA*는 white light에서 키웠을 때와 같은 정도로 굴중성 반응이 촉진되었으나, WT와 다른 mutant는 굴중성 반응이 *phyA*와 비교하여 40% 정도 억제되었다(Fig. 1B).

Red light에서 키운 경우에는 8시간 굴중성 자극을 준 후 측정을 하면 *phyA*와 비교하여 WT는 13%, *phyB*는 30%, *phyAB*는 45% 굴중성 반응이 억제되었다(Fig. 1C). White light에서 키웠을 때보다는 굴중성 반응 억제 정도가 미약하지만 전체적으로 억제되는 양상은 white light에서와 red light에서 서로 같았다. 그러므로 굴중성 반응을 조절하는 것은 phyB의 P_{fr}형태인 것으로 추측된다.

Far-red light에서 키운 경우 중력 자극을 준 후 4시간 까지는 굴중성 반응에 큰 차이를 보이지 않았고, 8시간 후에는 WT과 비교하여 다른 mutant는 모두 약 20~30% 정도 굴중성 반응이 촉진되었으나 *phyA*의 굴중성 반응은 다른 빛 조건에서와는 다르게 뚜렷하게 촉진되지 않았다(Fig. 1D). Far-red light에서 phytochrome은 P_r 형태로 존재하며, P_r 형태는 굴중성 반응을 조절하지 못하는 것으로 추측된다.

이상의 결과를 정리하면 white light, red light, dark에서 키웠을 때 *phyA*는 WT와 다른 mutant에 비해 굴중성 반응이 촉진되는 반면, far-red light에서 키웠을 때 *phyA*는 *phyB*보다 굴중성 반응이 약간 억제되었고, *phyAB*와는 비슷한 굴중성

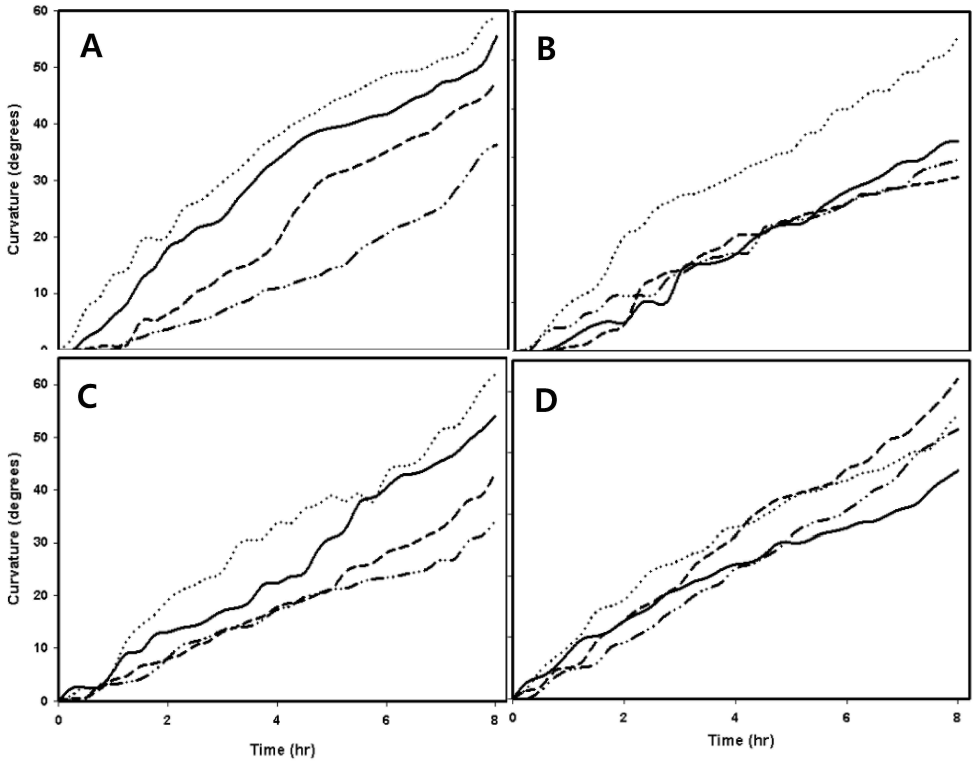

Fig. 1. Root gravitropic response in several light conditions in WT and phytochrome mutants for 8 hr. The seedlings were germinated under the white light for 2 days and were grown in white light (A), dark (B), red light (C), and far-red light (D) for 1 day. The seedlings were placed in horizontal position to induce gravitropic response in the dark. (n=9). ——— : wild type; ····· : *phyA*; — — — — : *phyB*; —— · · —— : *phyAB*

반응을 보였다(Fig. 1). 따라서 white light, red light, dark에서 자란 식물의 phyB는 P_{fr} 형태로 존재하면서 굴중성 반응을 촉진한다.

Phytochrome과 ACS 유전자 발현

각 mutant의 뿌리 굴중성 반응과 뿌리 생장을 설명하기 위하여 ethylene 생합성을 조절하는 효소인 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid synthase (ACS)의 유전자 발현을 측정하였다. Arabidopsis를 포함한 식물의 여러 종에서 ethylene 생성을 조절하는 중요한 요소는 ethylene 생합성 과정에 관여하는 효소를 암호화하는 유전자의 transcript 수준이다[1]. ACS는 다양한 조직과 ethylene 생합성의 다양한 유도자에 따라 다르게 조절되는 다유전자족의 구성원에 의해 암호화된다[18]. Arabidopsis는 12개의 ACS 유전자를 가지고 있으며 이 중에서 *ACS2*의 유전자 발현을 qReal-time PCR을 이용하여 조사하였다(Fig. 2).

ACS 유전자의 transcript 수준은 white light에서 키웠을 때 *phyB*와 *phyAB*에서 낮게 발현되고, *phyA*에서 높게 발현되었다. 이러한 결과는 phyB가 뿌리 굴중성 반응과 뿌리 생장과 마찬가지로 ACS transcript 수준을 촉진하는 것을 제시하고 있다. Dark에서 키웠을 때, *phyA*의 생장이 높게 나타났으며

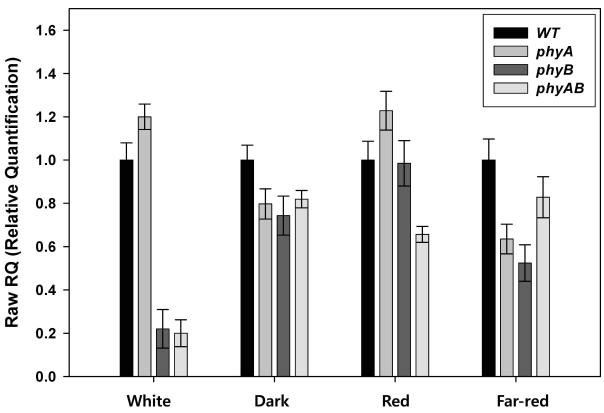

Fig. 2. Relative transcript level of *ACS2* gene in WT and phytochrome mutants grown in several light conditions. Total RNA was extracted from the roots grown in several light conditions for 5~6 days after germination under the white light for 2 days.

(Table 2), 뿌리 굴중성 반응도 증가되었다(Fig. 1B). 그러나 ACS transcript 수준은 크게 증가하지는 않았다.

Red light 에서 키웠을 때 *phyA*의 경우 transcript 수준이 WT와 비교하여 증가하였고, *phyAB*는 억제되었다(Fig. 2). 이

결과는 ACS transcript 수준도 뿌리 굴중성 반응이나 뿌리 생장과 같이 phyB의 P_{fr}에 의해 조절된다는 것을 제시하고 있다. Far-red light에서 ACS transcript 수준은 모두 감소하였고, 뿌리 굴중성 반응과 뿌리 생장도 증가나 억제되는 양상을 나타내지 않았다.

Red light는 뿌리에서 빛이 조절하는 광형태발생이나 뿌리 발달에 관여하는 많은 유전자를 발현시키고[12], Arabidopsis의 *phyAB*는 ethylene 전구체인 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)가 존재하면 WT보다 뿌리 굴중성 반응이 지연되었다[17].

굴중성 반응은 뿌리 근관의 중축세포에서 중력의 인지가 일어난 후, 이 신호에 의하여 auxin 재분포에 의하여 일어난다고 제시되었다[14]. Auxin은 ethylene 생합성을 조절하고 ethylene이 굴중성 반응을 조절하는 것으로 추측된다. 한편 ethylene은 auxin과 상호작용을 하여 측근을 발생시키는 작용을 하고[8], 완두에서 phytochrome이 중계하는 조직의 발달에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다[5]. 그러나 본 연구 결과에 의하면 ethylene 생성이 Arabidopsis 뿌리의 생장에 직접적인 영향을 주지 않으므로 뿌리 생장과 ethylene 생성과는 직접적인 연관성이 없는 것으로 사료된다. 앞으로 Arabidopsis phytochrome mutant에서 ethylene 생성과 뿌리 생장 및 굴중성 관계에 대하여 연구 중에 있다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(KRF-2008-521-C00240).

References

1. Bleecker, A. B. and Kende, H. 2000. Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. *Ann. Rev. Cell. Dev. Biol.* **16**, 1-18
2. Bou-Torrent, J., Roig-Villanova, I. and Martinez-Garcia, J. F. 2008. Light signaling: back to space. *Trends Plant Sci.* **13,** 108-114.
3. Correll, M. J., Coveney, K. M., Raines, S. V., Mullen, J. L., Hangarter, R. P. and Kiss, J. Z. 2003. Phytochromes play a role in phototropism and gravitropism in Arabidopsis roots. *Adv. Space Res.* **31**, 2203-2210.
4. Foo, E., Bullier, E., Goussot, M., Foucher, F., Rameau, C. and Beveridge, C. A. 2005. The branching gene RAMOSUS1 mediates interactions among two novel signals and auxin in pea. *Plant Cell* **17,** 464-474.
5. Foo, E., Ross, J. J., Davies, N. W., Reid, J. B. and Weller, J. L. 2006. A role for ethylene in the phytochrome-mediated control of vegetative development. *Plant J.* **46**, 911-921.
6. Galen, C., Rabenold, J. J. and Liscum, E. 2007. Functional ecology of a blue light photoreceptor: effects of phototropin-1 on root growth enhance drought tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytol.* **173,** 91-99.
7. Hennig, L, Stoddart, W. M., Dieterle, M., Whitelam, G. C. and Schäfer, E. 2002. Phytochrome E controls light-induced germination of Arabidopsis. *Plant Physiol.* **128**, 194-200.
8. Ivanchenko, M. G., Muday, G. K. and Dubrovsky, J. G. 2008. Ethylene-auxin interactions regulate lateral root initiation and emergence in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.* **55**, 335-347.
9. Kiss, J. Z., Mullen, J. L., Correll, M. J. and Hangarter, R. P. 2003. Phytochromes A and B mediate red-light-induced positive phototropism in roots. *Plant Physiol.* **131**, 1411-1417.
10. Leasure, C., D., Tong, H., Yuen, G., Hou, X., Sun, X. and He, Z. H. 2009. ROOT UV-B SENSITIVE2 acts with ROOT UV-B SENSITIVE1 in a root ultraviolet B-sensing pathway. *Plant Physiol.* **150,** 1902-1915.
11. Mandoli, D. F. and Briggs, W. R. 1982. The photoperceptive sites and the function of tissue light-piping in photomorphogenesis of etiolated oat seedlings. *Plant Cell Environ.* **5,** 137-145.
12. Molas, M. L., Kiss, J. Z. and Correll, M. J. 2006. Gene profiling of the red light signaling pathway in roots. *J. Exp. Bot.* **57,** 3217-3229.
13. Morita, M. Y. and Tasaka, M. 2004. Gravity sensing and signaling. *Curr. Opi. Plant Biol.* **7,** 712-718.
14. Muday, G. K. and DeLong, A. 2001. Polar auxin transport: controlling where and how much. *Trends Plant Sci.* **6,** 535-542.
15. Salisbury, F. J., Hall, A., Grierson, C. S. and Halliday, K. J. 2007. Phytochrome coordinates Arabidopsis shoot and root development. *Plant J.* **50,** 429-438.
16. Takano, M., Kanegae, H., Shinomura, T., Miyao, A., Hirochika, H. and Furuya, M. 2001. Isolation and characterization of rice phytochrome A mutants. *Plant Cell* **13**, 521-534.
17. Woo, S. H., Oh, S. E., Kim, J. S., Mullen, J. L., Hangarter, R. P. and Kim, S. Y. 2008. Root Gravitropic Response of Phytochrome Mutant (*phyAB*) in *Arabidopsis*. *J. Life Sci.* **18**, 148-153
18. Yamagami, T., Tsuchisaka, A., Yamada, K., Haddon, W. F., Harden, L. A. and Theologis, A. 2003. Biochemical diversity among the 1-aminocyclopropane- 1-carboxylate synthase isozymes encoded by the Arabidopsis gene family. *J. Biol. Chem.* **278**, 49102-49112.

초록 : Arabidopsis phytochrome mutant에서 빛이 뿌리 생장과 굴중성 반응에 미치는 영향

박지혜 · 이상승 · 우순화 · 김순영*
(안동대학교 생명과학과)

빛이 굴중성과 뿌리 생장에 미치는 영향을 알아보기 위해 Arabidopsis phytochrome mutant를 이용하여 뿌리 생장과 굴중성 반응을 측정하였다. *PhyA*의 뿌리 생장은 white light를 제외한 모든 빛 조건에서 WT와 비교하여 촉진되었다. 특히 red light에서 키웠을 때 다른 mutant와는 달리 뿌리 생장이 촉진되었다. 반면에 *phyB*는 모든 빛 조건에서 키웠을 때 뿌리 생장이 억제되었으며, 특히 double mutant인 *phyAB*는 white light와 red light에서 키웠을 때 뿌리 생장이 가장 많이 억제되었다. *PhyA*의 굴중성 반응은 far-red light에서 키웠을 때를 제외하고 모든 빛 조건에서 키웠을 때 WT와 비교하여 촉진되었다. 한편 *phyAB*는 모든 조건에서 모두 굴중성 반응이 억제되었다. Ethylene 생합성을 조절하는 효소인 ACS transcript 수준은 white light와 red light에서 키웠을 때 *phyA*가 높게 나타났으며, far-red light에서 키웠을 때는 *phyA*의 transcript 수준이 억제되었다. 결론적으로 뿌리 생장과 굴중성 반응은 phyB의 P_{fr}에 의해 조절된다.