

## 벼 착근기 생육 환경에 따른 어린모의 생육변화 분석

최명구<sup>1</sup> · 정재혁<sup>2</sup> · 이현석<sup>2</sup> · 양서영<sup>2</sup> · 이충근<sup>3</sup> · 황운하<sup>2,†</sup>

### Changes in the Growth of Young Rice Seedlings in the Root Extension Stage under Different Growth Conditions

Myoung Goo Choi<sup>1</sup>, Jae-Hyeok Jeong<sup>2</sup>, Hyen-Seok Lee<sup>2</sup>, Seo-Yeong Yang<sup>2</sup>, Chung-gun Lee<sup>3</sup>, and Woon-Ha Hwang<sup>2,†</sup>

**ABSTRACT** Root extension is the most important growth change that occurs during cultivation. We analyzed growth changes according to young seedling age, temperature, and the degree of root cutting in order to identify factors affecting rooting after transplanting. Root cutting did not affect plant height growth rate, root growth rate was increased in plants that experienced root cutting, and 14-day-old seedlings exhibited a higher growth rate than 7-day-old seedlings. Growth temperature experiments revealed that elongation was high at 25°C and 28°C, but tended to be low at 18°C, and root elongation was high at 22-28°C for 7-day-old seedlings and 22-25°C for 14-day-old seedlings. Nitrogen absorption decreased in the following growth temperature order: 25, 28, 22, 18°C, and differences in nitrogen absorption under different growth temperatures tended to be lower in 7-day-old seedlings. The amount of nitrogen taken up by roots did not differ significantly between the short root treatment and the control, and 7-day-old seedlings tended to start nitrogen absorption faster than 14-day-old seedlings. Root vitality was highest in short-rooted 7-day-old seedlings with 3 cm of root remaining, and vitality also tended to be high in short-rooted 14-day-old seedlings.

**Keywords** : root damage, root extension, temperature, young seedlings

벼 이앙재배는 국내 벼 농사의 97% 이상을 차지하는 대표적인 농법으로 육묘상자에 벼씨를 파종 후 어린모를 육성하여 논에 이앙하는 기술이다. 이는 파종 후 육묘 기간 동안 안전한 환경을 조성하여 어린모의 생육을 촉진하여 벼의 재배안전성을 높이는 동시에 실제적인 논의 이용기간을 줄여 봄철 타작물과의 효율적인 이모작을 가능하게 하는 중요한 기술이다.

이앙재배 시 이앙 후 활착기간은 모의 생육환경을 바꾸는 중요한 시기로 어린모 이앙 후 약 3~7일 간이 착근기로 판단되고 있으며 이 기간 동안 정상적인 뿌리기능의 부족으로 모의 생육이 일시적으로 둔화되며, 착근 후 뿌리의 정상적인 양분흡수기능으로 생육이 회복되고 분얼 등이 발생하게 된다(Matsubayashi *et al.*, 1963). 이앙 후 정상적인 뿌

리 발육은 이후 정상적인 수량 및 품질 확보에 큰 영향을 미치는데, 착근기가 늦을 경우 생육량 부족으로 인해 안정적인 수량 확보가 되지 않을 뿐만 아니라 생육지연으로 출수가 늦어져 품질에도 영향을 미칠 수 있다(Yamamoto & Hisane, 1990; Fukai & Cooper, 1995; Gowda *et al.*, 2011).

이앙 후 착근에 큰 영향을 미치는 요인은 어린모의 생육 정도, 이앙 시 온도 등으로 알려져 있으며, 어린모는 성모보다 착근이 빠른 것으로 알려져 있으며 착근기의 온도가 낮을 시 착근이 늦어져 생육지연이 된다고 알려져 있다(Kashem *et al.*, 1995; Morio *et al.*, 1998). 또한 이앙재배 시 육묘상자에서 자란 어린모는 매트형성 후 뿌리가 얽히게 되는데 이는 기계이앙이 가능하게 하는 중요한 요인인 동시에 이앙 시 뿌리 끊김으로 인해 착근 및 초기생육 지연

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 (Postdoc Fellow, Crop National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사 (Junior Scientist, Crop National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관 (Senior Scientist, Crop National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Woon-Ha Hwang; (Phone) +82-63-238-5263; (E-mail) [hwangwh@rda.go.kr](mailto:hwangwh@rda.go.kr)

<Received 27 May, 2020; Revised 3 August, 2020; Accepted 8 August, 2020>

에 영향을 미치는 요인이 되기도 한다. 착근은 이앙재배의 가장 중요한 요인으로 판단되나 생육온도 및 이앙 시 뿌리 양에 따른 어린묘의 양분흡수 등 생리적 변화에 대한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 이앙 시 환경에 따른 착근변화를 예측하기 위해 생육온도, 육묘일수 및 단근정도에 따른 뿌리활력 및 생육변화 등을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 단근 및 생육처리

시험재료는 오대, 일미, 운광벼를 사용하였다. 각 시험 중자는 소독 및 최아 후 400공 상자에 구멍 당 한 립씩 파종하였다. 파종 7일, 14일 후 양액재배를 위해 흐르는 물에 뿌리를 잘 씻어 흙을 제거한 후 식물체로부터 뿌리길이를 1.5 cm, 3 cm 가 남도록 자른 것과 자르지 않은 것을 이용하여 양액재배를 시작하였다. 양액재배는 Yoshida 양액(Yoshida *et al.*, 1976)을 제조하여 사용하였으며 15 ml 튜브에 양액을 10 ml 씩 담고 튜브 당 식물체 1개씩을 넣어 18°C, 22°C, 25°C, 28°C로 설정된 온실에서 5월에 재배하였다. 온실의 일장은 자연일장과 같이 처리하였으며 온도편차는 ±5°C로 설정하였다. 양액은 5일마다 교체하였으며 5일 동안 양액 부족에 따른 한발스트레스를 방지하기 위해 매일 2차 증류수로 부족한 수분을 보충하였다.

### 식물체 생육 및 뿌리활력 조사

단근 및 양액재배 시작 후 5일 간격, 5반복으로 식물체를 회수하여 초장 조사 후 식물체와 뿌리 부분을 나누어 뿌리 생체중을 조사하였다. 식물체 뿌리는 무게 조사 후 곧바로

0.6% TTC 용액 10 ml이 들어있는 15 ml 튜브에 담아 뿌리활력 분석을 진행하였다(Anna, 1994). TTC 용액에 담긴 뿌리는 30°C에서 24시간 배양하여 염색하였으며, 염색이 끝난 뒤 증류수로 세척하여 95% 에탄올 10 ml을 추가하여 100°C에서 5분간 처리 하여 염색액을 추출하였다. 추출된 염색시액은 볼륨을 맞춘 뒤 490 nm에서 염색정도를 분석하여 뿌리활력을 측정하였다. 양액 재배 시 남은 양액을 이용하여 양액 중 질소함량 분석을 진행하였다. 5일간 사용된 양액을 회수하여 증류수로 동량을 맞춘 뒤에 질소함량을 분석하였다(Tadashi & Kiyoshi, 2001).

### 통계처리

통계처리는 SAS 9.4을 사용하였으며 Duncan's multiple range test (DMRT)로 유의수준 0.05% 수준에서 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 생육온도 및 단근처리에 따른 생육변화 분석

오대, 일미, 운광벼를 400공 상자에 파종 후 7일 및 14일 후 뿌리를 1.5 cm, 3 cm 남기고 자른 것과 자르지 않을 것을 양액재배하여 생육일수에 따른 초장 및 뿌리변화를 분석하였다. 단근정도 및 생육온도가 뿌리 및 초장 신장에 미치는 영향을 분석한 결과(Table 1), 뿌리신장의 경우 단근 및 생육온도와 유의한 상관관계가 있으며 14일 묘의 경우 단근과 생육온도의 상호작용과 뿌리신장의 유의한 관계가 나타났다. 반면 줄기신장의 경우 생육온도에만 유의한 상관관계를 보였다. 7일 묘의 경우(Fig. 1), 뿌리신장은 생육일수 당 약 0.001~0.11 cm 증가하였으며 초장신장의 경우 생육일당 약 0.2~0.8 cm 까지 증가하였다(Fig. 1A). 무단근

**Table 1.** Root and plant length growth rates under different root cutting and temperature treatments in 7- and 14-day-old rice plants.

Seedling age (days)	Source	Root growth rate (cm/day)					Plant height growth rate (cm/day)				
		Sum Sq <sup>1</sup>	DF <sup>2</sup>	Means Sq <sup>3</sup>	F value	Pr>F	Sum Sq <sup>1</sup>	DF <sup>2</sup>	Means Sq <sup>3</sup>	F value	Pr>F
7	R	0.528	2	0.264	21.6	1.8E-08** <sup>1</sup>	0.142	2	0.071	1.08	0.34
	T	0.112	3	0.037	3.05	0.032*	3.581	3	1.193	18.22	0.023*
	R×T	0.066	6	0.011	0.89	0.50	0.531	6	0.088	1.35	0.24
14	R	0.494	2	0.247	31.9	2.34E-11** <sup>1</sup>	0.019	2	0.009	0.085	0.0917
	T	0.149	3	0.049	6.4	0.0005**	6.039	3	2.013	17.47	3.94E-09** <sup>1</sup>
	R×T	0.108	6	0.018	2.3	0.037*	0.377	6	0.006	0.546	0.771

R: Root cutting treatment, T: Temperature

1. Sum of Squares, 2. Degrees of Freedom, 3. Means squared, <sup>1</sup>Significance levels: 0.01 \*, 0.05 \*\*

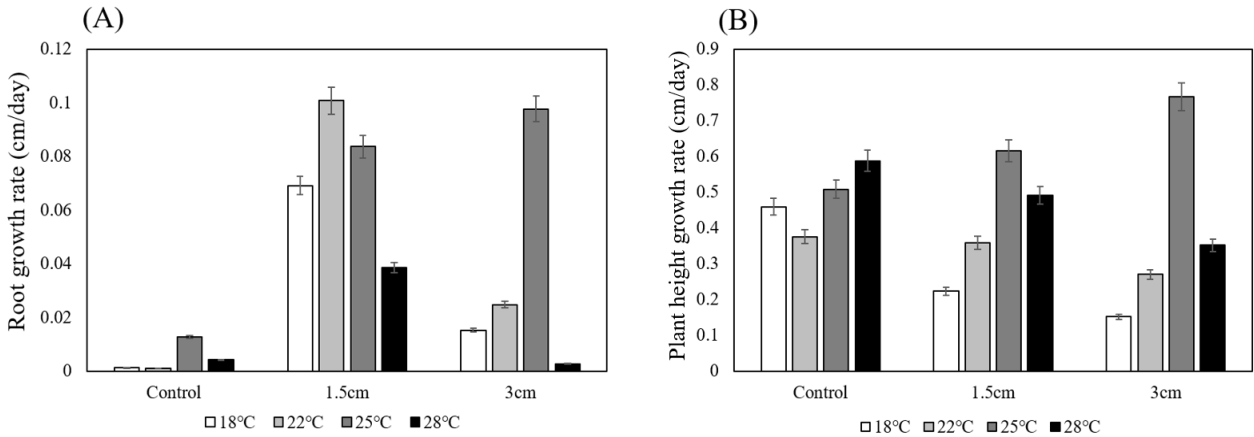


Fig. 1. Growth rates of (A) roots and (B) plant height per day after root cutting treatment under different temperature conditions in 7-day-old rice seedlings. Data are averages of three cultivars.

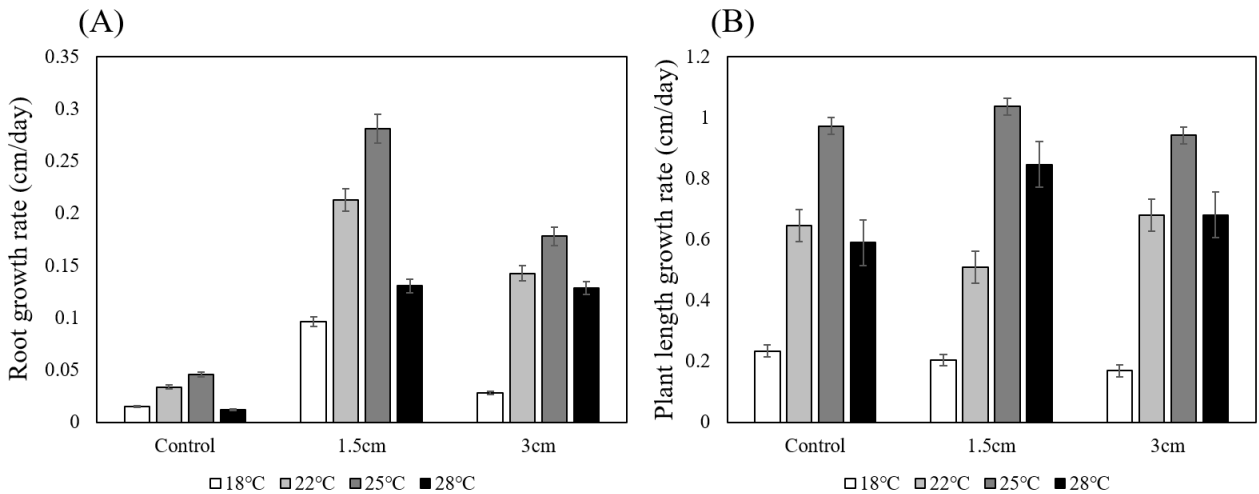


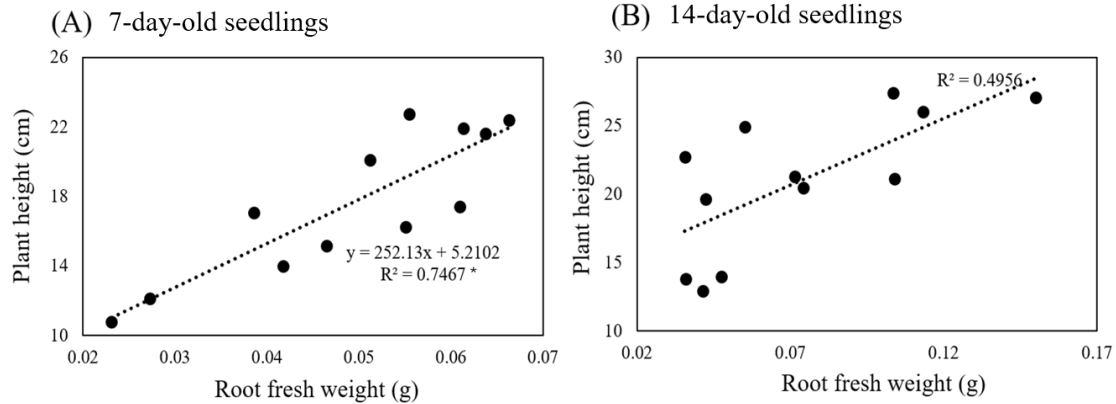
Fig. 2. Growth rate of (A) roots and (B) plant height per day after root cutting treatment under different temperature conditions in 14-day-old seedlings. Data are averages of three cultivars.

처리 시 생육일당 뿌리 신장이 거의 나타나지 않았으나 25°C에서 다소 뿌리가 신장하는 것으로 나타났다. 뿌리길이가 1.5 cm 남게 단근처리에서 생육일별 뿌리 신장정도가 가장 크게 나타났으며 온도별로는 22, 25, 18 및 28°C의 순으로 일별 뿌리신장정도가 낮아지는 것으로 나타났다. 뿌리길이가 3 cm 남게 단근처리 시 25°C에서 뿌리 신장효과가 가장 크게 나타났으며 28°C의 고온에서는 뿌리신장이 거의 나타나지 않았다. 식물체 초장신장의 경우(Fig. 1B), 무단근처리에서는 생육온도와 큰 관계없이 일별 신장정도가 높았으며, 1.5 및 3 cm 남기고 단근한 경우, 25°C에서 가장 큰 신장을 보였으며 28°C, 22°C, 18°C 순으로 신장정도가 낮아졌다.

14일 묘의 경우(Fig. 2), 뿌리 신장의 경우(Fig. 2A) 1.5

cm 남기고 단근 시 가장 높은 신장율을 보였으며 온도에 따라서는 25, 22, 28, 18°C의 순으로 신장정도가 감소하는 경향이었다. 초장 신장의 경우(Fig. 2B), 3 cm 남긴 단근처리와 control에서는 22도와 28도간 통계적 차이가 없고, 1.5 cm 남긴 단근처리에서는 22도보다 28도에서 초장 신장속도가 빠른 경향이었다.

단근처리에 따른 뿌리 및 초장신장 정도는 7일묘에 비해 14일묘에서 큰 경향을 보였는데 이는 7일묘에 비해 14일묘가 상대적으로 생육량이 많으며 이 때문에 뿌리가 끊어지는 스트레스에서 뿌리 및 초장의 생육이 활발히 진행될 수 있었던 것으로 판단된다. 반면 생육온도에 대한 뿌리 및 초장신장 반응은 7일묘가 14일묘에 비해 적은 것으로 나타나 온도에 따른 영향을 적게 받는 것으로 판단되나, 단근 시



**Fig. 3.** Correlation between root fresh weight and plant height in 7- and 14-day-old rice plants. Asterisks (\*) indicate a significant difference at 0.05%.

뿌리 및 초장의 정상적인 생육을 위해서는 너무 낮거나 높은 온도보다는 22~25°C의 온도가 적당한 것으로 판단된다. Feldman (1984)은 뿌리의 생육을 위해서는 적합한 온도조건이 필요하다고 보고한 바 있다. 또한 Yumiko *et al.* (2010)은 토양온도를 달리하여 벼의 뿌리 및 지상부의 생육변화를 분석한 결과, 온도가 높을 경우 지상부 및 뿌리의 생육이 크게 감소하는 것으로 보고하였으며, 이는 토양온도가 높을 시 식물체의 광합성이 감소하고 ABA의 함량이 증가하는 것과 관련되어 있다고 보고하였다. 본 실험의 생육온도에 따른 뿌리 및 지상부의 생육변화 결과는 기존 보고 자료와 같이 생육온도가 너무 낮거나 높을 경우 생육이 저해하는 것으로 판단된다.

육묘일수 별로 뿌리 발생량에 따른 지상부 생육변화를 분석하기 위해 뿌리생체중과 초장신장과의 상관관계를 분석한 결과(Fig. 3), 7일묘의 경우 뿌리생체중과 초장과의 상관관계수가 0.74로 뿌리발육이 왕성함에 따라 초장신장도 큰 것으로 나타난 반면 14일묘의 경우 뿌리생체중과 초장과의 상관관계수가 0.49로 다소 높지 않은 것으로 나타났다. 기존의 애기장대를 대상으로 연구한 결과, 식물체의 엽령이 증가함에 따라 광합성량이 증가한 것으로 알려져 있다(Ludwik *et al.*, 2017). 14일 묘의 초장신장이 7일 묘에 비해 뿌리신장과의 상관관계가 낮은 것은, 14일 묘의 경우 7일 묘에 비해 뿌리가 빈약하여도 식물체 자체의 광합성을 통한 양분축적으로 초장신장이 가능한 결과로 판단된다.

#### 온도 및 단근처리에 따른 질소흡수량 변화 분석

온도 및 단근처리가 이앙 후 20일간 평균 질소 흡수량에 미치는 영향을 분석한 결과(Table 2), 7일 및 14일 묘 모두에서 온도만 질소 흡수량에 영향을 미치는 것으로 나타났

다. 이에 온도와 단근처리를 분리하여 이앙 후 일수별 질소 흡수량 변화를 분석하였다.

단근처리를 무시하고 생육 온도에 따른 질소흡수변화를 분석한 결과(Fig. 4), 양액의 질소 흡수량은 25, 28, 22, 18°C 순으로 낮아지는 경향으로 7일묘는 14일묘에 비해 생육온도에 따른 흡수량 차이가 크지 않은 경향이었다. 14일묘의 경우 생육온도가 28°C로 증가 시 25°C에 비해 질소 흡수량이 감소하는 경향이었는데 이는 고온에 의해 식물체 생리작용이 감소하여 정상적인 양분흡수가 저해되어 발생하는 것으로 판단된다. 생육일별로 보았을 때는 처리 후 15일 및 20일에 분석하였을 때 가장 질소 흡수량이 높은 것으로 나타났으며 7일 묘의 경우 대체적으로 처리 10일부터 질소 흡수량이 크게 증가하여 25일까지 대체적으로 왕성하게 양액속의 질소를 흡수하는 것으로 나타났으며, 반면 14일 묘의 경우 처리 10일 후부터 15일까지 질소흡수량이 많은 것으로 나타나, 7일 묘에 비해 뿌리를 통한 질소흡수는 다소 적은 것으로 판단되었다.

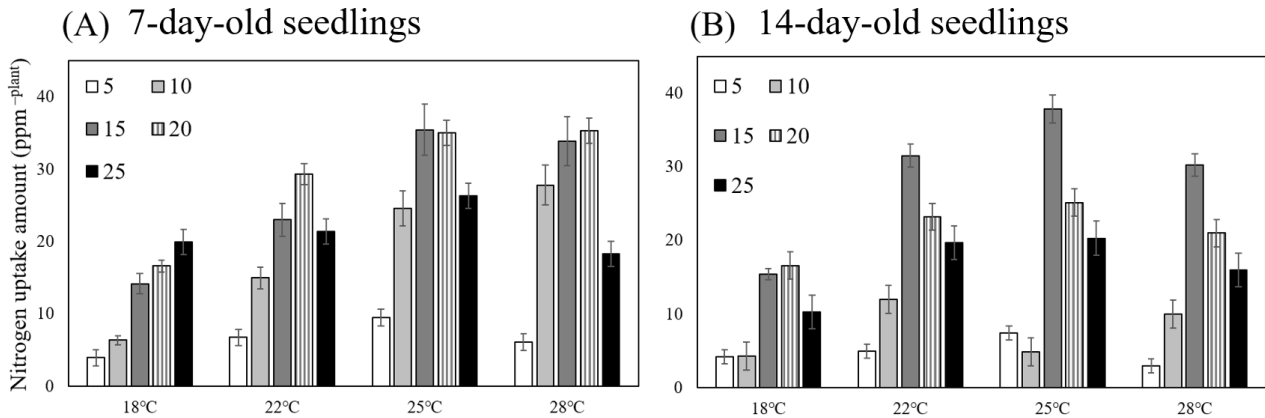
온도조건을 반복으로 지정하고 단근처리에 따른 질소 흡수량 변화를 분석한 결과(Fig. 5), 무단근처리에 비해 단근처리 시 질소흡수량이 다소 감소하는 경향이었으나 Table 2의 결과와 마찬가지로 유의한 차이가 나타나진 않았다. 생육시기별 질소흡수량은 7일묘에서는 처리 5일 이후, 14일묘에서는 처리 10일 이후로 크게 증가하는 경향이었다. 무단근처리 시 뿌리량이 단근처리에 비해 상대적으로 많음에도 불구하고 질소흡수량이 큰 차이를 보이지 않는 것은 뿌리량과 관계없이 뿌리가 양분을 흡수하는 흡수력에 따른 차이로 판단되며, 단근처리 시 새뿌리의 왕성한 발생으로 처리 양분 흡수량이 크게 증가하는데 7일묘에 비해 14일묘에서 흡수시기가 늦어지는 것으로 볼 때, 뿌리의 정상적인

**Table 2.** Amount of nitrogen taken up under different root cutting and temperature conditions in 7- and 14-day-old rice plants.

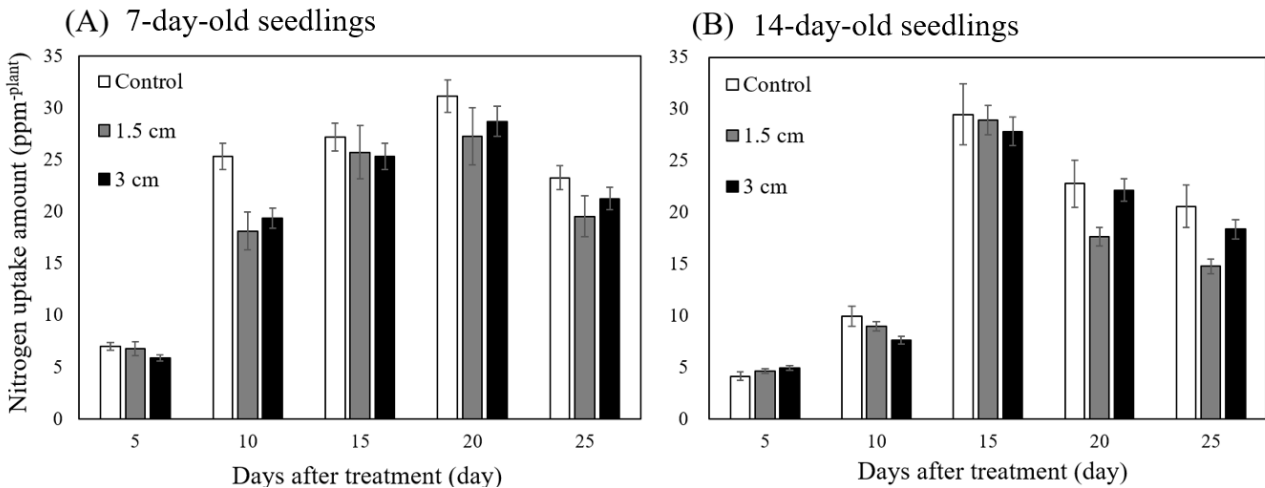
Seedling age (days)	Source	7-day-old rice plants					14-day-old rice plants				
		Sum Sq <sup>1</sup>	DF <sup>2</sup>	Means Sq <sup>3</sup>	F value	Pr>F	Sum Sq <sup>1</sup>	DF <sup>2</sup>	Means Sq <sup>3</sup>	F value	Pr>F
7	R	145.42	2	72.7	2.81	0.064	87.7	2	43.8	0.95	0.387
	T	2436.3	3	812.1	31.46	2.97E-14** <sup>↓</sup>	1535.1	3	511.7	11.15	2.4E-06** <sup>↓</sup>
	R×T	146.7	6	24.45	0.94	0.465	108.4	6	18.07	0.39	0.881

R: Root cutting treatment, T: Temperature

1. Sum of Squares, 2. Degrees of Freedom, 3. Means squared, <sup>↓</sup>Significance levels: 0.01 \*, 0.05 \*\*



**Fig. 4.** Amount of nitrogen taken up by (A) 7- and (B) 14-day-old seedlings in Yoshida solution over 5 days every 5 days under different temperature conditions. Yoshida solution was changed every 5 days and nitrogen content of the remaining Yoshida solution was determined. Data are averages three cultivars.



**Fig. 5.** Amount of nitrogen taken up by (A) 7- and (B) 14-day-old seedlings in Yoshida solution over 5 days under different root cutting treatments. Data are averages of three cultivars.

양분흡수가 나타나기 위해서는 7일묘에 비해 14일묘에서 시간이 많이 필요한 것으로 판단된다.

단근처리 및 생육온도에 따른 뿌리활력 변화를 처리 후 20일간 5일 간격으로 분석한 결과(Fig. 6), 7일묘의 경우 무

단근처리 시 생육온도에 따른 큰 차이를 보이지 않았으나 22°C에서 가장 높은 활력을 보였으며, 단근처리 시 뿌리 3 cm를 남기고 자른 것이 1.5 cm를 남기고 자른 것보다 활력이 높았다. 반면 14일묘의 경우 뿌리 단근처리와 관계없이

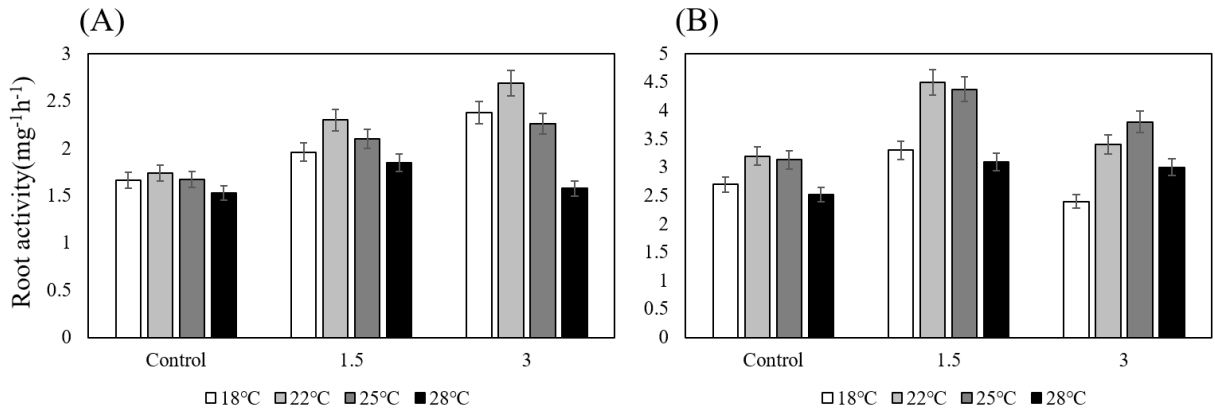


Fig. 6. Root activity of (A) 7- and (B) 14-day-old seedlings under different root cutting treatments. Data are averages three cultivars.

Table 3. Correlations between each root and shoot growth-related parameter in 7- and 14-day-old rice plants.

Variable	7-day-old rice plants				14-day-old rice plants			
	Shoot G.	Root G.	N. uptake	Root A.	Shoot G.	Root G.	N. uptake	Root A.
Shoot G.	-	0.653*	0.625* <sup>↓</sup>	0.632*	-	0.462	0.508	0.524
Root G.	0.653*	-	0.524	0.452	0.462	-	0.117	0.452
N. uptake	0.625*	0.524	-	0.656*	0.508	0.117	-	0.605*
Root A.	0.632*	0.452	0.626*	-	0.524	0.452	0.615*	-

Shoot G: shoot growth rate (cm/day), Root G: root growth rate (cm/day), N. uptake: nitrogen uptake amount (ppm), Root A: root activity, <sup>↓</sup>Significance level: 0.05 \*

22 및 25°C에서 뿌리 활력이 가장 높았으며 1.5 cm 남기고 단근한 것이 뿌리 활력이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 7일묘는 식물체의 생육량이 적어 뿌리의 손실이 많을 시 뿌리의 기능이 원활히 이루어지지 않으나 이에 비해 14일묘의 경우 생육량이 상대적으로 많아 뿌리 손상이 많아도 7일묘에 비해 상대적으로 뿌리생육 및 기능이 원활히 이루어질 수 있는 것으로 판단된다.

위 결과를 바탕으로 7일 묘와 14일 묘에서 줄기 및 뿌리 생육과 관련된 요인들의 상관관계를 분석하였다(Table 3). 7일 묘는 14일 묘에 비해 뿌리와 줄기의 생육이 유의한 정도의 상관관계를 보였으며, 뿌리의 활력에 따라 질소흡수량 및 줄기의 신장도 유의적으로 변하는 경향이며 이앙 후 양분흡수 시기도 14일 묘에 비해 빠른 편이었다(Fig. 4). 이 결과로 볼 때, 7일 묘는 14일 묘에 비해 상대적으로 뿌리를 통한 질소흡수가 식물체 생장에 기여하는 부분이 큰 것으로 판단되어 이앙 후 착근기간 동안의 적절한 비료 처리를 통해 양분을 충분히 공급하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

반면 14일 묘의 경우, 뿌리 생육과 줄기 생육의 상관관계가 7일 묘에 비해 적은 반면(Table 3), 뿌리 및 줄기 생육이 7일 묘에 비해 온도의 영향을 크게 받는 것으로 판단 시

(Table 1) 7일 묘에 비해 착근기 동안의 온도에 따라 착근기간의 변동이 클 것으로 판단된다. 이에 조기 이앙 및 만기이앙 시 착근기간이 7일 묘에 비해 길어질 수 있어 이앙 적기에 이앙하는 것이 재배안전성이 높은 것으로 판단된다.

### 적 요

착근은 이앙재배에서 가장 중요한 생육상의 전환으로 착근의 효율에 따라 이앙 후 수량 및 품질에 큰 영향을 미치는 중요한 시기이다. 착근 시 식물체 조건 및 환경에 따른 기초연구가 부족하여 이에 착근에 영향을 미치는 요인을 구명하기 위해 생육일수, 생육온도 및 단근정도에 따른 묘의 생육변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 단근 처리 시 초장변화는 단근처리에 따른 차이를 보이지 않았으나, 뿌리신장의 경우 남아 있는 뿌리길이가 적을수록 신장율이 높았으며 7일묘에 비해 14일묘에서 초장 및 뿌리 신장율이 높은 경향이었다.
2. 생육온도에 따른 초장 신장은 25°C 및 28°C에서 신장율이 높았으나 18°C에서는 낮은 경향이었으며, 뿌리 신장은

- 7일묘는 22~28°C, 14일묘의 경우 22~25°C에서 높았다.
3. 7일묘는 뿌리생육량과 초장변화와의 상관관계가 높았으나 14일묘의 경우 유의적인 상관관계를 보이지 않았다.
  4. 질소 흡수량은 생육온도 25, 28, 22, 18°C순으로 낮아졌으며 7일묘의 경우 14일묘에 비해 생육온도에 따른 질소 흡수량 차이가 적은 경향이었다.
  5. 단근처리에 따른 뿌리량별 질소 흡수량은 큰 차이를 보이지 않았으며 7일묘가 14일묘에 비해 질소흡수가 빨리 시작되는 경향이었다.
  6. 뿌리활력은 7일묘의 경우 뿌리가 3 cm 남기고 단근 시 가장 높았으며, 14일묘의 경우 1.5 cm 남기고 단근 시 활력이 높은 경향이었다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(작물시험연구사업, 과제 번호: PJ01414301)의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Anna, C. L. 1994. Triphenyltetrazolium chloride as an indicator of fine root vitality and environmental stress in coniferous forest stands. *Plant and Soil*. 159 : 297-300.
- Feldman, L. D. 1984. Regulation of root development. *Annual Review of Plant Physiology*. 35: 223-242.
- Fukai, S. and M. Cooper. 1995. Development of drought resistant cultivars using physio-morphological traits in rice. *Field Crops Res.* 40 : 67-87.
- Gowda, V. R. P., A. Henry, A. Yamauchi, H. E. Shashidha, and R. Serraj. 2011. Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. *Field Crop Res.* 122 : 1-13.
- Kashem, M. N., M. Eunus, M. U. Salam, M. J. Chowdhury, U. Sarker, and M. A. Kashem. 1995. Study of 22 modern rice varieties under broadcast and transplant methods in aus and aman seasons: I. Effect on crop cycle and transplanting shock. *Bangladesh Journal of Agricultural Sciences*. 22(2) : 267-274.
- Ludwik, W. B., K. L. Mateusz, H. Iris, G. Anna, and C. Roberta. 2017. Leaf and plant age affects photosynthetic performance and photoprotective capacity. *Plant Physiology* 175 : 1634-1648.
- Matsubayashi, M. 1963. Theory and practice of growing rice. Minist. of Agr. & Foreat. Tokyo, Japan.
- Morio, I., O. Yorinaga, H. Yuka, and K. Yasuhiro. 1998. Time Lapse Analysis of Root Elongation Rates of Rice and Sorghum During the Day and Night. *Annals of Botany*. 81 : 603-607.
- Tadashi, Y. and N. Kiyoshi,. 2001. High-throughput analysis of total nitrogen content that replaces the classic Kjeldahl method. *J. Agric. Food Chem.* 49(10) : 4581-4583.
- Yamamoto, Y. and K. Hisano. 1990. Studies on transplanting injury in rice plant. 1. Effects of shoot pruning on the early growth of rice seedlings after transplanting. *Japanese Journal of Crop Science*. 59 : 312-320.
- Yumiko, A. R., I. Tsutomu, O. Akihiro, and K. Motohiko. 2010. Effects of soil temperature on growth and root fuction in rice. *Plant Prod. Sci.*13(3) : 235-242.