

벼 이앙묘의 착근기 차광이 초기 생육과 고온에 미치는 영향

이민지^{1,2} · 정남진³ · 황운하^{4,†}

Impact of Shading During Rooting Stage on Early Growth and High Temperature of Transplanted Rice

Min-Ji Lee^{1,2}, Nam-Jin Chung³, and Woon-Ha Hwang^{4,†}

ABSTRACT Crop damage is becoming increasingly prevalent because of the impact of climate change-induced abnormal weather conditions. This is particularly evident in the delayed rooting of transplanted rice, caused by insufficient solar radiation. This delay in rooting negatively affects crop growth, resulting in reduced yield and delayed development. To investigate the effects of shading and elevated temperatures during rooting stage on the early growth of transplanted rice seedlings, seedlings that had been cultivated for 15 days were transplanted into a greenhouse and subjected to varying levels of shading, including 0%(control), 34%, 44%, and 70%. The height of transplanted seedlings increased under 34% shading but decreased under 44% or more shading compared to that of the no shading treatment. As the degree of shading increased, the stem diameter and root length of the seedlings decreased significantly inhibiting growth, dry matter weight, and seedling quality. Additionally, shading increases the nitrogen content of plants because of the absence of soluble carbohydrates, thereby weakening them. The adverse effects of shading on plant growth was further exacerbated by high temperatures. These findings suggest that inadequate, sunlight and elevated temperatures during rooting stage, subsequent to transplanting, may result in delay plant development and decreased resistance of the seedlings to pests and environmental challenges. Therefore, it is essential to develop innovative cultivation management techniques during the rooting stage to improve growth outcomes.

Keywords : early growth stage, high temperature, rooting stage, shading, transplanted rice

최근 기후변화의 영향으로 강우일수가 늘어나고 있고, 식물에 도달하는 방사선을 가리거나 반사할 정도의 심각한 미세먼지와 대기오염 및 농가 주변의 구조물에 의한 일조 부족에 의한 식물의 피해가 빈번해지고 있다. 이러한 극단적인 기후변화를 완화하기 위해 탄소발생량 감축을 위한 탄소 중립, 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지는 가운데 광포화점 이상의 잉여 일사량을 태양광 발전에 공유해 수익을 창출할 수 있는 영농형 태양광 시설이 주목을 받고 있

다(Ban, 2020). 영농형 태양광은 작물생산과 신재생에너지를 동시에 얻을 수 있는 큰 장점이 있지만 태양광 패널에 의한 차광으로 작물의 생산성이 감소되는 단점이 있다.

광은 식물의 동화작용과 생장에 필수적이며, 광합성 산물의 수송과 저장에도 관여하여 작물의 수량에 결정적인 영향을 미친다(Evans and De Datta, 1979). 특히 벼는 생육 기간에 광 요구량이 높은 작물로 일조시간은 벼의 전 생육 기간에 영향을 주는데, 벼의 영양생장기의 일조 부족은 분

¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과 석사과정 (Master Degree Student, National Institute of Crop Science (NICS), RDA, Jeonju 55365, Republic of Korea)

²전북대학교 농학과 석사과정 (Master Degree Student, Department of Crop Science and Biotechnology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea)

³전북대학교 작물생명과학과 교수 (Professor, Department of Crop Science and Biotechnology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea)

⁴농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과 농업연구관 (Senior Scientist, National Institute of Crop Science (NICS), RDA, Jeonju 55365, Republic of Korea)

†Corresponding author: ; (Phone) +82-63-238-5263; (E-mail) hwangwh@rda.go.kr

<Received 10 May, 2024; Revised 31 May, 2024; Accepted 12 June, 2024>

열 발생을 지연시키거나 억제하여 이삭수의 감소 원인이 되며(Yang, 2007), 벼의 엽초와 엽신을 연약하게 하여 도복과 병해충에도 취약하게 한다. 한편, 생식생장기의 일조부족은 영화수 감소, 출수기 지연, 등숙율 및 천립중 저하 등의 원인이 된다(Lee *et al.*, 2016).

벼는 재배 안전성 향상을 위해 이앙재배를 하며, 볏씨 파종 후 육묘 후 논에 이앙하게 된다. 이때 육묘 상자에서 본 논에 모를 심을 시 끊어진 뿌리가 다시 회복하여 정상적인 생육을 할 때까지 일정 기간의 시간이 필요하며 이를 착근기간이라 한다. 우리나라에서 벼는 대부분 기계이앙으로 재배되고 있다. 본 논에 기계이앙된 벼는 벼 뿌리가 손상된 상태이므로 식상이 발생하며, 잎 표면에서 증산이 지속되고 바람이 강하면 식상은 더욱 심해진다. 그러나 이앙 후 기존 뿌리에서 흡수가 시작되고 새 뿌리가 충분히 발생하여 양수분의 흡수가 정상적으로 진행된다면 벼 잎은 회복되고 생장을 다시 시작하는데, 이 과정을 착근 또는 활착이라 한다(Hoshikawa, 1989). 이러한 착근과정은 일정 시간이 필요하며 이를 착근기간이라 한다. 착근기간이 짧으면 초기 생육 확보 시기가 빨라져 생육에 유리하지만 반대로 착근기간이 길어지게 되면 생육에 불리한 영향을 미친다(Yamamoto and Hisano 1990; Choi *et al.*, 2020).

이앙묘의 활착에는 재배환경이 영향을 주며 온도의 영향 평가는 많은 연구가 이루어졌다. 벼가 정상적으로 활착할 수 있는 일평균기온의 최저한계는 묘의 상태에 따라 12.5~15.5°C에 있으며, 이앙묘의 묘령이 많을수록 활착최저온도가 높고, 일 평균기온이 같더라도 낮의 온도가 높은 것이 활착에 유리한 것으로 알려져 있다(Hoshikawa, 1989).

벼의 생육 기간 중 일조 부족이 생육 및 수량에 미치는 영향은 여러 연구자에 의해 보고되었지만(Ma *et al.*, 2023), 벼의 이앙 후 착근기 광부족(차광)과 벼의 생장에 대한 정보는 부족한 실정이다. 이에 본 시험은 벼 이앙 후 착근기 동안 일사부족이 이앙묘의 초기 생육에 미치는 영향과 일사부족 시 고온의 영향을 분석하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험에 사용된 증만생종 중 분얼수가 적은 호평벼와 분얼수가 많은 신동진벼를 사용하여 전라북도 완주군 이서면에 위치한 국립식량과학원 인공기상동에서 수행하였다. 실험에 사용한 종자는 28°C에서 2일간 소독 및 침종 후 육묘 상자에 산파하였으며 파종 후 15일에 이앙하였다. 이앙 전 처리별 균일한 뿌리손상 상태를 유지하기 위하여 15일 묘의 뿌리를 2 cm 남기고 잘랐고, 이앙은 플라스틱 상자

(555 × 350 × 140 mm)에 208공 트레이(520 × 260 mm)를 넣고 각 구멍에 모를 옮겨 심었다. 이앙묘는 이앙기 평균기온과 비슷한 21°C(최고 26°C, 최저 16°C)의 온실에서 15일간 재배하며 차광 효과를 검정하였다. 한편, 이앙 벼의 착근기 차광 시 고온의 영향을 분석하기 위하여 평균온도 24°C와 27°C의 온실에서도 재배하며 차광효과를 조사하였다. 차광처리는 차광막을 씌우지 않은 대조구(control)와 검은 나일론으로 제작된 35%, 55%, 75%의 차광막을 사용하여 4개로 처리하였고, 같은 일사량을 받을 수 있도록 차광박스는 같은 방향으로 나란히 세워두었다. 차광막은 식물체가 재배되는 플라스틱 상자의 사방 및 상부를 처리하여 측면의 직사광까지 차광하였다. 차광막 내에서 일사 관측을 위해 20 cm 높이로 광합성 유효방사(PAR)를 측정하는 퀴텀 센서(SQ-110, Apogee instruments Inc., UT, USA)로 1주일간 측정하였으며, 일사 데이터 저장을 위해 자료수집장치(ZL6, Meter Group)를 이용하여 15분 간격으로 저장하였다. 15분 간격의 일사 데이터를 일별 자료로 변환하여 대조구의 일사량 대비 센서 별 일사량으로 실차광율(%)을 계산하였고, 35%, 55%, 75% 차광막의 실차광율은 34%, 44%, 70%이었다.

이앙 후 차광처리에 따른 생장량의 생육 변화를 확인하기 위해 초장(cm), 뿌리 길이(cm), 줄기 두께(mm), 엽수, 지상부와 지하부의 건물중을 조사하였다. 초장, 뿌리 길이, 줄기 두께, 엽수는 처리당 20개체를 측정하였으며 지상부와 지하부의 건물중을 조사하였다. 초장은 줄기 시작 부분부터 잎끝까지 길이, 뿌리 길이는 뿌리 시작 부분부터 끝의 길이를 측정하였다. 줄기 두께는 caliper (bluetec digital caliper, Bluetec)를 사용하여 뿌리와 줄기의 경계면에서 줄기 쪽으로 2 cm 되는 위치의 두께를 측정하였으며 지상부와 지하부의 건물중은 20개체를 70°C에서 3일간 건조 후 측정하였다. 묘 충실도는 이앙묘의 지상부 건물중을 초장으로 나누어 계산하였고, 생육 조사는 이앙 당일과 이앙 후 4, 8, 13, 18일에 측정하였다.

총질소 분석은 이앙 전, 이앙 후 18일에 식물체를 건조하여 분쇄한 시료에 황산 5 mL를 넣은 후 24시간 방치한 뒤 350°C의 고온 플레이트에서 과산화수소를 넣어 가열시키며 유기물질을 분해하였다. 이후 유기태 질소를 NH⁴⁺-N으로 변환시킨 후, 붕산과 반응시켜 생성된 붕산 암모늄의 양을 구하여 Total nitrogen을 측정하는 Kjeldahl-Rittenberg법을 사용하였다(Kim *et al.*, 2015; Yasuhara and Nokihara, 2001). 본 연구에서는 통계처리는 R-studio를 사용하여 여러 그룹 간의 평균 차이를 검정하기 위해 “혼합 효과 모형(Mixed Effects Model)”과 “반복 측정 분산분석(Repeat Measures

ANOVA)을 실시하였고, 사후검정으로 $\alpha = 0.05$ 에서 Duncan's multiple range test (DMRT)로 분석하였다.

결과 및 고찰

이앙묘의 착근기 차광정도에 따른 초기 생육

이앙 18일 후 차광조건에 따른 이앙묘의 생육 변화를 분석한 결과(Table 1), 착근기간 차광은 초장, 뿌리 길이, 줄기 두께, 엽수, 지상부 및 지하부 건물중 등의 생육 지표에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 초장은 무차광 처리에서 38.0 cm로 나타났으며, 대조구에 비해 34%차광에서 2.8 cm 증가했으나, 44%, 70% 차광에서는 각각 2.0, 0.8 cm 감소하였다. 일반적으로 영양생장기까지 광이 부족하면 엽신이 신장하여 식물의 초장은 증가한다(Yang *et al.*, 2007). 그러나 본 실험의 결과에서는 44% 이상의 차광처리 구에서는 대조구보다 초장이 감소하는 결과를 보였는데, 이는 광 부족이 심한 경우에 동화량의 절대적인 부족이 그 원인으로 판단된다.

착근기간 중 차광이 줄기 두께 변화에 미치는 영향을 보면, 대조구 평균 줄기 두께는 5.4 mm였으나 차광율이 증가

함에 따라 34%, 44%, 70% 차광처리에서 각각 4.6 mm, 3.8 mm, 3.4 mm로 차광율이 클수록 줄기 두께는 더욱 감소하였다. Wu *et al.* (2017)은 영양생장기간 동안의 차광 처리에 의하여 줄기 내 비구조적 탄수화물, 리그닌 및 셀룰로스의 축적 감소로 줄기 두께가 감소된다고 하였는데, 이 실험의 결과를 보면 착근기의 단기간의 차광 처리도 줄기 두께에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

뿌리 길이는 대조구에서 10.0 cm였으며, 34%, 44%, 70%의 차광조건에서 각 8.2 cm, 7.3 cm, 6.5 cm로 차광율이 증가하면서 큰 폭으로 감소는 결과를 보였다. 이를 통해 착근기 차광은 벼의 생육 중후기의 차광이 뿌리 발달을 저해한다는 연구 결과(Liu *et al.*, 2014)와 동일하게 뿌리생장에 부정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다.

지상부의 건물중은 대조구에 비해 34%, 44%, 70%의 차광처리에서 대조구에 비하여 각각 35.5%, 48.4%, 58.0% 감소했고, 뿌리 건물중은 대조구에 비하여 각각 42.9%, 57.1%, 74.4% 감소하여, 차광율이 10% 증가할수록 지상부와 뿌리 건물중은 각각 5.6%, 7.2%씩 감소하였다. 묘 충실도는 대조구의 0.08 mg/cm에 비하여 34% 차광에서 0.05, 44%와 70%의 차광조건에서 동일하여 0.03 mg/cm였다.

Table 1. Growth characteristics of shade-treated rice plants at 18 days post transplanting.

Shading percentage (%)	Plant height (cm)	Root length (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf number (No.)	Shoot dry weight (g/20plant)	Root dry weight (g/20plant)	Seedling quality (mg/cm)
control	38.0b	9.9a	5.4a	6.3a	3.1a	0.7a	0.08a
34%	42.8a	8.2b	4.6b	6.3a	2.0b	0.4b	0.05b
44%	40.0b	7.3c	3.8c	6.0b	1.6bc	0.3c	0.03c
70%	38.8b	6.5c	3.4d	5.9b	1.3c	0.2d	0.03c

※ Different letters indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

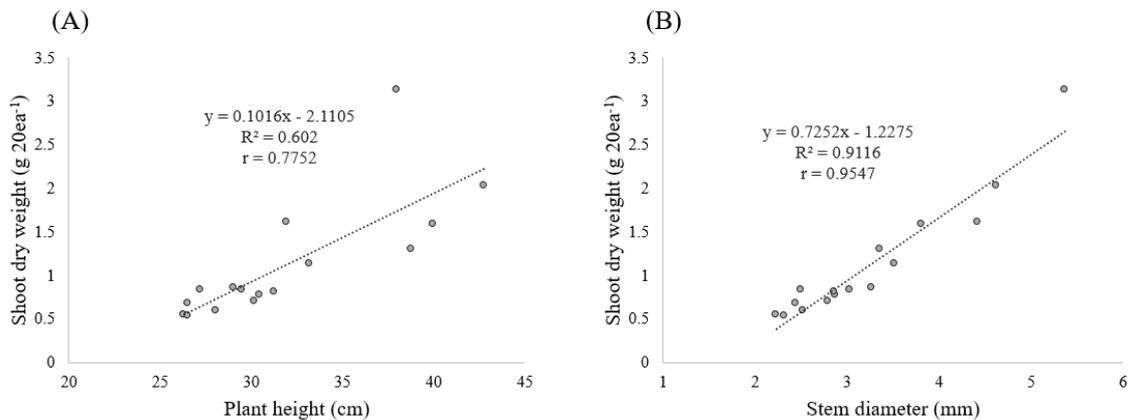


Fig. 1. Correlation of shoot dry weight with plant height and stem diameter.

차광조건에서 지상부 건물중 감소에 미치는 주된 요인을 확인하기 위해 지상부의 건물중과 초장, 줄기 두께의 상관관계를 분석한 결과(Fig. 1), 초장과 지상부 건물중의 상관관계($r^2 = 0.60$)에 비해 줄기 두께와 지상부의 건물중의 상관관계($r^2 = 0.91$)가 현저히 높은 것으로 나타났다. 이를 통해 일조 부족 조건 시 줄기 두께의 감소로 인해 묘 충실도가 감소하는 것으로 판단된다.

벼 착근기 광부족이 이앙묘의 지상부 생장에 미치는 영향

이앙 후 18일간 생육 시기별 차광율에 따른 초장 변화를 보면(Fig. 2A), 34%, 44% 차광조건에서 자란 벼는 이앙 후 13일부터 대조구 대비 초장이 감소하는 모습을 보였고, 70% 차광처리에서는 이앙 후 4일 차부터 감소해 차광율이 높아질수록 줄기 두께와 지상부 건물중 감소 피해가 빠르게 나타났다. 일사 부족에 의한 유의한 초장 신장 효과는 34%에서만 보였으며 그 이상으로 일사가 부족한 경우에 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 줄기 두께는 이앙 후 2일 차부터 대조구에 비해 현저하게 감소하는 것을 확인할 수

있었고, 시간이 지날수록 감소율이 급격하게 증가하였으며, 차광율이 증가할수록 감소폭이 증가하였다(Fig. 2B). 초장은 약간 증가하는 경향이 있었지만, 줄기 두께의 급격한 감소로 인해 지상부 건물중은 차광조건에서 이앙 후 2일부터 감소하였으며 줄기 두께와 비슷하게 차광율이 증가함에 따라 대조구 대비 감소폭이 증가하는 경향이였다(Fig. 2C).

이앙묘의 차광 정도에 따른 성장율의 변화를 보면(Fig. 3), 초장 성장율(cm/day)은 대조구에서 0.76, 34% 차광처리에서 1.13, 44% 차광처리에서 0.88, 70% 차광처리에서는 0.86으로 대조구보다 증가하는 경향을 보였다. 초장 성장율이 34% 차광처리에서 증가하지만, 그 이상으로 일조가 부족한 경우에는 34%의 성장율에 비해 감소하는 것으로 볼 수 있다. 초장은 일조 부족 환경에서 빛의 가용성이 감소하여 식물이 더 많은 빛에 도달하기 위해 초장을 증가시키지만 44% 이상의 차광율에서는 광부족으로 인해 광합성 능력이 저하되어 전체적인 에너지 생산이 감소하고, 동화산물 또한 감소되기 때문에 초장 성장율이 감소한다고 판단된다. 줄기 두께의 성장율(mm/day)은 차광율이 높아질수록 급격하게 감

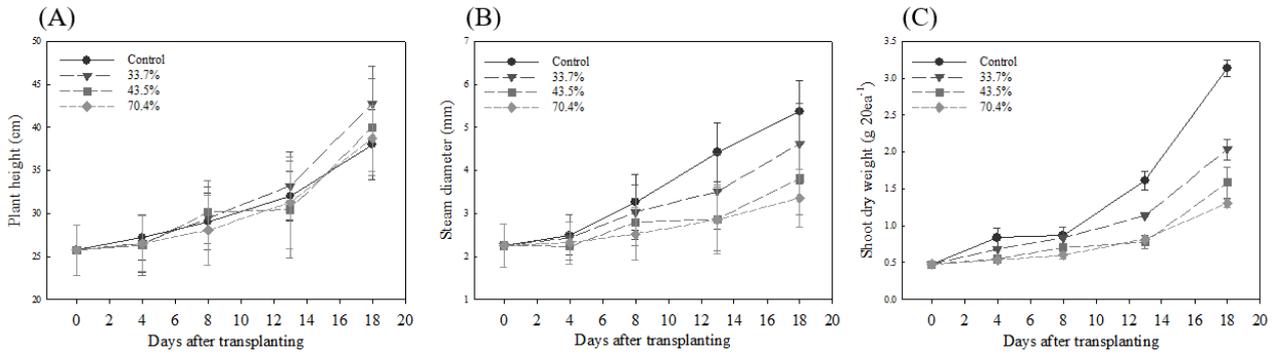


Fig. 2. Time course representing plant height (A), stem diameter (B) and shoot dry weight (C) over an 18-day period following transplanting under different shading conditions.

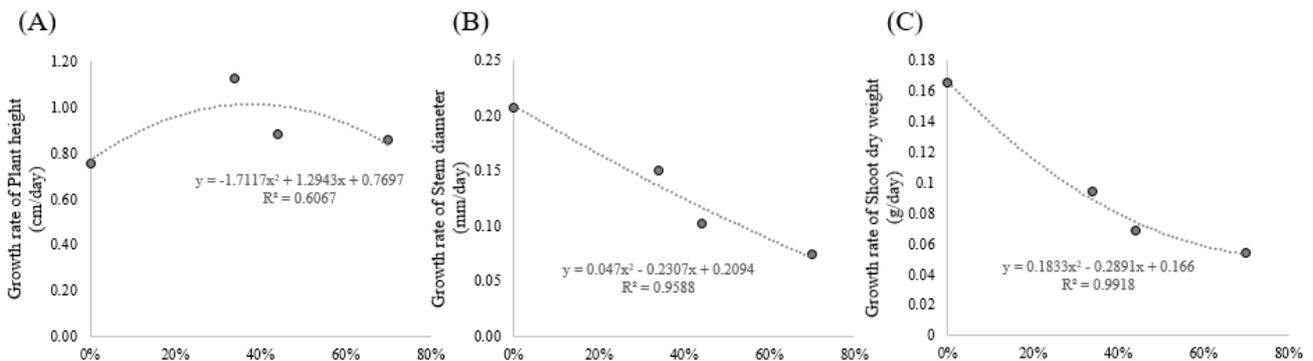


Fig. 3. Growth rate represented by plant height (A), stem diameter (B), and shoot dry weight (C) over an 18-days period following transplanting under different shading conditions.

소하여, 차광율이 10% 증가할 때마다 생장율은 약 0.02 감소하여 18일차에 0.30 mm씩 감소하였다. 지상부 건물중의 생장율(g/day)도 차광율이 높아질수록 급격하게 감소하였는데, 차광율 10% 증가 시 생장율은 약 0.001 감소하여 18일차에 0.27 g씩 감소하는 것으로 나타났다. 차광율이 증가할수록 일일 생장율이 감소하여 최종적으로 18일차의 생육량 감소에 영향을 미친다고 판단된다.

벼 착근기의 광부족이 이앙묘의 뿌리 생장에 미치는 영향

이앙 후 18일간 착근기의 차광 정도에 따른 뿌리 성장 변화는 Fig. 4과 같다. 차광 처리구의 뿌리 성장량은 이앙 직후부터 대조구에 비해 현저하게 감소되었는데, 차광 기간과 차광율이 증가할수록 뿌리 성장량은 더욱 감소하였다. 대조구에서는 이앙 직후부터 이앙 후 8일까지 이앙 초기에 뿌리의 길이가 현저히 증가하였고 그 이후에는 성장 속도가 감소하였다. 차광한 3개의 처리구에서도 대조구와 유사한 경향으로 이앙 직후부터 이앙 후 8일까지 이앙 초기의

뿌리 신장율이 그 이후 기간의 신장율보다 높게 나타나는 것으로 볼 때, 차광조건 시 뿌리발생 시기가 늦어지지는 않지만 착근기간 동안의 뿌리 성장량 자체가 대조구 보다 감소하는 것으로 생각된다(Fig. 4A). 차광에 의한 뿌리 신장량의 감소에 따라 지하부의 건물중도 이앙 직후부터 크게 감소하기 시작했고, 이앙 후 일수가 지날수록 대조구 대비 건물중 감소율은 더욱 증가하였다(Fig. 4B).

차광 정도에 따른 뿌리 길이와 뿌리 건물중의 생장율(cm/day)은 Fig. 5와 같다. 뿌리 생장율은 차광율이 높을수록 더욱 감소하여 차광율이 10% 증가할 때 뿌리 생장율은 약 0.03 감소하여 18일차에 0.05 cm씩 감소하였으며(Fig. 5A), 건물중의 생장율은 차광율이 10% 증가 시 약 0.005 감소하여 18일차에 0.07 g씩 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 5B).

뿌리의 성장과 생리활성은 탄수화물을 공급하는 잎의 광합성에 의존하고 있고(Yoshida and Miyamatsu, 1968), 또한 이앙 후 착근이 지연될 때 지상부에서 뿌리로의 동화 양분의 전류도 억제된다(Tatsumi and Kono, 1980). 본 시험

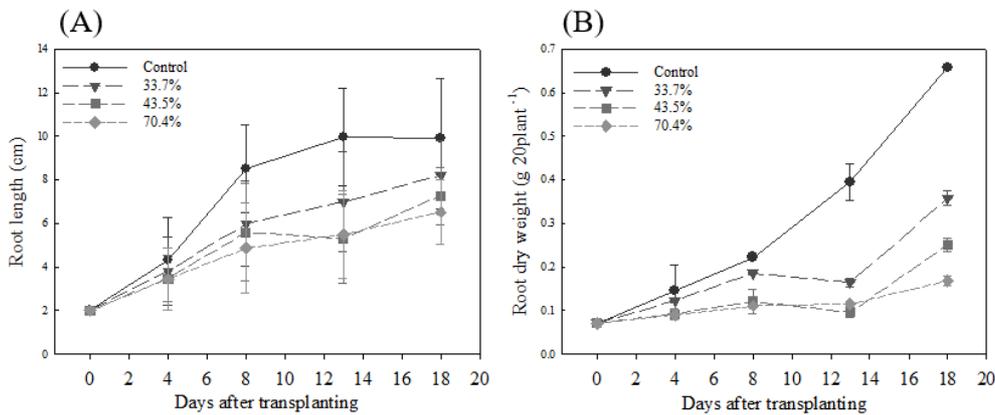


Fig. 4. Time course of root length (A) and root dry weight (B) over an 18-day period following transplanting under different shading conditions.

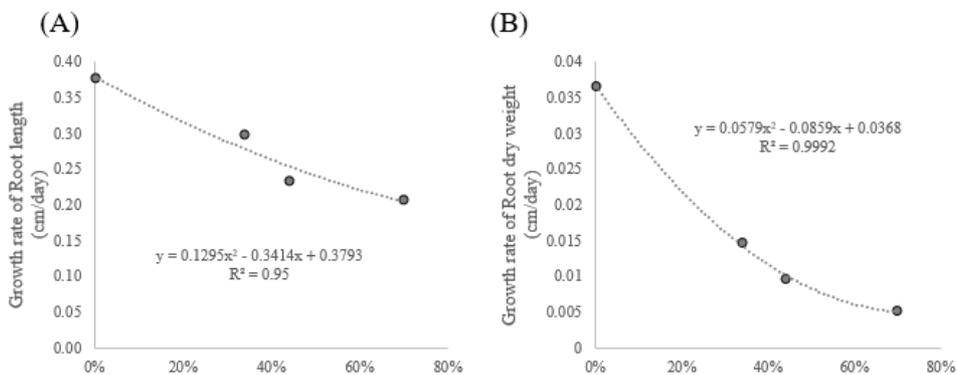


Fig. 5. Growth rate of root length (A) and root dry weight (B) over an 18-day period following transplanting under different shading conditions.

의 결과에서도 착근기의 일사 부족이 이앙 모의 광합성을 저해하고 뿌리 생장을 더디게 하여 초기 생장에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

이앙묘의 착근기 차광 정도가 식물체 내 질소 함량에 미치는 영향

착근기 차광에 따른 이앙묘의 질소 함량 변화를 분석한 결과(Fig. 6), 대조구 대비 차광조건에서 유의한 질소함량(%)의 차이를 보였다. 무차광 조건과 비교해 44% 차광까지 지상부 및 지하부 질소함량은 유의하게 증가하였으나 70%의 차광에서는 44% 차광보다 질소함량이 약간 감소하였다. 일사 부족은 벼의 광합성율과 건물 축적을 감소시켜 질소 이용 효율을 감소시키고 식물체 내 질소 함량을 증가시킨다(Zhang *et al.*, 2017). 식물체가 흡수한 질소의 80~85%는 아미노산과 단백질 합성에 이용되며, 그 외에 핵산, 엽록소, 조효소 등 다양한 비단백질 화합물의 형성에 이용된다. 그러나 광합성 부족으로 가용성 탄수화물이 부족할 경우에는 흡수된 잉여 질소는 질산(NO_3^-)의 형태로 액포에 축적된다(Maathuis, 2009).

본 실험의 단위 건물 중 당 질소함량비가 44%의 차광까지 증가한 것은 차광 정도가 클수록 가용성 탄수화물의 부족으로 건물 축적량이 작아짐으로 상대적인 질소 함량이 증가한 것으로 판단되며, 70%의 차광에서는 전체적인 식물체의 생리적 기능 약화로 인한 질소흡수량의 감소가 그 원인이 되었을 것으로 판단된다.

식물체 내의 질소 함량이 높으면 동화된 탄수화물이 단백질 합성에 소모되어 식물체의 세포벽을 약화시켜 도복과 병해충의 위험을 증가시킬 수 있으며(Li, 2022), 아미노산이나 아미드와 같은 질소 중간 화합물의 축적도 잎을 생리

학적으로 약화시켜 병원체의 감염과 해충 침입에 더 취약하게 된다(Ahmed *et al.*, 2020). 따라서, 일조부족에 의한 식물체 내의 질소함량 증가는 해충과 질병의 위험을 높일 수 있어 주의가 필요하며 특히 착근기간의 유묘는 잎이 연약하여 더 위험성이 클 것으로 판단된다.

착근기 차광처리된 이앙묘의 온도에 따른 생장 특성

최근 지구온난화의 영향으로 벼 착근기의 기온이 상승하고 있다. 따라서, 평년 평균온도(21°C)보다 높은 24°C 와 27°C 에서 벼 착근기의 차광 처리된 이앙묘의 생장 특성을 조사하였는데, 그 결과는 Fig. 7과 같다. 벼 초장의 경우, 모든 차광 처리구에서 온도가 높을수록 초장이 증가하나 그 증가량은 차광 정도가 클수록 감소하는 경향이였다(Fig. 7A). 벼의 유효온도 범위 내에서 최적온도까지는 온도의 증가에 따라 벼의 성장량이 증가하는 것으로 보고되어 있으나(Osada *et al.*, 1973) 광이 심하게 부족한 44% 이상의 차광처리구에서는 온도상승에 따른 초장 신장 정도가 현저하게 감소하였다.

차광처리된 이앙묘에서 온도 조건에 따른 줄기 두께(Fig. 7C)의 변화를 보면, 온도가 높아질수록 줄기 두께는 줄어드는 경향이었고, 높은 온도에 비해 낮은 온도에서 차광 정도에 따른 줄기 두께의 감소가 유의하게 적은 것으로 나타났다. 34% 차광처리구에서 줄기두께는 21°C 와 24°C 간 차이는 없었고 27°C 에서 유의하게 감소하였다. 44% 이상의 차광처리구에서는 24°C 이상의 온도에서 줄기 두께가 유의하게 감소하였다. 각 온도 조건에서 차광율과 지상부 생육 관계를 나타낸 회귀식을 보면 줄기 두께의 경우, 차광율이 10% 증가할수록 줄기 두께 감소는 21, 24°C 에서는 3.0, 3.2mm 감소했지만, 27°C 에서는 3.8mm로 감소 폭이 증가

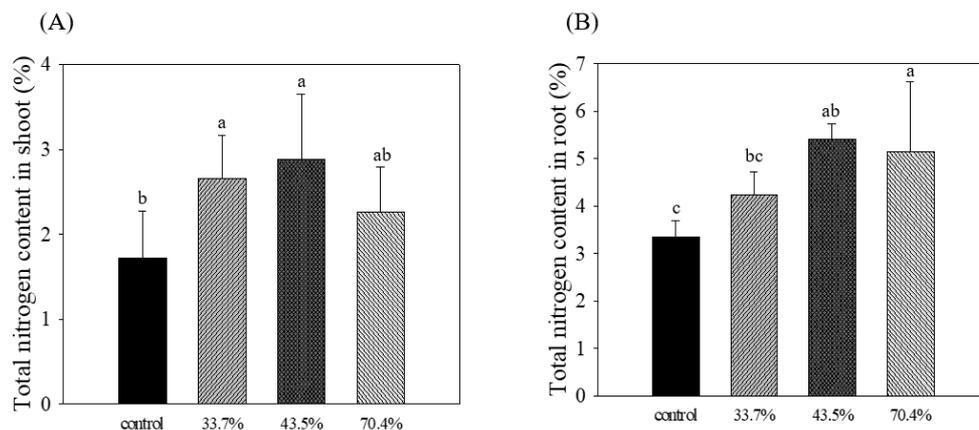


Fig. 6. Nitrogen content (%) per dry weight in shoots and roots under different shading conditions.

※ Different letters indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

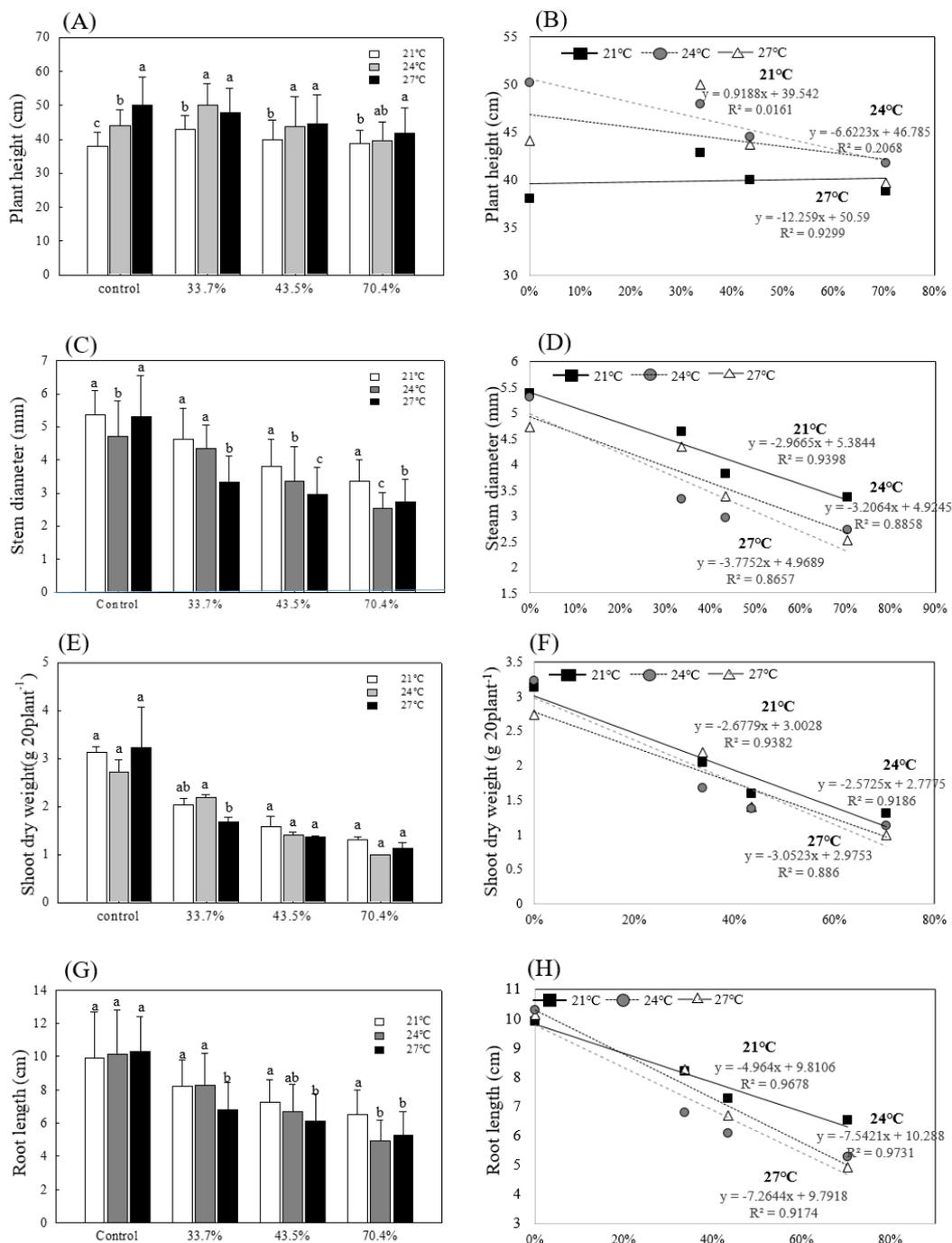


Fig. 7. (A) Plant height, (C) stem diameter, (E) shoot weight, and (G) root length under different shading and temperature conditions. Correlation between (B) plant height, (D) stem diameter, (F) shoot weight, and (H) root length under different shading and temperature conditions.

하였다(Fig. 7D). 지상부 건물중도 비슷한 경향을 보였는데 21, 24°C에서 차광율이 10% 증가할수록 2.7, 2.6g씩 감소했지만, 27°C에서는 3.1g씩 감소하는 경향을 보였다.

생육 온도와 차광에 따른 뿌리의 생육 변화 또한 지상부

와 비슷한 경향을 보였다. 34% 차광율에서는 21, 24°C간 차이가 없었지만, 27°C에서 뿌리 길이가 유의하게 감소했고, 44% 이상의 차광율에서는 온도가 증가할수록 뿌리의 생육이 현저하게 감소하는 경향을 보였다. 각 온도 조건에

서 차광율과 뿌리 생육과의 상관관계를 보면(Fig. 7E, F), 차광율이 10% 증가함에 따라 21°C에서 뿌리 신장이 5.0 cm 줄어드는 경향을 보였고, 24, 27°C의 경우에는 7.5, 7.3 cm 줄어들어 24°C 이상의 온도에서 뿌리의 발육이 크게 저해되었다. 생장기 고온은 뿌리 활동을 감소시키며 광합성 속도를 저하한다고 알려져 있다(Oh-e *et al.*, 2007). 차광과 고온 조건에서 뿌리 생장이 감소되는 것은 기존 연구결과와 같은 경향으로 고온에서 일조 부족에 의한 스트레스가 증가되어 뿌리의 피해가 무차광 조건에 비해 커지는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 보면, 이앙 후 착근기간 중 광부족에 따른 이앙묘의 생육 감소는 온도에 영향을 받는데, 고온에서의 광부족이 이앙묘의 초기 성장을 더욱 감소시키고 있다. 이는 최적 온도까지 온도의 증가에 따라 활발하게 자라기 때문에 생장 속도는 증가하지만, 일조가 부족한 환경에서는 광합성과 양분 흡수가 감소하기 때문에 생장에 필요한 충분한 양분이 공급되지 않아 발생한 결과로 판단된다. 반면 21°C의 상대적으로 낮은 온도에서는 생장 속도가 감소하여 차광에 따른 외부양분공급 감소의 피해가 다소 줄어드는 것으로 보인다.

적 요

벼 이앙 후 착근기 차광과 고온 환경이 이앙묘의 초기 생장에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 착근기 차광 시 이앙묘의 초장은 34%의 차광처리에서 무차광보다 증가하였으나 44% 이상의 차광처리에서는 무차광보다 감소하였고, 줄기 두께와 뿌리 길이는 차광 정도가 클 수록 크게 감소하였다.
2. 착근기 차광 시 지상부 및 지하부 건물중은 감소하였으며 차광율 10% 증가에 따라 각각 5.6%, 7.2% 감소하여, 식물체의 생육량, 건물중, 묘 충실도 또한 차광정도가 클수록 유의하게 감소되었다.
3. 묘 충실도의 감소는 줄기두께 감소에 따른 영향이 큰 것으로 분석되었다.
4. 착근기 차광 시 가용성 탄수화물 부족으로 질소 함량을 증대시켰고, 이로 인해 식물체가 연약해지는 원인이 되었다.
5. 차광처리에 의한 착근기 식물체 성장량 감소는 고온에서 상대적으로 더 크게 나타났으며 이는 고온 시 증가된 생육속도에 적합한 양분공급이 이루어지지 않은 것이 원인으로 분석된다.
6. 결과적으로, 벼 이앙 후 착근기의 일조부족과 고온은 활

작을 지연시키고 유묘의 병해충 및 환경 저항성을 약화시킬 우려가 있으므로, 이에 대비한 착근기 재배관리방법의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(국책기술개발사업, 과제번호 : PJ01678001) 의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Ahmed, M., M. Rauf, M. Akhtar, Z. Mukhtar, and N. A. Saeed. 2020. Hazards of nitrogen fertilizers and ways to reduce nitrate accumulation in crop plants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27 : 17661-17670.
- Ban, H. Y., J. H. Jeong, W. H. Hwang, H. S. Lee, S. Y. Yang, M. G. Choi, and C. K. Lee. 2020. Evaluating cultivation environment and rice productivity under different types of agrivoltaics. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 22(4) : 258-267.
- Choi, M. G., J. H. Jeong, H. S. Lee, S. Y. Yang, C. G. Lee, and W. H. Hwang. 2020. Changes in the growth of young rice seedlings in the root extension stage under different growth conditions. *Korean J. Crop Sci.* 65(3) : 192-198.
- Evans, L. T. and S. K. De Datta. 1979. The relationship between irradiance and grain yield of irrigated rice in the tropics, as influenced by cultivar, nitrogen fertilizer application and month of planting. *Field Crops Res.* 2 : 1-17.
- Hoshikawa, K. 1989. The growing rice plant. An anatomical monograph. Nobunkyo. p. 73-83.
- Kim, M. S., T. J. Park, S. H. Yoon, B. L. Lim, K. H. Shin, O. S. Kwon, and W. S. Lee. 2015. Introduction of Kjeldahl Digestion Method for Nitrogen Stable Isotope Analysis ($\delta^{15}\text{N-NO}_3$ and $\delta^{15}\text{N-NH}_4$) and Case Study for Tracing Nitrogen Source. *Korean Journal of Ecology and Environment* 48(3) : 147-152.
- Lee, S., E. Son, S. Hong, S. Oh, J. Lee, J. Park, J. Woo, and S. C. Lee. 2016. Growth and yield under low solar radiation during the reproductive growth stages of rice plants. *Korean J. Crop Sci.* 61(2) : 87-91.
- Li, Q., C. Fu, C. Liang, X. Ni, X. Zhao, M. Chen, and L. Ou. 2022. Crop lodging and the roles of lignin, cellulose, and hemicellulose in lodging resistance. *Agronomy* 12 : 1795.
- Liu, Q. H., W. U. Xiu, B. C. Chen, and G. A. O. Jie. 2014. Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. *Rice science* 21(5) : 243-251.
- Ma, P., L. Zhou, X. H. Liao, K. Y. Zhang, L. S. Aer, E. L. Yang, J. Deng, and R. P. Zhang. 2023. Effects of low light after

- heading on the yield of direct seeding rice and its physiological response mechanism. *Plants* 12 : 4077.
- Maathuis, F. J. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12(3) : 250-258.
- Oh-e, I., K. Saitoh, and T. Kuroda. 2007. Effects of high temperature on growth, yield and dry-matter production of rice grown in the paddy field. *Plant Prod. Sci.* 10(4) : 412-422.
- Osada, A., H. Takahashi, S. Dhammanuvong, V. Sasiprapa, and S. Gunthararom. 1973. Seasonal changes in growth pattern of tropical rice. I. Environmental factors affecting plant height, tillering and leaf area. *Proc. Crop Sci. Soc. Jpn.* 42 : 343-350.
- Tatsumi, J. and Y. Kono. 1980. Effects of shading on respiration and ammonium uptake of rice roots: comparison of activity in roots from different nodes. *Jpn. J. Crop Sci.* 49(1) : 66-74.
- Wu, L., W. Zhang, Y. Ding, J. Zhang, E. D. Cambula, F. Weng, Z. Liu, C. Ding, S. Tang, L. Chen, S. Wang, and G. Li. 2017. Shading contributes to the reduction of stem mechanical strength by decreasing cell wall synthesis in japonica rice (*Oryza sativa* L.). *Front. Plant Sci.* 8, 262489.
- Yamamoto, Y. and K. Hisano. 1990. Studies on Transplanting Injury in Rice Plant: V. Effects of shoot pruning on the early growth after transplanting. *Jpn. J. Crop Sci.* 59(2) : 312-320.
- Yang, W. H., S. Peng, and L. Dionisio-Sese Maribel. 2007. Morphological and photosynthetic responses of rice to low radiation. *Korean J. Crop Sci.* 52(1) : 1-11.
- Yasuhara, T. and K. Nokihara. 2001. High-throughput analysis of total nitrogen content that replaces the classic Kjeldahl method. *J. Agric. Food. Chem.* 49(10) : 4581-4583.
- Yoshida, T., and Miyamatsu, K. (1968). Translocation and metabolism of photosynthate in paddy rice roots.
- Zhang, F., J. Li, X. L. Wang, W. Mao, H. Zhang, J. Guo, and J. W. Li. 2017. Effect of shading on biomass and N mass partitioning in paddy rice seedlings through allometric analysis. *Cereal Res. Commun.* 45(2) : 346-354.