

분얼기 수분 스트레스가 벼 생육 특성 및 엽록소 형광 반응에 미치는 영향

한채민^{1,†} · 신종희¹ · 권중배² · 원종건² · 김상국³

Effects of Water-deficit Stress on Yield and Chlorophyll Fluorescence in Rice during the Early Tillering Stage

Chae-Min Han^{1,†}, Jong-Hee Shin¹, Jung-Bae Kwon², Jong-Gun Won², and Sang-Kuk Kim³

ABSTRACT This study aimed to evaluate the growth, yield, and grain quality characteristics of rice varieties that were subjected to water stress during the tillering stage. We also sought to identify whether water stress could be indicated via the plants' response to chlorophyll fluorescence. In this study, we induced water stress by intentionally cutting off water for 30 days, starting 15 days after transplanting the rice varieties to a greenhouse. We analyzed nine rice varieties, including Ilpum, which is the most frequently cultivated variety in Gyeongsangbuk-do, South Korea. The control group was planted in a paddy field where irrigation was entirely dependent on rainfall. Our results revealed that the heading stage of the nine studied varieties occurred approximately ten days earlier in the rain shelter than in the field. Moreover, the rice yield, head rice rate, and palatability score decreased by 18.6%, 17.1%, and 8.3%, respectively, while protein content increased by 20.2% compared with the control group. The Saenuri and Haimi varieties showed the lowest reduction in yield under the water stress conditions, while the Daebo and Samkwang varieties showed the highest reduction in yield. The chlorophyll fluorescence response after re-irrigation was measured between July 30th and August 17th. The ratio of variable fluorescence to maximum chlorophyll fluorescence (F_v/F_M) values failed to recover to their baseline values, resulting in either no change or a reduction in fluorescent response, even after re-irrigation of Daebo and Samkwang varieties. These results can be utilized as empirical data for drought-affected farms to select resistant varieties that can respond to spring drought in the southern plains of Gyeongsangbuk-do.

Keywords : chlorophyll fluorescence, drought, rice, water stress

최근 기후변화에 따른 홍수, 가뭄 등의 기상이변으로 농작물의 피해가 해마다 증가하고 있다. 주곡 생산량의 90% 이상을 차지하는 벼는 기온과 강수량, 일조시간 등의 기상조건에 민감하게 반응하며, 각 생육단계별로 정상적으로 생육할 수 있는 적산온도를 가지고 있기 때문에 기후변화로 인한 기상상태의 변화는 벼의 수량과 미질에 크게 영향을 미칠 수 있다(Lee & Lee, 2008). 실제 우리나라는 평상적인 기상여건 하에서 6월부터 9월 사이에 연강수량의 60%의 집중적인 강우량을 나타내므로 봄과 성숙기에 해당되는 가을

에는 반 건조의 기상상태를 보인다. 벼를 주식으로 하고 있는 우리나라의 경우 모내기를 시작하고 마치고 되는 5-6월에 농업용수 수요가 집중되어 봄철 강수량이 부족할 경우 농업용 저수지의 저수율이 급격하게 저하되면서 가뭄이 발생하게 된다(Kang, 2015). 벼농사와 관련하여 발생하는 가뭄은 이앙지연형과 생육장해형 가뭄으로 구분된다(Bouman & Tuong, 2001). 이앙지연형 가뭄으로 이앙이 늦어 육묘기간이 연장되면 모는 노화하고 심할 경우에는 아랫잎이 말라 죽고 절간신장이 되면서 불시출수의 원인이 된다. 생육장해

¹경북농업기술원 작물연구과 농업연구사 (Agricultural scientist, Division of Crops Research, Gyeongsangbuk-do Provincial Agricultural Research & Extension Services, Daegu 41404, Korea)

²경북농업기술원 작물연구과 농업연구관 (Agricultural senior scientist, Division of Crops Research, Gyeongsangbuk-do Provincial Agricultural Research & Extension Services, Daegu 41404, Korea)

³구미화훼연구소 농업연구관 (Agricultural senior scientist, Gumi Floriculture Research Institute, Gumi 39102, Korea)

[†]Corresponding author: Chae-Min Han; (Phone) +82-53-320-0276; (E-mail) tastypeach86@korea.kr

<Received 24 February, 2022; Revised 22 March, 2022; Accepted 5 May, 2022>

형 가뭄은 생육 단계에 따라 다르게 가뭄의 영향을 받는 것으로 알려져 있는데 생육장해형 가뭄이 분얼기에 발생하면 벼 초장의 신장을 저해하고 분얼의 지연과 역제로 이삭수가 적어지며, 출수를 지연시켜 수량을 감소시킨다(Bouman & Tuong, 2001).

엽록소 형광분석법은 일반적으로 식물의 건전생장 및 모니터링에 비파괴적 분석으로 오랫동안 연구되어 왔으며 특히, 건조 스트레스 조건에서 식물의 엽록소 형광 반응 분석을 통한 광생리 지표 및 스트레스 조기 진단 연구가 활발히 진행되어 왔다(Björkman & Demmig, 1987; Burke, 2007; Calatayud *et al.*, 2006; Ham *et al.*, 2018; Jee, 1995; Strasser, 1985). 일반적으로 건조스트레스 경과에 따라 광계II 전자전달 지체 및 비광화학적 소광이 각 전이단계에서 광화학 기구의 활성 저해로 이어지고(Falqueto *et al.*, 2017) 이로 인해 수량 감소 등의 피해가 발생한다고 하였다(Lichtenthaler *et al.*, 2005; Oukarroum *et al.*, 2007; Yoo *et al.*, 2013).

농사가 시작되는 봄, 특히 6월의 강우량이 부족하여 모내기 후 물 부족에 의하여 생육이 장애를 받는 경우에 벼가 가뭄에 의해서 피해 받는 양상과 그에 따른 벼 생육특성 및 수량변이를 세밀하게 분석하여 대응하여야 한다. 하지만 최근 육성된 벼 품종에 대한 재배환경에서 봄 가뭄의 영향에 대한 정보는 아직 충분치 못한 실정이다. 따라서 본 과제는 봄에 가뭄이 계속되어 토양 수분 함량이 낮아지고 잎이 말리는 현상에 따른 수량과 미질 변화를 통해 벼 생육에 미치는 영향을 구명하고 엽록소 형광분석으로 벼 생육초기 물 부족에 따른 수분 스트레스의 조기 탐지 가능성을 파악하여 봄 가뭄에 대한 벼 재배 안정성을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

재배 방법 및 수분 스트레스 처리

본 연구는 분얼기 수분 스트레스에 따른 벼 품종별 생육 및 품질 특성을 비교검토하기 위해 2017~2018까지 남부 평야지인 대구지역 경상북도농업기술원 시험포장에서 수행되었다. 실험구는 5월 25일 이앙 후 15일부터 45일까지 30일간 비가림하우스에서 농업용수를 배수 후 단수처리하여 인위적으로 수분 스트레스를 유도하였으며 대조구는 농촌진흥청 벼 표준재배법에 준하여(Lee *et al.*, 2012) 본답에서 수행하였다. 시험품종은 일품, 새누리, 영호진미, 대보, 삼광, 하이아미, 현품, 백옥찰, 신동진등 9품종을 대상으로 30일 묘를 재식거리 30×15 cm로 4월 25일 파종, 5월 25일에 손이앙하였고 농촌진흥청 표준시비법으로 10a당 N 9 kg,

P₂O₅ 4.5kg, K₂O 5.7 kg을 시비하였다.

토양 수분 함량 측정

토양 수분 측정은 건토중량법으로 6월 7일 단수 후 6일 후부터 수분 스트레스 유도기간 30일 동안 5일 간격으로 측정하였으며 토심 0~15 cm 깊이에서 시료채취 후 WT1000N (Mirae Sensor Inc., Seoul, Republic of Korea)을 이용하여 토양 수분 함량을 측정하였다.

벼 생육 특성 및 수량 조사

출수기, 간장, 수수, 수당립수, 등숙률, 정현비율, 현미천립중 및 백미수량은 농촌진흥청 연구조사분석기준(2012년)에 따라 조사하였다. 출수 후 25일경에 간장, 수장 및 수수를 조사하였으며 출수 후 60일에 각 품종을 수확한 후 수분 함량을 15%로 조절하여 현미기(SYTH-88, 쌍용)와 백미기(Satake, THV, Yamamoto, Japan)를 이용하여 제현 후 10분도로 도정하여 시료로 사용하였다.

벼 외관품질 및 미질분석

쌀의 외관상 품질은 근적외선분석기(AN-700, Kett, Japan)를 이용하여 완전미율, 분상질미, 찌라기 등을 조사하였고 미질분석은 쌀 시료 200 g을 근적외선 분석기인 곡물 분석기(FOSS Infratec 1241, Australia)를 통해 단백질, 수분, 아밀로즈 함량을 측정하였다. 기계적 식미치는 토요 미도메터(ToYo, MB-90A, MA-90B, Japan)를 사용하여 측정하였다. 백미 시료 33 g을 취반용 셀에 넣은 다음, 항온수조(MB-90A)의 물이 80°C가 되었을 때 셀을 항온수조에 넣고 10분간 취반하고 상온에서 5분간 뜸들이기를 한 후 꺼내 식미 측정장치(MA-90B)에 넣어 취반 중 쌀알 내부에서 나온 용출물이 밥알표면에 보수막을 형성하고 이 보수막의 양을 측정함으로써 그 값을 비교하였다.

광합성 엽록소 형광 측정

식물에서 엽록소 형광반응 매개변수중 하나인 F_v/F_m는 엽록체내 광계II의 효율을 직접적으로 나타내는 지표로써 식물 스트레스가 광계II에 미치는 영향을 분석할 때 가장 널리 이용되는 측정 값(Baker & Oxborough, 2004; Seo *et al.*, 2017)으로 Fluorepen FP-100 (PSI, Czech)을 이용하여 측정하였다. 지엽의 중간 부분에 leaf clip로 집어넣고 30분간 암처리를 한 후 F_o, F_m, F_v/F_m를 측정하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복하여 결과 값을 평균값으로 나

타냈으며, 각 실험의 통계처리는 R 통계프로그램(Version 3.2.2)을 사용하여 분산분석(ANOVA) 후, $P < 0.05$ 유의수준에서 최소유의차검정(Least Significant Difference test, LSD)을 통해 상호 평균간 비교를 실시하였고, 상관관계는 Pearson의 상관계수로 나타내었다.

결과 및 고찰

재배지역 벼 생육 기상 현황

벼 생육기간 중 시험지역의 평균기온의 변화는 6월 상순은 2개년 모두 21.5~24.0°C로서 이앙 직후 활착 최적온도 범위였으며, 분얼기는 2017년에 23.4~28.9°C범위로 분얼 발생의 최적온도이였지만, 2018년은 6월 중순과 7월 초순에 20.9~22.6°C범위로 분얼 발생을 지연하는 온도였다(Fig. 1A and 1B). 출수기에 해당하는 7월 하순부터 8월 중순까지 기간 동안 2018년은 2017년보다 상대적으로 3°C가량 높았으며, 특히 2018년 7월 중하순의 평균 31.1°C는 조생종 임실장해에 큰 영향을 주었다. 성숙기 기온은 2017년도에는 20.3~22.5°C로 안정된 등숙을 보였으나 2018년도 9월 하순에는 18°C로 등숙에 크게 지장을 주는 온도였다.

강우량은 2017년 7월 하순에 76 mm으로 특히 적었고 2018년도 7월 초중순, 8월 하순에 91.3~240.6 mm으로 강우량이 많았는데(Fig. 1C) 이로 인해 2017~2018년 7월 초순에는 특히 일조시수가 낮았다(Fig. 1D). 2018년 7월 중순부터 8월 초순까지 높은 평균기온에 따라 일조시수가 91.9~99.2 hr으로 높았는데 특히 2018년은 벼 생육 초기에 높은 고온에 의한 임실장해와 등숙기에 한계온도 18°C를 웃도는 기상으로 벼 생육에 불리한 기상을 나타내었다.

비가림하우스 내 토양 수분 함량 변화

토양 수분 측정은 비가림하우스내 시험구에서 토심 0~15 cm에서 미사질양토의 신흥통 시료를 채취하여 건토중량법으로 수행하였다. 수분공급중단 6일 후 수분이 22.4%에서 13.3%로 급격히 떨어져 약한 한발 스트레스 수준에 도달되었으며 이후에 수분공급중단이 진행됨에 따라 토양수분이 점점 떨어져 수분공급중단 16일이후에는 6~7%까지 떨어져 극심한 한발 스트레스 수준에 도달하였다. 수분 스트레스 유도기간 30일 동안 토양 수분 변화는 약 15%차이를 보였다(Fig. 2).

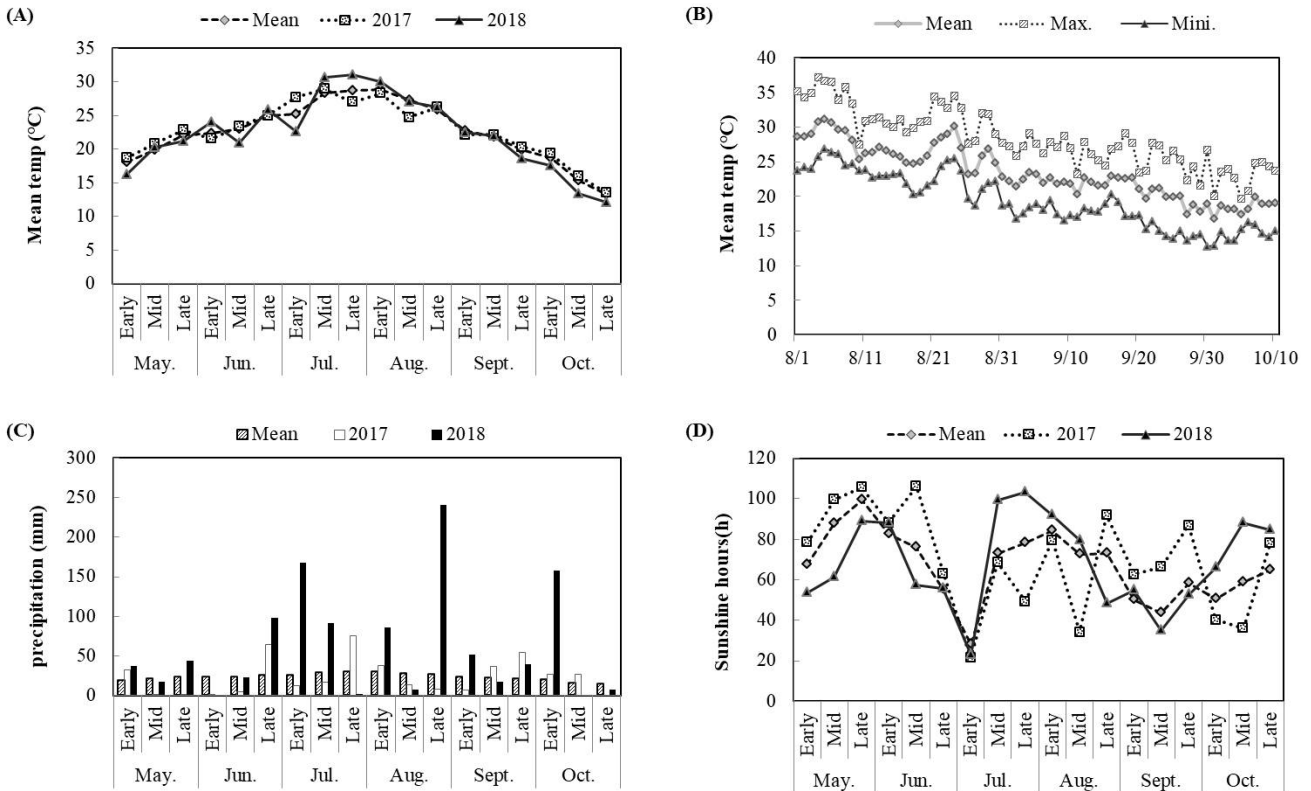


Fig. 1. (A and B) Variation in the mean daily temperature, (C) precipitation, and (D) sunshine hours after transplantation during the growth period in 2017–2018.

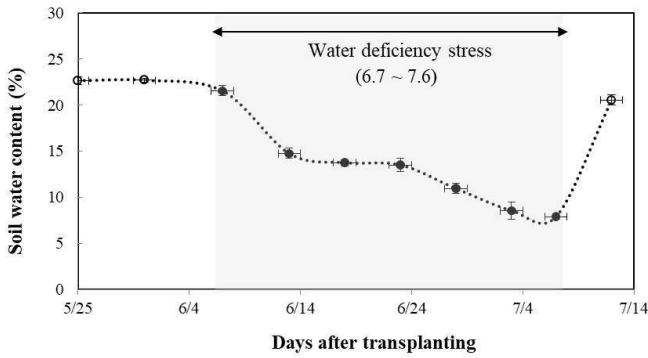


Fig. 2. Variation patterns of soil moisture content via water deficiency testing for 30 days.

수분 스트레스 처리에 따른 벼 수량 및 수량구성요소

비가림하우스내 일품등 9품종의 수분 스트레스 처리에 따른 수량구성요소 및 수량은 다음 표와 같다(Table 1). 전체 적으로 모든 품종에서 대조구에 비하여 실험구에서 수분부 족으로 인한 스트레스로 출수가 약 10일 앞당겨지고 이삭

당 영화수가 9%, 등숙률이 7%, 정현비율이 1.2% 낮아졌으며 현미천립중도 6%이상 감소를 보였다. 쌀수량은 18.6%의 차이를 보였다(Table 1). 품종별로 나누어 보면 영화수 변화가 가장 낮은 새누리가 수량이 12% 감소하여 9품종중 가장 내건성을 보였으며 다음 하이아미와 영호진미 순으로 수량이 각각 13%, 15% 감소하여 내건성을 보였다. 내건성에 가장 취약한 품종으로는 대보, 삼광, 신동진 순으로 가장 취약했는데 대보는 천립중과 등숙률에서는 변화가 거의 없었으나 영화수가 24% 감소하여 이로 인해 쌀 수량이 약 26% 가까이 감소하였다. 대보는 중생종이나 본 연구에서 출수가 대조구는 8월 5일, 실험구에서는 7월 28일에 출수하여 조생 경향을 나타냈는데 수분 스트레스로 인한 비정상적 영양생장기로 충분한 영화수 확보에 지장이 있었던 것으로 판단된다. 일찍 출수하는 조생종은 초기 가뭄피해를 받을 경우 생식생장기까지 최대 분얼기 일수가 짧으므로 수 수를 회복할 기간이 짧아 피해를 더 크게 받는다고 하였다 (Lee *et al.*, 2017). 본 연구에서는 30일간 수분공급 중단 이

Table 1. Comparison of yield components and rice yields for the nine rice varieties based on water stress.

Variety	Treatment	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicles (hill)	No. of spikelets (panicle)	Ripening rate (%)	Ratio of brown/rough rice (%)	1000-grain weight (g)	Rice yield (kg/10a)
Ilpum	WS	8. 5	67 ^{ns}	21 ^{ns}	16 ^{ns}	84 ^b	78.1 ^b	81.4 ^{ns}	21.9 ^{ns}	509 ^b
	WI	8.15	72	21	16	97 ^a	86.3 ^a	82.9	22.9	635 ^a
Saenuri	WS	8. 9	79 ^{ns}	24 ^{ns}	15 ^{ns}	93 ^b	80.1 ^{ns}	82.4 ^{ns}	22.7 ^b	547 ^b
	WI	8.21	80	23	15	94 ^a	86.2	82.9	24.5 ^a	622 ^a
Younghojinmi	WS	8.17	73 ^{ns}	19 ^{ns}	17 ^{ns}	75 ^{ns}	79.7 ^{ns}	83.1 ^{ns}	21.7 ^b	493 ^b
	WI	8.23	72	19	16	77	86.2	83.2	23.2 ^a	579 ^a
Daebo	WS	7.28	58 ^{ns}	21 ^{ns}	16 ^{ns}	76 ^b	81.0 ^{ns}	81.3 ^b	22.2 ^{ns}	461 ^b
	WI	8. 5	65	21	15	100 ^a	83.9	82.9 ^a	22.5	621 ^a
Samkwang	WS	8. 6	79 ^{ns}	19 ^{ns}	16 ^{ns}	88 ^b	76.7 ^{ns}	81.2 ^b	20.3 ^b	508 ^b
	WI	8.12	78	19	16	98 ^a	87.7	84.1 ^a	22.2 ^a	666 ^a
Haiami	WS	8. 6	74 ^{ns}	20 ^{ns}	16 ^{ns}	93 ^{ns}	79.9 ^{ns}	81.6 ^{ns}	21.5 ^{ns}	484 ^b
	WI	8.11	73	21	15	95	85.6	82.1	23.0	559 ^a
Hyeonpum	WS	8.14	64 ^{ns}	20 ^{ns}	16 ^{ns}	86 ^b	85.1 ^{ns}	83.8 ^{ns}	23.1 ^b	505 ^b
	WI	8.22	65	19	17	95 ^a	89.0	84.1	24.9 ^a	611 ^a
Baekogchal	WS	8.20	87 ^{ns}	20 ^{ns}	16 ^{ns}	81 ^b	91.2 ^{ns}	81.5 ^{ns}	21.7 ^b	465 ^b
	WI	8.21	83	21	15	94 ^a	94.3	81.5	22.7 ^a	572 ^a
Sindongjin	WS	8. 3	76 ^{ns}	22 ^{ns}	14 ^{ns}	92 ^{ns}	74.2 ^b	81.9 ^{ns}	24.7 ^b	506 ^b
	WI	8.13	78	22	14	98	81.8 ^a	83.3	26.8 ^a	644 ^a

Different letters in the same column indicate significant differences among the samples according to the least significant difference test ($P < 0.05$). WI, water irrigation; WS, water stress. ns represents 'no statistically significant difference'.

후 다시 관개를 하였으나 일찍 출수한 대보는 관개시점이 영화수 확보 시기 이후였기 때문이라 판단된다. 삼광은 등숙률, 천립중에서 8%~12% 고르게 감소하여 수량이 24% 감소하였는데 공시품종에서 등숙률과 천립중의 변화가 가장 컸던 품종이었다. 신동진은 등숙률과 천립중에서 8~9%

의 감소로 수량이 21% 감소하였다. 이 결과를 바탕으로 분답 관행처리 대비 분얼 초기 수분 스트레스 조건에서 총 쌀 수량감소율이 낮은 순위별로 다음 표와 같이 나타냈다(Fig. 3). 상위권 3품종은 새누리, 하이아미, 영호진미로 하위권 3 품종은 대보, 삼광, 신동진으로 나타났다.

수분 스트레스에 따른 벼 수량감소 요인 분석

9품종을 대상으로 전체적인 쌀 수량 감소에 영향을 미친 요인을 분석하기 위하여 쌀 수량감소와 수량구성요소간의 상관관계를 분석하였다(Fig. 4). 수량구성요소인 영화수 및 천립중과 수량의 상관관계에서 각각 $r=0.93$, $r=-0.76$ 을 보여 높은 상관성을 보였다. 그러나 수수 및 등숙률과는 유의적인 상관성을 나타내지 않았다. 이러한 결과로 볼 때 이삭당 영화수가 늘어남에 따라 천립중이 감소하였고 이로 인해 수량이 감소하였다고 판단된다. 영화수는 2차지경 분화기에 강하게 영향을 받으며 영화수는 감수분열기에 퇴화하기 쉽고 출수 5일전, 감수분열 종기가 지나면 더 이상 퇴화하지 않고 영화수가 결정된다(Lee & Oh, 1996). 실험구에서 수분공급중단 이후 다시 관개한 시기는 영화수가 가장 강하게 영향을 받는 2차 지경 분화기이므로 쌀 감소에 가장 크게 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다. 영화수와 높은 부의

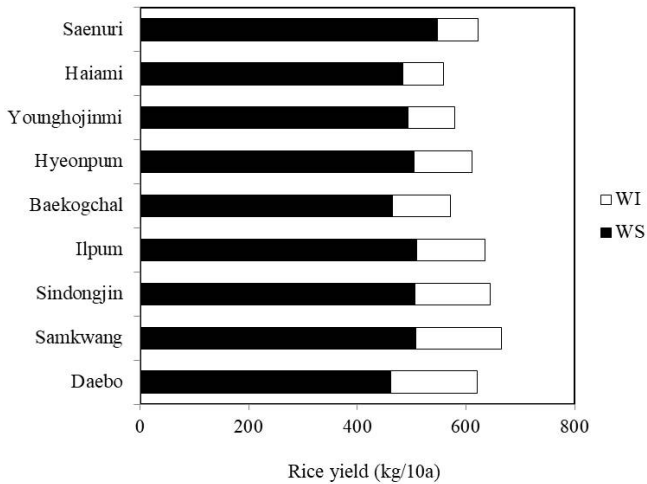


Fig. 3. Ranking the nine rice varieties by yield loss based on water stress. WI, water irrigation; WS, water stress.

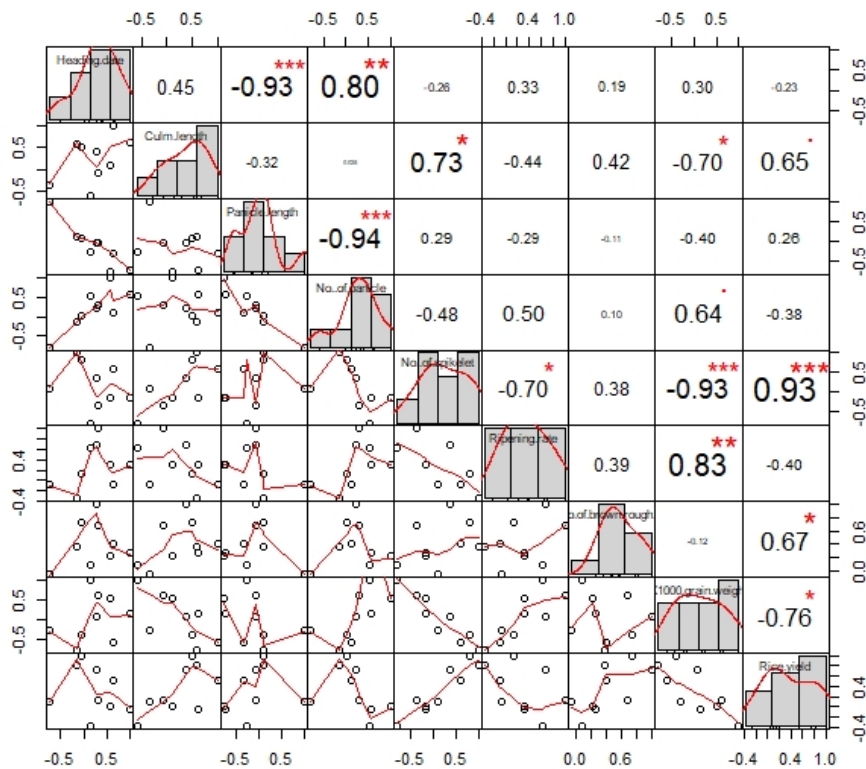


Fig. 4. Correlation between yield and yield component reduction rate based on water stress.

상관관계인($r=-0.93$) 친립종은 수량감소와도 높은 부의 상관성을 보여($r=-0.76$) 영화수 다음으로 최종 쌀 감소량에 영향을 주었다.

수분 스트레스 처리에 따른 벼 품종별 외관품위 및 식미치

다음은 수분 스트레스 처리에 따른 품종별 외관품위 및 식미치 변화를 나타낸 결과이다(Table 2). 모든 품종에서 관행 대비 수분 스트레스 처리구에서 완전립 17.1% 감소, 단백질 함량 20.2% 증가, 아밀로스 함량 9.3% 감소하였다. 모든 품종에서 평균 7%이상의 등숙률의 차이는 쌀의 영양분구성에 변화를 일으켜 전분의 비율을 낮추어 단백질 함량이 높아지는 결과를 초래하였고 이로 인해 단백질 함량과 부상관에 있는 식미치가 8.3% 감소하였다. 품종별로 보면 관행 대비 실험구에서 백옥찰이 단백질함량과 식미치 변화가 가장 적었고 그 다음으로 현품이 가장 변화가 적었다. 단백질 함량이 가장 많이 증가한 품종은 대보였는데 특히 완전미율이 35%나 감소하였고 식미치 변화도 가장 높아 9품종 가운데 쌀 수량감소뿐만 아니라 미질저하가 가장

큰 품종으로 선정되었다. 다음으로 일품이 단백질 함량과 식미치의 변화가 가장 높았으며 수량지수 순위는 여섯번째로 내건성이 다소 약한 품종으로 선정되었다(Table 1 and 2).

관개 후 엽록소 광화학 반응 측정

엽록소 형광 변이는 식물 내성 평가를 위한 중요한 지표로 사용될 수 있다. 특히 식물의 건전성 평가 지표로 주로 암상태에 식물체를 방치한 다음 빛을 조사하여 광계II 광화학반응에서의 최대 양자수득율을 나타내는 변수로 변동형 광값/최대형광값 비(F_V/F_M Ratio)를 활용하고 있다. 관개 일주일 후 7월 13일부터 8월 17일까지 약 10일 간격으로 엽록소 형광 반응에 대한 F_M/F_0 및 F_V/F_M 측정결과, 본답 관행 대조구에서는 9개 품종 모두 형광반응에 대한 F_M/F_0 및 F_V/F_M 값이 점차 증가를 하였으나 하우스 내 실험구에서는 모든 품종에서 관개시점 30일 이후에는 반응이 소폭 감소 후 다시 증가하는데, 대보와 삼광에서는 다시 증가하지 않고 F_M/F_0 및 F_V/F_M 값이 계속 감소하거나 변화가 없었다(Fig. 5). 다른 품종들과 달리 대보와 삼광은 수분 부족 스트레스

Table 2. Comparison of appearance and grain quality for the nine rice varieties based on water stress.

Variety	Treatment	Protein (%)	Amylose (%)	Head grain ratio (%)	Incomplete grain (%)			Whiteness	Toyo
					Milky grain (%)	Broken rice (%)	Damaged grain (%)		
Ilpum	WS	7.5 ^a	17.4 ^{ns}	77 ^{ns}	13.3 ^{ns}	8.0 ^{ns}	1.7 ^{ns}	35 ^{ns}	70 ^b
	WI	6.1 ^b	19.4	90	3.1	6.2	0.5 ^{ns}	38	79 ^a
Saenuri	WS	6.6 ^a	20.1 ^{ns}	83 ^{ns}	10.7 ^{ns}	5.1 ^{ns}	1.2 ^a	37 ^{ns}	77 ^b
	WI	5.7 ^b	20.4	91	3.8	5.5	0.2 ^b	42	83 ^a
Younghojinmi	WS	6.7 ^a	19.6 ^{ns}	86 ^{ns}	4.9 ^{ns}	9.4 ^{ns}	0.6 ^{ns}	41 ^{ns}	78 ^b
	WI	5.6 ^b	21.2	92	1.6	6.1	0.4	43	84 ^a
Daebo	WS	7.7 ^a	14.8 ^b	57 ^b	23.1 ^a	14.6 ^a	4.8 ^a	27 ^b	66 ^b
	WI	6.0 ^b	18.3 ^a	88 ^a	5.2 ^b	6.5 ^b	0.4 ^b	39 ^a	76 ^a
Samkwang	WS	6.7 ^a	15.9 ^b	72 ^b	12.2 ^a	9.8 ^a	3.6 ^{ns}	23 ^b	70 ^b
	WI	5.6 ^b	18.8 ^a	93 ^a	3.7 ^b	3.3 ^b	0.5	37 ^a	77 ^a
Haiami	WS	7.4 ^a	17.4 ^b	75 ^b	13.3 ^{ns}	7.7 ^a	2.7 ^a	29 ^b	70 ^b
	WI	6.2 ^b	19.2 ^a	94 ^a	2.5	3.6 ^b	0.6 ^b	37 ^a	77 ^a
Hyeonpum	WS	6.8 ^a	19.2 ^{ns}	83 ^{ns}	4.7 ^{ns}	11.9 ^{ns}	0.3 ^{ns}	39 ^{ns}	69 ^b
	WI	5.8 ^b	20.0	87	2.8	9.9	0.3	43	74 ^a
Baekogchal	WS	7.2 ^a	8.1 ^{ns}	-	99.7 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-	69 ^b
	WI	6.3 ^b	8.4	-	99.7	0.0	0.1	-	72 ^a
Shindongjin	WS	7.2 ^a	16.6 ^b	63 ^b	16.8 ^a	17.2 ^{ns}	3.1 ^a	28 ^b	69 ^b
	WI	5.8 ^b	19.1 ^a	83 ^a	6.0 ^b	10.4	0.5 ^b	39 ^a	74 ^a

Different letters in the same column indicate significant differences among the samples according to the least significant difference test ($P < 0.05$). WI, water irrigation; WS, water stress. ns represents 'no statistically significant difference'.

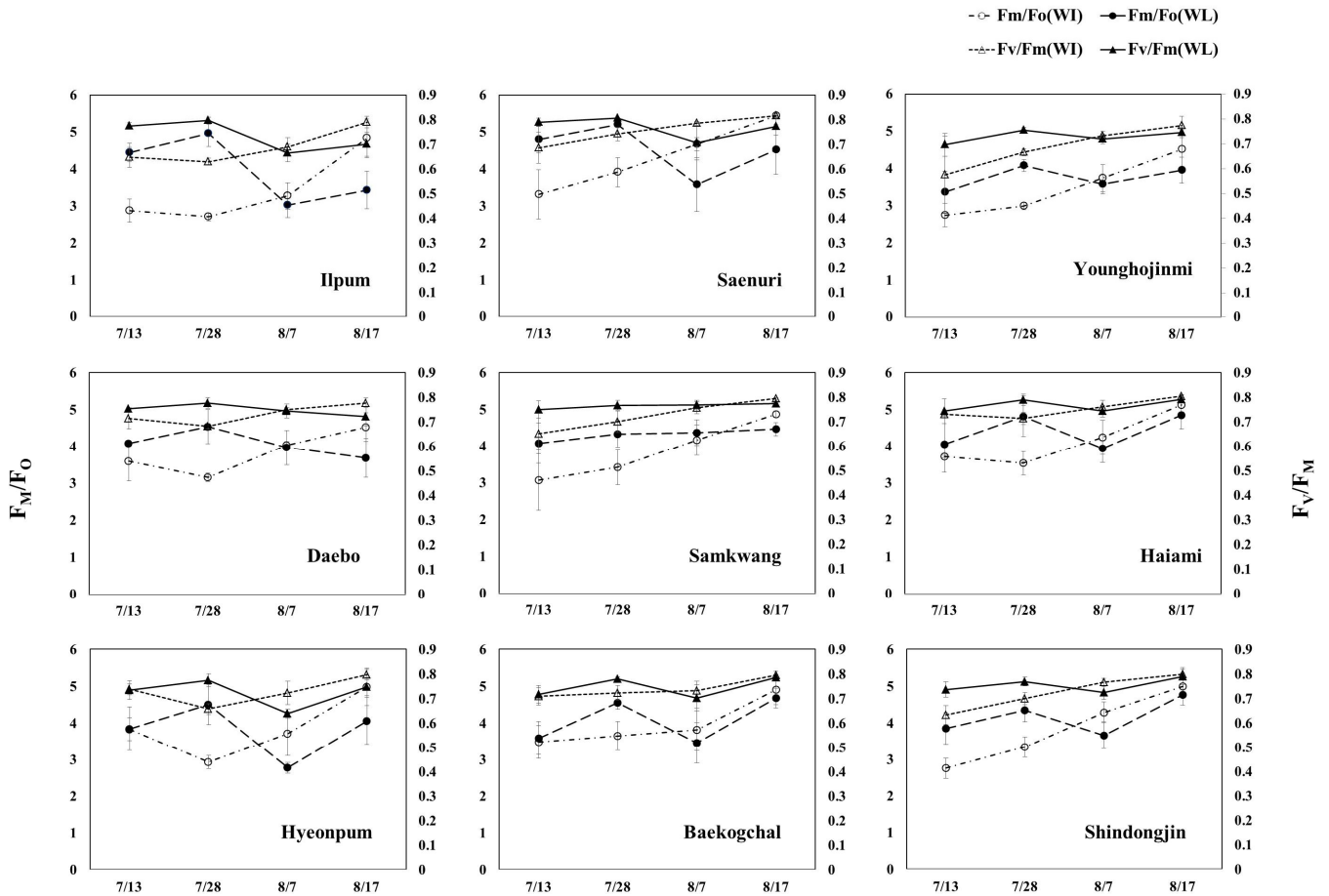


Fig. 5. Changes in chlorophyll fluorescence values (F_M/F_O and F_V/F_M) of the nine rice varieties based on water stress. WI, water irrigation; WS, water stress.

가 광합성 활성에도 영향을 끼친 것으로 해석된다. 일반적으로 다양한 스트레스 조건에서 식물에의 F_V/F_M 값이 하락한다는 연구결과가 보고된 바 있다(Fritsche-Neto & Borém, 2015; Kitajima & Butler, 1975; Maxwell & Johnson, 2000). 대보와 삼광은 수량감소 및 미질 분석을 고려한 내건성에 가장 취약한 품종들로 삼광의 F_M/F_O 및 F_V/F_M 값이 변함없었고 대보의 F_M/F_O 및 F_V/F_M 값이 낮아졌다. 이는 건조 스트레스 조건에서 엽록소 함량 감소로 인한 광계II 활성이 떨어져 NADP-NADPH 및 ATP합성 감소등 전자전달 지체로 수량 감소등의 피해로 이어지는 데 관여했다고 보여진다. F_V/F_M 과 같은 엽록소 형광 반응에 대한 매개변수 증거가 분얼기 수분 스트레스 처리에 의한 봄 가뭄 조건하에서 광생리학적 지표의 가능성을 암시한다는 것이 밝혀졌다.

적 요

일품등 9품종을 대상으로 경북 남부 평야지역 봄 가뭄 대

응 벼 품종별 재배안정성을 평가하기 위해 분얼초기 인위적으로 수분 부족 스트레스를 유도한 결과는 다음과 같다.

1. 일품등 9품종 대상으로 수분 부족 스트레스에 따른 결과는 평균적으로 관행대비 출수기는 약10일 빠르고 쌀수량은 약 18.6% 감소, 단백질 함량은 20.2% 증가, 식미치는 8.3% 감소하였다.
2. 본 연구에서 수량에 가장 영향을 미치는 인자는 2차 지경 분화기에 가장 영향을 받는 영화수와 천립중으로 나타났다.
3. 잎마름이 50%에 도달할때까지 소요일수가 가장 긴 품종은 새누리, 가장 짧은 품종은 대보였다.
4. 재관개 후에도 대보와 삼광은 수량감소가 가장 컸을뿐 아니라 F_V/F_M 관행 초기값으로 회복하지 못하여 가뭄의 광생리학적 지표의 가능성을 확인하였다.

따라서 경북 남부 평야지역에서는 봄 가뭄 대응 내건성

벼 품종은 새누리와 하이아미가 가장 적합하고 내건성이 약한 품종들은 재관개 후에도 광합성 효율이 낮아 수량감소로 이어져 이러한 결과에 따라 관행대비 쌀 수량감소율과 단백질 함량이 낮고 식미치가 높은 품종으로 새누리, 하이아미가 내건성 적합품종으로 선발되었다.

인용문헌(REFERENCES)

- Baker, N. R. and K. Oxborough. 2004. Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic productivity. *Chlorophyll a Fluorescence* 65-82.
- Björkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170(4) : 489-504.
- Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management* 49(1) : 11-30.
- Burke, J. J. 2007. Evaluation of source leaf responses to water-deficit stresses in cotton using a novel stress bioassay. *Plant Physiology* 143(1) : 108-21.
- Calatayud, A., D. Roca, and P. F. Martínez. 2006. Spatial-temporal variations in rose leaves under water stress conditions studied by chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology and Biochemistry* 44(10) : 564-73.
- Falqueto, A. R., R. A. da Silva Júnior, M. T. G. Gomes, J. P. R. Martins, D. M. Silva, and F. L. Partelli. 2017. Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Scientia Horticulturae* 224 : 238-243.
- Fritsche-Neto, R. and A. Borém. 2015. *Phenomics: How Next-Generation Phenotyping is Revolutionizing Plant Breeding*. Springer.
- Ham, H. D., T. S. Kim, M. H. Lee, K. B. Park, J. H. An, D. H. Kang, and T. W. Kim. 2018. The assessment of photochemical index of nursery seedlings of cucumber and tomato under drought stress. *Environmental Biology Research* 36(4) : 479-487.
- Jee, G. 1995. Sixty-three years since Kautsky: Chlorophyll fluorescence. *Australian Journal of Plant Physiology* 22 : 131-160.
- Kang, B. M. 2015. The occurrence of Agricultural drought and overcoming temptation. *Journal of Disaster Prevention* 17(4) : 47-57.
- Kitajima, M. B. W. L. and W. L. Butler. 1975. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics* 376(1) : 105-115.
- Lee, H. S., W. H. Hwang, J. H. Jeong, S. H. Ahn, J. S. Baek, H. Y. Jeong, H. K. Park, B. I. Ku, J. T. Yun, G. W. Lee, and K. J. Choi. 2017. Change in yield and quality characteristics of rice by flooding during the ripening stage. *Korean Journal of Crop Science* 62(2) : 87-95.
- Lee, J. H. and Y. J. Oh. 1996. *The science of edible crops*. Korea national open university press.
- Lee, J. H., J. H. Choi, S. Y. Kim, J. Y. Lee, C. S. Kim, U. S. Yeo, Y. C. Song, Y. B. Sohn, M. K. Oh, and H. W. Kang. 2012. Correlation analysis between head rice ratio and agronomic traits in RILs for developing a promising rice cultivar adaptable to the early-transplanting cultivation. *Korean Journal of Crop Science* 57(1) : 1-6.
- Lee, Y. S. and S. H. Lee. 2008. The impacts of climate change on rice yield. *Journal of the Korean Association of Professional Geographers* 42(3) : 405-16.
- Lichtenthaler, H. K., G. Langsdorf, S. Lenk, and C. Buschmann. 2005. Chlorophyll fluorescence imaging of photosynthetic activity with the flash-lamp fluorescence imaging system. *Photosynthetica* 43(3) : 355-69.
- Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll Fluorescence —A Practical Guide. *Journal of Experimental Botany* 51(345) : 659-68.
- Oukarroum, A., S. El Madidi, G. Schansker, and R. J. Strasser. 2007. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Environmental and Experimental Botany* 60(3) : 438-46.
- Seo, C. W., S. M. Lee, S. M. Kang, Y. G. Park, A. Y. Kim, H. J. Park, and Y. H. Kim. 2017. Selection of suitable plant growth regulators for augmenting resistance to waterlogging stress in soybean plants (*Glycine Max* L.). *Korean Journal of Crop Science* 62(4) : 325-32.
- Strasser, R. J. 1985. Dissipative Strukturen als Thermodynamischer Regelkreis des Photosyntheseapparates. *Berichte Der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 98(1) : 53-72.
- Yoo, S. Y., Y. H. Lee, S. H. Park, K. M. Choi, J. Y. Park, A. R. Kim, S. M. Hwang, M. J. Lee, T. S. Ko, and T. W. Kim. 2013. Photochemical response analysis on drought stress for red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 46(6) : 659-64.