

기온에 따른 벼 출수기 생육 반응 및 남한에서 북한 적응 품종 육성을 위한 출수기 목표 생장량 추정

양운호*, 최종서, 이대우, 강신구, 이석기, 채미진
농촌진흥청 국립식량과학원 재배환경과
(2021년 3월 19일 접수; 2021년 5월 17일 수정; 2021년 6월 8일 수락)

Growth at Heading Stage of Rice Affected by Temperature and Assessment of the Target Growth Applicable to North Korea for Breeding in South Korea

Woonho Yang*, Jong-Seo Choi, Dae-Woo Lee, Shingu Kang, Seuk-ki Lee, Mi-Jin Chae
*Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science,
Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea*
(Received March 19, 2021; Revised May 17, 2021; Accepted June 8, 2021)

ABSTRACT

Field studies at Suwon, Cheorwon, and Jinbu were carried out to determine the relationship between mean temperature from transplanting to heading (MT) and growth at heading stage of rice. Plant height (PH) and dry weight (DW) at heading stage were significantly correlated with MT, showing second degree polynomials. The optimal temperatures for PH and DW were 23.2 °C and 22.8 °C, respectively. Little differences in rice growth among soils collected from the experimental sites and the temperature-response in a phytotron study supported that MT was the main determinant of the growth shown in the field study. Though number of days to heading increased as MT decreased, cumulative temperatures (CT) affected by sites and MT for given varieties were fairly constant. When applying specific CT for each of the varieties to the temperature in North Korea, (1) five regions (Kaesong, Haeju, Sariwon, Nampo, Pyongyang) were suitable for early to mid-maturing varieties and (2) 14 regions (Yongyon, Singye, Anju, Kusong, Sinuiju, Changjon, Wonsan, Hamhung, Pyonggang, Yangdok, Huichon, Supung, Sinpo, Kanggye) were suitable only for early-maturing varieties. In (1) regions, the similar extent of growth with that in Suwon could be achieved when mid-maturing varieties grown in Suwon are cultivated. Among (2) regions, early-maturing varieties are expected to demonstrate the similar extent of growth with that in Cheorwon in 9 regions except Hamhung, Kanggye, Pyonggang, Yangdok, and Sinpo. For Hamhung and Kanggye, the target PH was assessed as 4cm higher than that shown in Cheorwon. Plant height of 8-14cm and DW of 2-4g per hill greater than those shown in Cheorwon were the target growth for Pyonggang, Yangdok, and Sinpo to attain the similar amount of growth with that in Cheorwon. It is suggested that rice varieties for North Korea could be bred by adjusting the target growth at the breeding sites in South Korea.

Key words: Rice, Growth, Temperature, North Korea



* Corresponding Author : Woonho Yang
(whyang@korea.kr)

I. 서 론

북한은 옥수수과 벼가 경사지를 제외한 농경지 면적의 37.4%와 32.2%를 차지하는 주요 작물이다(FAO, 2017). 2018년 북한의 쌀 생산량은 137만 8천 톤으로 2018-2019 수요량보다 56만 4천 톤이 부족한 것으로 보고되어(FAO & WFP, 2019), 최근까지도 만성적 식량부족 상황에서 벗어나지 못하고 있다. 이와 같은 북한의 식량 부족은 체제의 특성, 농업의 형태, 자원 부족 등과 같은 사회, 경제적 요인(Choe, 1998; Yoon, 2006)과 기후 부적합, 재배기술 적용의 비효율성 등과 같은 재배, 환경적 요인(Yang *et al.*, 2018a; Yang *et al.*, 2018b)으로 인하여 결과적으로 생산성이 낮기 때문인 것으로 보고되었다. 통계자료에 의하면 북한의 2012-2016년 평균 쌀수량은 남한의 71% 수준이다(KOSIS, 2018).

그간 북한 벼 품종 특성에 관하여 내냉성 평가, 수량성, 출수생태 특성 등에 대한 보고들이 이루어졌다. Jeong *et al.*(2000)은 북한 수집 74품종 중 룡성7호 등 16품종이 냉수 처리구에서 임실률이 61% 이상으로 높았다고 보고하였는데, 이 연구에서는 국내 품종과 비교가 이루어지지 않아 북한 품종 대비 국내 품종의 저온 내성 정도는 알 수 없었다. 질소 시비량에 따라서 10a당 시비량 8kg에서는 남한 품종과 북한 품종의 10a당 쌀수량이 각각 466~487kg과 417~513kg으로 차이가 적었지만, 시비량 11kg에서는 남한 품종의 10a당 수량이 493~520kg으로 북한 품종의 472~487kg보다 증가한 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 1999). 최근 남-북 접경지에서 북한 4품종의 ha당 수량은 4.85~5.43톤, 남한 6품종의 수량은 5.53~6.28톤이었으며, 북-중 접경지에서 북한 3품종의 수량은 4.93~6.04톤, 남한 7품종은 4.76~7.11톤으로 보고되었다(Moon, 2019). 위의 남한과 북한 벼 품종의 수량 비교 결과는 질소 시비량 증가를 통한 다수확에 북한 품종보다 남한 품종이 유리하며, 북한 품종보다 생산성이 우수한 남한 품종을 북한에 적용할 수 있다는 점을 시사한다. 더 나아가 북한 지역에서 직접 검정할 수 없다 하여도 북한 지역에 적응하는 품종을 남한의 유사한 기후 지역에서 육성할 수 있을 것이다.

우리는 북한 기상 관측 27지역의 기온 자료를 바탕으로 벼 안전재배가 가능한 19지역과 한계재배만 가능한 4지역을 구분하고 각 지역의 주요 생육시기를 분석하여(Yang *et al.*, 2018a; Yang *et al.*, 2018b), 기

상환경을 최대한 활용할 수 있는 재배모형을 설정하였다(Yang *et al.*, 2019b). 이들 보고는 등숙 최적온도가 나타나는 안전 출수 한계기를 기준으로 하였기 때문에 벼의 적절한 등숙 환경은 확보된 것으로 볼 수 있다. 그러나 지역에 따라 안전 조기이앙 한계기와 안전 출수 한계기가 다르기 때문에 이앙기-출수기 기간과 기온에 차이가 있다. 이앙기-출수기 기간과 이 기간 중 기온은 품종 숙기의 결정 요인이 되며(Yang *et al.*, 2018b), 결과적으로 출수기까지 벼의 성장량과 sink size에 영향을 미친다(Yang *et al.*, 2018a). 일반적으로 이앙기-출수기 기간이 길면 출수기 성장량이 많아지고 결과적으로 면적당 영화수가 증가한다(Yang *et al.*, 2019a; Yoshida, 1981). 영화수는 수량구성 4요소 중 가장 먼저 결정되므로(Yoshida, 1981), 충분한 영화수의 확보는 수량 향상에 1차 조건이 된다고 볼 수 있다.

현재로서는 북한 지역에서 영화수 확보를 위한 목표 성장량을 직접 검정할 수 없는 한계 때문에 이에 대한 연구 결과는 보고되지 않았으며 추정 연구도 시도된 바 없다. 따라서 본 연구는 북한 적용 품종을 남한의 유사 기후 지역에서 육성하는 경우, 북한 지역별로 육성모지 수준의 성장을 위한 출수기 목표 성장량을 추정하기 위하여 수행하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 기온이 다른 지역에서 벼 출수기 성장 반응 시험(현지시험), 시험지역 토양에 따른 벼 생육차이 검정(토양시험), 기온 처리에 따른 생육 반응 검정(인공기상실 시험) 시험을 수행하였으며, 이를 토대로 북한 지역별 목표 성장량을 추정하였다.

2.1. 현지시험

벼 재배기간 중 기온이 서로 다른 지역에서 벼의 생육 반응을 검토하기 위하여 2017-2018년 2년간 국립식량과학원 중부작물부 벼 재배시험 포장(수원, 37° 27' N, 126° 99' E, 해발 34m), 철원출장소(38° 12' N, 127° 14' E, 해발 186m), 진부시험지(37° 40' N, 128° 35' E, 해발 564m)의 3지역에서 벼 생육 차이를 조사하였다. 시험재료로는 조생종(조품, 철원95), 중생종(대보, 청운), 중만생종(새추청, 영호진미) 각 2품종을 이용하였다. 각 품종군에서 조품, 청운, 새추청은 비교적 장간종이며, 철원95, 대보, 영호진미는 단간종으로 선택하였다.

시험지역에 따른 육묘 환경과 방법의 차이에 의한 시험오차를 최소화하기 위하여 각 지역에 이양할 모를 모두 수원에서 육묘하였고, 이양 1일 전 시험지역으로 운반하여 본답에 배치한 후 다음날 이양하였다. 상자당 130g의 종자를 소독·최아한 후 4월 20일에 파종하여 2일간 출아, 1일간 녹화 후 못자리에 치상하고 부직포를 피복하여 보온하였으며, 이양 7~10일 전에는 부직포를 제거하여 모를 경화시켰다. 시험포장은 이양 6일 전 관개하고 완효성 복합비료를 10a당 9kg 수준으로 시비한 후 로터리 정지하였다. 다음날 이양 전 제초제로 벤조비사이클론+티오벤카브 혼합제를 표준량 살포하였으며, 제초제의 효과를 유지하기 위해 이양 직전까지 답수심을 5cm 이상으로 유지하였다. 세 지역 모두 5월 20일에 시험포장을 배수한 직후 재식거리 30 × 14cm 간격으로 주당 3본씩 손이양하였다. 시험포장 물관리 등 기타 재배방법은 농촌진흥청 중묘 표준재배법에 따랐다(RDA, 2017).

각 지역에서 시험구는 완전임의 3반복으로 배치하였다. 2017년과 2018년에 각 시험지역과 품종별로 전체 이삭의 50% 정도 출수한 출수기를 조사하였다. 이 시기에 반복당 20주를 채취하여 초장과 수수를 조사하고 평균 수수에 해당하는 5주를 선별하여 뿌리를 제거한 후 70 °C에서 7일 이상 건조하여 건물중을 측정하였다. 기상자료는 기상청 web site에서 수집하였으며, 각 시험지역의 이양기-출수기 기간의 평균기온과 출수기 초장 및 건물중의 상관관계식을 구하였다.

2.2. 토양시험

시험지역간 벼 생육 차이는 기상뿐 아니라 토양 특성에 따라서도 영향을 받는다. 시험지역의 토양 특성 차이가 현지시험에서 나타난 벼 생육 차이에 영향을 미쳤는지 알아보기 위하여 2018년에 수원에서 시험지역의 토양에 따른 철원95, 대보, 영호진미의 생장을 비교하였다. 시험토양은 각 시험지역에서 2017년 벼 수확 후 채취하여 수원으로 운반하였으며, 시험 시작 전 토양화학적 분석하였다. 운반한 토양을 120×80×20cm(높이)의 사각 상자에 약 80% 깊이로 채우고 현지시험과 동일한 방법으로 육묘하여 5월 20일에 20×10cm 간격으로 주당 3본씩 이양하고 야외의 자연 조건에서 재배하였다. 시비는 포장시험의 10a당 질소 9kg 수준에서 주당 시비량에 해당하는 시비량을 계산하고, 사각 상자의 재식 주수에 해당하는 양의 완효성 복합비료를 전량 기비로 처리하였다. 토양처리는 단구

제로 하였으며, 각 토양 내에서 품종별로 출수기에 5주를 채취하여 각 주별로 초장을 조사하고 뿌리를 제거한 후 70 °C에서 충분히 건조하여 건물중을 측정하였다.

2.3. 인공기상실 시험

시험지역의 기온에 따른 출수기 벼 생육 반응을 검증하기 위하여 2019년에 국립식량과학원 중부작물부 인공기상실 정밀유리실에서 기온을 조절하여 시험하였다. 기온 처리는 시험지역인 수원, 철원, 진부의 10년(2008-2017) 평균기온에 맞추어 7일 간격으로 조절하였으며, 여기에 수원보다 2 °C 높은 처리를 추가하였다(Fig. 1). 자연 상태와 유사한 조건에서 검토하기 위하여 일교차를 평균 ± 4 °C로 하였다. 품종은 조생종인 철원95와 중생종인 대보를 이용하였으며, 육묘방법과 이양시기는 토양시험에서와 동일하였다. 5월 20일에 품종당 6개의 1/5000a 와그너 포트에 포트당 3주, 주당 1본을 이양하였다. 시비는 포트당 질소 1g에 해당하는 완효성 복합비료를 전량 기비로 처리하였다. 품종별로 출수기에 생육이 비교적 균일한 4포트의 식물체를 채취하여 뿌리를 제거하고 70 °C에서 충분히 건조하여 포트당 건물중을 측정하였다.

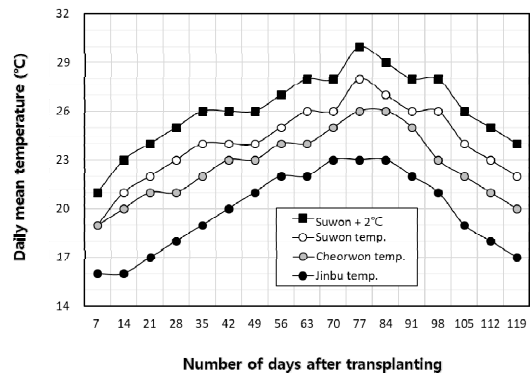


Fig. 1. Temperature treatment to simulate the three experimental sites in a phytotron study. Temperatures were treated based on the 10-year average for each region and controlled every 7-day interval.

현지시험, 토양시험, 인공기상실 시험은 분산분석을 통해 처리효과를 분석하고, 각 처리간 평균값은 최소유의차 검정법(LSD)이나 표준편차로 통계적 차이를 비교하였다.

2.4. 남한 육성모지의 출수기 생장량 확보를 위한 북한 지역별 목표 생장량 추정

북한 지역별 벼 출수기 목표 생장량은 현지시험에서 나타난 이앙기-출수기 평균기온과 출수기 벼 생육의 상관관계식을 북한 지역의 이앙기-출수기 평균기온에 대입하여 추정하였다. 북한 기상관측 27지역의 최근 10년간(2011~2020) 일 평균기온을 기상청 website(KMA, 2021)에서 수집하고, 10년 평균 출수 후 40일간 평균기온 22 °C에 해당하는 날짜를 그 지역의 안전 출수 한계기(Kim, 1983; Tanaka, 1950; Yun and Lee, 2001)로 설정하였다. 각 지역의 이앙기는 현지시험에서와 같이 5월 20일을 기준으로 하였고, 안전 조기이앙 한계기가 5월 20일 이후인 신포, 김책, 청진, 선봉, 중강은 Yang *et al.*(2018a)이 보고한 안전 조기이앙 한계기를 이앙기로 하였다.

현지시험에서 품종별 이앙 후 출수소요 적산온도는 지역과 연도에 관계없이 큰 차이를 보이지 않고 일정하였다(Fig. 5). 그러므로 북한 각 지역에서 품종별로 이앙 후 출수 소요 적산온도에 해당하는 날짜를 해당 품종의 출수기로 추정하였다. 이와 같은 방법으로 어떤 지역에서 추정한 출수기가 그 지역의 안전 출수 한계기 이내인 품종을 그 지역의 적응품종으로 간주하였다. 최근 10년 평균기온을 기준으로 분석하였을 때 수원에는 조생-중만생종, 철원은 조생종이 적응품종으로 분석되었으며, 진부는 조생종 중 출수가 빨랐던 조품도 안전 출수 한계기 내에 출수하지 않았다. 따라서 북한에서 중생종이나 중만생종 적응 지역은 수원에서, 조생종만 적응하는 지역은 철원에서 품종을 육성하는 것이 기후 적응성 향상에 적합한 것으로 판단되었다. 이에 따라 북한의 중생종 적응지역은 수원에서 나타난 중생종 2품종 수준의 생장량 확보를 위해 수원에서 육성할 출수기 목표 생장량을 해당지역의 이앙기-중생종 추정 출수기의 평균기온을 기준으로 추정하였다. 조생종만 적응하는 지역은 철원에서 조생종 2품종 수준의 생장량 확보를 위해 철원에서 육성할 출수기 목표 생장량을 해당 지역의 이앙기-조생종 추정 출수기의 평균기온을 기준으로 분석하였다.

벼의 생장량은 기온뿐 아니라 광합성의 에너지원이 되는 일사량이나 일조시간에도 영향을 크게 받는다(Yoshida, 1981; Yang *et al.*, 2007). 따라서 평균기온과 일조시간의 복합 영향을 분석한다면 보다 정확한 추정이 가능해진다고 볼 수 있다. 그러나 북한의 일조시간이나 일사량 정보가 가용하지 않았다. 더욱이 남

한 57지역을 대상으로 이앙기-출수기에 해당하는 5월 1일~8월 20일의 1988~2017년 일조시간을 사전 분석해 본 결과, 지역간 평균값의 차이보다 지역 내 연차변이가 매우 컸고, 일조시간의 지역 순위도 연도에 따라 일정하지 않았으며, 시기에 따른 변화 양상도 지역과 연차에 따라 큰 폭의 변이를 보였다. 그러므로 일조시간을 기준으로 지역을 특정하기 매우 어려웠고, 분석 효과도 적을 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 일조시간을 특정 불가능한 변수로 간주하고 평균기온에 근거하여 벼 생장량을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 현지시험

현지시험에서 벼 재배기간 동안 평균기온은 2년 모두 수원, 철원, 진부 순으로 높게 경과하였다(Fig. 2). 벼의 출수가 시작하는 날짜까지 평균기온은 수원과 철원 사이에는 2017년보다 2018년에 차이가 컸고, 철원과 진부 사이에는 2018년보다 2017년에 차이가 컸다. 이앙기-출수기 평균기온은 2018년 진부에서 재배한

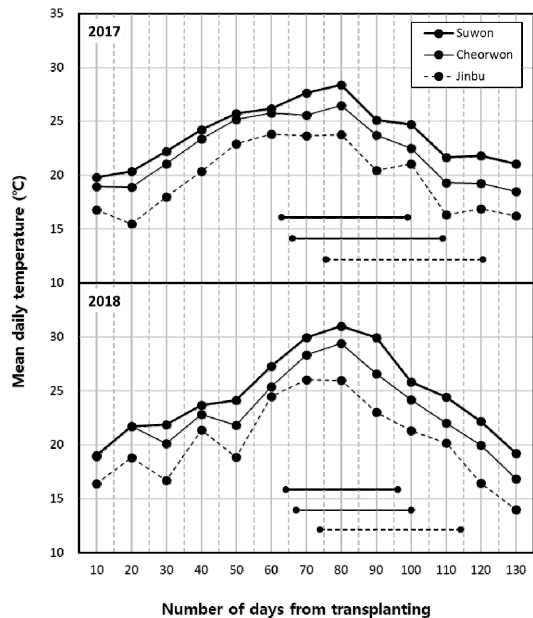


Fig. 2. Changes in mean daily temperature from transplanting in 2017 and 2018. Each data point is the mean of 10 days and the three straight lines in each panel indicate the period of heading for the tested six varieties.

Table 1. Heading date (HD), plant height (PH), number of panicles (PN), and aboveground biomass (DW) at heading stages in different experimental sites and varieties of rice

Variety	Site	2017						2018						2-Year Mean					
		HD (m.dd)	PH (cm)	PN (no./hill)	DW (g/hill)	HD (m.dd)	PH (cm)	PN (no./hill)	DW (g/hill)	HD (m.dd)	PH (cm)	PN (no./hill)	DW (g/hill)	HD (m.dd)	PH (cm)	PN (no./hill)	DW (g/hill)		
Jopum	Suwon	7.22	102 ^{af}	19.9 ^c	30.9 ^b	7.23	99 ^a	19.8 ^{ab}	36.7 ^a	7.23	100 ^a	19.9 ^a	33.8 ^a	7.26	97 ^b	20.1 ^a	33.9 ^a		
	Cheorwon	7.25	104 ^a	22.4 ^a	35.4 ^a	7.26	90 ^b	17.8 ^b	32.3 ^{ab}	7.26	97 ^b	20.1 ^a	33.9 ^a	8.04	88 ^b	21.2 ^a	31.5 ^b		
	Jinbu	8.04	88 ^b	20.8 ^b	31.5 ^b	8.02	87 ^b	21.2 ^a	31.5 ^b	8.03	87 ^c	21.0 ^a	31.4 ^b	8.01	89 ^b	20.7 ^a	40.2 ^a		
Cheolweon95	Suwon	8.01	89 ^b	18.1 ^b	31.5 ^b	8.01	90 ^b	20.7 ^a	40.2 ^a	8.01	90 ^b	19.4 ^a	35.9 ^a	8.01	96 ^a	16.1 ^b	37.7 ^{ab}		
	Cheorwon	8.01	96 ^a	20.6 ^a	35.2 ^a	8.06	94 ^a	16.1 ^b	37.7 ^{ab}	8.04	95 ^a	18.4 ^a	36.4 ^a	8.14	88 ^b	17.9 ^b	33.9 ^b		
	Jinbu	8.14	88 ^b	17.7 ^b	33.9 ^{ab}	8.12	89 ^b	17.9 ^b	33.9 ^b	8.13	88 ^c	17.8 ^a	33.9 ^a	8.13	89 ^a	18.4 ^{ab}	43.3 ^a		
Daebo	Suwon	8.13	94 ^a	19.8 ^a	41.4 ^b	8.11	89 ^a	18.4 ^{ab}	43.3 ^a	8.12	91 ^a	19.1 ^a	42.3 ^a	8.18	97 ^a	18.1 ^a	42.6 ^a		
	Cheorwon	8.18	97 ^a	19.8 ^a	46.7 ^a	8.16	89 ^a	16.3 ^b	38.6 ^a	8.17	93 ^a	18.1 ^a	42.6 ^a	8.30	82 ^b	19.4 ^a	41.1 ^a		
	Jinbu	8.30	82 ^b	18.3 ^b	38.6 ^b	8.26	82 ^b	19.4 ^a	41.1 ^a	8.28	82 ^b	18.8 ^a	39.8 ^a	8.15	106 ^b	15.9 ^b	42.0 ^b		
Cheongun	Suwon	8.15	106 ^b	15.9 ^b	42.0 ^b	8.11	97 ^b	17.0 ^a	47.3 ^a	8.13	101 ^b	16.5 ^b	44.6 ^b	8.21	112 ^a	19.9 ^b	50.0 ^a		
	Cheorwon	8.21	112 ^a	19.9 ^b	54.7 ^a	8.16	102 ^a	18.3 ^a	50.0 ^a	8.19	107 ^a	19.1 ^a	52.4 ^a	9.11	89 ^c	17.7 ^a	40.1 ^b		
	Jinbu	9.11	89 ^c	16.3 ^a	45.3 ^b	8.27	89 ^c	17.7 ^a	40.1 ^b	9.04	89 ^c	17.0 ^b	42.7 ^b	8.19	119 ^b	22.9 ^b	48.3 ^b		
Saechucheong	Suwon	8.19	119 ^b	22.9 ^b	48.3 ^b	8.16	104 ^a	20.2 ^b	46.3 ^b	8.18	111 ^a	21.6 ^b	47.3 ^b	8.28	129 ^a	26.1 ^a	67.2 ^a		
	Cheorwon	8.28	129 ^a	26.1 ^a	67.2 ^a	8.20	99 ^b	21.9 ^a	48.9 ^a	8.24	114 ^a	24.0 ^a	58.1 ^a	9.08	96 ^c	21.7 ^b	49.1 ^b		
	Jinbu	9.08	96 ^c	21.7 ^b	49.1 ^b	8.29	95 ^b	22.7 ^a	42.1 ^c	9.03	95 ^b	22.2 ^b	45.6 ^b	8.27	100 ^b	21.6 ^{ab}	48.9 ^b		
Yeonghojinmi	Suwon	8.27	100 ^b	21.6 ^{ab}	48.9 ^b	8.24	88 ^b	17.0 ^b	46.8 ^b	8.26	94 ^b	19.3 ^b	47.9 ^b	9.06	103 ^a	22.8 ^a	55.3 ^a		
	Cheorwon	9.06	103 ^a	22.8 ^a	63.9 ^a	8.28	93 ^a	20.5 ^a	55.3 ^a	9.02	98 ^a	21.6 ^a	59.6 ^a	9.18	76 ^c	19.5 ^b	46.1 ^b		
	Jinbu	9.18	76 ^c	19.5 ^b	46.1 ^b	9.11	81 ^c	20.5 ^a	43.0 ^c	9.15	79 ^c	20.0 ^b	44.5 ^b	8.11	102 ^b	19.7 ^b	40.5 ^b		
G. Mean	Suwon	8.11	102 ^b	19.7 ^b	40.5 ^b	8.09	95 ^a	18.9 ^b	43.4 ^a	8.10	98 ^a	19.3 ^a	42.0 ^b	8.17	107 ^a	21.9 ^a	43.8 ^a		
	Cheorwon	8.17	107 ^a	21.9 ^a	50.5 ^a	8.14	94 ^a	18.5 ^a	43.8 ^a	8.15	101 ^a	20.2 ^a	47.2 ^a	8.30	86 ^c	19.1 ^b	40.7 ^b		
	Jinbu	8.30	86 ^c	19.1 ^b	40.7 ^b	8.23	87 ^b	19.9 ^a	38.6 ^b	8.27	87 ^b	19.5 ^a	39.7 ^b						

[†] In each year and 2-year mean columns, the same superscript letters following each site indicate no significant difference according to LSD ($P = 0.05$).

영호진미에서 19.9 °C로 가장 낮았고, 2018년 수원에서 재배한 영호진미에서 25.5 °C로 가장 높았다. 이앙기-출수기의 6품종 평균 하루 일조시간은 2017년에는 수원 7.1시간, 철원 6.6시간으로 수원에서 0.5시간 길었으며, 2018년에는 수원 8.2시간, 철원 8.1시간으로 비슷하였다. 진부는 일조시간 자료가 없어 비교할 수 없었다.

모든 품종에서 출수기는 평균기온이 낮은 지역에서 늦어져 이앙기-출수기 기간이 길어졌다(Table 1). 2017년의 경우 수원보다 철원에서 0~10일, 철원보다 진부에서 10~12일 늦었으며, 2018년의 경우에는 수원보다 철원에서 3~5일, 철원보다 진부에서 6~14일 지연되었다. 이 결과는 저온에서 출수가 지연된다는 이전의 보고들과 동일하다(Lee *et al.*, 2001; Ahn and Vergara, 1969; Yoshida, 1973). 출수기에 초장, 수수, 건물중은 2017년의 경우 철원에서 유의하게 가장 높았고, 수원과 진부 사이에는 유의차가 없었다. 2018년의 경우 초장과 건물중은 수원과 철원에서 유의하게 높았고, 수수는 진부에서 가장 많았다. 일정 온도 범위에서 벼의 생육은 저온에 비해 고온에서 촉진되고 그에 따라 성장량도 많아진다고 알려져 있다(Krishnan *et al.*, 2011; Yoshida, 1981; Ziska *et al.*, 1997). 그러나 본 연구에서 기온이 가장 높았던 수원에서 출수기 성장량이 2017년의 경우 기온이 낮았던 철원에서도보다

적었고, 기온이 더 낮았던 진부에서와 비슷하였다. 2018년에는 기온이 가장 낮았던 진부에서 출수기 건물중이 가장 적었으나, 기온이 달랐던 수원과 철원에서는 비슷하였다. 전체적으로 2년간 6품종 평균 출수기 초장, 수수, 건물중은 공통적으로 철원에서 가장 높게 나타났다. 이 결과는 직파 4주 후에 건물중은 평균 기온이 높을수록 증가하였다는 보고(Yoshida, 1973)와 달랐다. 본 연구에서는 기온 저하에 의해 출수 소요 일수가 증가함에 따라 출수기 성장량이 동일 기간 동안의 기온뿐 아니라 생육기간의 영향도 함께 받았기 때문에, 동일시기에 조사가 이루어진 이전의 보고와 차이가 있는 것으로 생각된다. 또한 Yoshida(1973)는 벼가 영양생장기에서 생식생장기로 발달함에 따라 최적온도가 낮아진다고 분석하였는데, 본 연구에서 절간 신장이 시작되는 유수형성기부터 조사가 이루어진 출수기까지 최적온도가 낮아진 것도 철원에서 성장량이 가장 크게 나타난 원인으로 사료된다. 진부의 경우 출수기까지 생육기간이 가장 길었으나 출수기 성장량이 적었던 것으로 미루어 볼 때, 기간 증가의 성장량 증가 효과보다 저온에 의한 성장 억제의 영향이 더 컸던 것으로 판단된다.

수원에서 조생종인 조품과 철원95는 7월 22일~8월 1일(이앙 후 63~73일)에 출수하여 출수기까지 연중 최고온기를 회피하였으나, 중생종인 대보와 청운은

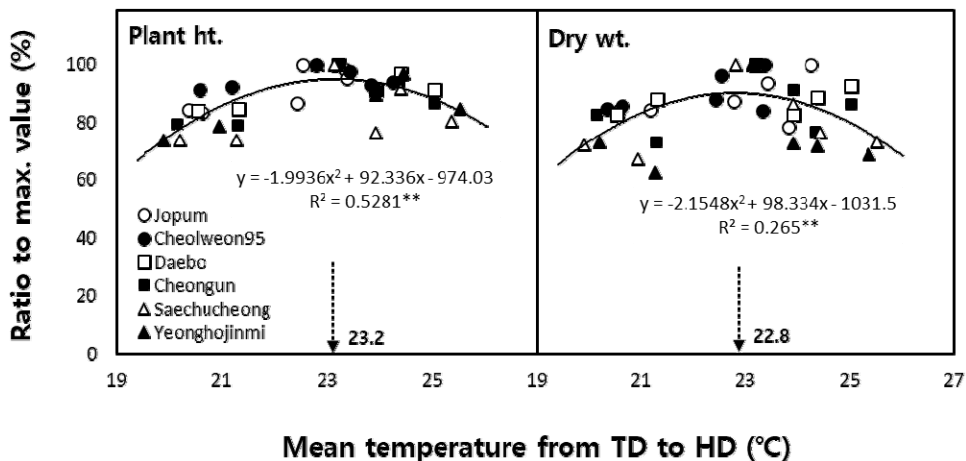


Fig. 3. Relationship between mean temperature from transplanting date (TD) to heading date (HD) and ratios to maximum value of plant height and dry weight for each variety. Correlation equations were calculated with the data pooled across the six varieties, two experimental years, and three sites. Data adjacent the arrow heads represent the temperatures, at which maximum plant height and dry weight were attained. **: significant at $P < 0.01$.

8월 11일~15일(이앙 후 83~87일)에 출수하여 출수기 경에 최고온기를 경과하면서 이앙기-출수기 평균기온이 조생종보다 높아졌다. 중만생종인 새추청과 영호진미의 출수기는 8월 16일~27일(이앙 후 88~99일)로 연중 최고온기를 경과한 후였지만, 2018년의 경우 폭염이 지속되면서 이앙기-출수기 평균기온이 중생종보다 0.4~0.5 °C 높았다(Table 1; Fig. 2).

지역간 이앙기-출수기 평균기온 차이에 따른 출수기 초장과 건물중의 반응을 보다 넓은 온도 범위에서 품종 영향을 배제하고 알아보기 위하여 각 품종별로 최고값 대비 비율과 이앙기-출수기 평균기온과의 관계를 분석하였다. 지역간 이앙기-출수기 평균기온 차이

에 따라 출수기 초장과 건물중은 고도로 유의한 2차 함수식을 나타내었다(Fig. 3). 초장은 평균기온 23.2 °C에서 최고값을 나타내었으며, 그보다 높거나 낮으면 감소하였다. 건물중 또한 초장과 비슷한 반응을 보였는데, 건물중이 가장 높아지는 평균기온은 22.8 °C로 초장 최고값에 해당하는 온도보다 0.4 °C 낮았다.

현지시험 3지역의 2년 성적을 모두 합하여 분석하였을 때, 각 품종의 출수 소요일수는 평균기온 상승에 따라 2차 함수식의 반응을 보이며 감소하였다(Fig. 4). 이 결과는 기온 상승에 따라 출수 소요일수가 감소한다는 이전의 보고들(Lee *et al.*, 2001; Ahn and Vergara, 1969; Yoshida, 1973)과 같으며, 평균기온 21~30 °C

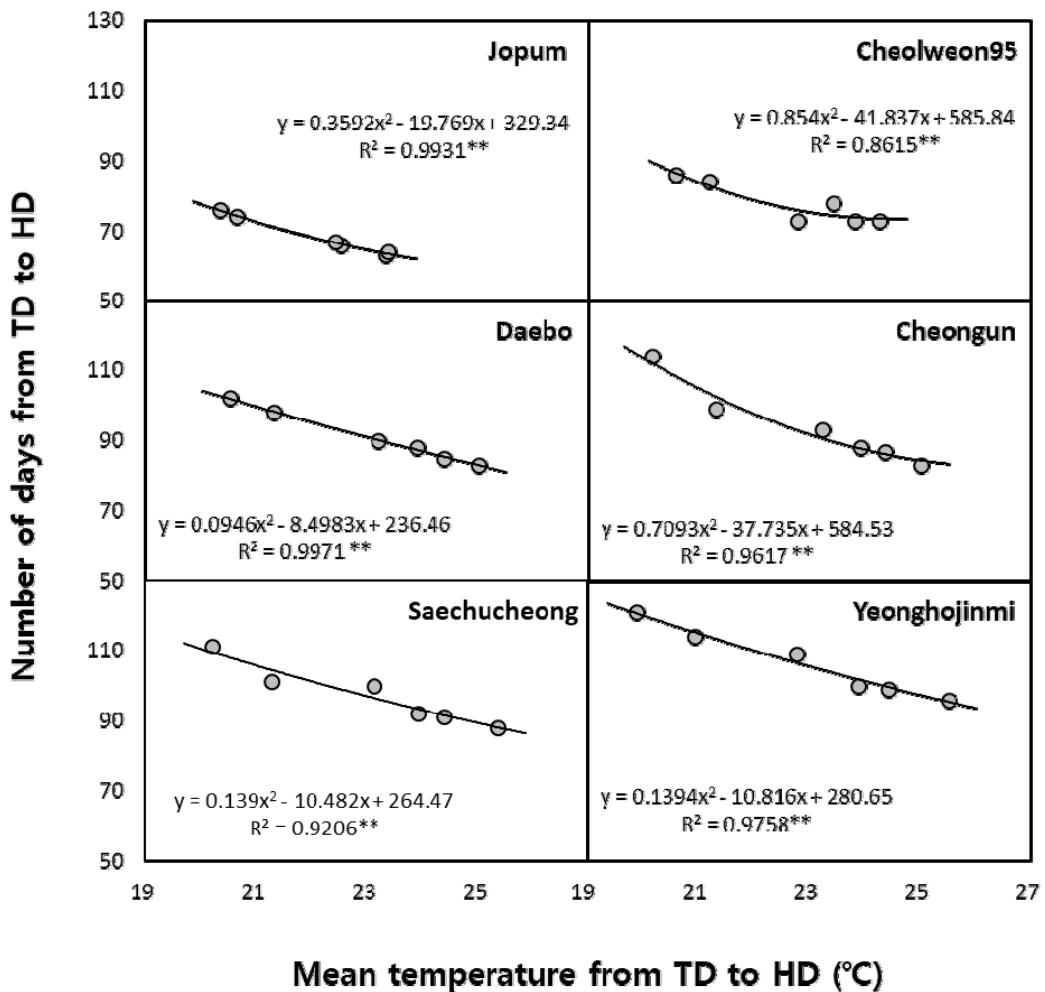


Fig. 4. Response of number of days from transplanting date (TD) to heading date (HD) to the mean temperature from TD to HD in each variety. Data were pooled across the two experimental years and three sites for each genotype. **: significant at $P < 0.01$.

범위에서 온도는 출수 소요일수와 직선적 관계가 아니라는 보고(Krishnan *et al.*, 2011)와도 일치한다. 평균 기온 상승에 따라 출수 소요일수가 감소한 결과는 주어진 품종에서 출수 소요일수의 변이보다 출수소요 적산온도의 변이가 더 적다는 것을 의미한다.

이양 후 출수소요 적산온도는 조생종인 조품은 54 °C, 철원 95는 30 °C의 지역간 차이를 보였다(Fig. 5). 이는 철원 지역의 해당 품종 출수기를 기준으로 0.5~1.0일의 편차에 해당한다. 중생종인 대보는 22 °C, 청운은 104 °C의 지역간 차이를 보였는데, 이는 중생종 재배지역인 수원 지역의 해당 품종 출수기를 기준으로 0.4~1.9일의 편차이다. 중만생종인 새추청과 영호진미는 각각 61 °C와 40 °C의 지역간 차이를 보였는데, 이는 수원 지역의 해당 품종 출수기 기준 1.2일과 0.8일의 편차에 해당하였다. 결과적으로 이양시기가 동일하면 특정 품종의 출수소요 적산온도는 시험지역에 따라 약간의 차이는 있지만 거의 일정하였다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 일장이 동일한 경우 기온에 따라 출수 소요일수는 달라지지만 일정한 기온 범위에서 출수소요 적산온도는 일정하다는 이전의 보고(Yang *et al.*, 2018c)와 일치한다. Yoshida(1981)는 기온과 생육기간의 관계가 직선적이 아니므로 적산온도의 적용에 한계가 있다고 하였다. 이로 미루어 보면, 본 연구에서 지역에 따라 출수소요 적산온도의 차이가 적었던 것은 시험지역에서 나타난 기온 범위가 Yoshida(1981)가 보고한 적용 가능한 수준 내에 있었기 때문일 것으로 생각된다.

3.2. 토양시험 및 인공기상실 시험

현지시험에서 초장, 건물중과 이양기-출수기 평균 기온의 관계는 99% 수준의 확률에서 유의성을 보였으나 그 정밀도가 모형예측 연구 수준으로 높지는 않았는데, 이는 출수기 성장량에 기온과 생육기간 뿐 아니라 다른 환경요인도 관여하였기 때문으로 생각되었다. 현지 시험이 이루어진 수원, 철원 진부는 시험토양이

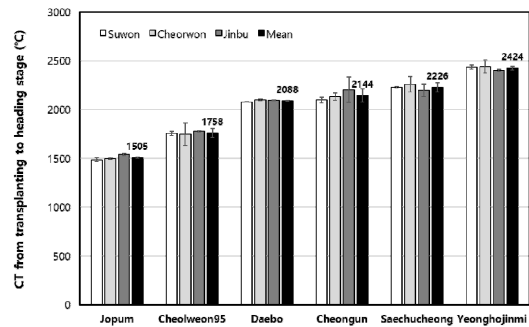


Fig. 5. Cumulative temperature (CT) from transplanting to heading stage at the three experimental sites for each variety of rice. Error bars indicate standard deviations across the two experimental years. Data above the bars are the means of three experimental sites for each variety.

달랐기 때문에 벼 생육이 기상뿐 아니라 토양의 차이에도 영향을 받을 수 있다. 따라서 시험지역의 토양이 생육에 어느 정도의 영향을 미쳤는지 알아보기 위해, 이들 세 지역의 시험포장 토양을 채취하여 화학성을 분석하고 수원의 동일한 기상 조건에서 생육 차이를 검정하였다. 수원 토양은 유기물, 총 질소, 인산, 칼륨 함량이 유의하게 가장 높았으며, 철원 토양은 산도, 규산, 칼슘, 마그네슘 함량은 높은 반면 인산 함량은 낮았다(Table 2). 진부 토양은 총 질소와 칼륨 함량이 낮았으며, 다른 특성은 수원과 철원 토양의 사이였다. 이와 같이 토양 화학성은 시험지역에 따라 차이가 있었지만, 모든 3품종에서 출수기 초장은 시험토양에 따라 통계적 유의차가 없었고 차이도 적었다(Fig. 6). 출수기 건물중은 대보와 영호진미의 경우 진부 토양에서 약간 적은 경향이었으나 유의차는 없었다. 결과적으로 현지시험에서 나타난 벼 생장의 차이는 주로 기상 환경의 차이에 기인되었으며, 토양 특성 차이의 영향은 적었다고 할 수 있다.

현지시험에서 나타난 출수기 생장의 차이를 평균기온 기준으로 분석한 것이 타당하지 검정하기 위하여

Table 2. Soil chemical properties in the three experimental sites, Suwon (SW), Cheorwon (CW), and Jinbu (JB)

Site	pH (1:5)	OM (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	SiO (mg/kg)	Ca (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)
SW	5.63 ^b	3.38 ^a	0.25 ^a	200.4 ^a	182.6 ^b	4.77 ^b	1.21 ^a	0.92 ^b
CW	5.96 ^a	2.48 ^b	0.20 ^b	80.8 ^c	287.7 ^a	8.95 ^a	0.82 ^b	3.90 ^a
JB	5.64 ^b	2.52 ^b	0.20 ^b	168.1 ^b	168.5 ^b	5.46 ^b	0.74 ^b	1.17 ^b

[†] For each column, the same superscript letters indicate no significant difference according to LSD (*P*=0.05).

인공기상실에서 다른 기상요인은 동일하고 평균기온만 달리 처리하였을 때 출수기 건물중 반응을 조사하였다. 공시한 2품종 모두 철원 평균기온 환경에서 건물중이 가장 높은 경향을 보였고, 그보다 기온이 높은 수원과 낮은 진부 평균기온 처리에서는 감소하였다

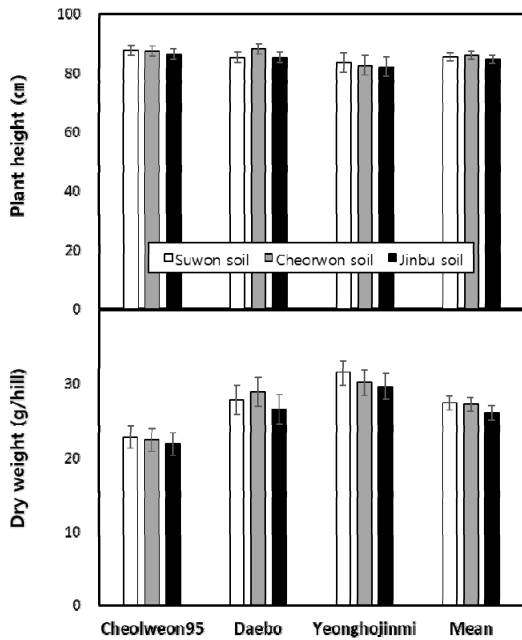


Fig. 6. Plant height and dry weight at heading stages of rice varieties grown in Suwon, under the soils collected from the three experimental sites. Data are the means of five hills and error bars represent the LSD values ($P=0.05$).

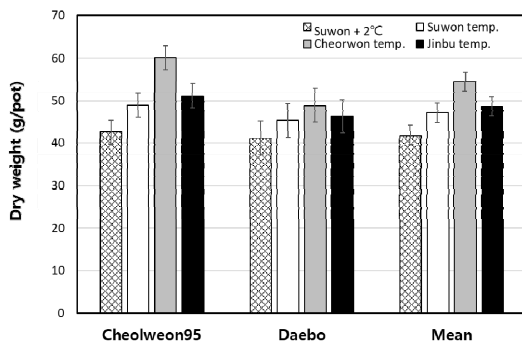


Fig. 7. Dry weight at heading stages of rice grown under the temperature simulated for Suwon, Cheorwon, Jinbu, and Suwon+2 °C. Data are the means of four replicates and error bars represent LSD values ($P=0.05$).

(Fig. 7). 더욱이 현지시험에서 기온이 가장 높았던 수원보다 2 °C가 높은 조건에서는 수원보다 출수기 건물중이 더 감소하는 결과를 나타내었는데, 이는 현지시험에서 나타난 생장 반응과 동일한 결과였다.

시험지역 토양에 따라 출수기 성장량의 차이가 적은 것과 기온 처리에 대한 반응이 현지시험과 유사했던 결과는 현지시험에서 나타난 생육 차이가 주로 기온의 영향이었다는 것을 뒷받침한다.

3.3. 남한 육성모지의 출수기 성장량 확보를 위한 북한 지역별 목표 성장량 추정

현지시험에서 나타난 것과 같이 어떤 주어진 품종의 출수소요 적산온도가 일정하면 북한과 같이 직접 검증은 어렵지만 기상자료가 가용한 지역의 출수기를 추정할 수 있다. 우리는 북한 벼 재배 가능 지역을 23개로 보고하였으며, 이들 지역의 안전 조기이앙 한계기를 지역에 따라 5월 4일(사리원)~6월 7일(선봉)로 분석하였다(Yang *et al.*, 2018a). 본 연구에서는 공시 품종의 출수소요 적산온도에 해당하는 출수기를 각 지역별로 추정하기 위하여 이앙시기를 본 연구에서와 같은 5월 20일로 적용하였는데, 이보다 안전 조기이앙 한계기가 늦은 것으로 보고된 신포(5월 24일), 김책(5월 31일), 청진(6월 4일), 선봉(6월 7일)은 해당 지역의 안전 조기이앙 한계기를 적용하였다. 북한 벼 재배 가능 23지역 중 개성, 해주, 평양에서는 중생종인 대보와 청운까지 안전 출수 한계기인 8월 17일~21일까지 출수소요 적산온도가 충분하였다(Table 3). 사리원과 남포에서는 중생종 중 출수가 빨랐던 대보만 안전 출수 한계기인 8월 16일~17일까지 출수하고, 청운은 그보다 2일 늦은 것으로 분석되었다. 용연 등 9지역(용연, 신계, 안주, 구성, 신의주, 장전, 원산, 함흥, 희천)에서는 조생종 중 출수가 늦었던 철원95까지, 평강 등 5지역(평강, 양덕, 수봉, 신포, 강계)에서는 조생종 중 출수가 빨랐던 조품만 안전 출수 한계기까지 출수소요 적산온도가 충분하였다. 김책, 청진, 선봉, 중강의 4지역은 본 연구에서 출수가 가장 빨랐던 조품도 안전 출수 한계기까지 출수소요 적산온도가 부족한 것으로 분석되었다. 각 지역별로 조생종이나 중생종 중 하나라도 안전 출수 한계기까지 출수가 가능하면 적용하는 속기로 평가하였다. 이러한 방법에 따라 분석한 결과, 5지역(개성, 해주, 사리원, 남포, 평양)은 중생종까지, 14지역(용연, 신계, 안주, 구성, 신의주, 장전, 원산, 함흥, 평강, 양덕, 희천, 수봉, 신포, 강계)은 조생종만

적응하는 것으로 평가되었다. 김책, 청진, 선봉, 중강의 4지역에서 조생종도 재배가 어려운 결과는 이전의 보고(Yang *et al.*, 2018a; Yang *et al.*, 2018b)와 동일하였다. 중생종 재배가 가능한 5지역은 이앙기-안전출수 한계기의 최근 10년간(2011-2020) 평균기온이 23.3(남포)~23.8°C(평양)로 다른 지역보다 높았으며, 조생종만 재배가 가능한 것으로 분석된 14지역은

20.7(신포)~23.0°C(신계)의 범위였다.

이들 19지역의 이앙기-안전 출수 한계기 평균기온 (Table 3)을 평균기온에 따른 출수기 초장과 건물중의 반응식(Fig. 3)에 대입하여 중생종까지 재배 가능한 5지역은 수원 중생종, 조생종만 재배 가능한 14지역은 철원 조생종의 평균값에 대한 비율을 구하였다. 이후 북한 해당 지역에서 수원 중생종과 철원 조생종 수준

Table 3. Safe marginal heading date (SMHD) and expected heading date (HD) for each variety, adaptable maturity of rice, and mean temperature from transplanting to SMHD (MT) in different regions of North Korea

Region	SMHD (m.dd)	HD [†] (m.dd)						Adaptable maturity [‡]	MT (°C)
		Early		Middle		Mid-late			
		JP	CW95	DB	CU	SC	YH		
Kaesong	8.19	7.26*	8.04	8.17	8.19	8.22	8.30	Early to mid	23.5
Haeju	8.21	7.26	8.04	8.17	8.19	8.22	8.30	Early to mid	23.5
Yongyon	8.12	7.27	8.06	8.19	8.21	8.25	9.03	Early	22.6
Singye	8.12	7.26	8.05	8.18	8.20	8.23	9.01	Early	23.0
Sariwon	8.16	7.25	8.03	8.15	8.18	8.21	8.29	Early to mid	23.7
Nampo	8.17	7.26	8.05	8.17	8.19	8.23	8.31	Early to mid	23.3
Pyongyang	8.17	7.24	8.03	8.15	8.17	8.21	8.29	Early to mid	23.8
Anju	8.12	7.27	8.05	8.18	8.21	8.24	9.02	Early	22.9
Kusong	8.09	7.27	8.06	8.20	8.22	8.25	9.04	Early	22.4
Sinuiju	8.14	7.27	8.05	8.18	8.21	8.24	9.02	Early	22.9
Changjon	8.13	7.28	8.07	8.19	8.22	8.25	9.03	Early	22.5
Wonsan	8.12	7.28	8.07	8.20	8.23	8.26	9.04	Early	22.3
Hamhung	8.08	7.29	8.08	8.22	8.24	8.28	9.07	Early	21.7
Pyonggang	8.02	7.30	8.09	8.24	8.26	8.30	9.09	Early	21.1
Yangdok	8.03	7.30	8.09	8.23	8.26	8.30	9.09	Early	21.2
Huichon	8.07	7.27	8.06	8.19	8.22	8.26	9.04	Early	22.4
Supung	8.06	7.28	8.07	8.20	8.23	8.26	9.05	Early	22.2
Sinpo	8.08	8.05	8.15	8.29	9.01	9.05	9.15	Early	20.7
Kanggye	7.31	7.28	8.07	8.21	8.24	8.28	9.07	Early	21.7
Kimchaek	8.04	8.13	8.24	9.09	9.12	9.16	9.27	None	-
Chongjin	7.28	8.18	8.30	9.16	9.19	9.24	9.30	None	-
Sonbong	-	8.22	9.04	9.23	9.27	9.30	9.30	None	-
Chunggang	7.26	7.31	8.10	8.25	8.28	9.02	9.13	None	-

* Data with grey background represent the varieties reaching heading stage until SMHD.

† Heading dates were calculated by applying the cumulative temperature required for heading of each variety to daily mean temperature for each region.

‡ Adaptable maturity was determined based on the varieties reached heading stage until the safe marginal heading date for each region.

JP: Jopum, CW95: Cheolweon95, DB: Daebo, CU: Cheongun, SC: Saechucheong, YH: Yeonghojinmi.

의 출수기 생장량 확보를 위해 각각 수원과 철원에서 육성할 목표 생장량을 분석하였다(Fig. 8). 중생종 재배 가능 5지역은 수원의 이앙기-안전 출수 한계기 평균기온은 24.5 °C보다 0.7~1.2 °C 낮았는데(Table 3), 이들 지역에 대하여 수원 수준의 중생종 출수기 초장 96cm와 주당 건물중 43g 확보를 위해 수원에서 육성할 목표 생장량은 수원의 중생종 평균값보다 초장은 2~3cm, 주당 건물중은 1~2g 낮은 것으로 분석되었다. 개략적으로 위 5지역의 출수기 목표 생장량은 수원과 차이가 크지 않았으므로, 수원에서 육성한 중생종을 이들 지역에 적용하여도 비슷한 정도의 생장이 이루어질 것으로 생각된다. 이러한 분석 결과는 북한 서부 평야지에 출수기가 8월 15일 이전인 남한 중생종의 적응성이 높을 것이라는 보고(Kim *et al.*, 2002)와 유사하다. 조생종만 재배 가능한 14지역 중 용연, 신계, 안주, 구성, 신의주, 장전, 원산, 희천 수품 9지역의 이앙기-안전 출수 한계기 평균기온은 22.2~23.0 °C로 철원의 22.9 °C와 차이가 적었다(Table 3). 이들은 철

원에서 육성한 조생종을 재배하면 철원과 비슷한 수준의 출수기 생장량을 확보할 수 있는 지역으로 분석되었다. 함흥과 강계는 평균기온이 21.7 °C로 철원보다 1.2 °C 낮았다. 이 두 지역에서 철원 수준의 조생종 출수기 생장량 확보를 위해서는 철원에서 조생종 초장보다 4cm 길고 주당 건물중보다 1g 무거운 품종의 육성이 필요한 것으로 분석되었다. 평강, 양덕, 신포는 이앙기-안전 출수 한계기 평균기온이 20.7~21.2 °C로 철원보다 1.7~2.2 °C 낮았으며, 철원에서 출수기 초장은 104~110cm, 주당 건물중은 38~39g인 품종을 육성해야 철원 수준의 생장량이 확보되는 것으로 분석되었다. 위 결과를 종합하면, 북한에서 중생종 재배가 가능한 5지역은 수원에서 육성한 중생종, 조생종만 재배 가능한 14지역 중 9지역은 철원에서 육성한 조생종을 재배하면 육성모지와 비슷한 수준의 출수기 생장량을 확보할 수 있을 것으로 분석되었다. 철원보다 이앙기-안전 출수 한계기 기온이 1 °C 이상 낮은 5지역에 대하여는 출수기 초장은 110cm까지, 주당 건물중은 39g까지 육성해야 철원 조생종 수준의 출수기 초장 96cm와 주당 건물중 34g을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구는 서로 다른 지역에서 이앙기-출수기 기온과 벼 생장 반응의 관계를 분석하여, 북한 지역 적응 품종을 남한에서 육성하는 경우 육성모지 수준의 생장량 확보를 위한 목표 생장량을 평균기온 기준으로 추정하였다. 그러나 북한은 남한보다 위도가 높아 벼를 재배하는 여름철 일장이 길다. 수원 대비 연중 최장 일장은 중생종 재배 가능 5지역 중 가장 남쪽에 위치한 개성에서 4분, 가장 북쪽에 위치한 평양에서 11분 길다. 조생종 재배 가능 14지역의 연중 최장 일장은 철원 대비 0(용연)~18분(강계) 길다. 벼 품종에 따라 감광성이 다르기 때문에(Choi *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2018c; Ahn and Vergara, 1969; Vergara and Chang, 1985) 이 정도 일장 차이가 출수의 조만에 미치는 영향을 일률적으로 평가할 수는 없지만, 지역에 따라 출수의 조만이 어느 정도는 영향을 받는다고 볼 수 있다. 다만, 북한에 적응하는 품종이 중만생종보다 감광성이 작은 조생종과 중생종(Yang *et al.*, 2018c)으로 분석되기 때문에(Table 3), 일장 차이의 영향은 상대적으로 적을 것이라 생각된다. 그러나 본 연구에서는 일장 변화에 의한 출수기 변화와 생장 반응까지는 분석하지 못한 한계가 있으므로 향후 기온과 일장의 복합 영향에 대한 연구가 이루어진다면 보다 정밀한

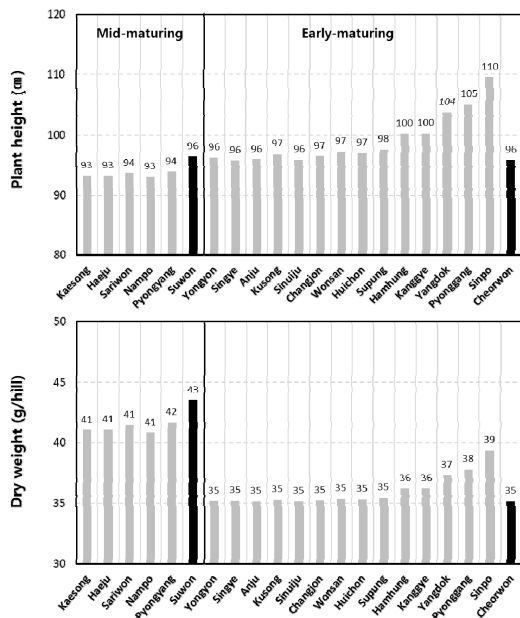


Fig. 8. The target plant height and dry weight at heading stage of rice, for different regions of North Korea, to breed mid-maturing varieties at Suwon and early-maturing varieties at Cheorwon to attain the same extent of growth as breeding sites. Suwon and Cheorwon, represented by black background, are the reference regions for breeding mid-maturing and early-maturing varieties, respectively.

분석이 가능할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 북한 일조시간 자료의 부재와 남한에서 일조시간 기준 지역 구분의 부적합때문에 일조시간이나 일사량의 영향에 대한 분석은 배제하였다. 그러나 일조시간은 벼의 생장량을 결정하는 중요한 요인 중 하나이므로, 북한 지역별 벼 출수기 목표 생장량은 해에 따른 일조시간의 변화에 따라 달라질 것이다. 그러므로 본 연구에서 제시한 출수기 목표 생장량은 절대값보다는 품종 육성 지역인 수원과 철원을 기준으로 한 상대적 생장량을 목표로 하는 것이 보다 타당할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 북한 적응 벼 품종을 남한의 유사 기후 지역에서 육성하는 경우, 북한 지역별로 육성모지 수준의 생장을 위한 출수기 목표 생장량을 추정하기 위하여 기온이 서로 다른 지역(수원, 철원, 진부)에서 6 품종의 출수기 벼 생장 반응을 검정하고 북한 지역의 기온에 적용하여 분석하였다. 시험지역, 연도를 합하여 품종의 최고값 대비 지수 성적을 분석하였을 때, 이앙기-출수기 기간의 평균기온과 출수기 초장 및 건물중은 고도로 유의한 2차 함수식의 관계를 보였으며, 초장 최고값은 23.2 °C, 건물중 최고값은 22.8 °C에서 나타났다. 각각의 품종에서 이앙기-출수기 평균기온이 낮아짐에 따라 출수 소요일수는 증가하였으나, 출수소요 적산온도는 지역간 차이가 적고 비교적 일정하였다. 시험지역의 토양 특성 차이에 의한 출수기 벼 생육 차이는 적었으며, 시험지역의 기온 처리에 의한 출수기 건물중은 현지시험에서와 같은 양상이었다. 현지시험에서 나타난 품종별 출수소요 적산온도를 북한 지역의 평균기온과 안전 출수 한계기에 대입하여 비교한 결과, 5지역(개성, 해주, 사리원, 남포, 평양)은 중생종까지, 14지역(용연, 신계, 안주, 구성, 신의주, 장진, 원산, 함흥, 평강, 양덕, 희천, 수봉, 신포, 강계)은 조생종만 재배 가능하며, 4지역(김책, 청진, 선봉, 중강)은 출수가 가장 빨랐던 조품도 적응하지 못하는 것으로 분석되었다. 북한의 중생종 재배 가능 5지역은 이앙기-안전 출수 한계기 평균기온이 수원보다 0.7~1.2 °C 낮았으며, 이들 지역에서는 수원에서 육성한 중생종을 동일한 방법으로 재배하면 수원과 비슷한 수준의 출수기 생장량을 보이는 것으로 분석되었다. 조생종 재배만 가능한 14지역 중 9지역(용연, 신계, 안주, 구성, 신의주, 장진, 원산, 희천, 수봉)의 이앙기-안전 출수

한계기 평균기온은 22.2~23.0 °C로 철원의 22.9 °C와 차이가 크지 않았으며, 철원에서 육성한 조생종을 재배하면 철원과 비슷한 수준의 출수기 생장량을 나타내는 것으로 분석되었다. 철원과 같은 수준의 조생종 출수기 생장량 확보를 위해서는 함흥과 강계의 경우 철원에서 나타나는 초장보다 4cm 긴 품종, 평강과 양덕 및 신포의 경우에는 초장은 8~14cm, 주당 건물중은 2~4g 큰 품종을 육성해야 하는 것으로 분석되었다. 종합적으로, 북한 적응 품종을 남한의 유사 기후 지역에서 육성하는 경우, 중생종 재배 가능 지역은 수원, 조생종 재배 가능 지역 중 철원과 기온이 비슷한 지역은 철원에서 육성한 품종을 재배하면 출수기 생장량이 비슷하며, 철원보다 기온이 낮은 지역에 대하여는 철원에서 나타나는 것보다 더 큰 출수기 생장량을 보이는 품종을 육성해야 할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명: 기후변화 대응 북한지역 식량작물 재배적지 선정, 연구번호: PJ014806012021)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Ahn, S., and V. S. Vergara, 1969: Studies on responses of the rice plant to photoperiod. III. Response of Korean varieties. *Korean Journal of Crop Science* **5**, 45-59.
- Choe, J. W., 1998: Cooperation measures for agricultural infrastructure development in North Korea. *Proceedings Korean Society of Crop Science and Korean Breeding Science for 50th Anniversary GSNU*, 134-158. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.-J., J.-I. Lee, N.-J. Chung, W.-H. Yang, and J.-C. Shin, 2006: Effects of temperature and day-length on heading habit of recently developed Korean rice cultivars. *Korean Journal of Crop Science* **51**(1), 41-47.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), 2017: GIEWS: The Democratic People's Republic of Korea. Prolonged weather threatens the 2017 main season food crop production (July 2017), 12pp.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) and WFP (World Food

- Programme), 2019: FAO/WFP joint rapid food security assessment, Democratic People's Republic of Korea, 46pp.
- Jeong, E. G., J. D. Yea, M. K. Baek, H. P. Moon, and K. M. Yoon, 2000: Cold tolerance in rice varieties of North Korea. *Korean Journal of Breeding* **32**(1), 45-50. (in Korean with English abstract)
- Kim, K. C., 1983: Studies on the effect of temperature during the reduction division and the grain filling stage in rice plants. *Korean Journal of Crop Science* **28**(1), 58-75.
- Kim, Y. H., H. D. Kim, S. W. Han, J. Y. Choi, J. M. Koo, U. Chung, J. Y. Kim, and J. I. Yun, 2002: Using spatial data and crop growth modeling to predict performance of South Korean rice varieties grown in western coastal plains in North Korea. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **4**(4), 224-236. (in Korean with English abstract)
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2021: <http://data.kma.go.kr/cmmn/main.do> (2021. 1. 15).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2018: http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_02_02&vwcd=MT_BUKHAN&parmTabId=M_02_02#SelectStatsBoxDiv (2018. 3. 20).
- Krishnan, P., B. Ramakrishnan, K. R. Reddy, and V. R. Reddy, 2011: High-temperature effects on rice growth, yield, and grain quality. *Advances in Agronomy* **111**, 87-206.
- Lee, C. K., B. W. Lee, Y. H. Yoon, and J. C. Shin, 2001: Temperature response and prediction model of leaf appearance rate in rice. *Korean Journal of Crop Science* **46**(3), 202-208. (in Korean with English abstract)
- Moon, H.-P., 2019: *Handbook of rice varieties adaptable to North Korea*. National Institute of Crop Science and Institute of Northern Agricultural Research, 127pp.
- Park, J.-S., S.-W. Han, Y.-C. Ju, and Y.-D. Rho, 1999: Nitrogen response on growth and yield in rice varieties of North Korea and China. *Korean Journal of International Agriculture*, **11**(4), 363-371. (in Korean with English abstract)
- RDA (Rural Development Administration), 2017: *Quality rice production technologies*. Rural Development Administration, 461pp.
- Tanaka, M., 1950: Practical studies on the injuries of cool weather in rice plant. II. Temperature and heading date need to full development of rice grains. *Japanese Journal of Crop Science* **19**(1-2), 57-61. (in Japanese with English abstract)
- Vergara, B. S., and T. T. Chang, 1985: *The flowering response of the rice plant to photoperiod. A review of the literature*. 4th Ed. The International Rice Research Institute, Philippines, 61pp.
- Yang, W., J.-H. Park, J.-S. Choi, S. Kang, and S. Kim, 2019a: Yield characteristics and related agronomic traits affected by the transplanting date in early maturing varieties of rice in the central plain area of Korea. *Korean Journal of Crop Science* **64**(3), 165-175. (in Korean with English abstract)
- Yang, W., J.-H. Park, J.-S. Choi, T. H. Noh, and S. Kim, 2019b: *Rice cultivation model to improve productivity in North Korea*. National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, 143pp.
- Yang, W., S. Kang, S. Kim, J.-S. Choi, and J.-H. Park, 2018a: Assessment of the safe rice cropping period based on temperature data in different regions of North Korea. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **20**(2), 190-204. (in Korean with English abstract)
- Yang, W., S. Kang, S. Kim, J.-S. Choi, and J.-H. Park, 2018b: Temperature data-based assessment of the marginal heading dates and the growth duration of rice in the regions of North Korea. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **20**(4), 284-295. (in Korean with English abstract)
- Yang, W., S. Kang, S. Kim, J.-S. Choi, and J.-H. Park, 2018c: The heading response of field-grown rice varieties of different ecotypes in Korea. *Korean Journal of Crop Science* **63**(4), 282-293. (in Korean with English abstract)
- Yang, W., S. Peng, and M. L. Dionisio-Sese, 2007: Morphological and photosynthetic responses of rice to low radiation. *Korean Journal of Crop Science*, **52**(1): 1-11. (in Korean with English abstract).
- Yoon, S.-T., 2006: Agricultural status and view of North Korea. *Korean Journal of International Agriculture* **18**(3), 175-182. (in Korean with English abstract)
- Yoshida, S., 1973: Effects of temperature on growth of the rice plant (*Oryza sativa* L.) in a controlled environment. *Soil Science and Plant Nutrition* **19**(4), 299-310.
- Yoshida, S., 1981: *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute, Philippines, 269pp.
- Yun, S.-H., and J.-T. Lee, 2001: Climate change impacts on optimum ripening periods of rice plant

- and its countermeasure in rice cultivation. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **3**(1), 55-70. (in Korean with English abstract)
- Ziska, L. H., O. Namuco, T. Moya, and J. Quilang, 1997: Growth and yield response of field-grown tropical rice to increasing carbon dioxide and air temperature. *Agronomy Journal* **89**, 45-53.