

# 북한 주요 벼 재배지역의 기온과 일장 환경에서 품종의 출수 반응과 지역 적응성 분석

양운호<sup>1,†</sup> · 강신구<sup>2</sup> · 최종서<sup>3</sup> · 이대우<sup>2</sup>

## The Heading Response and Regional Adaptability of Rice Varieties under the Temperature and Day–Length Conditions of Major Rice Production Areas in North Korea

Woonho Yang<sup>1,†</sup>, Shingu Kang<sup>2</sup>, Jong–Seo Choi<sup>3</sup>, and Dae–Woo Lee<sup>2</sup>

**ABSTRACT** The heading responses of rice varieties that originated from South Korea, North Korea, and northern China were examined under the temperature and day-length conditions of 13 major rice production areas in North Korea. Kenjiandao3 and Nongdae3 originated from China, Olbyeol1, Olbyeol2 and Sonbong9 from North Korea, and Joun from South Korea demonstrated the earliest heading stage depending on the regional environment. Out of 40 rice varieties, 34 reached the heading stage within the regional safe marginal heading date (SMHD) under Haeju and Sariwon environmental conditions, while 16 to 17 varieties reached the heading stage under Wonsan, Changjon, Supung, and Yongyon environmental conditions. Some middle and mid-late maturing varieties that originated from South Korea reached the heading stage within the SMHD under the temperature and day-length conditions of Kaesong, Haeju, Sariwon, Nampo, and Pyongyang that are located in the west-southern plain. The majority of early maturing varieties, but not the middle or mid-late ones, reached the heading stage within the SMHD under the environmental conditions of Singye, Anju, Kusong, and Sinuiju. Only a few early maturing varieties demonstrated the heading stage within the SMHD under Yongyon, Changjon, and Wonsan environments. The number of days to heading was highly positively correlated among all regions; however, it was not consistent among the rice varieties. The 40 rice varieties that had been tested were classified into seven groups according to their heading responses to the temperature and day-length variations of the 13 regional conditions at 65% similarity level in cluster analysis.

**Keywords** : day-length, heading response, North Korea, rice, temperature

북한에서 벼는 재배면적이 약 47만 ha로 옥수수 58만 3천 ha 다음으로 많은 주곡 작물인데, 2020/2021년 쌀 가용량이 약 140만 톤으로 수요 193만 톤보다 약 53만 톤 부족하다고 하며(FAO, 2021), 북한의 2012~2019년 평균 10a당 쌀수량은 375 kg으로 남한의 72.4% 수준이다(KOSIS, 2021). Yang *et al.* (2021b)은 북한은 지리적 특성상 경지면적 확대가 어

려우므로 수량 향상이 쌀 생산량 증대에 효과적인 전략이라고 보고하였다. 또한 북한의 쌀 생산성 증대를 위해서는 기후자원을 최대한 활용하는 재배기술적 접근과 재배 가능 기간에 적응하는 다수성 품종의 적용이 함께 이루어져야 한다고 주장하였다.

북한을 대상으로 한 연구결과는 남북 농업교류가 활발하

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구관 (Senior Research Scientist, Crop Cultivation & Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구사 (Research Scientist, Crop Cultivation & Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

<sup>3</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 기술지원과 농업연구사 (Research Scientist, Technology Service Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

†Corresponding author: Woonho Yang; (Phone) +82-31-695-4130; (E-mail) [whyang@korea.kr](mailto:whyang@korea.kr)

<Received 6 September, 2022; Revised 21 October, 2022; Accepted 31 October, 2022>

였던 1990년대 말에서 2000년대 초에 많이 보고되었고(Park *et al.*, 1999; Shin *et al.*, 1998), 이후 북한 농업 연구가 활발하게 진행된 2010년대 말부터 보고되고 있다(Yang *et al.*, 2018a, 2018b, 2021a). 북한 벼 품종은 시비량 증가를 통한 다수확에 남한 품종보다 불리한데, 다비 조건에서 도복 발생이 심해졌기 때문이라고 보고되었다(Park *et al.*, 1999). 북한 적응 품종을 남한에서 육성하는 경우, 육성모지에서 나타난 적정 수준보다 성장량을 증가시켜야 북한 저온지역에서 남한 육성모지 수준의 성장량을 확보할 수 있다(Yang *et al.*, 2021a). 그러므로 Park *et al.* (1999)의 연구 결과는 남한보다 저온지역에 적응한 북한 품종을 기온이 상대적으로 높은 남한지역에서 재배했기 때문에 초장과 성장량이 증가하여 나타난 것으로 볼 수 있다. 최근 Yang *et al.* (2018a, 2018b)은 북한 기상관측 27 지역의 기상분석을 통해 벼 재배가 가능한 23 지역을 구분하고 각 지역의 주요 생육시기와 기간을 보고하였으며, 재배기술을 종합한 지역별 벼 재배모형을 제시하였다(Yang *et al.*, 2019).

북한 적응 다수확 벼 품종을 간접적으로 선정하기 위하여 북한과 기후가 유사한 남-북과 북-중 접경지에서 시험한 결과, 남한 품종 중 10a 당 최대 수량은 623~711 kg으로 북한 품종 중 최고 수량 543~604 kg보다 높아 남한의 다수성 품종을 북한에 적용하여 생산성을 높일 수 있는 것으로 알려졌다(Moon *et al.*, 2019). 이 연구에서 수량성이 높았던 품종은 시험지역에서 일정 시기까지 출수하였다. Kim *et al.* (2002)은 남한 품종 중 수원에서 8월 15일 이전에 출수하는 품종은 북한 서부 평야지 적응성이 높을 것으로 추정하였으며, Yoon *et al.* (2005)은 중국 하얼빈에서 나타난 벼 품종의 필요 유효적산온도를 북한 지역에 적용하여 남한 품종의 안전 재배 가능성을 평가하였다. Yang *et al.* (2020)은 북한과 같은 고위도 저온 지역에 적응하는 벼 품종의 특성은 낮은 등숙적온이 아니라 짧은 생육기간이라고 하였다. 위의 연구보고들은 어떤 지역에 적응하는 벼 품종은 적정 등숙환경(Kim, 1983; Yun & Lee, 2001; Tanaka, 1950)이 주어질 수 있는 안전한 시기에 출수해야 한다는 공통점이 있다. 그러므로 북한 지역에 대한 벼 품종의 적응성은 해당 지역의 적정 출수기 이내에 출수하는지 여부에 따라 1차적으로 결정된다고 할 수 있다(Yang *et al.*, 2021b). 벼 출수의 조만은 품종의 고유한 특성과 기상환경에 따라 달라지며, 기상환경 중에서는 일장과 온도가 큰 영향을 미치는데(Vergara & Chang, 1985; Ahn & Vergara, 1969; Choi *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2018c), 적정 범위 내에서는 고온, 단일에 의하여 출수가 촉진된다.

최근 우리는 보다 직접적으로 적응 품종을 선정하기 위

하여 북한 저온 지역의 기온과 일장 환경에서 남한, 북한, 중국 품종의 출수 반응을 조사하고, 각 지역의 재배기간에 적응하는 품종을 보고하였다(Yang *et al.*, 2021b). 본 연구는 북한에서 벼 재배가 가능한 것으로 보고된 23 지역(Yang *et al.*, 2019) 중 주요 벼 재배지역의 조기이양한계기~출수기 기온과 일장 환경에서 재배기간 적응 품종을 제시하고, 지역 환경 변화에 따른 출수 반응이 유사한 품종군을 구분하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 대상지역 및 기상환경

북한의 주요 벼 재배지역은 Fig. 1과 같으며, 2020년 이들 지역이 위치한 시도의 벼 재배면적은 북한 전체의 82%를 차지한다(FAO, 2021). 개성, 해주, 용연, 사리원, 남포, 평양은 북한의 서남부, 안주, 구성, 신의주, 수풍은 서북부에 위치한다. 이들 중 해주, 용연, 남포, 안주, 신의주는 서해안에 접해있으며, 개성, 사리원, 신계, 평양, 구성, 수풍은 상대적으로 내륙에 위치한다. 장전과 원산은 동남부 동해안에 접해있다. 이들 13 지역은 해발 100 m 이하로 평야지에 해당한다.

이들 지역의 조기이양한계기부터 17주간 평균기온(KMA,

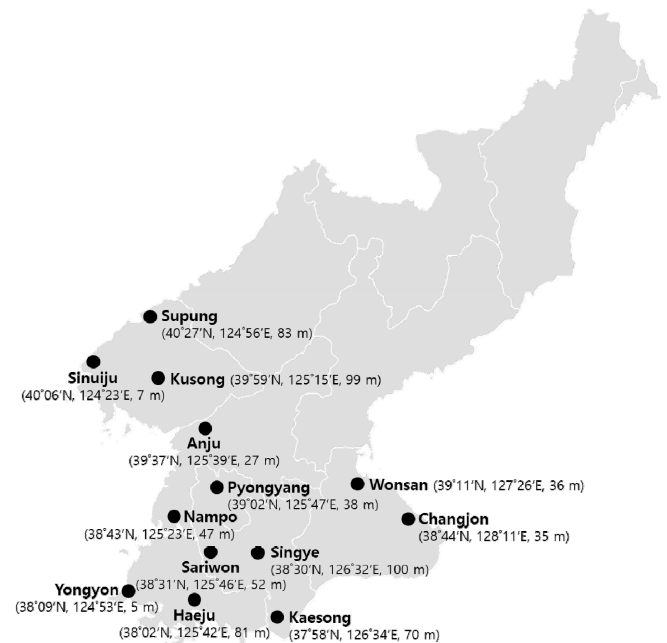


Fig. 1. Location map of the 13 major rice-cropping regions in North Korea, the daily mean temperature and day-length of which were simulated in this study. The values in meter inside parentheses represent elevation.

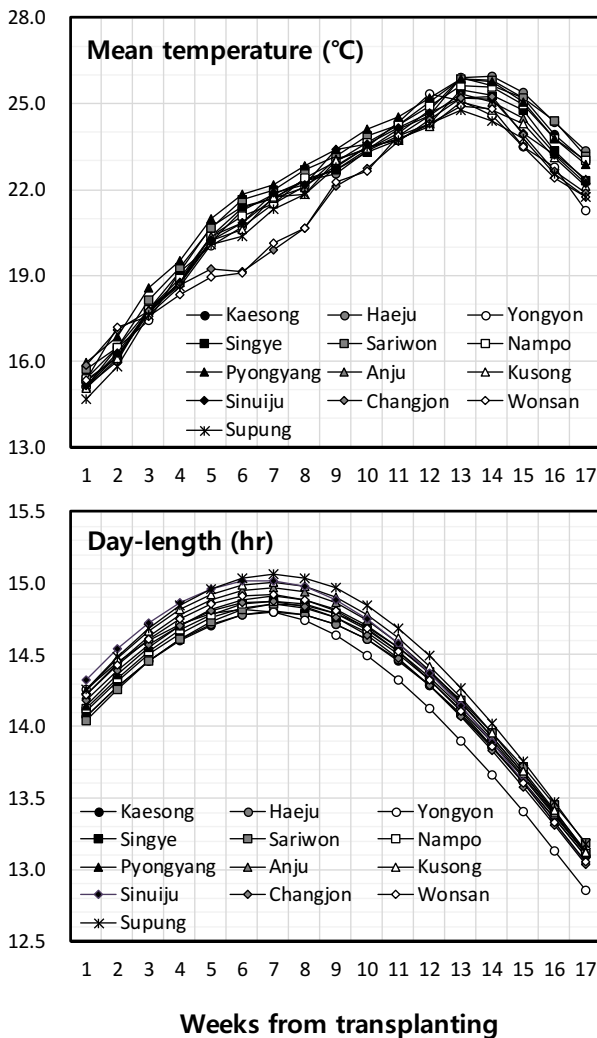


Fig. 2. Changes in weekly mean temperature and day-length for the examined 13 regions in North Korea.

2021)과 일장 변화는 Fig. 2와 같다. 조기이양한계기는 각 지역에서 일 평균기온 14°C (Lee, 1986)가 80% 빈도로 나타나는 늦은 날짜를 의미한다(Yang *et al.*, 2018a). 평균기온은 이양 후 14주까지는 중부 내륙의 평양, 이후에는 서해안 남부의 해주와 용연에서 가장 높았고, 동해안 남부의 장전과 원산에서 이양 후 4주부터 11주까지 가장 낮게 경과하는 특징을 보였다. 일장은 지역에 따라 전체 처리기간 중 약 0.3시간의 차이를 나타내었는데, 위도가 가장 높은 수풍에서 길게 유지되었고 용연에서 이양 후 7주부터 가장 짧게 경과하였다.

### 시험품종

시험재료는 남한, 북한, 중국 동북 3성 품종을 포함하여 40개로 구성하였다(Table 1). 남한 품종은 조생종 14개(진

부을, 백일미, 조운, 조품, 진옥, 조평, 진부, 산호미, 오대, 해들, 은광, 아세미, 조생흑찰, 진미), 중생종 7개(청아, 청품, 하이아미, 대보, 선품, 신보, 알찬미), 중만생종 4개(소비, 삼광, 호품, 새누리)를 공시하여 품종의 생육기간 범위를 넓게 처리하고자 하였다. 북한 품종은 남한 지역 재배에서 조생종으로 분류되는 9개(올벼1, 올벼2, 선봉9, 온포1, 원산69, 길주1, 평도5, 평도15, 평양43)와 중생종으로 분류되는 평양21, 중국 동북 3성 품종은 조생종 5개(Jijing88, Longdao5, Kenjiandao3, Nongdae3, Wuyoudao)를 이용하였다.

### 시험처리 및 재배방법

시험은 국립식량과학원 중부작물부 인공기상실 인공조명실에서 3회에 걸쳐 1차 시험은 2020년 9월~2021년 1월, 2차 시험은 2021년 1월~5월, 3차 시험은 2021년 11월~2022년 2월에 수행하였다. 평균기온과 일장은 시험지역의 조기이양한계기부터 17주간 7일 평균값에 맞추어 조절하였는데, 기온은 정수로 반올림하였고 일장은 오전 5시에 접 등하고 분 단위까지 맞추어 소등 처리하였다. 기온은 대상 지역의 벼 재배기간 중 나타난 평균 일교차 10°C에 맞추어 평균  $\pm 5^\circ\text{C}$ 로, 일사량은 photosynthetic photon flux density (PPFD) 1,200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 처리하였다. 공시품종은 선종, 소독, 최아를 거친 종자를 중묘 산파상자당 마른 종자 기준 130 g 파종하여 30일간 육묘하였는데, 시험시기 차이에 의한 모소질 변화를 최소화하기 위하여 출아 후 인공기상실 정밀유리실의 평균기온  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , 일장 13.5시간 조건에서 육묘하였다. 논흙을 1/5000a 포트에 약 90% 채우고 관수한 후 질소 1 g에 해당하는 완효성비료를 전량 기비로 사용하고 교반하였다. 시험처리 3일 전 포트를 인공조명실에 배치하여 포트환경이 처리 지역의 환경과 같아지도록 하였으며, 시험처리 개시 당일 품종당 1포트, 포트당 3주, 주당 2본의 모를 이양하였다. 본 연구에서 수행한 인공기상실 육묘는 못자리 육묘와, 포트재배는 포장재배와 출수기가 거의 1 : 1 관계를 나타내었다( $P < 0.001$ ). 수원에서 나타나는 출수기를 참고하기 위하여 2020년 5월 6일 시험품종을 국립식량과학원 중부작물부 벼 재배시험 포장에 이양하고 출수기를 조사하였다.

### 출수조사 및 성적분석

출수기는 각 시험차수에서 최초 출수가 관찰된 날부터 매일 오전 9~10시에 포기별로 조사하였으며, 관찰 오류를 방지하기 위하여 한 포기에서 최초 이삭이 출수한 날을 해당 포기의 출수기로 하였다. 출수기를 이양 후 출수소요일수로 환산하고 품종의 평균값을 시험지역의 조기이양한계

**Table 1.** Seed origin and maturity type of the rice varieties tested in this study.

No.	Seed origin	Maturity type	Variety	No.	Seed origin	Maturity Type	Variety
1	South Korea	Early	Jinbuol	21	South Korea	Middle	Alchanmi
2	South Korea	Early	Baegilmi	22	South Korea	Mid-late	Sobi
3	South Korea	Early	Joun	23	South Korea	Mid-late	Samkwang
4	South Korea	Early	Jopum	24	South Korea	Mid-late	Hopum
5	South Korea	Early	Jinok	25	South Korea	Mid-late	Saenuri
6	South Korea	Early	Jopyeong	26	North Korea	Early	Olbyeol
7	South Korea	Early	Jinbu	27	North Korea	Early	Olbyeol2
8	South Korea	Early	Sanhomi	28	North Korea	Early	Sonbong9
9	South Korea	Early	Odae	29	North Korea	Early	Onpol
10	South Korea	Early	Haedeul	30	North Korea	Early	Wonsan69
11	South Korea	Early	Ungwang	31	North Korea	Early	Gilju1
12	South Korea	Early	Asemi	32	North Korea	Early	Pyongdo5
13	South Korea	Early	Josaengheugchal	33	North Korea	Early	Pyongdo15
14	South Korea	Early	Jinmi	34	North Korea	Early	Pyongyang43
15	South Korea	Middle	Cheonga	35	North Korea	Middle	Pyongyang21
16	South Korea	Middle	Cheongpum	36	Northern China	Early	Jijing88
17	South Korea	Middle	Haiami	37	Northern China	Early	Longdao5
18	South Korea	Middle	Daebo	38	Northern China	Early	Kenjiandao3
19	South Korea	Middle	Seonpum	39	Northern China	Early	Nongdae3
20	South Korea	Middle	Sinbo	40	Northern China	Early	Wuyoudao

기부터 안전출수한계기와 출수만한기까지의 기간(Yang *et al.*, 2018a, 2018b)과 비교하여 그 지역의 재배기간 적응성 여부를 평가하였다. 각 지역의 안전출수한계기와 출수만한기는 각각 출수 후 40일간 평균기온 22°C (Kim, 1983; Tanaka, 1950)와 20°C (Kim *et al.*, 2014)에 해당하는 날짜가 80%의 빈도로 나타나는 이른 날짜(Yang *et al.*, 2018a, 2018b)를 적용하였다.

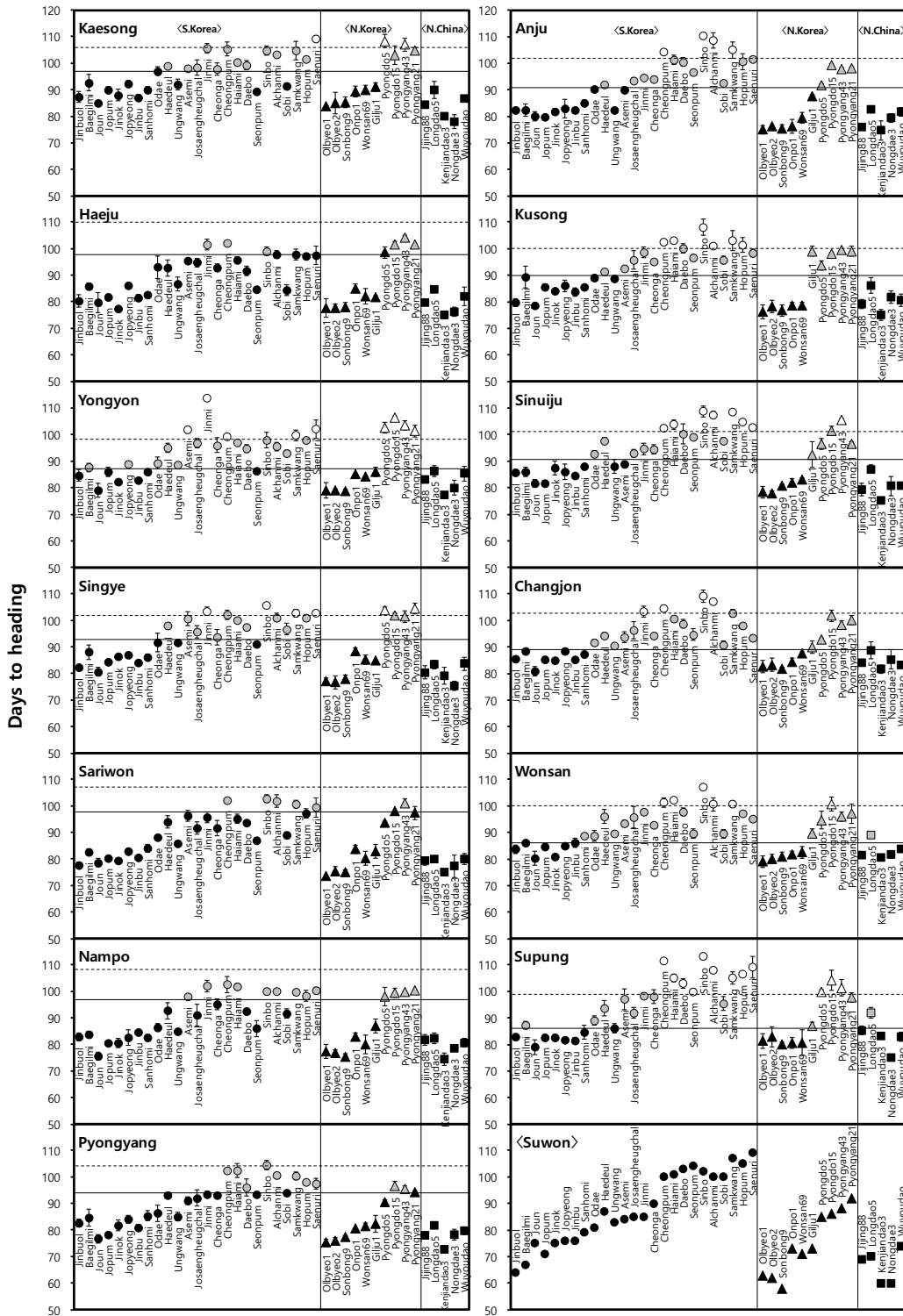
지역간 출수소요일수의 상관 분석을 통해 품종 출수소요일수의 장단이 지역에 따라 달라지는지 검정하였다. 또한 품종간 상관분석을 통해 지역에 따른 출수소요일수 변화 정도가 품종에 따라 다른지 분석하였다. 품종간 상관분석 결과, 북한 지역의 기온과 일장 차이에 따른 출수소요일수가 유의한 관계를 보이지 않는 경우가 다수 나타났으므로, 품종의 유사성 분석을 위하여 Minitab v. 1.7 통계분석 프로그램을 이용하여 주성분분석과 군집분석을 추가로 수행하였다.

## 결과 및 고찰

북한 주요 벼 재배 13 지역의 벼 재배기간 중 기온과 일

장 환경에서 벼 품종의 출수소요일수는 Fig. 3과 같다. 공시 40 품종 평균 출수소요일수는 사리원과 평양에서 88일로 가장 짧고 개성에서 94일로 가장 길어서 지역간 차이는 6일로 나타났다. 평양의 경우 상대적으로 고온에 의하여 (Krishnan *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2001), 사리원의 경우 고온과 이양 후 6주까지의 짧은 일장에 의하여 전체적으로 출수가 촉진된 것(Vergara & Chang, 1985; Ahn & Veragra, 1969)으로 생각된다(Fig. 2 참조).

시험지역의 기온과 일장 조건에서 출수소요일수가 가장 짧았던 품종은 해주, 용연, 평양, 구성, 신의주에서는 Kenjiandao3, 남포에서는 선봉9와 Kenjiandao3, 개성, 신계, 수풍에서는 Nongdae3, 안주에서는 올벼1과 올벼2 및 Kenjiandao3, 사리원과 원산에서는 올벼1, 장전에서는 조운으로 나타났다. 전반적으로 대부분의 지역에서 중국 동북 3성 품종인 Kenjiandao3과 Nongdae3의 출수소요일수가 가장 짧았고, 북한 품종 중 출수가 빨랐던 올벼1, 올벼2, 선봉9는 중국 품종과 출수소요일수가 비슷하거나 약간 늦은 수준이었다. 이러한 결과는 중국 동북 3성 지역 중 북한보다 위도가 높고 기온이 낮은 환경에 적응하는 품종 육성의 결과로



**Fig. 3.** Varietal response of the days to heading under the climatic conditions of the 13 major rice-producing regions in North Korea. Data for Suwon in South Korea were taken under the field condition in 2000 for reference. The error bars represent standard deviations. The solid and dashed lines for each region represent the safe marginal heading date (SMHD) and the late marginal heading date (LMHD), respectively. Circles, triangles, and rectangles represent the varieties that originated from South Korea, North Korea, and northern China, respectively. The varieties represented by black, gray, and white backgrounds for each region reached the heading stage within the SMHD, between the SMHD and the LMHD, and after the LMHD, respectively.

추정된다. 조운은 동해안 남부에 위치한 장전과 원산에서는 모든 품종 중 출수소요일수가 가장 짧은 수준이었고, 남한 품종 중에서는 대부분의 지역에서 출수소요일수가 가장 짧아 북한 저온 10 지역에 대한 연구 결과(Yang *et al.*, 2021b)와 유사하였다. 수원 지역에서 남한 품종 중 출수가 가장 빠른 품종은 진부올인데, 북한 환경에서 진부올보다 조운의 출수가 더 빨랐던 것은 벼 재배기간 중 남한 대비 장일과 저온 환경에 대한 품종의 반응 차이에 기인된 것으로 생각된다. 한편 시험지역 환경에서 출수소요일수가 가장 길었던 품종은 개성에서는 새누리, 해주에서는 평양43, 용연에서는 진미, 남포에서는 청품이었으며, 이외 9 지역에서는 신보로 나타났다. 수원 지역에서 남한 품종 중 출수가 가장 늦은 품종은 새누리였다. 그러나 새누리의 출수가 가장 늦은 지역은 남한과 인접한 개성 뿐이었으며, 다른 지역에서 출수가 가장 늦은 수준을 나타낸 품종은 준조생종인 진미, 중생종인 청품과 신보로 나타나 남한에서 관찰되는 품종의 출수와는 다른 반응을 나타내었다. 이러한 차이는 정상적인 벼 생육 범위에서 출수소요일수의 증감 정도와 가장 민감하게 반응하는 기온과 일장이 품종에 따라 다르기(Yang *et al.*, 2018c) 때문으로 생각된다.

각 지역의 기온과 일장 환경에서 품종별 출수소요일수를 이양 후 안전출수한계기(Yang *et al.*, 2018a) 및 출수만한 기까지의 기간(Yang *et al.*, 2018b)과 비교하였다. 안전출수한계기까지의 기간은 개성, 해주, 사리원, 남포에서 97~98일로 가장 길고, 용연, 원산, 수풍에서 86~87일로 가장 짧다고 보고되었다(Yang *et al.*, 2018a). 시험지역 중 안전출수한계기까지 출수한 품종은 해주와 사리원 환경에서 34개로 가장 많았고, 원산, 장전, 수풍, 용연에서 16-17개로 가장 적었다. 남한 조생종 등 7품종(진부올, 백일미, 조운, 조품, 진옥, 조평, 진부, 산호미)은 대부분의 지역 조건에서 안전출수한계기까지 출수하여 안전재배가 가능할 것으로 평가되었다. 위의 7품종 중 용연에서는 백일미와 조평, 원산에서는 산호미, 수풍에서는 백일미가 안전출수한계기 직후 출수하였다. 사리원과 평양 환경에서는 남한 조생종 모든 품종, 해주에서는 진미, 남포에서는 아세미와 진미를 제외한 모든 남한 조생종이 안전출수한계기까지 출수하여 남한 조생종 대부분의 안전재배가 가능할 것으로 판단되었다. 남한 조생종 중 안전출수한계기 이후 출수한 품종은 안주에서 3, 개성, 신계, 구성, 신의주에서 4, 장전과 수풍에서 6, 원산에서 7, 용연에서 8품종이었다. 안주, 구성, 신의주, 장전, 원산, 수풍의 6지역 환경에서는 남한 중생종과 중만생종 모든 품종이 안전출수한계기 이후 출수하였다. 개성 환경에서는 중생종 선품과 중만생종 소비, 해주 조건에서

는 청품과 신보를 제외한 모든 중생종과 중만생종, 용연과 신계에서는 선품이 안전출수한계기까지 출수하였다. 사리원에서는 남한 중생종 4품종(청아, 하이아미, 대보, 선품)과 중만생종 2품종(소비, 호품), 남포에서는 중생종 3품종(청아, 대보, 선품)과 중만생종 소비, 평양 환경에서는 중생종 2품종(청아, 선품)과 중만생종 소비가 안전출수한계기 내에 출수하였다. 재배기간을 출수만한기까지 확대하면 해주, 사리원, 남포, 평양 조건에서는 공시한 모든 품종의 재배가 가능하여 품종 선택의 폭이 컸다. 이러한 결과는 북한 서부 평야지에 적응성이 높은 품종을 수원 지역에서 8월 15일 이전에 출수하는 중생종까지로 추정한 이전의 보고(Kim *et al.*, 2002)와 차이를 보이는데, 그 연구에서 공간정보와 생육모의를 통한 분석 방법이 지역 환경에 맞추어 조절된 본 연구의 처리 방법과 달랐기 때문으로 생각되었다.

북한 품종은 개성, 해주, 용연, 신계, 사리원, 평양 환경에서 출수가 가장 빠른 품종군(올벼1, 올벼2, 선봉9), 중간 정도인 품종군(온포1, 원산69, 길주1), 늦은 품종군(평도5, 평도15, 평양43, 평양21)으로 분류되었다. 그러나 서해안 중부에 위치한 안주, 구성, 신의주와 동해안 남부에 위치한 장전과 원산에서는 올벼1, 올벼2, 선봉9, 온포1, 원산69의 출수기 차이가 적어졌으며, 이들 5품종은 모든 지역의 환경에서 안전출수한계기 내에 출수하였다. 평도5, 평도15, 평양43, 평양21의 출수소요일수는 기온이 가장 높게 경과한 평양에서 가장 짧았으나(Fig. 2 참고), 이들 중 평도15와 평양43은 안전출수한계기 이후에 출수하였다. 중국 동북 3성 품종은 원산과 수풍의 Longdao5를 제외한 모든 경우에 안전출수한계기까지 출수하였다.

종합적으로, 개성, 해주, 사리원, 남포, 평양과 같은 서남부 평야지에서는 남한 품종 중 일부 중생종과 중만생종까지 안전 재배가 가능하고, 서북부 평야지와 동해안 남부 지역에서는 조생종 재배가 안전할 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 기계이양 재배를 전제로 30일 중묘를 이용하였으나, 북한에서 일반적으로 못자리에 파종하여 2~3개의 분얼이 발생할 때까지 육묘하는 방법(Shin *et al.*, 1998; Yang *et al.*, 2019)에 따른다면 출수소요일수가 본 연구에서 나타난 것보다 짧아지고 지역별 안전출수한계기 내에 출수하는 품종이 많아질 것으로 생각된다. 예로, 본 연구의 평양 조건에서 안전출수한계기 이후에 출수한 평도15와 평양43의 경우 북한의 일반적인 육묘 방법에 따른다면 안전출수한계기 내에 출수할 가능성이 커진다 하겠다.

출수소요일수의 지역간 상관분석 결과, 모든 13 지역은 고도로 유의한 정의 상관관계를 보여(Table 2), 한 지역에서 출수소요일수가 짧은 품종은 다른 지역에서도 짧았다.

**Table 2.** Correlation matrix of the number of days from transplanting to heading stage of rice varieties among the climatic conditions of the 13 major rice-cropping regions in North Korea.

	Haeju	Yongyon	Singye	Sariwon	Nampo	Pyongyang	Anju	Kusong	Sinuiju	Changjon	Wonsan	Supung
Kaesong	0.966**	0.931**	0.954**	0.940**	0.936**	0.876**	0.863**	0.854**	0.867**	0.862**	0.891**	0.872**
Haeju	-	0.948**	0.947**	0.956**	0.948**	0.880**	0.861**	0.846**	0.847**	0.894**	0.907**	0.863**
Yongyon		-	0.936**	0.907**	0.942**	0.836**	0.801**	0.823**	0.790**	0.843**	0.863**	0.813**
Singye			-	0.968**	0.959**	0.927**	0.896**	0.889**	0.894**	0.894**	0.919**	0.892**
Sariwon				-	0.966**	0.952**	0.941**	0.912**	0.927**	0.932**	0.946**	0.923**
Nampo					-	0.936**	0.911**	0.910**	0.897**	0.914**	0.936**	0.912**
Pyongyang						-	0.974**	0.941**	0.964**	0.943**	0.952**	0.941**
Anju							-	0.952**	0.972**	0.948**	0.949**	0.948**
Kusong								-	0.946**	0.928**	0.942**	0.908**
Sinuiju									-	0.914**	0.925**	0.925**
Changjon										-	0.963**	0.908**
Wonsan											-	0.925**

\*\* Significant at  $P < 0.01$ .

**Table 3.** Correlation matrix of the number of days from transplanting to heading stage among the rice varieties under the climatic conditions of the 13 major rice-producing regions in North Korea.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40				
1	ns	ns	ns	*	*	**	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	*	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*			
2	-	*	**	*	**	*	*	*	ns	**	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	*	**	*	ns	**				
3		-	*	**	**	*	**	**	*	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	**	ns	**	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*			
4			-	*	**	**	*	*	ns	**	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	*	**	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*			
5				-	*	*	**	*	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	**	*	ns	ns	ns	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns			
6					-	*	*	**	*	**	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	*	**	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	**		
7						-	**	ns	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
8							-	ns	**	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	
9								-	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	*	**	ns	*	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	
10									-	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	
11										-	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	**	**	**	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	
12											-	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	*	ns	**	*	ns	**	*	ns	ns	*	
13												-	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	
14													-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	**	ns	**	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	**	
15														-	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	ns	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*	
16															-	ns	*	*	*	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
17																-	**	**	**	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
18																	-	**	**	**	*	**	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	
19																		-	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
20																			-	**	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
21																				-	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
22																					-	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
23																						-	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
24																							-	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
25																								-	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	
26																									-	**	**	ns	**	ns	ns	*	ns	ns	**	**	*	ns	ns	**	**	ns	**
27																										-	**	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	ns	**
28																											-	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	*	ns	**	
29																												-	**	ns	**	ns	*	**	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	*	
30																												-	ns	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	
31																												-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	
32																													-	**	**	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	
33																													-	*	ns	**	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**		
34																													-	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	
35																													-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	
36																													-	**	**	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*		
37																													-	**	**	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*		
38																														-	**	**	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**		
39																														-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

Each number represents the corresponding variety shown in Table 1.  
 \*, \*\*, and ns Significant at  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ , and not significant, respectively.





를 적용한 재배가 타당할 것으로 판단된다. 북한의 서남부 지역 환경에서는 중생종과 중만생종 일부 품종까지 안전 재배가 가능하며, 서북부와 동해안 남부 지역 환경에서는 조생종 재배가 안전한 것으로 분석되었다. 지역 환경에 대한 출수소요일수 변화는 약 65% 유사도에서 7개 품종군으로 구분되었으며, 출수생태 특성을 밝히기 위한 추가 연구의 필요성이 제기되었다.

## 적 요

북한 주요 벼 재배지역의 재배기간 및 환경 적응 벼 품종을 선정하기 위하여, 13 지역의 조기이양한계기~출수기 기간 중 기온과 일장 변화 조건에서 남한, 북한, 중국 동북 3성의 40개 품종을 공시하여 출수 반응 차이를 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 북한 주요 벼 재배지역 환경에서 출수가 가장 빨랐던 품종은 지역에 따라 중국 동북 3성 품종 중 Kenjiandao3, Nongdae3과 북한 품종 중 올벼1, 올벼2, 선봉9로 나타났다. 동해안 남부의 장전과 원산에서는 남한 품종인 조운이 가장 빠른 수준을 보였다.
2. 시험 대상 13 지역 중 안전출수한계기까지 출수한 품종은 해주와 사리원 환경에서 34개로 가장 많았고, 원산, 장전, 수풍, 용연에서 16~17개로 가장 적었다.
3. 북한 서남부 평야지에 위치한 개성, 해주, 사리원, 남포, 평양 조건에서는 남한 품종 중 일부 중생종과 중만생종까지 안전출수한계기 이내에 출수하였다.
4. 서남부 평야지 중 해발이 가장 높은 신계와 중서부 평야지의 안주, 구성, 신의주에서는 남한 조생종 14 품종 중 10~11개가 안전출수한계기까지 출수하였다.
5. 서남부 평야지 중 기온이 낮아 조기이양한계기~안전출수한계기 기간이 짧은 용연, 동해안 남부의 장전과 원산 환경에서는 남한 조생종 중 출수가 빠른 6~8 품종만 안전출수한계기까지 출수하였다.
6. 출수소요일수는 모든 지역 사이에 고도로 유의한 정의 상관관을 보였으나, 지역 환경에 따른 출수소요일수 변화의 품종간 상관관은 유의하지 않은 경우가 많았다.
7. 시험 대상 지역 환경의 변화에 따른 출수소요일수 반응은 군집분석의 유사도 65% 수준에서 ① 진부울, 산호미, 선봉9, 진부, ② 백일미, 조품, 운광, 조평, 조생흑찰, 조운, 오대, 해들, 온포1, 원산69, ③ 올벼1, 올벼2, Longdao5, Jijing88, Kenjiandao3, 평도15, Wuyoudao, ④ 아세미, 진미, 평도5, 평양21, 평양43, ⑤ 길주1, Nongdae3, ⑥

진옥, 소비, 하이아미, 대보, 신보, 선품, 알찬미, 삼광, 호품, ⑦ 청아, 새누리, 청품의 7개 군으로 구분되었다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명 : 기후 변화 대응 북한지역 식량작물 재배적지 선정, 주관연구번호 : PJ01480602)의 지원으로 이루어진 것임

## 인용문헌(REFERENCES)

- Ahn, S. and V. S. Vergara. 1969. Studies on responses of the rice plant to photoperiod. III. Response of Korean varieties. *Korean J. Crop Sci.* 5 : 45-59.
- 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 J. Crop Sci.* 51(1) : 41-47.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 2021. GIEWS Update: The Democratic People's Republic of Korea, Food supply and demand outlook in 2020/2021 (November/October) 14 June 2021 p. 8.
- Kim, J., J. Shon, H. Jwong, W. Yang, C. K. Lee, and K. S. Kim. 2014. Statistical assessment of the late marginal heading date for normal maturation of temperate japonica rice in South Korea. *J. Crop Sci. Biotech.* 17(4) : 247-253.
- Kim, K. C. 1983. Studies on the effect of temperature during the reduction division and the grain filling stage in rice plants. *Korean J. Crop Sci.* 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 J. Agric. Forest Meteorol.* 4(4) : 224-236.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2021. <http://data.kma.go.kr/cmnm/main.do> (2021. 1. 15).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2021. [http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M\\_02\\_02&vwcd=MT\\_BUKHAN&parmTabId=M\\_02\\_02#SelectStatsBoxDiv](http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_02_02&vwcd=MT_BUKHAN&parmTabId=M_02_02#SelectStatsBoxDiv) (2022. 7. 12).
- 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 J. Crop Sci.* 46(3) : 202-208.
- Lee, E.-W. 1986. Rice cropping (4th ed.) Hyangmoonsa. pp. 194.
- Moon, H.-P., D.-H. Kim, E.-G. Jeong, Y.-J. Won, H.-K. Park, J.-J. Kim, K.-H. Jeong, E.-K. Ahn, W.-J. Hyun, H.-M. Park, B.-J. Kim, S.-H. Cho, H.-G. Hwang, S.-Y. Cho, S.-Y. Kim,

- W.-S. Seo, H. Ju, and M. Oh. 2019. Handbook of rice varieties adaptable to North Korea. National Institute of Crop Science and Institute of Northern Agricultural Research. p. 127.
- 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 J. Intl. Agri.* 11(4) : 363-371.
- Shin, D.-W., S.-H. Park, g. Y. Park, J. H. Kim, K. S. Lee, and S. P. Lee. 1998. Agricultural technologies in North Korea. Osung press, Seoul. pp. 110-117.
- 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 J. Crop Sci.* 19(1-2) : 57-61.
- 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. p. 61.
- Yang, W., J.-H. Park, J.-S. Choi, T. H. Noh, and S. Kim. 2019. Rice cultivation model to improve productivity in North Korea. National Institute of Crop Science, Rural Development Administration. p. 143.
- Yang, W., J.-S. Choi, D.-W. Lee, S. Kang, S. Lee, and M.-J. Chae. 2021a. Growth at heading stage of rice affected by temperature and assessment of the target growth applicable to North Korea for breeding in South Korea. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.* 23(2) : 108-121.
- Yang, W., S. Kang, J.-S. Choi, D.-W. Lee, S. Lee, and M.-J. Chae. 2021b. Heading response of rice varieties under temperature and day-length conditions of low-temperature regions in North Korea. *Korean J. Crop Sci.* 66(3) : 190-200.
- Yang, W., S. Kang, J.-S. Choi, J.-H. Park, and S. Kim. 2020. Optimum grain filling temperature for yield improvement of rice varieties originated from high-altitude areas. *Korean J. Crop Sci.* 65(3) : 182-191.
- 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 J. Agric. Forest Meteorol.* 20(2) : 190-204.
- 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 J. Agric. Forest Meteorol.* 20(4) : 284-295.
- 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 J. Crop Sci.* 63(4) : 282-293.
- Yoon, S.-T., H.-H. Kim, and H.-Y. Kim. 2005. Study on the arrangement of high-yielding rice varieties for North Korea's climate. *Korean J. Intl. Agri.* 17(4) : 243-251.
- 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 J. Agric. Forest Meteorol.* 3(1) : 55-70.

**Supplementary data.** The number of days from transplanting to heading stage of rice varieties under the temperature and day-length conditions of the major rice-producing regions in North Korea.

Variety	Kaesong	Haeju	Yongyon	Singye	Sariwon	Nampo	Pyongyang
Jinbuol	87 ± 2	80 ± 2	85 ± 2	82 ± 1	78 ± 1	83 ± 1	83 ± 2
Baegilmi	93 ± 3	86 ± 1	88 ± 2	88 ± 3	83 ± 1	84 ± 1	85 ± 3
Joun	85 ± 0	80 ± 4	79 ± 3	81 ± 2	79 ± 2	76 ± 2	77 ± 2
Jopum	90 ± 1	82 ± 1	86 ± 2	84 ± 1	80 ± 1	81 ± 1	78 ± 1
Jinok	88 ± 2	77 ± 0	82 ± 0	86 ± 1	79 ± 1	81 ± 2	82 ± 2
Jopyeong	92 ± 1	86 ± 0	89 ± 1	87 ± 1	83 ± 1	83 ± 3	84 ± 2
Jinbu	87 ± 1	81 ± 1	83 ± 0	84 ± 0	81 ± 1	85 ± 1	81 ± 1
Sanhomi	90 ± 1	83 ± 1	86 ± 0	86 ± 1	84 ± 2	83 ± 1	85 ± 2
Odae	97 ± 2	93 ± 4	89 ± 2	92 ± 3	88 ± 1	86 ± 2	86 ± 3
Haedeul	99 ± 1	93 ± 3	95 ± 2	98 ± 1	94 ± 2	93 ± 3	93 ± 1
Ungwang	92 ± 2	87 ± 3	89 ± 1	92 ± 1	86 ± 1	85 ± 1	85 ± 2
Asemi	98 ± 0	95 ± 1	102 ± 1	101 ± 3	96 ± 2	98 ± 1	91 ± 2
Josaengheugchal	98 ± 3	95 ± 2	97 ± 2	96 ± 2	92 ± 2	91 ± 4	92 ± 3
Jinmi	106 ± 2	102 ± 2	114 ± 1	103 ± 2	96 ± 2	102 ± 2	93 ± 1
Cheonga	98 ± 2	93 ± 1	96 ± 3	94 ± 3	92 ± 3	95 ± 2	93 ± 1
Cheongpum	105 ± 3	102 ± 1	99 ± 1	102 ± 2	102 ± 1	103 ± 3	102 ± 0
Haiami	100 ± 1	96 ± 1	97 ± 0	100 ± 1	95 ± 2	102 ± 1	102 ± 3
Daebo	99 ± 2	92 ± 2	95 ± 2	97 ± 1	94 ± 0	93 ± 1	96 ± 3
Seonpum	89 ± 0	85 ± 1	86 ± 0	91 ± 0	87 ± 1	86 ± 3	93 ± 0
Sinbo	105 ± 2	99 ± 2	98 ± 3	106 ± 1	103 ± 2	100 ± 1	104 ± 2
Alchanmi	103 ± 0	98 ± 2	96 ± 2	101 ± 2	102 ± 2	100 ± 0	101 ± 0
Sobi	91 ± 1	84 ± 2	93 ± 1	97 ± 2	89 ± 1	92 ± 2	94 ± 0
Samkwang	105 ± 4	98 ± 2	100 ± 2	103 ± 2	101 ± 2	100 ± 1	100 ± 2
Hopum	102 ± 0	97 ± 1	98 ± 0	101 ± 1	97 ± 2	98 ± 2	98 ± 1
Saenuri	109 ± 1	98 ± 4	102 ± 4	103 ± 1	99 ± 4	100 ± 1	97 ± 2
Olbyeol	84 ± 0	78 ± 4	79 ± 3	77 ± 1	74 ± 0	77 ± 3	75 ± 1
Olbyeol2	85 ± 4	78 ± 1	79 ± 1	77 ± 3	75 ± 2	77 ± 1	76 ± 1
Sonbong9	85 ± 2	78 ± 2	79 ± 1	78 ± 2	75 ± 1	75 ± 1	77 ± 1
Onpo1	89 ± 2	85 ± 2	85 ± 0	89 ± 1	84 ± 2	83 ± 1	81 ± 0
Wonsan69	90 ± 2	82 ± 3	84 ± 0	85 ± 2	80 ± 3	80 ± 4	81 ± 1
Giljul	91 ± 2	82 ± 1	86 ± 2	85 ± 0	83 ± 3	87 ± 3	82 ± 3
Pyongdo5	108 ± 3	99 ± 2	103 ± 2	104 ± 1	94 ± 1	98 ± 4	90 ± 1
Pyongdo15	103 ± 4	102 ± 1	106 ± 1	102 ± 1	98 ± 0	99 ± 2	97 ± 2
Pyongyang43	107 ± 3	104 ± 1	104 ± 2	101 ± 2	101 ± 2	100 ± 0	95 ± 1
Pyongyang21	105 ± 1	101 ± 1	101 ± 2	104 ± 2	97 ± 3	100 ± 0	94 ± 1
Jijing88	84 ± 1	80 ± 1	83 ± 1	80 ± 3	79 ± 2	82 ± 2	78 ± 2
Longdao5	90 ± 3	85 ± 1	86 ± 2	83 ± 2	80 ± 0	82 ± 2	82 ± 0
Kenjiandao3	80 ± 1	75 ± 2	77 ± 1	79 ± 3	75 ± 1	75 ± 2	73 ± 2
Nongdae3	78 ± 3	76 ± 2	80 ± 3	75 ± 2	77 ± 4	79 ± 1	78 ± 2
Wuyoudao	87 ± 0	82 ± 4	85 ± 3	84 ± 3	80 ± 2	81 ± 2	80 ± 2
Mean	94	89	91	91	88	89	88

## Supplementary data. Continued.

Variety	Anju	Kusong	Sinuiju	Changjon	Wonsan	Supung	Mean	<Suwon>
Jinbuol	82 ± 1	80 ± 2	86 ± 1	86 ± 1	84 ± 2	83 ± 1	83	64
Baegilmi	82 ± 2	89 ± 4	86 ± 2	89 ± 1	86 ± 1	87 ± 2	87	67
Joun	80 ± 2	79 ± 1	82 ± 2	81 ± 2	80 ± 3	79 ± 3	80	75
Jopum	80 ± 1	86 ± 1	82 ± 1	85 ± 1	85 ± 1	83 ± 1	83	71
Jinok	82 ± 1	84 ± 1	88 ± 3	85 ± 1	81 ± 1	83 ± 1	83	75
Jopyeong	83 ± 4	86 ± 2	86 ± 3	88 ± 1	85 ± 1	82 ± 1	86	76
Jinbu	82 ± 1	84 ± 2	85 ± 1	85 ± 1	86 ± 2	81 ± 1	83	76
Sanhomi	85 ± 1	86 ± 1	88 ± 1	87 ± 1	89 ± 0	85 ± 3	86	79
Odae	90 ± 1	89 ± 1	93 ± 1	92 ± 1	89 ± 2	89 ± 2	90	81
Haedeul	92 ± 0	91 ± 0	98 ± 1	94 ± 1	96 ± 3	94 ± 3	95	87
Ungwang	82 ± 1	89 ± 1	88 ± 3	90 ± 1	90 ± 0	86 ± 2	88	83
Asemi	90 ± 1	93 ± 1	89 ± 1	94 ± 2	93 ± 1	97 ± 4	95	84
Josaengheugchal	93 ± 1	96 ± 4	93 ± 2	96 ± 3	96 ± 4	92 ± 2	94	85
Jinmi	95 ± 1	99 ± 2	95 ± 2	103 ± 2	98 ± 1	98 ± 1	100	85
Cheonga	94 ± 0	95 ± 1	94 ± 2	94 ± 1	93 ± 0	98 ± 3	94	90
Cheongpum	104 ± 1	102 ± 1	102 ± 1	104 ± 1	101 ± 2	111 ± 1	103	100
Haiami	101 ± 2	103 ± 1	104 ± 2	101 ± 1	102 ± 1	105 ± 2	101	101
Daebo	101 ± 2	100 ± 2	100 ± 4	99 ± 2	98 ± 2	103 ± 2	97	103
Seonpum	97 ± 0	97 ± 1	99 ± 1	95 ± 2	90 ± 2	100 ± 1	92	104
Sinbo	110 ± 1	108 ± 3	109 ± 2	109 ± 2	107 ± 1	113 ± 1	105	102
Alchanmi	109 ± 3	101 ± 1	107 ± 1	107 ± 1	101 ± 3	108 ± 1	102	100
Sobi	93 ± 1	96 ± 2	98 ± 1	91 ± 2	90 ± 2	95 ± 3	92	100
Samkwang	105 ± 3	103 ± 4	108 ± 1	103 ± 2	101 ± 1	105 ± 2	102	107
Hopum	101 ± 3	101 ± 3	105 ± 1	98 ± 1	97 ± 1	106 ± 0	100	105
Saenuri	102 ± 1	98 ± 2	103 ± 1	93 ± 1	95 ± 1	109 ± 4	101	109
Olbyeol	75 ± 2	76 ± 3	78 ± 2	83 ± 2	79 ± 2	81 ± 3	78	63
Olbyeol2	76 ± 1	78 ± 2	78 ± 1	83 ± 3	80 ± 2	83 ± 4	79	62
Sonbong9	75 ± 2	77 ± 2	81 ± 1	82 ± 1	81 ± 2	80 ± 1	79	58
Onpo1	76 ± 3	79 ± 1	82 ± 2	84 ± 2	82 ± 1	81 ± 2	83	73
Wonsan69	80 ± 2	79 ± 1	83 ± 1	88 ± 1	83 ± 2	81 ± 5	83	71
Giljul	88 ± 1	99 ± 2	93 ± 5	90 ± 2	90 ± 2	87 ± 1	88	73
Pyongdo5	92 ± 1	94 ± 2	97 ± 2	93 ± 1	95 ± 3	100 ± 1	97	85
Pyongdo15	99 ± 1	98 ± 1	101 ± 2	102 ± 2	101 ± 3	104 ± 4	101	86
Pyongyang43	98 ± 1	99 ± 0	106 ± 1	98 ± 1	96 ± 2	101 ± 3	101	88
Pyongyang21	98 ± 1	99 ± 2	96 ± 1	100 ± 2	97 ± 4	98 ± 2	99	92
Jijing88	76 ± 1	79 ± 2	79 ± 2	84 ± 1	81 ± 1	85 ± 2	81	69
Longdao5	83 ± 1	86 ± 3	87 ± 2	89 ± 3	89 ± 1	92 ± 2	86	70
Kenjiandao3	75 ± 4	75 ± 2	75 ± 1	82 ± 2	81 ± 1	83 ± 1	77	60
Nongdae3	79 ± 2	82 ± 2	81 ± 4	85 ± 4	82 ± 1	75 ± 1	79	60
Wuyoudao	82 ± 2	81 ± 2	81 ± 1	83 ± 1	84 ± 1	83 ± 2	82	74
Mean	89	90	92	92	90	92	-	82

Data are presented as the means ± standard deviations. Data for <Suwon> were taken in 2020 field condition for reference.