

북한 지역의 기온 자료를 활용한 벼 출수 한계기 및 재배 기간 분석

양운호* · 강신구 · 김숙진 · 최중서 · 박정화

농촌진흥청 국립식량과학원 재배환경과

(2018년 10월 25일 접수; 2018년 11월 16일 수정; 2018년 12월 6일 수락)

Temperature Data-Based Assessment of the Marginal Heading Dates and the Growth Duration of Rice in the Regions of North Korea

Woonho Yang*, Shingu Kang, Sukjin Kim, Jong-Seo Choi and Jeong-Hwa Park

*Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science,
Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea*

(Received October 25, 2018; Revised November 16, 2018; Accepted December 6, 2018)

ABSTRACT

The safe and late marginal heading dates (SMHD, LMHD), cropping probability, and growth duration of rice were assessed using temperature data in the 27 regions of North Korea. The medians of SMHD and LMHD ranged Jul. 16 and Jul. 27 in Hyesan to Aug. 18 and Aug. 28 in Haeju, respectively, except Changjin, Pungsan, and Samjiyon that did not show any of the SMHD and LMHD. The medians of the days from early marginal transplanting date (EMTD) to heading date ranged 51 days in Hyesan to 109 days in Pyongyang for SMHD and those were delayed by 9~15 days for LMHD, compared to SMHD. Nineteen regions (Kaesong, Haeju, Yongyon, Singye, Sariwon, Nampo, Pyongyang, Anju, Kusong, Sinuiju, Changjon, Wonsan, Hamhung, Pyonggang, Yangdok, Huichon, Supung, Sinpo, Kanggye) and additional four regions (Kimchaek, Chongjin, Sonbong, Chunggang) had the rice cropping probability higher than 80% when analyzed based on the SMHD and LMHD, respectively. The representative SMHD ranged Jul. 24 for Pyonggang to Aug. 12 for Haeju. Compared to the days from EMTD to SMHD, those from EMTD to LMHD were delayed by 9~17 days. When applied SMHD, thirteen regions (Yangdok, Kanggye, Huichon, Supung, Yongyon, Kusong, Anju, Sinuiju, Singye, Pyongyang, Kaesong, Nampo, Sariwon) had the appropriate range of cumulative temperature during grain filling (CT) for grain yield and quality. Sinpo, Hamhung, Pyonggang, Wonsan, Changjon, and Haeju had the CT higher than 1,300°C. It is supposed that rice cropping could be extended to the regions where LMHD-applied cropping probability was higher than 80%. Delaying the heading date than SMHD could be also considered in the regions where the days to SMHD is small but CT is large.

Key words: Growth duration, Late marginal heading date, North Korea, Rice, Safe marginal heading date



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

I. 서 론

북한은 옥수수과 벼가 경사지를 제외한 전체 농경지 약 146만 ha에서 각각 37.4%와 32.2%를 차지하는 주 작물이다(FAO, 2017). 북한은 최근까지도 만성적 식량 부족 상황에서 벗어나지 못하고 있으므로(FAO, 2017), 이들 주 작물의 생산 증대는 식량 부족 완화에 효과가 클 것이다. 북한 식량 부족의 원인으로, 사회 체제, 농업의 형태, 자원 부족 등 여러 가지가 제시되었는데(Choe, 1998; Yoon, 2006), 결국은 낮은 생산성으로 귀결된다. 주 작물 중 하나인 쌀의 경우 2012~2016년 평균 생산성이 남한 대비 70% 수준으로 낮다(KOSIS, 2018). 남한 대비 북한의 쌀 생산성이 낮은 환경·재배적 요인으로는 기후 부적합과 재배기술 적용의 비효율성 등이 제시되었다(Yang *et al.*, 2018). 북한 지역의 쌀 생산성 증대를 위해서는 지역별 기후 환경에 적합한 재배시기의 결정이 중요하겠으나, 이에 대한 실질적 검토는 제한적이다. 이러한 제한 때문에 국내에서 북한 지역을 대상으로 한 벼 연구는 수집된 북한 품종의 특성 평가와 모형 분야 중심으로 이루어져 왔다.

북한 벼 품종에 대하여는 내냉성 평가(Jeong *et al.*, 2000), 질소 시비 반응(Park *et al.*, 1999), 출수생태 특성(Noh *et al.*, 1997; Yang *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2004)에 대한 연구 결과가 보고되었다. 또한 북한 지역별 북한 품종들의 적응 분포(Yun and Lee, 2000), 남한 품종의 적응성(Kim *et al.*, 2002), 지역별 적산온도에 적합한 품종 배치(Yoon *et al.*, 2005)에 관한 연구가 수행되었다. 작물 재배를 위한 강수 기후도(Yun, 2000; Kim and Yun, 2011)와 일사량 분포도(Yun and Lee, 2000; Choi and Yun, 2011)와 같은 북한 기상 모형 연구 결과도 보고되었다.

기상 환경 중 기온은 벼의 이앙기, 출수기, 수확기와 같은 주요 생육 시기의 결정에 중요한 지표가 된다. 최근 우리는 북한 기상 관측 27개 지역의 기온 자료를 활용하여 지역별 안전 조기 이앙 한계기, 안전 출수기 및 수확 한계기를 설정하고 생육 기간을 분석하였다(Yang *et al.*, 2018). 어떤 특정 지역에서 벼의 출수기는 이앙기-출수기 및 출수기-수확기의 기간을 좌우하며, 출수기에 따라 결정되는 재배 기간의 장단과 그 기간 중의 기상 환경은 벼의 생육과 수량에 큰 영향을 미친다. 벼의 수량은 출수기까지 식물체에 저장되어 있던 양분의 전류보다 등숙기간의 광합성에 더 크게

영향을 받기 때문에(Cock and Yoshida, 1972), 적절한 출수기는 등숙 기간의 기온을 기준으로 결정된다.

벼의 수량 증대를 위한 기준 온도는 출수 후 40일간 평균 22°C로 보고되었다(Kim, 1983; Tanaka, 1950; Yun and Lee, 2001). Tanaka(1950)는 이에 해당하는 시기를 완전 등숙을 위한 출수 한계기(critical heading date for full development of grains)로 명명하였으며, 이 시기는 안전 출수 한계기(safe marginal heading date, SMHD)라고도 한다. 쌀 품질 지표 중 하나인 천립중 향상에 적합한 온도는 출수 후 30일간 평균 22.2°C로 알려졌다(Choi *et al.*, 2011), 수량과 품질 향상을 위한 수확 적기는 출수 후 적산온도가 1,100~1,200°C 되는 시기로 보고되었다(Chae and Jun, 2002; Kim *et al.*, 2005). 최근 우리는 북한의 벼 안전 재배 지역을 평가하기 위하여, 위에 보고된 출수 후 40일간 평균 22°C 이상과 등숙 적산 온도 1,200°C를 모두 충족하는 시기를 지역별 안전 출수기(safe heading date, SHD)로 설정하고 안전 재배 가능 빈도를 분석하였다(Yang *et al.*, 2018).

벼 출수기에 대한 다른 하나의 기준으로 Kim *et al.*(2014)은 벼의 정상 등숙을 위한 출수 만한기(late marginal heading date for normal maturation, LMHD)를 보고하였는데, 이는 출수 후 40일간 평균기온 20°C까지는 등숙비율과 천립중이 감소하지 않는다는 연구 결과를 기준으로 분석한 것이다. 위의 출수기 기준은 요약하면, 안전 출수기는 출수 후 40일간 평균기온 22°C 이상과 출수 후 수확기까지 적산온도 1,200°C를 모두 충족하는 날짜, 안전 출수 한계기는 출수 후 40일간 평균기온 22°C에 해당하는 날짜, 출수 만한기는 출수 후 40일간 평균기온 20°C에 해당하는 날짜가 된다. 따라서 안전 출수기는 안전 출수 한계기나 출수 만한기에 비해 시기가 빠르기 때문에 등숙의 안전성을 높일 수 있는 반면, 이앙 후 출수기까지의 생육 기간은 단축된다. 이앙기-출수기 기간이 짧은 지역은 벼 재배 자체가 어려울 수 있고, 재배가 가능하더라도 품종 숙기의 선택이 제한된다. 북한은 식량이 부족한 상황이므로 생산량 증대를 위해서는 벼 재배 지역을 최대한 활용할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 북한 지역별 기온 자료에 기준 온도를 적용하여 1) 안전 출수 한계기와 출수 만한기를 설정하고, 2) 그에 근거한 지역별 벼 재배 가능 빈도를 제시하며, 3) 재배 기간을 분석하기 위하여 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 기온 자료 수집 및 보정

기온 자료의 수집과 보정은 이전에 보고한 분석 방법(Yang *et al.*, 2018)에 따랐다. 기상청 기상정보포털(KMA, 2017)에서 북한 기상 관측 27개 지역(Fig. 3. 참고)의 36년간(1981~2016) 일별 기온 자료를 수집하여 이용하였다. 수집 자료는 모든 지역에서 결측일이 발견되었으므로, 분석의 오류를 방지하기 위하여 보정하여 활용하였다. 일 평균기온 값은 당일의 포함하여 5일간(0+4일) 관측 자료가 80% 이상일 때, 출수 후 40일간 평균기온은 그 기간 중 관측 자료가 90% 이상일 때만 활용하였으며, 미만인 경우에는 미관측으로 처리하였다.

2.2. 연도별 안전 출수 한계기, 출수 만한기 및 재배 기간 설정

안전 출수 한계기와 출수 만한기는 출수 후 40일간 평균기온 22°C와 20°C가 되는 날짜를 기준으로 설정하였다. 설정 방법은 기준일 후 40일간 평균기온 기준 온도 이상, 기준일 다음 날부터 40일간 기준 온도 미만, 기준일 후 40일간 관측 자료 90% 이상, 기준 온도 도달 후 5일 연속 40일간 기준 온도 미만을 모두 충족하는 최종 날짜로 정하였다. 위에서 마지막 방법을 적용한 이유는 기준 출수기가 출현하였다가 기온의 등락에 따라 재출현하는 현상을 방지하기 위한 것이었다. 재배 기간 산정을 위한 안전 조기 이앙 한계기(early marginal transplanting date, EMTD)와 수확 만한기(late marginal harvest date, LMHVD)는 이전에 보고한 방법(Yang *et al.*, 2018)에 따랐다. 안전 조기 이앙 한계기는 4~6월 중 보온절충못자리 묘의 안전 착근 한계 온도인 14°C(Lee, 1986)를 기준으로 하였다. 기온 자료 분석 시, 평균기온이 위의 기준 온도 이상으로 일시적으로 상승한 후 다시 기준 온도 미만으로 낮아지는 등락이 빈번하게 관찰되었다. 따라서 안전 조기 이앙 한계기는 전일 기준 온도 미만, 당일 기준 온도 이상, 당일 포함 이후 10일간의 관측 자료 90% 이상, 같은 기간 중 기준 온도 이상의 평균 값과 최저 일 평균기온 10°C 이상을 모두 충족하는 최초의 날짜로 설정하였다. 수확 만한기는 평균기온이 13°C 이상으로 유지되는 시기를 기준으로 하였다. 우리나라에서 벼의 전체 등숙 기간 중 등숙 한계 저온은 9~13°C라

고 보고되었는데(Kim *et al.*, 2003), 본 연구에서는 등숙의 안전성을 고려하여 13°C를 기준으로 선택하였다. 자료의 결측에 따른 오류와 기온의 등락에 따른 수확 만한기의 재출현을 방지하기 위하여 당일 기준 온도 이상, 다음 날 기준 온도 미만, 당일 포함 5일간 관측 자료 80% 이상, 당일 이후 5일간 평균기온 기준 온도 미만을 모두 충족하는 최종 날짜를 수확 만한기로 설정하였다. 이 때 안전 조기 이앙 한계기의 10일보다 짧은 5일을 기준으로 한 것은 봄철 이앙기보다 수확 만한기의 출현 시기에 온도 등락의 정도와 지속 기간이 짧았기 때문이다. 위의 방법에 따라 각 지역에 대하여 매년 분석한 안전 조기 이앙 한계기부터 안전 출수 한계기와 출수 만한기까지의 기간을 구하였다. 매년 분석한 벼 주요 생육 시기는 지역에 따라 관측 수가 부족하거나 기준 온도가 충족되지 못하여 나타나지 않은 해가 있었는데, 이러한 해는 분석에서 제외하였다. 또한 어떤 해에 관측 수가 기준 이상이더라도 1981~2016년 각 생육 시기 출현 범위의 기간 중 당해 연도의 일별 관측 수가 90% 미만인 경우는 자료 분석의 오류를 방지하기 위하여 분석에서 제외하였다.

2.3. 지역별 벼 재배 가능 빈도 분석

각 지역에 대하여 연도별로 안전 출수 한계기와 출수 만한기의 출현 및 안전 조기 이앙 한계기-기준 출수기 기간 최소 60일을 기준으로 그 해의 벼 재배 가능성을 분석하였다. 첫째 조건은 기준 출수기가 출현하지 않을 경우 어느 시기에 출수하여도 출수 후 40일간의 평균기온이 기준 온도 미만으로 경과하여 벼 등숙 조건을 충족하지 못하기 때문이며, 둘째 조건은 우리나라 품종의 최소 생육 기간을 기준으로 분석한 이전의 보고 결과(Yang *et al.*, 2018)를 적용한 것이다. 이와 같은 방법으로 각 지역에 대하여 연도별로 재배 가능 여부를 분석한 후 전체 분석 헛수에 대한 재배 가능 연수의 비율을 구하였다.

2.4. 지역별 안전 출수 한계기, 출수 만한기 및 재배 기간 설정

벼 재배 가능 빈도가 80% 이상인 지역을 대상으로 대표 안전 출수 한계기와 출수 만한기를 분석하였다. 앞에서 연도별로 분석한 안전 출수 한계기와 출수 만한기는 연차간 기온의 차이에 따라 변이를 보이기 때문에 어떤 지역에 대한 대표 날짜의 설정이 필요하다.

이를 위하여 안전 출수 한계기와 출수 만한기가 전체 분석 연도의 80% 빈도로 출현하는 이른 시기를 구하고 이를 그 지역의 안전 출수 한계기와 출수 만한기로 설정하였다. 이렇게 분석한 안전 출수 한계기와 수확 만한기에 이전의 연구에서 보고한 안전 조기 이앙 한계기와 수확 만한기(Yang *et al.*, 2018)를 적용하여 재배 기간을 구하였다. 또한 각 생육 시기간의 기온을 알아보기 위하여, 지역별로 전체 분석 연도 평균 안전 조기 이앙 한계기-출수기의 평균기온과 출수기-수확 만한기의 적산온도를 조사하여 출수기 기준 사이의 차이를 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

북한 지역의 벼 재배 기간 중 36년 평균기온과 범위는 Fig. 1과 같다. 전체 지역 평균기온은 이앙기인 5월에 14.6°C로 시작하여, 출수기인 7~8월에 22.2~22.7°C까지 높아졌으며, 수확기인 10월에 10.8°C로 낮아졌다. 27개 지역 중 삼지연은 모든 시기에 평균기온이 가장 낮았으며, 5~7월까지는 평양, 8~9월은 해주, 10월은 장전에서 가장 높았다. 기온이 가장 높은 지역과 낮은 지역의 평균기온은 7월의 8.1°C~10월의 12.5°C 차이를 보였다.

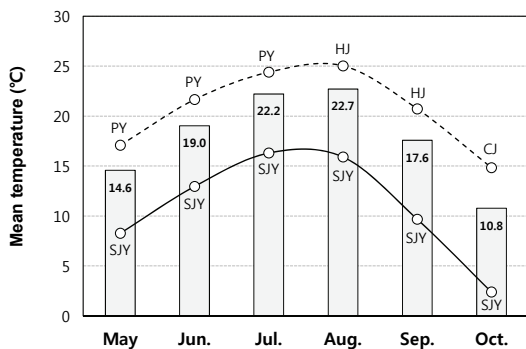


Fig. 1. Monthly mean temperature during the rice cropping period in North Korea. Data are the means of 27 sites across 36 years from 1981 to 2016. Solid and dashed lines indicate the lowest and the highest mean temperature. Abbreviations indicate the corresponding sites. PY: Pyongyang, HJ: Haeju, CJ: Changjon, SJY: Samjiyon.

3.1. 연도별 안전 출수 한계기, 출수 만한기 및 출수 소요일수

전체 27개 지역 중 안전 출수 한계기와 출수 만한기는 24개 지역에서 출현하였고, 기온이 낮은 장진, 풍산, 삼지연의 3개 지역에서는 나타나지 않았다(Fig. 2A). 안전 출수 한계기와 출수 만한기의 중위값은 해산에서 각각 7월 16일과 7월 27일로 가장 일렀으며, 해주에서 각각 8월 18일과 8월 28일로 가장 늦게 출현하였다. 출수 만한기 중위값은 안전 출수 한계기보다 지역에 따라 10~15일 늦었다. 이를 이전에 보고한 안전 출수기(Yang *et al.*, 2018)와 비교하면, 지역에 따라 안전출수 한계기는 0~5일, 출수 만한기는 11~15일 늦어진 것이다. 이앙기-출수기의 기간은 출수 전 벼의 성장량과 sink size에 영향을 미친다(Cho *et al.*, 1990; Yang *et al.*, 2017). 이 기간이 길면 품종 숙기 선택의 폭이 넓어지지만, 한계 미만으로 짧아지면 벼 재배 자체가 불가능하다. 본 연구에서 안전 출수 한계기를 기준으로 한 경우, 안전 조기 이앙 한계기-출수기 기간의 중위값은 해산에서 51일로 가장 짧고, 평양에서 109일로 가장 길었다(Fig. 2B). 출수 만한기를 기준으로 하면, 이앙 후 출수 소요일수의 중위값이 해산에서 65일로 가장 작고, 남포에서 119일로 가장 컸다. 출수 만한기 기준 이앙 후 출수 소요일수는 안전 출수 한계기 기준보다 지역에 따라 9~15일 증가하였다. 이를 안전 출수기를 기준으로 출수 소요일수를 분석한 이전의 보고(Yang *et al.*, 2018)와 비교하면, 안전 출수 한계기를 기준으로 한 경우 0~5일, 출수 만한기를 기준으로 한 경우 9~18일 길어진 것이다. 각 지역에서 기온의 연차 변이에 의해 나타나는 상한값과 하한값의 차이는 지역에 따라 안전 출수 한계기는 19~26일, 출수 만한기는 10~20일, 안전 조기 이앙 한계기-안전 출수 한계기 기간은 21~50일, 안전 조기 이앙 한계기-출수 만한기 기간은 13~51일의 범위를 보였다.

3.2. 지역별 벼 재배 가능 빈도

벼 이앙 후 출수까지 기간이 늘어나면 벼 재배 가능 지역의 확대가 가능해진다. 우리는 이전의 연구에서 북한 27개 지역 중 안전 출수가 가능한 동시에 안전 조기 이앙 한계기-안전 출수기 기간이 60일 이상인 햇수의 빈도가 80% 이상을 보이는 지역을 19개로 보고하였다(Yang *et al.*, 2018). 이와 같은 기준을 안전 출수 한계기와 출수 만한기에 적용하여 벼 재배 가능

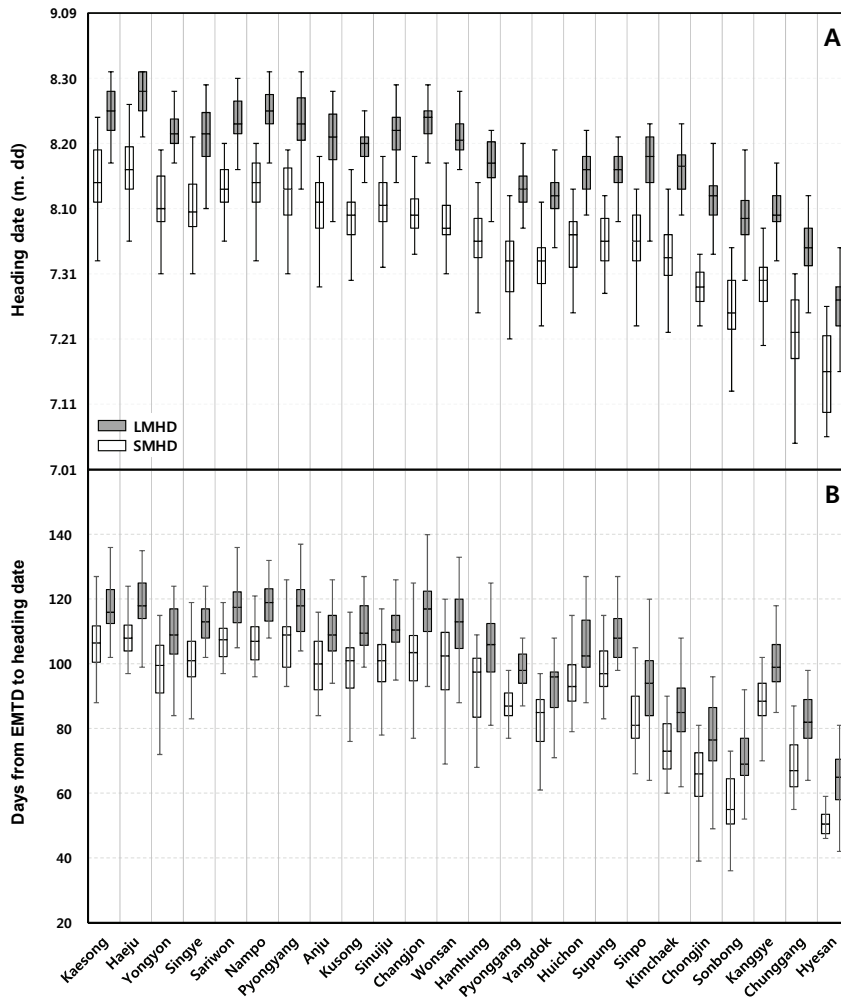


Fig. 2. Distribution of years for (A) the safe marginal heading date (SMHD) and the late marginal heading date (LMHD), and (B) the days from early marginal transplanting date (EMTD) to SMHD and LMHD in the different regions of North Korea.

햇수의 비율을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 안전 출수 한계기의 출현과 안전 조기 이앙 한계기-안전 출수 한계기 기간 60일 이상을 동시에 충족하는 햇수의 비율이 90% 이상인 지역은 18개(개성, 해주, 용연, 신계, 사리원, 남포, 평양, 안주, 구성, 신의주, 장진, 원산, 함흥, 평강, 희천, 수풍, 강계, 양덕)였고, 80~90%인 지역은 신포 1개였으며, 80% 미만인 지역은 8개(김책, 중강, 청진, 선봉, 장진, 풍산, 혜산, 삼지연)로 나타났다(Fig. 3A). 벼 재배 가능 빈도가 80% 이상인 19개 지역은 안전 출수기를 기준으로 이전에 보고한 지역(Yang *et al.*, 2018)과 동일하였다. 이와 같은 분석 방법을 출수 만한기에 적용하면 80% 이상의 재배 가능

빈도를 나타낸 지역이 23개로, 안전 출수 한계기나 안전 출수기 기준의 보고(Yang *et al.*, 2018)보다 4개 지역(김책, 청진, 선봉, 중강)이 늘어났다. 출수 만한기 기준으로 벼 재배가 80% 이상 가능한 지역은 위성영상 자료를 이용해 분석한 북한의 논 분포(Hong *et al.*, 2012)와 유사하였다. 따라서 북한에서는 쌀 생산량을 최대한 높이기 위하여 안전 재배 지역뿐만 아니라, 한계 지역까지 벼를 재배하는 것으로 생각된다. 본 연구에서 재배 가능 빈도에서 제외된 나머지는 재배 불안전성의 확률이라고 할 수 있다. 즉, 안전 출수 한계기 기준의 경우 최대 수량을 확보할 수 없는 확률, 출수 만한기 기준의 경우 정상적인 등숙이 이루어지지 않아

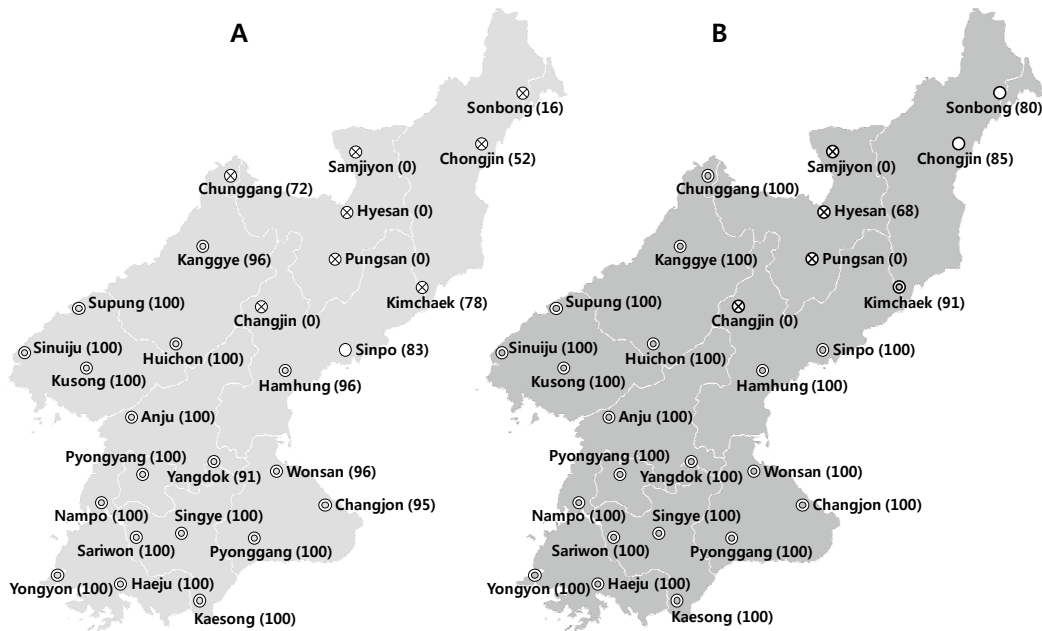


Fig. 3. Frequency (%) of years suitable for rice cropping when (A) the safe marginal heading date and (B) the late marginal heading date were applied to the different regions of North Korea. Double circles, open circles, and x-circles represent the regions with the frequency of 90% or higher, 80% or higher, and lower than 80%, respectively.

수량이 낮아질 수 있는 확률을 의미한다. 혜산, 장진, 풍산, 삼지연의 4개 지역은 출수 만한기를 적용하여 분석한 경우에도 벼 재배 가능 햇수의 비율이 70% 미만이었으며, 혜산을 제외한 3개 지역에서는 벼 재배 가능 햇수가 한 번도 출현하지 않았다. 이들 4개 지역은 벼 재배가 불가능하거나 매우 불안정한 지역으로 볼 수 있으므로, 벼 재배에 적합하지 않을 것으로 판단된다.

3.3. 지역별 안전 출수 한계기, 출수 만한기 및 재배 기간

앞에서 안전 출수 한계기, 출수 만한기, 안전 조기 이앙 한계기-출수기 기간은 기온의 연차 변이에 따라 상한값과 하한값이 최소 10일에서 최대 51일의 차이를 나타내었다(Fig. 2). 한 지역에서 이 정도의 차이는 벼 재배 가능 여부를 바꿀 수 있는 크기의 변이다. 특정 지역에 벼를 재배하기 위해서는 안전성이 어느 정도 담보될 수 있는 이앙기, 출수기, 수확기가 제시되어야 한다. 재배 안전성 기준의 적용은 연구자에 따라 다르나, 일반적으로 80~90%의 확률을 적용하였다(Lee *et al.*, 2014). 본 연구에서는 지역별로 해에 따라

80%의 빈도로 출현하는 안전 출수 한계기와 출수 만한기를 그 지역의 대표 날짜로 설정하였고, 재배 기간을 산정하기 위하여 이전에 보고한 안전 조기 이앙 한계기와 수확 만한기(Yang *et al.*, 2018)를 Fig. 4에 함께 표기하였다. 안전 출수 한계기 기준 벼 재배 가능 빈도가 80% 이상인 19개 지역에서 안전 출수 한계기는 평강에서 7월 24일로 가장 일렀고, 해주에서 8월 12일로 가장 늦었다. 안전 조기 이앙 한계기-안전 출수 한계기의 기간은 양덕에서 69일로 가장 짧았으며, 해주에서 98일로 가장 길었다. 안전 출수 한계기부터 수확 만한기까지의 기간은 지역에 따라 54~72일 범위를 보였다. 이를 지역별 대표 출수 만한기에 적용해 보면 출수 만한기만 출현한 중강, 선봉, 청진, 김책에서 안전 조기 이앙 한계기부터 출수 소요일수가 59~74일로 다른 지역에 비해 짧았다. 이외의 지역에서는 안전 출수 한계기 기준보다 9일(사리원, 신계, 개성)~17일(평강) 길었다. 안전 출수 한계기 대비 출수 만한기에서 안전 조기 이앙 한계기-출수기 기간이 길어진 만큼 출수 만한기-수확 만한기의 기간은 짧아졌다. 안전 조기 이앙 한계기부터 출수기까지의 기간은 이전에 보고한 안전 출수기 기준(Yang *et al.*, 2018)보다 안전

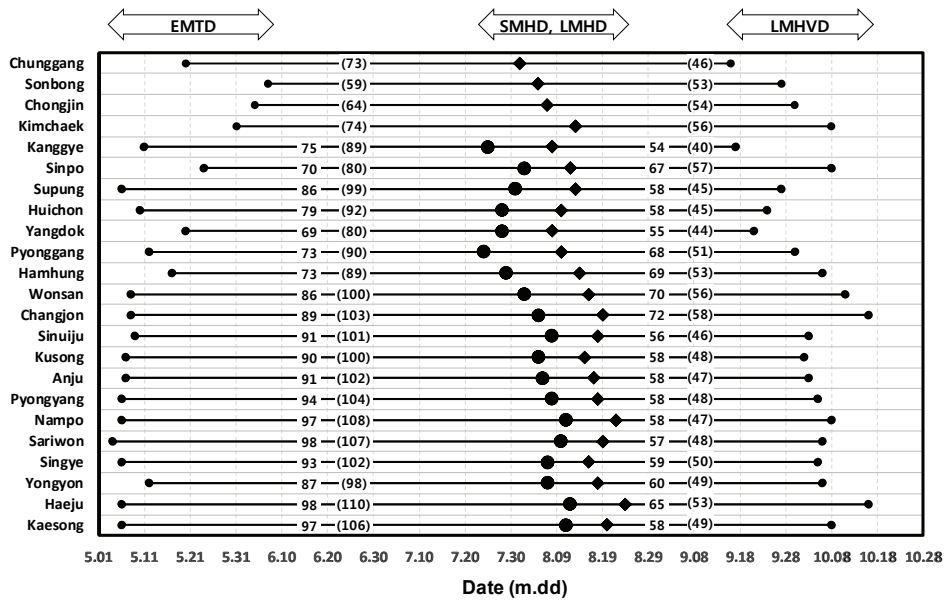


Fig. 4. The representative early marginal transplanting date (EMTD), safe marginal heading date (SMHD, large black circles), late marginal heading date (LMHD, black diamond), and late marginal harvest date (LMHVD) of rice in the different regions of North Korea. Data represent the dates covering 80 percentile of total years tested. Numbers without parentheses are the days from EMTD to SMHD (left) and the days from SMHD to LMHVD (right). Data in parentheses are the days from EMTD to LMHD (left) and the days from LMHD to LMHVD (right).

출수 한계기 기준의 경우 지역에 따라 0~5일, 출수 만한기 기준의 경우 10~18일 길어진 것이다.

3.4. 지역별 재배 기간 중 평균기온과 적산온도

다음 세 가지 기준 출수기가 모두 출현한 19개 지역에서, 안전 조기 이앙 한계기부터 안전 출수기, 안전 출수 한계기, 출수 만한기까지의 평균기온은 신포에서 각각 19.3, 19.3, 19.9°C로 가장 낮았고, 평양에서 각각 21.7, 21.8, 22.2°C로 가장 높았다(Fig. 5A). 출수 만한기만 출현한 4개 지역에서 안전 조기 이앙 한계기-출수기의 평균기온은 선봉 18.4~중강 20.3°C 범위였으며, 중강을 제외한 김책, 청진, 선봉은 다른 지역보다 평균기온이 낮았다. 동일 지역 내에서는 이앙 후 출수기까지 평균기온은 출수 만한기 기준에서 가장 높았으나, 안전 출수기, 안전 출수 한계기, 출수 만한기 사이에 큰 차이가 없었다. 출수기부터 수확 만한기까지의 적산온도는 안전 출수기와 안전 출수 한계기 기준 사이에서는 차이가 크지 않았으나, 출수 만한기 기준에서는 급격히 감소하였다(Fig. 5B). 출수 만한기만 출현

한 4개 지역에서는 등숙 적산온도가 다른 지역과 비슷한 수준에 분포하였다. 앞의 결과를 종합하면, 벼 출수가 안전 출수기나 안전 출수 한계기보다 출수 만한기까지 늦어지면 안전 조기 이앙 한계기-출수기의 기간이 증가하는 반면(Fig. 4) 그 기간 중 평균기온은 비슷하게 유지되고(Fig. 5A), 출수 후 등숙 기간 중 정상적인 등숙은 이루어지는 반면(Kim *et al.*, 2014) 등숙 기간이 짧아지며(Fig. 4) 등숙 적산온도가 낮아진다(Fig. 5B)고 요약된다. 즉, 벼 이앙 후 출수 소요일수가 증가하므로 재배 가능 지역이 확대되고 품종 숙기 선택의 범위가 넓어지는 반면, 출수 후 수확 만한기까지의 기간이 짧아져 등숙의 안전성이 저하되는 조건이 된다고 할 수 있다.

3.5. 출수 소요일수 및 등숙 적산온도의 지역 분포

안전 출수 한계기와 출수 만한기 기준의 분석에서 크게 차이를 보인 이앙 후 출수 소요일수와 출수 후 등숙 적산온도의 지역 분포는 Fig. 6과 같다. 출수 만

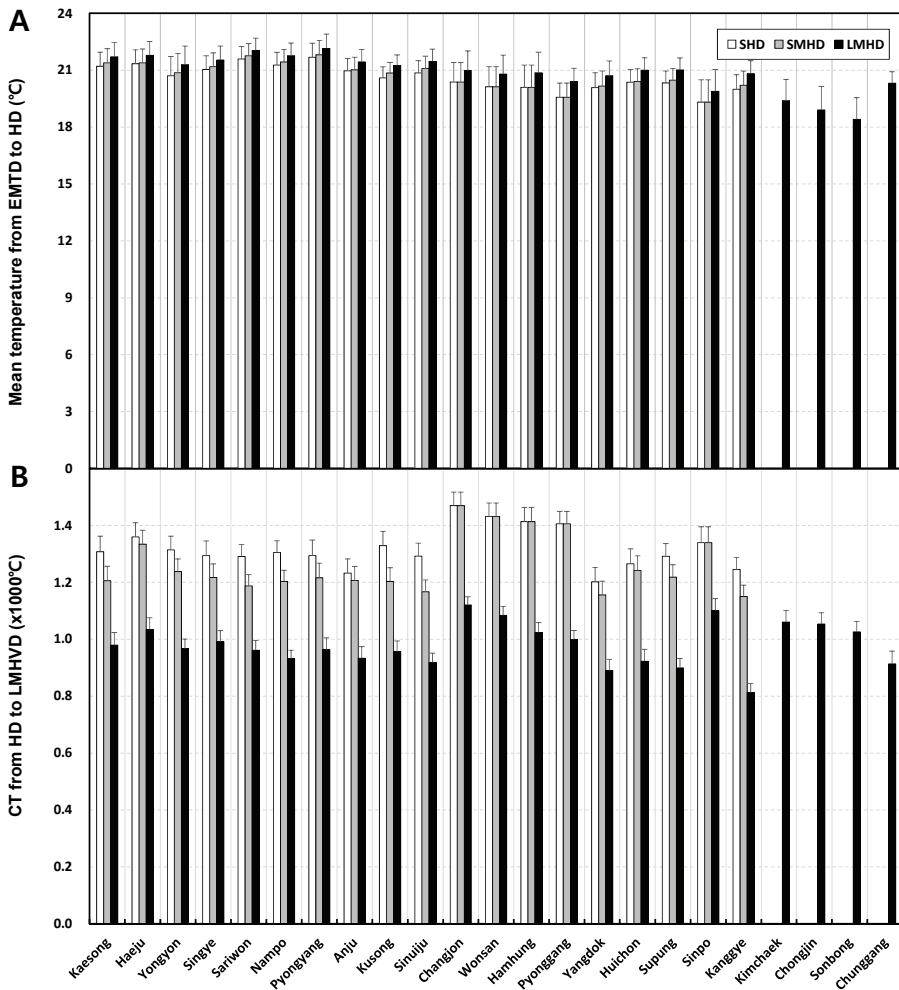


Fig. 5. (A) Mean temperature from the early marginal transplanting date (EMTD) to safe heading date (SHD), safe marginal heading date (SMHD), and late marginal heading date (LMHD), and (B) cumulative temperature (CT) from the SHD, SMHD, and LMHD to late marginal harvest date (LMHVD) in the different regions of North Korea. Data are the means of total years and error bars are the standard deviations.

한기 기준에서만 벼 재배 가능 빈도 80% 이상을 보인 선봉, 청진, 김책, 중강은 안전 조기 이앙 한계기-출수 만한기 기간이 75일 미만으로 다른 지역에 비해 짧았다. 그러므로 이 지역은 생육 기간이 짧은 품종만 정상적으로 등숙될 수 있는 지역이라 할 수 있겠다.

양덕, 강계, 희천, 수풍, 용연, 구성, 안주, 신의주, 신계, 평양, 개성, 남포, 사리원의 13개 지역은 안전 조기 이앙 한계기-안전 출수 한계기 기간이 69~98일로 넓게 분포하였으며, 안전 출수 한계기-수확 만한기 적산온도는 1,160~1,240°C 범위를 보였다. 이들 지역

에 대하여 출수 만한기 기준을 적용하면 안전 출수 한계기 기준에 비해 출수기까지의 기간은 9~14일 증가하는 반면, 출수 후 수확 한계기까지의 적산온도는 230~340°C 적어진다. 이 지역들은 수량 향상에 적합한 출수 후 40일간 22°C(Kim, 1983)를 충족하며 쌀 품질까지 감안한 등숙 적산온도도 적정 수준(Chae and Jun, 2002; Kim *et al.*, 2005)이므로, 정상적인 등숙이 가능한 출수 만한기(Kim *et al.*, 2014)까지 출수를 늦추는 것보다 안전 출수 한계기에 맞추는 것이 안전할 것으로 생각된다. 출수 만한기는 정상적인 등

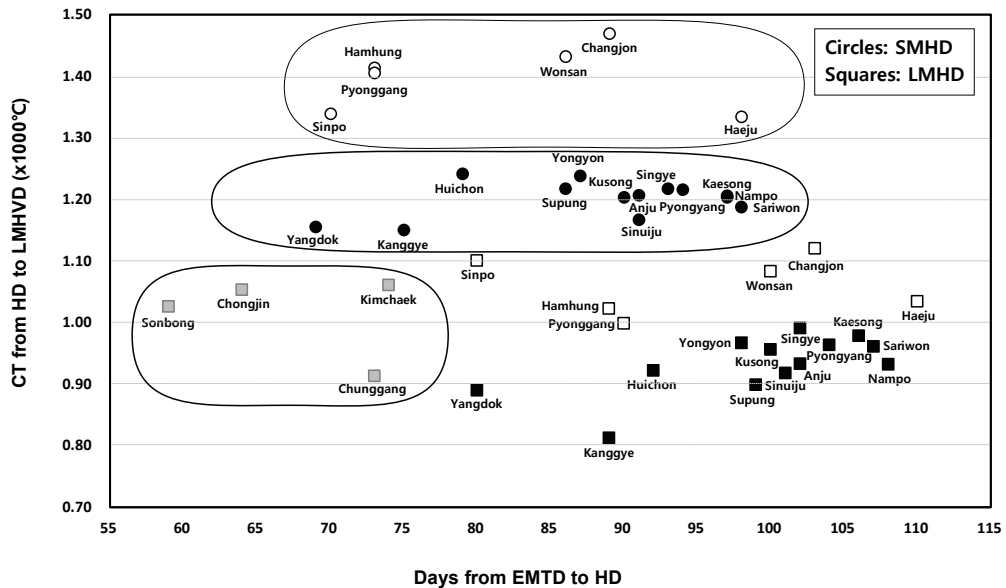


Fig. 6. Regional distribution of the days from early marginal transplanting date (EMTD) to safe marginal heading date (SMHD) and late marginal heading date (LMHD), and the cumulative heading date (LMHVD). The open circles and closed circles are the regions that have the CT from SMHD to LMHVD higher than 1,300°C and 1,160~1,240°C, respectively. The grey squares represent the regions that have only LMHD.

숙을 위한 출수기로 제안(Kim *et al.*, 2014)되었으나 이 시기에 출수했을 때 수량과 품질에 대한 검토는 이루어지지 않았기 때문에, 현재는 수량과 품질에 대한 안전 출수 한계기와 출수 만한기의 효과를 직접 비교할 수는 없다. 향후 이에 대한 연구가 이루어진다면, 안전 조기 이앙기-안전 출수 한계기 기간이 80일 미만으로 짧은 양덕, 강계, 희천 지역에서 안전 출수 한계기보다 출수를 늦추어 출수 전 생육 기간을 늘리는 것이 더 효과적인지 평가할 수 있을 것이다.

신포, 해주, 평강, 함흥, 원산, 장전의 6개 지역은 안전 출수 한계기 기준 수확 만한기까지의 등숙 적산온도가 1,330~1,470°C로 높으며, 출수 소요일수는 70~98일 분포를 보였다. 이들 지역은 안전 출수 한계기 기준 출수 소요일수와 출수 후 등숙 적산온도가 안전 출수기 기준과 동일하거나 거의 차이를 보이지 않았다 (Fig. 5). 이 6개 지역에서는 안전 출수 한계기에 출수하면 출수 후 40일간 평균기온 22°C를 유지하는 동시에 등숙 적산온도 1,200°C가 수확 만한기 이전에 출현하므로, 적정 등숙 적산온도에 도달한 후에도 등숙 진전에 효과가 있는 여유 기간이 있다. 위의 6개 지역 중 안전 조기 이앙 한계기-안전 출수 한계기 기간이

85일 이상으로 긴 원산, 장전, 해주에서는 안전 출수 한계기보다 출수 전 생육기간을 늘릴 필요가 상대적으로 적을 것이다. Chae and Jun(2002)과 Kim *et al.*(2005)이 보고한 등숙 적산온도 1,200°C는 수량과 품질을 함께 감안한 적정 적산온도인 반면 출수 후 40일간 평균기온은 밝혀지지 않았고, Kim(1983)과 Tanaka(1950)가 보고한 출수 후 40일간 적정 평균기온 22°C는 수량을 기준으로 한 반면 수확기까지의 적산온도는 밝혀지지 않았다. 향후 이에 대한 비교 결과가 밝혀진다면, 안전 조기 이앙 한계기-안전 출수 한계기 기간이 75일 미만으로 짧은 신포, 함흥, 평강에서 적정 등숙 적산온도에 맞추어 안전 출수 한계기 이후로 출수를 늦추고 출수 전 생육기간을 늘리는 것이 유리한지 여부를 판단할 수 있을 것이다.

위의 결과를 종합하면, 북한 지역에 출수 만한기를 적용함으로써 벼 재배 가능 지역이 확대되며, 특히 출수 전 생육 기간이 짧고 등숙 적산온도가 충분한 지역에서는 출수 전 생육 기간 증가를 위하여 안전 출수 한계기보다 출수를 늦추는 방안을 검토할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 북한 27개 기상 관측 지역의 36년간 평균 기온 자료를 활용하여 지역별 벼 안전 출수 한계기, 출수 만한기, 재배 가능 빈도 및 생육 기간을 분석하기 위하여 수행하였다. 안전 출수 한계기와 출수 만한기는 장진, 풍산, 삼지연의 3개 지역을 제외한 24개 지역에서 출현하였으며, 연도별 안전 출수 한계기와 출수 만한기의 중위값은 해산에서 각각 7월 16일과 27일로 가장 빨리 출현하였고, 해주에서 각각 8월 18일과 28일로 가장 늦게 출현하였다. 연도별 안전 조기 이앙 한계기부터 안전 출수 한계기까지 기간의 중위값은 해산 51일~평양 109일, 출수 만한기까지 기간의 중위값은 해산 65일~남포 119일 범위로, 안전 출수 한계기보다 출수 만한기 기준 출수 소요일수의 중위값이 지역에 따라 9~15일 증가하였다. 연도별 안전 조기 이앙 한계기부터 안전 출수 한계기 및 출수 만한기까지 기간의 상한값과 하한값은 지역에 따라 각각 21~50일과 13~51일의 큰 차이를 나타내었다. 안전 조기 이앙 한계기 이후 출수기까지 60일 이상 확보되는 비율이 80% 이상인 지역은 안전 출수 한계기를 적용한 경우에 개성, 해주, 용연, 신계, 사리원, 남포, 평양, 안주, 구성, 신의주, 장진, 원산, 함흥, 평강, 양덕, 희천, 수풍, 신포, 강계의 19개 지역이었으며, 출수 만한기를 적용한 경우에는 위 지역에 김책, 청진, 선봉, 중강이 추가된 23개 지역이었다. 지역에서 80% 이상의 확률로 출현한 대표 안전 출수 한계기는 평강 7월 24일~해주 8월 12일 범위였으며, 안전 조기 이앙 한계기에서 출수기까지 기간은 안전 출수 한계기 기준의 양덕 69일~해주 98일 대비 출수 만한기 기준에서 9~17일 길어졌다. 각 지역에서 안전 조기 이앙 한계기-출수기 평균기온은 안전 출수기와 안전 출수 한계기 및 출수 만한기 사이에 차이가 적었으나, 출수기-수확 만한기의 적산온도는 특히 출수 만한기 기준에서 크게 저하되었다. 안전 출수 한계기를 기준으로 수확 만한기까지 적산온도가 적정 수준인 지역은 양덕, 강계, 희천, 수풍, 용연, 구성, 안주, 신의주, 신계, 평양, 개성, 남포, 사리원의 13개 지역이었으며, 1,300°C 이상으로 높은 지역은 신포, 함흥, 평강, 원산, 장진, 해주의 6개 지역이었다. 종합적으로, 북한 지역에서는 김책, 청진, 선봉, 중강까지는 벼 한계 재배 지역을 확대할 수 있을 것으로 판단되며, 이외의 지역 중 출수 소요일수가 짧으면서 등숙 적산온도가 충분한 지역에서는 안전 출수

한계기보다 출수기를 늦추는 방안에 대한 검토 필요성이 제기된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 한반도 중·북부지역 적용을 위한 벼 최적 등숙온도 및 출수 생태형 연구, 세부과제번호: PJ01195901)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Chae, J.-C., and D.-K. Jun, 2002: Effect of harvest time on yield and quality of rice. *Korean Journal of Crop Science* 47(3), 254-258. (In Korean with English abstract)
- Cho, D. S., S. K. Jong, H. Heo, and C. S. Yuk, 1990: Quantitative analysis of dry matter production and its partition in rice. II. Partitioning of dry matter affected by transplanting date. *Korean Journal of Crop Science* 35(3), 273-281. (In Korean with English abstract)
- Choe, J. W., 1998: Cooperation measures for agricultural infrastructure development in North Korea. *Proceedings of Korean Society of Crop Science and Korean Breeding Science for 50th Anniversary GSNU*, 134-158. (In Korean with English abstract)
- Choi, M.-H., and J. I. Yun, 2011: A Sub-grid scale estimation of solar irradiance in North Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 13(1), 41-46. (In Korean with English abstract)
- Choi, K.-J., T.-S. Park, C.-K. Lee, J.-T. Kim, J.-H. Kim, K.-Y. Ha, W.-H. Yang, C.-K. Lee, K.-S. Kwak, H.-K. Park, J.-K. Nam, J.-I. Kim, G.-J. Han, Y.-S. Cho, Y.-H. Park, S.-W. Han, J.-R. Kim, S.-Y. Lee, H.-G. Choi, S.-H. Cho, H.-G. Park, D.-J. Ahn, W.-K. Joung, S.-I. Han, S.-Y. Kim, K. C. Jang, S.-H. Oh, W. D. Seo, J.-E. Ra, J. Y. Kim, and H.-W. Kang, 2011: Effect of temperature during grain filling stage on grain quality and taste of cooked rice in mid-late maturing rice varieties. *Korean Journal of Crop Science* 56(4), 404-412.
- Cock, J. H., and S. Yoshida, 1972: Accumulation of ¹⁴C-labelled carbohydrate before flowering and subsequent redistribution and respiration in the rice plants. *Proceeding Crop Science Society of Japan*

- 41(2), 226-234.
- 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.
- Hong, S. Y., M.-K. Min, J.-M. Lee, Y. Kim, and K. Lee, 2012: Estimation of paddy field area in North Korea using RapidEye images. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(6), 1194-1202. (In Korean with English abstract)
- 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, D., and J. I. Yun, 2011: Estimation of monthly precipitation in North Korea using PRISM and digital elevation model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 13(1), 35-40. (In Korean with English abstract)
- Kim, D.-S., J.-C. Shin, K.-J. Choi, C.-K. Lee, and J.-K. Kim, 2003: Varietal characteristics of kernel growth of rice influenced by different temperature regimes during grain filling. *Korean Journal of Crop Science* 48(5), 397-401.
- Kim, J., J. Shon, H. Jeong, 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. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 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 Journal of Crop Science* 28(1), 58-75.
- Kim, S.-S., J.-H. Lee, J.-K. Nam, W.-Y. Choi, N.-H. Baek, H.-K. Park, M.-G. Choi, C.-K. Kim, and K.-Y. Jung, 2005: Proper harvesting time for improving the rice quality in Honam plain area. *Korean Journal of Crop Science* 50(S), 62-68. (In Korean with English abstract)
- 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 Agricultural and Forest Meteorology* 4(4), 224-236. (In Korean with English abstract)
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2017: <http://data.kma.go.kr/cmmn/main.do> (2017. 6. 30).
- 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).
- Lee, D., J. Kim, and K. S. Kim, 2014: Spatiotemporal assessment of the late marginal heading date of rice using climate normal data in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 16(4), 316-326. (In Korean with English abstract)
- Lee, E. W., 1986: *Rice Cropping* (4th ed.). Hyangmoonsa, 194pp.
- Noh, T. H., S. Y. Lee, S. S. Kim, J. K. Lee, H. T. Shin, and S. Y. Cho, 1997: Meteo-ecological characterization of North Korean rice varieties. *Korean Journal of Breeding* 29(4), 404-408. (In Korean with English abstract)
- 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)
- 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)
- Yang, W., M.-K. Kim, S. Kang, J.-H. Park, S. Kim, J.-S. Choi, C.-I. Yang, and N.-H. Back, 2017: Changes in flowering date and yielding characteristics affected by transplanting date in the early-maturing rice cultivar 'Joun' in the mid-northern inland of Korea. *Korean Journal of Crop Science* 62(4), 304-310. (In Korean with English abstract)
- Yang, W., S. Kang, S. Kim, J.-S. Choi, and J.-H. Park, 2018: Assessment of the safe rice cropping period based on temperature data in different regions of North Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 20(2), 190-204. (In Korean with English abstract)
- Yang, W. H., D. S. Kim, Y. H. Jeon, Y. C. Cho, J.-K. Kim, and M.-H. Lee, 2004: Heading aspects of North Korean rice varieties in South Korea. *Korean Journal of International Agriculture* 16(1), 68-75. (In Korean with English abstract)
- Yang, W.-H., D.-S. Kim, Y.-S. Kang, and M.-H. Lee, 2001: Response of temperature and daylength of North Korean rice varieties. *Korean Journal of International Agriculture* 13(1), 52-57. (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.
- Yoon, S.-T., J.-H. Kim, and H.-Y. Kim, 2005: Study on the arrangement of high-yielding rice varieties for North Korea's climate. *Korean Journal of International Agriculture* **17**(4), 243-251. (In Korean with English abstract)
- Yun, J.-I., 2000: Estimation of climatological precipitation of North Korea by using a spatial interpolation scheme. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**(1), 16-23. (In Korean with English abstract)
- Yun, J.-I., and K.-H. Lee, 2000: Agroclimatology of North Korea for paddy rice cultivation: Preliminary results from a simulation experiment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**(2), 47-61. (In Korean with English abstract)
- 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 Agricultural and Forest Meteorology* **3**(1), 55-70. (In Korean with English abstract)