

Oryza2000 모형 활용을 위한 육묘기 보온 상승온도 결정

김준환* · 상완규 · 신평 · 백재경 · 권동원 · 이윤호 · 조정일 · 서명철
농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과, 전라북도 완주군 이서면 혁신로 181
(2020년 2월 18일 접수; 2020년 3월 3일 수정; 2020년 3월 20일 수락)

Determination of the Temperature Increasing Value of Seedling Nursery Period for Oryza2000 Model to Applicate Grid Weather Data

Junhwan Kim*, Wangyu Sang, Pyeong Shin, Jaekyeong Baek,
Dongwon Kwon, Yunho Lee, Jung-Il Cho, Myungchul Seo

Division of Crop Physiology and Production, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Hyoksin-ro 181, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, Republic of Korea

(Received February 18, 2020; Revised March 3, 2020; Accepted March 20, 2020)

ABSTRACT

Spatial simulation of crop growth often requires application of management conditions to each cell. In particular, it is of great importance to determine the temperature conditions during the nursery period for rice seedlings, which would affect heading date projections. The objective of this study was to determine the value of TMPSB, which is the parameter of ORYZA2000 model to represent temperature increase under a plastic tunnel during the rice seedling periods. Candidate values of TMPSB including 0°C, 2°C, 5°C, 7°C and 9°C were used to simulate rice growth and yield. Planting dates were set from mid-April to mid-June. The simulations were performed at four sites including Cheorwon, Suwon, Seosan, and Gwangju where climate conditions at rice fields common in Korea can be represented. It was found that the TMPSB values of 0°C and 2°C resulted in a large variation of heading date due to low temperature occurred in mid-April. When the TMPSB value was >7°C, the variation of heading date was relatively small. Still, the TMPSB value of 5°C resulted in the least variation of heading date for all the planting dates. Our results suggested that the TMPSB value of 5°C would help reasonable assessment of climate change impact on rice production when high resolution gridded weather data are used as inputs to ORYZA2000 model over South Korea.

Key words: Oryza2000, Crop growth model, Grid data, TMPSB

I. 서 언

작물의 생산성을 예측하고 기후변화 영향평가 등을 위해 과정지향형 작물생육 모형(Process-oriented crop growth model)이 개발되어 사용되고 있다(Basso et

al., 2013; Joens et al., 2017; Peart and Shoup, 2018). 과정지향형 작물 모형은 작물학적인 관점에서 건물중과 수량이 형성되는 모든 과정을 모의할 수 있는 장점이 있어 이를 통해 생육 과정 중에 발생한 문제점들을 파악하고, 이를 통해 재배적 개선점을 탐색할 수 있다.



* Corresponding Author : Junhwan Kim
(sfumato@korea.kr)

따라서 이러한 모형들은 발생하지 않은 환경 또는 대규모로 실험을 진행하기 곤란한 상황에 대한 정보를 제공해줄 수 있다(Jame and Cutforth, 1996; Kim et al., 2012). 국내에서는 Oryza2000 과 CERES- RICE 를 도입하여 벼에 대한 기후변화 영향평가 연구가 진행되어 왔다(Lee et al., 2011; Kim et al., 2012; Kim et al., 2013; Kim et al., 2015).

작물생육모형을 이용하여 기후변화 연구를 하는 경우, 예측 지점별 입력자료가 사용된다. 예를 들어, 품종, 파종기, 물관리 및 시비수준을 특정하여 작물 생육을 모의할 수 있도록 입력자료를 준비하여야 한다. 재배 방법을 이양으로 선택하고자 할 때, 파종일과 육묘기간 등의 추가적인 자료가 요구된다. 또한, 비닐터널 또는 부직포 등의 보온 못자리를 만들어 육묘하는 과정을 모의하기 위해서는 보온에 따른 온도 보정값 또한 필요하다. ORYZA2000 에서는 보온 육묘 시 일률적으로 대기온도보다 5.0~9.5°C 올려주는 방법으로 이 보온 효과를 보정한다. Lee et al.(2011)는 ORYZA 2000 에 의한 파종기~출수기까지의 생육기간에 대한 예측오차 중 상당부분은 작물모형 자체의 문제보다는 육묘기 생육온도에 대한 정보부재 또는 불확실성 때문으로 판단하였다. 따라서, 육묘 온도 상승값에 따른 작물 생육 모의값의 불확도는 무시할 수 없는 문제이다.

최근 고해상도 격자형 기상자료가 제공되고 있고 이러한 격자형 기상자료를 사용할 수 있는 기술들이 개발되어 왔다(Kim et al., 2017; Yoo et al., 2018). 격자형 자료를 활용하여 기후변화 영향 평가를 수행할 때에는 그 해상도에 따라서 수만 또는 수십만에 달하는 지점에 대해서 작물 생육 모의가 이루어지게 된다. 특히, 셀 단위로 보온에 따른 온도 상승온도를 설정하여야 한다. 일반적으로 지역별로 또 파종기별로 육묘기의 대기온도가 다르기 때문에 육묘 보온에 따른 상승 온도는 지역별로 차이를 보일 수 있다. 반면, 이러한 보온 효과를 지점별로 계산하는 것은 가능하지만 시간과 비용을 생각한다면 그다지 효율적이지 않다. 또한 기후변화 등 전체적인 추세가 중요한 경우에는 이러한 처리 내용까지 세세하게 적용할 필요성 역시 크지 않다. 따라서, 공간적으로 지역별로 공통적으로 활용 가능한 보온온도를 결정할 필요가 있다. 따라서, 본 연구는 온도조건이 상이한 지역들을 대상으로 육묘기 보온효과를 효과적으로 모의할 수 있는 상승 온도 값을 탐색하고, 국내에서 광범위하게 적용될 수 있는 온도 설정값을 추정하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

작물생육모형은 Oryza2000(Bouman et al., 2001)을 사용하였으며 모형의 구동을 위해 사용된 품종은 오대(조생종), 화성(중생종), 일품(중만생종)이었다. 각 품종들에 대한 품종모수는 Lee et al.(2011)에서 적용된 것과 동일하다. 비료와 관수관리와 관련된 재배 내용 역시 Lee et al.(2011)과 동일하게 설정되었다. 다양한 온도조건에서 벼 생육을 모의하기 위해, 파종기는 4 월 15일부터 5 일 간격으로 6 월 14 일까지 총 12 번이 설정되었다. 기상입력자료는 기상청 종관기상자료(data.kma.go.kr)를 활용하여 생성하였으며, 연구 지점 역시 온도의 다양성을 위해 철원, 수원, 광주, 서산을 선택하였다. 모의된 기간은 2001년부터 2010년까지 총 10 년간이었다.

다양한 육묘기 보온온도 조건을 생육 모의하기 위해 Oryza2000 의 입력파일 중 하나인 experimental data file 에 포함되어 있는 TMP SB 값을 다양하게 변화시켰다. TMP SB 는 Oryza2000 모형에서의 육묘보온효과를 결정하는 변수값인데 모형 내부에서 정의된 단어로서 실제 사용되는 학술용어가 아닌 관계로 본 연구에서는 TMP SB 를 “육묘온도 상승값”으로 명명하여 사용하였다. 본 연구에서는 육묘온도 상승값인 TMP SB 값을 0°C, 2°C, 5°C, 7°C 및 9°C로 설정하여 벼 생육을 모의하였다.

공간적으로 시간적으로 다른 육묘 온도 상승값을 평가하기 위해서 해당 지역의 연도 및 파종기를 기준으로 출수기를 표준화하였다. 표준화를 위해 특정 지역, 특정 연도에서 주어진 파종기에 대해 얻어진 육묘 상승온도에 따른 출수기의 중간값을 결정하고 이 중간값에서 각 육묘상승온도에 따라 모의된 출수기의 차이로 출수기를 표준화하였다. 예를 들면, 수원지역의 4 월 15 일 파종일에 0, 2, 5, 7, 9°C 조건에서의 출수기를 모의한 후 이들 온도에 따른 표준화된 출수기를 계산하였다. 각 온도별로 얻어진 출수기(HD_T) 중 출수기의 중간값(HD_M)을 결정하였다. HD_M 값이 얻어진 온도(T_M)를 결정하고 그 외의 온도에서의 출수기와 HD_M 과의 차이를 표준화된 출수기로 정의하였다(Fig. 1). 예를 들어, 표준화된 수치가 음의 값을 보이는 경우에는 해당 파종기에서의 출수기가 중간값보다 늦었음을 의미하고 양의 값을 보이는 경우에는 중간값보다 빨리 출수한 것을 의미한다. 평균값을 활용하지 않은 이유는 출수가 되지 않는 경우에 의해 평균값에 급격

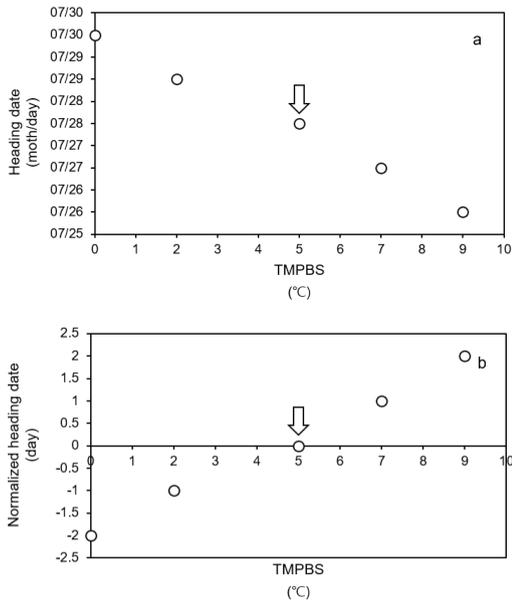


Fig. 1. Heading date (a) and normalized heading date (b) at TMPBS. Arrowed circle means median heading date. Normalized heading date is differences between median heading date and other heading date at same seeding date.

한 왜곡이 발생하기 때문이다. 표준화된 출수기를 지역과 파종년도에 대해서 모두 평균하여 파종기별로 표출되도록 정리하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 파종시기에 따른 육묘온도 상승값의 효과

생태형별 시기에 따라 육묘온도 상승값이 주는 출수기의 차이는 파종시기가 늦어질수록 감소하였다 (Fig. 2). Fig. 2 은 동일 파종기 내에서 육묘온도 상승에 따라 발생한 가장 빠른 출수기와 가장 늦은 출수기의 차이를 나타낸 것이며 오차 막대는 지역과 연차에 따른 변이를 의미한다. 출수기 차이는 4월 30일 파종 이후부터는 3일 이내로 급격히 감소하며 오차의 폭도 급격히 줄어들어 상당히 안정적인 값을 보였다. 이는 지역과 파종년도에 관계없이 4월 30일 이후의 파종을 할 경우에는 육묘온도 상승에 따른 효과가 제한적임을 의미한다. 이는 4월 30일 이전에는 대기온도가 낮아 육묘온도 상승에 따른 효과가 커서 0°C와 9°C 간의 출수기 차이가 크게 나타났다가 때문이었다. 즉 대기온도가 비교적 높은 시점부터는 육묘온도 상승값

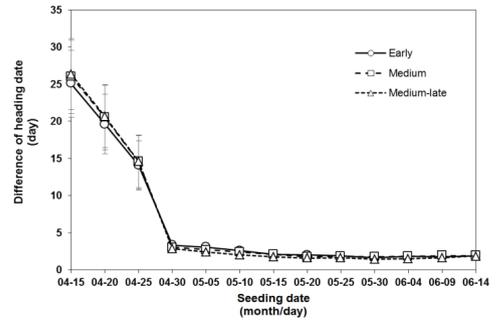


Fig. 2. Differences of heading date. the difference of heading date is difference between the latest heading date and the earliest heading date at each seeding date.

의 중요성이 상대적으로 낮음을 알 수 있으며, 4월 30일 이전에는 육묘온도 상승값 수준에 대해서 확인을 할 필요가 있다.

3.2. 육묘온도 상승값에 따른 파종시기별 출수기 변화

Fig. 2 에서 4월 중순까지는 육묘온도 상승값에 따라 출수기의 변동이 크다는 것을 확인하였는데 이를

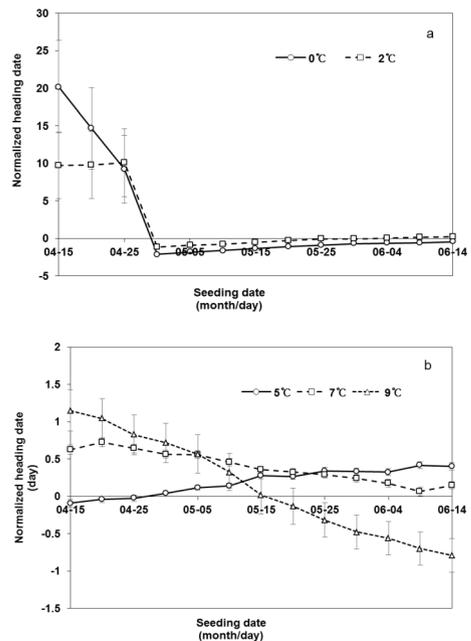


Fig. 3. Normalized heading date according to TMPBS at 0, 2°C (a) and 5, 7, 9°C (b). Normalized heading date is differences between median heading date and other heading date at same seeding date.

세부적으로 살펴보면 0°C와 2°C에서 4월 15일, 4월 20일, 4월 25일의 표준화된 출수기의 평균값이 크고 표준오차가 크다는 것을 알 수 있다(Fig. 3a). 4월 30일 이후부터는 평균값과 표준오차가 적어진다는 것을 알 수 있다(Fig. 3b).

이러한 온도 상승값에 따른 평균값과 표준편차는 출수기의 중간값에 어떤 온도가 많이 나타나는가에 따라서 결정된다. 총 5개의 온도로 모의되었기 때문에 상식적으로는 중간값이 모두 5°C에서 나타나야 하지만 실제 발생빈도는 5°C > 7°C > 9°C > 2°C > 0°C 순으로 중간값의 빈도가 발생하였다(Fig. 4). 즉 빈도상으로는 5°C가 가장 높지만 다른 온도에서도 중간값이 발생할 수 있었다.

이앙이 빨라졌을 때 표준화된 출수기의 값이 커지는 이유는 4월 15일부터 25일까지에서 저온기에 육묘 중에 벼가 냉해로 죽어 출수를 하지 못했기 때문이다. Oryza2000에서는 12°C 미만의 온도가 3일 이상 지

속될 시 벼가 죽는 것으로 설정되어 있다(Bouman *et al.*, 2001). 실제로 2010년 서산 기상상의 경우 4월 15일부터 4월 30일까지의 평균온도가 12°C미만으로 떨어진 날이 13일이었다. 그 결과 서산지역의 2010년도 출수기를 5°C미만 온도상승값으로 모의한 결과 4월 25일 파종기까지 출수가 되지 못하였다(Fig. 5).

결국 Fig. 3과 Fig. 5에 따르면 12°C 미만으로 온도가 낮아지면서 발생하는 위험성이 지역별로 연차별로 존재하기 때문에 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 최소한 5°C 이상의 육묘온도 상승값이 필요할 것으로 판단된다. 온도상승값 5°C이상의 온도는 모든 파종기에 대해서 2°C 보다는 표준화된 출수기와 출수기 오차 모든 면에서 안정적인 수치를 보였다. 그러나 5°C, 7°C 및 9°C 각각을 비교해보면 파종기에 따라 차이가 있었다. 5°C와 7°C의 경우 모든 파종기에서 표준화된 출수기가 0.5일 이내였으며 표준오차도 적었다. 즉 파종기에 따른 변이가 가장 작아 안정된 결과를 보였다. 다만 5°C의 경우에는 파종기가 늦어질수록 출수가 빨라진 반면에, 7°C에서는 파종기가 늦어질수록 출수기도 지연되는 양상을 보였다(Fig. 3b). 이러한 현상은 9°C에서 더 뚜렷하게 나타났는데 파종기가 늦어질수록 출수가 지연되는 양상을 보였다. 이 현상에 대한 일례로 Fig. 6는 광주지역에서의 조생종 오대를 모의하였을 때 육묘상승온도 9°C에서는 파종기가 늦어질수록 다른 온도들에 비해 오히려 출수가 지연되는 것을 확인할 수 있다. 이는 온도가 높을 경우 생육이 더 빨리 진전되어 출수기가 빨라진다는 통상적인 반응과 반대되는 것이었다.

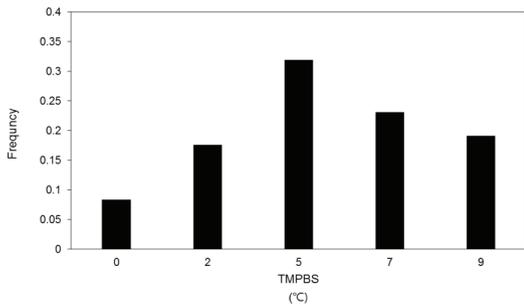


Fig. 4. Frequency of occurrence of median heading date at each TMPBS.

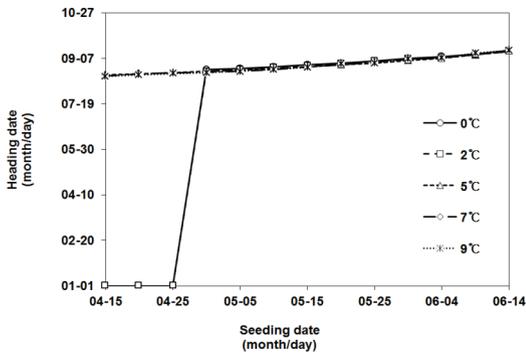


Fig. 5. Heading date of early maturity cultivar according to TMPBS at Seosan weather station in 2010. The heading date, 01/01, means rice seedling death during seedling nursery period for low temperature.

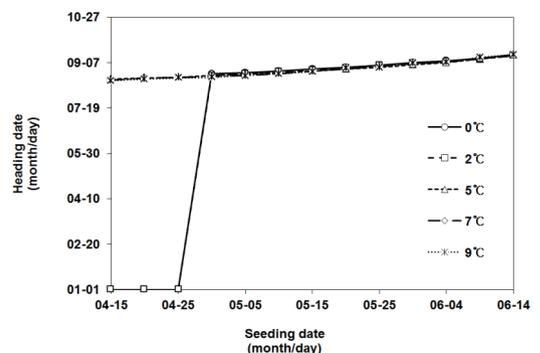


Fig. 6. Heading date of early maturity cultivar according to TMPBS at Gwangju weather station in 2010.

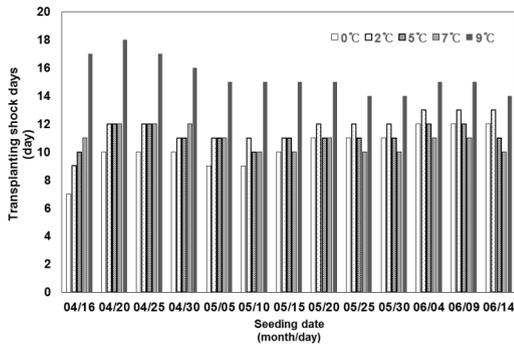


Fig. 7. Transplanting shock days of early maturity cultivar according to TMPSB at Gwangju weather station in 2010.

이러한 현상은 이앙시에 이른바 “모뭍살”로 일컬어지는 transplanting shock 반응을 이 모형에서 구현하고 있기 때문이다. 실제로 모뭍살은 모의 엽령이 클수록 커지게 되는데 Oryza2000 모형에서는 못자리에서의 생육기간, 정확하게 표현하자면 못자리에 있는 동안의 적산온도가 크면 그에 따라 모뭍살이 기간이 길어지도록 설정되어 있다. 이 때문에 광주에서 육묘온도 상승값에 따른 파종기별 모뭍살 기간을 보면 육묘상승 온도가 9°C일 때 모든 파종기에서 갑자기 모뭍살기간이 증가한 것을 확인할 수 있다(Fig. 7). 이는 육묘기간 중에 온도가 높을 경우 더 크게 발생할 수 있어 육묘기간에 온도가 높은 파종연도 또는 지역에서 이러한 현상이 발생할 수 있다.

3.3. 육묘 상승 온도 결정과 향후 연구 방향

전반적으로 검토하였을 때 육묘상승 온도는 5°C가 적합할 것으로 판단된다. 모든 파종기에서 변이가 가장 적었으며 파종기 변동에 따른 출수의 변화도 0.5 일 이내로 가장 적어 전국규모의 생육모의에서 육묘상승 온도에 따른 변이 발생을 최소화할 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 육묘상승 온도의 결정은 현재의 Oryza2000 내에서 가장 최적의 결과를 얻기 위한 방법을 뿐이며 육묘기간에 따른 오류를 완전히 제거한 것은 아니다. 이 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 모형에서 파종기와 육묘기간이 아닌 모령별로 중묘, 유묘, 치묘 즉 엽수에 따라 초기값으로 선택할 수 있도록 모형 자체를 수정할 필요가 있다.

배유잔존율이 높을수록 이앙 시 모뭍살이 적다고 알려져 있다(Han *et al.*, 2008). 따라서 이앙 당시 엽수

와 이앙기의 온도에 따른 모뭍살 효과에 관련된 연구가 필요하다. 만일 이러한 연구 결과가 있다면 모령을 바로 선택해서 구동을 할 수 있도록 모형을 변경시킬 수 있을 것이고 육묘상승 온도가 필요가 없게 된다. 모형을 구동할 때 가급적 입력값을 최소화하는 것이 중요하기 때문에 장기적으로는 모형의 수정을 통하여 개선할 필요가 있다.

적 요

최근 고해상도의 격자형 기상자료를 활용한 기후변화 또는 농업기후분석이 시도되고 있다. 모형구동을 위해서는 각 격자별로 재배 정보를 입력해야만 한다. 이러한 입력정보 중 Oryza2000에서는 육묘기간 온도 상승값이 필요하며 이는 지역별로 파종기에 따라 변화될 수밖에 없다. 그러나 격자형 자료를 사용하여 모의할 때는 이것들을 모든 격자에 대해서 변화된 값을 주는 것은 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해 철원, 수원, 서산, 광주에 대해서 4월 중순부터 6월 중순까지 육묘온도 상승값을 0°C, 2°C, 5°C, 7°C 및 9°C로 적용하고 가장 변이 발생이 적은 온도를 선택하였다. 0°C와 2°C는 4월 중순의 낮은 온도가 발생하였을 때 큰 변이를 보여 적절하지 않았으며 7°C이상에서는 변이가 줄어들었으나 모뭍살 효과에 따른 출수지연 효과가 지역별로 파종기별로 과대평가되는 경우가 발생할 수도 있다. 따라서 전반적으로는 5°C가 가장 안정적인 출수날짜를 보였으며, 격자형 기상자료를 구동할 때는 이를 활용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 작물시험연구(Project No. PJ01494201)의 지원아래 이루어졌음.

REFERENCES

- Basso, B., D. Cammarano, and E. Carfagna, 2013: Review of crop yield forecasting methods and early warning systems. In *Proceedings of the first meeting of the scientific advisory committee of the global strategy to improve agricultural and rural statistics*, FAO Headquarters, Rome, Italy, 18-19.
- Bouman, B. A. M., M. J. Kropff, T. P. Tuong, M. C. S. Wopereis, H. F. M. ten Berge, and H. H.

- van Laar, 2001: *ORYZA2000: modeling lowland rice*. IRRI.
- Han, H. S., W. Yang, J. Park, Y. Yoon, J. Kim, W. Yang, and J. Park, 2008: Nitrogen management for infant rice seedling with extended nursery duration by delayed transplanting. *Korean Journal of Crop Science* **53**(3), 239-243.
- Jame, Y. W., and H. W. Cutforth, 1996: Crop growth models for decision support systems. *Canadian Journal of Plant Science* **76**, 9-19.
- Jones, J. W., J. M. Antle, B. Basso, K. J. Boote, R. T. Conant, I. Foster, H. C. J. Godfray, M. Herrero, R. E. Howitt, S. Janssen, B. A. Keating, R. Muñoz-Carpena, C. H. Porter, C. Rosenzweig, and T. R. Wheeler, 2017: Brief history of agricultural systems modeling. *Agricultural Systems* **155**, 240-254.
- Kim, D., S. Kim, K. Moon, and J. I. Yun, 2012: An outlook on cereal grains production in South Korea based on crop growth simulation under the RCP 8.5 climate condition. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **14**(3), 132-141.
- Kim, H., J. Ko, S. Kang, and J. Tenhunen, 2013: Impact of climate change on paddy rice yield in a temperate climate. *Global Change Biology* **19**, 548-562.
- Kim, J., W. Sang, H. Shin, H. Cho, M. Seo, B. Yoo, and K. Kim, 2015: Evaluation of regional climate scenario data for impact assessment of climate change on rice productivity in Korea. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **18**, 257-264.
- Kim, K. S., B. H. Yoo, J. G. Kim, J. Park, 2017: Development of a gridded simulation support system for rice growth based on the ORYZA2000 model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(4), 270-279.
- Lee, C. K., K. S. Kwak, J. H. Kim, J. Y. Shon, and W. H. Yang. 2011: Impacts of climate change and follow-up cropping season shift on growing period and temperature in different rice maturity types. *Korean Journal of Crop Science* **56**(3), 233-243.
- Jones, J. W., J. M. Antle, B. Basso, K. J. Boote, R. T. Conant, I. Foster, H. C. J. Godfray, M. Herrero, R. E. Howitt, S. Janssen, B. A. Keating, R. Muñoz-Carpena, C. H. Porter, C. Rosenzweig, and T. R. Wheeler, 2017: Brief history of agricultural systems modeling. *Agricultural Systems* **155**, 240-254.
- Yoo, B. H., K. S. Kim, and H. Y. Ban, 2018: Development of a gridded crop growth simulation system for the DSSAT model using script languages. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(3), 243-251. <https://doi.org/10.5532/KJAFM.2018.20.3.243>