

ORYZA (v3) 모델을 사용한 벼 품종별 출수기 예측

현신우¹ · 김광수^{1,2,3*}

¹서울대학교 식물생산과학부, ²서울대학교 농림기상협동과정, ³서울대학교 농업생명과학연구원
(2017년 6월 29일 접수; 2017년 10월 24일 수정; 2017년 11월 8일 수락)

Estimation of Heading Date for Rice Cultivars Using ORYZA (v3)

Shinwoo Hyun¹ and Kwang Soo Kim^{1,2,3*}

¹Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul, Korea

²Interdisciplinary Program in Agricultural and Forest Meteorology, Seoul National University, Seoul, Korea

³Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

(Received June 29, 2017; Revised October 24, 2017; Accepted November 8, 2017)

ABSTRACT

Crop models have been used to predict a heading date for efficient management of fertilizer application. Recently, the ORYZA (v3) model was developed to improve the ORYZA2000 model, which has been used for simulation of rice growth in Korea. Still, little effort has been made to assess applicability of the ORYZA (v3) model to rice farms in Korea. The objective of this study was to evaluate reliability of heading dates predicted using the the ORYZA (v3) model, which would indicate applicability of the model to a decision support system for fertilizer application. Field experiments were conducted from 2015-2016 at the Rural Development Administration (RDA) to obtain rice phenology data. *Shindongjin* cultivar which is mid-late maturity type was grown under a conventional fertilizer management, e.g., application of fertilizer at the rate of 11 Kg N/10a. Another set of heading dates was obtained from annual reports at experiment farms operated by the National Institute of Crop Science and Agricultural Technology Centers in each province. The input files for the ORYZA (v3) model were prepared using weather and soil data collected from the Korean Meteorology Administration (KMA) and the Korean Soil Information System, respectively. Input parameters for crop management, e.g., transplanting date and planting density, were set to represent management used for the field experiment. The ORYZA (v3) model predicted heading date within 1 day for two seasons. The crop model also had a relatively small error in prediction of heading date for three ecotypes of rice cultivars at experiment farms where weather input data were obtained from a near-by weather station. Those results suggested that the ORYZA (v3) model would be useful for development of a decision support system for fertilizer application when reliable input data for weather variables become available.

Key words: Crop model, Input data, Ecotype, Weather station, Model comparison



* Corresponding Author : Kwang Soo Kim
(luxkwang@snu.ac.kr)

I. 서 론

작물의 생산성은 당해 년도의 기상조건과 장기간의 기술발전에 따라 변동한다. 예를 들어, 품종과 재배방식의 개선으로 인해 1965년부터 2016년까지 연도별 미국 생산성은 평균적으로 7% 증가하였다(통계청, 2016). 육종기술 발전을 통해 잠재수량이 큰 품종을 재배함과 동시에 효율적인 시비관리로 보다 지속가능한 재배관리를 수행할 수 있다. 특히, 작물의 생육은 기상 및 토양요인에 영향을 받기 때문에, 주어진 환경 조건에서의 작물의 생물리화학적 반응을 예측한다면 효과적인 시비관리가 가능하다.

국내에서 작물의 생육을 모의하기 위해 여러 종류의 작물 모델들이 사용되어 왔다(Kim *et al.*, 2015). 예를 들어, Yun(2003)은 DSSAT 모델에 포함되어 있는 CERES-RICE 모델을 사용하여 국내 1997년부터 1999년까지의 수량자료를 예측하고 관측자료와 비교하였다. Lee *et al.*(2011, 2012)는 기후변화 시나리오 자료를 ORYZA2000의 입력자료로 사용하였을 경우 발생할 수 있는 시공간적인 생육 양상을 모의하였다.

작물 모델들은 특정 재배체계와 작부체계를 고려하여 생산성을 예측할 수 있도록 개발되었기 때문에, 국내 환경에 적합한 작물 모델을 사용하는 것이 필요하다. 예를 들어, ORYZA2000 모델의 경우, 국내 재배 품종의 등숙 특성을 고려한 모듈들이 수정되어 사용되어 왔다(Lee *et al.*, 2015). 최근, 국내에서 널리 사용되어 오던 ORYZA2000 모델을 개선한 ORYZA (v3) 모델이 개발되었다(Li *et al.*, 2017). 그러나, 새롭게 개발된 모델을 활용하여 우리나라 재배 환경조건에서 검증한 연구는 아직까지 이루어지지 않았다.

작물 모델은 시비관리 의사결정 지원시스템의 일부 분으로 작물 생육을 예측하기 위해 사용될 수 있다. 특히, 벼 재배관리에 있어 출수기 예측은 상당히 중요한 부분을 차지하므로, 작물 모델이 신뢰성 높은 출수기 예측값을 제공할 경우, 효율적인 재배관리가 가능할 것이다. 또한, ORYZA (v3) 모델이 국내에서 널리 사용되기 위해, 이들 모델을 구동하기 위해 요구되는 입력자료의 가용성 역시 평가되어야 한다. 본 연구에서는 우리나라 재배조건에서 기존의 모수를 사용하여 ORYZA (v3) 모델을 사용하여 출수기를 예측하고 오차의 발생원인을 파악하고 국내에서 제공되는 기상 및 토양 데이터베이스로부터 해당 모델의 입력자료를

생성하기 위해 요구되는 노력의 정도를 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. ORYZA (v3)

벼의 생육을 모의하기 위해 International Rice Research Institute(IRRI)에서 ORYZA2000 모델이 개발되었다(Bouman *et al.*, 2001). IRRI에서 개발된 이래로 국내에 도입되어 사용되어온 ORYZA2000 모델은 토양 모듈이 질소와 수분 관련 함수가 포함되어 있어 시비나 관개 조건에 따른 벼 생산성을 예측할 수 있다. 그러나, 구체적인 토양의 양분이나 수분이동을 모의할 수 있는 토양 모듈이 구현되어 있지 않아, 유기재배 조건과 같은 다양한 재배조건에서의 벼 수량을 모의할 수 있는 기능들이 요구되어 왔다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해 ORYZA (v3) 모델이 개발되었다(Li *et al.*, 2017). 예를 들어, ORYZA (v3) 모델은 유기물 시용과 같은 다양한 시비 조건에서 토양 양분 동태를 예측할 수 있는 토양모듈이 추가되었다. 이러한 기능들은 유기질 비료 시비시기 및 시비량을 결정하기 어려운 국내 유기농 재배 농가들을 위한 시비의사결정 시스템을 구축하기 위해 활용될 수 있다.

ORYZA (v3) 모델의 입력변수는 기상, 토양, 품종 및 재배관리 관련 변수들로 구성된다. 입력 기상 변수로는 일단위의 최고 및 최저 기온, 강수량, 일사량, 수증기압, 풍속이 사용된다. 작물 생산성 모의 지점의 토양 특성을 나타내기 위해 토양 층위별 전용적밀도(bulk density), 점토 및 모래 함량, 토양 중 유기물의 탄소 및 질소 함량 등이 사용된다. 품종의 특성을 나타내는 품종 모수는 생장속도, 일장 감응, 및 동화산물 분배와 관련된 모수들로 구성된다. 재배관리로는 시비량과 파종일과 이앙일과 같은 재배 시점이 입력변수로 사용된다.

2.2. 실험장소 및 기간

농촌진흥청 국립농업과학원의 실험 포장(35.827N, 127.047E)에서 얻어진 관측자료를 활용하여 ORYZA (v3) 모델의 신뢰성과 활용성을 평가하였다. 실험포장에서는 화학비료 표준시비 조건에서 2015년과 2016년 두 작기에 걸쳐 벼의 출수기를 관측하였다. 실험포장의 토양은 인위토인 인청토으로 토양정보는 Table

Table 1. Soil properties of experimental field

| Depth (cm) | Clay (fraction) | Sand (fraction) | SOM (fraction) | Bulk Density (g/cm ³) |
|------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|
| 20 | 0.236 | 0.44 | 0.0181 | 1.21 |
| 40 | 0.236 | 0.44 | 0.0156 | 1.21 |
| 60 | 0.254 | 0.362 | 0.0126 | 1.65 |

1과 같다. 2015년의 파종일과 이앙일은 각각 5월 4일과 6월 11일이었고, 2016년의 파종일과 이앙일은 5월 4일과 6월 14일이었다. 실험 시 재식밀도는 30cm x 20cm 이었으며 시비량은 9kg N/10a였다.

벼 우량계통 지역적응시험 관측자료를 바탕으로 다른 지역에서 ORYZA (v3) 모델의 활용 가능성 여부를 검토하였다. 벼 우량계통 지역 적응시험의 관측 자료 중 2015년과 2016년 동안 27지역에서 얻어진 출수기 자료를 수집하였다. 조생종의 경우 파종일과 이앙일은 각각 4월 20일과 5월 20일이었으며 재식밀도는 30cm x 12cm 이었다. 중생종의 경우 파종일과 이앙일은 각각 4월 25일과 5월 25일이었다. 재식밀도는 조생종보다 낮은 30cm x 15cm 이었다. 그러나, 2015년의 진안과 2016년의 예산의 경우, 30cm x 12cm의 재식밀도로 재배되었다. 중만생종의 파종일과 이앙일은 각각 4월 30일과 5월 30일이었다. 중만생종은 중생종과 동일한 30cm x 15cm의 재식밀도가 사용되었으나 2015년과 2016년에 계화와 영암에서 수행된 실험에서는 30cm x 12cm의 재식밀도가 사용되었다.

2.3. 모델 입력 자료

기상입력파일을 생성하기 위해 인근 기상관측소에서 얻어진 기상자료를 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)로부터 수집하였다. 2015년과 2016년의 작기에 해당하는 기간 동안의 일별 기상자료들을 수집하였다. ORYZA 모델과 호환되는 기상 입력 자료를 생성하기 위해 WiseDownloader(Lee *et al.*, 2015)를 사용하였다. 실험 포장의 토양을 대표하는 토양입력 자료를 생성하기 위해 농촌진흥청에서 운영하는 토양 데이터베이스인 흙토람(<http://rda.soil.go.kr>)을 통해 수집하였다. 실험 포장의 토양통 정보를 활용하여 용적 밀도, 토성, 토양유기탄소 및 유기질소 등 ORYZA (v3)에 요구되는 토양 입력자료를 생성하였다.

ORYZA2000 모델에서 사용되어온 품종모수가 ORYZA (v3) 모델에서도 사용될 수 있는지 확인하기 위해 Lee *et al.*(2015) 에서 사용된 품종모수를 사용

하였다. 특히, 유사한 생태형을 가진 품종에 적용가능성을 검토하기 위해 포장실험에서 얻어진 신동진 품종의 생육자료와 ORYZA (v3) 모델의 예측자료와 비교 분석하였다. 또한, 벼 우량계통 지역적응시험에 사용된 표준 품종은 조생종인 오대벼와 진부벼, 중생종인 화성벼, 그리고 중만생종인 남평벼였기 때문에 각각의 생태형에 해당하는 품종모수가 사용되었다.

실험포장의 재배관리를 기준으로 ORYZA (v3) 모델의 모의설정값을 정하였다. 파종일과 이앙일은 포장 실험이 수행된 날짜를 기준으로 설정되었다. 파종후 이앙일까지는 대개 대기조건보다는 멀칭조건에서 육묘가 진행된다. ORYZA (v3) 모델의 입력자료중 이러한 온도변화를 입력자료로 사용할 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 이러한 조정값을 사용하기 보다는 실제 육묘기간 동안의 추가적인 온도를 반영하여 기상자료를 조정하였다. 각 실험에 대한 시비량은 시행 자료에 따라 설정을 하였다.

2.4. 예측 오차 분석

ORYZA (v3) 모델로 예측된 출수기의 정확도를 분석하기 위해 관측값과 예측값 사이의 오차의 분포를 분석하였다. 이를 위해, Sigma plot(Systat Software Inc., San Jose, CA)을 사용하여 2015년과 2016년에 얻어진 오차값들의 BoxPlot을 생성하였다. 기상자료의 오차가 출수기 예측오차에 미치는 영향을 분석하기 위해, 출수기 관측치가 얻어진 포장과 기상 입력자료가 얻어진 기상관측소 사이의 거리 계산하였다. 이를 사용하여 2015년과 2016년에 얻어진 절대 오차들의 평균값과 거리 사이의 Scatter plot를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

국립농업과학원 실험 포장에서 예측된 출수기는 관측치와 상당히 유사하였다(Fig. 1). 예를 들어, 2015-6년까지의 두 작기 동안 출수기 오차는 각각 0일과 1일이었다. 비록, 본 연구에서 사용된 품종모수는 실제 사

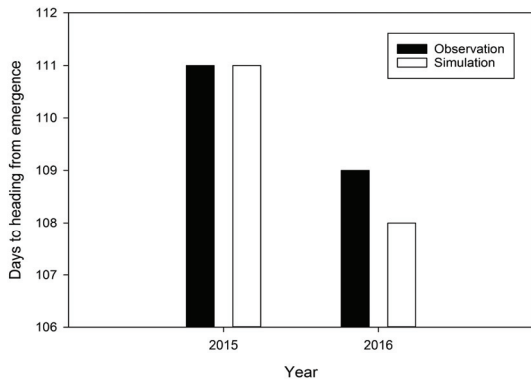


Fig. 1. Days to heading from emergence obtained from NASSwjdntInstitute of Crop Science) (National Institute of Agricultural Science) field experiment and crop growth simulation using the ORYZA (v3) model.

용된 품종을 대상으로 얻어진 것이 아니었음에도 불구하고, 상당히 정확한 출수기 예측값을 얻을 수 있었다.

벼 우량계통 지역적응시험지에서 얻어진 출수기 예측값은 국립농업과학원의 실험 포장에 비해 비교적 큰 오차를 가졌다(Fig. 2). 생태형별로 비교하였을 때 중만생종, 중생종, 조생종 순으로 평균적인 출수기 오차가 작았다. 이러한 결과는 조생종과 중생종 품종의 경우, 출수기가 온도에 민감하게 반응하기 때문인 것으로 판단된다(Ahn, 1968). 그러나, 출수기는 생태형에 따른 온도에 대한 반응과 함께 일장에 대한 반응의 의해 형성될 수 있다. 중생종과 조생종의 경우 일장에 민감한 생육시기, 최적일장, 및 일장민감성을 나타내는 모수값이 과다하게 추정될 경우, 지역별로 오차 범위와 오차 크기가 확대되었을 가능성도 있다.

모든 생태형의 경우 실험 포장과 기상 관측소사이의 거리와 출수기 예측 오차가 유의한 상관관계를 가지고 있었다(Fig. 3). 실험포장과 기상관측소 사이의 거리와의 결정계수가 작았던 중만생종의 경우에도 유의한 상관관계가 나타났다. 이러한 결과들은 기상입력 자료의 불확실성이 출수기 예측에 상당한 영향을 미쳤다는 것을 암시한다. 오차가 큰 지역의 대부분은 서산, 예산, 및 나주와 같이 강, 호수 또는 해안가에 위치한 경우가 많아, 이 역시 인근 기상관측소에서 얻어진 기상자료가 출수기가 관측된 시험장의 국지적 기상조건을 대표하지 못하여 발생한 것으로 추정되었다(Kim *et al.*, 2015). 또한, 진주의 경우 기상관측소와 실험포장과 거리가 약 10 km 떨어진 곳에 위치하였으나 인근의 인공호수 때문에 상당히 큰 오차가 발생한 것으로

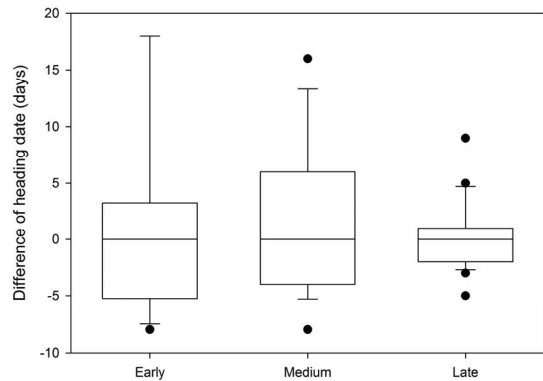


Fig. 2. Difference between observed and simulated heading date by rice ecotypes.

보였다. 이러한 결과에 비추어 볼 때, 기상입력 자료의 불확실성을 최소화한다면, 특정 지역단위에서 ORYZA (v3) 모델을 사용하여 유사한 생태형을 가진 품종들의 출수기 예측에 활용될 수 있을 것이다.

국내에서 ORYZA (v3) 모델을 사용되는 입력자료를 생성하는 것은 비교적 용이할 것으로 판단된다. 기상 입력자료의 경우, Lee *et al.*(2015)에 의해 자료 처리 도구가 이미 개발되어 기상청에서 제공하고 있는 50여개 이상의 기상관측소 지점을 대상으로 한 입력 자료 생성을 자동화 할 수 있다. 그러나 토양입력자료는 직접 생성하여야 하기 때문에 처리도구를 개발하는 것이 필요하다. 흙토폴라에서 제공되는 정보는 비교적 일정한 형식으로 정리가 되어있고, 이를 이용해 토양 수분정보를 자동으로 계산해주는 프로그램의 출력자료 역시 고유한 형식을 가지고 있기 때문에 이에 대한 자료 처리 도구 역시 개발이 가능할 것이다. ORYZA (v3) 모델은 토양입력자료에서 요구하는 토양정보가 기존보다 세밀해졌기 때문에 토양입력자료 생성을 위한 도구가 개발이 된다면, 보다 원활한 모델 사용이 가능해질 것이다.

전국 규모에서 ORYZA (v3) 모델을 사용한 시비관리 의사결정 지원 시스템을 구축하기 위해 충분한 자료 확보를 위한 추가 연구가 선행되어야 할 것으로 보인다. 우선, 작물 생육 모의결과를 검증할 수 있는 실측자료가 확보되어야 한다. Kim *et al.*(2015)은 국내 실측자료로 농촌진흥청에서 시행하는 벼 작황시험 결과 자료가 사용될 수 있으나, 건물중 자료가 제공되지 않아 충분하지 못하다고 보고하였다. 따라서, 지역 및

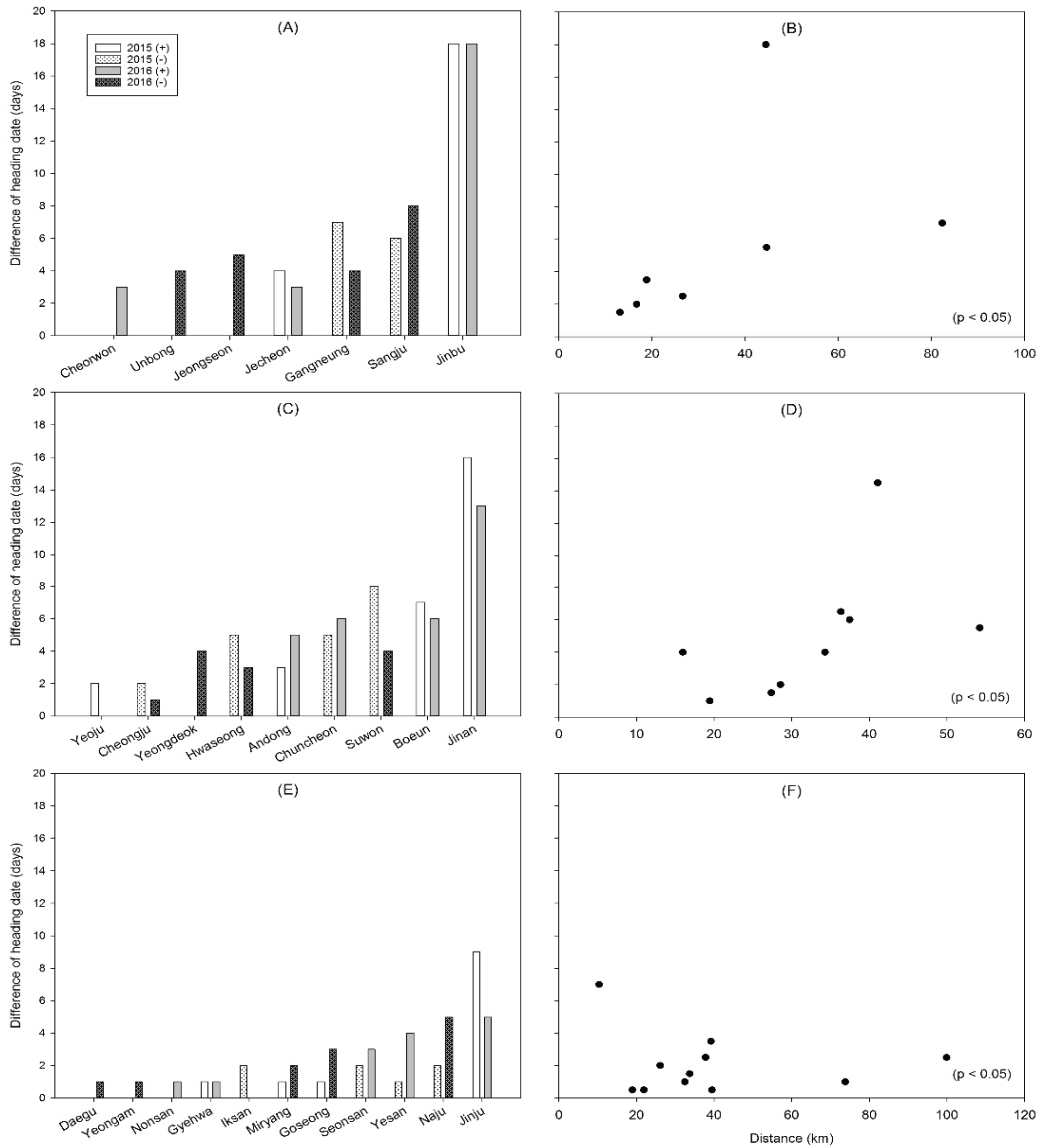


Fig. 3. Difference between observed and simulated heading date by site (A, C, E) and distance (B, D, F). (A) and (B) for early maturity type, (C) and (D) for medium maturity type, and (E) and (F) for medium-late maturity type.

기간의 확대를 통해 건물중 시계열 자료를 수집하고 정리하여, 지역별로 생육자료를 수집하고 이를 모의자료와의 비교를 위한 검증자료로 활용되어야 할 것이다.

ORYZA2000 모델이 국내에서 주로 사용되어 왔으나 아직까지도 국내에서 재배되고 있는 품종을 모의하기 위한 기본적인 품종모수가 부족하다. 따라서, 최근 개발된 품종에 대한 품종모수가 개발되어야 한다. ORYZA (v3) 모델의 품종 모수는 IRR에서 기본적인

로 제공하는 품종모수 및 일부 논문에서 사용된 품종모수에 제한되어 있다(Hoogenboom, 2015). 본 연구에서도 실험에 사용한 품종은 신동진, 오대, 화성, 남평 및 진부 품종이 사용되었으나 대다수의 경우 생태형이 유사한 품종모수를 사용하여 예측값과 실측 값에 오차가 발생하였을 것으로 사료된다. 특히, 기후변화와 이상기상에 대응하기 위해 개발되는 품종들은 기존의 품종과는 상이한 생육 특성을 가지기 때문에, 이들

을 대상으로 하는 품종모수 개발을 위한 자료 확보가 필요하다. 육종과정에서 얻어진 생육자료가 활용가능하다면, 품종모수 개발을 보다 신속히 수행할 수 있을 것이다.

적 요

벼의 생육에 있어서 중요한 역할을 하는 출수기를 예측하기 위해 작물모델이 사용될 수 있다. 벼의 생육을 모의하는 모델 중 널리 사용되던 ORYZA2000 모델이 개선되어 ORYZA (v3)가 최근에 보고되었다. 그러나, 최근까지 ORYZA (v3)의 국내 적용 가능성에 대해서는 연구가 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 ORYZA (v3)를 이용하여 예측된 출수기의 신뢰성을 검토하였다. 또한, 새로운 모델에 요구되는 입력자료를 생성하는데 있어서의 편의성을 평가하였다. 국립농업과학원의 실험포장에서 2015년과 2016년에 걸쳐 중만생종인 신동진벼를 이용하여 화학비료 표준시비 조건에서 실험을 수행하였다. 입력자료는 실험에 사용한 재배관리자료, 기상청으로부터 수집한 기상자료, 흠토람으로부터 수집한 토양자료 및 Lee *et al.*(2015)에서 사용한 품종모수 자료를 사용하였다. 또한, 벼 우량계통 지역적응시험에서 얻어진 출수기 관측자료와 예측자료를 비교하였다. 예측된 출수기는 인근 기상관측소에서 얻어진 기상입력 자료가 사용되었을 경우, 실제 출수기와 비교적 유사한 결과를 보였다. 예를 들어, 전주, 대구, 영남, 논산, 계화에서 예측된 출수기는 1일 이내의 상당히 작은 오차는 가졌다. 그러나, 기상자료가 비교적 멀리 떨어져 있거나 해안가 인근지역에 위치하여 출수기 관측지의 국지적 기상조건을 충분히 반영하지 못할 경우 상당한 오차가 발생하였다. ORYZA (v3)의 입력자료 생성과 관련한 편의성 측면에서는 기존의 자료 처리도구를 활용할 수 있는 기상자료 확보는 비교적 용이할 것으로 판단되나, 토양자료에 대해서는 ORYZA 2000 모델의 입력자료에 추가적인 자료가 요구되어 토양자료 처리도구의 개발이 필요할 것으로 보였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ010865052017)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahn, S.B., 1968: Studies on response of rice plant to photoperiod. *Korean Journal of Crop Science* **5**(1), 45-49.
- Bouman, B. A. M., M. J. Kropff, T. P. Tuong, M. Wopereis, H. F. M. Ten Berge, and H. H. Van Laar, 2001: *ORYZA2000: modeling lowland rice*, International Rice Research Institute, 235p.
- Hoogenboom, G., J. W. Jones, P. W. Wilkens, C. H. Porter, K. J. Boote, L. A. Hunt, U. Singh, J. I. Lizaso, J. W. White, O. Uryasev, R. Ogoshi, J. Koo, V. Shelia, and G. Y. Tsuji, 2015: Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (<http://dssat.net>), DSSAT Foundation, Prosser, Washington.
- Kim, J., C. K. Lee, H. Kim, B. W. Lee, and K. S. Kim, 2015: Requirement analysis of a system to predict crop yield under climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(1), 1-14. (in Korean with English abstract)
- Lee, C. K., J. Kim, and K. S. Kim, 2015: Development and application of a weather data service client for preparation of weather input files to a crop model. *Computers and Electronics in Agriculture* **114**, 237-246.
- Lee, C. K., J. Kim, J. Shon, W. H. Yang, Y. H. Yoon, K. J. Choi, and K. S. Kim, 2012: Impacts of climate change on rice production and adaptation method in Korea as evaluated by simulation study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 207-221. (in Korean with English abstract)
- Lee, C. K., K. S. Kwak, J. H. Kim, J. Y. Son, 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. (in Korean with English abstract)
- Li, T., O. Angeles, M. Marcaida, E. Manalo, M. P. Manalili, A. Radanielson, and S. Mohanty, 2017: From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments. *Agricultural and Forest Meteorology* **237**, 246-256.
- Yun, J. I., 2003: Predicting regional rice production in South Korea using spatial data and crop-growth modeling. *Agricultural Systems* **77**(1), 23-38.