

지역적응 시험 자료를 활용한 옥수수 작물모형 CERES-MAIZE의 품종모수 추정시의 문제점

김준환* · 상완규 · 신평 · 조현숙 · 서명철

농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과, 전라북도 완주군 이서면 혁신로 181
(2018년 11월 20일 접수; 2018년 12월 4일 수정; 2018년 12월 5일 수락)

Calibration of crop growth model CERES-MAIZE with yield trial data

Junhwan Kim*, Wangyu Sang, Pyeong Shin, Hyeounsuk Cho and 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 November 20, 2018; Revised December 4, 2018; Accepted December 5, 2018)

ABSTRACT

The crop growth model has been widely used for climate change impact assessment. Crop growth model require genetic coefficients for simulating growth and yield. In order to determine the genetic coefficients, regional growth monitoring data or yield trial data of crops has been used to calibrate crop growth model. The aim of this study is to verify that yield trial data of corn is appropriate to calibrate genetic coefficients of CERES-MAIZE. Field experiment sites were Suwon, Jinju, Daegu and Changwon. The distance from the weather station to the experimental field were from 1.3km to 27km. Genetic coefficients calibrated by yield trial data showed good performance in silking day. The genetic coefficients associated with silking are determined only by temperature. In CERES-MAIZE model, precipitation or irrigation does not have a significant effect on phenology related genetic coefficients. Although the effective distance of the temperature could vary depending on the terrain, reliable genetic coefficients were obtained in this study even when a weather observation site was within a maximum of 27 km. Therefore, it is possible to estimate the genetic coefficients by yield trial data in study area. However, the yield-related genetic coefficients did not show good results. These results were caused by simulating the water stress without accurate information on irrigation or rainfall. The yield trial reports have not had accurate information on irrigation timing and volume. In order to obtain significant precipitation data, the distance between experimental field and weather station should be closer to that of the temperature measurement. However, the experimental fields in this study was not close enough to the weather station. Therefore, When determining the genetic coefficients of regional corn yield trial data, it may be appropriate to calibrate only genetic coefficients related to phenology.

Key words: Crop model, Calibration, CERES-MAIZE, Yield trial data



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

I. 서 론

기후변화에 따른 작물의 영향 평가는 각종 시설을 이용한 시험을 통해 작물들의 온도 또는 CO₂ 상승에 따른 작물들의 생장과 수량 반응을 관찰함으로써 얻을 수 있다(Kim *et al.*, 2013; Tacarindua *et al.*, 2013; Fleisher *et al.*, 2014). 그러나 이러한 접근 방법은 개별 작물들의 환경변화에 따른 반응을 파악할 수는 있으나 국가단위 또는 전지구적 규모의 생산성 변화는 알 수 없다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 과정 지향형 작물 생육모형(process-oriented crop growth model)이 도입되고 있다(Chung *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2017). 작물생육모형은 온도, 일사량, 강우와 같은 기후요소와 품종, 토양, 재배방법과 같은 재배요소에 따라 작물의 생장을 일단위로 모의하여 수량을 추정해 낼 수 있다. 이러한 장점으로 지점단위 또는 지역단위로 수량을 모의할 수 있어 수량 변화를 지리적으로 공간적으로 분석할 수 있다.

그러나 작물생육모형은 통계모형과 달리 자세한 입력정보가 필요하다. 기본적으로 해당 지역의 어떤 품종이, 언제, 어떤 재배관리를 받으며 생육하는지에 대한 정보가 필요하다. 특히 품종에 대한 정보는 다른 정보들과는 달리 작물생육모형 요구되는 형태로 각 품종별 존재해야 한다. 이러한 품종자료는 실제 실험자료들을 통해서 얻어내야만 한다. 품종모수를 얻기 위한 실험을 별도로 하지 않고 국내 작황 자료 또는 지적 자료를 이용하여 품종모수를 추정해내고 이를 기반으로 분석하는 경우가 많다(Chung *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2017). 본 연구에서는 CERES-MAIZE(Jones *et al.*, 1986)를 이용하여 옥수수에 대해서 지역적용 시험 자료에 근거하여 품종모수를 추정할 때 발생할 수 있는 문제점을 확인하고 앞으로의 개선점을 파악해보고자 한다.

II. 재료 및 방법

2.1. 토양자료 입력자료 전환

모형의 품종모수 적합과 검증에 위해 도농업기술원의 자료를 이용하였으며 따라서 각 도별 포장의 토양통을 흙토람 자료를 통해서 획득하였다. 획득된 토양통 자료는 DSSAT의 SBuild(Uryasev *et al.*, 2004)을 이용하여 모형 입력값 형태로 전환하였다. 사용된 지

역은 국립식량과학원 전작포장(우평통)과 충북도원(신형통), 경북도원(화동통), 경남도원(규암통)이다.

2.2. 기상자료 입력자료 전환

기상요소는 DSSAT에서 요구하는 최소 구성요소인 일사량(MJ/day), 최고온도(°C), 최저온도(°C), 강수량(mm)를 기상청 종관기상 관측지점에서 얻어내어 입력자료로 전환하였다. 사용된 기상관측지점은 각 시험포장에서 가장 가까운 거리에 있는 종관기상관측 지점을 선정하였다. 수원은 포장과 관측소와의 거리가 1.3km이었으며, 대구는 15.8km, 청주는 27.3km, 진주는 9.0km였다. 모든 기상자료는 기상정보 포털(data.kma.go.kr)에서 확보하였다. 각 기상대별로 2004년부터 2014년까지의 기상자료를 수집하였다.

2.3. 작물생육관련 자료 수집 및 입력자료 전환

옥수수 지적 자료 중 10년가량 존재하며 위도가 다른 지역 3개 이상, 기상관측소가 있는 지점으로 결정하였다. 앞서 결정된 4개 지역은 이러한 원칙에 따라 선정된 지역이다. 시험품종은 일미찰이 선정되었는데 일미찰은 현재 표준품종으로 비교적 자료가 풍부하였기 때문이다. 실험품종 개발 공동연구보고서(RDA, 2015)에서 2004년, 2005년의 지적자료와 2008년 이후 2014년까지의 표준품종으로 시험이 이루어진 자료를 수집하였으며 2004년, 2005년, 2008년, 2009년을 calibration set으로 2010년부터 2014년까지의 자료를 validation set으로 사용하였다.

파종 및 시비에 대한 기본적인 재배관리는 실험품종 공동연구 개발보고서에 명기되어 있어 파악할 수 있지만 물관리여부에 대해서는 정확한 정보를 확인할 수 없다. 기본적으로 별도의 물관리를 하지는 않지만 가뭄이 과한 경우 재배관리상 물관리를 할 수 밖에 없을 것이다. 이 때문에 품종 모수 적합시에 관수조건을 not irrigated(무관수) 와 auto irrigated(자동관수, 최적수 분산태에 근사함)로 각각 설정하여 각각에 대해서 DSSAT내 도구인 품종모수 결정 프로그램인 GLUE(He *et al.*, 2009; Jones *et al.*, 2011)를 이용 품종 모수를 결정하였으며 총 반복 연산은 5000번으로 수행하였다.

2.4. 모형 성능 평가

모형 검증에는 Loague and Green(1991)의 relative

root mean square error(RRMSE, 식 1)와 Nash and Sutcliffe(1970)의 Nash-Sutcliffe model efficiency (EF, 식 2)을 이용하였다. O와 P는 각각 실측값과 예측값을 의미하며 \bar{O} 는 실측값의 평균이다. RRMSE는 실측값과 예측값간의 차이를 %형태로 표현한 것이며 EF 실측평균값과 비교하여 예측성능을 평가하는 것이다.

$$RRMSE = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_1^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_1^n (O_i - S_i)^2}{(O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

III. 결과 및 고찰

3.1. 생물계절에 대한 calibration과 validation

관수와 자동 관수 조건에서 얻어진 품종모수는 Table 1과 같다. 옥수수에 대한 품종 모수는 생물계절을 결정하는 P1, P2, P5와 수량관련 요소를 결정하는

Table 1. Calibrated genetic coefficient of Ilmi-chaI with not-irrigation option and auto-irrigation option

Irrigation option	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
Not - irrigation	171.7	1.189	743.9	985.7	16.37	49.0
Auto-irrigation	191.0	0.392	917.2	910.1	15.2	49.0

G2와 G3 그리고 엽수 진전을 결정하는 PHINT로 구성되어 있다. 옥수수의 출사기는 P1, P2로 이루어지는데 관수 조건에 따라 각각 다른 값이 얻어졌다.

그런데 이 두 품종모수에서 얻어진 결과는 서로 유사하였다(Fig 1). 생육단계를 결정하는 요소는 작물모형에서 온도로 결정되기 때문에 다른 기상요소는 크게 영향을 주지는 못한다. 이 때문에 동일한 예측능력을 갖는 모수가 얻어진 것으로 생각된다. 다만 무관수와 자동관수간에 차이가 발생한 것은 GLUE의 특성 때문이다. GLUE는 임의의 모수집단을 생성하고 여기서 예측값과 실측값 간의 차이가 최소화되는 값을 선정하는 방식으로 모수를 추정한다. 즉 차이가 최소화되는 조합이 유일할 수도 여러 개일 수도 있다. 따라서 두개의 값 중 어떤 것이 실제 생물학적 특성을 반영하는 것인지는 명확히 알 수 없다. 최근 품종모수를 표현형으로 활용하여 유전분석을 시도하는 연구가 시도되고 있다(Lamsal et al., 2017). 그러나 GLUE와 같은 방식으로 품종모수를 추정하였을 경우에는 표현형으로 사용하기에는 무리가 있을 수 있다.

얻어진 품종모수를 독립된 자료로 검증한 결과는 Fig 2와 같다. 무관수와 자동관수 조건에서 얻어진 품종모수를 적용했을 때 대구지역에서의 결과가 모두 과소평가 되었다. 이것은 시험지역의 위치가 calibration에 사용했던 지역과 동일하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 즉 포장의 위치가 변경된 것으로 생각된다. 따라서 향후 분석에서는 대구를 제외하였다. 무관수 조건에서 얻어진 품종모수를 적용하였을 때 RRMSE=3.3%, EF=0.68으로 calibration set의 결과

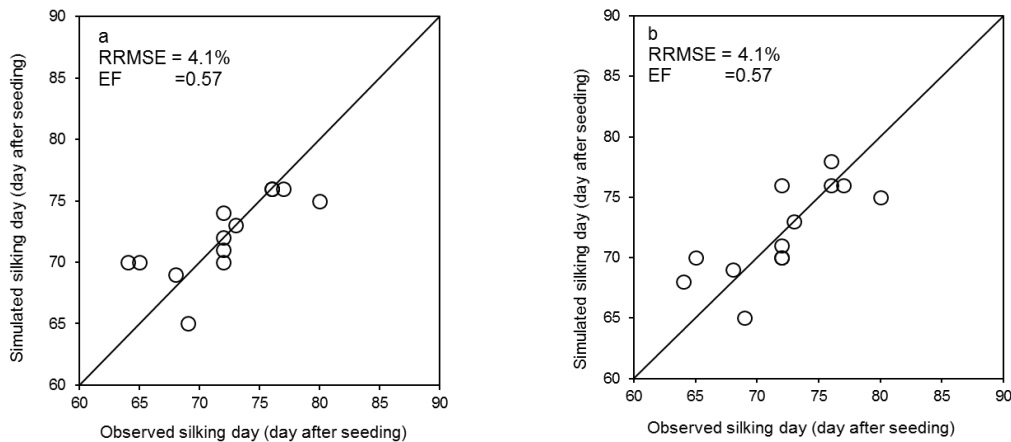


Fig. 1. Comparison of observed silking day and simulated silking day with calibration data set. Genetic coefficients were calibrated under no-irrigation (a) and auto-irrigation (b) condition.

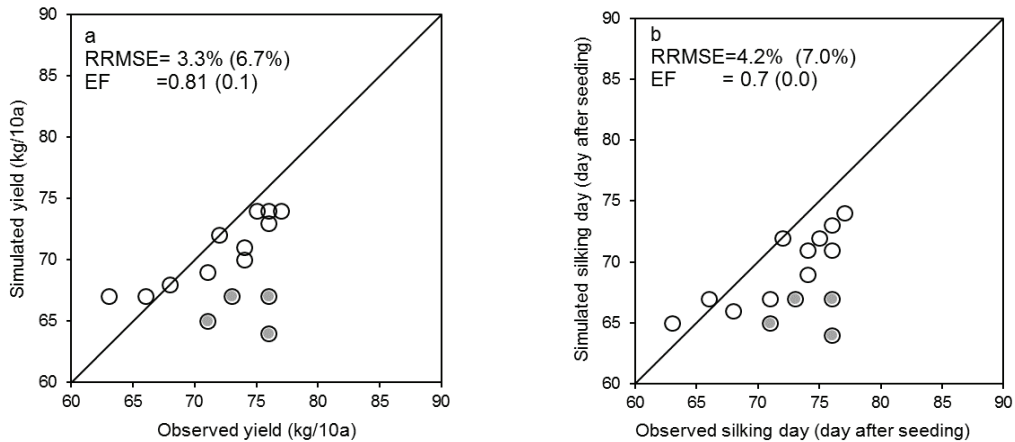


Fig. 2. Comparison of observed silking day and simulated silking day with validation data set. Genetic coefficients were calibrated under no-irrigation(a) and auto-irrigation(b) condition. Gray circles represent Daegu experimental site. Daegu site was excluded for calculating RRMSE and EF. RRMSE and EF in parenthesis were calculate with all site.

보다는 예측성능이 높았다. 반면 자동관수 조건의 결과는 RRMSE=4.3%, EF=0.56로 calibration set의 결과와 유사하였다. 검증 결과 두 모수 모두 출사기를 예측하는 데는 큰 문제가 없을 것으로 생각되었다.

3.2. 수량에 대한 calibration과 validation

수량의 경우 출사기와는 달리 무관수와 자동관수간에 양상이 크게 차이가 났다. 각 조건 별로 보면 무관수 조건의 경우는 과소평가가 되었으며 자동관수조건에서는 전반적으로 과대 평가되었다(Fig 3). 모형 효율이 음수로 나오는 결과를 보였다. EF값이 음수인 경우

에는 예측모형으로서의 효용성이 없다고 할 수 있다 (Kim *et al.*, 2012). 이는 재배관리가 무관수도 아니고 관수를 완벽하게 한 상태가 아니었기 때문에 추정에 실패한 것이라고 할 수 있다.

출사기와 관련된 것들은 온도에만 영향을 받는 반면 수량과 관련된 요소들은 온도뿐만 아니라 토양수분 환경의 영향을 받게 된다. CERES-MAIZE모형은 수분스트레스에 따라 광합성 능력이 저하되도록 구성되어 있다(Jones *et al.*, 1986). 품종모수에서 P5, G1, G2 이 수량에 직접적인 영향을 주는 요소인데 P5는 등숙 기간을 결정하는 요소이다. G1은 옥수수의 최대 립수

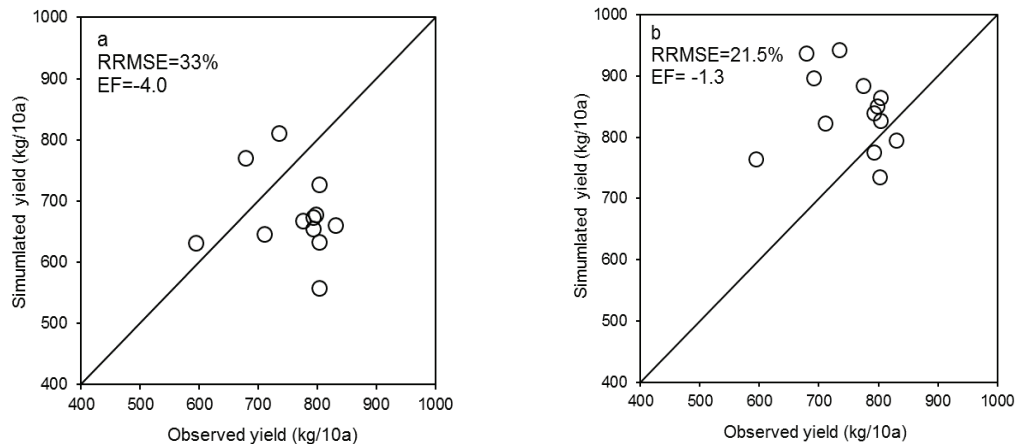


Fig. 3. Comparison of observed yield and simulated yield with calibration data set. Genetic coefficients were calibrated under no-irrigation (a) and auto-irrigation (b) condition.

를 제한하는 요소이고 G2는 최대 등속속도를 의미한다. 이들 중 G2는 수분스트레스에 직접적인 영향을 받는 요소이며, 등속속도와 연관하여 등속기간을 결정하는 P5역시 수분 스트레스에 의해 결정되기 때문에 무관수와 자동관수에서 서로 차이가 발생하였다. 즉 재배관련 특히 관수 관련된 요소를 정확하게 알 수 없는 경우 수량과 관련된 품종모수를 정확하게 파악할 수 없는 것으로 생각된다. 이것은 다른 발작물에서도 동일하게 적용될 것으로 생각되며 재배관리에 대한 정보가 명확하지 않은 경우에는 품종모수 결정에 사용하지 않는 것이 좋을 것으로 생각된다.

3.3. 기상관측 지점과의 거리에 따른 오차발생

전술한 오차 원인 이외에 포장위치와 기상관측지점과의 거리 때문에 발생하는 문제점도 있을 것으로 생각된다. 벼 생육모형 *Oryza V3* 모형을 이용하여 출수기를 예측하였을 때 기상관측지점과 거리가 멀어질수록 출수기 예측의 오차가 증가하였고 국지적으로 지형조건이 다른 경우에도 오차가 발생하였다고 한다 (Hyun and Kim, 2017). 재배가 이루어진 포장과 기상관측지점과의 거리는 재료 및 방법에서 설명한 바와 같다. 거리는 가까운 순서대로 수원, 진주, 대구, 창원 순이었다. 수원은 인접지역으로 거리에 따른 문제가 발생하지는 않았을 것으로 생각된다. 진주는 9km로 비교적 가까운 편이었다. 대구는 15.8km로 비교적 거리가 있었고, 청원의 경우에는 20km를 초과하였다.

벼 작물모형에서는 온도에 가장 민감한 조생종의 경우 거리가 40km를 초과하였을 때 4일 이상의 출수기 오차가 발생하였다(Hyun and Kim, 2017). 본 연구의 지역의 포장들은 기상대와의 위치가 20km 이내였기 때문에 옥수수의 출수기에 있어서는 큰 차이가 발생하지는 않았던 것으로 생각된다.

다만 거리별로 강우의 차이가 발생할 수 있다. 농업적 해석을 위한 적절한 강우 해상도에 대해서는 알려진 바는 없다. 다만 수문학에서의 연구한 결과에 따르면 서울의 경우 강우 관측망 적정 영향범위는 7km였다고 한다(Park et al., 2015). 세계기상기구(WMO, 1994)의 기준에 따르면 도시지역은 km^2 당 10~20 개의 강우관측 밀도를 권고하고 있다. 이는 관측지점간의 거리가 약 3km 정도로 대단히 조밀한 편이다. 지형이 복잡할 경우에는 이보다 더 고밀도를 권고하고 있다. 이러한 권고사항은 수문학 분야의 연구관점에서 얻어진 것이나 강우량과 강우 빈도에 대한 민감도가

큰 발작물의 성격을 보았을 때 농업쪽에서도 이 정도의 거리는 유지해야 될 것으로 추정된다.

이러한 측면에서 본다면 수원을 제외하면 대부분의 지역이 상대적으로 관측소와 실제 포장간의 거리가 충분히 가깝다고 할 수 없다. 특히 대구와 창원의 경우에는 관측소와 실제 포장간의 강우의 특성이 동일하다는 볼 수 없을 것으로 생각된다. 따라서 관계여부와는 별도로 실제 포장과 기상관측소에서 관측된 강수량이 상이할 수 있어 이에 따른 수량의 예측 오차도 크게 발생할 수 있을 것으로 생각된다. 벼는 상시적으로 담수상태를 유지하고 있으며 우리나라의 경우 80% 이상이 관개가 이루어지고 있다.(www.index.go.kr/potal/info/idxKoreaView.do?idx_Cd=1287). 따라서 벼의 경우에는 상대적으로 강수량이 중요하지 않다. 그러나 발작물의 경우 수량을 모의할 때 상대적으로 강우해상도에 따른 문제점이 있을 가능성이 높아 발작물의 경우 큰 편차가 발생할 수 있음을 유념해야 할 것으로 보인다.

Chung et al.(2017)은 품종 모수 결정시 불확실성을 제거하기 위해 calibration set을 지점별로 각기 생성 후 이를 지점별로 조합하여 생성하여 기존의 얻어진 품종모수들과 비교 연구를 진행하였는데 크게 개선된 결과를 얻지는 못하였다고 했다. 이 또한 기상관측소와 시험재배지와의 거리가 인접하지 못해 발생한 문제라고 할 수 있다.

작황 또는 지역적응성 시험을 이용하는 경우에 발생할 수 있는 기상관측 지점 문제를 해결하기 위해서는 근본적으로 조밀한 기상관측망 설치가 필요하지만 현실적으로 불가능하다. 따라서 장기적으로는 3~4km 수준의 격자 간격의 기상자료를 내삽하는 연구가 필요할 것으로 보인다. 그러나 현실적으로는 작물모형을 구동하거나 품종모수를 추정할 때 가급적 포장에 직접 AWS를 설치하고 생육자료를 수집하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 온도의 영향을 받는 생물계절관련 품종모수들은 경우 관측소의 거리에 따라서 의미 있는 결과를 얻을 수도 있지만 발작물의 경우 강우의 지역적 해상도 때문에 수량과 관련된 품종모수는 기상관측 자료가 3km 수준이 아니면 품종모수를 추정하지 않는 것이 좋을 것으로 생각된다.

적 요

기후변화 영향평가를 위해 작물생육모형을 폭넓게 사용하고 있지만 모형을 구동하기 위해서는 품종모수를 결정하는 것이 필수적이다. 그러나 품종모수 결정을 위한 실험은 장시간의 노력이 필요하여 대부분 작황자료 또는 지역적응 시험 자료를 많이 사용하고 있다. 그러나 발작물의 경우 작황자료 또는 지역적응 시험을 사용하는 경우에는 포장의 관개량과 시기에 대한 자료가 없고 또한 별도의 기상관측 없이 최인접지역의 기상자료를 사용하기 때문에 문제가 발생할 수 있다. CERES-MAIZE를 이용하여 발작물인 옥수수에 대해서 이 문제점들을 검토하였다. 출사기와 관련된 품종모수는 최대 27km 내에 기상관측 지점이 있는 경우에도 신뢰성있는 품종모수가 얻어졌다. 온도의 경우에는 지형에 따라 유효한 거리가 달라질 수 있지만 본 연구의 대상 지역에서는 품종 모수 추정에 문제가 크지는 않을 것으로 보인다. 또한 온도 이외의 요소인 강수 또는 관개량은 생물계절관련 품종모수와는 큰 영향이 없기 때문에 비교적 정확도가 높은 결과가 나온 것으로 보인다. 그러나 수량과 관련된 품종 모수 요소에서는 그렇지 못하였다. 이는 발작물의 경우 강수량에 따라 스트레스 정도가 결정되기 때문에 관개 및 강수량 정보가 중요한데, 관개량에 대한 정보를 작황 또는 지역적응 시험 보고서에서는 얻을 수 없기 때문이다. 더구나 강수량의 경우에 온도보다 더 가까운 위치에 기상관측소가 존재해야만 유의미한 정보를 제공할 수 있다. 그러나 시험포장에 따라 기상관측소와의 거리가 충분히 가깝지 않은 경우가 대부분이었다. 따라서, 작황 또는 지역적응 시험자료를 이용하여 옥수수의 품종모수를 결정할 때는 기상관측 지점이 최소한 20km 이내의 인접지역에서 생물계절과 관련된 모수에 대해서만 결정하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 그 반면에 수량과 관련된 요소의 결정은 적절하지 않을 것으로 생각된다. 수량과 관련된 요소를 결정하기 위해서는 가급적 직접 기상관측망을 설치하여 해당 포장에서 관개시기와 관개량을 모두 확보한 실험한 결과를 바탕으로 얻는 것이 적절할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업공동연구(Project No. PJ01134306)의 지원아래 이루어졌음

REFERENCES

- Chung, U., P. Shin, and M. Seo, 2017: Exploring ways to improve the predictability of flowering time and potential yield of soybean in the crop model simulation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(4), 203~214. (in Korean with English abstract)
- Chung, U., K. S. Cho, and B. W. Lee, 2006: Evaluation of site-specific potential for rice production in Korea under the changing climate. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **8**, 229-241. (in Korean with English abstract)
- Fleisher, D. H., D. J. Timlin, and V. R. Reddy, 2014: Climate change and potato: response to carbon dioxide, temperature, and drought. *Improving Modeling Tools to Assess Climate Change Effects on Crop Response, Advances in Agricultural Systems Modeling* 7, J. L. Hatfield, and D. Fleisher(Eds.), ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, 69-90. doi:10.2134/advagricsystmodel7.2014.0018.5
- He, J., M. D. Dukes, J. W. Jones, W. D. Graham, and J. Judge, 2009: Applying GLUE for estimating CERES-Maize genetic and soil parameters for sweet corn production. *Transactions of the ASABE* **52**(6), 1907-1921.
- Hyun, S., and K. S. Kim, 2017: Estimation of heading date for rice cultivars using ORYZA (v3). *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **19**(4), 246~251. (in Korean with English abstract)
- Jones, J. W., J. He, K. J. Boote, P. Wilkens, C. H. Porter, and Z. Hu, 2011: Estimating DSSAT cropping system cultivar-specific parameters using Bayesian techniques. *Methods of introducing system models into agricultural research, Advances in Agricultural Systems Modeling* 2, L. R. Ahuja, and L. Ma(Eds.), ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, 365-394. doi:10.2134/advagricsystmodel2.c13
- Jones, C. A., and J. R. Kniary, 1986: *CERES-MAIZE, a simulation model of maize growth and development*. Texas A&M University Press.
- Kim, H., J. Ko, S. Jeong, J. H. Kim, and B. Lee, 2017: Geospatial delineation of South Korea for adjusted barley cultivation under changing climate. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **20**, 417-427.
- Kim, J., J. Shon, Y. Yoon, K. J. Choi, and C. K. Lee, 2013: Study on improving high-temperature

- tolerance for grain filling through adjusting sink size. *Korean Journal of Crop Science* **58**, 107-112.
- Kim, J., C. K. Lee, J. Shon, K. J. Choi, and Y. Yoon, 2012: Comparison of statistic methods for evaluating crop model performance. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **14**, 269-276.
- Lamsal, A., S. M. Welch, J. W. Jones, K. J. Boote, A. Asebedo, J. Crain, X. Wang, W. Boyer, A. Giri, E. Frink, X. Xu, G. Gundy, J. Ou, and P. G. Arachchige, 2017: Efficient crop model parameter estimation and site characterization using large breeding trial data sets. *Agricultural Systems* **157**, 170-184. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.016>
- Lee, C. K., J. Kim, J. Shon, W. H. Yang, Y. H. Yang, 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 Agriculture and Forest Meteorology* **14**, 207-210. (in Korean with English abstract)
- Loague, K., and R. E. Green, 1991: Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology* **7**(1), 51-73.
- Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe, 1970: River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology* **10**(3), 282-290.
- Park, C., C. G. Yeo, J. S. Lim, and J. Lee, 2015: Evaluating rainfall gauge network using AWS data in Seoul. *Seoul studies* **16**(2), 165-182 (in Korean with English abstract)
- RDA (Rural Development Administration), 2015: Report on the joint research project for the development of new crop varieties for summer crops in 2014.
- Riahi, K., S. Rao, V. Krey, C. Cho, C. C. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic, and P. Rafaj, 2011: RCP 8.5- A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climate change* **109**(1-2), 33pp.
- Tacarindua, C. R. P., T. Shiraiwa, K. Homma, E. Kumagai, and R. Sameshima, 2013: The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber. *Field Crop Research* **154**, 74-81.
- Uryasev, O., A. J. Gijssman, J. W. Jones, and G. Hoogenboom, 2004: DSSAT v4 soil data editing program (Sbuild). Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0 Volume 2, 2-14.
- WMO (World Meteorological Organization), 1994: Guide to Hydrological Practices, volume I: Hydrology – From measurement to hydrological information, 1,2-24pp.