

## 작물 모형 개선을 위한 지역적응시험 자료의 정량적 품질 평가

현신우<sup>1</sup>, 서보훈<sup>1</sup>, 이석인<sup>2</sup>, 김광수<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 식물생산과학부, <sup>2</sup>서울대학교 농림기상협동과정, <sup>3</sup>서울대학교 농업생명과학연구원  
(2020년 8월 21일 접수; 2020년 9월 8일 수정; 2020년 9월 17일 수락)

## Quantitative Assessment of the Quality of Regional Adaptation Trial Data for Crop Model Improvement

Shinwoo Hyun<sup>1</sup>, Bo Hun Seo<sup>1</sup>, Sukin Lee<sup>2</sup>, Kwang Soo Kim<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Interdisciplinary Program in Agricultural and Forest Meteorology, Seoul National University, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

(Received August 21, 2020; Revised September 8, 2020; Accepted September 17, 2020)

### ABSTRACT

Cultivar parameters, which are key inputs to a crop growth model, have been estimated using observation data in good quality. Observation data with high quality often require considerable labor and cost, which makes it challenging to gather a large quantity of data for calibration of cultivar parameters. Alternatively, data in sufficient quantity can be collected from the reports on the evaluation of cultivars by region although these data are of questionable quality. The objective of our study was to assess the quality of crop and management data available from the reports on the regional adaptation trials for rice cultivars. We also aimed to propose the measures for improvement of the data quality, which would aid reliable estimation of cultivar parameters. DatasetRanker, which is the tool designed for quantitative assessment of the data for parameter calibration, was used to evaluate the quality of the data available from the regional adaptation trials. It was found that these data for rice cultivars were classified into the Silver class, which could be used for validation or calibration of key cultivar parameters. However, those regional adaptation trial data would fall short of the quality for model improvement. Additional information on management, e.g., harvest and irrigation management, can increase the quantitative quality by 10% with the minimum effort and cost. The quality of the data can also be improved through measurements of initial conditions for crop growth simulations such as soil moisture and nutrients. In addition, crop model improvement can be facilitated using crop growth data in time series, which merits further studies on development of approaches for non-destructive methods to monitor the crop growth.

**Key words:** Data quality, Monitoring, Parameter calibration, Crop model, RealSense



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

## I. 서 언

주어진 환경조건이나 재배관리 조건에 따른 작물생육을 예측하기 위해 작물 모형들이 사용되어왔다(Kim *et al.*, 2018a; Yoo *et al.*, 2018). 예를 들어, Asseng *et al.*(2015)은 29 종의 밀 생육 모형을 사용하여 미래 기후변화 조건에서 기온이 1°C 증가할 때마다 수량이 6% 감소할 것이라고 보고하였다. 이러한 작물모형은 크게 과거 기상자료와 생산성 간의 관계를 나타내는 통계적 모형(Statistical model)과 광합성 등의 주요 생리과정을 모의하는 과정기반 모형(Process-based model)로 구분할 수 있다(Lobell and Asseng, 2017). 통계적 모형은 대체로 적은 수의 모수와 입력자료를 요구하기 때문에 사용하기에 유리하다. 그러나, 이러한 모형들은 작물의 생리적 생태적 반응을 모의할 수 없기 때문에, 다양한 환경조건과 재배조건에 따른 생산성을 예측하기 어렵다. 반면, 과정기반 모형은 특정 환경조건 및 재배관리에 따른 작물의 생물물리학적 반응들을 모의하기 때문에 기후변화 영향평가와 적응 옵션을 설계하기 위해 사용될 수 있다(Kim *et al.*, 2019). 또한, 작물 재배관리의 최적화를 위한 의사결정 지원 시스템을 구축하기 위해 작물 모형을 활용할 수 있다(Corbeels *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2018b).

과정기반 작물모형들은 상당수의 모수에 의존한다는 단점이 있다. 특히, 품종마다 달라지는 생육 특성을 모의하기 위해 많은 수의 품종 모수를 추정하여야 한다. 예를 들어, ORYZA에서는 15 개의 모수를 사용하여 생물계절과 생장과 관련된 특정 벼 품종의 반응을 모의한다(Bouman *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2019). DSSAT에서는 작물에 따라 요구되는 품종 모수, 종 모수 및 생태형 모수의 개수가 달라지며, 벼의 경우 8 개의 품종모수 및 9 개의 종 모수가 요구된다(Jones *et al.*, 2003). EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) 모형과 AquaCrop 모형은 품종보다는 작물의 모수를 사용하나, 여전히 20 개 이상의 모수를 사용하여 작물의 생육을 모의한다(Zhao *et al.*, 2019). 따라서, 작물모형을 활용한 연구를 수행할 때에는 연구 대상 지역에서 재배되는 품종에 대한 모수 추정이 선행되어야 한다.

품종 모수의 추정을 위해서는 많은 양의 관측자료가 필요하며(Zhao *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2019), 고품질의 생육자료를 확보하기 위해서는 상당한 비용과 노력이 요구된다(Hoogenboom *et al.*, 2012). 또한, 고품질의 생육자료는 대체로 공개되어 있지 않으며

(Hyun *et al.*, 2019), 목적에 따라 수집되는 항목이 달라지기 때문에 모수 추정에 적합한 자료를 확보하기는 쉽지 않다. 반면, 고품질 자료는 아니더라도 일반에게 공개된 데이터베이스로부터 작물 생육 변수에 대한 관측자료를 확보할 수 있다. 예를 들어, AgMIP database에서는 30 종류의 작물에 대하여 수량, 건물중, 개화기 및 수확기 등의 관측자료를 제공하고 있다(<https://data.agmip.org/>). USDA-ARS에서 운영하는 LTAR에서는 18 개의 지역에서 장기간의 관측자료를 수집하고 있다(<https://ltar.ars.usda.gov/>). 국내에서는 농촌진흥청에서 수행하는 작황시험 및 지역적응시험 등을 통해 지역별 대표 품종뿐만 아니라 신품종에 대한 작물 생육 자료를 확보할 수 있다.

작물 생육 관측값들을 모수추정에 사용하기 전에 이들 자료에 대한 품질 평가가 선행되어야 한다. Kersebaum *et al.*(2015)은 작물 모형의 모수추정에 사용하기 전에 적절한 품질을 가진 관측 자료를 선별할 것을 제안하였다. Rosenzweig *et al.*(2013)은 모형의 모수 추정을 위한 자료의 요구도에 따라 3 가지 등급을 제시하였다. Boote *et al.*(2016)는 이를 4 가지 등급으로 확장시켰으며, 등급에 따른 자료를 질적으로 평가하기 위한 기준을 제시하였다. Kersebaum *et al.*(2015) 역시 자료를 4 등급으로 구분하였으며 자료의 가용도에 따라 품질을 양적으로 평가하는 소프트웨어 도구인 DatasetRanker를 개발하였다.

국내에서 작물 모형의 개발 및 개선을 위해 사용될 수 있는 생육 및 수량 관측 자료에 대한 품질 평가는 주로 정성적으로 그리고 간접적으로 이루어져왔다. 예를 들어, Kim *et al.*(2018a)과 Hyun and Kim(2019)는 작황시험 자료 및 지역적응시험 자료를 모수 추정에 활용하였을 때 출수기와 같은 생물계절을 비교적 정확하게 모의할 수 있었으나 수량과 관련한 모수의 신뢰성은 상대적으로 낮았던 것으로 보고하였다. 이는 기존의 공개된 자료들이 모수추정을 위한 충분한 품질을 가지지 못해 환경조건과 재배관리 및 유전형질이 복합적으로 작용하는 수량 예측의 신뢰도를 높이기에는 한계가 있다는 것을 암시하였다(Kim *et al.*, 2015).

본 연구에서는 벼를 중심으로 현재 가용한 작물 생육 관측자료들의 품질들을 직접적이고 정량적인 방식으로 평가하여 기존의 관측체계를 개선하고, 궁극적으로는 작물모형 모수 추정의 신뢰도를 높일 수 있는 방안에 대해 제안하고자 하였다. 국내 가용 관측자료

의 품질 평가를 통해 추가적인 관측체계의 요구도를 파악하여 국내에서 재배되고 있는 품종들을 대상으로 작물 생육 예측의 신뢰도를 높일 수 있을 것이다. 이는 작물모형을 사용하여 기후변화 적응을 위한 시공간적인 재배관리 체계를 구축할 수 있도록 지원할 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 자료의 수집

#### 2.1.1. 지역적응시험 자료

작물의 생육은 재배지역의 기후에 영향을 받기 때문에, 신품종을 개발하는 과정에서 지역별로 적합한 품종을 선발하는 지역적응시험이 실시된다. 표준품종의 재배결과와 비교하여 신품종의 수량성, 재해저항성, 병해충저항성, 품질특성 등에 대한 우수성을 평가한다. 품종에 따라 지역과 기간이 서로 다르게 재배되나, 일반적으로 3 개 이상의 지역에서 3 년 이상의 기간 동안 수행된다. 특히, 표준품종에 대해서는 오랜 기간 동안 재배되었기 때문에 누적되어 있는 자료의 양이 많다.

지역적응시험은 관심 지역에 대한 적합성을 파악하기 위해 상세한 생육보다는 수량을 중심으로 조사 항목이 구성되어 있다. 조사되는 항목은 작물에 따라 조금씩 달라지며, 벼에 대해서는 출수기, 수량 및 수량구성요소, 작물이 받은 피해에 대하여 조사되고 있다. 재배관리의 경우, 모든 시험에 대하여 개별적으로 제공하는 대신 조기, 보통기, 소비, 초다수, 총체, 만기, 2 모작 및 간척지 등 크게 8 가지로 구분한 재배법과 시험지에 따라 달라지는 정보를 제공하고 있다.

농촌진흥청에서 매년 발간하는 신품종개발공동연구 보고서에 수록되어 있는 지역적응시험 자료 중 벼 품종에 대한 자료를 수집하였다. 2005년부터 2016년 도까지 총 27개의 품종 및 33개 지역에 대한 자료가 수집되었다(Table 1). 재배관리항목으로 품종, 파종기

및 이앙기, 재식거리 및 시비관리 자료가 수집되었다. 모든 시험에서 시비처리가 되었으며, 무비조건에서의 시험은 수행되지 않았다. 양적인 상태 변수로는 수량, 병해충 피해, 적고 및 도복으로 인한 피해가 수집되었다. 생물계절과 관련된 변수로 유일하게 제시되어 있는 출수기가 품종 및 시험지 별로 수집되었다. 병해충 피해는 국내 주요 병해충인 잎도열병, 목도열병, 흰잎마름병, 줄무늬 잎마름병, 잎집무늬마름병, 이화명충으로 인한 피해가 수집되었다.

#### 2.1.2. 기상 및 토양자료

작물이 재배되는 장소의 생육 환경을 나타내기 위한 토양자료와 기상자료는 지역적응시험이 이루어진 포장의 위치를 사용하여 자료를 수집하였다. 시험 포장의 위치는 신품종개발공동연구 보고서에 수록된 위경도 자료를 사용하였다. 위치 정보가 수록되어있지 않은 지점의 경우, 인근에 위치한 연구 수행기관의 위도와 경도를 수집하였다. 또한, 시험지의 주소지와 상이한 위경도가 보고서에 수록되어 있는 지점들이 발견되어, 이들 지점의 위치정보는 주소지를 사용하여 설정하였다. 예를 들어, 위치정보가 누락된 장흥 시험지의 경우 위도와 경도를 장흥 농업기술센터의 위치인 34.69N, 126.90E로 설정하였다. 또한, 위도와 경도값의 오류가 발견된 진주 시험지의 경우 주소지로 기록되어 있는 진주시 초전동에 해당하는 35.21N, 128.12E로 설정하였다.

자료의 품질 평가를 위한 토양자료와 기상자료의 메타데이터는 공공 데이터베이스를 활용하여 수집하였다. 토양자료는 농촌진흥청에서 운영하는 흙토람(<http://soil.rda.go.kr>) 으로부터 관측위치에 해당하는 토양통 자료를 수집하였다. 흙토람 웹사이트에서는 국내 농경지를 토양 특성에 따라 145개의 토양통으로 구분하고, 토양통에 따른 물리적, 화학적 특성 등의 토양 정보를 제공하고 있다. 특히, 토양통 별 토양층의 깊이 및 토양층 별 자료가 제공되어 상세한 토양자료

**Table 1.** List of cultivars and sites obtained from regional adaptation trial data from 2005 to 2016

Cultivar	Bolamchan, Dongjin, Geumho, Geumho2ho, Hanareum2ho, Hanmaeum, Heukjinju, Heuknam, Hwaseonchal, Hwaseong, Hwayeong, Hyangnam, Ilpum, Jeokjinju, Jinbu, Jinbuchal, Jinbuol, Jogwang, Jopyeong, Josaengheukchal, Joun, Keunnun, Nampyeong, Odae, Seolgaeng, Sinseonchal, Sobi
Sites	Andong, Boeun, Cheolwon, Cheongju, Cheongwon, Chuncheon, Daegu, Gangleung, Goseong, Gyehwa, Hwaseong, Iksan, Imsil, Jangheung, jecheon, Jeongseon, Jeonju, Jinan, Jinbu, Jinju, Milyang, Naju, Nonsan, Pyeongchang, Sangju, Seonsan, Suwon, Unbong, Yeosu, Yeoncheon, Yeongam, Yeongdeok, Yesan

를 수집할 수 있다. 토양자료의 품질 평가를 위해 사용되는 물리적 및 화학적 특성으로 토성과 용적밀도, 그리고 pH와 유기탄소가 각각 수집되었다. 또한, 포장용 수량과 위조점과 같은 일부 토양 수분 특성들도 함께 수집되었다.

기상자료의 품질을 평가하기 위해 기상청에서 운영하고 있는 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)의 메타데이터를 사용하였다. 시험지 인근에 위치한 방재기상 관측소 및 종관기상 관측소를 파악하여 시험지와 기상관측소 사이의 거리와 기상자료의 유무를 수집하였다. 기온, 강수량, 풍속 및 습도에 대해서는 모든 방재기상 및 종관기상 관측소에서 관측되었기 때문에 가장 가까운 관측소와의 거리를 사용하였다. 반면, 일사량 및 일조시간은 방재기상관측소에서는 측정되지 않기 때문에 인근 종관기상 관측소와의 거리를 사용하였다.

## 2.2. 자료의 평가

### 2.2.1. DatasetRanker

작물 모형 개발을 지원하기 위해 관측 자료의 품질을 평가하기 위해 개발된 DatasetRanker는 관측된 변수들을 8개의 집단으로 분류하여 총 68개 항목들에 대한 평가를 수행할 수 있다(Table 2 and Table 3). 각 항목의 중요도에 따라 가중치와 필수자료 여부가 기본적으로 설정되어 있다. 품질 평가 목적에 따라 이들 항목의 가중치를 사용자가 직접 수정할 수 있다. 항목별로 관측값의 개수에 가중치를 고려한 가중 평균의 형식으로 총 점수가 합산된다. 환경자료의 경우,

각 변수의 특성을 고려하여 가중치가 결정된다. 예를 들어, 토양자료에 대하여 토양층의 개수 및 깊이가 가중치를 결정하기 위해 사용된다. 기상자료에서는 생육 관측 지점과 기상관측소 사이의 거리를 고려하여 점수가 계산된다. 이렇게 계산된 점수의 경우, 하나의 처리 혹은 하나의 작기에 대해서만 평가가 되며, 추가적인 작기 및 처리로부터 얻어진 자료를 반영하기 위해 다음과 같이 배율값(Multiplier)이 계산된다:

$$Multiplier = 1 + \left(\frac{SW}{7} - 1\right) * 0.1 \quad (\text{Eq. 1})$$

이때, SW (sum of weight)는 작기 및 처리의 개수와 각각의 가중치에 따라 정해지는 점수의 합으로 최대 28의 값을 가진다(Table 4). 최종적인 양적 품질값은 총 점수에 Multiplier를 곱하여 계산된다.

Kersebaum *et al.*(2015)은 DatasetRanker를 사용하여 계산된 자료의 등급에 따라 사용 용도에 차이를 둘 것을 제안하였다. 각 관측자료들은 점수에 따라 동, 은, 금 및 백금 등급으로 구분된다(Table 5). 예를 들어, 총 점수가 110점일 경우 은 등급에 속하게 된다. 동과 은 등급의 자료는 일반적으로 모형을 검증하거나, 일부 주요 모수를 추정하는데 사용할 수 있다. 그러나, 새로운 작물이나 생육과정을 추가하는 등의 모형 개선을 위해서는 더 높은 등급의 자료가 필요하다. 가장 낮은 동 등급의 자료라 하더라도 모형에 활용하기 위한 최소한의 자료는 갖춘 것으로 볼 수 있다.

**Table 2.** List of groups and variables included in the DatasetRanker (Kersebaum *et al.*, 2015). Values in the parentheses indicate the default weight factor for the given variable

Group	Variable
Management	variety (3), sowing (5), harvest (5), fertilisation (5), irrigation (5), seed density (3), and tillage (2)
Phenology	emergence (3), stem elongation (2), ear emergence (2), flowering (5), and yellow ripeness (3)
Previous crop	crop (3), sowing (2), harvest (3), yield (2), residue (4), fertilisation (3), and irrigation (2)
Initial values	soil moisture (4) and soil mineral nitrogen (4)
Soil	organic carbon (3), organic nitrogen (3), texture (5), bulk density (3), field capacity (3), wilting point (3), retention curve (3), hydraulic conductivity curve (3), and pH (2)
Site	latitude (5), longitude (3), altitude (3), and slope (1)
Weather	precipitation (5), min temperature (3), mean temperature (5), max temperature (5), relative humidity (4), wind speed (3), radiation (5), sunshine hours (3), leaf wetness (1), and soil temperature (2)

**Table 3.** List of sub groups and variables for state variables included in the DatasetRanker. Values in the parentheses indicate the default weight factor for the given variable

Crop	yield (5), total biomass (4), organ biomass (3), root biomass (3), nitrogen fraction in total/organ biomass (3/3), and LAI (4)
Soil	gravimetric soil water (3), pressure heads (2), soil mineral nitrogen (3), calibrated soil water sensor (3), percolation (2), and nitrogen leaching (2)
Surface Fluxes	evapotranspiration (3), CO <sub>2</sub> flux (2), NH <sub>3</sub> flux (2), N <sub>2</sub> flux (2), N <sub>2</sub> O flux (2), NO flux (0), and CH <sub>4</sub> flux (0)
Observations	lodging (3), pest and disease damage (3), weed (0), and physical damage (3)

**Table 4.** Variables for calculation of multiplier. Values in the parentheses indicate the default weight factor for each variable

Sites	seasons (1), site variant (1), management potential (1), and zero N treatment (3)
Treatments	irrigation (1), nitrogen amount (1), organic N (1), mineral N (1), CO <sub>2</sub> (1), cuttings (1), residue (1), and others (1)

**Table 5.** Threshold value of classification for each group (Kersebaum *et al.*, 2015)

	Copper	Silver	Gold	Platinum
Management	15	17	20	24
Phenology	5	8	11	13
Previous crop	9	12	15	17
Initial values	1	4	7	10
Soil	5	12	20	28
Site	5	8	11	12
Weather	14	22	30	33
State variables	6	10	25	40
Total	60	90	145	180

### 2.2.2. DatasetRanker를 활용한 수집자료의 분석

지역적응시험 자료는 품종별, 지역별 및 연도별로 구분될 수 있으며, 본 연구에서는 품종 단위로 평가하고자 하였다. 이를 위해 개별 품종에 대한 관측자료가 수집된 지점별로 자료의 품질을 점수로 정량화하였다. DatasetRanker는 기본적으로 단일 실험에 대하여 평가를 하도록 개발되어 여러 지점에서 얻어진 정보를 종합적으로 평가하기 어렵다. 예를 들어, 기상관측소와 생육 시험지 사이의 거리 및 토양 정보 등이 지점별로 상이하다. 따라서, 여러 지점에서 얻어지는 해당 품종 관측자료의 품질을 대표하기 위해 지점별 점수의 평균을 사용하였다.

DatasetRanker를 사용하여 지역적응시험 자료를 평가할 때, 변수별 가중치를 포함한 대부분의 항목에

대해 설정 기본값을 사용하였다. 예를 들어, 기상 변수별로 적정 거리를 설정할 수 있으나, 지형에 따라 기상 조건의 차이가 달라질 수 있으며(Hyun *et al.*, 2019), 거리에 대한 적절한 기준에 대해서도 알려진 바가 없기 때문에(Kim *et al.*, 2018a), 본 연구에서는 Kersebaum *et al.*(2015)가 제안한 기본값을 사용하였다.

특정 필수 변수에 해당하는 자료가 가용하지 않을 경우, DatasetRanker는 분석 대상 자료의 품질이 작물 모형에 사용하기에 적절하지 않은 것으로 평가한다. 지역적응 시험자료는 국내에서 장기간에 걸쳐 여러 지점을 대상으로 수집된 관측자료이기 때문에, 필수 항목 중 일부를 제외하고 품질을 평가하였다. 예를 들어, 수확일과 초기 토양 수분 함량은 필수적인 항목으로 지정되어 있으나, 이들은 지역적응시험 자료에 포함되

어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 수확일과 초기 토양 수분 함량을 필수 항목에서 제외시켜 모든 지역적응 시험자료가 작물모형의 모수 추정에서 사용될 수 없는 품질을 가진 자료로 분류되는 것을 피하고자 하였다.

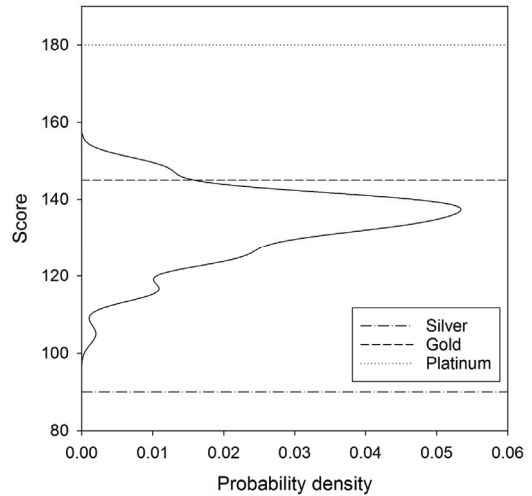
DatasetRanker에서 계산된 점수를 사용하여 작물 모형 활용을 위한 관측자료 품질의 저하요인을 파악하고 그 개선 방안을 도출하기 위해 자료 분석을 설계하였다. 우선, 품종별로 평가 점수의 차이가 발생한 항목들과 일정 점수가 유지된 항목들을 구분하였다. 각각의 항목들 중에서 낮은 평가가 얻어지게 된 요인들을 파악하고, 평가점수를 높일 수 있는 실행가능한 대응 방안들을 도출하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 총점 및 공통항목

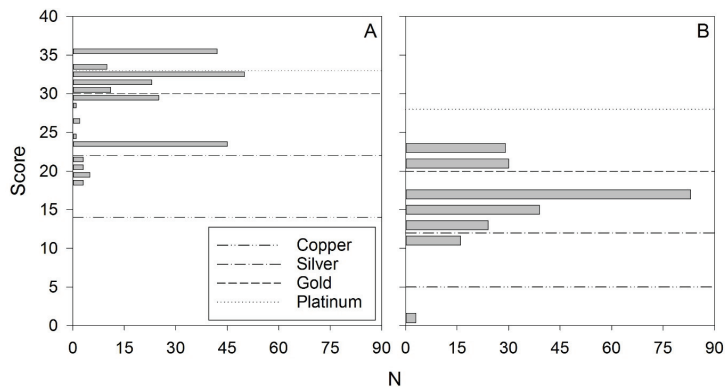
지역적응시험에서 품종 및 지역별로 수집된 관측자료는 대부분 은 등급에 속하는 평가점수가 얻어졌다 (Fig. 1). 일부 자료에 대해서는 금 등급에 속하는 점수로 평가되었다. 그러나, 품종별 평균 점수를 계산한 결과, 모든 품종 자료들은 은 등급에 속하였다. 대부분의 자료가 금 등급 이상의 높은 등급을 얻지 못한 것은 대체로 생육 및 생육환경에 대한 관측자료의 부족에 기인하였다. 예를 들어, 모든 지역에서 초기 조건에 대한 정보가 관측되지 않았기 때문에 해당 항목에 지정된 12점 중 0점의 점수가 할당되었다. 품종에 따라 자료 품질에 대한 평가 점수는 일부 항목에서 차이가 있었으며, 품종 간 점수의 차이는 작기 및 재배지 관련 항목과 재배지역에 따른 토양 및 기상 자료 관련 항목

에서 발생하였다(Fig. 2 and Fig. 4). 그러나 총점의 변동계수는 약 7% 정도로 큰 차이를 가지지는 않았다 (Fig. 1).



**Fig. 1.** Distribution of scores for all the cultivar at the given sites. Each dashed lines indicate the threshold scores of platinum, gold and silver classes, respectively.

품질 평가 항목들 중 재배관리 및 작물 생육과 관련된 항목들이 관측지점에 상관없이 공통적으로 점수가 낮게 나타났다. 재배관리에서 가중치가 높은 관개관리와 수확시기에 대한 정보가 없기 때문에 점수가 크게 감소하였으며, 생물계절 변수 중에서 출수기만 보고되었기 때문에 점수가 낮게 평가되었다. 또한, 상태변수

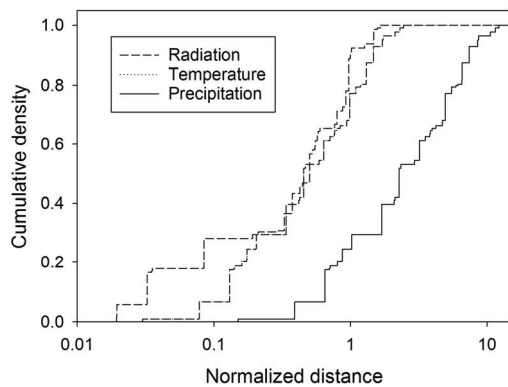


**Fig. 2.** Distribution of the quality assessment scores for weather (A) and soil (B), respectively. N represents the number of cases.

에 해당하는 항목들에 대해서도 대체로 낮은 점수가 얻어졌다. 예를 들어, 병해충에 대한 조사 항목은 많았으나, 작물 생육에 대한 항목들 중에서는 수량만이 관측되었으며, 토양수분 및 질소 동태, 지표면 플럭스와 관련된 정보는 관측되지 않았다.

### 3.2. 기상자료

기상자료는 많은 지역에서 금 등급 이상의 높은 등급으로 평가되었다(Fig. 2A). 기상관측소와 생육관측지점과의 거리에 따라 점수의 차이가 발생하였으며, 동일한 거리에 위치하더라도 변수별 적정 거리에 따라 점수의 차이가 발생하였다. 일사량과 일조시간이 관측된 기상관측소는 평균적으로 10.7km의 거리에 위치하였으며 90% 정도의 기상관측소가 적정거리 내에 위치하였다(Fig. 3). 생육관측지점들은 평균적으로 3.4km의 거리에 기상관측소가 위치하였으나, 기온과 강수량에 대해서는 이들 지점중 약 77% 및 25%가 기상관측소와 적정 거리 내에 위치하였다. 기상자료에서 연면수분지속시간 및 토양온도에 대한 정보가 수집되지 않았으나, 이 두 변수에 대한 가중치가 낮아, 등급결정에 영향을 주지 않았다.



**Fig. 3.** Empirical cumulative density function for the distance between the weather station and the field normalized by optimum distance. Normalized distance was obtained by dividing the distance between the field and the weather station by the optimum distance of each variable.

### 3.3. 토양자료

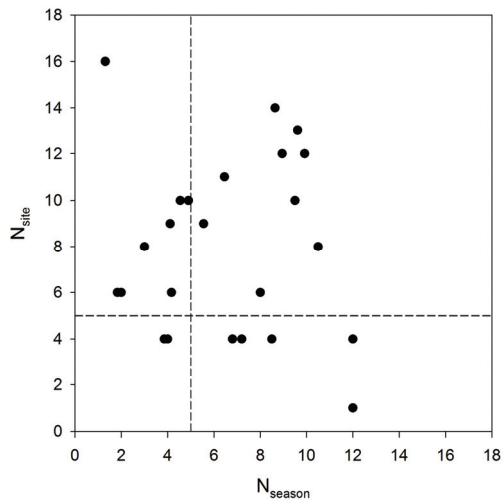
토양자료에 대하여 금 등급 이상의 점수로 평가된 자료는 26% 정도에 불과하였다(Fig. 2B). 대부분의 지

역에서 유기탄소, 토성, 용적밀도 및 pH에 대한 정보는 수집되었으나, 포장용수량과 위조점에 대한 정보는 수집되지 않은 지역이 많았다. 또한, 연천 지역에 대한 토양통정보가 공개되지 않아 0점으로 평가되었다. 토양자료에서는 토양층의 깊이와 토양층의 개수가 평가에 반영되며, 평가 항목에 따라 적절한 토양깊이와 토양층의 개수가 달라진다. 예를 들어, 수집된 토양통정보에서는 평균적으로 1.6 m의 깊이와 5개의 토양층에 대한 정보가 수집되었다. 유기탄소 및 pH의 평균 점수는 최대 점수인 4.5점과 3점이 얻어진 반면, 토성은 토심이 최적 깊이보다 낮아 최대 점수인 7.5점에 비하여 조금 낮은 6.1점으로 평가되었다. 용적밀도에 대한 정보는 수집되지 않거나 비교적 얇은 층에 대해서만 수집되어 평균적으로 2.3점으로 최대 점수인 4.5점에 비하여 낮게 평가되었다.

본 연구에서는 일부 자료에 대한 필수 항목 여부 외에는 대부분 기본값을 사용했으나, 자료의 사용 목적에 따라 DatasetRanker의 설정값을 변경할 수 있을 것이다. 예를 들어, 벼의 경우 대부분 담수 조건에서 재배되기 때문에, 토양수분과 관련된 변수들에 대해서는 자료의 유무가 큰 의미가 없을 수 있다. 이러한 경우 해당 변수들이 평가에 반영되지 않도록 할 필요가 있다. 등급을 구분하는 점수는 수정이 불가능하기 때문에, 해당 변수에 대한 최대 점수만큼의 기본점수를 추가하는 방식을 사용할 수 있을 것이다.

### 3.4. 작기 및 시험지

비교적 적은 수의 품종이 작기 및 시험지와 관련한 최대의 기준을 만족하였다(Fig. 4). 예를 들어, 최대의 기준이 되는 5개소 이상의 시험지에서 평균적으로 5개년 이상의 작기 동안의 자료가 보고된 품종은 분석 대상 품종들의 약 33%인 9개의 품종이 해당되었다. 일부 품종에 대해서는 상대적으로 많은 시험지에서 얻어진 자료를 확보할 수 있었으나, 최대 작기 기준을 만족하지 못하였다. 예를 들어, 보람찬 품종의 경우 8개 지역에서 재배되었으나 평균적으로 3년 간 재배되었다. 반면, 일부 품종의 경우에는 비교적 적은 수의 시험지에서 장기간 생육자료가 얻어졌다. 예를 들어, 화영 품종은 4개의 시험지에서 12년 간 재배되었다. 최대 작기와 최대 시험지의 두 가지의 기준 중에서 하나의 기준만을 만족한 품종은 각각 5개 및 11개의 품종이 해당되었다.



**Fig. 4.** Distribution of the number of seasons ( $N_{\text{season}}$ ) and sites ( $N_{\text{site}}$ ) for which observation data were available.  $N_{\text{season}}$  indicates the average of the number of seasons at multiple sites where given cultivar was grown.

### 3.5. 개선방안

지역적응시험 자료로부터 수집된 품종별 자료는 모형 검증이나 주요 품종 모수를 추정하기 위해 사용될 수 있으나, 이들 자료를 사용하여 모형을 개선시키기 위해서는 자료의 품질등급을 향상시키는 것이 필요하다. Kim *et al.*(2015) 또한 국내 관측자료의 수집체계가 작물모형을 개선하기 위한 자료로 활용하기에는 충분하지 못하다고 보고하였다. 일반적으로 자료 품질 수준을 높이기 위해서는 추가적인 관측자료가 요구되며, 이는 많은 노력과 비용이 수반된다. 예를 들어, 작물 모형의 신뢰도를 상당히 높일 수 있는 기관별 건물중 및 LAI 등의 생육 관련 시계열적 관측값들은 파괴적인 측정과 상당한 노동력이 요구된다. 또한, 지역적응시험에서는 비교적 많은 품종 및 계통에 대하여 조사가 필요하기 때문에 추가적인 생육 관측 자료를 확보하기 어려울 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고, 본 연구에서 얻어지는 결과들은 상대적으로 적은 노력으로 자료의 품질을 향상시킬 수 있다는 것을 암시하였다. 우선, 기존의 지역적응시험이 수행되고 있는 기본적인 조건들에 대한 자료공개를 통해, 자료의 품질이 상당부분 상승할 것으로 예상된다. 특히, 수확, 경운 및 관개 관리와 관련된 재배관리는 이미 작물 재배를 위해 이루어지고 있기 때문에, 보고서에 추가되는

것은 어렵지 않으며, 이 경우 모든 품종에 대한 자료 품질 점수는 약 10% 가량 높아질 것으로 예상된다.

재배가 이루어진 시험지에 대한 자세한 위치 정보를 추가할 경우 품질 등급을 개선시킬 수 있을 것이다. 지역적응시험 자료에 시험지에 대한 위치정보가 수록되어 있으나 대부분의 지역에서 위경도 좌표와 주소가 일치하지 않았으며, 일부 시험지에 대한 위치정보는 누락되어 있었다. 이러한 지역들에 대하여 주소지의 좌표를 새로 수집하거나, 시험 수행기관의 위치를 수집하여 분석한 결과, 새로 수집된 좌표와 수록된 좌표의 거리 차이는 0.13 km에서 92 km까지 분포하였다. 따라서, 이러한 정보에 기초하여 실제로 품종모수를 추정할 때에는 포장의 정확한 위치를 파악하지 못해 토양 및 기상입력자료의 불확도가 발생할 수 있다 (Kim *et al.*, 2018a). 포장의 위치 정보가 보다 정확하게 공개된다면 토양 및 기상자료의 불확도를 감소시켜 자료의 품질을 더 향상시킬 수 있을 것이다.

일부 변수에 대한 정보를 수집하기 위해 추가적인 센서가 설치될 수 있을 것이다. 예를 들어, 초기 토양 조건에 대한 정보를 수집하기 위해서는 측정 센서를 설치하거나, 토양시료를 채취하여 분석하는 작업이 필요하다. 초기 토양조건에 따라 모의 결과가 영향을 받기 때문에 관련 정보가 수집될 경우 모형의 신뢰성 향상에 도움이 될 것이다. 토양 초기 조건에 대한 정보가 수집될 경우 최대 12점까지의 점수가 추가될 수 있을 것이다. 생육 기간 중 토양 수분 동태 및 증발산량 등의 일부 양적인 상태 변수들도 측정 센서 설치를 설치하여 수집될 수 있으며, 이를 통해 생육 기간 동안의 시계열 자료가 생성된다면 품질이 크게 개선될 것으로 예상되었다.

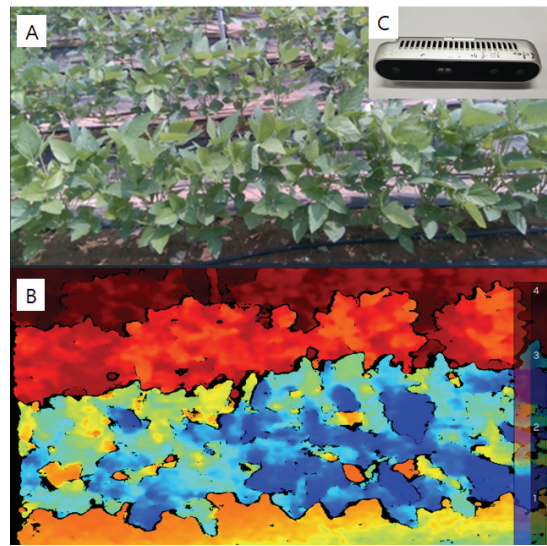
다양한 기후조건에서 품종별 관측자료가 얻어지도록 시험 재배 지역이나 작기를 확충하는 것이 모형 개선의 측면에서 유리할 것이다. 본 연구에서는 12년간 33개소에서 지역적응 시험자료를 수집하였으나 상당수의 품종들에 대하여 5개의 작기와 시험지 기준을 만족하지 못하였다. 만약, 시험지 또는 작기를 증가한다면 하더라도, 개별 작기나 시험지가 증가할 때마다 1.4%정도의 점수가 증가할 것으로 예상된다. 이는 작기나 시험지를 단순히 양적으로 증가시키는 것은 효율적이지 않다는 것을 의미한다. He *et al.*(2017)은 비슷한 재배관리 또는 비슷한 기후조건을 사용하여 모수 추정 시 불확실성이 커질 수 있으며, 서로 대조되는 기후조건을 사용하는 것이 효과적이라고 보고하였다.



따라서, 현재 포함되어 있는 작기나 시험지에 추가하여 새로운 관측자료를 수집할 때에는 기존에 자료들이 수집된 지역의 농업기후지대를 고려하는 것이 요구된다(Kim *et al.*, 2016).

장기적으로는 작물모형의 모수 추정을 위해 비파괴적으로 얻어지는 생육자료를 확보할 수 있는 체계가 구축되어야 한다. 지역적응시험에서는 수량이 기록에 남겨지고 있으나, 작황 시험의 경우에는 비파괴적으로 측정할 수 있는 수장, 수수 등의 일부 추가적인 생육량들이 측정되고 있다. 그러나, 이러한 자료들은 일반적인 작물모형에서 추정되는 변수값들이 아니기 때문에, 모수 추정에 활용되기 어렵다. 작물의 생육량을 비파괴적으로 비교적 쉽게 추정할 수 있는 방법이 개발되어 시계열적인 자료가 축적된다면 모수 추정의 신뢰도를 상당히 높일 수 있을 것으로 예상된다. 예를 들어, Lee *et al.*(2017)은 무인기 기반의 RGB 및 NIR 영상을 활용하여 지상부건물중과 엽면적지수 등의 벼 생육 인자와 높은 상관관계를 가지는 회귀식을 산정하였다.

작물 생육을 재배기간에 걸쳐 연속적인 값들을 수집하기 위해 3D 센서들을 활용하는 것이 유리할 것이다. Lee and Kim(2018)은 저가형 3D 센서인 Kinect (version 1, Microsoft, WA, USA)와 공개 소프트웨어를 사용하여 배추의 생체중을 추정하였다. 그러나, Kinect 센서의 경우 깊이 이미지(depth image)를 생성하기 위한 적외선이 태양광으로 인해 교란되어 야외에서 활용하기 어렵다. 이러한 단점들이 보완된 RealSense 3D 카메라(D415, Intel, CA, USA)와 같은 3D 영상 센서를 활용할 경우, 작물의 비파괴적 생육 감시 도구 개발에 활용될 수 있을 것이다(Fig. 5). 예를 들어, 3D 센서에서 얻어지는 거리값들을 point cloud로 전환하여 균락의 부피를 추정하고, 이와 생체중과의 경험적 관계식을 도출할 경우, 신뢰도 높은 작물 생육 관측 자료를 수집할 수 있다(Marinello *et al.*, 2016). 이들 센서들은 해상도 역시 대폭 향상되어 야외에서 재배되는 작물 균락을 실시간으로 모니터링 하기 위해 적합할 것으로 사료된다. 따라서, 저비용 영상센서들을 활용한 작물 생산 감시 체계에 대한 추가적인 연구를 통해 지역적응 시험을 수행할 때, 3D point cloud와 같은 비정형 자료를 조사항목에 추가하여 지속적으로 축적하여야 할 것이다.



**Fig. 5.** Images of (A) RGB and (B) depth for soybean canopy captured by (C) RealSense sensor (D415, Intel, CA, USA). Colors of the depth image represent the distance from the sensor, which ranged from 0 to 4 m. Objects at proximity and distance were represented in blue and red colors, respectively.

## 적 요

작물 모형의 품종에 따른 특성을 나타내는 품종 모수를 추정하기 위해서는 많은 양의 생육 관측 자료가 요구되며, 이를 확보하기 위해서는 많은 비용과 노력이 요구된다. 고품질 자료는 아니더라도 공개되어 있는 작물 생육 자료를 활용하여 모수 추정에 사용할 수 있으나, 이러한 자료의 품질에 대한 평가가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 농업자료에 대한 정량적 평가 도구인 DatasetRanker를 사용하여 벼에 대한 지역적응시험 자료를 평가하였다. 또한, 결과를 바탕으로 자료의 품질을 개선하기 위한 관측체계의 개선방안을 제시하고자 하였다. 평가 결과 각각의 품종들은 모두 네 등급 중 세 번째로 높은 은 등급으로 평가되었으며, 더 상위의 등급을 얻지 못한 것은 대체로 생육 및 생육 환경에 대한 관측자료의 부족에 기인하였다. 결과를 개선하기 위해서는 추가적인 관측자료가 요구되며, 일부 재배관리 등의 기본적인 조건들에 대한 정보를 추가하는 것만으로도 품질에 대한 평가 점수가 약 10% 정도 상승할 것으로 예상되었다. 또한, 정확한 위치정보가 공개될 경우 이를 기준으로 수집되는 토양 정보와 기상 정보의 불확실성을 감소시킬 수 있을 것이다.

생육기간 중 시계열적인 관측자료가 수집된다면 품질이 상당히 개선될 것으로 예상되었으며, 이를 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ013837032020)의 지원에 의해 수행되었습니다. 또한, 자료 정리에 도움을 준 황우성 학사과정 학생에게 감사사를 드립니다.

## REFERENCES

- Asseng, S., F. Ewert, P. Martre, R. P. Rötter, D. B. Lobell, D. Cammarano, B. A. Kimball, M. J. Ottman, G. W. Wall, J. W. White, M. P. Reynolds, P. D. Alderman, P. V. V. Prasad, P. K. Aggarwal, J. Anothai, B. Basso, C. Biernath, A. J. Challinor, G. De Sanctis, J. Doltra, E. Fereres, M. Garcia-Vila, S. Gayler, G. Hoogenboom, L. A. Hunt, R. C. Izaurralde, M. Jabloun, C. D. Jones, K. C. Kersebaum, A. K. Koehler, C. Müller, S. Naresh Kumar, C. Nendel, G. O'Leary, J. E. Olesen, T. Palosuo, E. Priesack, E. Eysyi Rezaei, A. C. Ruane, M. A. Semenov, I. Shcherbak, C. Stöckle, P. Stratonovitch, T. Streck, I. Supit, F. Tao, P. J. Thorburn, K. Waha, E. Wang, D. Wallach, J. Wolf, Z. Zhao, and Y. Zhu, 2015: Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change* **5**(2), 143-147.
- Boote, K., C. Porter, J. Jones, P. Thorburn, K. Kersebaum, G. Hoogenboom, J. White, and J. Hatfield, 2016: Sentinel site data for model improvement—definition and characterization. *Advances in Agricultural Systems Modeling* **7**, 125-158.
- Corbeels, M., D. Berre, L. Rusinamhodzi, and S. Lopez-Ridaura, 2018: Can we use crop modelling for identifying climate change adaptation options? *Agricultural and Forest Meteorology* **256**, 46-52.
- He, D., E. Wang, J. Wang, and M. J. Robertson, 2017: Data requirement for effective calibration of process-based crop models. *Agricultural and Forest Meteorology* **234**, 136-148.
- Hoogenboom, G., J. W. Jones, P. C. Traore, and K. J. Boote, 2012: Experiments and data for model evaluation and application. *Improving Soil Fertility Recommendations in Africa using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)*, 9-18.
- Hyun, S., and K. S. Kim, 2019: Calibration of cultivar parameters for cv. Shindongjin for a rice growth model using the observation data in a low quality. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**(1), 42-54.
- Kersebaum, K. C., K. J. Boote, J. Jorgenson, C. Nendel, M. Bindi, C. Frühauf, T. Gaiser, G. Hoogenboom, C. Kollas, and J. E. Olesen, 2015: Analysis and classification of data sets for calibration and validation of agro-ecosystem models. *Environmental Modelling & Software* **72**, 402-417.
- 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.
- Kim, J., W. Sang, P. Shin, J. Baek, C. Cho, and M. Seo, 2019: History and future direction for the development of rice growth models in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**(3), 167-174.
- Kim, J., W. Sang, P. Shin, H. Cho, and M. Seo, 2018a: Calibration of crop growth model CERES-MAIZE with yield trial data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(4), 277-283.
- Kim, K. S., S.-O. Kim, J. H. Kim, K. H. Moon, J. H. Shin, and J. Cho, 2018b: Development and application of crop models in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(2), 145-148.
- Kim, Y., K.-M. Shim, M.-P. Jung, I.-T. Choi, and K.-K. Kang, 2016: Classification of agroclimatic zones considering the topography characteristics in South Korea. *Journal of Climate Change Research* **7**(4), 507-512.
- Lee, K.-D., C.-W. Park, K.-H. So, and S.-I. Na, 2017: Selection of optimal vegetation indices and regression model for estimation of rice growth using UAV aerial images. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **50**(5), 409-421.
- Lee, S., and K. S. Kim, 2018: Estimation of fresh weight for chinese cabbage using the Kinect sensor. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **20**(2), 205-213.
- Lobell, D. B., and S. Asseng, 2017: Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models. *Environmental Research Letters* **12**(1), 015001.
- Marinello, F., A. Pezzuolo, D. Cillis, and L. Sartori, 2016: Kinect 3d reconstruction for quantification

- of grape bunches volume and mass. *Engineering for Rural Development* **15**, 876-881.
- Moon, K. H., H. H. Seo, M. J. Shin, E. Y. Song, and S. Oh, 2019: Production of Farm-level Agro-information for adaptation to climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **21**(3), 158-166.
- Rosenzweig, C., J. W. Jones, J. L. Hatfield, A. C. Ruane, K. J. Boote, P. Thorburn, J. M. Antle, G. C. Nelson, C. Porter, and S. Janssen, 2013: The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology* **170**, 166-182.
- 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.
- Zhao, C., B. Liu, L. Xiao, G. Hoogenboom, K. J. Boote, B. T. Kassie, W. Pavan, V. Shelia, K. S. Kim, and I. M. Hernandez-Ochoa, 2019: A SIMPLE crop model. *European Journal of Agronomy* **104**, 97-106.