

농업분야 기후변화 대응을 위한 공간기후자료 생산

김광수*, 이규중, 이변우

서울대학교 식물생산과학부 작물생명과학전공

Production of spatial climate data set for climate change adaptation planning in agriculture

K. S. Kim*, G. J. Lee, and B. W. Lee

Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul, 151-921, Korea

(Correspondence: luxkwang@snu.ac.kr)

1. 서 언

기후변화로 인한 농림 분야의 영향을 평가하고 이에 대응한 기술들을 개발하기 위해서 미래 기후자료가 생산되고 이용되어 왔다 (Haylock *et al.*, 2008). 현재의 기상조건을 바탕으로 2100년까지의 기후변화 자료들은 전 지구 모델을 사용하여 생산되며 특히 CO₂ 배출량의 시나리오가 주요한 기후변화 예측 요소이다 (Meehl *et al.*, 2007). 최근까지 SRES (the Special Report on Emission Scenarios) 기반의 CO₂ 배출 시나리오에 근거한 기후변화 자료가 생산되었으나 최근 RCP (representative concentration pathways) 기반 배출 시나리오를 활용한 미래 기후자료가 생산되고 있다 (Moss *et al.*, 2010). SRES에서는 사회 경제적인 조건에 따라 CO₂ 및 기타 온실가스 배출량이 예측되고 이를 기반으로 기후변화 자료가 생산된다. 반면 RCP 시나리오에서는 문헌에 나타나 있는 온실가스 배출량과 지표 특성에 근거한 네 가지 태양복사특성이 설정되어 미래 기후자료가 생산된다. 기상청에서는 각 분야의 기후변화 대응 전략 수립을 지원하기 위해 RCP 시나리오를 기반으로 기후변화 자료를 생산하여 이 자료를 인터넷을 통해 제공하고 있다. 본 연구에서는 기상청에서 제공되고 있는 기본 기후변화 자료와 이를 기반으로 농업분야 기후변화 예측에 사용될 수 있는 기후자료의 종류와 생산 방법에 대해 소개하고자 했다.

2. 기상청 제공 기후자료

기상청 RCP 기반 기후변화 자료는 전 지구 기후 모델인 HadGEM2-AO 모델을 사용하여 생산된 약 135 km 해상도의 전 지구 기후변화 자료로부터 얻어 진다 (국립기상연구소, 2011). 지역규모의 기후자료를 생산하기 위해 동적 규모축소기법이 적용되었고 이를 위해 지역 기후 모델인 HADGEM3-RA 모델을 사용하여 12.5 km 해상도의 우리나라 지역 기후자료가 생산되었다. 생산된 자료는 월별, 일별, 시간별 자료로 구분될 수 있다. 월별자료와 일별자료는 각 변수의 평균값을 가지고 있으며 지면온도의 경우 일별 최고 및 최저 온도 자료도 제공된다. 시간별 자료는 6시간 자료와 3시간 자료로 구

분될 수 있으나 주로 3시간 자료가 농업 기상 자료로 유용하다. 각 시간 해상도별 자료의 주요 변수들은 Table 1과 같다.

Table 1. Climate variables available in future climate data based on representative concentration pathway, which are provided by Korea Meteorological Administration.

Temporal resolution	variables
Monthly/Seasonal	incoming shortwave radiation flux, air temperature (1.5 m), pressure (MSL*), snow amount, net radiation, total cloud amount, aerodynamic resistance, surface heat flux, surface moisture flux, wind speed (10 m), soil temperature, gross/net primary production, plant/soil respiration, evaporation from soil/canopy, soil moisture, rainfall/precipitation rate
Daily	incoming shortwave radiation flux, air temperature (1.5 m), pressure (MSL), snow amount, net radiation, total cloud amount, rainfall/precipitation rate, wind speed (10 m), soil moisture content, surface heat flux, surface latent heat flux, daily maximum/minimum/average temperature (1.5 m), relative humidity, evaporation from soil/canopy, runoff rate
3-hourly	net downward shortwave radiation flux, surface heat flux, surface latent heat flux, wind speed (10 m), soil moisture content, rainfall/precipitation rate, air temperature (1.5 m), surface runoff rate

* Mean Sea Level

기상청에서 제공되는 일별 자료를 활용하여 다양한 농업분야에서 활용할 수 있다. 예를 들어, 태양복사플럭스, 일중 최고 및 최저온도, 강수량, 상대습도, 풍속 등의 자료는 작물 생육 시뮬레이션 모델인 DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)의 입력 자료로 사용될 수 있다. 따라서 RCP 시나리오에 근거한 2100년대까지의 작물의 생육 양상을 모의하여 최적 생산 지역을 선정하거나 미래의 작물 수량을 예측할 수 있다. 그러나 기상청에서 제공되는 자료는 일반적인 리눅스 환경에서 사용이 용이한 GrADS (Grid Analysis and Display System) 표준 Binary 형식을 가지고 있어, 이러한 자료를 DSSAT의 입력 자료로 전환하는 과정이 필요하다. 또한, 앞으로는 DSSAT 등의 작물 모델들의 입출력 체계를 개선하여 기상청에서 제공하는 기후자료를 직접 사용할 수 있는 체계 구축도 필요할 것이다.

3. 농업 기상 응용 기후자료

기상청으로 부터 제공되는 기후자료의 변수들은 미래 기후에 대한 기본적인 정보를 제공할 수 있으나 농업 생산성 변동 예측을 위해서는 부족한 부분도 많이 있다. 예를 들어, 생장도일과 같은 생물의 생육을 예측하기에 적합한 기상변수들은 기본적으로 제

공되지 않고 있다. 따라서 기상청에서 제공하고 있는 미래 기후자료를 활용해 농림 분야의 기후변화 영향 평가 및 적응 대책 수립을 위해서는, 농림 분야에 필요한 자료 중 기상청에서 제공하고 있는 기본 자료에 포함되지 않는 자료들은 자체적으로 생산하여 공유하여야 한다. 기상청에서 제공되지 않지만 농림 분야에서 사용되어야 할 기후변수들을 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Climate variables that is not available in KMA climate change data set based on RCP scenario, but needed for climate change impact assessment in agriculture and forestry

Temporal resolution	variables
Monthly	Drought index, climate production index, heating degree days, cooling degree days
fortnightly/10-days	frost-free period, chilling units
Daily	growing degree day

Table 2에서 제시된 변수들 중 일부는 다수의 지수 값으로 표현되어야 하는 변수들이 있어 단순히 여러 개의 지수 값들을 제공하는 것이 아니라 이들의 장단점에 대한 비교 분석 역시 수행되어야 할 것이다. 예를 들어, 가뭄을 나타내기 위해 Palmer Drought Severity Index (PDSI), Keetch-Byram Drought Index (KBDI), Agricultural Reference Index for Drought (ARID) 등 대략 12개의 지수들이 사용되어 왔으며 이들 중에 특정 작물이나 식생에 따라 적합한 지수들이 있어 가능한 한 다양한 지수들의 생산 및 정보 제공이 필요하다 (Woli *et al.*, 2012). 또한 이러한 지수들의 활용도를 높이기 위해 공간자료의 형식으로 제공되어야 한다.

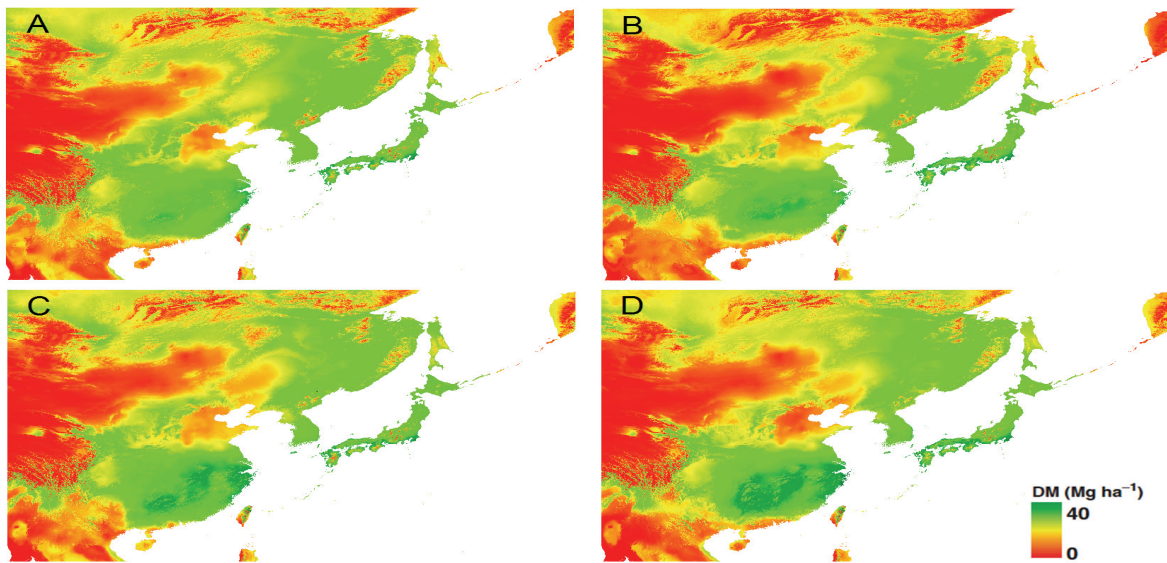


Fig. 1. Predicted yield of Miscanthus in 2080s using climate model outputs of A) NCAR B) CSIRO C) HadGem1 D) HadCm3. Each figure was generated using a simple Miscanthus yield model based on Message Passing Interface.

4. 병렬처리를 통한 농림기상 응용 기후자료 생산

기후 자료들은 농림 생산성을 예측하기 위한 모델의 입력 자료로 사용될 수 있으며 이러한 모델링을 통해 좀 더 세밀한 농림 분야의 기후변화 영향평가를 수행할 수 있다. 그러나 농림 분야에서 요구되는 공간 기후 자료를 생산하기 위해서 대용량의 자료 처리 기술이 필요하다. 대용량의 자료처리를 위해 병렬처리 기법이 사용될 경우 자료의 생산 시간을 절감시켜 단기간 내에 다양한 정보를 생산할 수 있다. 현재, Message Passing Interface (MPI) 시스템을 기반으로 하는 병렬처리 기술들이 개발되어 왔으며 다양한 컴퓨터 프로그래밍 언어들이 MPI를 지원하고 있다. 특히, 다양한 온실가스 배출 시나리오 조건에서 1 km 이상의 고해상도의 기후자료를 이용하여 작물 생육 예측을 할 경우 예측에 상당한 시간이 소요되므로, 이러한 경우에 MPI를 활용하는 것이 필수적이다. MPI를 적용하기 위해서는 기존의 모델에 MPI 기준에 맞는 명령어를 사용해야 하며 이를 위해 기후변화 생산성 예측모델을 수정해야한다. 예를 들어, GIS (Geographical Information System) 기반의 역사 생산성 예측 모델을 MPI 기법을 적용하여 SRES 기후변화 시나리오 조건에서 생산된 4종의 기후변화 자료를 활용하여 미래의 역사 최적 생산지역을 탐색을 위한 2080년도의 역사 생산성 예측을 할 수 있다(Fig. 1).

사 사

본 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER_20123110)의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

- Haylock, M. R., N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, and M. New, 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950 - 2006. *Journal of Geophysical Research* **113**.
- Meehl, G. A., C. Covey, K. E. Taylor, T. Delworth, R. J. Stouffer, M. Latif, B. McAvaney, and J. F. B. Mitchell, 2007: THE WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A New Era in Climate Change Research. *Bulletin of the American Meteorological Society* **88**, 1383 - 1394.
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant and T. J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* **463**, 747 - 756.
- Woli, P., J. W. Jones, K. T. Ingram, and C. W. Fraisse, 2012: Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal* **104**, 287.
- 국립기상연구소, 2011: IPCC 5차 평가 보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서. pp117.