

엑셀/VBA를 이용한 배추 모형 제작

문경환* · 송은영 · 위승환 · 오순자

농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소
(2018년 5월 31일 접수; 2018년 6월 26일 수정; 2018년 6월 27일 수락)

Development of a Chinese cabbage model using Microsoft Excel/VBA

Kyung Hwan Moon*, Eun Young Song, Seung Hwan Wi and Sooja Oh

Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural and Herbal Science,
Rural Development Administration, Jeju, 63607, Korea,

(Received May 31, 2018; Revised June 26, 2018; Accepted June 27, 2018)

ABSTRACT

Process-based crop models have been used to assess the impact of climate change on crop production. These models are implemented in procedural or object oriented computer programming languages including FORTRAN, C++, Delphi, Java, which have a stiff learning curve. The requirement for a high level of computer programming is one of barriers for efforts to develop and improve crop models based on biophysical process. In this study, we attempted to develop a Chinese cabbage model using Microsoft Excel with Visual Basic for Application (VBA), which would be easy enough for most agricultural scientists to develop a simple model for crop growth simulation. Results from Soil-Plant-Atmosphere-Research (SPAR) experiments under six temperature conditions were used to determine parameters of the Chinese cabbage model. During a plant growing season in SPAR chambers, numbers of leaves, leaf areas, growth rate of plants were measured six times. Leaf photosynthesis was also measured using LI-6400 Potable Photosynthesis System. Farquhar, von Caemmerer, and Berry (FvCB) model was used to simulate a leaf-level photosynthesis process. A sun/shade model was used to scale up to canopy-level photosynthesis. An Excel add-in, which is a small VBA program to assist crop modeling, was used to implement a Chinese cabbage model under the environment of Excel organizing all of equations into a single set of crop model. The model was able to simulate hourly changes in photosynthesis, growth rate, and other physiological variables using meteorological input data. Estimates and measurements of dry weight obtained from six SPAR chambers were linearly related ($R^2=0.985$). This result indicated that the Excel/VBA can be widely used for many crop scientists to develop crop models.

Key words: Chinese cabbage, Process-based crop model, Excel/VBA model



* Corresponding Author : Kyung Hwan Moon
(milestone@korea.kr)

I. 서 론

배추는 재배기간이 3~4개월로 짧은 편으로 일년 중 여러 차례 재배가 가능하지만 생육기간의 기후조건에 따라 재배 가능여부가 결정된다. 특히, 여름철 고온기에는 배추의 생육이 저하되고, 형성된 결구가 물러져서 수확이 어려워지므로, 여름철 배추재배는 해발고도가 높아 기온이 선선한 고랭지에서만 재배되고 있다 (Kim *et al.*, 2002). 이러한 재배특성은 최근의 기후변화로 고랭지 지역에서도 배추 여름재배가 어려워지게 될 것을 암시하고 있으며, 식량안보 차원에서 미래 기후에서 배추 생육과 생산이 어떻게 될 것인가 알아보는 일이 중요하게 되었다.

배추 생육에 있어 기상요소는 일차적으로 중요한 요소라고 할 수 있다. 그러나 재배기간의 기상요소를 알더라도 배추의 생육을 예측하는 것은 쉽지 않은데 이는 환경요인들과 작물 생육 간의 다양하고 복잡한 관계들을 모두 고려하여야 되기 때문이다 (Baier, 1973). 최근 컴퓨터를 이용하여 과거에는 계산하기 어려웠던 복잡한 생육과정들을 계산할 수 있게 되었으며, 이렇게 시간에 따라 변하는 환경조건을 반영하여 작물의 생육을 모의할 수 있게 만든 것을 작물 생리과정 모형이라고 하며, 1970년대 이후 농업분야 기후변화 영향 연구에 광범위하게 이용되고 있다 (Bouman *et al.*, 1996).

일반적으로 작물 생육의 복잡한 과정을 계산하기 위해서는 컴퓨터 언어로 소프트웨어를 제작하여야 한다. 지금까지 여러 가지 작물 모형들이 FORTRAN, C++, Delphi, C# 등 고급 컴퓨터 언어로 개발되었으나, 농학자에게는 작물모형을 개발하기 위해서는 컴퓨터 언어를 배워야 하는 어려움이 있었다. 이러한 어려움을 해결하고자 Teh(2011)은 마이크로소프트사에서 개발한 엑셀 프로그램을 이용하여 작물의 생육과정을 모의할 수 있도록 도와주는 간편한 VBA 소프트웨어를 개발한 바 있다.

대체로 작물의 생리과정 모형은 광합성을 예측하는 것으로부터 시작한다. Farquhar *et al.*(1980)은 식물체 잎의 생화학적 반응과정을 이용한 광합성 모형(FvCB model)을 제안하였으며, 여러 가지 작물 모형에 채용되고 있다 (Kim and Lieth 2003; Long and Bernacchi 2003; Dubois *et al.* 2007). 이 논문에서는 FvCB 모형을 기본으로 엑셀 프로그램을 이용하여 배추 생육과정을 예측할 수 있는 배추 모형을 제작하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

온도에 따른 배추의 생장량을 조사하기 위하여 옥외생장상을 이용한 실험을 수행하였다. 옥외생장상의 기온을 주야간 온도차를 주면서 일 평균기온이 12.3, 15.3, 18.3, 21.3, 24.3, 27.3°C 의 6개 처리로 유지시키면서 배추를 재배하였다. 생장량 조사는 정식 시 및 정식 후 6 회에 걸쳐서 식물체를 채취하여 엽수, 엽면적, 건물중 등을 조사하였다. 조사된 자료를 이용하여 외부생장상 내의 면적을 반영하여 생육기간의 엽면적지수를 구하고, 이를 기온, 일사량 등과 함께 배추 모형의 입력자료로 이용되었다.

또한 생육 증기에 각 생장상에서 엽광합성측정기(LI-6400)를 이용하여 배추 잎의 엽육내 CO₂ 농도(Ci)에 대한 광합성(A)의 반응(A-Ci)을 조사하였고, 이로부터 FvCB 모형에 필요한 모수를 Sharkey *et al.* (2007) 등이 제시한 프로그램을 이용하여 추정하였다. 엽수준의 광합성량은 Kim and Lieth(2003)가 제시한 바와 같이 광합성, 기공전도도 및 에너지 수지를 동시에 고려하여 추정하였고, 이를 이용하여 수관 수준의 광합성으로 확장하기 위해서 Pury and Farquhar(1997)가 제시한 Sun/Shade 모형을 적용하였다. 즉 배추모형은 시간 단위로 측정된 광량, 기온, 습도, 풍속 등의 기상자료를 이용하여 엽 및 수관의 잠재적인 광합성량을 순차적으로 계산하도록 구성되었다.

시간 단위로 일사량, 기온, 습도, 풍속 등 기상자료와 조사된 엽면적지수 등 입력자료를 읽고 각 단계별 광합성량 등 각 변수를 계산하는 과정을 반복적으로 수행하는 것은 Teh(2011)이 VBA로 개발한 추가기능 (BuildIt) 프로그램을 이용하였다. 이를 이용하여 제작된 배추 생육모형은 BuildIt을 포함한 엑셀파일의 일종으로 입력데이터, 입력자료를 읽기, 잎 수준 및 수관 수준의 광합성속도 계산, 전체 모형의 조절, 결과의 표출 등을 수행하는 여러 개의 시트로 구성되었다.

III. 결과 및 고찰

배추 생육기의 온도가 다른 6개의 챔버에서 각 3회씩 측정된 엽광합성 자료(Ci-A 자료)를 이용하여 배추의 광합성 모형에 적합한 모수들을 찾을 수 있었다 (Table 1). 추정된 모수들을 이용하여 배추 엽 광합성 모형에 의해 예측되는 광합성량과 측정된 광합성량을 비교하였을 때 비교적 잘 일치되는 결과를 얻을 수

Table 1. Parameter values of V_{cmax25} , J_{m25} , TPU_{25} and Rd^*_{25} for Farquhar, von Caemmerer and Berry(1980) model used for Chinese cabbage model

parameter	V_{cmax25}	J_{m25}	TPU_{25}	Rd^*_{25}
mean	152.5	238.6	17.1	1.7
standard deviation	16.1	29.4	3.2	0.9

* The units of all parameters are $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

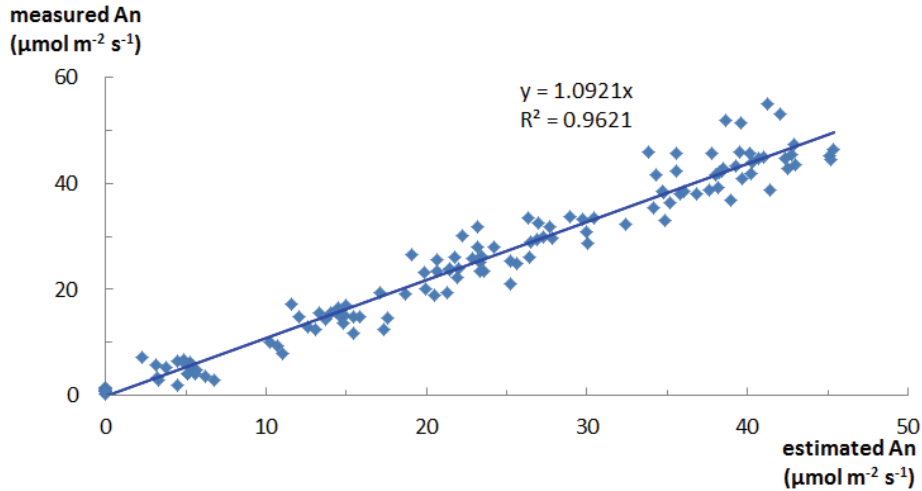


Fig. 1. Comparison of measured and estimated photosynthesis rates of a Chinese cabbage leaf.

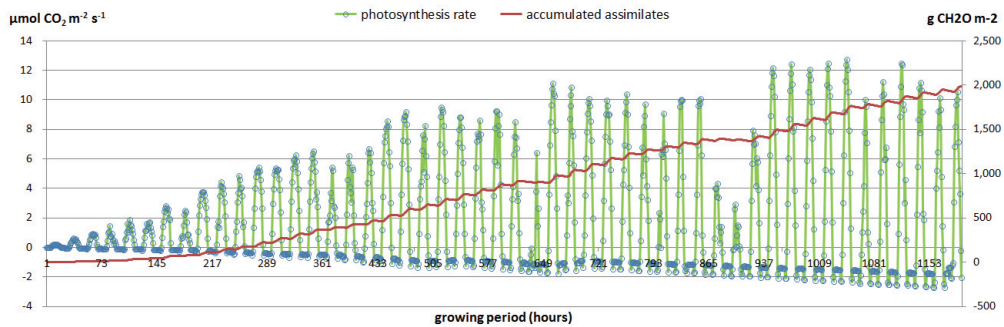


Fig. 2. Hourly photosynthesis rates and accumulated assimilates of Chinese cabbage simulated at a canopy-level under 26°C/21°C temperature regime using FvCB model. Variables were scaled up from leaf-level to canopy-level following de Fury and Farquhar(1997). Respirations for growth and maintenance were not applied.

있었다(Fig. 1).

배추 생육모형을 구동한 결과 시간 단위로 배추의 광합성과 생육의 변동이 잘 모의되고 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 정식 초기에는 엽면적이 크지 않아 광합성량이 많지 않지만 점점 광

합성량이 커지고 이에 따른 식물의 호흡량도 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 실측된 배추 생육과정과 비교하였을 때 잘 모의되는 것으로 판단 된다.

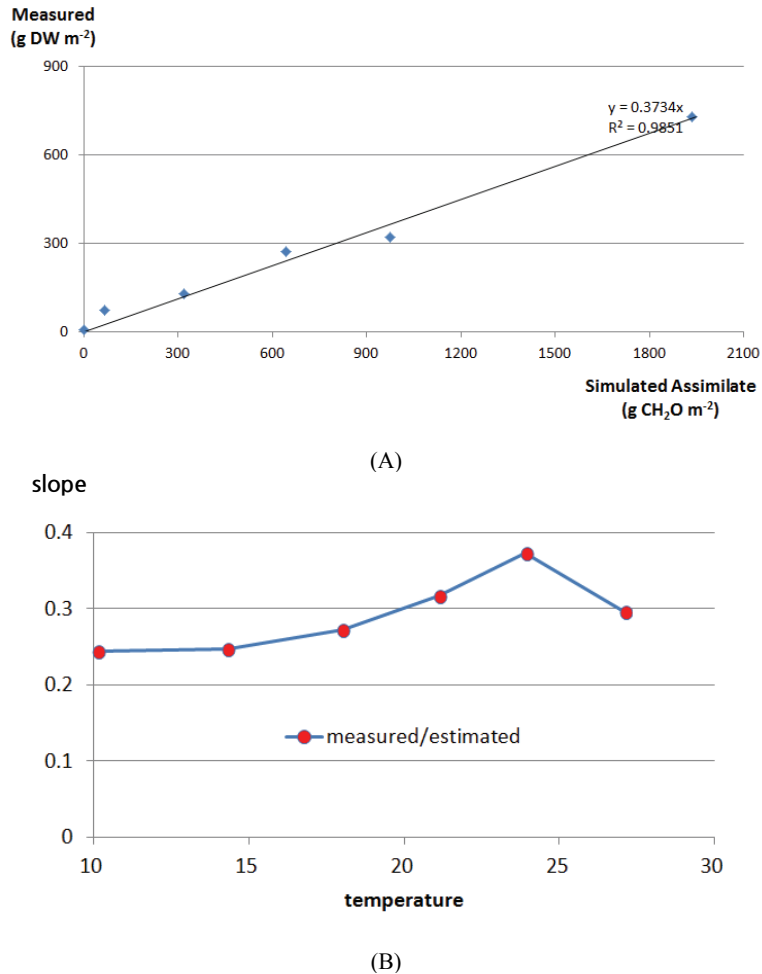


Fig. 3. Comparison of predicted assimilates and measured dry weights (A) and temperature dependency of the ratio of measured dry weight to simulated assimilates (B) of Chinese cabbage grown in chambers.

배추 생육 모형의 구동 결과와 성장상에서 조사된 배추의 건조중과의 관계를 보면 비례적인 관계를 보여주었고, 그 기울기는 온도에 따라서 변동하는 것을 보였다(Fig. 3). 배추 생육모형은 실제 건조 무게보다 과다하게 예측하였는데 이러한 결과는 배추에 의한 광합성 산물이 배추의 생육에만 이용되는 것이 아니라, 뿌리의 성장, 호흡 등에 의한 소모 등으로 많은 양의 동화산물이 소비되기 때문으로 이해된다. 동화산물의 분배 등에 대한 요소까지 반영하면 보다 정확하게 배추의 생육을 예측할 수 있을 것으로 판단되었다.

적 요

기후변화 영향평가를 위하여 프로세스 작물모형이 많이 이용되고 있지만, FORTRAN, C++, Delphi, Java 와 같은 컴퓨터 프로그래밍 언어로 만들어지기 때문에 농학자들이 작물 모형을 제작하는 것이 쉽지 않다. 배추 모형을 개발하기 위해 6 가지 온도 체계를 가진 토양-식물-대기 연구(SPAR) 실험 자료가 사용되었다. SPAR 챔버에서의 식물 재배 기간 동안 잎의 수, 잎의 면적, 식물의 성장률을 6 회 측정 하였다. 또한 휴대용 LI-6400 광합성 측정기를 이용하여 잎의 광합성을 측정 하였다. 잎 수준 광합성 예측은 Farquhar, von Caemmerer 및 Berry (FvCB) 모형을 적용 하였고, 수관의 광합성은 Sun/Shade 모형이 사용되었다. 이러한

전 과정은 BuildIt 이라는 Excel 추가기능이 포함된 엑셀 파일로 제작되었다. 개발된 모형으로 시간 단위의 기상 입력 자료를 사용하여 배추의 광합성, 생장률 및 기타 생리 변수의 변화를 모의할 수 있었으며, 측정된 배추의 건조 중량의 변화와 모형에서 예측된 동화량과는 비례적인 관계를 나타내었으나, 온도에 따라서 다르게 나타났다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ012775032018)의 지원에 의해서 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Baier, W., 1973: Crop-weather analysis model: review and model development. *Journal of applied Meteorology* **12**, 937-947.
- Bouman, B., H. van Keulen, H. van Laar, and R. Rabbinge, 1996: The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agricultural systems* **52**, 171-198.
- Dubois, J. J., E. L. Fiscus, F. L. Booker, M. D. Flowers, and C. D. Reid, 2007: Optimizing the statistical estimation of the parameters of the Farquhar-von Caemmerer-Berry model of photosynthesis. *New Phytologist* **176**, 402-414.
- Farquhar, G. D., S. v. Caemmerer, and J. A. Berry, 1980: A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* **149**, 78-90.
- Kim, S.-M., H.-J. Choi, H.-Y. Kim, D.-K. Lee, T.-H. Kim, M.-S. Ahn, and J.-H. Hur, 2002: Survey on pesticide use by chinese cabbage growers in gangwon alpine farmland. *Korean Journal of Pesticide Science* **6**, 250-256.
- Kim, S. H., and J. H. Lieth, 2003: A coupled model of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration for a rose leaf (*Rosa hybrida* L.). *Annals of Botany* **91**, 771-781.
- Long, S. P., and C. J. Bernacchi, 2003: Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. *Journal of experimental botany* **54**, 2393-2401.
- de Pury, D. G. G., and G. D. Farquhar, 1997: Simple scaling of photosynthesis from leaves to canopies without the errors of big-leaf models. *Plant, Cell & Environment* **20**, 537-557.
- Sharkey, T. D., C. J. Bernacchi, G. D. Farquhar, and E. L. Singsaas, 2007: Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C₃ leaves. *Plant, Cell & Environment* **30**, 1035-1040.
- Teh, C. B. S., 2011: Overcoming Microsoft Excel's weaknesses for crop model building and simulations. *Journal of Natural Resources & Life Sciences Education* **40**, 122-136.