

## 기체교환이론에 의한 배추 잠재모형 개발

문경환\*, 송은영, 위승환, 오순자  
국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소

### Development of Kimchi Cabbage Model based on Gas Exchange Theory

K. H. Moon\*, E. Y. Song, S. H. Wi and S. Oh

Research Institute of Climate Change and Agriculture, NIHHS, RDA, Jeju 63240, Korea

#### 1. 서 언

기후변화에 의한 작물의 생육과 수량 등의 변화를 예측하기 위해서 우리나라에서 주로 재배되고 있는 작물을 대상으로 한 작물모형이 필요하다. 세계적으로 벼, 밀, 보리, 옥수수, 콩 등 식량작물을 대상으로는 작물모형이 많이 개발되어 있으나, 배추 등 우리나라에서 많이 재배되는 원예작물에 대한 모형은 부족한 실정이다. 한편 Farquhar 등은 엽 광합성 속도는 Rubisco-limited, RuBP-limited 및 TPU-limited rate 중 최소 반응속도에 의해 결정된다고 하였다(Farquhar *et al.*, 1980). Dubois 등은 각 반응속도를 결정하는 모수는 엽의 광합성 측정을 통해 추적할 수 있고, 엽의 A-Ci 곡선 자료로부터 각 모수를 추정하는 방법을 제시한 바 있다(Dubois *et al.*, 2007). 이 논문에서는 기후에 따른 잠재적 배추 생육을 모의하기 위하여 FvCB 기체교환모형과 에너지 수지식을 결합하고, 개체 수준의 광합성은 de Pury의 Sun/shade 모형을 적용한 배추생육모형을 개발하였다(de Pury *et al.*, 1997). 입력 자료는 위치정보, 시간별 기온, 일사량, 풍속, CO<sub>2</sub> 농도 등 기상자료 및 엽면적 지수이며, 출력자료로는 시간별 광합성속도, 증발산량, 누적 동화량 등 생장에 관한 변수들을 표출하였다. 이 배추 잠재생산 모형을 외부성장상 실험결과에 적용하여 비교하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 2.1. FvCB 모형 모수 추정

주/야간 기온을 달리 처리한 6개의 외부성장상에서 재배된 배추(춘광품종) 엽에서 광합성측정기(Li-6400)를 이용하여 A-Ci curve를 구하였다. 이 때 광합성측정기의 CO<sub>2</sub> 농도는 0, 0, 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000ppm 등으로 처리하였고, 광합성유효 포화광량은 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 하였다. 각 생육상에서 3회씩 총 18회 측정된 자료를 이용하여 Dubois 등이 제시한 방법으로 Vcmax, Jmax, TPU, Rd\* 등의 모수를 구하였고, 배추 모형을 위해서는 구해진 모수들의 평균값을 이용하였다.

\* Correspondence to : milestone@korea.kr

## 2.2. 모형식들의 결합

FvCB 모형과 Sun/shade 모형 및 에너지 수지식들은 엑셀 Add-in 프로그램을 이용하여 엑셀 파일로 작성하였다. 구형 구동을 위해 필요한 최소한의 기능을 가지고 있는 엑셀 Add-in 프로그램 (BuiltIt)은 주어진 입력자료를 불러들이고, 생리적 계산식들을 계산하고, 결과를 표출하는 등의 모형 계산과정을 시간 간격에 따라 순차적으로 수행할 수 있도록 고안된 프로그램이다.

## 2.3. 외부생장상 시험자료 수집

6개의 외부생장상을 주/야간 온도를 각각 14°C/9°C, 17°C/12°C, 20°C/15°C, 23°C/18°C, 26°C/21°C, 29°C/24°C로 처리하고, CO<sub>2</sub> 농도를 400ppm으로 조절하고 배추를 재배하였다. 뿌리의 발달을 위하여 모래를 배지로 하였고, 수분은 매일 필요한 수분량을 계산하여 Hoagland 용액과 유사한 양액을 공급하였다. 전체 외부생장상에서 1개월 정도 배추가 충분히 자랐을 경우 A-Ci 값을 구하였고, 생육기간 중에 6회 배추를 수확하여 엽수, 엽면적, 건조중 등을 측정하였다.

## 3. 결과

엑셀 Add-in 프로그램을 이용하여 엽 광합성에 관한 기체교환 모형, Sun/shade 모형 및 에너지 수지 모형식을 엑셀 파일로 작성할 수 있었다. FvCB모형 구동에 필요한 25°C 기준 Vcmax, Jmax, TPU, Rd\* 등 4개의 모수를 구할 수 있었다. 이를 이용한 예측식과 측정된 광합성량을 비교하였을 때 매우 높은 상관의 결과를 나타내었다(Fig. 1).

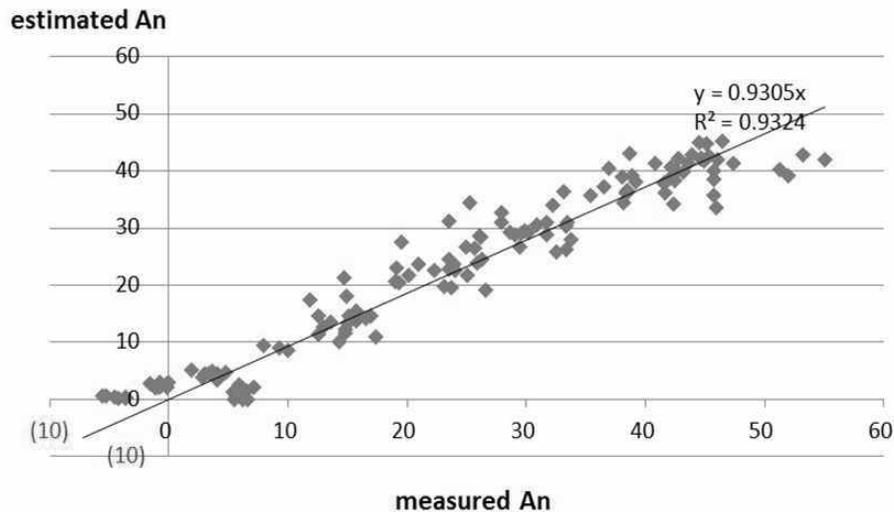


Fig. 1. Comparison of measured and estimated by used mean values of parameters of leaf photosynthesis rate of napa cabbage.

또 배추 잎의 광합성속도와 누적 동화량을 시간 간격으로 표출할 수 있었다(Fig. 2).

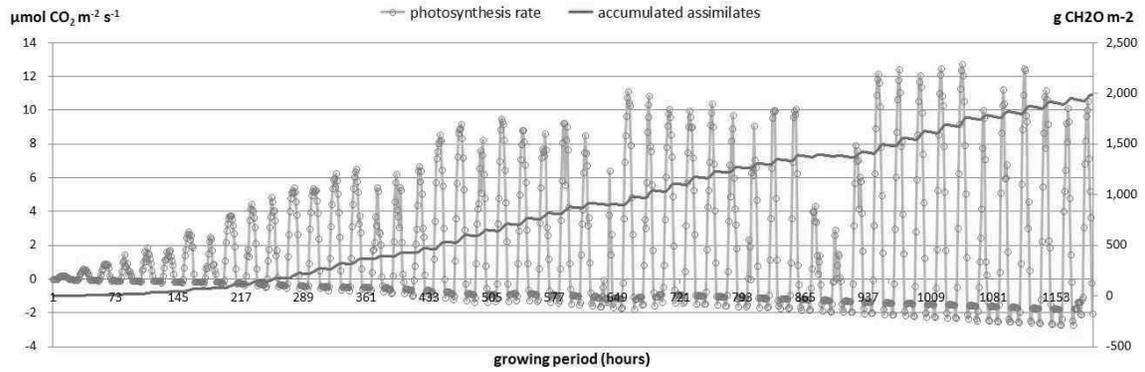


Fig. 2. Simulation of hourly photosynthesis rates and accumulated assimilates of napa cabbage of canopy-level in 26°C/21°C temperature regime using FvCB model. We adopt most variables for scaling-up from leaf-level to canopy-level in de Fury and Farquhar(1997). Respirations for growth and maintenance were not applied.

이 때 모형 계산에 필요한 위도와 경도, 평균기온, 광합성유효광량, 상대습도, 풍속, CO<sub>2</sub>농도, 엽면적지수 등은 입력자료로 주어지고, 필요한 엑셀함수에 의해 불러오도록 구성되었다. 모형으로 계산된 누적 동화량과 6개의 외부생장상에서 측정된 건조중량을 비교하였을 때 매우 높은 상관을 나타내는 결과를 나타내었다(Fig. 3).

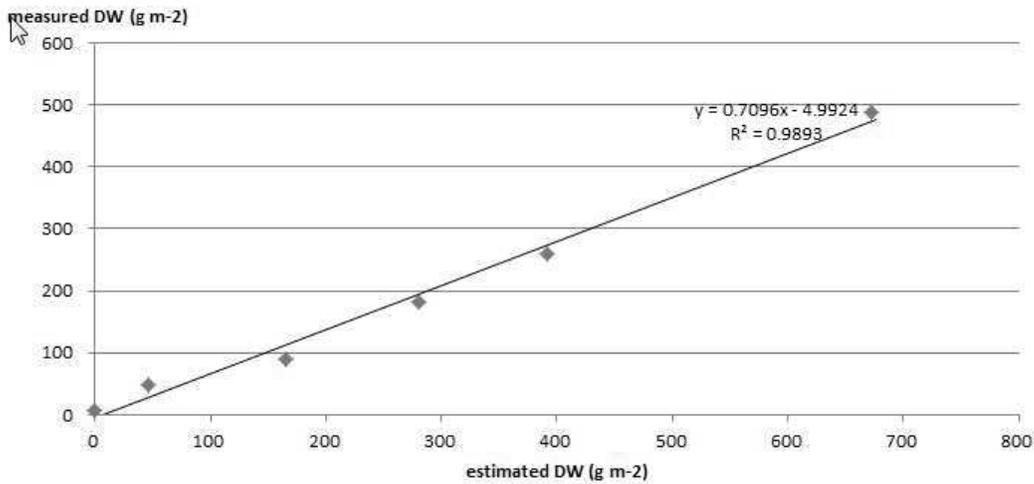


Fig. 3. Comparison of predicted assimilates and measured dry of napa cabbage grown in SPAR chamber.

**References**

- Farquhar, G. D., S. von Caemmerer, and J. A. Berry, 1980: A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. *Planta* **149**(1), 78-90.
- Dubois, J. J. B., 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**(2), 402-414.
- 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**(5), 537-557.