

고랭지 배추의 성장 모형 개발

안재훈^{1*}, 김기덕¹, 이정태¹, 김진희²

¹국립식량과학원 고랭지농업연구센터, ²(사)한국농림기상학회

Growth Modeling of Chinese Cabbage in an Alpine Area

Jae-Hoon Ahn^{1*}, Ki-Deog Kim¹, Jeoung-Tae Lee¹, and Jin-Hee Kim²

¹Highland Agriculture Research Center, NICS

²Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology

I. 서 언

여름철에 재배하는 고랭지배추는 저온보다는 고온에 의한 생리장애와 함께 노균병이나 연부병 같은 병 발생으로 성장과 품질이 나빠질 수 있으며, 수요와 공급에 대한 가격반응이 매우 민감한 작목으로 날씨에 따른 작황변동은 가격 등락폭과 밀접한 관련이 있다. 따라서 경과기상은 물론 예측된 기상조건에 따라 배추의 성장반응을 정량적으로 추정할 수 있다면 수급정책 입안과 재배농가 소득안정에 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

지금까지 개발된 대부분의 작물생산력 예측식에서는 적산일사량이 가장 중요한 변수로 설정된다(France and Thornley, 1984; Horie and Sakuratani, 1985). 이는 광환경이 물질생산의 기본인 광합성을 주도할 뿐만 아니라 여타의 기상환경변화를 결정짓는 주된 요인이기 때문이다. 적산일사량 다음으로 중요한 변수는 재배가능한 지리적 공간을 결정짓는 온도조건 정도이다. 광, 온도변수를 중심으로 하는 작물모형은 식량작물을 중심으로 오래 동안 연구되어 왔다. 그러나 엽채류인 배추의 성장 및 수량예측 모델링에 관한 연구는 상대적으로 희귀하다 할 수 있다. 본 연구는 여름배추의 수급에 절대적으로 중요한 고랭지배추의 성장과 수량을 예측할 수 있는 방법을 찾기 위해 수행하였다. 먼저 성장 및 수량예측모델 작성을 위한 이론식을 설정하고 모형식의 최적변수 도출실험을 수행하였으며 모형식의 계산결과를 실측치에 의해 검증하였다.

II. 재료 및 방법

배추는 전형적인 엽채류로 성장예측을 위해서는 엽면적의 경시변화를 추정하는 일이 중요하다. 따라서 우선적으로 배추의 엽면적 예측식을 작성하고, 다음으로 배추의 수량형성에 중요한 구성요소인 생체중의 변화와 엽면적의 관계를 설명할 수 있는 예측식을 작성하여 이 둘을 결합함으로써 예측모형을 완성하였다.

또한 모형식을 고랭지여름배추 엽성장 예측용으로 바꾸기 위해 강원도 강릉시와 평창군의 경

* Correspondence to: ahn6590@daum.net

계인 대관령 인근 고랭지에 시험포장(해발 800m)을 설치하고, 이 지역의 주품종인 ‘고랭지여름 배추’를 공시하여 1997년부터 1998년까지 2년에 걸쳐 과종기를 달리한 실험을 수행하였다. 육묘는 15~20일간 200공 플러그육묘 하였고 본포에서의 재식거리는 65 × 35 cm로 하였다. 생육상황은 출아 후부터 수확 시까지 생체중, 건물중 및 엽면적 등을 1~2주 간격으로 매회 구당 생육이 균일한 10주씩 조사하였다. 시험구 배치는 품종별 난괴법 3반복으로 하였다(Table 1).

Table 1. Description of the field experiments for formulation and validation of the Chinese cabbage growth model

Experiments	Years	Elevation	Latitude	Longitude
I. Growth modeling	1997 ~ 1998	800m above mean sea level	37.677507	128.746671
		300 ~ 400m	37.260955	128.244597
		400 ~ 600m	37.302118	128.272816
II. Model validation	2003 ~ 2004	600 ~ 800m	37.310966	128.545678
		1,100m	37.402382	128.380343
	2005 ~ 2006	1,000m above mean sea level	37.402382	128.380343

* Weather data from NIHA-RDA and KMA stations

과종 이후 전 생육기간의 기상요소별 관측값의 평균 혹은 적산값을 독립변수로 두고 생육조사에 의해 얻어진 건물중, 생체중, 엽면적을 종속변수로 둔 회귀분석을 통해 최적 기상요소를 선정하였는데, 최적변수 확인을 위해 SAS의 변량증감법(stepwise method)을 이용하였다.

최종적으로 기상자료를 예측식에 적용하여 계산된 추정량과 실제 포장에서 재배된 수량을 비교하여 모형식의 정확도를 검증하게 되는데, 본 연구에서는 모형의 성능검증을 위해 평창, 정선, 강릉 지역의 농가포장 및 시험재배 포장 가운데 다수 지점(2003년 33지점, 2004년 16지점, 2005년 1지점, 2006년 2지점)으로부터 식물체 시료를 지점 당 3~5반복 채취하여서 비교하였다

III. 결과 및 고찰

시간경과에 따른 배추의 엽면적지수, 건물중, 생체중 등의 증가속도에 영향을 미칠 수 있는 기상요소를 평가하였을 때, 최고기온에 의한 엽면적지수 추정에서 Mallows Cp값(Mallows, 1973)이 parameter의 개수에 접근하였으며, 결정계수는 0.73으로 다른 기상요소에 비해 가장 높았다(Table 2). 반면, 적산일사량은 예상과 달리 고랭지배추의 건물중과 큰 관련이 없었으며, 엽면적지수나 생체중과의 연관 또한 기온, 습도 등 다른 기상요소에 비해서 관련성이 적은 것으로 나타났다.

Table 2. Regression statistics for the leaf area index (LAI), dry weight and total fresh weight of Chinese cabbage with respect to the major weather elements

Growth characteristics	R-square	C(p)	Variables in Model
LAI	0.73	5.7	Tmax
	0.69	9.7	RH
	0.69	10.0	Tavg
	0.68	11.3	ST
Dry weight	0.74	4.6	Tmax
	0.71	6.2	RH
	0.68	8.2	Tavg
	0.58	14.2	Tmin
Fresh weight	0.66	3.3	Tmax
	0.66	3.6	RH
	0.62	4.3	Tavg
	0.56	12.6	ST

*Tmax: maximum temperature, Tmin: minimum temperature, Tavg: average temperature, RH: relative humidity, ST: cumulative solar irradiance

시간 t 에 따라서 증가하는 작물의 성장량 X 는 세포의 증식 및 성장 모의에 널리 쓰이는 ‘logistic growth function’을 이용하였으며, 시간변수 t 를 $T_{base} = 0$ 의 유효적산온도 PHU로 대체하였다. 또한 매개변수 PHU의 적합성을 검증하고 형태계수의 값을 추정하기 위해, 성장곡선의 직선화를 피하였으며, 자연대수를 취해 로지스틱(logistic) 변환함수 형태로 바꿨다. 그 결과 절편 상수는 -6.367, 기울기상수 즉 엽성장속도는 0.0064를 보였다.

배추의 생체중과 엽면적 간 관계식을 얻어 앞서 도출된 엽면적 추정에 관한 식과 연동하면 고랭지배추의 성장 및 수량을 예측할 수 있는 모형이 완성된다. 생육조사자료를 분석한 결과 엽면적과 생체중 간에는 로지스틱 함수관계가 인정되었다. 반응변수의 상한치, 즉 배추 생체중 최고치를 고랭지 여름배추의 연차 간 통계자료(Ahn *et al.*, 1995)에 보고되어 있는 3,500g으로 두고, 엽면적 변화에 따른 배추 생체중의 변화를 이 함수로 표현하였을때, 고랭지여름배추의 생체중 변화를 잘 묘사하는 것을 확인 할 수 있었다.

$$Freshweight = 3500 / (1 + \exp(5.175 - 1.153 * LAI)) \quad (1)$$

$$*LAI = 6 / (1 + \exp(6.367 - 0.0064 * PHU))$$

작성된 배추 생체중 예측모형인 식 (1)을 2003년부터 2006년까지 기상자료를 적용하여 예상 생체중을 추정하고, 실측치와 비교한 결과, 연도에 따라 결정계수 0.887~0.94 범위의 값을 나타내어, 생육정도의 모의가 비교적 실측값에 유사하게 추정되었음을 확인할 수 있었다(Fig. 1).

그러나 생육 전반기에는 추정치가 실측값보다 낮게 추정되었는데, 이는 배추의 성장개시기에서 생육성기까지의 1차 성장변곡점 부근에서, 이 모형의 설명변수로 이용된 온도조건 이외에

다른 요인이 작용했을 것으로 추정된다. 이러한 현상은 모형작성의 초기단계에서 흔히 나타나는 현상으로, 추정된 parameter의 적합성 외에 모형을 단순화하기 위해 세부요인을 고려하지 못한 한계성이 문제점으로 작용한 것으로 판단된다. 향후 parameter의 검증, 변환 등 모형의 개선 연구를 통하여 수정 및 보완이 필요하며, 신뢰도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

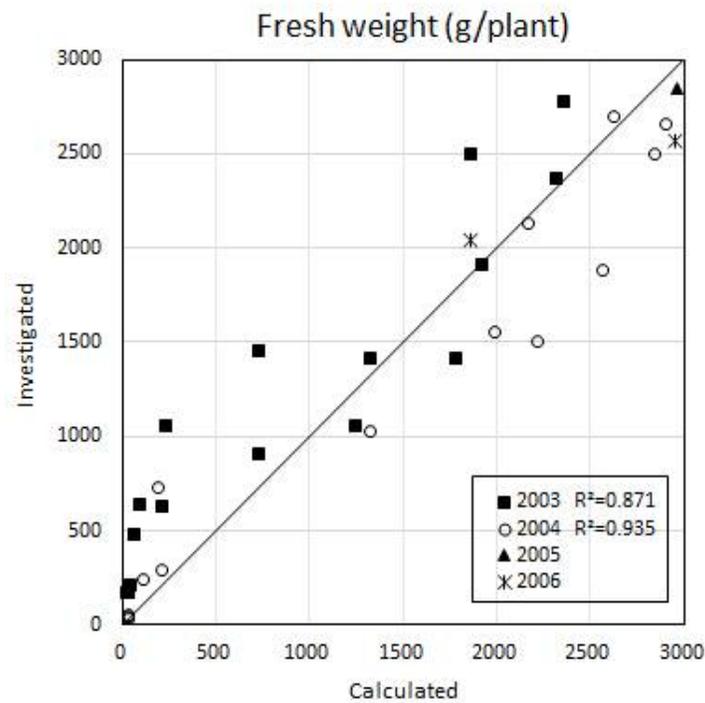


Fig. 1. Relationship between measured and calculated total fresh weight of Chinese cabbage in Daegwallyeong from 2003 to 2006.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ009292)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Ahn, J. H., Y. I. Hahm, Y. H. Om, and T. Y. Park, 1995: Prediction of Chinese cabbage yield by statistical method. *Journal of The Korean Society for Horticultural Science (poster)* p. 202-203
- France, J., and J. H. M. Thornley, 1984: *Mathematical model in agriculture*. Butterworth, London, 80-81.
- Horie, T., and T. Sakuratani, 1985: Study on meteorological prediction methodology of productivities of rice. *Journal of the Agricultural Meteorology of Japan* 40(4), 331-342.