

## 고랭지 배추의 성장모의

안재훈\* · 김기덕 · 이정태  
고랭지농업연구센터

(2014년 9월 25일 접수; 2014년 11월 5일 수정; 2014년 11월 5일 수락)

## Growth Modeling of Chinese Cabbage in an Alpine Area

Jae-Hoon Ahn\*, Ki-Deog Kim and Jeoung-Tae Lee

Highland Agriculture Research Center, RDA, Pyeongchang 232-954, Korea  
(Received September 25, 2014; Revised November 5, 2014; Accepted November 5, 2014)

### ABSTRACT

Summer cabbages in an alpine area are very sensitive to the fluctuations in supply and demand. Yield variability due to weather conditions dictates the market fluctuations of cabbage price. This study reports an empirical relationship based on weather conditions to estimate the growth and harvestable biomass of cabbages, factors that are critical for supply of summer cabbages. Based on experimental results testing sowing date effects over the two years from 1997 to 1998, a logistic equation was parameterized to predict leaf area expansion of summer cabbages. This logistic model for leaf area expansion was then combined with an empirical allometric relationship to predict total biomass. The final equation for estimating fresh weight accumulation of Chinese cabbage is given by:  $Fresh\ weight = 3500 / (1 + \exp(5.175 - 1.153 \times (6 / (1 + \exp(6.367 - 0.0064 \times PHU))))$  Where PHU is potential heat units ( $^{\circ}C$ ). The model performance was tested using weather data from 2003 to 2006 to predict fresh harvestable biomass. Overall the model performance was satisfactory with the correlation efficient ranging between 0.89 and 0.94 for each year.

**Key words:** Chinese cabbage, Growth model, Weather, Alpine area

### I. 서 론

작물의 수량 및 품질형성에 영향을 미치는 일차적인 제한요인은 기후조건이다(Hyung, 1993). 여름철에 재배하는 고랭지배추는 저온보다는 고온에 의한 생리장애와 함께 노균병이나 연부병 같은 병 발생으로 생산량과 품질이 나빠질 수 있다. 또한 고랭지배추는 수요와 공급에 대한 가격반응이 매우 민감한 작목으로 날씨에 따른 작황변동은 가격 등락폭과 밀접한 관련이 있어 농민들의 생계에 영향을 크게 미칠 수 있다. 따라서 경과기상은 물론 예측된 기상조건에 따라 배추의 생산

반응을 정량적으로 추정할 수 있다면 수급정책 입안과 재배농가 소득안정에 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

작물의 수량 형성과정에 미치는 기상조건을 정량적으로 해석하기 위해서는 초보적인 수단 중 하나인 모수화(parameterization)를 거쳐야 한다. 모수화는 상수(constants)와 변수(variables)를 통해 이루어지는데, 상수는 같은 식물종이나 체내 동일 조직에서는 시간 및 실험조건에 의해 변하지 않는 고정된 수치이며, 생화학적 속도상수, 즉 효소반응속도, 광합성효율, 식물 조직 내에서의 당의 전류속도 등이 해당된다(France and Thornley, 1984; Thornley, 1976). 이에 비하여



\* Corresponding Author : Jae-Hoon Ahn  
(ahn6590@hanmail.net)

변수는 시간에 따라 변하며 작물품종, 재배특성 및 모형의 이용목적 등에 따라라도 달라지는데, 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.

이러한 광, 온도변수를 중심으로 하는 작물모형은 벼(Horie and Sakuratani, 1985), 옥수수(Thompson, 1969), 감자(MacKerron and Waister, 1985a; 1985b; Ahn *et al.*, 1996; Ingram and McCloud, 1984) 등 식량작물을 중심으로 오래 동안 연구되어 왔다. 그러나 엽채류인 배추의 생장 및 수량예측 모델링에 관한 연구는 상대적으로 희귀하며, 국내의 경우 Ahn *et al.*(1995)에 의해 배추수량의 통계적인 예측모형이 작성되었고, 배추 병 진전도에 관한 연구가 수행된 정도로서(Ahn and Hahm, 1994), 현재까지 배추의 생장모형 작성에 관한 연구는 보고된 바 없다. 본 연구는 여름배추의 수급에 절대적으로 중요한 고랭지배추의 생장과 수량을 예측할 수 있는 방법을 찾기 위해 수행하였다. 먼저 생장 및 수량예측모델 작성을 위한 이론식을 설정하고 모형식의 최적변수 도출실험을 수행하였으며 모형식의 계산결과를 실측치에 의해 검증하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 이론모형

작물의 생장량을 정량적으로 예측하기 위해서는 광합성이 이루어지는 엽면적의 예측이 우선되어야 한다(Terry *et al.*, 1983). 특히 배추는 전형적인 엽채류로 생장예측을 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.

시간  $t$ 에 따라서 증가하는 작물의 생장량  $X$ 는 세포의 증식 및 생장 모의에 널리 쓰이는 'logistic growth function'으로 표현할 수 있다(Berger, 1981;

Byrne, 1980; Vanderplank, 1963).

$$X = X_f / (1 + \exp(-(b_0 + b_1 \cdot t))) \quad (1)$$

여기서  $X_f$ 는  $X$ 의 최고치이고,  $b_0$ 와  $b_1$ 은 곡선의 절편 및 기울기를 나타내는 계수이다.

식 (1)을 배추의 엽생장 예측용으로 바꾸기 위해서는 시간변수  $t$ 를 엽생장을 설명할 수 있는 기상환경조건, 즉 적산일사량이나 온도 관련 변량으로 모수화해야 한다. Chalabi *et al.*(1986)은  $t$ 를 온도와 시간을 결합한 변수, 즉 온도시간(thermal time)으로 대체하여 사탕무의 엽생장을 예측할 수 있는 모델식을 작성하였다. 감자에 있어서는 0°C를 생장개시온도(base temperature)로 하고, 매일 평균기온이 0°C 이상일 때 해당 온도값을 적산한 유효적산온도(Potential Heat Unit, PHU)를 이용하여 엽면적의 변화패턴을 모형화한 바 있다(Jefferies, 1992; Kirk and Marshall, 1992). SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 모형의 배추생장량 예측식에서는 배추생장에 유효한 매일의 온도를 누적시킨 유효적산온도가 사용된 바 있다(Neithch *et al.*, 2005).

따라서 본 연구에서도 0°C를 생장개시온도로 하고 그 이상의 매일 평균기온을 적산한 유효적산온도(PHU)를 독립변수로 하는 모형식을 작성하였다.

### 2.2. 포장실험

시간의 경과에 따른 생장정도를 충분히 설명할 수 있는 이른 바 최적변수를 선정하기 위한 실험은 기상환경-작물생장 모형작성 시 매우 중요한 과정이다. 식 (1)을 고랭지여름배추 엽생장 예측용으로 바꾸기 위해 강원도 강릉시와 평창군의 경계인 대관령 인근 고랭지에 시험포장(해발 800m)을 설치하고, 이 지역의 주품종인 '고랭지여름배추'를 공시하여 1997년부터 1998년까지 2년에 걸쳐 파종기를 달리한 실험을 수행하였다(Table 1).

육묘는 15~20일간 200공 플러그육묘하였고 본포에서의 재식거리는 65×35 cm로 하였다. 10a당 시비량은 N: 32kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 8kg, K<sub>2</sub>O: 20kg을 기비 및 분할시비 하였고, 퇴비 2,000kg과 봉사 1.5kg을 전량 기비로 시용하여 노지재배 하였다. 생육상황은 출아 후부터 수확 시까지 생체중, 건물중 및 엽면적 등을 1~2주 간격으로 매회 구당 생육이 균일한 10주씩 조사하였다. 잎, 줄기 등 부위별로 나누고 외엽 청색부

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

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

\*Weather data from NIHA-RDA and KMA stations

분(source)과 내엽(sink)으로 구분하여 조사하였으며, 엽면적은 청엽부분만 가위로 도려내어 측정하였다. 그리고 엽면적은 엽면적측정기(Meiwa AMB)로 측정하였고, 건물중은 건조기(Yamato SG62)로 처음 1시간은 100°C에서 생리반응을 정지시키고 그 후에는 2~3일 80°C에서 건조시켜 측정하였다. 시험구 배치는 품종별 난괴법 3반복으로 하였다.

**2.3. 모형 도출 및 검증**

이론식 (1)의 시간변수  $t$  대신에 들어갈 적절한 기상변수를 선별하기 위하여 배추생장에 영향을 미칠 것으로 추정되는 여러 기상요인을 대상으로 통계처리를 실시하였다. 파종 이후 전 생육기간의 기상요소별 관측값의 평균 혹은 적산값을 독립변수로 두고 생육조사에 의해 얻어진 건물중, 생체중, 엽면적을 종속변수로서 회귀분석을 통해 최적 기상요소를 선정하였다. 기상자료는 인근 대관령기상관측소로부터 수집하였는데 (1997-1998) 독립변수는 전 생육기간(6월~8월) 기온의 평균, 일최고기온의 평균, 일최저기온의 평균, 적산일사량, 상대습도의 평균, 적산강수량 등이었다. 최적변수 확인을 위해 SAS의 변량증감법(stepwise method)을 이용하였으며(Lee *et al.*, 1991), 여기서 선별된 최적변수를 적절한 생물기상학적 매개변수로 변환하여 이론식 (1)의 시간변수를 대치함으로써 고랭지배추 맞춤형을 작성하였다.

수량예측모형 작성시 최종적으로 기상자료를 예측식에 적용하여 계산된 추정량과 실제 포장에서 재배된 수량을 비교하여 모형식의 정확도를 검증하게 되는데 (Johnson *et al.*, 1988), 본 연구에서는 모형의 성능 검증을 위해 평창, 정선, 강릉 지역의 농가포장 및 시험재배 포장 가운데 다수 지점(2003년 33지점, 2004년 16지점, 2005년 1지점, 2006년 2지점)으로부터 식

물체 시료를 지점 당 3~5반복 채취하여서 비교하였다 (Table 1). 해당 조사지점은 해발고도가 400m이하로부터 1,100m지점까지 평단지, 준고랭지, 고랭지에 고루 분포하도록 선정하였으며, 파종일로부터 1~2주 간격으로 채취된 시료의 생체중, 건물중, 엽면적 등을 측정하였다. 해당기간(2003-2006)의 기상자료는 인근 대관령기상관측소로부터 수집하였다.

**III. 결과 및 고찰**

**3.1. 고랭지배추의 생육**

1997년부터 1998년까지 파종기를 달리하여 대관령 고랭지에서 재배한 배추의 생육단계별 소요일수, 생체중과 엽면적 성장정도를 나타낸 것이 Table 2, Fig. 1이다. 고랭지여름배추의 생육단계별 소요기간은 연차간 혹은 파종기에 따라서 차이가 심하였는데, 파종 후부터 결구개시기 까지의 소요기간은 49~59일인 반면, 결구기부터 수확기까지의 소요기간은 76~94일로 더 길었다(Table 2).

배추의 엽중은 초기에는 광합성이 가능한 청엽부의

**Table 2.** Phenology of the Chinese cabbage grown in Daegwallyeong area

Years	Sowing	Heading	Harvest Maturity
1997	May 10	Jul. 1(52)	Jul. 31(82)
	Jun. 10	Jul.29(49)	Aug. 26(77)
	Jul. 11	Aug.31(51)	Oct. 5(86)
1998	May 11	-	Jul. 27(78)
	Jun. 11	-	Sep. 5(86)
	Jul. 11	-	Oct. 12(94)
1999	May 14	Jul. 5(52)	Jul. 29(76)
	Jun. 15	Aug.13(59)	Sep. 10(85)

( ) : Days after sowing

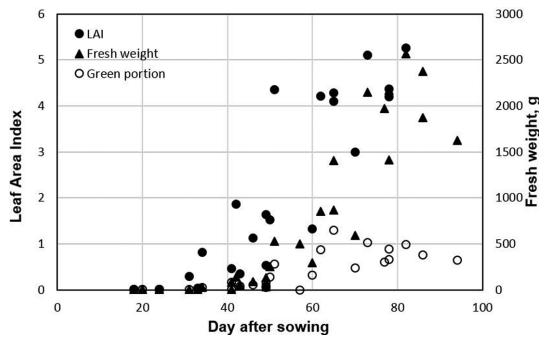


Fig. 1. Changes in the leaf area index, fresh weight and green portion of Chinese cabbage sowed in different dates at Daegwallyeong area from 1997 to 1998.

생체중이 대부분을 이루고 있으나, 50~60일 이후부터는 결구내엽의 무게가 급증하여 80~90일경에 정점을 보였다. 정식 후 경과일수에 따른 엽면적의 변화는 생육초기에 완만한 증가를 보이다가 파종 후 40일경 엽면적지수 값인 0.5 정도를 지난 후부터 생장속도가 빨라져 60일 이후 급격히 증가되며, 파종 후 80일경에 엽면적지수 값이 5 정도에서 정점(peak)을 보인 후 감소하는 추세를 보였다. 이러한 시그노이드(sigmoid) 형태의 엽생장패턴은 본 연구상 다른 모든 연도 및 파종기에서 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 1).

3.2. 생장에측을 위한 최적 기상변수

시간경과에 따른 배추의 엽면적지수, 건물중, 생체중 등의 증가속도에 영향을 미칠 수 있는 기상요소를 평가하였을 때, 최고기온, 상대습도, 평균기온이 그 유의성이 인정되었다. 그 가운데 최고기온에 의한 엽면적지수 추정에서 Mallows Cp값(Mallows, 1973)이 parameter의 개수에 접근하였으며, 결정계수는 0.73으로 다른 기상요소에 비해 가장 높았다(Table 3). 결론적으로 고랭지여름배추의 생장, 그 중에서도 엽면적의 증가에 영향을 크게 미치는 변수는 온도조건으로, 예측모형 작성 시 온도조건이 설명변수로 가장 적합한 것으로 판명되었다. 반면, 적산일사량은 예상과 달리 고랭지배추의 건물중과 큰 관련이 없었으며, 엽면적지수나 생체중과의 연관 또한 기온, 습도 등 다른 기상요소에 비해서 관련성이 적은 것으로 나타났다.

시간에 따른 엽면적 증가를 매일의 온도변화에 의해 모의하고자 할 때 단위시간당 생장량의 변화를 종속변수로 두고, 온도 기반의 생물기상학적 변량을 독립변

Table 3. 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

수로 하는 방법이 주로 이용된다. 배추는 잎이 광합성 주체(source)이면서 동시에 수량의 중요한 구성요소(sink)가 되므로 엽생장 예측식 작성은 생장 및 수량 모형 작성에 기본이 된다.

감자 등 많은 작물에서 유효적산온도 계산 시 0°C를 생장개시온도로 하였을 때 실용성이 가장 높은 것으로 보고되어(Jefferies, 1992; Kim and Yun, 2008), 본 연구에서도 고랭지배추의 생장개시온도를 0°C로 하여 PHU를 계산하였다. Fig. 1의 X축 변수를 파종 후 경과 일수 대신, 계산된 PHU를 사용하여 배추의 엽면적 변화를 추적하면 연차 간 혹은 파종기 간 변이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다(Fig. 2). 또한 엽면

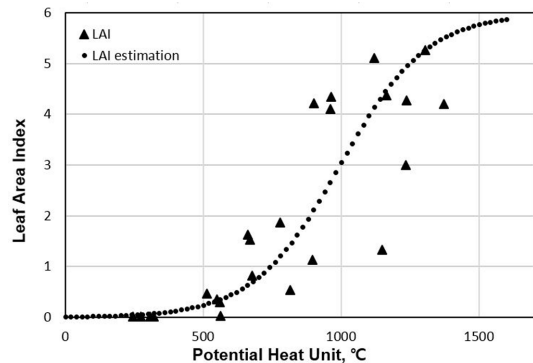


Fig. 2. Relationship between leaf area index of Chinese cabbage and potential heat unit during growing period at Daegwallyeong area from 1997 to 1998.

적 값이 생육초기에는 완만한 증가세를 보이다가, PHU 600부터는 급격히 증가하는 추세로 변하며, PHU 1,000~1,200에서 그 값이 정점을 찍은 후, 점차 줄어드는 추세를 보이며, 이 성장곡선의 추세는 sigmoid curve 특성과 유사하였다. Table 2의 생육단계를 PHU로 환산하여 본 결과 PHU 600~1,000 시기가 결구기와 거의 일치하는 것으로 분석되었다.

### 3.3. 엽면적 추정식 작성

전술한 실험결과를 토대로 식 (1)의 시간변수  $t$ 를  $T_{base}=0$ 으로 하는 유효적산온도 PHU로 대체하였다.

$$LAI = LAI_f / (1 + \exp(l_1 - l_2 \times PHU)) \quad (2)$$

여기서 임의날짜의 평균기온을  $T_{avg}$ 라고 할때, 해당일의 HU는  $T_{avg} - T_{base}$ 이며, 주어진 기간의 PHU는  $\Sigma$  HU가 된다.  $l_1, l_2$ 는 이 곡선의 형태계수이다. 이항에 의해 식 (2)는 다음 식으로 변환될 수 있다.

$$(LAI_f - LAI) / (LAI) = \exp(l_1 - l_2 \times PHU) \quad (3)$$

매개변수 PHU의 적합성을 검정하고 형태계수의 값을 추정하기 위해서는 성장곡선의 직선화가 필수적이다(Berger, 1981; Vanderplank, 1963). 즉 sigmoid 형태를 나타내는 성장곡선을 변환함수에 의하여 1차함수로 변환시켜 상관계수를 비교함으로써 적합성을 검정할 수 있고, 함수의 기울기와 절편을 계산함으로써 형태계수의 값을 추정할 수 있게 된다. 식 (3)을 직선화하기 위해서 자연대수를 취하여 로지스틱(logistic) 변환 함수 형태로 바꾸면 다음과 같다.

$$\ln(LAI / (LAI_f - LAI)) = (l_2 \times PHU - l_1) \quad (4)$$

이 엽면적 추정식의 형태계수는 배추 시험포장의 반복 실험에서 얻어지는 생육자료와 이때의 기상자료 사이 관계를 통계적으로 해석함으로써 도출할 수 있다. 고랭지 배추 엽면적 성장정도를 로지스틱 변환함수  $\ln(LAI / (LAI_f - LAI))$ 로 바꾸어 PHU와의 관계를 조사한 결과, 절편상수는 -6.367, 기울기상수 즉 엽성장속도는 0.0064를 보였으며 고도와 상관관계를 나타냈는데(Fig. 3), 이들을 식 (4)에 대입하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$LAI = 6 / (1 + \exp(6.367 - 0.0064 \times PHU)) \quad (5)$$

### 3.4. 엽면적지수와 생체중 간 관계

배추의 생체중과 엽면적 간 관계식을 얻어 앞서 도

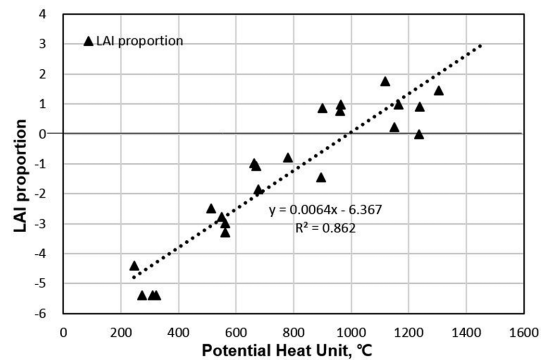


Fig. 3. Relationship between LAI proportion of Chinese cabbage and potential heat unit (PHU) at Daegwallyeong area from 1997 to 1998.

출된 엽면적 추정에 관한 식 (5)와 연동하면 고랭지배추의 생장 및 수량을 예측할 수 있는 모형이 완성된다. 생육조사자료를 분석한 결과 엽면적과 생체중 간에는 로지스틱 함수관계가 인정되었다(식 6). 반응변수의 상한치, 즉 배추 생체중 최고치를 고랭지 여름배추의 연차간 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(Fig. 4).

$$\begin{aligned} \text{Fresh weight} &= 3500 / (1 + \exp(5.175 - 1.153 \times LAI)) \\ *LAI &= 6 / (1 + \exp(6.367 - 0.0064 \times PHU)) \end{aligned} \quad (6)$$

### 3.5. 고랭지여름배추 생장모형의 신뢰도

작성된 배추 생체중 예측모형인 식 (6)을 2003년부터 2006년까지 기상자료를 적용하여 예상 생체중을

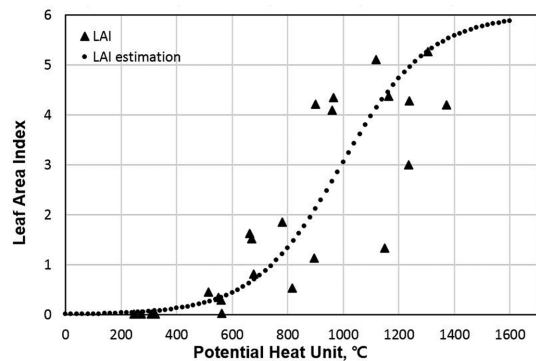


Fig. 4. Relationship between fresh weight and leaf area index of Chinese cabbage at Daegwallyeong area from 1997 to 1998.

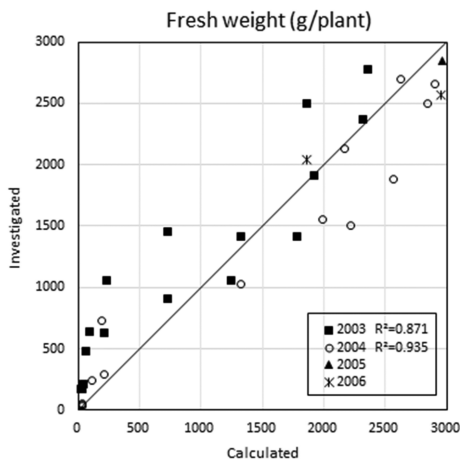


Fig. 5. Model testing showing the relationship between measured and predicted total fresh weight of Chinese cabbage in Daegwallyeong from 2003 to 2006.

추정하고, 검증용 포장에서 얻은 생체중의 실측치와 비교한 결과, 연도에 따라 결정계수 0.887~0.94 범위의 값을 나타내어, 생육정도의 모의가 비교적 실측값에 유사하게 추정되었음을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

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 개선연구를 통하여 수정 및 보완이 필요하며, 신뢰도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 기상환경조건을 이용하여 배추생장을 예측할 수 있는 모형작성의 초보적 단계에 불과하다. 특수한 환경조건을 최대한 활용하여 농업활동이 이루어지는 고랭지에서는 기상요소 외에 각종 병해충의 발생 가능성 또한 상존하고 있으며, 무리한 환경조건 하에서 재배가 이루어지다보니 이에 따른 각종 병해 및 장애가 빈발한다. 금후 주요 병해충, 이상장애 등과 관련된 sub-model 들이 추가로 개발되어 본 모델과 연동되면 실제의 배추 수량성 및 상품성을 보다 정확하게 예측할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 본 연구결과는 고랭지배추의 동적인 성장모의 보다는 지역별

재배적지, 적기 판정 등 배추 생산성과 관련하여 통계적인 자료생산에 유익하게 이용될 수 있을 것이다.

## 적 요

여름배추는 수요와 공급에 대한 가격반응이 매우 민감한 작목으로서 날씨에 따른 작황변동은 가격 등락폭과 밀접한 관련이 있다. 본 연구에서는 여름배추의 수급에 절대적으로 중요한 고랭지배추의 성장과 수량을 기상조건으로부터 예측할 수 있는 경험식을 개발하였다. 1997년부터 1998년까지 2년에 걸쳐 파종기를 달리하여 수행한 실험결과를 기반으로 기온으로부터 엽면적 추정식을 도출하였다. 배추 생체중의 변화를 엽면적에 의해 설명할 수 있는 예측식을 작성한 다음 엽면적 추정식과 결합하여 다음 식을 얻었다.

$$\text{Fresh weight(kg)} = 3500 / (1 + \exp(5.175 - 1.153 \times (6 / (1 + \exp(6.367 - 0.0064 \times PHU))))))$$

이 경험식을 2003년부터 2006년까지 매일 기온자료에 의해 구동시켜 예상 생체중을 계산한 다음 검증용 포장에서 얻은 실제 생체중과 비교한 결과 연차별 결정계수 0.89~0.94의 높은 상관을 보였다.

## REFERENCES

- Ahn J. H., J. M. Lee, J. I. Yun, Y. I. Hahm and K. Y. Shin, 1996: Modeling of potato growth and yield based on meteorological information. I. Theoretical model and the estimation of parameters. *RDA Journal of Agricultural Science* **38**(2), 331-344. (in Korean with English abstract)
- 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.
- Ahn, J. H., and Y. I. Hahm, 1994: Modeling for Prediction of the Turnip Mosaic Virus (TuMV) Progress of Chinese Cabbage. *RDA Journal of Agricultural Science* **36**(2), 349-356. (in Korean with English abstract)
- Berger, R. D., 1981: Comparison of Gompertz and logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology* **71**, 716-719.
- Byrne, G. F., 1980: Fitting a growth curve equation to field data. *Agricultural Meteorology* **22**, 1-9.
- Chalabi, Z. S., G. F. J. Milford and W. Day, 1986: Stochastic model of the leaf area expansion of the sugar beet plant in a field crop. *Agricultural and Forest Meteorology* **38**, 319-336.
- France, J., and J. H. M. Thornley, 1984: *Mathematical*

- Model in Agriculture*. Butterworth, London, pp. 80-81.
- Horie, T., and T. Sakuratani, 1985: Study on meteorological prediction methodology of productivities of rice. *Journal of Agricultural Meteorology of Japan* **40**(4), 331-342.
- Hyung, G. J., 1993: *Agricultural Geography*. Beobmun Book Co., 532p.
- Ingram, K. T., and D. E. McCloud, 1984: Simulation of potato crop growth and development. *Crop Science* **24**, 21-27.
- Jefferies, R. A., 1992: Responses of potato genotypes to drought. I. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. *Annual Applied Biology* **122**, 94-104.
- Johnson, K. B., R. L. Conlon, S. S. Adams, D. C. Nelson, D. I. Rouse, and P. S. Teng, 1988: Validation of a simple potato growth model in the North Central United States. *American Potato Journal* **65**, 27-44.
- Kim J. H., and J. I. Yun, 2008: On mapping growing-days (GDD) from monthly digital climatic surfaces for South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(1), 1-8. (in Korean with English abstract)
- Kirk, W. W., and B. Marshall, 1992: The influence of temperature on leaf development and growth in potatoes in controlled environments. *Annual Applied Biology* **120**, 511-525.
- Lee Y. M., Y. A. Chae, C. O. Koo, and H. S. Seo. 1991: *Application biological statistics*. Hyangmun Book Co. 76p.
- MacKerron, D. K. L., and P. D. Waister, 1985: A simple model of potato growth and yield. I. Model development and sensitivity analysis. *Agricultural and Forest Meteorology* **34**, 241-252.
- MacKerron, D. K. L., and P. D. Waister, 1985: A simple model of potato growth and yield. II. Validation and external sensitivity. *Agricultural and Forest Meteorology* **34**, 285-300.
- Mallows, C. L., 1973: Some comments on Cp. *Technometrics* **15**, 661-675.
- Neithch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry and J. R. Williams, 2005: *Soil and water assessment tool theoretical document*. Agricultural research service, Texas, 287p.
- Terry, N., L. J. Waldron and S. E. Taylor, 1983: *The growth and functioning of leaves. I. Leaf growth and the development of function*. Cambridge University Press. pp. 179-205.
- Thompson, L. M., 1969: Weather and technology in the production of corn in the U.S. corn belt. *Agronomy Journal* **61**, 453-456.
- Thomley, J. H. M., 1976: *Models Plant Physiology*. Academic Press, London, p. 8-11.
- Vanderplank, J. E., 1963: *Disease Control*. Academic Press, N.Y. 349p.