

Beta 함수 모형을 이용한 국내 옥수수 품종의 출사기 예측

심교문^{1*} · 김용석¹ · 이진석² · 정명표¹ · 최인태¹ · 김호정¹
¹국립농업과학원 농업환경부, ²국립식량과학원 중부작물부

(2017년 8월 27일 접수; 2017년 9월 19일 수정; 2017년 9월 20일 수락)

Prediction of Silking Date of Corn Hybrids Using Beta Function Model in South Korea

Kyo-Moon Shim^{1*}, Yong-Seok Kim¹, Jin-Seok Lee², Myung-Pyo Jung¹,
In-tae Choi¹ and Hojung Kim¹

¹Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Korea

²Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Suwon, Korea

(Received August 27, 2017; Revised September 19, 2017; Accepted September 20, 2017)

ABSTRACT

A temperature-based Beta function model was developed for corn hybrids (*Zea mays* L.). The beta function based on the hourly temperature was fitted to the phenology data (silking date) obtained for six years from 2008 through 2013 at four survey sites. Using the Beta function model, silking dates for two corn hybrids with the different ecotype ('Danok3', 'Ilmichal') were estimated over two years from 2014 through 2015 at four sites, and then the performance of the model was evaluated based on the data for the same period. The silking dates estimated by the model were predicted earlier than those observed at survey sites. Still, the correlation between estimates and observation was relatively high ($r=0.859$). The accuracy of the model differed by the survey site and the year, which was likely due to the considerably large standard deviation of the parameter calibrated in this study.

Key words: Beta function model, Corn, Phenology, Silking date

I. 서 론

작물의 성장과 발달에 관여하는 생리학적, 형태학적, 생태학적 구성요소와 프로세스간의 상호 작용과 피드백은 작물 모델링을 복잡하게 한다. 최근 많이 이용되고 있는 작물 모형은 많은 프로세스를 생략하고 의미 있고 주요한 프로세스만을 묘사하는 단순화된 형태로 구조화되어 있다. 작물 모형을 설계하고 개발하는 목적은 작물의 성장 및 발달을 완벽하게 설명하는 것이 아니라 허용 가능한 불확실성 범위 내에서 현실

을 표현하는 도구로 사용하고자 하는 것이다.

밀에서의 호숙기(Zadoks *et al.*, 1974), 두과작물에서의 제1 진엽 출현기, 감자에서의 괴경 형성기 등 작물에 따라 매우 특이적인 발육단계가 많지만 이중에서 개화기는 발육에 있어서 결정적인 시기이다. 개화기에 식물체의 기능이 자기 자신의 성장으로부터 다음 세대를 위한 종자 생산 확보로 초점이 움직인다. 이러한 움직임은 동화산물 분배의 변화에 의하여 표현되는데, 개화기 이전에는 동화산물의 많은 부분이 잎에 분배되었지만, 개화 이후에는 동화산물 분배의 중심이 생식



* Corresponding Author : Kyo-Moon Shim
(kmschim@korea.kr)

기관 또는 종자로 이동한다. 옥수수에서는 출사기 (Groot *et al.*, 1986)가 이에 해당되는 시기로 그 중요성이 인정된다 하겠다.

온도는 작물의 생장과 발달에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 지금까지 옥수수에서는 GDD(Growing Degree Days) 또는 열단위(Heat Units)를 이용하여 생육의 예측이나 품종의 수확기가 빠르고 늦은 정도를 표시하는 방법으로 널리 쓰이고 있다 (Jong *et al.*, 1986). 국내에서도 Lee *et al.*(1980)이 옥수수에 대한 GDD의 이용가능성을 처음 시도한 이후, 옥수수의 각 생육기간(파종기~출사기, 출사기~생리적 성숙기 등)별로 필요한 GDD를 산정하였고(Lee *et al.*, 1981), 24개의 GDD 계산방법에 따른 생육시기 예측의 정확도를 비교 분석하였다(Jong *et al.*, 1986). 또한, GDD를 기초로 한 옥수수의 재배력 작성 및 GDD에 의한 옥수수의 재배한계 지역을 구분하였으며, 흑색 P.E. film 피복재배를 하는 초당옥수수에 대해서도 새로운 GDD 모델을 개발하였다(Lee and Min, 2006).

이와 같이 국내에서는 옥수수의 생육시기를 주로 GDD 모델을 사용하여 예측하였을뿐, 아직까지 Beta 함수 모델을 적용한 바가 없다. Yin *et al.*(1995)은 작물 생장을 묘사할 수 있는 온도 기반의 비선형 모델 방법으로 표준밀도함수, 즉 Beta 함수를 개발하였다. 이 함수는 밀도확률함수로 사용되었지만, 식물 내에서 복잡한 온도 반응을 설명하기 위한 종 모양의 곡선의 유연성으로 인해 생물계절(phenology)의 발달을 설명하는 것이 가능하였다.

작물의 발육속도는 최적온도까지는 지속적으로 증가하지만, 그 이후에서는 고온장애 때문에 감소한다. Beta 함수 모형은 이와 같은 곡선반응을 묘사하는데 적합하다(Yin *et al.*, 1995; Yan and Hunt, 1999). 단봉형 곡선인 Beta 함수 모형은 최적온도에서 최대성장을 나타낸다. 그리고 비대칭 형태이기 때문에 온도에 대한 생물계절 반응을 점진적으로 증가하게 묘사하고, 최적온도 이후에는 급격히 감소하게 묘사할 수 있다. 즉, Beta 함수 모형은 최적온도보다 더 높게 되면 잠재적인 생장이 늦춰짐을 고려한 모형으로, 과수보다 옥수수, 콩, 밀, 보리 등 식용작물에 더 적합한 모형이다.

최근 이상기상의 상시화에 따른 기상재해의 빈발로, 농산물의 생산성, 품질저하, 농산물의 수급불안 등 심각한 문제가 야기되고 있으며 국가적 대책 필요하다. 이에 일부 선진국가에서는 기상위험 조기경보체계를

개발하고 이를 기반으로 한 현업서비스를 제공하고 있다(WMO, 2010). 주어진 날씨가 작물의 피해로 진행될 것인지 여부의 판단기준은 기상위험 조기경보서비스의 핵심이며, 그 성공가능성은 재해유형과 작물(품종)별 기상위험 지수의 개발과 적용에 달려있다. 특히, 기상위험지수는 작물의 발육(생육)상황에 따라 아주 다르게 나타나므로, 과거 및 미래 기상조건에 의해서 작물의 주요 품종에 대한 발육단계를 정밀하게 예측하는 ‘생육단계(혹은 생물계절) 예측기술’의 확보가 필요하다 하겠다.

본 연구에서는 국내 주요 식량작물인 옥수수의 대표적인 생물계절인 출사기를 예측하고자 식용옥수수 품종인 ‘단옥3호’와 ‘일미찰’을 대상으로 Beta 함수 모형의 모수를 추정하고 모형의 성능을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 생물계절 관측자료 수집

본 연구에서는 국립식량과학원의 중부작물부에서 지역 농촌진흥기관과 공동으로 매년 조사하여 보고한 신품종개발공동연구보고서를 이용하였다(NICS, 2016). 연구보고서에서 식용옥수수의 대조품종으로 공시된 ‘단옥3호’와 ‘일미찰’을 선정하여 파종기, 출수기, 수확기 등 옥수수의 생물계절을 수집하였다. 생물계절의 수집기간은 2008년부터 2015년까지 8년간이고, 수집지역은 수원, 홍천, 대구, 진주 등 4개 지역이다. 단, 진주지역의 경우에는 2009년도 옥수수 생물계절 관측자료가 누락되어서, 7년간의 자료를 활용하였다. 옥수수 품종인 ‘단옥3호’는 조생종 단옥수수(sweet corn)이고, ‘일미찰’은 중만생종 찰옥수수(waxy corn)이다.

2.2. 기상 관측자료 수집

옥수수의 출사기 등 생물계절을 조사한 시험포장에서 직접 관측한 과거 기상자료의 부재로, 시험포장에서 다소 떨어진 인근의 기상청 소관 유인기상관측소(ASOS) 혹은 무인자동기상관측소(AWS)에서 측정된 시간 단위의 평균 기온자료를 인터넷을 통해 다운받아서 활용하였다(NCDSS, 2016). Table 1에 옥수수의 생물계절 조사지점과 기상자료 측정지점의 위치정보를 나타내었다.

Table 1. Location information of meteorological observation and phenology survey sites for this study

Site name	Phenology survey		Meteorological observation	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Suwon	37.2615	126.9761	37.2723	126.9853
Jinju	35.2109	128.1173	35.1637	128.0400
Hongcheon	37.8992	128.0379	37.8686	128.0189
Daegu	35.9578	128.5609	36.0860	128.5389

2.3. 생물계절 예측 및 검증

옥수수의 생물계절 예측은 온도 기반의 비선형 모형인 Beta 함수 모형을 이용하였다. 수원 등 4개 시험 포장에서 조사된 8년간(2008~2015년)의 옥수수 출사기 자료중에 6년간(2008~2013년)의 자료는 모형의 모수 추정에 활용하였고, 2년간(2014~2015년)의 자료는 모형 검증에 이용하였다.

2.4. Beta 함수 모형

Beta 모형 방정식(1)에는 4개 모수 즉, 입력변수가 있는데, 최고온도(T_x), 최적온도(T_o), 시작시점(H_s), 온도요구도(R_f)가 이에 해당한다. 기본 Beta 함수 모형에 포함되어 있는 그 외 기타 모수는 본 논문에서는 사용

하지 않았다. 다만, 최대생장률(R_x)은 온도요구도에 상대적인 값으로 임의로 조정될 수 있으므로 '1'로 설정하였고, 최저온도(T_n)는 '0'으로 가정하였다. 모형은 매 시간 단위의 온도영향도(Δ_h)를 적산하여 온도요구도 이상이 되는 시점(\hat{H})을 계산하였다. 최고온도와 최저온도를 벗어나는 환경에서 생장이 음의 방향으로 저해되는 상황은 고려하지 않았다.

$$\begin{aligned}
 r_h &= R_x \left(\frac{T_x - T_h}{T_x - T_o} \right) \left(\frac{T_h - T_n}{T_o - T_n} \right)^{\frac{T_o - T_n}{T_x - T_o}} \\
 \Delta_h &= \begin{cases} \frac{1}{24} r_h & \text{if } r_h > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \sum_{h=H_s}^{\hat{H}-1} \Delta_h &< R_f \leq \sum_{h=H_s}^{\hat{H}} \Delta_h
 \end{aligned} \tag{1}$$

Table 2. Planting, silking and harvesting dates of corn hybrids ('Danok3', 'Ilmichal') for 8 years from 2008 through 2015 at Suwon site

Cultivar	Year	Planting	Silking		Harvesting	
		Date	Date	No. of days	Date	No. of days
Danok3	2008	April 21	June 25	65	June 15	85
	2009	April 17	June 23	67	June 13	87
	2010	April 20	June 23	64	June 13	84
	2011	April 19	June 21	63	June 11	83
	2012	April 23	June 21	59	June 11	79
	2103	April 16	June 21	66	June 11	86
	2014	April 11	June 21	71	June 11	91
	2015	April 10	June 19	70	June 9	90
Ilmichal	2008	April 21	July 6	76	June 29	99
	2009	April 17	July 3	77	June 26	100
	2010	April 20	July 5	76	June 28	99
	2011	April 19	July 5	77	June 28	100
	2012	April 23	June 30	68	June 23	91
	2013	April 16	June 30	75	June 23	98
	2014	April 11	July 2	82	June 25	105
	2015	April 10	July 2	83	June 25	106

III. 결과 및 고찰

3.1. 옥수수 생물계절의 연간 변화

본 연구를 위해서 수집한 옥수수 품종의 파종날짜는 지역과 연도에 따라 차이를 나타내었다. 예를 들면, 수원지역에서는 2015년에 가장 빠르게 파종하였고(4월 10일), 2012년에 가장 늦게 파종하였으며(4월 23일), 파종날짜 차이가 최대 13일이었는데 반하여, 진주지역에서의 연도별 옥수수 파종날짜가 4월 16일부터 4월 21일 사이로 그 차이는 최대 5일이었다(Table 2, 3).

또한, 옥수수 품종의 파종기부터 출사기까지의 기간인 출사일수도 지역과 연도 및 품종에 따라 차이를 나타내었다. 예를 들면, 수원지역에서 단옥3호의 출사일수는 2012년에 59일로 가장 짧았고 2014년에 71일로 가장 길었는데, 수원지역에서 조사기간(2008~2015년)의 평균 출사일수는 66일로 조사되었다. 반면에 진주지역에서 단옥3호의 출사일수는 60일에서 63일 사이이며, 진주지역에서 조사기간의 평균 출사일수는 61일로 분석되어 수원과 진주지역 간에는 평균 5일의 출사일수 차이를 나타내었다. 일미찰의 조사기간의

평균 출사일수도 수원에서 77일이고, 진주에서 73일 이어서 두 지역 간에는 4일간의 차이는 나타내었다 (Table 2, 3). 이와같이 옥수수의 지역 간 출사기간의 차이는 지역 간 온도 차이에 따른 옥수수의 생물계절 진행속도의 차이로 추정되었다. 실제로 조사기간 8년간의 4~5월 기온의 평균은 진주지역이 15.3°C로 수원 지역(14.7°C)보다 0.6°C 높은 것으로 분석되어서 진주 지역의 상대적으로 짧은 출사기간을 설명하고 있다.

3.2. Beta 함수 모형의 모수 추정

수원 등 4개 지역의 2008년부터 2013년까지 6년간의 시간별 평균온도와 옥수수의 출사기 조사자료를 토대로 추정한 옥수수 품종인 ‘단옥3호’와 ‘일미찰’에 대한 Beta 함수 모형의 모수(parameter)를 추정하였고 이를 Table 4에 나타내었다. 조생종인 ‘단옥3호’의 최적온도(T_c)는 28.6°C로, 중생종인 ‘일미찰’의 최적온도보다 11°C 높은 것으로 조사되었다. 반면에 온도요구도 (R_f : Forcing requirement)는 단옥3호에서 46.3으로 일미찰보다 13.3정도 적은 것으로 분석되었다. 최고온도 (T_h)는 출수생태형이 다른 2개의 품종에서 비슷하게 조사되었다.

Table 3. Planting, silking and harvesting dates of corn hybrids (‘Danok3’, ‘Ilmichal’) for 8 years from 2008 through 2015 at Jinju site

Cultivar	Year	Planting		Silking		Harvesting	
		Date	Date	No. of days	Date	No. of days	
Danok3	2008	April 15	June 16	62	June 15	82	
	2009	-	-	-	-	-	
	2010	April 21	June 22	62	June 13	82	
	2011	April 18	June 20	63	June 11	83	
	2012	April 18	June 17	60	June 11	80	
	2103	April 18	June 17	60	June 11	80	
	2014	April 16	June 15	60	June 11	80	
	2015	April 16	June 15	60	June 9	80	
Ilmichal	2008	April 15	June 26	72	June 29	95	
	2009	-	-	-	-	-	
	2010	April 21	July 4	74	June 28	97	
	2011	April 18	July 3	76	June 28	99	
	2012	April 18	July 1	74	June 23	97	
	2013	April 18	June 29	72	June 23	95	
	2014	April 16	June 26	71	June 25	94	
	2015	April 16	June 27	72	June 25	95	

Table 4. Parameterization of beta function model for the prediction of silking date for corn hybrids ('Danok3', 'Ilmichal')

Cultivar	Ecotype	T_x		T_o		R_f	
		mean	std	mean	std	mean	std
Danok3	Early maturing	56.6	3.2	28.6	8.7	46.3	21.0
Ilmichal	Medium-Late maturing	55.2	7.5	17.6	14.8	59.6	3.5

T_x , T_o and R_f mean maximum temperature, optimum temperature and forcing requirement, respectively.

Beta 함수 모형의 모수를 추정된 기간인 2008년부터 2013년까지의 6년을 대상으로 모형에 의해서 추정된 옥수수의 출사기와 각 시험포장에서 조사한 옥수수의 출사기를 상관분석한 결과, 피어슨 상관계수(r)는 0.973이고(결정계수=0.946), 기울기는 0.96으로 거의 1:1 라인에 근접하게 추정되는 것으로 분석되었다 (Fig. 1).

3.3. Beta 함수 모형의 검증

Table 4에서 추정된 '단옥3호'와 '일미찰'의 Beta 함수 모형의 모수를 활용하여 모수 추정에 활용하지 않은 2014년과 2015년을 대상으로 옥수수 출사기를 수원 등 4개 지역에 대해서 모형을 활용하여 각각 추정하였다. 그리고 모형에 의해서 추정된 옥수수의 출사기와 시험포장에서 실제 조사한 옥수수의 출사기를 상관분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 피어슨 상관

계수(r)는 0.859이고(결정계수=0.738), 95% 신뢰수준에서 p 값이 2.02E-05으로 확인되었다. 추세선의 기울기가 0.883으로 Beta 함수 모형은 옥수수의 출사기를 실제 조사한 것보다 빠르게 모의하는 것으로 분석되었다.

3.4. Beta 함수 모형의 지역 및 연도별 예측력 차이

개별 지역에 대해서도 Beta 함수 모형을 이용하여 추정된 옥수수의 출사기가 시험포장에서 실제 관측한 출사기와 유사한 패턴을 나타내고 있다는 것을 확인할 수가 있었다(Fig. 3, 4). 하지만, 지역에 따라서 옥수수 출사기의 예측력이 다르게 나타났다. 모형의 검증기간인 2014년과 2015년을 대상으로 옥수수 출사기의 추정결과를 살펴보면, 수원지역에서는 옥수수 품종인 '단옥3호'와 '일미찰' 모두 출사기가 실제 조사된 출사기보

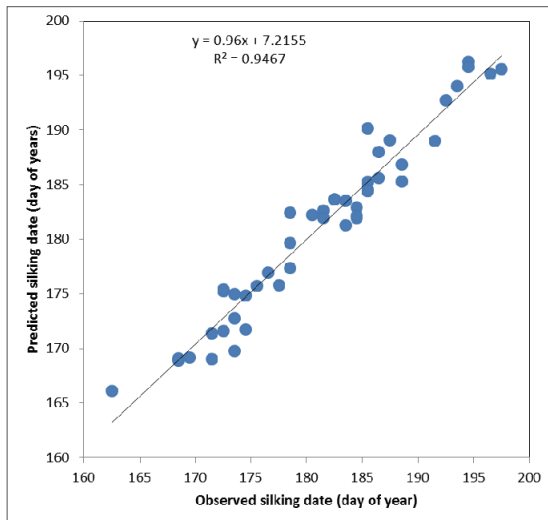


Fig. 1. Correlation between observed and predicted silking dates of corn hybrids ('Danok3', 'Ilmichal') at four sites for 6 years from 2008 through 2013.

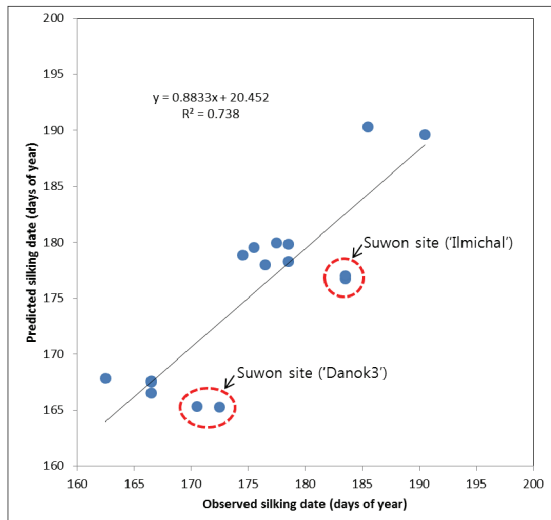


Fig. 2. Correlation between observed and predicted silking dates of corn hybrids ('Danok3', 'Ilmichal') at four sites in 2014 and 2015.

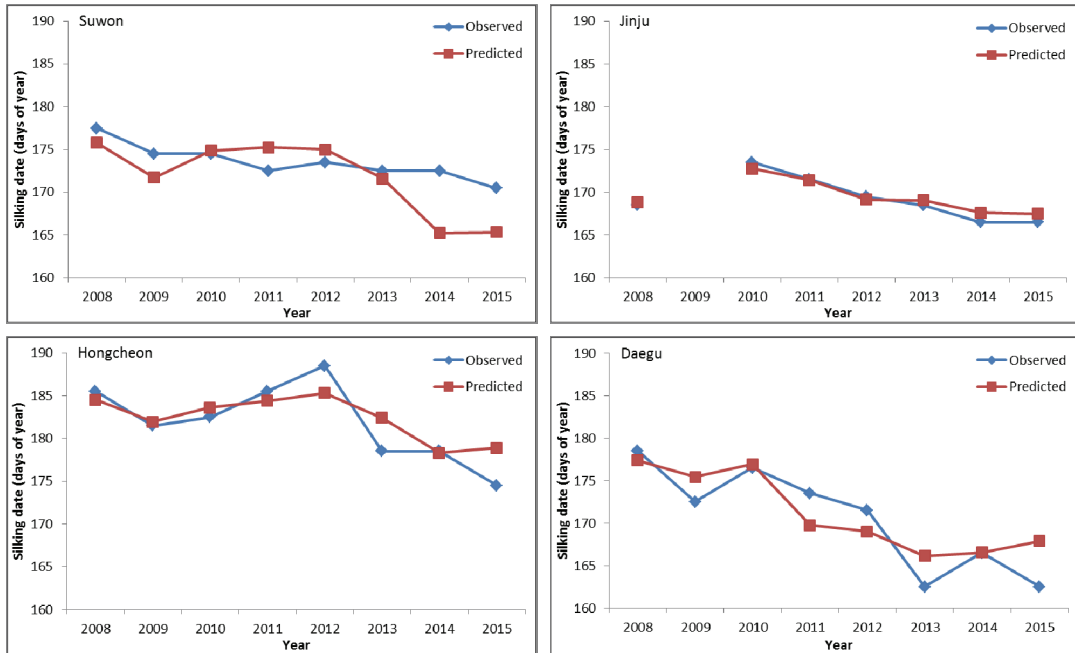


Fig. 3. Trend of observed and predicted silking dates of corn hybrid ‘Danok 3’ at four sites for 8 years from 2008 through 2015.

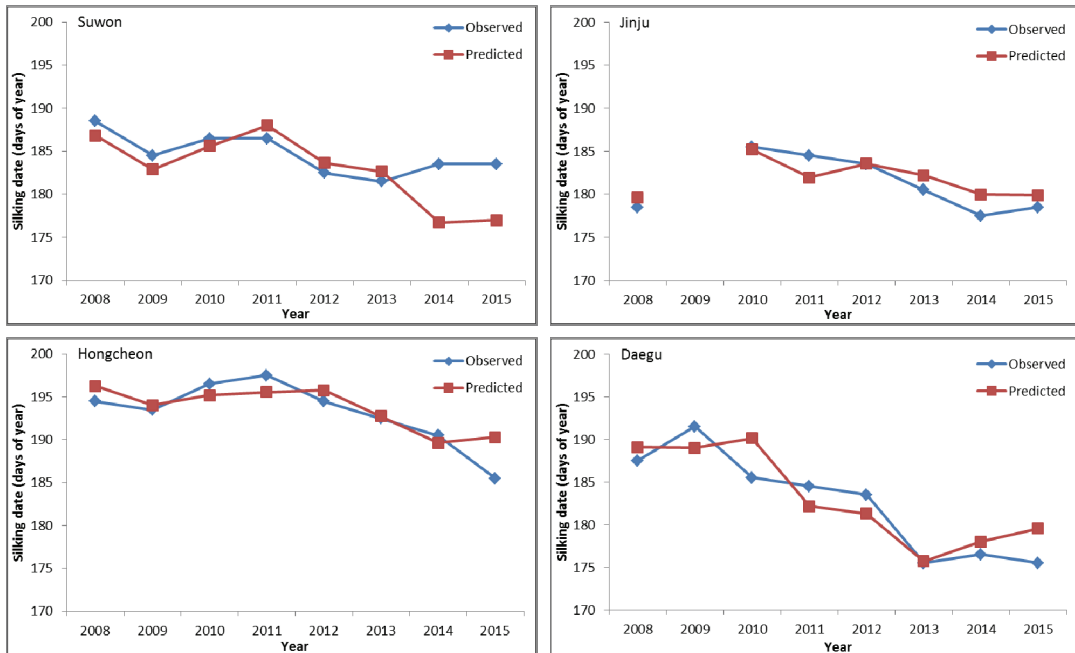


Fig. 4. Trend of observed and predicted silking dates of corn hybrid ‘Ilmichal’ at four sites for 8 years from 2008 through 2015.

다 5~7일 빠르게 추정되어서 Beta 함수 모형의 예측력이 상대적으로 떨어지는 것으로 분석되었다. 수원지역의 검증에 활용한 2014년과 2015년의 옥수수 파종기(4.10~4.11)는 모수추정에 활용한 6년간(2008~2013년)의 파종기(4.16~4.23)보다 5일에서 13일 빨랐다. 즉, 시험포장의 현장조사에서는 이른 파종에 따른 파종 이후의 일부 저온현상이 반영되어 출수기간이 늦어졌는데 반하여, Beta 함수 모형에서는 이와 같은 생육지연 효과를 적절히 반영하지 못했던 것으로 추정되었다. 본 연구에서 활용한 모형에서는 최저기온을 '0'으로 추정하고 모의하였다. 따라서 앞으로는 모형에 적합한 최저기온 모수를 추정하는 추가 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

반면에, 진주지역에서는 모형에 의한 추정된 옥수수 출사기가 실제 관측된 출사기보다 1~2일 늦게 추정되어 예측력이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 홍천과 대구지역에서는 연도별로 모형의 예측력이 다르게 나타났다. 즉, 2014년에는 옥수수 2개 품종의 출사기가 실제 관측값과 아주 유사하게 모형에 의해 추정되어 예측력이 아주 높았던 반면에 2015년에는 4~5일 빠르게 추정되어 예측력이 다소 떨어진 것으로 분석되었다. 이와 같은 지역과 연도에 따라서 다르게 나타나는 모형의 예측력 차이는 Beta 함수 모형을 구동하기 위해서 추정된 3가지 모수에서 그 원인을 찾을 수 있다. 각 모수의 평균에 대한 표준편차가 상대적으로 높아서(Table 4), 지역 및 연도에 따라서 예측력이 다르게 나타난 것으로 추정되었다. 이와 같이 모수의 표준편차가 큰 현상은 옥수수의 출사기를 조사한 포장에서 관측된 기상자료를 활용하지 못하고 다소 떨어진 인근의 기상청 소관 기상관측자료를 활용한 것도 한가지 원인으로 판단되었다. 하지만, 시험 포장과 기상관측소의 직선거리가 가장 짧은 수원지역에서 검정 오차가 가장 크게 나타난 것으로 분석되므로 오차 요인에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단되었다.

옥수수의 출사기 예측력이 지역별로 차이를 나타내는 또 하나의 원인으로 토양의 수분조건에 따른 출사기간(파종기부터 출사기까지)의 변동으로 추정되었다. 즉, 옥수수의 출사기부터 출사기까지의 생물계절 변화는 온도기반의 함수 모형으로 설명될 수 있으나, 옥수수의 출사기간은 온도 뿐만 아니라 토양수분도 크게 관여하기 때문에 이 기간의 생물계절 변화를 온도만의 함수 모형으로 구성하는 것이 예측력 향상에 다소 한계가 있었던 것으로 판단되며, 이에 대한 보충 연구가

필요할 것으로 검토되었다. 하지만, 본 논문에서는 옥수수 출사기 조사자료의 누락으로, 출사기간의 강수량 및 인위적인 관개 등에 의한 토양수분 변화가 옥수수의 출사기 예측력에 미치는 영향을 추가적으로 분석하지 못했다.

적 요

수원 등 4개의 시험포장에서 2008년부터 2013년까지 6년 동안 조사한 옥수수 품종의 생물계절(출사기 등) 자료와 시험포장 인근의 기상관측소에서 측정된 시간별 온도자료를 활용하여 온도기반의 Beta 함수 모형을 개발하였다. Beta 함수 모형을 이용하여 2종의 옥수수 품종에 대한 2014년과 2015년의 출사기 예측을 4개 조사지점에 대해서 각각 수행하였고, 그 결과를 활용하여 모형의 성능을 평가하였다. 모형에 의해 추정된 옥수수의 출사기는 시험포장에서 관측한 출사기보다 이르게 모의하였지만, 이들의 상관계수($r=0.859$)는 높은 것으로 확인되었다. 모형의 성능은 지역과 연도에 따라서 다르게 평가되었는데, 이는 모형에 활용된 평균 모수의 표준편차가 커서 나타난 현상으로 추정되었고, 모수의 표준편차가 큰 현상은 시험포장의 기상관측자료의 부재로 다소 떨어진 인근의 기상관측자료를 활용한 것이 한 원인으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01000701)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Groot, J. J. R., M. J. Kropff, F. J. H. Vossen, C. J. T. Spitters, and R. Rabbinge, 1986: A decimal code for the developmental stages of maize and its relations to accumulated heat units. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **34**, 67-73.
- Jong, S. K., S. S. Lee, and K. Y. Park, 1986: Methods of estimating growing degree days to predict growth duration in maize. *Korean Journal of Crop Science* **31**(2), 186-194. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. S., S. H. Yun, K. W. Chung, K. Y. Park, and Y. S. Ham, 1980: Use of growing degree days as an index of growth duration in rice, soybean and maize. The

- memorial papers for the sixtieth birthday of Dr. Ki Chang Hong, 129-135. (In Korean)
- Lee, S. S., K. Y. Park, and S. K. Jong, 1981: Growth duration and grain and silage yields of maize at different planting dates. *Korean Journal of Crop Science* **26**(4), 337-343. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. S., and H. K. Min, 2006: Reserch report on prection of harvesting time of super sweet and waxy corn hybrids with growing degree days. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 140pp. (in Korean with English abstract)
- NICS, 2016: Joint research report for development of new varieties (2008~2015), National Institute of Crop Sciences (Available from Agricultural Science Library of Rural Development Administration, South Korea) (In Korean)
- NCDSS, 2016: Climate data. National Climate Data Service System (Available from <http://sts.kma.go.kr>)
- (In Korean)
- WMO, 2010: *Guideline on Early Warning Systems and Application of Nowcasting and Warning Operations*. PWS-21, WMO / TD No. 1559, 22pp (Available through the WMO Website at the following weblink: <http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/documents/PWS-21.pdf>)
- Yin, X., M. J. Kropff, G. McLaren, and R. M. Visperas, 1995: A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* **77**, 1-16
- Yan, W., and L. A. Hunt, 1999: An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany* **84**, 607-614.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang, and C. F. Konzak, 1974: A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* **14**, 415-421.