

주산지 기상정보를 활용한 주요 채소작물의 단수 예측 모형 개발

임철희* · 김강선* · 이은정* · 허성봉* · 김태연* · 김용석** · 이우균**

*고려대학교 환경생태공학과, **국립농업과학원 기후변화생태과

Development on Crop Yield Forecasting Model for Major Vegetable Crops using Meteorological Information of Main Production Area

Lim, Chul-Hee*, Kim, Gang Sun*, Lee, Eun Jung*, Heo Seongbong*, Kim, Teayeon*, Kim, Young Seok** and Lee, Woo-Kyun**

*Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

**Division of Agro-Climate & Ecology, National Institute of Agricultural Science, Wanju, Korea

ABSTRACT

The importance of forecasting agricultural production is receiving attention while climate change is accelerating. This study suggested three types of crop yield forecasting model for major vegetable crops by using downscaled meteorological information of main production area on farmland level, which identified as limitation from previous studies. First, this study conducted correlation analysis with seven types of farm level downscaled meteorological informations and reported crop yield of main production area. After, we selected three types of meteorological factors which showed the highest relation with each crop species and regions. Parameters were deducted from meteorological factor with high correlation but crop species number was neglected. After, crop yield of each crops was estimated by using the three suggested types of models. Chinese cabbage showed high accuracy in overall, while the accuracy of daikon and onion was quiet revised by neglecting the outlier. Chili and garlic showed differences by region, but Kyungbuk chili and Chungnam, Kyungsang garlic appeared significant accuracy. We also selected key meteorological factor of each crops which has the highest relation with crop yield. If the factor had significant relation with the quantity, it explains better about the variations of key meteorological factor. This study will contribute to establishing the methodology of future studies by estimating the crop yield of different species by using farmland meteorological information and relatively simplify multiple linear regression models.

Key words : Crop Yield Forecasting Model, Meteorological Information, Major Vegetable Crop, Multiple Linear Regression

1. 서 론

농업과 기상의 관계성은 시대와 국가를 막론하고 널리 인정되어 왔다(Denmead and Shawm, 1962; Fritschen, 1967; Bristow and Campbell, 1984). 전 세계적으로 기상조건에 따라 지역별 다른 작물들을 재배하여 왔으며(Lobell and Field, 2007), IPCC 5차 평가보고서에서는 기후변화의 영향에 가장 위협적인 분야 중 하나로 농업을 제시하였다(IPCC, 2014). 특히, 최근 빈번하게 발생하는 이상기상 현상은 작물 단수 변화에 가장 큰 요인이 되고 있다(Easterling *et al.*, 200; Moriondo *et al.*, 2011,

Lim *et al.*, 2015a).

농산물 가격과 공급의 관점에서 작물의 단수를 예측하는 것은 핵심 이슈이며, 그 정확성에 따라 농업의 많은 지표가 영향을 받게 된다(Cho *et al.*, 2013). 단수의 예측은 과거 생산량과 기상 및 기타 인자들의 관계에 기반하여 개발된 모형을 통해 이루어지므로, 모형의 개발이 선행되어야 가능하다(De Wit and Van Diepen, 2007; Becker-Reshef *et al.*, 2010). 물론, 단기 미래의 정확한 기상 예측 값 또한 필수적인 부분이다.

이러한 중요성에도 불구하고, 작물의 단수 예측은 기상의 변동성과 지역별 환경인자 차이, 농가별 관리 차이 등의 이유

† Corresponding author: leewk@korea.ac.kr

Received May 11, 2016 / Revised June 7, 2016(1st) June 17, 2016(2nd) / Accepted June 22, 2016

로 많은 어려움이 있어왔다(Boote *et al.*, 1996; De Wit *et al.*, 2005). 그럼에도 주요 식량작물에 대해서는 KREI(2011), Park *et al.*(2008), Kim *et al.*(2002), Lim *et al.*(2015b)의 연구를 비롯한 여러 연구들에 의해서 활발히 개선되어 정확성을 높여가고 있다.

최근에는 수익성과 식문화의 변화로 식량작물 외에 주요 채소작물들이 사회적으로 관심 받는 품목으로 대두되었으며, 이에 대한 단수 예측도 시도되고 있다(Cho *et al.*, 2012; KREI 2013). 배추와 무에 대해서는 KREI(2013)의 연구에서, 가을배추와 노지 건고추에 대해서는 Cho *et al.*(2012, 2013)의 연구에서 단수 예측 모형이 제시된 바 있으며, 과정기반 모형을 통한 단수 예측도 국외 사례에서 나타나고 있다(Choudhary *et al.*, 2013; Giménez *et al.*, 2013). 그럼에도 여전히 사회적 관심 품목들에 대한 단수 예측은 양과 질에서 모두 한계를 안고 있다.

이러한 단수 예측에는 모두 기상정보가 핵심 인자로 작용하는데, 가장 큰 제약은 농경지 단위의 상세화된 기상정보가 활용되지 못하고 있는 점이다(Moulin *et al.*, 1998). 대부분의 단수 예측 모형 연구에서는 가장 가까운 관측소의 기상관측 값 혹은 해당 시·군의 평균 기상 값을 활용하는 방법으로 기상정보가 활용되어 왔다(Kim *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2008). 관측소가 없는 지역 혹은 고도나 토지피복이 다양한 지역에서는 정확한 기상정보의 활용에 한계가 발생하며, 이는 모형의 정확성을 낮추는 원인이 되어 왔다(Lobell and Burke, 2010; Kim *et al.*, 2013).

이에 본 연구에서는 사회적 관심품목으로 대두되는 주요 채소작물들을 대상으로 단수 예측이 가능한 모형을 개발하고자 하며, 기존 연구에서 한계로 제시된 농경지 단위의 상세화된 기상정보를 적용한다. 이를 통해 여러 채소작물들에 폭넓게 적용할 수 있는 모형을 확인할 수 있으며, 상세화된 기상정보의 효용성도 제시하고자 한다. 잠재적으로는 기후변화의 영향을 평가할 수 있는 모형으로의 가능성도 확인할 수 있다.

2. 연구자료 및 방법

2.1 작물별 주산지 및 작물 생육 정보

본 연구에서는 국내 채소작물 중 대표적으로 높은 생산 및 소비량을 보이는 다섯 가지 작물(배추, 무, 고추, 마늘, 양파)을 연구 대상으로 삼았다. 작물의 주산지를 대상으로 모형을 개발하였으며, 선정된 다섯 가지 작물의 주산지는 농림축산식품부 고시 제2015-68호에서 지정한 주산지를 기준으로 연구를 수행하였다. 배추와 무의 경우, 계절별 작물과 그 주산지가 별도로 존재하나, 본 연구에서는 하나의 작목으로 간주하여 연

구를 수행되었다. 배추의 경우, 11개 시군(강릉, 고창, 당진, 문경, 삼척, 영월, 정선, 진도, 태백, 평창, 해남)이 주산지로, 무는 9개 시군(강릉, 고창, 당진, 서귀포, 영암, 정선, 평창, 홍천)이 주산지로, 고추는 15개 시군(고창, 괴산, 당진, 봉화, 안동, 영광, 영양, 임실, 의성, 정읍, 청송, 청양, 태안, 홍천, 해남)이 주산지로, 마늘은 9개 시군(고흥, 남해, 서귀포, 서산, 신안, 의성, 창녕, 태안, 해남)이 주산지로, 양파는 5개 시군(무안, 신안, 창녕, 함평, 해남)이 주산지로 각각 선정하였다(RDA, 2015).

모형을 개발하기 위한 작물의 기본 생육 정보는 1995년부터 농촌진흥청에서 수행한 생육조사 자료에 기반하며, 생육기간과 수량정보를 활용하였다. 다만 1995년부터 주산지별 상세화된 기상정보를 구축하는 데는 물리적 한계를 가지므로, 본 연구에서는 2010~2014년간의 5년을 모형 개발의 활용시점으로 선정하여 해당 기간의 자료만을 연구에 활용하였다. 노지 채소의 경우, 파종부터 수확까지 전 과정을 대상으로 하는 것이 보다 현실적이나, 지역별 정확한 일정을 통일할 수 없어, 생육조사에 기재된 생육기간으로 한정하였다. 배추의 경우, 가을배추를 기준으로 한 9월 상순부터 10월 중순, 무 또한 가을 무를 기준으로 9월 상순부터 10월 중순, 고추의 경우 6월 중순부터 8월 상순의 기간, 마늘과 양파의 경우 3월 상순부터 5월 중순의 기간이 생육기간으로 활용되었다(RDA, 2015).

2.2 기상정보 상세화

기존 연구에서 한계로 인식되었던 작물의 생육기간별 농경지 단위 기상정보를 적용하기 위해 최근 5년(2010~2014년)간의 종관기상관측(ASOS) 정보를 일별로 확보하였고, 작물 생육기간 별 구분을 위해 순별로 재가공하였다. 기온 관측정보를 통해 평균기온, 최고기온, 최저기온자료를 구축하였고, 일사량과 상대습도는 관측정보 그대로, 강수량 관측정보는 순별 누적 강수량과 유효강수량으로 각각 활용되었다.

각 기상요소의 공간적 상세화를 위해 농촌진흥청 연구개발 사업을 통해 개발된 ‘상세기상 정보 생산 응용프로그램(RDA, 2015)’을 활용하여 1 km × 1 km 해상도로 상세화 하였으며, 해당 프로그램에는 Choi *et al.*(2011), Seo *et al.*(2013) 등에서 개발 및 적용되었던 역학적 상세화 기법이 포함되어 있다. 이 과정에서 농촌진흥청에서 제공한 ‘휴토파 농경지 정보’의 전국 발 면적이 활용되었다. 발 면적을 대상으로 상세화된 기상 정보는 각 작물별 주산지 시군들에 대한 평균값으로 산출하여 모형의 입력변수로 활용하였다.

2.3 단수 예측 모형 개발 방법

작물의 단수를 예측하기 위해서 기존에 많은 모형들이 제시된 바 있으며, 채소류를 대상으로 한 연구에서는 여러 인자를 고려한 회귀모형이 주를 이루었다(Lobell and Burke, 2010; KREI, 2011; Cho *et al.*, 2012). 본 연구에서도 기존의 연구들을 반영하여 다중회귀모형을 통한 단수예측 모형을 제시한다.

작물의 단수에는 기상 외에도 토양, 품종, 시비 등의 농업 환경이 많은 영향을 미치나, 본 연구에서는 기상인자만을 통한 작물별 단수 예측의 정확성과 가능성을 확인하고자 하였으므로, 다른 인자들은 모두 제외하였다.

여러 작물에 대한 모형을 개발하는 특성 상 작물별 모형의 형태는 같으나, 기상인자는 각각의 관계에 따라 모형에 적용하고자 하며, 이를 위해 활용하는 기상인자와 작물별 생육정보 간의 상관관계 분석이 선행된다(Lee *et al.*, 2012). Pearson Correlation Coefficient를 통해 관계가 높게 나타난 3개의 기상인자가 순서대로 활용한다(Tao *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2011).

모형의 형태에 있어, Cho *et al.*(2012)의 연구에서는 선형으로, Park *et al.*(2008)의 연구에서는 선형과 이차항의 결합으로 단수 예측을 시도한 바 있으며, KREI(2012)의 연구에서는 이차항을 방정식에 포함하여 최적점을 확인하고자 하였다. 본 연구에서는 기존에 시도된 선형과 이차항을 각각 및 혼합 적용하여 같은 다중회귀식에서 형태의 변화로 나타나는 설명력의 차이도 확인하고자 하였다. 또한 같은 변수를 통해 이차항을 포함하였을 경우, 각 변수와 수량 간 비선형의 관계를 확인할 수 있으므로 이 부분도 고려한 형태의 모형을 제시한다(KREI, 2012). 이에 다중회귀모형은 세 가지 모형으로 고안하였는데, t 년도에 i 지역에서 재배되고 있는 작물별 단수가 t 년도 i 지역의 기상인자에 의해 영향을 받는 것으로 가정하여 식 (1), 식 (2), 식 (3)과 같이 단수 예측 모형을 설정하였다. 식 (1)은 선형, 식 (2)는 이차형, 식 (3)은 선형과 이차항의 결합된 형태의 모형이다.

$$y_{d_{i,t}} = a + b \cdot M1_{i,t} + c \cdot M2_{i,t} + d \cdot M3_{i,t} \quad (1)$$

$$y_{d_{i,t}} = a + b \cdot M1_{i,t}^2 + c \cdot M2_{i,t}^2 + d \cdot M3_{i,t}^2 \quad (2)$$

$$y_{d_{i,t}} = a \cdot M1_{i,t}^2 + b \cdot M1_{i,t} + c \cdot M2_{i,t} + d \cdot M3_{i,t} \quad (3)$$

여기서 t 와 i 는 연도와 지역을 나타내는 하첨자이며, y_d 는 t 년도 i 지역의 작물별 단수를 나타내는 종속변수이다. 또한 $M1$ 은 상관관계가 가장 높은 기상인자, $M2$ 는 두 번째로 상관관계가 높은 기상인자, $M3$ 는 세 번째로 상관관계가 높은 기상인자를 나타낸다. 위의 식들을 통해 본 연구 대상의 모든 작

물들에 대한 모형을 제시한다. 분석과정에서 생육조사 결과에 큰 편차가 있을 경우 상·하위 95% 값을 이상치로 판단하고 제거한 채 재분석하였다.

각 작물별 모형을 통해 산출된 결과는 생육조사 자료 내 수량정보와 선형회귀분석을 통해 정확성을 평가하며, 결정계수를 통해 그 수준을 확인하였다.

모형결과를 산출한 후, 기상인자별 기여도를 산출하기 위해 표준편회귀계수를 산정하였다. 표준편회귀계수는 활용된 기상인자와 수량정보를 표준화한 후, 각 식들에 따라 편회귀계수를 산정하게 되며, 계수의 값에 따라 기여도를 확인할 수 있다(Cramer *et al.*, 2003).

3. 결과 및 고찰

3.1 기상인자와 작물 수량 간 상관관계 분석

다섯 가지 주요 채소작물을 각 작물 주산지별로 구축된 수량 및 기상정보를 통해 작물수량과 일곱 가지 기상인자 간 상관관계 분석을 실시하였다. 고추와 마늘의 경우, 지역별 수량과 기상 값의 차이가 크게 나타나, 지역을 구분하여 분석하였다.

먼저 배추의 상관관계 분석에서는 주산지가 적고, 수량정보가 없는 시기가 있어 28개의 적은 표본만 활용되었음에도 모든 기상인자에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났고, 전반적인 상관관계도 높은 것으로 확인되었다(Table 1). 그 중에서 최저기온과 일사량, 유효강수량 순으로 높은 상관성을 나타내, 세 가지 기상인자를 모형에 적용한다. 최저기온과 일사량의 경우 정의 상관관계, 유효강수량의 경우 부의 상관관계를 나타냈다(Table 1).

무의 분석결과, 상대적으로 낮은 상관성을 보였는데, 이는 타 작물보다 표본이 적고(19개), 주산지간 거리가 먼 것이 원인일 것으로 사료된다. 그 가운데 유효강수량과 강수량이 가장 높은 상관관계를, 최고기온과 일사량이 그 뒤를 이었다(Table 1). 유효강수량과 강수량은 같은 값에서 기인하므로, 둘 이상이 높은 상관성을 가질 시, 더 높은 인자 하나만을 모형에 적용하도록 하였다. 이에 유효강수량, 최고기온, 일사량을 모형에 적용한다.

고추의 경우, 주산지가 15개 시군으로 가장 많게 고시되어, 지역별로 구분하여 분석하는데 용이하였다. 경상북도에 위치한 주산지와 전라남북도에 위치한 주산지로 나누어 분석하였는데, 경상북도 주산지에서 상대적으로 더 높은 상관성을 보였다(Table 1). 경상북도 고추에서는 일사량과 최고기온이 가장 높은 상관성을 나타냈으며, 통계적으로도 유의한 것으로

Table 1. Pearson correlation coefficient of each crops between crop yield and meteorological factor

		Mean temperature	Maximum temperature	Minimum temperature	Solar radiation	Relative humidity	Rainfall	Effective rainfall
Chinese cabbage	<i>r</i>	.657**	.432*	.768**	.766**	-.415*	-.566**	-.699**
	<i>P</i>	.000	.022	.000	.000	.028	.002	.000
Daikon	<i>r</i>	.190	.254	.157	.244**	-.194	-.567*	-.568*
	<i>P</i>	.435	.295	.521	.315	.425	.011	.011
Chili (Kyungbuk)	<i>r</i>	.341	.442*	.180	.552**	.206	-.106	-.028
	<i>P</i>	.095	.027	.389	.004	.323	.615	.894
Chili (Jeolla)	<i>r</i>	-.055	-.123	.065	.277	.219	-.206	-.122
	<i>P</i>	.796	.558	.757	.180	.294	.182	.562
Onion	<i>r</i>	.292	.249	.344	.138	-.291	.252	.187
	<i>P</i>	.156	.231	.093	.510	.207	.224	.371
Garlic (Overall)	<i>r</i>	-.424**	-.359*	-.232	.253	.308	-.271	-.270
	<i>P</i>	.006	.023	.149	.116	.053	.091	.092
Garlic (Chungnam)	<i>r</i>	.202	.424	.110	.613	-.038	-.577	-.313
	<i>P</i>	.575	.222	.763	.059	.916	.081	.379
Garlic (Jeollanam)	<i>r</i>	.073	.000	.005	.399	.017	-.320	-.305
	<i>P</i>	.796	1.000	.985	.140	.951	.245	.269
Garlic (Kyungsang)	<i>r</i>	.706**	.309	.782**	.287	-.206	.620*	.617*
	<i>P</i>	.003	.263	.001	.299	.460	.014	.014

Note: * and ** indicate significance at the 5% and 1% level.

확인되어 모형에 활용한다. 그 다음으로는 평균기온이 높은 상관성을 보였으나, 기온인자에서는 이미 최고기온이 활용되므로, 수분관련 인자에서 가장 높은 상관성을 보인 상대습도를 모형에 활용한다. 전라지역에서는 모든 인자가 상관성이 낮고, 통계적으로 유의하지 않아 유일하게 정의 관계를 가지는 기온인자인 최저기온과, 가장 높은 관계를 보인 일사량, 그리고 상대습도를 모형에 활용하였다(Table 1).

양파의 분석에서도 상관성이 높게 나타나지는 않았는데, 기온인자 중 가장 상관성이 높은 최저기온과 비기온인자 중 가장 높은 상관관계를 보인 상대습도, 강수량을 모형에 활용하였다(Table 1). 주산지역을 구분하여 적용하는 방안도 고려하였으나, 고시된 양파의 주산지가 5개 시군밖에 되지 않아 지역별 구분에 한계가 있었다.

마늘의 경우, 전체 주산지의 상관관계 분석에서 상대적으로 평이한 수준의 상관성을 보였는데, 지역별 구분을 하여 다시

상관관계를 확인한 결과, 지역별로 큰 차이를 보이는 것으로 확인되었다(Table 1). 충청남도과 경상남북도 지역의 상관관계는 상대적으로 높게 나타난 반면, 전라남도 지역의 상관관계는 낮고 통계적으로도 유의하지 않은 것으로 확인되었다(Table 1). 충청남도에서는 상관관계가 높게 나타난 일사량, 강수량, 최고기온이 모형에 활용되며, 경상남북도 지역에서는 최저기온, 평균기온, 강수량이 모형에 활용된다. 지역 간 큰 차이를 보이는 마늘 수량과 기상조건 간 상관관계는 같은 작물이더라도 주산지역 별로 다른 기상조건이 더 많은 영향을 미치고 있을 수 있음을 보여준다. 특히 자료가 부족하거나 광역자치단체 간 경계에 있는 지역의 경우 개별 지역적 분석이 이루어질 필요성을 의미하기도 한다.

전반적으로 기온관련 인자들은 정의 관계를 나타내는 경우가 많았으며, 강수량 관련 인자들은 부의 관계를 나타내는 경우가 많았다.

3.2 작물별 모형 적용 결과

앞서 제시된 세 가지 형태의 모형과 상관관계 분석에 따라 확인된 각 작물별 상관성 높은 기상인자를 통해 다섯 가지 작물의 단수를 예측하였다. 농촌진흥청 생육조사 자료의 수량정보에 따르면 배추는 5,000~9,000 kg ha⁻¹의 수준을, 무는

2,800~6,000 kg ha⁻¹로, 고추는 경상북도 지역에서 200~260 kg ha⁻¹, 전라남북도 지역에서 200~330 kg ha⁻¹정도로 나타났다. 양파의 경우, 4,700~6,500 kg ha⁻¹, 마늘은 충청남도 지역에서 1,850~2,050 kg ha⁻¹, 경상남북도 지역에서 900~1,700 kg ha⁻¹으로 나타났다(Table 2).

Table 2. The result of each crops and models

Crop types	Reported yield (kg ha ⁻¹)	Model	Estimated yield (kg ha ⁻¹)	R ²	Meteorological factor
Chinese cabbage	7,681	(1)	7,679	0.8183	M1: Minimum temperature
		(2)	7,681	0.8206	M2: Solar radiation
		(3)	7,830	0.8097	M3: Effective rainfall
Daikon (Overall)	5,220	(1)	5,220	0.4832	M1: Maximum temperature
		(2)	5,220	0.4767	M2: Solar radiation
		(3)	5,216	0.4804	M3: Effective rainfall
Daikon (without outlier)	4,877	(1)	4,877	0.7453	M1: Maximum temperature
		(2)	4,877	0.7620	M2: Solar radiation
		(3)	4,879	0.7586	M3: Effective rainfall
Chili (Kyungbuk)	233.7	(1)	233.8	0.6050	M1: Maximum temperature
		(2)	234.0	0.6040	M2: Relative humidity
		(3)	234.7	0.5980	M3: Solar radiation
Chili (Jeolla)	267.1	(1)	271.9	0.1160	M1: Minimum temperature
		(2)	274.1	0.1064	M2: Relative humidity
		(3)	267.1	0.1206	M3: Solar radiation
Onion (Overall)	5,646	(1)	5,638	0.1634	M1: Minimum temperature
		(2)	5,646	0.1577	M2: Relative humidity
		(3)	5,647	0.1663	M3: Rainfall
Onion (without outlier)	5,651	(1)	5,651	0.7144	M1: Minimum temperature
		(2)	5,651	0.6946	M2: Relative humidity
		(3)	5,650	0.7373	M3: Rainfall
Garlic (Chungnam)	1,993	(1)	1,993	0.5399	M1: Maximum temperature
		(2)	1,993	0.5436	M2: Solar radiation
		(3)	1,994	0.5449	M3: Rainfall
Garlic (Kyungsang)	1,214	(1)	1,214	0.6252	M1: Mean temperature
		(2)	1,214	0.6167	M2: Minimum temperature
		(3)	1,214	0.6366	M3: Rainfall

본 연구에서 고안한 모형을 통해 추정된 수량의 평균값은 모든 작물과 세 가지 형태의 모형에서 모두 유사한 수준으로 나타났다(Table 2). 그러나 결정계수는 작물별로 큰 차이를 보였는데, 평균적인 수량은 모든 작물에서 유사하게 추정되나, 변화하는 경향성의 설명은 작물과 지역에 따라 차이를 보인 것이다.

배추의 경우, 지역을 구분하지 않았음에도 세 가지 기상인자를 통해 모든 모형에서 0.8 이상의 높은 결정계수를 나타냈고, 이는 수량 결정의 80%를 세 가지 기상인자로 설명이 가능하다는 것을 의미한다(Table 2). 무의 경우, 모든 표본으로 추정하였을 때 결정계수가 0.5를 넘지 못하였었는데, 이상치 표본 한 지점을 제외한 결과, 결정계수가 0.74~0.77 수준으로 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다(Table 2). 두 지역에서 추정된 고추의 경우 지역별 차이가 크게 나타났다. 먼저 경상북도 지역의 고추 수량 추정에서는 결정계수가 평균 0.6 이상

이었으나, 전라남북도 지역의 추정에서는 0.1 대의 매우 낮은 결정계수를 보였다(Table 2). 양파의 경우에도 모든 표본의 추정에서는 0.1 대의 결정계수를 보였으나, 다섯 개의 이상치를 제거하고 다시 추정한 결과, 평균 0.7 이상의 높은 결정계수를 나타냈다(Table 2). 두 지역을 대상으로 추정된 마늘에서는 충청남도 지역에서는 평균 0.54의 결정계수를, 경상남북도 지역에서는 평균 0.62 정도의 결정계수를 보였다(Table 2).

기상인자와 모형을 통한 수량 추정은 수량과 기상인자의 상관관계에 많은 영향을 보이는 것으로 확인되었다(Table 1, 2). 상관관계가 높은 기상인자가 있을 경우, 더 높은 정확성으로 수량 추정이 가능했다. 결정계수가 높게 나타난 배추와 이상치를 제거한 무, 양파 등은 그래프에서도 선형의 경향을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 1). 반면 결정계수가 낮게 나타난 전라남북도의 고추나 이상치를 제거하지 않은 양파 등에서는 추정치의 격차가 적어 직선 형태인 표준생장의 경향을 보이

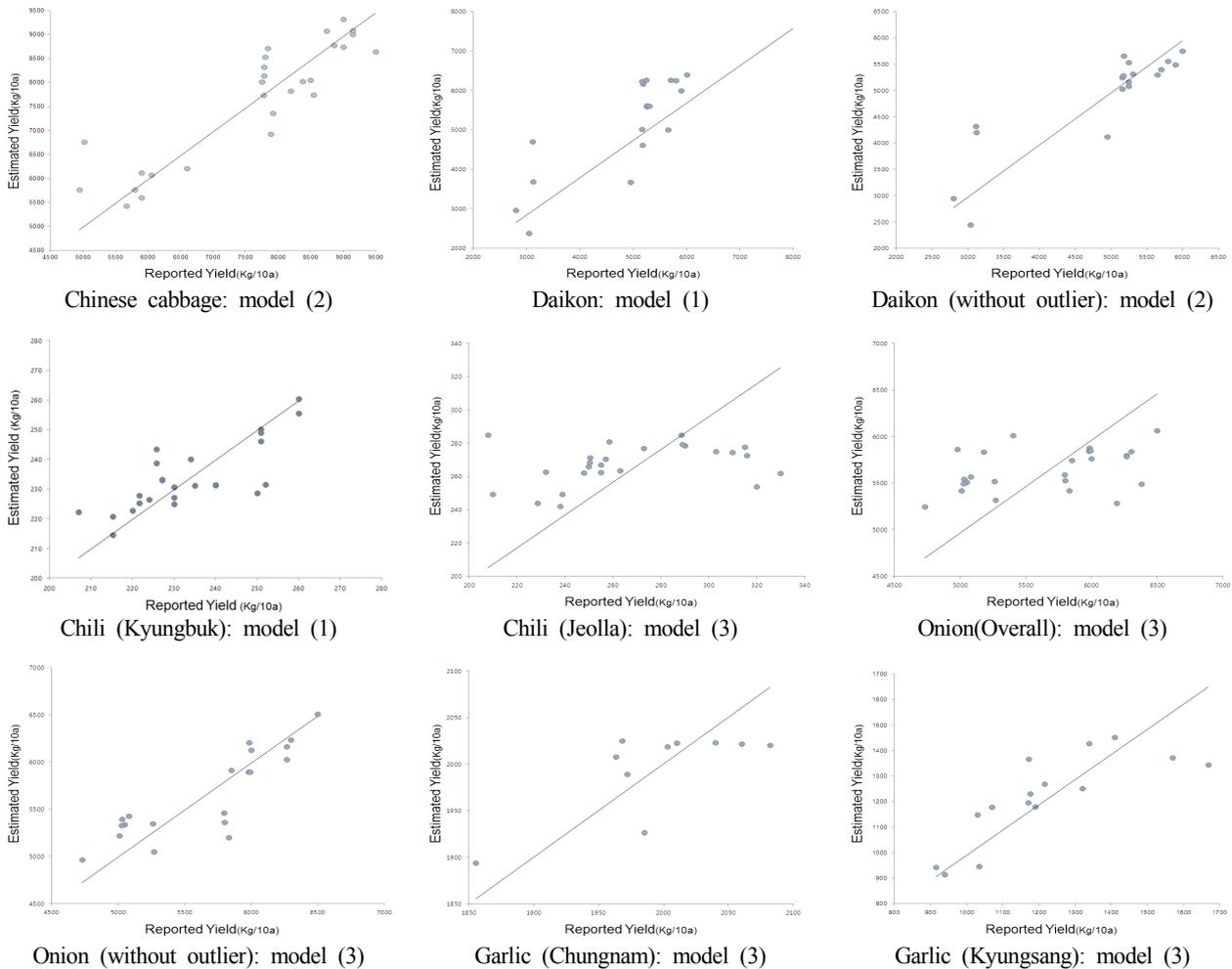


Fig. 1. Comparison between estimated yield and reported yield on each crops.

는 것으로 확인되었다(Fig. 1).

이러한 결과는 같은 추정식을 활용함에도 작물별로, 지역별로, 혹은 이상치의 존재 여부에 따라 크게 다른 정확성을 나타내는 것으로 작물과 지역별로 기상인자가 차지하는 설명력이 다를 수 있다. 그럼에도 모수 추정에 활용되지 않은 연도의 단수 예측 결과를 제시하지 못한 것은 모형의 정확성을 설명하는데 한계를 가진다.

3.3 주요 기상인자별 기여도 산출

추정된 수량을 결정하는데 활용된 기상인자별 기여수준을 확인하기 위해 표준편회귀계수를 활용하였다. 이 계수는 양수일 경우 정의 관계로 기여하였고, 음수일 경우 부의 관계로 기여한 것으로 판단할 수 있으며, 양과 음에 관계없이 값의 크기로 기여 수준을 확인할 수 있다.

배추의 경우, 최저기온이 세 모형에서 가장 높은 기여 인자로 산출되었고, 무의 경우 모든 표본을 활용한 결과와 이상치를 제거한 결과에서 모두 유효강수량이 가장 높은 기여 인자로 확인되었다. 고추의 경우, 경상북도 지역에서는 최고기온이 가장 높은 기여 인자였으며, 전라남북도 지역에서는 기여도가 전반적으로 낮아 그 수준을 판단하기 어려웠다. 양파의 경우, 모든 표본을 활용한 결과와 이상치를 제거한 결과에서 모두 최저기온이 가장 높은 기여 인자였으나, 이상치를 제거한 후 최저기온의 기여도가 크게 향상된 것을 확인할 수 있었다. 마늘의 경우, 충청남도 지역에서는 일사량이, 경상남북도 지역에서는 최저기온이 가장 높은 기여 인자로 확인되었다(Table 3).

기상인자별 기여도를 산출함에도 작물 수량과 기상인자의 상관관계가 반영되는 것을 확인할 수 있었으며, 이상치를 제거하였을 때 핵심 기상인자의 기여도가 증가하는 것을 발견하였다. 모형 정확성이 가장 높았던 배추의 경우, 기상인자별 기여도가 상대적으로 고르게 나타났고, 경상북도 지역 고추에서도 타 작물보다 기여도가 고르게 나타났다.

3.4 핵심 기상인자의 변화에 따른 추정치와 통계치 비교

다섯 가지 작물을 대상으로 9가지(작물, 지역) 모형 분석 결과에서 유의미한 수준으로 나타난 6개의 결과에 대해 핵심 기상인자를 추출하고, 핵심 기상인자 변화에 따른 추정치와 통계치 변화 경향을 확인하였다.

먼저 배추의 핵심 기상인자는 최저기온으로, 상관관계에서도 가장 높은 관계성이 확인되었으며, 기여도 분석에서도 가장 높은 기여도를 나타냈다. 최저기온이 증가할수록 통계치와

추정치도 동일한 경향으로 증가하였으며, 두 값의 차이도 매우 적게 나타났다(Fig. 2).

무의 핵심 기상인자는 유효강수량으로, 유효강수량이 증가할수록 생산량이 감소하는 경향을 보였으며, 통계치와 추정치가 유사한 경향을 보이나, 값의 차이는 배추에 비해 커진 것을 확인할 수 있다(Fig. 2).

경북지역 고추의 경우, 일사량이 핵심 기상인자로 나타났는데, 일사량이 증가할수록 생산량이 증가하나, 일정한 패턴을 보이지는 않았고, 통계치의 변동성이 추정치에도 반영되어 나타났다.

이상치를 제거한 양파에서는 최저기온이 핵심 기상인자였으며, 최저기온의 변화에 따라 변화하는 생산량 통계치를 추정치가 유사한 경향으로 반영하고 있다(Fig. 2).

충남지역 마늘에서는 일사량이, 경상지역 마늘에서는 최저기온이 핵심 기상인자였으며, 경상지역 마늘에서는 최저기온이 증가함에 따라 생산량이 증가함이 잘 나타났으며, 일부 표본을 제외하면 통계치와 추정치 값 또한 매우 유사하였다(Fig. 2).

각 작물과 지역에서의 핵심 기상인자들은 수량과 관계가 가장 높고, 단수 예측에 대한 기여도 또한 가장 높아 수량의 변동성을 잘 설명하고 있다. 핵심 기상인자의 선정과 분석은 향후 연구에서도 유용한 자료로 활용될 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 주요 채소작물들을 대상으로 단수 예측이 가능한 모형을 제시하였으며, 기존 연구에서 한계로 제시된 농경지 단위의 상세화된 기상정보를 적용하였다.

이번 연구에서 제시한 회귀식 기반의 단수예측모형은 기상인자만을 활용하여 각 작물의 단수를 예측함으로써 의미 있는 결과를 산출할 수 있었다. 먼저, 실제 밭 면적대로 상세화된 기상자료를 주산지별 수량정보와 상관관계분석을 실시하였고, 각 작물과 지역별 상관성이 높은 세 가지 기상인자를 선정할 수 있었다.

작물별 수량정보와 상관성이 높은 기상인자를 통해 모형의 모수가 산출되었고, 본 연구에서 제시한 세 가지 모형을 통해 각각의 단수를 추정하였다. 배추는 전반적으로 높은 정확도를 보였으며, 무와 양파의 경우, 이상치를 제거할 경우, 정확성이 상당히 보정되었다. 고추와 마늘의 경우, 지역에 따른 차이가 있으나, 경상북도의 고추와 충청 및 경상남북도 마늘에서 유의미한 정확성을 나타냈다. 세 가지 형태로 제시하였던 모형별 차이는 미미한 것으로 나타났다.

Table 3. Estimation of contribution level on each model result

Crop types	Meteorological factor	Standardized partial regression coefficient		
		Model (1)	Model (2)	Model (3)
Chinese cabbage	M1: Minimum temperature	0.5358	-0.3749	0.5290
	M2: Solar radiation	0.3703	0.1635	0.3720
	M3: Effective rainfall	-0.1766	-0.4629	-0.1724
Daikon (Overall)	M1: Maximum temperature	0.4421	-0.1595	0.4383
	M2: Solar radiation	-0.0793	-0.1223	-0.0869
	M3: Effective rainfall	-0.6536	-0.0274	-0.6737
Daikon (without outlier)	M1: Maximum temperature	0.2792	-0.4449	0.2961
	M2: Solar radiation	0.1228	-0.3194	0.1770
	M3: Effective rainfall	-0.8358	0.0913	-0.7107
Chili (Kyungbuk)	M1: Maximum temperature	0.7457	0.5855	0.7534
	M2: Relative humidity	0.6577	-0.3736	0.6670
	M3: Solar radiation	0.2531	-0.3416	0.2331
Chili (Jeolla)	M1: Minimum temperature	0.0152	-0.0455	0.0818
	M2: Relative humidity	0.2043	-0.4535	0.2095
	M3: Solar radiation	0.2658	-0.0949	0.2452
Onion (Overall)	M1: Minimum temperature	0.3373	0.4695	0.3494
	M2: Relative humidity	-0.2164	0.2403	-0.2167
	M3: Rainfall	-0.0360	0.1713	-0.0400
Onion (without outlier)	M1: Minimum temperature	0.7817	0.7205	0.8289
	M2: Relative humidity	-0.3623	0.3541	-0.3634
	M3: Rainfall	-0.0478	0.1916	-0.0607
Garlic (Chungnam)	M1: Maximum temperature	0.0447	0.2950	0.0427
	M2: Solar radiation	0.4732	0.0204	0.4923
	M3: Rainfall	-0.3999	-0.7115	-0.3434
Garlic (Kyungsang)	M1: Mean temperature	0.1798	0.0670	0.1930
	M2: Minimum temperature	0.6752	-0.2714	0.6115
	M3: Rainfall	-0.0483	0.1137	0.0099

활용된 기상인자별로 수량 예측에 대한 기여도를 산출하기 위해 표준편회귀계수를 산정하였으며, 전반적으로 상관성이 높은 기상인자들의 기여도가 높게 나타났고, 정확성이 높았던 배추에서 가장 고른 기여도를 보였다.

상관성과 기여도가 가장 높은 기상인자들을 핵심 기상인자

로 삼았고, 그 변화에 따른 통계 및 추정 수량의 반응을 확인하였다. 수량과 관계가 더 높을수록 핵심인자가 변동성을 더 잘 설명하였으며, 핵심 기상인자의 선정과 분석은 향후 연구에서도 유용한 자료로 활용될 것으로 사료된다.

본 연구에서 주산지별 농경지의 기상정보와 상대적으로 단

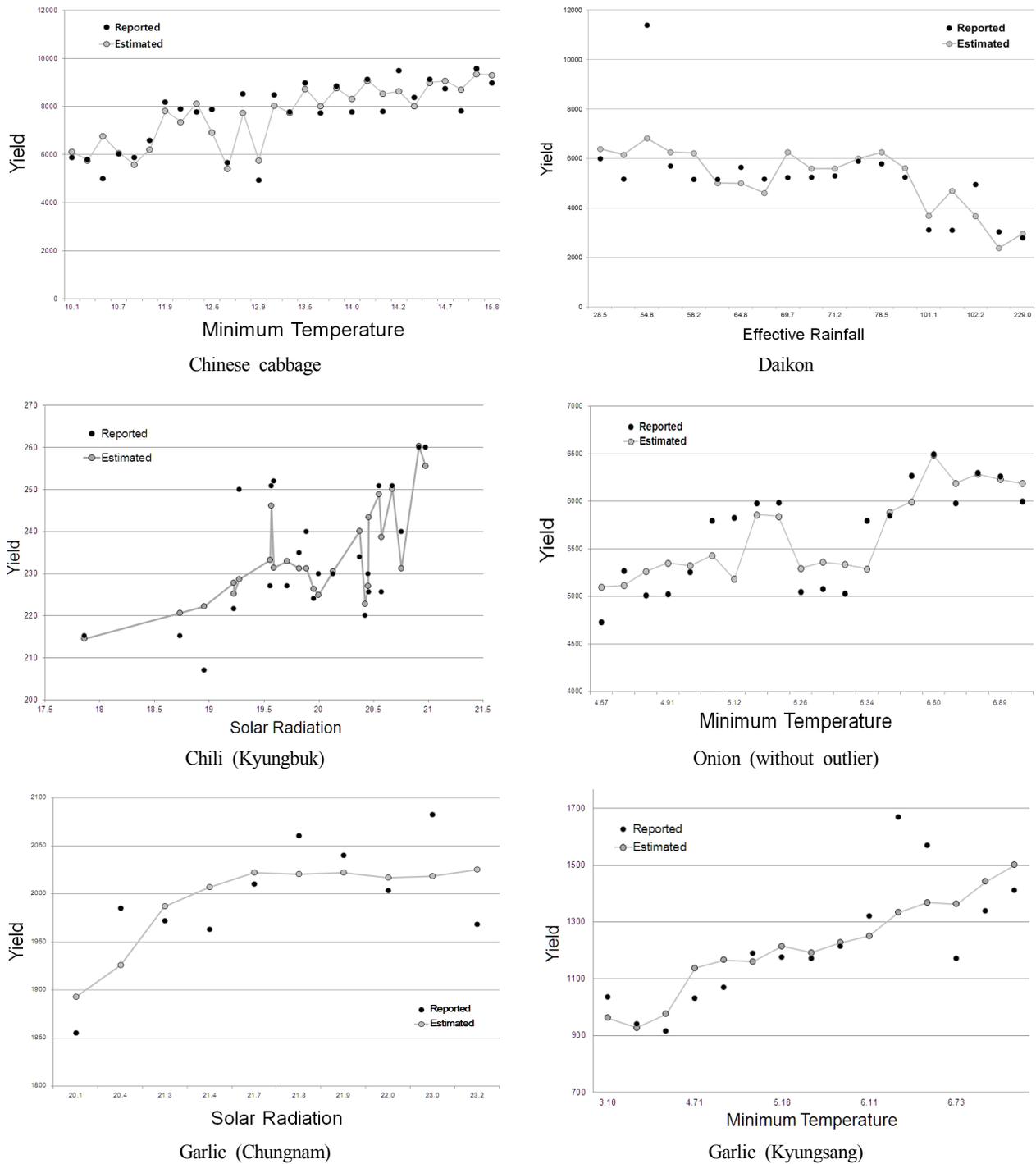


Fig. 2 Change of reported yield and estimated yield according to key meteorological factor.

순한 회귀모형을 통해 작물별 수량을 추정하는 것은 앞으로의 단수예측 연구에 방법론적으로 기여할 수 있는 부분이다. 그러나 모수 추정에 활용되지 않은 기간의 단수를 예측하지 못한 점은 정확성을 제시하는데 한계가 되며, 향후 연구에서 보

완해야할 부분이다. 또한 적용되는 자료에 따른 모형 별 적당도 평가가 이루어질 경우 현장 활용에 더 높은 의미를 지닐 것이다.

기상인자만을 고려한 본 연구에 이어, 더 높은 수준의 정확

성을 기대하기 위해서는 농경지의 특성과 농업활동의 반영이 요구되며, 기후변화 시나리오의 적용은 더 큰 의미를 제시할 것이다.

5. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 “농업기후변화적응체계구축사업(과제번호: PJ00987003)”과 기상청 “기상See-At기술개발사업(KMIPA 2015-6140)”의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Becker-Reshef I, Vermote E, Lindeman M, Justice C. 2010. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 114(6):1312-1323.
- Boote KJ, Jones JW, Pickering NB. 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal* 88(5):704-716.
- Bristow KL, Campbell GS. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 31(2):159-166.
- Chen C, Lei C, Deng A, Qian C, Hoogmoed W, Zhang W. 2011. Will higher minimum temperatures increase corn production in Northeast China? An analysis of historical data over 1965-2008. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(12):1580-1588.
- Cho JW, Suh JM, Kang JS, Hong CO, Kim JH, Lee SG. 2012. The impacts of changes of temperature and precipitation amount on red pepper yields. *Journal of the Environmental Sciences* 21(12):1503-1510.
- Cho JW, Suh JM, Kang JS, Hong CO, Shin HM, Lee SG, Lim WT. 2013. The economic impacts of abnormal climate on fall Chinese cabbage farmers and consumers. *Journal of Environmental Science International*. 22(12): 1691-1698.
- Choi JY, Song CG, Lee JB, Hong SC, Bang CH. 2011. Development of a dynamic downscaling method using a general circulation model (CCSM3) of the regional climate model (MM5). *Journal of Climate Change Research* 2 (2):79-91.
- Choudhary AK, Thakur SK, Suri VK. 2013. Technology Transfer model on integrated nutrient management technology for sustainable crop production in high-value cash crops and vegetables in northwestern Himalayas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44(11): 1684-1699.
- Cramer D. 2003. A cautionary tale of two statistics: partial correlation and standardized partial regression. *The Journal of Psychology* 137(5): 507-511.
- De Wit AD, Boogaard HL, Van Diepen CA. 2005. Spatial resolution of precipitation and radiation: The effect on regional crop yield forecasts. *Agricultural and Forest Meteorology* 135(1):156-168.
- De Wit AD, Van Diepen CA. 2007. Crop model data assimilation with the ensemble Kalman filter for improving regional crop yield forecasts. *Agricultural and Forest Meteorology* 146(1): 38-56.
- Denmead OT, Shaw RH. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy Journal* 54(5):385-390.
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO. 2000. Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science* 289(5487): 2068-2074.
- Fritschen LJ. 1967. Net and solar radiation relations over irrigated field crops. *Agricultural Meteorology* 4(1):55-62.
- Giménez C, Gallardo M, Martínez-Gaitán C, Stöckle CO, Thompson RB, Granados MR. 2013. VegSyst, a simulation model of daily crop growth, nitrogen uptake and evapotranspiration for pepper crops for use in an on-farm decision support system. *Irrigation Science* 31(3):465-477.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- Kim CK, Hahn WS, Lee BW. 2002. Boundary line analysis of rice yield responses to meteorological conditions for yield prediction II. verification of yield prediction model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 4(3):164-168.
- Kim IG, Park KJ, Kim BJ. 2013. Analysis of meteorological factors on yield of Chinese cabbage and radish in

- winter cropping system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15(23):59-66.
- KREI. 2011. A study of buliding crop yield forecasting model considering meteorological elements. Korea Rural Economic Institute p 152.
- KREI. 2013. The development of Chinese cabbage and radish forecast models. Korea Rural Economic Institute M125.
- Lee KK, Ko KK, Lee JW. 2012. Correlation analysis between meteorological factors and crop products. *Journal of the Environmental Sciences* 21(4):461-470.
- Lim CH, Kim D, Shin Y, Lee WK. 2015a. Assessment of drought severity on cropland in Korea peninsula using normalized precipitation evapotranspiration index (NPEI). *Journal of Climate Change Research* 6(3):223-231.
- Lim CH, Lee WK, Song Y, Eom KC. 2015b. Assessing the EPIC model for estimation of future crops yield in South Korea. *Journal of Climate Change Research* 6(1):21-31.
- Lobell DB, Field CB. 2007. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters* 2(1):014002.
- Lobell DB, Burke MB. 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(11):1443-1452.
- Moriondo M, Giannakopoulos C, Bindi M. 2011. Climate change impact assessment: The role of climate extremes in crop yield simulation. *Climatic Change* 104(3-4):679-701.
- Moulin S, Bondeau A, Delecalle R. 1998. Combining agricultural crop models and satellite observations: From field to regional scales. *International Journal of Remote Sensing* 19(6):1021-1036.
- Park HK, Choi WY, Kim KY, Ku BI, Kim YD, Kim CK, Ko JK. 2008. Forecasting optimum heading date and yield of rice depending on weather condition. *Korean Journal of International Agriculture* 20(4):320-330.
- RDA. 2015. Analysis of the agricultural meteorological information and development of the crop growth analysis model for estimating yield of the main vegetable. Rural Development Administration PJ009870.
- Seo J, Shim C, Hong J, Kang S, Moon N, Hwang YS. 2013. Application of the WRF model for dynamical downscaling of climate projections from the community earth system model (CESM). *Atmosphere. Korean Meteorological Society* 23(3):347-356.
- Tao F, Yokozawa M, Xu Y, Hayashi Y, Zhang Z. 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 138(1):82-92.