

## DSSAT 작물모형을 위한 수미품종의 품종모수의 결정과 기후변화에서의 활용

백계령\* · 이계준 · 이은경

국립식량과학원 고령지농업연구소 강원도 평창군 대관령면 경강로 5481,  
(2018년 3월26일 접수; 2018년 6월 20일 수정; 2018년 6월 22일 수락)

### Estimation and validation of the genetic coefficient of cv. Superior for the DSSAT-CSM

Bak Gyeryeong\*, Lee Gyejun and Lee Eunbyeong

Highland Agriculture Research Institute

5481 Gyeonggang-Ro, Daegwallyeong, Pyeongchang-Gun, Gangwon-Do, Republic of Korea

(Received March 26, 2018; Revised June 20, 2018; Accepted June 22, 2018)

#### ABSTRACT

Potato(*Solanum tuberosum* L.) is one of the major food crop in the world following rice, wheat, and maize. It is thus important to project yield predict of potato under climate change conditions for assessment of food security. A crop growth modelling is widely used to simulate crop growth condition and total yield of various crops under a given climate condition. The decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) cropping system model, which was developed by U.S. which package integrating several models of 27 different crops, have been used to project crop yield for the impact assessment of climate change on crop production. In this study, we simulated potato yield using RCP 8.5 climate change scenario data, as inputs to the DSSAT model in five regions of Korea. The genetic coefficients of potato cultivar for 'superior', which is one of the most widely cultivated potato variety in Korea were determined. The GenCalc program, which is a submodule of the DSSAT package, was used to determine the genetic coefficients for the superior cultivar. The values of genetic coefficients were validated using results of 39 experiments performed over seven years in five regions. As a case study, the potato yield was projected that total yields of potato across five regions would increase by 26% in 2050s but decrease by 17% in 2090s, compared with 2010s. These results suggested that the needs for cultivation and irrigation technologies would be considerably large for planning and implementation of climate change adaptation for potato production in Korea.

**Key words:** DSSAT, Potato, RCP 8.5, Genetic coefficients



\* Corresponding Author : Bak Gyeryeong  
(bgl1228@korea.kr)

## I. 서 론

기상청에서 2012년도에 발간한 한반도 기후변화 전망보고서에 따르면 지난 30년간 우리나라의 연평균 기온은 증가하는 경향을 보였으며, 이러한 온난화 경향은 2100년까지 지속될 것으로 전망하고 있다(KMA, 2012). 농업은 기후에 영향을 크게 받는 산업 중 하나로 기온이 1°C 상승할 경우 1ha 당 농지가격은 5.7-7.5 % 하락하고 농업 총수입은 260-400만원까지 감소할 수 있다(KEI, 2009). 안정적인 식량생산을 위해 전세계적으로 미래 기후변화에 따른 작물의 생산량 예측과 관련된 연구가 이루어지고 있으며(Adam *et al.*, 2011; Raymundo *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2012; James *et al.*, 2016), 그를 위해 다양한 작물모형 프로그램들이 개발되었다. 여러 개의 기후변화 시나리오를 이용하여 작물수량 예측을 하기 때문에 보다 정확한 예측을 위해 분석기술 개발연구들이 수행되어왔다(Roberto *et al.*, 2016). 네덜란드의 ORYZA2000과 WOFOST, 미국의 DSSAT과, 호주의 APSIM 등의 작물모형을 이용하여 전세계적으로 작황 예측을 하고 있으며, 국내에서도 DSSAT을 포함하여 12개의 개발된 작물모형 프로그램들의 국내 적용성에 대해 분석한 연구가 수행되었다(Song *et al.*, 2014). DSSAT(Decision Support System for Agrotechnology Transfer)-CSM(Cropping System Model)는 약 30여년간 100여개 국에서 사용하였으며 27종의 작물에 대한 모형화가 가능하다. 특히, 이 DSSAT에는 CERES, CROPGRO 그리고 SUBSTOR 등 주요 작물의 생육을 모의할 수 있는 다양한 작물 모델들이 포함되어 있다. 또한, DSSAT은 모듈구조로 되어 있어서 주요 구성요소인 토양, 작물, 기상 그리고 재배관리 자료 등의 모듈을 쉽게 교체하거나 추가할 수 있다(Jones *et al.*, 2003). 국내에서도 이상기후에 대비하여 벼, 콩, 보리, 감자 등 여러 작물의 생산량

예측과 관련된 연구를 수행하였으나(Choi *et al.*, 2014; Cho *et al.*, 2006), 대부분 벼를 중심으로 수행되었으며 다른 주요 작물의 경우 모델 시뮬레이션을 통한 영향평가가 미비한 실정이다.

감자는 4대 식량작물로 옥수수, 벼, 밀 다음으로 많은 생산량을 보이는 주요 작물이다. 우리나라에서 감자 생산은 전체 생산량 중 3월 말에 파종하여 재배하는 봄 재배가 70% 이상을 차지하고 있으며, 여름에 고랭지에서 재배하는 여름 재배는 20% 가을 재배는 10%를 차지하고 있다(KREI, 2015). 봄 여름 재배에서 전국적으로 재배되고 있는 대표 품종은 ‘수미’ 품종으로 전재배면적의 70%이상을 차지하고 있으며, 식용 및 칩가공용으로 이용되고 있다(Kim *et al.*, 1999). 국제적으로 알려져서 이용된 품종들은 DSSAT에 품종 모수에 대한 정보가 포함되어 있지만, 국내 주요 감자 품종인 수미에 대해서는 정보가 없기 때문에 작물모형 프로그램을 이용해서 감자의 생산량예측을 위해서 수미품종의 유전적인 정보를 담고 있는 모수를 추정해야 프로그램 적용이 가능하다. 국외에서는 감자품종에 대한 품종모수의 추정이 여러 연구를 통해 시도되었으며(Raymundo *et al.*, 2017), 본 연구에서는 수미품종의 모수를 추정하고 우리나라 5개 지역의 농촌진흥청 감자 신품종 지역적응시험성적의 자료를 이용하여 추정된 모수를 검증하고자 하였다. 또한, 사례연구로서 DSSAT-SUBSTOR모형을 이용하여 RCP8.5 기후조건에서 수미감자의 생산량을 전망하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 수미품종의 품종모수 추정

DSSAT 패키지의 하부 모듈인 GenCalc 프로그램을 이용하여 수미품종의 품종모수를 추정하였는데 DSSAT-SUBSTOR의 품종모수 중 생물계절과 연관

Table 1. Major potato growth stages in 2016 and 2017

Year	Location	Seedtime	Emergence	Tuber formative	Flowering	Harvest
2016	Cheong-ju	Mar. 16.	Apr. 08.	-	May. 24	Jun. 20.
	Gangneung	Mar. 22.	Apr. 28.	-	May. 30.	Jun. 20.
	Daegwallyeong	May. 17.	May. 30.	-	Jun. 28.	Aug. 22.
2017	Gangneung	Mar. 20.	Apr. 24.	Apr. 28.	May. 15.	Jun. 19.
	Daegwallyeong	May. 10.	Jun. 08.	Jun. 08.	Jun. 29.	Aug. 02.

**Table 2. Investigation of potato growth condition**

Year	Location	Sampling date	Plant weight (g)	Plant dry weight (g)	Leaf area index (/m <sup>2</sup> )	Leaf number (No./plant)	Tuber weight (kg/10a)	Tuber dry weight (kg/10a)
2016	Cheong-ju	May. 05.	184	13.8	1.0	342	-	
		May. 24.	326	29.2	2.4	537	-	
		Jun. 09.	364	36.1	2.9	524	-	
		Jun. 20.	245	25.8	1.5	303	3805	738
	Gangneung	May. 16.	187	15.0	1.4	216	-	
		May. 30.	206	18.7	1.6	256	-	
		Jun. 13.	234	20.4	1.0	209	-	
		Jun. 20.	Plant dried up					2705
	Daegwallyeong	Jun. 15.	118	9.6	0.8	208	-	
		Jun. 29.	402	35.8	3.0	597	-	
		Jul. 11.	442	42.8	4.0	700	-	
		Jul. 25.	313	39.3	2.8	502		
		Aug. 08.	266	31.2	1.8	412	5351	1071
	2017	Gangneung	Apr. 24.	31	2.8	0.2	52.	-
May. 01.			87	7.6	0.6	144	-	-
May. 10.			249	17.3	1.8	297	625	70
May. 15.			341	27.0	2.6	350	995	125
May. 22.			372	32.0	2.9	419	1665	240
May. 29.			470	30.9	3.6	547	2780	395
Jun. 05.			542	45.6	4.2	632	4285	670
Jun. 12.			382	41.4	2.3	467	4625	742
Jun. 19.			308	198.2	2.3	489	4905	830
Jun. 26.			273	41.4	1.5	408	6160	978
Daegwallyeong		Jun. 08.	87	6.6	0.6	142	-	-
		Jun. 15.	133	12.3	0.9	209	60	7
		Jun. 21.	329	25.9	2.4	440	580	75
		Jun. 29.	388	30.3	3.3	496	1355	176
		Jul. 06.	554	44.8	4.6	684	2740	400
		Jul. 13.	298	27.5	2.3	438	2400	371
		Jul. 20.	331	31.5	2.6	437	3845	643
		Jul. 26.	280	24.1	1.8	382	3220	568
	Aug. 03.	201.3	24.4	1.0	296	3815	611	
	Aug. 09.	Plant dried up					4555	707

되어 있는 P-part는 괴경 유도기 동안 괴경의 성장 둔화지수를 나타내는 PD, 괴경 형성 초기 장일 반응을 나타내는 P2로 이루어져 있고, 성장과 수량구성요소와 관련된 G-part는 괴경 형성 후 옆면적 팽창율을 나

타내는 G2, 잠재 괴경 성장률을 나타내는 G3로 이루어져 있으며, 여기에 추가적으로 괴경 형성 한계온도를 나타내는 TC 등의 5가지 지표로 구성되어 있다. 각 지표의 값을 추정하기 위해서는 생육자료, 기상자

료, 그리고 토양자료가 필요하다. 생육자료는 청주, 강릉, 대관령 3개 지역에서 2010년부터 2015년까지 농촌진흥청 국립식량과학원에서 수행한 감자 신품종 지역적응 시험 자료의 수미품종의 수량성과 2016년은 청주, 강릉, 대관령 3개 지역에서 파종일과 감자의 주요 생육시기인 출현기, 개화기, 수확기를 이용하였으며, 출현기 이후 2주에 한번씩 식물체 생체중, 식물체 건중, 엽면적지수, 엽수, 그리고 수확기에는 총 수량과 건물중을 주요 생육자료로 활용하였다. 2017년에는 강릉과 대관령 2개 지역에서 파종일, 출현기, 괴경형성기, 개화기, 수확기를 이용하였으며, 출현기 이후 일주일에 한번씩 식물체 생체중, 식물체 건중, 엽면적지수, 엽수, 괴경 생체중, 괴경 건중을 조사하여 생육자료로 활용하였다. 각 조사항목은 포장의 가장자리를 제외하고 생육하고 있는 감자에서 각 10개체씩 조사, 평균치를 사용하였다. 조사한 생육자료는 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 기상자료는 기상청 국가기후데이터센터(<http://sts.kma.go.kr>)에서 청주기상대, 강릉기상청, 대관령 기상대에서 수집한 최고기온, 최저기온, 강수량, 일사량을 2010년 1월 1일부터 2017년 8월 30일까지 일 별로 수집하여 이용하였다. 토양은 각 지역 포장의 경운작업 전에 포스트 홀 핸드 오거(auger, 6987 ZG Giesbeek, Netherlands)를 이용하여 0 cm-5 cm 깊이의 표토를 동일 포장의 5지점에서 채취하여 골고루 섞어주었다. 채취한 시료는 48시간 이상 음건한 후 2 mm 체로 쳐서 분석하였으며, 분석항목은 토성, pH, 유기물함량, 유효인산(Av. P2O5), 치환성 양이온(K, Ca, Mg), EC 등 이다. 토성은 비중계법으로 분석하였고, 토양 양분은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2002)에 준하여 측정하였다. pH와 EC는 초자전극법, 유기물함량은 CN분석기(Vario Max Cube elementar, German)를 이용하여 탄소함량을 측정한 후 환산하였고, 유효인산함량은 Lancaster 방법에 따라 UV 720 nm(UV/VIS spectrometer,

Lambda 25, PerkinElmer Co., Norwalk, CT, USA)에서 측정하였다. 치환성 양이온은 1M의 NH4OAc 추출액을 토양에 처리한 후 침출액을 유도결합질량분석기(Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Optima 2100DV, PerkinElmer Co., Norwalk, CT, USA)로 분석하여 구하였다. 분석한 시험포장의 토양자료는 Table 3과 같다. 이와 같은 방식으로 얻은 각각의 작물 생육자료, 기상자료, 토양자료를 입력하여, GenCalc 프로그램을 이용, 수미품종의 품종모수(G2, G3, PD, P2, TC)를 추정하였다.

## 2.2. 추정된 품종모수의 검증

추정된 품종모수의 정확성을 검증하기 위해 DSSAT 프로그램에 우리나라 5개 지역인 나주(2011-2017), 무안(2011-2017), 청주(2011-2017), 강릉(2009-2017), 대관령(2009-2017)의 감자 신품종 지역적응시험 성적의 수미품종 수량자료를 입력하고 추정된 품종모수에 의해 모형을 구동한 후 총 39개의 모의된 추정치와 실측치의 자료를 비교하였다. 이때 무안과 나주는 주변에 기상대가 없어서 각각 목포기상대와 광주기상대에서 관측한 자료를 이용하였으며, 토양정보는 기본값을 사용하였다. 품종모수에 대한 오차 평균은 추정치와 관측치의 차를 제공한 값의 총합의 제곱근을 총 관측개수인 39로 나누어서 그 값을 구하였다.

## 2.3. RCP8.5 기후조건에서 수미품종의 생산량 전망

대표농도경로(Representative, Concentration Pathway, RCP)는 2011년부터 기상청이 IPCC 5차 평가보고서를 위해 도입한 개념으로 인간활동이 영향에 따른 복사강제력으로 온실가스의 농도를 정하는 것으로 온실가스 감축정책 수행여부에 따라 온실가스로 인해 추가적으로 지구에 흡수되는 에너지량에 따라 4가지 시나리오(RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5)를 만들었다(Kim

**Table 3. Soil chemical properties on potato fields of Cheong-ju, Gangneung and Daegwallyeong**

Location	Soil texture	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	K	Ca	Mg	Na	EC (dS/m)
					cmol/kg				
Cheong-ju	CL*	7.8	39.1	960.5	0.8	10.9	2.4	0.3	0.8
Gangneung	CL	6.5	46.9	1339.7	1.0	6.0	2.0	0.2	0.4
Daegwallyeong	CL	6.1	28.5	436.3	0.2	7.5	1.2	0.1	0.3

\*CL: Clay Loam

et al., 2012). 본 연구에서는 품종모수를 활용한 사례 연구로서 RCP8.5 기후조건에서 수미품종의 생산량을 전망하고자 하였다. RCP 8.5 시나리오에 따르면 2010년대와 비교해서 2050년대에는 우리나라 평균기온이 2°C 상승하며 CO2농도가 517ppm 수준으로 증가할 것으로 전망된다. 또한, 2090년대에는 기온이 4°C 상승하고 CO2농도가 895ppm으로 증가할 것으로 전망된다. 본 연구에서는 추정된 품종모수르 이용하여 RCP 8.5 기후조건에서 수미감자의 생산량을 전망하기 위해 각 지역의 2011년부터 2017년도의 기상자료를 활용하여 미래조건에서의 기후변화 시나리오 자료를 생산하였다 우선, 2015년대와 2090년대의 기온은 각각 현재 기후조건에서 2°C와 4°C 증가할 것으로 가정하였다. 또한, 이산화탄소 농도의 경우, 2050년대와 2090년대에 각각 517ppm과 895ppm에 도달할 것으로 설정하였다 이러한 기상과 이산화탄소 농도 조건들을 DSSAT-SUBSTOR 모델에 적용하여 나주, 무안,

청주, 강릉, 대관령 등 5개 감자 생산 지역의 생산량을 전망하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 감자 수미품종 품종모수 추정 및 검증

청주, 강릉, 대관령 3개 지역의 2016년도 생육자료와 해당 포장의 토양자료, 그리고 기상자료를 이용하여 추정한 품종모수와 위 자료를 포함하고 강릉과 대관령 2개 지역에서 2017년에 조사기간을 짧게 해서 얻은 2개년의 조사자료를 이용하여 추정한 수미품종의 품종모수를 Table 4에 나타내었다

국립식량과학원에서 수행한 5지역에서 39개의 수미감자 지역적응시험 성적자료와 추정된 품종모수를 DSSAT 모델에 적용하여 얻은 추정치를 비교한 결과, 완전히 일치하지는 않지만 초기가뭄으로 인해 괴경형성기 이전 생육초기에 강수량이 적었던 경우와 병해충

Table 4. The genetic parameters of cv. Superior

Index	Data	G2(cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> d)	G3(g/m <sup>2</sup> d)	PD	P2	TC(°C)	Average Error(kg/10a)
Value	2016	1736	22.1	0.6	0.3	21.9	235.127
	2016-2017	1005	26.0	0.9	0.4	15.1	205.122

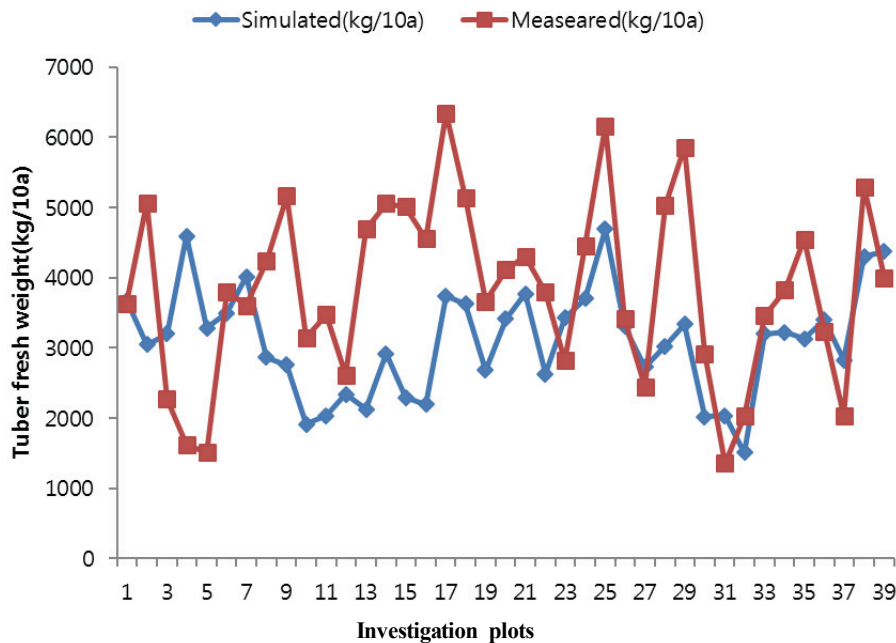


Fig 1. The differences between simulated and measured yield using DSSAT-SUBSTOR model.

피해로 생육이 정상적으로 이루어지지 않은 경우를 제외하고는 전반적으로 실측된 값과 모의된 값이 비슷한 경향을 보였다(Fig. 1). 또한 2016년도 생육자료만을 이용한 것과 비교하여 2017년도 생육자료까지 포함하여 추정했을 때 실측치와 추정치의 평균오차가 약 13%정도 감소하였으므로(Table 4) 이후 수미품종에 대해 지속적으로 생육자료를 추가해 나간다면 보다 정확한 수미품종의 품종모수 추정이 가능할 것으로 생각된다.

### 3.2. RCP 8.5 기후조건에서의 수미품종 생산량 예측

본 연구에서 추정된 수미품종의 품종모수를 이용하여 무안, 나주, 청주, 강릉, 대관령 5개 지역의 2050년대와 2090년대의 수미감자 수량을 DSSAT 모델을 이용하여 모의한 결과, 2010년대 5개지역 평균수량인 3300kg/10a와 비교해서 2050년대에는 26% 증가된 4152kg/10a, 2090년대에는 17% 감소된 2749kg/10a로 추정되었다(Fig. 2).

2050년대에는 청주를 제외한 4개 지역의 수량이 모두 증가하는 경향을 보였는데, 특히 대관령과 무안지역에서는 2010년과 비교하여 50% 이상 크게 증가하였고, 2090년대에는 무안을 제외한 4개 지역에서 수량이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3). 2050년대에 수량이 증가되는 이유는 높은 기온이 출현을 앞당기고, 왕성한 생육을 가능하게 하기 때문인 것으로 생각된다. SRES(Special Report on Emission Scenario) A1FA과 B1시나리오 조건에서 DSSAT 모델을 이용하여 2050

년대의 감자 수량을 예측한 다른 연구에서도 감자 수량이 13-16% 정도 증가할 것으로 예측하였다(Daccache *et al.*, 2011). 또한 높은 이산화탄소 농도는 감자의 수분이용효율을 증가시킨다는 보고가 있었으므로(Fleisher *et al.*, 2013), 미래기후에 증가된 대기 중 이산화탄소 농도는 감자의 생산량증가에 영향을 준 것으로 생각된다. 2090년대의 모의값은 5개 지역 중 4개의 지역에서 수량이 감소하였으며, 특히 강릉과 대관령지역의 예측은 연차 간 변이가 크므로 감자의 수급안정을 위해서는 장기적인 분석과 대책마련이 필요하다(Fig. 3). 생육기에 최고기온이 30°C 이상인 일수가 증가하여 수량이 감소하는 결과가 나타나는 것으로 추측되며, 생육 후기에 높은 호흡량으로 인한 괴경비대감소가 원인 중 하나인 것으로 생각된다(Lee *et al.*, 2016). 우리나라 감자 재배 환경에서는 생육 초기에는 기온이 높을수록, 생육 후기에는 일조시간이 적고 강수량이 많을수록 감자의 수량이 증가한다(Choi *et al.*, 2014). 반면에 초기가뭄이 심한 경우 실제수량은 DSSAT 모델로 모의한 추정치보다 훨씬 낮은 수치를 보였으므로, 이상기후로 인한 가뭄이 발생할 경우 실제수량은 모의된 수량보다 낮을 것으로 판단된다. 식물체가 토양으로부터 질소성분을 흡수하기 위해서는 충분한 토양수분이 필요하기 때문에 괴경무게에 큰 영향을 끼친다. 그러므로 감자 품종모델의 예측치와 실측치가 일치하기 위해서는 재배관리를 통해 수분스트레스를 회피해 감자가 정상적인 생육을 해야 할 필요가 있다. 초기가뭄이나 이상기후로 인한 과수문제가

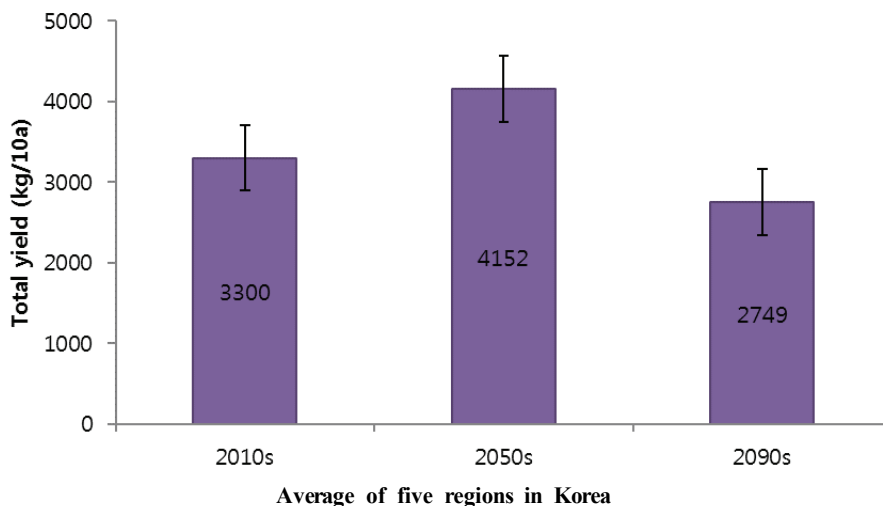


Fig 2. Simulated potato yield of 2050s and 2090s under RCP 8.5 climate change scenario conditions.

발생했을 시에 작물모델을 통한 모의가 어렵다는 결과를 뒷받침해준다(Štátná *et al.*, 2010). 2011년 IPCC에서 승인된 ‘극한현상 및 재해의 위험관리 특별보고서(SREX)요약집’에 따르면 21세기 후반 폭염증가의 가능성은 90%가 넘고, 집중호우 빈도의 증가가능성은 66%이상에 달한다고 보고된 바 있으므로 미래 기후변화에 대비하여 안정적인 감자 생산을 위해서는 생육 중 수분스트레스를 피하기 위한 재배기술을 개발해야 하는데 특히 고온에서도 안정적인 수량을 확보하기 위해 품종개발, 파종기 조절 등의 육종 및 재배적인 노력이 동시에 필요할 것으로 생각된다(Fig. 3).

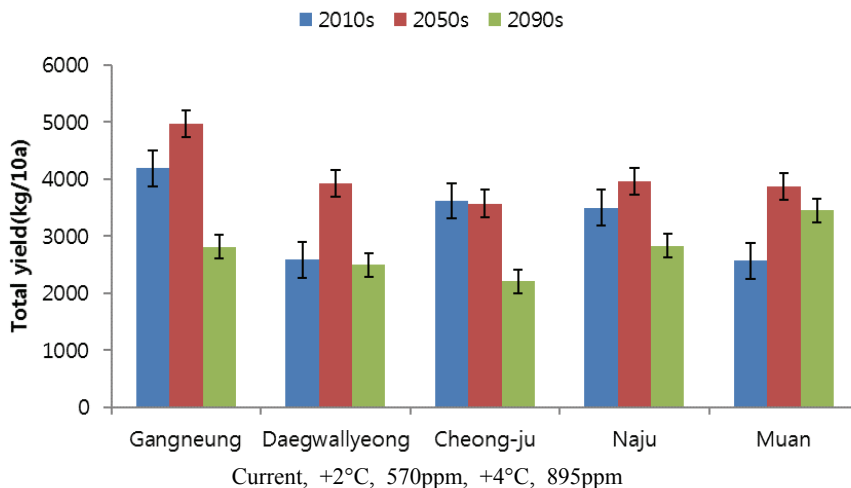
## 적 요

감자는 전 세계적으로 생산량이 쌀, 벼, 옥수수 다음으로 널리 재배되고 있는 식량 작물이며 생육 중에 수분스트레스를 받을 경우 수량에 크게 영향을 받는다. 기후변화에 의한 감자수량의 변화를 정확하게 예측하는 것은 식량안보를 위해 매우 중요하다. 기후변화 등에 의한 환경에 따른 작물생산량 예측을 위해 전세계적으로 많은 연구자들이 작물모형프로그램을 이용해서 다양한 작물에 대해 연구를 수행하고 있다. 미국에서 개발된 DSSAT 프로그램도 그 중 하나로 다양한 작물에 대한 여러 모델들을 하나의 프로그램

으로 통합한 일종의 패키지이며 27종의 작물에 대해 연구할 수 있다. 이 연구에서는 RCP 8.5 기후조건에서 2050년대와 2090년대의 국내 5개 지역의 감자 생산량을 모의하였다. 국내에서 가장 흔하게 재배되고 있는 감자품종인 수미에 대한 품종모수가 DSSAT 프로그램에 내재되어 있지 않기 때문에 2016-2017년 실제 생육조사를 통해 얻은 자료로 하부모델인 GenClac 프로그램에서 수미품종의 품종모수를 추측하였으며, 총 5개 지역 39개의 지역적응시험 성적자료를 이용하여 추측된 품종모수를 검증하였다. 검증된 품종모수로 RCP 8.5기후 시나리오조건에서 수미 품종의 생산량예측을 수행한 결과 2010년대와 비교하여 2050년대에는 5개 지역 총 생산량이 26% 증가한 반면 2090년대에는 17% 감소하였다. 그러므로 기후변화에 대비하여 안정적인 감자 생산을 위해서는 고온에서의 재배와 관수와 관련된 연구가 중요할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 국립식량과학원의 작물시험연구사업(과제번호: PJ01134307)의 지원에 의해 수행되었습니다.



**Fig 3.** Projected average yield of potato in five regions under current and RCP 8.5 climate change scenario conditions. It was assumed that temperature would increase by 2°C and 4°C in 2050s and 2090s, respectively, compared with 2010s. The concentration of CO<sub>2</sub> was set to be 517 ppm and 895 ppm in 2050s and 2090s, respectively.

## REFERENCES

- Adam M., L. G. J. Van Bussel, P. A. Leffelaar, H. Van Keulen, and F. Ewert, 2011: Effects of modelling detail on simulated potential crop yields under a wide range of climatic conditions. *Ecological Modelling* **222**(1), 131-143.
- Choi S.-J., A.-S. Lee, S.-J. Jeon, K.-D. Kim, M.-C. Seo, W.-S. Jung, J.-H. Maeng, and I.-J. Kim, 2014: Estimating the yield of potato non-mulched using climate elements. *Korean Journal of Crop Science* **59**(1), 89-96. (in Korean with English abstract)
- Cho Y.-S., H.-G. Park, W.-H. Kim, S.-D. Kim, J.-H. Seo, and J.-C. Shin, 2006: Growth and yield related characteristics of soybeans for the estimation of grain yield in upland and drained-paddy field. *Korean Journal of Crop Science* **51**(7), 599-607. (in Korean with English abstract)
- Daccache, A., E. K. Weatherhead, M. A. Stalham, and J. W. Knox, 2011: Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. *Agricultural and Forest Meteorology* **151**(12), 1641-1653.
- Fleisher, D. H., J. Barnaby, R. Sicher, J. P. Resop, D. J. Timlin, and V. R. Reddy, 2013: Effects of elevated CO<sub>2</sub> and cyclic drought on potato under varying radiation regimes. *Agricultural and Forest Meteorology* **171-172**, 270-280.
- Holden, N. M., A. J. Brereton, R. Fealy, and J. Sweeney, 2003: Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yield. *Agricultural and Forest Meteorology* **116**(3-4), 181-196.
- Fandika, I. R., P. D. Kemp, J. P. Millner, D. Horne, and N. Roskrige, 2016: Irrigation and nitrogen effects on tuber yield and water use efficiency of heritage and modern potato cultivars. *Agricultural Water Management* **170**, 148-157.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2011: IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation
- Jones, J. W., J. M. Antle, B. Basso, K. J. Boote, R. T. Conant, I. Foster, H. Charles, J. Godfray, M. Herrero, R. E. Howitt, S. Janssen, B. A. Keating, R. Munoz-Carpena, C. H. Porter, C. Rosenzweig, and T. R. Wheeler, 2016: Brief history of agricultural systems modeling. *Agricultural Systems* **155**, 240-254.
- Jones, J. W., G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijsman, and J. T. Ritchie, 2003: The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* **18**(3-4), 235-265.
- Kim, D.-J., S.-O. Kim, K.-H. Moon, and J. I. Yun, 2012: An outlook on cereal grains production in South Korea based on crop growth simulation under the RCP 8.5 climate condition. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(3), 132-141. (in Korean with English abstract)
- Kim, H. J., G. Y. Shin, H. M. Cho, G. S. Kim, S. Y. Kim, C. S. Park, and Y. I. Ham, 1999: *The series of potato*. Highland Agriculture Research Institute.
- KEI (Korea Environment Institute), 2009: Economic Analysis of Climate Change in Korea.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 2012: The prospect report of the Korean Peninsula climate change.
- KREI (Korea Rural Economic Institute), 2015: The trends of potato supply and demand and their implication. FTA Issue Report 11.
- Lee, A.-S., S.-J. Choi, S.-J. Jeon, J.-H. Maeng, J.-H. Kim, and I.-J. Kim, 2016: Estimating the yield of marketable potato of mulch culture using climate elements. *Korean Journal of Crop Science* **61**(1), 70-77. (in Korean with English abstract)
- Lee, C. K., J. W. Kim, J. Y. Shon, W. H. Yang, Y. H. Yoon, K. J. Choi, and K. S. Kim, 2012: Impacts of climate change on rice production and adaptation method in Korea as evaluated by simulation study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 207-221. (in Korean with English abstract)
- Raymundo, R., S. Asseng, D. Cammarano, and R. Quiroz, 2014: Potato, sweet potato, and yam models for climate change: A review. *Field Crops Research* **166**, 173-185.
- Raymundo, R., S. Asseng, R. Prasad, U. Kleinwechter, J. Concha, B. Condori, W. Bowen, J. Wolf, J. E. Olesen, Q. Dong, L. Zotarelli, M. Gastelo, A. Alva, M. Travasso, R. Quiroz, V. Arora, W. Graham, and C. Porter, 2017: Performance of the SUBSTOR-potato model across contrasting growing conditions. *Field Crops Research* **202**, 57-76.
- Roberto, C., F. Orando, L. Paleari, T. Stella, C. Gilardelli, E. Moredi, V. Pagani, G. Cappelli, A. Vertemara, L. Alberti, P. Alberti, S. Atanassiu, M.



- Bonaiti, G. Cappelletti, M. Ceruti, A. Confalonieri, G. Corgatelli, P. Corti, and M. Acutis, 2016: Uncertainty in crop model predictions: What is the role of users? *Environmental Modelling & Software* **81**, 165-173.
- Song, Y., C.-H. Lim, W.-K. Lee, K.-C. Eom, S.-E. Choi, E. J. Lee, and E. Kim, 2014: Applicability analysis of major crop models on Korea for the adaptation to climate change. *Journal of Climate Change Research* **5**(2), 109-125. (in Korean with English abstract)
- Šťastná, M., F. Toman, and J. Dufková, 2010: Usage of SUBSTOR model in potato yield prediction. *Agricultural Water Management* **97**(2), 286-290.