

# 기후변화에 따른 제주 농업 생산량 변화 예측과 정책적 활용 : 보리와 콩을 대상으로

## Prediction of Climate Change Impact on Agriculture in Jeju and Policy Application : The case of Barley and Soybean

임철희\*

### < 목 차 >

- |                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| I. 서론                   | V. 기후변화 적응정책으로 활용 |
| II. 제주지역 기후변화 전망과 농업 현황 | VI. 결론            |
| III. 농업생산량 예측 방법        | 〈참고문헌〉            |
| IV. 미래 생산량 변화 예측 결과     |                   |

### < 국문 초록 >

기후변화 적응 정책을 도출하기 위해서는 기후변화의 영향을 예측하는 것이 전제되어야 하는데, 일반적으로 모형 연구를 통해 영향과 취약성 등을 추정하고 있다. 제주를 대상으로 한 기후변화 영향 관련 연구들도 여럿 있어왔으나 아직까지는 모형 연구를 통한 기후변화 영향 예측의 사례는 쉽게 찾아보기 어렵다. 기후가 변함에 따라 직접적으로 생

\* 고려대학교 환경생태공학과 박사과정(limpossible@korea.ac.kr)

육이 변하게 될 농작물의 경우 가장 우선적으로 모형 연구가 필요하다. 본 연구에서는 작물모형을 통해 제주 농업 중 보리와 콩을 대상으로 기후변화의 영향을 예측하였고, 이를 정책으로 적용할 수 있는 몇 가지 안을 제시하였다. 보리와 콩의 기후변화 영향 예측을 통해 발견한 사항으로 먼저 보리의 경우 단기적으로 감소하는 경향을 보였으나, 점차 생산량이 증가했다가 먼 미래에 다시 감소하는 경향을 보인다. 콩의 경우 2060년대까지 지속적으로 생산량이 증가세를 보이다가 일정 시점에서 감소하는 경향으로 전환될 것으로 예상되었다. 이를 바탕으로 제시한 적응 정책으로는 '2060년대까지 보리 생산면적 유지', '새로운 시비·배수 방안의 마련', '콩 산업의 확충', '재배기간·재배방법의 지속적인 개선' 등이다. 보리와 콩의 경우 미래 생산량에 있어 긍정적인 예측결과가 많아 기후변화가 제주 농업의 기회가 될 수 있음을 다시 한 번 보여주었다. 기후변화의 적응이란 부정적 상황뿐만 아니라, 긍정적 상황을 예측하여 유리한 고지를 선점하는 것 또한 포함된다. 국내 기후변화의 최전선에 있는 제주 농업은 작목별 긍정 혹은 부정적인 영향을 파악하여 기후변화에 대한 적응을 추진해 나가야 할 것이다.

**핵심어 : 제주, 기후변화 영향, 기후변화 적응, 작물모형, 농업**

## I. 서론

7년 만에 다시 발표된 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 제5차 평가 종합보고서는 '기후변화가 심화되어 되돌릴 수 없는 영향(irreversible impact)을 미치게 될 가능성이 높아지고 있다'고 이야기하고 있다(IPCC, 2014). 기후변화에 대한 연구가 심도 있어 질수록 원인은 명확해져가고, 영향은 뚜렷해지고 있는 것이다.

기후변화라는 난제를 극복하고자 하는 과정은 원인의 규명, 영향 파악, 그리고 해결로 이어지고 있으며, 해결은 완화와 적응으로 구분되어 정책으로 이행되고 있다(명수정 등, 2013). 많은 이슈가 온실가스 감축을 통한 기후변화의 완화에 있어 왔지만, 실제 피해에 대한 대책과 장기적인 관점에서의 생존방안은 적응 측면에서 더 많이 대두되어야 한다. 우리나라는 기후변화 적응대책을 수립하여 이행하고 있음에도 불구하고 아직까지 실효성

높은 적응대책 도출과 이행에 한계가 있어 왔다(명수정 등, 2013).

기후변화 적응 정책을 도출하기 위해서는 기후변화의 영향을 예측하는 것이 전제되어야 하는데, 일반적으로 모형(Model) 연구를 통해 영향과 취약성 등을 추정하고 있다(Rosenzweig et al., 2013; Semenov and Stratonovits, 2010). 이러한 모형 연구의 정확성과 다양한 연구 결과는 실효성 높은 적응 정책을 도출하는데 밑거름이 된다고 할 수 있다. 최근에는 농업, 산림, 건강, 물 등 각각의 분야에서 모형을 통해 영향과 취약성 등을 추정하는 연구가 국내에서도 여러 연구기관을 통해 추진되고 있다(Choi et al, 2011; 김문일 등, 2014).

제주를 대상으로 한 기후변화 영향 관련 연구들도 여럿 있어왔으나(강진영 등, 2014; 송성호 등, 2013), 아직까지는 모형 연구를 통한 기후변화 영향 예측의 사례는 쉽게 찾아보기 어렵다. 물론 다른 시도 단위에서도 모형 연구를 통한 연구는 흔치 않았으나, 지역 단위로 영향이 일어나는 기후변화의 특성상 국지적 영향 예측 연구의 필요성은 분명하다.

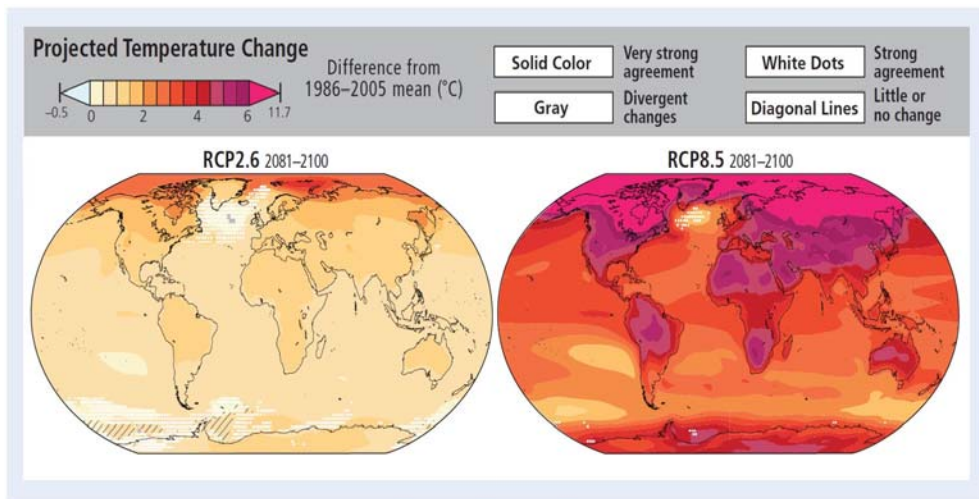
특히 기후가 변함에 따라 직접적으로 생육이 변하게 될 농작물의 경우 가장 우선적으로 모형 연구가 필요하다고 하겠다. 제주의 경우 많은 발작물들이 부분적으로 재배되고 있으므로 대표 작물 보다는 다양한 작물의 영향 예측이 요구되는 특성이 있다. 이러한 작물의 기후변화 영향을 모의하는 모형을 ‘작물 모형’이라고 하는데, 국내의 몇 연구자들이 국외 모형을 통해 국내를 대상으로 국가단위 영향을 모의한 바 있다(심교문 등, 2011; 이충근 등, 2012).

기후변화의 영향을 예측하기 위해 제주 농업을 대상으로 작물 모형을 통한 모형 연구를 수행하는 것은 시도되지 않은 점에서 도전적이며, 국지적인 영향 예측이 필요한 점에서 시의적절하다. 이에 본 연구에서는 국외 주요 작물 모형을 통해 기후변화에 따른 제주 농업 생산량을 예측하고자 하며, 이러한 예측이 정책으로 활용되기 위한 시사점을 제시하고자 한다. 이번 연구에서 모든 작목을 대상으로 할 수 없으므로, 제주에서 재배되는 식량작물 중 가장 많은 생산량을 보이는 보리와 콩을 대상으로 연구를 수행한다.

## II. 제주지역 기후변화 전망과 농업 현황

### 1. RCP 기후변화 시나리오

IPCC 5차 평가보고서에서는 RCP(Representative Concentration Pathways, 대표농도 경로)라고 부르는 4종의 새로운 기후변화 시나리오를 정의했다. 이들 4종의 시나리오는 매우 낮은 강제력 수준에 도달하는(RCP2.6) 1개의 완화시나리오, 2개의 안정화 시나리오(RCP4.5, RCP6.0), 1개의 고농도온실 가스 배출시나리오(RCP8.5)를 포함하고 있다 (IPCC, 2014).



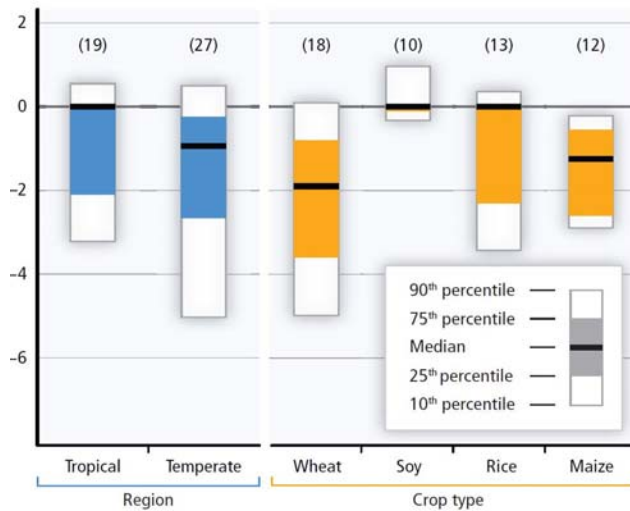
〈그림 1〉 RCP 시나리오에 따른 전 지구 연평균 지표온도 변화

(자료: IPCC, 2014)

관측된 기상자료에 의하면 1880년 ~ 2012년에 전 지구 육지와 해양의 평균표면 온도는 0.85°C의 기온상승을 보였으며, 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우를 의미하는 RCP8.5 시나리오 예측에서는 2100년까지 3.7°C가 더 상승할 것으로 나타났다. 평균기온이 상승하면 강수량도 증가하지만 지역 및 계절 간 강수편차도 증가하므로 가뭄의 위험

도는 여전히 높을 것으로 예상된다. RCP 시나리오에 따르면 전 지구 평균기온이 상승하고 있기 때문에 대부분의 지역에서 일 및 계절단위에서 고온현상은 더 자주 발생하고, 저온현상은 덜 발생할 것이 사실상 확실하다. 열파가 보다 빈번하고 길게 발생할 가능성이 매우 높으며, 가끔씩 발생하는 겨울철 혹한도 지속적으로 나타날 것이다.

이러한 기후의 변화 현상은 농업과 작물생육에 직접적인 영향을 야기한다. IPCC 5차 평가보고서에서도 농업과 식량안보를 기후변화시대의 중요한 이슈로 다루었으며, 기후변화의 적응 측면에서 많은 언급을 보였다(IPCC, 2014). 전 세계 식량작물의 영향을 종합한 <그림 2>와 같이 일부 작목에서는 매우 부정적인 영향일 수 있으나 다른 작목에서는 덜 부정적이거나 긍정적인 영향을 줄 수도 있는 것이 기후변화이다.



<그림 2> RCP 시나리오에 따른 식량작물의 영향

(자료: IPCC, 2014)

RCP 시나리오에서는 중위도 ~ 고위도에서 평균기온 상승이 최대 1~3°C인 지역은 작물에 따라 수확고가 약간 증가할 것이나, 그 이상 상승하는 지역에서는 감소할 것으로 전망하였다. 저위도 지역 특히 계절적으로 건조하고 열대성인 지역에서는 지역 기온이 적게 상승하더라도(1~2°C) 작물 생산량이 감소할 것으로 전망되었는데, 이는 병충해 증

가, 수문 취약성 증가, 재해 빈도 증가 등이 원인이 될 것으로 나타났다. 지구 전체로는 지역평균 기온의 1~3°C 상승까지는 식량생산 잠재력이 증가할 것이나 그 이상 상승하면 감소될 것으로 전망하였다(IPCC, 2007). 우리나라의 경우 중위도 지역에 속하므로 작물에 따라 수확고가 증가할 수 있으나, 작황추이나 작물별 주산지의 변동 가능성이 높으므로 기후전망에 대한 미래작물예측이 필요한 실정이다(임철희, 2013).

## 2. 제주 지역 기후변화 현재와 미래

제주도의 계절단위 평균기온의 변화를 살펴보면 1971~2000년 기간에 비하여 1981~2010년 기간에 평균기온은 겨울철, 봄철, 가을철에 모두 0.3°C로 증가하여 하였고, 여름철 평균기온은 0.2°C 증가하였다. 계절 평균 최고기온은 봄철에 0.4°C 증가하였고, 여름철, 가을철, 여름철에 모두 0.3°C 증가하였다. 계절 평균 최저기온은 가을철에 0.6°C 상승하였고, 겨울철과 봄철은 0.5°C 상승하였고, 여름철은 0.4°C 상승하였다<표 1>.

제주도의 계절단위 강수량의 변화를 살펴보면, 1971~2000년 기간보다 1981~2010년 기간에 여름철 강수량이 29.5mm(3.8%증가), 가을철 강수량은 35.4mm(10.3%), 봄철 강수량은 6.2mm(1.5%) 순으로 증가하였다<표 1>. 8월 강수량은 1971~2010년 평균 265.1mm이었으나, 1981~2010년 기간 평균적으로 294.7mm로 29.6mm 증가하였다. 유사하게 9월 강수량도 두 기간에 각각 184.6mm에서 220.5mm로 약 35.9mm 증가하였다. 다른 월의 강수량은 대부분이 ±10.0mm이하 범위로 변화가 거의 없는 것으로 나타나고 있다(제주지방기상청, 2011).

<표 1> 제주도의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화

변수	기간	1971-2000	1981-2010
평균기온(°C)	연	15.6	15.9
	봄	13.6	13.9
	여름	24.3	24.5
	가을	18.0	18.3
	겨울	6.7	7.0

최고기온(°C)	연	19.2	19.4
	봄	17.3	17.7
	여름	27.4	27.7
	가을	21.6	21.9
	겨울	10.2	10.5
최저기온(°C)	연	12.2	12.7
	봄	9.7	10.2
	여름	21.5	21.9
	가을	14.4	15.0
	겨울	3.3	3.8
강수량(mm)	연	1716.2	1787.0
	봄	402.8	409.0
	여름	780.4	809.9
	가을	342.4	377.8
	겨울	190.4	189.5

(자료: 제주지방기상청, 2011)

제주도의 미래 기후변화 시나리오 기온자료를 분석한 결과, 30년 평균기온은 2011~2040년대에는 16.2°C, 2041~2071년에는 17.5°C, 2071~2100년에는 18.8°C로 점차 증가할 것으로 전망된다. 23개의 자동기상관측자료의 10년간(2001~2010) 평균기온(14.1°C)과 비교해보면 2011~2040년대에는 2.1°C, 2041~2071년에는 3.4°C, 2071~2100년에는 4.7°C 상승할 것으로 전망된다(표 2).

이러한 결과들을 종합하면 과거 약 30년 관측자료에서 나타난 기후변화는 주로 겨울철 중심으로 기온상승폭이 두드러졌으나, 지역기후모델에서 생산한 기후시나리오 자료는 점차 여름철 중심으로 기온상승폭이 두드러지게 될 것으로 전망하고 있음을 알 수 있다. 지역기후모델 산출 미래 강수 시나리오는 과거 10년간 관측값에 비하여 2011~2040년 기간에는 연강수량이 약 310mm 정도, 2041~2050 기간에는 약 210mm, 2071~2100년 기간에는 약 150mm보다 적을 것으로 전망된다(제주지방기상청, 2011).

〈표 2〉 기후변화 시나리오에 따른 제주도의 기온·강수량 미래 전망(기온: °C / 강수량: mm)

기간	2001 ~ 2010	2011 ~ 2020	2021 ~ 2030	2031 ~ 2040	2041 ~ 2050	2051 ~ 2060	2061 ~ 2070	2071 ~ 2080	2081 ~ 2090	2091 ~ 2100
평균 기온	14.1	16.0	16.3	16.3	17.0	17.5	18.1	18.4	18.9	19.0
		16.2			17.5			18.8		
최저 기온	11.1	12.8	13.2	13.1	13.9	14.4	15.0	15.3	15.8	15.9
		13.0			14.4			15.7		
최고 기온	17.8	19.7	19.9	19.9	20.6	21.0	21.6	21.9	22.4	22.5
		19.8			21.1			22.3		
강수량	2174.0	1885.5	1841.8	1878.6	1871.7	2141.3	1877.8	1995.8	2073.8	2007.2
		1868.6			1963.6			2025.6		

(자료: 제주지방기상청, 2011)

### 3. 농업 생산 현황 : 보리와 콩

제주도의 지역총생산 중 농림어업 부문이 차지하는 비중은 16.48%로서 전국 2.28%에 비해 현저히 높은 점유율을 보이고 있다(임철희, 2013). 이렇듯 제주에서는 아직 농업이 지역경제에 차지하는 비중이 타지에 비해 높다. 주요 작목으로는 감귤이 대표적이거나, 보리, 콩, 감자, 마늘, 양파, 파 등 다양한 식량작물과 근채류, 조미채소 등이 있다. 본 절에서는 이번 연구에서 대상 작목으로 선정한 보리와 콩의 생산 현황을 양적 변화를 바탕으로 파악하고자 한다.

국내에서 재배되는 보리는 크게 겉보리, 쌀보리, 맥주보리 등으로 나뉘는데, 제주에서는 맥주보리와 쌀보리만이 생산되고 있다. 먼저 맥주보리의 경우 2004년부터 10여년이 지난 현재 전국적으로 생산량이 급감하였으며, 제주에서도 비슷한 수준으로 감소하였다. 특히 2008년부터 2012년 사이에 전국과 제주 모두 80% 이상 감소하였으며, 이는 정부의 보리 수매 중단과 함께 값싼 수입보리의 등장 등이 원인으로 점쳐진다. 그럼에도 제주의 맥주보리는 전국 생산량의 10% 이상을 꾸준히 차지하며, 주산지로서 입지를 지키고 있다(표 3).



〈표 3〉 제주 및 전국의 맥주보리 생산량 추이(단위: kg, %)

	2004 (A)	2006	2008	2010	2012	2014 (B)	증감	증감률
							B-A	B/A
전국	73,232	63,685	65,898	26,188	10,109	18,371	▽ 54,861	▽ 75.1
제주	8,806	8,930	9,890	5,657	1,587	1,977	▽ 6,829	▽ 77.5
점유율	12.0	14.0	15.0	21.6	15.7	10.8		

(자료: KOSIS, 2014)

쌀보리의 경우 제주에서 거의 생산이 이루어지지 않다가 최근 들어 생산량이 급격히 증대하고 있는 상황이다. 전국적으로는 감소하나 제주에서는 생산량이 점차 증가하여 전국 생산량의 3%를 넘보고 있다(표 4). 쌀보리 또한 정부의 보리 수매 중단 조치의 영향이 전국적인 생산량 저하를 일으킨 원인으로 사료된다. 제주에서는 맥주보리를 생산하던 농가에서 쌀보리로 전향한 비중이 상당수 있을 것으로 추정되며, 앞으로도 상황에 따라 맥주보리와 쌀보리의 전용이 일어날 가능성이 있다.

〈표 4〉 제주 및 전국의 쌀보리 생산량 추이(단위: kg, %)

	2004 (A)	2006	2008	2010	2012	2014 (B)	증감	증감률
							B-A	B/A
전국	81,259	64,652	82,013	42,584	35,458	47,845	▽ 33,414	▽ 41.1
제주	108	302	107	726	443	1,331	△ 1,223	△ 1232.4
점유율	0.13	0.47	0.13	1.7	1.2	2.8		

(자료: KOSIS, 2014)

두류에는 대두로 불리는 일반 콩 외에도 녹두, 팥, 채두, 완두, 땅콩 등으로 분류되어 전국적으로 생산되고 있으나, 제주에서는 일반 콩 만이 안정적인 생산량을 보이고 있으

므로, 본 연구에서는 일반 콩의 생산 현황만을 파악하였다. 2004년 ~ 2014년 약 11년의 시간이 흐르는 동안 전국 생산량에는 큰 변화 없이 안정적으로 유지되고 있다. 제주의 경우 대폭 상승하였다가 2010년 이후 소폭 하락하여 2004년 대비 24% 가량 생산량이 증가한 상황이다(표 5). 앞으로도 별다른 사회·제도적 변화나 환경적 변화가 없다면 생산량은 현재와 같은 수준으로 유지될 것으로 사료된다.

〈표 5〉 제주 및 전국의 콩 생산량 추이(단위: kg, %)

	2004 (A)	2006	2008	2010	2012	2014 (B)	증감	증감률
							B-A	B/A
전국	138,570	156,404	132,674	105,345	122,519	139,267	△ 697	△ 0.5
제주	6,732	8,232	11,541	11,210	7,057	8,383	△ 1,651	△ 24.5
점유율	4.6	5.3	8.7	10.6	5.8	6.0		

(자료: KOSIS, 2014)

### Ⅲ. 농업생산량 예측 방법

#### 1. 작물의 기후변화 영향 예측 방법

작물별 기후변화 영향을 예측하기 위해서는 ‘작물 모형’의 활용이 필수적인데, 작물 모형은 유전자, 환경, 작물관리 간의 상호작용에 영향을 미치는 식물성장과정의 정량적 표현으로, 과학 연구, 작물 관리, 농업 정책 분석을 지원하기 위한 핵심 도구가 이다(Fischer et al., 2002; Hammer et al., 2002; 송용호 등, 2014). 본 연구에서는 국외 주요 모형들 중 제주 지역에 적용 가능할 모형을 선정하기 위해 몇 가지 기준을 정립하였는데, 첫째는 다양한 밭작물에 적용 가능해야 하고, 둘째는 장기 예측이 가능해야 하는 것이다. 이에 본 연구에서는 미국에서 1980년대 개발되어 계속해서 개정판이 발표되고 있고, 최근에는 유럽과 중국 등 세계 각지에서 기후변화와 관련한 농업연구에 활용되고 있는

EPIC(Environmental Policy Integrated Climate, originally known as Erosion Productivity Impact Calculator) 모형을 선정하였다. EPIC 모형은 기상 및 지표면 유출, 토양, 지형, 질소 및 인 등을 이용하여 작물의 생산량을 예측하는 모형으로, 100가지 이상의 작물에 적용하여 활용될 수 있는 대표적인 포괄적(Generic) 모형이다(Williams et al., 1984; 송용호 등, 2014) 특히 GIS(Geographic Information System)와 연결하여 입출력이 용이하도록 확장된 GEPIC 모형이 최근에 개발된 바 있으며(Liu et al., 2007), 본 연구에서도 GEPIC 모형의 1.2 버전을 선정하였다.

미래 기후변화 시나리오는 IPCC 5차 평가보고서에서 적용된 RCP 시나리오를 대상으로 하며, 그 중 온실가스 감축이 미진하여 적응에 대한 부담이 크다고 볼 수 있는 RCP 8.5 시나리오를 활용하였다.

기후변화의 영향을 산출하기 위해 기준선(Baseline)과 미래 시점 예측치(Predicted) 간의 변화율을 구하였으며, 여기서 기준선은 최근 10년간 각 작물의 평균 생산성을 의미한다. 미래시점은 2030년대, 2060년대, 2090년대로 하며, 21세기의 영향을 개략적으로 파악할 수 있는 구간으로 선정하였다. 영향을 산출하는 공식은 다음 수식 (1)과 같다.

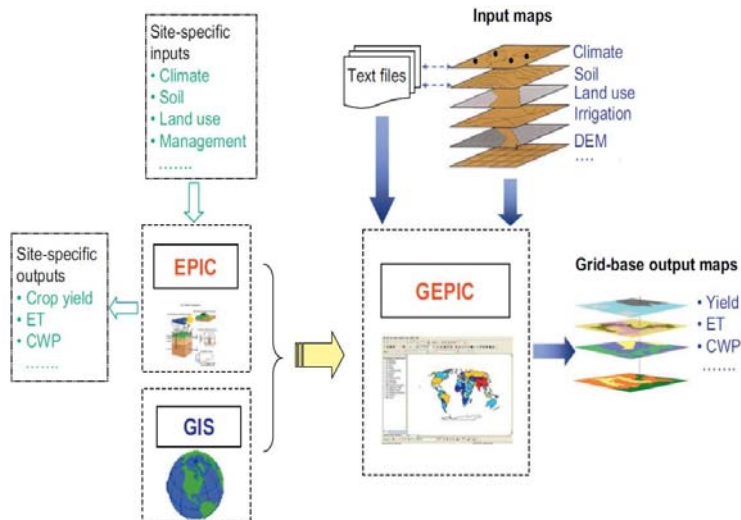
$$Impact = \frac{Predicted - Baseline}{Baseline} \times 100 \quad (1)$$

## 2. 모형의 입력자료

EPIC 모형 구동에 요구되는 입력 자료는 최대 12가지로, 제주 적용을 위해 총 11가지의 입력 자료(Climature, Soil, Slope, DEM(Digital Elevation map), Irrigation, Fertilizer(N), Fertilizer(P), PHU(Potential Heat Unit), PD(Planting Dates), Country, Landuse)를 수집 및 가공하여 입력 자료 형태로 구축하였다. 모든 입력자료는 1km × 1km 해상도의 Raster와 Text로 구성되며, 작목에 관계없이 제주 전체 농업면적을 대상으로 하였다. 각 입력자료에 따라 세부자료로 나뉘는데, 먼저 기상자료는 일별 최저기온(°C), 최고기온(°C), 강수량(mm), 일조량(MJ m<sup>-2</sup>), 상대습도(hPa), 풍속(m s<sup>-1</sup>) 자료이며, 기상청에서 제공하는 RCP 8.5 시나리오 1km 해상도 자료를 활용하였다, 특별히 EPIC

모형에서 요구되는 PHU 자료의 경우 Texas Blackland Research and Extension Center 에서 개발된 PHU Calculator에 관측 기상자료를 입력하여 구축하였다(BREC, 1990). Slope와 DEM 자료는 환경부에서 제작한 고해상도 지도 자료를 1km해상도로 보정 및 연구대상지에 맞게 가공하여 활용하였으며, 환경부에서 공개되는 토지피복도에서 농업면적을 추출하여 Landuse 자료로 구축하였다. 토양 자료는 FAO(Food and Agriculture Organization)의 Harmonized World Soil Database에서 제주 부분을 추출하여 구축하였으며, 입력형태는 Dataset 형태로 13가지 종류로 구성되어있다. 그 종류는 soil organic carbon(%), sand, silt and clay(%), bulk density( $g\ cm^{-3}$ ), base saturation(%), cation exchange capacity and sum of base cations( $cmol\ +\ kg^{-1}$ ), pH, stoniness(vol.%), saturated hydraulic conductivity( $mm\ h^{-1}$ ), and wilting point and field water capacity( $cm^3\ cm^{-3}$ ) 이다(FAO, 2012).

입력자료를 구축하는 과정에서 FAO Soil data의 해안선이 국내 타 지도와 일치하지 않고, 보다 좁게 형성되어 있어 제주 해안에 인접한 농경지 자료가 일부 제외되는 아쉬움이 있었다. GEPIC 모형의 기본 구조와 Input-Output은 다음 <그림 3>과 같다.



<그림 3> GEPIC 모형의 기본 구조와 입출력 모식도

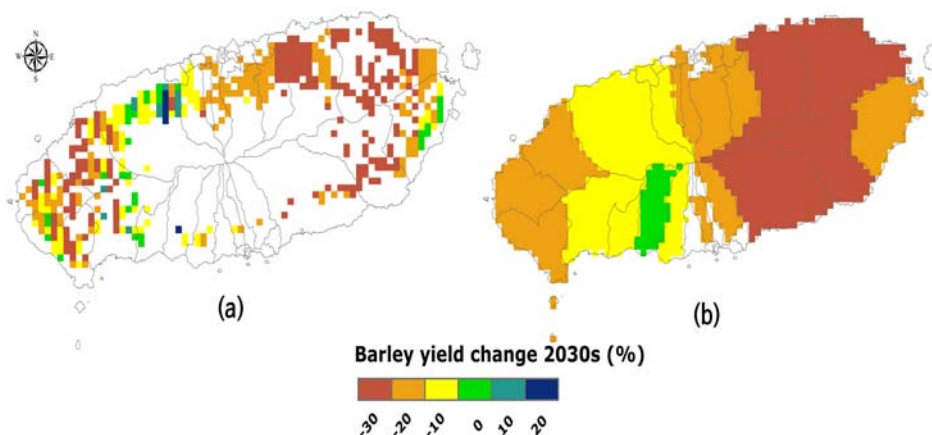
(자료: Liu et al., 2007)

## IV. 미래 생산량 변화 예측 결과

본 장에서는 GEPIC 모형을 통해 RCP 8.5 기후변화 시나리오에 따른 보리와 콩의 미래 생산량 변화를 모의한 결과를 제시한다. 미래를 추정하는 모의는 높은 불확실성을 내재하므로, 불확실성을 줄이기 위한 방법으로 각 모의 기간을 10년 단위로 평균화하여 제시하며(2030s: 2030-2039, 2060s: 2060-2069, 2090s: 2090-2099), 각각의 정량적 제시보다는 현재기간과의 변화율을 바탕으로 변화를 예측하였다.

### 1. 보리의 미래 생산량 변화 영향 예측

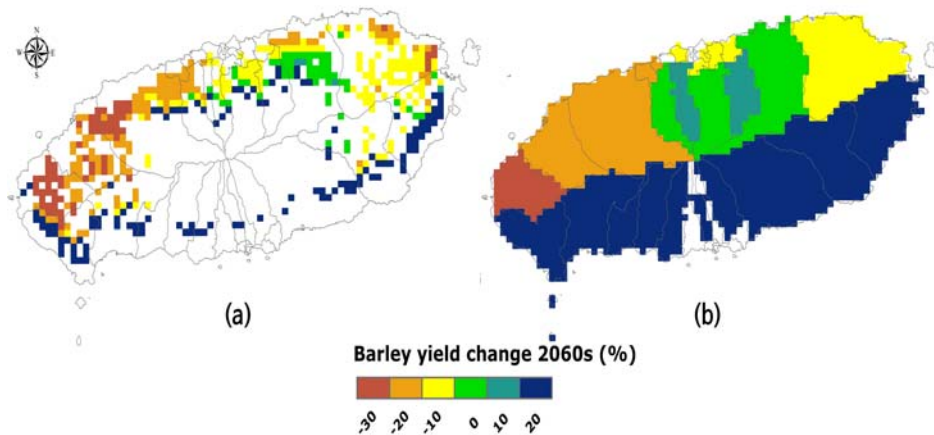
보리의 현재 생산량을 의미하는 기준선(Baseline)은 2.54t/ha이다. 기준선과 미래 추정치를 바탕으로 생산량 변화를 예측한 결과 2030년대에는 소폭 감소하는 것으로 나타나, 연도별 격차가 크게 나타나고 있었다(그림 4, 7). 지역적으로 살펴보면, 동부에서 감소폭이 더 높게 나타났는데, 북동과 북서에서는 감소폭이 크게, 남동과 남서에서는 기준선을 유지하는 경향을 보여 양쪽이 대칭을 이루고 있다. 행정구역으로 보면 애월읍과 안덕면, 중문동 등에서는 2030년대에도 현재와 유사한 생산량을 보일 수 있는 것으로 나타나고 있는 것이다.



〈그림 4〉 RCP 8.5 시나리오에 따른 2030년대 제주지역 보리 생산량 변화 모의 결과

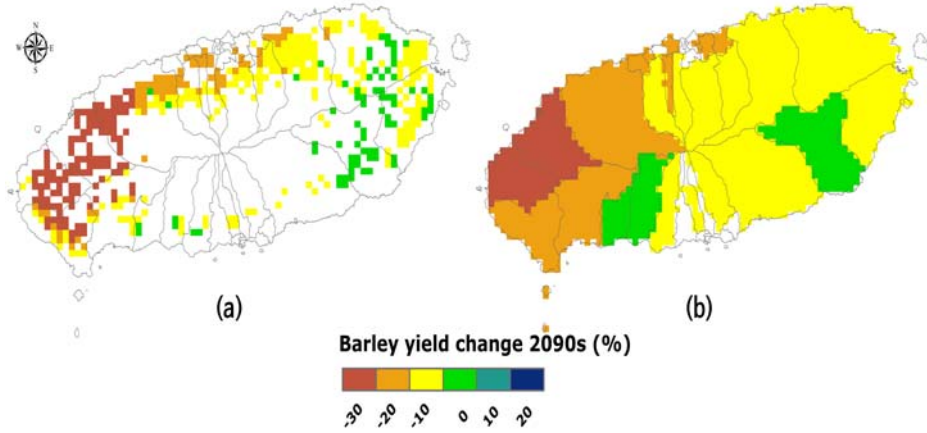
(a: 제주 농업면적, b: 읍면동 단위)

2060년대에서의 변화 예측 결과를 보면 2030년대와는 다르게 상당지역에서 생산량이 증가하고 있는 경향을 나타낸다. 또한 동쪽과 서쪽의 생산량 변화 예측 결과가 2030년대와 반대로 나타난 것도 눈여겨 볼 점이다. 서귀포 전 지역에서는 기준선보다 생산량이 증가할 것으로 예측되고 있으며, 제주시 동부에서는 기준선이 유지되는 경향, 제주시 서부에서는 대폭 감소하는 경향을 나타내고 있다<그림 5>. 2030년대에 비해 연도별 격차의 경우는 줄어들 것으로, 지역별 격차는 커질 것으로 나타나고 있다.



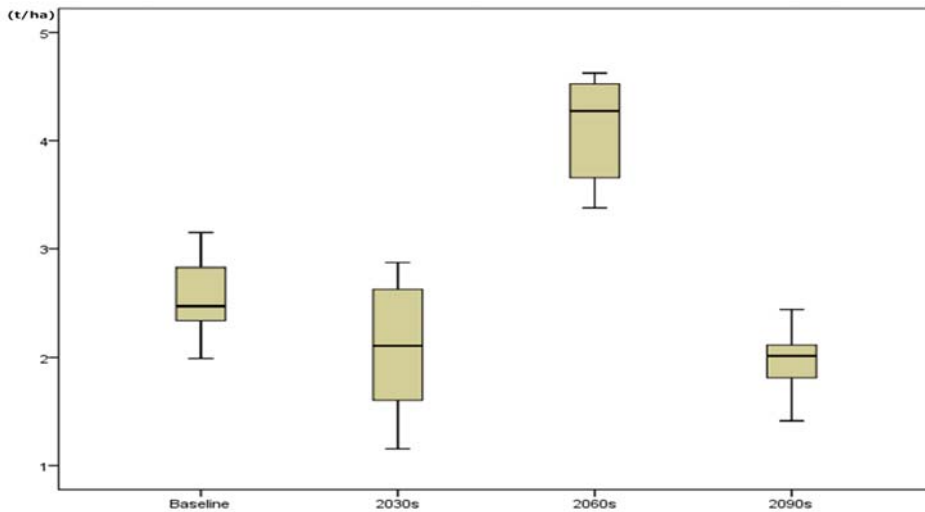
<그림 5> RCP 8.5 시나리오에 따른 2060년대 제주지역 보리 생산량 변화 모의 결과  
(a: 제주 농업면적, b: 읍면동 단위)

2090년대에서의 변화 예측 결과를 보면, 2060년대와는 달리 다시 2030년대와 비슷한 수준의 평균 생산량을 나타내나, 지역적 특성은 2060년대와 더 가깝게 나타나고 있다. 제주도 중부와 동부에서 전반적으로 기준선을 유지하는 경향을 보이며, 서부에서는 큰 폭으로 감소 할 수 있는 것으로 나타난다<그림 6>. 연도별로 격차의 경우 2030년대, 2060년대보다 감소하여 안정적인 양적 수준을 보이며, 2060년대에 심해졌던 지역별 격차는 다시 감소하여 2030년대 수준으로 나타나고 있다.



〈그림 6〉 RCP 8.5 시나리오에 따른 2090년대 제주지역 보리 생산량 변화 모의 결과  
(a: 제주 농업면적, b: 읍면동 단위)

세 시점의 생산량 변화 예측결과에 대해 종합적으로 분석해보면, 제주지역보다 서귀포 지역에서 보다 긍정적인 예측이 되고 있으며, 장기적으로는 동쪽이 서쪽보다 긍정적으로 나타나고 있다. 부정적인 지역을 보면, 시기별로 상이한 측면은 있으나 공통적으로는 한경면, 한림읍이 가장 부정적으로 나타나 보리 생산에 취약한 지역으로 전망해 볼 수 있다.

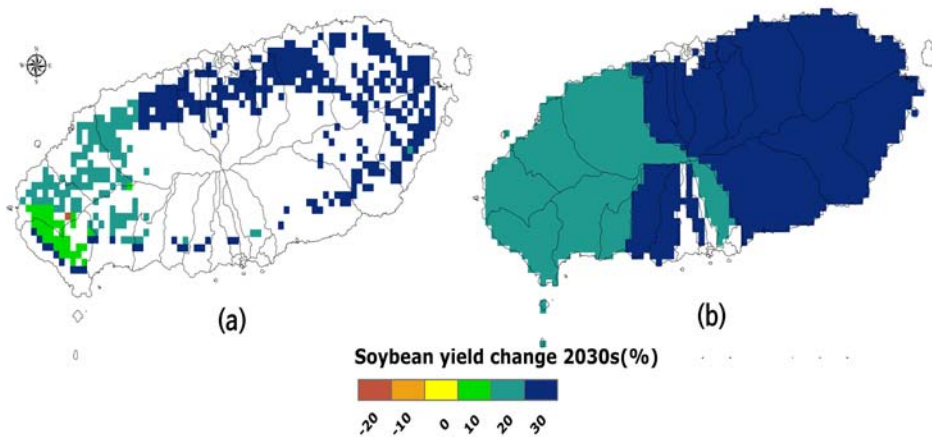


〈그림 7〉 제주 보리 생산량의 기준선과 각 예측시기별 생산량 변화 추이

〈그림 7〉의 Box plot을 통해 기준선과 각 예측시기별 생산량 변화 추이를 보면, 2030년대에는 소폭 감소하다가 2060년대에 크게 증가, 2090년대에는 다시 2030년대 수준으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 시간의 흐름에 따라 연간 변이 폭이 줄어드는 것을 볼 때, 새로운 기후시스템에 작물의 생육이 불균형하였거나, 기상이변이 많았다가 점차 적응해나가는 것으로 예상해 볼 수 있다.

## 2. 콩의 미래 생산량 변화 영향 예측

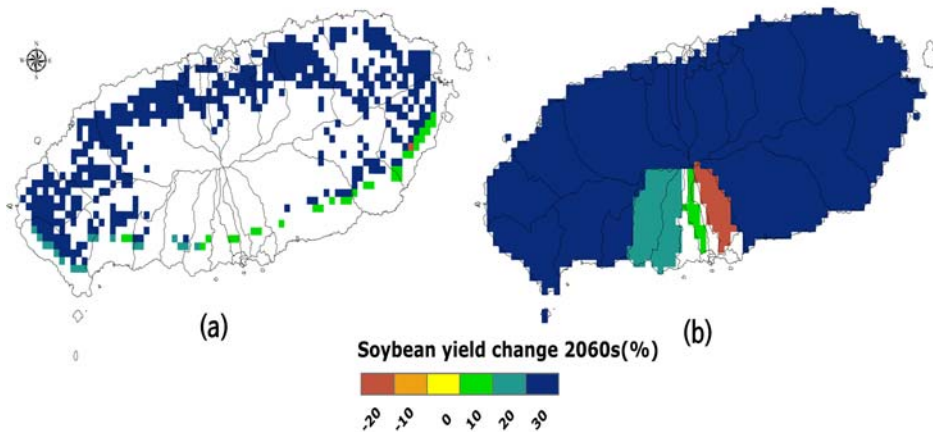
콩의 현재 생산량을 의미하는 기준선(Baseline)은 1.6t/ha이다. 기준선과 미래 추정치를 바탕으로 생산량 변화를 예측한 결과 2030년대에는 크게 증가하는 것으로 나타나고 연도별 격차는 크지만 기준선이 연도별 격차가 크게 나타나, 기준선보다 줄어든 결과를 볼 수 있다.〈그림 8, 11〉. 지역적으로 살펴보면, 동부에서 증가폭이 더 높게 나타났으나, 전반적으로 증가하는 경향을 보여 큰 의미는 없다. 서부에서는 전반적으로 20% 이상의 증가, 동부에서는 전반적으로 30%이상의 증가를 보여, 콩 생산에 청신호를 보이고 있다.



〈그림 8〉 RCP 8.5 시나리오에 따른 2030년대 제주지역 콩 생산량 변화 모의 결과  
(a: 제주 농업면적, b: 읍면동 단위)

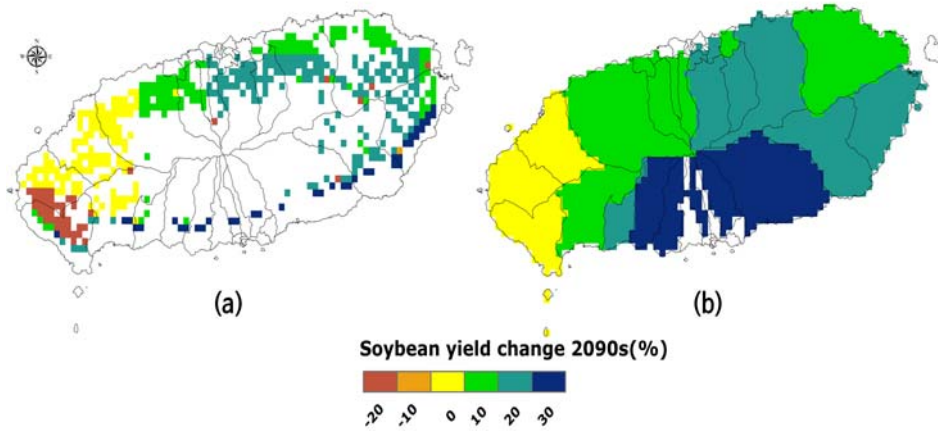


2060년대에서의 변화 예측 결과를 보면 2030년대에 이어 계속해서 생산량이 증가하고 있는 경향을 보이고 있다. 증가폭은 줄었지만, 기준선에 대한 변화율은 더 높게 나타난다. 2030년대에 이어 계속해서 상승곡선을 유지하고 있는 것으로 추정되며, 동부에 더 큰 증가를 보였던 2030년대와는 달리 서귀포 시내지역을 제외한 전역에서 큰 증가세를 보이고 있다(그림 9). 시내의 경우 농업면적이 좁아 큰 의미 있는 부분은 아니므로 제주도 전역에서 30% 이상 큰 폭으로 증가하는 경향으로 봐도 무방하다. 2030년대에 비해 연도별 격차도 감소하여 연간 생산량 유지에 안정화된 모습을 보이고 있다.



〈그림 9〉 RCP 8.5 시나리오에 따른 2060년대 제주지역 콩 생산량 변화 모의 결과  
(a: 제주 농업면적, b: 읍면동 단위)

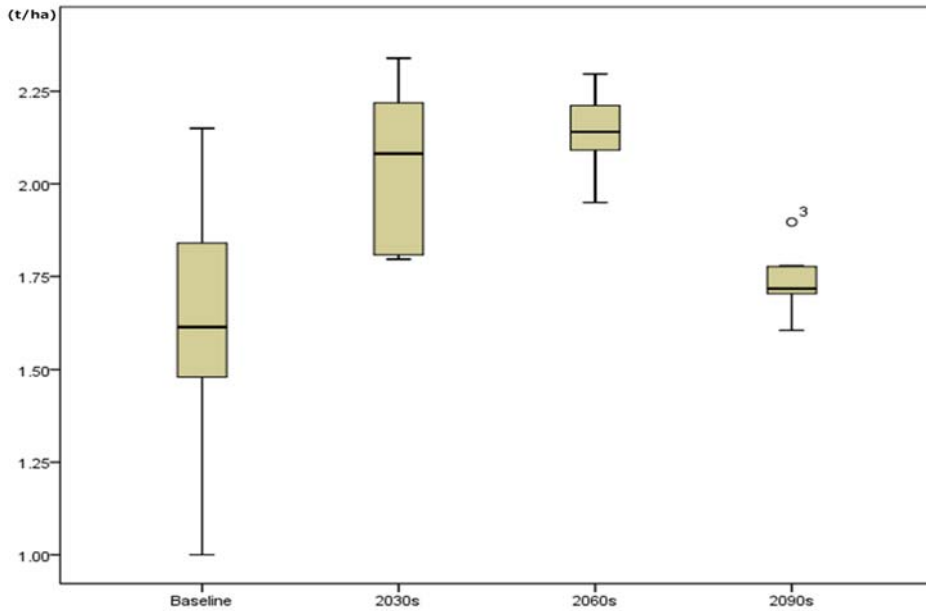
2090년대에서의 변화 예측 결과를 보면, 2060년대까지의 증가세가 감소세로 전환되는 모습을 볼 수 있다. 그렇지만 기준선에 비해서는 증가하는 수준을 나타내었고 지역별 편차가 생겨났다. 중부와 동부는 전반적으로 증가세를 보이는 반면, 서부는 유지와 감소의 경향을 보였고, 행정지역으로 보면, 서귀포지역 중부와 동부가 가장 높은 증가율을 나타냈다(그림 10). 연도별 격차의 경우 2030년대, 2060년대보다 감소하여 더욱 안정적인 양적 수준을 보였다.



〈그림 10〉 RCP 8.5 시나리오에 따른 2090년대 제주지역 콩 생산량 변화 모의 결과  
(a: 제주 농업면적, b: 읍면동 단위)

세 시점의 생산량 변화 예측결과에 대해 종합적으로 분석해보면, 전반적으로 기준선보다 증가할 것으로 예측되고 있으며, 동부가 서부보다 긍정적으로 나타나며, 한경면, 한림읍, 대정읍 등이 상대적으로 취약할 수 있는 지역으로 나타났다.

〈그림 11〉의 Box plot을 통해 기준선과 각 예측시기별 생산량 변화 추이를 보면, 2030년대에는 대폭 증가하다가 2060년대까지 증가세를 유지하였고, 2090년대에는 감소하기 시작하는 것으로 나타난다. 그럼에도 2090년대에 기준선보다 높은 생산량을 나타내고 있어, 기후변화 시대에 부정적 영향 보다는 긍정적 영향이 큰 작목으로 볼 수 있다. 보리의 결과와 마찬가지로 시간의 흐름에 따라 연간 변이 폭이 줄어드는 것은 작물 생육이 불균형 하였다가 점차 적응해 나가는 것으로 예상해 볼 수 있다.



〈그림 11〉 제주 콩 생산량의 기준선과 각 예측시기별 생산량 변화 추이

## V. 기후변화 적응정책으로 활용

### 1. 제주 기후변화 적응 세부 시행 계획

제주도는 환경부의 지침에 따라 2012년 “제주특별자치도 기후변화적응대책 세부시행 계획”을 수립한 바 있다. 이를 통해 각 분야별 세부시행계획과 중점추진분야가 수립·선정되었고 농업도 하나의 분야로서 포함되었다.

농업부문 세부시행계획에서의 우선순위 항목은 농경지 토양침식의 취약성, 감귤생산성의 취약성, 재배·사육시설 붕괴의 취약성, 가축 생산성의 취약성 등이 제시되었으며, 밭작물에 대한 내용은 제외되어있다. 우선순위에 기반한 농업부문 세부시행계획의 주요 사업은 다음과 같다(제주특별자치도, 2012).

- 농경지 토양침식 모니터링 및 중산간 농경지 지속농업 기반 구축
- 제주 비닐하우스 재배시설 내재해성 평가 및 보강 사업
- 밭작물 가뭄대책 매뉴얼 작성 및 급수능력 확충 사업
- 침입 외래병·해충 및 아열대성 돌발 병해충 모니터링 체계구축
- 실시간 농업 미기상정보에 기반한 농작물 병해충 예찰
- 기후변화 대응 감귤분야 사업 추진

농업부문 내 분야별 취약성에 분석에 따라 필요 사업들이 잘 마련되었다고 사료되나, 분야별 모형 연구를 통한 영향 예측과정이 생략된 점과 밭작물에 대한 비중이 적은 아쉬움이 있다. 본 연구에서는 두 가지 밭작물에 대해 모형 연구를 진행하였고, 이를 기후변화 적응 정책으로 활용하기 위해 작물별 정책안을 제시한다.

## 2. 기후변화 적응대책 : 보리

보리의 미래 생산량 예측 결과 2030년대에는 감소하였다가, 2060년대에는 증가, 2090년대에는 다시 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 변화한 기후시스템이 장기적으로는 보리생산에 부정적 영향을 미치나 특정 시점에서 보리생육에 적절한 기후로 나타나는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 경향을 가진 예측 결과에서 보리 생산의 기후변화 적응을 위해서는 다음과 같은 정책이 요구된다.

첫째, 2060년대까지 보리 생산면적 유지이다. 전국적인 맥주보리 생산량 감소에 제주의 총 보리 생산량은 감소세에 있지만, 제주맥주 ‘제스피’, ‘제주보리빵’ 등 보리와 관련된 제주 특화상품이 출현하여 주목을 받고 있는 현 시점에서 생산면적을 유지하는 것은 의미가 있다. 특히 쌀 생산이 거의 없는 제주의 경우 쌀보리의 생산면적을 유지하는 것은 지역단위 식량안보에 효과적인 방법이다. 2030년대 전후로 낮은 생산성을 보일 것으로 나타나지만, 정밀한 예측연구로 도내에서 높은 생산성을 유지하는 지역을 명확히 한다면, 생산성 저하로 인한 피해는 적을 것으로 예상된다. 그러나 2060년대 이후로는 보다 정밀한 예측연구로 생산량 변화 경향을 심도 있게 파악하여 재배 여부를 판단하여야 한다.

둘째, 새로운 시비·배수 방안의 마련이다. 평균기온이 높아지고, 강수패턴이 불확실할 것으로 예상되는 미래 제주기후에서 보리의 생산은 물관리와 적절한 비료사용에 달려있다. 예상치 못한 겨울철 강수에 대비할 배수시스템 확충과 습해 혹은 건해에 따른 생육 저하를 극복할 시비 방법의 개발이 요구된다.

### 3. 기후변화 적응대책 : 콩

콩의 미래 생산량 예측 결과 2030년대에 큰 폭으로 증가하였다가, 2060년대까지 증가세를 유지하고, 2090년대에는 감소세로 돌아서서 현재와 비슷한 생산조건을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 변화한 기후시스템이 단기·중기적으로는 콩 생산에 긍정적 영향을 미치나 먼 미래에서는 부정적으로 변화할 가능성이 높은 것으로 이해할 수 있다. 이러한 경향을 가진 예측 결과에서 콩 생산의 기후변화 적응을 위해서는 다음과 같은 정책이 요구된다.

첫째, 콩 산업의 확충이다. 미래 생산량 예측에서 향후 수십 년간 긍정적인 것으로 예상되는 콩의 미래는 밝다. 최근 등장한 ‘삼다두유’는 토종 제주콩과 제주의 맑은 물을 사용한다는 산뜻한 조화로 많은 가정에 이슈가 되고 있다. 또한 유전자변형식품(GMO)에 대한 사회적 불안으로 수입산 콩에 대해 신뢰가 떨어지고 있는 것도 사실이다. 이러한 동향은 제주 콩 생산 증대와 산업 확충을 뒷받침 할 수 있는 부분이다. 그러나 아직까지 제주의 콩 산업 인프라는 선진화되어있지 못해 농협 수매나 영세사업으로 유지되고 있다(고성보와 현창석, 2010). 생산성과 시장성에서 우위에 있을 것으로 예상되는 콩 산업의 미래는 산업 인프라의 구축과 재배면적 확대를 통해 성장 할 수 있을 것이다.

둘째, 재배기간·재배방법의 지속적인 개선이다. 콩은 초여름 파종하는 여름작물로서, 봄에 수확하는 작물과 이모작을 실시하면 재배기간의 선정이 상당히 중요하다. 기후변화로 인한 평균기온의 상승은 파종시기와 재배기간을 변화시킬 것이며, 여름철 증가할 호우는 습해를 유발할 수 있다. 미래 생산량 예측에서 수십 년간 긍정적인 것으로 나타났지만, 여기에는 생육일수 자료만 활용되었고, 재배기간에 대한 정보는 없이 예측되었으므로, 최적의 재배기간은 재차 파악하여야 한다.

## VI. 결론

기후변화의 영향을 예측하고 이에 적응하는 과정은 기후변화가 당면한 현 시점에서는 필수불가결한 사항이다. 본 연구에서는 작물모형을 통해 제주 농업 중 보리와 콩을 대상으로 기후변화의 영향을 예측하였고, 이를 정책으로 적용할 수 있는 몇 가지 안을 제시하였다.

보리와 콩의 기후변화 영향 예측을 통해 발견한 사항으로 먼저 보리의 경우 단기적으로 감소하는 경향을 보였으나, 점차 생산량이 증가했다가 먼 미래에 다시 감소하는 경향을 보인다. 콩의 경우 2060년대까지 지속적으로 생산량이 증가세를 보이다가 일정 시점에서 감소하는 경향으로 전환될 것으로 예상되었다. 이를 바탕으로 제시한 적응 정책으로는 ‘2060년대까지 보리 생산면적 유지’, ‘새로운 시비·배수 방안의 마련’, ‘콩 산업의 확충’, ‘재배기간·재배방법의 지속적인 개선’ 등이다.

본 연구에서 범위로 정한 보리와 콩의 경우 미래 생산량에 있어 긍정적인 예측결과가 많아 기후변화가 제주 농업의 기회가 될 수 있음을 다시 한 번 보여주었다. 기후변화의 적응이란 부정적 상황에 따라 수동적으로 움직이는 것뿐만 아니라, 긍정적 상황을 예측하여 유리한 고지를 선점하는 것 또한 포함된다. 이러한 개념에 따라, 국내 기후변화의 최전선에 있는 제주 농업은 작목별 긍정 혹은 부정적인 영향을 파악하여 기후변화에 대한 적응을 추진해 나가야 할 것이다. 이를 위해서는 작목별 모형 연구를 통해 섬세한 기후변화 영향 예측이 시행되어야 하며, 영향 예측에 근거하여 각각의 적응 모델을 개발해야 한다.

다만 금번 연구에서 수행한 변화 예측은 기상시나리오에 기반한 불확실성을 내재할 수밖에 없으므로 정확한 양 보다는 경향으로 이해해야하며, 병충해를 비롯한 재해와 사회여건 변화 등이 포함되지 못하였으므로, 이에 따른 불확실성도 가질 수 있다. 또한 적응대책을 제시하는 과정에서 세부적인 안을 제시하지 못한 아쉬움도 있다. 이러한 한계에도 모형 연구를 통해 제주의 미래 농업 생산량을 예측해 본 것은 기후변화의 영향 예측과 적응에 있어 큰 의미가 있다. 분명한 것은 앞으로 기후변화를 비롯한 미래연구에서 모형과 정책결정의 관계는 더욱 긴밀할 것이다.

## [참고문헌]

- 강진영, 정휘철, 김병선(2014), “RCP 8.5 기후변화 시나리오에 따른 제주지역 취약성 평가”, 『제주발전연구원 기본연구』 2014-14
- 고성보, 현창석(2010) “제주 콩 클러스터 구축 방안에 관한 연구” 『한국산학기술학회 논문지』 제11권 제10호, pp.3740~3746
- 김문일, 이우균, Cui Guishan, Yu Hangnan, 최솔이, 김창길(2014), “미래 기후변화 시나리오에 따른 우리나라 소나무 임분의 재적 추정”, 『한국임학회지』 103권 1호, pp.105~112.
- 명수정, 심창섭, 정휘철, 황선훈(2013), “기후변화 적응정책 이행의 효과성 제고 방안”, 『한국환경정책평가연구원 연구보고서』 2013-18
- 송성호, 유승환, 배승중(2013), “기후변화를 고려한 제주지역의 권역별 가뭄 평가 및 농업수예의 영향 고찰”, 『한국환경과학회지』 제22권 제5호, pp.
- 송용호, 임철희, 이우균, 엄기철, 최솔이, 이은정, 김은지(2014), “기후변화 대응을 위한 주요 작물모델의 국내 적용성 분석”, 『한국기후변화학회지』, 제5권 2호, pp.109~125
- 심교문, 이덕배, 민성현, 김건엽, 정현철, 이슬비, 강기경(2011) “A1B 기후변화시나리오에 따른 미래 겉보리 잠재생산성 변화 예측”, 『한국기후변화학회지』, 제2권 4호, pp.317~331.
- 이충근, 김준환, 손지영, 양운호, 윤영환, 최경진, 김광수(2012) “생육모의 연구에 의한 한반도에서의 기후변화에 따른 벼 생산성 및 적응기술 평가”, 『한국농림기상학회지』 제14권 제4호, pp.207~221
- 임철희(2013), “기후변화에 대응한 제주농업의 기회와 도전”, 『제주발전연구』, 제17호 pp.23~48
- 제주지방기상청(2011), 『지역기후변화보고서』, 제주지방기상청
- 제주특별자치도(2012), 『제주특별자치도 기후변화적응대책 세부시행계획』, 제주특별자치도

- BREC(1990), Potential Heat Units Program. Blackland Research and Extension Centre. <<http://swatmodel.tamu.edu/>>.
- Choi S, Lee WK, Kwak DA, Lee S, Son Y, Lim JH, Saborowski J(2011), Predicting forest cover changes in future climate using hydrological and thermal indices in South Korea, *Climate Research*, Vol. 49, pp.229–245.
- FAO, IIASA, ISRIC, ISS-CAS, JRC(2012) Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
- Fischer G. van Velthuizen H, Shah M, and Nachtergaele FO(2002), Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: methodology and result, International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, pp.65–103.
- Hammer G.L, Kropff MJ, Sinclair TR, Porter JR(2002), Future contributions of crop modeling—from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement, *European Journal of Agronomy*, Vol. 18, pp.15–31.
- IPCC(2007), Climate change 2007 : the physical science basis. In Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL, eds, Contribution of Working Group I to the Fourth Annual Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press,
- IPCC(2013), Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report climate change 2013: The physical science basis.
- 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.
- Liu J, Williams JR, Zehnder AJB, Yang H(2007), GEPIC—modelling wheat yield and



crop water productivity with high resolution on a global scale, *Agricultural Systems*, Vol. 94, pp.478-493.

Rosenzweig C, Elliott J, Deryng D, Ruane AC, Müller C, Arneth A, Boote KJ, Folberth C, Glotter ML, Khabarov N, Neumann K, Piontek F, Pugh TAM, Schmid E, Stehfest E, Yang H, Jones JW(2013), Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison, *PNAS*, Vol. 111, pp.3268-3273.

Semenov MA, Stratonovitch P(2010), Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *Climatic Research*, Vol. 41, pp.1-14.

Williams JR, Jones CA, Dyke PT(1984), A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity, *Transactions of the ASABE*, Vol. 27, pp.129-144.

<http://www.kosis.kr>(국가통계포털)