



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사학위논문

극한기상현상이
유기농과 관행농 토마토 단수에
미치는 영향 비교 분석

2016 년 2 월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과

박 상 준

극한기상현상이
유기농과 관행농 토마토 단수에
미치는 영향 비교 분석

지도교수 홍 종 호

이 논문을 도시계획학 석사학위논문으로 제출함
2015 년 10 월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과
박 상 준

박상준의 석사학위논문을 인준함
2015 년 12 월

위 원 장 이 도 원 (인)

부위원장 김 관 수 (인)

위 원 홍 종 호 (인)

국문초록

기후변화로 인한 극한기상현상의 증가는 농업의 평균적인 단수의 감소와 단수 변동성의 증가를 야기할 것으로 전망되고 있으며 이는 식량안보를 위협하는 요인이다. 한편 이와 관련하여 유기농법의 기후변화 적응 잠재력에 대한 논의가 있어왔지만 이에 대한 실증적인 연구는 충분하지 않았다. 따라서 본 연구는 유기농과 관행농 토마토의 단수가 극한기상현상에 대해 각각 얼마나 민감하게 영향을 받는지를 비교 분석하여, 보다 안정적인 생산을 가능하게 하는 농법을 밝혀내고자 하였다. 이를 위해 미국 캘리포니아 UC Davis의 실험농장에서 1994년부터 2012년까지 재배된 관행농과 유기농 토마토의 단수 자료와 해당 지역의 기상자료를 분위회귀분석을 이용하여 살펴보았다. 극한기상현상을 정의하는 다양한 기준에 근거하여 기상재해, 극한기온 등 더미변수와 연간저온일수, 연간고온일수 등 양적변수를 극한기상현상 변수로 도출하였고, 이를 분석 모형에 반영하였다.

관행농 토마토의 단수 변동성이 유기농 토마토보다 큰 것으로 나타났다. 또한 기상재해, 연간고온일수, 연간저온일수 등의 극한기상현상 변수들이 관행농 토마토 단수의 아래쪽 분위에 미치는 부정적인 영향이 유의미하게 나타났다. 반면 유기농에서는 극한기상현상 변수들에 의한 유의미한 영향이 나타나지 않았다. 결론적으로 극한기상현상이 유기농 토마토에 미치는 영향이 관행농에 비해 적으며, 따라서 유기농 토마토가 더 안정적으로 생산됨을 확인하였다. 이는 토마토 생산에 있어서 관행농보다 유기농이 더 큰 기후변화 적응 잠재력을 가짐을 시사한다. 그리고 관행농에서 극한기상현상에 의한 하방 위험이 확인되었으며, 이는 극한기상현상이 토마토 생산에 미치는 위험이 각 농법에 따라 구분되어 평가되어야 함을 시사한다.

주요어 : 극한기상현상, 기상이변, 유기농, 관행농, 단수 변동성,

분위회귀분석, 기후변화 적응, 농법

학 번 : 2014-24032

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 배경과 목적	1
2. 연구의 범위	3
3. 연구의 방법	4
II. 선행 연구 검토	5
1. 기후변화의 농업에 대한 영향	5
2. 기후변화 적응과 유기농	8
3. 유기농과 관행농 비교 연구	10
III. 분석 자료와 방법	12
1. 분석 자료	12
1) 연구 대상	12
2) 연구 자료	14
2. 극한기상현상의 도출	16
3. 분석 방법	20
IV. 분석 결과	25
1. 유기농과 관행농 토마토 단수의 분포 특성	25
2. 분위회귀 분석 결과	27
V. 결론	32
참고문헌	36

표 목 차

<표 1> 토마토 경작 시스템	13
<표 2> 기초통계량	15
<표 3> 극한기상현상 변수	16
<표 4> 주요 기상사건 (1994~2012, 4월~10월 발생)	17
<표 5> 변수의 정의	22
<표 6> 유기농 vs. 관행농 연평균 단수 특성 비교	25
<표 7> 분위회귀분석결과 (모형 1, 극한기온 더미변수, 종속변수: 관행농 단수)	27
<표 8> 분위회귀분석결과 (모형 2, 극한기온 더미변수, 종속변수: 유기농 단수)	28
<표 9> 분위회귀분석결과 (모형 3, 연간저온/고온일수, 종속변수: 관행농 단수)	29
<표 10> 분위회귀분석결과 (모형 4, 연간저온/고온일수, 종속변수: 유기농 단수)	30

그림 목 차

<그림 1> 단수의 연간 변화	25
<그림 2> 관행농과 유기농 단수의 Box Plot	26

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

농업은 기후변화에 가장 취약한 분야이다. 인간에 의해 발생한 기후변화와 기후변동성의 영향으로 기온이 평균적으로 상승하고 있음과 동시에 극한기상의 발생 빈도와 강도가 강해지고 있고, 그 영향으로 농업의 향후 평균적인 단수¹⁾가 감소함은 물론, 그 단수의 변동성이 증가할 것으로 전망되고 있다(Porter et al., 2014).

특히 단수의 변동성은 극한기상의 증가에 의해 더욱 커지는 것으로 나타났다. 이러한 단수의 변동성은 세계 식량 시장에서의 공급의 변동성을 유발하여 세계 식량안보에 심각한 위협이 된다. 이와 같은 현상은 과거 2007-08년과 2010-11년의 식량위기가 주요 농업국의 생산량의 감소와 자국의 식량안보를 우선시한 각국의 조치 등 세계 식량체계의 구조적인 문제와 맞물려 발생한 것과 같이 이미 나타나고 있는 현실이다.

그러나 기후변화에 대한 농업 부문의 영향에 있어서 이와 같은 단수 변동성의 중요성에도 불구하고, 많은 연구들이 변동성을 고려하지 못하였다(Porter et al., 2014). 따라서 기후변화가 식량안보에 미치는 위협적인 영향을 줄이기 위해 단수 변동성에 대한 관심이 보다 필요하며, 또한 보다 극한기상에 덜 민감한 농업생산방식에 대한 관심이 필요하다.

한편, 유기농은 관행농보다 탄소고정 능력이 우월하고 온실가스 배출을 줄여 기후변화 완화의 잠재력이 큰 것으로 알려져 있다(Müller, 2009; Scialabba&Müller-Lindenlauf, 2010). 따라서 환경적 측면에서의 농업의 지속가능성을 고려할 때에는 유기농이 적절한 대안이 될 수 있으나, 과연 유기농이 지속가능성의 경제적 측면, 더 구체적으로는 생산의 측면에서도 관행농에 비해 적절한 대안인지는 알려진 바가 많지 않다.

1) 단수(yield)는 농경제학용어로 단위면적당 생산량을 의미한다.

Borrón(2006)과 Müller(2009)에 의하면 유기농은 농업생태계의 회복탄력성, 생물다양성, 경관의 건강한 관리, 강한 공동체 지식 프로세스 등을 촉진함으로써 농장들의 적응 역량을 강화하고, 극한기상에 대한 대응능력 또한 갖추고 있는 것으로 평가되나, 이에 대해 관행농과의 실증적인 비교 연구는 찾아보기 힘들다. 지금까지의 유기농과 관행농의 비교 연구는 주로 생산성과 수익성 등에 대한 비교 연구들이며 이를 극한기상현상에 대한 반응 또는 적응의 측면에서 비교한 사례는 많지 않다.

따라서 본 연구는 유기농과 관행농 농법의 단수가 극한기상현상에 대해 각각 얼마나 민감하게 영향을 받는지를 분석하여, 결론적으로 어떤 농법이 식량안보의 측면에서 보다 안정적인 생산을 가능하게 하는 지속가능한 농법인지를 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구는 미국 캘리포니아 UC Davis의 실험농장인 Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility를 연구 대상지로 하며, 이곳에서 유기농과 관행농을 통해 재배된 토마토의 단수를 주로 분석한다. 시간적 범위는 1994년부터 2012년까지를 연구의 대상으로 한다. 그리고 토마토의 재배시기를 고려하여 매년 4월부터 10월까지를 대상기간으로 본다.

Russel Ranch 농장은 미국 캘리포니아 주의 Yolo County에 위치하고 있으며, 이 지역은 연중 일조량이 풍부한 온화한 기후를 갖고 있다. 여름은 따뜻하고 건조하며, 겨울(11월에서 2월까지)은 우기에 해당하여 연 강수량의 절반이 이 시기에 내린다. 경작시기에 해당하는 4월에서 10월 사이의 월평균누적강수량은 약 14mm에 불과하다. 이 때문에 해당 농장의 토마토 경작은 관개로 이루어지고 있으며, 따라서 강수량은 연구에서 고려하지 않는다.

3. 연구의 방법

유기농과 관행농 토마토의 단수가 극한기상현상에 얼마나 민감한지, 또한 농법이 어떤 극한기상현상 변수에 더 민감한지를 파악하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

이를 위해 우선 극한기상현상을 정의하고 연구에 적합한 극한기상현상의 변수를 도출한다. 극한기상현상에 대한 엄밀한 정의가 존재하지 않기 때문에 적절한 극한기상의 변수를 도출하는 데 어려움이 있다 (Stephenson et al., 2008). 그러나 통상 통계적 확률에 근거하거나 특정 기준 값을 근거로, 또는 현저한 물리적인 영향 등을 기준으로 정의된다. 본 연구에서는 이러한 극한현상을 다양한 측면에서 모델에 반영해보고자 세 가지의 기준으로 극한현상의 변수를 도출한다.

위에서 도출된 극한기상현상 변수를 포함하여 분석 모델을 구성하고, 이에 대해 분위회귀(Quantile Regression)를 실시한다. $\tau=\{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$ 에 대한 분위회귀분석을 통해 극한기상 변수가 어떤 분위에서 어떤 영향을 미치고, 그것이 분위별로 어떻게 다르게 나타나는지를 살펴본다. 특히, 이론적 배경에 비추어 아래쪽 분위, 즉 $\tau=\{0.1, 0.3\}$ 에 대한 극한기상변수의 영향을 분석함으로써 실제로 극한기상이 수확량에 얼마나 유의미한 영향을 미치는지, 그리고 그것이 유기농과 관행농의 농법에 따라 어떻게 다르게 나타나는지 확인할 수 있을 것이다. 분위회귀분석을 통해 얻은 결과는 단수 분포의 아래쪽 꼬리(lower tail)에 대한 영향만을 따로 확인할 수 있기 때문에, 단순히 변동성만을 분석하는 것보다 극한기상현상의 토마토 단수에 대한 하방위험을 직접적으로 확인할 수 있을 것이다.

Ⅱ. 선행 연구의 고찰

1. 기후변화의 농업에 대한 영향

농업은 근본적으로 재배환경에 크게 의존하기 때문에 기후변화로 인한 영향에 가장 취약한 분야로 손꼽힌다. 특히 기후가 농업에 미치는 영향은 식량안보와 직결될 수 있는 문제이다. 2007-08년과 2010-11년에 발생한 식량위기는 이상기후로 인한 주요 생산국의 수확량의 감소와 세계 식량 시스템의 구조적 문제가 결합되어 발생하였으며, 기상에 의한 생산량의 변동이 얼마나 위험한 결과를 가져올 수 있는지를 보여줬다. 이러한 중요성으로 인해 농업부문에 대한 기후변화 영향에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

Porter et al.(2014)에 의하면 앞으로 2°C나 그 이상 온도가 증가할 경우, 일부 혜택을 받는 지역을 제외하면 대부분의 열대와 온대의 식량작물 생산이 부정적인 영향을 받는다. 2050년 이후에는 그 영향이 보다 심각할 위험이 있으며, 특히 저위도지역은 이러한 부정적인 영향을 지속적으로 받는 것으로 나타났다.

기후변화로 인한 농업에의 부정적인 영향은 평균적인 온도 상승뿐만 아니라 기후변동성과 극한기상을 통해서도 드러난다. 극한기상들은 특히 단수의 변동성을 증가시키고, 이러한 단수 변동성의 증가는 식량안보에 부정적인 영향을 미치며, 특히 최근의 식량위기에서와 같은 식량가격의 변동성을 증가시킨다. 이와 같은 극한기상은 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 나타났으며(IPCC, 2012), 평균적인 단수는 감소하고 단수의 변동성은 증가하여 미래의 식량안보가 부정적인 영향을 받을 것으로 전망되었다.

극한기상현상은 첫째로 농작물의 재배시기에 혼란을 주고, 둘째로 생장 중인 작물에 직접 해를 끼치며, 셋째로 병해충의 발생을 유도하는 날씨를 가져옴으로써 농업에 직접적인 해를 끼치게 된다. 게다가 기상재해로 인해

농업용 기반시설의 파괴될 경우 이는 간접적으로 농사를 어렵게 하고, 폭우 등은 표토의 양분을 유실시켜 비옥도를 감소시키기도 한다(국가농림기상센터). 이와 같이 농업 생산에 영향을 미치는 극한기상들로는 폭우(Rosenzweig et al., 2002), 서리(IPCC, 2012; Zwiers et al., 2011) 열대야, 폭염, 가뭄, 태풍(Porter et al., 2014) 등이 지적되고 있다.

위에서 살펴본 Porter et al.(2014)의 주요 결과에 의하면, 단수의 변동성이 기후변화와 식량안보 사이의 중요한 변수로써 작용함을 알 수 있다. 극한기상은 단기적으로는 한 해의 단수에만 직접 영향을 미치지만, 기후변동성의 증가와 극한기상의 발생의 증가 추세는 장기적으로 단수의 변동성을 증가시킨다. 그리고 이러한 단수의 변동성의 증가는 세계 식량 시장의 위험요소로 작용하여 식량안보를 위협한다. 그러나 이와 같은 단수 변동성의 중요성에도 불구하고 많은 연구들이 변동성을 검토하지 않거나 기록하지 않고 있으며, 보다 많은 관심이 요구되고 있다(Porter et al., 2014).

기후변화가 작물 생산성에 미치는 영향을 다루는 연구들에는 작물 시뮬레이션이나 계량경제학적인 연구, 직접 실험을 통해 분석하는 자연과학적인 연구 등이 있다. 시뮬레이션 연구로는, Semenov&Porter(1995)는 기후 변동성을 포함한 밀의 수확량 시뮬레이션 모델을 제시한 바 있으며, 국내에서는 심교문 외(2011)가 CERES-Barley를 이용해 기후변화 시나리오 별로 향후 겉보리 잠재생산성의 변화를 예측하였다.

실험을 통한 연구는 주로 장기간동안 실험 농장에서 성장에 영향을 미치는 조건들을 통제하여 단수와 그 변동성을 분석하는 연구들이다. Smith, et al.(2007)의 경우 유기농과 관행농 등 4가지 농법의 약 18년에 걸친 단수 변동성을 분석하고 있으며, 실험 결과인 단수의 CV(Coefficient of Variation)를 통해 변동성을 평가했다. Lotter et al.(2003)은 극한기상에 대한 작물 수확량 영향에 대한 유기농과 관행농의 21년에 걸친 비교연구를 실험을 통해 실시하였으며, 이 논문에서는 단수를 직접 비교하고 변동성을 따로 평가하지는 않았다.

마지막으로 계량경제학적인 접근은, 작물 단수와 기후 데이터를 토대로

기후변수가 작물 단수에 미치는 영향을 계량경제학모형을 통해 분석하는 방법이다.

계량경제학적 이론에 따라 다양한 모형과 방법들이 존재하며, 그 중 모형에서 직접적으로 기후변수가 단수와 단수의 변동성에 미치는 영향을 분석하는 연구로는 Kim&Pang(2009), 조현경·권오상(2014)이 있다. 국내에서는 자료의 제약으로 인해 주로 쌀(논벼)을 대상으로 연구가 이루어지고 있다(조현경·권오상, 2014). 해당 연구들은 Just&Pope(1978)의 함수를 논벼의 단수와 기후변수에 대해 추정한 후, 그로부터 평균 단수와 단수의 변동성에 대한 기후변수의 영향을 동시에 분석하였다. 특히 조현경·권오상(2014)은 해당 모델에 기상이변 더미변수를 고려하여 단수의 평균과 변동성에 미치는 영향을 분석했다. 그 결과 유의미하게 기상이변이 평균 단수를 낮추는 것으로 확인되었으나 변동성에는 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다. 그러나 기상이변, 즉 극한기상의 농업 생산성에 대한 부정적인 영향을 고려할 때, 변동성이 가장 적절한 분석의 대상인지 논의할 필요가 있다. 변동성의 증가는 반드시 단수의 부정적인 반응을 의미하지는 않기 때문이다. 즉, 단수가 급격히 증가한 경우에도 단수의 변동성이 커지게 되는데, 이러한 단수의 변화는 더 많은 식량을 의미하므로 부정적인 영향으로 해석될 수 없다. 따라서 종속변수의 변동성이 증가하는 결과를 얻는다고 해도 반드시 그것이 부정적인 영향으로 나타난 것인지는 확신할 수 없다.

또 다른 방법인 분위회귀(Quantile Regression)를 이용하면, 종속변수의 분포의 특정 방향으로 영향을 미치는 변수를 보다 분석하기 용이하다. Koenker&Bassett(1978)이 제안한 분위회귀(Quantile Regression)의 장점 중 하나는 종속변수의 분위에 따른 설명변수들의 영향의 변화 양상을 확인할 수 있다는 것이다. 특히 분위에 따른 차이를 비교할 수 있기 때문에, 종속변수 분포의 아래쪽 꼬리에 영향을 미치는 요인을 확인함으로써 종속변수에 대한 하방위험을 확인할 수 있다(Kim et al., 2014). Barnwal&Kotani(2010), Barnwal&Kotani(2013) 등은 분위회귀를 이용하여 인도의 쌀 단수가 기후 요소들에 어떤 영향을 받는지 연구하였다.

2. 기후변화 적응과 유기농

기후변화에 대한 대응하기 위한 수단으로써의 유기농에 대한 논의는 주로 기후변화 완화에 기여하는 측면에 관심이 모아져 있었다. 유기농은 관행농에 비해 토양 탄소 고정능력이 뛰어나고, 토양으로부터 N_2O 의 배출을 줄이며, 보다 덜 에너지 집약적이기 때문에 기후변화를 강화하는 관행농과 달리 기후변화 완화에 대한 잠재력이 높은 농업 방식으로 평가되고 있다 (Müller, 2009; Scialabba&Müller-Lindenlauf, 2010).

그러나 기후변화 완화를 위한 수단이 반드시 기후변화 적응의 수단으로써 적합한 것은 아니다. 기후변화 완화와 적응을 위한 수단들은 서로 시너지를 일으키기도 하지만 반대로 각각의 효과를 상쇄하는 상호관계에 있을 수 있다. 따라서 기후변화 대응에 있어서 완화와 적응의 조화가 필요하다 (고재경·김희선, 2013). 이러한 관점의 연장선에서, 기후변화 완화의 잠재력이 큰 유기농이 기후변화 적응의 측면에서도 잠재력을 갖고 있는지를 확인할 필요가 있다.

그러나 기후변화 적응의 측면에서의 유기농에 대한 관심은 완화보다 상대적으로 적다. 기후변화에 대한 농업분야의 적응의 가장 중요한 목표중 하나는 식량안보를 확보하고 위험을 경감하는 것이다. 따라서 유기농업과 관행농업 중 어떤 농법이 기후변화에 대해 더 안정적인 농업 생산을 할 수 있는지를 확인함으로써 적응에 적합한 농법을 확인할 수 있다. 보다 구체적으로는 어떤 농법이 기후변화로 인한 위험 또는 자극에 더 민감도²⁾가 높은지를 확인함으로써 기후변화 적응의 측면에서 평가 할 수 있다.

2) 기후변화 적응에 관한 개념으로써의 민감도(sensitivity)는, 어떤 시스템이 기후 자극에 대해 영향을 받거나 반응하는 정도로 정의된다. 이때, 영향, 혹은 반응은 반드시 부정적인 것만을 의미하는 것이 아니며 기후 자극, 변화로부터 얻을 수 있는 이익에 대한 반응 정도를 의미할 수도 있다(Smit et al., 1999). 그러나 앞서 논의했듯이 극한기상현상은 농업에 부정적인 영향을 초래한다. 따라서 본 논문에서는 극한기상현상이라는 자극에 보다 덜 민감한 농업 시스템이 더 적응에 적합한 농법이라고 가정한다.

Müller(2009)의 유기농의 기후변화 적응 측면에 관한 연구에 의하면, 유기농은 토양 침식을 막고 토양 유기물질을 증가시켜 관행농보다 물을 가뭄내는 기능이 뛰어나다. 따라서 가뭄, 홍수, 침수 등 극한 기상 조건에 덜 취약하며 기후변화의 주요 결과인 폭우, 가뭄 등 증가하는 극한 기상 현상에 대응할 수 있다. 또한 유기농은 농업인의 취약성을 감소시키는데 이는 1) 다양한 경작 시스템으로 구성되어 있기 때문에 수입원의 다양성이 확보되며 기후변화와 기후 변동성의 부정적 영향에 유연하게 대처할 수 있게 하고, 2) 유기농은 투입 비용이 적은 low-risk 농업 전략이며, 따라서 기후변화나 극한 기상조건에 의한 흉작의 리스크가 낮기 때문이다. 따라서 농장의 대응 역량은 증가하고 부채의 위험은 낮아진다.

Borron(2006) 또한, 유기농이 농업생태계의 회복탄력성, 생물다양성, 경관의 건강한 관리, 강한 공동체 지식 프로세스 등을 촉진하며, 이를 통해 변화에 더 잘 대응할 수 있게 되고, 농장들의 적응 역량이 강화된다고 한다. Scialabba&Müller-Lindenlauf(2010)는 유기농이 농장의 다양화와 토양 유기물의 증가를 통해 식량시스템의 불확실성에 대한 회복탄력성을 증가하도록 한다고 하였다.

반면 관행농에 관련해서 강기경·심교문(2012)에 의하면, 일반적으로 규모화 되고 상업화된 곡물 생산은 급격한 기상이변에 민감하여 생산이 불안정하다. 작물 생산성의 증대가 비료, 농약 등 투입요소의 증가에 비례하긴 하지만, 환경변화에 대한 민감도 또한 투입의 증가에 비례하는 경향이 있기 때문이라고 밝히고 있다. 이것은 관행농이 저투입 농법에 비해 기후변화로 인한 극한기상에 더 취약할 수 있음을 시사한다.

3. 유기농과 관행농 비교 연구

유기농과 관행농의 농업 생산성의 비교연구들은 대부분 특정 대상지의 장기간에 걸친 데이터를 토대로 하고 있다. 그리고 농가의 소득, 생산성, 생산비, 생산기술 등 농가경제에 관련된 연구들이나 농민의 위험(risk)에 대한 태도에 대한 연구들이 주를 이룬다. 극한기상에 대한 유기농과 관행농에 대한 단수의 비교 연구는 Lotter et al.(2003)이외의 연구를 찾기가 힘들고, 국내에는 전무한 것으로 파악된다. 또한 유기농과 관행농을 장기간 비교한 연구도 찾을 수 없었다.

본 연구가 보고자하는 바와 같이, 극한기상현상이 유기농과 관행농의 단수에 미치는 영향의 차이를 확인하기 위해서는 장기에 걸친 유기농과 관행농의 비교가 필수적이다. 따라서 주로 장기적인 비교 연구들을 검토하였다.

Seufert et al.(2012)은 유기농과 관행농 생산성을 메타분석을 통해 비교하고 있다. 이에 따르면 유기농이 관행농보다 대부분 적은 수확량을 보였으며 (평균 유기농/관행농 수확 비율 0.75), 최저 5%에서 최고 34% 적은 수확량을 보였다. 따라서 유기농업의 생산성이 관행농에 비해 일반적으로 낮음을 알 수 있다.

Gardebreek et al.(2010)의 경우, Just&Pope(1978)의 계량경제학적 모델을 이용하여 관행농과 유기농을 비교 연구하였다. 해당 연구는 유기농과 관행농의 생산기술요소에 의한 리스크가 생산성 변동성에 미치는 영향을 비교하였다. 이 연구의 경우, 유기농과 관행농 여부를 생산기술 등 독립변수로 취급하지 않고, 유기농과 관행농 각각에 대한 패널데이터 분석 결과를 직접 비교하는 방식으로 연구가 진행되었다.

Smith et al.(2007)은 관행농, 무경운, 저투입, 유기농 등 4가지 농법의 생산성과 생산성 변동성을 장기간의 실험을 통해 비교 연구하고 있다. 연구 결과 유기농(콩을 이용한 질소고정 이외의 비료투입은 없도록 설정)의 생산성이 가장 낮고 변동성(CV, Coefficient of Variation)이 가장 큰 것

으로 나타났다. 그러나 이 결과는 극한기상에 의한 변동성에의 영향을 따로 분석하고 있지 않으며, 특정 변수에 대한 영향이 아닌, 종속변수(단수)의 통계적 특성으로써의 CV만을 통해 변동성을 비교하고 있다.

Lotter et al.(2003)은 위의 연구와 마찬가지로 장기간에 걸친 실험연구 자료에 기초하고 있다. 극한기상에 대한 옥수수과 대두의 21년간의 단수를 유기농과 관행농에 대해 비교하고 있다. 3가지 농법(콩을 이용한 유기농, 거름을 이용한 유기농, 관행농)과 2가지 작물(옥수수, 대두)에 대한 총 6가지 조합에 대해 경작 과정을 통제하여 실험하였으며, 가뭄과 폭우 시 수확을 비교하였다. 가뭄 시, 대부분의 경우 유기농이 관행농보다 많은 수확을 기록했으며, 유기농이 전반적으로 관행농에 비해 물을 흡수하고 저장하는 기능이 뛰어나 극한기상에 덜 민감한 것으로 나타났다. 그러나 해당 논문은 극한기상현상을 가뭄에 국한하고 있어 다른 극한현상에 의한 차이는 확인할 수 없다.

Ⅲ. 분석 자료와 방법

1. 분석 자료

연구 대상지와 자료 선정 시 가장 중요하게 고려한 것은 시계열의 길이와 관측치의 수이다. 국내에서는 유기농의 수확량 국가통계가 없으며, 본 연구 대상과 같은 장기간에 걸친 농법간의 비교 실험도 찾을 수 없었다. 따라서 유기농산물의 생산과 연구가 활발한 미국의 자료를 찾아보았으나, 미국의 경우에도 유기농 생산량에 대한 자료는 국가 통계로 축적되어있지 않았다. 단, 몇 개의 대학에서 유기농과 관행농, 저투입 농법 등 농법들을 장기간에 걸친 실험을 통해 연구하고 있었으며, 본 연구의 대상지인 Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility는 그 중에서도 가장 오랫동안 데이터를 축적해온 기관 중 하나이다.

1) 연구 대상

연구 대상지인 Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility는 미국 캘리포니아의 UC Davis의 실험농장으로, 해당 농장에서는 1993년부터 Century Experiment라는 장기연구를 진행 중이다. 10개의 2개년 순환 경작 시스템(옥수수/토마토, 밀/토마토, 밀/휴경, 밀/콩에 대해 유기농, 관행농, 제초 여부 등으로 10개로 구분)과 2개의 다년간 순환 경작 시스템(여러해살이 토종 작물 시스템과 6개년 알파파-옥수수-토마토 시스템)을 운영 중이다.

2개년 시스템의 경우, 각 경작 시스템은 6개의 구획으로 이루어져 있으며, 이를 3개의 구획씩 나누어 각 시스템 내의 서로 다른 작물을 경작한다. 예를 들어, 유기농 옥수수/토마토 시스템의 3개 구획에서는 옥수수-토마토의 순으로, 나머지 3개 구획에서는 토마토-옥수수의 순으로 순환하여 경작한다. 따라서 매년 옥수수의 데이터와 토마토의 데이터가 매년 축적된다.

다. 6개의 구획은 각각 2개의 소구획으로 나뉘어 매년 한 시스템의 한 가지 작물에 대해 6개의 관측치를 얻을 수 있다(Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility).

본 연구는 이 중 가장 긴 시계열 자료(1994 ~ 2012)가 확보된 토마토³⁾ (Halley 3155)를 연구 대상으로 한다. Russel Ranch 농장에서 토마토가 포함된 순환 경작 시스템은 6개이며 이 중 연구에 포함하고자 하는 시스템은 <표 1>과 같다. 모든 시스템에는 관개가 이루어지며, <표 1>에서의 WLCC는 겨울철 콩과 녹비 작물을 이용한 질소 공급을 의미한다.

<표 1> 토마토 경작 시스템

경작 시스템	질소 공급원	살충제
유기농 (Organic Corn/Tomato)	퇴비 + WLCC	유기농 살충제
관행농 (Conventional Corn/Tomato)	비료	필요에 따라 실시

대상지역에서는 토마토를 주로 3~4월에 심고 11월까지 수확한다. 따라서 본 연구에서의 다루는 모든 기상현상은 4월에서 10월사이의 기상을 대상으로 한다. 품종에 따른 차이는 있으나 토마토는 기상과 관련하여 밤의 기온이 너무 낮거나(12.8°C 이하), 낮 기온이 너무 높을 경우(32.2°C 이상) 열매를 제대로 맺지 못할 수 있다(Pittenger et al., 2005).

Russel Ranch 농장은 미국 캘리포니아 주의 Yolo County에 위치하고 있으며, 기후지역으로는 California - 2 Sacramento Drainage로 구분된다. 해당 지역은 연중 일조량이 풍부한 온화한 기후를 갖고 있다. 여름은 따뜻하고 건조하며, 겨울(11월에서 2월까지)은 우기에 해당하여 연 강수량의 절반이 이 시기에 내린다. 지형 조건으로 인해 Sacramento 강과 그

3) 토마토는 캘리포니아 주의 주요 작물 중 하나이다. 미국에서 생산되는 토마토 가공제품의 96%, 신선제품의 1/3이 캘리포니아에서 생산된다. 그리고 미국은 중국 다음으로 토마토를 많이 생산하는 국가이다(USDA ERS, 2012).

지류에서 홍수가 가끔 발생하며, 폭우는 가끔 발생한다(Cline et al., 2010). 경작시기에 해당하는 4월에서 10월 사이의 월평균누적강수량은 약 14mm에 불과하다.

2) 연구 자료

단수자료는 Russel Ranch에서 제공하는 토마토의 기계 수확 단수 데이터(Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility)를 대상으로 한다. 토마토의 단수 데이터는 1994년부터 2012년까지 총 19개년의 시계열이 존재하며, 유기농과 관행농 옥수수/토마토 농업 시스템에 대해서 매년 6개 소구획의 자료가 구획별 평균값으로 존재한다. 말리지 않은 토마토의 단수와 토마토 건물 단수 중 건물 단수를 대상으로 분석하였다.

기상자료는 두 가지로 나뉜다. 하나는 해당 농장에서 가장 가까운 기상 관측소인 Winters Station의 기상자료(Western Regional Climate Center)로, 월 단위로 요약된 기상정보를 제공한다. 1994년부터 2012년까지의 월평균최고기온, 월평균최저기온, 월평균기온 자료로부터 각 년도의 4월 평균최고기온, 6월 평균최고기온, 9월 평균최저기온 데이터를 취하였으며, 또한 극한기온(더미), 연간저온일수, 연간고온일수 등 극한기상현상의 측정을 위해 위의 자료들의 4월부터 10월까지의 자료들을 이용하였다. 극한기온, 연간저온일수, 연간고온일수 등의 변수들의 도출에 관한 자세한 내용은 다음 절에서 다루도록 한다.

또 다른 기상자료는 미국 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)의 National Climatic Data Center에서 제공하는 Storm Events Data(National Climatic Data Center)이다. 해당 자료는 인명 또는 재산상의 피해를 유발할 정도로 강력한 폭풍이나 중요한 기상현상들을 포함한다. 또한 여론의 주목을 받는 희귀한 기상현상들이나 기록적인 기상현상들을 포함한다. 해당 데이터베이스에서 대상지를 포함하는 행정구역인 Yolo county 내에서 분석기간인 1994~2012년에 발생한 사건들의 자료를 분석 대상으로 한다. 이 자료를 토대로 기상재해 더미변수를

위한 극한기상현상을 도출하였다.

<표 2> 기초통계량

변수	관측치수	평균	표준편차	최소치	최대치
연도	114	2003	5.5014	1994	2012
관행농 단수(t/ha)	114	4.2341	1.2443	0.6396	6.5976
유기농 단수(t/ha)	114	4.2209	0.8852	2.3027	6.8035
4월 평균최고기온(°C)	114	23.7357	1.7868	20.3167	26.3500
6월 평균최고기온(°C)	114	32.7980	1.6697	29.3889	34.9056
9월 평균최저기온(°C)	114	14.3594	1.0134	12.6833	15.9056
기상재해(더미)	114	0.1053	0.3082	0	1
극한기온(더미)	114	0.1579	0.3663	0	1
연간저온일수	114	81.8947	11.1175	57	104
연간고온일수	114	99.4737	13.0569	72	118

2. 극한기상현상의 도출

극한기상을 적절히 정의하고 그로부터 모델에 적합한 변수를 도출, 측정해 내는 것은 이 연구에 있어서 가장 중요한 과제 중 하나이다. 그러나 극한기상현상에 대한 엄밀한 정의가 존재하지 않기 때문에 적절한 극한기상의 변수를 도출하는 데 어려움이 있다(Stephenson et al., 2008). IPCC(2012) 또한 극한기상을 엄밀하게 정의하는 것은 가능하지 않으며, 학자와 맥락에 따라 다양하게 정의와 조사가 가능함을 밝히고 있다. 그러나 통상 통계적 확률에 근거하거나 특정 기준 값을 근거로, 또는 현저한 물리적인 영향 등을 기준으로 정의된다. 본 연구에서는 이러한 극한현상을 다양한 측면에서 모델에 반영해보고자 하여 세 가지의 기준으로 극한현상의 변수를 도출하였다. 이 결과는 <표 3>에 요약되어 있다.

<표 3> 극한기상현상 변수

년도	기상재해	극한기온	연간저온일수	연간고온일수
1994	1	1	97	100
1995	0	0	104	81
1996	0	0	83	102
1997	0	0	60	105
1998	0	0	84	72
1999	1	0	88	97
2000	0	0	77	100
2001	0	1	57	118
2002	0	0	87	110
2003	0	0	76	114
2004	0	0	75	101
2005	0	0	80	94
2006	0	1	82	110
2007	0	0	92	99
2008	0	0	84	114
2009	0	0	72	115
2010	0	0	88	74
2011	0	0	91	87
2012	0	0	79	97

우선 현저한 물리적인 영향, 즉 기상재해에 해당하는 극한현상을 도출해 내기 위해 앞서 분석 자료에서 소개한 Storm Event Data를 이용하였다. 자료에 나타난 사건들은 대상지가 위치한 Yolo county의 전역에 걸쳐 발생한 사건들이며, 분석기간(1994~2012년, 4월~10월) 내에 발생한 사건을 <표 4>에 요약하였다. 이 중 실질적으로 작물피해가 발생한 것으로 보고된 1994년과 1999년을 농업에 대한 기상재해가 발생한 해로 보고 이를 기상재해 더미변수에 반영하였다.

<표 4> 주요 기상사건 (1994~2012, 4월~10월 발생)

년도	발생 기상사건	작물피해 (\$)
1994	우박	500,000 (우박)
1996	큰 파도, 깔때기 구름	
1998	폭풍	
1999	폭풍, 열파, 들불	37,000 (폭풍)
2000	열파, 한랭/한랭바람	
2005	뇌우, 열파	
2006	한랭/한랭바람	
2007	한랭/한랭바람, 열파, 강한 열파, 천문학적 건조	
2008	열파, 서리, 한랭/한랭바람	
2009	뇌우	

다음으로 확률에 근거한 방법을 통해 극한기온 현상이 발생한 사례를 도출하였다. 확률에 근거한 방법에서는 평년(보통 1961-1990)에 기초한 발생확률이 10, 5, 또는 1%이하인 경우들을 조사하는 방법이 흔히 사용된다(IPCC, 2012). 이와 관련하여 노재선 외(2012)는 어떤 기상변수의 값들 중 ± 2 표준편차 바깥에서 발생한 값이 있는 해를 기상이변이 발생한 해로 정의하였다. 이러한 방법은, 기상 현상들이 정규 분포를 따른다고 가정할 때 약 4.5%의 확률로 발생 가능한 값⁴⁾으로, 5%의 percentile을 기준

4) 이러한 확률은 68-95-99.7 규칙에 근거한 것으로, 정규 분포를 따르는 자료의 경우 평균을 중심으로 양쪽으로 1표준편차 범위($\mu \pm \sigma$) 내에 약 68.3%의 값들

으로 하는 방법과 유사한 결과가 도출되며, 비교적 간편하게 극한의 사례를 도출할 수 있다.

본 연구에서는 월평균최고기온과 월평균최저기온에 대해 2표준편차의 방법을 적용하여 분석 대상기간(1994년~2012년, 4월~10월) 중 극한기온이 발생한 해를 도출하였다. 그 결과 최고기온은 1998, 2003, 2009년에, 최저기온은 1994, 2001, 2006년에 극한현상이 발생한 것으로 나타났다. 그러나 토마토의 생장에 적합한 온도를 고려했을 때(약 13~32°C), 월평균최고기온의 극한현상이 평균보다 2표준편차 이상 낮게 발생한 경우에는 토마토에 대해 고온으로 인한 부정적인 영향을 끼치지 못한다. 따라서 이 중에서도 최고기온이 양의 방향으로 극한현상이 발생한 해, 즉 이상고온이 발생한 해를 확인하여야 하며, 2003, 2009년에 이상고온이 각 1회씩 발생한 것으로 나타났다. 마찬가지로의 관점에서, 월평균최저기온이 음의 방향으로 2표준편차를 넘어선 극한현상은 1994년에 1회 나타났다. 다시 말해 2표준편차를 통해 확률적으로 희박한 사례를 도출하되, 그 사례가 토마토의 생육에 실질적으로 악영향을 미칠 것으로 고려되는 경우(이상고온, 이상저온)에만 극한현상으로 본 것이다. 그 결과 1994, 2003, 2009년에 극한기온이 발생한 것으로 나타났으며 이를 극한기온 더미변수에 반영하였다.

마지막으로 토마토의 생육조건을 고려하여 특정 온도를 기준으로 한, 연간저온일수와 연간고온일수라는 변수들을 도출하였다. 토마토의 생장에 적합한 온도는 12.8°C(55°F)부터 32.2°C(90°F)까지이며, 이보다 너무 높거나 낮은 온도에서는 꽃이 떨어지거나 열매를 맺지 못할 수 있다(Pittenger et al., 2005). 특히 개화기를 전후로 한 고온은 토마토 단수에 악영향을 미치는 것으로 나타났다(Collier et al., 2008; Sato et al., 2002). 따라서 위의 온도들을 토마토 생장에 적절한 온도의 하한선과 상한선 기준으로 하여, 최저기온이 12.8°C(55°F)보다 낮은 날(저온일)과 최고기온이 32.2°C(90°F)보다 높은 날(고온일)을 극한현상이 발생한 날로 보았다. 단, 앞에서는 더미변수를 도출한 것과 달리, 이와 같은 극한현상이 한 해 동안 발생

이, 평균을 중심으로 2표준편차 범위($\mu \pm 2\sigma$) 내에 약 95.5%의 값들이, 3표준편차 범위($\mu \pm 3\sigma$) 내에는 약 99.7%의 값들이 포함된다.

한 일수를 각각 연간저온일수와 연간고온일수라는 양적변수로 정의하였다. 앞에서의 더미변수들을 통해서 극한현상이 발생한 해와 그렇지 않은 해를 구분하여 극한현상의 발생 여부와 토마토 단수와의 관계를 살펴볼 수는 있지만, 극한현상의 빈도의 변화에 의한 영향은 알 수 없다. 또한 앞의 두 더미변수에서는 생육조건이 특별히 고려되지 않았다. 한편 연간저온일수와 연간고온일수 변수들에서는 토마토의 생육조건이 고려되었기 때문에 토마토의 생육조건과 관련된 극한현상과 토마토 단수의 관계를 직접적으로 살펴볼 수 있다. 또한 이들 두 변수가 연간 일수를 나타내는 양적변수이기 때문에 일 년 동안 발생한 극한기상현상의 빈도와 단수와의 관계를 살펴볼 수 있다.

3. 분석 방법

유기농과 관행농 토마토의 단수가 극한기상현상에 얼마나 영향을 받는 지, 또한 각 농법의 토마토 단수가 어떤 극한기상 변수에 더 영향을 받는 지를 파악하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해 본 연구는 Koenker&Bassett(1978)가 제안한 분위⁵⁾회귀(Quantile Regression)를 통해 극한기상현상 변수가 유기농과 관행농 토마토 단수의 분포에 걸쳐 어떤 영향을 미치는지를 분석한다. 분위회귀는 종속변수의 조건부 분위들에 대한 설명변수의 영향을 추정한다. 이때 조건부 분위란 설명변수가 주어졌을 때, 그 설명변수에 대응되는 종속변수의 분포 상에서의 분위수를 의미한다. 따라서 분위회귀는 종속변수의 분포에 걸친 설명변수의 영향의 차이들을 확인하고자 할 때 유용한 방법이다. 이 연구에서는 $\tau=\{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$ 과 같은 분위에 대한 분위회귀를 통해 극한기상변수의 계수(β_τ)들을 추정함으로써, 실제로 극한기상현상이 낮은 수확량에 얼마나 유의미한 영향을 보이는지, 그리고 그 영향이 유기농과 관행농 등 농법에 따라 어떻게 다르게 나타나는지를 확인한다. 또한 분위회귀분석을 통해 얻은 결과는 단수 분포의 아래쪽 꼬리(lower tail)에 대한 영향만을 따로 확인할 수 있기 때문에 단순히 변동성만을 분석하는 것보다 작물의 피해에 대한 영향, 즉 극한기상현상의 토마토 단수에 대한 하방위험을 직접적으로 확인할 수 있을 것이다.

아래의 두 식은 본 연구에서 가정한 기본 모델이다. 각각의 모델의 단수 변수에 유기농과 관행농 토마토 단수를 적용하여 각 시스템에 대한 분위 회귀분석을 독립적으로 실시한다. 극한기온 변수와 연간저온일수, 연간고온일수는 둘 다 같은 데이터에서 도출되는 변수들이어서 완전히 상호 독립이라고 보기 힘들다. 따라서 극한기온 변수와 연간저온일수, 연간고온일수는 하나의 모형에 모두 반영하지 않고 개별적인 모형에 반영하여 분석

5) 분위(quantile)는 사분위수(quartile)나 중위수(median)와 같이 집단을 나누는 위치를 나타내는 값으로, 사분위수나 중위수보다 일반화된 개념이다. (Koenker&Bassett, 1978).

한다. 이들 두 모형의 결과를 통해 서로 유사한 현상으로부터 도출된 변수들 중 어떤 변수가 극한기상현상과 단수의 관계를 적절하게 나타내는지 비교, 확인 할 수 있다.

$$\text{단수} = f(\text{연도, 4월 최고기온, 6월 최고기온, 9월 최저기온, 기상재해, 극한기온})$$

$$\text{단수} = f(\text{연도, 4월 최고기온, 6월 최고기온, 9월 최저기온, 기상재해,}$$

$$\text{연간저온일수, 연간고온일수})$$

연도 변수는 시간에 따른 기술적 개선 경향을 나타낸다. 4월, 6월 월평균최고기온과 9월 월평균최저기온은 생산을 설명하기 위한 기온 변수이다. Lobell et al.(2006)의 캘리포니아의 주요 작물에 대한 기상변수를 이용한 단수 예측 연구 결과에 의하면 토마토의 경우 위의 세 변수로 구성된 회귀모형의 설명력이 가장 높았다. 기온, 강수량 등의 기후변수는 단수에 대해 비선형적 영향을 주어 적절한 수준에서 단수가 극대화되므로 기후 변수에 대한 2차 항을 포함하는 경우가 많다. 그러나 본 모형에서는 기온에 대한 극한기상현상 변수가 이와 같은 단수에 대한 부정적인 영향을 설명하고자하므로 본 연구에서는 2차 항을 제외하였다. 또한 본 모형은 강수량을 변수로 포함하지 않는다. 해당 지역은 토마토의 생육기간(4월~10월) 동안의 월평균누적강수량이 약 14mm로 매우 강수량이 적은 지역이다. 이 때문에 대상지를 포함한 해당지역에서는 모든 토마토가 관개를 통해 경작되고 있다. 농작물에 대한 수분 공급이 관개를 통해서 이루어지고 있으므로 강수량은 설명변수로 고려하지 않았다. Lobell et al.(2006)의 연구에서도 강수량은 토마토 단수를 설명하는 변수로 고려되지 않았다. 변수들의 정의에 대한 요약은 <표 5>와 같다.

<표 5> 변수의 정의

변수	정의
연도	시간에 따른 기술적인 개선 경향
관행농 단수	관행농 토마토의 건물 단수(t/ha)
유기농 단수	유기농 토마토의 건물 단수(t/ha)
4월 평균최고기온	4월의 일일 최고기온들의 평균(°C)
6월 평균최고기온	6월의 일일 최고기온들의 평균(°C)
9월 평균최저기온	9월의 일일 최저기온들의 평균(°C)
기상재해	작물 피해 기상재해 발생년도 1, 이외 0
실질극한기온	월평균최고기온의 상방 극한현상, 월평균최저기온의 하방 극한 현상 발생년도 1, 이외 0
연간저온일수	한 해 동안 일일 최저기온이 12.8°C(55°F)보다 낮은 날의 수
연간고온일수	한 해 동안 일일 최고기온이 32.2°C(90°F)보다 높은 날의 수

종속변수에 대한 설명변수의 영향을 추정한다는 점에서 분위회귀와 OLS(Ordinary Least Squares)는 유사하지만 OLS는 종속변수의 조건부 평균에 대한 설명변수의 영향을 추정하며, 반면 분위회귀에서는 종속변수의 조건부 분위에 대한 설명변수의 영향을 추정한다. 두 회귀분석 방법은 계수를 추정하는 방식부터 차이가 있다. OLS는 오차의 제곱을 최소화하는 방식인 반면, 분위회귀는 Least absolute deviations(LAD), 즉 오차의 절댓값의 합을 최소화하는 방식이다. OLS는 종속변수의 조건부 평균에 대한 회귀이므로 정규성, 등분산성, 극단값(extreme value)에 의한 왜곡 등으로부터 자유롭지 않지만, 분위회귀에서의 조건부 분위수는 종속변수 분포상의 위치, 또는 순서에 해당하기 때문에 위의 문제들로부터 자유롭다. 이 때문에 분위회귀는 그 영향이나 오차가 비대칭적으로 분포할 경우에도 efficient한 추정이 가능하다는 장점이 있다(Barnwal&Kotani, 2013). 이러한 OLS와 분위회귀의 추정 방식을 간략하게 비교하면 다음과 같다.

$$y_i = X_i\beta + \epsilon_i, \quad E(y_i|X_i) = X_i\beta$$

OLS모형은 일반적으로 위와 같이 표현된다. 이때 설명변수가 p 개이고 관찰값이 n 개이면, y_i 는 종속변수의 벡터($n \times 1$), X_i 는 설명변수의 행렬 ($n \times p$), β 는 계수의 벡터($p \times 1$), ϵ_i 는 오차항의 벡터($n \times 1$)이며 $i = 1, 2, \dots, n$ 이다. $E(y_i|X_i)$ 는 주어진 X_i 에 대한 y_i 의 조건부 평균을 의미한다. 위 식에서의 β 의 추정치 $\hat{\beta}$ 는 아래의 최소화 문제를 푼 해에 해당한다. 앞서 설명한 바와 같이 평균에 대한 오차의 제곱을 최소화한다.

$$\min_{\beta \in R^k} \sum_{i=1}^n (y_i - X_i\beta)^2$$

한편 분위회귀분석의 모형은 아래와 같이 표현된다. 변수들은 위와 동일하나 β_τ 는 각 설명변수의 τ 번째 조건부 분위의 계수를 의미하고, 오차항 또한 각 조건부 분위에 따라 존재하므로 $u_{\tau i}$ 로 표시된다. $\tau \in [0, 1]$ 이다.

$$y_i = X_i\beta_\tau + u_{\tau i}, \quad Q_\tau(y_i|X_i) = X_i\beta_\tau$$

이때 $Q_\tau(y_i|X_i)$ 는 주어진 X_i 에 대한 y_i 의 τ 번째 조건부 분위수 (conditional quantile)를 가리킨다. 앞서와 마찬가지로, 위의 분위회귀 계수 β_τ 의 추정치 $\hat{\beta}_\tau$ 는 다음의 최소화 문제를 푸는 해이다. 단, OLS와는 달리 여기서는 오차항의 절댓값을 최소화 하는 문제이다.

$$\min_{\beta \in R^k} \sum_{i=1}^n \rho_\tau(y_i - X_i\beta)$$

이때, $\rho_\tau(x) = |x(\tau - I_{(x < 0)})|$ 인 손실함수이고, I 는 $x < 0$ 일 때 1, 그렇지 않으면 0을 가지는 더미변수(indicator variable)이다. 이 손실함수를 위의 식에 적용하여 정리하면 아래와 같다.

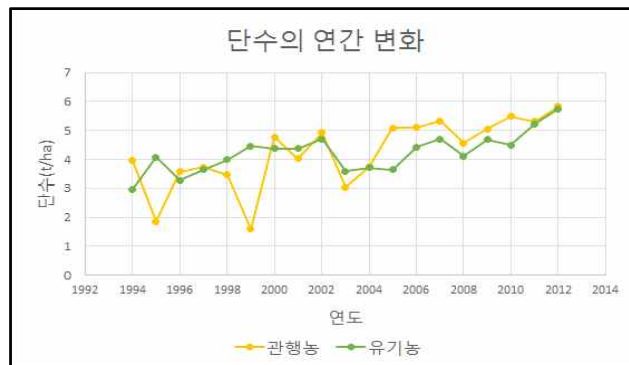
$$\begin{aligned} & \min_{\beta \in R^k} \sum_{i=1}^n |(y_i - X_i\beta)(\tau - I_{y_i < X_i\beta})| \\ &= \min_{\beta \in R^k} \left[(\tau - 1) \sum_{y_i < X_i\beta} (y_i - X_i\beta) + \tau \sum_{y_i \geq X_i\beta} (y_i - X_i\beta) \right] \end{aligned}$$

IV. 분석 결과

1. 유기농과 관행농 토마토 단수의 분포 특성

모형의 분석에 앞서 종속변수인 유기농과 관행농 토마토 단수의 분포를 먼저 살펴보았다. <그림 1>에서의 연간 변화 그래프에서는 관행농의 단수가 큰 폭으로 감소하는 사례가 여러 차례 보인다. 2005년 이후로는 주로 관행농의 단수가 높게 나타나나 2003년 이전에는 유기농의 성과가 전반적으로 더 좋을 수 있다. 또한 <표 6> 1994년에서 2012년까지의 유기농과 관행농의 평균 단수는 유의미한 차이를 보이지 않으나 변동계수(Coefficient of Variation)에 있어서는 관행농이 유기농보다 더 크게 나타나 변동성이 더 큰 것으로 나타난다.

<그림 1> 단수의 연간 변화

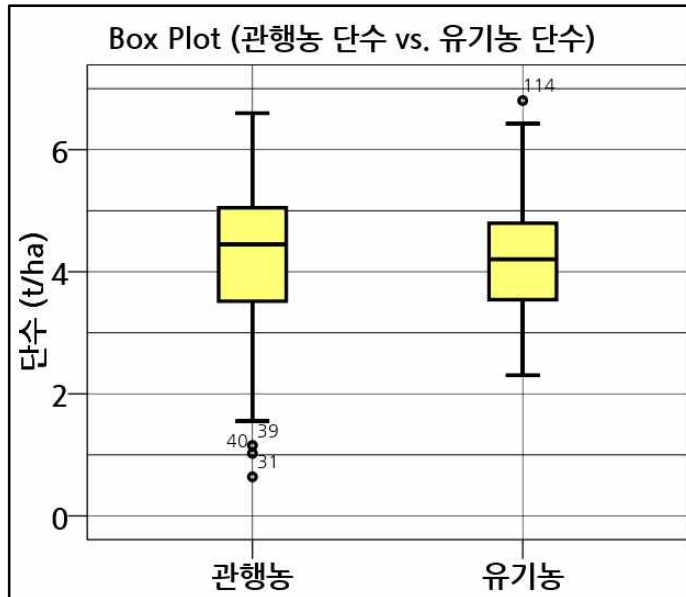


<표 6> 유기농 vs. 관행농 연평균 단수 특성 비교

시스템	단수 평균	표준편차	변동계수(CV)
유기농 (Organic Corn/Tomato)	4.2209	0.6526	0.1546
관행농 (Conventional Corn/Tomato)	4.2341	1.1510	0.2718

※연간 변동성을 보기위해 각 년도의 평균값들을 이용하여 계산함

<그림 2> 관행농과 유기농 단수의 Box Plot



<그림 2>의 Box Plot 또한 관행농의 변동성이 유기농보다 큰 것을 보여 주고 있다. 게다가 관행농은 단수의 분포에서 아래쪽 꼬리가 길게 나타나 단수의 변동성이 아래쪽 분포에 의해 커졌음을 알 수 있다. 관행농에서는 아래쪽으로 3개의 이상치가 나타났고, 유기농에서는 위쪽으로 1개의 이상치가 나타났다.

위의 결과들은 모두 유기농보다 관행농 토마토 단수의 변동성이 더 높았음을 보이고 있다. 특히 Box Plot의 형태로 보아 변동성의 차이의 원인이 관행농과 유기농 단수의 아래쪽 분포의 차이에서 기인함을 알 수 있다. 다음 절에서 분위회귀분석의 결과로부터 토마토 단수 아래쪽 분포에 대한 극한기상현상의 영향을 살펴봄으로써, 이러한 변동성의 차이가 극한기상현상에 의한 영향의 차이에서 기인한 것인지 확인할 수 있을 것이다.

2. 분위회귀 분석 결과

유기농과 관행농 토마토 단수에 대한 극한기상현상의 영향을 분석하기 위해 분위회귀를 실시하였다. 분석에는 R version 2.15.3의 quantreg 패키지가 사용되었으며, 표준오차는 bootstrap⁶⁾ 방식으로 계산하였다.

<표 7> 분위회귀분석결과 (모형 1, 극한기온 더미변수, 종속변수: 관행농 단수)

변수	$\tau=0.10$	$\tau=0.30$	$\tau=0.50$	$\tau=0.70$	$\tau=0.90$
	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)
(상수)	-341.1285*** (57.0652)	-302.2884*** (69.4283)	-291.1197*** (53.6462)	-318.9007*** (56.2295)	-381.6868*** (76.3151)
연도	0.1721*** (0.0283)	0.1534*** (0.0331)	0.1469*** (0.0257)	0.1595*** (0.0273)	0.1900*** (0.0368)
4월 최고기온	0.1520 (0.1400)	0.0806 (0.0943)	0.1619** (0.0658)	0.1575** (0.0691)	0.0877 (0.0764)
6월 최고기온	-0.0495 (0.1189)	0.0085 (0.1164)	-0.0270 (0.0744)	0.0450 (0.0530)	0.1057 (0.0745)
9월 최저기온	-0.1735 (0.2291)	-0.2216 (0.1844)	-0.1112 (0.1445)	-0.0725 (0.1172)	0.0571 (0.1716)
기상재해	-1.2740 (0.7897)	-1.2116 (0.7875)	0.3138 (1.2594)	0.9482 (1.1959)	1.3366 (1.1834)
극한기온	0.2710 (0.9717)	-0.1043 (0.5374)	-0.2476 (0.5191)	-0.4957 (0.7986)	-0.8326 (0.9398)

*** 1%에서 유의, ** 5%에서 유의, * 10%에서 유의

모형 1과 모형 2에서는 극한기상현상 변수로써 기상재해와 극한기온 더미변수를 포함시켰다. 모형 1의 종속변수는 관행농 토마토 단수이며, 분위별 계수들의 추정 결과는 <표 7>과 같다. 추정 결과, 기상재해와 극한기온 변수 모두 어떠한 분위에 대해서도 유의미한 영향을 보이지 않았다.

6) 점근적(asymptotic) 표준오차는 i.i.d.(independent and Identically distributed) 가정을 필요로 하지만 이는 많은 경우에 성립하지 않는다. 반면, Bootstrap 방식은 종속변수 분포에 대한 가정을 필요로 하지 않으며 따라서 종속변수의 분포에 관계없이 효율적인 추정을 가능하게 한다(Hao&Naiman, 2007).

<표 8> 분위회귀분석결과 (모형 2, 극한기온 더미변수, 종속변수: 유기농 단수)

변수	$\tau=0.10$	$\tau=0.30$	$\tau=0.50$	$\tau=0.70$	$\tau=0.90$
	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)
(상수)	-87.2080** (42.4639)	-177.6027*** (45.2976)	-158.2563*** (48.4082)	-155.2009*** (39.9062)	-251.4965*** (35.8768)
연도	0.0458** (0.0206)	0.0905*** (0.0220)	0.0797*** (0.0234)	0.0802*** (0.0206)	0.1279*** (0.0184)
4월 최고기온	0.0200 (0.0526)	-0.0247 (0.0636)	0.0100 (0.0489)	0.0244 (0.0758)	-0.0859 (0.0804)
6월 최고기온	-0.1163** (0.0516)	-0.0393 (0.0667)	0.0546 (0.0751)	-0.0485 (0.0764)	0.0712 (0.0775)
9월 최저기온	0.1501** (0.0677)	0.1354 (0.0896)	0.0663 (0.1806)	0.0157 (0.1244)	0.0162 (0.0886)
기상재해	-0.0220 (0.4221)	0.2894 (0.4223)	0.3200 (0.4724)	0.2703 (0.3096)	0.2543 (0.1681)
극한기온	-0.2190 (0.3343)	-0.3995 (0.3343)	-0.7575** (0.3209)	-0.7640** (0.2970)	-0.8852*** (0.2729)

*** 1%에서 유의, ** 5%에서 유의, * 10%에서 유의

한편, <표 8>은 종속변수가 유기농 토마토 단수인 모형 2의 결과를 보여주고 있는데, 이 경우 기상재해 변수는 모든 분위에 걸쳐 유의미한 영향이 나타나지 않았으나, 극한기온 변수의 경우 0.5, 0.7, 0.9 분위에서 유의미한 부정적 영향이 나타났다. 그리고 부정적 영향의 크기가 높은 분위로 갈수록, 즉 0.9 분위로 갈수록 커짐을 볼 수 있다. 이것은 다시 말해 상대적으로 수확량이 낮은 0.5 분위에서 극한기온으로 인한 수확량의 감소 효과가 0.9 분위에서 보다 더 작았다는 것이다. 이는 곧 0.5 분위의 단수가 0.9 분위의 단수보다 낮은 이유를 극한기온 변수가 설명하지 못한다는 것으로 해석할 수 있다.

앞서 관행농과 유기농 토마토 단수의 분포 특성에서 살펴본 바에 의하면 관행농이 유기농에 비해 변동성이 컸고, 이는 아래쪽 분포에 의한 것이었다. 그러나 모형 1과 2의 계수 추정 결과에 의하면 극한기상현상 변수들은 유기농과 관행농 단수의 아래쪽 분포의 차이를 설명하지 못할 뿐만 아니라, 단수의 아래쪽 분포에 대한 어떠한 설명도 제공하지 못한다. 특히

<표 9> 분위회귀분석결과 (모형 3, 연간저온/고온일수, 종속변수: 관행농 단수)

변수	$\tau=0.10$	$\tau=0.30$	$\tau=0.50$	$\tau=0.70$	$\tau=0.90$
	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)
(상수)	-305.3376*** (49.6383)	-327.4168*** (49.4778)	-324.1626*** (57.2910)	-395.7177*** (62.7381)	-356.6047*** (59.6008)
연도	0.1547*** (0.0248)	0.1654*** (0.0242)	0.1622*** (0.0281)	0.1976*** (0.0312)	0.1796*** (0.0288)
4월 최고기온	0.0465 (0.0584)	0.1432* (0.0789)	0.1979*** (0.0578)	0.1992*** (0.0590)	0.0728 (0.0933)
6월 최고기온	0.3824 (0.2902)	0.1645 (0.1516)	0.1856 (0.1248)	0.2693** (0.1048)	0.2296** (0.1043)
9월 최저기온	-0.3872** (0.1607)	-0.2154 (0.1308)	-0.1254 (0.0873)	-0.1803** (0.0862)	-0.1766 (0.1267)
기상재해	-1.0961* (0.6136)	-0.9061 (0.8491)	0.3469 (1.0869)	0.8188 (0.8142)	0.5874 (0.5057)
연간저온일수	-0.0436*** (0.0140)	-0.0281** (0.0140)	-0.0205 (0.0180)	-0.0199 (0.0167)	-0.0211 (0.0161)
연간고온일수	-0.0580** (0.0287)	-0.0324* (0.0181)	-0.0371* (0.0206)	-0.0469** (0.0185)	-0.0304* (0.0168)

*** 1%에서 유의, ** 5%에서 유의, * 10%에서 유의

모형 1에서는 상수항과 연도 변수를 제외한 어떤 변수도 관행농 단수의 아래쪽 분포에 대해 유의미한 영향을 보이지 않는다. 종합해보면, 모형 1과 모형 2에서는 유기농과 관행농 토마토 단수에 대한 극한기상현상들의 영향, 두 경작 시스템의 변동성의 차이를 만든 요인 등을 확인할 수 없었다.

모형 3, 모형 4는 모형 1과 2에서의 극한기온 더미변수 대신 연간저온일수, 연간고온일수 변수를 포함한다. 모형3의 종속변수는 관행농 토마토 단수, 모형 4의 종속변수는 유기농 토마토 단수이며, 각각의 분위별 계수 벡터들의 추정 결과는 <표 9>, <표 10>과 같다.

모형 3에서는 기상재해, 연간저온일수, 연간고온일수 등 모든 극한기상현상 변수들이 관행농 단수에 대해 유의미한 영향을 보였다. 기상재해 변수는 0.1 분위, 연간저온일수 변수는 0.1, 0.3 분위, 그리고 연간고온일수

<표 10> 분위회귀분석결과 (모형 4, 연간저온/고온일수, 종속변수: 유기농 단수)

변수	$\tau=0.10$	$\tau=0.30$	$\tau=0.50$	$\tau=0.70$	$\tau=0.90$
	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)	계수 (표준오차)
(상수)	-73.0896* (42.7275)	-163.5544*** (51.2326)	-148.8494*** (33.7827)	-158.0200*** (44.2549)	-189.2420*** (46.5588)
연도	0.0378* (0.0216)	0.0818*** (0.0251)	0.0734*** (0.0165)	0.0826*** (0.0228)	0.0994*** (0.0227)
4월 최고기온	0.0467 (0.0545)	0.0192 (0.0648)	0.0610 (0.0669)	0.0434 (0.1065)	-0.1375 (0.0975)
6월 최고기온	-0.1159 (0.0885)	0.0091 (0.1178)	0.0769 (0.1008)	-0.0641 (0.1328)	0.0725 (0.1575)
9월 최저기온	0.1655* (0.0907)	0.1660 (0.1077)	0.0976 (0.1513)	-0.1167 (0.2197)	-0.1653 (0.1584)
기상재해	-0.5983 (0.5871)	0.0369 (0.4586)	-0.3490 (0.4525)	0.4290 (0.5622)	0.2117 (0.2971)
연간저온일수	0.0127 (0.0197)	0.0118 (0.0148)	0.0187 (0.0127)	0.0000 (0.0184)	-0.0139 (0.0139)
연간고온일수	0.0005 (0.0174)	-0.0068 (0.0159)	-0.0096 (0.0142)	0.0001 (0.0150)	-0.0032 (0.0241)

*** 1%에서 유의, ** 5%에서 유의, * 10%에서 유의

변수는 모든 분위에 걸쳐 계수의 추정치가 유의한 것으로 나타났으며, 유의한 것으로 추정된 모든 극한기상현상 변수의 계수들은 관행농 토마토 단수에 대해 음(-)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 연간저온일수의 계수들은 낮은 분위일수록 부정적 영향의 크기가 더 크게 나타났으며, 연간고온일수에서도 0.1 분위에서 부정적 영향이 가장 크게 나타났다. 즉 수확량이 낮은 분위일수록 12.8°C 이하인 날 수에 의한 부정적인 영향이 컸고, 32.2°C 이상인 날 수는 단수 분위에 관계없이 부정적인 영향을 보였으며 가장 단수가 낮은 분위에서 가장 큰 영향을 보였다. 이는 분석 결과가 토마토 생육 조건에 관한 기존의 연구들과 일치함을 보여준다.

한편, 모형 4에서는 기상재해, 연간저온일수, 연간고온일수 등 모든 극한기상변수 계수의 추정치들이 유기농 단수의 어떤 분위에서도 유의미하게 나타나지 않았다. 따라서 관행농의 토마토가 유기농 토마토보다 극한기

상현상으로 인한 부정적 영향을 더 많이 받았음을 확인할 수 있다.

모형 1, 2에서와 달리 모형 3, 4의 분석결과들은 앞서 살펴본 유기농과 관행농 토마토 단수의 분포 특성과 조화를 이루는 것으로 보인다. 관행농 단수 분포의 아래쪽 꼬리가 유기농보다 더 길게 나타났으며 이로 인해 관행농 단수의 변동성이 더 큰 것으로 나타났는데, 이때 모형 3, 4에서의 극한기상변수들은 모두 관행농의 아래쪽 분위에서만 유의미한 부정적 영향을 보였고, 유기농에서는 이러한 영향을 보이지 않았다. 따라서 유기농과 관행농 단수의 분포 형태의 차이, 그리고 변동성의 차이가 극한기상변수들에 의한 영향의 차이에서 기인함을 유추할 수 있다. 이는 또한 극한기상현상에 의한 하방위험이 관행농의 토마토 단수에 존재함을 의미한다.

V. 결론

본 연구는 극한기상현상이 관행농과 유기농 토마토 단수에 미치는 영향을 비교하였다. 기후변화로 인한 극한기상현상의 증가가 예상되고 있으며, 이에 따른 영향으로 농업의 평균적인 단수와 단수의 변동성이 증가할 것으로 전망되고 있다(Porter et al., 2014). 이런 단수 변동성의 증가는 식량 공급의 변동성을 유발하여 식량안보에 대한 위협 요인이 된다. 따라서 기후변화 적응의 관점에서 극한기상현상에 대해 보다 덜 민감한 농법을 찾을 필요가 있었다. 또한 기후변화 완화의 측면에서 잠재력을 인정받는 유기농법이 과연 기후변화 적응 측면에서도 잠재력이 있는지를 실증적으로 확인할 필요가 있었다. 이를 확인하기 위해 본 연구는 유기농과 관행농 농법의 단수가 극한기상현상에 대해 각각 얼마나 민감하게 영향을 받는지 비교 분석하고, 결론적으로 어떤 농법이 식량안보의 측면에서 보다 더 안정적인 생산을 가능하게 하는 농법인지를 밝혀내고자 하였다.

이를 위해 미국 캘리포니아 UC Davis의 실험농장인 Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility에서 1994년부터 2012년까지 재배된 관행농과 유기농 토마토의 단수 자료와 해당 지역의 기상자료를 분위회귀 분석을 이용하여 살펴보았다. 극한기상현상을 회귀 모형에 반영하기 위해 기상자료를 토대로 기상재해, 극한기온 등의 더미변수와 연간저온일수, 연간고온일수 등의 양적변수를 도출하였다. 이때 기상재해 변수는 과거의 실질적인 작물피해로 나타난 물리적 영향을 반영하기 위한 것이며, 극한기온 변수는 월평균 최저, 최고기온데이터로부터 2표준편차 방법을 적용하여 도출되었다. 또한 연간고온일수와 연간저온일수는 각각 토마토의 생육조건을 고려하여 도출된 양적변수이다. 이 극한기상현상 변수들을 Lobell et al.(2006)이 제시한 토마토 단수 모델에 반영, 수정하여 분위회귀분석을 실시하였다.

우선 관행농과 유기농 토마토 단수 분포를 살펴본 결과 관행농과 유기농은 평균 단수는 의미 있는 차이가 없었으나 관행농의 CV가 약 0.2718

로 약 0.1546인 유기농보다 높게 나와 관행농이 단수의 연간 변동성이 더 큰 것으로 나타났다. Box Plot의 결과에서도 이러한 차이가 확인되었을 뿐만 아니라 관행농 단수 분포의 아래쪽 꼬리가 더 긴 것으로 나타나 관행농 단수 분포의 아래부분으로 인해 변동성이 더 커졌음을 알 수 있었다.

기상재해, 극한기온 더미변수가 포함된 모형 1, 2의 분위회귀 분석 결과에서는 극한기상현상 변수들이 관행농과 유기농 모두에서 단수 분포 아래쪽 분위에서 유의미한 영향을 보이지 않았다. 관행농 단수에 대해서는 모든 분위에 걸쳐 영향을 보이지 않았으며, 유기농 단수의 경우 극한기온 변수가 0.5, 0.7, 0.9 분위에서 유의미한 영향을 보였으나 하위 분위에서는 영향을 보이지 않았다. 종합해보면 모형 1과 2에서는 극한기상현상 변수들이 유기농과 관행농 토마토 단수의 아래쪽 분포에 대한 어떠한 유의미한 영향도 보이지 않았으며, 따라서 두 농법의 단수의 아래쪽 분포의 차이에서 기인한 변동성의 차이 또한 설명하지 못하였다.

한편, 모형 3과 4에서의 분석결과에서는 극한기상현상이 관행농 토마토 단수에 미치는 부정적 영향이 유기농의 경우보다 더 큰 것으로 확인되었다. 기상재해, 연간고온일수, 연간저온일수 변수를 포함한 모형 3에서는 관행농 토마토 단수에의 극한기상현상에 의한 부정적인 영향이 유의미하게 나타났다. 그러나 유기농 단수를 종속변수로 둔 모형 4에서는 극한기상현상에 의한 영향이 유의미하게 나타나지 않았다. 모형 3의 경우 세 가지 극한기상 변수 모두 0.1 분위에서 가장 부정적인 영향이 큰 것이 확인되었으며, 연간고온일수는 모든 분위에 걸쳐 유의한 부정적 영향을 보였다. 연간저온일수와 연간고온일수 변수들이 토마토 단수에 대해 부정적 영향을 유의미하게 보임으로써 토마토 생육 조건에 관한 기존의 연구들 (Collier et al., 2008; Pittenger et al., 2005; Sato et al., 2002)과 일관된 결과를 보였다.

모형 3, 4의 결과를 통해 관행농 단수의 변동성이 유기농 단수의 변동성보다 높은 이유는 극한기상현상 변수들 때문이었음을 추론할 수 있었다. 단수의 분포 특성을 보면 관행농 단수의 분포에서만 아래쪽 꼬리가 긴 형태를 보였다. 한편 분위회귀 분석 결과에 의하면 관행농 단수의 아래쪽 분

위에서만 극한기상현상에 의한 유의미한 부정적 영향이 보였고, 유기농에서 이러한 영향이 보이지 않았다. 따라서 관행농 단수 분포의 아래쪽 꼬리가 긴 형태를 보이는 것이 관행농 단수 아래쪽 분위에 대한 극한기상현상 변수들의 영향에 의한 것이었음을 유추할 수 있었다. 이는 곧 관행농의 토마토 단수에 대해 극한기상현상에 의한 하방 위험이 존재함을 의미한다.

연구 결과를 종합해보면, 관행농 토마토가 유기농 토마토에 비해 변동성이 크며, 그 원인은 기상재해, 연간고온일수, 연간저온일수 등의 극한기상현상 변수들이 관행농 토마토 단수의 아래쪽 분위에 대해 유의미한 부정적인 영향을 미치기 때문으로 나타났다. 한편 유기농에서는 위 변수들에 의한 유의미한 영향이 나타나지 않았다. 결론적으로 유기농 토마토가 관행농 토마토에 비해 극한기상현상의 영향에 덜 민감하고, 더 안정적인 생산을 가능하게 함을 확인하였다. 이는 기후변화로 인한 극한기상현상의 빈도와 강도의 증가를 고려할 때, 향후 토마토 생산의 기후변화 적응에 있어서 유기농법에 더 잠재력이 있음을 시사한다.

이 연구가 갖는 의의는, 우선 아직까지 충분한 연구가 축적되지 않은 유기농과 관행농에 대한 극한기상현상의 영향의 차이에 대한 정보를 제공하며, 또한 유기농의 기후변화 적응 잠재력에 대한 실증적 증거를 제공한다는 데 있다. 또한 이 연구는 국내에서 거의 시도되지 않은 유기농과 관행농에 대한 장기간의 비교연구를 수행하여, 국내에서도 이와 같은 장기간의 자료 축적과 연구가 필요함을 시사한다. 유기농과 관행농의 농업 생산성의 안정성을 비교하기 위해서는 이와 같은 장기간에 걸쳐 축적된 자료가 필수적이기 때문이다. 끝으로 이 연구에서는 분위회귀분석을 통해 농법에 따라 극한기상현상에 의한 하방위험의 존재 여부와 그 크기가 달라질 수 있음을 보였는데, 이는 토마토의 농산물재해보험에 있어서 유기농과 관행농의 극한기상현상과 기후변화로 인한 하방위험에 대한 고려가 구분되어야 함을 시사한다. 즉, 연구 결과에 비추어 관행농 토마토의 하방위험이 유기농 토마토보다 더 크게 고려되어야 함을 시사한다.

본 연구가 기상 변수들만을 고려하였고, 또한 온도에 관련된 현상들을 주로 고려하였다는 점이 문제로 지적될 수 있다. 보다 결론적인 결과에 도

달하기 위해서는 토양 성분과 투입요소 등에 대해서도 고려해야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 관개의 실시로 인해 강수가 고려되지 않았기 때문에, 이 연구의 결과는 토마토의 온도에 관한 극한기상현상에 대한 결과로 제한된다. 향후 강수와 일조량 등 보다 다양한 기상 요소를 고려한 추가적인 연구를 수행함으로써, 다양한 극한기상현상들에 대한 유기농과 관행농의 반응에 관한 보다 종합적인 이해를 얻을 수 있을 것이다. 이에 더불어 극한기상현상뿐만 아니라 연구 대상 작물 또한 다양하게 고려되어야 할 것이다. 이 연구는 토마토만을 연구대상으로 하였는데, 토마토가 주식인 작물이 아니기 때문에 이 연구 결과의 식량안보에 관한 의의는 제한적이다. 따라서 토마토와 같은 원예작물이 아닌 옥수수, 밀, 벼와 같은 주곡에 대한 추가 연구를 통해, 극한기상현상 하에서의 식량안보 확보에 있어서 유기농과 관행농 등 각 농법들이 갖는 잠재력을 보다 포괄적으로 이해할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 강기경·심교문 (2012), “제32장 기상이변과 식량안보”, 「한국농촌경제연구원 기타연구보고서」, 1027-1045.
- 고재경·김희선 (2013), “기후변화 완화와 적응 통합에 관한 시론적 연구”, 환경정책, 21(1), 29-59.
- 노재선·권오상·조승현 (2012). “기후변수와 쌀 단수간의 인과성 및 이상기후가 쌀 단수에 미치는 영향 분석”, 농업경제연구, 53(1), 21-39.
- 심교문·이덕배·민성현·김건엽·정현철·이슬비·강기경 (2011), “A1B 기후변화 시나리오에 따른 미래 겉보리 잠재생산성 변화 예측”, 「한국기후변화학회지」, 2(4), 317-331.
- 조현경·권오상 (2014), “재배 시기별 기후변수가 논벼의 단위면적당 생산성과 변동성에 미치는 영향 분석”, 「농업경제연구」, 55(3), 115-140.
- Barnwal, P. and Kotani, K. (2010), “Impact of variation in climatic factors on crop yield: A case of rice crop in Andhra Pradesh, India”, Economics and Management series.
- Barnwal, P. and Kotani, K. (2013), “Climatic impacts across agricultural crop yield distributions: An application of quantile regression on rice crops in Andhra Pradesh, India”, Ecological Economics, 87, 95-109.

- Borron, S. (2006), "Building Resilience for an Unpredictable Future: How Organic Agriculture Can Help Farmers Adapt to Climate Change.", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Cline, G., Neigher, A. and Belinder, A. (2010), "Climate of Sacramento, California", US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service.
- Collier, R., Fellows, J. R., Adams, S. R., Semenov, M., and Thomas, B. (2008), "Vulnerability of horticultural crop production to extreme weather events", *Aspects of Applied Biology*, Vol.88, 3-14.
- Gardebroek, C., Chavez, M. D. and Lansink, A. O. (2010), "Analysing Production Technology and Risk in Organic and Conventional Dutch Arable Farming Using Panel Data", *Journal of Agricultural Economics*, 61(1), 60-75.
- Hao, L., and Daniel Q. Naiman (Eds.). (2007). *Quantile Regression*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- IPCC (2012), "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation", A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin,

- D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582 pp.
- Just, R. E. and Pope, R. D. (1978), “Stochastic Specification of Production Functions and Economic Implications”, *Journal of Econometrics*, 7(1), 67-86.
- Kim, K., Chavas, J.-P., Barham, B. and Foltz, J. (2014), “Rice, irrigation and downside risk: a quantile analysis of risk exposure and mitigation on Korean farms”, *European Review of Agricultural Economics*, 41(5), 775-815.
- Kim, M. K. and Pang, A. (2009), “Climate Change Impact on Rice Yield and Production Risk”, *Journal of Rural Development*, 32(2), 17-29.
- Koenker, R. and Bassett, G. (1978), “Regression Quantiles”, *Econometrica*, 46(1), 33-50.
- Lobell, D., Cahill, K. and Field, C. (2006), “Weather-based yield forecasts developed for 12 California crops.”, *California agriculture*, 60(4), 211-215.
- Lotter, D. W., Seidel, R. and Liebhardt, W. (2003), “The Performance of Organic and Conventional Cropping Systems

in an Extreme Climate Year”, *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(03), 146-154.

Müller, A. (2009), “Benefits of Organic Agriculture as a Climate Change Adaptation and Mitigation Strategy for Developing Countries”, *Resources For the Future*.

Pittenger, D. R., Garrison, N. F., Geisel, P. M. and Unruh, C. L. (2005), *Growing Tomatoes in the Home Garden*, Davis, CA: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.

Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., Lobell, D.B. and Travasso, M.I. (2014), “Food security and food production systems.”, *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* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.

- Rosenzweig, C., Tubiello, F. N., Goldberg, R., Mills, E., and Bloomfield, J. (2002), "Increased Crop Damage in the US from Excess Precipitation under Climate Change", *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 12, 197-202.
- Sato, S., Peet, M. M., and Thomas, J. F. (2002), "Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures", *Journal of Experimental Botany*, 53(371), 1187-1195.
- Scialabba, N. E. H. and Müller-Lindenlauf, M. (2010), "Organic agriculture and climate change", *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(02), 158-169.
- Semenov, M. A. and Porter, J. R. (1995), "Climatic Variability and the Modelling of Crop Yields", *Agricultural and forest meteorology*, 73(3), 265-283.
- Seufert, V., Ramankutty, N. and Foley, J. A. (2012), "Comparing the Yields of Organic and Conventional Agriculture", *Nature*, 485(7397), 229-232.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J. and Street, R. (1999), "The science of adaptation: a framework for assessment", *Mitigation and adaptation strategies for global change*,

4(3-4), 199-213.

Smith, R. G., Menalled, F. D. and Robertson, G. P. (2007), “Temporal Yield Variability Under Conventional and Alternative Management Systems.”, *Agronomy journal*, 99(6), 1629-1634.

Stephenson, D. B., Diaz, H. F. and Murnane, R. J. (2008), *Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events*, (Vol. 348). Cambridge University Press: New York.

Zwiers, F. W., Zhang, X. and Feng, Y. (2011), “Anthropogenic Influence on Long Return Period Daily Temperature Extremes at Regional Scales”, *Journal of Climate*, 24(3), 881-892.

국가농림기상센터, 식량생산과 기후변화, http://www.ncam.kr/page/doc/agriculture/agriculture.php?menu_code=agriculture&page=1, 2015.

National Climatic Data Center, Storm Events Database | National Climatic Data Center, <http://www.ncdc.noaa.gov/stormevents>, 2015

Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility, Crop-Tomato-Yield-Machine Harvest-All year-Average by

Plot, <http://asi.ucdavis.edu/programs/rr/data>, 2015

Russell Ranch Sustainable Agriculture Facility, The design of LTRAS and data analysis. <http://www.sarep.ucdavis.edu/rr/files/ltras-design.pdf>, 2015.

United States Department of Agriculture Economic Research Service (USDA ERS), <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/vegetables-pulses/tomatoes.aspx>

Western Regional Climate Center, Summary of the Day: Monthly summary data lister (SOD-TD3200), http://www.wrcc.dri.edu/cgi-bin/sod_xtrmts1x.pl?04., 2015

Abstract

Comparison of Impact of Extreme Weather Events on Organic and Conventional Tomato Yield

Park, Sangjun

Department of Environmental Planning

The Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

Increasing trend of extreme weather events induced by climate change is expected to threaten food security by causing a decrease in the world's average agricultural yield and an increase in the overall yield variability. Although there are discussions on climate change adaptation potentials of organic agriculture to extreme weather events, empirical studies on the issue is not sufficient. Therefore, the impact of extreme weather events to the organic and conventional tomato yield is compared through quantile regression analysis, to empirically determine which agronomic practice enables tomato production to be more

stable. Organic and tomato yield data of UC Davis Russel Ranch Sustainable Agriculture Facility and weather data of the region from 1994 to 2012 is employed for analysis. Severe weather and extreme temperature dummy variables, and annual hot/cold days quantitative variables are derived and applied to the analysis to represent the various definitions of extreme weather events.

Yield variability of the conventional tomato is found to be larger than that of organic tomato, and there is significant negative impact of severe weather and annual hot/cold days on the lower quantiles of conventional tomato yield. On the contrary, there is no significant impact of extreme weather events to the organic tomato yield. Consequently, the organic tomatoes receives less impact from extreme weather events than conventional tomatoes. This implies that organic agriculture has more stability and climate change adaptation potentials in tomato production. Downside risks on conventional tomato yield caused by extreme weather events is recognized, implying that the risk of extreme weather events to the crop yield of different cropping systems should be assessed differently.

**Keywords : Extreme Weather Event, Organic Agriculture,
Conventional Agriculture, Quantile Regression,
Climate Change Adaptation, Agronomic Practice**

Student Number : 2014-24032