기후가 단감 생산에 미치는 영향 -정상남도를 사례로-

허인혜¹·이승호²

¹건국대학교 기후연구소·²건국대학교 지리학과
(2017년 6월 16일 접수, 2017년 6월 28일 수정, 2017년 6월 29일 게재 확정)

Impact of Climate on Yield of Sweet Persimmon in Gyeongsangnam-Province, South Korea

Inhye Heo¹ ·Seungho Lee²

¹Climate Research Institute, Konkuk University

²Department of Geography, Konkuk University

(Received 16 June 2017, Revised 28 June 2017, Accepted 29 June 2017)

Abstract : The purpose of this study is to extract climate factors affecting sweet persimmon yield by growth period and estimate the rate of future sweet persimmon yield using data of production and cultivation area of sweet persimmon and climate data for 1998-2015. During the analysis period, the cultivation area of sweet persimmon in Gyeongnam has been consistently decreasing, but sweet persimmon yield has increased. Climate factors that have statistically significant effects on sweet persimmon yield are mean temperature, maximum temperature, precipitation, precipitation days, and sunshine hours. The sweet persimmon yield is a statistically positively correlated with temperature and sunshine hours and negatively correlated with precipitation during the flowering period (April to May). The sweet persimmon yield is statistically positively correlated with precipitation in the growing period (June to August) and negatively correlated with temperature in maturity period (September to November). Future sweet persimmon yield is estimated to have a steadily decreasing rate of change in future climate change scenarios, RCP4.5 and RCP8.5.

Key Words : sweet persimmon, production and cultivation area, yield, growth period, climate factor

주요어 : 단감, 생산량과 재배면적, 생산성, 생육시기, 기후요소

1. 서론

오늘날 기후변화는 생태계 및 인간 활동에 직간

접적으로 미치는 영향이 뚜렷하다. 특히 경제 활동과 밀접한 농작물의 생육과 생산량 그리고 농작물 분포의 변화를 야기하므로 안정적인 농업활동

을 위해서는 지역별 기후변화의 특성 파악이 요구된다.

한국은 지난 100년 동안 평균 기온이 1.5℃ 이상 상승하였으며 현재 추세대로 온실가스가 배출 될 경우 2100년에는 5.7℃ 상승할 전망이다(Korean Meteorological Administration, 2014). 기온 상승을 포함한 기후변화는 과수의 개화기 및 수확기 등의 생육시기를 변화시키고 과실 품질에 영향을 미치게 된다(Yokoyama, 2005; Lee *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2012; 2013).

최근에는 평균 기온 상승뿐만 아니라 과수의 개화기 및 생육초기에 발생하는 서리, 이상저온, 우박 등의 극한기후로 인한 피해가 지속적으로 증가하고 있다(Seo, 2003; Kim *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2013a). 겨울철은 2~3월 기온 상승으로 인하여 내한성이 약해지는 시기인 과수 수액 이동기가 일리지면서 극한 저온 발생 시 동해 피해가 심해지고(Kang *et al.*, 1998), 초봄의 이상 고온으로 발아기가 빨라졌으나 발아 후 기온 하강으로 늦서리가 출현할 경우에도 피해가 발생한다(Lee *et al.*, 2008). 과수 성장기인 여름철 이상 고온 현상과 수확기인 가을철의 높은 최저기온과 최고기온은 각각 과실 성숙과 착색을 불량하게 하고 병충해로 과실의 품질을 저하시켜 수확량을 감소시킬 수 있다(Seo, 2003; Choi *et al.*, 2013b; Kim and Kim, 2014). 또한 생육기와 수확기의 빈번한 강수와 호우 현상도 과수의 생산량과 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

한국의 주요 6대 과수 작물은 사과, 배, 복숭아, 포도, 단감, 감귤 등이다. 비교적 서늘한 기온에서 품질과 생육이 양호한 사과와 배를 포함해 대부분의 과수는 현재 재배 시스템이 유지된다는 조건하에 미래의 기후학적 재배지 변동을 예측한 결과 재배 적지와 재배 가능지가 모두 급감하는 것으로 분석되었다(Kim *et al.*, 2010; Agricultural Research

Center for Climate Change, 2015).

단감과 감귤은 온대/아열대성 과수로 사과나 배에 비하여 21C 말까지 지속적으로 재배 가능지가 증가하고 재배 한계선이 북상할 것으로 전망하고 있다. 특히 단감은 고품질 재배가 가능한 재배 적지의 면적이 꾸준히 늘어 총 재배 가능 면적이 증가하며 산간 지역을 제외한 중부 내륙 전역으로 확대될 것이다. 또한 주요 과수 작물 중 과거 30년간(1981~2010년) 총 재배 가능지 비율을 고려할 때 단감이 가장 높게 증가하기 때문에 재배 면적 역시 증가할 개연성이 높으므로 과잉 생산될 수 있다. 이에 단감은 수급 물량 조절을 위한 정책 수립과 과실 소비 확산을 위한 기술 개발이 필요하다는 결론과 함께 미래의 유용한 과수 작물로 주목되었다(Agricultural Research Center for Climate Change, 2015).

세계 감 생산 동향을 살펴보면 중국은 최대 감 생산국으로 세계 감 생산의 71.5%를 차지하고 있다. 그러나 뚝은감이 대부분이고 단감은 중국 감 생산량의 2%에 불과한 50,000ton 정도이다. 일본은 연간 약 260,000ton의 감을 생산하지만 이 중 단감 비중이 50% 이내로 130,000ton에 불과하다. 한국은 감 생산국으로(450,000ton/년)는 2위이지만 연간 약 200,000ton의 단감을 생산하므로 세계 제 1위의 단감 생산국이다. 또한 10,000ton/년 내외를 수출하고 있는 최대 단감 수출국으로 국제교역량의 약 16%를 차지하고 있으므로 단감은 경쟁력 있는 과수이다(Cho, *et al.*, 2012). 그러나 기후변동, 도시화로 인한 폐원, 노동력 부족, 대체 과일의 수입으로 인한 가격하락 등의 원인으로 단감은 오늘날 생산이 불안정한 농작물 중 하나이므로 지속가능한 경쟁력 있는 과수를 생산하기 위하여 안정적인 단감 생산 체계를 구축해야 할 필요성이 요구된다.

단감에 관한 선행 연구는 특정 기간의 기상환경

변화에 따른 과실 특성 변화, 병해충 방제, 수형조절, 시비량 조절 등에 관한 실험결과 분석과 기온 변화에 따른 단감 재배면적 변화에 관한 것이 대부분이다(Jeon *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2013a; Sim *et al.*, 2014). 실제 주요 단감 생산지역의 생산의 변화와 기후와의 관계를 분석한 후 단감 생산성의 변화 특성을 파악한 연구는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 단감 주요 생산지를 중심으로 실제 생산 활동을 분석한 후 경남을 사례로 생산에 영향을 미칠 수 있는 생육시기별 기후요소와의 관계분석을 통하여 단감 생산의 변동 요인을 파악하고자 한다.

2. 연구 자료 및 방법

국내에서 생산하고 있는 단감 품종은 ‘부유’, ‘차량’, ‘서촌조생’, ‘대안단감’ 등으로 다양하지만 ‘부유’의 재배 면적이 87.2%를 차지하며 대부분의 단감 생산 지역에서 집중 재배되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구의 단감 생산 관련 자료는 조/중/만생종 품종을 구분하지 않았으며, 관련 기후자료를 선정할 때 만생종인 ‘부유’의 생육시기를 고려하여 분석하였다.

본 연구의 시계열 분석에 이용한 감 생산 관련 자료는 통계청에서 제공하는 1998년부터 2015년까지의 시도별 단감 재배면적과 생산량 자료이며, 2013년부터 2015년까지의 시군별 단감 통계자료는 광역시도별 시군 단위의 단감 생산 분포 파악에 이용하였다. 또한 단감 재배면적의 변화를 파악하기 위하여 1982년부터 2007년까지 5년 간격으로 조사된 농업진흥청 국립원예특작과학원의 시군별 재배 면적 자료를 참조하였다. 기후자료는 기상청에서 제공하는 기온자료와 강수자료, 일조시간 등의 일자료를 이용하여 월별, 생육시기별로 재생산하였다. 기온자료는 주간과 야간의 단감 생

육 민감도를 비교하기 위하여 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온 자료를 이용하였다. 또한 단감 나무 생장에 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 미칠 수 있는 선행 실험(Agricultural Research Center for Climate Change, 2015)의 기온 변수인 연평균기온, 생육기기온, 9월/10월 평균기온, 온량지수, 극최저기온한계치 등도 분석하였다.

기후요소와의 관계를 파악하기 위한 분석지역은 경남으로 선정하였다. 경남은 단감 작황 정도에 따라서 매년 국내 단감 시세에 미치는 영향이 큰 지역으로 한국 단감 생산량(66.6%)과 재배면적(59.6%)의 값이 가장 높은 지역이다. 또한 기후자료는 제한된 기상관측소를 중심으로 생산되어도 단위의 행정구역별 단감 생산성 자료와의 관계를 분석할 때 자료의 질적인 면에서 어려움이 발생할 수 있다. 경남의 최근(2013~2015년) 시군별 단감 생산 자료를 분석하였을 때 기상관측소(창원, 진주, 밀양, 함천)에 인접한 창원, 함안, 김해, 진주, 밀양, 창녕 등에서 생산량과 재배면적이 각각 90.2%, 91.3%로 도별 단감 생산 자료와 기후관측자료 관계 분석이 적절하다고 판단할 수 있다.

단감나무는 생장속도에 의하여 3단계로 생육시기를 구분할 수 있다. 생장량이 급격히 증가하는 1, 3단계와 생장 속도가 느린 2단계로 이루어져 있다. 1단계인 4월 하순부터 5월 하순까지 급격히 과중이 증가하며 2단계인 6월부터 8월까지의 완만히 무게가 증가한다. 3단계인 9월부터 수확 전까지는 과실의 건물(乾物) 증가율이 가장 크고 착색과 당도가 증가하는 시기이다(Nii, 1980; Nakano *et al.*, 1997). 본 연구에서는 발아부터 개화가 발생하는 1단계를 개화기, 6월부터 8월까지의 성장기, 9월부터 ‘부유’ 단감 수확시기를 포함하는 11월까지를 생숙기로 지정하여 각 시기별 과실 생육활동에 영향을 미치는 기후요소와 지역별 단감 생산성 간의 관계를 파악하였다.

농업 생산성은 농업 생산 기술의 진보로 인한 지속적인 생산력 증가를 기본으로 매년 변동한다. 농업 생산성과 관련 있는 기후 외적인 영향을 제거시키기 위하여 사용 가능한 통계 자료 추출 방법은 2가지를 이용할 수 있다. 첫 번째 방법은 농업 생산성 원 자료에서 전년 자료를 차분하여 탈경향 생산성 자료를 추출하고 다양한 기후요소도 같은 방법으로 1차 차분하여 새롭게 탈경향 기후요소 자료를 생산한 후 생산성 변수와 기후변수 간 관계를 분석하는데 주로 이용한다(Nicholls, 1997; Lobell and Field, 2007). 두 번째 방법은 생산성 자료의 이동 평균을 이용하는 것으로 해당 년과 이동평균 값과의 차이를 이동평균으로 나누어 상대적인 탈경향 생산성 자료를 추출하는 것이다. 주로 장기간 농업 생산성 자료 분석 시 이용하는 방법으로 첫 번째 방법에 비하여 분석기간의 전반기와 후반기의 시대별 탈경향 생산성의 변동 양상이 다양할 때 평균 생산성에 대한 탈경향 생산성 비율을 추출하는 것으로 상대적인 탈경향 생산성 자료로 정의할 수 있다. Yu *et al.*, (2014)의 연구가 대표적이며 9년 이동 평균을 사용하였다. 장기간 자료가 구축된 경우 특정 기간 평년값과의 차이를 이용하여 탈경향 생산성 자료를 추출할 수도 있다(Osborne and Wheeler, 2013). 본 연구에서는 자료의 분석기간을 고려하여 첫 번째 방법을 이용하였다. 광역 시도별 단감 생산성 자료와 관련 기후자료의 전년 도와의 차분 값을 추출하여 단감 생산성에 영향을 미치는 기후요소를 파악하였다.

단감의 생산성을 분석할 수 있는 자료는 1998년부터 2015년까지의 광역시도별 단감 생산량과 재배면적을 이용한 자료가 유일하다. 보다 많은 자료를 수집할 수 있는 시군별 자료는 최근 3~4년 자료만 제공되므로 기후 변동에 따른 단감 생산성을 파악하기에 어려움이 있다. 따라서 단감 생산성과 기후요소간의 관계를 파악하기 위해 이용할

수 있는 자료 수는 광역시도별 18개(1998~2015년)에 불과하다.

본 연구에서는 두 변수간의 상관성을 파악할 때 자료 개수 부족과 자료의 정규분포가 불확실한 문제점을 보완하기 위하여 Bootstrap 방법을 이용하여 Kendall 상관분석을 시행하였다. Bootstrap 방법은 미국 스탠포드대학교의 Bradley Efron 교수에 의하여 1977년 창안되어 개발된 것으로 실제 조사 자료를 바탕으로 가상의 샘플링을 수행하고, 수행된 결과를 기반으로 결과의 정확성을 평가하거나 분포를 추정하는 방법이다. 이 방법에서는 주어진 자료를 원래의 모집단을 대표하는 독립 표본으로 가정하고 그 자료로부터 중복을 허용한 무작위 재추출로 복수의 자료를 작성하여 각각에서 얻어진 통계량을 계산하여 오차분산을 구한다. 자료의 정규성의 유무에 관계없이 특정 신뢰구간의 상한값과 하한값을 구할 수 있는 통계 방법이다(Huh, 2014). Kendall 상관분석과 Bootstrap 방법을 이용한 지역별 단감 생산성과 기후요소의 관계를 가시화하기 위하여 box plot으로 표현하였다(Tao *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2014).

미래 단감 생산성 변화율을 추정하기 위하여 사용한 고해상도 기후변화 시나리오는 온실가스 배출 시나리오인 RCP 시나리오에 기초한 지역기후모델 HadGEM3-RA(해상도 12.5km)를 기반으로 MK-PRISM모델에 적용하여 고해상도(1km×1km)의 격자자료를 추출한 것이다. 본 연구에서 이용한 온실가스 시나리오는 RCP4.5와 RCP8.5로 각각 저감 노력이 실현되어 2100년에 이산화탄소 농도가 540ppm에 도달하는 것과 기후변화를 완화하기 위한 노력 없이 현재 추세대로 온실가스를 계속 배출하여 2100년에 이산화탄소 농도가 940ppm에 도달하는 것으로 전망한 자료이다.

3. 국내 생산 현황

감나무속에 속하는 식물은 약 190여종으로 낙엽성과 상록성이 있고 관목성과 교목성이 있다. 감나무속 대부분은 열대에서 온대지방까지 분포하고, 원산지가 한국, 일본, 중국으로 식용 또는 약과 염료 등으로 사용된다.

감은 종자의 유무나 수, 그리고 갈반정도에 따라 완전 단감, 불완전 단감, 완전 뚝은감, 불완전 뚝은감으로 분류하지만(Yakushiji and Nakatsuka, 2007), 크게 단감과 뚝은감으로 구분할 수 있다.

Figure 1은 한국의 뚝은감과 단감의 재배면적, 생산성을 1998년부터 2015년까지 표현한 것이다. 뚝은감은 분석기간 동안 재배면적이 지속적으로 증가하면서 생산성도 다소 증가하는 경향이다. 반면에 단감은 재배면적의 급격한 감소 경향과 생산성의 지속적인 증가 경향이 뚜렷하다. 뚝은감에 비하여 단감의 생산성 증가 변화율이 특징적이다.

단감 생산 변화의 분석기간을 Table 1과 같이 구분하였을 때 평균 단감 재배면적은 1998~2003년에 22,465ha인 것이 2010~2015년에는 그 값이 13,356ha로 40.5% 감소하였으나 평균 단감 생산량은 같은 기간 13.0% 감소하였다. 재배면적의 변화 간섭으로 인한 생산량 변화량을 보완하기 위한 재배면적 당 생산량을 단위로 하는 단감 생산성의 변화는 1998~2003년에 898kg/10a이었던 것이 2010~2015년에는 1,325kg/10a로 47.6% 증가하였다. 단감 재배면적 감소율은 753.5ha/년이며 단감 생산성 증가율은 35.32kg/10a/년으로 $\alpha=0.01$ 에서 통계적으로 유의하게 변화하였다(자료 미제시).

광역시도별 단감 생산 변화는 Figure 2와 같다. 단감 생산량 기간별 분포도는 분석기간 동안 부산과 제주를 제외하고 대부분 광역시도에서 뚜렷한 변화를 보이지 않는다. 그러나 단감 생산량이 많은 지역이 아니지만 1998~2003년에 비하여 2004~2009년간 생산량이 강원 46.6%, 전북

Figure 1. State of Production for persimmon (left: astringent type, right: sweet type) in Korea (1998~2015).

Table 1. Production of sweet persimmon in Korea (1998~2015).

Period	Production (ton)	Cultivation area (ha)	Yield (kg/10a)
1998~2003	201,960	22,465	898
2004~2009	209,407	16,732	1,257
2010~2016	175,686	13,356	1,325

Figure 2. Distribution of production for persimmon (top: production, middle: cultivation area, Bottom: yield) by period.

49.6%, 제주 34.7% 등으로 감소하였고 경상남북도는 각각 14.7%, 0.7% 증가하였다(Table 2). 2010~2015년의 단감 생산량은 대부분 지역에서 전 기간에 비하여 다소 감소하였으나 최근 6년간 한국 단감 생산량의 63.9%를 차지하고 있는 경남은 전 분석기간에 걸쳐 뚜렷한 변화를 보이지 않았다.

단감 재배면적은 1990년대 후반에서 2000년대 초반인 1998~2003년 동안 울산을 제외한 모든 지역에서 분석기간 가장 높은 값을 보인다. 그러나 2000년대 중후반인 2004~2009년 광역시도별 재배면적은 인천, 대전과 같이 단감 재배면적이 4~31ha에 불과한 지역과 울산을 제외하고 모든 지역에서 급격하게 감소하였다. 경기(71.1%), 강원(65.6%), 전북(61.5%), 제주(56.1%), 충남(43.6%), 경북(40.6%), 전남(31.5%) 순으로 감소하였고, 단감 생산이 가장 많은 경남 또한 17.3% 감소하였다. 2010~2015년 동안 단감 재배면적은

전 기간에 비하여 충북 55.3%, 충남 35.1%, 경북 34.8%, 제주 30.5%, 전남 27.2%, 경남 14.0% 감소하였다. 단감 재배면적이 국내 2, 3위인 전남과 경북의 지속적인 감소와 울산의 지속적 증가가 특징적이다.

광역시도별 단감 생산성도 재배면적과 같이 변화가 뚜렷하다. 1998~2003년에 비하여 2004~2009년의 단감 생산성은 모든 지역에서 증가하였다. 단감 생산이 많은 지역은 아니지만 대전(82.3%), 대구(154.9%), 강원(42.3%)에서 증가율이 높고 단감 생산이 많은 경남(42.4%), 전남(23.7%), 경북(52.0%)에서도 생산성 증가가 뚜렷하다. 그러나 2010~2015년 동안은 충북 52.3%, 제주 49.7%, 강원 29.1%, 전남 및 전북과 경북이 2.3~8.5%로 단감 생산성이 감소하는 지역이 있는 반면 경남(13.4%)과 같이 증가하는 지역이 함께 출현하였다. 이와 같이 대부분 지역에서 재배면적의

Table 2. Difference of production, cultivation area and yield of persimmon with previous period.

(unit: %)

Region	Production		Cultivation area		Yield	
	1998-2003 vs. 2004-2009	2004-2009 vs. 2010-2015	1998-2003 vs. 2004-2009	2004-2009 vs. 2010-2015	1998-2003 vs. 2004-2009	2004-2009 vs. 2010-2015
Busan	58.0	-41.2	23.1	-32.2	30.8	-18.9
Daegu	192.4	-51.7	8.4	-38.2	154.9	-25.4
Incheon	836.8	187.8	234.8	139.0	118.8	21.1
Gwangju	-21.8	-31.0	-33.0	-26.2	40.8	-19.6
Daejeon	527.4	-85.3	102.9	-62.0	82.3	-81.1
Ulsan	0.5	-3.9	2.9	2.7	8.5	-10.0
Gyeonggi	-45.6	45.4	-71.1	48.8	60.9	17.0
Gangwon	-46.6	-31.9	-65.6	-4.3	42.3	-29.1
Chungbuk	20.6	-93.5	-14.0	-55.3	7.0	-52.2
Chungnam	-28.2	-31.2	-43.6	-35.1	26.0	18.5
Jeonbuk	-49.6	-7.8	-61.5	1.1	14.4	-2.3
Jeonnam	-11.3	-28.5	-31.5	-27.2	23.7	-3.8
Kyeongbuk	0.7	-40.4	-40.6	-34.8	52.0	-8.5
Kyeongnam	14.7	-4.4	-17.3	-14.0	42.4	13.4
Jeju	-34.7	-52.5	-56.1	-30.5	56.4	-49.7

감소가 지속적인 것에 반하여 광역시도별 단감 생산성은 분석기간의 전기에 비하여 중기에 증가 경향이 매우 뚜렷하다가 최근 감소의 변동 폭이 비교적 적은 것을 확인할 수 있다. 따라서 재배면적의 변화와 다른 양상을 보이는 단감 생산성을 추정하기 위하여 단감 생산성에 영향을 미치는 기후요소와의 관계에 대한 연구가 필요하다.

4. 단감 생산성과 생육시기별 기후요소의 관계

단감 생육시기는 개화기(4~5월), 성장기(6~8월), 성숙기(9~11월)로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 각 시기별 단감 생산에 영향을 미칠 수 있는 기후요소인 기온(평균, 최고, 최저), 강수, 일조시간 등을 중심으로 생육시기별, 월별 단감 생산성과 기후요소와의 관계를 분석하였다. 또한 온량지수, 서리일수, 첫서리일, 끝서리일, 극최저기온한계치 등 다양한 분석을 시행하였으나 본 논문에는

단감 생산성과의 관계가 통계적으로 유의한 것을 중심으로 서술하였다.

1) 개화기(4~5월)

단감의 실제 개화시기는 지역에 따라 다소 차이가 발생하지만 5월 중순에서 하순까지이다. 그 전 4월은 발아·전엽기로 개화에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 경남 개화기(4~5월) 기온의 1차 차분자료와 단감 생산성 1차 차분 자료의 상관분석 결과는 Figure 3a와 같다.

개화기의 기온과 단감 생산성과의 관계는 평균기온(Tmean_F.P)과 최고기온(Tmax_F.P) 모두 통계적으로 유의한 정(+)의 관계이다. 개화기 기온이 상승할수록 단감 생산성이 증가하는 것이다. 특히 봄철 개화기 중 4월 평균기온(Tmean_4)과 최고기온(Tmax_4)과의 관계가 통계적으로 유의한 상관관계를 보인다. 새순이 돌아나는 발아기와 꽃봉오리와 잎이 분리되어 꽃눈을 생성하는 전엽기의 기온이 낮아 저온현상이 나타날 경우 발아한 새순이 꽃눈으로 성장하지 못하고 잎눈으로 변하여 단

Figure 3. Box plot of correlations between first-differences of persimmon yield (kg/10a) and (a) first-differences of temperature series (b) first-differences of precipitation and sunshine series for the flowering period (F.P; April-May), during 1998-2015. The horizontal bars and upper and lower edges of the boxes indicate 1, 25, 75, 99 percentiles of the data set, respectively. The line in the box indicates the median value of the data, and the filled circle represents the mean of the data. The correlations significant at 0.05 level were marked by *, and significant at 0.01 level were marked by **.

감 생산량에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Choi, 2012). 최저기온과 단감 생산성과의 관계는 뚜렷하지 않았으나 개화기에 출현하는 늦서리일과의 단감 생산성은 부의 관계이다. Figure 3a에서와 같이 통계적으로 유의하지는 않지만 늦서리일이 일러질수록 단감 생산성은 증가한다. 이와 같이 개화기의 단감 생산성은 늦서리일을 포함한 야간의 최저기온과의 관계보다 주간 최고기온과의 정의 관계가 뚜렷하다.

개화기의 강수현상 중 강수량(Prec_F.P)은 단감 생산과 통계적으로 유의한 부적인 상관관계이다(Figure 3b). 발아기와 전엽기, 꽃이 피는 개화 시기에 강수량이 많을 경우 수분작용 저해현상과 낙화현상, 등근무늬낙엽병과 감관충채벌레 증식으로 낙엽병 또는 녹반병 발생위험이 증가한다(RDA, 2013). 단감 생산성은 강수일수 보다 강수량과의 상관관계가 뚜렷하다. 개화기에 적은 양의 강수보다 많은 양의 강수로 인한 수분작용 저해현상과 낙화현상이 단감 생산성에 직접적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 경남의 단감 생산성은 병해충의 위험이 증가하고 본격적으로 꽃이 개화하는 5월 강수량(Prec_5)과의 관계가 더 뚜렷하다.

개화기의 일조시간(SS_F.P)과 단감 생산성은 통계적으로 유의한 정의 관계이다. 발아기부터 꽃이 피는 개화시기까지 일조시간이 증가할수록 단감 생산성도 증가한다. 개화기의 강수현상과 같이 일조시간이 증가할수록 단감 생산성이 증가하는 정적인 상관관계는 꽃이 피는 5월(SS_5)에 더 뚜렷하다.

2) 성장기(6~8월)

단감의 성장기는 6~8월까지로 6월 중순부터 7월 상순까지의 생리적 낙과기와 이후부터 7월말경 전후에 주로 이루어지는 화아(花芽) 분화기를 포

함한다. 생리적 낙과기는 자연 적과(열매 숙아주기) 기간이며 화아 분화기는 단감의 영양성장이 멈추고 생식성장으로 전환하는 시기이다. 감이 많이 결실될 경우 양분이 감으로 이동하여 화아 분화에 충분한 양분이 이동하지 않으면 다음 해의 단감 결실에 영향을 미칠 수 있다.

생리적 낙과기는 낙과현상이 급격하게 증가할 수 있는 극한 고온 현상에 대한 주의가 필요하지만 경남은 해당 시기에 30~35℃ 이상의 고온 현상이 빈번하지 않아 단감 생산과의 관계가 뚜렷하지 않다. 또한 생리적 낙과기에 짧은 감의 적과 작업은 자연적으로 이루어지는 것에 반하여 단감은 반드시 인위적인 적과 작업을 수행해야 할 만큼 자연적 현상이 나타나지 않는다. 따라서 장마기 강수 현상으로 인한 부정적인 영향이 나타나지 않았다. 그러나 8월은 단감이 다시 영양성장하는 시기로 고온기에 강수량(Prec_8)과 강수일수(Prec_d_8)가 빈번할수록 단감 생산성을 증가시키는 정적인 상관관계가 나타난다(Figure 4).

RDA(2013)에 의하면 한여름이라고 할 수 있는 8월에 고온건조로 수분이 부족할 경우 단감나무는 광합성이 억제되어 과실생장이 나빠지고 심하면 잎이 말리며, 일소과(日燒果) 발생과 조기낙엽 피해로 단감 성장이 저해될 수 있으므로 성장기 중 8월의 강수량과 강수일수의 증가는 단감 생산성 증가에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다.

3) 성숙기(9~11월)

성숙기인 9~11월은 착색기, 성숙기, 수확기를 포함한다. 이 시기에는 단감이 급속히 비대해지는 시기로 착색이 진행되고 과육 경도가 낮아진다. 성숙기의 평균기온(Tmean_M.P)과 최고기온(Tmax_M.P)은 단감 생산성과 통계적으로 유의한 부의 관계이다(Figure 5).

수확을 앞둔 성숙기에는 병해충의 피해를 고려

Figure 4. Box plot of correlations between first-differences of persimmon yield (kg/10a) and first-differences of precipitation series for the growing period (G.P; June-August), during 1998-2015. The horizontal bars and upper and lower edges of the boxes indicate 1, 25, 75, 99 percentiles of the data set, respectively. The line in the box indicates the median value of the data, and the filled circle represents the mean of the data. The correlations significant at 0.01 level were marked by **.

Figure 5. Box plot of correlations between first-differences of persimmon yield (kg/10a) and first-differences of temperature series for the maturity period (M.P; September-November), during 1998-2015. The horizontal bars and upper and lower edges of the boxes indicate 1, 25, 75, 99 percentiles of the data set, respectively. The line in the box indicates the median value of the data, and the filled circle represents the mean of the data. The correlations significant at 0.05 level were marked by *.

해야 한다. 단감은 성숙기를 지날수록 살포하는 약제로 인한 약해가 발생하기 쉬워 적극적인 병해충 방제 효과가 감소하는 시기이다. 특히 15℃ 이상일 때 발생하는 탄저병은 단감 생산에 치명적인 손실을 초래한다(Lee, 2003). 단감의 과피는 성숙기에 급속히 팽창하며 과피의 작은 균열에 탄저균이 감염되어 다른 과실로 급속히 전파된다. 따라서 수확 전 시기의 기온이 높을 경우 탄저병 발생율과 다른 과실로의 전염 가능성이 증가하므로 단감 생산성은 10월의 평균기온(Tmean_10)과 최고기온(Tmax_10)과의 관계가 뚜렷하다.

경남의 주요 단감 재배지역은 성숙기 평년 평균기온이 14.0℃이고, 그 중 9월과 10월의 평년 평균기온이 각각 20.6℃, 14.1℃로 단감 비대와 착색 진행을 위한 조건인 9월(20.0℃)과 10월(13.0℃)의 적정 평균기온 이상으로 안전한 단감 가능지역에 포함된다. 따라서 성숙기의 평균기온과 최고기온이

증가할수록 오히려 병해충 발생율이 증가하므로 단감 생산성은 감소할 수 있다고 판단된다.

5. 미래 단감 생산성 변화율 추정

단감의 생산성에 영향을 미칠 수 있는 기후요소는 생육시기별로 다양하게 분석되었다. 특히 개화기(4~5월)의 기온과 강수현상은 과실수 결정에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 발아기와 꽃이 피는 개화시기가 포함되었고, 성숙기(9~11월)에는 수확기 전 고온과 병해충이 낙과 또는 과실 불량에 영향을 미치고 있었다. 이러한 경남 단감 생산성과 각 생육시기 전반에 걸쳐 관계가 뚜렷한 주요 기후요소들을 중심으로 미래 서로 다른 기후환경 변화에 의한 단감 생산성의 변화를 추정하였다.

미래 단감 생산성 변화율을 추정하기 위해서

는 미래 기후변화 시나리오를 이용해야한다. 미래 기후변화 시나리오에서 생산한 자료의 시간규모를 고려할 때 월별 단위의 기후요소 자료를 이용하는 것은 오류 발생 가능성이 높아질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 계절 규모의 기후요소 변화가 단감 생산성에 영향을 미치는 경우로 제한하여 변수를 선정하였다. 기후변화 시나리오는 온실가스 배출 수준을 현재 추세대로 유지하였을 경우(RCP8.5)와 적극적인 저감 정책을 수행하였을 경우(RCP4.5)의 모델을 이용하였다.

RCP4.5 기후변화 시나리오에 의하면 경남의 2041~2070년까지 봄철평균기온은 1998~2015년 평균기온보다 0.2℃ 상승하고 2071~2100년까지는 0.8℃ 상승한다. 또한 가을철 평균기온은 2041~2070년에 0.7℃ 증가하고 2071~2100년에는 1.3℃ 증가할 것이라 추정하고 있다. 봄철 강

수량도 1998~2015년의 평균 강수량보다 2041~2070년(95.2mm), 2071~2100년(142.0mm) 모두 지속적인 증가 추세이다. 두 기후변화 시나리오 모두 2071~2100년 봄철 개화기 평균기온의 상승이 가장 뚜렷하다(Table 3).

현재와 같이 온실가스가 배출될 경우(RCP8.5)에는 경남의 2041~2070년까지 봄철평균기온은 1998~2015년 평균기온보다 0.9℃ 상승하고 2071~2100년까지는 2.9℃ 상승한다. 또한 가을철 평균기온은 2041~2070년에 1.6℃ 상승하고 2071~2100년에는 3.9℃ 상승할 것으로 추정된다. 봄철 강수량도 RCP4.5 기후변화 시나리오에 비하여 2041~2070년(127.9mm), 2071~2100년(178.3mm) 모두 높은 증가 추세이다.

기후변화 시나리오 RCP4.5인 경우 2041~2070년의 단감 생산성은 1998~2015년의 단감 생산

Table 3. Difference of climate values for RCP4.5 and RCP8.5 and climate values during 1998-2015 in Gyeongnam.

Period	RCP4.5			RCP8.5		
	$\Delta T_{mean_F,P}$ (℃)	$\Delta T_{mean_M,P}$ (℃)	$\Delta Prep_F,P$ (mm)	$\Delta T_{mean_F,P}$ (℃)	$\Delta T_{mean_M,P}$ (℃)	$\Delta Prep_F,P$ (mm)
2041~2070	0.2	0.7	95.2	0.9	1.6	127.9
2071~2100	0.8	1.3	142.0	2.9	3.9	178.3

Figure 6. Estimated yield change (%) by climate change for RCP4.5 (a) and RCP8.5 (b) during 2041-2070 and 2071-2100 in Gyeongnam.

성보다 평균 1.6% 감소하는 것으로 추정된다. 봄철 평균기온의 상승은 단감 생산성을 6.1% 증가시킬 수 있다. 반면에 가을철 평균기온의 상승과 봄철 강수량 증가는 단감 생산성을 평균 각각 3.4%, 7.7% 감소시키는 추세이다(Figure 6a). 2071~2100년의 평균 단감 생산성은 봄철 평균기온의 상승으로 13.5% 증가하였으나 봄철 뚜렷한 강수량 증가와 가을철 평균기온의 상승으로 인하여 10.5% 감소하며 오늘날보다 평균 2.5% 감소하는 추세이다.

현재 온실가스 배출 수준을 유지하는 RCP8.5인 경우에 2041~2070년의 단감 생산성은 1998~2015년의 단감 생산성보다 평균 2.3% 감소하는 것으로 추정된다. 봄철 평균기온의 상승은 단감 생산성을 14.7% 증가시키지만 가을철 평균기온의 상승과 봄철 강수량 증가는 단감 생산성을 각각 10.4%, 11.3% 감소시킬 것이라 추정된다(Figure 6b).

2071~2100년의 평균 단감 생산성은 봄철 평균기온의 상승으로 39.2% 급격하게 증가하면서, 가을철 평균기온의 상승과 봄철 강수량 증가로 인하여 각각 28.4%, 16.8% 감소하였지만 오늘날보다 평균 2.0% 감소하는 추세이다. 2071~2100년간 평균 단감 생산성 변화율은 같은 기간의 RCP4.5인 경우의 평균 단감 생산성 변화율과 RCP8.5의 2041~2070년간의 생산성 변화율보다 다소 감소하는 추세이다.

본 연구에서 경남의 단감 생산성 변화율을 추정하기 위해 이용한 기후변수는 계절규모의 생육시기 전반에 영향을 미칠 수 있는 것으로 제한하였다. 단감 생산성에 정적인 영향을 미칠 수 있는 한 가지 기후요소와 부적인 영향을 미칠 수 있는 두 가지 기후요소가 선정되었으므로 미래 기후요소별 변화 가중치에 따라 평균 단감 생산성 변화율은 직접적인 영향을 받을 것이다. 따라서 현재 추세대로 온실가스를 배출할 경우 봄철 평균기온의 증가

가 가장 뚜렷하여 단감 생산성의 감소 폭 수치가 다소 낮아진 것으로 판단된다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 1998~2015년간 단감 생산량과 재배면적, 생산성 자료와 기후자료를 이용하여 단감 생산에 영향을 미치는 생육시기별 기후요소를 추출하고 미래 단감 생산성 변화율을 추정하였다.

분석기간 중 단감 재배면적의 감소와 생산성의 증가가 뚜렷하였다. 광역시도별 단감 안전재배지역에 속하는 대부분의 지역은 재배면적의 지속적인 감소와 최근 다소 감소하지만 최대 단감 생산지역인 경남을 중심으로 단감 생산성이 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 단감 생산성에 영향을 미칠 수 있는 생육시기별 기후요소를 파악하기 위하여 경남을 사례로 단감 생산성과 개화기(4~5월), 성장기(6~8월), 성숙기(9~11월)의 기온, 강수, 일조시간 등과의 관계를 분석하였다.

개화기에는 단감 생산성과 개화기의 평균기온 및 최고기온이 정의 관계이다. 발아기와 전엽기에 속하는 4월의 평균기온과 최고기온과의 관계가 뚜렷하였다. 개화기의 강수량과 단감 생산성은 부의 관계로 5월 강수량이 적고 일조시간이 많을수록 단감 생산성이 증가하였다. 성장기인 8월의 강수량 및 강수일수와 단감 생산성은 정의 관계이다. 또한 성숙기의 기온이 높을수록 단감 생산성이 감소하였다.

미래 기후변화 시나리오인 RCP4.5와 RCP8.5에서 생산한 미래 경남의 단감 생산성 변화율은 지속적으로 감소하는 것으로 추정되었다. 시나리오에 의한 미래 기온과 강수량 증가는 미래 단감 생산성을 감소시키는 경향이지만, RCP8.5의 2071~2100년의 단감 생산성 변화율은 봄철 평균기온의 뚜렷

한 상승으로 감소하는 폭이 다소 줄어든 것으로 추정되었다.

행정구역 단위의 면 유형의 농업 생산 자료와 기상관측지점별 점 유형의 기후 관측 자료는 근본적으로 특성이 상이하여 두 변수간의 관계를 분석할 때 공간적인 동질성 확보가 중요하다. 또한 본 논문에서 이용한 단감 생산 자료는 현재 관련 기관의 공신력이 보장된 통계자료 구축 부족으로 인하여 시계열 분석과 공간 분포 분석의 제약이 발생하였다. 이를 보완하기 위하여 다양한 통계 방법을 시도하였으나 자료 구축의 한계로 인하여 통계적으로 유의한 미래 단감 생산성 변화 추정에 어려움이 야기되었다. 따라서 미래 안정적인 단감 재배와 생산 시스템의 정책 확립을 위해서는 향후 장기간 구축된 고품질의 농업 생산 자료와 기후자료를 이용하여 각 기후요소별 단감 생산성 변화율 기여도를 파악한 후 종합적인 미래 단감 생산성 변화율 추정이 이루어져야 할 것이다.

사사

이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A3A2924243).

참고문헌

- Agricultural Research Center for Climate Change, 2015, *Digital agro-climate map data base for impact assessment of climate change on agriculture*, Rural development administration, 161p (in Korean).
- Cho, G. S., Ha, D. J., Lee, S. Y., Choi, C. G., Kim, Y. J., and Kim, B. S., 2012, *FTA Measures to enhance competitiveness by corresponding items*, Rural development administration, 1-14 (in Korean).
- Choi, S. T., 2012, *Persimmon cultivation management*, Gyengsangnamdo Agricultural Research & Extension Service, 32p (in Korean).
- Choi, S. T., Park, D. S., Ahn, G. H., Kim, S. C., Choi, T. M., and Rho, C. W., 2013a, Responses of tree growth and fruit production of persimmon after lowering height by heavy pruning to fertilization rates, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 46(2), 136-141 (in Korean).
- Choi, S. T., Park, D. S., Son, J. Y., Park, Y. O., Hong, K. P., and Cho, K. S., 2013b, Climate-related changes in fruit growth of 'Fuyu' persimmon during the harvest season, *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 31(1), 32-37 (in Korean).
- Huh, M. H., 2014, *SPSS statistics nonparament methods and bootstrap method*, Datasolution Inc, 145p (in Korean).
- Jeon, K. S., Kim, H. C., Han, J. H., and Kim, T. C., 2010, Selection of main air temperature factors on annual variation of growth and fruit characteristics of persimmon, *Journal of Biological Conservation*, 19(3), 165-170 (in Korean with English abstract).
- Kang, S. K., Motosugi, H., Yonemori, K., and Sugiura, A., 1998, Freezing injury to persimmons (*Diospyros kaki* THUNB) and four other *Diospyros* species during deacclimation in the spring as related to bud development, *Scientia Horticulturae*, 77, 33-43.
- Kim, M. R. and Kim, S. G., 2014, Examining impact of weather factors on apple yield, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 16(4), 274-284 (in Korean with English abstract).
- Kim, S. O., Kim, D. J., Kim, J. H., and Yun, J. I., 2012, Freeze risk assessment for three major peach growing areas under the future climate projected by RCP8.5 emission scenario, *Korean Journal*

- of Agricultural and Forest Meteorology*, 14(3), 124-131 (in Korean with English abstract).
- Kim, S. Y., Heo, I. H., and Lee, S. H., 2010, Impact of temperature rising on changing of cultivation area of apple in Korea, *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, 16(3), 201-215.
- Korean Meteorological Administration, 2014, *Korean climate change assessment report 2014*, Korean meteorological administration, 330p (in Korean).
- Lee, G. C., 2003, *Ecological characteristics of major insect pests of sweet persimmon and evaluation of pest removal techniques from harvested fruits*, Ph. D. thesis. Gyongsang University, 129p (in Korean with English abstract).
- Lee, S. H., Heo, I. H., Lee, K. M., Kim, S. Y., Lee, Y. S., and Kwon, W. T., 2008, Impacts of climate change on phenology and growth of crops: In the case of Naju, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(1), 20-35 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. H., Kwon, Y. S., Kim, I. J., Kim, T. J., Kim, H. H., and Kim, D. I., 2012, Correlation analysis between meteorological condition and 'Fuji' apple fruit characteristics in Chungbuk, Korea, *Korean Journal of International Agriculture*, 24(1), 51-59 (in Korean with English abstract).
- Lobell, D. B. and Field, C. B., 2007, Global scale climate-crop yield relationships and impacts of recent warming, *Environ. Res. Lett.*, 2(1), 014002.
- Nakano, R., Yonemori, K., Sugira, A., and Kataoka, I., 1997, Effect of gibberellic acid and abscisic acid on fruit respiration in relation to final swell and maturation in persimmon, *Acta Horticultural*, 436, 203-214.
- Nicholls, N., 1997, Increased Australian sheat yield due to recent climate trends, *Nature*, 387, 484-485.
- Nii, N., 1980, Seasonal changes of fruit growth in Japanese persimmon, *Diospyros kaki* cv. Fuyu, in relation to vascular tissue development in the fruit stalk, *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 49(2), 160-170.
- Osborne, T. M. and Wheeler, T. R., 2013, Evidence for a climate signal in trends of global crop yield variability over the past 50 years, *Environ. Res. Lett.*, 8(2), 024001.
- RDA(Rural development administration), 2013, *Introduction of Agricultural Technology: Persimmon*, Rural development administration, 170p (in Korean).
- Seo, H. H., 2003, *Site selection criteria for the high quality apples based on agrometeorology in Korea*, Ph. D. thesis. Kyung Hee University (in Korean with English abstract).
- Shin, H. T., Sung, J. W., and Yi, M. H., 2012, A study on the plant for changes of flowering time in Gyeongsangnam-do arboretum, *Journal of Climate Research*, 7(3), 241-254 (in Korean with English abstract).
- Shin, H. T., Sung, J. W., and Yi, M. H., 2013, Studies on biological phenology of plant species in Yeungnam Region, *Journal of Climate Research*, 8(1), 55-65 (in Korean with English abstract).
- Sim, K. M., Kim, Y. S., Jeong, M. P., Choi, I. T., and Hur, J. N., 2014, Assessment of safety cultivation zones for sweet persimmon by warmth index change in South Korea, *Journal of Climate Change Research*, 5(4), 367-374 (in Korean with English abstract).
- Tao, F., Zhang, Z., Shi, W., Liu, Y., Xiao, D., Zhang, S., Zhu, Z., Wang, M., and Liu, F., 2013, Single rice growth period was prolonged by cultivars shifts, but yield was damaged by climate change during 1981-2009 in China, and late rice was just opposite, *Global Change Biology*, 19(10), 3200-3209.
- Yakushiji, H. and Nakatsuka, A., 2007, Recent persimmon research in Japan, *Japanese Journal of Plant Sciences*, 1(2), 42-62.
- Yokoyama, O., 2005, *Technique action of climatic warm-*

ing and fruit tree, Fruit Japan, The federation of Japan hortagricultural cooperation, Tokyo, Japan, 1, 52-54.

Yu, Q., Li, L., Luo, Q., Eamus, D., Xu, S., Chen, C., Wang, E., Liu, J., and Nielsen, D. C., 2014, Year patterns of climate impact on wheat yields, *Int. J. Climatol.*, 34(2), 518-528.

책임편집: 장동호

영문교열: 조창현