

RCP 8.5 기후변화시나리오에 근거한 온주밀감과 ‘부지화’의 잠재적 재배지 변화 예측

문영일^{1*} · 강석범¹ · 이혜진¹ · 최영훈¹ · 손인창² · 이동훈² · 김성기³ · 안문일³

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 감귤연구소, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 기획조정과, ³주에피넛
(2017년 6월 27일 접수; 2017년 10월 15일 수정; 2017년 10월 18일 수락)

Projection of Potential Cultivation Region of Satsuma Mandarin and ‘Shiranuhi’ Mandarin Hybrid Based on RCP 8.5 Emission Scenario

Young-Eel Moon^{1*}, Seok-Beom Kang¹, Hyejin Lee¹, Young-Hun Choi¹, In-Chang Son²,
Dong-Hoon Lee², Sung-Ki Kim³ and Moon-Il An^{3*}

¹Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Jeju, 63607, Korea

²Planning and Coordination Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science,
RDA, Wanju, 55365, Korea

³Epinet Corporation, Kumgang Penterium IT Tower, Anyang, 14056, Korea

(Received June 27, 2017; Revised October 15, 2017; Accepted October 18, 2017)

ABSTRACT

The potential change of the cultivation area of main citrus cultivars, satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) and ‘Shiranuhi’ mandarin hybrid [(*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*] were determined with base year (1981 to 2010) to 2090. The meteorological data provided by the Korea Meteorological Administration (KMA), and the digital agricultural climate map of 30m-resolution based on the Representative Concentration Pathways (RCP) 8.5 was used for projection of potential cultivation area. As a result, the potential suitable region of satsuma mandarin included almost Jeju region during base year. At the 2030s, the potential suitable region of satsuma mandarin increased and the cultivable region also increased focused on the coast region of Jeonnam province. From the 2060s, the suitable area spread out to mountain area of Jeju, Jeonnam, Gyeongnam, and the coast region of Kangwon, and the cultivable region expanded to the area of Gyeongbuk, Chungnam, and Jeonbuk. In the case of ‘Shiranuhi’ mandarin hybrid, the suitable region included only the partial coast area of Jeju, and cultivable area covered Jeju region and the partial southern coast of Jeonnam during the standard period. At the 2030s, the suitable region of ‘Shiranuhi’ included the current cultivation area of satsuma mandarin, and the cultivable region moved to northward by the partial southern coast region. At the 2090s, the slightly increased suitable region covered all Jeju regions, Jeonnam, Gyeongnam, and the coast area of Kangwon, and the cultivable region proceeded northward focusing on the coastline. In conclusion, the prediction of the potential land for citrus cultivation based on the RCP 8.5 showed that the suitable region of satsuma mandarin decreased, whereas that of cultivation of ‘Shiranuhi’ increased. Moreover, it was forecasted that citrus cultivation area would extend to Kangwon



* Corresponding Author : Young-Eel Moon
(yimoona@korea.kr)

region at the end of the 21st century.

Key words: Digital climate map, Freezing, Peel coloring, Acid content

I. 서 론

감귤(*Citrus Linn*)은 전세계적으로 연간 2억톤이 생산되어 과실 중에서는 생산량이 많은 편이지만 추위에 약하기 때문에 재배지는 남·북위 40° 사이에 위치하고 있으면서 최저기온 -7°C 이상인 지역에 국한되고 있어서(Davies and Albrigo, 1994) 우리나라에서는 최남단인 제주도에서 주로 생산되고 있다.

제주에서 90% 정도 재배되는 온주밀감(*Citrus unshiu Marc.*)은 연평균기온이 15°C~18°C인 지역이 재배적지라고 알려졌는데 제주도의 연평균기온은 15.6~16.7°C 정도로(KMA, 2015) 온주밀감의 재배 적지가 되지만 오렌지, 문旦, 레몬 등을 재배하기에는 추운 지역에 해당되어 온주밀감을 제외한 다른 품종들은 일반적으로 하우스에서 재배된다. 그러나 지구가 온난화되면서 온주밀감 발아 및 개화는 빨라지지만 착색시기가 늦어지고 당도가 저하하는 경향이 있어(Kitazono *et al.*, 2012) 점점 재배가 어려워지는 상황이다. 한편 ‘한라봉’으로 알려진 ‘부지화’[*Shiranuhi*, (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*]의 생육에 알맞은 온도는 연평균 기온이 16.5°C 이상으로 대부분 하우스에서 재배되어 왔으나(Kawase, 1999), 지구가 온난화되면서 제주 지역의 따뜻한 일부 지역을 중심으로 노지재배가 시작되고 있다. 실제로 1924년부터 2009년까지 평균기온은 1.6°C가 상승하였는데, 지난 30년간 기온 상승폭의 변화가 크다. 제주, 서귀포, 성산 관측지점을 평균한 제주도 해안지역의 1973~2010년 기간 변화추세를 보면 연평균기온은 0.32°C/10년, 최고기온 0.29°C/10년, 최저기온은 0.5°C가 증가하여 지난 38년간 연평균기온은 지속적으로 상승하는 경향이 나타났는데(KMA, 2011), 이는 추위에 약한 감귤 품종들의 노지재배를 가능하게 하는 요인이 되고 있다.

기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시한 기후변화시나리오(RCP, Representative Concentration Pathway)에 따라 장기적으로 기온 상승 등과 같은 기상환경이 예상된다(IPCC, 2014). 미래기온 상승 전망을 RCP 8.5

를 기준으로 보면 지구 전체는 2046부터 2065년까지 2.0°C, 2081년부터 2100년까지는 3.7°C 증가한다고 하고(Riahi *et al.*, 2011) 한반도는 2046부터 2065년까지 3.0°C, 2081년부터 2100년까지는 5.9°C 증가하여 온도 증가 폭이 더 클 것으로 예측되고 있는데, 제주인 경우 2000년대에 비해 2040년에는 약 1.6°C, 2070년에는 약 3.4°C, 2100년대에는 약 5.5°C가 상승할 것으로 예측되고 있다(KMA, 2011). 연평균온도가 상승하면 아열대 기후대도 북상하여 감귤 재배 지역은 증가할 수 있지만 가뭄, 동해 등이 제한인자로 작용할 수 있다(USDA, 2013). 감귤 재배에는 겨울철 저온이 크게 중요하게 작용하여(Huang, 1993), 겨울철 온도가 낮아 동해의 위험이 있는 내륙 지역은 일부 지역을 제외하고 경제적 재배가 힘들다. 최근 ‘부지화’가 우리나라 내륙지역 시설 내에서 재배되고 있는데 이는 동해의 위험성을 배제하기 위한 최저기온이 있기 때문이다.

감귤은 품종에 따라 생육 적온이 다양한 특성을 지니고 재배 지역의 기상환경에 따라 재배되는 품종도 달라지는데, 온주밀감은 고온에서 카로티노이드 생성이 늦어 착색이 지연되어(Kitazono *et al.*, 2012; Utsunomiya *et al.*, 1982) 연평균기온이 20°C 이상 증가하면 제주에서 온주밀감 재배는 높은 온도에 의해 착색이 되지 않아 재배가 어려워져 면적이 감소될 것으로 예측된다. 일본에서는 연평균기온을 적용하여 사과와 감귤의 재배지 변동에 대한 연구(Sugiura and Yokozawa, 2004)와 과수에 대한 온난화 정책 등이 마련되고 있으나, 우리나라에서는 감귤에서 지구온난화의 영향뿐만 아니라 시공간적으로 감귤 재배지 변동 예측에 대한 연구 사례는 거의 없다. 미래 기상환경에서 감귤의 재배적지 변화를 예측하는 것은 감귤 산업의 전반적인 상황을 예측하는데 중요한 요인으로 작용할 것으로 보인다. 본 연구는 기후변화시나리오에서 제공하는 기온변화 예측모델을 근거로 온주밀감과 ‘부지화’ 감귤의 미래 잠재적 재배적지 변화를 예측하여 향후 감귤정책과 연구방향을 모색하기 위해 수행되었다.

II. 재료 및 방법

감귤의 미래 잠재적 재배적지를 표현하기 위해 우리나라에서 가장 많이 재배되는 온주밀감과 1990년대 일본에서 도입되어 온주밀감 다음으로 많은 재배면적을 차지하고 있는 ‘부지화’를 대상 품종으로 하였다. 재배지 변동지도는 과거 30년(1981~2010년) 기 후자료를 기준으로 하여 2010년대부터 2090년대까지 소기후모형을 적용하여 종관기후도의 정확도를 경관규모로 개선된 디지털 전자기후도를 이용하여 작성되었다. 전자기후도는 135km 공간해상도를 가진 HadGEM2-Ao 전지구 예측 모델을 이용하여 만든 12.5km HadGEM3-RA 지역기후모델을 기반으로 30m 해상도로 만들어진 농업용전자기후도(RDA, 2012)이며, 과거의 기상자료는 국가농림기상센터에서 제공하는 자료, 기후변화시나리오는 기후변화 정보센터에서 제공하는 RCP 8.5시나리오를 이용하였다.

감귤의 잠재적 재배지 변동 예측을 위해 재배적지, 재배가능지 및 부적지로 구분한 후 재배지 별 기후조건을 Han and Kwon(1983), Iwahori and Kadoya (1999), Kawase(1999), Moon *et al.*(2015), Sugiura and Yokozawa(2004)가 제시한 감귤 환경조건을 참고하여 설정하였다(Table 1). 2010년대부터 2090년대까지 30m 격자로 제작된 농업용전자기후도를 기본으로 하여 온주밀감과 ‘부지화’의 연평균기온과 극최저기온을 ArcGIS(ESRI, Redlands, USA) 공간 정보 분석 프로그램에 반영하여 분석하였다. 각각의 품종들은 연평균기온을 중심으로 하여 적지를 우선적으로 구분하고 이를 바탕으로 극최저기온값을 적용하여 레이어를 작성한 후 농경지를 구분할 수 있는 토지피복도와 범 정도 경계구역을 반영하여 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

RCP 8.5 기후변화시나리오를 이용하여 감귤의 재배지를 예측한 결과 온주밀감 잠재적 재배적지는 2040년대까지 증가하다가 점차 감소하고, 재배가능지는 2080년대까지 증가하다가 2090년대에는 오히려 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 지난 30년 간(1981년~2010년) 온주밀감 재배지를 Table 1과 같은 환경 조건으로 적용하였을 때 잠재적 재배적지는 제주 동부와 산간지역을 제외한 지역으로 현재 온주밀감이 재배되는 주산지와 대부분 일치하였고, 일부 제주 산간, 제주 동부지역과 전남 남해안 섬 일부가 재배가 가능한 것으로 나타났다(Fig. 1). 현재 제주 지역의 재배적지 및 재배가능지는 Moon *et al.*(2015)이 보고한 바와 같이 연평균 온도가 14.5°C 이상이고 극최저기온이 -10°C 이하인 지역이 대부분으로 14.5°C 이하인 지역도 10% 정도 재배되고 있다. 2030년대에는 온주밀감 재배적지는 현재보다 북상하여 제주 해안지역 대부분과 남해안 섬 일부 대부분이 해당되었으며 재배가능지도 전남 및 경남 남해안 일부 지역까지 확대되었다. 2060년대는 일부 산간을 제외하고 제주 해안 지역 대부분이 온주밀감 재배가 점차 불가능해졌으며 전남과 경남 남해안 일부 해안과 섬지역이 재배적지로 변동되었으며, 재배가능지도 전남과 경남 내륙과 전북 및 강원 동해안 지역까지 점차 확대되었다. 2090년대는 제주 산간지역과 강원 동부지역을 제외하고 우리나라에서는 온주밀감 재배적지가 감소하는 것으로 나타났는데 제주 산간이 한라산 국립공원 내라는 것을 고려하면 사실상 제주에서는 온주밀감 재배 자체가 불가능하고 재배가능지역은 우리나라 해안가 대부분 지역으로 확대될 것으로 예측되었다. Sugiura and Yokozawa (2004)는 10km 단위의 해상도로 연평균기온 15~18°C 지역을 재배적지로 하여 검토한 결과 2060년대에는 현재의 온주밀감 재배지역은 재배가 힘들어지고

Table 1. Establishment of climatic factors for predicting of cultivation region in citrus

Cultivar	Climatic factors	Cultivation region classifications		
		Suitable region	Cultivable region	Unsuitable region
Satsuma mandarin	Annual mean temperature	15.0°C ~ 18.0°C	14.0°C ~ 15.0°C 18.0°C ~ 20.0°C	<14 .0°C, 20.0°C<
	Minimum temperature	-7°C<	-9.0~ -7.0°C	<-9.0°C
‘Shiranuhi’	Annual mean temperature	-16.5°C<	15°C ~ 16.5°C	<15 .0°C
	Minimum temperature	-5°C<	-7.0~ -5.0°C	<-7.0°C

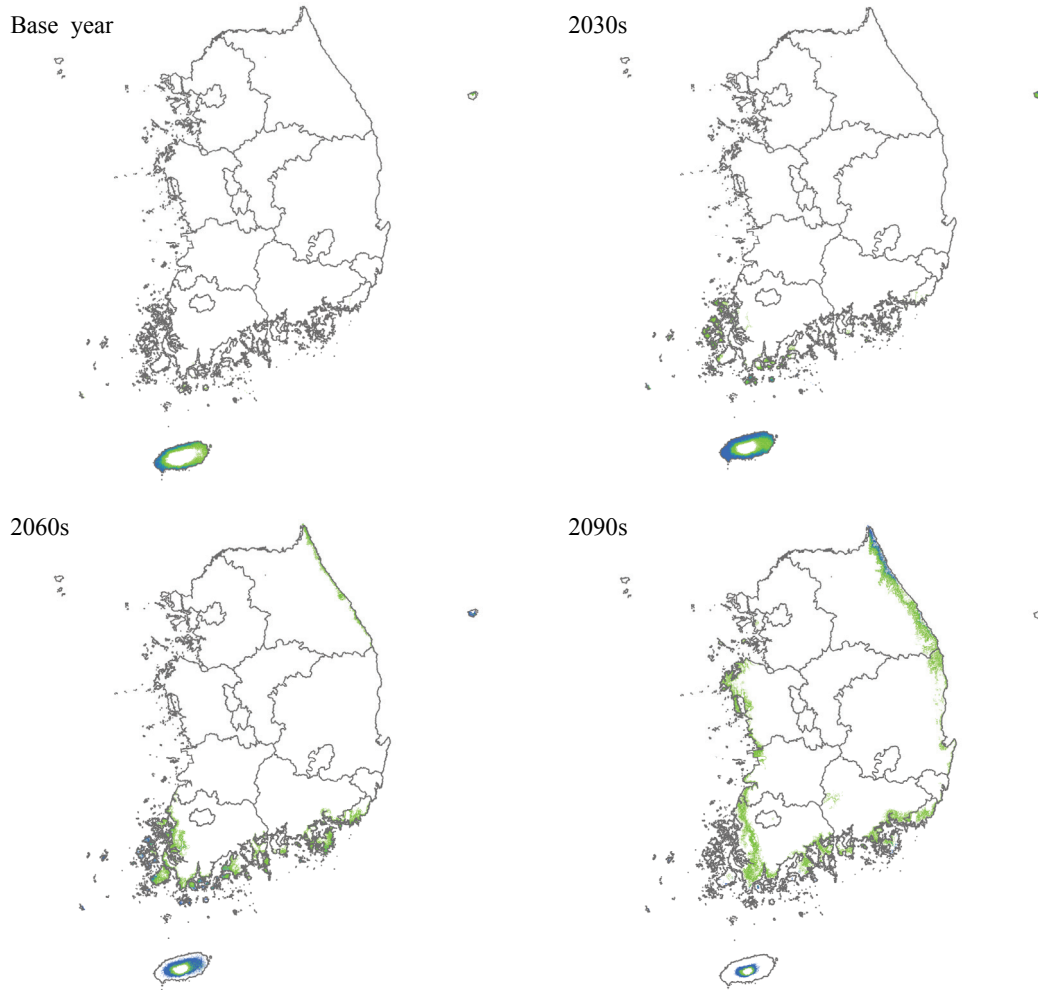


Fig. 1. Change of potential cultivation region of satsuma mandarin projected by the RCP 8.5 emission scenario in Korea. Base year indicates 1981-2010.

재배불가능지역이 오히려 재배적지가 될 가능성이 크다고 하였는데 본 연구도 비슷한 결과를 보였다. 다만 Sugiura and Yokozawa(2004)의 예측은 연평균기온만을 이용하였기 때문에 극최저기온을 적용하면 재배확대는 현재보다 더딜 것으로 생각된다. 다만 재배적지와 가능지의 구분은 제주를 포함한 남부지역에서는 착색기의 기온이, 북부지역에서는 겨울철 극최저기온이 강하게 영향을 줄 것으로 생각된다.

이처럼 온주밀감 재배가 2030년대까지 확대되었다가 점차 줄어드는 이유는 과피의 착색지역과 동해로 인하여 재배 확대가 불가능하기 때문이다. 온주밀감의 생육적온인 15~18℃의 연평균기온만을 적용하면 재

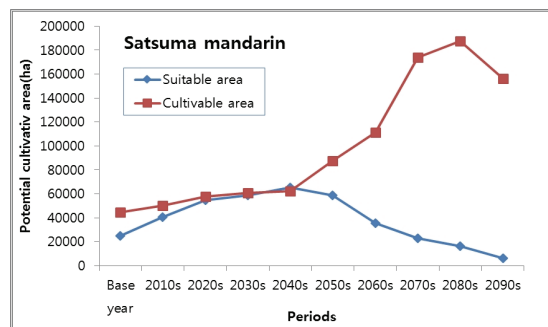


Fig. 2. Change of potential cultivation area of satsuma mandarin under the RCP 8.5 scenario in Korea. Base year indicates 1981-2010.

배적지가 점차 증가할 것으로 판단되나 1월의 극최저 기온(Moon *et al.*, 2012b)에 의해 생각만큼 재배적지는 증가하지 않는다.

제주는 국토 전체로 봤을 때 작은 지역이지만 지역별로 기상조건이 다르다. 해안 가까운 곳의 연평균 기온만 하여도 남쪽에 위치한 서귀포시는 16.7°C, 동부 지역인 성산포는 이보다 1.0°C가 낮은 15.7°C(KMA, 2015)에 불과하다. 이런 기상차이는 지역 간에만 국한되는 것이 아니고 연도 간에도 매우 큰 차이를 보인다. 연도간의 차이는 기후변화에 의해 발아 및 개화기의 변동, 해거리의 발생으로 이어지고 과신품질의 변화도 초래할 수 있다(Kim, 2002). 지구온난화라고 해도 연도별, 월별로도 최저기온이 급격히 내려가서 동해 또는 냉해의 위험이 상존하고 있고, 여름철과 가을철 집중강우와 온도 상승은 부피발생 및 착색지연을 야기시키는 문제점도 있다. 감귤의 화아분화나 개화시키는 기온과 같은 기상적 영향이 매우 크고, 과실비대나 품질 및 성숙기도 기온 및 강수량 등 기상적 영향을 받는다.

과피의 착색은 온도, 광, 강수량 등의 기상 요인 뿐만 아니라 착색밀도, 착과 위치, 과실의 당도, 질소나 호르몬처리 등 여러 가지 요인에 따라 그 시기 및 정도가 달라진다. 이들 요인 중 온도의 영향이 가장 크며 과피 착색은 나무에 달린 상태에서는 15~20°C에서 촉진된다. Kitazono *et al.*(2012)은 지난 30년간 구마모토현에서 온주밀감 재배상황을 조사한 결과 구마모토현 북부지역이 남부지역보다 연평균 온도가 2°C가 높는데 남부지역에서는 카로티노이드 생성이 늦고 축적량도 적어서 과피의 착색이 현저히 늦는다고 하였고, Utsunomiya *et al.*(1982)도 15°C부터 30°C까지 온도차이를 했을 때 고온조건하에서 착색이 완전히 지연되어 온도가 과피의 착색에 많은 영향을 주는 것으로 보고하였다. 착색기의 기온은 지구 온난화로 온도가 높아지면 남부지역의 재배 한계를 결정할 주요 요인으로 작용되고 제주에서는 사실상 온주밀감 재배 의미는 없어질 것으로 판단된다. 이 외에도 과피의 착색은 일조가 높을 때 촉진되므로(Hidemi *et al.*, 1990; Hidemi *et al.*, 1992; Takaki *et al.*, 1982) 강수량 증가에 의한 일조 저하 시 과피 착색에 악영향을 미쳐 과신품질이 저하될 가능성이 높을 것으로 판단되었다.

현재 노지에서 일부 재배되는 '부지화' 감귤은 RCP 8.5 기후변화시나리오에서 2090년대까지 재배적지가 지속적으로 증가하였으나 재배가능지는 2090년대 이후 감소하기 시작했다(Fig. 4). 기준년도에서 '부지화'

감귤의 재배적지는 제주 해안 지역 극히 일부만 해당되었으며 재배가능지는 현재 온주밀감이 재배되는 지역과 거의 일치하였다(Fig. 3). 2030년대 '부지화'의 잠재적 재배적지는 기준년도(1981년~2010년)의 온주밀감 재배적지가 해당되었으며 재배가능지도 전남 남해안 일부 지역까지 북상하였다. 2060년대에는 제주 산간을 제외한 대부분 지역과 전남 남해안 일부 섬지역이 재배적지가 되었으며, 재배 가능지도 점차 북상하여 경남 남해안과 강원 동부 일부 지역이 해당되었다. 2090년대에는 제주 산간을 제외한 대부분 지역과 전남과 경남 남해안과 강원 동부지역이 재배적지가 되었으며 재배가능지도 전북과 충남 해안지역까지 포함되었다. 여기에서는 '부지화'를 대상으로 재배지를 예측하였지만 '부지화'와 비슷한 생육 및 환경 특성에서 자라는 품종들은 '부지화'와 같이 재배지가 증가할 가능성이 크다고 판단된다.

'부지화'는 고온을 좋아하는 생육 특성이 있는데 온도가 높아지면 봄순 발생은 감소되고 순은 길어지며, 엽면적은 증가하는데(Kitazono, 2001; Moon *et al.*, 2015), 수세가 나빠지면 봄순이 액아 마다 발아가 될 뿐 아니라 1개의 액아에서 2~3개의 새순이 발생하여 그대로 두면 가지 길이도 짧고 잎이 아주 작은 빈약한 가지가 된다(Matsumoto, 2001). 엽면적이 크면 과실 생장이 촉진되는데(Fishler *et al.*, 1983), 엽면적이 너무 커지면 오히려 광의 투과를 억제하여 생리나과가 증가하고 과신품질이 저하된다. 그러나 '부지화'에서는 가온으로 엽면적을 확보하면 광합성이 활발하게 이루어져 착과율이 증진되고 과신품질이 향상된다(Moon *et al.*, 2015). Nii *et al.*(1970)은 온주밀감에서 고온구일수록 과실 비대가 왕성했다고 하였고, Takagi *et al.*(1982)도 '부지화'에서 과실 종경 비대가 증가한 것은 꼭지깃의 발달을 의미하기 때문에 '부지화'의 품종 고유의 과신품질이 잘 나타난다고 하였는데 지구온난화로 인하여 온도가 높아지면 '부지화' 등 만감류의 과실비대는 더 좋아질 것으로 판단된다.

재배적지와 가능지의 구분은 제주를 포함한 남부지역에서는 착색기의 기온이, 북부지역에서는 겨울철 극최저기온이 강하게 영향을 줄 것으로 생각된다. Moon *et al.*(2015)은 온주밀감 재배 가능 판단을 14.5°C 이상의 연평균기온, -10°C 이상의 일 최저기온의 극값, 연중 -5°C 이하 저온 일수 등 3가지 기후학적 환경요소를 이용하였는데 이 범위에서도 동해 피해가 발생할 우려가 높다. 2016년 1월 24일에는 제주에서 기상이

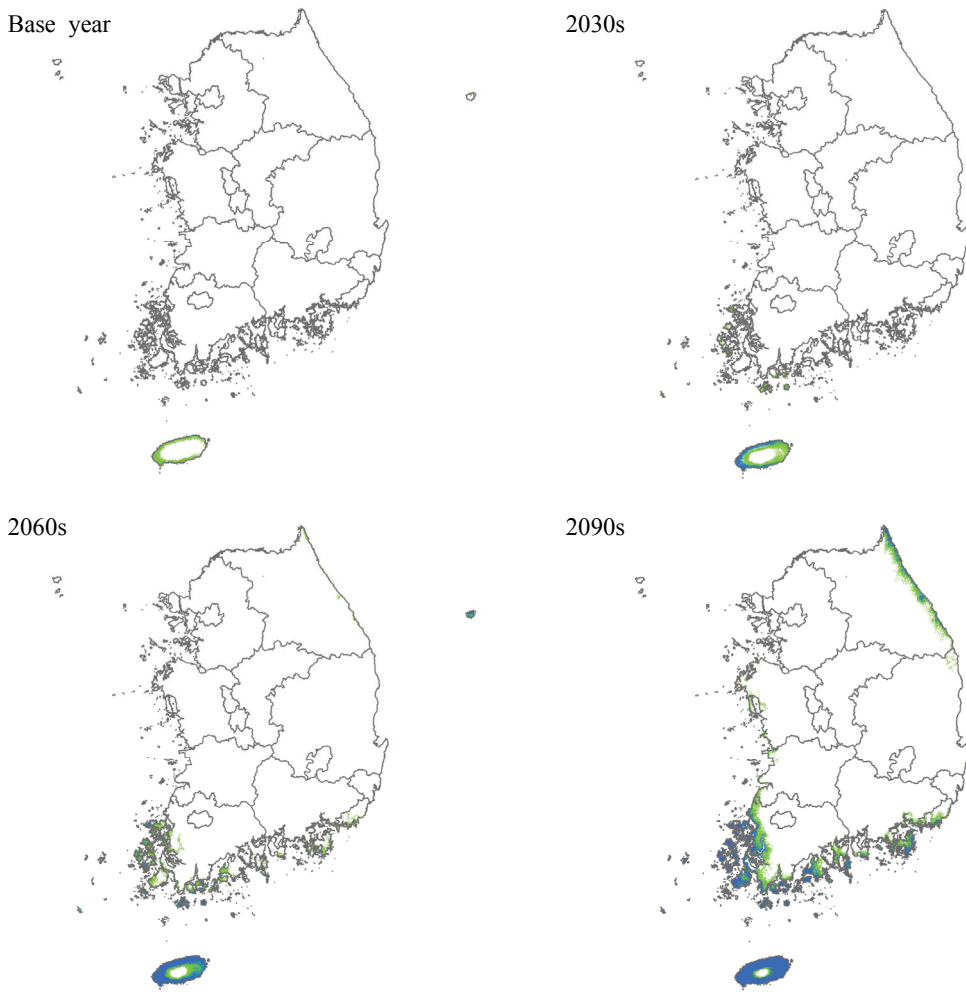


Fig. 3. Change of potential cultivation region of ‘Shiranuhi’ mandarin hybrid projected by the RCP 8.5 emission scenario in Korea. Base year indicates 1981-2010.

관측된 이래 가장 낮은 온도를 보였는데(JRMO, 2017) 온주밀감 뿐만 아니라 ‘부지화’ 등 만감류가 많은 동해 피해를 받았다. Moon *et al.*(2012a; 2012b)은 재현기간 30년에 대한 일최저기온의 극값과 -5°C 의 저온일수 분포도를 제작하였는데 기후변화에 의해 온도가 상승하더라도 감귤에 피해를 줄 수 있는 극최저기온은 더 내려갈 수 있어서 감귤 재배적지 또는 재배가능지는 극최저기온의 영향을 받을 가능성이 크다고 판단된다.

감귤 과실은 생육기에 온도가 높아지면 산함량이 낮아지는데(Nii *et al.*, 1970; Susanto and Nakajima, 1990; Yamanishi, 1994), ‘부지화’ 과실인 경우 온주밀감보다 산함량이 높은 특성이 있어서 온도가 높아져

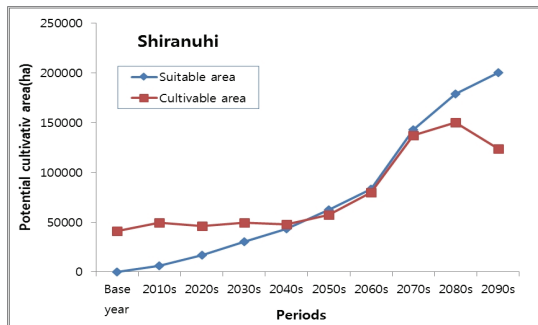


Fig. 4. Change of potential cultivation area of ‘Shiranuhi’ mandarin hybrid under the RCP 8.5 scenario in Korea. Base year indicates 1981-2010.

서 산함량이 조기에 감소하면 과신품질도 향상된다 (Moon *et al.*, 2015). 기후변화시나리오에 따라 기온이 지속적으로 상승하면 ‘부지화’와 같이 고온성 감귤 품종들은 현재보다 봄철 나무의 성장과 과실비대기 발육이 왕성하여 재배하기가 용이할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하여 RCP 8.5 기후변화시나리오를 근거로 감귤의 재배적지변화를 예측해 본 결과 온주밀감 재배적지는 감소하고 ‘부지화’ 감귤의 재배적지는 증가하는 것으로 나타나고, 21세기 말에는 강원도 지역까지 감귤이 재배될 것으로 예측되었다.

적 요

감귤 중 우리나라에서 가장 많은 면적을 차지하는 온주밀감(*Citrus unshiu* Marc.)과 ‘부지화’[*Shiranuhi*, (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*]를 대상으로 1981년부터 2010년까지를 기준년도로 하여 2090년까지 잠재적 재배지 변화를 예측하였다. 재배지 변화는 국가농림기상센터와 기상청에서 제공하는 기상자료와 RCP 8.5 기후변화시나리오를 바탕으로 제작된 30m 해상도를 가진 농업용전자기후도를 이용하였다. 온주밀감의 잠재적 재배적지는 기준년도에서는 대부분 제주 지역이 해당되었으며, 재배가능지는 제주 동부지역과 남해안 일부지역이 포함되었다. 2030년대에는 온주밀감 재배적지는 증가하였으며 재배가능지도 전남지역의 해안 지역을 중심으로 증가하였다. 2060년대부터는 재배적지는 제주 산간과 전남과 경남, 강원도 해안지역으로 점차 증가하고 재배가능지도 경북, 충남, 전북 지역까지 확대되었다. ‘부지화’ 감귤인 경우 기준년도에서 재배적지는 제주 해안 지역 일부만 포함되었으며 재배가능지는 제주지역과 전남 남해안 일부 지역만 해당되었다. 2030년대 재배적지는 현재 온주밀감 재배지가 해당되었으며 재배가능지도 남해안 일부 지역까지 확장하였다. 2090년대에는 재배적지가 점점 증가하여 제주지역 전체와 전남, 경남, 강원도 해안지역이 재배적지가 되었으며 재배가능지도 점점 해안가를 중심으로 확장하였다. 이상의 결과를 종합하여 RCP 8.5 기후변화시나리오를 근거로 감귤의 재배적지변화를 예측해 본 결과 온주밀감 재배적지는 감소하고 ‘부지화’ 감귤의 재배적지는 증가하는 것으로 나타났으며, 21세기 말에는 강원도 지역까지 감귤이 재배될 것으로 예측되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업(과제번호: PJ01118503)의 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Davies, F. S., and L. G. Albrigo, 1994: *Citrus*. CAB Intl., Wallingford, UK. 204-205.
- Fishler, M., E. E. Goldschmide, and S. P. Monselise, 1983: Leaf area and fruit size on girdled grapefruit branches. *Journal of American Society for Horticultural Science* **108**, 218-221.
- Han, H. R., and O. K. Kuan, 1983: *New book of citrus horticulture*. Sunjinmunwha inc., 141-158.
- Huang, S., G. Li, C. Zhou, X. Fan, C. Shen, and M. Xue, 1993: A climatological study of injury to citrus trees from freezing weather in China. *Agricultural and Forest Meteorology* **65**(1-2), 129-138.
- IPCC, 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth Assessment report of the intergovernmental panel on climate change [core writing team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151pp.
- Iwahori, S., and K. Kadoya, 1999: *A general theory of Citrus*. Yogendou inc., 482-486.
- Jeju Regional Meteorological Office (JRMO), 2012: Meteorological compendium in 2012. Korea Meteorological Administration, Jeju, Korea.
- Jeju Regional Meteorological Office (JRMO), 2017: Meteorological compendium in 2016. Korea Meteorological Administration, Jeju, Korea.
- Kawase, K. 1999: Cultivation of Dekopon. Rural Culture Association Japan, 40pp. (In Japanese)
- Kitazono, K. 2001: A higher value-added technical development for sustainable production and improvement of fruit quality of ‘Shiranuhi’. *Kyushu Agricultural Research* **63**, 17-20. (in Japanese with English abstract)
- Kitazono, K., Y. Kawakubo and K. Fuita. 2012: Effects of global warming on cultivation of satsuma mandarin in Kumamoto prefecture. *Research Bulletin of the Kumamoto Prefectural Agricultural Research Center* **19**, 6pp. (in Japanese with English abstract)
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2011: Projection report on climate change in Korea. 151pp. (In Korean)
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2015: Annual climatological report. 28pp. (In Korean)
- Kim, C. M. 2002: Effects of climatic parameters on flowering, fruiting and fruit quality of satsuma

- mandarin(*Citrus unshiu* Marc.) in Jeju island. Ph. D. Dissertation, Jeju National University. (in Korean with English Abstract)
- Matsumoto, R. 2001: 'Shiranuhi', a late-maturing citrus cultivar. *Bulletin of National Institute of Fruit Tree Science* **35**, 115-120. (in Japanese with English abstract)
- Moon, K. H., E. Y. Song, I. C. Son, S. J. Oh, K. S. Park, and H. N. Hyun, 2015: Quantification of environmental characteristic on citrus production area of Jeju island in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(1), 69-74. (in Korean with English abstract)
- Moon, K. H., I. C. Son, H. H. Seo, and K. S. Choi, 2012a: Estimation of the periodic extremes of minimum air temperature using January mean of daily minimum air temperature in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 155-160. (in Korean with English abstract)
- Moon, K. H., I. C. Son, H. H. Seo, K. S. Choi, and J. H. Joa, 2012b: Estimation of duration of low-temperature in winter season using minimum air temperature on January. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(3), 119-123. (in Korean with English abstract)
- Moon, Y. E., S. B. Kang, S. G. Han, Y. H. Kim, Y. H. Choi, S. C. Koh and S. Oh, 2015: Effects of elevated spring temperature on the growth and fruit quality of the mandarin hybrid 'Shiranuhi'. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **33**(4), 459-469. (in Korean with English abstract)
- Nii, N., K. Harada, and K. Kadowaki, 1970: Effects of temperature on the fruit growth and quality of satsuma oranges. *Japanese Society for Horticultural Science* **39**, 19-27. (in Japanese with English Abstract)
- Riahi, K., S. Rao, V. Krey, C. Cho, V. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic and P. Rafaj, 2011: RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climate Change* **109**, 33-57.
- Rural Development Administration (RDA), 2012: Digital agricultural climate information of cities and countries under climate change scenarios. National Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju, Korea.
- Sugiura T., and M. Yokozawa, 2004: Impact of global warming on environments for apple and satsuma mandarin production estimated from changes of the annual temperature. *Japanese Society for Horticultural Science* **73**(1), 72-78. (in Japanese with English Abstract)
- Susanto, S., and Y. Nakajima, 1990: Effects of winter heating on flowering time, fruiting and fruit development in pummelo grown under plastic house. *Japanese Society for Horticultural Science* **59**, 245-253.
- Takagi, T., I. Sawano, T. Suzuki, and S. Okamoto, 1982: Effects of temperature before and after flowering on the development of flower and fruit in *Citrus unshiu* Marc. *Japanese Society for Horticultural Science* **51**, 257-262. (in Japanese with English Abstract)
- Yamanishi. O., 1994: Effect of spring day/night temperature on flower development, fruit set and fruit quality on strangulated pummelo trees. *Japanese Society for Horticultural Science* **63**, 493-504.
- United State Department of Agriculture (USDA), 2013: *Climate change and agriculture in the United States*. USDA. 186pp.
- Utsunomiya, N., H. Yamada, I. Kataoka and T. Tomana, 1982: The effect of fruit temperatures on the maturation of satsuma mandarin(*Citrus unshiu* Marc.) fruits. *Journal of Japan. Society Horticultural Science* **51**(2), 135-141. (in Japanese with English Abstract)