



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](#)

석사학위 청구논문

지도교수 이 승 호

# 기후가 감귤 생산량 변동에 미치는 영향

-제주도를 사례로-

2019년 2월

건국대학교 대학원

지리학과

강민철

# 기후가 감귤 생산량 변동에 미치는 영향

-제주도를 사례로-

Effect of climate on the variability of citrus  
yield in Jeju island

이 논문을 이학 석사학위 청구논문으로 제출합니다

2018년 11월

건국대학교 대학원

지리학과

강민철

강민철의 이학 석사학위 청구논문을 인준함

심사위원장 \_\_\_\_\_ (인)

심사위원 \_\_\_\_\_ (인)

심사위원 \_\_\_\_\_ (인)

2018년 11월

건국대학교 대학원

# 목 차

표 목 차 .....	iii
그림목차 .....	iv
영문초록 .....	vi
제1장 서론 .....	1
1. 문제 제기 및 연구 목적 .....	1
2. 연구 동향 .....	2
제2장 연구 자료 및 방법 .....	6
1. 연구 자료 .....	6
2. 연구 방법 .....	7
제3장 감귤 재배면적과 생산량 변화 .....	12
1. 감귤 재배면적 변화 .....	12
2. 감귤 생산량 변화 .....	16
3. 단위면적당 감귤 생산량 변화 .....	18
제4장 생육시기별 기후와 감귤 생산량의 관계 .....	22
1. 화아분화기 기후와 생산량의 관계 .....	22
2. 발아 및 개화기 기후와 생산량의 관계 .....	26
3. 생리낙과기 기후와 생산량의 관계 .....	29
4. 과실비대기 기후와 생산량의 관계 .....	33

제5장 기후변동에 따른 감귤 생산량 변동 .....	37
1. 기후와 감귤 생산량 변동 .....	37
2. 기후변동으로 추정된 생산량과 실제 생산량 비교 .....	39
제6장 요약 및 결론 .....	44
참고문헌 .....	46
국문초록 .....	51

## List of tables

Table 2.1. Growth period of Citrus in Jeju special self-governing province. ....	9
Table 4.1. Correlation between yield and precipitation and number of rainy days by 10 days in first physiological fruit drop period. ....	31
Table 5.1. Statistical values of multiple regression equation in Jeju. ....	38
Table 5.2. Statistical values of multiple regression equation in Seogwipo. ....	39
Table 5.3. Estimated and observed production change by year in Jeju. ....	41
Table 5.4. Estimated and observed production change by year in Seogwipo. ....	43

## List of figures

Figure 2.1. Flow chart of this study. ....	7
Figure 3.1. Change of citrus cultivation area from 1966 to 2017. ....	13
Figure 3.2. Annual area of closed citrus orchard and expenditure in Jeju special self-governing province (1997~2009). After Yoon(2012). ....	15
Figure 3.3 Change of citrus production from 1966 to 2017. ....	17
Figure 3.4. Change of citrus yield from 1966 to 2017. ....	19
Figure 3.5. Annual thinning area in Jeju special self-governing province (1991-2017). ....	20
Figure 4.1. Correlation between citrus yield and climate factors in physiological flower bud differentiation period (previous October). ....	22
Figure 4.2. Correlation between citrus yield and climate factors in morphological flower bud differentiation period (February to March). ....	24
Figure 4.3. Relationship between citrus yield and temperature of morphological flower bud bursting period in Seogwipo. ....	25
Figure 4.4. Correlation between citrus yield and climate factors in bud bursting period (April). ....	27
Figure 4.5. Correlation between citrus yield and climate factors in flowering period (May). ....	27
Figure 4.6. Relationship between citrus yield and number of rainy days of bud bursting period in Seogwipo. ....	28
Figure 4.7. Correlation between citrus yield and climate factors in first physiological fruit drop period (June). ....	30
Figure 4.8. Correlation between citrus yield and climate factors in second physiological fruit drop period (July). ....	32



Figure 4.9. Correlation between citrus yield and climate factors in fruit enlargement period (August to October). .....	33
Figure 4.10. Relationship between citrus yield and mean temperature( $\Delta T_{\text{mean}}$ ), maximum temperature( $\Delta T_{\text{max}}$ ) of fruit enlargement period in Seogwipo. ....	35
Figure 4.11. Correlation between yield and number of days with maximum temperature over 30 °C of fruit enlargement period in Seogwipo. ...	36
Figure 5.1. Comparison between estimated production and observed production in Jeju. ....	40
Figure 5.2. Comparison between estimated production and observed production in Seogwipo. ....	42

## ABSTRACT

# Effect of climate on the variability of citrus yield in Jeju island

Kang, Min cheol

Department of Geography

Graduate School of Konkuk University

The purpose of this study is to investigate the effect of climate on the citrus yield variability. The changes of cultivation area, citrus production and yield in long term were investigated. Correlation between climatic factors and citrus yields by each growing season was analyzed. Citrus production variability was estimated by using climate factors.

During the study period, citrus cultivation area has been increasing from 1960s to 1990s. After 2003, cultivation area decreased and stable in 2010s. Citrus production has been increased from 1960s to 1980s. After 1990s, production is slightly increasing but not obvious. Citrus yield has been increased from 1960s to 1980s, decreased 1990s and increased again after 2000s.

In physiological flower bud differentiation period (previous October), mean and maximum temperature of Jeju has a positive relationship with citrus yield. Mean, maximum and minimum temperature of Seogwipo has a positive relationship with citrus yield. In morphological flower bud differentiation period (February to March), mean, maximum and minimum temperature of Seogwipo has a positive relation with citrus yield. In bud bursting period (April), number of days with precipitation of Seogwipo has a negative relationship with citrus yield. In flowering period (May), sunshine duration of Jeju and Seogwipo and solar radiation of Jeju has a positive relationship with citrus yield. In first physiological fruit drop period (June), mean, minimum temperature, sunshine duration and solar

radiation of Jeju has a positive relationship with citrus yield. Precipitation and number of days with precipitation has a negative relationship. In Seogwipo, sunshine duration has a positive, number of days with precipitation has a negative relationship with citrus yield in this period. In the second physiological fruit drop period (July), mean, maximum temperature and solar radiation has a positive relationship with citrus yield in Jeju, maximum temperature and minimum temperature has a positive, precipitation has a negative relationship with citrus yield in Seogwipo. In fruit enlargement period (August to October), mean, maximum temperature, sunshine duration and sunshine duration has a positive, solar radiation has a negative relationship with citrus yield in Jeju.

As a result of multiple regression analysis, 68.2% of citrus yield variability can be explained by sunshine duration of the first physiological fruit drop period and fruit enlargement period in Jeju. In Seogwipo, 60.1% of citrus yield variability can be explained by the number of precipitation days of the bud bursting period and sunshine duration of the first physiological fruit drop period. Analysis shows that abnormal climate and alternate bearing also affects on the citrus yield variability.

---

Keyword : climate variability, citrus, yield, growth period

# 제1장 서론

## 1. 문제 제기 및 연구 목적

기후는 농업 생산량과 직접적인 관계가 있다. 작물별로 생육에 적합한 기후 조건이 있으며, 평년의 기후 조건을 벗어나는 이상기후가 발생할 경우 생육 지연, 생리 장애, 병충해 등이 발생하여 생산량이 감소할 수 있다. 이상기후가 발생하지 않더라도 매년의 기후변동은 생산량 변동을 유발하는 중요한 요인이다.

농업 생산량은 일반적으로 꾸준히 증가하고 있으며 농업 기술의 발달이 증가 경향을 주도하고 있다(Yu *et al.*, 2014). 기후변화는 농업 생산량의 증가를 둔화시키는 요인으로 알려져 있으며(Alston *et al.*, 2009), 기후가 농업 생산량에 미치는 영향을 파악하고자 하는 시도는 다양한 지역, 다양한 작물을 대상으로 꾸준히 수행되어 왔다(Lobell *et al.*, 2007; You, *et al.*, 2009; Sakurai *et al.*, 2011; Nageswarao, *et al.*, 2016).

감귤은 우리나라에서 가장 많이 생산되는 과일로 2000년 이후 매년 60만 톤가량 생산된다. 우리나라에서는 제주도가 감귤 주 재배지이며 제주도에서 감귤 재배면적은 제주도 전체 면적의 약 1/9, 농업 면적의 1/3에 해당한다. 감귤 생산으로 인한 조수입은 2017년 기준으로 9,000억 원을 넘으며 이는 제주도 전체 농산물 조수입의 35%를 차지한다(제주특별자치도 감귤출하연합회, 2018). 이와 같이 감귤은 제주도의 중요한 소득 작물이다.

미래 기후변화 시나리오(RCP 8.5)에 따르면 2100년 제주도의 연평균기온은 2001~2010년 평균과 대비했을 때 3.9℃ 상승할 것으로 예상된다(기상청, 2017). 기온이 상승하면 감귤 생육시기가 일러지며(Kitazono *et al.*, 2012; 정은지·이승호, 2018), 착색 지연과 같은 품질 저하(문영일, 2017), 재배 적지 변화(문경환 외, 2015), 생산량 변화(Rosenzweig *et al.*, 1996; Tubiello *et al.*, 2002)가 발생할 것으로 예상된다. 이러한 변화에 대비하기 위해 기후가 감귤에 미치는 영향을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 특히 기후와 생산량의 관계에 관한 연구는 안정적인 감귤 생산 체계를 구축하는데 필요하다.

기후가 농업 생산량에 미치는 영향은 생육시기에 따라 다르며(이윤선·이승호, 2008; 허인혜·이승호, 2017; 2018), 기후요소가 생산량에 미치는 영향은 동일 작물이라도 지역에 따라 상이할 수 있다(허인혜·이승호, 2018). 따라서 기후가 작물의 생산량에 미치는 영향을 파악하는 연구를 수행할 경우 생육시기와 지역을 구분하여 분석하는 것이 필요하다.

우리나라에서 기후가 감귤 생산량에 미치는 영향에 관한 연구는 제주도 전체의 감귤 생산량과 연평균 기후값을 사용하여 이루어졌다(이기광 외, 2012; 김현웅 외, 2016). 생육시기와 지역을 구분하여 기후가 감귤 생산량에 미치는 영향을 직접적으로 분석한 연구는 미비하다.

본 연구에서는 제주도를 사례로 생육시기별로 기후가 감귤 생산량에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 이를 위해 제주와 서귀포에서 감귤 재배면적과 생산량의 변화 경향을 확인하고 생육시기별 기후요소와 생산량 간의 관계를 분석하여 생육시기별 기후변동이 생산량 변동에 미치는 영향을 파악하였다.

## 2. 연구 동향

감귤은 열대지역에서 온대지역에 걸쳐 재배되며, 재배지의 환경과 품종에 따라 기후가 감귤 생산에 미치는 영향은 상이하다. 본 연구에서는 온주밀감을 주로 재배하는 우리나라와 일본을 중심으로 감귤 재배지의 기후 환경, 기후가 감귤 생육에 미치는 영향에 관한 연구 동향을 파악하였다. 기후와 생산량 간의 관계에 관한 연구는 다양한 지역에서의 연구 동향을 정리하였다.

우리나라에서 감귤 재배지의 기후환경에 대한 연구에는 이승호·이현영(1995), 문경환 외(2015), 문영일 외(2017)등이 있다. 이승호·이현영(1995)은 감귤 과수원의 겨울철 기온에 대한 연구를 진행하여 감귤의 냉해 피해에는 저지대의 방풍시설로 인한 냉기호 형성이 중요한 역할을 한다는 것을 발표하였다. 이를 통해 미기후적 요인이 감귤 생산에 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 제시하였다. 문경환 외(2015)는 제주도 감귤 재배지의 환경 특성을 연구하여 감귤 재배지의 대부분이 해발고도 200m 이하에 위치하

며 일최저기온  $-9.6^{\circ}\text{C}$ 가 재배 한계라고 하였다. 또한 연강수량은 감귤 재배에 충분하여 제주도 내에서 감귤 재배 가능 여부를 결정하는데 강수량은 중요한 요소가 되지 않는다. 최근에는 기후변화가 감귤 재배지의 분포에 미치는 영향에 관한 연구가 수행되었다. 문영일 외(2017)는 디지털 전자기후도와 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 이용하여 기후변화에 따른 감귤 재배지역의 변화를 연구하였으며, 기온이 상승함에 따라 재배한계는 북상하여 남해안 지역이 재배 적지가 되며, 현재 주 재배지인 제주도 해안지역은 고온으로 인해 품질저하가 발생하여 부적지가 되어 재배 적지는 제주도 산간지방으로 변경될 것이라고 예측하였다.

기후가 감귤 생육에 미치는 영향에 대해서는 생육 현상별로 연구가 이루어진 경우가 많다. 주로 화아분화 및 개화, 생리낙과, 과실비대에 기후가 미치는 영향이 분석되었다.

화아분화와 개화는 주로 기온과 관련해서 연구가 이루어졌다. 이 시기의 기후는 꽃의 수와 꽃의 종류에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (Iwasaki and Owada, 1960; 오성도 외, 1981). Iwasaki and Owada(1960)는 온실에서 실험을 통해 화아분화기(겨울철)의 기온이 높으면 꽃수가 증가하는 경향을 보이며 개화는 겨울철 고온에 의해 촉진되며 특히 3월 이후의 고온이 더 큰 영향을 미친다고 보고하였다. 오성도 외(1981)는 12월 하순부터 1월 하순까지를 전기, 2월 상순부터 3월 상순까지를 후기로 구분하였으며, 각 시기별로 저온처리를 한 온주밀감과 온도처리를 하지 않은 것을 비교하여 2, 3월의 기온이 낮으면 화아분화가 억제된다고 보고하였다. 또한 화아분화기의 기온은 직화와 유엽화의 발생비율에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. Moss(1969)는 온실에서 기온과 광주기를 조절하여 기후가 화아분화에 미치는 영향을 조사하였으며 기온이 높은 경우 꽃과 잎이 함께 발생하는 경우가 많으며 노지에서도 유사한 경향을 보인다고 보고하였다.

생리낙과에는 여러 기후요소가 영향을 미치나 기온 및 일조가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Okada and Konakahara(1985)는 순별 기후와 생리낙과율 간의 관계를 분석하였다. 그 결과 기후가 낙과 조장형(높은 기온, 적은 강수량/일조시간)에서 억제형(낮은 기온, 많은 강수량/일조시

간)으로 변할 때 낙과가 많아진다고 하였으며 누계 낙과율은 4월 하순~5월 중순의 강수량과 6월 상중순의 최고기온이 유의한 음의 상관관계가 있다고 보고하였다. 낙과가 종료된 다음 최종 착과율에 대한 연구도 이루어졌으며, 김창명(2002)은 착과율이 5, 6월의 일조시간과는 음의 상관관계가, 7월 중순 평균기온과 양의 상관관계가 있다고 하였다.

과실비대에는 기온, 강수, 일조가 모두 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 김창명(2002)은 과일 무게가 7~10월의 적산온도 및 6, 9월 강수량과 양의 상관관계가 있으며 5, 6, 10월의 일조시간과 음의 상관관계가 있다고 하였다. 고상욱(2007)은 최적생장온도(23℃)이상인 기간에서 제주도 내에서 적산온도의 차이가 감귤의 과실 성장에 큰 차이를 주지 않는다고 하였으며 8월부터 11월까지 토양건조처리를 하여도 비처리구와 비대량에 차이가 없어, 이 시기의 수분 스트레스는 과실비대에 큰 영향을 주지 못한다고 하였다.

기후와 생산량 간의 관계에 관한 연구는 감귤을 생산하는 여러 지역에서 수행되어 왔다. 이들 연구에서는 주로 기온, 강수량과 생산량의 관계를 분석하였다(Cole and McCloud, 1985; Rosenzweig *et al.*, 1996; Tubiello *et al.*, 2002; Lobell *et al.*, 2007; Garcia-Tejero *et al.*, 2012; Zouabi *et al.*, 2016).

미국, 호주 등의 온대 지역에서는 기온 상승이 생산량을 감소시킨다는 연구결과가 발표되었다. Cole and McCloud(1985)는 호주의 사우스오스트레일리아 Murray강 주변의 감귤 농장을 대상으로 연구를 진행하여 개화기와 결과기의 고온과 높은 증발량이 생산량을 감소시킨다는 결과를 밝혔다. Rosenzweig *et al.*(1996)은 기온과 대기 중 이산화탄소 농도의 변화에 따른 감귤류의 생산량 변화를 분석하였다. 그 결과 현재 감귤류 재배지역에서는 겨울철 고온 스트레스로 인해 생산량이 감소할 것으로 추정하였으나 이산화탄소 증가에 따른 비료효과도 고려해야 함을 밝혔다. Tubiello *et al.*(2002)은 GCM과 작물모델을 이용하여 미국에서 기후변화가 감귤류(발렌시아 오렌지)의 생산에 미치는 영향을 분석하여 기온이 상승하면 현재 재배지역에서는 생산성이 크게 증가할 것이나 북부 재배한계 지역에서는 여전히 생산성이 낮을 것이라고 예측하였다. Lobell *et al.*(2007)은 캘

리포니아를 대상으로 기온, 강수량과 오렌지의 생산성을 통계적으로 분석하여 5월의 강수량이 생산량을 증가시키며 3월과 12월의 최저기온은 서리 및 냉해와 연관되어 생산량과 음의 관계가 있다고 하였다.

건조한 지역에서는 기온보다 강수량이 생산량에 더 큰 영향을 미친다는 연구결과들이 발표되었다. 스페인을 대상으로 물 스트레스가 귤 생산량에 미치는 영향을 연구한 Garcia-Tejero *et al.*(2012)는 개화기, 과실성장기, 수확기로 나누어지는 생육시기 중 개화기의 수분 스트레스가 생산량에 가장 큰 영향을 미친다고 하였다. Zouabi *et al.*(2016)은 튀니지의 감귤생산을 대상으로 기후의 영향을 분석하여 강수의 증가가 감귤생산에 긍정적인 영향을 미치며 기온 상승은 이용가능한 수자원에 영향을 미쳐 생산을 감소시킬 것이라고 발표하였다.

우리나라에서 기후가 감귤 생산량에 미친 영향을 분석한 연구에는 이기광 외(2012)와 김현웅 외(2016)등이 있다. 이기광 외(2012)는 1990년부터 2009년까지 20년간의 농작물 생산량과 연간 기상자료를 이용하여 기상요소와 작물 생산량 간의 관계를 분석하였다. 그 결과 감귤 생산량과 연간 일사량이 유의한 양의 관계가 있다는 점을 밝혀냈다. 김현웅 외(2016)는 콕-더글라스 생산함수를 이용하여 기후변화가 감귤, 벼, 배추의 생산량에 미치는 영향을 분석하였다. 감귤 생산량과 관련 있는 기후요소로 연평균 기온과 기온의 분산값을 선정하였으며 연평균기온의 상승이 감귤 생산량을 증가시킨다는 것을 밝혀내었다.

이처럼 기후가 감귤 생산에 미치는 영향에 관한 연구는 지속적으로 수행되어 왔다. 국내에서 기후와 감귤 생산량의 관계에 관한 연구는 최근 들어 수행되고 있으나 대부분 연평균 기후자료와 제주도 전체 감귤 생산량의 관계를 분석하여 생육시기별, 지역별로 기후가 생산량에 미치는 영향 등을 분석하지 못한 한계가 있다. 따라서 제주도 내에서 지역을 구분하여 생육시기별 기후가 감귤 생산량에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.



## 제2장 연구 자료 및 방법

### 1. 연구 자료

본 연구에서 자료의 분석기간은 제주와 서귀포에서 노지감귤 생산량과 재배면적 자료가 있는 1997년부터 2017년(21년 간)이다. 재배면적과 생산량의 변화 분석에서는 장기간의 경향을 파악하기 위해 감귤류 전체의 재배면적, 생산량 자료가 있는 1966년부터 2017년을 분석기간으로 정하였다.

분석에 사용된 기후자료는 제주기상관측소와 서귀포기상관측소의 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 강수량, 강수일수, 일조시간 및 일사량<sup>1)</sup>이다. 제주도에서 감귤이 주로 재배되는 지역은 제주시 동(洞)지역, 애월읍, 조천읍 일대와 서귀포시 동(洞)지역, 남원읍 일대(문경환 외, 2015)이므로 고산, 성산기상관측소의 기후자료는 분석에서 제외되었다.

감귤류 전체(시설재배 포함)의 재배면적과 생산량 자료는 매년 제주특별자치도청에서 발간하는 통계연보에서 발췌하였다. 발췌한 자료는 제주와 서귀포로 구분하여 정리하였다. 과거 행정구역이 현재와 다른 경우 현재의 행정구역에 맞추어 자료를 정리하였다. 2006년 시군 통합 이전 북제주군과 남제주군의 자료는 각각 제주와 서귀포의 자료와 통합하였으며 1980년 이전 남제주군은 서귀포로 처리하였다.

노지감귤의 재배면적과 생산량은 매년 제주특별자치도 감귤출하연합회에서 발간하는 감귤유통처리분석집과 제주특별자치도청 감귤진흥과에서 제공받은 감귤 생산 현황 자료를 통해 수집하였다. 자료는 제주와 서귀포로 구분하였으며 감귤류 전체의 자료와 마찬가지로 현재의 행정구역을 기준으로 자료를 정리하였다.

꽃수 및 화엽비 관측자료는 분석결과를 설명하는데 이용하였다. 화엽비는 꽃수와 전년도부터 있던 잎(구엽)의 비율이다. 꽃수와 화엽비 자료는 매년 실시하는 노지감귤 관측조사의 결과이며, 제주특별자치도 농업기술원에서 발간하는 농촌지도사업보고서에서 발췌하였다.

---

1) 서귀포기상관측소에서는 일사량을 관측하지 않음.

## 2. 연구 방법

본 연구는 Figure 2.1과 같은 순서로 진행되었다. 먼저 감귤 재배면적, 생산량, 단위면적당 생산량의 변화를 확인하였다. 다음으로 노지감귤의 단위면적당 생산량과 각 생육시기별 기후요소의 관계를 분석하여 생산량과 관련이 있는 기후요소를 파악하였다. 또한 기후변동이 생산량 변동에 미치는 영향을 분석하였다.

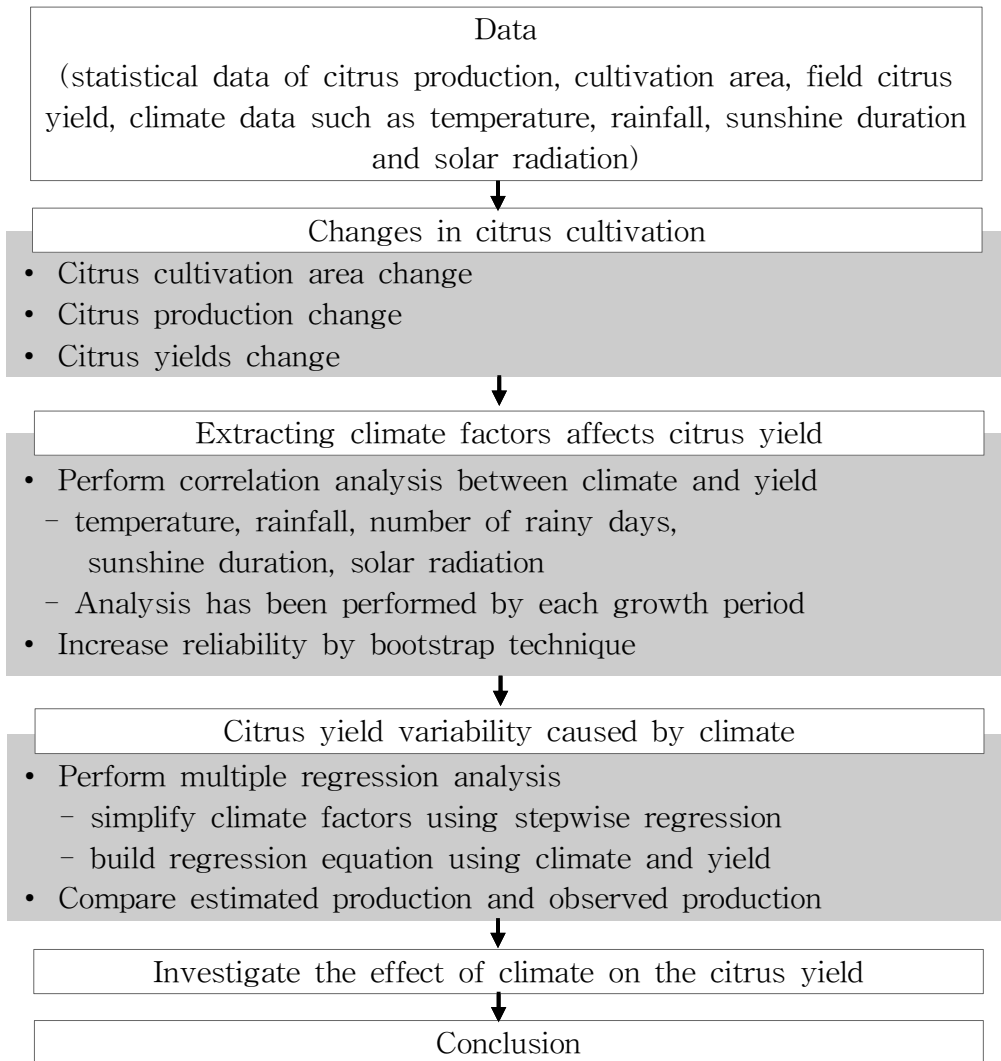


Figure 2.1. Flow chart of this study.

감귤 재배면적, 생산량, 단위면적당 생산량 변화경향을 파악하기 위해 시계열 변화를 그래프로 나타내었다. 선행 연구 및 문헌자료를 참고하여 시기별로 감귤 생산의 변화와 그 원인을 정리하였다. 통계자료가 구축되어 있는 농업 정책 결과는 그래프로 제시하였다

기후와 감귤 생산량의 관계를 파악하기 위해 노지감귤의 단위면적당 생산량과 기후요소 간의 상관관계를 분석하였다. 단위면적당 생산량을 사용한 이유는 재배면적의 변화로 인한 생산량 증감을 제외하기 위해서이다. 기후가 감귤에 미치는 영향은 생육시기에 따라 상이할 수 있으므로 기후요소 값은 생육시기별로 재구성하였다. 평균기온, 최고기온, 최저기온은 일자료를 생육시기별로 평균하였다. 강수량과 강수일수, 일조시간, 일사량은 일자료로 구성된 것을 생육시기 동안의 합으로 재구성하였다.

감귤의 생육시기는 제주특별자치도 농업기술원에서 발간한 핵심기술지도요강<sup>2)</sup>의 조생온주밀감 생육단계를 기준으로 정하였다. 본 연구에서는 7개의 생육시기 중 생산량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려진 수확기를 제외한 6개의 생육시기를 감귤 생리현상에 맞추어 화아분화기(flower bud differentiation period), 발아 및 개화기(bud bursting and flowering period), 생리낙과기(physiological fruit drop period), 과실비대기(fruit enlargement period) 4개의 시기로 구분하였다(Table 2.1). 일부 생육시기는 다른 선행연구 및 문헌을 참고하여 수정하였다. 생리낙과기는 낙과 형태에 따라 1차 생리낙과기(6월), 2차 생리낙과기(7월)로 세분화하였다. 과실비대기는 과실비대가 10월 말까지 활발하게 이루어진다는 선행연구(김창명, 2002; 고상욱, 2007)를 참고하여 8~10월로 수정하였다.

화아분화기는 나무에서 눈이 발생하고 꽃눈과 잎눈이 성장하여 서로 구분되는 생육시기이며 크게 두 개의 기간으로 구분된다. 생리적 화아분화기는 꽃눈이 분화될 위치에 영양물질이 집적되는 시기로 10월에 해당한다. 형태적 화아분화기는 꽃눈과 잎눈이 성장하여 관측, 구분이 가능한 시기로 2, 3월에 해당한다.

---

2) <http://agri.jeu.go.kr/agri/technology/citrus.htm?page=2&act=view&seq=39780>

Table 2.1. Growth period of Citrus in Jeju special self-governing province.

Month	Growth period	
	Jeju special self-governing province agricultural research and extension services	Revised after Kim(2002) and Ko(2007)
October	Flower bud differentiation period	Physiological flower bud differentiation period
February		Morphological flower bud differentiation period
March		
April	Bud bursting and flowering period	Bud bursting period
May		Flowering period
June	Physiological fruit drop period	First physiological fruit drop period
July		Second physiological fruit drop period
August	Fruit enlargement period	Fruit enlargement period
September		
October		

발아 및 개화기는 꽃이 형성되고 열매가 달리는 시기이다. 꽃눈이 외부로 신장하는 발아기(4월)과 꽃이 피고 열매가 맺히는 개화기(5월)로 구성된다. 꽃이 많이 열리면(화엽비가 높으면) 낙과율 또한 높아져 착과율은 낮아지지만, 낙과 이후에 남아있는 열매 수가 많으며(고상욱, 2007), 이는 생산량 증가로 이어진다.

생리낙과기는 나무에서 자연적으로 과일이 떨어지는 시기이다. 생리낙과는 뿌리, 가지 등의 기관과 과실이 양분을 두고 경쟁하는 과정이다. 감귤

의 생리낙과기는 1차 생리낙과기와 2차 생리낙과기로 구분된다. 1차 생리낙과기는 6월이며 상순에 생리낙과가 가장 활발하게 일어난다. 2차 생리낙과기는 7월이며 1차 생리낙과기 이후 추가적으로 낙과가 일어나는 시기이다. 낙과량은 1차 생리낙과기보다는 적으나 1차 생리낙과가 적은 경우 2차 생리낙과가 많이 발생하는 경향이 있다. 2차 생리낙과기 이후에는 물리적 충격이 가해지지 않는 한 낙과가 발생하지 않기 때문에 사실상 과일 수가 결정되는 기간이다(고상욱, 2007). 낙과율이 높으면 열매수가 감소하며 생산량이 감소한다.

과실비대기는 과일의 크기가 커지는 시기로 8월에서 10월이다. 과일의 크기는 착과된 순간부터 수확될 때 까지 성장한다. 과일의 크기 및 무게는 8~10월에 급격하게 성장하여 10월 이후에는 증가가 거의 이루어지지 않는다(김창명, 2002; 고상욱, 2007).

통계분석을 실행하기 전 노지감귤의 단위면적당 생산량과 기후자료는 탈경향 자료를 생산하였다. 단위면적당 생산량은 전반적으로 농업 기술의 발달로 인해 꾸준히 증가하고 있고, 이로 인한 증가 경향은 기후와 무관한 요인에 의한 것이다. 그러므로 기후가 농업 생산량에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 전반적인 농업생산량 증가 경향을 제거한 탈경향 자료를 만들 필요가 있다. 본 연구에서는 탈경향 자료를 생성하는 방법 중 전년도 값과의 차이를 분석 자료로 사용하는 차분법을 실시하였다(Lobell and Field, 2007; 허인혜·이승호, 2017; 2018). 예를 들어, 본 연구에서 사용한 1998년의 단위면적당 생산량은 1998년의 단위면적당 생산량에서 1997년의 단위면적당 생산량을 뺀 값이다.

단위면적당 감귤 생산량과 관계있는 기후요소를 파악하기 위해 Kendall- $\tau$  상관분석을 실시하였다. Kendall- $\tau$  상관분석은 비모수 통계기법으로 자료가 정규분포를 따르지 않거나 정규성을 보장할 수 없을 때 주로 사용된다. 분석결과의 신뢰성을 높이기 위해 bootstrap 기법을 이용하였다. bootstrap 기법은 반복표본추출 기법의 하나로 표본 자료를 가상의 모집단으로 간주하고 가상의 모집단에서 무작위 표본추출을 반복적으로 실시하는 통계 기법이다(심준섭, 2004). 이 방법을 통해서 자료의 정규성과 관련 없이 특정 신뢰구간의 상한값과 하한값을 구할 수 있다(허명희,

2014).

분석결과는 지역별, 생육시기별로 box plot으로 나타내었다. 제시된 box plot에서 whisker의 상·하한은 상관계수가 그 범위 안에 있을 확률이 99%라는 것을 의미한다. box의 상·하한은 상관계수가 그 범위 안에 있을 확률이 50%라는 것을 의미하며 가운데의 선은 반복적으로 추출된 상관계수들의 중앙값을 나타낸다. 상관계수의 값은 검은 점으로 표시하였다. 기후요소는 편의상 약자를 사용하였으며 평균기온은 Tmean, 최고기온은 Tmax, 최저기온은 Tmin, 강수량은 Prec, 강수일수는 RN, 일조시간은 SS, 일사량은 SR로 축약하였다.

기후변동이 감귤의 단위면적당 생산량 변동에 어느 정도 영향을 미치는지 파악하고자 생산량과 관계가 있는 것으로 밝혀진 기후요소를 이용해 다중회귀분석을 실시하였다. 단위면적당 생산량 변동에 가장 큰 영향을 미치는 기후요소를 찾고, 최적의 회귀식을 구하기 위해 단계적 선정법(stepwise selection)을 사용하였다. 그 후 기후변동에 의한 감귤 생산량의 변동이 실제 생산량을 얼마나 잘 모의하는지 알아보기 위해 회귀식을 통해 기후변동으로 추정된 생산량과 실제 생산량을 비교하였다.

## 제3장 감귤 재배면적과 생산량 변화

### 1. 감귤 재배면적 변화

일반적으로 작물의 생산량은 재배면적에 비례한다. 감귤은 1960년대 이후 재배면적이 급격히 증가하였으며 이에 따라 생산량도 증가하였다. 감귤 생산량의 변화를 파악하기 위해서는 재배면적의 변화를 살펴보는 것이 선행되어야 한다.

감귤류 전체의 재배면적에서 노지감귤 재배면적이 차지하는 비율은 감소하고 있으나 제주와 서귀포 모두 노지감귤 재배면적의 비율이 70% 이상이다. 또한 상관분석 결과 감귤 전체 재배면적과 노지감귤 재배면적은 유의수준  $\alpha=0.01$  이하에서 상관계수( $r$ ) 0.9 이상의 높은 상관관계가 있다. 그러므로 감귤류 전체의 재배면적 변화 경향으로 노지감귤 재배면적의 변화 추이를 파악하는데 무리는 없을 것으로 보인다.

Figure 3.1은 1966년부터 2017년까지 매년 제주와 서귀포의 감귤 재배면적을 나타낸 그래프이다. 분석기간 동안 감귤 재배면적은 증가하였다가 다시 감소하여 2010년대에는 일정한 수준을 유지하고 있다. 1966년 제주도의 감귤 재배면적은 658.5ha로 서귀포에서 480.1ha, 제주에서 178.4ha 재배하였다. 이후 재배면적은 급격히 증가하여 10년 후인 1976년에는 제주시 3,560ha, 서귀포시 8,006ha로 1966년에 비해 약 20배, 17배 증가하였다. 이 시기 급격한 감귤 재배면적 증가에는 정책적 지원, 묘목 도입 및 생산, 재배 기술개발 등이 영향을 미쳤다(佐野孝治, 2005; 제주감귤농협, 2012).

감귤 재배에 대한 정책적 지원은 1965년 감귤증산 계획이 수립되면서 본격화되었다. 국비와 지방비로 예산이 편성되어 묘목 공급, 방풍림 조성 등 감귤 과수원 조성이 지원되었다. 감귤 유통시설에도 지원이 이루어져 감귤 저장고 등이 만들어졌다. 1968년에는 감귤증식사업이 농어민 소득증대 특별사업으로 지정되면서 직판장, 집하장 등 산지 유통시설에 대한 지원이 이루어졌다(제주감귤농협, 2012). 1973년부터 1979년 말까지는 제주도 관광 종합개발 계획의 일환으로 감귤 산업 육성에 75.2억 원이 투입되어 저장고, 집수 시설, 육묘 시설, 선과장 및 선과기의 정비가 이루어졌다(佐野孝治, 2005).

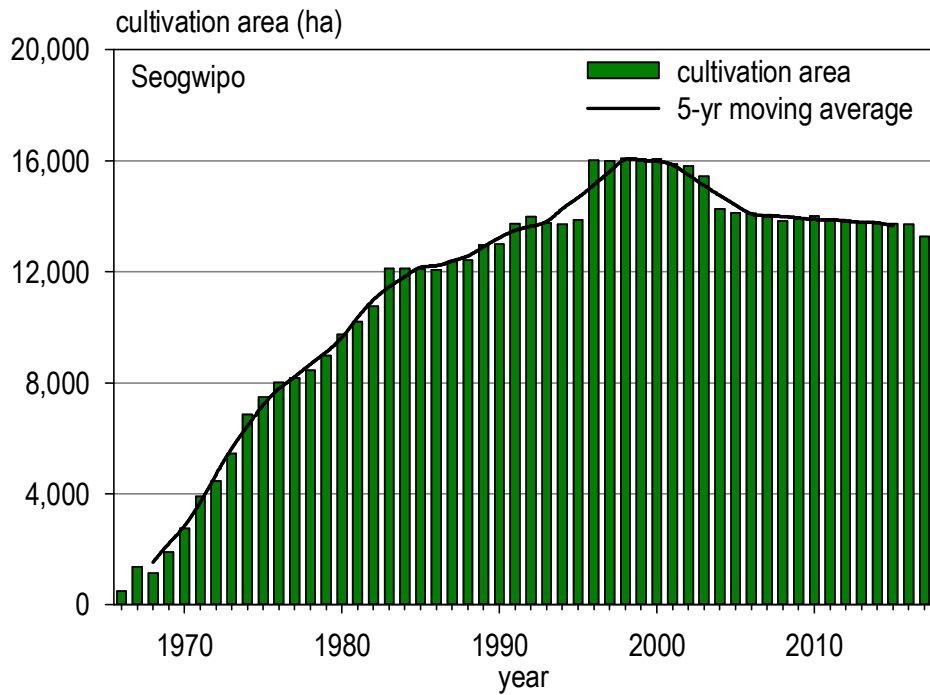
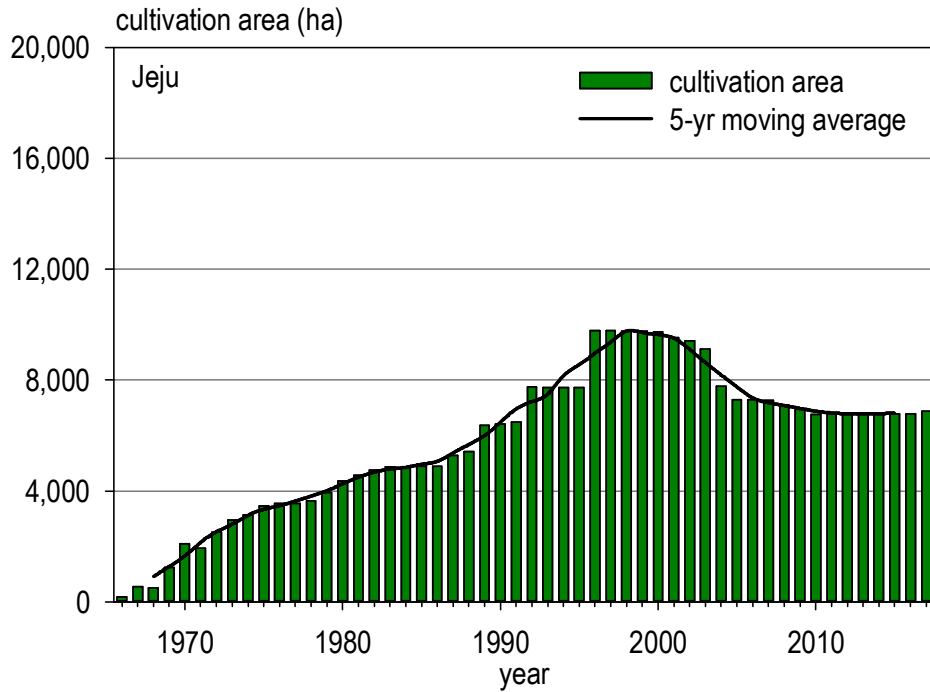


Figure 3.1. Change of citrus cultivation area from 1966 to 2017.



이 시기의 감귤 묘목은 일본으로부터 수입과 재일(在日) 제주도민으로부터의 기증을 통해 도입되었다. 1969년과 1970년에는 각각 100만 그루, 160만 그루가 도입되었다. 일본에 거주하던 제주도민들은 묘목 기증 운동을 실시하여 1965년부터 1970년까지 270만 그루가 넘는 묘목을 기증하였다(佐野孝治, 2005). 뿐만 아니라 제주도 내에서도 묘목을 생산하였는데, 초기의 감귤 과수원에서는 감귤 생산과 함께 묘목도 재배하여 판매하였다(강성기, 2015).

감귤 과수원이 크게 증가할 수 있었던 데에는 밀식재배의 실행과 빗물 저수조의 설치의 영향이 컸다. 밀식재배는 좁은 면적에서도 많은 수확을 얻을 수 있어 감귤 재배의 경제성을 향상시켰다. 빗물 저수조는 이전까지 물을 확보할 수 있는 샘 인근에 위치하였던 과수원이 제주 전역으로 확대되는데 기여하였다(제주감귤농협, 2012).

1970~1980년대를 거쳐 1990년대 초반까지 급격히 증가하던 감귤 재배면적은 1990년대 중반부터 증가추세가 완화되었다. 제주에서 1991년부터 1995년까지 평균 재배면적은 7,487ha이며 이 기간 동안 재배면적은 1,266ha 증가하였다. 1991년에서 1995년까지 서귀포에서 평균 감귤 재배면적은 13,807ha였으며 이 기간 동안 재배면적은 125ha 증가하여 거의 변화가 없었다. 1996년에 제주와 서귀포 모두 감귤 재배면적이 전년도에 비해 약 2,000ha씩 급증하여, 제주에서 9,787ha, 서귀포에서 16,015ha로 기록되었다. 이러한 급격한 증가는 통계 조사방법의 변화로 인한 것이다. 1996년에는 이듬해 실시될 감귤 생산조정제 시행을 위해 감귤 재배면적 전수조사가 실시되었다. 그 결과 기존 통계치보다 감귤 재배면적이 더 넓은 것으로 조사되었다<sup>3)</sup>. 이는 1996년 감귤 재배면적의 급증이 오히려 1995년 이전의 감귤 재배면적이 과소추정 되었다는 것을 보여준다. 즉, 통계에 기록된 것과 달리 감귤의 재배면적 증가는 1990년대 중반까지 꾸준히 증가하였다고 추측할 수 있다.

1990년대 후반부터 재배면적은 감소하였다. 제주에서 감귤 재배면적은 1996년~1998년에 최대 재배면적인 9,787ha를 기록한 이후 서서히 감소하였다. 서귀포의 감귤 재배면적도 1998년에 최대 재배면적인 16,083ha를 기록하

---

3) 연합뉴스 기사, 「제주 감귤재배 면적, 통계치와 큰 차이」, 1996년 9월 11일, <https://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0004056702>

고 2003년까지 소폭 감소하였다. 2003년과 2004년에 재배면적은 크게 줄었으며 이후에는 큰 변화가 없다.

1997년부터 2009년까지 이어진 재배면적 감소는 감귤원 폐원사업의 결과이다. Figure 3.2는 연도별 감귤 과수원 폐원 면적과 사업비를 정리한 것이다. 이 기간 동안 사업비 1,339억 원이 투입되어 총 4,776.5ha의 감귤 과수원이 폐원되었다. 1997년부터 2002년까지는 해발 200m 이상에 위치한 과수원이나 동해, 한해 등의 피해가 빈번하게 발생하는 과수원 700.5ha가 폐원되었으며 사업비 201억 원이 투입되었다. 2003년과 2004년은 각각 제주도 전체에서 1,323.9ha, 2,559.1ha가 폐원되어(2년 간 사업비 1,127억 원), 감귤 재배면적이 약 25,000ha에서 21,000ha로 크게 감소하였다. 2005년부터 2009년까지는 약 12억 원의 사업비가 투입되어 193ha를 폐원하였다.

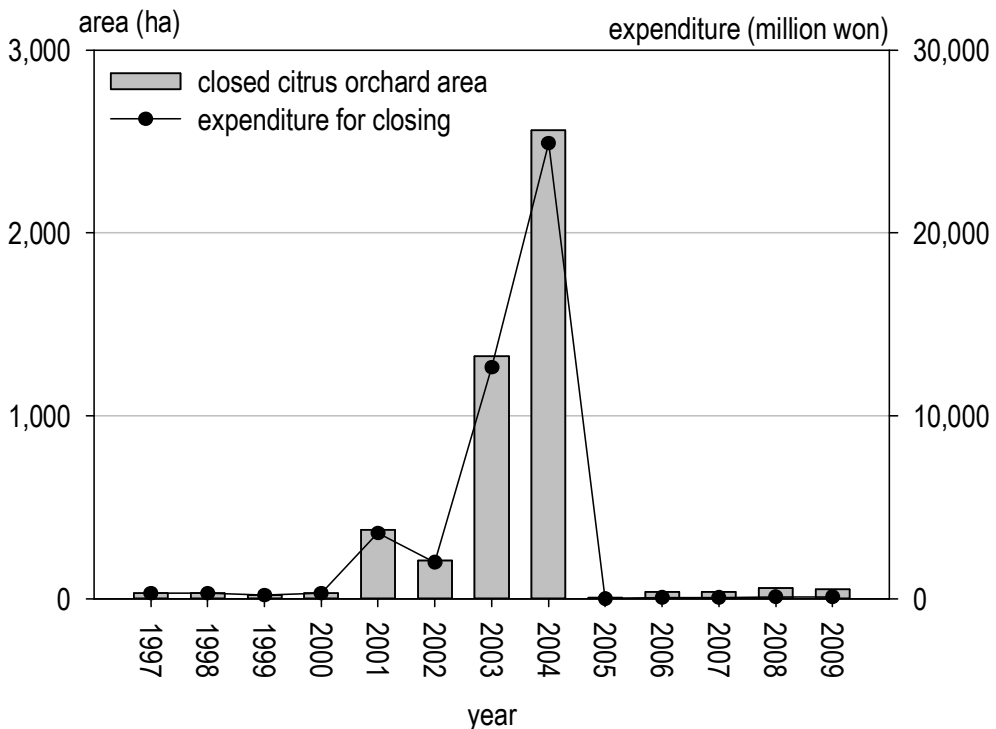


Figure 3.2. Annual area of closed citrus orchard and expenditure in Jeju special self-governing province (1997~2009). After Yoon(2012).

2010년대에는 이전과 달리 재배면적의 큰 변화가 나타나지 않는다. 제주에서는 재배면적이 6,700ha 전후로 소폭 증가하고 있다. 서귀포에서는 재배면적이 13,800ha 전후로 소폭 감소하고 있다.

## 2. 감귤 생산량 변화

감귤류 전체의 생산량에서 노지감귤이 차지하는 비율은 꾸준히 감소하고 있다. 그럼에도 불구하고 감귤 생산량 중 노지감귤의 비율은 제주에서 80% 이상, 서귀포에서 70% 이상이다. 또한 감귤 전체 생산량과 노지감귤 생산량의 상관관계를 분석한 결과 유의수준  $\alpha=0.01$  이하에서 상관관계수( $r$ ) 0.87 이상의 높은 상관관계가 있다. 감귤류 전체의 생산량 변화 경향으로 노지감귤 생산량의 변화 추이를 파악하는데 무리는 없을 것으로 보인다.

Figure 3.3은 1966년부터 2017년까지 매년 제주와 서귀포의 감귤 생산량을 나타낸 그래프이다. 분석기간 동안 감귤 생산량은 전반적으로 증가한다. 생산량은 서귀포가 제주보다 많으며 2000년 이후 서귀포는 연간 약 44만 톤, 제주는 연간 약 20만 톤을 생산한다.

1960년대와 1970년대 초반까지 감귤 생산량은 제주시와 서귀포시 모두 연간 10,000톤 미만이며 생산량 증가도 많지 않다. 제주에서는 1975년에 처음으로 감귤 생산량이 10,000톤을 넘었으며, 서귀포에서는 1973년에 생산량이 10,000톤을 초과하였다. 이후 생산량은 급격히 증가하였으며, 증가추세는 1980년대 말까지 지속된다. 생산량이 재배면적이 크게 증가한 시기보다 늦은 1970~1980년대에 급증하게 된 이유는 1960년대 말, 1970년대 초에 재배면적이 크게 늘었기 때문이다. 1년 생 감귤 묘목이 식재 된 후 결실을 맺기까지는 5~9년 정도 걸리므로(임열재 외, 2016), 재배면적의 증가에 의한 생산량 증가는 몇 년이 지나야 통계에 반영된다. 또한 이 시기에는 밀식재배가 이루어졌기 때문에(제주특별자치도 농업기술원, 2016) 생산량은 재배면적이 늘어나면서 급격하게 증가하였다.

1970년대에서 1980년대까지 급격히 증가한 생산량은 1989년 최대생산량을 기록하였다. 1989년 총 생산량은 746,400톤으로 제주에서는 약 20만 톤이 생

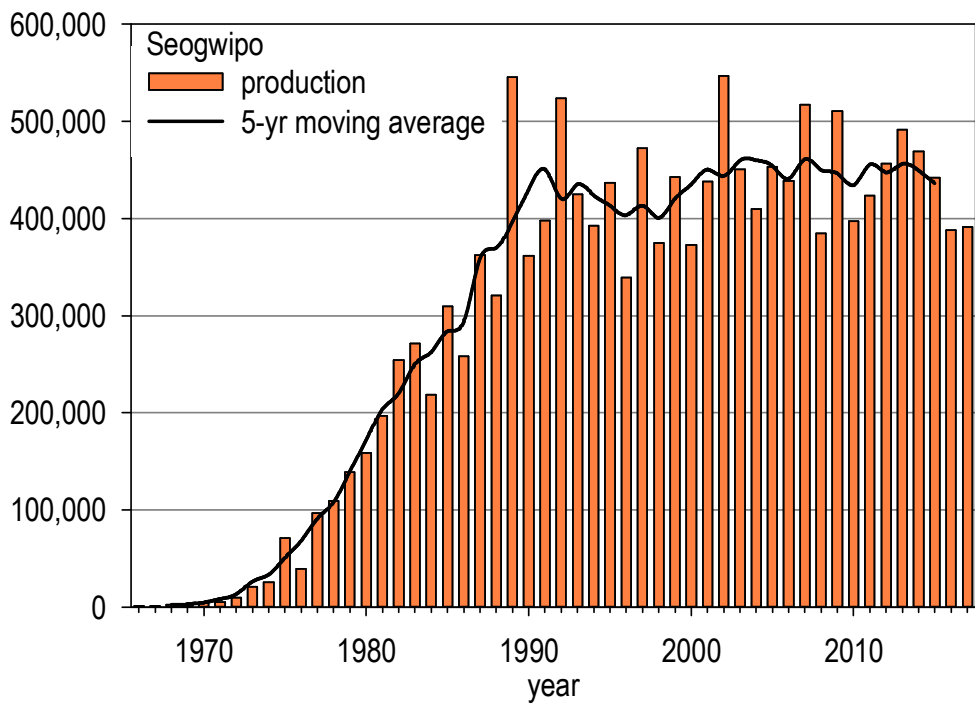
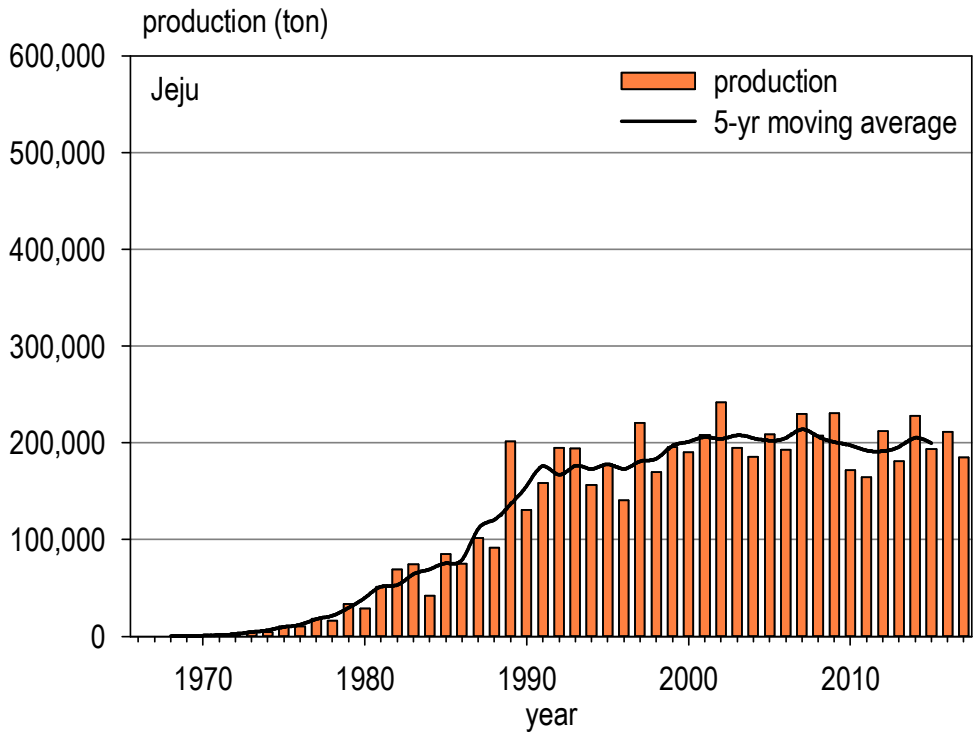


Figure 3.3. Change of citrus production from 1966 to 2017.

산되었으며 서귀포에서는 약 55만 톤이 생산되었다. 이는 2002년(788,679톤), 2007년(747,376톤)에 이어 역대 세 번째로 많은 감귤 생산량이다. 1989년에 감귤 생산량이 최대가 된 것에는 1960~1970년대에 식재된 감귤나무가 최성수기(수령 16~25년)에 달해 생산 능력이 높았다는 점, 이전해의 적은 생산량으로 인한 해거리<sup>4)</sup>의 영향 등이 복합적으로 작용하였을 것으로 추정된다.

1990년대 들어 생산량의 증가추세는 완화되었다. 이는 재배면적 증가가 둔화되었으며 생산량 감축 정책이 시행되었기 때문이다. 제주에서는 2000년대까지도 생산량이 증가하나 증가폭은 1990년대 이전보다 작다. 2010년대 들어서 제주에서 생산량은 소폭 감소하는 경향이다. 서귀포에서는 1990년대 말까지 생산량이 감소하였으며 1999년 이후에 다시 증가하였다. 2000년 이후로는 명확한 증가 또는 감소 경향은 보이지 않는다. 그러나 매년 생산량 변동이 심해 생산량이 50만 톤 이상인 해(2002년, 2007년, 2009년)와 40만 톤 이하인 해(2008년, 2010년, 2016년, 2017년)가 반복적으로 나타난다.

### 3. 단위면적당 감귤 생산량 변화

Figure 3.4는 1966년부터 2017년까지 매년 제주와 서귀포의 단위면적당 감귤 생산량을 나타낸 것이다. 분석기간 동안 단위면적당 감귤 생산량은 전반적으로 증가하였다. 2008년과 2016년을 제외하고는 모든 연도에서 서귀포의 단위면적당 생산량이 제주보다 많다. 2008년은 2007년의 과다생산, 수확기 지연 등의 영향으로 특히 서귀포에서 꽃이 적게 피었다<sup>5)</sup>(제주도 농업기술원, 2008). 2016년은 1월의 한파로 인해 감귤나무의 피해가 컸으나 제주의 경우 전년도 생산량이 적어 2016년의 꽃수가 서귀포에 비해 비교적 많았다(제주특별자치도 농업기술원, 2017).

1960년대에서 1970년대 초의 단위면적당 생산량은 재배면적의 증가로 인해 다소 감소하였다. 이후 1970년대 중반부터는 급격하게 증가하기 시작하

---

4) 격년결실. 과실이 많이 열리는 해와, 많이 열리지 않는 해가 격년으로 반복되는 현상.  
(농촌진흥청 농사로 농업용어사전: <http://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psq/psqb/farmTermDicLst.ps?menuId=PS00064>)

5) 개화량 전년 대비 58.8%, 2002~2007 5개년 평균의 62.5%.

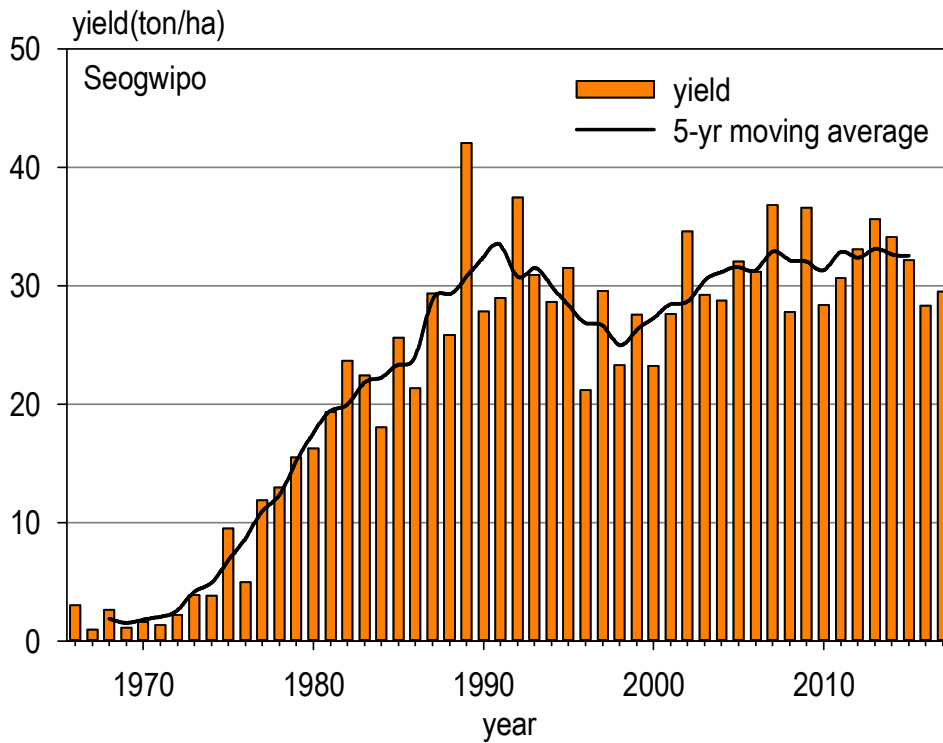
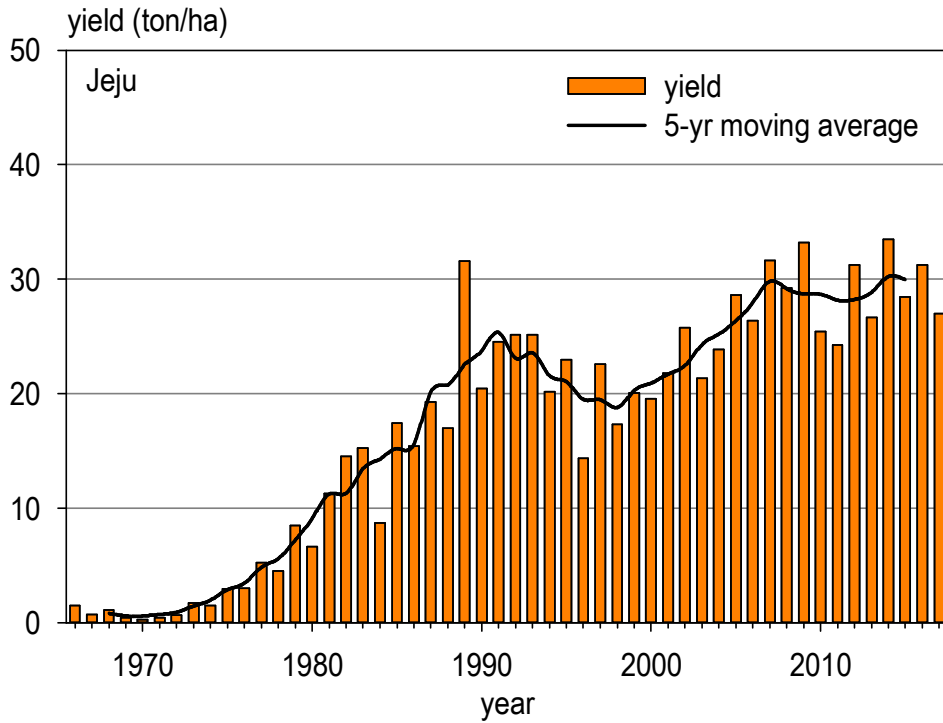


Figure 3.4. Change of citrus yield from 1966 to 2017.

였는데 이는 새롭게 조성된 감귤 과수원에서 수확이 이루어지고 농업 기술의 발달과 화학비료의 본격적인 도입(제주특별자치도 농업기술원, 2016) 등이 이루어졌기 때문이다. 단위면적당 생산량의 증가는 1980년대 후반까지 지속되어 1989년 제주에서는 31.6t/ha, 서귀포에서 42.0t/ha를 기록한다. 이러한 현상은 앞서 서술하였듯이 감귤나무의 최성수령 도달, 해거리 등의 영향으로 추정된다.

1989년 이후 제주에서는 2000년까지 단위면적당 감귤 생산량이 감소하는 추세이다. 서귀포에서 단위면적당 생산량은 1992년에 35.7t/ha로 역대 두 번째로 높은 값을 기록한 이후 1999년까지 감소하는 경향이다. 1990년대에는 품질향상과 생산량 조절을 위해 간벌 등 생산량 조절 정책이 이루어졌다. 간벌은 기존의 밀식 감귤 과수원에서 나무를 일부 베어내는 것으로 주된 목적은 광합성을 촉진시키고 과일 품질을 향상시키는 것이다. 또한 중장기적으로 생산량을 조절하는 방법으로 사용된다. Figure 3.5는 1991년부터 2017년까지 제주도에에서 이루어진 간벌 면적을 나타낸 것이다. 자료는 제주

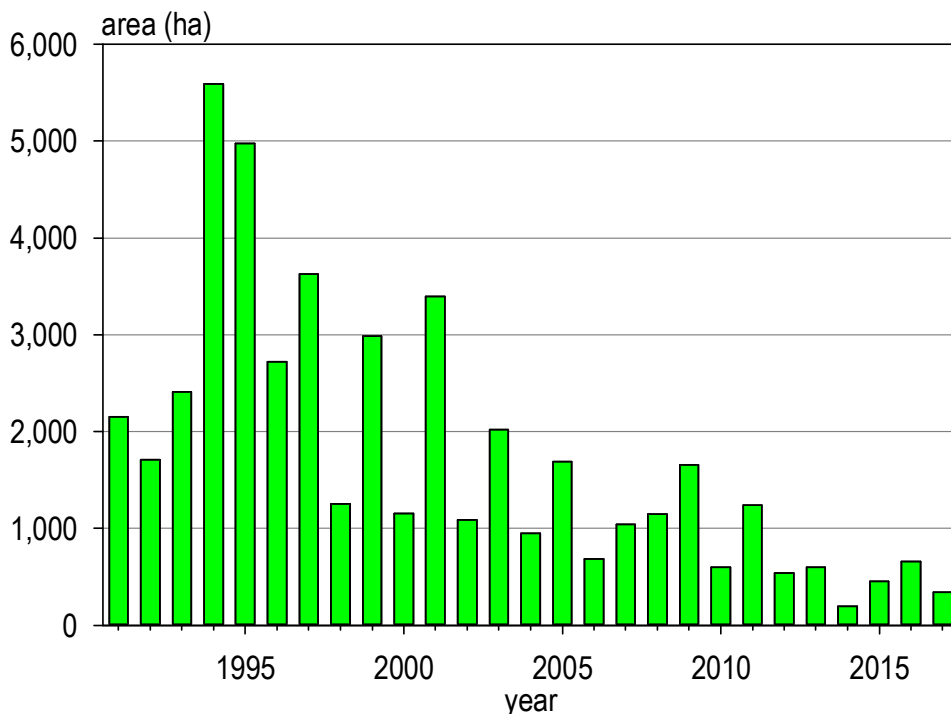


Figure 3.5. Annual thinning area in Jeju special self-governing province (1991-2017).

특별자치도 농업기술원에서 매년 발간하는 농촌지도사업보고서에서 발췌하였다. 이 기간 동안 총 46,878ha의 과수원에서 간벌이 이루어졌다. 총 간벌 면적은 제주도 전체의 감귤 재배면적보다 넓은데, 간벌을 2번 이상 실시한 과수원도 면적에 포함되었기 때문이다. 간벌을 진행할 때는 최종적으로는 나무의 수를 절반으로 줄이는 1/2 간벌을 목표로 하고 있으나 생산량 감소로 인한 농가의 소득 감소를 고려하여 단계적으로 수차례 실시하고 있다. 간벌은 1994년과 1995년에 가장 많이 이루어져 1994년에 5,591ha, 1995년에 4,975ha가 간벌되었다. 이러한 대규모의 간벌은 1990년대의 단위면적당 생산량을 감소시키는데 영향을 주었을 것으로 보인다. 2000년대 이후로도 간벌은 이루어지고 있으나 1990년대에 비하면 규모가 작다. 2000년대에는 단위면적당 감귤 생산량은 제주와 서귀포에서 조금씩 증가하는 경향이다. 증가 추세는 서귀포보다는 제주에서 더 뚜렷하게 나타난다. 2010년대 들어서는 제주와 서귀포 모두 단위면적당 생산량이 감소하는 추세이다. 재배면적에는 큰 변화가 없으므로 단위면적당 생산량 감소는 생산량 감소로 인한 것이다. 또한 제주와 서귀포의 단위면적당 감귤 생산량 차이가 감소하고 있다.



## 제4장 생육시기별 기후와 감귤 생산량의 관계

### 1. 화아분화기 기후와 생산량의 관계

감귤의 화아분화는 생리적 화아분화와 형태적 화아분화로 구분된다. 화아분화가 잘되면 착과량이 증가하며 생산량이 많아진다(백자훈, 1994). 두 개의 화아분화기 중 생리적 화아분화는 10월에 활발하게 일어난다. 생리적 화아분화는 이듬해 생산량에 영향을 미치므로 전년도 10월 기후요소와 이듬해 단위면적당 생산량의 관계를 분석하였다.

생리적 화아분화기의 기후와 단위면적당 감귤 생산량 간의 상관관계는 Figure 4.1과 같다. 제주에서 평균기온(Tmean), 최고기온(Tmax)이 단위면적당 생산량과 유의한 양의 상관관계가 있으며 각각의 상관계수(r)는 0.337, 0.326이다. 서귀포에서는 평균기온(Tmean), 최고기온(Tmax), 최저기온

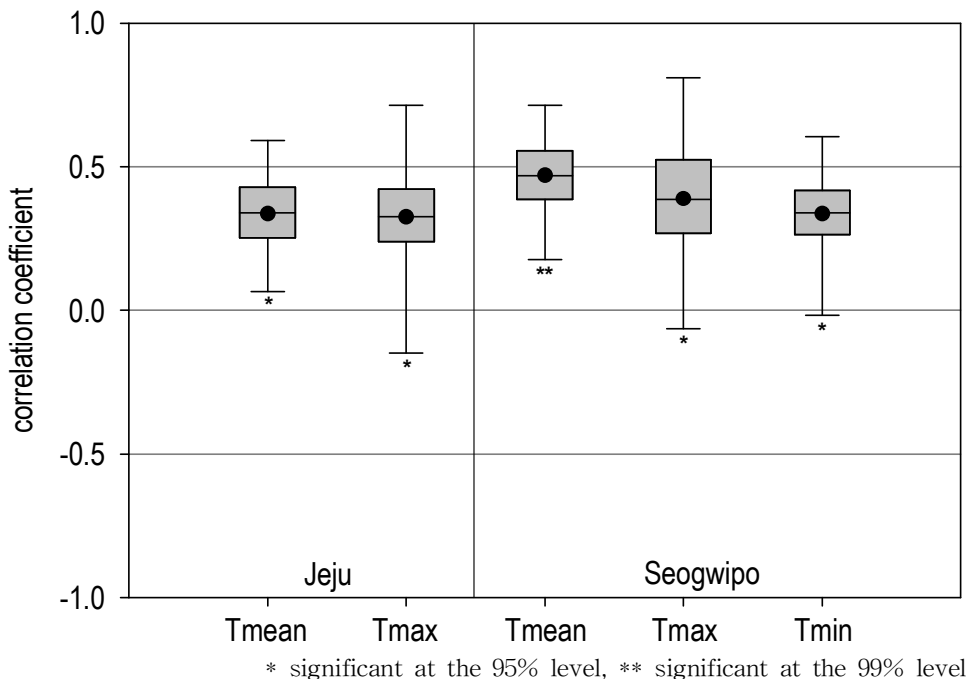


Figure 4.1. Correlation between citrus yield and climate factors in physiological flower bud differentiation period (previous October).

(Tmean)이 단위면적당 생산량과 유의한 양의 상관관계가 있다. 상관계수(r)는 각각 0.470, 0.389, 0.337이다.

화아분화에는 여러 요인이 관여하나 양분 측면에서는 C-N율이 작용한다(백자훈, 1994). C-N율은 잎에서 만들어지는 탄수화물(C)과 뿌리에서 흡수되는 질소화합물(N)의 비율을 의미하며, 탄수화물의 비율이 높으면 생식생장(꽃 형성)이 활발하며 질소화합물의 비율이 높으면 영양생장(가지와 잎의 성장)이 활발하다(제주특별자치도 농업기술원, 2017). 화아 형성에는 탄수화물이 충분히 축적되고 질소화합물의 양이 다소 적은 상태가 유리하다(양진영, 2018). 그러므로 화아분화기의 광합성이 활발할수록 화아 형성과 분화에 유리하다.

가을철 감귤 광합성은 20℃에서 가장 활발하며(제주특별자치도 농업기술원, 2017), 연구기간 동안 10월 평균기온은 제주에서 18.7℃, 서귀포 20.0℃이다. 최고기온은 제주시 21.7℃, 서귀포시 23.8℃로 가을철 최적기온보다는 높은 편이다. 하지만 여름철 광합성 속도가 가장 빠른 기온이 25~28℃(제주특별자치도 농업기술원, 2017)인 것을 고려할 때 제주도에서 생리적 화아분화기 최고기온이 상승하면 광합성이 활발해질 것으로 추측된다. 광합성이 활발해지고 화아분화가 원활하게 진행된다면 생산량은 증가한다.

최저기온도 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 일반적으로 주간 기온은 광합성을 원활하게 하는 반면, 야간의 기온 상승은 호흡을 증가시켜 탄수화물의 소모를 유도한다. 그러므로 최저기온의 상승은 화아분화를 억제한다. 제주도에서 최저기온은 최고기온과 유의한 양의 상관관계가 있는데(제주:  $r=0.505$ , 서귀포:  $r=0.442$ ), 이를 통해 최저기온 상승하면 탄수화물이 소모되어 화아분화와 생산량에 악영향을 미치나, 최고기온 또한 상승하고 탄수화물의 생성이 많아지고 화아분화가 원활하게 이루어져 최저기온과 생산량도 양의 관계가 있는 것으로 추정된다.

Figure 4.2는 형태적 화아분화기 기후요소와 단위면적당 감귤 생산량 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 서귀포의 평균기온(Tmean), 최고기온(Tmax), 최저기온(Tmin)이 생산량과 유의한 양의 상관관계가 있다. 각각의 상관계수(r)는 0.400, 0.432, 0.389이다.

형태적 화아분화기 기온과 생산량 사이에 양의 관계가 있는 것은 기온이

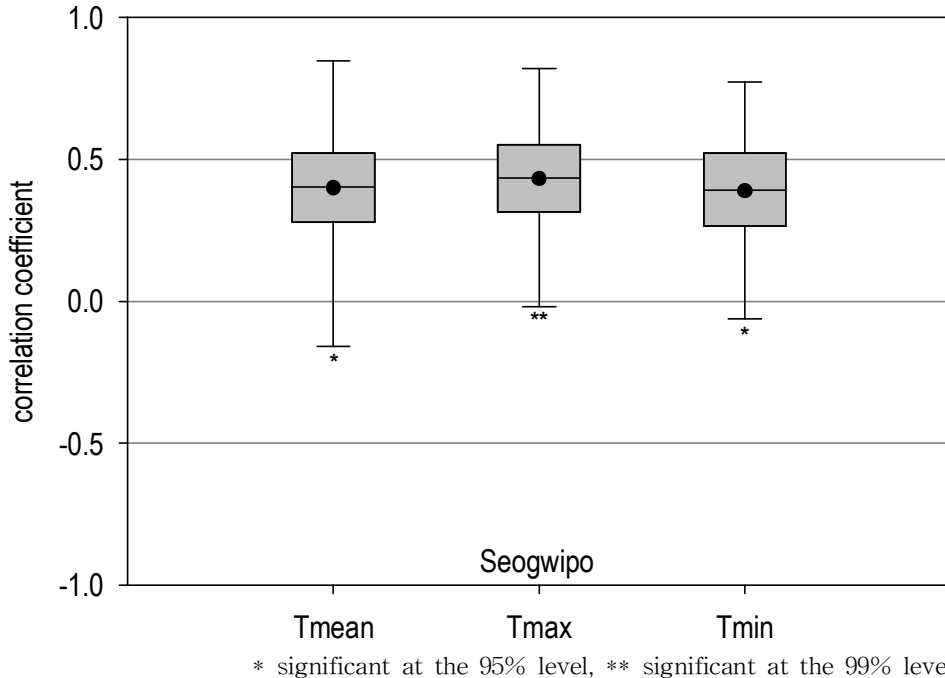


Figure 4.2. Correlation between citrus yield and climate factors in morphological flower bud differentiation period (February to March).

꽃수와 유엽화의 발생비율과 관련되어 있다는 선행연구의 결과와 일치한다. 화아분화기(겨울철)의 높은 기온은 꽃수를 증가시키며(Iwasaki and Owada, 1960), 유엽화의 발생비율을 상승시킨다(Moss, 1969). 유엽화는 직화보다 생리낙과율이 낮기 때문에(백자훈, 1994), 착과율도 높으며 열매가 많이 달려 생산량이 많다.

Figure 4.3은 형태적 화아분화기에 단위면적당 생산량과 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 서귀포시의 평균기온, 최고기온, 최저기온의 산포도이다. 서귀포의 평균기온, 최고기온, 최저기온 산포도에서 2005년은 기온이 전년도에 비해 낮았음에도 불구하고 단위면적당 생산량이 전년도보다 많았다. 이는 형태적 화아분화기 이후 생육시기 기후가 단위면적당 생산량을 증가시키는 데 유리한 조건이었기 때문으로 보인다.

2005년에 화엽비는 서귀포시에서 0.90, 남제주군에서 0.93으로 전년도 화엽비 1.00, 0.94보다 소폭 감소하였다. 그러므로 꽃수는 큰 차이가 없는 것으

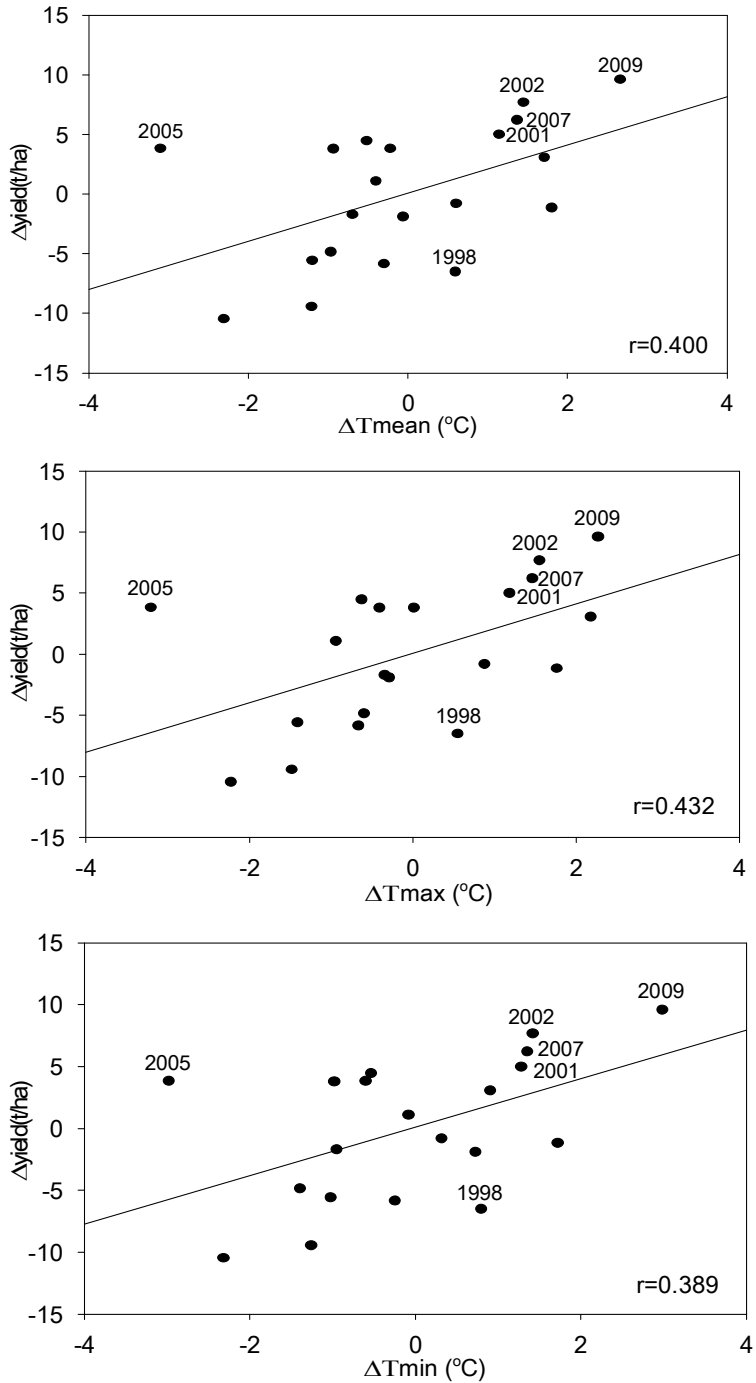


Figure 4.3. Relationship between citrus yield and mean temperature of morphological flower bud differentiation period in Seogwipo.

로 보인다. 2005년 개화기(5월)의 일조시간은 244.3시간으로 분석기간 평균인 201.8시간 보다 길었다. 1차 생리낙과기(6월) 일조시간은 182.8시간으로 평균 133.5시간보다 길었으며, 2차 생리낙과기(7월)의 최고기온은 분석기간 평균과 큰 차이가 없어 생리낙과가 저조했을 것으로 추측된다. 과실비대기(8~10월) 최고기온은 26.8℃로 평균 27.2℃ 다소 낮아 일소(日燒)피해<sup>6)</sup>가 다소 적었을 것으로 생각된다. 이 결과는 화아분화기의 기후가 화아분화에 유리하지 않더라도 다른 생육시기의 기후가 생산량에 유리하다면 단위면적당 생산량이 증가할 수 있다는 것을 의미한다.

연구기간 중 단위면적당 생산량이 많았던(35t/ha 이상) 3개 연도(2002년: 35.1t/ha, 2007년: 37.7t/ha, 2009년: 36.9t/ha)는 전년도보다 기온이 1℃ 이상 높다. 이를 통해 전년도보다 높은 형태적 화아분화기의 기온이 많은 단위면적당 감귤 생산량을 유도한다고 할 수 있다. 그러나 단위면적당 생산량이 적었던(25t/ha 이하) 2개 연도(1998년: 22.8t/ha, 2001년: 22.4t/ha)도 전년도에 비해 형태적 화아분화기의 기온이 높다. 따라서 형태적 화아분화기의 기후는 단위면적당 생산량이 양의 상관관계가 있으나 생산량을 결정짓는 요인은 아닌 것으로 보인다.

## 2. 발아 및 개화기 기후와 생산량의 관계

Figure 4.4는 발아의 기후요소와 단위면적당 감귤 생산량 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 발아의 기후요소 중에는 서귀포의 강수일수가 단위면적당 감귤 생산량과 통계적으로 유의한 상관관계가 있다. 단위면적당 감귤 생산량과 서귀포시 강수일수(RN)의 상관계수( $r$ )는 -0.434이며 유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의하다.

개화기에는 제주에서 일조시간(SS), 일사량(SR)이 단위면적당 생산량과 유의한 양의 상관관계가 있으며 서귀포시에서는 일조시간(SS)이 양의 상관관계가 있다(Figure 4.5). 단위면적당 생산량과의 상관계수( $r$ )는 제주 일조시간(SS)이 0.358이며 일사량(SR)은 0.326이다. 서귀포에서 단위면적당 생산량과 일조시간(SS)의 상관계수는 0.432이다.

6) 34페이지 참고

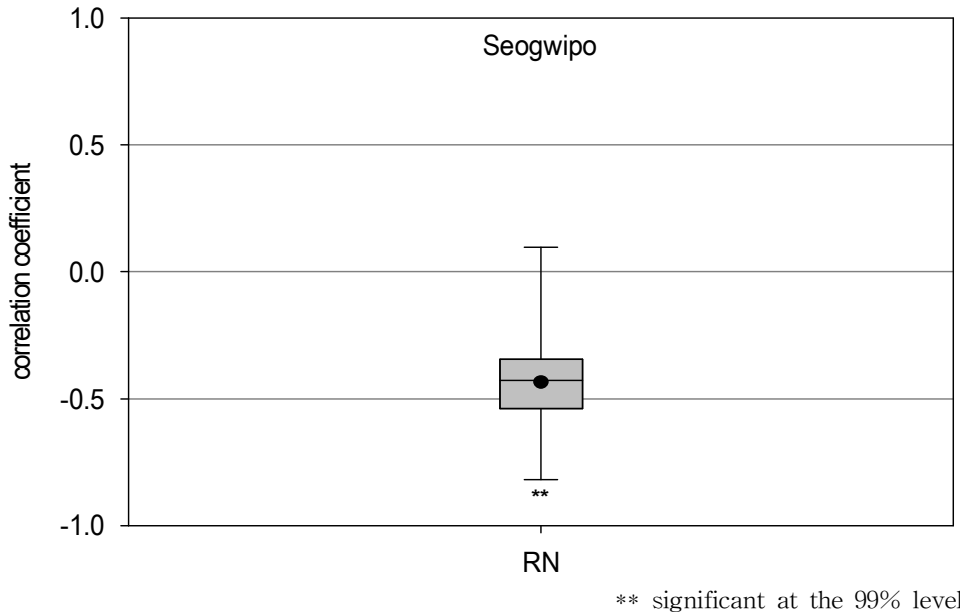


Figure 4.4. Correlation between citrus yield and climate factors in bud bursting period (April).

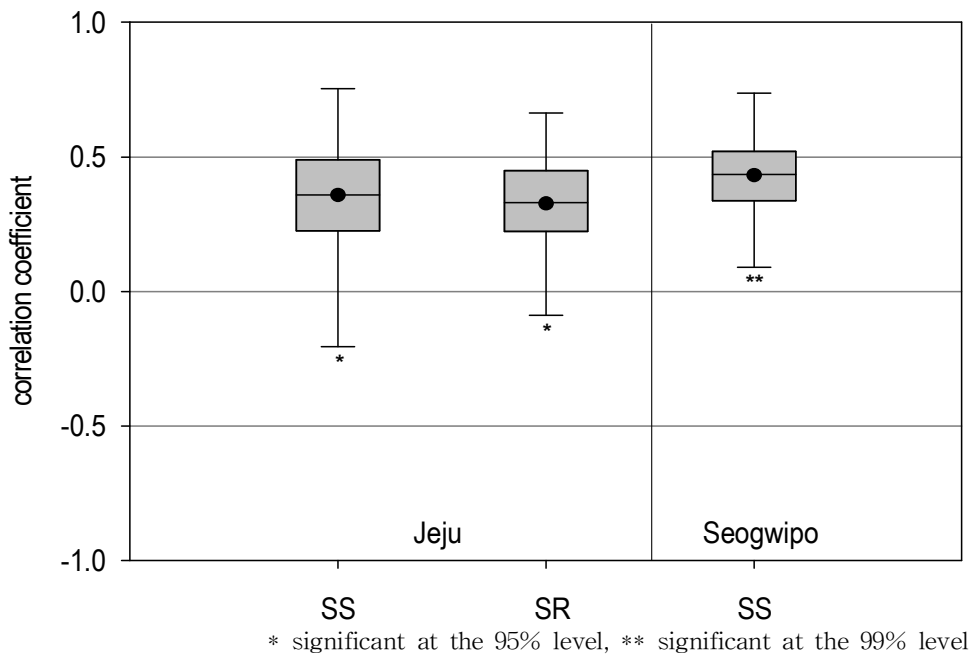


Figure 4.5. Correlation between citrus yield and climate factors in flowering period (May).

일조시간과 일사량은 단위면적당 생산량과 유의한 양의 관계가 있으며, 다음 생육단계인 생리낙과와 밀접한 관련이 있다. 1차 생리낙과는 과일의 초기발육에 필요한 영양분이 공급되지 않아 발생한다. 과일의 초기발육은 나무 내의 저장 양분에 의해 좌우되므로(백자훈, 1994), 광합성을 통한 탄수화물 합성이 원활할 경우 낙과는 감소하고 생산량은 증가할 수 있다. 1차 생리낙과기인 6월에 충분한 탄수화물 양을 유지하기 위해서는 5월인 개화기의 광합성이 활발히 일어나야 하며 많은 일조시간과 일사량은 광합성을 촉진시킨다. 즉, 개화기의 많은 일조시간과 일사량은 1차 생리낙과를 감소시키고 착과수를 증가시켜 단위면적당 생산량과 양의 상관관계가 있다.

Figure 4.6은 서귀포의 단위면적당 감귤 생산량과 발아기 강수일수의 관계를 나타낸 산포도이다. 서귀포에서 발아기의 강수일수와 단위면적당 생산량은 음의 상관관계가 있으나, 2002년은 전년도에 비해 강수일수가 증가하였음에도 단위면적당 생산량이 증가하였다. 2002년의 단위면적당 생산량은 전년도에 비해 8t/ha가 증가한 34.6t/ha로 분석기간 중 역대 3번째로 많은 단위면적당 생산량이다.

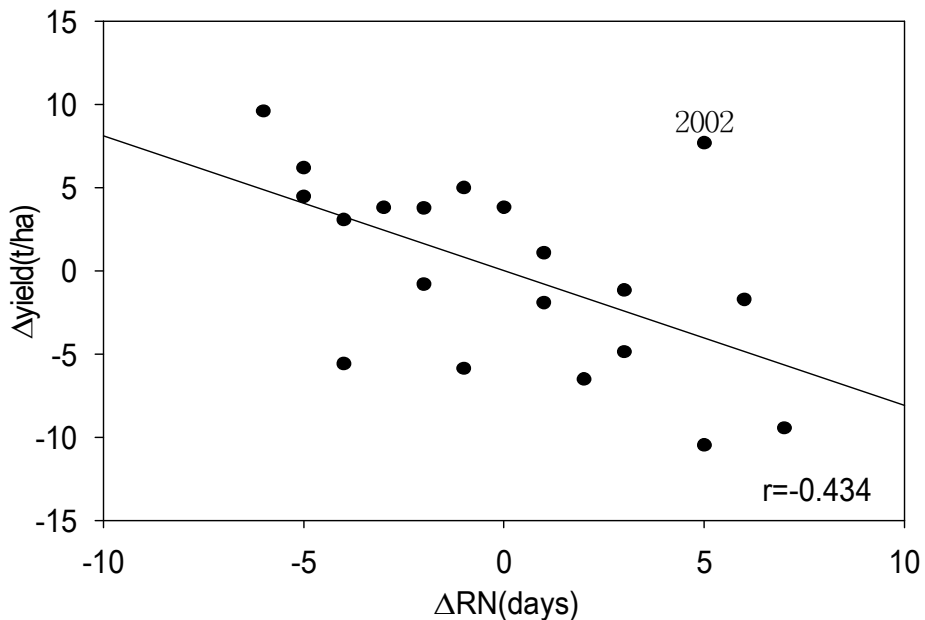


Figure 4.6. Relationship between citrus yield and number of rainy days(RN) of bud bursting period in Seogwipo.

이러한 현상은 다른 생육시기에서 감귤 생산에 유리한 기후조건이 갖추어졌으며 꽃수가 적었기 때문이다. Guardiola(1997)의 연구에 따르면 꽃수가 지나치게 적은 경우에 낙과율이 감소하고, 과일 수는 증가하여 결과적으로 단위면적당 생산량은 증가한다. 2002년의 화엽비는 0.54로 전년도 화엽비 1.05와 평년(과거 5년 평균) 화엽비 0.99보다 낮았다. 또한 1차 생리낙과기 일조시간은 190.2시간으로 분석기간 평균인 133.5시간보다 많았으며 이상저온 현상이 발생하여 생리낙과가 저조하였다(남제주군농업기술센터, 2003). 2002년의 사례를 고려할 때, 꽃이 지나치게 적게 피며 다른 생육시기에서 감귤 생산에 유리한 조건이 갖추어질 경우에 발아기 강수일수는 단위면적당 생산량에 큰 영향을 미치지 못할 수도 있다.

### 3. 생리낙과기 기후와 생산량의 관계

생리낙과기는 1차 생리낙과기(6월)과 2차 생리낙과기(7월)로 구분된다. 1차 생리낙과기의 낙과율은 70% 이상으로 낙과의 대부분이 이 시기에 발생한다. Figure 4.7은 1차 생리낙과기의 기후요소와 단위면적당 생산량 간의 관계를 분석한 결과다. 제주에서 단위면적당 생산량은 평균기온( $T_{mean}$ ), 최저기온( $T_{min}$ ), 일조시간(SS)과 유의한 양의 상관관계가 있다. 단위면적당 생산량과 기후요소 사이의 상관계수( $r$ )는 평균기온( $T_{mean}$ )이 0.449, 최저기온( $T_{min}$ )이 0.417, 일조시간(SS)이 0.526, 일사량(SR)이 0.537이다. 단위면적당 생산량과 강수량(Prep), 강수일수(RN)는 유의한 음의 상관관계가 있으며 상관계수( $r$ )는 각각 -0.432, -0.407이다. 모든 기후요소와 단위면적당 생산량의 상관계수의 절댓값은  $\pm 0.4$  이상으로 다른 생육시기에 비해 높으며 특히 일조시간(SS), 일사량(SR)의 상관계수는 0.5 이상으로 다른 기후요소 보다 상관관계가 높다.

서귀포시에서 단위면적당 생산량은 강수일수(RN)와 유의한 음의 상관관계가, 일조시간(SS)과 유의한 양의 상관관계가 있다. 강수일수(RN)의 상관계수( $r$ )는 -0.370, 일조시간(SS)의 상관계수는 0.453이다. 일조시간(SS)의 상관계수는 생리적 화아분화기 평균기온( $r=0.470$ )에 이어 모든 생육시기 기후요소 중 두 번째로 높다.



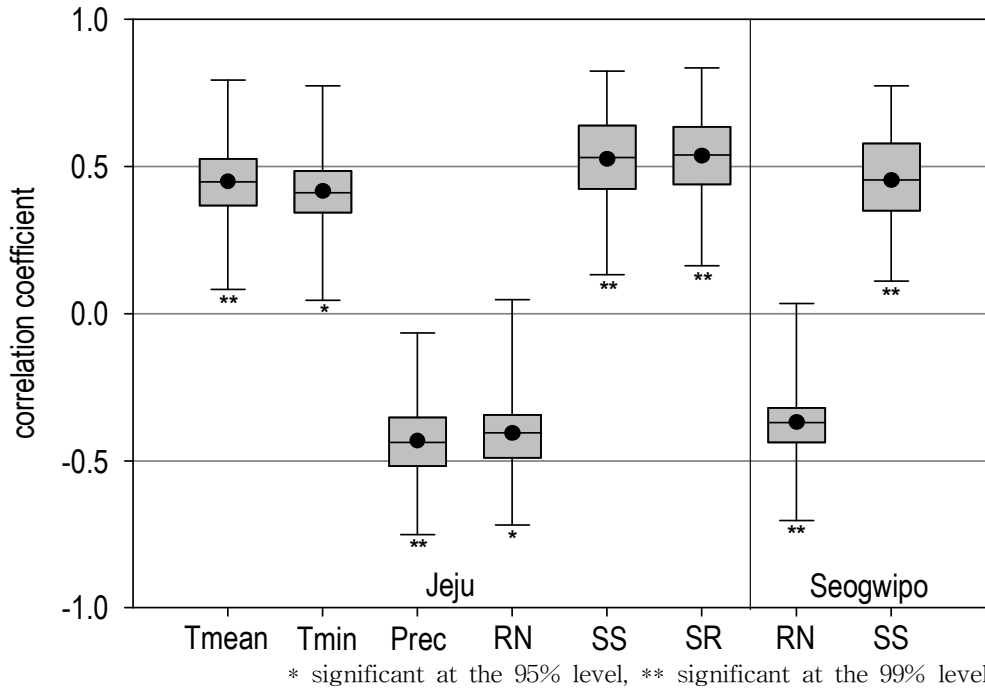


Figure 4.7. Correlation between citrus yield and climate factors in 1st physiological fruit drop period (June).

제주에서 1차 생리낙과기의 기온은 단위면적당 생산량과 양의 상관관계가 있어 기온이 상승하면 생리낙과가 억제된다는 것을 의미한다. 이러한 분석 결과는 6월 상순과 중순의 최고기온이 생리낙과와 음의 상관관계를 보인다는 Okada and Konakahara(1985)의 연구결과와 일치한다.

강수량과 강수일수는 단위면적당 생산량과 유의한 음의 상관관계가 있다. 강수로 인한 일조의 부족은 광합성의 효율을 떨어뜨리며 나무의 온도를 낮추어 양분의 이동을 억제하여 생리낙과를 촉진시킨다(백자훈, 1994). 또한 1차 생리낙과기에 시작되는 장마는 광합성을 저해하고 병충해 중 피해가 가장 큰 검은점무늬병의 발생을 촉진시켜 감귤 생산에 큰 피해를 입힌다(제주특별자치도 농업기술원, 2017).

제주도에서 장마는 일반적으로 6월 중순 내지 하순에 시작한다. 감귤의 생육시기를 월별로 구분하여 실행한 분석에서는 1차 생리낙과기의 강수량과 강수일수가 단위면적당 감귤 생산량에 미치는 영향이 장마 때문이라고 판단

할 수는 없다. 1차 생리낙과기 중 장마가 감귤 생산량에 미치는 영향을 파악하기 위해 6월 순별로 강수량 및 강수일수와 단위면적당 생산량의 관계를 분석하였다(Table 4.1). 6월 상순은 제주 강수일수와 서귀포 강수량이 단위면적당 생산량과 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 있으며 상관계수(r)은 각각 0.360, 0.337이다. 6월 중순에는 제주 강수일수와 서귀포 강수량 및 강수일수가 단위면적당 생산량과 통계적으로 유의한 음의 상관관계가 있다. 상관계수(r)은 제주 강수일수가 -0.553이며, 서귀포 강수량은 -0.421, 강수일수는 -0.418이다. 통계적으로 유의하지 않으나 제주 강수량도 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있어 6월 중순의 강수량과 강수일수가 생산량을 감소시킨다는 것을 확인할 수 있다. 6월 하순에는 제주에서만 통계적으로 유의한 상관관계가 있으며 상관계수(r)는 강수량이 -0.358, 강수일수가 -0.446이다. 서귀포에서 통계적으로 유의하지는 않으나 강수량과 강수일수가 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 이를 통해 6월 강수량, 강수일수와 단위면적당 생산량 사이에 음의 상관관계가 있는 것은 장마가 시작되는 6월 중순과 하순의 영향인 것을 확인할 수 있다.

일조시간과 일사량은 앞서 서술하였듯이 광합성을 원활하게 하여 나무 내의 탄수화물 양을 증가시키고 낙과율을 감소시킨다. 낙과율이 감소하면 나무에 달리는 열매수가 증가하여 생산량의 증가로 이어진다.

Table 4.1. Correlation between yield and precipitation and number of rainy days by 10days in 1st physiological fruit drop period.

Period		6/1~6/10	6/11~6/20	6/21~6/30
Jeju	Precipitation	-0.263	-0.253	-0.358*
	Number of rainy days	0.360**	-0.553**	-0.446**
Seogwipo	Precipitation	0.337*	-0.421**	-0.232
	Number of rainy days	-0.158	-0.418*	-0.258

\* significant at the 95% level, \*\* significant at the 99% level

Figure 4.8은 2차 생리낙과기의 기후요소와 단위면적당 생산량 간의 관계를 정리한 것이다. 제주에서는 평균기온(Tmean), 최고기온(Tmax), 일사량(SR)이 단위면적당 생산량과 유의한 음의 상관관계가 있다. 상관계수(r)는 평균기온(Tmean)이 -0.326, 최고기온(Tmax)이 -0.326, 일사량(SR)이 -0.358이다. 서귀포에서는 최고기온(Tmax), 최저기온(Tmin)이 단위면적당 생산량과 유의한 음의 상관관계가 있으며 강수량(Prec)이 유의한 양의 상관관계를 보인다. 상관계수(r)는 최고기온(Tmax)이 -0.332, 최저기온(Tmin)이 -0.337, 강수량(Prec)이 0.400이다. 두 지역에서 공통적으로 최고기온(Tmax)이 단위면적당 생산량과 음의 상관관계가 있으며 상관계수(r)는 각각 -0.326, -0.332로 비슷하다. 2차 생리낙과기에는 높은 기온이 생리낙과를 유발하는 것으로 알려져 있어(제주특별자치도 농업기술원, 2018), 분석결과를 뒷받침한다.

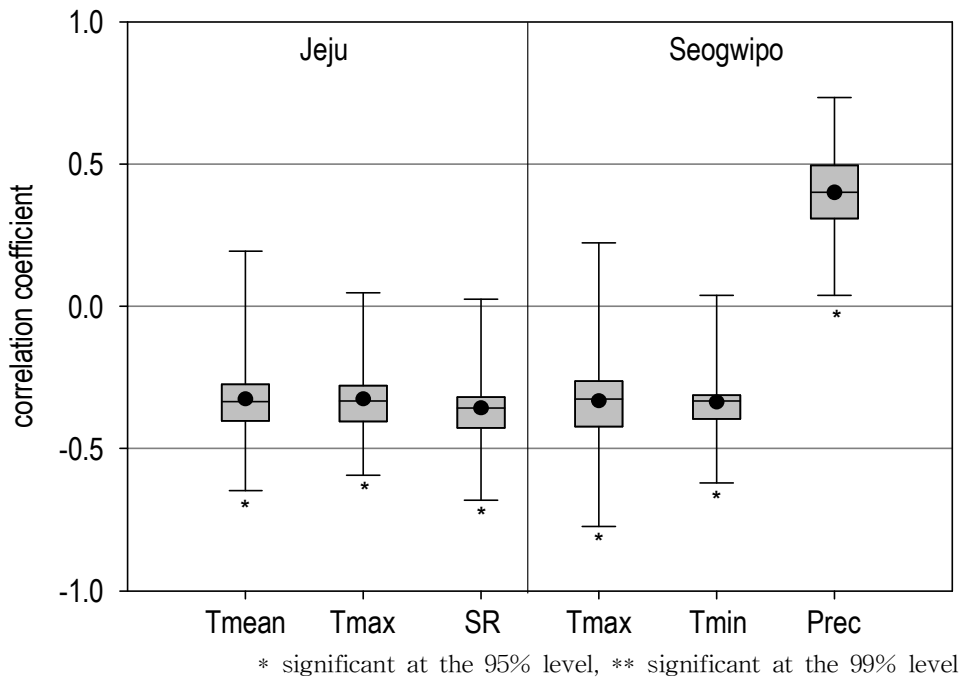
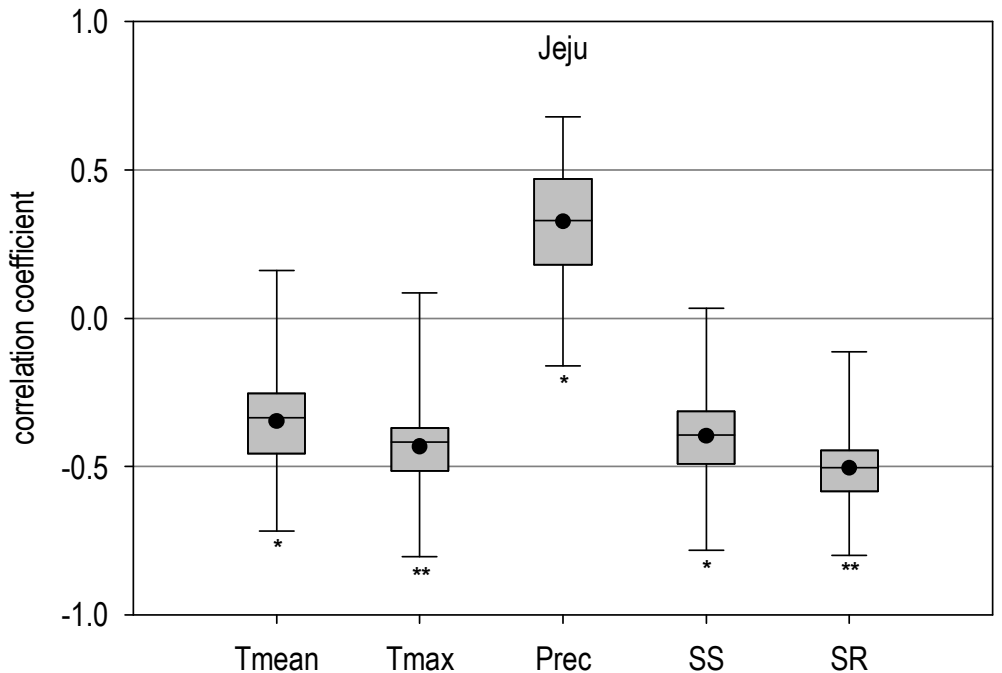


Figure 4.8. Correlation between citrus yield and climate factors in second physiological fruit drop period (July).

#### 4. 과실비대기 기후와 생산량의 관계

과실비대기는 8월~10월이며 이 시기에 과일의 무게가 크게 증가한다(김창명, 2002; 고상욱, 2007). Figure 4.9는 과실비대기의 기후요소와 단위면적당 생산량 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 제주에서 단위면적당 생산량은 평균기온(Tmean), 최고기온(Tmax)과 일조시간(SS), 일사량(SR)과 유의한 음의 상관관계가, 강수량(Prec)과 유의한 양의 상관관계가 있다. 상관계수(r)는 평균기온(Tmean)이  $-0.347$ , 최고기온(Tmax)이  $-0.432$ , 강수량(Prec)이  $0.326$ , 일조시간(SS)이  $-0.396$ , 일사량(SR)이  $-0.505$ 이다. 여러 기후요소 중 최고기온(Tmax)과 일사량이 유의확률 0.01 수준에서 유의하며 일사량(SR)의 상관계수 절댓값은 0.5 이상으로 과실비대기 기후요소 중 단위면적당 생산량과 가장 관련성이 높다.



\* significant at the 95% level, \*\* significant at the 99% level

Figure 4.9. Correlation between citrus yield and climate factors in fruit enlargement period (August to October).

서귀포에서는 단위면적당 생산량과 유의한 상관관계가 있는 기후요소가 없다. 그러나 Figure 4.10는 서귀포에서 단위면적당 생산량과 과실비대기 평균기온과 최고기온의 관계를 나타낸 것이다. 서귀포에서 과실비대기의 기온이 특히 높았던 2013년(평균기온은 25.2℃, 최고기온은 28.7℃로 연구기간의 과실비대기 평균기온 중 가장 높음)과 그에 따라 차분값이 낮게 계산된 2014년을 제외하면 평균기온, 최고기온이 단위면적당 생산량과 통계적으로 유의한 관계가 있다. 2013년과 2014년을 분석에서 제외할 경우 단위면적당 생산량과의 상관관계수(r)는 평균기온이 -0.438, 최고기온이 -0.359이며 모두 유의수준  $\alpha=0.05$  이하로 서귀포시에서도 전년도 대비 기온상승이 단위면적당 생산량을 감소시킨다.

과실비대기의 기온과 일조시간 및 일사량은 일소(日燒)현상과 관련이 있으며 단위면적당 생산량을 감소시킨다. 일소는 열매가 강한 햇빛에 의해 껍질 조직이 파괴되는 현상으로 다습한 상황에서 기온이 급격히 상승할 때 발생하기 쉽다(제주특별자치도 농업기술원, 2017). 일소피해를 입는 과일의 비율은 매년 다르나 나무별로 0~20%의 과일이 일소피해를 입으며(제주특별자치도 농업기술원, 2017) 심한 경우에는 30~40%(백자훈, 1994)까지도 피해가 발생한다. 발생 시기는 제주를 기준으로 9월 20일부터 10월 15일까지이며 최다 발생 시기는 9월 25일부터 10월 5일까지로 전체 일소현상 중 75%가 이 시기에 발생하였다(백자훈, 1994). 이와 같이 일소는 고온에 의해 유발되는 생리 장애임에도 불구하고 8월보다 기온이 비교적 낮은 9월, 10월에 더 많이 발생한다.

일소는 휘발성물질이 포함된 유포(油胞)가 고온과 강한 일사에 의해 파괴되면서 발생하는 생리장애이므로 유포가 발달하지 못한 과일 성장초기에는 일소 피해가 발생하지 않는다. 한편 과일이 성숙하여 유포의 물질이 젤(gel)화 되면 강한 일사에도 일소피해가 발생하지 않는다(백자훈, 1994). 일소피해는 감귤 과일껍질의 외피온도가 40℃를 넘을 때 발생하며, 일사를 받는 과일과 잎의 온도는 기온보다 10℃가량 높기 때문에(제주특별자치도 농업기술원, 2017) 맑은 날 일최고기온이 30℃이상일 때 일소피해가 발생할 가능성이 높다.

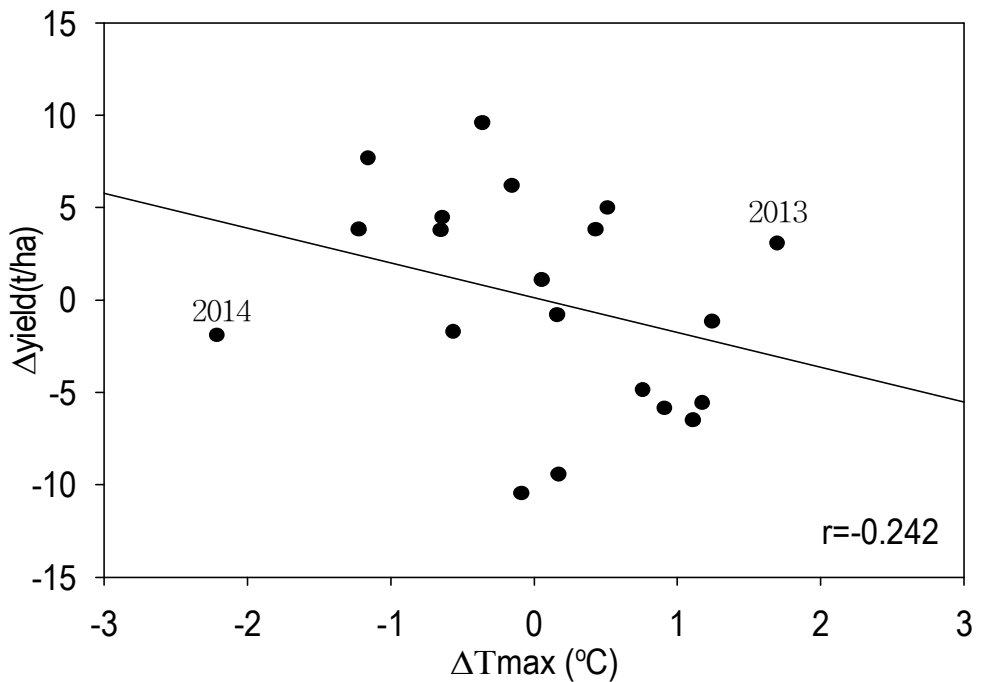
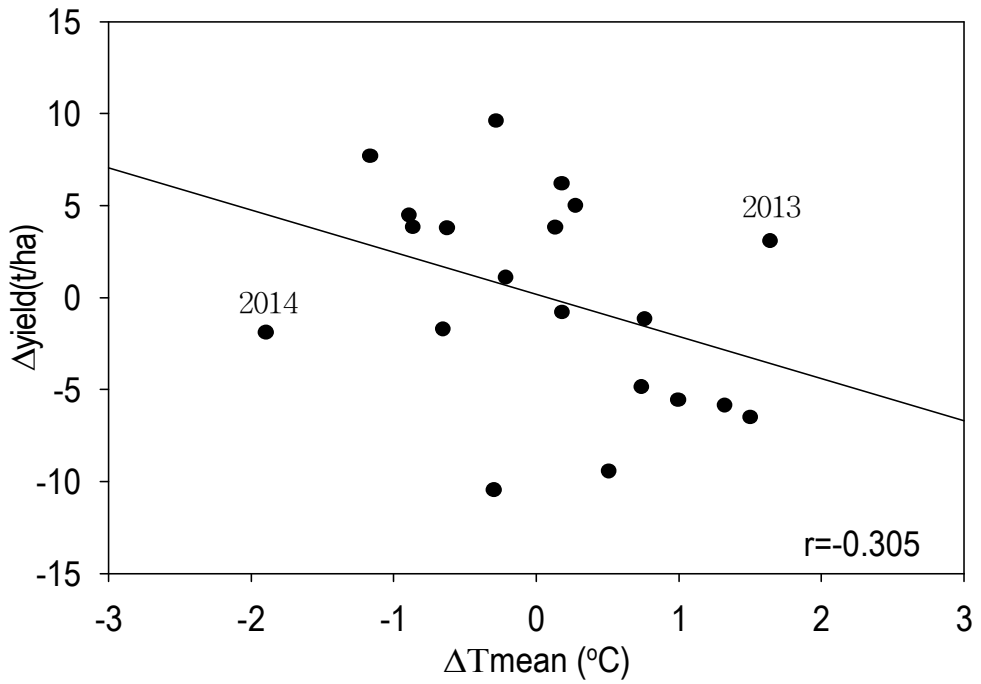
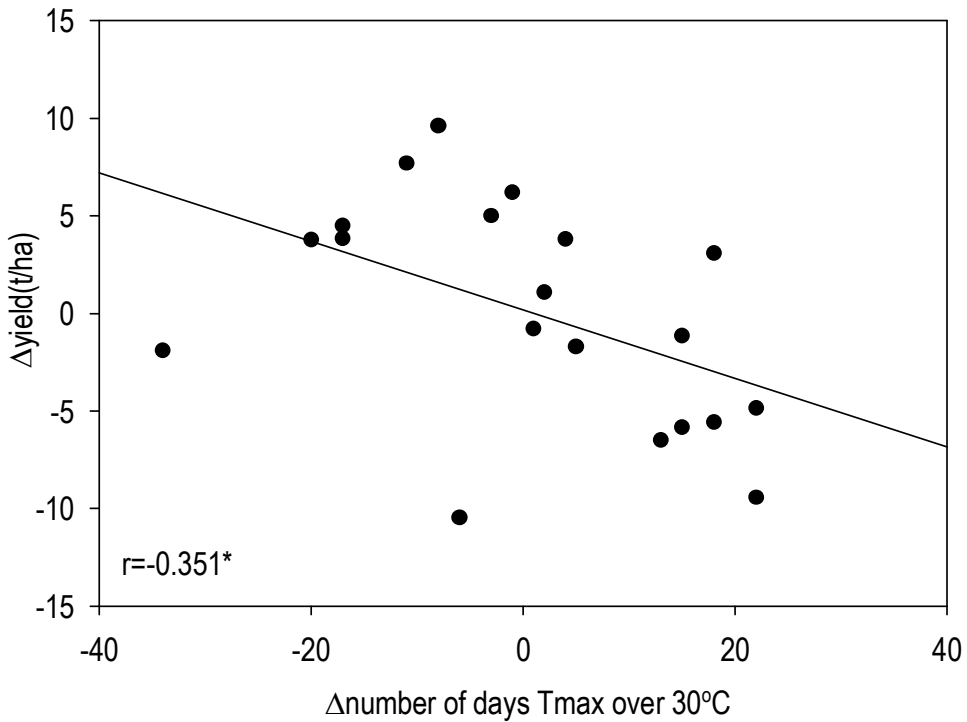


Figure 4.10. Relationship between citrus yield and mean temperature( $\Delta T_{\text{mean}}$ ), maximum temperature( $\Delta T_{\text{max}}$ ) of fruit enlargement period in Seogwipo.

이러한 사실을 바탕으로 과실비대기의 일최고기온 30℃이상일수와 제주, 서귀포의 단위면적당 감귤 생산량의 상관관계를 분석하였다. 제주에서 일최고기온 30℃이상일수와 단위면적당 생산량의 상관관계수(r)는 -0.295이며 유의확률은 0.073이다. 서귀포시에서 일최고기온 30℃이상일수와 단위면적당 생산량의 상관관계수(r)는 -0.351이며 유의확률 0.05 미만으로 유의하다. 따라서 과실비대기에 일최고기온 30℃이상일수가 증가하면 생산량이 감소하며 서귀포에서는 통계적으로 유의하다(Figure 4.11).



\* significant at the 95% level

Figure 4.11. Correlation between yield and number of days with maximum temperature over 30℃ of fruit enlargement period in Seogwipo.

## 제5장 기후변동과 생산량 변동의 관계

### 1. 기후와 감귤 생산량 변동

각 생육시기별로 단위면적당 생산량과 기후요소의 상관관계를 분석하여 통계적으로 유의한 관계가 있는 기후요소를 찾을 수 있었다. 기후변동이 감귤 생산량에 미치는 영향을 파악하기 위해, 단위면적당 생산량과 관계가 있는 기후요소와 단위면적당 생산량으로 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석에서 단계적 선정법을 사용해 단위면적당 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 기후변수를 추출하고, 단위면적당 생산량 변동을 가장 잘 추정할 수 있는 회귀식을 구축하였다.

제주에서는 단계적 선정법을 통해 두 개의 통계적으로 유의한 회귀식이 생성되었다. 그 중 R<sup>2</sup> 값이 큰 Equation 5.1을 제시하였다. 분석에 사용된 변수는 모두 차분값이므로 변수 앞에  $\Delta$ 를 덧붙였으며, 전년도 값과의 차이를 의미한다.  $\Delta Yield$ 는 단위면적당 생산량,  $\Delta SS_{FFD}$ 는 1차 생리낙과기의 일조시간,  $\Delta SS_{FE}$ 는 과실비대기의 일조시간이며  $\Delta T_{min_{SFD}}$ 는 2차 생리낙과기의 최저기온이다.

$$\Delta Yield = 0.048\Delta SS_{FFD} - 0.027\Delta SS_{FE} + 0.331 \quad (\text{Equation 5.1})$$

Equation 5.1은 1차 생리낙과기 일조시간과 과실비대기 일조시간을 독립변수로 이용하였다. 다른 기후요소가 일정하다고 가정할 때, 1차 생리낙과기 일조시간이 전년도보다 1시간 증가하면 단위면적당 생산량은 0.048t/ha 증가하며, 과실비대기의 일조시간이 전년도보다 1시간 증가하면 단위면적당 생산량은 0.027t/ha 감소한다.

Equation 5.1에서 어떤 기후요소가 단위면적당 생산량 변동에 가장 큰 영향을 미치는지 확인하기 위해 표준화 회귀계수를 비교하였다. 1차 생리낙과기 일조시간의 표준화 회귀계수는 0.575이며 과실비대기 일조시간의 표준화 회귀계수는 -0.536이다. 이를 통해 제주에서는 1차 생리낙과기 일



조시간이 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

Table 5.1은 제주에서 기후요소를 이용해 생성된 회귀식의 통계적 특성을 정리한 것이다. 회귀식은 유의수준  $\alpha=0.01$  이하에서 통계적으로 유의하다. F값은 18.196이다.  $R^2$  값은 0.682로 Equation 5.1을 통해 전년 대비 감귤 생산량 차이의 변동을 68.2% 설명할 수 있다.

Table 5.1. Statistical values of multiple regression equation in Jeju.

	$R^2$	Adjusted $R^2$	F-value	Significant level
Eq. 5-1	0.682	0.644	18.196	0.000

서귀포에서는 단계적 선정법을 통해 두 개의 통계적으로 유의한 회귀식이 생성되었다. 그 중  $R^2$  값이 큰 Equation 5.2을 제시하였다.  $\Delta Yield$ 는 단위면적당 생산량이며,  $\Delta RN_{BB}$ 는 발아기의 강수일수,  $\Delta SS_{FFD}$ 는 1차 생리낙과기의 일조시간,  $\Delta T30_{FE}$ 는 과실비대기 일최고기온  $30^\circ\text{C}$  이상일수를 의미한다.

$$\Delta Yield = -0.634\Delta RN_{BB} + 0.061\Delta SS_{FFD} + 0.036 \quad (\text{Equation 5.2})$$

Equation 5.2는 발아기 강수일수와 1차 생리낙과기 일조시간을 독립변수로 이용하였다. 다른 기후요소가 일정하다고 가정할 때, 발아기의 강수일수가 전년도보다 1일 증가하면 단위면적당 생산량은  $0.634\text{t/ha}$  감소하며, 1차 생리낙과기 일조시간이 전년도보다 1시간 증가하면 단위면적당 생산량은  $0.061\text{t/ha}$  증가한다.

Equation 5.2에서 어떤 기후요소가 단위면적당 생산량 변동에 가장 큰 영향을 미치는지 확인하기 위해서 표준화 회귀계수를 비교하였다. 발아기 강수일수의 표준화 회귀계수는  $-0.436$ 이다. 1차 생리낙과기 일조시간의 표준화 회귀계수는  $0.553$ 이다. 이를 통해 서귀포에서도 1차 생리낙과기의 일조시간이 생산량 변동에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

Table 5.2. Statistical values of multiple regression equation in Seogwipo.

	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	F-value	Significant level
Eq. 5-5	0.601	0.554	12.802	0.000

Table 5.2는 서귀포에서 기후요소를 이용해 생성된 회귀식의 통계적 특성을 정리한 것이다. 회귀식은 유의수준  $\alpha=0.01$  이하에서 통계적으로 유의하다. F값은 12.802이다. R<sup>2</sup>값은 0.601로 Equation 5.5을 통해 전년 대비 감귤 생산량 차이의 변동을 60.1% 설명할 수 있다.

## 2. 기후변동으로 추정된 생산량과 실제 생산량의 비교

다중회귀분석을 실행한 결과, 기후요소의 변동이 생산량 변동의 60% 이상을 설명할 수 있다는 것을 확인하였다. 기후요소의 변동으로 인해 발생한 생산량 변동이 실제 생산량 변동을 얼마나 잘 모의하는지 확인하기 위해 두 생산량 값을 연도별로 비교하였다.

이전까지의 분석은 단위면적당 생산량(t/ha)을 이용하였으나 추정된 생산량과 실제 생산량 간의 차이를 비교하기 위해 연도별로 제주와 서귀포의 감귤 생산량(t)을 계산하였다. 연도별 감귤 생산량은 Equation 5.3와 같이 계산하였다.  $Production_t$ 는 t연도의 생산량,  $\Delta Yield_t$ 는 기후요소의 변동으로 인한 t연도의 단위면적당 생산량 변동,  $Yield_{t-1}$ 은 전년도 단위면적당 생산량이며  $Area_t$ 는 t연도의 감귤 재배면적이다.

$$Production_t = (\Delta Yield_t + Yield_{t-1}) \times Area_t^{7)} \quad (\text{Equation 5.3})$$

Figure 5.1은 제주에서 추정된 생산량과 실제 생산량을 연도별로 비교한 것이다. 2012년과 2017년 이외의 연도에서는 실제 생산량과의 차이가

7)  $\Delta Yield = Yield_t - Yield_{t-1}$ 으로 정의하였으므로 Equation 5.3은 “생산량=단위면적당 생산량×재배면적”과 동일한 식이다.

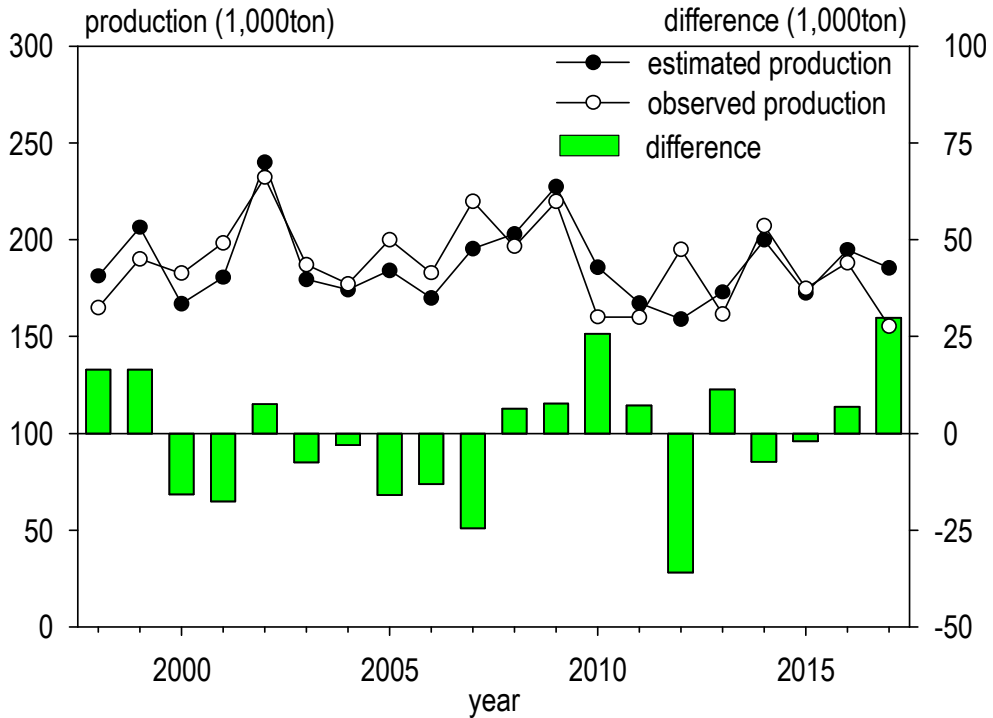


Figure 5.1. Comparison between estimated production and observed production in Jeju.

25,000톤 이내이다. 2012년에는 생산량이 약 36,000톤의 과대추정 되었으며, 2017년에는 생산량이 약 30,000톤 과소추정 되었다.

2012년에는 전년도에 비해 적은 생산량으로 인해 꽃이 많이 피었다. 2012년 제주의 화엽비는 1.17로 전년도 화엽비 0.90 및 평년(2006년~2011년) 화엽비 0.80보다 높았다. 또한 생리낙과가 전년도에 비해 적어(제주특별자치도 농업기술원, 2012) 실제 생산량이 많았던 것으로 보인다.

2017년에는 2016년 1월에 발생하였던 동해 피해가 영향을 주어 생산량이 추정값보다 적었다. 2016년에 동해피해를 입었던 나무에서는 착화량이 크게 감소하였다. 2017년 제주의 화엽비는 0.51로 전년도 화엽비 1.31 및 평년(2011년~2016년 평균) 화엽비 0.81보다 상당히 낮았다. 한편, 꽃이 핀 나무에서는 과다착화로 인해 다른 연도보다 생리낙과율이 높았다(제주특별자치도 농업기술원, 2018). 이를 통해 감귤 생산량에는 생육시기별 기후뿐 아니라 전년도 생산량 수준에 따른 해거리 및 극한기후도 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5.3. Estimated and observed production change by year in Jeju.

Jeju		Observed production		
		increased	decreased	total
Estimated production	increased	8	2	10
	decreased	1	8	9
	total	9	10	19

추정된 생산량은 전년 대비 생산량 변화 경향을 잘 반영하는 것으로 보인다(Table 5.3). 분석기간 동안 전년도에 비해 생산량이 증가할 것으로 예상된 해는 10개 연도였으며, 그 중 8개의 연도에서 실제 생산량이 증가하였다. 2008년과 2013년은 전년도에 비해 생산량이 증가할 것으로 추정되었으나 실제 생산량은 감소하였다. 전년도에 비해 생산량이 감소할 것으로 예상된 해는 9개 연도였으며, 그 중 8개 연도에서 실제 생산량이 감소하였다. 2012년은 전년도에 비해 생산량이 감소할 것으로 추정되었으나 실제 생산량은 증가하였다.

Figure 5.2는 서귀포에서 추정된 생산량과 실제 생산량을 연도별로 비교한 것이다. 추정된 생산량은 생산량 변화 경향을 반영하나 제주보다는 정확성이 떨어지는 것으로 보인다. 특히 2001년, 2007년, 2011년에는 생산량이 5만 톤 이상 과소추정 되었으며, 2003년에는 약 10만 톤이 과대추정 되었다.

2001년은 전년도의 과일 수가 적었으며 수확이 빨라 나무에 저장된 양분이 많았다(서귀포시 농업기술센터, 2002). 화엽비는 1.19로 전년도 화엽비 0.54, 평년 화엽비 0.64에 비해 높아 꽃이 많았다. 이로 인해 착과량이 많았으며 7월의 낮은 기온으로 인해 2차 생리낙과가 적은 편이었다(제주특별자치도 감귤출하연합회, 2002). 이러한 이유로 추정된 생산량보다 실제 생산량이 많았다.

2007년 역시 전년도의 과일 수가 적고 동해 피해가 없어 꽃눈 발생이 많았다(서귀포시 농업기술센터, 2008). 화엽비는 0.98로 전년도 화엽비 0.77, 평년 화엽비 0.74에 비해 높아 꽃이 비교적 많이 피었다.

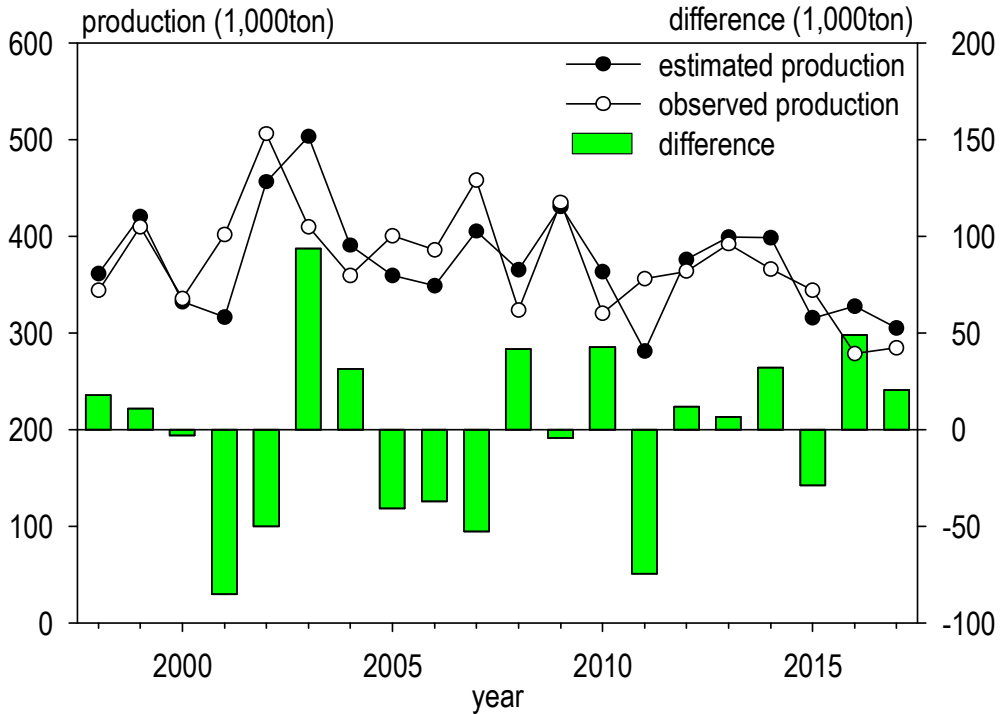


Figure 5.2. Comparison between estimated production and observed production in Seogwipo.

2011년은 전년도와 2차 생리낙과와 여름순의 발생이 많아 열매를 맺을 수 있는 가지가 많았다(제주특별자치도 농업기술원, 2012). 화엽비는 1.04로 전년도 화엽비 0.41, 평년 화엽비 0.71에 비해 높았다.

2003년은 생산량이 과대추정되었던 해이다. 발아기의 강수일수는 평년과 비슷하며, 1차 생리낙과기의 일조시간이 길어 생산량은 많을 것으로 예상되었다. 그러나 전년도 과다착과에 의한 화엽비 감소(평년 대비 64%)와 나무별 착과량 양극화에 의해(제주특별자치도 농업기술원, 2004) 생산량은 추정값보다 적었다.

추정된 생산량은 전년 대비 생산량 변화 경향을 잘 반영하는 것으로 보인다(Table 5.4). 분석기간 동안 전년도에 비해 생산량이 증가할 것으로 예상된 해는 8개 연도였으며, 그 중 6개의 연도에서 실제 생산량이 증가하였다. 2003년과 2016년은 전년도에 비해 생산량이 증가할 것으로 추정되었으나 실제 생산량은 감소하였다. 전년도에 비해 생산량이 감소할 것

으로 예상된 해는 11개 연도였으며, 그 중 7개 연도에서 생산량이 감소하였다. 2001년, 2005년, 2011년, 2017년은 전년도에 비해 생산량이 감소할 것으로 추정되었으나 실제 생산량은 증가하였다.

Table 5.4. Estimated and observed production change by year in Seogwipo.

Seogwipo		Observed production		
		increased	decreased	total
Estimated production	increased	6	2	8
	decreased	4	7	11
	total	10	9	19

제주와 서귀포에서 추정된 생산량과 실제 생산량을 비교한 결과 생산량의 변화 경향과 전년도 대비 증감은 잘 모의하였다. 추정된 생산량 값은 특정 해를 제외하고는 실제 생산량과 10% 내외의 차이를 보였다. 서귀포 보다는 제주에서 비교적 생산량을 잘 예측하였다.

추정된 생산량과 실제 생산량 간의 차이가 큰 연도를 분석한 결과 공통적으로 전년도의 생산 상황과 관련이 있었다. 생산량이 과다추정된 해에는 전년도 생산량이 많았으며 화엽비가 낮아 실제 생산량도 적었다. 생산량이 과소추정된 해에는 전년도 생산량이 적었으며 화엽비가 높아 실제생산량도 많았다. 또한 2016년 한파와 같은 이상기후가 발생하였을 때, 그 영향은 이듬해까지 이어졌다. 즉, 본 연구에서 생육시기 기후요소를 이용한 생산량 추정은 해거리와 이상기후의 영향을 반영하지 못하였다는 한계가 있다.

해거리가 생산량에 미치는 영향은 자기회귀모형을 이용하여 제거할 수 있다(Lobell *et al.*, 2007). 자기회귀모형을 사용하기 위해서는 최소 50개 이상의 자료수가 요구되어 본 연구에서는 사용하지 못하였다. 향후 장기간의 자료가 구축되면 해거리의 영향을 제거하여 더욱 정확한 분석이 가능할 것이다.

## 제6장 요약 및 결론

본 연구에서는 기후 자료와 단위면적당 감귤 생산량 자료를 이용하여 기후가 감귤 생산량에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이를 위해 감귤 생산량과 재배면적의 변화 경향을 확인하였으며, 생육시기별 기후요소와 단위면적당 노지감귤 생산량 간의 관계를 분석하고, 기후변동이 생산량 변동에 미치는 영향을 파악하여 다음의 결과를 얻었다.

제주와 서귀포에서 재배면적은 1990년대까지 증가하였으며 2003년, 2004년에 크게 감소하여 2010년대 이후 재배면적은 거의 변화가 없다. 감귤 생산량은 1990년대 초까지 급격히 증가하였다. 이후 제주에서 감귤 생산량은 증가하며, 증가율은 1990년대 이전보다는 작다. 서귀포에서는 1990년대 말까지 생산량이 감소하였으며 2000년 이후에는 증가하였다. 단위면적당 감귤 생산량은 1990년대 초까지 증가하였다. 1990년대에는 제주와 서귀포 모두 단위면적당 감귤 생산량은 감소하였다. 2000년대에 다시 단위면적당 감귤 생산량은 증가하였으며 2013년 이후 감소하고 있다.

단위면적당 생산량과 기후요소의 관계는 생육시기별로, 지역별로 상이하다. 생리적 화아분화기에 제주의 평균기온과 최고기온이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 서귀포에서는 평균기온, 최고기온, 최저기온이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 형태적 화아분화기에는 서귀포의 평균기온, 최고기온, 최저기온이 단위면적당 생산량과 양의 상관관계가 있다. 즉, 화아분화기의 기온이 높으면 단위면적당 감귤 생산량이 많아진다.

발아기에는 서귀포의 강수일수만이 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 개화기에는 제주에서 일조시간과 일사량이, 서귀포에서는 일조시간이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 개화기 일조시간과 일사량이 많으면 단위면적당 생산량이 많아진다.

1차 생리낙과기에 제주의 평균기온, 최저기온, 강수량, 일조시간, 일사량이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 강수량과 강수일수는 음의 관계가 있다. 서귀포에서 단위면적당 생산량은 강수일수와 음의 관계가, 일조시간과는 양의 관계가 있다. 1차 생리낙과기는 개화기와 유사하게 광합성에 유리

한 기후조건이 생산량과 양의 관계가 있다. 2차 생리낙과기에 제주의 평균 기온, 최고기온, 일사량이 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 서귀포에서는 단위면적당 생산량이 최고기온, 최저기온과 음의 관계가, 강수량과 양의 관계가 있다.

과실비대기에는 제주의 강수량이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 제주의 평균기온, 최고기온, 일조시간, 일사량은 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 서귀포에서는 일최고기온 30℃ 이상일수가 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 2차 생리낙과기와 과실비대기의 높은 기온은 생산량을 감소시킨다.

기후요소의 변동으로 단위면적당 생산량 변동을 설명할 수 있었다. 제주에서는 1차 생리낙과기와 과실비대기의 일조시간으로 단위면적당 생산량 변동의 68.2%를 설명할 수 있다. 서귀포에서는 발아기 강수일수와 1차 생리낙과기 일조시간으로 단위면적당 생산량 변동의 60.1%를 설명할 수 있다.

생산량이 과다추정된 해는 해거리의 영향으로 꽃이 적게 피었으며, 한파로 인한 피해도 있었다. 생산량이 과소추정된 해는 꽃이 많이 피었다는 공통점이 있다. 이는 기후요소 이외에 극한기후와 해거리도 실제 감귤 생산량에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

이상의 결과를 통해서 생육시기별로 기후가 감귤 생산량에 미치는 영향을 확인할 수 있었으며 기후요소의 변동에 의한 생산량 변동을 파악할 수 있었다. 본 연구의 결과는 매년 감귤 생산량 예측과 장기적인 기후변화에 대한 감귤 농업의 대응방안을 마련하는 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

본 연구는 기후가 감귤 생산량에 미치는 영향을 생육시기별로 분석하고 기후요소의 변동에 따른 생산량 변동을 파악하였다는 점에서 의의가 있으나 다음과 같은 한계점도 있다. 먼저, 기후요소와 단위면적당 생산량의 관계에서 지역적 차이가 발생하는 원인을 명확하게 밝혀내지 못하였다. 또한 기후요소의 변동이 생산량 변동에 미치는 영향을 분석하는 과정에서 해거리나 이상기후의 영향이 반영되지 못하였다. 따라서 향후 장기간의 감귤 생산량 자료를 구축하여 제주와 서귀포의 감귤 농업과 관련된 기후특성을 파악하고, 해거리와 같은 기후 외적인 요소를 제거하여 기후변동이 생산량 변동에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다.



## 참고문헌

- 강성기, 2015, 제주도 농업환경에 따른 밭담의 존재형태와 농가인식에 대한 연구, 제주대학교 대학원 박사학위 청구논문.
- 고상욱, 2007, 과실비대 및 과중을 이용한 제주밀감 생산량 관측, 충남대학교 대학원 박사학위 청구논문.
- 기상청, 2017, 신기후체제 대비 제주특별자치도 기후변화 전망보고서, 기상청.
- 김창명, 2002, 기상요인이 제주지방 온주밀감의 개화·결실 및 과실품질에 미치는 영향, 제주대학교 대학원 박사학위 청구논문.
- 김현웅·김소진·유도일, 2016, “기후변화가 농산물 생산량에 미치는 영향분석 -감귤, 벼, 배추를 중심으로-”, *농업과학연구*, 32(1), 48-56.
- 남제주군농업기술센터, 2003, 2002년도 농촌지도사업보고서, 남제주군농업기술센터.
- 문경환·손인창·송은영·오순자·박교선·현해남, 2015, “제주도 감귤 재배지역에 대한 환경특성의 정량화”, *한국농림기상학회지*, 17(1), 69-74.
- 문영일, 2017, “지구온난화와 제주감귤”, *감귤원예*, 2017년 1-2월 호.
- \_\_\_\_\_.강석범·이혜진·최영훈·손인창·이동훈·김성기·안문일, 2017, “RCP8.5 기후변화시나리오에 근거한 온주밀감과 ‘부지화’의 잠재적 재배지 변화 예측”, *한국농림기상학회*, 19(4), 215-222.
- \_\_\_\_\_.강석범·이혜진·한승갑·최영훈·손인창, 2016, “여름철 온도 상승이 온주밀감 ‘하례조생’ 과실 일소 발생에 미치는 영향”, *원예과학기술지*, 34(별호 1).
- 백자훈, 1994, 과실생리학, 광문당.
- 심준섭, 2004, “부트스트래핑(bootstrapping) 기법을 활용한 회귀분석”, *한국정책분석평가학회보*, 14(2), 167-183.
- 서귀포시농업기술센터, 2002, 2001년도 농촌지도 사업보고서, 서귀포시 농업기술센터.
- \_\_\_\_\_, 2008, 2007년도 농촌지도 사업보고서, 서귀포시 농업기술센터.
- 양진영, 2018, 2018 노지감귤 재배생리 및 병해충 관리요령, 제주특별자치도 농업기술원 서귀포농업기술센터.

- 오명협, 2016, 2016 한라봉 교육(4회차) 강의자료-한라봉 9~10월 주요 재배 기술-, 제주특별자치도 농업기술원.
- 오성도·정순경·홍순범, 1981, “동절기 저온기상이 온주밀감(Citrus unshiu Marc.)의 화아분화에 미치는 영향”, *한국원예학회지*, 22(3), 194-198.
- 윤창완, 2012, 제주지역 농작물의 재배 변천과 농정발전 방향에 관한 연구, 제주대학교 대학원 박사학위 청구논문.
- 이기광·고광근·이중우, 2012, “농산물 생산량과 기상요소의 상관관계 분석”, *한국환경과학회지*, 21(4), 461-470.
- 이윤선·이승호, 2008, “기후변화가 벼의 생산량에 미치는 영향”, *지리학연구*, 42(3), 405-416.
- \_\_\_\_\_.이현영, 1995, “제주도 감귤 과수원의 야간 기온 분포”, *대한지리학회지*, 30(3), 230-241.
- 임열재 외, 2016, 과수학각론, 향문사, 서울.
- 정은지·이승호, 2018, “제주와 서귀포 기온변동과 감귤나무 생육시기의 관계”, *기후연구*. 13(2), 119-130.
- 제주감귤농협, 2012, 제주감귤농협 50년사, 제주감귤농협.
- 제주특별자치도 감귤출하연합회, 2002, 2001년산 감귤유통처리 분석, 제주특별자치도 감귤출하연합회.
- \_\_\_\_\_, 2015, 2014년산 감귤유통처리 분석, 제주특별자치도 감귤출하연합회.
- \_\_\_\_\_, 2018, 2017년산 감귤유통처리 분석, 제주특별자치도 감귤출하연합회.
- 제주특별자치도 농업기술원, 2004, 2003년도 농촌지도사업보고서, 제주특별자치도 농업기술원.
- \_\_\_\_\_, 2012, 2011년도 농촌지도사업보고서, 제주특별자치도 농업기술원.
- \_\_\_\_\_, 2013, 2012년도 농촌지도사업보고서, 제주특별자치도 농업기술원.
- \_\_\_\_\_, 2016, 제주농촌진흥 60년사, 제주특별자치도 농업기술원.
- \_\_\_\_\_, 2017, 온주밀감 재배기술, 제주특별자치도 농업기술원.

- \_\_\_\_\_, 2018, 2017년도 농촌지도사업보고서, 제주특별자치도 농업기술원.
- 한국농수산식품유통공사, 2014, 밀착포커스! 제철 농수산물 감귤, 한국농수산식품유통공사.
- 허명희, 2014, SPSS statistics 비모수적 방법과 붓스트랩 방법, 데이터솔루션.
- 허인혜·이승호, 2017, “기후가 단감 생산에 미치는 영향-경상남도를 사례로-”, *기후연구*, 12(2), 133-147.
- \_\_\_\_\_:\_\_\_\_\_, 2018, “기후가 고랭지배추 생산에 미치는 영향-강원도를 사례로-”, *대한지리학회지*, 53(3), 265-282.
- 佐野孝治, 2005, “「構造調整」期における韓國濟州道の柑橘生産”, *商學論集*, 74(1),
- Alston, J. M., Carman, H. F., Christian, J. E., Dorfman, J., Murua, J. R., and Sexton, R. J., 1995, Optimal Reserve and Export Policies for the California Almond Industry: Theory, Econometrics and Simulations. Giannini Foundation of Agricultural Economics.
- Cole, P. J. and McCloud, P. I., 1985, Salinity and climate effects on the yield of citrus, *Aust. J. Exp. Agric*, 25, 711-717.
- García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V. H., Arriaga-Sevilla, J., and Muriel-Fernández, J. L., 2012, Impact of water stress on yield, *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3), 651-659.
- Guardiola, J. L., 1997, Overview of flower induction, flowering and fruit set, Citrus flowring and fruit short course, 5-21.
- Iwasaki and Owada, 1959, Studies on the control of alternate bearing in citrus. II, The effects of environmental conditions during winter on the number of flowers and the growth of shoots, *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 29(1), 37-46 (in Japanese with English abstract).
- Kitanozo, K., Kawakubo, Y., and Fujita, K., 2012, Effects of global warming on cultivation of Satsuma mandarin in Kumamoto prefecture, *Research Bulletin of The Kumamoto Prefectural Agricultural Reserch Center*, 19, 1-7 (in Japanese with English abstract).

- Lobell, D. B. and Field, C. B., 2007, Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming, *Environmental Research Letters*, 2(1), 014002.
- \_\_\_\_\_, D. B., Cahill, K. N., and Field, C. B., 2007, Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields, *Climate Change*, 81, 187-203.
- Moss, 1969, Influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck), *Journal of Horticulture Science*, 44.
- Nageswararao, M. M., Dhekale, B. S., and Mohanty, U. C., 2016, Impact of climate variability on various Rabi crops over Northwest India, *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1-2), 503-521.
- Okada, M. and Konakahara, M., 1985, Factors affecting physiological fruit drop of satsuma mandarin, *Bulletin of Shizuoka Prefectural Citrus Experiment Station*, 21(1), 1-8 (in Japanese with English abstract).
- Rozenzweig, C., Phillips, J., Goldberg, R., Carroll, J., and Hodges, T., 1996, Potential Impacts of Climate change on Citrus and Potato Production in the US, *Agricultural Systems*, 52, 455-479.
- Sakurai, G., Iizumi, T., and Yokozawa, M., 2011, Varying temporal and spatial effects of climate on maize and soybean affect yield prediction. *Climate Research*, 49(2), 143-154.
- Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Goldberg, R. A., Jagtap, S., and Jones, J. W., 2002, Effects of climate change on US crop production: simulation results using two different GCM scenarios. Part I: wheat, potato, maize, and citrus, *Climate Research*, 20, 259-270.
- 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. *International Journal of Climatology*, 34(2), 518-528.
- You, L., Rosegrant, M. W., Wood, S., and Sun, D., 2009, Impact of growing season temperature on wheat productivity in China, *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6), 1009-1014.

Zouabi, O. and Kadria, M., 2016, The direct and indirect effect of climate change on citrus production in Tunisia: a macro and micro spatial analysis, *Climate Change*, 139(2), 307-324.

## 국문초록

# 기후가 감귤 생산량 변동에 미치는 영향

## - 제주도를 사례로 -

본 연구에서는 기후가 감귤 생산량 변동에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이를 위해 장기간의 감귤 재배면적과 생산량의 변화를 분석하고, 생육시기별로 기후요소와 생산량 간의 관계를 분석하였으며, 기후요소의 변동이 감귤 생산량 변동에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

감귤 재배면적과 생산량의 변화는 제주와 서귀포가 같은 경향이다. 감귤 재배면적은 1990년대 중반까지 증가하였으며, 이후 감소하여 2000년대 후반부터는 큰 변화가 없다. 생산량은 1980년대까지 증가하였으며 이후에는, 뚜렷한 증감 추세가 없다. 단위면적당 생산량은 급격히 증가하다가 1990년대에는 감소하였으며 2000년대 들어 다시 증가하였다.

기후요소와 감귤 생산량 간의 관계는 생육시기별로, 지역별로 상이하다. 생리적 화아분화기에 제주의 평균기온과 최고기온이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 서귀포에서는 평균기온, 최고기온, 최저기온이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 형태적 화아분화기에는 서귀포의 평균기온, 최고기온, 최저기온이 단위면적당 생산량과 양의 상관관계가 있다.

발아기에는 서귀포의 강수일수만이 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 개화기에는 제주에서 일조시간과 일사량이, 서귀포에서는 일조시간이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다.

1차 생리낙과기에 제주의 평균기온, 최저기온, 강수량, 일조시간, 일사량이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다. 강수량과 강수일수는 음의 관계가 있다. 서귀포에서 단위면적당 생산량은 강수일수와 음의 관계가, 일조시간과는 양의 관계가 있다. 2차 생리낙과기에 제주의 평균기온, 최고기온, 일사량이 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 서귀포에서는 단위면적당 생산량이 최고기온, 최저기온과 음의 관계가, 강수량과 양의 관계가 있다.

과실비대기에는 제주의 강수량이 단위면적당 생산량과 양의 관계가 있다.

제주의 평균기온, 최고기온, 일조시간, 일사량은 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다. 서귀포에서는 일최고기온 30℃이상일수가 단위면적당 생산량과 음의 관계가 있다.

다중회귀분석 결과 제주에서는 1차 생리낙과기 일조시간과 과실비대기 일조시간 변동이 생산량 변동의 68.2%를 설명할 수 있다. 서귀포에서는 발아기 강수일수와 1차 생리낙과기 일조시간 변동이 생산량 변동의 60.1%를 설명할 수 있다. 추정된 생산량과 실제 생산량의 차이가 큰 연도를 분석한 결과, 기후요소의 변동 이외에 해거리와 이상기후의 출현이 생산량 변동에 영향을 미친다.

---

주제어 : 기후변동, 감귤, 단위면적당 생산량, 생육시기