

기후변화가 농업생태에 미치는 영향 -나주지역을 사례로-*

이승호** · 허인혜*** · 이경미**** · 김선영***** · 이윤선***** · 권원태*****

Impacts of Climate Change on Phenology and Growth of Crops: In the Case of *Naju**

Seungho Lee**, Inhye Heo***, Kyoungmi Lee****, Sunyoung Kim*****,
Yoonsun Lee*****, and Won-Tae Kwon*****

요약 : 본 연구에서는 나주지역을 사례로 기후변화가 농업생태에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 나주지역의 농업 관련 통계자료와 기후 자료를 분석하였다.

벼와 보리의 출수기는 일러지는 경향으로 각각 출수 30일 이전의 평균기온과 음의 상관관계가 있다. 일러진 출수기 때문에 등숙기간의 평균기온이 상승하여 여름철 작물인 벼의 단위면적당 낱알 수는 감소한 반면에 겨울철 작물인 보리의 단위면적당 낱알 수는 증가하였다. 그러므로 기온이 오늘날과 같은 추세로 상승한다면 벼의 수량은 감소하고 보리의 수량은 증가할 것으로 예측할 수 있다. 배의 발아기 및 개화기와 만개기는 점차 일러지는 경향이며, 발아기는 2월에서 3월까지의 평균기온과, 개화기 및 만개기는 2월에서 4월까지의 평균기온과 음의 상관관계가 있다. 배의 당도와 과중은 증가하는 경향이며, 각각 8월과 9월의 평균기온과 양의 상관관계가 있다. 이와 같이 기온 상승은 배의 당도 및 과중 등 생육상태에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상되지만 발아 및 개화기가 빨라짐에 따라 저온 피해 및 늦서리 피해를 입을 수 있다. 배추와 무의 초장은 모두 감소하는 경향이며, 9월 최고기온과 음의 상관관계를 보인다. 반면 고추의 착과수는 최근 증가하는 경향이며, 8월의 최저기온과 음의 상관관계가 있다. 기온 상승은 저온성 작물인 배추와 무의 생육 저하를 초래할 수 있으나 고온성 작물인 고추의 생육에는 긍정적인 영향이 예측된다.

주요어 : 기후변화, 출수기, 등숙기간, 배의 개화기

Abstract : This study used crop data from statistics yearbooks in *Naju* and climate data from *Gwangju* weather station to investigate whether climate changes have had significant impact on crops. The sample crops are rice, barley, pear, radish, Korean cabbage and red pepper.

The results showed that the changes in temperature have shifted crop phenology and affected crop growth. The rice and barley heading date were advancing and had negative correlation with average temperature over 30days before average heading date. The number of rice grains per unit area (m²) were decreasing while the number of barley grains per unit area (m²) were increasing because average temperature during grain filling period of rice (barley) was increasing (decreasing). Therefore, decreasing (increasing) yields of rice (barley) can be predicted by global warming.

* 이 연구는 기상연구소 주요 사업인 "기후변화 협약내용 지역기후 시나리오 활용기술개발(III)"의 지원으로 수행되었음.

** 건국대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Konkuk University), leesh@konkuk.ac.kr

*** 건국대학교 지리학과 강의교수(Lecturing Professor, Department of Geography, Konkuk University), hihgrace@konkuk.ac.kr

**** 건국대학교 대학원 지리학과 박사과정(Ph. D. Candidate, Department of Geography, Konkuk University), leekm@konkuk.ac.kr

***** 건국대학교 대학원 지리학과 박사과정(Ph. D. Candidate, Department of Geography, Konkuk University), sykim@konkuk.ac.kr

***** 건국대학교 대학원 지리학과 석사과정(Graduate student, Department of Geography, Konkuk University), lysunny@konkuk.ac.kr

***** 기상청 국립기상연구소 기후연구팀장(Director, Climate Research Laboratory, NIMR, KMA), wontk@metri.re.kr

The sprouting, flowering and full flowering date of pear were advancing. The sprouting date of pear had negative correlation with average temperature from February to March and the flowering and full flowering date of pear had negative correlation with average temperature from February to April. The brix and weight of pear were increased and were most sensitive to August and September average temperature. An earlier blossom of pear trees holds the danger of damage by late frosts.

The plant length of radish and chinese cabbage were decreasing and negatively influenced by maximum temperature on September. The fruit set numbers of red pepper were increasing recently and had positive correlation with minimum temperature on August. The growth of radish and Korean cabbage will be poor, but the growth of red pepper will be good by rising temperature.

Key Words : climate change, heading date, grain filling period, pear flowering date

1. 서론

기후는 작물의 성장에 중요한 요인이므로 각 생장 단계에 미치는 영향이 크다. 작물은 생육 단계별로 생육에 적합한 기후조건이 충족되어야 하며 이를 만족하지 못할 경우 생육이 정지되거나 비정상적으로 성장할 수 있다. 따라서 기후변화는 작물의 생육시기 및 생육 특성 등 농업생태의 변화에 큰 영향을 미칠 수 있다.

지난 100년(1906~2005년) 동안 지구 평균기온은 약 0.74℃ 상승하였다(IPCC, 2007). 이러한 기온 상승은 자연 생태계와 인류의 건강과 사회·경제적 활동의 중심인 농업과 어업, 공업 등에 영향을 미칠 것이다. 최근 지구온난화로 인한 급격한 기온 상승 및 이상기상 출현과 같은 기후변화가 가속화되면서 이로 인한 사회·경제적 영향을 평가하고 그 영향을 최소화하기 위한 방안 수립이 요구되고 있다. 이에 따라 최근 기상청에서는 기후변화 영향평가 및 적응방안을 마련한 바 있다(기상청, 2006).

1980년대 말 이후 뚜렷한 지구 기온 상승으로 기후변화 영향평가를 위한 지표가 요구되면서 기후변화가 식물 생태계에 미치는 영향에 관한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다(Ahas *et al.*, 2000; Sparks *et al.*, 2000; Chmielewski and Rotzer, 2002; Jingyun *et al.*, 2002; Wolfe *et al.*, 2005; 허인혜 외, 2006). 특히 식물 계절 자료에 관한 관심이 증대되면서 식물계절 시기의 변화 경향 및 그와 기후변화 사이의 관계에 관한 연구가 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있다(Walkovszky,

1998; Menzel, 2000; Sparks *et al.*, 2000; Chmielewski and Rotzer, 2001; Defila and Clot, 2001; Ahas *et al.*, 2002; 이승호·이경미, 2003; Aasa *et al.*, 2004; Chmielewski *et al.*, 2004; Tao *et al.*, 2006; Cook *et al.*, 2007; Pudas *et al.*, 2007). 그러나 자연 식생에 관한 연구가 대부분으로 기온 상승이 경제활동을 포함한 작물의 성장에 미치는 영향에 관한 연구는 많지 않다. 작물의 생육시기 및 생육 특성의 변화는 수량 형성 과정에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며 최종적으로는 생산량에까지 영향을 미칠 수 있으므로 경제적 중요성이 매우 크다. 우리나라에서 기후변화가 농업에 미치는 영향에 관한 연구는 최근 작물의 분포, 생산량 및 생육 시기의 변화에 대한 기후변화의 영향을 중심으로 이루어지고 있다(윤성호·이정택, 2001; 심교문 외, 2002; 심교문 외, 2004; 김춘송 외, 2007).

농업 생태계에 대한 기후변화 영향은 주로 이산화탄소 농도의 상승과 기온 상승의 복합적인 효과가 작물의 생산량에 미치는 영향을 예측하는 작물 생장 모델에 의해 평가되고 있으며(Cramer *et al.*, 2001; Parry *et al.*, 2004; Tao *et al.*, 2006), 기온 상승이 작물의 발달과 생산에 미치는 실제적인 영향에 관한 연구는 부족한 실정이다. 허인혜 외(2006)는 현지답사에 기초하여 기후변화로 인하여 왕대속 대나무류가 최근 100여 년 동안 60~100km 북상하였다는 것과 품종별 마늘의 분포 한계가 과거와 달라지고 있음을 밝혔다. 관측 자료 및 현장 답사를 통한 기후변화 영향평가는 작물의 반응 과정과 메커니즘을 고찰하는데 더 정확하고 가치 있는 정보를 제공할 수 있으며 모델 개선에 유용하여 결과적

으로 미래 기후변화 영향 예측에 매우 중요하다.

우리나라는 농업활동이 활발히 이루어지고 있으므로 기후변화에 따른 작물의 생육시기 및 생육 특성의 변화에 관한 연구가 시급하다. 본 연구의 사례지역인 나주는 예로부터 벼농사의 중심지였을 뿐만 아니라 배의 생산이 활발히 이루어지고 있는 지역이다. 경지면적이 전체의 32%에 달하는 나주는 전라남도의 다른 시에 비해 농업이 발달한 지역이다. 이러한 나주는 나주평야의 중심에 자리하고 있으며 영산강 본류 및 지류의 충적지와 그 주변의 구릉지가 넓게 분포한 곳이다.

따라서 본 연구에서는 나주지역을 사례로 주요 식량작물과 과수류 그리고 채소류의 생육시기 및 생육상태의 변화 경향과 이와 관련된 기후요소를 분석하여 기후변화가 작물의 생육시기 및 생육상태 등 농업생태에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 자료는 나주지역에서 재배되고 있는 작물 중 생육시기 및 생육상태에 대하여 관련 기관에서 조사하고 있는 식량작물의 벼와 보리, 과수류의 배, 채소류의 배추, 무, 고추 생육 자료이다. 이들 작물은 1985년부터 2005년까지 생산량 및 재배면적이 지속적으로 10위 이내에 포함되는 작물이며, 모두 노지에서 재배되는 작물만 선정하였다. 비닐하우스에서 재배되는 작물은 기후의 영향을 최소화할 수 있으므로 본 연구의 대상에서 제외하였다. 표 1은 나주의 10대

작물의 1985~2005년 기간의 평균 생산량 및 재배면적을 보여준다.

농업생태에 영향을 미치는 기후에 관하여 분석하기 위하여 나주에서 가장 인접한 광주 기상관측지점의 1974~2006년간의 평균기온, 최고기온, 최저기온, 일조시간, 강수일수 등의 기상 자료를 사용하였다. 나주에는 30년 이상 관측되고 있는 기상관측지점이 없으며, 금천면 원곡리와 다도면 신동리에서 자동기상관측장비를 이용하여 각각 1993년 1월과 1993년 11월부터 기상관측이 이루어지고 있다. 또한 2007년 3월부터 11월 사이에 연구지역을 현장답사 하여 얻은 주민과의 면담 내용 등도 연구에 큰 도움이 되었다. 각 작물별로 현장 답사 시 면담이 주로 이루어진 지역은 그림 1과 같다.

벼의 생육과 관련된 자료는 전라남도농업기술원에서 매년 조사하는 출수기¹⁾와 단위면적당 낱알 수 등이며, 자료의 기간은 1990~2006년이다. 보리의 생육과 관련된 자료는 전라남도농업기술원에서 조사한 출수기와 단위면적당 낱알 수 등이며, 자료의 기간은 1985~2006년이다. 배의 생육 자료는 나주배시험장에서 관측하고 있는 발아기²⁾와 개화기³⁾, 만개기⁴⁾, 당도, 과중(果重) 등이며 자료 기간은 1979~2006년이다. 무, 배추, 고추의 생육 자료는 나주 농업기술센터에서 조사하고 있는 자료이다. 무와 배추의 생육 자료는 초장⁵⁾을 사용하였으며, 기간은 1986~2006년까지이다. 고추의 생육 관련 자료는 1995~2006년의 착과수⁶⁾ 값이다. 그밖에 1996~2006년간 고추의 역병 발생 자료도 이용하였다.

나주지역의 농업생태에 대한 기후변화의 영향을 평

표 1. 나주 10대 작물의 평균 생산량 및 재배면적(1985~2005년)

분류	작물	생산량(톤)	재배면적(ha)	분류	작물	생산량(톤)	재배면적(ha)
식량작물	벼	72,741.0	15,298.0	채소	무	58,016.7	1,048.9
	보리	9,362.5	3,307.2		배추	39,351.6	917.2
	고구마	4,200.9	153.6		수박	20,315.8	661.4
과수	배	34,659.7	1,926.2		미나리	4,151.7	61.7
	감	2,425.7	199.8		고추	2,966.9	682.8

자료 : 나주시 통계연보

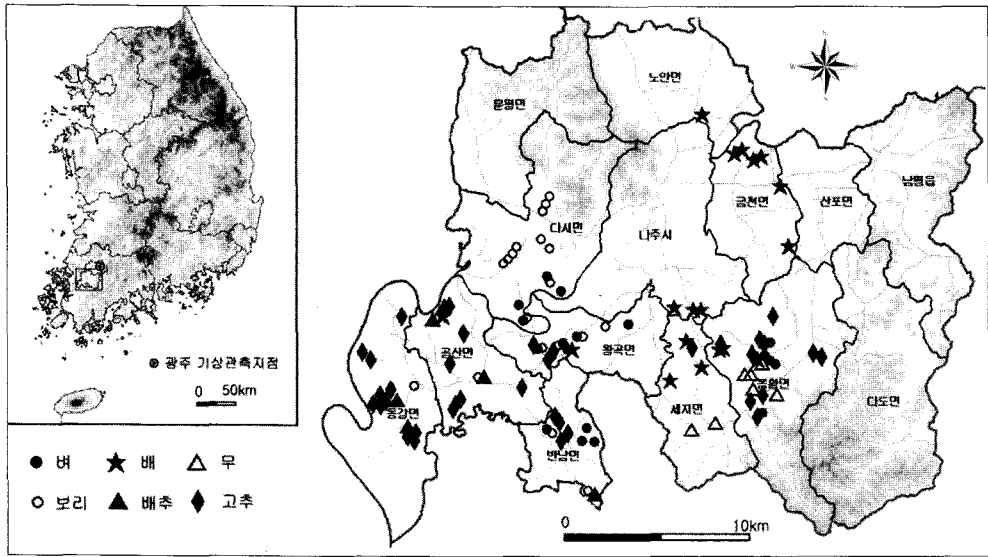


그림 1. 연구지역 및 작물별 조사지역

가하기 위해서 농업생태를 크게 작물의 생육 초기를 파악할 수 있는 출수기, 개화기 등의 생육시기 및 작물의 성장정도를 파악할 수 있는 생육상태로 구분하였다.

작물의 생육시기 및 생육상태의 특성을 파악하기 위하여 벼의 출수기, 보리의 출수기, 배의 발아기 및 개화기, 만개기 등 작물의 생육시기와 벼와 보리의 단위면적당 낱알 수, 배의 당도와 과중, 배추와 무의 초장, 고추의 착과수 등 작물의 생육상태의 평균, 표준편차, 변화율 등을 분석하였다. 변화율은 독립변수를 연도, 종속변수를 각 생육시기 및 생육상태로 하여 회귀분석을 이용하여 구하였다. 또한 각 작물의 생육시기 및 생육상태의 연 변화 경향을 분석하였다.

나주지역 작물의 생육시기 및 생육상태와 기후변화 사이의 관계를 파악하기 위해서는 각 작물의 생육과 관련된 기온 및 일조시간 등의 기후 요소와 작물의 생육 자료의 상관성을 분석하였다. 특히 기온은 식물의 생물계절 현상에 영향을 미치는 주요 기후 요소이다 (Snyder *et al.*, 2001). 또한 회귀분석을 통하여 기후 요소의 변화에 따른 생육시기 및 생육상태의 변화율도 분석하였다.

3. 나주지역 농업생태의 변화 경향

1) 생육시기

작물의 생육시기는 기후변화의 영향을 크게 반영하므로 지구온난화에 따른 농업생태계의 변화를 관측하는데 용이하다(Chmielewski *et al.*, 2004; Tao *et al.*, 2006). 벼와 보리의 출수기 및 배의 발아기, 개화기, 만개기 등의 생육시기는 모두 각 작물의 생육 초기에 해당하며 이 시기의 기후변화의 영향을 반영한다.

여름작물인 벼의 경우 출수기 평균은 8월 15일이며 표준편차는 3.1일로 뒤에 설명할 다른 작물에 비하여 표준편차가 작다(표 2). 분석기간 동안 벼의 출수기의 기울기는 -0.40 으로 10년에 4일 정도 일러지는 경향이며(그림 2의 a), 이는 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의한 값이다. 벼의 출수기가 일러지게 되면 그 후의 등숙기¹⁾가 한여름에 해당하여 과거에 비하여 기온이 높아질 수 있다. 이는 등숙기간 단축을 초래하여 벼 낱알이 충분히 여물지 못한 상태에서 벼가 익는 결과를 가져와 품질이 떨어지고 수확량도 저해될 수 있다. 선행연구(윤진일, 1990)에서도 기온이 상승하면 벼의 재배가능

표 2. 나주지역 작물별 생육시기의 평균 및 표준편차

작물	생육시기	평균	표준편차
벼	출수기	8월 15일	3.1
보리	출수기	4월 26일	5.4
배	발아기	3월 12일	9.1
	개화기	4월 10일	4.5
	만개기	4월 15일	4.3

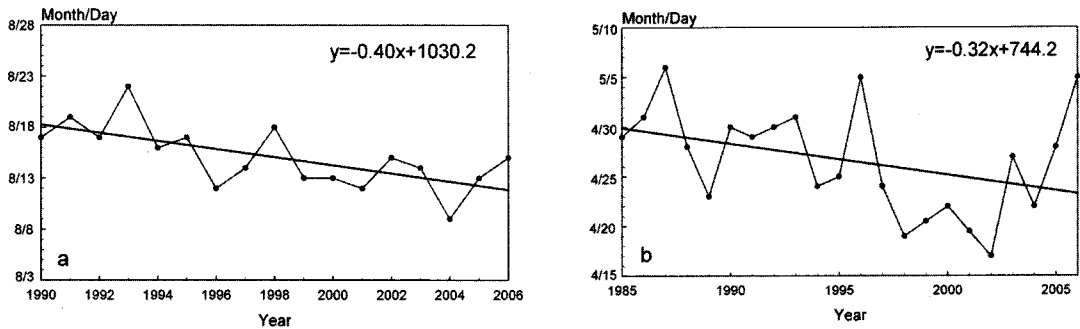


그림 2. 식량작물의 출수기 변화 경향(a: 벼, b: 보리)

지역은 확대되지만 출수기 이후부터 수확기까지인 등숙기간의 고온 현상 때문에 수확량이 20~30% 감소할 수 있다는 결과를 얻은 바 있다.

우리나라에서 재배되는 보리는 가을에 파종하여 싹이 난 후에 월동하고 이듬해 늦은 봄에 수확한다. 나주 지역의 보리 출수기는 평균 4월 26일이며, 표준편차는 5.4일로 벼보다 크다. 이는 여름철보다 봄철 기온 변화가 더 큰 것과 관련 있을 수 있다. 분석기간 중 나주지역의 보리 출수기의 기울기는 -0.32 로 10년마다 3.2일씩 일러지는 경향이다(그림 2의 b). 겨울작물인 보리의 경우 여름작물인 벼와는 달리 출수기가 일러지게 되면 등숙기의 평균기온이 낮아질 수 있다. 그 결과 벼와는 달리 등숙기간이 길어지게 되어 보리가 충분히 익게 되므로 품질과 수확량이 증대될 수 있다. 선행연구에서도 비슷한 결과를 얻었다. 즉, 심곡문 외(2002)는 보리의 수량에 영향을 미치는 기후 환경 변화를 연구한 결과 따뜻한 겨울과 이로 인한 이른 봄과 같은 날씨가 계속되면 휴면 이후 생육이 다시 시작되는 시기가 앞당겨지고, 이에 따라 출수기도 앞당겨진다고 하였다.

출수기가 일러지면 등숙기간의 평균기온이 낮아져서 등숙기간이 다소 길어지고 하고(夏枯)⁸⁾현상이 늦게 나타나 보리의 곡립(穀粒)이 충실히 여물어 수량이 증대될 것이며, 결과적으로는 성숙기도 다소 단축되어 벼, 콩 등과의 이모작 작부체계에 유리할 것이라고 하였다.

나주지역의 대표적인 과수작물인 배의 생육시기도 모두 일러지는 경향이 뚜렷하다. 배의 발아기는 평균 3월 12일이며, 표준편차는 9.1일로 배의 생육시기 중 가장 크다. 발아기는 배의 생육과정 중에서 초기에 해당하며 배의 생육시기 중 가장 이른 봄에 나타난다. 이러한 발아기의 큰 표준편차는 이른 봄의 불안정한 기온 변동을 의미하는 것으로 보인다. 분석기간 동안 배의 발아기의 기울기는 -0.87 로 10년에 8.7일씩 일러지는 경향이며(그림 3의 a), 이는 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의한 값이다. 1996년까지는 -0.1 /년의 기울기로 낮은 변화율을 보이다가 1997년 이후 -1.13 /년의 높은 변화율을 보인다. 변화 경향이 크게 변하는 시점인 1996~1997년을 기점으로 구분하였을 때 그 이전 시기인 1979~1996년의 발아기는 평균 3월 18일이며 이후

시기인 1997~2006년의 발아기는 평균 3월 1일로 두 기간의 차이가 17일에 이른다.

배의 개화기는 평균 4월 10일이며, 표준편차는 4.5일로 이른 봄의 발아기에 비해 작다. 분석기간 중 배 개화기의 기울기는 -0.30 으로 10년마다 3일씩 일러지는 경향이며(그림 3의 b), 이는 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의한 값이다. 배꽃의 만개기는 평균 4월 15일이며, 표준편차는 4.3일로 개화기의 표준편차와 유사하다. 분석기간 중 배 만개기의 기울기는 -0.13 으로 10년마다 1.3일씩 일러지는 경향이며(그림 3의 c), 이는 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 유의한 값이다.

배의 발아기 및 개화기, 만개기 등은 모두 일러지는 경향을 보이고 있다. 꽃의 발아 및 개화는 저온에 민감하여 기온이 갑자기 하강하거나 서리가 내릴 때는 그로 인한 피해를 입을 수 있다. 즉, 발아기 및 개화기에 이상저온이 나타날 경우에는 수분과 결실에 큰 손실을 입는다. 꽃눈이 나고 꽃이 피어 있는 이 시기는 내한성이 약하기 때문에 늦서리 피해의 위험이 큰 시기이기도 하다. 우리나라 배 재배에서 착과수(着果數) 저조의 가장 중요한 원인 중 하나가 늦서리 피해이므로(농촌진흥청, 2002) 이를 정확하게 예측하여 대비하는 것이 필요하다. 나주지역 대부분의 배 과수원에는 서리피해를 방지하기 위한 시설을 갖추고 있다. 자동기상관측장비가 설치되어 있는 과수원에서는 서리가 발생할 것으로 예상될 경우에 각 농가로 정보를 전달하여 스프링클러 등의 서리 방지시스템을 작동시키게 하고 있다(사진 1).

2) 생육상태

작물의 생육상태 중 단위면적당 낱알 수는 작물의 생산량과 관계가 있으며 당도 및 과중 등은 과실의 품질과 관련이 있다. 또한 초장 및 착과수 등도 작물의 활발한 성장 정도를 파악할 수 있는 요소이다.

벼의 단위면적당 평균 낱알 수는 31,262.4개이며, 표준편차는 1,806.3개이다(표 3). 분석기간 동안 벼의 단위면적당 낱알 수는 10년에 576.7개가 감소하는 경향이다(그림 4의 a). 이와 같은 단위면적당 낱알 수의 감소는 앞에서 설명한 출수기가 일러지는 것과 관련이

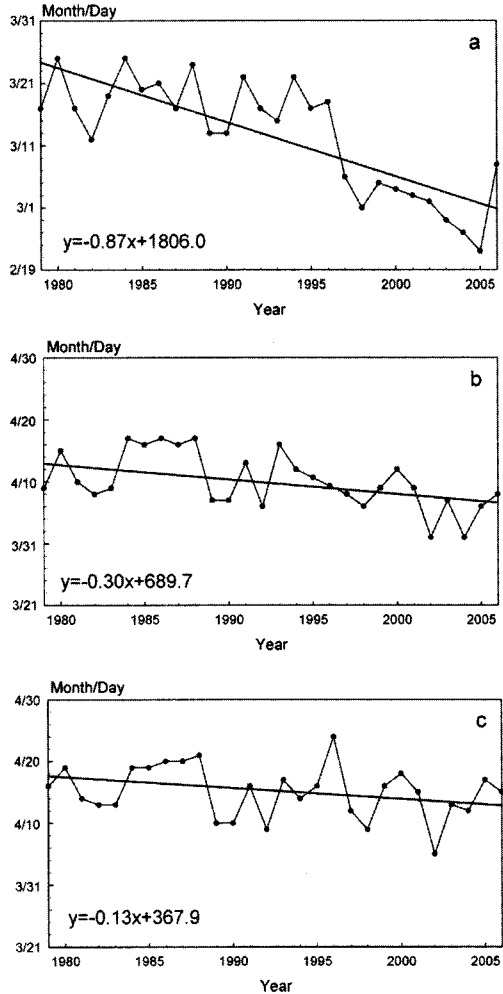


그림 3. 배의 생육시기별 변화 경향
(a: 발아기, b: 개화기, c: 만개기)

있다. 즉, 출수기가 일러지면서 등숙기간의 온도가 높아져 벼가 충분히 여물지 못한 상태에서 성장을 멈추기 때문이라 생각된다.

보리의 단위면적당 평균 낱알 수는 37,313.3개이며, 표준편차는 6,991.3개이다. 보리의 단위면적당 낱알 수는 연구 기간 중 10년에 125.7개씩 증가하는 경향이다(그림 4의 b). 출수기가 일러짐에 따라 수량의 감소가 예측되었던 벼의 경우 단위면적당 낱알 수 역시 감소하는 경향을 보이는 반면 수량의 증가가 예측되었던 보리의 경우 단위면적당 낱알 수 역시 변화가 뚜렷하

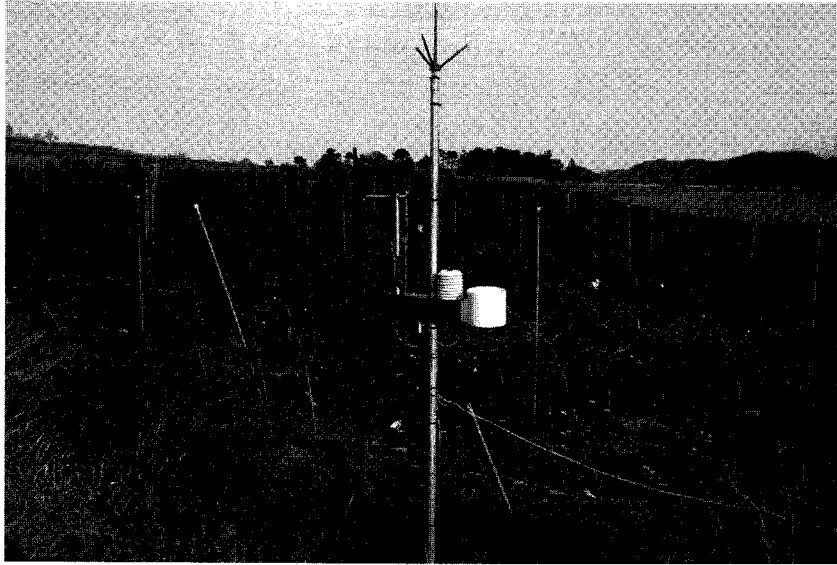


사진 1. 배 과수원의 서리 방지시스템.

자동기상관측장비 뒤로 보이는 파이프가 서리방지 시스템의 일부로서 서리가 예상될 경우 파이프에서 물이 분사되도록 하고 있다(나주시 공산면 동촌리, 2008년 1월 26일)

표 3. 나주지역 작물별 생육상태의 평균 및 표준편차

작물	생육상태	평균	표준편차
벼	단위면적당 낱알 수	31,262.4개	1,806.3개
보리	단위면적당 낱알 수	37,313.3개	6,991.3개
배	당도	12.2° Bx	0.8° Bx
	과중	581.7g	110.5g
배추	초장	24.6cm	2.1cm
무	초장	25.0cm	2.7cm
고추	착과수	56.3개	8.0개

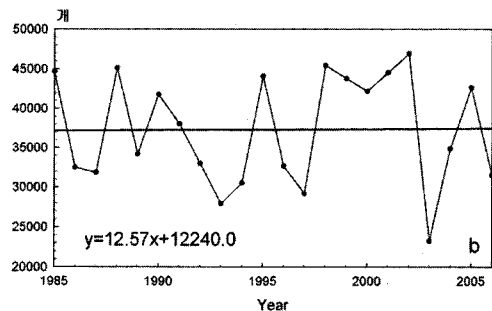
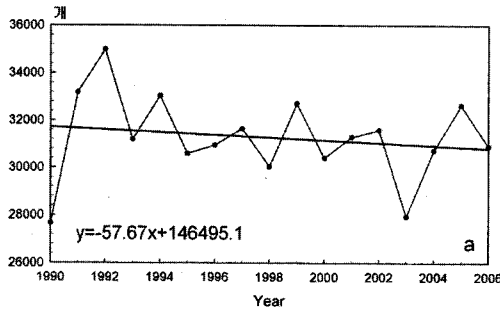


그림 4. 나주지역 식량작물의 생육상태별 변화 경향(a: 벼 단위면적당 낱알 수, b: 보리 단위면적당 낱알 수)

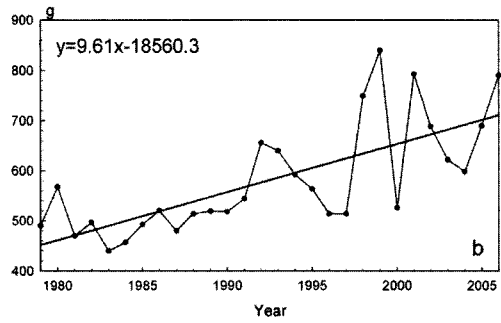
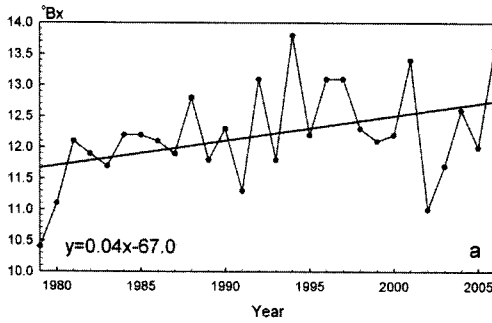


그림 5. 나주지역 배의 생육상태별 변화 경향(a: 당도, b: 과중)

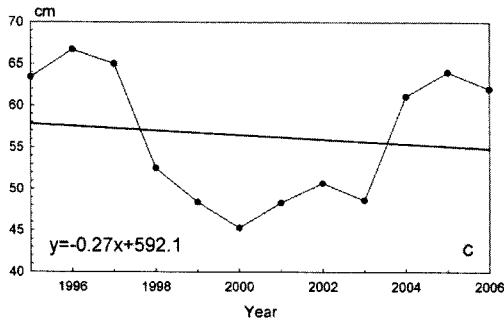
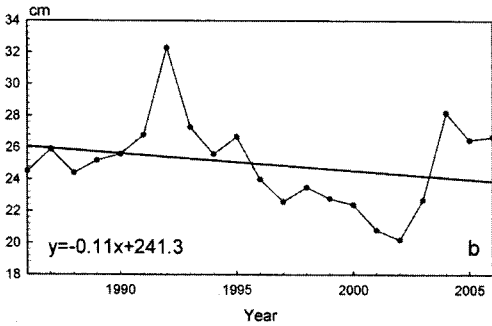
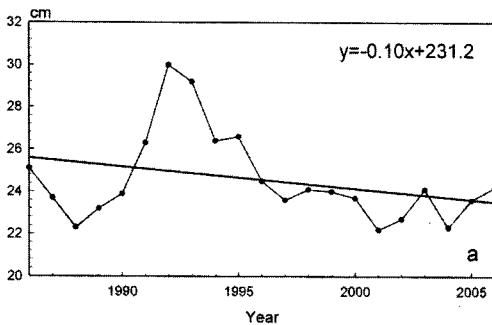


그림 6. 나주지역 채소류의 생육상태별 변화 경향 (a: 배추 초장, b: 무 초장, c: 고추 착과수)

지는 않지만 증가하는 경향을 보인다.

나주지역의 배 당도는 평균 12.2°Bx이고, 과중은 평균 581.7g이며, 표준편차는 각각 0.8°Bx와 110.5g이다. 배의 당도와 과중은 각각 유의수준 $\alpha=0.05$ 와 $\alpha=0.01$ 에서 통계적으로 유의한 증가 경향을 보인다. 분석기간 동안 배의 당도는 10년에 0.4°Bx 정도 증가하였다(그림 5의 a). 나주지역에서 재배되는 배의 경우 대부분 품종이 신고이며, 신고 배의 일반적인 당도는 11.4°Bx이다(농촌진흥청, 2002). 연구 기간 중 1979년, 1980년, 1991년, 2002년을 제외하고 대부분의 시기에 신고 배의 평균보다 나주 배의 당도가 높다. 배 과중의 기울기는 9.61로 10년에 96.1g 정도 증가하는 경향이다(그림 5의 b). 신고 배의 일반적인 과중은 450g으로(농촌진흥청, 2002) 1983년을 제외한 전 시기에 나주지역 배의 평균 과중은 이보다 높다. 나주지역 배의 과중은 전반적으로 증가하는 경향이다. 배의 당도와 과중의 변화를 통해 배의 품질이 과거에 비해 좋아졌음을 확인할 수 있다.

나주지역에서 재배되고 있는 배추와 무는 9월 초순에서 중순경에 밭에 모종을 정식(定植)한다. 배추와 무 초장(草長)의 평균은 각각 24.6cm와 25.0cm이며, 표준편차는 각각 2.1cm와 2.7cm이다. 연구기간 중 두 작물의 초장 변화는 유사한 경향이다(그림 6의 a와 b). 배추와 무의 초장은 1992년에 각각 32.3cm, 30.0cm로 가장 길었으며 그 이후 점차 감소하는 경향이다. 나주지역의 고추 착과수의 평균은 56.3개이며, 표준편차는 8.0개이다. 고추의 착과수는 1990년대 후반 감소하였지만 2000년 이후 증가하는 경향이다(그림 6의 c).

4. 나주지역 농업생태와 기후변화의 관계

1) 생육시기

작물의 수량성은 재배양식과 재배기술, 토양 환경, 기후 환경에 따라 다르며(Peng *et al.*, 1994), 특히 재배지의 기후환경은 작물의 재배시기 및 생육기간 등을 결정하는 중요한 요인이다. 출수기는 작물의 생육시기에 있어서 개화시기에 해당하며, 식물의 개화시기는 개화 직전의 기온과 가장 밀접한 관계를 가진다(Sparks *et al.*, 2000).

나주지역의 식량작물인 벼와 보리의 출수기와 기온과의 관계를 파악하기 위하여 각 작물의 평균 출수기 30일 이전 기간 동안의 평균기온과 출수기 사이의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 벼와 보리의 출수기와 기온 사이의 상관관계수는 각각 $r=-0.45$ 와 $r=-0.70$ 으로 두 변수 간에는 통계적으로 유의한 음의 관계가 있다

(그림 7). 벼와 보리의 출수기와 기온 간의 회귀식을 구하여 보면 각각 $y_1=1.0x+253.2$, $y_2=-2.8x+151.3$ 으로 나타낼 수 있다. 여기서 y_1 은 벼의 출수기, y_2 는 보리의 출수기이며 x 는 각 출수기 이전 30일 동안의 평균 기온이다. 즉, 출수기 30일 이전 동안의 평균기온이 1℃ 상승함에 따라 벼는 1일, 보리는 2.8일 일러지는 경향을 확인할 수 있다(표 4). 이와 같이 지구온난화로 인하여 앞으로 기온이 계속 상승한다면, 벼와 보리의 출수기는 일러지게 되고 이는 벼의 경우 등숙기간의 단축으로 품질과 수확량이 저하될 수 있고 보리의 경우 등숙기간의 증가로 품질과 수확량이 증대할 수 있다. 그러나 농작물 생산량 변화는 단지 기후변화에 의해서만 결정되는 것은 아니다. 실제 농업기술원에서는 기온 상승으로 앞당겨지는 출수기를 조절하기 위하여 모내기 시기를 늦추도록 권장하고 있다. 이는 기온이 상승하더라도 등숙에 알맞게 재배시기를 이동시키면 생산량이 약 18% 증가할 수 있다는 연구결과를 고려한 것

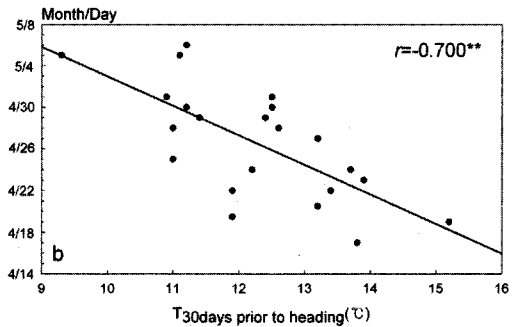
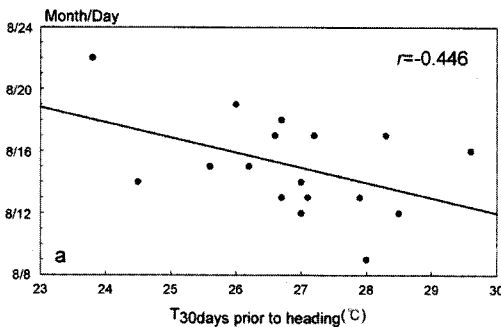


그림 7. 나주지역 주곡작물의 생육시기와 기후 변수 사이의 상관관계(a: 벼 출수기, b: 보리 출수기)

** 유의수준 $\alpha=0.01$ (양측검정)에서 유의

표 4. 기후 변수의 변화에 따른 나주지역 작물의 생육시기 변화율

작물	생육시기	기후 변수	변화율(일/℃)
벼	출수기	평균 출수기(8/15) 30일 이전 동안의 평균기온	-1.0
보리	출수기	평균 출수기(4/27) 30일 이전 동안의 평균기온	-2.8**
배	발아기	2월에서 3월까지의 평균기온	-4.1**
	개화기	2월에서 4월까지의 평균기온	-3.0**
	만개기	2월에서 4월까지의 평균기온	-3.6**

** 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의

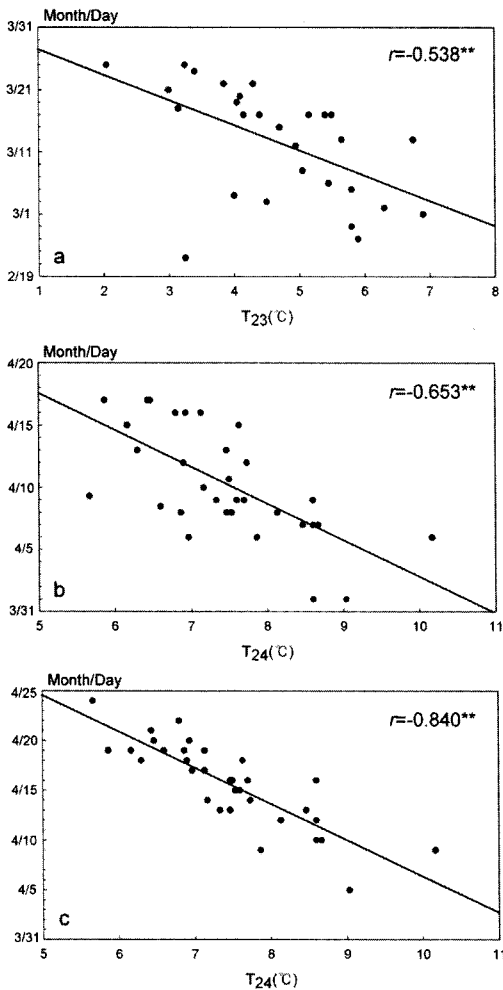


그림 8. 나주지역 배의 생육시기와 기후 변수 사이의 상관관계(a: 배 발아기, b: 배 개화기, c: 배 만개기)

** 유의수준 $\alpha=0.01$ (양측검정)에서 유의

이다(윤진일, 1990).

과수가 자연 상태에서 휴면이 완료되기 위해서는 일정기간 저온 상태가 유지되어야 하며, 휴면 완료 이후 발아 및 개화를 위해서는 상대적으로 고온이 필요하다(권은영 외, 2005). 그러므로 봄에 개화하는 과수의 개화시기는 2월에서 4월까지의 기온과 관련이 크다(Chmielewski *et al.*, 2004). 나주지역의 배 발아와 개화, 만개가 이루어지는 시기는 각각 평균 3월 12일, 4월 10일, 4월 15일이므로 이와 기온과의 관계를 파악하기 위하여 발아의 경우 휴면 완료 후 발아기 전까지

인 2월에서 3월까지의 평균기온과 상관분석을 하였으며, 개화 및 만개의 경우 2월에서 4월까지의 평균기온과 상관분석을 하였다. 나주지역의 배 발아기는 2월에서 3월까지의 평균기온과 $r=-0.538$ 의 음의 상관을 보이며, 이는 $\alpha=0.01$ 의 유의수준에서 통계적으로 유의하다(그림 8의 a). 배의 발아기는 휴면이 끝난 후부터 발아가 시작되기 전까지의 기온에 민감하며, 배의 발아기와 이 시기의 평균기온 간의 회귀식을 구하여 보면 $y=4.1x+90.5$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 y 는 배의 발아기이며 x 는 2월에서 3월까지의 평균기온이다. 즉, 이 시기의 평균기온이 1°C 상승함에 따라 배의 발아기는 4.1일 일러지는 경향을 확인할 수 있다.

나주지역 배의 개화기는 2월에서 4월까지의 평균기온과 높은 음의 상관을 갖는다. 개화기와 이 시기의 평균기온 간에는 $r=-0.653$ 의 상관관계를 보이며 이는 통계적으로 유의한 결과이다(그림 8의 b). 배의 개화기와 2월에서 4월까지의 평균기온 간의 회귀식을 구하여 보면 $y=-3.0x+122.3$ 으로 나타낼 수 있다. 여기서 y 는 배의 개화기이며 x 는 2월에서 4월까지의 평균기온이다. 즉, 휴면이 끝난 이후의 평균기온이 1°C 상승할 경우 나주지역 배의 개화기는 3일 일러지는 경향이다. 나주지역 배의 만개기 역시 2월에서 4월까지의 평균기온과 높은 음의 상관관계가 있다($r=-0.840$, 그림 8의 c). 배의 만개기와 2월에서 4월까지의 평균기온 간의 회귀식을 구하여 보면 $y=-3.6x+132.8$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 y 는 배의 만개기이며 x 는 2월에서 4월까지의 평균기온이다. 즉, 2월에서 4월까지의 평균기온이 1°C 상승할 경우 나주지역 배의 만개기는 3.6일 일러지는 경향이다.

그림 9는 나주에서 가장 인접한 기상관측지점이 있는 광주의 마지막 서리일 변화 경향을 나타낸 것이다. 늦서리는 배의 생육초기에 저온 피해를 입힐 수 있는 원인 중 하나이다. 1990년 이전에는 평균 4월 10일 경까지 마지막 서리가 출현하였으나 1990년 이후에는 평균 4월 4일 경에 마지막 서리가 출현하여 약 일주일 정도 앞당겨졌다. 그러나 마지막 서리 출현의 편차는 1990년 이전에는 6.7일이었으나 1990년 이후에는 12.2일로 2배 정도 증가하였다. 즉 1990년대 중반에는 4월 20일 이후까지 마지막 서리가 출현하기도 하였고

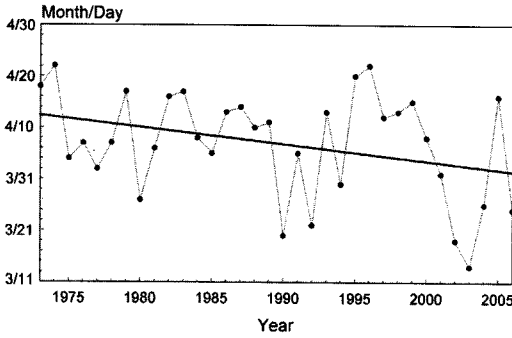


그림 9. 마지막 서리일의 변화 경향

2000년대 초반에는 3월 중순까지 늦서리가 출현하기도 하여 최근 봄철의 마지막 서리 출현일은 과거에 비하여 불안정한 변동을 나타낸다. 결국 저온에 민감한 개화시기에 냉해를 입게 될 가능성이 증가하게 되므로 늦서리 피해에 대한 대비가 매우 중요하다.

2) 생육상태

벼의 생육에는 기온과 더불어 일조시간이 크게 영향을 미치므로(Saitoh *et al.*, 1991) 벼의 단위면적당 낱알 수와 기온 및 일조시간과의 상관관계를 분석하였다. 나주지역의 벼 파종시기는 평균 4월 25일이므로(농촌진흥청, 2006) 이 시기 이후부터의 기후 요소와 단위면적당 낱알 수 간의 상관관계를 분석 하였다. 그 결과 단위면적당 낱알 수는 기온과는 상관관계가 매우 낮고, 5월과 6월의 일조시간과 높은 상관관계가 있다. 5월과 6월의 일조시간과 단위면적당 낱알 수간의 상관계수는 각각 $r=0.524$, $r=0.487$ 로써 모두 통계적으로 유의한 양의 관계가 있다(그림 10의 a). 5월의 일조시간과 벼의 단위면적당 낱알 수간의 회귀식을 구하여 보면 $y=25.4x+25,780$ 으로 나타낼 수 있다. 여기서 y 는 벼의 단위면적당 낱알 수이며 x 는 5월의 일조시간이다. 즉, 5월의 일조시간이 1시간 증가함에 따라 벼의 단위면적당 낱알 수는 25.4개 증가하는 경향임을 확인할 수 있다(표 5). 벼의 수량(收量)에 영향을 미치는 단위면적당 낱알 수는 파종 직후의 일조시간과 관련이 있다. 즉, 벼 생육 초기에 일조시간이 충분하지 않을

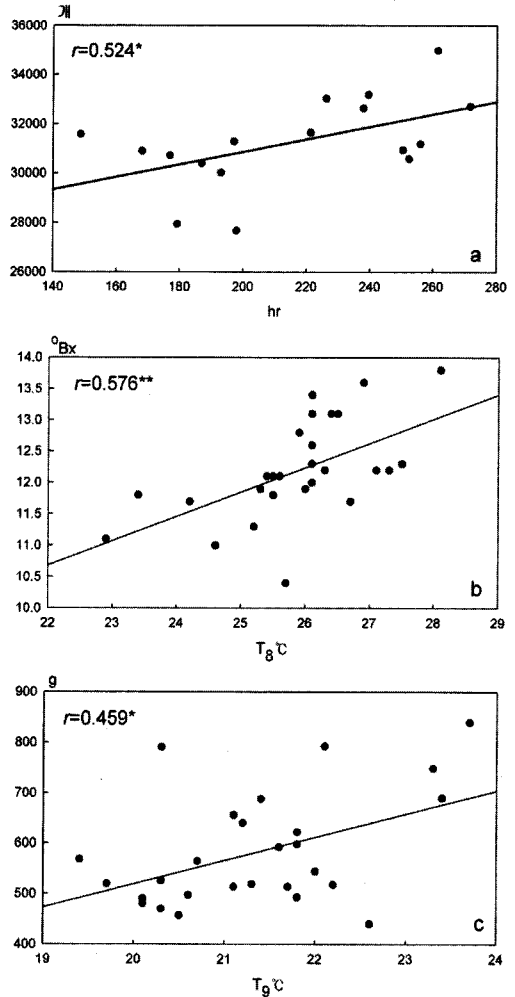


그림 10. 나주지역 작물의 생육상태와 기후 변수 사이의 상관 관계 (a: 벼 단위면적당 낱알 수와 5월 일조시간, b: 배 당도와 8월 평균기온, c: 배 과중과 9월 평균기온)

* 유의수준 $\alpha=0.05$ (양측검정)에서 유의

** 유의수준 $\alpha=0.01$ (양측검정)에서 유의

경우 벼의 생육이 불량하여 단위면적 당 낱알 수가 감소한다.

보리는 늦가을에 파종하여 월동하고 이듬해 초여름에 수확하는 작물이다. 보리는 생육기간이 길어서 품종 자체의 유전성뿐만 아니라 기상조건, 재배방법 등 여러 가지 요인들이 발육단계마다 영향을 미칠 수 있다. 즉, 보리의 수량은 앞의 조건들을 누적한 종합된 결과로 생성된 것이라고 할 수 있다(서형수 외, 1986).

표 5. 기후 변수의 변화에 따른 나주지역 작물의 생육상태 변화율

작물	생육상태	기후 변수	변화율
벼	단위면적당 낱알 수	5월 일조시간	25.4개/hr*
보리	단위면적당 낱알 수	3에서 4월까지의 평균기온	1642.7개/℃
배	당도	8월 평균기온	0.4°Bx/℃**
	과중	9월 평균기온	46.2g/℃*
배추	초장	9월 최고기온	-0.6cm/℃
무	초장	9월 최고기온	-0.8cm/℃
고추	착과수	5월 최저기온	3.7개/℃

* 유의수준 $\alpha=0.05$ (양측검정)에서 유의, ** 유의수준 $\alpha=0.01$ (양측검정)에서 유의

심교문 외(2002)의 연구에 의하면 보리의 수량을 결정하는 단위면적당 낱알 수는 월동기간 이후 출수기까지의 평균기온과 관련 있다. 보리의 단위면적당 낱알 수와 월동 이후 출수기까지 3월에서 4월까지의 평균기온과의 상관성을 분석 한 결과 상관계수는 $r=0.218$ 로써 통계적으로 유의하진 않지만 양의 관계이다. 즉, 3월에서 4월까지의 평균기온이 상승함에 따라 보리의 단위면적당 낱알 수도 증가하는 경향이다.

과수 재배에 있어서 기상환경은 과수의 생육과 품질에 중요하다. 특히 과수의 당도는 기온과 밀접한 관계가 있다(농촌진흥청, 2002). 배의 개화시기 이후 숙기(熟期)까지의 월별 평균기온과 배의 당도를 상관 분석한 결과 7월에서 8월까지 배 생육 후반기에 높은 상관관계를 나타낸다. 특히 8월의 평균기온과 배 당도 간의 상관계수는 $r=0.576$ 으로 높은 양의 관계가 있다(그림 10의 b). 따라서 배꽃의 개화 이후 열매를 맺고 난 후 열매가 성숙되는 시기에 평균기온이 높을수록 배의 당도가 높다. 배의 당도와 8월 평균기온 간의 회귀식을 구하여 보면 $y=0.4x+2.1$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 y는 배의 당도이며 x는 8월의 평균기온이다. 즉, 배의 당도는 8월 평균기온이 1℃ 상승하게 될 경우 0.4°Bx 증가하는 경향이다. 배의 과중 역시 생육기간 중 기온의 영향을 크게 받는다. 생육기간 중 기온이 낮을 경우 과실은 당도가 낮아지고 과실의 크기가 작아진다(농촌진흥청, 2002). 배의 과중과 배의 개화시기 이후 숙기까지의 월별 기온간의 상관관계를 분석한 결과 $r=0.459$ 로 9월 평균기온과 가장 높은 양의 상관을 보

였다(그림 10의 c). 배 과중과 9월 평균기온 간의 회귀식을 구하여 보면 $y=46.2x-405.6$ 으로 나타낼 수 있다. 여기서 y는 배의 과중이며 x는 9월 평균기온이다. 즉, 배 과중은 9월 평균기온이 1℃ 상승함에 따라 46.2g 증가하는 경향임을 확인할 수 있다. 따라서 배의 생육 후반기에 평균기온이 낮을 경우 배의 품질이 불량할 수 있다.

배추는 저온성 채소로써 생육초기에는 고온에 비교적 잘 견디나 결구(結球)시기부터 고온에 약하다. 그러므로 이상 고온이 나타나면 생장이 정지되어 결구되지 않으며 병충해가 많아질 수 있다(농촌진흥청, 2002). 특히 가을배추는 고온에 약한 작물이므로 최고기온과의 상관관계를 분석하였다. 또한 나주지역에서 가을배추는 8월 말 경에 과중하므로 9월 30일에 조사된 초장과 9월의 최고기온 간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 두 변수 간의 상관계수는 $r=-0.330$ 으로 음의 관계가 있다. 즉, 9월 기온이 높을수록 배추의 성장이 더디다고 할 수 있다. 그러므로 배추의 초장이 연구기간 동안 감소하는 경향은 이 시기의 기온 상승으로 인한 것이라 생각된다. 한편 영암군과 접하고 있는 반남면과 봉황면 등에서는 월동배추 재배가 시도되고 있으며, 봉황면의 일부 마을에서는 2007년 겨울에 월동배추 재배에 성공을 거두기도 하였다. 그러므로 현재 추세와 같이 기온 상승이 계속된다면 나주지역에서 월동배추 재배가 가능할 것이라 판단된다.

무도 역시 서늘한 기후에 적응한 작물로, 뿌리의 경우 내서성(耐暑性)과 내한성(耐寒性)이 강하지 못하지

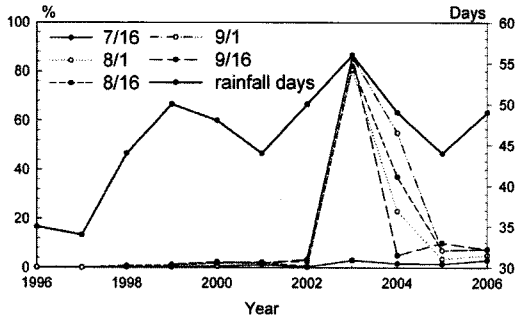


그림 11. 고추의 역병 발생 비율과 강수일수의 변화 경향

만 앞의 경우에는 0℃에서도 피해가 작아서 저온에 비교적 강하다(농촌진흥청, 2002). 고온에 약한 가을 무 역시 최고기온과의 관계를 파악하였다. 주로 8월 말 경에 파종하므로 9월 30일에 조사된 초장과 9월의 최고기온 간의 상관관계를 분석하였으며, 두 변수간의 상관관계수는 $r = -0.310$ 로 음의 관계가 있다. 배추의 경우와 같이 무 초장의 감소 경향도 기온 상승으로 인한 결과라고 생각된다. 현지 주민들과의 면담에 의하면 배추와 무는 고온이 되면 바이러스 등에 의한 병해가 많이 발생하는 작물로서 최근 고온으로 인한 병의 발생이 많아지고 있는 경향이라고 한다.

고추는 과채류 중에서도 가장 높은 온도를 요구하는 고온성 채소류에 해당하므로(농촌진흥청, 2002) 최저기온과의 관계를 파악하였다. 나주지역에서 고추는 4월 말에서 5월 초에 밭으로 고추 모종을 정식하고 9월 까지 수확한다. 고추 생육기간의 월별 최저기온과 9월에 조사된 고추 초장 간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 자료의 수($n=12$)가 작아 통계적으로 유의하지는 않지만 5월 최저기온과 고추 초장 간의 상관관계수가 $r=0.438$ 로 비교적 양의 관계가 있다. 즉, 고추는 생육 초기의 기온이 높을수록 초장이 길어진다고 할 수 있다. 또한 고추는 높은 습도에 약한 작물로서 생육시기가 장마기를 포함하고 있으므로 침수 등으로 인해 뿌리가 병이 들거나 습해(濕害)를 입는 경우가 빈번하다. 그림 11은 나주지역 고추에 발생한 역병의 조사시기별 발생 비율과 강수일수의 관계를 나타낸 것이다. 7월 16일부터 9월 16일까지 보름 간격으로 조사된 역병의 발생 비율은 2003년에 가장 높은 값을 나타내었다. 즉,

2003년의 높은 역병 발생 비율은 잦은 강우로 인한 역병의 높은 침투 및 전파로 인한 것으로 보인다. 고추 생산의 가장 큰 제한요인은 역병으로 이는 해마다 발생하며 생육기간 중의 강수량이나 강수빈도에 따라 발생률이 20~40%에 이르는 병해이다. 우리나라에서 재배되는 고추의 20% 이상이 역병의 피해를 받으며(농촌진흥청, 1999), 8월 이후 고추밭에서 별정계 말라 죽는 고추는 대부분 역병의 피해라고 할 수 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 나주지역을 사례로 기후변화가 농업 생태에 미치는 영향을 파악하기 위하여 나주지역 농업 관련 통계자료와 기후 자료를 분석하였다. 나주지역에서 재배되고 있는 작물의 생육시기 및 생육상태의 변화 경향과 이와 관련된 기후 요소를 분석하여 다음의 결과를 얻었다.

벼와 보리의 출수기는 일러지는 경향으로 출수 30일 이전의 평균기온과 양의 관계가 있다. 출수기가 일러지면서 등숙기간의 평균기온이 상승하여 벼의 단위면적당 낱알 수는 감소한 반면에 보리의 단위면적당 낱알 수는 증가하였다. 그러므로 기온이 오늘날과 같은 추세로 상승한다면 벼의 수량은 감소하고 보리의 수량은 증가할 것이다.

배의 발아기와 개화기, 만개기는 점차 일러지는 경향이며, 각각 휴면기 이후의 평균기온과 음의 관계가 있다. 배의 당도와 과중은 증가하는 경향이며, 각각 8월과 9월의 평균기온과 양의 관계가 있다. 이와 같이 기온 상승은 배의 당도 및 과중 등 생육상태에 긍정적인 영향을 미칠 수 있지만 발아 및 개화기가 일러짐에 따라 저온 피해 및 늦서리 피해를 입을 수 있다.

배추와 무의 초장은 모두 감소하는 경향이며, 9월 최고기온과 음의 관계가 있다. 반면 고추의 착과수는 최근 증가하는 경향이며, 8월의 최저기온과 양의 상관관계가 있다. 저온성 작물인 배추와 무는 기온 상승으로 생육이 저하될 수 있으나 고온성 작물인 고추의 생육에는 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 고추의 병해충을 야기하는 잦은 강수는 고추 생산량을 감소시

키는 주요 원인이 될 수 있다.

작물의 생육시기 및 생육 특성은 결과적으로 생산량과 밀접한 관계를 가지므로 농업생태에 관한 기후변화의 연구는 경제적으로 중요하다. 나주지역에서 재배되고 있는 작물의 생육시기 및 생육 특성은 기후변화와 밀접한 관계를 보이며 변화하고 있다. 전 지구적으로 1990~2100년 동안 1.4~5.8℃의 기온 상승이 예측되고 있으므로 작물은 이러한 기후변화에 민감하게 반응하여 생육시기 및 생육 특성의 변화가 뚜렷할 것이며 농업생태에 대한 기후변화 영향평가가 더욱 요구된다. 기후변화가 농업생태에 미치는 영향을 명확하게 평가하기 위해서는 이후 보다 넓은 지역을 대상으로 다양한 작물에 대하여 생육시기 및 생육 특성에 대한 기후변화의 영향을 밝히는 연구가 필요하다.

謝辭

본 연구를 위하여 작물 재배와 관련된 소중한 자료를 제공하여준 전라남도농업기술원과 나주농업기술센터, 나주배시협장 담당자께 감사드립니다. 또한 답사에 많은 도움을 주신 안준오·정천수 씨 외에 나주지역 주민들께도 감사드리며, 답사 시 자료 수집에 많은 도움을 준 조리나 양에게도 감사의 뜻을 전한다.

註

- 1) 이삭이 패는 시기
- 2) 한 나무 전체의 40~50%에서 눈의 인편이 1~2mm 정도 나올 때의 시기
- 3) 한 나무 전체의 10% 정도가 개화되었을 때의 시기
- 4) 한 나무 전체의 70~80% 정도가 개화되었을 때의 시기
- 5) 지면에서 잎 끝까지의 길이
- 6) 과수나무에 매달려 있는 열매의 수
- 7) 이삭이 여무는 시기
- 8) 작물이 바삭 마르는 현상으로 갈색으로 변하거나 눅는 현상

文獻

- 권은영·송기철·윤진일, 2005, “기온자료에 근거한 주요 포도품종의 휴면해제 및 발아시기 추정,” 한국농림기상학회지, 7(3), 185-191.
- 기상청, 2006, 기후변화영향평가 및 적응방안에 관한 연구.
- 김춘송·이재생·고지연·윤우수·여운상·이종희·곽도연·신문식·오병근, 2007, “기후 변화에 따른 영남지역의 벼 출수적기 평가,” 한국농림기상학회지, 9(1), 17-28.
- 나주시, 1985~2005, 나주시 통계연보.
- 농촌진흥청, 1999, 채소병해충, 삼미기획.
- 농촌진흥청, 2002, 농업과학기술대전.
- 농촌진흥청, 2006, 작황시험보고서.
- 서형수·이태호·정근식, 1986, “기상요인이 맥류수량에 미치는 영향,” 한국작물학회지, 31(3), 318-325.
- 심교문·윤성호·정영상·이정택·황규홍, 2002, “최근의 기상환경 변화에 따른 가을보리의 수량구성요소 및 생육단계변화,” 한국농림기상학회지, 4(1), 38-48.
- 심교문·이정택·이양수·김진엽, 2004, “최근의 기후변화를 고려한 가을보리 안전재배시대 구분,” 한국농림기상학회지, 6(4), 218-234.
- 윤성호·이정택, 2001, “기후변화에 따른 벼 적정 등숙기간의 변동과 대책,” 한국농림기상학회지, 3(1), 55-70.
- 윤진일, 1990, “대기 중 이산화탄소 배증 조건하의 기후시나리오에 의한 국내 쌀 생산 추정,” 한국기상학회지, 26(4), 263-237.
- 이승호·이경미, 2003, “기온 변화에 따른 벚꽃 개화시기의 변화 경향,” 환경영향평가, 12(1), 45-54.
- 허인혜·권원태·전영문·이승호, 2006, “우리나라에서 기온 상승이 식생분포에 미치는 영향 -대나무와 마늘을 중심으로-,” 환경영향평가, 15(1), 67-78.
- Aasa, A., Jaagus, J., Ahas, R., and Sepp, M., 2004, The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe, *International Journal of Climatology*, 24, 1551-1564.
- Ahas, R., Jaagus, J., and Aasa, A., 2000, The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature,

- International Journal of Biometeorology*, 44, 159-166.
- Ahas, R., Aasa, A., Menzel, A., Fedotova, V. G., and Scheifinger, H., 2002, Changes in European spring phenology, *International Journal of Climatology*, 22, 1727-1738.
- Chmielewski, F. M. and Rotzer, T., 2001, Response of tree phenology to climate change across Europe, *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 101-112.
- Chmielewski, F. M. and Rotzer, T., 2002, Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes, *Climate Research*, 19, 257-264.
- Chmielewski, F. M., Muller, A., and Bruns, E., 2004, Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000, *Agricultural and Forest Meteorology*, 121, 69-78.
- Cook, B. I., Cook, E. R., Huth, P. C., Thompson, J. E., Forster, A., and Smiley, D., 2007, A cross-taxa phenological dataset from Mohonk Lake, NY and its relationship to climate, *International Journal of Climatology* (in press).
- Cramer, W., Bondeau, A., Woodward, F. I., Prentice, I. C., Betts, R. A., Brovkin, V., Cox, P. M., Fisher, V., Foley, J., Friend, A. D., Kucharik, C., Lomas, M. R., Ramankutty, N., Sitch, S., Smith, B., White, A., and Young-Molling, C., 2001, Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models, *Global Change Biology*, 7, 357-373.
- Defila, C. and Clot, B., 2001, Phytophenological trends in Switzerland, *International Journal of Biometeorology*, 45, 203-207.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: *The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Jingyun, Z., Quansheng, G. and Zhixin, H., 2002, Impacts of climate warming on plants phenophases in China for the last 40 years, *Chinese Science Bulletin*, 47, 1826-1831.
- Menzel, A., 2000, Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996, *International Journal of Biometeorology*, 44, 76-81.
- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., and Fischer, G., 2004, Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*, 14, 53-67.
- Peng, S., Khush, G. S., and Cassman, K. G., 1994, *Evolution of the New Plant Type for Increased Yield Potential*, In Cassman, K. G. (ed.), *Breaking the Yield Barrier*, 5-20.
- Pudas, E., Leppala, M., Tolvanen, A., Poikolainen, J., Venalainen, A., and Kubin, E., 2007, Trends in phenology of *Betula pubescens* across the boreal zone in Finland, *International Journal of Biometeorology* (in press).
- Saitoh, K., Kasiwagi, S., Kinoshita, T., and Ishihara, K., 1991, Characteristics of dry matter production process in high yielding rice varieties, 4: Dry matter accumulation in the panicle, *Japan Journal of Crop Science*, 60(2), 255-263.
- Snyder, R. L., Spano, D., Duce, P. and Cesaraccio, C., 2001, Temperature for phenological models, *International Journal of Biometeorology*, 45, 178-183.
- Sparks, T. H., Jeffree, E. P., and Jeffree, C. E., 2000, An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK, *International Journal of Biometeorology*, 44, 82-87.
- Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y., and Zhang, Z., 2006, Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000, *Agriculture and Forest Meteorology*, 138, 82-92.

- Walkovszky, A., 1998, Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary, *International Journal of Biometeorology*, 41, 155-160.
- Wolfe, D. W., Schwartz, M. D., Lakso, A. N., Otsuki, Y., Pool, R. M., and Shaulis, N. J., 2005, Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA, *International Journal of Biometeorology*, 49, 303-309.

교신: 허인혜, 143-701, 서울시 광진구 화양동 1번지, 건국대학교 지리학과(이메일: hihgrace@konkuk.ac.kr)
Correspondence: Inhye Heo, Department of Geography, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea(e-mail: hihgrace@konkuk.ac.kr)

최초투고일 08. 02. 29.

최종접수일 08. 03. 15.