

# 기후와 주요 사료작물 생산량의 관계\*

- 대관령과 수원을 사례로 -

김명화\*\* · 김맹중\*\*\* · 이상락\*\* · 이승호\*\*\*\*

## The Relationship between Climate and Major Forage Crop Productivity in Daegwallyeong and Suwon Sites\*

Myeonghwa Kim\*\* · Meingjooung Kim\*\*\* · Sangrak Lee\*\* · Seungho Lee\*\*\*\*

**요약 :** 본 연구는 기후와 주요 목초 생산량 변화와의 관계를 파악하기 위하여 수원과 대관령을 대상으로 목초 생산량과 기후(기온, 강수량, 일조시간) 자료를 분석하였다. 수원과 대관령에서 목초 생산량은 전반적으로 증가하고 있는 경향이 있다. 대관령과 수원에서 기온상승 경향이 나타나고 있으며, 하고 현상이 나타날 수 있는 일평균 기온 25℃ 이상일수가 수원과 대관령에서 증가하고 있다. 특히 수원의 일평균기온 25℃ 이상일수는 1980년대에 비하여 2000년대에 8.5일 증가하였다. 현재와 같은 추세로 기후변화가 계속될 경우 수원에서는 하고 현상에 대한 충분한 대비가 있어야 할 것이다. 연평균 강수량도 두 지점에서 상승하고 있는 경향이지만, 강수량과 목초 생산량 사이에는 대부분 유의한 관계가 나타나지 않았다.

주요어 : 목초 생산량, 하고 현상, 일평균 기온 25℃ 이상일수

**Abstract :** This paper aims to investigate the relationship between climates and forage crop productivity. The productivity of forage crop and climate data (air temperature, precipitation, duration of sunshine) in Daegwallyeong and Suwon sites were used. The productivity of forage crop tends to increase in Daegwallyeong and Suwon sites. Also, the air temperature tends to rise and the days over 25°C of daily mean temperature that occur summer depression tends to increase. The days of 2000s were increased 8.5 days more than 1980s in Suwon. Then, to rise temperature, it needs to prepare to protect summer depression. The precipitation tends to increase in two sites, but the relationship between precipitation and the productivity of forage crop were not significant.

**Key Words :** productivity of forage crop, summer depression, the days over 25℃ of daily mean temperature

### I. 서론

목초와 사료작물은 우리나라 축산업 특히 반추 가축의 사육에서 중요한 위치에 있다. 축산업은 우리나라에서 하나의 산업으로 발전하기 시작한 1960년대부터 오늘날까지 많은 변화가 있었다. 지역의 기상조건에 따라 축사의 형태도 바뀌었고, 축산업이 대규모화

하면서 필요한 사료의 양이 급격하게 증가하여 2010년 소 사육에만 소비된 조사료 양은 약 570만 톤에 이르렀다. 우리나라 축산업의 현실을 보면 배합사료의 원료를 거의 수입에 의존하고 있다. 이런 상황에서 조사료만이라도 자급할 수 있는 방안을 찾는 것은 축산업에서 중요한 일이다. 최근 사료작물 재배면적의 확대 등으로 자급률이 상승하여, 2006년의 자급률은

\* 이 논문은 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS 2009-4003)의 지원으로 수행되었음.

\*\* 건국대학교 친환경농산물인증센터(Eco-friendly Agricultural Products Certification Center, Konkuk University)

\*\*\* 국립축산과학원(National Institute of Animal Science)

\*\*\*\* 교신저자, 건국대학교 기후연구소(Climatic Research Institute, Konkuk University, leesh@konkuk.ac.kr)

82.1%였고 2010년에는 약 85%로 증가하였다. 좁은 국토 면적에서 최대한의 조사료를 생산하기 위하여 작물재배에 영향을 미치는 여러 가지 요인이 중요시 되고 있다.

목초와 사료작물은 일반 작물의 생산과 달리 주로 잎과 줄기를 생산하는 것이 목적이다. 또한 한 해에 여러 번 예취되고 가축이 직접 풀을 뜯어먹는 방목과 같은 특수한 형태로 이용되기 때문에 작물의 생리와 생태가 일반 작물과는 다르고, 다년생 목초는 한번 파종하면 여러 해 동안 이용하므로 겨울의 월동 관리에 따라 이듬해 재생량이 달라서 생산에 미치는 영향이 크므로 일반 작물과는 다른 방법으로 관리해야 한다. 목초의 예취 전 비구조탄수화물의 축적량이 예취 후의 재생력에 중요한 영향을 미친다. 작물에서 비구조탄수화물의 합성과 축적형태는 식물체의 생육단계 등 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받지만 기상환경도 큰 영향을 미친다(김정갑과 Voigtlander, 1985). 목초 및 사료작물을 고온에서 재배하였을 때 동화물질의 대부분이 구조탄수화물의 합성에 이용되고 목초에서 수용성 탄수화물은 낮은 온도조건에서 증가되는 등(김정갑 외, 1986; Kubota *et al.*, 1978) 기후조건에 영향을 상당히 크다. 우리나라에 도입되어 재배되고 있는 목초는 주로 북방형 목초(C3형 작물)로 서늘한 기온에 잘 자라는 작물이다. 대표적인 남방형 작물(C4형 작물)인 옥수수는 곡물생산을 위하여 재배되기도 하지만 단위면적당 생산량이 가장 많고 가축의 소화성이 좋아 주요 사료작물로 재배 이용되고 있다. 특히 옥수수는 고온에서도 잘 생육하는 특징을 갖고 있어 우리나라 전역에서 재배되고 있는 작물이다.

우리나라에서 사료 작물의 생산량과 기후의 관계에 대하여 장기간에 걸쳐 분석한 연구는 전무하다. 다만 주곡 작물인 벼의 생산과 기후의 관계를 밝힌 연구가 다수 이루어졌으며(정유란 외, 2006; 이승호 외, 2008; 이운선 · 이승호, 2008; Tao *et al.*, 2008 등), 기온상승은 밀과 벼 등의 곡물 수량을 감소하게 하고 이산화탄소 농도의 증가는 그 효과를 상쇄시킬 수 있다고 하였다. 사과와 배 등 과수 작물과 기후의 관계

도 활발한 연구가 이루어졌다(김선영 외, 2010; 김수옥 외, 2009; 서형호 · 김점국, 2005; 장한익 외, 2002). 그 외에 식물의 분포 및 생태 환경과 기후의 관계를 밝힌 연구가 있다(공우석, 2004; 이경미 외, 2009; 전영문 외 2009; 전영문 외, 2010; 허인혜 외, 2006).

목초와 사료작물의 생장에 영향을 미치는 요소는 물리적 요인, 화학적 요인, 생물학적 요인 외에도 여러 가지가 있다. 즉 같은 지역에서도 사면의 향, 파종 양, 파종 시기, 재식 밀도, 토질, 잡초, 병해충 등의 요인이 생장에 영향을 미친다. 그러나 일반적으로 재배되는 작물은 재배하는 목적에 따라 품종을 선택하고 생육에 필요한 영양 성분을 화학비료 또는 퇴구비를 시비하여 조절한다. 즉 작물 재배 시 많은 생산량을 얻기 위하여 인위적으로 조절할 수 있는 조건은 조절을 하지만 기상조건(온도, 강수량, 일조량 등)과 같이 인위적으로 조절할 수 없는 조건들에 의하여 생산량이 좌우되기도 한다. 1970년대 이후 오늘날까지 연평균 기온이 상승하는 등 우리나라의 기상조건이 변화하는 경향이 뚜렷하다.

본 연구에서는 대관령과 수원을 사례로 1970년대 이후부터 2000년대까지 장기간에 걸쳐 기후와 사료작물 생산량의 관계를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 기후요소 중 작물의 생산성에 영향을 미칠 수 있는 기온과 강수량, 일조시간과 사료 작물의 생산량 간의 관계를 분석하였다. 우리나라의 기후변화에 따른 목초 및 사료작물의 생산량 변화를 알아보고 앞으로의 기후변화에 대응하기 위한 방법을 모색하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

## II. 자료 및 분석 방법

본 연구에 사용한 자료는 수원과 대관령의 연별 목초 생산량과 월별 기후자료이다. 본 연구에 필요한 데이터베이스는 1970년대부터 최근 2000년대까지 초지 및 사료작물의 생산성에 관련한 시험 연구 자료에서 수집하였다. 국립축산과학원의 협조를 얻어 1970

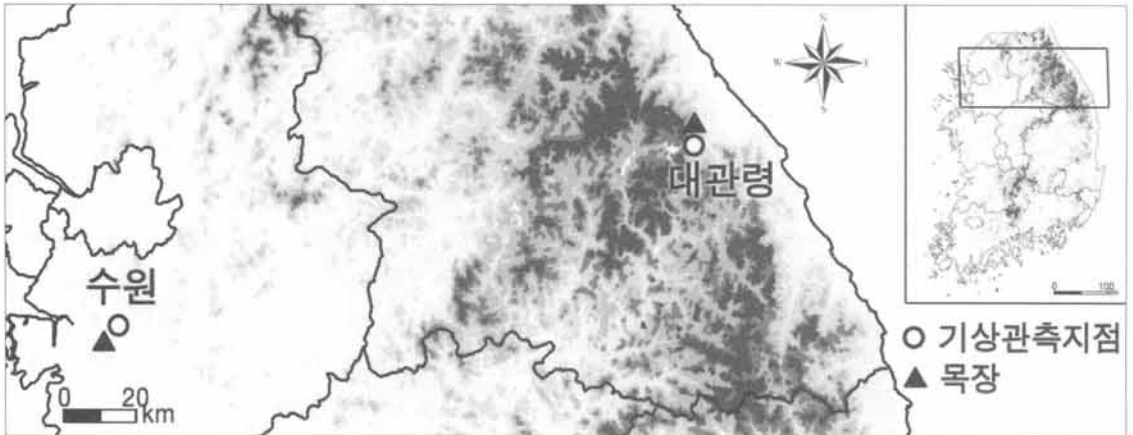


그림 1. 연구지역

년부터 2008년까지 축산시험연구보고서의 연구결과와 한독초지연구사업 결과보고서에서 수집하였고 또한 1970년 이후에 발간된 한국초지조사학회 및 동물자원과학회지에 보고된 연구 논문에서 자료를 발췌하였다. 발췌한 자료는 작물의 생육에 영향을 미치는 다양한 요인 중 인위적으로 영향을 미칠 수 있는 것은 제거하고 기온변화에 따른 요인만으로 이루어진 자료를 수집하였다.

기후자료는 기상청에서 관측하고 있는 수원과 대관령 기상관측소의 일평균 기온과 월평균 기온, 월평균 최고기온, 월평균 최저기온, 월평균 강수량, 월평균 일조시간 등이다. 수원 기상관측소는 해발고도 33.6m이며, 대관령 기상관측소는 해발 842.5m에 위치하고 있다(그림 1 참조). 기후 자료는 목초지 안에서 관측한 것은 아니지만, 목초지에서 가장 인접한 기상청 관측소의 자료로서 목초지의 기후값을 대표한다고 할 수 있다.

대관령의 대표 목초지로 선정된 국립축산과학원 한우시험장은 행정구역 상 강원도 평창군 대관령면 차항리에 위치하며 해발고도는 800m 내외이다. 수원의 목초지는 국립축산과학원 내에 자리하며, 행정구역 상으로 경기도 수원시 권선구에 속하며 해발고도는 80m 내외이다. 즉, 두 목초지는 고도 상으로 700m 이상의 차이가 있다(그림 1 참조). 그러므로 우리나라의 목초지 중 수원은 평지에 위치하는 곳의 특성을

파악하는 데 적절하다고 판단하였고, 대관령은 고도가 높은 곳의 목초지로서 적절하다고 판단하였다. 특히 두 목초지는 위도 상으로 큰 차이가 없어서 고도에 따른 기후 차이에 의한 목초 생산량의 차이를 밝히기에 적합한 장소라고 할 수 있다.

작물의 생산량에 영향을 미칠 수 있는 요인은 시비조건, 재식밀도, 숙기, 파종량, 파종시기 및 이용방법 등 여러 가지이므로 시험 연구 자료와 논문 자료 중에서 대조구의 자료, 대조구와 시험구의 자료에서도 유의한 차이가 인정되지 않는 자료는 그대로 이용하였다. 따라서 자료에서 실험 요인에 의하여 나타날 수 있는 오차를 줄이고자 하였다. 작물의 분류는 목초와 사료작물로 분류하였고 이를 다시 각각 C3 작물과 C4 작물로 분류하였다. C3 작물은 오차드그라스, 톨페스큐와 티머시를, C4 작물은 우리나라의 대표적인 사료작물인 옥수수를 대상으로 하였다. 이를 1970년부터 2008년까지 기후변화에 따른 생산량의 변화를 10년 단위로 집합하여 분석하였다.

대관령의 C3작물의 자료는 1970년대 6점, 1980년대 13점, 1990년대 8점, 2000년대에는 72점이 조사되었다. C4작물은 1970년대 1점, 1980년대 8점, 1990년대 87점, 2000년대에는 81점이 조사되었다. 수원의 C3작물의 점수는 1970년대 308점, 1980년대 250점, 1990년대 217점, 2000년대에는 40점이 조사되었다. C4작물은 1970년대 67점, 1980년대 438점, 1990년대 369점, 2000

년대에는 11점이 조사되었다. 대관령은 수원보다 자료의 수가 적었다. 이는 품종 적응성 실험 등 대부분의 실험 연구가 수원을 중심으로 이루어졌기 때문이다.

초지 생산량 자료는 결측 연도가 많아 각 10년대별로 평균하여 시기별 변화를 파악하였다. 즉, 1971~1980년의 평균을 1970년대, 1981~1990년의 평균을 1980년대, 1991~2000년의 평균을 1990년대, 2001년 이후의 평균을 2000년대라고 하였다. 초지생산량과 기후와의 관계를 파악하기 위하여 초지의 생산에 영향을 미칠 수 있는 기온, 강수량, 일조시간의 월별 값과 초지 생산량과의 상관관계를 분석하였다. 이 때 C3 작물은 다년생이므로 전년도의 기후값과 당해의 초지 생산량 간의 관계도 분석하였다. 또한 작물이 성장하는 시기의 기후가 생산량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 작물생장 시기인 5월부터 8월 사이의 평균 기후값과 초지 생산량 사이의 상관관계도 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 초지 생산량의 변화와 작물의 특성

연대별 사료작물의 목초 생산량 변화를 표 1에 나타내었다. 대관령에서 1970년대에 벼과 C3목초의 최고 생산량은 9,470kg/ha, 최저 생산량은 4,980kg/ha이었다. 1980년대에 최고 생산량은 10,170kg/ha, 최저 생산량은 6,300kg/ha이었고 1990년대에는 각각 13,433kg/ha, 6,168kg/ha이었으며 2000년대에는 각각 20,692kg/ha, 3,839kg/ha이었다. 1970년대 벼과 C4작물의 최고 생산량은 18,270kg/ha, 1980년대에 최고 생산량은 24,697kg/ha, 최저 생산량은 16,490kg/ha이었고 1990년대에는 각각 28,150kg/ha, 9,160kg/ha이었으며 2000년대에는 각각 35,209kg/ha, 10,058kg/ha이었다.

수원의 1970년대에 벼과 C3목초의 최고 생산량은 18,660kg/ha, 최저 생산량은 1,576kg/ha 이었다. 1980년

표 1. 연대별 C3 및 C4 사료 작물의 목초 생산량

연 대	항 목	대 관 령		수 원	
		C3 작물	C4 작물	C3 작물	C4 작물
1970	조사수	6	1	308	67
	최저(kg/ha)	4,980	18,270	1,576	8,043
	최고(kg/ha)	9,470	18,270	18,660	29,162
	평균(kg/ha)	7,113	18,270	8,065	15,950
	표준편차(kg/ha)	1,581	-	2,266	4,117
1980	조사수	13	8	250	438
	최저(kg/ha)	6,300	16,490	3,150	9,090
	최고(kg/ha)	10,170	24,697	24,410	29,090
	평균(kg/ha)	8,375	18,866	11,253	16,765
	표준편차(kg/ha)	1,422	2,696	4,974	4,296
1990	조사수	8	87	217	369
	최저(kg/ha)	6,168	9,160	4,515	9,160
	최고(kg/ha)	13,433	28,150	24,210	33,286
	평균(kg/ha)	7,877	17,664	12,761	17,651
	표준편차(kg/ha)	2,341	3,665	4,029	4,025
2000	조사수	72	81	40	11
	최저(kg/ha)	3,839	10,058	6,800	12,490
	최고(kg/ha)	20,692	35,209	15,885	21,640
	평균(kg/ha)	9,243	21,359	11,878	18,043
	표준편차(kg/ha)	3,700	4,660	2,267	3,478

자료: 국립축산과학원, 한국초지조사료학회, 한국동물자원과학회

대에는 각각 24,410kg/ha, 3,150kg/ha 이었고 1990년대에는 각각 24,210kg/ha, 4,515kg/ha이었으며 2000년대에는 각각 15,885kg/ha, 6,800kg/ha이었다. C4작물의 최고 생산량은 29,162kg/ha, 최저 생산량은 8,043kg/ha이었다. 1980년대에는 각각 29,090kg/ha, 9,090kg/ha 이었고 1990년대에는 각각 33,286kg/ha, 9,160kg/ha이었으며 2000년대에는 각각 21,640kg/ha, 12,490kg/ha이었다.

대관령에서 C3목초의 단위면적당 생산량은 1970년대 이후 1980년대에는 증가, 1990년대에는 감소, 2000년대에는 다시 증가하여 증감을 반복하였으나 전체적으로 수량은 증가한 경향이다. 수원에서도 1970년대 이후 1990년대까지는 증가하였으나 2000년대에는 감소하였다. 그러나 전체적으로 단위면적당 목초 생산량은 증가하는 경향이다. 대관령에서 C4작물의 단위면적당 생산량은 1970년대 이후 증감이 보이지 않았으나 2000년대에는 증가하였다. 수원의 경우, C4작물의 단위면적당 생산량이 1970년대에는 15,950kg/ha이었으나 꾸준히 증가하여 2000년대에는 18,043kg/ha으로 증가하였다.

대관령과 수원의 C3목초의 목초 생산량은 1970년대 대관령이 7,113kg/ha, 수원이 8,065kg/ha, 1980년대에는 각각 8,375kg/ha, 11,253kg/ha, 1990년대에는 각각 7,877kg/ha, 12,761kg/ha, 2000년대에는 9,243kg/ha, 11,878kg/ha으로 대관령보다 오히려 수원에서 생산량이 많았다. 대관령과 수원의 C4작물의 생산량은 1970년대 대관령이 18,270kg/ha, 수원이 15,950kg/ha, 1980년대에는 각각 18,866kg/ha, 16,765kg/ha, 1990년대에는 각각 17,664kg/ha, 17,651kg/ha, 2000년대에는 21,359kg/ha, 18,043kg/ha으로 대관령에서 수원보다 생산량이 많은 경향이다.

## 2. 초지 생산량과 기후의 관계

본 연구에서 이용한 목초의 종류는 대표적인 C3 목초인 오차드그라스와 톨페스큐, 티머시로 모두 벼과의 다년생 목초이다. 오차드그라스(*Dactylis glomerata* L.)는 우리나라 초지의 대표 초종으로 재배되고 있다.

사료 가치가 높고 가축의 기호성이 좋으며 재생력과 내한성이 강한 초종이다. 내음성도 강하여 30%의 차광이 있어도 90% 이상의 수량을 유지하지만 습지에서는 잘 자라지 못한다. 또한 28℃ 이상의 온도에서는 생육과 분얼이 줄어들고 잎의 핵산 함량이 줄어든다(Knievel and Smith, 1973). 톨페스큐(*Festuca arundinacea* schreb)는 기후환경에 대한 적응범위가 넓고 내하고성, 내한성이 강한 초종으로 월동 후 이른 봄에 생육이 빠르고 지속성이 긴 목초이다(이종경 외, 1996).

티머시(*Pheleum pratense* L.)는 유럽, 북미, 우리나라 대관령같이 겨울이 춥고 연중 습윤하고 온화한 지역에서 주로 재배되는 목초이다. 오차드그라스보다 추위에 강하고 겨울철 눈이 덮여있는 대관령 지역 등 높은 산지나 한랭한 지대에 알맞은 목초이다(김동암 외, 1991).

대표적인 C4작물인 옥수수는 벼과 한해살이작물로 단위면적당 생산량이 많고 가소화영양소총량이 높은 작물로 가축의 기호성도 좋아 우리나라와 같이 작물 재배면적이 좁은 여건에서는 다른 사료작물에 비하여 우수한 사료작물이다. 옥수수는 특히 밀, 벼와 더불어 세계 3대 작물의 하나로 세계 각지에서 식량으로 이용되고 있을 뿐만 아니라 가축의 사료로도 가장 많이 이용하고 있는 작물 중의 하나이다. 특히 사일리지용 옥수수는 적기에 예취하면 수용성 당의 함량이 풍부하며 가소화양분총량(TDN, total digestible nutrient)이 높아 양질의 사일리지를 제조할 수 있고 파종에서 수확까지 기계화 하여 노동력을 줄일 수 있으며 단위시간당 생산효율이 가장 높은 작물이다(Aldrich *et al*, 1986).

대관령의 연평균 기온은 1970년대 6.4℃, 1980년대 6.3℃, 1990년대 6.6℃, 2000년대에는 7.2℃로 점차 상승하는 경향이다. 수원은 각각 11.0℃, 11.3℃, 12.3℃, 12.4℃로 역시 상승하는 경향이다(표 2와 그림 2 참조). 단순하게 1970년대와 2000년대를 비교하여 보면, 대관령은 0.8℃ 상승하였고 수원은 1.4℃ 상승하여, 수원이 대관령보다 상승 경향이 뚜렷하다(표 2). 수원

표 2. 대관령과 수원의 연평균 기온과 강수량, 일조시간의 변동

요소	지점 시기	대 관 령				수 원			
		1970년대	1980년대	1990년대	2000년대	1970년대	1980년대	1990년대	2000년대
연평균 기온(℃)		6.4	6.3	6.6	7.2	11.0	11.3	12.3	12.4
연평균 최고기온(℃)		19.2	18.4	19.1	20.2	23.4	23.0	23.8	24.0
연평균 최저기온(℃)		-7.3	-6.4	-5.3	-5.1	-0.8	0.1	1.5	2.2
일평균 25℃ 이상일수		0.1	0.3	0.1	0.5	30.9	30.1	42.1	38.6
연평균 강수량(mm)		1441.4	1727.5	1920.0	1807.9	1216.7	1269.9	1317.0	1350.1
연평균 일조시간		2591.2	2243.7	2173.9	2061.5	2294.4	2214.3	2181.6	2092.6

자료: 기상청

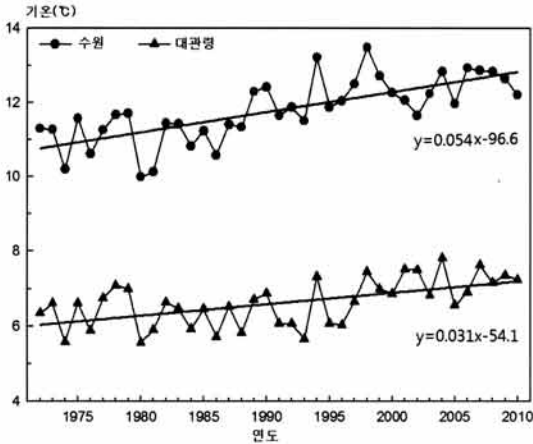


그림 2. 수원과 대관령의 연평균 기온 변동(자료: 기상청)

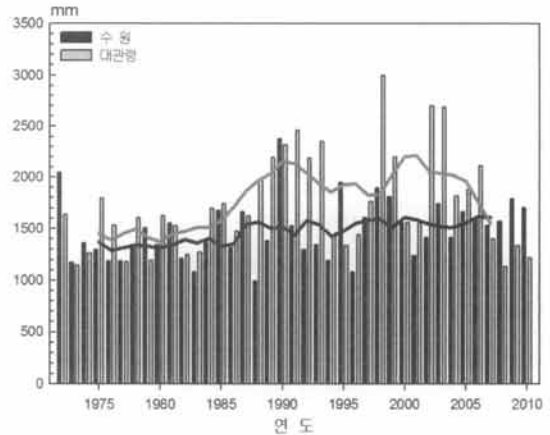


그림 3. 수원과 대관령의 연 강수량 변동(자료: 기상청)

표 3. 대관령과 수원의 월평균 기온(℃: 1971-2000)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
대관령	-7.6	-5.9	-0.8	6.6	11.8	15.6	19.1	19	13.9	8.2	1.6	-4.5
수원	-3.2	-1	4.5	11.2	16.7	21.4	24.8	25.2	20.2	13.4	6.1	-0.4

자료: 기상청

의 경우는 연평균 기온의 기울기가 0.054℃/년으로 대관령(0.031℃/년)에 비하여 크다. 이는 현재 경향대로 기온이 변화한다면 수원의 기온이 더욱 크게 상승할 것이라는 것을 의미한다.

연 강수량은 대관령에서 1970년대 1,441.4mm, 1980년대 1,727.5mm, 1990년대 1,920.0mm, 2000년대 1,807.9mm로 점차 증가하였다. 수원의 경우는 1970년대 1,216.7mm, 1980년대 1,269.9mm, 1990년대 1,317.0mm, 2000년대 1,350.1mm로 나타나 증가하는 추세라고 할 수 있다. 그러나 7년 이동평균선을 보면

대관령에서는 비교적 큰 폭으로 변동하고 있으며 수원의 경우는 비교적 안정적으로 큰 변동을 보이지 않는다(그림 3과 표 2 참조). 대관령의 강수량이 수원보다 많고, 연 강수량은 두 지역 모두 여름철에 50% 넘게 집중되었다.

평균 일조시간은 대관령이 1970년대 2,591.2시간, 1980년대 2,243.7시간, 1990년대 2,173.9시간, 2000년대 2,061.5시간으로 나타났으며 수원은 1970년대 2,294.4시간, 1980년대 2,214.3시간, 1990년대 2,181.6시간, 2000년대 2,092.6시간으로 나타나 대관령이 수원

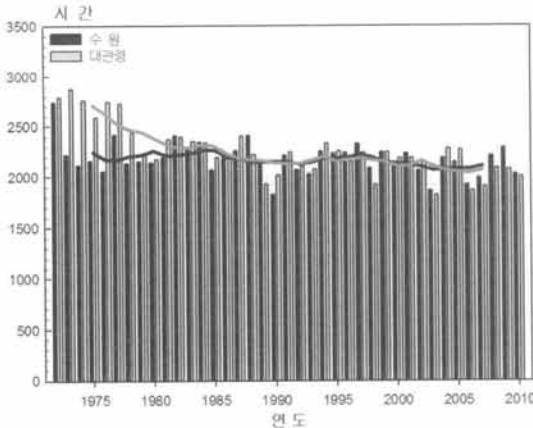


그림 4. 수원과 대관령의 일조시간 변동(자료: 기상청)

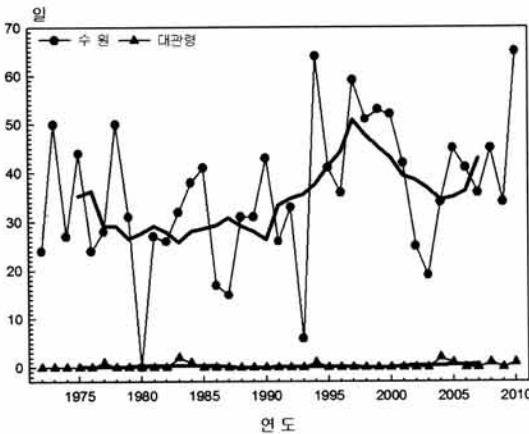


그림 5. 수원과 대관령의 일평균 기온 25°C 이상일의 변동 (자료: 기상청)

보다 평균 일조시간이 많았다. 또한 강수량의 증가와 비례하여 일조시간의 감소 경향이 나타났다(그림 4).

C3 목초는 약 5°C 정도에서 생육이 시작되고 생육이 정지되며 생육적온은 15~20°C로 25°C 이상이면 심할 경우 생육이 정지되는 등 고온장해현상을 나타낸다. 그러므로 일평균 기온 25°C 이상일수가 의미를 가질 수 있다. 그림 5는 대관령과 수원의 일평균 기온 25°C 이상일수의 변동을 나타낸 것이다. 수원의 경우는 그 값이 1980년대 이후 꾸준히 증가하고 있다. 즉, 표 2에서 볼 수 있듯이 1980년대 일평균 기온 25°C 이상일수는 30.1일이었지만, 2000년대의 그 값은 38.6일로 두 기간 동안 8.5일의 차이가 있다. 대관

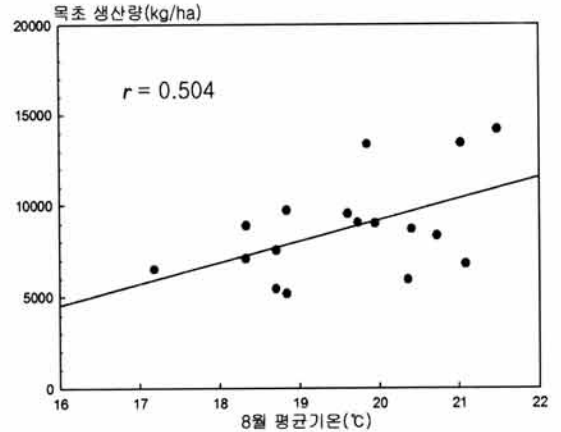


그림 6. 대관령 8월 평균기온과 목초 생산량의 관계

령의 경우도 일평균 기온 25°C 이상일수가 증가하고 있지만, 절대적으로 일수 자체가 적어서 큰 의미를 갖는다 할 수 없다. 이와 같이 대관령에 조성된 초지는 해발 700~800m의 고랭지에 위치하고 있어서 C3 목초에 치명적인 고온장해가 없는 생육에 유리한 지역이다. 즉 대관령은 표 3과 같이 여름철인 6, 7, 8월의 월평균 기온이 15.6~19.1°C로 목초의 생육에 적당하며 하고 현상이 발생하지 않는다. 수원은 같은 시기의 월평균 기온이 21.4~25.2°C이었으며 25°C 이상 올라가는 일수도 많아 하고 현상으로 수량의 감소가 초래될 수 있다. 고산지대에서는 표고가 높아짐에 따라 작물이 생육할 수 있는 기간이 제한을 받아 목초 생산량이 낮아진다(김동암 외, 1991). C3 목초가 생육하기에 적당한 기후조건을 갖는 대관령보다 오히려 수원의 생산량이 많았던 것은 대관령은 작물이 성장할 수 있는 시점이 늦게 시작되는 반면 작물이 성장을 멈추는 시점이 빨리 오기 때문이다. 즉 작물이 성장할 수 있는 기간이 수원보다 짧은 것과 지역적 특성을 고려하여 품종을 개량하고 선택한 결과 때문이라 생각된다.

기온과 초지 생산량 사이의 관계를 파악하기 위하여, 월평균 기온과 초지의 목초 생산량, 계절별 평균 기온과 초지의 생산량 사이의 상관관계를 분석하였다. 다년생인 C3 목초의 경우 대관령에서는 8월 평균

기온과  $r=0.504$ (유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의함)의 양의 관계가 있다. 그림 6은 대관령의 경우 C3 목초의 생산량과 8월 평균기온 사이의 관계를 나타낸 것으로 8월 평균기온이 높을수록 C3 목초의 생산량이 증가한다는 것을 보여준다. 이와 같이 대관령에서 최난월인 8월에도 기온이 높을수록 목초의 생산량이 증가하는 것은 비슷한 위도대의 평지와 구별되는 점이다. 이는 대관령에서 일평균기온이 25℃를 넘는 날이 거의 없기 때문에 하고 현상이 나타나지 않아서 가능한 것이라 판단된다.

반면 수원 지역의 경우는 초지 생산량은 여름철 기온이나 월평균 기온과 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 그러나 겨울철 평균기온과 봄철 최저기온과는 각각  $r=0.443$ (유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의함)과  $r=0.441$ (유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의함)으로 양의 상관관계가 있다(그림 7). 즉, 겨울철과 봄철의 기온이 높을수록 수원 지역에서 C3 목초의 생산량이 증가한다고 할 수 있다. 특히 C3 목초의 생산량은 겨울철 기온과 봄철의 최저기온이 높을수록 유리한 조건이 된다는 것을 알 수 있다. C4 작물의 경우, 봄철 평균기온과 여름철 최저기온과 통계적으로 유의한 관계가 있다. 수원의 여름철 최저기온과 C4 작물의 생산량 사이에는  $r=0.579$ (유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의함)의 비교적 높은 상관관계가 있다(그림 8). 즉, 여름철 최저기온이 높을수록 C4 작물의 목초 생산량이 증가한다는 것을 알 수 있다.

대관령에서는 기온 이외의 요소와 C3와 C4 작물의 생산량 사이에는 통계적으로 유의한 결과가 나타나지 않았다. 즉, 대관령에서는 기온을 제외하고는 목초와 사료작물의 생산에 거의 영향을 미치는 기후요소가 없다는 것을 의미한다. 이는 대관령이 강수량이 풍부하고, 연중 습도가 높아 강수량 변동은 생산에 큰 의미를 갖지 못한다는 것이다. 뿐만 아니라 일조시간도 초지 생산량과 유의한 관계가 나타나지 않았다.

수원의 경우는 C4 작물의 생산량과 여름철 강수량 사이에 상관관계수  $r=0.449$ (유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의함)로 양의 상관관계가 있다(그림 9). 즉, 여름철 강수량이 많을수록 목초 생산량이 증가한다는 것을 의미

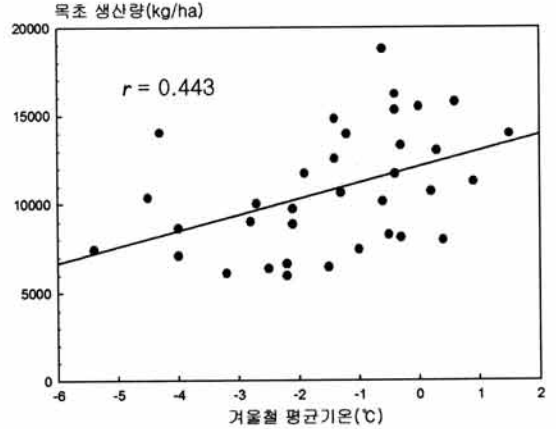


그림 7. 수원 겨울철 평균기온과 목초(C3 목초) 생산량의 상관관계

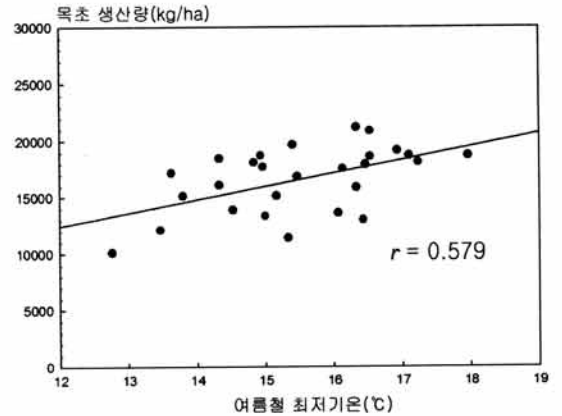


그림 8. 수원 여름철 최저기온과 사료작물(C4 작물) 생산량의 관계

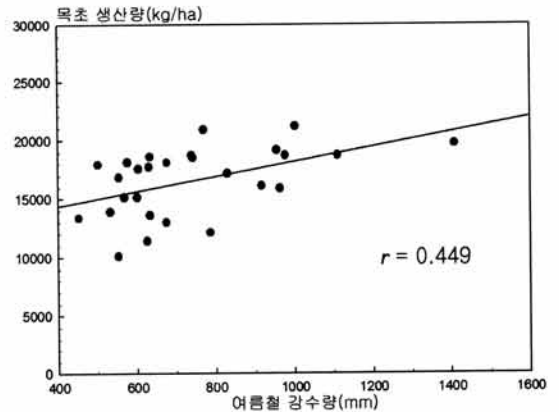


그림 9. 수원 여름철 강수량과 사료작물(C4 작물) 생산량의 관계

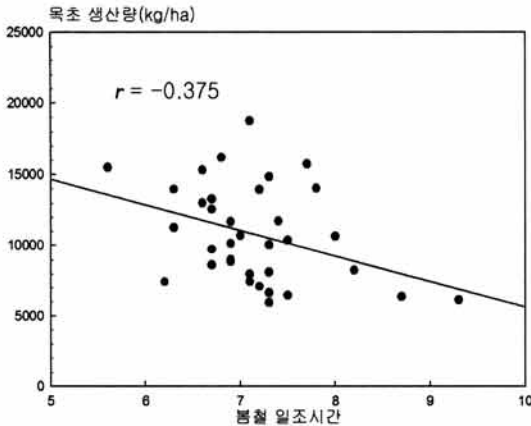


그림 10. 수원 봄철 일조시간과 목초(C3 목초) 생산량의 관계

한다. 이는 수원의 강수량이 대관령에 비하여 적어서 강수량이 감소하는 해에는 목초 생산량에 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여준다. 이는 우리나라와 같이 여름철 강수량의 변동이 심한 상황에서는 강수량 변동에 대비하여야 할 필요가 있음을 제시하고 있다. 즉, 심한 여름 가뭄이 있을 경우 목초 생산량에 치명적인 문제점이 야기될 수 있다. 또한 수원에서 C3 목초의 생산량과 일조시간 사이에 음의 상관관계가 있다. 유의 수준은 비교적 낮지만( $\alpha=0.05$ 에서 유의함), 목초의 생산량과 봄철 일조시간 사이의 상관계수는  $r=-0.371$ 이다(그림 10). 즉, 일조시간이 많은 해일수록 목초의 생산량이 감소하였음을 보여준다. 그러나 일조시간의 변동이 목초의 생산량에 미치는 영향에 대하여서는 차후에 규명되어야 할 과제이다.

작물의 영양성분의 합성 및 축적은 기상조건 중 기온의 영향을 크게 받아 고온 건조한 기상조건에서는 비구조탄수화물의 축적이 낮은 반면 구조탄수화물을 포함한 세포막 구성 물질이 증가된다(김정갑 외, 1986). 즉 고온조건에서는 합성된 동화물질이 세포벽 구성물질의 합성에 많이 소비되어 비구조탄수화물의 합성과 축적이 감소된다. 비구조탄수화물인 프락토산(fructosan), 당당류와 이당류(mono-disaccharide)의 축적은 일조시간과는 양의 상관, 강수량, 일평균 기온, 적산온도, 일사량과는 음의 상관을 보였다고 보고하였다(김정갑 외, 1986). 이는 계절적으로도 차이를

나타내어 여름의 높은 기온과 강한 일사량으로 작물의 조섬유와 세포벽구성물질의 양이 봄에 비해 증가하였고 비구조탄수화물의 양은 봄에 비해 여름에 감소하였다고 보고하고 있다. 즉 목초의 각 성분의 함량은 기상요소 중 기온, 강수량, 일조시간의 영향을 받는다(김정갑 외, 1986). 본 연구에서 수원이 대관령보다 생산량이 많은 것은 높은 기온과 일사량으로 구조탄수화물의 양이 많아졌기 때문이라고 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 기후와 주요 목초 생산량 변화와의 관계를 파악하여 앞으로 기후변화에 따른 사료작물 생산량의 변화에 대한 기초 자료를 만들고자 시도되었다. 우리나라 중부지방에 속하는 평지의 수원과 산지의 대관령을 대상으로 국립축산과학원의 연구자료 등 문헌 자료와 기후 자료를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 수원과 대관령에서 초지 생산량은 전반적으로 증가하고 있는 경향이다.

2) 대관령과 수원에서 기온상승 경향이 나타나고 있으며, 수원에서의 상승 경향이 더욱 분명하다. 하고 현상이 나타날 수 있는 일평균 기온  $25^{\circ}\text{C}$  이상일수가 수원과 대관령에서 증가하고 있는 경향이다. 특히 수원의 일평균 기온  $25^{\circ}\text{C}$  이상일수는 1980년대에 비하여 2000년대에 8.5일 증가하였다. 현재와 같은 추세로 기후변화가 계속될 경우 수원에서는 하고 현상에 대한 충분한 대비가 있어야 할 것이다. 또한 대관령에서도 현재까지는 하고 현상이 중요한 문제로 대두되지 않았지만, 지속적으로 기온이 상승한다면, 점차 이에 대비하는 노력이 있어야 할 것이다.

3) 연평균 강수량도 두 지점에서 상승하고 있는 경향이지만, 대관령에서는 비교적 변동 폭이 크고, 수원에서는 비교적 안정적으로 증가하고 있는 경향이다. 강수량과 작물의 생산량 사이에는 대부분 유의한 관계가 나타나지 않았다. 다만, 수원에서 여름철 강수량

과 C4작물의 생산량 사이에 양의 관계가 있다. 대관령에서 강수량과 목초 생산량 사이에 유의한 관계가 나타나지 않는 것은 고도가 높아 연중 상대습도가 높고 강수량이 충분하여 물 조건이 목초 생산량에 미치는 영향이 크지 않다는 것을 의미한다.

4) 일조시간은 대관령과 수원에서 모두 감소하는 경향이며, 대관령에서의 감소폭이 수원에서보다 더 크다. 그러나 일조시간과 작물 생산량 사이에도 대부분 유의한 관계가 없다. 다만, 수원의 경우 봄철의 일조시간과 C3 목초의 생산량 사이에 음의 관계가 있다.

작물의 생산량에 영향을 미치는 요인으로는 여러 가지가 있으나 우리나라 목초 및 사료작물은 각 지역의 특성에 맞는 품종이 육성되어 재배되고 있다. 따라서 대관령은 지역 특성에 맞는 내한성이 강한 품종이 재배되고 있고 수원도 그 지역 특성에 맞는 한발에 강한 품종이 재배되고 있다. 본 연구의 결과 기온, 강수량, 일조시간 등 기후 조건과 목초 생산량과는 요소별로 다양한 특징이 나타났다. 그러므로 기후변화가 지속적으로 나타날 경우에는 지속적인 품종 개량 등을 통하여 이에 대처할 수 있는 방안들이 강구되어야 할 것이다.

## 文 獻

- 공우석, 2004, "한반도에 자생하는 침엽수의 종 구성과 분포," 대한지리학회지 39(4): 528-543.
- 김동암 · 김희경 · 권찬호 · 조무환 · 이종경, 1991, "고산지대초지의 경사지별 및 표고별 차이에 따른 수량과 식생변화에 관한 연구," 한국초지학회지 11(4): 236-243.
- 김수옥 · 김진희 · 정유란 · 김승희 · 박건환 · 윤진일, 2009, "신고 배의 개화기 결정에 미치는 온도 영향의 정량화," 한국농림기상학회지 11(2): 61-71.
- 김선영 · 허인혜 · 이승호, 2010, "한국에서 기온상승이 사과 재배지역의 변화에 미치는 영향," 한국지역지리학회지 16(3): 201-215.
- 김정갑 · G. Voigtländer, 1985, "옥수수 및 sorghum에 있어서 탄수화물과 NEL축적에 관한 연구. I. Fructosan, Mono- 및 Disaccharose의 합성 및 축적형태," 한국초지학회지 5(1): 45-52.
- 김정갑 · 한홍전 · F. Mühlshlegel, 1986, "주요 북방형 목초의 건물수량, 화학성분 및 Net Energy 축적에 관한 연구. II. 비구조성 탄수화물의 합성 및 축적형태," 한국초지학회지 6(2): 111-118.
- 김정갑 · 양종성 · 한홍전, 1986, "주요 북방형 목초의 건물수량, 화학성분 및 Net Energy 축적에 관한 연구," 한국초지학회지 6(3): 157-163.
- 서형호 · 김점국, 2005, "기후변화가 과수재배에 미치는 영향," 제2회 기후변화 학술대회 발표자료집: 103-106.
- 이경미 · 권원태 · 이승호, 2009, "우리나라 식물계절 시기의 변화 경향에 관한 연구," 한국지역지리학회지 15(3): 337-350.
- 이승호 · 허인혜 · 이경미 · 김선영 · 이운선 · 권원태, 2008, "기후변화가 농업생태에 미치는 영향-나주지역을 사례로-," 대한지리학회지 43(1): 20-35.
- 이운선 · 이승호, 2008, "기후변화가 벼의 생산량에 미치는 영향," 지리학연구 42(3): 405-416.
- 이종경 · 김동암 · 이광녕 · 이성철, 1996, "초지형과 Endophyte 감염이 Tall Fescue의 수량, 사료가치 및 가축생산성에 미치는 영향," 한국초지학회지 16(4): 275-282.
- 장한익 · 서형호 · 박서준, 2002, "기후변화에 따른 과수재배 연구방향," 원예과학기술지 20(3): 270-275.
- 전영문 · 홍문표 · 권재환 · 이재석 · 정홍락 · 이승호, 2009, "설악산 분비나무림의 군집구조와 생육변동에 관한 연구," 국토지리학회지 43(2): 125-137.
- 전영문 · 권재환 · 홍문표 · 이재석 · 정홍락 · 이승호, 2010, "설악산 분비나무림의 입지환경과 천

- 이,” 국토지리학회지 44(1): 93-102.
- 정유란 · 조경숙 · 이변우, 2006, “지구온난화에 따른 우리나라 벼농사지대의 생산성 재평가,” 한국농림기상학회지 8(4): 229-241.
- 허인혜 · 권원태 · 전영문 · 이승호, 2006, “우리나라에서 기온 상승이 식생분포에 미치는 영향 - 대나무와 마늘을 중심으로-,” 환경영향평가 15(1): 67-78.
- Aldrich, S. R., Scott, W. O., and Hoeft, R. G. 1986. *Modern corn production. 3rd ed.* A. & L. Publication Inc. Station. Illinois.
- Knievel, D. P., and Smith, D. 1973. Influence of cool and warm temperatures and temperature reversal at inflorescence emergence on growth of timothy, orchardgrass, and tall fescue. *Agronomy Journal* 65: 378-383.
- Kubota, F., and Adachi, A. 1978. Influence of day length, air temperature and solar radiation and their interactions on growth of four leading temperate grass species. *Journal of Japan Grassland Science* 23: 271-279.
- Tao, Y. H., Zhang, Z., Sakamoto, T., and Yokozawa, M. 2008. Global warming, rice production, and water use in China: Developing a probabilistic assessment. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 94-110.
- [http://www.kma.go.kr/weather/observation/past\\_cal.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_cal.jsp)  
[http://www.nanet.go.kr/03\\_dlib/01\\_datasearch/datasearch.jsp](http://www.nanet.go.kr/03_dlib/01_datasearch/datasearch.jsp)
- |      |       |    |     |
|------|-------|----|-----|
| 접 수  | 2011년 | 1월 | 5일  |
| 최종수정 | 2011년 | 1월 | 25일 |
| 게재확정 | 2011년 | 2월 | 28일 |