

벼 작물 농업기후지대의 연대별 기후요소 변화 특성

Changing Trends of Climatic Variables of Agro-Climatic Zones of Rice in South Korea

정명표 · 심교문[†] · 김용석 · 김석철 · 소규호
Jung, Myung-Pyo, Shim, Kyo-Moon[†], Kim, Yongseok,
Kim, Seok-Cheol and So, Kyu-Ho
국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과
Division of Agro-Climatic Change & Ecology, National Academy of
Agricultural Science, Suwon, Korea

요 지

1986년 농촌진흥청에서는 벼 작물을 기준으로 전국의 기온, 강수량, 일조시간 등 기후요소의 분석과 평가를 통해, 전국을 19개 농업기후지대로 구분하였고(제주도 제외), 현재까지 벼의 안전재배 기준과 기상재해 대책 등에 활용되고 있다. 본 연구에서는 최근 40년 동안 벼 작물 기준 19개 농업기후지대와 제주지역을 포함한 총 20개 농업기후지대의 연대별 기후요소의 변화 양상과 특징을 비교·분석하였다. 기상청 방재기상정보포탈시스템에서 서비스하는 1971년부터 2010년까지 40년 동안의 일별 기상자료를 바탕으로 연대별(1970년대, 1980년대, 1990년대, 2000년대)로 구분하여 분석하였다. 기간별 연평균기온은 1970년대의 $12.0 \pm 0.14^\circ\text{C}$ 에서, 1980년대의 $11.9 \pm 0.13^\circ\text{C}$ 와 1990년대의 $12.2 \pm 0.14^\circ\text{C}$ 를 거쳐 2000년대의 $12.6 \pm 0.13^\circ\text{C}$ 로 높아졌고, 기간별 연평균강수량은 1970년대의 $1,270.3 \pm 20.05$ mm에서 1980년대의 $1,343.0 \pm 26.01$ 와 1990년대의 $1,350.6 \pm 27.13$ mm를 거쳐 2000년대의 $1,416.8 \pm 24.87$ mm로 증가한 것으로 분석된 반면에, 기간별 연평균 일조시간은 1970년대의 $2,421.7 \pm 18.37$ 시간에서 1980년대의 $2,352.4 \pm 15.01$ 시간과 1990년대의 $2,196.3 \pm 12.32$ 시간을 거쳐 2000년대의 $2,146.8 \pm 15.37$ 시간으로 크게 줄어든 것으로 조사되었다. 이들 기후요소를 농업기후지대별로 재분석하면, 연간 평균기온의 상승률은 중부 내륙지대($+1.2^\circ\text{C}$)와 동해안 남부지대($+1.1^\circ\text{C}$)에서 가장 높았고, 연간 누적강수량의 증가율은 태백고냉지대($+364$ mm)와 태백준고냉지대($+326$ mm)에서 가장 컸으며, 연간 누적일조시간은 중부 내륙지대(-995 시간)에서 가장 많이 줄어든 것으로 평가되었다. 통계적으로 연간 평균기온($F=2.708$, $df=3$, $p=0.046$)과 연간 누적강수량($F=5.037$, $df=3$, $p=0.002$)은 유의하게 높아지거나 증가하였고, 연간 누적일조시간($F=26.181$, $df=3$, $p<0.0001$)은 유의하게 감소하였다. 향후 벼 작물 농업기후지대 재구분을 통하여 각 농업기후지대별 기후특성에 적합한 벼 재배 안

[†] Corresponding author : E-mail: kmshim@korea.kr

전작기, 벼 생육특성 및 작부체계 등에 대한 연구가 필요하다.

키워드 : 농업기후시대, 기온, 강수량, 일조시간

ABSTRACT

In the past, Korea agro-climatic zone except Jeju-do was classified into nineteen based on rice culture by using air temperature, precipitation, and sunshine duration etc. during rice growing periods. It has been used for selecting safety zone of rice cultivation and countermeasures to meteorological disasters. In this study, the climatic variables such as air temperature, precipitation, and sunshine duration of twenty agro-climatic zones including Jeju-do were compared decennially (1970's, 1980's, 1990's, and 2000's). The meteorological data were obtained in Meteorological Information Portal Service System-Disaster Prevention, Korea Meteorological Administration. The temperature of 1970s, 1980s, 1990s, and 2000s were $12.0 \pm 0.14^\circ\text{C}$, $11.9 \pm 0.13^\circ\text{C}$, $12.2 \pm 0.14^\circ\text{C}$, and $12.6 \pm 0.13^\circ\text{C}$, respectively. The precipitation of 1970s, 1980s, 1990s, and 2000s were $1,270.3 \pm 20.05$ mm, $1,343.0 \pm 26.01$ mm, $1,350.6 \pm 27.13$ mm, and $1,416.8 \pm 24.87$ mm, respectively. And the sunshine duration of 1970s, 1980s, 1990s, and 2000s were 421.7 ± 18.37 hours, $2,352.4 \pm 15.01$ hours, $2,196.3 \pm 12.32$ hours, and $2,146.8 \pm 15.37$ hours, respectively. The temperature in Middle-Inland zone ($+1.2^\circ\text{C}$) and Eastern-Southern zone ($+1.1^\circ\text{C}$) remarkably increased. The temperature increased most in Taebak highly Cold zone ($+364$ mm) and Taebak moderately Cold Zone ($+326$ mm). The sunshine duration decreased most in Middle-Inland Zone (-995 hours). The temperature ($F=2.708$, $df=3$, $p=0.046$) and precipitation ($F=5.037$, $df=3$, $p=0.002$) increased significantly among seasons while the sunshine duration decreased significantly ($F=26.181$, $df=3$, $p<0.0001$) among seasons. In further study, it will need to reclassify agro-climatic zone of rice and it will need to conduct studies on safe cropping season, growth and developing of rice, and cultivation management system etc. based on reclassified agro-climatic zone.

Key words : Agro-Climatic Zones, Temperature, Precipitation, Sunshine Duration

1. 서론

우리나라는 국토면적에 비해 상대적으로 다양하고 복잡한 지형의 영향으로 기후의 지역적인 차이가 뚜렷하기 때문에 기후특성을 지역으로 구분하고 분석하는 연구가 꾸준히 수행되어 왔으나, 대부분의 연구가 기상학적 관점에서 연구가 수행되었다. 농업분야에서는 과거와 현재의 농업 기후지수 비교·분석 연구, 국내 기온 및 강수량과 같은 기후요소의 시·공간적 변화 연구 및 이

상기상에 대한 연구 등이 수행되고 있다(심교문 등, 2008; 이덕배 등, 2010; Lee *et al.*, 2010; 이덕배 등, 2011; 심교문 등, 2013).

기상 및 기후조건은 농업생산을 결정하는 주요 환경인자이다. 농작물의 성장과 발육은 기온과 강수량 등과 같은 기상변수들에 의해 직접적으로 영향을 받는다(Menza and Silva, 2009). 최근의 기후변화는 계절별, 지역별로 변화폭이 다르며, 이와 같은 기후변화현상은 농작물 재배 조건에도 많은 영향을 미칠 것으로 전망된다. 작물 생육과

생산량에 가장 많은 영향을 미치는 기후요소들의 동질성을 바탕으로 한 농업기후지대는 작물 생산량 평가, 작물 생육 제한요인, 작물재배적기 평가, 생산량 비교, 기후변화영향 평가 등에 사용되고 있다(Gallup and Sachs, 2000; Seppelt, 2000; Fischer *et al.*, 2005; Geerts *et al.*, 2006; Williams *et al.*, 2008; Araya *et al.*, 2010). 국내에서 농업기후지대는 최돈향·윤성호(1985)이 10년간 기후자료(1973~1982)를 바탕으로 벼 생육에 영향을 미치는 기후요소를 이용하여 벼 재배를 위해 남한을 19개의 농업기후지대(제주도 제외)로 구분하였다. 이후 기온과 강수 특성을 이용한 기후지대 구분, 기후특성과 논 분포 지형을 이용한 농업기후지대 구분이 시도되었다(최돈향·윤성호, 1989; 윤율수 등, 2009). 농업기후지대는 이후 벼의 안전재배기준, 벼 생산성 평가, 농업지대별 잡초 발생 연구, 기상재해 대책, 온실가스 배출 평가 등 농업연구에 활용되고 있다(문병철 등, 2005; 윤성탁·김종한, 2006; 고지연 등, 2011; 이충근 등, 2012; 심교문 등, 2013). 본 연구에서는 최돈향·윤성호(1985)에 의해 제안된 농업기후지대의 연대별 기후요소의 변화 양상과 특징을 비교·분석하여 그 자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

2. 자료 및 방법

농업기후지대는 벼 작물을 기준으로 구분한 내륙의 19개 지대에 제주도를 포함한 총 20개 지대로 구분하였다(심교문·김용석·정명표·김석철·민성현·소규호, 2013). 각 농업기후지대별 기후특성의 비교·분석을 위해 기상청 방재기상정보포털서비스(<https://metsky.kma.go.kr>)에서 제공하는 1971~2010년 동안 62개 지점의 기상자료(일평균기온, 강수량 및 일조시간)를 사용하였으며, 비교 연대는 1970년대(1971~1980), 1980년대(1981~1990), 1990년대(1991~2000), 2000년대(2001~2010)로 구분하였다.

각 농업기후지대의 연대별 기후요소 비교는 분

산분석(Analysis of Variance, ANOVA)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

1970년대, 1980년대, 1990년대, 2000년대 일평

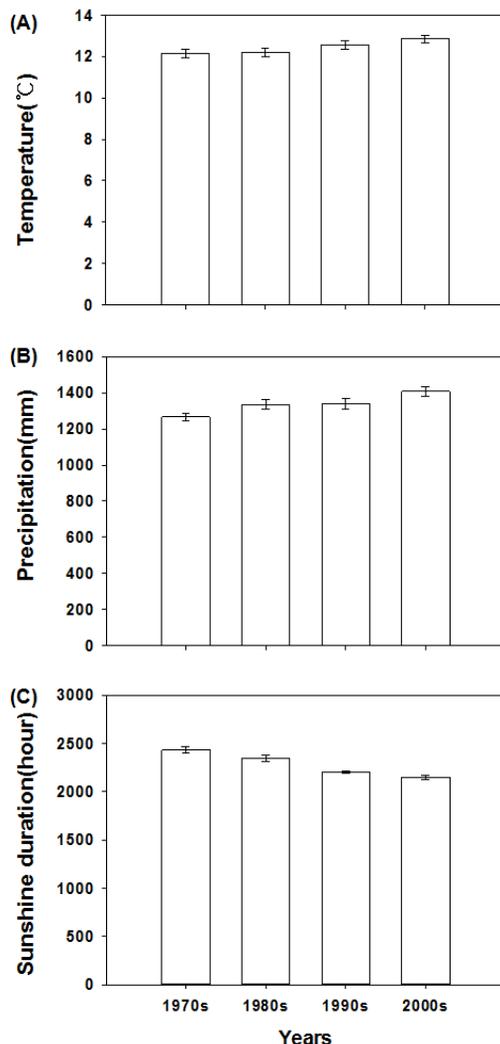


Fig. 1. The mean values over each ten years of air temperature(°C), precipitation(mm), and sunshine duration(hour) in twenty agro-meteorological zones from 1970s to 2000s. Each bars indicates the standard error.

균기온은 각각 $12.0 \pm 0.14^\circ\text{C}$, $11.9 \pm 0.13^\circ\text{C}$, $12.2 \pm 0.14^\circ\text{C}$, $12.6 \pm 0.13^\circ\text{C}$ 이었다. 그리고 각 연대별 강수량은 $1,270.3 \pm 20.05$ mm, $1,343.0 \pm 26.01$ mm, $1,350.6 \pm 27.13$ mm, $1,416.8 \pm 24.87$ mm 이었다. 각 연대별 일조시간은 421.7 ± 18.37 시간, $2,352.4 \pm 15.01$ 시간, $2,196.3 \pm 12.32$ 시간, $2,146.8 \pm 15.37$ 시간 이었다(Fig. 1). 일평균기온 및 강수량은 연대별로 통계적으로 유의한 증가를 보였으며(일평균기온: $df=3$, $F=2.708$, $p=0.046$; 강수량: $df=3$, $F=5.307$, $p=0.002$), 특히 1970년대와 비교하여 2000년대에 두 기후요소 값이 유의하게 증가하였다. 이에 반해 일조시간은 연대별로 유의한 감소를 보였으며($df=3$, $F=26.181$, $p<0.001$), 1970년대와 비교하여 1990년대 이후 유의하게 감소하였다.

20개 농업기후지대의 연대별 연평균기온 분포는 Fig. 2와 같다. 연평균기온의 분포는 지형 및 위도, 해양의 효과를 보여준다. 위도에 따라 북쪽의 농업기후지대로 갈수록 기온이 낮고, 내륙 및 산간지대로 갈수록 기온이 낮은 경향을 보였다. 태백준고냉지대, 영남내륙산간지대, 호남내륙지대, 남서해안지대, 동해안중부지대의 5개 농업기후지대를 제외한 15개 농업기후지대에서 연대별 기온이 유의하게 변화하였다($p<0.05$). 특히 중부내륙지대(1.2°C), 소백서부내륙지대(1.1°C), 동해안남부지대(1.1°C)가 1970년대에 비해서 2000년대에 가장 많이 증가하였다.

각 농업기후지대별 연대별 연강수량 분포는 Fig. 3과 같다. 지역적으로 중북부내륙, 강원 영동, 남해안지역에서 강수량이 많았다. 중북부내륙은 장마와 저기압성 강수의 영향을 많이 받으며, 강원 영동은 열대 저기압, 그리고 남해안지역은 장마와 열대 저기압에 의한 강수의 영향이 큰 지역이다(박창용 등, 2009). 연대별 각 농업기후지대의 강수량은 대부분의 농업기후지대에서 증가하는 경향을 보였지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$)(Fig. 3). 단지 태백준고냉지대의 강수량은 1970년대 1,117.9 mm에서

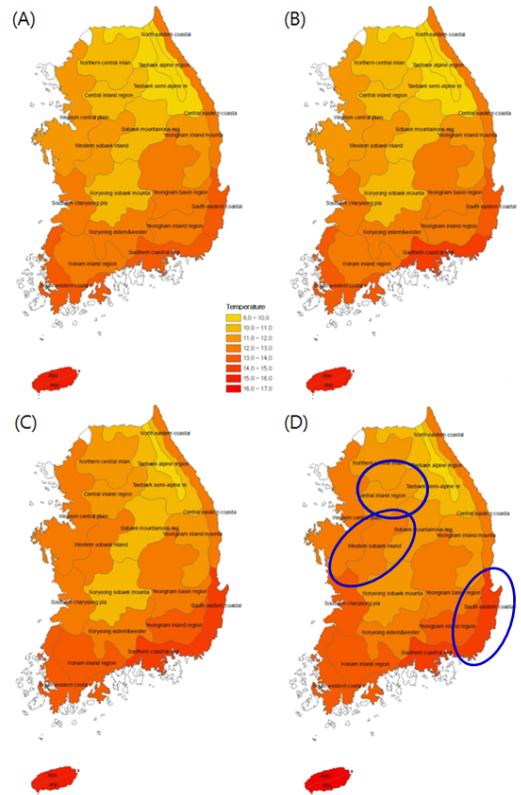


Fig. 2. Average annual air temperature($^\circ\text{C}$) in each agro-meteorological zone from 1970s to 2000s. (A) 1970s, (B) 1980s, (C) 1990s, (D) 2000s. The circle indicates agro-climatic zone with remarkably changed average air temperature.

2000년대에 1,444.1 mm로 유의한 증가를 보였다($df=3$, $F=2.306$, $p=0.094$). 농업기후지대 평균 강수량은 연대별 차이를 보인 반면, 각 농업기후지대별 강수량은 연대별로 차이를 보이지 않은 것은 농업기후지대간 강수량의 변이가 연대별로 증가했기 때문인 것으로 보인다(1970년대, 176.1 mm; 1980년대, 204.8 mm; 1990년대, 216.8 mm; 2000년대, 200.8 mm)(Fig. 1).

일조시간은 중북부내륙지대, 소백서부내륙지대, 동해안북부지대, 동해안남부지대, 제주도의 5개 농업기후지대를 제외한 15개 농업기후지대에

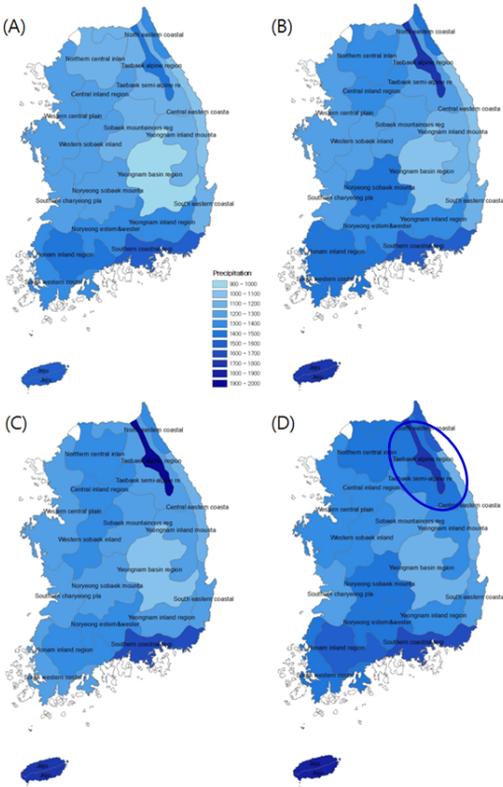


Fig. 3. Average annual precipitation(mm) in each agro-meteorological zone from 1970s to 2000s. (A) 1970s, (B) 1980s, (C) 1990s, (D) 2000s. The circle indicates agro-climatic zone with remarkably changed average precipitation.

서 유의하게 감소하였으며($p < 0.05$), 중부내륙지대 및 태백고냉지대의 일조시간 감소가 두드러졌다 (Fig. 4). 운량의 증가가 일조시간의 감소의 한 원인이지만(Angell, 1990), 국내에서는 일조시간 감소는 운량의 증가보다는 대기혼탁도 증가에 의한 것으로 추정된다(문영수, 1996).

한반도는 국토면적에 비해 상대적으로 복잡하고 다양한 지형의 영향으로 인해 기후의 지역적 차이가 뚜렷하다. 특히 남북과 동서 간의 기후 차이가 크다(기상청 기상연구소, 2004; 박창용 등, 2009). 따라서 기온, 강수량, 일조시간의 각 농업지대별 지역적 변화율의 차이는 다양하고 복잡한

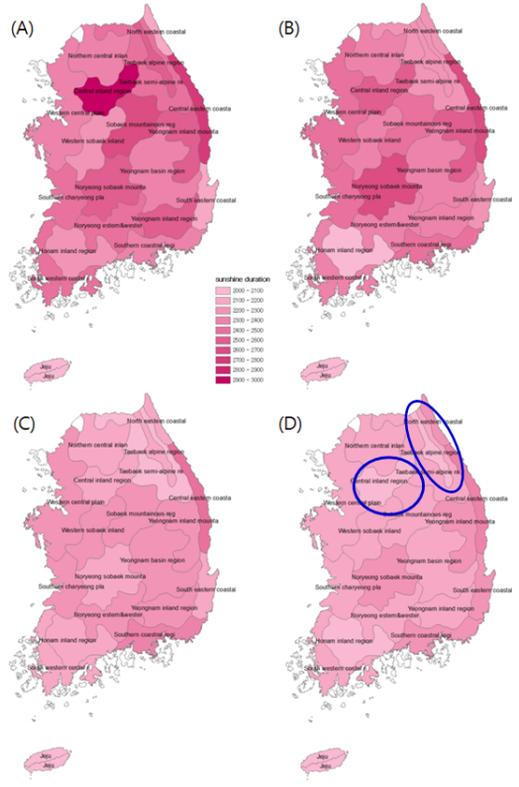


Fig. 4. Average annual sunshine duration(hour) in each agro-meteorological zone from 1970s to 2000s. (A) 1970s, (B) 1980s, (C) 1990s, (D) 2000s. The circle indicates agro-climatic zone with remarkably changed sunshine duration.

한반도의 지형적 특징 때문인 것으로 판단된다. 농업생산에 영향을 미치는 기온, 강수, 일사 등과 같은 농업기후자원의 국내 분포는 지역별, 시기별로 항상 변화하며, 그 변화폭도 다르기 때문에 작물, 특히 벼 재배에 큰 영향을 미친다(심교문 등, 2008). 최근의 농업기후자원의 특징은 벼 이앙기의 한발지수는 과거에 비해 최근 대부분의 지역에서 개선되고 있지만, 그 개선 폭은 적은 편이다. 저온출현율과 기후생산력지수는 낮아지고 있다. 또한, 무상기간은 증가된 반면, 벼 출수기가 늦어지고 있기 때문에 벼 작부체계의 개선이 요구되고 있다(심교문 등, 2008).

농업기후지대는 농업경제 혹은 농사시스템과 여러 환경요인, 특히 기후와 특징적인 상호관계를 보이고(White *et al.*, 2001), 농작물의 재배는 일반적으로 그 지역의 평년 기후에 맞추어 행해진다. 현 벼 작물의 농업기후지대를 이용하여 국내에서는 벼 생산성 및 쌀 품질 비교, 벼 적응기술 평가, 직파 안전작기 설정, 기상재해 특성 등의 연구가 수행되었다(최돈향 · 윤성호, 1989; 심교문 등, 1999; 이충근 등, 2012; 이선형 등, 2005). 하지만 최근의 변화된 한반도 기후조건을 반영한 농업기후지대를 이용하면 특정 지역의 정밀 재배기술 개발 및 보급, 작부체계 개선, 이상기상 특성 등 기후변화적응을 위한 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구 결과는 최근의 기후특성을 반영한 벼 작물의 농업기후지대 재구분이 필요함을 제시하고 있으며, 이를 위한 연구에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구는 전국 62개 지점의 기온, 강수량, 일조시간을 바탕으로 국내 20개 농업기후지대의 기온, 강수량, 일조시간의 변화 경향을 연대별 · 농업기후지대별로 비교 · 분석하였다. 세가지 기후요소는 지역별로 변화량에 차이를 보였다. 기온 및 강수량은 1970년대에 비해서 2000년대에 유의한 증가를 보였으며, 일조시간은 유의한 감소를 보였다. 기온은 대부분의 농업기후지대에서 연대별로 변이의 폭이 감소하는 경향을 보였으며, 강수량과 일조시간은 대부분의 농업기후지대에서 연대별로 변이의 폭이 증가하는 경향을 보였다.

우리나라는 국토면적에 비해 상대적으로 다양하고 복잡한 지형의 영향으로 기후의 지역적인 차이가 뚜렷하기 때문에, 지역적으로 기후특성을 분석할 필요가 있다. 현재 벼 안전재배지대 평가 등에 사용되고 있는 19개의 농업기후지대는 최근

변화된 한반도의 기후요소특성을 반영하고 있지 않기 때문에 활용에 제한이 있다. 따라서 본 연구결과는 최근의 기후특성을 뿐만 아니라, 지형, 해발고도, 해안으로부터 거리 등과 같은 지형학적 요인과 작물생육요소를 반영한 벼 작물의 농업기후지대 재구분이 필요하다는 점을 시사하고 있다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ009353)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

- 고지연, 이재성, 우관식, 송석보, 강종래, 서명철, 광도연, 오병근, 남민희, 2011, 벼 논에서 토양 유기물 함량, 논 유형 및 농업기후대가 CH₄ 배출에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 44권 5호, 887-894.
- 기상청 기상연구소, 2004, 한국의 기후, 415 pp.
- 문병철, 원종건, 박중수, 박태선, 오세문, 박재읍, 2005, 유효적산온도를 이용한 피, 물달개비의 엽령반응 및 농업기후대별 예측, 한국잡초학회지, 25권 2호, 112-118.
- 문영수, 1996, 일조시간의 연변화에 따른 한국의 지역구분, 한국환경과학회지, 5권 3호, 253-263.
- 박창용, 최영은, 문자연, 윤원태, 2009, 기온과 강수특성을 고려한 남한의 기후지역구분, 대한지리학회지, 44권 1호, 1-16.
- 심교문, 이정택, 윤성호, 1999, 농업기후지대별 작물생육 유효기온 출현특성에 따른 벼 담수 직파 안전작기 설정, 한국농림기상학회지, 1권 1호, 72-80.
- 심교문, 김건엽, 노기안, 정현철, 이덕배, 2008, 기후변화에 따른 농업기후지대의 평가, 한국

- 농림기상학회지, 10권 4호, 113-120.
- 심교문, 김용석, 정명표, 김석철, 민성현, 소규호, 2013, 한국의 농업기후지대별 이상기온 출현 특성 평가, 한국기후변화학회지, 4권 2호, 189-199.
- 윤성탁, 김종한, 2006, 북한의 농업지대별 작물재배 및 기후특성, 한국국제농업개발학회지, 18권 1호, 7-16.
- 윤을수, 이재생, 정기열, 고지연, 최영대, 2009, 영남지역 기후특성 및 논 분포 지형에 따른 농업지형기후지대 구분, 2009년도 한국토양비료학회 춘계학술발표 논문초록집, p.66.
- 이덕배, 심교문, 김진호, 노기안, 김건엽, 2010, 농지전용과 수자원 취약성간의 관계 분석, 한국기후변화학회지, 1권 1호, 75-83.
- 이덕배, 심교문, 권순익, 2011, 전북의 농경 지역과 도시 지역에서 기후변화 비교 평가, 한국기후변화학회지, 2권 1호, 33-42.
- 이선형, 원종건, 최장수, 2005, 경북 농업기후지대별 쌀 품질 비교, 한국작물학회지, 50권 1호, 94-98.
- 이충근, 김준환, 손지영, 양문호, 윤영환, 최경진, 김광수, 2012, 생육모의 연구에 의한 한반도에서의 기후변화에 따른 벼 생산성 및 적응기술 평가, 한국농림기상학회지, 14권 4호, 207-221.
- 최돈향, 윤성호, 1989, 농업 기후 지대 구분과 기상 재해 특성, 한국작물학회지, 34권 2호, 13-33.
- Angell, J. K., 1990, Variation in united cloudiness and sunshine duration between 1950 and the drought year of 1988, **Journal of Climate**, 3, 296-308.
- Araya, A., S. D. Keesstra, and L. Stroosnijder, 2010, A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia, **Agricultural and Forest Meteorology**, 150, 1057-1064.
- Fischer, G., M. Shah, F. N. Tubiello, and H. Van Velhuizen, 2005, Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080, **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, 360, 2067- 2083.
- Lee, J. G., Y. J. Kim, and S. H. Jeong, 2010, The climatological regional characteristics of the occurrence of extraordinary temperature events associated with crop cultivation, **Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology**, 12, 157-172.
- Gallup, J. L., and J. D. Sachs, 2000, Agriculture, climate, and technology: why are the tropics falling behind?, **American Journal of Agricultural Economics**, 82, 731-737.
- Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, C. Del Castillo, and W. Buytaert, 2006, Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa, **Agricultural and Forest Meteorology**, 139, 399-412.
- Menza, F. J., and D. Silva, 2009, Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change, **Climate Change**, 94, 143-156.
- Williams, C. L., M. Liebman, J. W. Edwards, D. E. James, J. W., Singer, R. Arrit, and D. Herzmann, 2008, Patterns of regional yield stability in association with regional environmental characteristics, **Crop Science**, 48, 1545-1559.
- White, D. H., G. A. Lubulwa, K. Menz, H. Zuo, W. Wint, and J. Slingenbergh, 2001, Agro-climatic classification systems for estimating the global distribution of livestock numbers and commodities, **Environment International**, 27, 181-187.
- Seppelt, R., 2000, Regionalised optimum control problems for agroecosystem management, **Ecological Modelling**, 131, 121-132.