

기후 분과 / 기후 6-1

Evaporative Demand Under Elevated CO₂ and Implications for Drought–Heatwave Assessments in East Asia

Kyung-Ja Ha^{1,2,3}, Ji-Hye Yeo^{1,2}

¹Center for Climate Physics, Institute for Basic Science

²BK21 School of Earth and Environmental Systems, Pusan National University

³Institute for Future Earth, Pusan National University

In this talk, I will highlight our recent advances and findings in changes in evaporative demand under increasing CO₂ concentrations and their implications for drought and heatwave assessments. Global warming is expected to intensify atmospheric water demand, aggravating future occurrences of extreme droughts and heatwaves. However, our understanding of evaporative demand—typically represented by potential evapotranspiration (PET)—remains incomplete, as current approaches insufficiently account for vegetation responses under projected drought conditions. Atmospheric evaporative demand reflects the combined effects of water scarcity and vapor pressure deficit stress. Yet, estimating PET from available reanalysis or model datasets remains uncertain, largely due to the exclusion of plant physiological responses, particularly to elevated CO₂. Focusing on CO₂-induced changes in stomatal conductance, our findings show that surface resistance increases under higher CO₂ concentrations. This physiological response leads to a significant bias in PET estimates: under drought conditions in East Asia, PET overestimates drought severity by approximately 17% when vegetation responses are not considered. Furthermore, intensified land-atmosphere feedbacks driven by soil moisture deficits amplify the frequency and severity of compound drought–heatwave events across northern East Asia. A better understanding of soil moisture–vegetation interactions is essential for projecting future droughts and heatwaves under varying surface conditions, particularly in a warming and moistening climate. Despite growing concern, current heatwave research remains predominantly temperature-based, overlooking the critical role of soil moisture in distinguishing between different heatwave types and intensities. Our findings will provide valuable insights into the relationship between different heatwave types and land-atmosphere coupling, offering crucial implications for regional climate planning and mitigation strategies.

기후 분과 / 기후 6-2

북반구 수목의 개엽 시기 및 온도요구량 변동성의 지역별 차이 분석

조유리¹, 정수종²

¹서울대학교 환경계획연구소

²서울대학교 환경대학원

북반구 수목의 개엽 시기 변화는 겨울철 온도요구량의 변화에 기인한 주요 생물계절 반응으로서, 다양한 선행 연구에서 활발히 다루어져 왔다. 그러나 대부분의 연구는 지역 평균의 시계열 변화 또는 개엽 시기의 전진·지연 추세에 초점을 맞추었으며, 개엽 시기와 온도요구량의 분포 자체가 어떻게 변화해왔는지에 대한 정량적 분석은 부족하였다. 이 연구는 위성 기반 자료를 활용하여 지난 40년간(1982–2022년) 북반구(30°N 이상) 지역의 개엽 시기(Start of Season, SOS)를 가장 잘 설명하는 최적의 저온요구량(Chilling Unit, CU) 및 가온량(Growing Degree Hours, GDH)을 산출하고, 초기 10년(1982–1991년)과 최근 10년(2013–2022년) 간의 SOS, CU, GDH의 분포 변동성을 커널 밀도 추정(Kernel Density Estimation, KDE)과 Jensen–Shannon 발산(Jensen–Shannon Divergence, JSD)을 이용해 비교하였다. 분석 결과, KDE 기반 분포 중첩 지수(0: 완전 불일치 ~ 1: 완전 일치)는 SOS, CU, GDH 각각에 대해 0.36, 0.52, 0.50으로 나타나, 최근 10년 동안 개엽 시기와 온도요구량의 분포가 초반 10년과 현저히 달라졌음을 시사한다. 특히 SOS는 가장 낮은 중첩 지수를 보여, 극심한 분포 변화가 있는 것으로 분석되었다. JSD 기반 유사도 분석(0: 완전 상이 ~ 1: 완전 유사)에서도 SOS, CU, GDH 각각 0.15, 0.26, 0.23 기록하며, 세 변수 모두 분포 구조 자체가 두 기간 사이에 거의 유사하지 않은 것으로 나타났다. 위도별로 살펴본 결과, 고위도(특히 60°–70°N) 지역일수록 두 기간 간 분포 중첩과 유사도는 더욱 낮아지는 경향을 보였다. 이 연구는 지난 40년 간 북반구 수목의 개엽 시기가 온도요구량의 변동성을 넘어 더욱 민감하고 불안정하게 반응하고 있는 것으로 분석하였다. 특히 고위도에서 두드러진 극심한 변동성은 이 지역에서 수목이 성장계절이 기후변화에 더욱 취약하며, 종 간 상호작용과 생태계 기능의 시공간적 불일치가 커질 수 있음을 시사한다.

Keywords: 생계절(phenology), 개엽, 적산온도, Chilling unit, GDH

※ 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 관측기반 온실가스 공간정보지도 구축 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2023-00232066).

Arctic stratospheric ozone as a precursor of ENSO events since 2000s

Jae-Heung Park¹, Ja-Ho Koo², Jong-Seong Kug¹, Su-Jung Lee¹,
Mi-Kyung Sung³, Joowan Kim⁴, Eun-Chul Chang⁴, Young-Min Yang⁵,
Sang Seo Park⁶, Kyung-Hwan Kwak⁷, Ji-Hoon Oh⁸, Hyung-Jeon Kang¹, and Soon-Il An²

¹School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

²Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University

³Korea Institute of Science and Technology

⁴Department of Atmospheric Science, Kongju National University

⁵Department of Environment & Energy, Jeonbuk National University

⁶Department of Civil Urban Earth and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

⁷School of Natural Resources and Environmental Science, Kangwon National University

⁸Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego

Variability in Arctic stratospheric ozone (ASO) has significant implications for surface climate. Using observational reanalysis and Ozone Monitoring Instrument data, we found that the springtime ASO variations since the 2000s can serve as a precursor to El Niño–Southern Oscillation in the subsequent winter. Springtime ASO variability has become pronounced, particularly over Eurasia, due to the asymmetrical structure of the Arctic stratospheric polar vortex. With the return of solar radiation to the Arctic in spring, elevated ASO increases solar absorption over Eurasia, contributing to localized stratospheric heating. This heating induces an upper-tropospheric cyclonic circulation over Siberia, facilitating wave energy propagation toward the tropical Pacific. Consequently, upper-level easterly and low-level westerly wind anomalies emerge over the equatorial Pacific, favoring El Niño development (cf. La Niña for decreased ASO). These results highlight the importance of chemical–radiative–dynamical processes in the Arctic stratosphere for understanding tropospheric climate variability.

Keywords: Arctic stratospheric ozone (ASO), El Niño–Southern Oscillation, Wave energy propagation, chemical–radiative–dynamical processes

※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (NRF-2023R1A2C1004083 and RS-2023-00219830).

기후 분과 / 기후 6-4

Climatic variabilities drive Chinese vegetable prices in cold months

Jin-Soo Kim¹, Yun Qiu²

¹Department of Civil and Environmental Engineering, KAIST

²School of Energy and Environment, City University of Hong Kong

Vegetables are full of nutrients that are difficult to obtain from meat or grains, such as vitamins, minerals, and dietary fiber, but they are vulnerable to abiotic stress, making it difficult to obtain consistent yields. Climate extreme events have caused a decline in vegetable production, often leading to elevated vegetable prices. Here, we investigate how climatic factors influence vegetable price changes in China, focusing on colder months when extreme weather impacts are more pronounced. We found three major patterns in the vegetable consumer price index (VCPI) data, including data from 31 provinces in China from 2003 to 2023. The first empirical orthogonal function (EOF) mode shows that vegetable prices in all provinces vary together, and this is linked with temperature variations in China. The second EOF mode has a north-south dipole spatial pattern, and it is linked to low-temperature events in southern China, which are closely linked to Arctic warming during colder months and central Pacific La Niña occurrences, especially in December. In addition to temperature, precipitation also affects vegetable prices, with cold rain and snow contributing to VCPI increases resulting from the third EOF mode. Also, the third mode, showing an east-west dipole pattern, is associated with eastern Pacific El Niño occurrences during January and February. Major VCPI patterns and relevant climate factors will facilitate the prediction of vegetable prices on a seasonal time scale and can be used as scientific evidence to prepare for a surge in vegetable prices by combining with seasonal climate forecasts. As China accounts for half of the world's vegetable production and fluctuations in its vegetable prices can profoundly affect global food security, our findings would be useful to support stable vegetable production, ensure food security, and minimize economic losses globally.

Keywords: Vegetable price, El Niño–Southern Oscillation (ENSO), cold wave impact, extreme weather event, food security

기후 분과 / 기후 6-5

ERA5 재분석자료를 이용한 우리나라 경계층 하층제트의 발생 메커니즘 분석

김금란^{1,3}, 서명석², 김주완², 이상삼¹

¹국립기상과학원 기상응용연구부

²국립공주대학교 대기과학과

³국립공주대학교 기상기후데이터 융합분석 특성화대학원사업단

ERA5 재분석 자료를 이용하여 우리나라의 경계층 하층제트(BLLJ: Boundary layer Low-Level Jet)에 대한 발생 메커니즘을 분석했다. BLLJ는 지역에 따라 2~3개의 주 풍향 모드를 나타냈다. 풍향 모드의 월별 발생 빈도를 기반으로, 높은 빈도를 나타내고 경계층고도와 유사한 낮은 고도에서 주로 발생하는 대표적인 4가지 BLLJ 유형을 식별했다. 유형 1은 봄(4월-5월)에 서해안을 따라 광범위하게 발생하는 남풍 BLLJ이다. 이는 대륙-해양 열적 대비, 경압 효과(고도에 따른 지균폭속의 감소), 표면 마찰을 포함하며, 이중 경압 효과가 지배적이다. 유형 2는 남해안을 따라 자주 발생하고 한반도에 호우를 가져오는 여름철 남풍 BLLJ이다. 이 유형은 북태평양 고기압이 남중국해로 확장하고 남해안을 따라 기압 경도가 강화될 때 발달한다. 이 유형은 야간에 비지균폭이 강화되는 특징을 나타낸다. 유형 3은 가을(8월~10월)에 내륙 지역에서 자주 관측되는 동풍 계열의 BLLJ이다. 동해 북부에 국지 고기압이 위치하여 동해에서 내륙으로 동풍류가 유입할 때 발생하며 지형 강제력이 수반된다. 동풍이 태백산맥을 가로지름에 따라 풍하측의 산맥 서쪽 사면에서 강한 경사면 하강류(Downslope wind)가 생성된다. 이 경사면 하강류는 야간계 상태에서 초임계 상태로의 천이류를 특징으로 한다. 유형 4는 남동부 내륙 지역에서 자주 관측되는 겨울철 북서풍 LLJ이다. 한반도 서쪽 대륙 고기압과 동쪽 해양 저기압에 의해 강화된 북~북서 계절풍을 배경으로 형성된다. 남북 방향의 태백산맥에 의한 북풍 장벽제트(Barrier Jet)와 태백산맥과 소백산맥 사이 고도가 상대적으로 낮은 좁은 지형을 빠른 속도로 통과하는 갭흐름(Gap flow), 이후 소백산맥의 남쪽 풍하측 사면에서 하강하는 경사면 하강류(Downslope wind) 특징을 나타낸다. 이 연구는 우리나라에 나타나는 LLJ 중에서 종관 LLJ와 비교하여 상대적으로 낮은 고도에서 발생하는 BLLJ에 대해 계절별 주요 유형의 메커니즘을 특성화 하였다. 유형 3과 유형 4와 같이 지형 강제력이 작용하는 BLLJ에 대하여는, 시공간에 대해 보다 고해상도 자료를 이용하여 지형 관련 진단 변수를 포함하는 추가적인 연구가 필요하다.

Keywords: 경계층 하층제트, ERA5 재분석자료, 기후 특성, 계절변동, 일변동

Maritime Continent Convection as a Driver of Arctic Oscillation Variability on Decadal Timescales

Eun-Ji Song¹, Sinil Yang^{1,2,**}, Baek-Min Kim^{3,*}, Jung Ok¹, Kyung-On Boo⁴,
Yu-Kyung Hyun⁴, and Ki-Young Kim⁵

¹Supercomputer Center, Pukyong National University

²APEC Climate Center

³Division of Earth Environmental System Sciences, Pukyong National University

⁴National Institute of Meteorological Sciences

⁵Research Institute, 4D Solution Co., Ltd..

The Arctic Oscillation (AO) is a prominent atmospheric pattern dominating Northern Hemisphere climate variability. While its prediction is important, underlying mechanisms driving AO variability are not fully understood. Our analysis reveals that convective activity over the Maritime Continent (MC), a key tropical region straddling the equator, plays a crucial role in determining AO predictability at decadal time scales. Low-pass filtered observational data (1979-2021) shows a significant correlation ($r = 0.86$; 0.78 post-Niño 3.4 removal, $p < 0.01$) between MC convection (ERA5 OLR) and the AO index. Analyses reveal that enhanced MC convection drives a global atmospheric circulation reorganization, creating prominent anticyclonic anomalies over East Asian mid-latitudes (30 - 50°N) that enhance planetary wave activity through constructive interference with climatological stationary waves. This wave amplification mechanism increases stratospheric wave flux and weakens the polar vortex, leading to negative AO phases. The process operates through modifications of potential vorticity distribution and refractive index conditions that facilitate enhanced upward wave propagation from the troposphere into the stratosphere. Pacemaker Earth system model experiments confirm this tropical-extratropical interaction mechanism, with the MCGA simulation successfully reproducing observed AO trends while the historical simulation fails. These findings demonstrate a comprehensive tropical influence on Arctic climate through coordinated reorganization of Northern Hemisphere circulation patterns and provide new insights for AO predictability at decadal timescales.