

## 일평균기온(1971~2013)을 이용한 수원지역의 기후학적 식물생육기간의 변화 경향

### Trend of Climatic Growing Season using Average Daily Temperature (1971~2013) in Suwon, Korea

정명표 · 심교문<sup>†</sup> · 김용석 · 최인태 · 소규호

국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

Jung, Myung-Pyo, Shim, Kyo-Moon<sup>†</sup>, Kim, Yong-Seok,  
Choi, In-Tae and So, Kyu-Ho

Climate Change & Agroecology Division, National Academy of  
Agricultural Science, Wanju-gun, Korea

#### ABSTRACT

The extension of growing season (GS) across the Northern Hemisphere have been linked to increasing temperature, related with global warming. Therefore, in this study, The start, end, and length of GS in Suwon, Korea from 1971 to 2013 based on observed daily mean air temperature are examined using three indices. The GS starts on average after  $98.598.5 \pm 1.42$  Julian days and ends after  $318.7 \pm 1.08$  Julian days. The average length of GS is  $220.2 \pm 2.09$  Julian days. The length of GS in Suwon from 1971 to 2013 has been extended by 6.8 days/decade with an earlier onset of the GS ( $-4.1$  days/decade) and later end of the GS (2.7 days/decade). This change may be due to an advanced start of the GS in spring rather than later end of the GS. In further study, it is necessary to select an index carefully to find the most suitable one for Korea.

*Key words* : Climatic Growing Season, Climate Change, Indicator, Suwon

#### 1. 서론

지구 온난화와 관련하여 20세기 동안 식물생육기간의 증가는 의심의 여지가 없다(Keeling *et al.*, 1996; Frich *et al.*, 2002; Menzel *et al.*, 2003; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007). 식물생육기간의 증가는 위성자료, 생물계절과 기상학적

관찰 자료 등에 의해 증명이 되고 있다(Linderholm, 2006). 식물생육 시작일, 종료일, 생육기간과 같은 식물생육기간을 판단하는 모수는 기후요소와 높은 상관관계를 보이기 때문에 식물생육기간의 변화는 기후변화의 중요한 지표로 사용될 수 있다(Song *et al.*, 2010). 이와 같은 식물생육기간 증가의 원인은 따뜻한 봄, 최저기온의 증가, 무상기간 증가 혹은

<sup>†</sup> Corresponding author : E-mail: kmshim@korea.kr

만상일의 앞당겨짐에 의한 것으로 볼 수 있다(Cayan *et al.*, 2001; Scheifinger *et al.*, 2003; Schwartz *et al.*, 2006).

Schwartz(1999)는 생물계절 연구로 식물생육의 시작 및 종료 시기 변화를 밝혔으며, Walther *et al.* (2002)는 식물의 개화시기가 유럽에서는 1.4~3.1일/10년, 북미에서는 1.2~2.0일/10년 앞당겨졌다고 밝혔다. 또한, Song *et al.*(2010)은 중국에서는 1951년부터 2007년까지 식물생육기간의 변화 경향을 통해서 식물생육기간이 중국 북쪽지역에서는 2.3일/10년, 남쪽지역에서는 1.3일/10년이 증가하였다고 보고하였다. 이와 같은 식물생육기간의 증가는 기후변화에 대한 식물의 경쟁과 적응 전략 등에 중요한 의미를 지니고 있다. 하지만 국내에서는 식물생육기간에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 1971~2013년 동안 수원지역의 일평균 기온을 이용하여 기상학적 식물생육기간 지수별로 식물생육기간 모수(시작일, 종료일, 생육기간)의 변화와 연도별 변동 폭을 비교하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 자료 수집

수원지역의 식물생육기간 모수의 변화 경향을 파악하기 위하여 1971~2013년 동안의 일평균기온은 기상청 방재기상정보포털 <https://metsky>에서 제공하는 기상자료를 사용하였으며, 서리발생정보는 기상청에서 발생하는 기상일보를 이용하였다.

### 2.2 자료 분석

식물생육기간을 계산하기 위하여 이론적으로 식물이 성장할 수 있는 전체 기간으로 정의하는 기후학적 식물생육기간 정의를 사용하였다. 기후학적 정의는 생물계절적 정의보다 광범위한 정의지만, 식물종이나 주변 환경에 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 본 연구에서는 Carter(1998)와 Jones *et al.* (2002)에 의한 정의된 두 가지 지수(Walther and Linderholm, 2006)와 종상일과 초상일에 따른 무상기간 등 총 세 가지 지수를 이용하여 식물생육기간

Table 1. Definition of the three indices of the start, end and length of the thermal growing season indices used in this study

Season	Index	Definition
Start	1	5 days with $T_{\text{mean}} > 5^{\circ}\text{C}$
	2	5 days with $T_{\text{mean}} > 5^{\circ}\text{C}$ (after frost)
	3	Last spring frost day
End	1	10 days running mean of $T_{\text{mean}} < 5^{\circ}\text{C}$
	2	First autumn frost or 5 days with $T_{\text{mean}} < 5^{\circ}\text{C}$
	3	First autumn frost day
Length	1	From Start(1) to End(1)
	2	From Start(2) to End(2)
	3	From Start(3) to End(3)

시작일, 종료일, 생육기간을 평가하였다(Table 1).

지수 1의 식물생육기간 시작일은  $5^{\circ}\text{C}$  초과 일평균기온이 5일간 지속하는 마지막 날로 정의하였다(Carter, 1998). 지수 2에서는 종상일 이후  $5^{\circ}\text{C}$  초과 일평균기온이 5일간 지속하는 마지막 날로 정의하였으며(Jones *et al.*, 2002), 지수 3은 종상일 정의하였다. 지수 1의 식물생육기간 종료일은 10일 이동평균이  $5^{\circ}\text{C}$  미만인 날로 정의하였으며, 지수 2에서는 초상일 혹은  $5^{\circ}\text{C}$  미만 일평균기온이 5일간 지속하는 마지막 날로 정의하였다(Jones *et al.*, 2002), 지수 3은 초상일로 정의하였다. 식물생육기간은 식물생육기간 시작일과 종료일을 기준으로, 각 지수별 두 값의 차를 식물생육기간으로 정의하였다.

맨-켄달 추세테스트(Mann-Kendall trend test)를 사용하여 각 식물생육기간 모수 값을 시계열 분석하여 유의성( $p=0.05$ )을 평가하였다(Yue *et al.*, 2002).

## 3. 결과 및 고찰

1971년부터 2013년까지 수원 지역의 식물생육가능기간을 파악하기 위하여 식물생육기간 시작일, 종료일, 생육기간 각 모수별 세가지 지수에 대해 42년 간의 평균값과 지수 평균값을 계산하였다(Table 2). 수원지역의 식물은 지난 42년 동안 올리우스일(Julian days)  $98.5 \pm 1.42$ 일 이후부터 생육이 가능하였으며,  $318.7 \pm 1.08$ 일 이후 생육이 종료하였

Table 2. The day (mean±SE) of start, end, and length of the growing season over the period 1971~2013 using index 1, 2, and 3 of each parameter in Suwon, Korea

Indices	Start	End	Length
1	83.9±1.51	329.7±1.19	245.8±1.83
2	104.3±1.77	329.7±1.19	225.4±2.20
3	102.5±2.04	298.7±2.18	196.4±3.56
Mean	98.5±1.42	318.7±1.08	220.2±2.09

다. 그리고 식물생육가능기간은 220.2±2.09일이었다. 3월 하순부터 서리 발생 유무에 따라 식물 생육 시작일과 종료일은 지수별로 각각 20여일, 30여일 차이가 났으며, 식물생육기간은 20~50여일 차이가 났다.

1971년부터 2013년까지 42년 동안 수원의 식물생육기간 모수의 시계열 변화 경향은 Fig. 1과 같다. 지수 1의 경우, 시작일과 생육기간은 각각 통계적으로 유의하게 -3일/10년( $z = -2.06, p < 0.05$ ), 4일/10년( $z = 2.72, p < 0.05$ ) 변화한 반면, 종료일은 통계적으로 유의한 변화를 보이지는 않지만, 1.2일/10년( $z = 0.97, p > 0.05$ ) 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1a). 지수 2의 경우, 식물생육기간 시작일과 생육기간은 각각 -4.4일/10년( $z = -3.08, p < 0.05$ ), 5.7일/10년( $z = 3.03, p < 0.05$ )으로 통계적으로 유의한 변화를 보였다(Fig. 1b). 종료일은 통계적으로 유의하지는 않았지만 늦춰지는 경향을 보였다( $z = 0.97, p < 0.05$ ). 서리발생에 바탕을 둔 지수 3의 경우, 식물생육기간 시작일, 종료일, 생육기간 모두 통계적으로 유의한 변화를 보였으며, 각각 -5.7일/10년( $z = -3.25, p < 0.05$ ), 6.2일/10년( $z = 3.91, p < 0.05$ ), 11.9일/10년( $z = 4.22, p < 0.05$ ) 변화하였다(Fig. 1c). 세 지수의 평균값에 의한 식물생육기간 시작일, 종료일, 생육기간은 모두 유의한 변화를 보였다(Fig. 1d). 시작일은 -4.1일/10년( $z = -3.59, p < 0.05$ ) 앞당겨졌으며, 종료일과 생육기간은 각각 2.7일/10년( $z = 3.55, p < 0.05$ ), 6.8일/10년( $z = 4.43, p < 0.05$ ) 증가하였다. 즉, 수원지역 식물생육기간 시작일이 종료일보다 더 많이 변화하였다. 식물생육기간의 종료일보다 시작일의 더 큰 변화는 유럽(Menzel *et al.*, 2001; Menzel *et al.*, 2003;

Walther and Linderholm, 2006), 중국(Song *et al.*, 2010) 등 북반구 전 지역에서 관찰되었다. 유럽의 경우, 기후학적 식물생육기간 시작일이 -1.2일/10년, 종료일은 0.8일/10년, 생육기간은 2.1일/10년이 증가하였으며(Menzel *et al.*, 2003), 또한 생물계절 기록을 바탕으로 생물계절적 식물생육기간 종료일의 늦춰짐보다 시작일의 앞당겨짐의 변화가 더 컸다(Menzel *et al.*, 2001). 또한, 중국의 기후학적 식물생육기간 시작일, 종료일, 생육기간이 각각 -1.2일/10년, 0.6일/10년, 1.8일/10년이 증가하였으며(Song *et al.*, 2010), 생물계절적 식물생육기간 역시 종료일보다 시작일의 변화 경향이 컸으며, 중국 남부지역보다 중국 북부지역에서 이른 봄의 경향이 더 컸음을 보고하였다(Chen *et al.*, 2005). 특히 1990년 이후 식물생육기간 시작일은 따뜻한 봄철의 영향으로 급격히 앞당겨졌다(Song *et al.*, 2010). 식물생육기간 모수 중 종료일보다 시작일의 더 큰 변화는 과거에 비해 더 따뜻해진 봄철 기온과 더 이른 중상일의 영향인 것으로 보인다.

식물생육기간 지표 3의 식물생육기간(무상기간)의 증가는 일최고기온보다 일최저기온의 증가와 높은 연관성이 있으며(Song *et al.*, 2010), 일최저기온의 상승뿐만 아니라, 무상기간의 감소 또한 북반구 중위도 지역의 식물생육기간 증가의 원인으로 볼 수 있다(Frich *et al.*, 2002). 한반도의 서리 변화 경향은 만상일은 빨라지고, 초상일은 늦어지는 유형은 관측 및 예측되고 있다(권영아, 2006). 즉, 기후변화 시나리오에서 한반도를 포함한 북반구 중위도 지역의 최저기온이 많이 증가하고, 만상일이 빨라질 것으로 예측되기 때문에, 향후 한반도의 식물

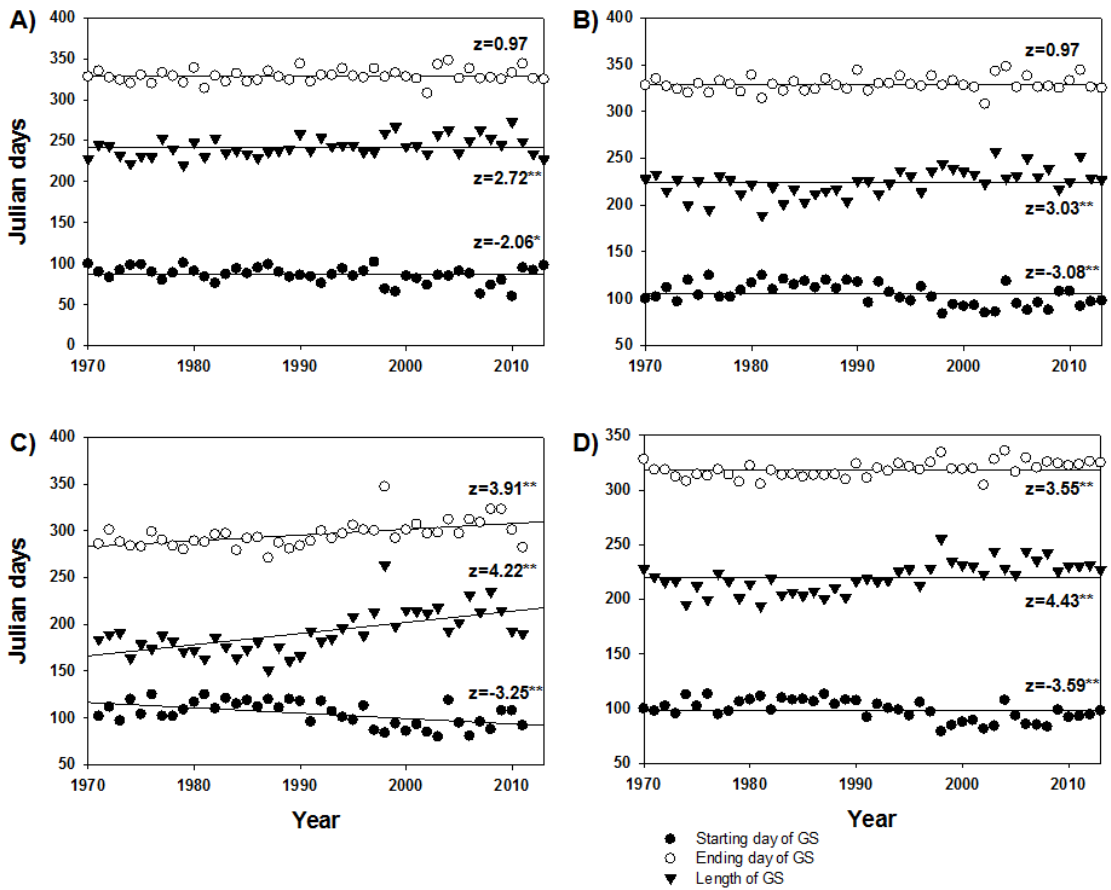


Fig. 1. Changes in start, end, and length of growing season (GS) based on daily mean temperature in Suwon, Korea from 1971 to 2013. A: index 1, B: index 2, C: index 3, D: mean of three indices. \*:  $0.01 < p < 0.05$ , \*\*:  $0.001 < p < 0.01$ .

생육기간 시작일은 더 빨라지고, 식물생육기간은 증가할 것으로 예측된다.

아직까지 식물생육기간 모수의 일반적인 정의는 확립되지 않았지만, 현재 사용하는 있는 지수 대부분은 일최저기온 혹은 일평균기온을 기준으로 정의 되어 있다. 식물생육기간의 변화는 최근 기후변화의 정도를 잘 보여주는 지표로 활용될 수 있지만, 동일 지역에서 각 지수간 식물생육기간 모수값의 차이를 보이며(Menzel *et al.*, 2003), 또한 같은 지수라도 지역간 차이를 보이기 때문에 지역에 적합한 지수를 선택하거나, 서로 다른 지수를 함께 사용하는 것이 좋을 것 같다(Walther and Linderholm, 2006; Song *et al.*, 2010). 또한, 식물생육기간의 증가가 작

물의 잠재적 생산량을 증가시키고, 작물 파종시기를 앞당겨 고위도 혹은 고산지의 작물생육에 도움을 줄 수 있지만(ACIA, 2004), 기온 상승과 만상일의 앞당김을 인한 작물생육 시작일의 앞당김 현상이 작물의 서리 피해를 감소한다고 보기는 어렵다. 오히려 이상저온으로 인한 서리 피해는 더 커질 수 있다. 따라서 향후 국내 지역별 자료를 이용해 각 지수간 비교 및 공간적인 변화 양상을 분석해 국내에 적합한 식물생육기간 지수를 개발할 필요가 있을 것 같다.

### 사사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학

기술 연구개발사업(PJ009353)의 지원에 의해 이루어진 것임.

### References

- ACIA. 2004. Impacts of a warming arctic: Arctic climate impact assessment. Cambridge University Press, New York.
- Carter TR. 1998. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agr Food Sci Finland* 7:161-179.
- Cayan DR, Kammerdiener SA, Dettinger MD, Caprio JM, Peterson DH. 2001. Changes in the onset of spring in the western United States. *Bull Ameri Meteorol Soc* 82:399-415.
- Chen XQ, Hu B, Yu R. 2005. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Glo Change Biol* 11:2266-2278.
- Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank AMG, Peterson T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim Res* 19:193-212.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (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, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (ed). Cambridge University Press.
- Jones PD, Briffa KR, Osborn TJ, Moberg A, Bergstrom H. 2002. Relationships between circulation strength and the variability of growing-season and cold-season climate in northern and central Europe. *Holocene* 12:643-656.
- Keeling CD, Chin JFS, and Whorf TP. 1996. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO<sub>2</sub> measurements. *Nature* 382:146-149.
- Kwon Y. 2006. The spatial distribution and recent trend of frost occurrence days in South Korea. *J Korean Geogr Soc* 41:361-372 (In Korean with English abstract).
- Linderholm HW. 2006. Growing season changes in the last century. *Agr Forest Meteorol* 137:1-14.
- Menzel A, Estrella N, Fabian P. 2001. Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951-1996. *Glo Change Biol* 7:654-666.
- Menzel A, Jakobi G, Ahas R, Scheifinger H, Estrella N. 2003. Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. *Int J Climatol*, 23:793-812.
- Scheifinger H, Menzel A, Koch E, Peter C. 2003. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theor Appl Climatol* 74:41-51.
- Schwartz MD, Ahas R, Aaas A. 2006. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Glob Change Biol* 12:343-351.
- Song Y, Linderholm HW, Chen D, Walther A. 2010. Trends of the thermal growing season in China, 1951-2007. *Int J Climatol* 30:33-43.
- Yue S, Pilon P, Cavadias G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho test for detecting monotonic trends in hydrological series. *J Hydrol* 256:254-271.
- Walther A, Linderholm HW. 2006. A comparison of growing season indices for the Greater Baltic Area. *Int J Biometeorol* 51:107-118.