

## 최근 8-9월의 기상특징과 기후생산력지수의 변화

심교문\* · 김용석 · 정명표 · 최인태  
국립농업과학원

(2014년 9월 2일 접수; 2014년 11월 11일 수정; 2014년 11월 12일 수락)

## Change of Climatic Productivity Index for Rice under Recent Climate Change in Korea

Kyo-Moon Shim\*, Yong-Seok Kim, Myung-Pyo Jung and In-Tae Choi

National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 565-851, Korea

(Received September 2, 2014; Revised November 11, 2014; Accepted November 12, 2014)

### ABSTRACT

Air temperature has increased, while sunshine hour has decreased during the grain filling period of most rice cultivars (August to September) during the past 12 years from 2001 through 2012 in Korea. Climatic Productivity Index (CPI) has fallen because of the decreased sunshine hour and increased air temperature during the grain filling period, and the degree of reduction was greater with earlier heading. For stable rice production, we will need to delay the heading of rice as a cultivation measure against the future climatic trend. Grain yield showed no significant trend for past 12 years. However, the year to year change in grain yield showed a similliar pattern with that of CPI. Especially, a linear function relating rice yield to CPI explained approximately 63% of variation in grain yield with the heading date of August 11<sup>th</sup> period.

**Key words:** Climatic productivity index, Rice, Sunshine hour, Temperature

### I. 서 론

1880~2012년 기간의 전지구 육지와 해양의 평균 지표온도 자료를 선형 경향성에 의해 산출할 경우, 0.85(0.65~1.06)°C의 온도상승을 보였고, 1950년 이후에 다양한 극한기상과 극한 기후현상의 변화가 관측되고 있으며, 전지구적으로 낮과 밤의 추운 날의 발생 빈도는 감소하는 반면에, 더운 낮과 밤의 수가 증가하였다고 IPCC(2013)는 보고하였다.

약 100년간(1912~2008년) 한반도 6개 관측지점(서울, 인천, 강릉, 대구, 목포, 부산)의 평균기온 상승률은 1.7°C로, 동일기간의 전지구 평균기온 상승률(0.74

±0.03°C)에 비해 높으며, 1950년대 이후에 기온 상승률은 20세기 전체 기간에 비하여 약 1.5배 이상 증가하였다. 그리고, 연 강수량은 변동성이 매우 크지만, 계절적으로는 여름철 7~8월에, 공간적으로는 태백산맥 주변지역에서 집중호우의 강도 증가에 의해 뚜렷하게 증가하고 있다(국립기상연구소, 2009).

Jung *et al.*(2014)은 한반도의 62개 관측지점을 대상으로 기후요소의 연대별 변화 특징에 대한 통계분석을 통해, 한반도의 기온 및 강수량은 1970년대에 비해서 2000년대에 유의하게 증가했고, 일조시간은 유의하게 감소했다고 보고하였다.

기상 및 기후조건은 농업생산에 결정하는 주요 환경



\* Corresponding Author : Kyo-Moon Shim  
(kmsim@korea.kr)

인자이고, 농작물의 성장과 발육은 기온, 강수량, 일조 시간 등과 같은 기상변수들에 의해 직접적으로 영향을 받는다(Menza and Silva, 2009). 또한, 최근의 기후 변화는 계절별, 지역별로 변화폭이 다르며, 이와 같은 기후변화 현상은 작물별로 다양하게 영향을 미칠 것으로 전망되고 있다.

일본은 SIMRIW(Horie *et al.*, 1995), ORYZA1 (Kropff *et al.*, 1995), CERES-RICE(Singh and Paddila, 1995) 등 작물모델을 이용하여 환경변동에 대한 벼 생산성 영향을 평가하였고, Hayashi(2001)는 지구기후모델(GCM)의 예측결과에 따른 일본의 벼 생산성 영향을 평가하기 위해 기후생산력지수(Climatic Productivity Index; CPI)를 이용하였다. 또한, 특정한 기상재해가 없으면 CPI에 의하여 지역별 기후자원량의 정량적 평가가 가능한데, 국내에서는 Choi and Yun(1989)이 지역별 CPI를 분석하여 벼 기준 농업기후시대 구분에 활용하였다.

이와 같이, 일본은 미래의 벼 생산성 변화를 평가하는 도구로 작물모형과 더불어 기후생산력지수(CPI)를 활용하고 있는 반면에, 국내에서는 지역별 기후자원량의 정량적인 평가에만 CPI를 주로 이용하고 있다(Choi and Yun, 1989; Shim *et al.*, 2008). 따라서, 본 논문에서는 국내의 최근 벼 등숙기간(8-9월)의 기상변화 특징과 기후생산력지수의 변화 양상, 그리고 벼 생산성의 평가를 위한 CPI의 적용가능성을 종합적으로 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

벼 등숙기간의 기상특징과 기후생산력지수(CPI)의 변화 특성을 분석하기 위해서 기상청 소속 66개소의 기상대 및 관측소에서 2001년부터 2012년까지의 12년 동안 관측한 일 평균기온과 일 누적 일조시간을 기본 자료로 사용하였다(Fig. 1). CPI는 출수기부터 등숙기간 40일간의 기온 및 일조시간과 벼 수량과의 관계식에서 도출된 아래 식을 활용하였다(농촌진흥청, 1986).

$$CPI = DS [0.187 - 0.0034(T - 22.75)^2] \quad (1)$$

여기서, CPI는 기후생산력지수이며, DS와 T는 출수후 40일간의 평균 일조시간과 평균 기온이다.

CPI가 계산되려면, 벼 출수기가 설정되어야 하는데, 지역별, 출수생태형별, 연도별로 벼 출수기가 각기 다르기 때문에, 본 연구에서는 10일 간격으로 총 4가지

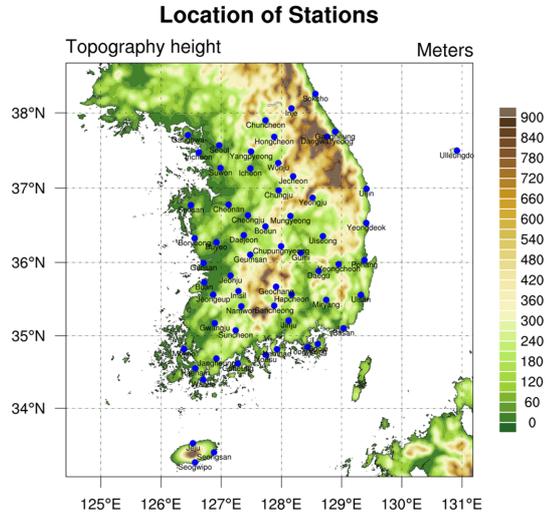


Fig. 1. Location of observation stations used in this study.

의 출수날짜(8월 1일, 8월 11일, 8월 21일, 8월 31일)를 임의로 정하여 66개 지점에 동일하게 적용하였다.

그리고, 2001년부터 2012년까지 12년간의 연도별 벼 수량(조곡 기준)은 통계청에서 운영하는 국가통계포털로부터 다운받아 활용하였다(http://kosis.kr).

## III. 결 과

### 3.1. 벼 등숙기간(8-9월)의 기상특징

수원 등 66개 지점의 과거 12년(2001~2012년)동안의 8-9월의 평균기온은 23.1°C로 조사되었다. 기온이 가장 높은 해는 2010년으로 24.3°C이고, 가장 낮은 해는 2002년으로 21.9°C이어서, 이들의 기온 차이는 2.4°C에 달했다. 8-9월의 평균기온은 전반적으로 상승

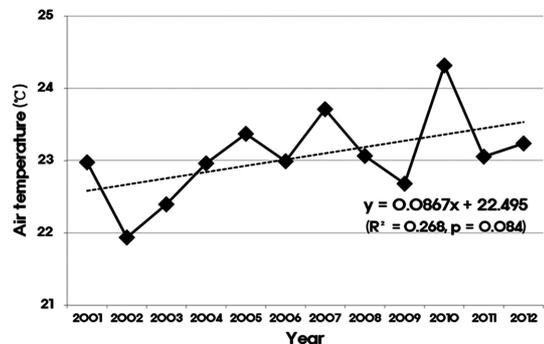


Fig. 2. Changes in average air temperature from August to September during the past 12 years (2001-2012) in Korea. Dotted line means trend line.

하는 경향으로, 기온의 상승기울기는  $0.0867^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ 로 분석되었다(Fig. 2).

과거 12년동안의 8~9월의 누적강수량은 평균 487.5mm로 조사되었다. 강수량이 가장 많았던 해는 2007년으로 803.8mm가 내렸고, 가장 적었던 해는 2006년으로 171.1mm가 내려서, 이들 간에는 약 4.7 배의 차이를 보였다. 강수량의 연간 변동은 다른 기상 요소보다 컸으며, 증가나 감소의 특별한 경향이 보이지 않는 것으로 분석되었다(Fig. 3).

과거 12년동안, 8~9월의 누적일조시간이 가장 많았던 해는 2001년으로 465.5시간이고, 가장 적었던 해

는 2007년으로 234.4시간이어서, 이들 간에는 약 2배의 차이가 나는 것으로 분석되었다. 최근에 8~9월의 누적일조시간은 전반적으로 감소하는 경향으로, 일조시간의 감소기울기는  $6.7496\text{hr yr}^{-1}$ 로 조사되었다(Fig. 4).

### 3.2. 기후생산력지수(CPI)의 변화

수원 등 66개 지점의 과거 12년동안의 CPI를 계산하여 평균하면 <Fig. 5>와 같다. 8월 31일의 출수날짜를 기준으로 계산된 CPI를 제외하면, CPI가 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 특히, 출수기가 빠

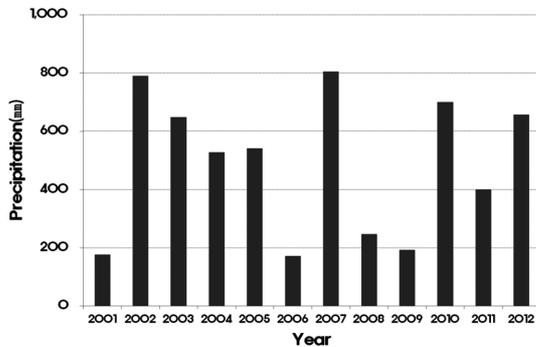


Fig. 3. Changes in total precipitation from August to September during the past 12 years (2001-2012) in Korea.

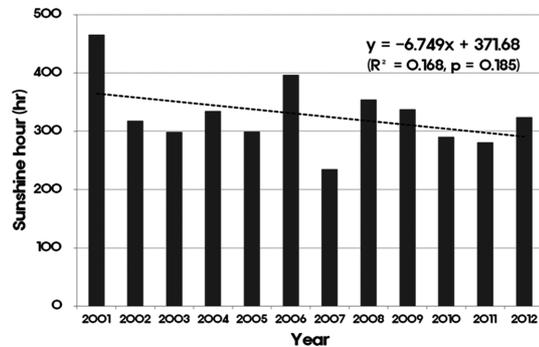


Fig. 4. Changes in total sunshine hour from August to September during the past 12 years (2001-2012) in Korea. Dotted line means trend line.

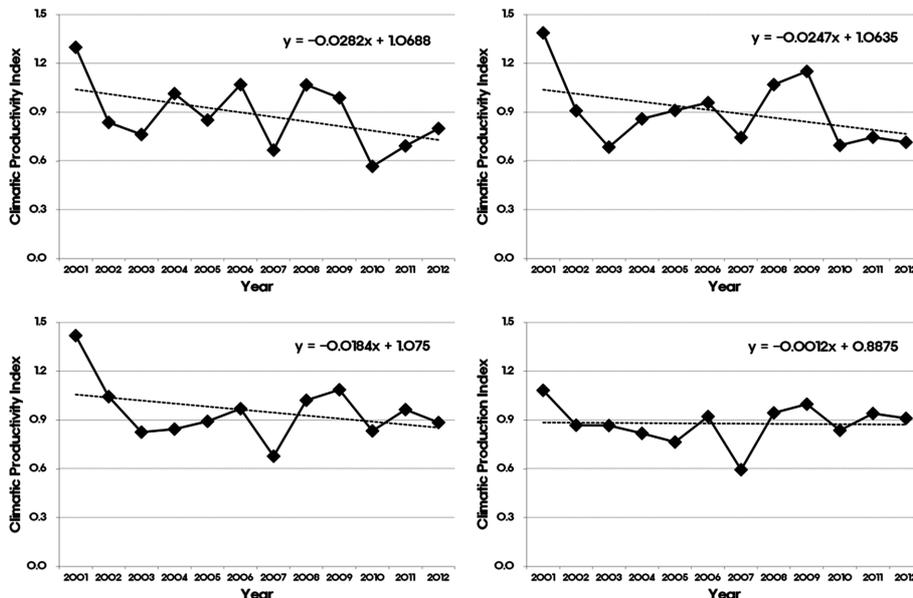


Fig. 5. Yearly changes of climatic productivity index according to the heading date of rice for 12 years from 2001 through 2012 [Aug. 1<sup>st</sup> (left\_up fig.), Aug. 11<sup>th</sup> (right\_up fig.), Aug. 21<sup>st</sup> (left\_down fig.), Aug. 31<sup>st</sup> (right\_down fig.)]. Dotted line means trend line.

른 경우에 CPI의 감소폭이 더 큰 것으로 조사되었다. 즉, 8월 1일의 출수날짜 기준에서 계산된 CPI가 연간 0.0282씩 줄어드는 반면에, 8월 21일의 출수날짜 기준에서 계산된 CPI는 연간 0.0184씩 줄어드는 것으로 분석되었다.

이와 같이 최근들어 CPI가 줄어드는 가장 큰 원인은 등숙기간의 지속적인 온도상승과 일조시간의 부족으로 판단되었다. 즉, 등숙기간에 해당되는 8~9월의 평균기온은 과거 12년동안에 약 1.0°C 상승하였고, 동 기간의 8~9월의 누적일조시간은 약 74시간 줄어들었다.

### 3.3. 기후생산력지수와 벼 수량의 관계

통계청에서 발표한 과거 12년동안의 전국 평균의 벼 수량(조곡기준)은 단위면적(10a)당 660kg으로, 벼 수량이 가장 높았던 해는 2009년으로 706kg 10a<sup>-1</sup>이고, 가장 낮았던 해는 2003년으로 609kg 10a<sup>-1</sup>으로 조사되었다. <Fig. 6>에 벼 수량의 연간 변화를 나타내었는데, 분석기간 동안에 특별히 증가하거나 줄어드는 경향을 보이지 않았다.

수원 등 66지점의 과거 12년동안의 출수날짜에 따른 CPI의 평균과 벼 수량의 전국 평균과의 관계는 <Fig. 7>과 같다. 8월 1일, 8월 11일, 8월 21일, 8월 31일의 출수날짜를 기준으로 계산한 기후생산력지수는 벼

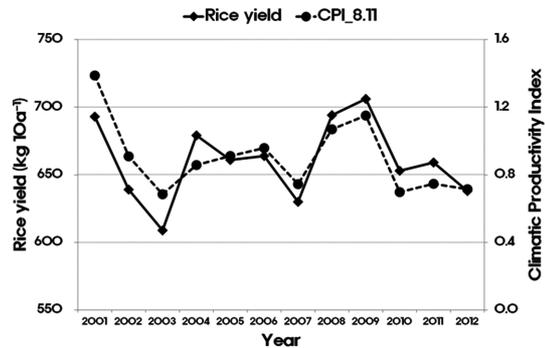


Fig. 6. Yearly changes of rice yield per unit area and climatic productivity index for heading date of Aug. 11<sup>th</sup> for 12 years from 2001 through 2012.

수량 변화의 48%, 63%, 40%, 32%를 각각 설명하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서, 8월 11일의 출수날짜를 기준으로 계산된 CPI가 벼 수량과 가장 높은 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다.

## IV. 결 론

결론적으로 CPI는 최근 벼 등숙기간의 기상특징 변화를 잘 반영하면서, 최근의 벼 생산성 변화도 어느정도 잘 설명하고 있는 것으로 평가되었다. 즉, 최근의

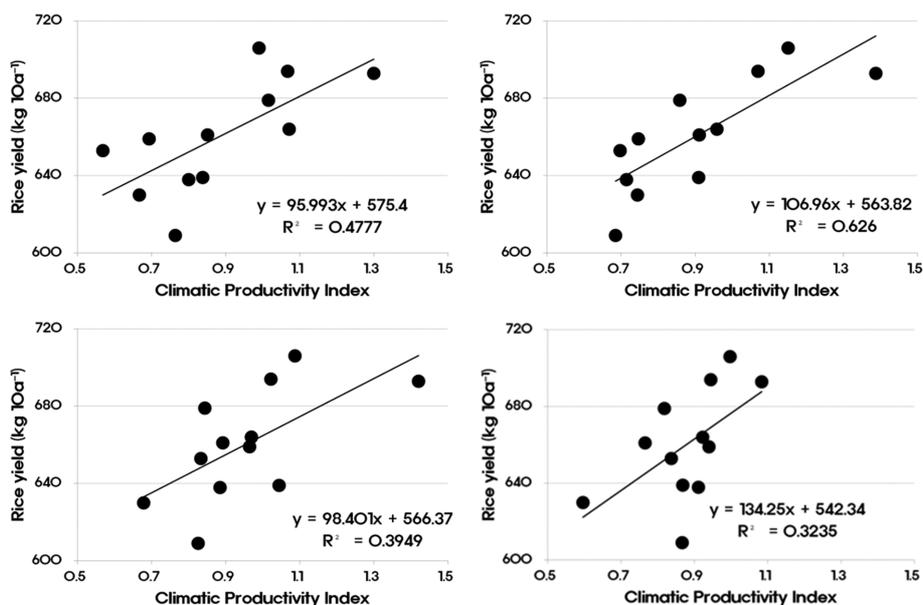


Fig. 7. Regression relationship between rice yield and climatic productivity index according to the heading date of rice [Aug. 1<sup>st</sup> (left\_up fig.), Aug. 11<sup>th</sup> (right\_up fig.), Aug. 21<sup>st</sup> (left\_down fig.), Aug. 31<sup>st</sup> (right\_down fig.)].

CPI의 감소는 벼 등숙기간의 고온과 일조시간의 부족이 원인으로 분석되었고, 감소의 정도는 출수날짜가 빠를수록 더 크게 나타났다. 반면에, 8월 31일의 벼 출수날짜를 기준으로 계산된 CPI의 연간변화는 유의한 경향성이 나타나지 않았다. 비록 12년의 짧은 기간의 자료로 분석된 결과이지만, 현재의 벼 품종을 미래에도 그대로 재배한다고 가정한다면, 안정적인 벼 수량을 확보하기 위해서는 벼 출수기를 현재보다 늦추는 재배적인 조치가 필요할 것이다.

과거 12년동안, 8월 11일을 출수날짜로 계산된 CPI는 동 기간의 전국 벼 수량의 변화를 63%정도 설명하는 것으로 분석되었는데, 벼 생산성 평가에 활용하기에는 다소 부족한 면이 있지만, CPI가 원래 집중호우, 태풍 등 급발성의 악기상에 의한 수량 변화는 반영하기가 어렵다는 점과 본 연구에 이용된 CPI의 계산식이 과거의 벼 품종과 기상조건에서 도출되었다는 점을 일부 인정하면서, 앞으로 현재의 품종과 최근의 기상조건이 반영된 새로운 관계식이 도출되어 사용된다면 다소 복잡하고 구동하는 데 많은 노력이 필요한 작물모형과 달리 간단하게 당해연도의 벼 수량 예측뿐만 아니라 미래의 벼 수량 전망에도 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

### 적 요

과거 12년동안(2001~2012년)의 벼 등숙기간인 8-9월의 기상변화 특징은 기온이 높아지고 일조시간이 줄어드는 경향이었다. 이와 같은 벼 등숙기간의 고온과 일조시간의 부족은 벼 기준의 기후생산력지수(CPI)의 감소의 원인이었고, 감소의 정도는 벼 출수기가 빠를수록 더 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서, 안정적인 벼 생산량을 확보하기 위해서는 벼 출수기를 늦추는 재배적인 조치가 필요할 것으로 판단되었다. 그리고, 과거 12년동안의 벼 수량의 변화는 특별한 경향을 나타내지는 않았으나, 벼 수량의 연간 변화는 CPI의 연간 변화와 유사한 패턴을 보였다. 특히, 출수기가 8월 11일 조건에서, 벼 수량에 대한 CPI의 일차함수는 전국 벼 수량 변이의 63%정도 설명하는 것으로 분석되었다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술

연구개발사업(과제번호: PJ01000701)의 지원에 의해 이루어진 것임

### REFERENCES

Choi, D. H., and S. H. Yun, 1989: Agroclimatic zone and characters of the area subject to climate disaster in Korea. *Korean Journal of Crop Science* **34**(s02), 13-33. (in Korean with English abstract)

Horie, T., H. Nakagawa, H. G. S. Centeno, and M. Kropff, 1995: The rice crop simulation model SIMRIW and its testing. In: Matthews, R. B. et al.(eds.), *Modeling the impact of climate change on rice in Asia*, CAB International, Oxon, UK, 51-66.

Hayashi Y. 2001: Impact of warming on rice cultivation in Japan -Current status and perspective of research-. *Agriculture and Horticulture* **76**(5), 539-544. (in Japanese)

IPCC, 2013: Summary for policymakers. In: *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*[Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 29pp.

Jung, M. P., K. M. Shim, Y. S. Kim, S. C. Kim, and K. H. So, 2014: Changing trends of climatic variables of agro-climatic zones of rice in South Korea. *Climate Change Research* **5**(1), 13-19. (in Korean with English abstract)

Kropff, M. J., R. B. Matthews, H. H. van Laar, and H. F. M. Berge, 1995: The rice model ORYZA1 and its testing. In: Matthews, R. B. et al.(eds.), *Modeling the impact of climate change on rice in Asia*, CAB International, Oxon, UK, 27-50.

Menza, F. J., and D. Silva, 2009: Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change, *Climate change* **94**, 143-156.

Shim, K. M., G. Y. Kim, K. A. Roh, H. C. Jeong, and D. B. Lee, 2008: Evaluation of agro-climatic indices under climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(4), 113-120. (in Korean with English abstract)

Singh, U., and J. L. Padilla, 1995: Simulating rice response to climate change. In: Rosenzweig C. *et al.*(eds.), *Climate change and agriculture: Analysis of potential international impacts*. ASA, Madison, 99-122.

국립기상연구소, 2009: 기후변화 이해하기 II - 한반도 기후변화: 현재와 미래 -, 동진문화사, 86pp.

농촌진흥청, 1986: 한국농업 기후특징과 수도 기상재해대책, 농촌진흥청, 194pp.