

2022년도 벼 작황시험에서 관찰된 출수기 지연 현상 보고

이현석¹, 황운하¹, 양서영¹, 송영서¹, 임우진¹, 정회정¹, 이종근¹, 이형주², 정종태³, 신종희⁴, 최명구^{1*}
¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과, ²전라남도농업기술원 식량작물연구소,
³충청남도농업기술원 작물연구과, ⁴경상북도농업기술원 작물연구과
(2022년 11월 4일 접수; 2022년 12월 19일 수정; 2022년 12월 27일 수락)

Unusual Delay of Heading Date in the 2022 Rice Growth and Yield Monitoring Experiment

HyeonSeok Lee¹, WoonHa Hwang¹, SeoYeong Yang¹, Yeongseo Song¹, WooJin Im¹,
HoeJeong Jeong¹, ChungGen Lee¹, HyeongJoo Lee², JongTae Jeong³,
JongHee Shin⁴, MyoungGoo Choi^{1*}

¹Division of Crop Physiology and Production, National Institute of Crop Science, Rural development
Administrarion, Hyeoksin-ro 181, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, Republic of Korea

²Food crop research center, Jeollanamdo Agricultural Research & Extension Services, 1508, Senam-ro,
Sanpo-myeon, Naju-si, Jeollanam-do, Republic of Korea

³Grain Research Division, Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services, 167, Chusa-ro,
Sinam-myeon, Yesan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

⁴Grain Research Division, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, 47,
Chilgokjungang-daero 136-gil, Buk-gu, Daegu, Republic of Korea

(Received November 4, 2022; Revised December 19, 2022; Accepted December 27, 2022)

ABSTRACT

It is likely that the heading would occur early when air temperature increases. In 2022, however, the heading date was delayed unusually, e.g., by 3 to 5 days although temperature during the vegetative growth stage was higher than normal years.

The objective of this study was to identify the cause of such event analyzing weather variables including average temperature, sunshine hours, and day-length for each growth stage. The observation data were collected for medium-late maturing varieties, which has been grown at crop yield experiment sites including Daegu, Andong, and Yesan. The difference in heading date was compared between growing seasons in 2021 and 2022 because crop management options, e.g., the cultivars and cultivation methods, were identical at those sites during the study period. It appeared that the heading date was delayed due to the difference in temperature responsiveness under a given day-length condition. The effect of the temperature increase on the heading date differed between the periods during which when the day-length was more than 14.3 hours before and after the summer-solstice. The effect of the temperature decrease during the period from which the day-length decreased to less than 14.3 hours to the heading date was relatively greater. This merits further studies to examine the response of rice to the temperature change under different day-length and sunshine duration in terms of heading.

Key words: Rice, Growth, Heading date, Temperature, Day-length



* Corresponding Author : MyoungGoo Choi
(audrn2122@naver.com)

I. 서 언

기후온난화 및 일시적 폭염 등의 온도 변이, 지속강우에 따른 수발아 및 침관수 등과 같은 이상기상에 따른 피해는 벼 생산의 안정성을 위협하고 있다(Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Ishigooka et al., 2017; Horie, 2019). 특히 일시적으로 평균기온이 급격하게 증가하거나 감소하는 등의 이상기상에 따른 벼의 출수기 변동은 출수 및 개화시기의 폭염으로 인한 종실의 불임 피해를 일으킬 수 있고(Wang et al., 2019; Satake and Yoshida, 1978), 일조, 온도 등의 등숙기 기상을 변화시켜 쌀의 생산 뿐만 아니라, 품질 변화에도 크게 영향을 줄 수 있기 때문에 중요하다(Shi et al., 2016).

벼의 출수기에 영향을 주는 두 가지 주요 요인은 일장과 온도이다(Ahn, 1968; Ahn and Vergara, 1969; Dua et al., 1990; Collinson et al., 1992). 일장 반응에 대한 출수까지의 벼의 생육단계는 일장에 감응하지 않는 기간(Basic vegetative period), 일장에 감응하는 기간(Photo-sensitive period), 그리고 다시 일장에 감응하지 않는 기간(Post photo-sensitive period)으로 세 단계로 나누어 진다(Veragra et al., 1985; Roberts et al., 1987). 온도와 일장에 대한 그간의 보고는 일장은 오직 Photo-sensitive period에만 영향을 미치지만(Collinson et al., 1992; Mimoto et al., 1989), 온도는 전생육기간에 영향을 미치며(Yoshida, 1981), 생육단계별로 출수에 미치는 영향력이 다르다고 하였다(Wang, 1960; Yin et al., 1997; Lee et al., 2019). 일반적으로 스트레스반응이 나타나지 않는 수준까지는 온도가 높고, 일장이 짧을수록 출수까지의 기간이 단축된다(Luan et al., 2009; Song et al., 2012). 매년 동일한 시기와 지역에 벼를 재배할 때 일장 조건의 경우에는 거의 변동이 없지만 온도는 매년 변동이 발생한다(Lee et al., 2011). 결국 온도 조건은 출수까지의 기간 및 시기 변동에 영향을 주는 주요인이다(Cho et al., 2017; Brambilla et al., 2017; Lee et al., 2019).

본 논문의 목적은 2022년도에는 출수기까지의 평균기온이 상승하였음에도 출수기가 크게 지연되었던 특이적 현상을 보고하고, 2021년도와 2022년도의 출수기까지의 생육단계별 온도 등의 기상변이 분석을 통해 특이적 출수 지연 현상에 대한 원인 분석을 시도하는 것이다.

II. 재료 및 방법

2.1. 벼 작황 조사 시험 지역

기상변화를 확인하기 위한 3개의 작황 조사지역은 충청남도농업기술원(예산), 경상북도농업기술원(대구), 경상북도농업기술원 생물자원연구소(안동)이다. 충청남도농업기술원(예산)의 위도는 36.7°, 경도는 126.8°이며, 경상북도농업기술원(대구)의 위도는 35.9°, 경도는 128.6°이며, 경상북도농업기술원 생물자원연구소(안동)의 위도는 36.6°, 경도는 128.7°이다.

2.2. 벼 작황 시험 재배 방법

동일한 지역의 2021년도 대비 2022년도의 생육 및 기상을 비교하기 때문에 일부 재배 방법 및 시험에 이용된 품종은 지역별로 다르게 적용되었다. 시험 분석에 활용된 품종은 모두 중만생종 품종이며, 대구는 일품, 삼광, 새일미 품종을 사용하였다. 안동은 새추청, 일품, 새일미, 예산은 삼광, 새일미 새누리 품종을 사용하였다. 파종기는 나주, 대구, 안동, 예산 각각 5월 10일, 4월 30일, 4월 20일, 4월 25일이었으며, 이앙기는 나주, 대구, 안동, 예산 각각 6월 5일, 5월 30일, 5월 18일, 5월 25일이다. 재식거리는 3개 지역 모두 30 x 14 cm 이며, 시비량(N-P₂O₅-K₂O, kg/10a)은 3개 지역 모두 9(N)-4.5(P₂O₅)-5.7(K₂O)이다. 그 외 재배방법은 농촌진흥청의 벼 표준재배방법에 준하였다.

2.3. 기상 자료의 수집 및 일장의 계산

기상자료의 수집은 기상자료개방 포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)에서 제공하는 중관기상관측 자료(ASOS; Automated Synoptic Observing System)의 자료를 활용하였다. 수집한 기상 요소들은 일 평균기온(°C)과 일조시간(hour)이었다. 2022년과 2021년의 각 지역의 평균온도와 일조시간은 Fig. 1과 같다.

일장의 경우에는 Goudriaan and Vam (2021)의 일장 계산법을 참고하여 각 시험 지역별 위도에 따른 일장을 계산하였다. 대구, 안동, 예산의 위도는 각각 35.9°, 36.6°, 36.7°으로 계산하였다.

2.4. 기상분석을 위한 생육단계 설정

생육단계별 기상요인분석을 위한 생육단계의 기준을 설정한 내용은 다음과 같다. 먼저 이앙(Transplanting

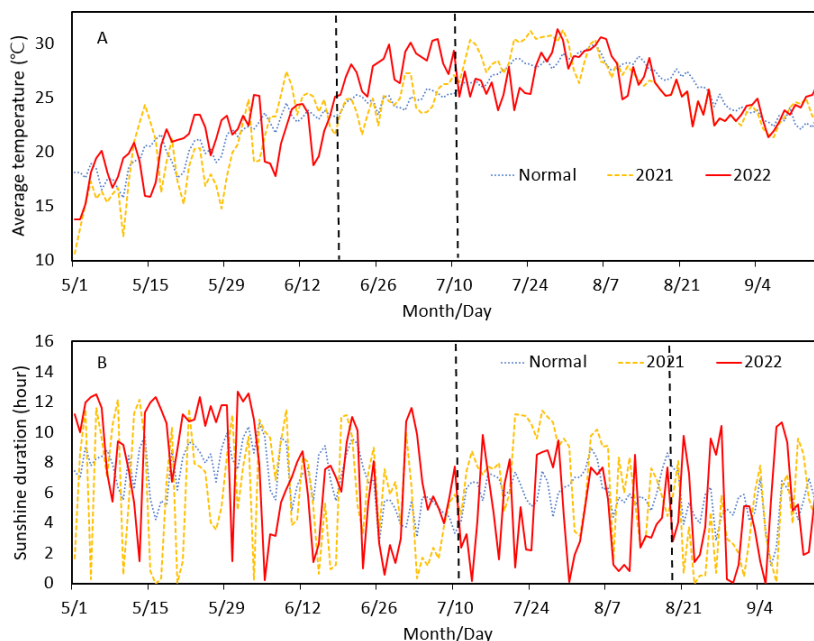


Fig. 1. Changes in average temperature (A) and sunshine duration (B) during the rice cultivation period. Normal is the average value from 2017 to 2021.

stage)기부터 하지 이후 일장이 다시 14.3시간 미만으로 감소하는 시점을 확인하였다. 이후 14.3시간 미만으로 감소하는 시점을 기점으로 이앙기부터 일장이 14.3시간으로 감소하는 시점(1), 14.3시간으로 감소하는 시점부터 출수기(2), 이앙기부터 출수기(3)으로 3개 조건의 생육 시기별 기상을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 생육단계별 평균기온 분석을 통한 출수기 지연 해석

3개 지역에서 2021년 대비 2022년도에 출수기가 지연되었는데, 대구, 안동은 5일, 예산은 3일이 지연되었다(Fig. 2). 기상요인에 따른 출수기의 변동 결과 구명하기 위하여 이앙부터 출수(TP-HD)까지의 평균기온을 확인한 결과(Table 1), 대구, 안동, 예산의 평균기온이 2022년도에는 26.6°C, 24.8°C, 24.6°C 2021년도 평균기온 26.0°C, 23.5°C, 24.3°C 대비 각각 0.6°C, 1.3°C, 0.3°C 증가되어, 평균기온이 높을수록 출수기가 단축된다는 잘 알려진 기존의 결과(Cho *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019)와는 상반된 결과를 확인하였다(Table 1). 온도가 증가하였으나 출수기가 지연되어 적산온도는

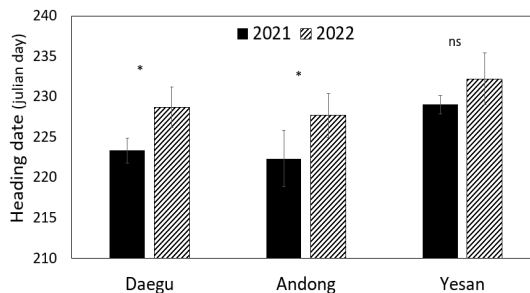


Fig. 2. Difference in heading date between 2021 and 2022 by experiment site.

2022년이 2021년 보다 대구, 안동, 예산에서 240, 277, 129이 더 증가하였다(Table 2). Lee 등(2019)의 결과에 발표된, 중만생종에서 온도에 따른 출수기 변동에 가장 민감한 생육단계(감수분열기부터 출수기까지)의 변동값을 적용하여 출수기를 분석하면, 출수가 약 4~5일 지연되기 위해서는 30일간 평균기온이 약 2~2.5°C가 감소하여야 하기 때문에, 대구와 안동에서 출수기가 약 5일 가량 지연된 결과가 DD에서 HD까지 기간의 온도 감소로만 단순히 설명할 수는 없었다.

누적 온도와 생육단계는 일반적으로 선형관계로 표현한다(McMaster and Wilhelm,1997). 따라서 동일

Table 1. Differences in average temperature between 2021 and 2022 by growth stage

Growth stage	Year	Average temperature (°C)		
		Daegu	Andong	Yesan
TP~DD	2021	23.5	20.3	21.1
	2022	25.6	22.4	22.7
Difference (2022-2021)		2.1	2.1	1.6
DD~HD	2021	28.3	27.2	26.6
	2022	28.0	26.2	25.8
Difference (2022-2021)		-0.3	-1.0	-0.8
TP~HD	2021	26.0	23.5	24.3
	2022	26.6	24.8	24.6
Difference (2022-2021)		0.6	1.2	0.4

TP: Transplanting stage, DD: Day-length decline point (The day when the day-length decreases to less than 14.3 hours after the summer solstice). HD: Heading date.

Table 2. Differences in accumulated temperature between 2021 and 2022 by growth stage

Growth stage	Year	Accumulated temperature (°C)		
		Daegu	Andong	Yesan
TP~DD	2021	959.4	1160.4	1037.8
	2022	1050.2	1302.9	1112.0
Difference (2022-2021)		90.8	142.5	74.2
DD~HD	2021	847.6	788.9	957.4
	2022	1006.4	916.2	1005.3
Difference (2022-2021)		158.8	127.3	47.9
TP~HD	2021	1807.0	1949.3	1995.2
	2022	2056.6	2219.1	2117.3
Difference (2022-2021)		249.6	269.8	122.1

TP: Transplanting stage, DD: Day-length decline point (The day when the day-length decreases to less than 14.3 hours after the summer solstice). HD: Heading date.

지역에서 동일한 이앙기 및 품종을 재배한다면 일반적으로 출수기까지의 적산온도는 일정해야만 한다. 그러나 오히려 온도가 높았음에도 출수까지의 적산온도가 증가하였다는 것은 벼의 생육과 온도의 반응이 선형관계가 아닐 수도 있음을 의미한다. 그러나 대부분의 작물모형에서 채용하고 있는 생육과 온도와의 관계는 이러한 선형성에 기초한 것이다(Bouman, 2001; Singh *et al.*, 1993). 현재까지 널리 사용된 것을 보았을 때 온도에 대한 반응이 생육단계에 따라 달라진 것으로 볼 수 있다.

출수에 영향을 미치는 온도에 대한 반응은 생육단

계 및 일장 조건에 따라서 차이가 발생한다고 발표한 기존의 결과를 참고하여(Lee *et al.*, 2019), 일장을 고려하여 생육단계를 구분한 뒤 생육단계별로 평균기온을 분석한 결과는 Table 1에 나타내었다. 이앙기(TP)부터 일장이 14.3시간 미만으로 감소하는 시기(DD)까지의 평균기온은 2021년도 대비 대구, 안동, 예산 각각 1.8°C, 2.6°C, 1.3°C 높아 3개의 지역에서 모두 증가하였으며, 일장이 14.3시간 미만으로 감소하는 시기(DD)부터 출수기(HD)까지는 평균기온이 대구, 안동, 예산 각각 0.3°C, 1.0°C, 0.8°C 감소한 것을 확인하였다(Table 1) 기본영양생장기간 이후 감광반응이 가능

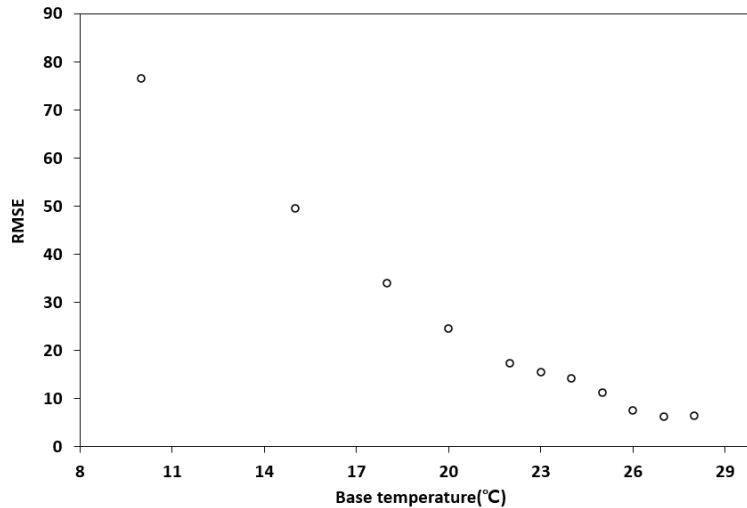


Fig. 3. Base temperature RMSE(Root mean square error).

한 생육단계에서는 장일조건 대비 단일조건에서 온도가 출수반응에 미치는 영향이 증가한다는 연구 결과(Ahn and Vergara; 1969; Lee *et al.*, 2019)를 통해서, 결국 2021년도 대비 2022년도의 출수기가 3~5일 지연된 결과는, TP에서 DD까지의 평균기온 증가에 따른 출수를 촉진시킬 수 있었으나, 일장이 14.3시간 미만으로 짧아지는 구간인 DD에서부터 HD까지는 평균기온 감소에 따른 출수 속도 저하의 영향이 더 컸던 것으로 추정된다(Table 1). 즉, 이 구간의 온도에 대한 반응은 일장 감소 이전의 생육의 온도에 대한 반응과는 다른 것으로 보이며, 앞서 제시한 바와 같이 온도에

대한 생육속도가 선형적으로 증가하는 것이 아닌 다른 비선형 생육일 수도 있으며 또는 생육주요온도(cardinal temperature)가 이 구간에서는 다른 것일 수도 있다. 현재의 자료로는 온도에 대한 생육 곡선을 결정할 수 없지만 최저온도 추정을 시도해 볼 수 있다. 최저온도 결정법 중 모든 자료에 대해 차이가 최소가 되는 온도를 찾아내는 방법을 이용하였다(Yang *et al.*,1995). 그 결과 최저온도가 27°C 근방으로 계산되었다(Fig. 3). 현실적으로 27°C가 최저온도일 가능성은 높아 보이지 않으며, 생식성장기로 전환되는 시점에는 생육에 대한 온도 반응 곡선이 다를 가능성이

Table 3. Differences in sum of sunshine between 2021 and 2022 by growth stage

Growth stage	Year	Sum of sunshine (hour)		
		Daegu	Andong	Yesan
TP~DD	2021	232.3	339.8	260.7
	2022	291.9	452.2	294.2
Difference (2022-2021)		59.6	112.5	33.5
DD~HD	2021	234.3	249.6	277.2
	2022	171.7	172.3	156.6
Difference (2022-2021)		-62.6	-77.3	-120.6
TP~HD	2021	466.6	589.4	537.9
	2022	463.6	624.6	450.8
Difference (2022-2021)		-3.0	35.2	-87.1

TP: Transplanting stage, DD: Day-length decline point (The day when the day-length decreases to less than 14.3 hours after the summer solstice). HD: Heading date.

높다. 이를 위해서는 생육단계별로 온도의 변화를 주어 각 구간별 온도에 따른 생육 속도 반응 함수 또는 구간별 생육주요온도를 결정하는 연구가 필요할 것을 생각된다.

3.2. 생육단계별 일조시간 및 적산온도 변동

온도와 일장 외 벼 생육 발달에 주요한 기상요인 중 하나인 일조시간을 생육단계별로 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. 온도가 감소했던 DD에서 HD 까지 기간 동안에는 일장이 크게 감소하였는데, 대구, 안동, 예산 각각 62시간(26%), 82시간(32%), 120시간(43%)이 감소하였다(Table 3). 일사량, 일조시간의 감소는 애기장대 등과 같은 작물의 광합성을 저해하여 동화산물의 생산을 감소시켜, 생육발달 및 생식 생장 단계로의 전환을 지연시킨다고 알려져 있다(Yang et al., 2013; Xu et al., 2021). 하지만 벼에서는 출수 반응과 관련된 연구가 주로 온도 및 일장에 따른 기작 구명에 주로 초점이 맞추어져 있으며(Song et al., 2012; Cho et al., 2017; Brambilla et al., 2017), 일사 조건에 따른 출수반응 연구는 일장을 조절하는데 사용하는 보광조건에서의 일사량 조절, 야간조파 등의 수준에서 진행된 연구 결과들이 있을 뿐(Best, 1961), 일사량에 따른 출수반응을 분석한 연구가 매우 미흡한 상황이다. 일사량, 일조시간은 벼의 생육 발달에 분명히 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이기 때문에, 생장 단계별 일사조건에 따른 생육발달이 출수반응에 미치는 연구 또한 필요할 것으로 생각된다.

적 요

최근 기후변화에 따른 이상기상의 증대는 안정적인 벼 생산에 위협을 주고 있으며, 출수기의 변동은 기후 변화 적응에 주요한 요인 중 하나이다. 2022년도에는 이양부터 출수까지의 생육기간 동안 평균기온이 증가하였음에도 출수기가 5일 이상 지연되는 등의 특이적인 결과를 보였으며, 일반적인 생육단계별로 온도가 출수에 미치는 반응을 고려해 결과를 해석할 수 없었다. 이는 생육단계에 따른 온도의 반응이 다를 수 있어 벼의 출수기 변동을 정확하게 판단하는 것에 한계가 있을 것으로 생각되었으며 또한 일장조건별로 출수 반응에 미치는 온도의 영향이 달라질 수 있기 때문에 이를 구명하는 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 생육단계별로 일사량, 일조시간 등 일사 조건에 따른 생육 발달

변화가 출수 반응에 미치는 영향에 대한 연구가 미흡한 상황으로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 벼 지역별 생육 및 수량 관측 DB 구축을 위한 작황조사시험 및 작황진단 시험, 세부과제번호: PJ01582001)의 지원에 의해 이루어진 결과의 일부입니다. 연구사업 수행에 협조해 주신 모든 분들에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Ahn, S. B., and V. S. Vergara, 1969: Studies on responses of the rice plant to photoperiod III. response of Korean varieties. *Korean Journal of Crop Science* **5**, 45-49.
- Best, R., 1961: Some aspects of photoperiodism in rice (*Oryza sativa* L.) (Doctoral dissertation, Elsevier).
- Brambilla, V., D. Martignago, D. Goretti, M. Cerise, M. Somssich, M. de Rosa, and F. Fornara, 2017: F. Antagonistic transcription factor complexes modulate the floral transition in rice. *The Plant Cell* **29**(11), 2801-2816.
- Bouman, B. A. M., 2001: *ORYZA2000: modeling lowland rice*. IRRI.
- Cho, L. H., J. Yoon, G. An, 2017: The control of flowering time by environmental factors. *The Plant Journal* **90**(4), 708-719.
- Collinson, S. T., R. H. Ellis, R. J. Summerfield, and E. H. Roberts, 1992: Durations of the photoperiod-sensitive and photoperiod-insensitive phases of development to flowering in four cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany* **70**, 339-346.
- Dua, A. B., F. W. T. Penning de Vires, and D. V. Seshu, 1990: Simulation to support evaluation of the production potential of rice varieties in tropical climates. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **33**, 1185-1194.
- Goudriaan, J., and H. H. Van Laar, 2012: Modeling potential crop growth processes: textbook with exercises (Vol. 2). *Springer Science & Business Media*.
- Horie, T., 2019: Global warming and rice production in Asia: Modeling, impact prediction and adaptation. *Proceedings of the Japan Academy* **95**(6), 211-245.
- Ishigooka, Y., S. Fukui, T. Hasegawa, T. Kuwagata, M. Nishimori, and M. Kondo, 2017: Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate

- change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan. *Journal of Agricultural Meteorology* **73**(4), 156-173.
- Luan, W., H. Chen, Y. Fu, H. Si, W. Peng, S. Song, W. Liu, G. Hu, Z. Sun, D. Xie, and C. Sun, 2009: The effect of the cross talk between photoperiod and temperature on the heading-date in rice. *PLoS ONE* **4**, e5891. doi:10.1371/journal.pone.0005891
- Lee, C. G., K. Kwak, J. H. Kim, J. Son, and W. Yang, 2011: Impacts of climate change and follow-up cropping season shift on growing period and temperature in different rice maturity types. *Korean Journal of Crop Science* **56**(3), 233-243.
- Lee, C. G., J. W. Kim., J. Shon, W. Yang, Y. Yoon, K. Choi, and K. Kim, 2012: Impacts of climate change on rice production and adaptation method in Korea as evaluated by simulation study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 207-221.
- Lee, H., M. Choi, Y. Lee, W. Hwang, J. Jeong, S. Yang, Y. Lim, C. Lee, and K. Choi, 2019: Temperature-dependent differences in heading response at different growth stages of rice. *The Korean Journal of Crop Science* **64**, 213-224.
- Lee, H., W. Hwang, J. Jeong, S. Yang, N. Jeong, C. Lee, and M. Choi, 2021: Physiological causes of transplantation shock on rice growth inhibition and delayed heading. *Scientific reports* **11**, 16818.
- McMaster, G. S., and W. W. Wilhelm, 1997: Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* **87**(4), 291-300.
- Roberts, E. H., R. J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops. In: Atherton JG, ed. *Manipulation of flowering*. London: Butterworths, 17-50.
- Singh, U., J. T. Ritchie, and D. C. Godwin, 1993: A user's guide to CERES Rice, V2. 10. Muscle Shoals: International Fertilizer Development Center.
- Song, Y., Z. Gao, and W. Luan, 2012: Interaction between temperature and photoperiod in regulation of flowering time in rice. *Science China Life Sciences* **55**, 214-249.
- Vergara, B. S., and T. T. Chang, 1985: *The flowering response of the rice plant to photoperiod*. 4th edn, Los Banos, Philippines: IRRI.
- Xu, M., T. Hu, and R. S. Poethig, 2021: Low light intensity delays vegetative phase change. *Plant Physiology* **187**, 1177-1188.
- Yang, S., J. Logan, and D. L. Coffey, 1995: Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology* **74**(1-2), 61-74.
- Yang, L., M. Xu, Y. Koo, J. He, and R. S. Poethig. 2013: Sugar promotes vegetative phase change in *Arabidopsis thaliana* by repressing the expression of MIR156A and MIR156C. *ELife Sciences* **2**, e00260. DOI: 10.7554/eLife.00260.
- Yang, W., K. Choi, J. Shon, S. Kang, S. Shin, K. Shim, J. Kim, H. Jung, J. Jang, J. Jeong, C. Lee, Y. Yun, S. Kwon, K. N. An, J. Shin, and S. M. Bae, 2015: Effects of temperature and sunshine hours during grain filling stage on the quality-related traits of high quality rice varieties in Korea. *The Korean Journal of Crop Science* **60**(3), 273-281.