한작지(Korean J. Crop Sci.), 63(4): 282~293(2018)
DOI : https://doi.org/10.7740/kjcs.2018.63.4.282

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)

Original Research Article

벼 품종의 출수생태 특성에 따른 포장 출수 반응 분석

양운호[1,†] · 강신구[2] · 김숙진[2] · 최종서[2] · 박정화[2]

The Heading Response of Field-grown Rice Varieties of Different Heading Ecotypes in Korea

Woonho Yang[1,†], Shingu Kang[2], Sukjin Kim[2], Jong-Seo Choi[2], and Jeong-Hwa Park[2]

ABSTRACT The heading response of rice varieties is determined by the combined effects of their basic vegetative phase (BVP), photoperiod-sensitivity (PS), and thermo-sensitivity (TS). This study was performed to analyze the effect of differences among heading ecotypes of rice on their heading response in the field. To do this, we investigated the heading response of 15 varieties grown under different day-length and temperature conditions in a phytotron. The characteristics of heading ecotypes were compared to the heading responses in the field-grown rice varieties that were used in the phytotron experiments. The ranges of these characteristics across the 15 varieties were 18 - 35 days for BVP, 12 - 61 days for PS, and 12 - 35 days for TS. In comparisons of coupled varieties that differed only in a single trait among BVP, PS, and TS, the variety with the longer BVP and that with the higher PS had a longer period from sowing to heading (DTH), while the variety with the higher TS had a shorter DTH. The comparative magnitude of DTH in the coupled varieties followed the PS trait when BVP and PS were involved, the BVP trait when BVP and TS were involved, and the PS trait when PS and TS were involved in the heading response of field-grown rice. When comparing the coupled varieties with different traits of the three examined factors, the heading response was consistent with the PS trait. The DTH in all 15 varieties was significantly correlated with the PS, and the DTH in 9 selected varieties with a relatively small PS was correlated with BVP. The reduced DTH of rice in the July 10 seeding treatment compared to those in the June 25 and May 11 seeding treatments was positively associated with PS, but not with TS. We concluded that the heading response of rice varieties under natural conditions in Korea is mainly governed by the PS trait and is also greatly affected by the BVP trait when the PS is small.

Keywords : ecotype, heading, rice

벼 품종의 조만성과 관련되어 지역 적응성을 결정하는 주요 요인으로, 온도, 일장, 일조시간이 제시된 바 있으나(Lim, 1981), 일반적으로 벼의 출수를 조절하는 주요 생태적 요인은 일장과 온도로 알려져 있다(Vergara & Chang, 1985). 벼의 생육 시기는 영양생장기와 생식생장기로 구성되며, 영양생장기는 기본영양생장기와 가소영양생장기로 나뉜다(Kakizaki, 1938). 벼에서 기본영양생장기는 적당한 온도와 일장이 주어져도 생식생장기로 전환되지 않는 기간을 말한다. 실험적 방법으로 기본영양생장기는 최적 일장과 온도에서 생육한 벼의 파종-출수기 기간에서 30-35일을 뺀 기간이 된다(Choi *et al*., 2006; Katayama, 1971; Oka, 1958; Vergara *et al*., 1965). 가소영양생장기는 일장과 온도의 영향을 받는데, 벼의 출수는 단일에서 단축되며(Asakuma & Kaneda, 1967), 자연 일장에서 출수 소요일수는 고온에 의해 촉진된다(Asakuma, 1958). Luan *et al*. (2009)은 저온, 장일에서 벼의 출수가 지연되는 분자생물학적 요인으로 *Hd3a*의 억제를 제시하였다.

벼의 출수 소요일수는 단일 조건에서 짧아지지만(Choi *et*

[1)]농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구관 (Senior Research Scientist, Crop Cultivation and Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)
[2)]농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구사 (Junior Research Scientist, Crop Cultivation and Environment Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

[†]Corresponding author: Woonho Yang; (Phone) +82-31-695-4130; (E-mail) whyang@korea.kr
<Received 26 September, 2018; Revised 7 November, 2018; Accepted 13 November, 2018>

ⓒ 본 학회지의 저작권은 한국작물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

al., 1983), 일장이 짧아질수록 출수가 촉진되는 것은 아니다. 파종에서 출수까지의 기간이 가장 짧아지는 일장을 최적 일장이라 하며, 일장이 이보다 길거나 짧으면 개화가 지연된다(Chandararatna, 1952; Venkataraman, 1964). Ahn & Vergara (1969)는 우리나라 품종의 최적 일장이 10시간에 가깝다고 보고하였다. 24시간 장일이 지속되는 조건에서 검토하였을 때, Asakuma & Kaneda (1967)는 모든 품종이 파종 후 114-200일에 출수하였다고 하였으나, 다른 연구에서 어떤 품종은 12년간 생육한 후에도 영양생장기에 머물러 있던 것으로 보고되었다(Kondo *et al*., 1942). 벼의 출수에 필요한 단일 조건의 지속 정도에 대하여 Suge (1973)는 photo-inductive cycle의 수가 관여하며, cycle 수가 달라지면 개화 촉진의 정도도 달라진다고 하였다. 이는 벼의 개화에 대하여 일장이 적산 효과를 보이며 개화 유도를 위해서는 어떤 임계 수준에 도달해야 한다는 것을 의미한다(Katayama, 1977; 1978; 1980). 벼에서 일장을 가장 잘 인식하는 부위는 가장 어린 완전 전개엽으로 알려져 있다(Manuel & Velasco, 1957).

온도가 벼 출수에 미치는 영향에 대한 연구 결과도 많이 보고되었다. Lim (1981)은 출수에 영향을 미치는 한계 저온이 품종에 관계없이 18.2°C라고 하였다. Ahn & Vergara (1969)와 Asakuma (1958)에 따르면, 자연 일장에서 이앙-출수기의 기간은 일장보다 온도의 영향을 크게 받는다. 지역과 연차에 따라서는 주어진 품종에 대하여 출수에 일정한 적산온도가 필요하다는 연구 결과가 보고된 반면(Lee *et al*., 1994), 동일 지역에서 재배시기에 따라서는 조기재배에서 출수 소요 적산온도가 크고 만기재배에서 적어진다고 보고되었다(Asakuma, 1958). 조기재배에서는 파종 후 31-40일의 적산온도가 높으면 출수 소요일수가 적어지나 적기재배에서는 적산온도와 출수 소요일수 사이에 유의한 상관관계가 없다고 보고되어(Choi, 1965), 일장 반응 기간에는 온도의 영향이 크지 않다는 Ahn & Vergara (1969)의 보고와 일맥상통한다. Lee(1983)는 "(최고기온+최저기온)/2-10°C"의 누적 값인 growing degree day가 포장에서 출수기 추정에 적합하다고 하였다. 일본에서는 3-7월까지 파종이 늦을수록 대부분의 품종에서 출수 소요일수가 감소하며, 어떤 품종은 5월보다 6월 파종에서 출수 소요일수가 증가하는데, 이들은 단일에 둔감하다고 보고되었다(Asakuma & Iwashita, 1961). Lim (1981)은 벼의 출수에 대한 기온, 일장, 일조시간은 상호작용이 없다고 하였으나, Roberts & Carpenter (1965)는 온도가 높아지면 최적 일장이 길어진다고 하였다. 일장과 달리 벼에서 온도를 인식하는 부분은 엽초의 생장점으로 알려져 있다(Uekuri, 1971).

벼의 출수는 기본영양생장성, 감광성, 감온성에 따라 결정되고, 출수기는 품종의 조만성을 결정한다. 기본영양생장성은 통일형 품종보다 자포니카 품종에서(Choi *et al*., 1983), 조생종보다 만생종에서(Ahn & Vergara, 1969), 저위도 지역보다 고위도 지역 재배 품종에서 짧다고 보고되었다(Wada, 1952; 1954). 우리나라 벼 20품종에 대한 검토 결과, 기본영양생장성은 17-35일이었다(Choi *et al*., 2006). Zhang (1983)은 기본영양생장성이 클수록 생육 기간의 변이가 적고, 감광성이 클수록 변이가 커진다고 하였다. 출수가 늦은 품종은 빠른 품종보다 감광성이 크며(Ahn & Vergara, 1969; Ghose & Shastry, 1954), 만생종은 조생종보다 장일에 더 민감하게 반응하는 기간이 있다고 보고되었다(Ahn & Vergara, 1969). Vergara & Chang (1985)은 작부체계 적응성 향상을 위해 일장에 둔감한 조생종의 육성이 현재 세계적인 품종 육성의 경향이라고 분석하였다.

이와 같이 인위적으로 조절된 환경 조건과 자연 포장 조건에서 많은 연구가 이루어졌으나, 벼 품종의 출수생태 특성에 따라 우리나라의 자연 조건에서 출수 반응을 검토한 연구보고는 부족하다. 따라서 본 연구는 벼 품종 육성을 위한 기초자료를 제공할 목적으로, 품종의 기본영양생장성, 감광성, 감온성 특성에 따라 포장 조건에서 나타나는 출수기 변화의 양상을 알아보기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2015~2017년 국립식량과학원 중부작물부 인공기상실과 벼 재배시험 포장(수원, 37°27'N, 126°99'E, 해발 34 m)에서 조생종 6품종, 중생종과 중만생종 각 3품종, 북한 육성 3품종을 이용하여 수행하였다.

인공기상실 시험

기본영양생장성 조사

벼 품종의 출수를 촉진하는 최적 일장과 기온을 알아보기 위한 사전 시험 결과, 일장 10~12시간과 평균기온 28°C에서 출수가 가장 빨랐다. 일장의 경우 10시간과 12시간 처리에서 출수기는 비슷하였으나, 10시간 조건에서는 벼가 도장하고 생육이 불량하였다. 공시 품종의 기본영양생장성을 알아보기 위하여 본 실험에서는 인공기상실 Growth chamber에서 1/5000 와그너 포트에 최아종자를 파종한 후 일장 12시간과 평균기온 28°C (일교차 8°C, 매시간 자동 온도조절)로 처리하여 출수기를 조사하였다. 낮 시간 동안 광도는 1,200 μmol/m^2/s로 유지하였다. 포트당 질소 1 g에 해당하는 완효성비료를 전량 기비로 시용하였으며, 정상적인 발아와 입모를 위하여 벼의 입모까지(파종 후 10~14일간) 토

양 수분을 포장 용수량 수준으로 유지하였다. 벼가 입모된 후 포트당 4개체만 남기고 모두 제거하였으며, 이후에는 담수 상태로 관리하였다. 출수기는 한 포트에서 최초의 이삭이 잎집에서 1/2 정도 추출된 날짜를 기준으로 하였다. 위와 같은 방법으로 2015년 10월 15일과 11월 27일에 2회 파종하여 시험하였으며, 파종 후 최종 출수 소요일수는 2회 시험 중 짧은 기간으로 하였다. 기본영양생장성은 Katayama (1971)와 Oka (1958)의 방법에 따라 출수 소요일수에서 30일을 뺀 기간으로 계산하였다.

감광성과 감온성 조사

기본영양생장성 조사에서와 같은 방법으로 인공기상실 growth chamber를 이용하여 품종별 감광성과 감온성을 조사하였다. 감광성 조사를 위해서는 평균기온 28°C 조건에서 일장을 13, 14, 15시간으로, 감온성 조사를 위해서는 일장 12시간 조건에서 평균기온을 22, 24, 26°C로 2회 처리하여 품종별 출수기를 조사하였다. 1차 시험은 2016년 7월 8일에, 2차 시험은 12월 23일에 파종하여 처리를 시작하였다. 최종 출수 소요일수는 2회 처리 중 짧은 기간으로 하였다. 감광성은 각 품종별 일장에 따른 출수 소요일수 추산식을 구한 후 12시간 대비 수원 지역 벼 재배기간 중 최장 일장인 14.7시간에서 출수 소요일수 증가 정도로 계산하였다. 감온성은 28°C 대비 포장 파종시기 시험에서 품종별 기본영양생장기가 끝난 후 가장 낮은 평균기온과 비슷한 22°C에서 출수 소요일수 증가 정도로 평가하였다.

기본영양생장성, 감광성, 감온성 비교 품종 선택

기본영양생장성, 감광성, 감온성에 차이를 보이는 품종을 비교하기 위하여, 각 요인, 2요인, 3요인에서 차이를 보이는 품종 조합을 선택하였다. 각 요인별로 차이가 1일 이하이면 품종간 차이가 없는 것으로, 5일 이상 차이를 보일 때 품종간 차이가 있는 것으로 간주하여 품종 비교 조합을 구성하였다.

포장시험

포장시험은 인공기상실 시험에서와 동일한 15품종을 이용하여 2016년과 2017년에 수행하였다. 재배양식은 이앙재배의 못자리 기간에 의한 온도 감응을 방지하지 위하여 담수산파재배를 선택하였으며, 2년 모두 5월 11일에서 7월 10일까지 15일 간격으로 5회 직파하였다. 인공기상실 시험과 기준을 맞추기 위하여 처리구별로 최초 이삭이 출수한 날짜를 출수기로 하였으며, 2년 평균 파종 후 출수 소요일수를 기준으로 인공기상실 시험에서 조사한 기본영양생장성, 감광성, 감온성 특성과 비교하였다. 파종량, 시비량, 물관리, 병해충 및 잡초 방제 등 재배방법은 농촌진흥청 담수표면산파 표준재배법에 따랐다(Rural Development Administration, 2017). 기상자료는 기상청 기상정보개방포털에서 수집하여 이용하였다.

성적분석

기본영양생장성, 감광성, 감온성의 상호관계, 품종의 출수생태 특성과 직파시기에 따른 포장 출수기의 관계는 단순상관 분석을 이용하였다.

결과 및 고찰

벼 품종의 출수생태 특성

일장과 기온에 따른 벼 품종별 출수 소요일수는 Table 1과 같다. 출수가 가장 촉진되는 일장 12시간, 평균기온 28°C에서 출수 소요일수는 새누리, 백일미, 원산69에서 48~50일로 짧았고, 중모1043과 아세미에서 62~63일로 길었다. 평균기온 28°C 조건에서 처리 일장 중 출수가 가장 지연되는 15시간에서 출수 소요일수는 백일미와 북한 품종인 길주1, 원산69, 온포1에서 67~69일로 짧았고, 새누리와 영호진미에서 135일로 가장 길었다. 일장 12시간 조건에서 처리 온도 중 출수가 가장 지연되는 22°C에서 출수 소요일수는 호품에서 64일로 가장 짧았고, 아세미에서 91일로 가장 길었다.

일장 단축에 따른 출수 소요일수 감소 효과는 대부분의 품종에서 15시간에서 14시간으로 짧아질 때 가장 컸다(Fig. 1A). 출수 소요일수는 중모1043의 경우 일장이 15시간에서 1시간씩 짧아짐에 따라 단축 정도가 비슷하였고, 온포1은 13시간에서 12시간으로 짧아질 때 단축 정도가 가장 컸으며, 길주1은 15시간에서 14시간으로 짧아질 때 단축 정도가 가장 적었다. 일장에 대한 출수 반응은 품종의 고유 특성으로 볼 수 있으며, 이와 같은 결과는 개화하는 가장 긴 한계일장이 품종에 따라 다르다는 보고(Vergara & Chang, 1985)와 일맥상통한다. 장일 조건인 15시간에서 14시간으로 일장이 단축될 때 출수 소요일수 감소 정도가 중만생종인 새누리, 영호진미, 호품에서 컸던 결과는 조생보다 만생종이 장일에 민감한 기간을 갖는다는 Ahn & Vergara (1969)의 보고와 일치한다. 평균기온 상승에 따른 출수 소요일수 감소 효과는 대부분의 품종에서 22°C에서 24°C로 증가할 때 가장 컸다(Fig. 1B). 이 온도 변화에서 품종별 출수 소요일수 감소 정도는 길주1, 하이아미, 평양21에서 가장 컸고, 다음으로 백일미와 아세미에서 컸다. 이와 다르게 중모1043과 온포1은 평균기온 26°C에서 28°C로 상승할 때, 청아는

Table 1. Effects of day-length and temperature on the number of days from sowing to heading in different rice varieties.

Variety	Day-length† (hr)				Mean temperature† (°C)			
	12	13	14	15	22	24	26	28
Baegilmi	49	52	54	69	75	60	53	49
Joun	52	59	61	73	70	61	54	52
Jopyeong	54	59	63	74	71	61	55	54
Junamjosaeng	53	56	61	72	66	55	53	53
Jungmo1043	62	67	71	77	87	77	75	62
Asemi	63	65	70	85	91	76	74	63
Onpo1	55	64	66	69	80	68	69	55
Wonsan69	50	59	60	68	76	64	55	50
Gilju1	54	61	67	67	81	62	62	54
Cheonga	57	64	65	89	82	73	60	57
Haiami	57	60	62	95	82	64	59	57
Pyongyang21	54	67	69	89	89	71	63	54
Hopum	52	52	64	114	64	54	52	52
Saenuri	48	59	74	135	67	55	48	48
Yeonghojinmi	57	62	74	135	74	64	58	57

†Day-length and mean temperature treatments were conducted under the mean temperature of 28°C and the day-length of 12 hours, respectively.

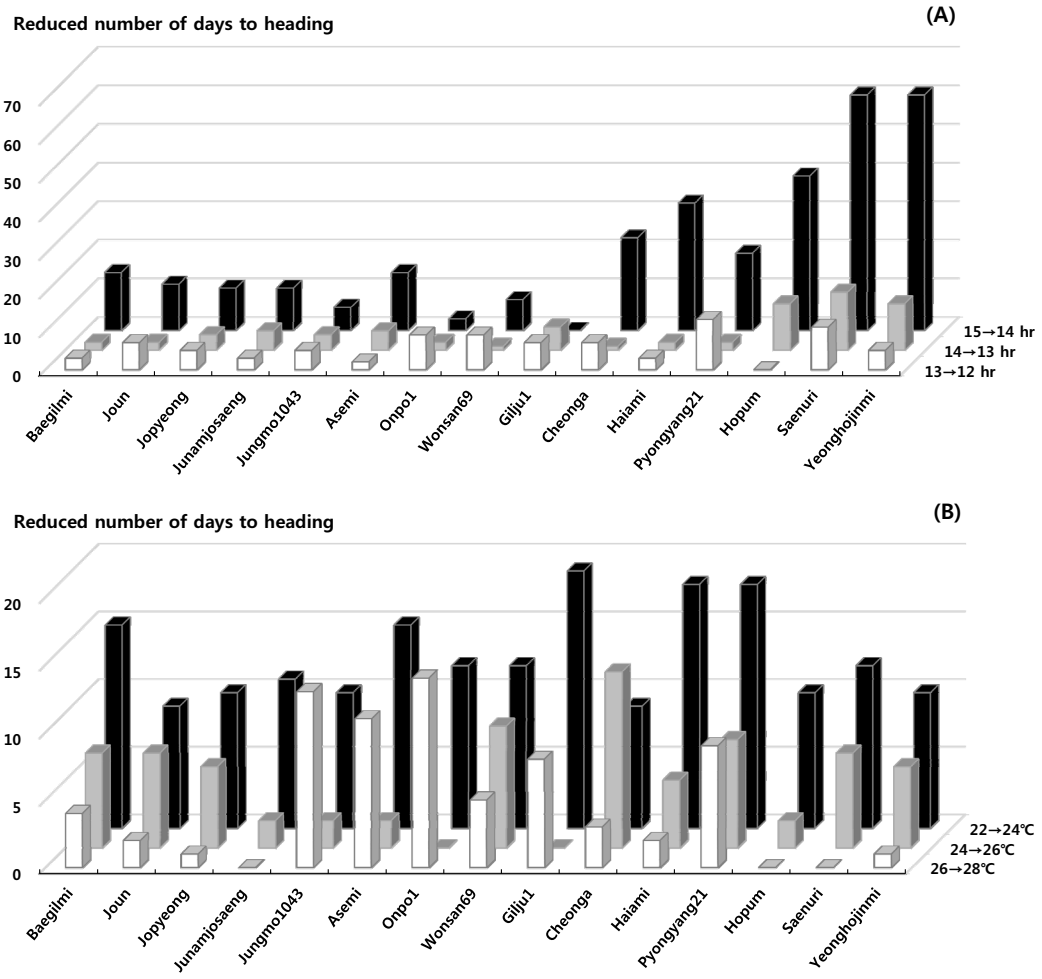

Fig. 1. Reduced number of days from sowing to heading with (A) changes in the day-length and (B) mean temperature.

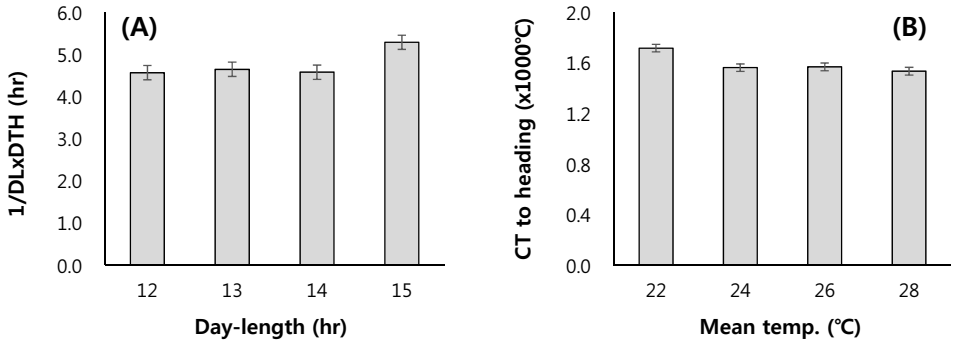

Fig. 2. (A) The cumulative day-length effect for the period from sowing to heading (1/DL×DTH) in the different day-length treatments, and (B) the cumulative temperature for the same period in different temperature treatments. Data are the means of 15 rice varieties and error bars are the least significance difference across the varieties (P = 0.05). DL: day-length, DTH: number of days from sowing to heading, CT: cumulative temperature.

24°C에서 26°C로 상승할 때 출수 소요일수 단축 정도가 가장 컸다. Choi *et al*. (2006)은 우리나라 벼 20품종에 대하여 가소영양생장기간이 온도 상승에 따라 비슷하게 감소하는 품종과 저온에서 온도가 증가하면서 급격히 감소하는 품종으로 분류하였다. 그러나 본 연구에서는 평균기온이 상대적으로 저온인 22°C에서 24°C로 증가할 때보다 24°C에서 26°C, 26°C에서 28°C로 증가할 때 출수 소요일수가 더 많이 감소하는 특성을 가진 품종이 관찰되었다. 또한 평균기온이 24°C에서 26°C로 증가하거나 26°C에서 28°C로 증가해도 출수 소요일수가 감소하지 않는 품종도 있었다. 이와 같이 평균기온에 대하여 Choi *et al*. (2006)의 품종 특성 분류와 다른 결과는 시험 품종의 차이로 생각되며, 이와 같은 품종 특성 분류를 위해서는 보다 많은 품종을 대상으로 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

벼 파종 후 출수까지 일정한 단일효과와 고온효과가 필요한지 검토하기 위하여, 출수기까지 일장효과의 누적 값과 온도의 적산 값을 각각의 일장과 평균기온 처리에서 분석하였다. 일장 15시간에서는 일장의 역수에 출수 소요일수를 곱한 값이 다른 일장 처리에서보다 상대적으로 높았던 반면, 12~14시간 처리에서는 거의 차이를 보이지 않았다(Fig. 2A). 평균기온 22°C에서는 파종 후 출수까지 적산온도가 다른 기온 처리에서보다 높았으나, 24~28°C 처리에서는 비슷하였다(Fig. 2B). 이 결과는 최적 온도에서 일장 12~14시간과 최적 일장에서 온도 24~28°C는 벼의 출수에 일정한 적산효과를 보인다는 것을 의미한다. 또한 복합적인 환경이 작용하는 자연 조건과 다르게, 어떤 범위에서 벼 출수에 대한 일장과 온도 단요인의 적산효과는 일정하다는 것을 가리킨다. 이 결과는 벼의 출수에 일정한 적산온도가 필요하다는 보고(Lee *et al*., 1994)나 이앙~출수기 기간 산정에 growing degree day를 이용한 보고(Lee, 1983)와 같은 의미라고 할 수 있다. 15시간의 장일과 22°C의 저온에서 출수까지 필요한 적산효과가 더 컸던 것은 이들 조건이 대부분의 품종에서 출수를 크게 지연시키는 환경이었기 때문으로 사료된다.

Table 2. The basic vegetative phase (BVP), photoperiod-sensitivity (PS), and thermo-sensitivity (TS) of different rice varieties.

Maturity group	Variety	BVP† (d)	PS‡ (d)	TS¶ (d)
Early	Baegilmi	19	14	26
	Joun	22	15	18
	Jopyeong	24	15	17
	Junamjosaeng	23	15	13
	Jungmo1043	32	13	25
	Asemi	33	16	28
	Onpo1	25	12	25
	Wonsan69	20	14	26
	Gilju1	24	14	27
Medium	Cheonga	27	21	25
	Haiami	27	23	25
	Pyongyang21	24	26	35
Mid-late	Hopum	22	36	12
	Saenuri	18	61	19
	Yeonghojinmi	27	52	17

†BVP was calculated by subtracting 30 days from the number of days from sowing to heading.
‡PS was the difference in heading dates between the day-length of 12 hours and that of 14.7 hours at the mean temperature of 28°C.
¶TS was the difference in heading dates between the mean temperature of 28°C and that of 22°C at the day-length of 12 hours.

벼 품종별 기본영양생장성, 감광성, 감온성은 Table 2와 같다. 기본영양생장성은 새누리의 18일~아세미의 33일 범

Table 3. Significance of the correlation coefficients among the basic vegetative phase, photoperiod-sensitivity, and thermo-sensitivity.

	Basic vegetative phase (d)	Photoperiod-sensitivity (d)
Photoperiod-sensitivity (d)	ns[†]	-
Thermo-sensitivity (d)	ns	ns

[†]ns: not significant.

Table 4. Basic vegetative phase (BVP), photoperiod-sensitivity (PS), and thermo-sensitivity (TS) of the rice varieties coupled for the comparison of each single factor, two factors, and three factors of BVP, PS, and TS.

No.	Comparative magnitude[†]			Variety	BVP (d)		PS (d)		TS (d)	
	BVP (d)	PS (d)	TS (d)							
1	+ -	= =	= =	Jungmo1043 Onpo1	32 25	(7)[‡]	13 12	(1)	25 25	(0)
2	= =	+ -	= =	Hopum Junamjosaeng	22 23	(1)	36 15	(11)	12 13	(1)
3	= =	= =	+ -	Gilju1 Jopyeong	24 24	(0)	14 15	(1)	27 17	(10)
4-1	+ -	+ -	= =	Haiami Baegilmi	27 19	(8)	23 14	(9)	25 26	(1)
4-2	+ -	- +	= =	Jungmo1043 Cheonga	32 27	(5)	13 21	(8)	25 25	(0)
5-1	+ -	= =	+ -	Asemi Junamjosaeng	33 23	(10)	16 15	(1)	28 13	(15)
5-2	+ -	= =	- +	Jopyeong Baegilmi	24 19	(5)	15 14	(1)	17 26	(9)
6-1	= =	+ -	+ -	Pyongyang21 Jopyeong	24 24	(0)	26 15	(11)	35 17	(18)
6-2	= =	+ -	- +	Saenuri Baegilmi	18 19	(1)	61 14	(47)	19 26	(7)
7-1	+ -	+ -	+ -	Pyongyang21 Baegilmi	24 19	(5)	26 14	(12)	35 26	(9)
7-2	+ -	- +	+ -	Jungmo1043 Hopum	32 22	(10)	13 36	(23)	25 12	(13)
7-3	+ -	+ -	- +	Yeonghojinmi Baegilmi	27 19	(8)	52 14	(38)	17 26	(9)
7-4	+ -	- +	- +	Jungmo1043 Pyeongyang21	32 24	(8)	13 26	(13)	25 35	(10)

[†]=: 0- or 1-day difference; + and -: 5 days or more difference.
[‡]Data in parentheses are the difference in days between the coupled varieties.

위였다. 이 범위는 Choi *et al*. (2006)의 보고와 비슷한 수준이었다. Ahn & Veragra (1969)는 우리나라 품종의 기본영양생장성은 만생종보다 조생종에서 크다고 하였으나, 본 연구에서는 기본영양생장성이 품종의 숙기에 따라 일정한 경향을 보이지 않았으며, Choi *et al*. (2006)의 연구 결과와 비슷하였다. 감광성은 온포1의 12일~새누리의 61일 범위로 품종간 차이가 컸는데, 품종 숙기별로는 중만생종에서 36~61일로 조생종의 12~16일보다 컸다. 이러한 경향은 출수가 늦은 품종이 감광성이 크다는 Ghose & Shastry (1954)와 Ahn & Vergara (1969)의 보고와 같은 결과였다. 감온성은 호품의 12일~평양21의 31일 범위였다. 일반적으로 조생종은 감온성이 크고 중만생종은 감광성이 크다고 알려져 있다(Choi *et al*., 2006). 그러나 본 연구에서는 조생종인 조운, 조평, 주남조생이 중만생종인 새누리보다 감온성이 작

았고 중생종인 평양21의 감온성이 가장 커서, 일반적으로 알려진 것에 예외적인 경우도 많이 존재하는 것으로 나타났다.

기본영양생장성, 감광성, 감온성은 서로 유의한 상관관계가 없었다(Table 3). 따라서 이들 3요인은 출수에 각각 독립적으로 영향을 미친다고 할 수 있다. 이러한 결과는 감광성과 감온성에 영향을 미치는 일조시간과 평균기온이 상호작용이 없다는 보고(Lim, 1981)와 일부 일치한다.

벼 품종의 기본영양생장성, 감광성, 감온성을 비교하기 위하여 Table 4와 같이 다른 요인은 같고 하나의 요인만 차이를 보이는 품종(1~3), 한 요인은 같고 2요인에서 차이를 보이는 품종(4.1~6.2), 3요인 모두 차이를 보이는 품종(7.1~7.4) 조합을 구성하였다. 이와 같이 선택한 품종 조합의 출수생태 특성을 포장시험의 출수 특성과 비교하였다.

벼 재배기간 중 평균기온과 일장 변화

시험포장에서 벼 재배기간 중 일장과 평균기온 변화는 Fig. 3과 같다. 1차 파종인 5월 11일 파종에서는 기본영양생장기가 끝나는 시기에 평균기온이 15품종 평균 21.5°C (19.6~23.1°C), 출수기에는 평균 27.5°C (23.3~30.5°C)였다. 마지막 파종인 7월 10일 파종에서는 기본영양생장기가 끝나는 시기에 평균기온이 평균 28.1°C (26.4~30.5°C), 출수기에는 평균 22.5°C (20.0~24.9°C)였다. 파종 당시에 평균기온은 파종이 늦을수록 높아졌으며, 일장은 6월 10일 파종까지는 파종이 늦을수록 길어졌고 그 이후로는 파종이 늦어질수록 짧아졌다.

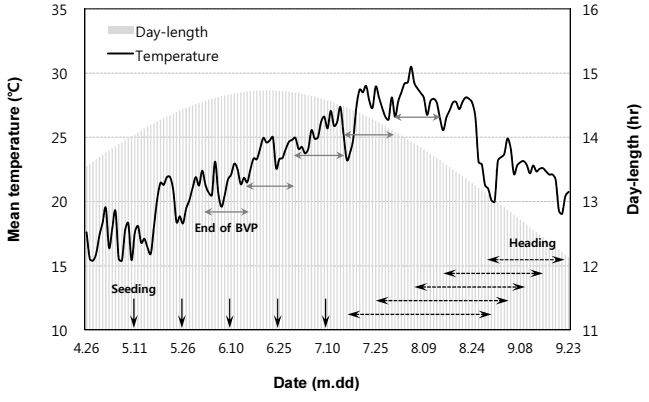

Fig. 3. Changes in the mean temperature and day-length during the cropping period of field-grown rice. Data are the means of two experimental years. Single-head arrows, grey double-headed arrows, and black doubled-headed arrows indicate seeding dates, end of the basic vegetative phase (BVP), and heading dates, respectively, from the first (left) to the last (right) seeding.

벼 품종의 출수생태 특성에 따른 포장 출수 특성

5월 11일 파종에서 출수 소요일수는 백일미에서 65일로 가장 짧았고, 영호진미에서 103일로 가장 길었다(Table 5). 7월 10일 파종에서는 출수 소요일수가 백일미의 50일~영호진미의 70일 범위로 파종이 지연됨에 따라 품종간 출수 소요일수의 차이가 감소하였다. 5월 11일부터 6월 25일까지는 파종이 늦어짐에 따라 출수 소요일수가 모든 품종에서 적어졌다. 그러나 6월 25일에 비해 7월 10일 파종에서 출수 소요일수는 백일미 등 9품종에서는 정체되거나 증가한 반면 영호진미 등 6품종에서는 감소하여, 품종에 따라 차이를 보였다. 6월 25일 대비 7월 10일 파종에서 출수 소요일수가 감소한 품종은 주로 중생종과 중만생종이었으며, 정체되거나 증가한 품종은 주로 조생종이었다. 본 시험에서 파종시기 지연에 따른 출수 소요일수 단축과 만파에서 출수 소요일수 증감의 품종간 차이는 Asakuma & Iwashita (1961)의 보고와 같은 결과이다.

기본영양생장성, 감광성, 감온성의 비교를 위한 품종 조합별(Table 4 참고) 파종시기에 따른 출수 소요일수 차이는 Table 6과 같다. 온포1과 감광성 및 감온성은 비슷하고 기본영양생장성은 상대적으로 큰 중모1043은 모든 파종시기에서 온포1보다 출수가 늦었고, 두 품종간 출수 소요일수의 차이는 파종시기에 따라 비교적 일정하였다(1). 주남조생과 기본영양생장성 및 감온성은 비슷하고 감광성은 상대적으로 큰 호품은 모든 파종시기에서 주남조생보다 출수가 늦

Table 5. Effects of the date of water-broadcast seeding on the number of days from sowing to heading in different rice varieties grown in the field.

Variety	Seeding date (m.dd)				
	5.11	5.26	6.10	6.25	7.10
Baegilmi	65	60	52	47	50
Joun	70	65	59	55	57
Jopyeong	75	67	62	59	61
Junamjosaeng	76	69	63	60	60
Jungmo1043	78	71	64	63	64
Asemi	80	72	67	61	59
Onpo1	69	61	57	54	54
Wonsan69	66	59	55	51	52
Gilju1	70	63	59	55	61
Cheonga	87	75	70	62	62
Haiami	95	86	77	72	67
Pyongyang21	86	79	75	74	67
Hopum	93	87	78	71	65
Saenuri	98	90	80	75	67
Yeonghojinmi	103	93	89	79	70

* Data are the means of two experimental years.

Table 6. Differences in the number of days from sowing to heading in the field-grown rice varieties selected for the relative comparison of the basic vegetative phase (BVP), photoperiod-sensitivity (PS), and thermo-sensitivity (TS) in the chamber experiment, with different dates of water-broadcast seeding.

No.	Comparative magnitude†			Varieties for comparison	Seeding date in the field (m.dd)				
	BVP	PS	TS		5.11	5.26	6.10	6.25	7.10
1	+	=	=	**Jungmo1043**‡ Onpo1	+9	+10	+7	+9	+10
2	=	+	=	**Hopum** Junamjosaeng	+17	+18	+15	+11	+5
3	=	=	+	**Gilju1** Jopyeong	-5	-4	-3	-4	0
4-1	+	+	=	**Haiami** Baegilmi	+30	+26	+25	+25	+17
4-2	+	-	=	**Jungmo1043** Cheonga	-9	-4	-6	+1	+2
5-1	+	=	+	**Asemi** Junamjosaeng	+4	+3	+4	+1	-1
5-2	+	=	-	**Jopyeong** Baegilmi	+10	+7	+10	+12	+11
6-1	=	+	+	**Pyongyang21** Jopyeong	+11	+12	+13	+15	+6
6-2	=	+	-	**Saenuri** Baegilmi	+33	+30	+28	+28	+17
7-1	+	+	+	**Pyongyang21** Baegilmi	+21	+19	+23	+27	+17
7-2	+	-	+	**Jungmo1043** Hopum	-15	-16	-14	-8	-1
7-3	+	+	-	**Yeonghojinmi** Baegilmi	+38	+33	+37	+32	+20
7-4	+	-	-	**Jungmo1043** Pyongyang21	-8	-8	-11	-11	-3

†=: 0- or 1-day difference; + and -: 5 days or more difference.
‡Variety in each pair in bold font possesses the characteristics described under the comparative magnitude columns.

었으며, 파종이 늦어짐에 따라 두 품종간 출수 소요일수의 차이는 점차 적어지는 경향을 보였다(2). 조평과 기본영양생장성 및 감광성은 비슷하고 감온성은 상대적으로 큰 길주1은 5월 11일~6월 25일 파종에서 조평보다 출수가 빨랐으며, 7월 10일 파종에서는 출수기가 같았다(3). 자연 조건에서 기본영양생장성, 감광성, 감온성 각각의 요인에 따른 출수 소요일수의 장단은 이전의 보고들(Choi *et al*., 1983; Ahn & Vergara, 1969; Choi *et al*., 2006)과 같은 결과이다. 기본영양생장성의 차이를 보이는 품종 조합에서 파종시기가 달라도 출수 소요일수의 차이가 적고, 감광성이 차이를 보이는 품종 조합에서 파종시기가 달라짐에 따라 출수 소요일수의 차이가 크게 변하는 현상을 보였는데, 이 결과는 Zhang(1983)의 보고와 유사하였다.

백일미와 감온성은 비슷하고 기본영양생장성과 감광성이 큰 하이아미는 모든 파종 시기에서 백일미보다 출수가 늦었으며, 품종간 출수 소요일수 차이는 5월 11일 파종에서 가장 컸고 7월 10일 파종에서 적어졌다(4-1). 청아 대비 감온성은 비슷하고 기본영양생장성은 크나 감광성이 작은 중모1043은 6월 10일 파종까지는 청아보다 출수가 빨랐고, 이후의 파종에서는 1~2일 늦었다(4.2). 단요인 비교에서와 같이, 기본영양생장성과 감광성이 크면 출수가 늦어지므로 4.1의 비교에서 백일미보다 하이아미의 출수가 늦었다고 해석된다. 또한 기본영양생장성만 컸을 때(1)보다 감광성이 함께 커지면(4.1) 출수 소요일수 차이가 더 커졌으므로, 이

둘은 서로 상가적 효과를 보인다고 할 수 있다. 그러나 기본영양생장성이 커서 출수가 늦어지는 조건에서도 감광성이 작으면 6월 10일 파종까지 출수가 빨라지는 현상(4.2)으로 보아, 출수 소요일수는 감광성의 영향을 더 크게 받았다고 할 수 있다. 동일한 품종 조합에서 6월 25일과 7월 10일 파종에서는 품종간 출수 소요일수의 차이가 이전의 파종과는 반대의 경향을 보였으나, 기본영양생장성만 컸을 때(1)보다 감광성이 함께 적은 경우 품종간 출수 소요일수의 차이가 감소하였다(4.2).

주남조생 대비 감광성은 비슷하고 기본영양생장성과 감온성이 큰 아세미는 대부분의 파종시기 처리에서 출수가 상대적으로 늦었다(5.1). 또한 백일미 대비 감광성은 비슷하고 기본영양생장성은 크나 감온성이 작은 조평은 모든 파종시기에서 백일미보다 출수가 늦었다(5.2). 단요인의 비교에서 기본영양생장성이 크면 출수가 늦고(1) 감온성이 크면 출수가 빠르므로(3), 기본영양생장성이 크고 감온성이 작은 경우 출수 소요일수가 증가하는 것(5.2)은 당연한 현상이라 할 수 있다. 그러나 기본영양생장성과 감온성이 출수의 조만에 반대 방향으로 작용하는 경우에는 출수 소요일수가 기본영양생장성의 대소에 크게 영향을 받았다(5.1).

조평과 기본영양생장성은 비슷하고 감광성과 감온성이 큰 평양21은 모든 파종시기에서 출수가 상대적으로 늦었다(6.1). 또한 백일미 대비 기본영양생장성은 비슷하고 감광성은 크나 감온성이 작은 새누리는 모든 파종시기 처리에서 출수가 백일미보다 늦었다(6.2). 새누리와 백일미의 비교(6.2)에서 출수 소요일수의 장단은 새누리의 큰 감광성(2)과 작은 감온성(3)이 출수를 지연시키는 방향으로 작용하였기 때문에 판단된다. 그러나 감광성과 감온성이 모두 커서 출수의 조만에 반대 방향으로 작용하는 경우(6.1)에는 출수 소요일수의 장단이 감광성에 크게 영향을 받는 것으로 해석된다.

백일미보다 기본영양생장성, 감광성, 감온성이 모두 큰 평양21호는 모든 파종시기 처리에서 상대적으로 출수가 늦었다(7.1). 호품보다 기본영양생장성과 감온성은 크나 감광성은 작은 중모1043은 모든 파종시기에서 출수가 호품보다 빨랐다(7.2). 백일미보다 기본영양생장성과 감광성은 크나 감온성이 작은 영호진미는 모든 파종시기에서 백일미보다 출수가 늦었으며, 품종간 출수 소요일수 차이가 다른 비교에서보다 컸다(7.3). 평양21보다 기본영양생장성은 크나 감광성과 감온성이 작은 중모1043은 출수 소요일수가 상대적으로 짧았다(7.4). 기본영양생장성과 감광성은 출수가 늦어지는 쪽으로, 감온성은 출수가 빨라지는 방향으로 작용한 경우에는 출수가 늦어졌으나(7.1), 위의 경우에서 감광성이

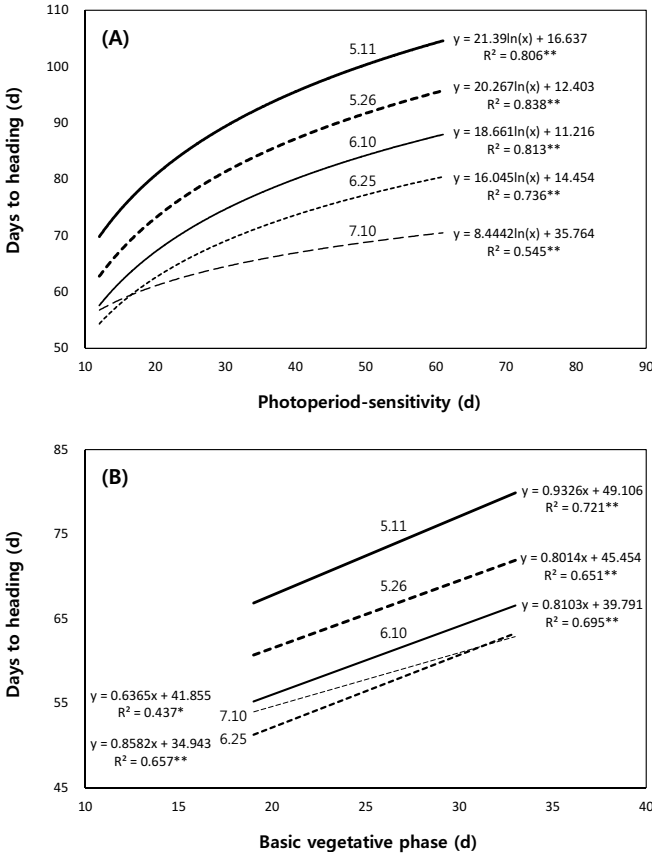

Fig. 4. (A) Relationship between photoperiod-sensitivity and the days from sowing to heading in all 15 of the tested rice varieties, and (B) that between the basic vegetative phase and the days from sowing to heading in the nine varieties with relatively small photoperiod-sensitivity, grown at the different dates of water broadcast seeding. Numbers on the lines indicate seeding dates (m.dd). * and **: significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

출수가 빨라지는 방향으로 바뀐 경우에는 출수가 빨라졌다(7.2). Table 6에서 7.2의 경우 감광성 뿐 아니라 감온성도 출수가 빨라지는 방향으로 작용하였으나, 동일한 기본영양생장성과 감광성 조건에서 감온성이 출수가 늦어지는 방향으로 바뀐 경우에도 출수가 빨라졌다(7.4). 따라서 기본영양생장성, 감광성, 감온성이 모두 관여하는 비교에서 출수의 조만은 주로 감광성에 따라 결정된다고 할 수 있겠다.

선택된 품종 비교에서 분석한 이와 같은 결론이 일반적으로 적용될 수 있는지 알아보기 위하여 공시한 전체 15품종에 대하여 검토한 결과, 모든 파종시기에서 품종의 출수 소요일수는 감광성이 증가함에 따라 유의하게 증가하였다(Fig. 4A). 그러나 파종시기가 늦어짐에 따라 관계식의 기울기와 결정계수가 작아지는 경향을 보여, 파종시기가 늦

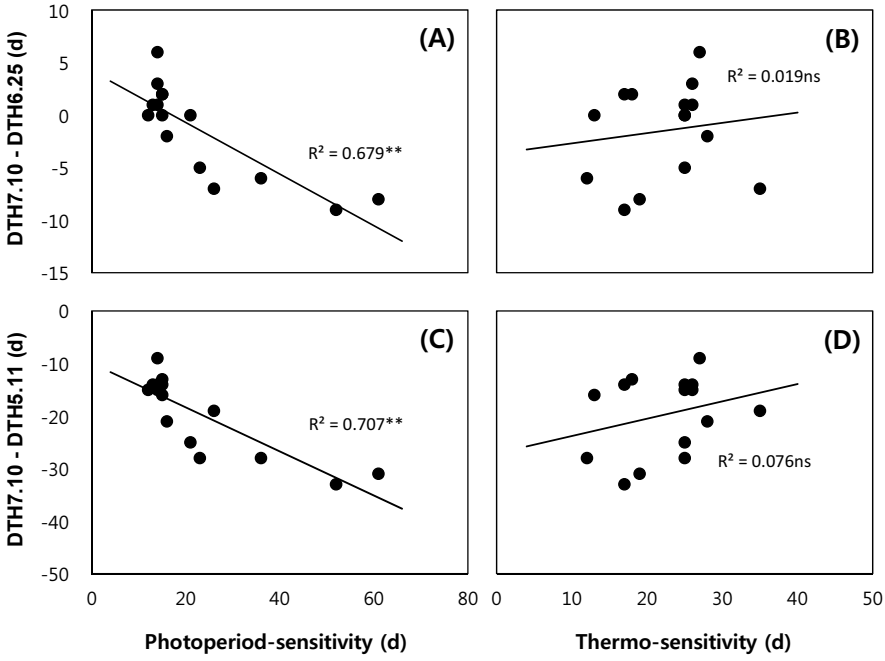

Fig. 5. Correlation of (A, C) photoperiod-sensitivity and (B, D) thermo-sensitivity with (A, B) the difference in the number of days from sowing to heading between the seeding date treatments of July 10 and June 25 (DTH7.10-DTH6.25) and (C, B) that between the seeding date treatments of July 10 and May 11 (DTH7.10-DTH5.11). Each data point is a variety. **: significant at $P < 0.01$; ns: not significant.

을수록 출수 소요일수에 대한 감광성의 영향이 적어지는 것으로 분석되었다. 앞에서 기본영양생장성과 감온성이 함께 작용하는 경우, 품종간 출수 소요일수의 장단은 기본영양생장성의 대소에 크게 영향을 받았다(Table 6-5.1, 5.2). 이 현상이 다른 품종에도 해당되는지 알아보기 위해 감광성이 비슷하게 작은 조생종 9품종에 적용해본 결과, 출수 소요일수와 기본영양생장성은 고도로 유의한 정의 상관을 보였다(Fig. 4B). 이를 종합해보면, 우리나라 기상 조건에서 벼 품종의 출수 소요일수는 주로 감광성의 크기에 따라 결정되며, 조생종의 출수 소요일수는 감온성보다 주로 기본영양생장성의 크기에 영향을 받는다고 할 수 있겠다.

포장시험에서 출수 소요일수는 6월 25일까지 파종이 늦어짐에 따라 모든 품종에서 짧아졌으나, 6월 25일 대비 7월 10일 파종에서는 출수 소요일수가 품종에 따라 길어지거나 짧아졌다. 6월 25일 파종에서는 15품종 평균 기본영양생장기 종료 후 17일 동안 기온이 연중 최고기온까지 상승하고 이후에 낮아지는 조건에서, 7월 10일 파종에서는 기본영양생장기 종료 시점에 연중 최고기온이었다가 저하되는 조건에서 벼가 생육하게 된다(Fig. 3). 그러므로 두 파종시기 사이에 기본영양생장기 종료 후 일정기간 동안의 기온은 비슷하게 유지된다. 반면, 7월 10일 파종에서 기본영양생장기 종료 시점의 일장은 평균 13.7시간으로 짧고, 기본영양생장기 종료 시점 이후에도 6월 25일 파종에 비해 계속 짧게 유지된다(Fig. 3). 그러므로 6월 25일 대비 7월 10일 파종에서 출수 소요일수의 증감은 일정 기간 동안 동일한 고온에 반응하는 품종의 감온성 차이와 짧은 일장에 반응하는 품종의 감광성 차이에 의한 것으로 추정해 볼 수 있다. 그러나 이들의 관계 분석 결과, 6월 25일 대비 7월 10일 파종에서 출수 소요일수의 증가는 감광성과 고도로 유의한 부의 상관을 보였고, 감온성과는 관계가 없는 것으로 나타났다(Fig. 5A, B). 이와 같은 결과는 비교적 단일 조건에서도 감광성이 큰 품종에서 출수가 촉진되었고, 앞의 비교에서와 같이 감광성과 감온성이 함께 작용하는 경우 출수가 주로 감광성의 특성에 의해 결정되었기 때문인 것으로 생각된다. 5월 11일 대비 7월 10일 파종에서 출수 소요일수 단축 정도 또한 감온성과는 유의한 관계가 없었고 감광성에 따라 달라지는 결과는 보였다(Fig. 5C, D).

이상의 결과를 종합하면, 우리나라 자연 조건에서 벼 품종 출수의 조만성은 주로 감광성에 의해 결정되며, 파종기 지연에 따른 출수 소요일수의 단축 정도 또한 감광성에 따라 영향을 받는 것으로 분석되었다.

적 요

벼 품종의 출수생태 특성에 따른 포장 출수 반응 분석을 위하여, 15품종에 대하여 인공기상실에서 일장과 평균기온 각 4수준에 따른 출수생태 특성, 시험포장에서 담수산파재배 파종시기 5처리에 따른 출수 반응을 조사분석한 결과는 다음과 같다.

1. 시험 품종의 출수 소요일수는 일장이 15시간에서 14시간으로 짧아질 때, 평균기온이 22°C에서 24°C로 높아질 때 전반적으로 단축 정도가 컸다.
2. 일장 12~14시간과 평균기온 24~28°C의 범위에서는 일장과 온도에 의한 출수 촉진 효과의 적산 값이 비슷하였다.
3. 벼 품종에 따라 기본영양생장성은 18일(새누리)~33일(아세미), 감광성은 12일(온포1)~61일(새누리), 감온성은 12일(호품)~35일(평양21) 범위였으며, 이들 세 요인은 유의한 상관관계가 없었다.
4. 단요인이 관여하는 2품종 비교의 경우, 상대적으로 기본영양생장성이 큰 품종과 감광성이 큰 품종은 포장조건에서 출수 소요일수가 길었으며, 감온성이 큰 품종은 출수 소요일수가 짧았다.
5. 두 요인이 관여하는 2품종 비교에서는, 기본영양생장성과 감광성이 함께 관여하는 경우 감광성에 따라서, 기본영양생장성과 감온성이 함께 관여하는 경우 기본영영양생장성에 따라서, 감광성과 감온성이 함께 관여하는 경우 감광성에 따라 포장 출수 소요일수의 상대적인 장단이 결정되었다.
6. 세 요인이 관여하는 경우의 품종 비교에서는 출수 소요일수의 장단이 감광성의 상대적인 크기와 일치하였다.
7. 모든 공시품종에서 포장 출수 소요일수는 감광성과 유의한 정의 상관을 보였으나, 파종시기가 늦어짐에 따라 감광성의 영향 정도가 감소하였으며, 감광성이 유사하게 낮은 조생종에서 출수 소요일수는 기본영양생장성과 유의한 상관관계를 나타내었다.
8. 5월 11일과 6월 25일 대비 7월 10일 파종에서 품종별 출수 소요일수의 단축 정도는 감광성이 클수록 유의하게 컸으며, 감온성에 따라서는 일정한 경향이 없었다.
9. 결론적으로 우리나라 자연 일장과 기온 조건에서 벼 품종의 출수기는 감광성에 영향을 크게 받으며, 재배시기 지연에 따른 출수 소요일수의 단축 정도 또한 품종의 감광성에 따라 결정되는 것으로 분석되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 한반도 중·북부지역 적용을 위한 벼 최적 등숙온도 및 출수생태형 연구, 세부과제번호 : PJ01195901)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

Ahn, S. and V. S. Vergara. 1969. Studies on responses of the rice plant to photoperiod. III. Response of Korean varieties. Korean J. Crop Sci. 5 : 45-59.

Asakuma, S. 1958. Ecological studies of heading of rice. I. Relations between the days from seeding to heading and several conditions, II. The “basic vegetative growing habit”, “sensibility to day-length”, and “sensibility to temperature” of Japanese rice. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 27 : 61-66.

Asakuma, S. and C. Kaneda. 1967. Ecological studies of heading of rice. IV. Heading of photosensitive paddy rice under the condition of 24-hr illumination. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 36 : 286-290.

Asakuma, S. and T. Iwashita. 1961. Ecological studies of heading of rice. III. Some experiments about the restraint of heading by high temperature. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 29 : 334-336.

Chandararatna, M. F. 1952. Photoperiod effects on the flowering tropical rices. Trop. Agric. (Ceylon) 108 : 4-10.

Choi, H. O. 1965. Studies on the ecological variations of rice plant under the different seasonal cultures. II. A study on the year variations and prediction of heading dates of paddy rice under the different seasonal cultures. Korean J. Crop Sci. 31(1) : 41-48

Choi, K. G., Y. N. Chang, and S. C. Lee. 1983. Ecological studies on heading of rice plant. I. The response to photoperiod of major rice varieties. Korean J. Crop Sci. 28(2) : 151-163

Choi, K-J., J-I. Lee, N-J. Chung, W-H. Yang, and J-C. Shin. 2006. Effects of temperature and day-length on heading habit of recently developed Korean rice cultivars. Korean J. Crop Sci. 51(1) : 41-47.

Ghose, R. L. M. and S. V. S. Shastry. 1954. Response of rice varieties to short-day treatment. Euphytica 3 : 221-228.

Kakizaki, Y. 1938. A comment on growth physiology and yield of rice plants. Agric. Hortic. 13 : 7-14.

Katayama, T. 1971. Photoperiodism in the genus *Oryza*. III. Mem. Fac. Agric. Kagoshima Univ. 8(1) : 299-320.

Katayama, T. 1977. Photoperiodism in the genus *Oryza*. VII. Accumulation effect. Jpn. J. Crop Sci. 46(2) : 269-274.

Katayama, T. 1978. Photoperiodism in the genus *Oryza*. VIII. Accumulation effect. Jpn. J. Crop Sci. 47(2) : 249-254.

Katayama, T. 1980. Photoperiodism in the genus *Oryza*. X. Combinations of plant age, day length and accumulation effect of short day condition (2). Jpn. J. Crop Sci. 49 : 412-419.

Kondo, M., A. Terasaka, and M. Umino. 1942. Experimental studies on photoperiodism in rice. III. Nogaku Kenkyu 33 : l-24.

Lee, J-T., D-U. Kim, S-H. Yun, and J-N. Im. 1994. Estimation of development rate and heading time of various rice varieties as affected air temperature and day length. Korean J. Environ. Agric. 13(3) : 251-261.

Lee, S. S. 1983. Utilization of growing degree day as an index of growth duration of rice viarieties. Korean J. Crop Sci. 28(2) : 173-183.

Lim, M. S. 1981. Ecological studies on heading of rice varieties under field conditions in Korea. Korean J. Breed. 13(2) : 73-100.

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 crosstalk between photoperiod and temperature on the heading-date in rice. PLoS ONE4(6) : 1-10.

Manuel, F. C. and J. R. Velasco. 1957. Further observations on the photoperiodic response of Elonelon rice. Philipp. Agric. 40 : 421-432.

Oka, H. 1958. Photoperiodic adaptatioon to latitude in rice varieties. Phyton 11(2) : 153-160.

Roberts, E. H. and A. J. Carpenter. 1965. The interaction of photoperiod and temperature on the flowering response of rice. Ann. Bot. 29 : 359-364.

Rural Development Administration. 2017. Quality Rice Production Technologies. Suwon. 461 p.

Suge, H. 1973. Floral induction in rice plants. JARQ 7 : 164-168.

Uekuri, Y. 1971. Studies on the heading of rice plants, 2. Thermoperiodic response of varieties. Bull. Osaka Agric. Res. Cent. 8 : 1-6.

Venkataraman, R. 1964. Studies on thermo-photosensitivity of the paddy plant under field conditions. Proc. Indian Acad. Sci. 59B : 117-136.

Vergara, B. S., S. Puranabhavung, and R. Lilis. 1965. Factors determining the growth duration of rice varieties. Phyton 22 : 177-185.

Vergara, B. S. and T. T. Chang. 1985. The flowering response of the rice plant to photoperiod. A review of the literature. 4th Ed. The International Rice Research Institute, Philippines. 61 p.

Wada, E. 1952. Studies on the response of heading to daylength and temperature in rice plants. I. Response of varieties and the relation to their geographical distribution in Japan. Jpn. J. Breed. 2 : 55-62.

Wada, E. 1954. Studies on the response of heading to daylength and temperature on rice plants. II. Response in upland and foreign rice varities and its relationship to their geographical distribution. Jpn. J. Breed. 3 : 22-26.

Zhang, W.X. 1983. A study of the relationship between days to heading and photoperiod sensitivity, thermosensitivity, basic vegetative phase in rice varieties. Acta Agric. Univ. Pekinensis 9(3) : 13-22.