

북한 지역 기온과 일장 환경 적응 벼 품종의 출수생태 특성 분석

양운호^{1,†} · 강신구² · 이대우² · 채미진²

Heading Ecology of Rice Varieties Adaptable to the Temperature and Day-Length Conditions in North Korean Regions

Woonho Yang^{1,†}, Shingu Kang², Dae-Woo Lee², and Mi-jin Chae²

ABSTRACT We investigated the basic vegetative phase (BVP), photoperiod-sensitivity (PS), and thermo-sensitivity (TS) of 40 rice varieties to characterize their heading ecology that is adaptable to North Korean rice production areas. The ranges were 12 - 43 days for BVP, 0 - 74 days for PS, and 15 - 33 days for TS, depending on the variety. The number of days from transplanting to the heading stage (DTH) was significantly correlated with PS in the 13 major rice production regions where all 40 varieties (including early-, middle-, and mid-late-maturing varieties) were tested. DTH was significantly correlated with BVP and TS but not with PS in the 10 low-temperature regions where only 28 early-maturing varieties were tested. The heading ecology of the adaptable varieties for each region could be characterized by an exponential equation between the BVP and PS of varieties that headed at the border of the safe marginal heading date (SMHD) for each of the seven regional environments (Kaesong, Haeju, Yongyon, Singye, Sariwon, Nampo, and Pyongyang). A PS of 25 - 30 days or less was an additional adaptive trait in the Sariwon and Pyongyang environments. The varieties that reached the heading stage not later than the SMHD in six regional environments (Anju, Kusong, Sinuiju, Changjon, Wonsan, and Supung) and those that reached the heading stage not later than the late marginal heading date (LMHD) in four regional environments (Hamhung, Pyonggang, Huichon, and Kanggye) had both a PS of 26 days or less and a BVP of 25 - 28 days or less. In the Yangdok, Sinpo, and Chunggang environments, varieties that reached the heading stage not later than the LMHD for each region had a BVP of 15 - 20 days or less. The results suggested that a shortened BVP trait should be introduced to existing early-maturing rice varieties to reduce the duration of growth period to reach the heading stage.

Keywords : adaptability, heading ecology, North Korea, rice

온대지역은 계절에 따른 기온 차이가 크기 때문에(Ahn & Vergara, 1969; Yang *et al.*, 2007) 벼 재배 가능 기간이 존재하며, 어떤 지역에서 벼 품종의 적응성은 일차적으로 출수기에 따라 결정된다(Yang *et al.*, 2021). 어떤 지역에서 벼의 출수 적기는 등숙 환경에 따라 결정되는데, 자포니카 벼 품종의 수량 향상에 적합한 등숙 조건은 출수 후 40일간 22°C로 알려져 있으며(Kim, 1983; Tanaka, 1950), 이에 해당하는 시기가 안전출수한계기(Safe marginal heading date)이다. Kim *et al.* (2014)은 벼의 정상 등숙에 필요한 조건으

로 출수 후 40일간 평균기온 20°C를 보고하였는데, 이에 해당하는 시기는 출수만한기(Late marginal heading date)이다. 출수한계기는 지역의 기온에 따라 다르게 나타나는데, 남한에 비하여 기온이 낮은 북한 지역에서는 출수한계기가 상대적으로 이르고 조기이양한계기는 늦기 때문에 벼 재배 가능 기간이 짧다(Yang *et al.*, 2018a, 2018b). 그러므로 북한 지역의 출수한계기까지 출수하는 품종은 남한에 비하여 제한적이다. 북한 지역에 적응하는 벼 품종은 현지에서 선발하는 것이 이상적이다. 그러나 북한의 접근 제한 때문에

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

²농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 농업연구사 (Research Scientist, Crop Cultivation & 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 22 September, 2023; Revised 17 October, 2023; Accepted 18 October, 2023>

기후가 유사한 지역이나 환경 조절 시설을 활용한 연구가 이루어져 왔다. Moon *et al.* (2019)은 남한 품종을 북한에 적용하여 생산성을 높일 수 있다고 보고하였는데, 이들 품종은 북한 유사 환경에서 출수한계기까지 출수하는 품종 중 수량성이 높은 특징을 보였다. 또한 Kim *et al.* (2002)은 수원 지역에서 8월 15일 이전에 출수하는 품종은 북한 서부 평야지 적응성이 높을 것으로 추정하였다. 이들 연구 결과는 북한 지역에 적응하는 벼 품종은 등숙에 안전한 시기에 출수한다는 공통점을 보여준다.

우리는 북한 기상 관측 27 지역의 36년간 기상자료 분석을 통하여 벼 재배가 가능한 것으로 분석된 23 지역의 안전조기이양한계기, 안전출수한계기, 출수만한기, 수확한계기를 설정하고 재배 가능 기간을 보고하였다(Yang *et al.*, 2018a, 2018b). 또한 이 연구 결과에 근거하여 각 지역의 안전조기이양한계기부터 기온과 일장을 7일 간격으로 조절하여 처리하고 안전출수한계기와 출수만한기 내에 출수하는 품종을 선발하였다(Yang *et al.*, 2021, 2022). 벼의 출수를 조절하는 주요 생태적 요인은 일장과 기온이며(Vergara & Chang, 1985), 단일(Asakuma & Kaneda, 1967)과 고온(Asakuma, 1958)에 의하여 출수가 촉진된다. 벼의 출수는 기본영양생장성, 감광성, 감온성에 따라 결정되며(Yoshida, 1981), 출수기는 품종의 조만성을 결정한다. 우리는 국내 벼 품종의 출수생태 특성 요인과 포장 조건에서 나타나는 출수기의 관계를 보고하였다(Yang *et al.*, 2018c). 이 연구에서 1 요인이 관여하는 경우 기본영양생장성과 감광성은 클수록 출수가 늦었으며, 감온성은 클수록 출수가 빨랐다. 기본영양생장성과 감광성의 2 요인이 관여하는 경우에는 감광성, 기본영양생장성과 감온성이 관여하는 경우에는 기본영양생장성, 감광성과 감온성이 관여하는 경우에는 감광성에 따라 출수의 조만이 결정되었다. 기본영양생장성, 감광성, 감온성의 3 요인이 모두 관여하는 경우에는 감광성에 따라 출수의 조만이 결정되었다. 이러한 출수생태 특성은 어떤 지역의 재배기간에 적응하는 벼 품종 육성의 기초정보로 활용될 수 있으며, 특히 적응성의 직접 검정이 어려운 북한 지역 환경 적응성 품종 육성에도 중요한 단서를 제공할 수 있다. 따라서 본 연구는 품종 육성을 위한 기초정보 제시를 목적으로, 북한 23 지역 재배기간 적응 품종(Yang *et al.*, 2021, 2022)의 출수생태 특성을 밝히기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험품종

시험재료는 선행 벼 품종의 북한 지역 적응성 연구(Yang

et al., 2022)에서 검토하였던 남한, 북한, 중국 동북 3성 품종 40개를 동일하게 이용하였다(Table 1). 남한 품종은 조생종 14개(진부을, 백일미, 조운, 조품, 진옥, 조평, 진부, 산호미, 오대, 해들, 은광, 아세미, 조생흑찰, 진미), 중생종 7개(청아, 청품, 하이아미, 대보, 선품, 신보, 알찬미), 중만생종 4개(소비, 삼광, 호품, 새누리)로 총 25 품종이었다. 북한 품종은 남한 지역 재배에서 조생종으로 분류된 9개(올벼1, 올벼2, 선봉9, 온포1, 원산69, 길주1, 평도5, 평도15, 평양43)와 중생종으로 분류된 1개(평양21)로 전체 10품종, 중국 동북 3성 품종은 조생종 5개(Jijing88, Longdao5, Kenjiandao3, Nongdae3, Wuyoudao)였다.

시험처리 및 재배방법

본 연구는 2022년과 2023년 국립식량과학원 중부작물부 인공기상실에서 Growth chamber를 이용하여 수행하였다. 기본영양생장성은 Yang *et al.* (2018c)의 방법에 따라 2022년 일장 12 시간과 평균기온 28°C 조건에서 검정하였다. 감광성과 감온성 처리는 2022/2023 동계에 이루어졌는데, 감광성은 평균기온 28°C 조건에서 일장을 13, 14, 15 시간으로 처리하였으며, 감온성은 일장 12 시간 조건에서 평균기온을 22, 24, 26°C로 처리하였다. 평균기온 처리는 자연 조건에 가깝게 일교차 10°C에 맞추어 점차적으로 변화하도록 자동 조절하였으며, 낮 시간의 광도는 Photosynthetic photon flux density (PPFD) 1,200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 유지하였다. 시험재료는 1/5000a 포트에 재배하였으며, 포트당 질소 1g에 해당하는 완효성비료를 전량 기비로 시용한 후 토양을 교반하고, 처리 3일 전에 미리 Growth chamber에 준비하였다. 종자소독 후 최아된 종자를 처리 당일 포트육묘상자에 구당 1립씩 파종하고 상자를 Growth chamber로 옮겨 10일간 유지한 후 품종당 1포트, 포트당 3주, 주당 2본씩 이양하였다. 포트는 가로 120 × 세로 80 × 높이 20 cm의 사각 상자에 20개씩 배치하였으며, Growth chamber 내에 물통을 비치하고 미리 준비한 관개수를 상자에 채워 공급하였다.

조사 및 분석

매일 오전 9~10시에 한 포기에서 최초의 이삭이 잎집에서 1/2 정도 추출된 날을 기준으로 품종당 3 포기의 출수기를 조사하고 가장 이른 날을 출수기로 하였으며, 파종~출수기의 출수소요일수를 계산하였다. 기본영양생장성은 일장 12 시간과 평균기온 28°C에서 나타난 출수소요일수에서 30일을 뺀 기간(Katayama, 1971; Oka, 1958)으로 계산하였다. 감광성은 일장 12 시간과 15 시간 처리의 출수소요일수 차이, 감온성은 평균기온 28°C와 22°C 처리의 출수소요일

Table 1. Seed origin, maturity type, and abbreviation (Abb.) of the rice varieties tested in this study, along with the days to heading (DTH) of these varieties under North Korean environmental conditions as per Yang *et al.* (2021, 2022).

Seed origin	No.	Maturity type	Variety		DTH [†]
			Name	Abb.	
South Korea	1	Early	Jinbuol	JBO	84 (78 - 91)
	2	Early	Baegilmi	BIM	87 (82 - 94)
	3	Early	Joun	JU	80 (76 - 85)
	4	Early	Jopum	JPu	84 (78 - 93)
	5	Early	Jinok	JO	82 (77 - 88)
	6	Early	Jopyeong	JPy	85 (80 - 92)
	7	Early	Jinbu	JB	84 (80 - 91)
	8	Early	Sanhomi	SHM	86 (82 - 90)
	9	Early	Odae	OD	91 (86 - 105)
	10	Early	Haedeul	HD	97 (91 - 113)
	11	Early	Ungwang	UG	88 (82 - 100)
	12	Early	Asemi	ASM	99 (89 - 120)
	13	Early	Josaengheugchal	JSHC	97 (91 - 120)
	14	Early	Jinmi	JM	102 (93 - 116)
	15	Middle	Cheonga	CA	95 (92 - 98)
	16	Middle	Cheongpum	CP	103 (00 - 111)
	17	Middle	Haiami	HIAM	101 (95 - 105)
	18	Middle	Daebo	DB	97 (92 - 103)
	19	Middle	Seonpum	SP	92 (85 - 100)
	20	Middle	Sinbo	SiB	105 (98 - 113)
	21	Middle	Alchanmi	ACM	103 (96 - 109)
	22	Mid-late	Sobi	SoB	93 (84 - 98)
	23	Mid-late	Samkwang	SK	102 (98 - 108)
	24	Mid-late	Hopum	HP	100 (97 - 106)
	25	Mid-late	Saenuri	SNR	101 (93 - 109)
North Korea	26	Early	Olbyeol	OB1	79 (74 - 85)
	27	Early	Olbyeol2	OB2	79 (73 - 85)
	28	Early	Sonbong9	SB9	80 (75 - 89)
	29	Early	Onpo1	OP1	83 (76 - 91)
	30	Early	Wonsan69	WS69	82 (76 - 90)
	31	Early	Gilju1	GJ1	87 (81 - 99)
	32	Early	Pyongdo5	PD5	101 (90 - 120)
	33	Early	Pyongdo15	PD15	105 (92 - 120)
	34	Early	Pyongyang43	PY43	106 (95 - 120)
	35	Middle	Pyongyang21	PY21	99 (94 - 105)
Northern China	36	Early	Kenjiandao3	KJD3	78 (71 - 83)
	37	Early	Nongdae3	ND3	78 (70 - 88)
	38	Early	Jijing88	JJ88	83 (76 - 93)
	39	Early	Longdao5	LD5	87 (80 - 96)
	40	Early	Wuyoudao	WYD	84 (80 - 90)

[†]Mean DTH values of the tested regions with the range in parenthesis

수 차이로 계산하였다. 본 연구의 출수생태 특성과 선행 연구에서 북한 지역별 환경에서 나타난 출수소요일수(Yang *et al.*, 2021, 2022)의 관계는 단순상관으로 분석하였다. 상관 분석에서 특징적인 현상을 나타낸 출수생태 특성의 영향을 분석하기 위하여, 본 연구에서 나타난 비교 품종 조합의 출수생태 특성과 선행 연구에서 지역 환경별로 나타난 이들 품종의 출수소요일수를 비교하였다. 사전 분석 결과, 기본영양생장성과 감온성, 감광성과 감온성 2 요인 산포도에 따라서는 적응 품종을 특성화할 수 없었다. 따라서 북한 벼 재배지역 적응 출수생태 특성은 기본영양생장성과 감광성의 2 요인 산포도에 근거하여 평가하였다. 중생종과 중만생종까지 적응 품종이 나타난 개성, 해주, 용연, 신계, 사리원, 남포, 평양에 대하여는 각 지역의 안전출수한계기에 근접하여($\pm 2\sim 3$ 일) 출수한 품종의 기본영양생장성 - 감광성

관계식으로 적응 품종과 비적응 품종의 구분 기준을 분석하였다. 그 외 지역에 대하여는 적응 품종의 기본영양생장성과 감광성 분포에 따라 적응특성 구분 기준을 분석하였다. 선행 연구에서 김책, 청진, 선봉은 출수만한기까지 출수한 품종이 하나도 나타나지 않아 본 연구의 적응 특성 분석에서 제외하였다. 선행 연구에서 나타난 지역별 안전출수한계기와 출수만한기는 각각 출수 후 40일간 평균기온 22°C (Kim, 1983; Tanaka, 1950; Yang *et al.*, 2018a)와 20°C (Kim *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2018b)에 해당하는 시기였다.

결과 및 고찰

시험품종의 기본영양생장성은 12~43일, 감광성은 0~74일, 감온성은 15~33일 범위였다(Fig. 1). 기본영양생장성이

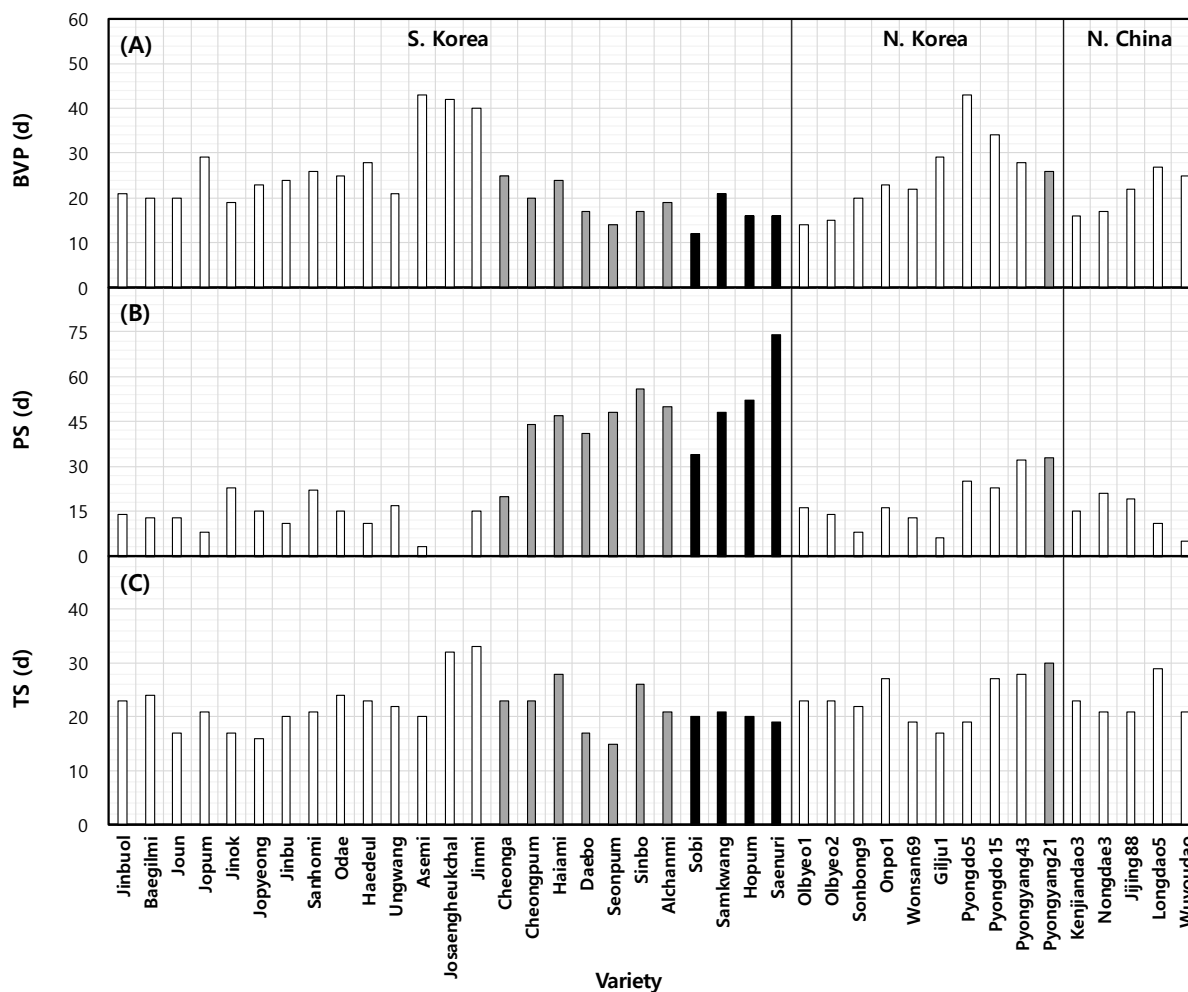


Fig. 1. (A) Basic vegetative phase (BVP), (B) photoperiod-sensitivity (PS), and (C) thermo-sensitivity (TS) of rice varieties from South Korea (S. Korea), North Korea (N. Korea), and northern China (N. China). White, gray, and black bars represent early-, middle-, and mid-late-maturing varieties, respectively, as per the South Korean environment.

Table 2. Correlation of the basic vegetative phase (BVP), photoperiod-sensitivity (PS), and thermo-sensitivity (TS) with the number of days to the heading stage (DTH) of rice varieties under North Korean environmental conditions.

Region	n^{\dagger}	Correlation between heading ecotypes and DTH		
		BVP (d)	PS (d)	TS (d)
Kaesong	40	0.378 *	0.561 **	0.312 *
Haeju	40	0.418 **	0.508 **	0.424 **
Yongyon	40	0.512 **	0.428 **	0.405 **
Singye	40	0.334 *	0.590 **	0.277 ^{ns}
Sariwon	40	0.269 ^{ns}	0.640 **	0.267 ^{ns}
Nampo	40	0.328 *	0.607 **	0.315 *
Pyongyang	40	0.116 ^{ns}	0.721 **	0.216 ^{ns}
Anju	40	0.084 ^{ns}	0.752 **	0.152 ^{ns}
Kusong	40	0.191 ^{ns}	0.647 **	0.190 ^{ns}
Sinuiju	40	0.076 ^{ns}	0.747 **	0.132 ^{ns}
Changjon	40	0.200 ^{ns}	0.621 **	0.337 *
Wonsan	40	0.279 ^{ns}	0.600 **	0.334 *
Supung	40	0.092 ^{ns}	0.765 **	0.196 ^{ns}
Hamhung	28	0.694 **	0.258 ^{ns}	0.479 **
Pyongyang	28	0.799 **	0.167 ^{ns}	0.511 **
Yangdok	28	0.767 **	0.153 ^{ns}	0.452 *
Huichon	28	0.746 **	0.223 ^{ns}	0.481 **
Sinpo	28	0.823 **	0.097 ^{ns}	0.419 *
Kimchaek	28	0.793 **	0.140 ^{ns}	0.433 *
Chongjin	28	0.829 **	0.129 ^{ns}	0.509 **
Sonbong	28	0.847 **	0.073 ^{ns}	0.484 **
Kanggye	28	0.796 **	0.147 ^{ns}	0.440 *
Chunggang	28	0.764 **	0.298 ^{ns}	0.399 *

$^{\dagger}n$: Number of rice varieties. The regions tested with 40 varieties included early-, middle- and mid-late-maturing varieties whereas those tested with 28 varieties included only early-maturing varieties.

*, **, and ^{ns}: Statistically significant at $P < 0.05$, at $P < 0.01$, and not significant, respectively.

큰 품종은 남한의 아세미, 조생흑찰, 진미와 북한의 평도5, 평도15였다. 기본영양생장성이 작은 품종은 남한의 대보, 선품, 신보, 소비, 호품, 새누리과 북한의 올벼1, 올벼2, 그리고 중국 동북 3성의 Kenjiandao3, Nongdae3이었다. 감광성이 큰 품종은 남한 중생종과 중만생종이었는데, 중만생종인 새누리에서 가장 컸고 중생종인 청아와 중만생종인 소비에서 상대적으로 작았다. 북한 품종 중에서는 평양43과 평양21의 감광성이 다른 품종보다 컸으며, 다음으로 평도5와 평도15에서 컸다. 중국 동북 3성 품종은 전반적으로 감광성이 크지 않았다. 감광성이 가장 작은 품종은 남한의 아세미와 조생흑찰이었으며, 북한의 선봉9와 길주1, 그리고 중국의 Wuyoudao에서 작게 나타났다. 감온성은 남한

품종 중 조생흑찰과 진미, 북한 품종 중 평양43과 평양21, 중국 품종 중 Longdao5에서 컸으며, 감광성에서와 같이 매우 작은 품종은 나타나지 않았다.

본 연구의 출수생태 특성 요인과 선행 연구의 북한 지역 환경에서 나타난 출수소요일수의 상관관계는 Table 2와 같다. 개성~수풍 13 지역의 중생종과 중만생종까지 포함한 40 품종에서 나타난 출수소요일수(Yang *et al.*, 2022)는 모든 경우 감광성과 고도로 유의한 상관관계를 보였으나, 기본영양생장성이나 감온성과는 지역에 따라 유의성이 인정되지 않는 경우가 많았다. 그러나 함흥~중강의 저온 10 지역의 조생종 28 품종에서 나타난 출수소요일수(Yang *et al.*, 2021)는 감광성과는 모든 지역에서 유의한 관계가 없

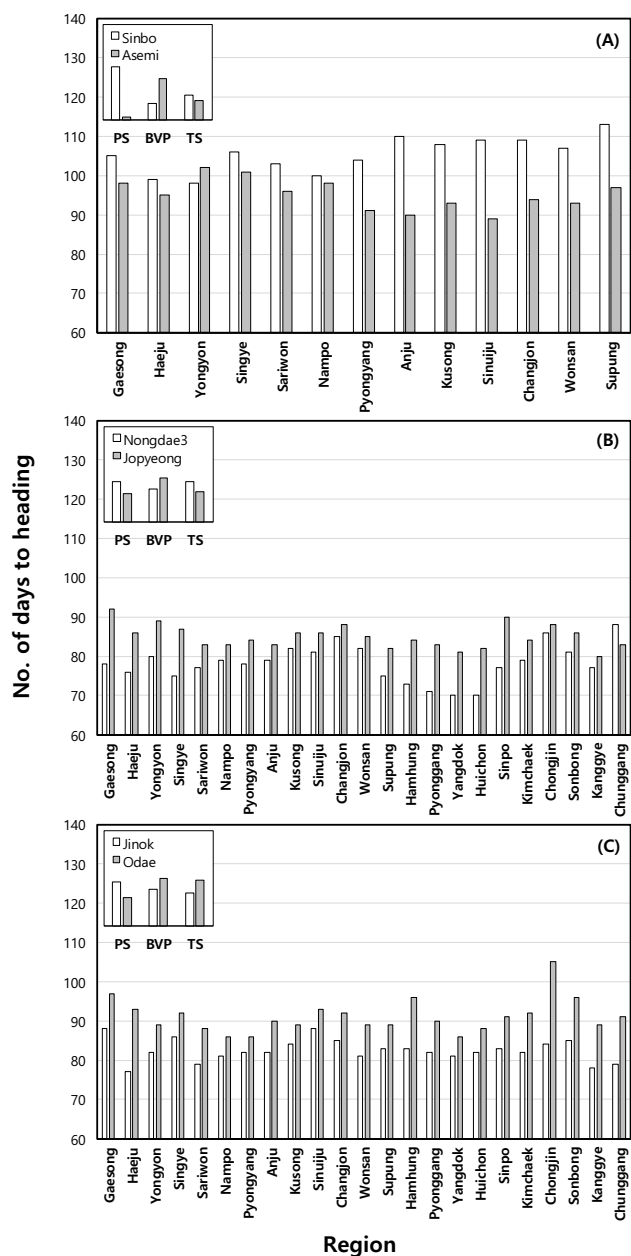


Fig. 2. Photoperiod-sensitivity (PS), basic vegetative phase (BVP), and thermo-sensitivity (TS) in varieties coupled for comparison (inset) and the number of days to heading stage of these varieties under the temperature and day-length conditions of different North Korean regions. Comparisons between (A) the mid-maturing Sinbo and the early-maturing Asemi, (B) early-maturing Nongdae3 and Jopyeong, and (C) early-maturing Jinok and Odae (with a different TS compared to that of the coupled varieties in panel B).

었던 반면, 기본영양생장성과는 모든 지역에서 고도로 유의한 상관을 나타내었고 감온성과도 유의한 관계를

보였다. 이 결과는 감광성 범위가 넓은 경우 출수소요일수는 감광성의 영향이 크다는 것을 의미하며, 이전의 연구 결과(Yang *et al.*, 2018c; Vergara & Chang, 1985)와 일치한다. 그러나 감광성이 작은 조생종에 한정했을 때에는 출수소요일수에 대한 기본영양생장성의 영향이 커진다는 것을 의미한다.

이러한 해석을 검증하기 위하여, 위의 경우에 해당하는 품종 비교 조합을 구성하고 지역별 출수소요일수를 비교하였다(Fig. 2). 중생종인 신보와 조생종인 아세미 조합에서 신보는 아세미보다 감광성이 크고 기본영양생장성은 작으며 감온성은 컸는데, 용연을 제외한 모든 지역에서 신보의 출수소요일수가 컸다(Fig. 2A). 이 결과는 기본영양생장성, 감광성, 감온성이 함께 작용하는 경우 출수의 조만은 감광성에 따라 결정된다는 이전의 보고(Yang *et al.*, 2018c)와 같다. 그러나 아세미-신보와 같은 출수생태 특성 조합을 조생종인 Nongdae3과 조평에서 비교한 경우에는 감광성이 컸으나 기본영양생장성은 작았던 Nongdae3의 출수소요일수가 중강 환경을 제외한 모든 지역에서 작았다(Fig. 2B). 신보-아세미 조합과 Nongdae3-조평 조합의 다른 점은 감광성 차이가 크기였는데, 중생종-조생종 조합에서는 차이가 컸고 조생종-조생종 조합에서는 차이가 작았다. 여기에서 나타난 결과는 감광성 차이가 큰 경우에는 출수의 조만이 감광성에 크게 영향을 받지만, 차이가 작은 경우에는 기본영양생장성의 영향이 커진다는 것을 의미하며, Table 2에 대한 앞의 해석을 뒷받침한다. 신보-아세미 조합과 Nongdae3-조평 조합에서 용연과 중강의 출수소요일수 양상이 다른 지역과 차이를 나타낸 원인은 지역 특이적인 환경과 품종의 반응 차이로 추정되지만, 본 연구에서는 정확한 원인을 알 수 없었다. Nongdae3-조평 조합에서 Nongdae3은 상대적으로 기본영양생장성이 작고 감온성이 컸다. 이러한 두 특성은 모두 출수 촉진 효과를 나타낸다(Yang *et al.*, 2018c). 그러므로 Nongdae3에서 감온성이 컸던 것이 출수일수 단축에 영향을 미쳤을 가능성이 제기되었다. Nongdae3-조평 조합에서와 감광성과 기본영양생장성의 경향은 같으나 감온성만 반대인 경우, 감온성이 상대적으로 컸던 오대보다 작았던 진옥에서 출수소요일수가 작았다(Fig. 2C). 이 조합에서 진옥은 오대보다 기본영양생장성은 출수가 빨라지는 특성, 감온성은 출수가 늦어지는 특성을 가지고 있으므로, 결과적으로 나타난 출수소요일수는 기본영양생장성의 영향이 지배적이라고 볼 수 있다. 이러한 결과는 기본영양생장성과 감온성이 함께 작용하는 경우, 출수의 조만은 기본영양생장성에 따라 결정된다는 이전의 보고(Yang *et al.*, 2018c)와 동일하다. 요약하면, 출수의 조만은 감광성 차이가 크면

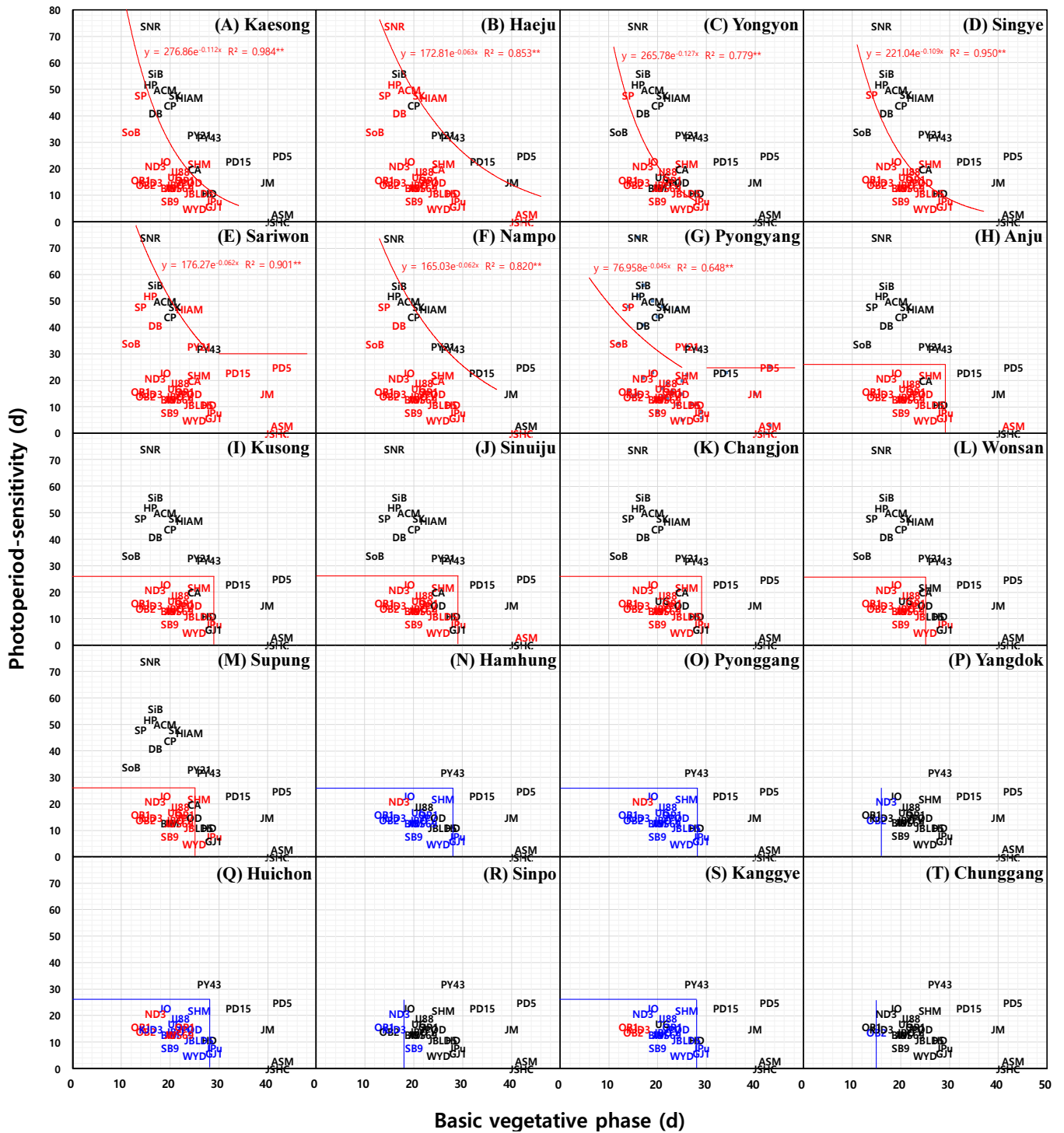


Fig. 3. Distribution of basic vegetative phase and photoperiod-sensitivity of the rice varieties. In panels of (A) - (M), varieties either reached the heading stage not later than the safe marginal heading date (SMHD) (red font) or after the SMHD (black font). In panels of (N) - (T), varieties reached the heading stage not later than the SMHD (red font), between the SMHD and the late marginal heading date (LMHD) (blue font), and after the LMHD (black font). The red lines in (A) - (M) and blue lines in (N) - (T) demarcate varieties that reached the heading stage before and after the SMHD, and before and after the LMHD, respectively. Names of varieties were abbreviated as per definitions provided in Table 1.

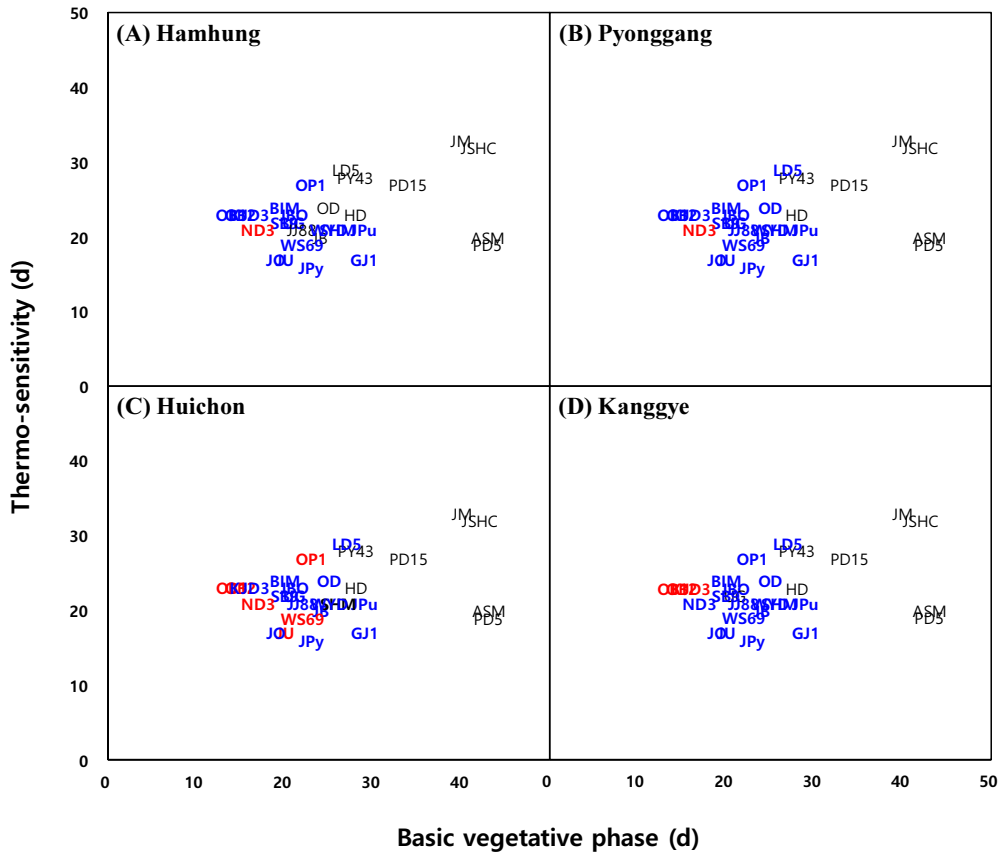


Fig. 4. Distribution of basic vegetative phase and thermo-sensitivity of the investigated rice varieties in the four regions tested with early-maturing varieties. In each region, varieties reached the heading stage not later than the safe marginal heading date (SMHD) (red font), between the SMHD and the late marginal heading date (LMHD) (blue font), or after the LMHD (black font). Names of varieties were abbreviated as per the definitions shown in Table 1.

감광성에 의해, 감광성 차이가 크지 않으면 기본영양생장성에 따라 결정되며, 감온성의 영향은 작았다.

이러한 분석을 바탕으로 본 연구의 기본영양생장성 - 감광성 분포와 선행 연구에서 나타난 지역별 적응 품종 선발 결과(Yang *et al.*, 2021, 2022)를 Fig. 3에 나타내었다. 적응 품종이 중생종과 중만생종까지 나타난 개성(A)~평양(G) 환경에서 안전출수한계기까지 출수한 품종은 대체적으로 기본영양생장성과 감광성이 작은 쪽에 분포하였다. 이들 7 지역 중 개성(A), 해주(B), 용연(C), 신계(D), 남포(F)의 5 지역에서 안전출수한계기까지 출수한 품종은 각 지역의 안전출수한계기(Yang *et al.*, 2018b)에 근접하여 출수한 품종의 기본영양생장성 - 감광성 관계식으로 구분할 수 있었다. 사리원(E)과 평양(G) 환경에서는 감광성이 25~30일 이상으로 큰 품종에서는 안전출수한계기 인접 출수 품종의 기본영양생장성 - 감광성 관계식으로 적응 품종을 구분할 수 있었으며, 감광성이 그 이하인 경우에는 기본영양생장성이 큰 조생흑찰(JSHC), 아세미(ASM), 진미(JM), 평도5(PD5)도

안전출수한계기 내에 출수하였다. 다른 지역과 달리 사리원과 평양에서 감온성이 컸던 품종도 안전출수한계기 내에 출수한 것은 이들 지역이 이앙기부터 6월 하순~7월 중순까지 수원 지역과 비슷한 정도로 기온이 높기 때문으로 판단된다(Yang *et al.*, 2019). 안주(H)~수풍(M)의 6 지역 환경에서 안전출수한계기까지 출수한 품종은 감광성 26일 이하와 기본영양생장성 25~28일 이하에 대부분 분포하였다. 안주와 신의주 환경에서는 감광성이 매우 작으면서 기본영양생장성이 컸던 아세미(ASM)도 안전출수한계기 내에 출수하였는데, 이 결과는 두 지역의 이앙~출수기 기온이 다른 4 지역에 비하여 높았기 때문으로 생각된다(Yang *et al.*, 2019). 함흥(N)~중강(T)의 7 지역은 개성(A)~수풍(M)에 비하여 기온이 낮은 지역이다(Yang *et al.*, 2019, 2021). 이들 지역의 환경에서는 안전출수한계기까지 출수한 품종이 적거나 나타나지 않았다(Yang *et al.*, 2021). 이 지역들 중 함흥(N), 평강(O), 희천(Q), 강계(S) 환경에서 출수만한기까지 출수한 품종은 기본영양생장성 28일과 감광성 26일 이내에 분

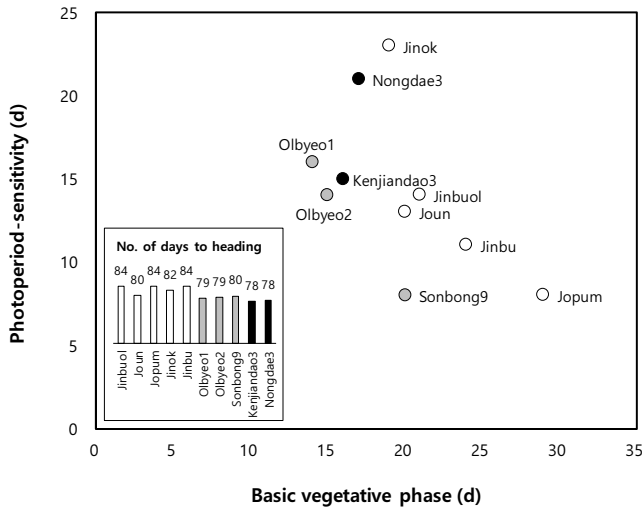


Fig. 5. Distribution of the basic vegetative phase and the photoperiod-sensitivity in South Korean (white), North Korean (gray), and northern Chinese (black) rice varieties that had a comparatively short growth period to reach the heading stage in each group. The inset displays the number of days to heading stage as an average across 23 North Korean regional environments.

포하였다. 중강(T), 양덕(P), 신포(R) 환경에서 출수만하기까지 출수한 품종은 기본영양생장성 15~18일 이내에 분포하였는데, 이들 지역은 기온이 가장 낮은 지역이다(Yang *et al.*, 2018a, 2019). Fig. 3에서 경계선 내에 포함되지만 출수한계기까지 출수하지 않은 품종들은 대부분 안전출수한계기나 출수만하기에 가깝게 출수한 것들이었다.

조생종 28 품종을 검토한 북한 10 지역의 환경에서 출수소요일수는 기본영양생장성뿐 아니라 감온성과도 유의한 상관성이 인정되었다(Table 2 참고). 이 지역들 중 안전출수한계기까지 출수한 품종이 나타난 함흥, 평강, 희천, 강계에서 출수만하기까지 출수한 품종은 기본영양생장성은 작은 쪽에 분포하였지만, 특징적인 감온성 분포를 나타내지 않았다(Fig. 4). 이 결과는 감광성이 작은 조생종에서 출수의 조만은 기본영양생장성에 크게 영향을 받으며, 감온성의 영향은 작다는 앞의 분석을 뒷받침한다.

선행 연구에서 출수가 빨랐던 품종은 남한 품종에서는 진부울, 조운, 조품, 진옥, 진부였고, 북한 품종에서는 올벼1, 올벼2, 선봉9였으며, 중국 동북 3성 품종에서는 Kenjiandao3, Nongdae3이었다(Yang *et al.*, 2021, 2022). 이 품종들의 북한 23 지역 평균 출수소요일수는 남한 품종 80~84일, 북한 품종 79~80일, 중국 품종 78일이었는데, 이 품종들의 기본영양생장성과 감광성 분포는 Fig. 5와 같다. 남한 품종의 감광성은 조품에서 가장 작았는데, 이는 중국과 북한 품종

중 감광성이 가장 작았던 선봉9와 같았다. 기본영양생장성은 남한 품종 중 가장 작은 진옥보다 북한 품종인 올벼1, 올벼2와 중국 품종인 Kenjiandao3, Nongdae3에서 더 작았다. 고위도 지역에 적응하는 벼 품종의 특성은 낮은 등속적온이 아니고 짧은 생육기간으로 보고되었다(Yang *et al.*, 2020). 그러므로 생육기간이 더 짧은 국내 품종 육성을 위해서는 현재의 조생종에 기본영양생장성이 더 작은 특성이 도입되어야 할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하면, 적응 품종이 중생종과 중만생종까지 나타난 7개 지역(개성, 해주, 용연, 신계, 사리원, 남포, 평양) 환경 적응 품종은 지역별 안전출수한계기에 인접하여 출수한 품종의 기본영양생장성 - 감광성 관계식으로 특성화할 수 있었다. 안주, 구성, 신의주, 장전, 원산, 수풍의 6개 지역에서 안전출수한계기까지 출수하는 품종과 함흥, 평강, 희천, 강계의 4개 지역에서 출수만하기까지 출수하는 품종은 감광성이 26일 이하이면서 기본영양생장성이 25~28일 이하인 출수생태 특성을 나타내었다. 양덕, 신포, 중강 환경에서 출수만하기까지 출수하는 품종은 조생종 중 기본영양생장성이 15~20일 이하로 작았다.

적 요

북한 지역별 기온, 일장 환경 적응 벼 품종의 출수생태 특성을 알아보기 위하여 남한, 북한, 중국 동북 3성 40 품종의 기본영양생장성, 감광성, 감온성을 검정하고, 각 지역 적응 품종의 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 시험품종의 기본영양생장성은 12~43일, 감광성은 0~74일, 감온성은 15~33일 범위였는데, 공통적으로 조생종은 감광성이 작고 중생종과 중만생종은 감광성이 컸다.
2. 북한 주요 벼 재배 13 지역 환경에서 조, 중, 중만생종 40 품종을 모두 포함하여 검토하였을 때 출수소요일수는 감광성과 고도로 유의한 정의 상관성을 보였으며, 북한 저온 10 지역 환경에서 조생종 28 품종에서 검토하였을 때 출수소요일수는 감광성과는 유의성이 없었고 기본영양생장성 및 감온성과 유의한 상관관계를 나타내었다.
3. 벼 재배기간의 기온이 가장 높은 사리원과 평양 환경 적응 특성은 1) 감광성이 25~30 이하이거나, 2) 감광성이 그 이상인 경우, 안전출수한계기에 근접하여 출수한 품종의 기본영양생장성 - 감광성 관계식으로 구분되었다.
4. 기온이 비교적 높은 개성, 해주, 용연, 신계, 남포 환경 적응 품종은 각 지역의 안전출수한계기에 인접하여 출수한 품종의 기본영양생장성 - 감광성 관계식을 기준으로

- 로 구분되었다.
5. 안주, 구성, 신의주, 장전, 원산, 수풍의 환경에서 안전출수한계기까지 출수한 품종과 함흥, 평강, 희천, 강계의 환경에서 출수만한기까지 출수한 품종은 감광성이 26일 이하이면서 기본영양생장성이 25~28일 이하에 분포하였다.
 6. 기온이 낮고 재배기간이 짧은 양덕, 신포, 중강 환경에서 출수만한기까지 출수한 품종은 감광성이 작은 조생종 중 기본영양생장성이 15~20일 이하로 작은 특성을 나타내었다.
 7. 출수소요일수가 짧은 품종을 비교하였을 때 북한과 중국 동북 3성 품종은 남한 품종보다 출수소요일수와 기본영양생장성이 작았으므로, 생육기간이 짧은 국내 품종 육성을 위해서는 짧은 기본영양생장성의 도입이 제안되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명 : 기후변화 대응 북한지역 식량작물 재배적지 선정, 과제번호 : RS-2020-RD009242)의 지원으로 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”, “sensitivity to day-length”, and “sensitivity to temperature” of Japanese rice. *Japanese J. Crop Sci.* 27(1) : 61-66.
- Asakuma, S. and C. Kaneda. 1967. Ecological studies of heading of rice. IV. Heading of photo-sensitive paddy rice under the condition of 24-hr illumination. *Japanese J. Crop Sci.* 36(3) : 286-290.
- Katayama, T. 1971. Photoperiodism in the genus *Oryza*. III. *Mem. Fac. Agric. Kagoshima Univ.* 8(1) : 299-320.
- Kim, J., J. Shon, H. Jwong, W. Yang, C. K. Lee, and K. S. Kim. 2014. Statistical assessment of the late marginal heading date for normal maturation of temperate japonica rice in South Korea. *J. Crop Sci. Biotech.* 17(4) : 247-253.
- Kim, K. C. 1983. Studies on the effect of temperature during the reduction division and the grain filling stage in rice plants. *Korean J. Crop Sci.* 28(1) : 58-75.
- Kim, Y. H., H. D. Kim, S. W. Han, J. Y. Choi, J. M. Koo, U. Chung, J. Y. Kim, and J. I. Yun. 2002. Using spatial data and crop growth modeling to predict performance of South Korean rice varieties grown in western coastal plains in North Korea. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.* 4(4) : 224-236.
- Moon, H.-P., D.-H. Kim, E.-G. Jeong, Y.-J. Won, H.-K. Park, J.-J. Kim, K.-H. Jeong, E.-K. Ahn, W.-J. Hyun, H.-M. Park, B.-J. Kim, S.-H. Cho, H.-G. Hwang, S.-Y. Cho, S.-Y. Kim, W.-S. Seo, H. Ju, and M. Oh. 2019. Handbook of rice varieties adaptable to North Korea. National Institute of Crop Science and Institute of Northern Agricultural Research. p. 127.
- Oka, H. 1958. Photoperiodic adaptation to latitude in rice varieties. *Phyton.* 11(2) : 153-160.
- Tanaka, M. 1950. Practical studies on the injuries of cool weather in rice plant. II. Temperature and heading date need to full development of rice grains. *Japanese J. Crop Sci.* 19(1-2) : 57-61.
- 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. p. 61.
- Yang, W., J.-H. Park, J.-S. Choi, T. H. Noh, and S. Kim. 2019. Rice cultivation model to improve productivity in North Korea. National Institute of Crop Science, Rural Development Administration. p. 143.
- Yang, W., K.-S. Kwak, K.-J. Choi, T.-S. Park, and J.-C. Shin. 2007. Overview on the climate change and rice in Korea. In the “International Workshop on Cool Rice for a Warmer World”, International Rice Research Institute and Juazhong Agricultural University, 26-30 March 2007. Wuhan, China. pp. 48-50.
- Yang, W., S. Kang, J.-S. Choi, and D.-W. Lee. 2022. The heading response and regional adaptability of rice varieties under the temperature and day-length conditions of major rice production areas in North Korea. *Korean J. Crop Sci.* 67(4) : 222-233.
- Yang, W., S. Kang, J.-S. Choi, D.-W. Lee, S. Lee, and M.-J. Chae. 2021. Heading response of rice varieties under temperature and day-length conditions of low-temperature regions in North Korea. *Korean J. Crop Sci.* 66(3) : 190-200.
- Yang, W., S. Kang, J.-S. Choi, J.-H. Park, and S. Kim. 2020. Optimum grain filling temperature for yield improvement of rice varieties originated from high-altitude areas. *Korean J. Crop Sci.* 65(3) : 182-191.
- Yang, W., S. Kang, S. Kim, J.-S. Choi, and J.-H. Park. 2018a. Assessment of the safe rice cropping period based on temperature data in different regions of North Korea. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.* 20(2) : 190-204.
- Yang, W., S. Kang, S. Kim, J.-S. Choi, and J.-H. Park. 2018b. Temperature data-based assessment of the marginal heading dates and the growth duration of rice in the regions of North Korea. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.* 20(4) : 284-295.
- Yang, W., S. Kang, S. Kim, J.-S. Choi, and J.-H. Park. 2018c. The heading response of field-grown rice varieties of different ecotypes in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 63(4) : 282-293.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute. p. 269.