

벼 파종기에 따른 출수기 및 최종 엽수 변화와 출엽 모델에 의한 출수기 예측

이충근*† · 이변우** · 신진철* · 윤영환*

*작물시험장, **서울대학교 농업생명과학대학

Heading date and Final Leaf Number as Affected by Sowing Date and Prediction of Heading Date Based on Leaf Appearance Model in Rice

Chung Kuen Lee*†, Byun Woo Lee**, Jin Cheol Shin* and Young Hwan Yoon*

*National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-857, Korea

**Coll. of Agric. and Life Sci. Seoul Nat'l Univ. Suwon 441-744, Korea

ABSTRACT : Sowing date experiments were carried out by employing a rice variety “Kwanganbyeon” in both field and phytotron with natural daylength. In phytotron, temperatures were controlled at daily mean of 21°C and 24°C. The responses of final leaf number and heading date were analyzed in relation to daylength during photo-sensitive period (PSP). Based on the component models predicting the final leaf number and leaf appearance rate, a rice phenology model was established and verified. Days from sowing to flowering (DSF) were shortened and final number of leaves (FNL) increased as sowing dates were delayed from 25 April to 5 June in field and phytotron. The increased leaf appearance rate (LAR) and the reduced FNL, respectively, due to the higher temperature and the shorter daylength in delayed sowings in the field brought about greater shortening of DSF than in the phytotron where only FNL was reduced by shorter daylength in delayed sowings. FNL showed very close relationship with the average daylength during PSP of six-leaf stage to panicle initiation, being well fitted to the following rational function ($R^2=0.98$):

$$FNL = \frac{a + bD}{1 + cD}$$

where D is daylength and a, b, and c are the constants that were estimated as 14.694, -0.992, and -0.068 in Kwanganbyeon, respectively. The rice phenology model, which was composed of two component models for LAR and FNL, predicted DSF very accurately. The differences between the observed and predicted DSF was less than two days in the sowing date field experiments in 1999 and 2000 of which data were not used for the model construction.

Keywords : rice, sowing date, final leaf number, leaf appearance, phenology model

작물 발육단계의 정확한 진단은 그 시기의 생리적 반응을 이해하고 정확하고 정밀한 생육관리를 위해서 절대적으로 필요한 요소이다. 지금까지 벼의 발육단계 예측을 위한 모델에는 GDD를 이용하는 방법(이, 1972), 한 단계의 발육을 완료하는데 걸리는 시간(t)과 이 기간중의 평균기온, 평균일장의 단순 회귀 또는 중회귀를 구하는 방법(Gao et al, 1989; 임, 1981), 평균발육속도(1/t)를 이 기간중의 평균온도와 평균일장의 함수로 표현해서 이를 적산하여 1이 되었을 때를 발육완료일로 나타내는 방법(이, 1987; 신 등, 2000), 발육기간의 시계열자료를 모두 고려하여 함수를 이용하지 않는 non-parametric 방법(이, 1991) 등이 있다. 이 방법들을 이용한 모델들은 벼의 발육을 생육기간 또는 발육속도(1/t)에 의하여 상대적으로 계량화한 것으로 벼의 정확하고 정밀한 생육관리를 위해 직접적으로 적용하는데는 많은 한계가 있다. 반면, 벼의 잎은 영양생장기에는 5~6일 간격으로 출엽이 되고, 지엽을 포함하여 그 이전의 4~5엽은 6~7일 간격으로 출엽이 되는 규칙성을 보이는데(Hoshikawa, 1989), 이 출엽양상이 벼의 발육단계를 알기 위한 중요한 지표로 이용될 수 있으며(Ellis et al, 1993; Gao et al, 1992), 또한 지엽이 완전 전개한 후 곧 이삭이 출현하므로, 최종엽수가 알려지면, 출수기는 출엽을 기초로 해서 예측될 수 있다(Grant, 1989).

Vergara and Chang(1985)과 Roberts and Summerfield(1987)은 발아부터 출수기까지를 일장에 감응하지 않는 기간과 일장에 감응하는 기간, 그리고 다시 일장에 감응하지 않는 기간, 즉 세 단계로 나누었는데, 벼에서 출수는 일장에 의해 강하게 영향받으며, 일반적으로 단일조건은 출수를 촉진하고 장일 조건은 출수를 지연시킨다(Vergara and Chang, 1985).

†Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6687 (E-mail) leegaka@rda.go.kr <Received March 26, 2001>

벼에서는 출수를 가장 빠르게 촉진시키는 최적일장이 존재하는데(Ahn, 1968, Roberts and Carpenter, 1962; 1965; Vergara *et al.*, 1965; Vergara and Lilis, 1967), 최적일장보다 장일 조건에서 벼는 단일식물로 반응하며 최적일장보다 단일조건에서는 장일식물로 반응한다(Best, 1965).

Tollenaar *et al.*(1983)은 옥수수에서 온도와 일장 모두 최종엽수에 영향을 준다고 하였으며, Sie *et al.*(1998)은 온도와 일장에 관계없이 벼의 생육기간이 길어지는 환경조건에서 최종엽수가 증가했다고 보고하였다. 그러나 Yoshida(1981)와 Slafer *et al.*(1994)은 각각 벼와 밀에서 온도가 주로 출엽속도를 통해 생육기간에 영향을 주는 반면, 일장은 최종엽수를 통해 생육기간에 영향을 준다고 하였으며, 이때 일장이 길어짐에 따라 최종엽수가 증가하고, 온도는 최종엽수에 영향을 주지 못한다고 하였다.

본 연구에서는 광안벼의 파종시기를 달리하여 일장의 변화를 유도한 후 일장과 최종엽수와의 관계를 검토하여 최종엽수 추정모델을 설정하였으며, 이 등(2001)의 출엽속도 추정모델과 이를 종합하여 출엽을 기초로 한 발육단계 예측모델을 개발하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 1999년과 2000년 2년간 농촌진흥청 작물시험장 인공기상동과 답작포장에서 광안벼를 공시하여 수행하였으며 재배방식은 답수표면산파로 하였다. 인공기상동에서는 1~2 mm 최아시킨 종자를 한 포트에 6립씩 파종하여 본엽 2엽기에 3 개체를 제외한 나머지는 솟아내고 생육시켰다. 시비는 인공기상동에서는 성분량으로 N, P₂O₅, K₂O를 포트당 각각 0.44 g, 0.18 g, 0.23 g을 주었으며, K₂O는 전량 기비, N은 기비, 분얼

비, 수비로 각각 40%, 30%, 30%, K₂O는 기비와 수비로 각각 70%와 30%로 분시하였다. 포장에서는 2.5×6 m plot에 2 반복으로 600 g의 최아종자를 파종하였으며, 시비는 10a당 각각 11 kg, 4.5 kg, 5.7 kg을 주었고, 분시방법은 인공기상동과 동일하였다. 이후 재배관리는 작물시험장 표준재배법에 준해 수행하였다.

파종기에 따른 벼의 출수기 변화 및 최종엽수 추정모델 설정

실험 1은 동일온도 조건에서 파종기에 따른 일장변화가 벼의 출수에 미치는 영향을 검토하기 위하여 인공기상동에서 평균온도가 21, 24°C이며 일교차가 9°C인 온도조건에서 일장에 변화를 주기 위해 4월 25일부터 6월 5일까지 10일 간격으로 포트에 파종하여 출수기를 조사하였다. 또한 실험 2는 포장조건에서 파종기에 따른 온도 및 일장의 변화가 벼의 출수에 미치는 영향을 검토하기 위하여 1999년에는 5월 1일, 5월 15일, 5월 25일, 6월 5일, 2000년도에는 4월 25일, 5월 5일, 5월 15일, 5월 25일, 6월 5일에 파종하여 출수기를 조사하였다. 자료 분석에 있어서 온도는 수원기상대의 자료를 이용하였다. 포장 실험기간 중 기온과 일장의 변화는 Fig. 1과 같다.

출수기 예측모델 구성 및 모델의 적합성 검증

이 등(2001)의 보고에 의하면 광안벼에서 온도는 최종엽수에 영향을 주지 않는다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 실험 1의 21°C의 자료를 이용하여 파종기에 따른 일장과 최종엽수와의 관계로부터 최종엽수 추정모델을 설정하였으며, 이때 일장은 광안벼의 일장감응기로 추정되는 6엽기부터 유수분화기까지의 평균일장을 이용하였다. 또한 이 등(2001)의 출엽속도

Table 1. Summary of experiment conditions.

Experiment No.	Year	Experiment place	Treatment daylength	Treatment temperature	Sowing date	
1		Phytotron	Natural daylength	21, 24°C	Apr. 25	
				Average	May 5	
				(Diurnal Range of 9°C)	May 15	
					May 25	
					Jun. 5	
2	1999	Field	Natural daylength	Natural temperature	May 1	
					May 15	
					May 25	
					Jun. 5	
	2000	Field	Natural daylength	Natural temperature		Apr. 25
						May 5
						May 15
						May 25
						Jun. 5

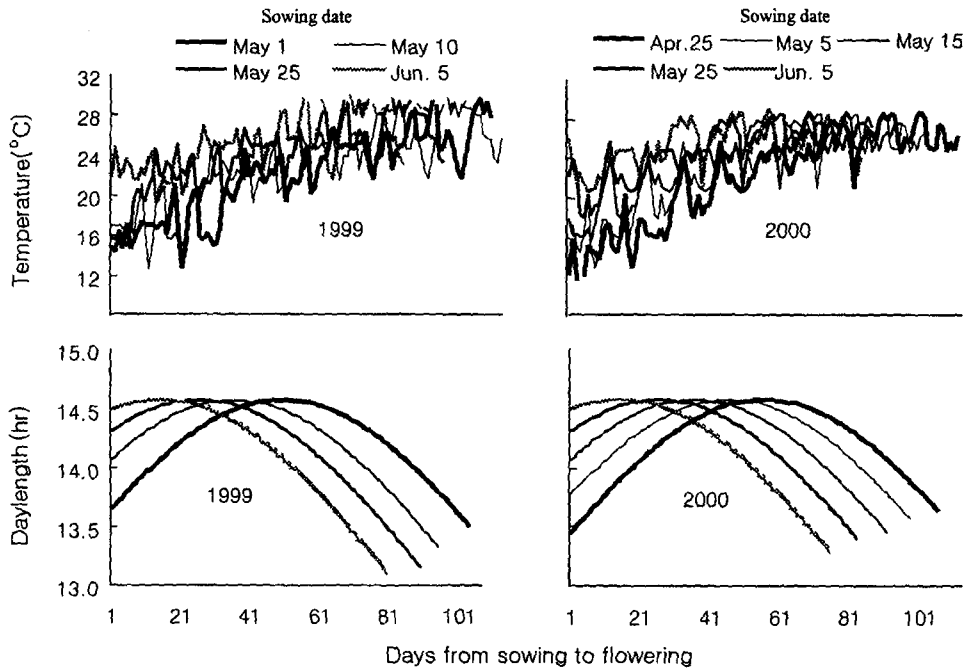


Fig. 1. Change of mean daily temperature and daylength during the period from sowing to flowering of rice under different sowing dates in 1999 and 2000 field condition.

모델과 여기에서 설정한 최종엽수 추정모델을 종합하여 출수기를 예측하는 모델을 구성하였으며, 최종엽수 추정모델 설정 시와 독립된 자료인 실험2의 자료를 이용하여 출수기 예측모델의 적합성을 검토하였다.

결과 및 고찰

파종기에 따른 온도 및 일장과 출수소요일수

포장조건에서 파종에서 출수기까지의 일평균온도는 1999년

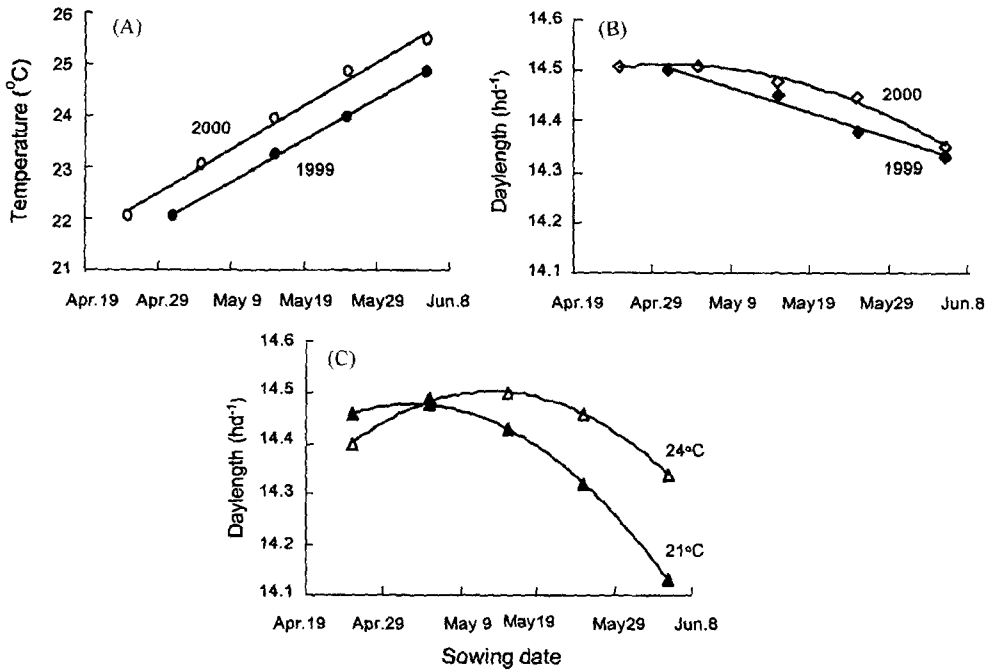


Fig. 2. Changes in daily mean temperature and daylength during days from sowing to flowering under different sowing dates in field (A, B) and temperature-controlled phytotron (C).

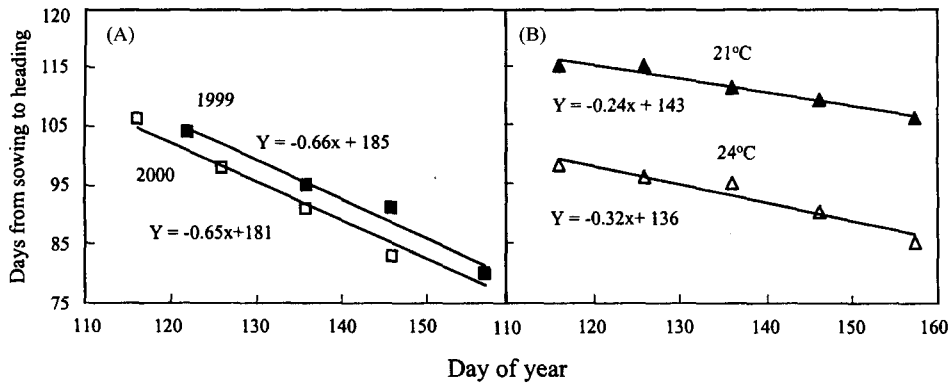


Fig. 3. Relationship between days from sowing to heading and sowing dates in field (A) and temperature-controlled phytotron (B).

에는 파종기를 5월1일, 5월15일, 5월25일, 6월25일로 하였을 때 22~25°C, 2000년에 파종기를 4월25일부터 6월5일까지 10일 간격으로 하였을때는 22~26°C의 범위였으며, 파종을 늦게 할수록 높아졌다(Fig. 2A). 이와 같은 파종기 범위에서 출수기까지의 일평균일장은 1999년과 2000년 모두 14.3~14.5시간의 범위였으며, 파종을 늦게 할수록 짧아졌다(Fig. 2B). 온도가 조절된 인공기상실에서의 일장도 포장조건과 비슷한 경향이었으나, 24°C에서는 5월15일 파종까지는 증가하다가 그 이후에 감소하였다(Fig. 2C).

Fig. 3은 포장과 인공기상실에서 파종기와 출수소요일수와의 관계를 1차 회귀직선으로 나타낸 것이다. 포장과 인공기상실 모두 파종시기가 늦어지면 출수소요일수가 직선적으로 단축되었다. 파종기가 하루 늦어지면 출수소요일수가 포장조건에서는 1999년도와 2000년도에서 각각 0.65일과 0.66일 단축되었으며, 인공기상실에서는 21°C와 24°C조건에서 각각 0.24와 0.32일 단축되는 결과였다. 포장조건에서 파종기 지연에 따른 출수소요일수 단축이 온도가 일정한 인공기상실보다 컸는데, 이는 앞에서 살펴 보았듯이 포장조건에서는 파종시기를 늦출수록 출수기까지의 일평균온도가 증가하였고, 일평균일장은 감소하여, 일평균온도의 증가에 따른 출엽속도의 증가와 일장단축에 따른 최종엽수의 감소가 복합적으로 작용하여 출수소요일수를 단축하였기 때문이며, 온도가 조절된 인공기상실에서

는 단지 일장감소에 의한 최종엽수의 감소를 통하여 출수소요일수가 단축되었기 때문이다.

일장에 따른 최종엽수 추정모델 설정

이(2001) 등은 동일한 일장조건에서 온도는 광안벼의 최종엽수에 영향을 주지 않았으며, 이는 Yoshida(1981)와 Slafer(1994)의 보고와 일치하였다. 따라서 벼의 최종엽수에 영향을 주는 환경요인은 일장으로 생각되었다.

벼의 최종엽수와 일장과의 관계를 알아보기 위해서 실험1의 21°C 온도처리 자료와 이 등(2001)의 자료중 13시간의 동일한 일장 및 21°C의 온도를 처리한 자료를 이용하였다. 이들 실험에서 최종엽수는 이 등(2001)의 광안벼의 출엽속도 추정모델, 식(1)을 이용하여 파종부터 출수기까지의 출엽속도를 적산하여 이를 최종엽수로 이용하였다.

$$LAR = \frac{dL}{dt} = (T_i - T_0) \cdot (-a^{-1} \cdot b^{-1/c} \cdot c \cdot (a-L)^{(c-1)/c} \cdot L^{(c+1)/c}) \quad \text{식(1)}$$

여기에서 dL/dt는 출엽속도, T_i는 일평균 기온, T₀는 임계온도, L은 엽수, 그리고 a, b, c는 계수로서 각각 41.8, 1098.38, -0.9273이다.

실험1에서의 일장은 광안벼의 일장감응기로 추정되는 6엽기부터 최종엽수에서 3엽을 뺀 엽수까지, 즉 유수분화기까지의

Table 2. Final number of leaves of rice plant subjected to different daylengths by shifting the sowing date in phytotron of 21°C and with natural daylength.

Experiment No.	Treatment temperature	Sowing date	PSP daylength	Days from sowing to flowering	Final number of leaves [†]
1	21°C	Apr.25	14.46	115	16.05
		May 5	14.48	115	16.05
		May15	14.43	111	15.73
		May25	14.32	109	15.56
		Jun. 5	14.13	106	15.30
Lee et al(2001)	21°C	Jan. 24	13.00	101	14.86

[†]Final number of leaves were estimated by the model of leaf appearance rate [Equation(1), Lee et al(2001)].

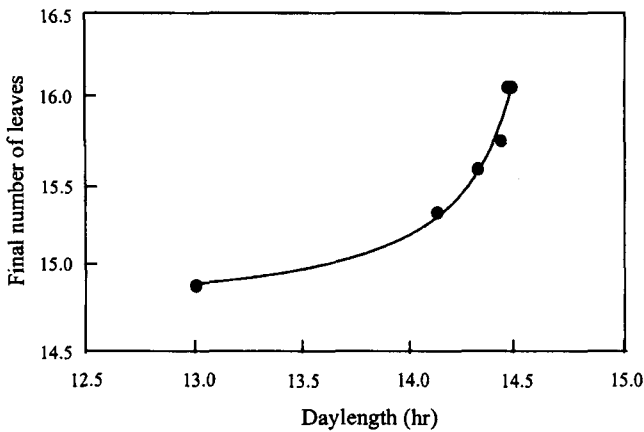


Fig. 4. Relationship between daylength during photosensitive period and final number of leaves of rice plant cultivated in phytotron of 21°C.

Table 3. Equation and estimated parameters of rational function to relate the final number of leaves to mean daylength during photosensitive growth period as in Fig 4.

Equation	Estimated parameter			R ²
	a	b	c	
$y=(a+bx)/(1+cx)$	14.674***	-0.9924***	-0.0678***	0.98

***Significant at the probability level of 0.1%.

평균일장을 이용하였다(Table 2). 광안버는 '99년 동계기간의 연중 최저 일장조건에서 재배한 예비실험과 Yin 등(1997)과 Sie 등(1998)의 보고를 종합하여 5엽~7엽기부터 일장에 감응할 것으로 판단되었으며, 본 연구에서는 중간 값인 6엽기부터 일장에 감응한다고 가정하였다. 또한 혹시 있을지 모르는 최종엽수에 대한 온도효과를 배제하기 위해서 21°C 동일온도 조건의 자료를 이용하였다.

일장이 13시간에서 14.46시간으로 길어짐에 따라서 최종엽

수는 14.86엽에서 16.05엽으로 증가하는 것으로 추정되었으며 (Table 2, Fig. 4), 이 관계는 Rational 함수에 의해 R²가 0.98로 잘 표현되었다(Table 3). 따라서 이 함수를 일장에 의한 최종엽수 추정모델로 설정하였다.

출엽속도 및 최종엽수 모델에 의한 출수기 예측 및 검증

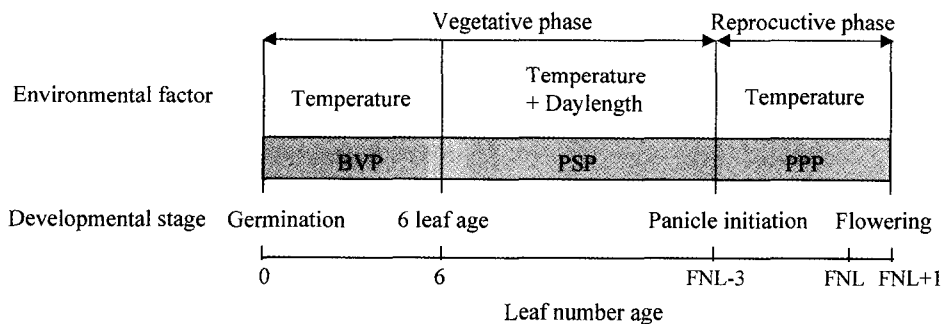
발아부터 출수기까지의 기간은 영양생장기(vegetative phase, VP)와 생식생장기(reproductive phase, RP)로 구분되며, VP는 기본영양생장기(BVP)와 일장감응기(PSP)로 다시 구분된다. 온도는 생육전기간 출엽속도에 영향을 주는 반면, 일장은 PSP에만 영향을 주며, 벼의 최종엽수를 결정하는 요인으로 작용하지만 출엽속도에는 영향하지 않는다(Fig. 5). 본 연구에서는 앞에서 언급하였듯이 기본영양생장기(BVP)를 발아부터 6엽기까지, PSP는 6엽기부터 유수분화기(PI)까지로 가정하였다. 이 때 PI의 엽수와 최종엽수는 3엽의 차이가 있으므로(Yin and Kropff, 1998) PI는 최종엽수에서 3엽을 빼서 추정하였다.

따라서 출수기를 예측하는 과정은 다음과 같다. 먼저 BVP는 온도만 영향하기 때문에 식(1)을 이용하여 출엽속도를 계산하고 이를 6엽기까지 적산한다.

$$Ln = \int_0^B LARdt =$$

$$\sum_{i=0}^B (T_i - T_0) \cdot (-a^{-1} \cdot b^{1/c} \cdot c \cdot (a-L)^{(c-1)/c} \cdot L^{(c+1)/c}) = 6 \quad \text{식(2)}$$

여기에서 B는 발아에서 BVP가 끝날 때까지의 기간을 의미하며 광안버에서는 6엽기까지로 가정하였다. PSP, 즉 6엽기부터 유수분화기까지는 온도와 일장이 함께 관여하는데, 온도는 출엽속도에 일장은 최종엽수 추정에 관여한다. 먼저 식(1)로 온도에 의해 PSP에서의 엽령을 다음과 같이 계산한다.



- * BVP : Basic vegetative phase
- * PSP : Photoperiod sensitive phase
- * PPP : Photoperiod insensitive post phase

Fig. 5. Diagram showing the relationship between developmental stage and leaf number age, and the major environmental factors affecting the development of rice during each stage.

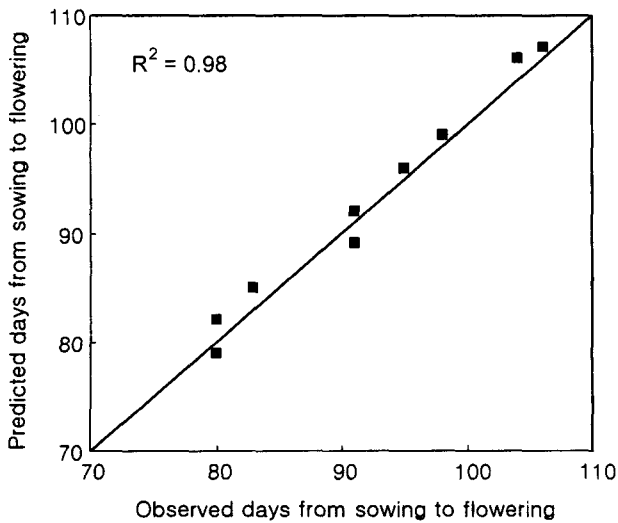


Fig. 6. Comparison between days from sowing to flowering observed and predicted by model which consists of model equations calculating the leaf appearance rate (equation 4) and final number of leaves (equation 7). Data were not used for the model establishment and obtained from the sowing date experiments in the field in 1999 and 2000.

$$Ln = 6 + \int_B^P LAR dt = \sum_{i=B}^P (T_i - T_0) \cdot (-a^{-1} \cdot b^{1/c} \cdot (a-L)^{(c-1)/c} \cdot c \cdot L^{(c+1)/c}) \quad \text{식(3)}$$

여기에서 P는 PSP가 끝날 때 즉, 유수분화기까지의 기간을 의미한다. 최종엽수는 PSP 기간중의 평균일장에 의하여 Table 3의 최종엽수 추정식을 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$FNL = \frac{1}{(P-B+1)} \sum_{i=B}^P \frac{(a+b)}{(1+cD)} \quad \text{식(4)}$$

식(3)에 의해 계산된 엽령과 식(4)에 의해 계산된 엽령의 차이가 3을 넘어서는 시기가 유수분화기 P가 되며, P에서 식(4)로 계산된 엽령이 최종엽수가 된다. 유수분화기 이후, 즉 생식생장기(RP)는 다시 온도에 의해서만 영향받는 기간이므로 식(5)에 의해 계산할 수 있다.

$$Ln = FNL - 3 + \int_P^H LAR dt = \sum_{i=p}^H (T_i - T_0) \cdot (-a^{-1} \cdot b^{1/c} \cdot c \cdot (a-L)^{(c+1)/c} \cdot L^{(c+1)/c}) = FNL + 1 \quad \text{식(5)}$$

여기에서 H는 FNL+1에 도달한 시기, 즉 출수기를 의미한다.

이와 같은 과정을 통하여 식(2)~식(5)로부터 출수기를 예측할 수 있다. 이 방법으로 1999년과 2000년에 포장조건에서 파종기를 달리하여 담수작파한 실험2의 추정된 출수기와 실제 조사된 출수기를 비교한 것이 Fig. 6이다. 실제 조사된 출수기

와 추정된 출수기와의 차이는 1~2일로 예측오차가 매우 적었으며, 결정계수(R^2) 또한 0.98로 매우 높았다.

따라서 본 연구에서 설정한 온도에 의한 출엽속도 모델[식(1)]과 일장에 의한 최종엽수 추정모델[식(4)]을 이용하여 포장조건에서도 정확한 출수기 예측이 가능할 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구는 광안벼를 공시하여 지연일장의 인공기상실(21°C 및 24°C)과 포장 조건에서 파종기(최초 파종 일 4월25일, 최종 파종일 6월 5일) 이동에 따른 온도와 일장 변화가 출엽 및 출수기 변화에 미치는 영향을 검토하여, 일장에 따른 최종엽수 추정모델을 설정하였으며, 이 모델과 온도에 따른 출엽속도 모델을 결합하여 출수기 예측모델을 설정하여 모델의 출수기 추정 정확도를 검증하였다.

1. 포장에서는 4월 25일 이후 파종기가 늦을수록 생육기간 중 평균기온은 높아진 반면, 포장과 인공기상실 양 조건에서 일장감응기간(6엽기부터 유수분화기) 중의 평균일장은 짧아졌다. 이에 따라 일장만 관여한 인공기상실에 비해 온도와 일장이 함께 관여한 포장에서 파종시기에 따른 출수소요일수 단축 정도가 크게 나타났다.

2. 일장감응기간의 일장이 길어짐에 따라 최종엽수(FNL)가 증가하였으며, 이 관계는 다음과 같은 Rational 함수로 잘 표현이 되었고($R^2=0.98$), 이를 광안벼의 최종엽수 추정모델로 설정하였다.

여기서 D는 일장이며, a, b, c는 상수로서 각각 14.694, -0.992, -0.068로 추정되었다.

3. 온도에 따른 출엽속도 모델과 일장에 따른 최종엽수 모델로 구성된 출수기 예측 모델을 구성하였으며, 모델 설정에 이용되지 않은 포장실험 자료를 이용하여 검증한 결과 추정된 출수기는 예측오차가 1~2일로 추정 정확도가 높았다.

인용문헌

- Ahn, S. B., 1968. Studies on response of rice plant to photoperiod. III. Responses to Korean varieties. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 5 : 45-49.
- Best, R. 1959. Photoperiodism in rice. *Field Crop Abs.*, 12 : 85-93.
- 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.). *Ann. Bot. (London)* 70 : 339-346.
- Ellis, R. H., A. Qi, R. J. Summerfield and E. H. Roberts 1993. Rates of leaf appearance and Panicle development in rice (*Oryza Sativa* L.): a comparison at three temperatures. *Agric. and Forest Meteor.* 66 : 129-138.
- Gao, L. Z., Z. Q. Jin and L. Li. 1989. Photothematic models of rice growth duration for various varietal types in China. *Agric. and Forest Meteor.* 39 : 205-213.
- Grant, R. F. 1989. Simulation of maize phenology. *Agronomy Journal*

- 81 : 451-457.
- Hoshikawa, K. 1989. The growing rice plant- an anatomical monograph. Nobunkyo Press. Tokyo, Japan: p105.
- Roberts, E. H. and A. J. Carpenter. 1962. Flowering response of rice to different photoperiods of uniform daily amounts of light radiation. *Nature*. 196 : 1077-1078.
- 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.
- Roberts, E. H. and R. J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops, In: Atherton J. G., ed. Manipulation of flowering. London : Butterworths, 17-50.
- Sie, M., Dingkuhn, M., Wopereis, M. C. S., and Miezian K. M., 1998. Rice crop duration and leaf appearance rate in a variable thermal environment. I. Development of and empirically based model. *Field Crops Research*. 57 : 1-13.
- Slafer, G. A., D. J. Connor and G. M. Halloran. 1994 Rate of leaf appearance and final number of leaves in wheat: effects of duration and rate of change of photoperiod. *Annals of Botany*. 74 : 427-436.
- Tollenaar, M., T. B. Daynard and R. B. Hunter. 1979. Effects of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science* 19 : 363-366.
- Vergara, B. S. and R. Lilis. 1967. Response to photoperiod of reported long-day and intermediate varieties of rice. *Nature*. 218 : 168.
- Vergara, B. S. and T. T. Chang. 1985. The flowering response of the rice plant to photoperiod. A review of the literature, 3rd ed. IRRI, Los Banos, Philippines: 75p.
- Vergara, B. S., S. Puranabhabung and R. Lilis. 1965. Factors determining the growth duration of rice varieties. *Phyton*. 22 : 17-185.
- Yin, X. and M. J. Kropff. 1998. The effect of photoperiod on interval between panicle initiation and flowering in rice. *Field Crops Research*. 57 : 301-307.
- Yin, X., M. J. Korpff and Ynalvez. 1997. Photoperiodically sensitive and insensitive phases of preflowering development in rice. *Crop Sci*. 37 : 182-190.
- Yoshida S., 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Banos, Philippines : IRRI.
- 신진철, 이충근, 윤영환. 2000. 기후변화에 따른 작물생산성 반응과 기술적 대응. 작물학회, 농업기상학회, 농업과학협회 공동 심포지움.
- 이변우, 김병인. 1987. 수도의 발육단계 추정을 위한 광-온도 모형. 기상연구논문집. 73-78.
- 이변우. 1991. 온도·일장 2차원 Non-Paramatic 모형에 의한 건담 직파재배 벼의 출수기 예측. *한국작물학회지* 36(2) : 97-106.
- 이석순. 1983. Growing degree days를 이용한 수도품종의 생육기간 측정방법과 이용. *한국작물학회지*. 28(2) : 173-183.
- 이충근, 이변우, 신진철, 윤영환. 2001. 생육온도에 따른 벼의 출엽양상과 출엽속도 추정모델. *한국작물학회지* 46(3) : (투고중).
- 임무상. 1981. 수도품종의 출수특성에 관한 연구. *한국작물학회지*. 13(2) : 77-100.