

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

이충근¹, 이변우², 신진철¹, 윤영환¹
¹작물시험장, ²서울대학교 농업생명과학대학

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

Chung Kuen Lee¹, Byun Woo Lee², Jin Cheol Shin¹, and Young Hwan Yoon¹

¹National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-857, Korea; ²College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

1. 서언

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 단순회귀 또는 중회귀를 구하는 방법(Gao et al, 1989; Yin et al, 1995; 임, 1982), 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).

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.

2. 재료 및 방법

본 연구는 1999년과 2000년 2년간 농촌진흥청 작물시험장 인공기상동과 답작포장에서 광안벼를 공시하여 수행하였으며 재배방식은 답수표면산파로 하였다. 파종방법은 인공기상동에서는 1~2mm 최아시킨 종자를 한 포트에 6립씩 파종하여 본엽 2엽기에 3개체를 제외한 나머지는 솥아내고 생육시켰으며 포장에서는 2.5×6m plot에 600g의 최아종자를 파종하였다.

실험1은 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 실험2는 포장조건에서 파종기에 따른 온도 및 일장의 변화가 벼의 출수에 미치는 영향을 검토하기 위하여 1999년에는 5월1일, 5월 15일, 5월25일, 6월5일, 2000년도에는 4월25일, 5월5일, 5월15일, 5월 25일, 6월5일에 파종하여 출수기를 조사하였다. 자료 분석에 있어서 온도는 수원기상대의 자료를

이용하였다.

이 등(2001)의 보고에 의하면 광안벼에서 온도는 최종엽수에 영향을 주지 않는다고 하였다. 따라서 본연구에서는 실험1의 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 모델과 여기에서 설정한 최종엽수 추정모델을 종합하여 출수기를 예측하는 모델을 구성하였으며, 최종엽수 추정모델 설정 시와 독립된 자료인 실험2의 자료를 이용하여 출수기 예측모델의 적합성을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

포장과 인공기상실 모두 파종시기가 늦어지면 출수소요일수가 직선적으로 단축되었으며, 포장조건에서 파종기 지연에 따른 출수소요일수 단축이 인공기상실 보다 컸는데, 이는 포장조건에서는 파종시기를 늦출수록 출수기까지의 일평균온도가 증가하였고, 일평균일장은 감소하여, 일평균온도의 증가에 따른 출엽속도의 증가와 일장단축에 따른 최종엽수의 감소가 복합적으로 작용하여 출수소요일수를 단축하였기 때문이며, 인공기상실에서는 단지 일장감소에 의한 최종엽수의 감소를 통하여 출수소요일수가 단축되었기 때문이다.

벼의 최종엽수와 일장과의 관계를 알기 위하여, 먼저 이 등(2001)의 광안벼의 출엽속도 추정모델, 식(1)을 이용하여 파종부터 출수기까지의 출엽속도를 적산 한 후 최종엽수를 구하였다.

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

여기에서 dL/dt 는 출엽속도, T_i 는 일평균 기온, T_0 는 임계온도, L 은 엽수, 그리고 a , b , c 는 계수로서 각각 41.8, 1098.38, -0.9273이다.

벼의 최종엽수와 일장과의 관계는 Rational 함수에 의해 R^2 가 0.98로 잘 표현되었으며, 따라서 이 함수를 일장에 의한 최종엽수 추정모델로 설정하였다.

Table 1. Equation and estimated parameters of rational function to relate the final number of leaves to mean daylength during photosensitive growth period.

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%.

이 등(2001)의 출엽속도 모델과 앞에서 설정한 최종엽수 추정모델을 통해 출수기를 예측하는 과정은 다음과 같다.

먼저 영양생장기(BVP)는 온도만 영향하기 때문에 식(1)를 이용하여 출엽속도를 계산하고 이를 6엽기까지 적산한다.

$$\text{Ln} = \int_0^B LAR dt = \sum_{i=0}^B (T_i - T_0) \cdot (-a^{-1} \cdot b^{1/c} \cdot c \cdot (a-L)^{(c-1)/c} \cdot L^{(c+1)/c}) = 6 \quad \text{식(2)}$$

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

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

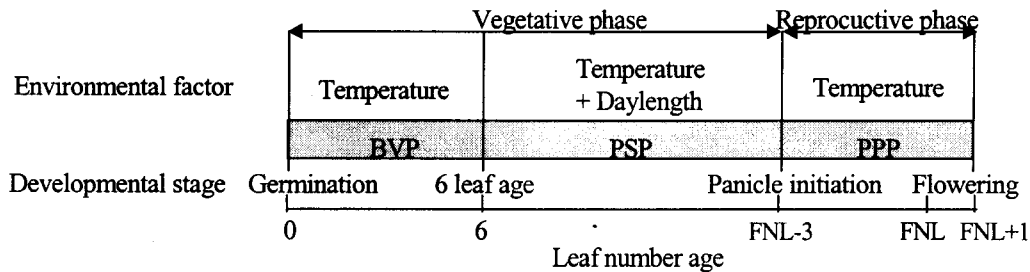
여기에서 P는 PSP가 끝날 때 즉, 유수분화기까지의 기간을 의미한다. 최종엽수는 PSP 기간중의 평균일장에 의하여 표 10의 최종엽수 추정식을 이용하여 다음과 같이 계산한다.

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

식(3)에 의해 계산된 엽령과 식(4)에 의해 계산된 엽령의 차이가 3을 넘어서는 시기가 유수분화기 P가 되며, P에서 식(3)으로 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.



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

Fig 1. Diagram showing the relationship between developmental stage and leaf number age, and the major environmental factors affecting the development of rice during each stage.

이와 같은 과정을 통하여 식(2)~식(5)로부터 출수기를 예측할 수 있었고, 실제 조사된 출수기와 추정된 출수기와의 차이는 1~2일로 예측오차가 매우 적었으며, 결정계수(R²) 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.

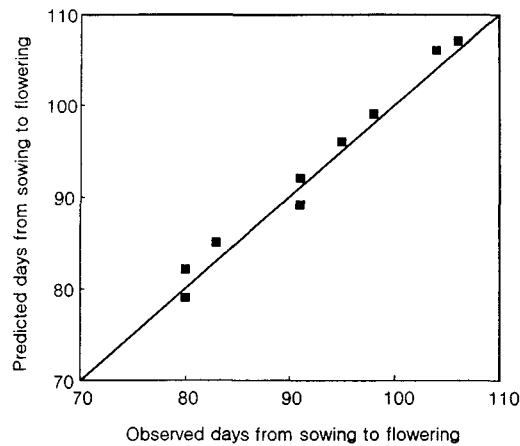


Fig 2. Comparison between days from sowing to flowering observed and predicted by model which consists of model equations calculating the leaf appearance rate (equation 4) and final number of leaves (equation 7).

인용문헌

신진철, 이충근, 윤영환. 2000. 기후변화에 따른 작물생산성 반응과 기술적 대응. 작물학회, 농업기상학회, 농업과학협회 공동 심포지움.

이변우. 1991. 온도·일장 2차원 Non-Paramatic 모형에 의한 건답직파재배 벼의 출수기 예측. 한국작물학회지 36(2):97-106

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

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

Yin, X., M. J. Korpff and Ynalvez. 1997. Photoperiodically sensitive and insensitive phases of preflowering development in rice. *Crop Sci*. 37:182-190