

## 벼 유묘활력의 품종 변이와 간접 선발을 위한 초기생육 지표형질 탐색

付金東 · 이변우<sup>†</sup>

서울대학교 농업생명과학대학 식물생산과학부

### Genotypic Variation of Early Growth Vigor and Indicator Traits for its Indirect Selection in Rice

Jin-Dong Fu and Byun-Woo Lee<sup>†</sup>

Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

**ABSTRACT** Early growth vigor (EGV) is one of the physiological characteristics that may contribute to the increase of genetic yield potential and radiation use efficiency by closing the canopy earlier. To estimate the genotypic variation of EGV, determine the relationships among the related traits, and identify the rapidly growing genotypes and indirect indicator for selection in breeding program, the evaluation of EGV and EGV-related traits was conducted for a total of 140 rice varieties consisting of 101 Korean, 25 Northern China and 14 IRRI-bred rice varieties in a serial sowing experiment in plastic rain shelter and plastic-covered nursery bed in 2003. EGV defined as the amount of leaf area and/or dry weight produced early in the season and the EGV-related traits such as length and breadth of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> leaves showed highly significant positive correlation with the embryo and seed weight. Especially, the genotypic variation in the length of the third leaf was explained over 90% of genotypic variation in the seed weight. Owing to a large effect of seed size on EGV and its related traits, vigor measurements were adjusted based on their linear or exponential relationships with seed weight for excluding the seed weight effect. EGV and its related-traits adjusted for seed weight also showed big variation among genotypes. Increased EGV was genetically correlated with increases in breadth and length of early leaves. The broad-sense heritability for EGV was significantly high (81%), but lower than those of leaf breadth (90% for the 2<sup>nd</sup> leaf and 93% for the 3<sup>rd</sup> leaf) and length (87% for the 2<sup>nd</sup> leaf and 89% for the 3<sup>rd</sup> leaf). Significantly positive genetic correlations were found between EGV and the breadth and length of early leaves. The high heritability of early leaf breadth and length coupled with their strong genetic correlation with EGV indicated that the

breadth and length of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> leaf would be used as good indirect indicators for EGV selection in rice breeding program.

**Keywords** : rice, early growth vigor, leaf length and breadth, broad-sense heritability, genotypic and phenotypic correlation.

**빠른** 속도로 증가하는 세계 인구를 부양하기 위해서는 2030년까지 현재의 쌀 수량이 50%정도 증가하는 새로운 녹색혁명 일어나야 한다고 한다(Khush & Peng, 1996). 현재 우리나라는 식량수급에 위기감을 느낄 정도는 아니지만, 매년 도시화와 산업화에 따라 논이 잠식되고 있어 이에 따른 쌀 생산 잠재력의 저하를 보상하고 쌀 시장개방에 따른 국제 경쟁력을 확보하기 위해서는 쌀 수량성의 증대는 필수적이다.

1960년대 벼에 반왜성 유전자 도입으로 수량성이 크게 증대되었는데, 이는 내도복성과 내비성의 증대, sink size의 증대와 동화물질의 이삭으로의 전류량 증대 및 수확지수 향상에 의한 결과였다(Peng *et al.*, 2000), 그 후 수량성 증대는 답보 상태에 있다. 현재 우리나라를 비롯한 외국의 다수성 품종의 수확지수는 0.5~0.55 정도로 한계수확지수인 0.6에 근접하고 있어 향후 수량 향상은 벼 재배기간 중의 총 건물생산량 즉, 벼 군락의 순광합성량 증대에서 찾아야 한다(Yin *et al.*, 1999; Peng *et al.*, 2000).

벼 군락의 순광합성량 증대를 위해서는 재식밀도를 증가시키는 것도 한 방법일 수 있으나 과도한 경쟁 등으로 오히려 수량이 감소할 위험이 크기 때문에(Murty & Murty, 1981; Zeng & Shannon, 2000) 동일한 재식밀도에서 군락의 광이용율을 증대시키는 것이 바람직하다. 유묘활력(early growth vigor, EGV)이 큰 품종은 초기 생육이 빨라 군락의 초관을

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-02-880-4544

(E-mail) leebw@snu.ac.kr

<Received July 16, 2007>

빨리 폐쇄시키는 특징(rapid canopy closure, RCC)을 갖고 있기 때문에 단위면적당 근락의 수광량을 증대시켜 건물 생산량을 증대시킨다(Rebetzke & Richards, 1999). 이러한 관점에서 외국에서는 밀(Botwright *et al.*, 2002; Rebetzke *et al.*, 2004), 보리(López-Castañeda *et al.*, 1995; Bort *et al.*, 1998), 수수(Maiti & Bidinger, 1981; Cisse & Ejeta, 2003), 옥수수(Revilla *et al.*, 1999), 벼(Krishnasamy & Seshu, 1989; Redona & Mackill, 1996a; Asch *et al.*, 1999; Cui *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2005a, 2005b; Lu *et al.*, 2007)를 대상으로 품종 또는 교배조합의 EGV를 다양하게 평가하고 이를 실제 육종선택지표로 활용하기 위한 연구를 진행해오고 있으나 아직까지 국내에서 벼에 대한 연구는 빈약한 실정이다.

한편 일반 육종프로그램에서 목적형질에 맞도록 육종하기 위해서는 우선 개개 품종이 갖고 있는 유전적 특성을 정확하게 파악해야만 한다. 개개 품종의 유전적 특성은 표현형으로 나타나기 때문에 재배시험을 통한 검증을 주로 사용하고 있다. 그러나 양적형질과 같이 연관이 많이 되어 있거나 유전력이 작은 경우 또는 G×E 상호작용이 큰 경우에는 재배시험시 유전형질은 환경과의 상호작용에 의해서 왜곡이 일어나기 쉽다. 다시 말해, EGV는 어느 일정한 시기의 엽면적이나 건물생산과 같은 표현형으로 평가하는데, 초장, 분얼수, 엽면적, 건물중, 수량 등과 같이 생육과 관련된 지표들은 G×E interaction이 큰 경향이 있어(Rebetzke & Richards, 1999) 정확하게 평가하기 어렵다. G×E interaction이 큰 양적형질의 선발이나 유전분석에 있어서 환경의 영향을 제거하고 양적형질의 효율적 유전분석과 선발을 하고자 생육모델을 이용하는 경우도 있으나, 환경과의 interaction이 적은

초기 생육으로써 EGV를 평가하는 방법이 주로 사용되고 있다(Whan *et al.*, 1991; Pandey *et al.*, 1994; López-Castañeda *et al.*, 1996; Dingkuhn *et al.*, 1998; Turner & Nicolas, 1998; Botwright *et al.*, 2002; Richards & Lukacs, 2002). 만약 환경의 영향을 덜 받는 생육초기에 EGV를 정확하게 평가하여 간접 선발지표를 확립할 수 있다면 시간과 노력을 크게 줄일 수 있을 것이다.

본 연구는 한국을 비롯하여, 중국과 국제미작연구소(IRRI)로부터 수집한 140개 품종을 대상으로, ① EGV를 평가하여 높은 EGV를 가진 유전자원 선발과, ② EGV와 그 관련 형질들간 상관관계 및 이들의 유전력 등을 고려하여 EGV의 간접선발지표를 탐색하고자 하였다.

## 재료 및 방법

본 실험은 벼의 초기 유묘활력(early growth vigor, EGV)에 대한 품종간 변이 및 간접 선발지표를 탐색하고자, 한국 재배품종과 보급종 96개 품종과 중국 북부지방의 25개 품종, International Rice Research Institute(IRRI)의 19품종 등 총 140개 품종을 공시하여(Table 1) 포트실험과 모대실험을 각각 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장의 프라스틱 비가림하우스와 못자리에서 2003년도에 수행하였다.

플러그육묘상실험: 2003년 4월 25일(저온기)과 6월 14일(고온기)에 프라스틱 비가림 하우스에서 실험을 실시하였다. 140개 품종별로 비중선을 거친 후 품종당 종자 30립을 골라 배와 배유 무게를 측정하였다. 나머지 종자는 종자소독을 하여, 침종을 한 후, 24시간 동안 30°C 암조건에서 최

**Table 1.** Rice varieties used for early growth vigor test

<p><b>Japonicas from Korea:</b> Ansan, Baegyong, Brittle culm, Bungkwang, Cheongcheong, Cheonghyangna, Cheongmyeong, Chucheong, CP SLD, Daeon, Daecheong, Daepyeong, Daesan, Daeya, Daeyib1, Daeyibgaeng15, Dongan, Donghae, Dunnae, Geuman, Geumnam, Geumo, Geumo#2, Goami, Gru, Gwangan, Gyehwa, Hwabong, Hwacheong, Hwacheong ge, Hwacheong L-ge, Hwajin, Hwanam, Hwaseongbye, Hwayeong, Iksan467, Ilmi, Ilpum, Inweol, Jangan, Jibuol, Jinbu, Jinheung, Jinmi, Jongnam, Joryeong, Juan, Junghwa, Manan, Mangeum, Manho, Manmi, Munjang, Naepung, Namgang, Namil, Nampyeong, Nongan, Obong, Odae, Saesangju, Samcheon, Samdeog, Sangju, Sangmi, Sangsan, Seoan, Seogan, Seojin, Seolag, Seolgaeng, Sindongjin, Sinunbong, SNU-SG1, Sobaeg, Sobi, SR22060-B-B-B-2, Sura, Suweon468, Suweon481, Suweon490, Taeseong, Tamjin, Unbong, Wonhwang, Yangjo, Gancheog, Yeongnam</p> <p><b>Tongil types from Korea:</b> Anda, Dasan, Hanaruem, Hangangchal, Namcheon, Nampung, Samgang, SR21331-54-1-1-2-2, SR23047-70-1-1, SR24353-51-2-2, SR24861-9-1, Suweon476, Taebaeg</p> <p><b>Japonicas from China:</b> 2428, Balila, Changbai9, Chenzheng8, CP231, Gaoshan1, Gaoshan2, He16, Hejiang21, Hejie15, Hejie41, Jiyujing, Kunjing4, Lunhui422, Menghuangjin, OS-4, Shennong27, SMR, Tong35, Yan304, Yan308, Yan504, Yujing9, Zheng5-2, Zhengjing7</p> <p><b>Indicas from IRRI:</b> IR8, IR36, IR64, IR72</p> <p><b>NPTs from IRRI and Korea:</b> IR31917-45-3-2, IR69860-10-1-2-K1-3-7, IR71204-91-2-2, IR71451-40-3-1, IR71682-39-2-1-2, IR72225-29-1-1-3-1, IR72975-Y61-1-1-1, IR73111-B-R-15-3-1, SR22060-17-2-1-2-2, SR24848-C92-21</p>
--

아시켰다. 약 1 mm 정도로 최아된 종자를 상토를 채운 원예용 플러그 육묘상자에 혈(길이×너비×깊이=4.5 cm × 4.5 cm × 4.5 cm)당 4립씩 2 cm 깊이로 4곳에 직파하였다. 출아 이후에는 2개체만 남기고 솟아내었다. 저온기 실험기간 중 평균기온은 19.8°C, 고온기 실험기간 중 평균기온은 22.9°C였다.

**기계이양상자실험**

종자소독, 침중 및 최아(씩길이 1 mm 이하)를 하여 2003년 4월 25일에 기계이양 상자에 130g/상자의 밀도로 산파하여 출아, 녹화 후 보온절충 못자리에서 육묘하였다. 파종 후 20일에 묘 생육조사를 실시하였다.

조사항목은 배와 배유의 무게, 그리고 5엽기 경 각 엽의 엽장, 엽폭, 엽면적, 엽중 및 지상부 건물중 등을 조사하였다. 여기서 엽면적은 엽장과 엽폭을 곱한 값에 0.67을 곱하여 다음과 같이 구하였다(Murata, 1967). 엽장과 엽폭 측정이 끝난 시료는 70°C에서 72시간 건조하여 엽 건물중과 줄기 건물중을 측정하였다.

$$\text{Leaf area} = 0.67 \times \text{leaf length} \times \text{leaf breadth Eq. [1]}$$

실험에서 얻어진 Data는 SAS 8.2 프로그램을 이용하여 EGV 및 EGV 관련형질의 유전력, 유전분산, 표현형분산 등(Nyquist, 1991)을 계산하였다.

- 광의의 유전력(Broad-sense heritability):

$$h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_P^2} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_{G_i}^2 + \sigma_{E_j}^2 + \sigma_{(GE)_{ij}}^2} \quad \text{Eq.[2]}$$

- 유전상관(Genotypic correlation):

$$\rho_{G_{xy}} = \frac{\text{Cov}_{G_{xy}}}{\sqrt{\sigma_{G_x}^2 \sigma_{G_y}^2}} \quad \text{Eq.[3]}$$

- 표현형상관(Phenotypic correlation):

$$\rho_{P_{xy}} = \frac{\text{Cov}_{P_{xy}}}{\sqrt{\sigma_{P_x}^2 \sigma_{P_y}^2}} \quad \text{Eq.[4]}$$

여기서  $\sigma_G^2$ 은 유전 분산(genotypic variation)이고,  $\sigma_P^2$ 은 표현형분산(phenotypic variation)이다. 표현형 분산( $\sigma_P^2 = \sigma_{P_{ij}}^2$ )은 j 환경에서 i 유전자의 표현형분산 값인데, 이는 i 유전자의 유전분산( $\sigma_{G_i}^2$ )과 j 환경분산( $\sigma_{E_j}^2$ ), 그리고 유전자 i와 환경 j와의 상호작용분산( $\sigma_{(GE)_{ij}}^2$ )의 합이다. 유전상관( $\rho_{G_{xy}}$ )은 형질 x와 형질 y의 유전분산곱( $\sigma_{G_x}^2 \sigma_{G_y}^2$ )의 제곱근에 대한 유전형질 x, y의 공분산( $\text{Cov}_{G_{xy}}$ ) 비다. 표현형상관( $\rho_{P_{xy}}$ )은 형질 x와 형질 y의 표현형분산곱( $\sigma_{P_x}^2 \sigma_{P_y}^2$ )의 제곱근에 대한 표현형형질 x, y의 공분산( $\text{Cov}_{P_{xy}}$ ) 비이다.

**결과 및 고찰**

종자특성과 유묘활력(EGV, early growth vigor)간의 상관 EGV를 평가하고 환경에 따른 EGV와 EGV 관련형질들의 변이를 조사하기 위하여 플라스틱 비가림 하우스에서 고온기와 저온기에 그리고 야외의 못자리에서 EGV 및 EGV 관련형질을 조사하여 140품종의 평균을 나타낸 것이 표 2이다. 엽폭의 경우 2엽에서는 온도가 높은 경우일 수록 넓어지는 경향이었으나 유의한 차이는 아니었고, 3엽에서는 차이가 없었다. 엽장의 경우 2엽에서는 일평균기온이 높아짐에 따라서 유의하게 길어지는 경향이었고, 3엽에서는 온도가 낮았던 묘대조건에서만 유의하게 짧았다. 엽면적은 2엽과 3엽 모두 온도가 높은 조건에서 EGV를 평가한 경우일 수록 유의하게 컸다. 파종 한 달 후에 측정한 엽면적(TLA) 및 건물중(DW), 즉 EGV는 온도가 높은 조건에서 평가한 경우에 컸으며, 이들은 2엽과 3엽의 엽장이 클수록 증가하는 경향으로 엽폭보다는 엽장과 밀접한 관련이 있는 것으로 보였다.

EGV 및 EGV 관련형질을 140품종의 기원별로 비교한 것이 표 3이다. 140 품종 전체의 배와 종자중의 변이계수(CV)는 각각 14% 및 9%로 크지 않았고 또한 품종의 기원

**Table 2.** Evaluation conditions for early growth vigor and means of early growth vigor-related traits for 140 rice genotypes.

Location	Date of sowing	Date of sampling	Daily mean tem (°C)	Breadth (cm)		Length (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )			TLA* (cm <sup>2</sup> )	DW** (mg)
				2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf		
Plastic house	14 June 2003	15 July	22.9	0.29	0.29	2.26	5.31	0.46	1.08	8.83	0.05	
Plastic house	25 April 2003	19 May	19.8	0.27	0.29	2.17	5.31	0.41	1.07	5.98	0.05	
Nursery	25 April 2003	14 May	17.6	0.26	0.29	2.13	5.15	0.39	1.04	4.90	0.03	
LSD at 5% level				N.S.	N.S.	0.13	0.11	0.02	0.03	1.25	0.01	

TLA is total leaf area per plant at sampling for the early growth vigor tests.  
DW is dry weight of shoot per plant at sampling for the early growth vigor tests.

**Table 3.** Genotypic variation in early growth vigor and related traits of 140 rice genotypes originated from Korea, China, and IRRI.

Origin	Cultivar No.		Weight (mg)		Breadth (cm)		Length (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )		TLA (cm <sup>2</sup> )	DW (mg)
			Embryo	Seed	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf		
Korea	101	Max.	0.77	23.00	0.40	0.40	3.58	9.06	0.91	2.28	12.23	8.17
		Min.	0.33	13.95	0.14	0.18	1.08	2.77	0.14	0.44	1.22	0.93
		Mean	0.60	18.99	0.26	0.27	1.99	4.96	0.36	0.93	6.48	4.34
		Stdev.	0.08	1.60	0.05	0.05	0.55	1.15	0.16	0.36	2.35	1.34
		C.V.(%)	14	8	20	17	27	23	45	38	36	31
China	25	Max.	0.79	21.98	0.39	0.40	4.25	7.52	0.99	1.99	11.78	6.70
		Min.	0.49	17.15	0.21	0.23	1.66	3.67	0.27	0.63	4.68	3.71
		Mean	0.62	19.44	0.31	0.31	2.37	5.25	0.49	1.09	8.53	5.21
		Stdev.	0.08	1.30	0.04	0.05	0.61	0.97	0.16	0.35	2.07	0.85
		C.V.(%)	13	7	14	17	26	18	33	32	24	16
IRRI	14	Max.	0.88	22.91	0.39	0.51	3.99	8.59	0.97	2.47	13.39	7.27
		Min.	0.53	16.68	0.24	0.27	1.71	4.19	0.31	0.75	1.40	1.18
		Mean	0.67	21.18	0.33	0.37	2.91	6.79	0.65	1.69	8.58	4.88
		Stdev.	0.08	1.50	0.04	0.05	0.71	1.08	0.20	0.40	3.33	1.80
		C.V.(%)	12	7	13	15	24	16	31	24	39	37
Pooled	140	Max.	0.88	23.00	0.40	0.51	4.25	9.06	0.99	2.47	13.39	8.17
		Min.	0.33	13.95	0.14	0.18	1.08	2.77	0.14	0.44	1.22	0.93
		Mean	0.61	19.37	0.28	0.29	2.19	5.26	0.42	1.06	7.13	4.57
		Stdev.	0.09	1.70	0.06	0.06	0.66	1.27	0.20	0.44	2.62	1.37
		C.V.(%)	14	9	20	20	30	24	47	42	37	30

별로도 CV에 큰 차이가 없었다. 그러나 EGV를 대표하는 총엽면적(TLA)과 총건물중(DW)의 CV는 각각 37%와 30%로 비교적 변이가 컸으며, 그 변이는 IRRI 수집종이 가장 크고, 다음이 우리나라 수집종, 중국 수집종 순이었다. 배와 종자의 무게평균은 각각 0.61(0.33~0.88) mg, 19.37(13.95~23.00) mg이었고, 엽면적(TLA)은 7.13(1.22~13.39) cm<sup>2</sup>, 지상부 건물중(DW)은 4.57(0.93~8.17) mg이었다.

엽폭과 엽장의 변이는 한국품종에서 가장 컸는데, 엽폭과 엽장의 평균값의 크기는 IRRI품종 > 중국품종 > 한국품종 순이었다. 2엽과 3엽의 평균 엽폭은 한국종과 중국종에서는 큰 차이가 없었으나 IRRI 품종에서는 3엽의 엽폭이 2엽보다 넓었다. 엽폭보다는 엽장의 품종간 변이가 컸는데, 제2엽과 3엽 모두 엽폭의 CV는 20%였고, 엽장의 경우는 제2엽이 30%이고 제3엽이 24%였다. 엽장과 엽폭의 품종간 변이 역시 종자의 기원별로 큰 차이가 없었다. 제2엽과 3엽 엽면적의 CV는 2엽과 3엽 모두 40% 이상으로 매우 컸으며, 우리나라 수집종들 간의 변이가 가장 컸다.

종자 특성과 EGV 및 그 관련형질 특성들 간의 상관관계

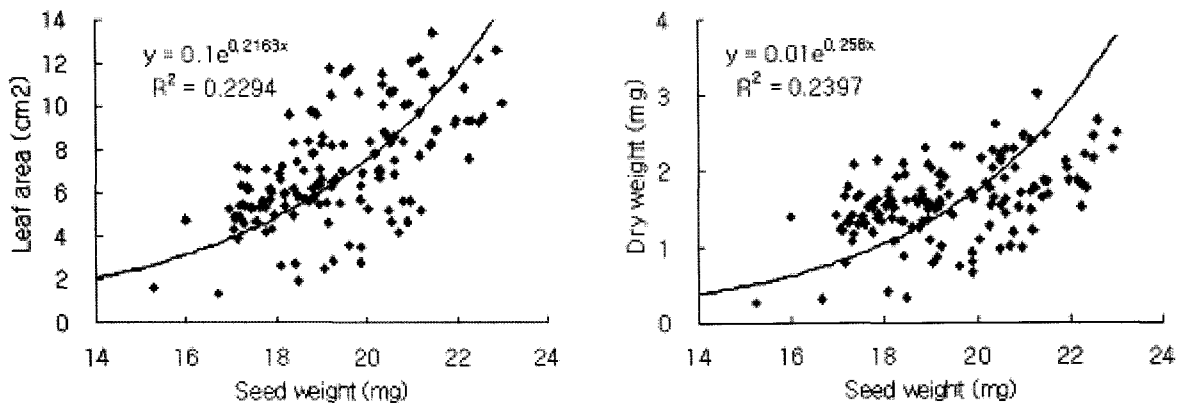
를 EGV 평가조건별로 나타낸 것이 표 4이다. 배 무게 및 종자 무게는 EGV 대표치인 TLA 및 DW와 모든 평가 조건에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 EGV가 종자의 크기에 의하여 크게 좌우되는 것으로 판단되었다. 한편 제2엽과 3엽의 엽장, 엽폭 및 엽면적 모두 배 및 종자 무게와 고도로 유의한 정의 상관이 있었으며, 배 무게보다는 종자 무게와의 상관이 더 높았다. 그리고 제2엽보다는 제3엽에서 배 및 종자 무게와 상관도가 높았고, 그 중에서도 3엽 엽장은 배 무게와 상관(r)이 0.51, 종자무게와 상관(r)이 0.96으로 나타나 3엽 엽장과 종자 특성간에 매우 밀접한 관계를 보였다.

앞에서 살펴본 바와 같이 EGV 및 EGV 관련형질들은 모두 품종의 종자 무게에 의하여 크게 좌우되므로, 종자 무게의 영향을 배제한 EGV와 그 관련형질들의 품종간 변이 그리고 이들간의 관계를 검토하기 위하여, 종자무게와 EGV (Fig. 1) 및 관련형질(Fig. 2) 간의 직선 또는 지수함수 회귀관계를 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

**Table 4.** Correlation between characteristics of seed and EGV-related traits in 140 rice genotypes.

	Breadth		Length		Area		TLA	DW
	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf		
Plastic house (high temp.)								
Embryo weight	0.34**	0.35**	0.40**	0.51**	0.38**	0.46**	0.31**	0.23*
Seed weight	0.59**	0.61**	0.74**	0.96**	0.71**	0.86**	0.50**	0.46**
Plastic house (low temp.)								
Embryo weight	0.35**	0.35**	0.39**	0.51**	0.37**	0.46**	0.29**	0.24*
Seed weight	0.61**	0.61**	0.75**	0.96**	0.71**	0.86**	0.49**	0.49**
Nursery								
Embryo weight	0.35**	0.39**	0.43**	0.51**	0.39**	0.47**	0.24*	0.23*
Seed weight	0.60**	0.65**	0.71**	0.96**	0.69**	0.87**	0.42**	0.49**
Pooled								
Embryo weight	0.35**	0.35**	0.41**	0.51**	0.38**	0.46**	0.28**	0.24*
Seed weight	0.60**	0.62**	0.74**	0.96**	0.71**	0.87**	0.48**	0.46**

\*, \*\*: Significantly at 5% and 1% levels, respectively.



**Fig. 1.** Relationship between the total leaf area (TLA) and dry weight (DW) and the seed weight of 140 rice genotypes.

$$Y_{adj} = \hat{Y}(\bar{x}) + \{Y - \hat{Y}(x)\} \quad \text{Eq.[5]}$$

여기서  $Y_{adj}$ 는 종자무게 보정 EGV 또는 그 관련형질,  $\hat{Y}(\bar{x})$ 는 140개 품종의 평균종자무게( $\bar{x} = 19.4$  mg)에서 EGV(Fig. 1의 식) 또는 그 관련형질(Fig. 2의 식) 추정치,  $Y, \hat{Y}(x)$ 는 각각 EGV 및 그 관련형질 실제 값 및 품종의 실제 종자무게( $x$ )에서 추정치이다.

이와 같이 하여 종자 무게의 영향을 배제하여 다시 계산한 EGV 관련 형질들의 품종간 변이를 나타낸 것이 표 5이다. 종자 무게로 보정하더라도 TLA와 DW는 각각 33% 및 27%의 CV를 나타내어 보정 EGV 역시 품종간 변이가 컸

다. 제2엽과 3엽의 엽장과 엽폭은 보정 전보다 다소 변이폭이 줄어들었는데, 제2엽의 엽폭과 엽장의 CV는 각각 18% 및 23%로 제3엽의 CV 16% 및 15%보다 컸다.

종자무게보정 EGV와 그 관련형질간의 상관관계를 나타낸 것이 표 6이다. EGV 대표치인 TLA 및 DW와 그 관련형질 간에는 평가조건에 관계없이 모두 유의한 정도의 상관관계를 보였고, 그 상관 정도는 못자리 조건에서 다소 낮았다. EGV와의 상관은 대체로 엽폭보다 엽장이 다소 높았고, 엽위 간에는 큰 차이가 없었다.

**EGV 및 EGV관련형질의 유전변이, 유전력 및 유전상관**  
 종자무게보정 EGV와 EGV 관련형질의 유전분산과 유전

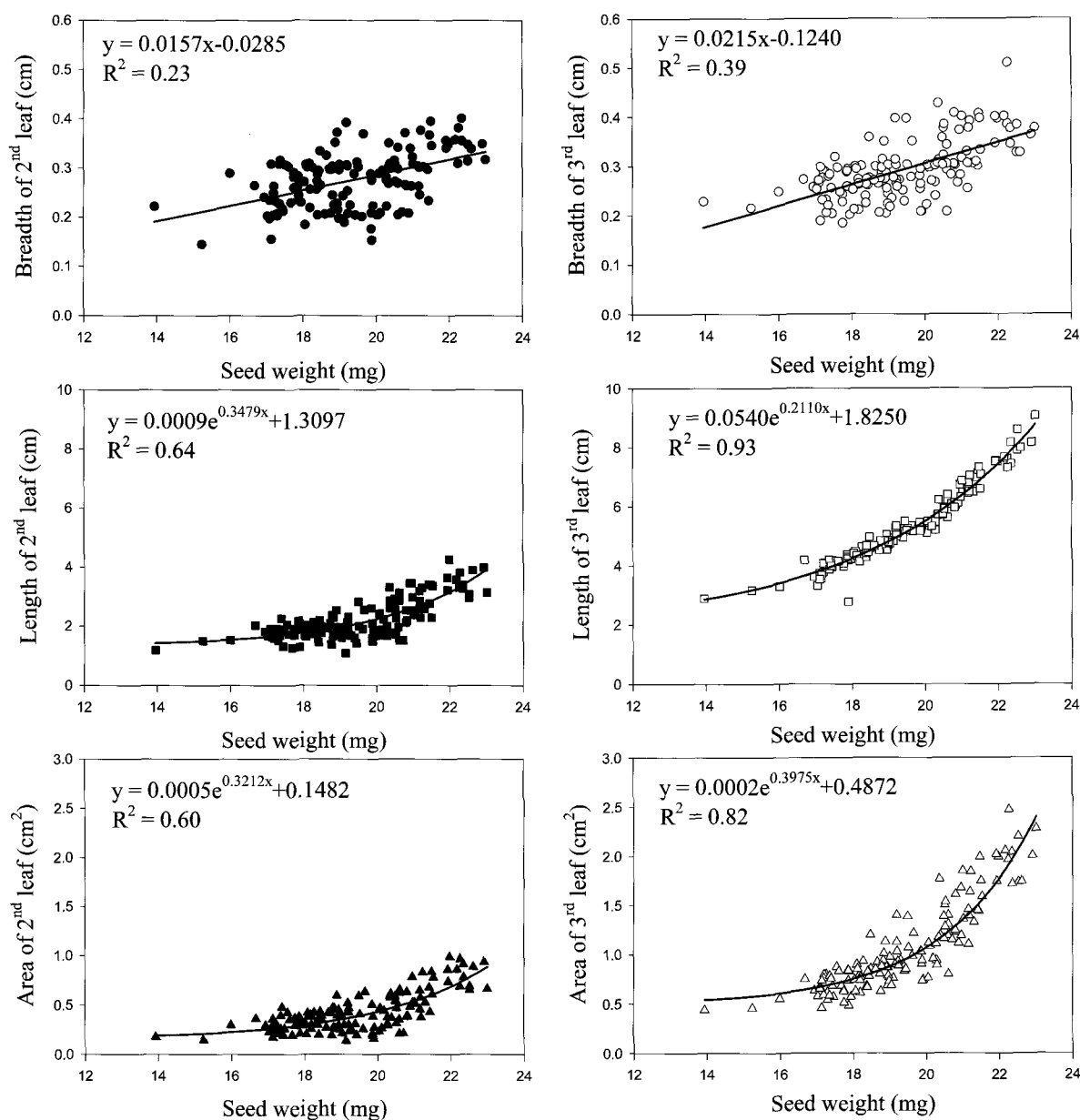


Fig. 2. Relationship between the breadth, length, and area of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> leaves, and the seed weight of 140 rice genotypes.

Table 5. Genotypic variation in EGV and its related traits adjusted for seed weight according to Eq. [5].

Statistics	Seed weight (mg)	Breadth (cm)		Length (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )		TLA (cm <sup>2</sup> )	DW (mg)
		2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf		
Max.	23.00	0.40	0.44	3.75	7.63	0.87	2.15	12.08	7.43
Min.	13.95	0.15	0.20	1.09	3.00	0.14	0.51	1.18	1.18
Mean	19.37	0.28	0.29	2.16	5.20	0.41	1.04	7.05	4.55
Stdev	1.70	0.05	0.05	0.50	0.80	0.16	0.35	2.27	1.23
C.V. (%)	9	18	16	23	15	39	33	32	27

**Table 6.** Correlation between the seed weight-adjusted early growth vigor (total leaf area and dry weight) and the seed weight-adjusted leaf length and breadth of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> leaves.

Early growth vigor traits	Breadth		Length		Area	
	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf
Plastic house (High temperature)						
Total leaf area	0.53**	0.55**	0.67**	0.68**	0.69**	0.73**
Dry weight	0.42**	0.41**	0.49**	0.47**	0.52**	0.56**
Plastic house (Low temperature)						
Total leaf area	0.55**	0.54**	0.63**	0.64**	0.70**	0.71**
Dry weight	0.45**	0.43**	0.49**	0.51**	0.50**	0.57**
Nursery						
Total leaf area	0.35**	0.38**	0.40**	0.40**	0.42**	0.44**
Dry weight	0.32**	0.34**	0.34**	0.35**	0.36**	0.41**

**Table 7.** Variance components and broad-sense heritability estimates (H) for seed weight-adjusted early growth vigor characteristics measured on 140 rice genotypes.

Statistic	Breadth		Length		Area		TLA	DW
	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf		
$\sigma^2_G$	0.31	0.45	0.25	0.27	0.26	0.28	0.21	0.19
$\sigma^2_{G \times E}$	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.01
H <sub>entry-mean</sub>	0.90	0.93	0.87	0.89	0.92	0.93	0.81	0.66
H <sub>single plant</sub>	0.84	0.93	0.86	0.88	0.88	0.91	0.81	0.58

All variance components and heritability estimates (H) were significantly different from zero at P=0.05.

**Table 8.** Genotypic correlations (below the diagonal, bold), phenotypic correlations (above the diagonal), and genotype rank correlation (on the diagonal) among the seed-weight adjusted early growth vigor characteristics measured on 140 rice genotypes.

Traits		Breadth		Length		Area		TLA	DW
		2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf	2 <sup>nd</sup> Leaf	3 <sup>rd</sup> Leaf		
Breadth	2 <sup>nd</sup> Leaf	0.79	0.85*	0.61*	0.59*	0.80*	0.83*	0.54*	0.40*
	3 <sup>rd</sup> Leaf	<b>0.83*</b>	0.85	0.63*	0.62*	0.77*	0.85*	0.61*	0.44*
Length	2 <sup>nd</sup> Leaf	<b>0.59*</b>	<b>0.61*</b>	0.90	0.70*	0.94*	0.95*	0.66*	0.54*
	3 <sup>rd</sup> Leaf	<b>0.57*</b>	<b>0.60*</b>	<b>0.67*</b>	0.90	0.92*	0.97*	0.66*	0.55*
Area	2 <sup>nd</sup> Leaf	<b>0.77*</b>	<b>0.74*</b>	<b>0.91*</b>	<b>0.89*</b>	0.83	0.86*	0.63*	0.43*
	3 <sup>rd</sup> Leaf	<b>0.80*</b>	<b>0.82*</b>	<b>0.92*</b>	<b>0.93*</b>	<b>0.83*</b>	0.83	0.65*	0.44*
TLA		<b>0.51*</b>	<b>0.58*</b>	<b>0.62*</b>	<b>0.62*</b>	<b>0.59*</b>	<b>0.61*</b>	0.75	0.68*
DW		<b>0.38*</b>	<b>0.42*</b>	<b>0.51*</b>	<b>0.52*</b>	<b>0.41*</b>	<b>0.42*</b>	<b>0.66*</b>	0.63

\*stands for being significant at probability level of P=0.05 at least.

력을 나타낸 것이 표 7이다. EGV와 EGV 관련형질이 품종 간 많은 차이를 나타낸 것과 같이 유전분산 또한 EGV와 EGV 관련형질 모두 통계적으로 유의하였다. EGV 및 EGV 관련형질의 유전분산은 유전x환경 상호작용분산( $\sigma^2_{G \times E}$ )에 비하여 매우 커서 9~31배였고, 이에 따라 EGV 대표치인 TLA, DW 및 EGV 관련 형질인 엽폭과 엽장, 엽면적 등의

광의의 유전력(H)은 DW를 제외하면 모두 0.81이상으로 높게 나타났다. EGV 대표치 중 DW보다는 TLA의 유전력이 높았고, 또한 EGV보다도 EGV 관련형질의 유전력이 더 높았다.

EGV와 EGV 관련형질 간의 유전상관, 표현형상관 및 품종 순위상관을 나타낸 것이 표 8이다. 유전형상관과 표현형

상관 모두 EGV와 EGV 관련형질 간에 유의한 정의 상관관계를 보였고, 유전상관은 표현형상관에 비하여 다소 낮은 경향이었는데, 이는 대부분의 형질들이 환경영향을 크게 받지 않고 유전력이 높은 데서 기인하는 것으로 판단된다. TLA와 DW간 유전형상관은 0.66, 표현형상관은 0.68로 고도로 유의한 상관관계를 보였고, 또한 이들은 관련 형질과 고도로 유의한 정의 상관을 보였는데, 제2엽 및 3엽의 엽폭보다는 엽장과 더 높은 유전 상관을 보였다. 또한 EGV 및 관련형질들의 순위상관을 보여 EGV를 간접적 선발지표로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 고 찰

EGV는 파종 후 일정시기가 지난 후에 측정된 성장량(건물중 또는 엽면적)으로 평가할 수 있다(Soltani & Galeshi, 2002). 본 연구는 우리나라 101품종과 중국 북부지방의 25품종, IRRI의 14품종 등 총 140개 품종을 대상으로, 포트실험(저온기 및 고온기)과 묘대실험을 통한 5엽기 경 각 엽의 엽장, 엽폭, 엽면적 및 지상부 건물중 등을 조사하여 EGV에 대한 품종간 변이를 검토하고 간접 선발지표를 탐색하고자 하였다.

생육초기 엽폭과 엽장으로 정의되는 EGV 관련형질은 배(embryo) 및 종자의 무게와 고도로 유의한 정의 상관관계가 있었는데(표 4), 배 무게보다는 종자 무게와 더 높은 상관을 보였다. 이는 Pandey *et al.*(1994)이 EGV가 유전력이 높은 배의 크기와 높은 유전적 상관이 있다고 보고한 것과 유사한 결과였다. Rebetzke & Richards(1999)은 종자무게가 밀의 EGV 관련형질에 큰 영향을 미치고 종자가 크면 1엽 엽폭도 넓어졌다고 보고하였다. 이와 같이 종자무게는 초기활력이나 그 관련형질에 크게 영향하기 때문에 유묘활력에 미치는 종자 무게의 영향을 제거하여 유묘활력 및 관련요소들을 평가하고자 종자무게와 유묘활력 및 관련요소들의 직선적 또는 지수적 관계로부터 종자무게의 영향을 배제한 EGV 및 관련 형질의 값을 계산하였다(Fig 1, Fig 2, 표 5). 종자무게로 보정하더라도 TLA와 DW는 각각 33% 및 27%의 변이계수를 나타내어 보정 유묘활력(EGVA)과 그 관련형질들 역시 품종간 변이가 컸다.

EGVA 대표치인 보정 TLA와 DW, EGVA 관련 형질인 보정 엽폭과 엽장, 엽면적 등의 광의의 유전력(H)은 DW를 제외하면 모두 0.81이상으로 높게 나타났고(표 7), 밀(Whan *et al.*, 1991; Rebetzke & Richards, 1999), 보리(Cai *et al.*, 1993), 옥수수(Fakorede & Ojo, 1981)에서 보고된 값보다 높았다. 또한 엽폭과 엽장은 엽면적과 매우 높은 유전상관

이 있음(표8)을 고려할 때 엽폭 혹은 엽장의 선발은 엽면적의 유전획득량(genetic gain)을 증가시킬 수 있어 엽면적의 선발과 같은 것으로 생각된다. 반면에 생육이 점차 진전되면서 유전자(G)와 환경(E)의 상호작용(interaction)이 증대되는데, 이 G×E interaction은 EGV의 유전력을 유의하게 감소시킨다고 한다(Rebetzke & Richards, 1999).

또한 Falconer(1954)는 어떤 형질 사이의 유전상관이 높으면 선발하기 쉬운 타 형질을 선발함으로써 간접적인 선발이 가능하다고 하였다. 예를 들면, 엽면적보다 엽폭 혹은 엽장의 측정은 비파괴적이고 쉽게 측정할 수 있어 선발할 때 수많은 계통을 짧은 시간에 평가할 수 있다. 본 실험에서 TLA와 DW간 유전형상관은 0.66, 표현형상관은 0.68로 고도로 유의한 정의 상관관계를 나타내었고(표 8) 또한 이들과 관련 형질들과 고도로 유의한 정의 상관관계를 보였는데, 2엽 및 3엽의 엽폭보다는 엽장과 더 높은 유전상관을 보였다. 제2엽 및 3엽의 엽폭과 엽장은 EGVA와 높은 유전상관을 보일 뿐만 아니라 유전력이 높아 제2엽과 3엽의 엽폭과 엽장을 EGV를 선발하기 위한 간접지표로 이용할 수 있을 것으로 생각되었다. 또한 본 연구에서 큰 EGV를 가진 품종들이 다수 선발되었는데 이들은 EGV가 높은 품종을 육종하기 위한 유전자원으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

유묘활력(early growth vigor, EGV)은 초기 생장의 빠르고 늦음을 나타내는 특성이다. 유묘활력의 품종간 변이 및 관련형질간의 상호관계를 검토하여 유묘활력 간접선발지표를 찾고자 2003년 한국품종, 중국품종, IRRI품종 등 총 140개 품종을 대상으로 플라스틱하우스에서 시기를 달리하여 저온기와 고온기 2회, 봄철 보온절충 못자리에서 1회 등 총 3회에 걸쳐서 EGV 및 그 관련 형질 들을 조사하였다.

EGV는 파종 후 일정시기가 지난 후에 측정된 성장량(건물중 또는 엽면적)으로 평가할 수 있다. 생육초기 엽폭과 엽장으로 정의되는 EGV 관련형질은 배와 종자의 무게와 고도로 유의한 정의 상관관계가 있었다. 특히 3엽장의 유전변이는 종자무게의 유전변이에 의해 90%이상 설명할 수 있었다. 이와 같이 종자무게는 초기활력이나 그 관련형질에 크게 영향하기 때문에 유묘활력에 미치는 종자 무게의 영향을 제거하고자 종자무게와 유묘활력 및 관련요소들의 직선적 또는 지수적 관계(식)로부터 종자무게의 영향을 배제한 유묘활력 및 관련 형질의 값을 계산하였다. 종자 무게의 영향을 제거한 보정 유묘활력(EGVA)과 그 관련형질들도 품종



간 큰 변이를 나타내었다. 생육초기 잎들의 엽폭 및 엽장은 EGVA와 높은 유전상관을 보일 뿐만 아니라 높은 광의의 유전력을 보였다. 생육초기잎들의 엽폭(2엽의 90%, 3엽의 93%)이나 엽장(2엽의 87%, 3엽의 89%)의 광의의 유전력은 EGVA의 광의의 유전력 81%보다도 높았다. 따라서 생육초기 잎인 제2엽과 3엽의 엽장 및 엽폭은 EGV를 간접적으로 선별할 수 있는 지표로 이용할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-4301)의 지원으로 수행되었다.

## 인용문헌

- Asch, F., A. Sow, and M. Dingkuhn. 1999. Reserve mobilization, dry matter partitioning and specific leaf area in seedling of Africa rice cultivars differing in early vigor. *Field Crops Res.* 61 : 191-202.
- Bort, J., J. L. Araus, H. Hazzam, S. Grando, and S. Ceccarelli. 1998. Relationships between early vigour, grain yield, leaf structure and stable isotope composition in field grown barley. *Plant Physiol. and Biochem.* 36 : 889-897.
- Botwright, T., A. G. Condon, G. J. Rebetzke, and R. A. Richards. 2002. Field evaluation of early vigour for genetic improvement of grain yield in wheat. *Australian J. of Agric. Res.* 53 : 1137-1145.
- Cisse, N. and G. Ejeta. 2003. Genetic variation and relationships among seedling vigor traits in sorghum. *Crop Sci.* 43: 824-828.
- Cai, Y. H., M. Tahir, and S. K. Yau. 1993. Relationship of growth vigor, leaf color and other agronomic characters with grain yield in winter and facultative barley in a low-rainfall environment. *Rachis* 12: 20-23.
- Cui, K. H., S. B. Peng, Y. Z. Xing, C. G. Xu, S. B. Yu, and Q. Zhang. 2002. Molecular dissection of seedling-vigor and associated physiological traits in rice. *Theor. and Appl. Genetics* 105 : 745-753.
- Dingkuhn, M., M. P. Jones, D. E. Johnson, and A. Sow. 1998. Growth and yield potential of *Oryza sativa* and *O. glaberrima* upland rice cultivars and their interspecific progenies. *Field Crops Res.* 57 : 57-69.
- Fakorede, M. A. B. and D. K. Ojo. 1981. Variability for seedling vigour in maize. *Exper. Agric.* 17 : 195-201.
- Falconer, D. S. 1954. Validity of the theory of genetic correlation. *J. of Heredity* 45 : 42-44.
- Khush, G. S. and S. Peng. 1996. Breaking the yield frontier of rice. Increasing yield potential in wheat: breaking the barrier, Mexico. CIMMYT.
- Krishnasamy, V. and D. V. Seshu. 1989. Seed germination rate and associated characters in rice. *Crop Sci.* 29: 904-908.
- Lu, X. L., A. L. Niu, H. Y. Cai, Y. Zhao, J. W. Liu, Y. G. Zhu, and Z. H. Zhang. 2007. Genetic dissection of seedling and early vigor in a recombinant inbred line population of rice. *Plant Sci.* 172(2) : 212-220.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, and G. D. Farquhar. 1995. Variation in early vigor between wheat and barley. *Crop Sci.* 35 : 472-479.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, G. D. Farquhar, and R. E. Williamson. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Sci.* 36 : 1257-1266.
- Maiti, R. K., P. S. Raju, and F. R. Bidinger. 1981. Evaluation of visual scoring for seedling vigor in sorghum. *Seed Sci. and Tech.* 9 : 613-622.
- Murata, Y. 1967. In photosynthesis and utilization of solar energy. Level I Experiments Reports 1, August 1967. JIBP/PP-Photosynthesis Local Productivity Group, National Sectional Committee for PP/JPP.
- Murty, P. S. S. and K. S. Murty. 1981. Effect of low light at anthesis on spikelet sterility in rice. *Curr. Sci.* 50 : 420-421.
- Nyquist, W. E. 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Rev. of Plant Sci.* 10 : 235-322.
- Pandey, M. P., D. V. Seshu, and M. Akbar. 1994. Genetics of embryo size and its relationship with seed and seedling vigour in rice (*Oryza sativa* L.). *Indian J. of Genetics and Plant Breeding* 54 : 258-268.
- Peng, S., R. C. Laza, R. M. Visperas, A. L. Sanico, K. G. Cassman, and G. S. Krush. 2000. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. *Crop Sci.* 40 : 307-314.
- Rebetzke, G. J., T. L. Botwright, C. S. Moore, R. A. Richards, and A. G. Condon. 2004. Genotypic variation in specific leaf area for genetic improvement of early vigour in wheat. *Field Crops Res.* 88 : 179-189.
- Rebetzke, G. J. and R. A. Richards. 1999. Genetic improvement of early vigour in wheat. *Australian J. of Agric. Res.* 50 : 291-301.
- Redoña, E. D. and D. J. Mackill. 1996. Mapping quantitative trait loci for seedling-vigor in rice using RFLPs. *Theor. and Appl. Genetics* 92 : 395-402.
- Revilla, P., A. Butrón, R. A. Malvar, and A. Ordás. 1999. Relationships among kernel weight, early vigor, and growth in maize. *Crop Sci.* 39 : 654-658.
- Richards, R. A. and Z. Lukacs. 2002. Seedling vigour in wheat-sources of variation for genetic and agronomic improvement. *Australian J. of Agric. Res.* 53 : 41-50.
- Soltani, A. and S. Galeshi. 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: experimentation and simulation. *Field Crops*

- Res. 77: 17-30.
- Turner, N. C. and M. E. Nicolas. 1998. Early vigour: a yield-positive characteristic for wheat in drought-prone Mediterranean environments. *Crop Improvement for Stress Tolerance*. CCSHAU, Hisar, New Delhi, India 47-62.
- Whan, B. R., Carlton, G. P., and W. K. Anderson. 1991. Potential for increasing early vigour and total biomass in spring wheat. I. Identification of genetic improvements. *Australian J. of Agric. Res.* 42 : 347-361.
- Yin, J., S. Peng, Q. He, H. Yang, C. Yang, R. M. Yisperas, and K. G. Cassman. 1999. Comparison of high yield rice in tropical and subtropical environments of grain and dry matter yield. *Field Crops Res.* 57 : 71-84.
- Zeng, L. and M. C. Shannon. 2000. Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities. *Agronomy J.* 92 : 418-423.
- Zhang, Z. H., S. B. Yu, T. Yu, Z. Huang, and Y. G. Zhu. 2005a. Mapping quantitative trait loci (QTLs) for seedling vigor using recombinant inbred lines of rice (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Res.* 91 : 161-170.
- Zhang, Z. H., X. S. Qu, S. Wan, L. H. Chen, and Y. G. Zhu. 2005b. Comparison of QTL controlling seedling vigor under different temperature conditions using recombinant inbred lines in rice (*Oryza sativa* L.). *Ann. of Bot.* 95 : 423-429.