

중부 평야지에서 고품질 중생종 벼 ‘하이아미’의 재식밀도에 따른 수수 변화와 수량의 관계

양운호^{1,†} · 강신구¹ · 박정화¹ · 김숙진¹ · 최종서¹ · 윤영환¹

Relationship between Panicle Production and Yielding Traits Influenced by Transplanting Density in Mid-Maturing Quality Rice ‘Haiami’ in the Mid-Plain Area of Korea

Woonho Yang^{1,†}, Shingu Kang¹, Jeong-Hwa Park¹, Sukjin Kim¹, Jong-Seo Choi¹, and Young-Hwan Yoon¹

ABSTRACT This study was carried out in 2014 and 2015 to investigate the effect of transplanting density on panicle production and to analyze the relationship of panicle production with yield traits in the mid-maturing quality rice cultivar ‘Haiami’ in the mid-plain area of Korea. Number of tillers per square meter increased by reducing planting distance and increasing seedling number per hill. These effects were maintained until maturity and were reflected in the final number of panicles per square meter, although the effect of planting density decreased as rice growth progressed. However, increased panicle number per square meter following dense planting did not improve head rice yield. Panicle number per square meter was negatively associated with spikelet number per panicle and was not correlated with other yield components or head rice yield. Head rice yield was not correlated with head rice percentage but was closely and positively correlated with milled rice yield. Milled rice yield did not increase with grain filling percentage but increased with spikelet number per square meter. Spikelet number per square meter increased with both spikelet number per panicle and panicle number per square meter, although the former had a greater influence. Therefore, we conclude that head rice yield of the ‘Haiami’ cultivar grown in the mid-plain area of Korea is not improved with an increased panicle number following high planting density but it could be improved with high milled rice yield by increasing spikelet number per unit area.

Keywords : Haiami, mid-plain area, panicle production, seedling number per hill, transplanting distance, yield, rice

하이아미는 쌀 단백질 함량이 낮고 식미가 매우 우수한 중생종 최고품질 벼 품종으로 중부 평야지에 적합하다(Hong *et al.*, 2011). 하이아미는 초형이 반왜생으로 도복에 강한 특성을 보이며, 주당 수수가 13개로 중생종 대비 품종인 화성벼보다 7.1% 적다. 이와 같은 반왜생 초형 특성과 상대적으로 적은 수수 때문에 하이아미는 군락 생장량이 적고 수량성이 제한되는 것으로 평가되므로, 품종 특성 보안을 위해 재배적 수단에 대한 효과 검토의 필요성이 제기된다.

수수는 수당영화수와 함께 면적당 영화수를 결정하는 요소이다(Yoshida, 1981). 수수와 수당영화수는 서로 상보적

관계를 나타내므로 어느 한 특성의 개선만으로 단위면적당 영화수를 증가시킬 수 없을 뿐 아니라, 단위면적당 영화수는 일반적으로 등숙비율 및 천립중과 부의 상관을 보이므로 단위면적당 영화수 증가에 의해서만 수량성을 높일 수도 없다. 따라서 벼의 생산성은 수량구성 4요소의 균형에 의하여 결정된다고 할 수 있다. 그럼에도 수량구성요소 중 수수는 생육시기상 가장 먼저 결정되는 특성이므로, 수수의 조절은 이후의 나머지 요소를 결정하는 요인이라 할 수 있다. 어느 한 지역에서 특정 품종의 수수 증대를 위해서는 조기재배, 시비량 증대, 밀식 등과 같은 재배기술적 수단을

¹⁾농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 재배환경과 (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 12 August, 2017; Revised 5 September, 2017; Accepted 6 September, 2017>

고려해 볼 수 있다. 그러나 이들 중 조기재배는 생육기간 연장을 통한 수수 확보에는 유리할 수 있으나, 출수가 빨라져 등숙기간이 고온조건으로 경과되므로 등숙이 불량해지고 품질이 저하된다(Choi *et al.*, 2005). 또한 질소 시비량 증대는 쌀 단백질 함량을 높여 밥맛이 저하되는 원인이 되므로(Lee *et al.*, 2003), 품질 좋은 쌀 생산을 위해서는 적당한 방법이라 할 수 없다. 그러므로 쌀 품질을 유지하면서 수수를 늘리기 위한 방법으로 밀식을 고려해 볼 수 있겠다.

단위 면적당 포기수와 주당본수 조절 효과에 대한 연구는 국내외에서 많이 이루어졌다. 단위면적당 포기수와 주당본수 증가는 대부분의 연구에서 수수 증대 효과를 나타내는 것으로 보고되었다(Choi *et al.*, 2006; Kang *et al.*, 2015; Kim, 1986; Kim & Lee, 1979b; Kim *et al.*, 1999; Lee & Bin, 1988; Park *et al.*, 1985; Rasool *et al.*, 2013; Ronanki *et al.*, 2014). 그러나 단위면적당 포기수 증가에 따른 수수의 증가는 소비 조건에서만 인정되며(Guh *et al.*, 1985), 20×20 cm와 25×25 cm에 비해 22.5×22.5 cm 이양에서 수수가 증가하였다는(Baloch *et al.*, 2002) 상반된 결과도 일부 보고되었다.

위와 같이 면적당 포기수와 주당본수 증가에 따른 수수 증가 효과는 많은 경우에 인정되는 반면, 그에 따른 수량 향상 효과는 상이하게 보고되고 있다. 밀식에 의하여 수량이 향상된다는 국내외 연구결과가 있는 반면(Park *et al.*, 1985; Kim & Lee, 1979b; Islam *et al.*, 2013; Moradpour *et al.*, 2013; Nguu & Datta, 1979), 오히려 감소하거나(Kang *et al.*, 2015; Mondal *et al.*, 2013; Rasool *et al.*, 2013), 주당본수가 증가해도 수량에 영향이 미치지 않는다는 결과도 보고되었다(Guh *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 2012).

밀식에 의한 수량 향상 효과에 대한 작물학적 요인으로 Kim & Lee (1979a)는 엽신 건물중의 증대, Moradpour *et al.* (2013)은 총건물중과 작물생장속도 및 엽면적지수의 증대를 제시하였다. 반면, San-oh *et al.* (2006)은 주당 3본보다 1본에서 관근수가 많고 근장이 길며 뿌리에서 앞으로의 cytokinin 이동이 많아, 등숙기간 중 광합성 속도와 질소합량 및 Rubisco 함량이 높게 유지되고, 결과적으로 등숙기간 중 건물 생산량이 많았다고 보고하였다. Cho *et al.* (1990)은 재식밀도가 증가하면 면적당 건물중은 증가하나 주당 건물중이 감소하며, 식물체 부위별 건물 분배비율은 차이를 보이지 않는다고 하였다. 단위면적당 포기수 증가에 의한 수수 증가에 따라 Lee & Bin (1988)은 등숙률과 천립중이 감소한다고 보고한 반면, Kim (1986)과 Kang *et al.* (2015) 및 Guh *et al.* (1985)은 차이가 없다고 보고하였다. Choi *et al.* (2006)은 재식거리가 좁아짐에 따라 완전미 비

율이 감소한다고 하였다. 품종 특성에 따라, 밀식에 따른 수수 증가로 수수형 품종에서는 쌀수량이 향상되었으나 수중형 품종에서는 감소하였다는 보고가 있는 반면(Kim *et al.*, 1999), 밀식에 의한 수량 향상 효과는 다열 수수형보다 소열 수수형 품종에서 컸다는 상반된 보고도 있다(Kim & Vergara, 1992).

재식거리와 주당본수 조절은 위의 보고들에서와 같이 품종, 재배환경, 연구조건 등에 따라 그 효과가 상이하게 나타나며, 효과에 대한 작물학적 요인 분석에서도 다양성을 보인다. 따라서 품종과 환경 및 재배조건에 따라 적합한 정보가 필요하다 하겠다.

본 연구는 중부 평야지에서 하이아미의 최적재배를 위한 기초자료를 제공하기 위하여, 재식거리와 주당본수 조절에 따른 수량 관련 특성 조사를 통해 1) 밀식에 따른 수수 증가 효과를 검토하고, 2) 수수 변화에 따른 수량구성요소 및 수량성 변화의 관계를 분석하며, 3) 완전미 수량에 대한 관련 요인의 상대적 중요도를 평가하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험장소 및 품종

본 연구는 중부지역 평야지에 해당하는 국립식량과학원 중부작물부 벼 재배시험 포장(수원, 위도 37°16', 해발 31 m)에서 중생종 최고품질 벼 품종 ‘하이아미’를 이용하여 2014년과 2015년의 2년간 수행하였다.

재식거리 및 주당본수 처리

시험구는 재식거리를 주구, 주당본수를 세구로 하는 분할구 3반복으로 배치하였다. 재식거리는 조간거리를 30 cm로 고정하고 주간거리를 12, 14, 16, 18 cm의 4수준으로 처리하였으며, 주당본수는 3, 5, 7본의 3수준으로 조절하였다. 이양 1일 전 한 포기마다 심을 묘의 수를 미리 조절하여 준비하고, 다음 날 재식거리와 주당본수 처리에 맞추어 손이양하였다.

재배방법

충실한 종자를 가려내기 위하여 각 시험년도의 전년에 수확한 종자를 수선하여 건조한 후, 중묘 표준 파종량에 맞게 육묘상자당 130 g을 준비하였다. 준비한 종자를 30℃에서 48시간 약제소독한 후 침종하여 최아된 종자를 상자에 파종하고 30일간 육묘하였다. 10a당 질소, 인산, 칼리 시비량은 중부지역 평야지 표준 시비방법에 따라 각각 9, 4.5, 5.7 kg으로 하였다. 질소는 기비-분얼비-수비를 50-20-30%

로, 칼리는 기비-수비를 70-30%로 분시하였으며, 인산은 100% 기비로 시용하였다. 시험포장은 이앙 6일 전에 정지균 평한 후 다음 날 이앙 전 제초제(benzobicyclon, thiobencarb 혼합제)를 표준량 살포하였다. 이앙 전 제초제 살포 후 제초제의 효과 유지를 위해 담수심을 5 cm 이상으로 유지하였으며, 이앙 당일 1~3 cm가 되도록 배수하였다. 이앙 후 12~15일에 본답 초기 제초제를 처리하였고, 이후 발생한 일부의 잡초는 인력으로 제거하였다. 이앙 후 시험포장을 담수상태로 유지하다가 분얼성기에 5~7일간 중간낙수를 실시하였으며, 이후에는 담수상태로 유지하였고, 출수 후 40일에 완전낙수하였다.

경수 변화, 수량구성요소 및 수량, 품위 조사

경수의 경시적 변화를 알아보기 위하여 분얼성기인 이앙 후 30일과 유수형성기에 경수를 조사하고, 출수기에 수수를 조사하였다. 이를 위해 반복당 30×12 cm 처리는 14포기, 30×14 cm 처리는 12포기, 30×16 cm와 30×18 cm 처리는 10포기로 약 0.5 m² 면적에서 시료를 채취하여 조사한 후 m² 당 경수와 수수로 환산하였다.

출수 후 적산온도 1,200°C 되는 시기에 식물체 시료를 채취하여 수량구성요소와 수량을 조사하였다. 재식거리에 따라 경수 및 수수 조사에서와 동일한 포기수를 채취하여 수수를 세고 탈립한 후 수선하여 등숙립과 비립을 구분하였다. 이들을 70°C에서 1주일간 충분히 건조한 후 비립은 전체 시료를 세고, 등숙립은 전체 시료 중 30g의 립수를 조사한 후 전체 무게로 환산하여 수당영화수와 등숙비율을 구하였다. 같은 수확시기에 반복당 30×12 cm 처리는 140포기(5.04 m²), 30×14 cm는 120포기(5.04 m²), 30×16 cm와 30×18 cm는 100포기(각각 4.8 m², 5.4 m²)를 수확하여 탈곡건조한 후 정조의 무게와 수분함량을 측정하여 14% 수분상태의 정조수량으로 계산하였다. 정조 시료 중 1 kg을 분리한 후 제현하여 현미수량을 계산하고, 이에 0.92를 곱하여 10a당 쌀수량으로 환산하였다. 위의 현미 시료 중 일부를 채취하여 현미천립중을 조사하였으며, 또 다른 일부를 채취한 후 Grain inspector (Cervitec TM1625, FOSS, Sweden)를 이용하여 완전립 비율을 조사하고 이를 쌀수량에 대입하여 완전미 수량을 구하였다.

시험성적 분석

분얼성기 및 유수형성기 경수와 출수기 수수는 연도별로 각 재식거리 내에서 주당본수 사이의 차이는 분할구배치 개별성적의 LSD 값, 주당본수 3처리를 평균한 재식거리 사이의 차이는 주구의 LSD 값을 기준으로 비교하였다. 수

수와 이외의 수량구성요소 및 수량 사이의 관계와 수량 관련 요소들 사이의 관계는 상관분석을 통해 검정하였다.

결과 및 고찰

2014년 이앙 후 30일의 분얼성기에 m²당 경수는 재식거리가 좁고 주당본수가 많을수록 증가하는 경향으로, 재식밀도가 가장 높은 30×12 cm의 주당 7본에서 802개로 가장 많았고, 가장 낮은 30×18 cm의 주당 3본에서 338개로 가장 적어 464개의 차이를 보였다(Table 1). 이를 각 재식거리 내에서 주당본수에 따라 비교하면, 3본에 비해 7본에서 142~268개 많았다. 재식거리별로는 주당본수 3처리의 평균값이 30×12 cm에서 672개로 가장 많고 30×16 cm에서 419개로 가장 적어, 252개의 차이를 나타내었다. 유수형성기에 m²당 경수는 30×12 cm의 주당 5본에서 595개로 가장 많았고 30×16 cm의 주당 3본에서 407개로 가장 적었으며, 그 차이는 188개로 분얼성기의 338개에 비해 크게 줄었다. 각 재식거리에서 주당본수에 따른 최고와 최저 값의 차이가 38~92개였고, 재식거리에 따른 차이는 130개로 분얼성기보다 크게 감소하였다. 출수기에 m²당 수수는 30×12 cm의 주당 7본에서 가장 많은 388개, 30×18 cm의 주당 7본에서 가장 적은 335개로 53개의 차이를 보여, 유수형성기보다 더욱 차이가 적어졌다. 시험처리에 따른 출수기 m²당 수수의 최고와 최저 값의 차이 또한 각 재식거리의 주당본수에 따라서 6~28개, 재식거리에 따라서 35개로 유수형성기보다 현저하게 줄어들었다. 재식거리와 주당본수에 따른 m²당 경수와 수수의 통계적 차이 또한 분얼성기에는 뚜렷하게 구분되었으나, 생육이 진전됨에 따라 적어지는 경향을 나타내었다. 2014년에 이러한 경향은 정도의 차이는 있었으나 2015년에도 비슷하였다. 재식밀도에 따른 경수의 차이가 생육 진전에 따라 감소하는 것은 소식 조건에서의 주간과 주내 경쟁이 적어(Park *et al.*, 1989) 분얼이 더 많이 발생하였기 때문으로, Kang *et al.* (2015) 및 Choi *et al.* (2006)의 보고와 일치한다.

시험년도에 따라 차이는 있으나 수확기에 m²당 수수는 재식거리가 좁고 주당본수가 많을수록 유의하게 많은 경향이였다(Fig. 1). 결과적으로 Table 1에서와 같이 생육이 진전되면서 재식밀도에 따른 m²당 경수의 차이는 감소하였으나, 재식거리가 좁고 주당본수가 많을수록 많은 경향은 최종 수수까지 유지되었다. 이는 재식밀도가 높을수록 수수가 많아진다는 보고와(Choi *et al.*, 2006; Kim, 1986; Lee & Bin, 1988) 일치하나, 재식밀도에 따라 수수의 차이가 없거나(Guh *et al.*, 1985) 일정 밀도 이상에서는 감소한다는

Table 1. Number of tillers at mid-tillering (MT), panicle initiation (PI), and number of panicles at flowering stage (FL) in ‘Haiami’ rice plants grown at different planting distances (PD) and seedling numbers per hill (SN) in Suwon.

Year	PD (cm)	SN (no. hill ⁻¹)	Tillers/Panicles (no. m ⁻²)		
			MT	PI	FL
2014	30×12	3	550 c†	503 b	364 a
		5	664 b	595 a	365 a
		7	802 a	588 a	388 a
		Mean	672 a‡	562 a	373 a
	30×14	3	419 c	474 b	343 a
		5	536 b	520 a	356 a
		7	603 a	538 a	371 a
		Mean	519 b	511 b	356 ab
	30×16	3	365 b	407 a	344 a
		5	385 b	443 a	358 a
		7	507 a	445 a	347 a
		Mean	419 c	432 c	350 ab
30×18	3	338 b	425 a	341 a	
	5	567 a	435 a	338 a	
	7	606 a	465 a	335 a	
	Mean	503 d	442 c	338 b	
2015	30×12	3	458 b	566 a	376 b
		5	519 ab	528 a	379 a
		7	619 a	591 a	400 a
		Mean	532 a	562 ab	385 a
	30×14	3	457 b	574 a	368 a
		5	491 b	618 a	372 a
		7	632 a	557 a	397 a
		Mean	527 a	583 a	379 a
	30×16	3	442 a	595 a	363 b
		5	487 a	549 a	381 a
		7	499 a	553 a	383 a
		Mean	476 b	566 a	376 a
30×18	3	381 b	498 a	309 a	
	5	448 ab	522 a	346 a	
	7	499 a	486 a	362 a	
	Mean	443 b	502 b	339 b	

†Data with same letters for each planting distance for each year within a column are not significantly different according to LSD ($p < 0.05$).

‡Within columns for each year, mean values followed by same letters are not significantly different among planting distances at LSD ($p < 0.05$).

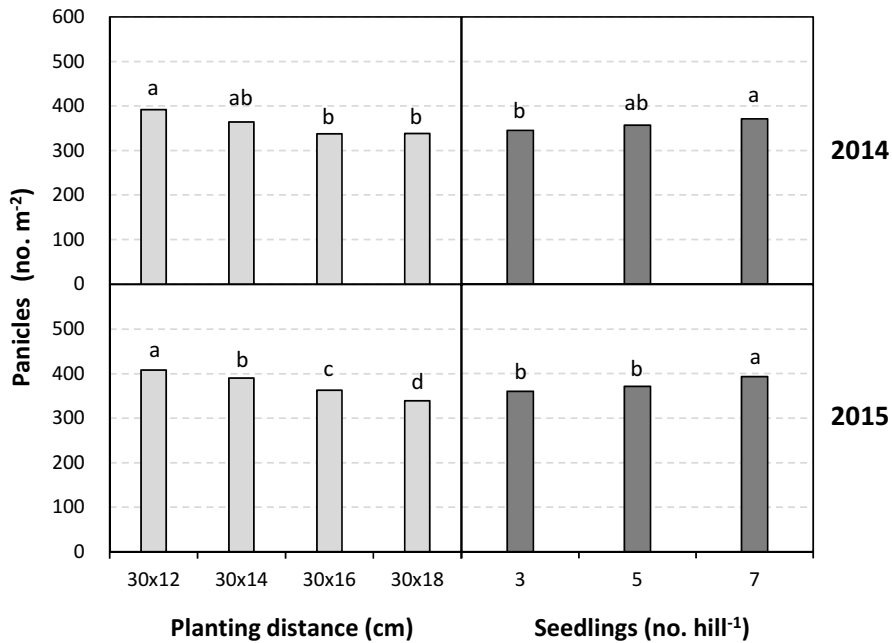


Fig. 1. Number of panicles in ‘Haiami’ rice plants grown at different planting distances and seedling numbers per hill in Suwon. Each data point for planting distance is the mean of 3 sub-plots (seedling number per hill) and that for seedling number per hill is the mean of 4 main-plots (planting distance). Data with same letters in each panel are not significantly different according to LSD ($p < 0.05$).

보고와는(Baloch *et al.*, 2002) 다른 결과이다. 따라서 본 연구의 결과는 중부 평야지 하이아미의 보통기 보비재배에 국한되는 것으로 보아야 할 것이다.

하이아미는 품질에 목표를 두고 육성된 품종이다(Hong *et al.*, 2011). 그러므로 본 연구에서는 재식거리와 주당본수에 따른 수량성의 차이를 완전미 수량을 기준으로 하여 조사하였다(Fig. 2). 완전미 수량은 2014년에는 재식거리에 따라 통계적 차이를 보이지 않았고, 2015년에는 30×18 cm에서만 유의하게 감소하였다. 주당본수에 따라서는 2014년에는 3 > 5 > 7본 순으로 유의하게 완전미 수량이 높았고, 2015년에는 5본과 7본에 비해 3본에서 높았다. 이러한 결과는 단위 면적당 포기수와 주당본수가 많으면 수량이 증가한다는 보고(Park *et al.*, 1985; Kim & Lee, 1979b; Nguu & Datta, 1979)와 차이를 보이나, 수량 차이가 없거나 감소한다는 보고와는(Guh *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 2012; Kang *et al.*, 2015) 일치한다. 재식밀도에 따른 수량 반응은 품종과 환경 및 재배관리 조건에 따라 연구 결과가 상이하므로, 본 연구의 결과는 앞에 기술한 바와 같이 본 연구의 특정 조건에서 나타나는 결과라 하겠다. 재식거리에 따라 수수는 Fig. 1에서와 같이 밀식 처리에서 증가하는 경향이었으나, 완전미 수량은 2년 모두 표준 재식거리인 30×14 cm에

비하여 30×12 cm의 밀식 처리에서 높아지지 않았으며, 30×16 cm의 소식 처리에서도 낮아지지 않았다. 주당본수에 따라서는 수수는 3본에서 적고 7본에서 많았으나(Fig. 1), 완전미 수량은 3본에서 많고 7본에서 적어 수수와는 반대의 경향을 보였다. 이것은 벼 표준재배기술에 제시된 적정 주당본수와 비슷한 수준이다(RDA, 2015). 결과적으로, 중부 평야지에서 하이아미를 이양재배하는 경우 단위면적당 포기수 증가를 통한 수수의 증가는 완전미 수량에 영향을 미치지 못하였으며, 주당본수 증가를 통한 수수의 증가는 오히려 완전미 수량을 떨어뜨리는 결과를 가져왔다.

재식거리와 주당본수 조절에 따른 m²당 수수의 변화는 수당영화수와만 유의한 부의 상관을 보였을 뿐, 등숙비율, 현미천립중 및 완전미 수량과는 유의한 관계를 나타내지 않았다(Fig. 3). 수수와 수당영화수의 관계가 부의 상관을 보이는 것은 일반적인 현상이지만(Yoshida, 1981), 수수와 등숙비율의 관계는 경우에 따라 부의 상관이나(Kim *et al.*, 1999) 무상관을(Kim, 1986) 보여 보고된 연구결과가 일관적이지 않다.

중부 평야지에서 하이아미의 완전미 수량과 수량 관련 요소의 관계는 Fig. 4와 같다. 각 시험년도 내에서 완전미 수량은 쌀수량과 고도로 유의한 정의 상관을 보인 반면, 완

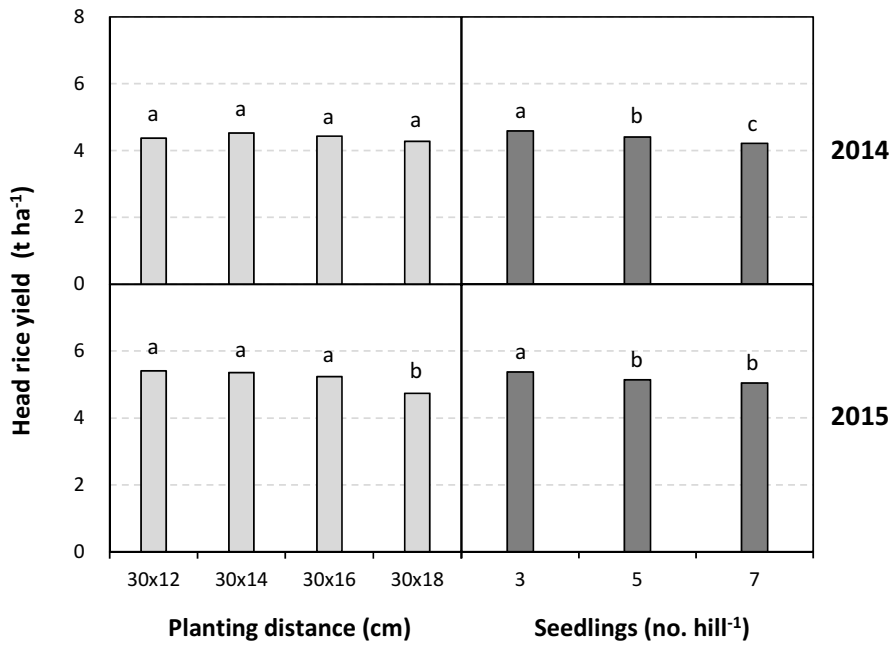


Fig. 2. Head rice yield in ‘Haiami’ rice plants grown at different planting distances and seedling numbers per hill in Suwon. Each data point for planting distance is the mean of 3 sub-plots (seedling number per hill) and that for seedling number per hill is the mean of 4 main-plots (planting distance). Data with same letters in each panel are not significantly different according to LSD ($p < 0.05$).

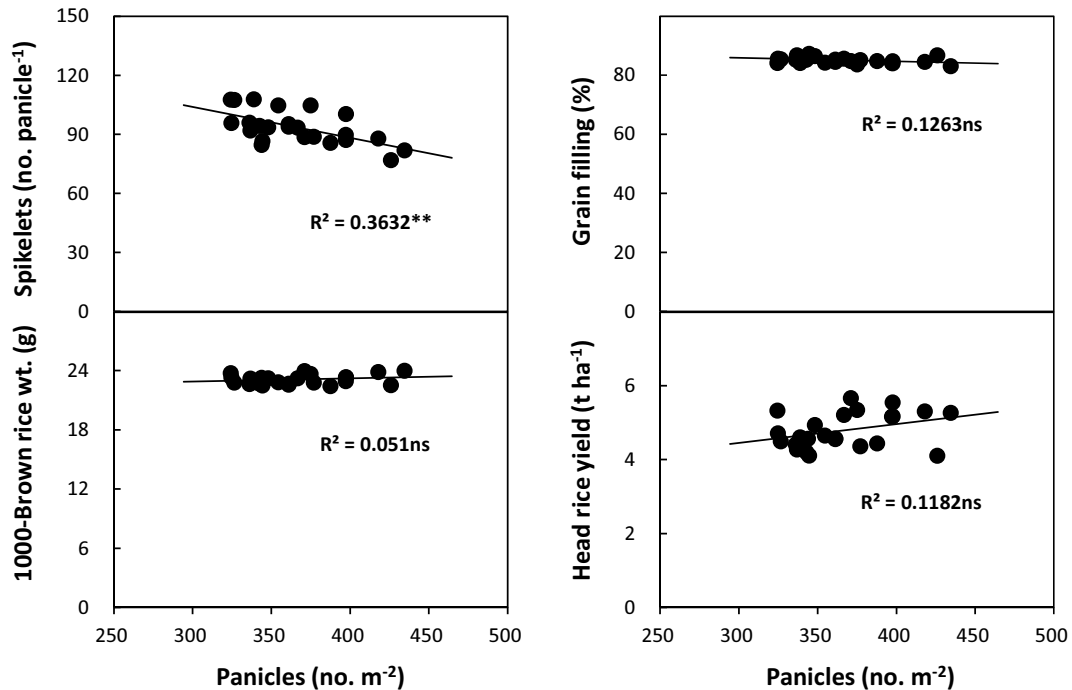


Fig. 3. Relationship between panicle number per unit area and yield-related characteristics in ‘Haiami’ rice plants grown in Suwon. Data were pooled from crops grown in 2014 and 2015 as similar results were obtained in the two experimental years. Each data point is the mean of 3 replicates.

** , significant at 0.01; ns, not-significant.

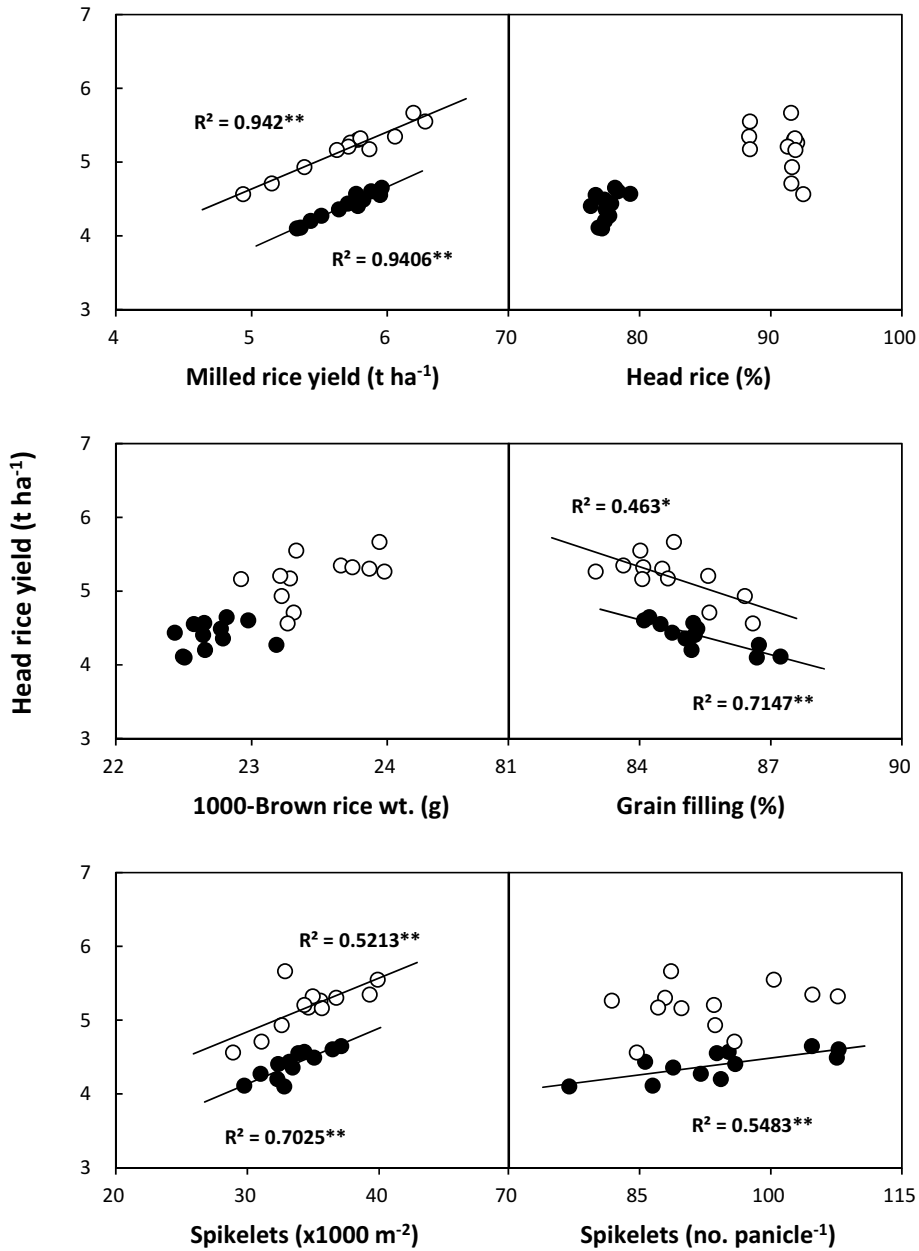


Fig. 4. Relationship between head rice yield and yield-related characteristics of 'Haiami' rice plants grown in Suwon in 2014 (●) and 2015 (○). Each data point is the mean of 3 replicates for each year. **, significant at 0.01; *, significant at 0.05; no line, not-significant.

전미 비율과는 관련이 적었다. 또한 2014년과 2015년 모두 단위 면적당 영화수 증가에 따라 완전미 수량이 직선적으로 증가하였으나 수당영화수 증가에 따라서는 2014년에만 완전미 수량이 유의하게 증가하여, 단위 면적당 영화수의 영향이 더 큰 것으로 평가된다. 등숙비율은 두 해 모두 완전미 수량과 부의 상관을 보였고, 현미천립중은 완전미 수량과 관계가 없었다. 이들의 관계를 연도별로 비교해보면,

완전미 수량은 2014년에 비해 2015년에 전반적으로 높았는데, 쌀수량은 두 해의 차이가 매우 적었던 반면 완전미 비율은 2014년에 비해 2015년에 전반적으로 높았다. 수당영화수와 m²당 영화수 및 등숙비율은 연차간 변이가 매우 적었고, 현미천립중은 전반적으로 2014년보다 2015년에 무거웠다. 따라서 2015년에 완전미 수량이 2014년보다 높았던 원인은 현미천립중의 증가에 따른 완전미 비율의 향

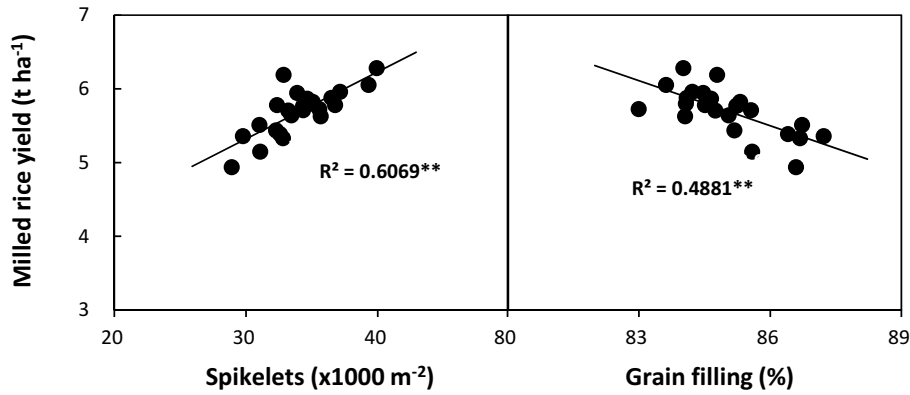


Fig. 5. Relationship of milled rice yield with spikelet number per unit area and grain filling percentage in ‘Haiami’ rice plants grown in Suwon. Data were pooled across the two experimental years as the differences were small. Each data point is the mean of 3 replicates.
**, significant at 0.01.

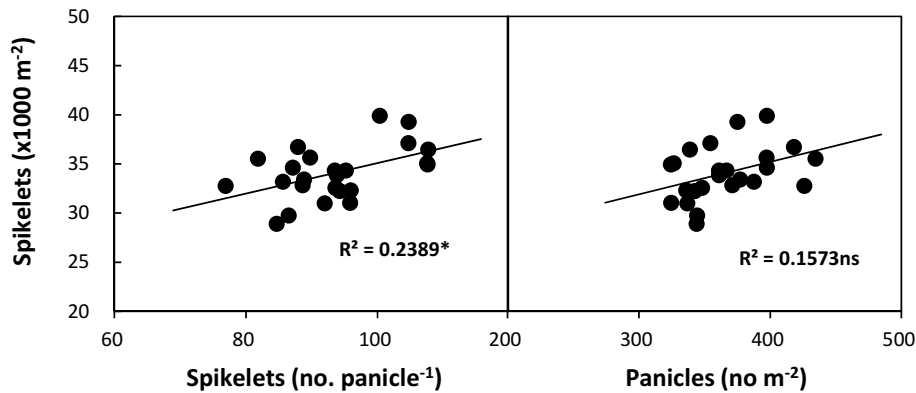


Fig. 6. Relationship of spikelet number per unit area with spikelet number per panicle and panicle number per unit area in ‘Haiami’ rice plants grown in Suwon. Data were pooled across 2014 and 2015 as the relationships in the two experimental years were similar. Each data point is the mean of 3 replicates.
*, significant at 0.05; ns, not significant.

상인 것으로 생각된다. 각 시험년도에서 완전미 수량과 수량 관련 요소의 관계는 재식거리와 주당본수 조절에 의한 재배적 효과이며, 시험년차간 완전미 수량과 수량구성요소의 관계는 환경적 효과로 볼 수 있다. 따라서 위의 결과는 시험처리에 따른 수량 관련 요소의 영향이 환경변이에 의한 영향과는 다르다는 것을 의미한다. 다만, 본 연구는 2년간 수행되어 연차간 변이의 한계를 가지므로, 이에 대한 보다 면밀한 분석을 위해서는 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

재식거리와 주당본수 처리에 따라 완전미 수량과 고도로 유의한 상관관계를 나타낸 쌀수량은 단위 면적당 영화수와는 정의 상관, 등숙비율과는 부의 상관을 보였다(Fig. 5). 본 연구에서 쌀수량이 등숙비율과 부의 상관을 보인 결과는 Yang *et al.* (2016)의 보고와는 상반된다. 일반적으로 등

숙비율과 m²당 영화수는 상보적인 관계를 보이며(Lee, 1977), 본 연구에서도 같은 결과였다($r^2=0.627^{**}$). 등숙비율은 m²당 영화수가 결정된 후의 과정에 의해 결정되므로, m²당 영화수의 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서 나타난 등숙비율과 쌀수량 사이의 부의 상관은 m²당 영화수의 다소에 따른 2차 효과로 판단하는 것이 타당할 것이다. 결과적으로, 완전미 수량 증가를 위해서는 단위 면적당 영화수를 늘려 쌀수량을 향상시키는 방향으로 접근하는 것이 효과적이라 판단된다.

재식거리와 주당본수 처리에 따라 쌀수량과 고도로 유의한 정의 상관을 보인 m²당 영화수는 수당영화수와 유의한 정의 상관관계를 보였고, m²당 수수와는 정의 상관이 있었으나 통계적으로 유의하지 않았다(Fig. 6). 따라서 m²당 영화수는 m²당 수수보다 수당영화수의 영향을 상대적으로 많

이 받기는 하지만, 두 요인의 영향을 함께 받는 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 수수 및 수당영화수와 m^2 당 영화수 사이에 회귀식의 정밀도가 매우 높지는 않았기 때문에 m^2 당 영화수가 가장 많아지는 수수와 수당영화수의 조합을 분석할 수 없었으며, 이를 밝히기 위해서는 보다 면밀한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합하면, 중부 평야지에서 하이아미는 밀식에 의해 수수는 증가시킬 수 있으나 완전미 수량을 높이지는 못하며, 수수와 수당영화수의 적절한 균형을 통해 m^2 당 영화수를 증대시킴으로써 쌀수량을 높이는 것이 완전미 수량 향상에 효과적인 방향으로 판단되었다.

적 요

중부 평야지에서 최고품질 중생종 벼 '하이아미'의 밀식에 의한 수수 증가 효과와 그에 따른 수량구성요소 및 수량성 변화의 관계를 분석하고, 완전미 수량에 대한 수량 관련 요소의 상대적 중요도를 평가하기 위하여 국립식량과학원 중부작물부 수원 벼 재배시험 포장에서 2014~2015년 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 단위 면적당 경수는 재식거리가 좁고 주당본수가 많을수록 증가하는 경향이었는데, 벼 생육이 진전됨에 따라 그 차이는 적어졌으나 이러한 경향은 수확기 수수까지 유지되었다.
2. 완전미 수량은 재식거리에 따라 2014년에는 유의한 차이가 없었고 2015년에는 30×18 cm에서만 감소하였으며, 두 해 모두 주당본수가 적을수록 높았다.
3. 단위 면적당 포기수와 주당본수 증가에 의하여 m^2 당 수수는 많아졌으나, 밀식에 의한 수수 증가가 완전미 수량에는 영향을 미치지 않았다.
4. 단위 면적당 수수는 수당영화수와만 부의 상관을 나타내었고, 다른 수량구성요소 및 완전미 수량과 유의한 관계를 보이지 않았다.
5. 재식거리와 주당본수 조절에 의한 완전미 수량의 변화는 완전미 비율과는 관계가 없었고 쌀수량과 직선적인 정의 상관을 보였으며, 쌀수량은 m^2 당 영화수 증가에 따라 향상되었는데, m^2 당 영화수는 m^2 당 수수보다 수당영화수 증가의 영향을 크게 받았으나 이들 두 요소가 함께 영향을 미쳤다.
6. 결론적으로 중부 평야지에서 하이아미를 보통기 보비 재배하는 경우, 완전미 수량은 밀식에 의한 수수 증가로 향상되지 않으며, m^2 당 수수와 수당영화수의 적절

한 조합에 의하여 m^2 당 영화수를 증가시켜 쌀수량을 증대시킴으로써 높일 수 있는 것으로 분석되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 중부지역 밥쌀용 벼 신품종 최적 재배기술 개발, 세부과제번호 : PJ 00926505)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- Baloch, A. W., A. M. Soomro, M. A. Javed, M. Ahmed, H. R. Bughio, M. S. Bughio, and N. N. Mastoi. 2002. Optimum plant density of high yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Asian J. Plant. Sci.* 1(1): 25-27.
- Cho, D. S., W. K. Jong, H. Heo, and S. S. Yuk. 1990. Quantitative analysis of dry matter production and its partition in rice. III. Partitioning of dry matter affected by planting density. *Korean J. Crop Sci.* 35(4): 328-333.
- Choi, W.-Y., J.-K. Nam, S.-S. Kim, J.-H. Lee, J.-H. Kim, H.-K. Park, N.-H. Back, M.-K. Choi, C.-K. Kim, and K.-Y. Jung. 2005. Optimum transplanting date for production of quality rice in Honam plain area. *Korean J. Crop Sci.* 50(6): 435-441.
- Choi, W.-Y., S.-H. Moon, H.-K. Park, M.-G. Choi, S.-S. Kim, and C.-K. Kim. 2006. Optimum planting density in low fertilizing culture of machine transplanting in rice. *Korean J. Crop Sci.* 51(5): 379-385.
- Guh, J. O., Y. M. Lee, and K. S. Lee. 1985. Labor-saving feasibilities in transplanting of paddy rice. II. Variations in yield compatibility of various typed isogenic lines of paddy rice as affected by different planting densities with fertilizer applications Korea. *J. Crop Sci.* 30(2): 117-125.
- Hong, H.-C., Y.-G. Kim, C.-I. Yang, H.-G. Hwang, J.-H. Lee, S.-B. Lee, Y.-H. Choi, H.-Y. Kim, K.-S. Lee, S.-J. Yang, M.-K. Kim, O.-Y. Jeong, Y.-C. Cho, Y.-H. Jeon, I.-S. Choi, E.-G. Jeong, S.-K. Oh, J.-D. Yea, Y.-S. Shin, and J.-J. Kim. 2011. A high essential amino acid properties rice cultivar 'Haiami'. *Korean J. Breed. Sci.* 43(6): 543-548.
- Islam, M. S., M. M. Rashid, M. K. Mondal, S. C. Nath, and M. R. Karim. 2013. Effect of planting density on the performance of hybrid rice (*Oryza sativa* L.) under water-logged conditions. *The Agriculturists* 11(2): 109-113.
- Kang, S.-G., Y.-D. Kim, B.-I. Ku, W.-G. Sang, M.-H. Lee, H.-K. Park, J.-Y. Shon, W.-H. Yang, and J.-H. Lee. 2015. Study on the optimum planting density of pot seedling for mid-late maturing rice variety on wheat-rice double cropping system in Jonam plain area. *Korean J. Crop Sci.* 60(3): 257-265.

- Kim, B. K., J. K. Ko, J. K. Lee, and H. T. Shin. 1999. Analysis of yield and its associated characters by planting density and fertilizer level in heavy-panicle japonica rice. *Korean J. Breed.* 31(1): 21-28.
- Kim, K. H. and E. W. Lee. 1979a. Comparison of the intra-hill distribution of culm and panicle length between different planting numbers of seedlings per hill in paddy rice. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 24(1): 24-29.
- Kim, I. B. and J. Y. Lee. 1979b. Effects of number of seedling per hill and plant density on rice yield components and yield in the late season culture of rice. *K. Korean Soc. Crop Sci.* 24(2): 57-63.
- Kim, J. K. and B. S. Vergara. 1992. Grain yield potential of a low-tillering large panicle type in rice. *Korean J. Crop Sci.* 37(4): 361-371.
- Kim, Y. J. 1986. Analytical studies on the rice yield components and yield in south region of Korea. III. Variation in the rice yield components and yield under different planting density. *Korean J. Crop Sci.* 31(1): 104-111.
- Lee, A.-S., Y.-S. Cho, I.-J. Kim, J.-K. Ham, and J.-S. Jang. 2012. The quality and yield of early maturing rice varieties affected by cultural practices in Gangwon plain region. *Korean J. Crop Sci.* 57(3): 233-237.
- Lee, E. W. 1977. *Rice cropping*, 4th ed. Hyangmoonsa, Seoul. pp. 86-91.
- Lee, H. D. and Y. H. Bin. 1988. Influence of nitrogen level and planting density on the leaf characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 33(4): 329-335.
- Lee, K.-B., D.-K. Jun, and J.-C. Chae. 2003. Effect of nitrogen fertilization on quality characteristics of rice grain and aroma-active compounds of cooked rice. *Korean J. Crop Sci.* 48(6): 527-233.
- Mondal, M. M. A., A. B. Puteh, M. R. Ismail, and M. Y. Rafii. 2013. Optimizing plant spacing for modern rice varieties. *Int. J. Agric. Biol.* 15: 175-178.
- Moradpour, S., R. Koochi, M. Babaei, and M. G. Khorshidi. 2013. Effect of planting date and planting density on rice yield and growth analysis (Fajr variety). *Intl J. Agri. Crop Sci.* 5(3): 267-272.
- Nguu, N. V. and S. K. De Datta. 1979. Increasing efficiency of fertilizer nitrogen in wetland rice by manipulation of plant density and plant geometry. *Field Crops Res.* 2: 19-34.
- Park, S. T., S. C. Kim, C. D. Choi, and S. K. Lee. 1985. Competitive response of rice cultivar in association with plant spacing and seedling number per hill. *Korean J. Crop Sci.* 30(3): 252-258.
- Park, S. T., S. C. Kim, S. K. Lee, and D. Y. Hwang. 1989. Character variation within rice hill and competitive response of rice cultivar in association with plant spacing and seedling number per hill. *Korean J. Crop Sci.* 34(2): 127-133.
- Rasool, F.-U, R. Habib, and M. I. Bhat. 2013. Agronomic evaluation of rice (*Oryza sativa* L.) for plant spacing and seedlings per hill under temperate conditions. *Afr. J. Agric. Res.* 8(37): 4650-4653.
- Ronanki, S., P. L. Rani, D. R. Reddy, and G. Sreenivas. 2014. Impact of plant densities and nitrogen levels on grain yield and yield attributes of transplanted rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Agric. Innov. Res.* 2(6): 923-928.
- Rural Development Administration. 2015. *Quality Rice Production Technologies*. Suwon. pp. 150-156.
- San-oh, Y., T. Sugiyama, D. Yoshita, T. Ookawa, and T. Hirasawa. 2006. The effect of planting pattern on the rate of photosynthesis and related processes during ripening in rice plants. *Field Crops Res.* 96: 113-124.
- Yang, W., K.-J. Choi, J. Shon, S. Kang, S.-H. Shin, K.-B. Shim, J. Kim, H. Jung, J. H. Jang, J.-S. Jung, C. Y. Lee, Y. T. Yun, S. J. Kwon, K. An, J.-H. Shin, and S. M. Bae. 2016. Comparative analysis on the relationship between head rice yield and its components in Korean high-quality rice varieties. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 28(1): 49-57.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute, Philippines. pp. 235-238.