

중부 평야지에서 사료용 벼 기계이앙과 담수산파 재배의 건물 생산성 비교 분석

양운호^{1,†} · 박정화¹ · 강신구¹ · 김숙진¹ · 최종서¹

Comparative Analysis on the Biomass Production between Machine-Transplanted and Water-Broadcast Seeded Silage Rice in the Central Plain Area of Korea

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

ABSTRACT A field study was conducted over a 3-year period from 2014 to 2016 in the central plain area, Suwon, Korea, 1) to compare the biomass production between machine-transplanted and water-broadcast seeded silage rice and 2) to elucidate the growth factors that affect the difference in biomass production between the two cultivation practices. The heading date for the water-broadcast seeded silage rice was September 11-18, which was delayed by 11-17 days when compared to that for the machine-transplanted silage rice. On average, water-broadcast seeded silage rice had a shorter plant height, more panicles per area, and a greater biomass production because of the increased straw dry weight. However, the difference in dry weight of each plant organ between the two cultivation practices exhibited yearly variation. When the data were pooled across experimental years, cultivation practices, and varieties, biomass production was highly positively correlated with straw dry weight but not with panicle dry weight. When the ratio of water-broadcast seeding to machine-transplanting was analyzed, total dry weight and straw dry weight were positively associated with each other, whereas no relationship was found between total dry weight and panicle dry weight. Despite that water-broadcast seeded silage rice produced more panicles per area than machine-transplanted silage rice, the two cultivation practices had a similar dry weight per culm. Therefore, we conclude that the silage rice from the water-broadcast seeding, compared to the machine-transplanting, produced more biomass because of the combination of the increased panicle number per area and a similar dry weight per culm. These results suggest that silage rice could be produced through water-broadcast seeding to increase biomass production with low labor and cost input.

Keywords : biomass, central plain area, machine transplanting, silage rice, water broadcast seeding

우리나라는 쌀 소비량이 지속적으로 감소하고 있어 벼 대체작물의 논 재배가 정책적으로 추진되고 있으며, 이를 실현하기 위한 다양한 연구 개발도 이루어지고 있다. 이들 중 사료작물 재배는 쌀 생산량을 조절하는 동시에 수입 사료를 대체할 수 있는 수단으로 중요성을 갖는다. 논에서 밥쌀용 벼 대체를 위하여 사료용 벼, 사료용 옥수수, 수수×수단 그라스 잡종, 사료용 피, 진주조, 울무 등의 재배가 검토되었으나, 작목에 따른 수량 저하나 논의 배수 불량으로 인한 습해 발생 및 잡초화 우려 등의 문제로, 사료용 벼를 제외하고는 재배가 안정적이지 못하였다(Kim *et al.*, 2006; Kim & Lee, 1994; Lee *et al.*, 1994b). 그러나 사료용 벼는 밥쌀

용 벼와 같은 환경에서 재배되므로, 홍수 조절 등과 같은 논외의 공익적 기능과 쌀 생산 기반을 유지하면서 쌀 생산 조정과 조사료 자급률 향상을 동시에 도모할 수 있는 방안으로 제시되어 왔다(Choi *et al.*, 2006a; Kim *et al.*, 2006; Sung *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2014). 우리나라에서는 벼짚이 조사료로 이용되어 왔고 품종에 따라 사료 가치의 차이를 보이기는 하지만(Kim, 2004), 영양적으로 부족한 단점이 있다. 반면, 사료용 벼는 가소화 건물 비율이 벼짚보다 높은 종실을 함께 이용하기 때문에 벼짚보다 사료가치가 높은 장점이 있고(Yang *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2014), 한우의 일당 증체량도 개선되는 효과를 보인

¹농촌진흥청 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 21 March, 2018; Revised 1 August, 2018; Accepted 2 August, 2018>

다(Kim *et al.*, 2006). 총체 사료용 벼의 미생물 처리나(Kim *et al.*, 2008b) 유산균 및 개미산의 적절한 첨가에 의한 사일리지의 품질 개선 효과도 보고되었다(Kim *et al.*, 2004).

Lee *et al.* (2005)은 사료용 벼의 특성으로 총체 수량과 가축의 기호성 및 영양 가치를 제시하였다. 그러나 가소화 건물 총량은 가소화 건물 비율보다 건물 수량에 의하여 주로 결정되기 때문에(Yang *et al.*, 2007), 건물 생산량이 1차 육종 목표가 된다(Yang *et al.*, 2014). 국내에서 사료용 벼는 건물 생산량 증대를 위하여 인디카나 통일계 또는 다수성 열대 자포니카 신초형 벼를 유전적 배경으로 하고 있다(Ahn *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2011).

사료용 벼 재배 기술에 관하여는 재배 양식, 재배 시기, 파종량, 수확 시기 등의 보고가 이루어졌다. 일반벼인 남일 벼를 사료용으로 재배하였을 때 건물 수량은 건담직파보다 이앙에서 많았으며(Kim *et al.*, 2015), 사료용 벼 녹양의 건담직파 적정 파종량은 60 kg/ha로 보고되었다(Kim *et al.*, 2014). 건담직파 시기에 관하여 Kim *et al.* (2009)은 조기 파종이 건물 수량 증가에 유리하나 답리작 수확과 연계할 때 5월 중순경 파종이 조사료 연중 생산 측면에서 우수하다고 하였으며, 건담직파시 적정 질소 시비량을 140 kg/ha로 제시하였다(Kim *et al.*, 2015). 반면, Yang *et al.* (2007)은 사료용 벼 녹양을 이용한 연구에서 건담직파보다 담수산파에서 건물 생산량이 증가하며, 담수산파의 질소 적량은 170 kg/ha라고 보고하였다. 또한 담수산파 재배에서 사료용 벼는 일반벼보다 입모율이 낮은 경향을 보이며, 초기 신장 촉진과 건전한 입모를 위한 입모기간 중 최적 온도는 24°C라고 하였다(Yang *et al.*, 2014). 벼 직파재배 양식 중 건담직파는 봄철 불규칙적인 강우 때문에 파종 시기를 일정하게 유지하기 어려운 반면, 담수산파 재배는 강우의 영향이 적으므로 계획적인 파종에 유리하다. 토양에 따라서는 간척지에서 사료용 벼의 생산성이 일반답 대비 80% 정도인 것으로 보고되었다(Cho *et al.*, 2014). 사료용 벼의 수확 적기에 대하여는 황숙기(Choi & Oh, 2011; Choi *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2007; Sung *et al.*, 2004) 또는 호숙기(Kim *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2008a)라는 상반된 보고가 있으나, 일반적으로 건물 수량과 사료 가치가 높은 출수 후 30일 경의 황숙기가 수확 적기로 받아들여진다.

쌀 품질이 중요한 밥쌀용 벼와 다르게, 사료용 벼는 건물 생산성이 주요 목표가 되므로 보다 손쉬운 재배와 노동력 및 농자재 투입 경감을 위하여 직파재배 양식의 도입이 제안되었으며(Kim *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2007), 사료용 벼 품종은 직파재배 적응 특성을 갖추어야 한다고 보고되었다(Yang *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2014). 사료용 벼의 효율적 재배를

위해서는 적절한 재배 양식의 구명과 그에 따른 시비 관리 등의 재배 기술 정립이 필요하다. 현재까지 재배 양식 비교 연구가 일부 보고되기는 하였으나, 일반계 초다수성 벼에서 검토하거나, 직파 양식 사이의 비교에 국한되어 있다(Kim *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2007). 따라서 본 연구는 1) 파종에 특별한 농기계가 필요하지 않고 간편한 담수산파 재배에서 최근 육성·등록된 사료용 벼 품종의 건물 생산성을 기계이앙 재배와 비교·분석하고, 2) 재배 양식 사이의 건물 생산성 차이에 영향을 미치는 작물학적 요인을 밝히기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험장소, 품종 및 처리

본 연구는 중부 평야지인 국립식량과학원 중부작물부 벼 재배시험 포장(수원, 37°27'N, 126°99'E, 해발 34 m)에서 최근 육성·등록된 사료용 벼 품종 목우와 녹우를 이용하여 2014~2016년의 3년간 수행하였다. 시험처리는 기계이앙과 담수산파의 두 가지 재배양식으로 하였으며, 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다.

재배방법

기계이앙과 담수산파 시기는 조사료 연중 생산을 위한 동계 호밀의 수확시기와 사료용 벼 재배시기에 따른 건물 수량을 함께 고려하여, Kim *et al.* (2009)이 제시한 바와 같이 5월 20일에 실시하였다. 시험용 벼 종자는 전년도에 수확한 후 선종 과정을 거쳐 충실한 종자를 가려내고 자연 상태에서 충분히 건조하여 이용하였다.

기계이앙은 중묘 표준 육묘 방법에 따라 상자당 130 g 씩, 담수산파는 표준 파종량에 맞추어 10a당 4 kg 수준으로 시험 포장 면적에 맞추어 준비하였다. 준비한 종자는 키다리병 등 종자 전염병 예방을 위하여 파종 3일 전 30°C의 ipconazole 8% 액상수화제 500배액에 48시간 침지 소독한 직후 동일 온도의 fludioxonil 10% 종자처리 액상수화제 1,000배액에 24시간 침지 소독하였다. 기계이앙 육묘를 위하여 종자 소독 후 최아된 종자를 중묘 산파 육묘상자에 파종한 후 30°C의 전열 육묘기에서 48시간 출아시켰다. 출아 후 육묘상자를 그늘에 24시간 두어 녹화한 후 못자리에 치상하고 부직포를 피복하여 보온하였다. 이후 이앙 10일 전에 부직포를 제거하여 모를 경화시킨 후 30×14 cm 간격으로 기계이앙하였다. 담수산파에서는 최아된 종자가 손에 붙지 않을 정도까지 자연 건조한 후 본답에 손파종하였다.

시험포장은 기계이앙 또는 직파 6일 전에 관개하고 기비를 사용한 후 로터리·정지하였다. 정지 작업 직후 담수심을

5 cm 이상으로 깊게 유지하고, 피 등의 일년생 잡초 발생 억제제를 위하여 기계이앙과 담수산파 처리 모두 oxadiazon을 표준량 살포하였다. 이후 초기 발생 잡초를 방제하기 위하여 기계이앙은 이앙 후 15일에 bromobutide+imazosulfuron+mefenacet 혼합제, 담수산파는 파종 후 15일에 bromobutide+imazosulfuron+metamifop 혼합제를 표준량 살포하였다. 이후 발생한 소량의 잡초는 손으로 제거하였다.

기계이앙과 담수산파 모두 시비량은 Yang *et al.* (2007)의 시험 결과에 따라 10a당 질소 18 kg, 인산 4.5 kg, 칼리 5.7 kg으로 처리하였다. 질소는 기비-분얼비-수비를 50-20-30%, 칼리는 기비-수비를 70~30%로 분시하였으며, 인산은 전량 기비로 사용하였다.

기계이앙과 담수산파 모두 본답 이앙 및 직파 직전 담수심을 1~3 cm로 조절하였으며, 분얼 성기에 약 1주일간 중간낙수를 실시하였고, 수확 10일 전인 출수 후 20일에 완전낙수하였다. 담수산파 처리에서는 입모 축진을 위하여 파종 직후부터 10일간 시험포장을 낙수 상태로 유지하다가, 파종 후 10일에 담수한 후 15일에 제초제를 처리하였으며, 묘의 활착과 건전한 뿌리 생육을 위하여 파종 후 21일부터 10일간 다시 낙수 상태로 유지하였다. 파종 후 30일에 관개하고 분얼비를 사용한 후부터는 기계이앙과 동일한 방법으로 물 관리하였다. 기타 재배방법은 농촌진흥청 벼 재배양식별 표준 재배법에 따랐다(Rural Development Administration, 2017).

벼 생육, 건물수량 조사 및 기상자료 수집

재배양식 및 품종별 출수기에 반복당 기계이앙은 12포기 (0.504 m²), 담수산파는 0.5 m² 내의 식물체를 뿌리째 채취하였다. 채취한 식물체의 뿌리를 제거한 후 모두 합하여 벧짚과 이삭으로 분리하였으며, 이들을 70°C의 건조기에 충분히 건조한 후 무게를 측정하여 m²당 건물중으로 환산하였다. 수확기는 출수 후 30일을 기준으로 하였는데, 조사료 연중 생산을 위한 동계 사료맥류의 파종시기가 10월 하순인 점을 감안하여, 출수 후 30일에 다다르지 않은 경우에도 10월 15일에 수확하였다. 수확기에도 출수기와 같은 면적에서 동일한 방법으로 시료를 채취한 후 포기수를 조사하였다. 기계이앙에서는 전체 12포기의 초장과 수수를 조사하였고, 담수산파에서는 전체 수수를 센 후 평균 생육을 보이는 10포기의 초장을 측정하였다. 이후 출수기와 동일한 방법으로 식물체를 부위별로 분리·건조하여 벧짚, 이삭, 전체 건물중을 측정한 후 m²당 건물중으로 환산하였다.

기상자료는 2014~2016년의 일별 평균기온, 최고기온, 최저기온과 일조시간을 기상청 기상정보포털에서 수집하여 이용하였다.

시험 성적 분석

시험 성적은 SPSS 통계 분석 프로그램으로 시험 연도, 재배 양식, 품종의 3요인 분산분석을 실시하여, 각 요인과 교호 효과를 분석하였다. 재배 양식 사이의 차이는 최소 유의차 검정(LSD)에 따랐으며, 조사 항목 사이의 관계는 상관 분석을 이용하여 검정하였다. 담수산파 재배의 부위별 건물 수량 변화가 전체 건물 수량의 변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기계이앙 대비 담수산파에서 비율을 구하고, 각 요인별 상관 분석을 통하여 관계를 검정하였다.

결과 및 고찰

사료용 벼 재배기간 중 기온은 Fig. 1과 같이 경과되었다. 기온의 연간간 차이는 7월 하순~8월 중순에 가장 컸는데, 이 기간 중 평균, 최고, 최저기온 모두 2016년 > 2015

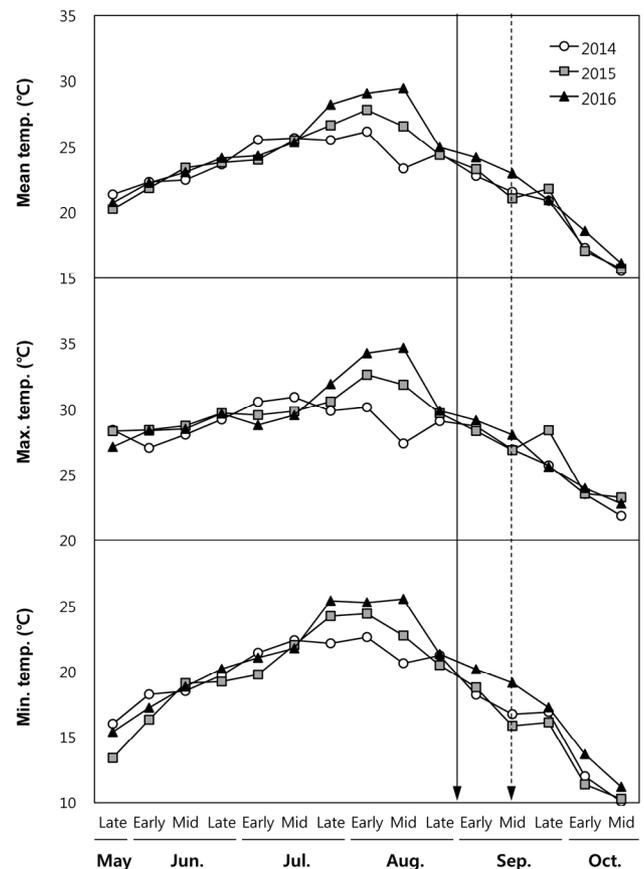


Fig. 1. Mean, maximum, and minimum temperature during the growth period of the silage rice for the three experimental years. The solid and dashed lines indicate the average heading dates over the three years for the machine-transplanted and water-broadcast seeded silage rice, respectively.

년 > 2014년 순으로 높았다. 이 기간을 제외하면 평균기온과 최고기온은 3년간 비슷하게 경과하였다. 그러나 최저기온은 초기 생육시기인 5월 하순~6월 상순에 2014년 > 2016년 > 2015년 순으로 높았으며, 9월 상순 이후로는 2016년 > 2014년 > 2015년 순으로 높게 경과되었다.

담수산파 재배에서 m²당 입모수는 연도에 따라 125~192개, 3년 평균 153개였다(Table 1). 이는 밥쌀용 벼 담수산파의 m²당 적정 입모수 80~120개보다 많은 것으로(Lee *et al.* 1994a), 사료용 벼 담수산파에서도 충분한 입모수가 확보되었다. 사료용 벼는 밥쌀용 벼와 다르게 벧짚과 알곡을 함께 이용하기 때문에, 적정 입모수가 밥쌀용 품종과는 다를 수 있으나, 이에 대하여는 추가 검토가 필요할 것으로 사료

된다. 저온 발아성이 비교적 낮은 통일형과 열대 자포니카를 유전적 배경으로 하는 사료용 벼 품종(Ahn *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2013) 입모수가 Lee *et al.* (1994a)이 보고한 자포니카 품종의 입모수보다 더 많았는데, 이는 본 연구에서 직파 시기가 5월 20일로 Lee *et al.* (1994a)의 5월 4일보다 15일 정도 늦어 입모 기간 중 기온이 더 높았기 때문으로 판단된다. 두 품종 평균 출수기는 기계이앙에서는 8월 31일~9월 1일로 연차간 변이가 적었으나, 담수산파에서는 9월 11일~18일로 기계이앙보다 11~17일 늦고 연차간 변이가 컸다. 기계이앙은 모든 경우에 10월 15일 이전에 출수 후 30일에 다다랐으나, 담수산파에서는 2014년과 2015년에 출수 후 30일간의 적정 등숙기간에 3일과 1일이 부족하

Table 1. Number of hills, heading date, and harvest date for the silage rice from machine-transplanting and water-broadcast seeding.

| Year | Cultivation practice | Variety | Hills (no./m ²) | Heading date (m.d) | Harvesting date (m.d) |
|------|-------------------------|---------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 2014 | Machine transplanting | Mogwoo | | 9.05 | 10.05 |
| | | Nokwoo | 23.8 | 8.28 | 9.27 |
| | | Mean | | 9.01 | 10.01 |
| | Water broadcast seeding | Mogwoo | 108 | 9.18 | 10.15 |
| | | Nokwoo | 143 | 9.18 | 10.15 |
| | | Mean | 125 b [†] | 9.18 | 10.15 |
| 2015 | Machine transplanting | Mogwoo | | 9.06 | 10.06 |
| | | Nokwoo | 23.8 | 8.27 | 9.26 |
| | | Mean | | 9.01 | 10.01 |
| | Water broadcast seeding | Mogwoo | 149 | 9.16 | 10.15 |
| | | Nokwoo | 133 | 9.16 | 10.15 |
| | | Mean | 141 b | 9.16 | 10.15 |
| 2016 | Machine transplanting | Mogwoo | | 9.10 | 10.10 |
| | | Nokwoo | 23.8 | 8.21 | 9.20 |
| | | Mean | | 8.31 | 9.30 |
| | Water broadcast seeding | Mogwoo | 164 | 9.12 | 10.12 |
| | | Nokwoo | 219 | 9.10 | 10.10 |
| | | Mean | 192 a | 9.11 | 10.11 |
| Mean | Machine transplanting | Mogwoo | | 9.07 | 10.07 |
| | | Nokwoo | 23.8 | 8.25 | 9.24 |
| | | Mean | | 8.31 | 9.30 |
| | Water broadcast seeding | Mogwoo | 140 | 9.15 | 10.14 |
| | | Nokwoo | 165 | 9.14 | 10.13 |
| | | Mean | 153 | 9.15 | 10.13 |

[†]Letters for the mean data for water-broadcast seeding represent the comparison among the experimental years according to the LSD (*P* < 0.05).

였다.

출수기에 건물 수량은 시험 연차와 품종의 영향을 모두 받았으며, 벃짚과 전체 건물중은 재배 양식간 유의차가 있었던 반면, 이삭 건물중은 차이가 없었다(Table 2). 재배 양

식에 따라 벃짚과 전체 건물 수량은 연차별로 2015년에는 유의차가 없었던 반면, 2014년과 2016년에는 담수산파에서 높았다. 이를 3년간 2품종의 평균에서 비교하면, 기계이앙보다 담수산파에서 유의하게 높게 나타났다. 반면, 출수

Table 2. Biomass production at the heading (HD) and the harvest (HV) stages of silage rice from machine-transplanting (MT) and water-broadcast seeding (WB).

| Year | Cultivation practice | Variety | Dry weight at HD (g/m ²) | | | Dry weight HV (g/m ²) | | |
|-------|--------------------------|---------|--------------------------------------|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|
| | | | Straw | Panicle | Total | Straw | Panicle | Total |
| 2014 | MT | Mogwoo | 1,604 | 163 | 1,767 | 1,785 | 605 | 2,390 |
| | | Nokwoo | 979 | 137 | 1,116 | 1,097 | 466 | 1,563 |
| | | Mean | 1,291 b [†] | 150 a | 1,441 b | 1,441 b | 536 a | 1,977 b |
| | WB | Mogwoo | 1,979 | 184 | 2,163 | 2,304 | 427 | 2,731 |
| | | Nokwoo | 1,877 | 144 | 2,021 | 2,100 | 256 | 2,356 |
| | | Mean | 1,928 a | 164 a | 2,092 a | 2,202 a | 341 b | 2,543 a |
| 2015 | MT | Mogwoo | 1,831 | 166 | 1,997 | 1,811 | 158 | 1,969 |
| | | Nokwoo | 1,235 | 168 | 1,402 | 1,256 | 483 | 1,739 |
| | | Mean | 1,533 a | 167 a | 1,700 a | 1,534 a | 321 a | 1,854 a |
| | WB | Mogwoo | 1,392 | 168 | 1,561 | 1,436 | 277 | 1,913 |
| | | Nokwoo | 1,205 | 118 | 1,323 | 1,285 | 237 | 1,523 |
| | | Mean | 1,298 a | 143 b | 1,442 b | 1,361 b | 357 a | 1,718 a |
| 2016 | MT | Mogwoo | 1,537 | 173 | 1,709 | 1,635 | 503 | 2,138 |
| | | Nokwoo | 942 | 169 | 1,111 | 940 | 823 | 1,762 |
| | | Mean | 1,240 b | 171 a | 1,410 b | 1,288 a | 663 a | 1,950 a |
| | WB | Mogwoo | 1,665 | 215 | 1,880 | 1,327 | 848 | 2,175 |
| | | Nokwoo | 1,257 | 137 | 1,391 | 1,401 | 397 | 1,797 |
| | | Mean | 1,461 a | 174 a | 1,635 a | 1,364 a | 622 a | 1,986 a |
| Mean | MT | Mogwoo | 1,658 | 167 | 1,825 | 1,744 | 422 | 2,166 |
| | | Nokwoo | 1,052 | 158 | 1,210 | 1,098 | 591 | 1,688 |
| | | G.Mean | 1,355 b | 163 a | 1,517 b | 1,421 b | 506 a | 1,927 b |
| | WB | Mokwoo | 1,679 | 189 | 1,868 | 1,689 | 584 | 2,273 |
| | | Nokwoo | 1,446 | 132 | 1,578 | 1,595 | 297 | 1,892 |
| | | G.Mean | 1,562 a | 161 a | 1,723 a | 1,642 a | 440 b | 2,083 a |
| ANOVA | Year (A) | | ** | * | ** | ** | ** | ** |
| | Cultivation practice (B) | | ** | ns | ** | ** | * | ** |
| | Variety (C) | | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| | A×B | | ** | ns | ** | ** | ** | ** |
| | A×C | | ns | ns | ns | ns | ** | ns |
| | B×C | | ** | ** | ** | ** | ** | ns |
| | A×B×C | | ns | ns | ns | ns | ** | ns |

[†]Letters for the mean data represent the comparison between the cultivation practices for each year and average of three years according to the LSD ($P < 0.05$).

*significant at $P < 0.05$; **significant at $P < 0.01$; ns: not significant

기의 이삭 건물중은 재배 양식에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

수확기의 건물 생산량은 시험 연차, 재배 양식, 품종에 따라 유의성이 모두 인정되었다. 3년 평균 벧짚 건물중은 기계이앙보다 담수산파에서 유의하게 증가하였는데, 2014년에는 담수산파에서, 2015년에서 기계이앙에서 많았고, 2016년에는 비슷하여 연도에 차이를 나타내었다. 3년 평균 이삭 건물중은 기계이앙보다 담수산파에서 유의하게 감소하였으나, 2015년과 2016년에는 재배 양식 사이에 유의차가 없어 연차간 변이를 보였다. 전체 건물중은 2014년에는 기계이앙보다 담수산파에서 높았고, 2015년과 2016년은 비슷하였으며, 3년 평균값은 담수산파에서 유의하게 높았다. 본 연구에서 사료용 벼의 재배 양식별 3년 평균 건물 생산성의 차이는 밥쌀용 벼에서 검토했던 결과와 유사하였다(Song *et al.*, 1997). 수확기에 기계이앙 대비 담수산파에서 3년 평균 이삭 건물중은 66 g/m² 감소하였으나 벧짚 건물중은 221 g/m² 증가하여, 벧짚 건물중의 증가량이 이삭 건물중 감소량의 3.3배였다. 따라서 담수산파에서 사료가치가 높은 이삭 건물중이 감소하기는 하지만, 사료가치 총량이 감소하지는 않을 것으로 판단된다.

수확기에 전체 건물중은 연도에 따라 기계이앙 재배에서 1,854~1,977 g/m²로 123 g의 차이를 보인 반면 담수산파 재배에서는 1,718~2,543 g/m²로 825 g의 차이를 보여, 담수산파에서 연차간 변이가 월등히 컸다(Table 2). 본 연구는 품종, 시험포장, 재배양식별 관리 방법을 동일하게 적용하여 수행하였으므로, 건물 생산성의 연차간 차이는 기상에 기인된 것으로 볼 수 있으며, 일조시간은 연도와 시기에 따라 일정한 경향을 보이지 않았기 때문에(자료 미제시) 주로

기온의 영향을 받은 것으로 판단된다. 기계이앙보다 연차변이가 컸던 담수산파 재배에서 전체 건물중은 2014년 > 2016년 > 2015년의 순으로 컸는데, 기온의 연차간 차이가 컸던 7월 하순~8월 중순의 기온은 2016년 > 2015년 > 2014년의 순으로 높아 서로 다른 경향을 보였다(Fig. 1). 이는 위의 기간이 연중 기온이 가장 높은 시기로서 온도가 사료용 벼의 생육을 제한하지 않는 조건이었기 때문으로 사료된다. 연도에 따라 차이를 보인 등숙기간 중의 최저기온도 2016년 > 2014년 > 2015년의 순으로 높아, 담수산파의 전체 건물중과 다른 경향을 보였다. 그러나 담수산파 재배에서 입모기간에 해당하는 5월 하순~6월 상순의 최저기온은 2014년 > 2016년 > 2015년 순으로 높아, 연도에 따른 전체 건물중의 경향과 일치하였다. 이러한 결과로 미루어, 본 연구에서 담수산파 재배 건물 수량의 연차변이는 입모기간 중의 최저기온에 영향을 크게 받은 것으로 추정된다. 더욱이 담수산파에서 파종 후 30일의 초장이 2014년 33.5 cm, 2016년 31.0 cm, 2015년 26.8 cm 순으로 유의하게 높았다. 이 결과를 종합해 보면, 담수산파 재배에서 입모기간 중 최저기온에 따른 벼 초기 생육의 차이가 최종 건물 생산성의 차이까지 이어진 것으로 생각된다.

시험 연차와 재배 양식 및 품종을 모두 합하여 분석한 결과, 수확기에 전체 건물중은 이삭 건물중과는 일정한 관계를 나타내지 않았던 반면, 벧짚 건물중이 증가함에 따라 고도로 유의하게 증가하였다(Fig. 2). 또한 이러한 추세는 기계이앙과 담수산파 사이에 차이를 보이지 않아, Table 2에서와 같이 담수산파에서 전체 건물중이 많았던 것은 엽초 건물중이 증가하였기 때문으로 분석된다. 사료용 벼 출수 후 벧짚 건물중의 감소와 이삭 건물중의 증가 정도는 정의

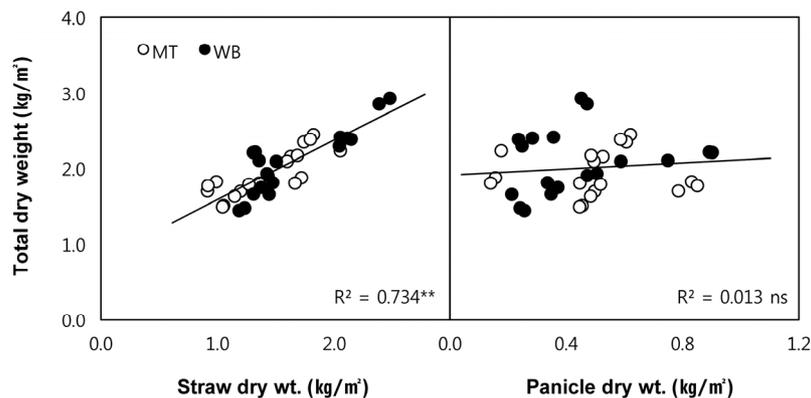


Fig. 2. Correlation of straw dry weight and panicle dry weight with the total dry weight at harvest for the machine-transplanted (MT) and the water-broadcast seeded (WB) silage rice. Each data point is a replicate for each cultivar for a year. Regression lines are for the pooled data across the experimental years, cultivation practices, and varieties. **significant at $P < 0.01$; ns: not significant.

상관 추세를 보이기는 하였으나, 통계적으로 유의하지 않았다(Fig. 3). 일반적으로 중만생 밥쌀용 벼 품종은 적산온도가 1,200°C에 도달하는 출수 후 55~60일 사이에 수확하기 때문에(Kim *et al.*, 2005), 등숙 기간 중 엽초의 저장 양분이 종실로 전류됨에 따라 엽초의 무게는 감소한다. 본 연구에서 수확기의 벧짚 건물중은 출수기보다 증가하는 경우와 감소하는 경우가 모두 관찰되었으며, 더욱이 벧짚 건물중의 감소가 이삭 건물중의 증가로 이어지지 않았다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 사료용 벼의 수확기가 출수 후 30

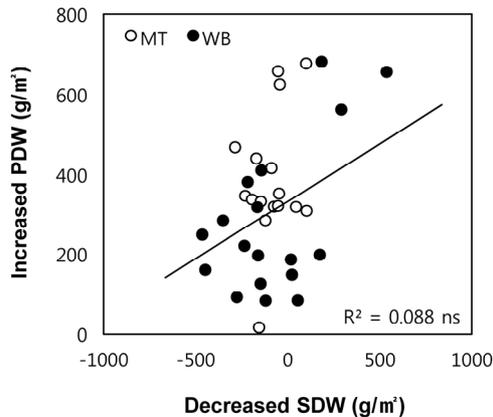


Fig. 3. The relationship between decreased straw dry weight (SDW) and the increased panicle dry weight (PDW) from heading to harvest for machine-transplanted (MT) and water-broadcast seeded (WB) silage rice. Each data point is a replicate for each variety for a year. The regression line is for the pooled data across the experimental years, cultivation practices, and varieties. ns: not significant.

일 경으로 밥쌀용 벼보다 등숙 기간이 짧았고, 그에 따라 영양 기관의 노화와 저장 양분의 전류가 많이 진행되지 않았기 때문에 사료된다.

벧짚 수량은 초장과 정의 상관관계를 가진다고 보고되었으나(Lee *et al.*, 2005), 본 연구에서 수확기의 초장은 벧짚 건물중과 관계를 보이지 않았다(Fig. 4). 그러나 m^2 당 수수는 벧짚 건물중과 고도로 유의한 상관관계를 나타내었는데, 이것이 기계이앙보다 답수산파에서 m^2 당 수수와 벧짚 건물중이 높았던 원인으로 분석된다(Table 2). Lee *et al.* (2005)은 건물중을 높이기 위해서는 품종적으로 주당 수수가 많은 것이 유리하다고 주장하였는데, 재배적·환경적 측면에서 검토한 본 연구의 결과도 비슷하였다. 따라서 사료용 벼의 건물수량 증대를 위해서는 유전, 재배 및 환경 측면에서 공통적으로 수수를 늘리는 방향으로 접근해야 할 것으로 판단된다.

기계이앙 대비 답수산파 재배의 전체 건물중 비율은 벧짚 건물중 비율과 매우 밀접한 정의 상관관계를 나타내었으나, 이삭 건물중 비율과는 유의한 관계가 없었다(Fig. 5). 이 결과는 기계이앙 대비 답수산파에서 벧짚 건물중이 증대됨으로써 건물 수량이 증가하였으며, 이삭 건물중의 증대는 건물 수량 향상에 도움이 되지 않았다는 것을 의미하는 것으로, Table 2와 Fig. 2의 결과를 뒷받침한다.

기계이앙 대비 답수산파에서 m^2 당 수수와 이삭줄기당 건물중의 비율은 Fig. 6과 같다. 출수기에 기계이앙 대비 답수산파의 m^2 당 수수는 15% 많았던 반면, 이삭줄기당 벧짚과 전체 건물중은 비슷하였다. 수확기에는 기계이앙보다 답수산파에서 m^2 당 수수는 9% 많았으며, 이삭줄기당 벧짚 건물중이 7% 증가하고 이삭 건물중이 26% 감소하여 전체 건물중은 차이가 없었다. Choi *et al.* (2006b)의 연구 결

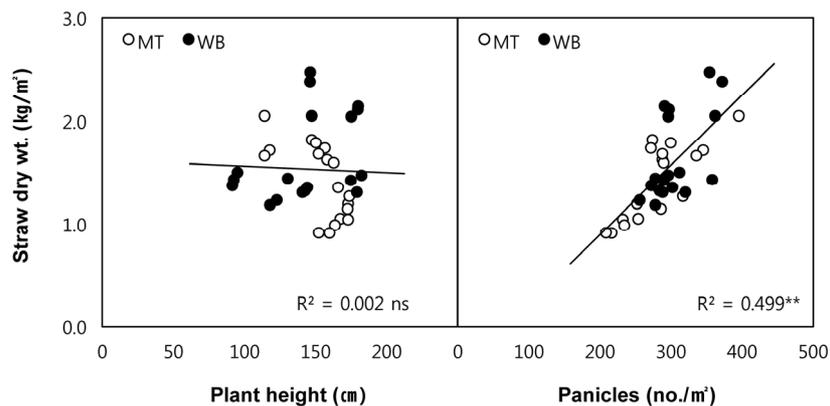


Fig. 4. Association of plant height and the number of panicles with straw dry weight at harvest for machine-transplanted (MT) and water-broadcast seeded (WB) silage rice. Each data point is a replicate for each variety for a year. Regression lines are for the pooled data across the experimental years, cultivation practices, and varieties. **significant at $P < 0.01$, ns: not significant.

과에서와 같이, 동일한 품종과 시비 조건에서는 m^2 당 수수가 증가하면 이삭줄기당 건물중은 일반적으로 감소한다. 그러나 본 연구에서 담수산파는 기계이앙보다 m^2 당 수수가 증가하였는데도 이삭줄기당 건물중은 감소하지 않았고, 이것이 3년 평균 담수산파의 건물 수량이 기계이앙보다 높았던 원인으로 사료된다(Table 2).

본 연구에서 담수산파는 기계이앙보다 하나의 이삭줄기가 차지하는 평균 면적이 9% 정도 적었으며, 주당 수수가 매우 적었다(기계이앙 11.8개, 담수산파 2.2개). 담수산파에서는 하나의 종자가 한 포기로 자라기 때문에 몇 개의 묘가 한 포기 내에서 자라는 기계이앙보다 주당 면적이 적고, 이에 따라 주당 수수가 적어졌다. 이와 같이 담수산파에서 기계이앙보다 주수가 많아지고 주당 수수가 감소함에 따라,

주간 경합은 커지고 주내 경합은 적어졌을 것으로 판단된다(Park *et al.*, 1985; Park *et al.*, 1989). 그러나 담수산파에서 기계이앙 대비 m^2 당 수수가 증가하였음에도 이삭줄기당 건물중이 비슷하게 유지된 결과로 보아(Fig. 6), 담수산파에서는 주간 경합의 증대에 의한 이삭줄기당 건물중 감소보다 주내 경합의 감소에 의한 이삭줄기당 건물중 증가 효과가 더 커진 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합하면, 사료용 벼의 담수산파 재배는 기계이앙보다 건물 수량이 해에 따라 비슷하거나 높았으며, 담수산파에서 건물 수량의 증가는 m^2 당 수수가 많아졌음에도 이삭줄기당 건물중이 비슷하게 유지되었기 때문이었다. 그러므로 담수산파 재배양식을 도입한 사료용 벼의 재배를 통하여 생산성의 유지·증진과 노동력 및 생산비 절감을 동

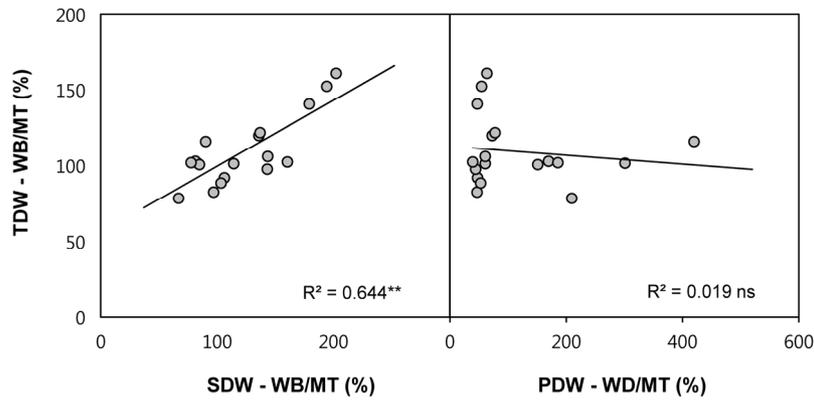


Fig. 5. Correlation of the water-broadcast seeding to machine-transplanting ratio (WB/MT) with straw dry weight (SDW) and total dry weight (TDW) and with panicle dry weight (PDW) and TDW at harvest in silage rice. Each data point is a replicate for each variety for a year. Regression lines are for the pooled data across the experimental years and varieties. **significant at $P < 0.01$, ns: not significant.

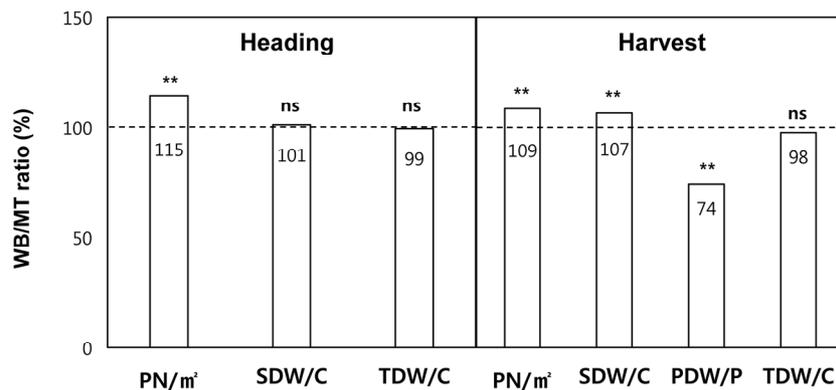


Fig. 6. The water-broadcast seeding to machine-transplanting (WB/MT) ratios for the panicle number per area (PN/m²), straw dry weight per culm (SDW/C), panicle dry weight per panicle (PDW/P), and total dry weight per culm (TDW/C) at the heading and harvest stages in silage rice. Data are the means of the three experimental years and the two varieties. Significance is for the comparison of the measured data between the machine-transplanting and the water-broadcast seeding. **significant at $P < 0.01$, ns: not significant.

시에 도모할 수 있을 것으로 평가된다. 그러나 사료가치가 상대적으로 높은 이삭의 생산량이 기계이앙보다 담수산과에서 적으므로, 향후 이를 보완할 수 있는 품종육성 및 재배기술 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

중부 평야지에서 사료용 벼 기계이앙과 담수산과 재배의 건물 생산 특성을 비교·분석하기 위하여 국립식량과학원 중부작물부 수원 벼 재배 시험 포장에서 최근 육성·등록된 묵우와 녹우 품종을 이용하여 5월 20일에 이앙 및 직파하여 3년간 검토한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 담수산과 재배의 m^2 당 입모수는 125~192개였으며, 출수기는 9월 11일~18일로 기계이앙보다 11~17일 지연되었다.
2. 기계이앙보다 담수산과 재배에서 수확기의 3년 평균 벧짚 건물중은 증가하였고 이삭 건물중은 감소하였는데, 벧짚 건물중 증가량이 이삭 건물중 감소량의 3.3 배로 많아 전체 건물 수량은 증대되었다.
3. 건물 수량은 벧짚 건물중과 밀접한 정의 상관 관계를 보였고 이삭 건물중과는 일정한 관계가 없었으며, 출수 후 수확기까지의 벧짚 건물중 감소 정도와 이삭 건물중 증가 정도는 유의한 관계가 인정되지 않았다.
4. 건물 수량과 밀접하게 관련된 벧짚 건물중은 초장과는 상관을 보이지 않았던 반면 m^2 당 수수가 많아짐에 따라 유의하게 증가하였으며, 기계이앙 대비 담수산과의 전체 건물중 비율은 이삭 건물중 비율과는 관계가 없었고 벧짚 건물중 비율과는 정의 상관을 보였다.
5. 기계이앙 대비 담수산과에서 m^2 당 수수는 9% 증가하여 하나의 이삭이 차지하는 평균 면적이 감소하였음에도 이삭줄기당 건물중 비율이 비슷하게 유지되었다.
6. 따라서 담수산과 재배를 통하여 생산성을 높이는 동시에 노동력과 생산비를 절감할 수 있는 것으로 평가되며, 담수산과에서 이삭 생산량을 높이기 위한 품종·재배적 보완 연구가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 중부지역 논 이용 작부체계 개발, 세부과제번호 : PJ01175903)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

인용문헌(REFERENCES)

- Ahn, E. K., E. G. Jeong, S. B. Lee, Y. H. Choi, C. I. Yang, J. H. Lee, Y. J. Won, G. S. Lee, O. Y. Jeong, Y. J. Mo, J. J. Kim, Y. C. Cho, J. K. Chang, M. K. Kim, J. P. Suh, J. H. Lee, K. H. Jung, J. M. Jeong, J. U. Jeung, H. M. Park, U. J. Hyun, and H. C. Hong. 2017. Mid-late flowering, high biomass yielding whole crop silage rice cultivar 'Nokwoo' improved an early growth and germination at low temperature. *Korean J. Breed. Sci.* 49(3) : 265-272.
- Cho, K. M., N. H. Back, C. H. Yang, P. Shin, T. H. Noh, G. H. Lee, K. B. Lee, and K. H. Park. 2014. Growth characteristics and feed value of whole crop silage rice on paddy field and reclaimed tidal land. *Korean J. Crop Sci.* 59(4) : 526-531.
- Choi, C. W., E. S. Chung, S. K. Hong, Y. K. Oh, J. G. Kim, and S. C. Lee. 2010. Feed evaluation of whole crop rice silage harvested at different mature stages in Hanwoo steers using *in situ* technique. *J. Korean Grassl. Forage Sci.* 30(2) : 143-150.
- Choi, C. W. and Y. K. Oh. 2011. Effects of feeding whole crop rice silage harvested at different mature stages on rumen fermentation and blood metabolites in Hanwoo steers. *J. Korean Grassl. Forage Sci.* 31(2) : 191-200.
- Choi, J. S., J. S. Paek, H. H. Park, Y. K. Jung, J. J. Lee, K. H. Park, S. J. Yang, and C. K. Kim. 2006a. Breeding for whole crop rice silage and winter forage crops in Korea. *Proceedings of the Korean Society of Grassl. Sci. Conference*: pp. 87-105.
- Choi, W. Y., S. H. Moon, H. K. Park, M. G. Choi, S. S. Kim, and C. K. Kim. 2006b. Optimum planting density in low fertilizing culture of machine transplanting in rice. *Korean J. Crop Sci.* 51(5) : 379-385.
- Kim, B. W., G. S. Kim, and K. I. Sung. 2004. Effect of lactic acid bacteria and forming acid on the silage quality of whole crop rice at different maturity. *J. Korean Grassl. Sci.* 24(1) : 61-70.
- Kim, C. H. 2004. Varietal difference in feed value of rice straw and its relationship with agronomic traits. *Korean J. Crop Sci.* 49(6) : 516-521.
- Kim, J. G., E. S. Chung, J. K. Lee, Y. C. Lim, S. H. Yoon, and M. J. Kim. 2009. Comparison of yield and quality of direct-seeded whole crop rice. *J. Korean Grassl. Forage Sci.* 29(1) : 25-30.
- Kim, J. G., E. S. Chung, J. S. Ham, S. Seo, M. J. Kim, S. H. Yoon, and Y. C. Lim. 2007. Effect of growth stage and variety on the yield and quality of whole crop rice. *J. Korean Grassl. Sci.* 27(1) : 1-8.
- Kim, J. G., E. S. Chung, S. Seo, M. J. Kim, J. K. Lee, S. H. Yoon, Y. C. Lim, and Y. M. Cho. 2008a. Effect of growth stage and variety on the quality of whole crop rice silage. *J. Korean Grassl. Forage Sci.* 28(1) : 29-34.

- Kim, J. G., H. S. Park, J. H. Kim, and H. J. Ko. 2014. Effect of seeding rates on the forage quality and productivity of direct-seeded whole crop rice. *J. Korean Soc. Grassl. Forage Sci.* 34(4) : 234-239.
- Kim, J. G., H. S. Park, S. H. Lee, J. S. Jung, and H. J. Ko. 2015. Effect of seeding methods and nitrogen fertilizer rates on the forage quality and productivity of whole crop rice. *J. Korean Soc. Grassl. Forage Sci.* 35(2) : 87-92.
- Kim, J. G., J. S. Ham, E. S. Chung, S. H. Yoon, M. J. Kim, H. S. Park, Y. C. Lim, and S. Seo. 2008b. Evaluation of fermentation ability of microbes for whole crop rice silage inoculant. *J. Korean Grassl. Forage Sci.* 28(3) : 229-236.
- Kim, J. G., W. H. Kim, and S. Seo. 2006. Production and utilization technology of forage crops and whole crop rice in paddy field. *Proceedings of Korean Society of Crop Sci. Conference 43(S-1)*: pp. 59-85.
- Kim, S. H. and H. J. Lee. 1994. Growth and yield of forage crops affected by soil texture in upland diverted from paddy field. *Korean J. Crop Sci.* 39(6) : 577-584.
- Kim, S. S., J. H. Lee, J. K. Nam, W. Y. Choi, N. H. Back, H. K. Park, M. G. Choi, C. K. Kim, and K. Y. Jung. 2005. Proper harvesting time for improving the rice quality in Honam plain area. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 62-68.
- Lee, C. W., K. Y. Seong, and J. T. Lim. 1994a. Optimum number of seedling stands of rice for high yield in direct water-seeded culture. *Korean J. Crop Sci.* 39(5) : 405-411.
- Lee, H. J., S. H. Kim, and H. S. Lee. 1994b. Growth of maize and sorghum-sudangrass hybrid affected by soil texture and ground water level. *Korean J. Crop Sci.* 39(6) : 585-593.
- Lee, J. H., O. Y. Jung, J. S. Paek, H. C. Hong, S. J. Yang, Y. T. Lee, K. I. Sung, and B. W. Kim. 2005. Evaluation of whole crop rice for animal feed. *Proceedings of the Korean Society of Grassl. Sci. Conference*: pp. 224-225.
- Lee, S. B., C. I. Yang, J. H. Lee, M. K. Kim, Y. S. Shin, K. S. Lee, Y. H. Choi, O. Y. Jeong, Y. H. Jeon, H. C. Hong, Y. G. Kim, K.H. Jung, J. U. Jeung, J. Kim, and J. Y. Shon. 2013. A late-maturing and whole crop silage rice cultivar 'Mogwoo'. *J. Korean Grassl. Forage Sci.* 33(2) : 81-86.
- 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.
- Rural Development Administration. 2017. *Quality Rice Production Technologies*. Suwon. 461.
- Song, Y. J., E. J. Song, and J. S. Na. 1997. Growth and dry matter production of direct seeding on flooded paddy surface and machine transplanting rice. *Korean J. Crop Sci.* 42(4) : 459-465.
- Sung, K. I., S. M. Hong, and B. W. Kim. 2004. Plant height, dry matter yield and forage quality at different maturity of whole crop rice. *J. Korean Grassl. Sci.* 24(1): 53-60.
- Yang, C. I., H. Y. Kim, J. H. Lee, Y. H. Choi, G. S. Lee, S. B. Lee, I. S. Choi, O. Y. Jung, H. G. Hwang, Y. S. Shin, M. K. Kim, Y. G. Kim, Y. H. Jeon, J. S. Paek, S. J. Yang, M. G. O., and Y. T. Lee. 2011. A new high biomass yield and whole crop rice cultivar 'Nokyang'. *Korean J. Breed. Sci.* 43(6) : 519-523.
- Yang, W., J. Kim, J. Shon, H. Jung, K. J. Choi, and B. K. Kim. 2014. Comparison of seedling establishment and early growth characteristics as affected by seeding date and temperature in water broadcast-seeded whole crop silage rice genotypes. *Korean J. Int. Agric.* 26(4) : 462-467.
- Yang, W., K. J. Choi, K. S. Kwak, T. S. Park, M. H. Oh, J. C. Shin, and J. G. Kim. 2007. Characterization of biomass production and seedling establishment of direct-seeded Nogyangbyeon, a whole crop rice variety for animal feed. *Korean J. Crop Sci.* 52(3) : 249-258.