이모작 적응 조생 복합내병충성 고 바이오매스 사료용 벼 ‘조우’

안억근* · 원용재 · 이점호 · 정응기 · 박향미 · 홍하철 · 장재기 · 현웅조 · 정국현 · 이정희

농촌진흥청 국립식량과학원

‘Jowoo’, Early Maturing, Multiple Disease and Insect Resistant High Biomass Yielding Rice Cultivar for Winter Forage Crop–Whole Crop Silage Rice Double Cropping

Eok-Keun Ahn*, Yong-Jae Won, Jeom-Ho Lee, Eung-Gi Jeong, Hyang-Mi Park, Ha-Cheol Hong, Jae-Ki Chang, Ung-Jo Hyun, Kuk-Hyun Jung, and Jeong-Heui Lee

National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea

Abstract ‘Jowoo’, an early maturing, high biomass yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivar with high feed value and multiple disease-insect resistance, was developed for winter forage crop-whole crop silage (WCS) rice double cropping. It was derived from a cross between a high biomass and multiple disease resistant line ‘Suveon519’ and an early flowering, high yielding Tong-il type variety ‘Gaya’ that harbored *Bph3* and *BPH26*, conferring brown planthopper (Bph) broad resistance. This cultivar had a growth period of approximately 106 days from seeding to heading, 97 cm culm length, 24 cm panicle length, 12 panicles per hill, 120 spikelets per panicle, and 1,000-grain weight of 22.1 g as brown rice in the central plain region of Suwon. This early flowering rice variety was tolerant to premature germination and cold stresses, especially showed higher grain fertility than ‘Nokyang’ at a cold-water (17°C) irrigated screening nursery. Further, ‘Jowoo’ exhibited high lodging resistance in the yellowing ripening stage, an optimal period for harvest. In addition, ‘Jowoo’ was resistant to leaf and neck blast, bacterial blight (race K1, K2, K3, K3a), rice stripe virus, and small Bph and was also moderately resistant to Bph. Its average dry matter yield for three years reached 18.2 MT/ha, the highest among early flowering rice varieties and 19% higher than that of ‘Nokyang’. This cultivar had 72.2% total digestible nutrients, which is also higher than that of ‘Nokyang’. In the Korean peninsula, ‘Jowoo’ grows well in the central and southern plains and can be harvested 30 days after heading. This helps improve its feeding value and digestion rate in livestock (Grant No. 8133).

Keywords Rice, Early-maturing, Whole-crop silage, Double cropping, Biomass, Disease and insect resistance, Jowoo

Received on April 8, 2021. Revised on April 13, 2021. Accepted on May 6, 2021.

* Corresponding Author (E-mail: okahn@korea.kr, Tel: +82-31-695-4027, Fax: +82-31-695-4029)

서 언

사료용 벼는 인간이 식용으로 이용하기 위한 밥쌀용 벼와 달리 가축의 사료로 사용하는 벼이다. 이러한 사료용 벼는 식미를 중요 시 하는 밥쌀용 벼와 달리 수량성, 사료적성인 가축기호성 및 영양가치, 내도복성과 같은 재배특성, 병충해저항성을 갖는 것이 특히 중요하다(NARO 2009, Ahn et al. 2016, 2017, 2020). 또한 사료용 벼는 논·밭의 형상과 기능을 유지하면서 쌀 생산조절을 통한 쌀 수급조절에 이용될 수 있고 유사시 식량공급기지로 논을 환원할 수 있을 뿐만 아니라 홍수조절, 수질 정화 등 논·밭의 다원적이고 공익적인 기능을 유지할 수 있다(Sakai et al. 2003, Sung et al. 2004, Lee et al. 2005, Ahn et al. 2015, 2016,

2017).

하계에 논을 조사료 생산기반으로 활용 시에는 연중 활용 개념이 중요한데 사료용 벼 재배 후 연속하여 논을 활용해야 하며 이에 동계사료작물과의 연계가 중요하다. 현재 국내 사료용 벼 품종으로 ‘녹양’(Lee et al. 2011), ‘녹우’(Lee et al. 2013), ‘목양’(Yang et al. 2013), ‘중모1029’(Ahn et al. 2015), ‘중모1038’(Ahn et al. 2016), ‘녹우’(Ahn et al. 2017), ‘영우’(Ahn et al. 2018), ‘청우’(Ahn et al. 2020) 등이 개발되어 있다. 이러한 사료용 벼 품종은 바이오매스를 증대시키는 육종목표를 이루기 위해 영양생장기간을 길게 하여 대부분 중만생종이거나 만생종이다. 이러한 출수 특성으로 인해 동계사료작물과의 이모작 등 작부체계에 적용할 때 하계작물의 수확시기가 늦어져 동계작물

의 적기파종 지연 등의 문제를 야기한다(Ahn et al. 2019).

그래서 이탈리아라이그라스, 트리티케일, 호밀 등과 같은 동계사료작물과의 이모작 작부체계 적용에 유리할 뿐만 아니라 조생이면서 내병성 및 복합내병충성을 보유하면서 바이오매스도 높은 '조우' 품종을 육성하였기에 그 육성경위와 주요특성에 대해 서술하고자 한다.

재료 및 방법

인공교배, 재배방법 및 농업적 특성 조사

만생이며 복합내병성을 보유한 고바이오매스 계통인 '수원 519호'를 모본으로 숙기가 빠르면서 벼멸구 저항성을 보유한 통일형인 '가야'를 부본으로 2007년 하계에 인공교배하여 계통 육종법에 따라 계통선발 및 생산력검정시험을 거쳐 2015년에 '수원605호'로 계통명을 부여하였다. 2016년부터 2018년까지 3개년 간 중부평야지 1개소(수원), 호남평야지 2개소(전주, 나주), 영남평야지 1개소(밀양)에서 보통기 다비재배(N-P₂O₅-K₂O; 18-9-11 kg/10a)로 지역적응시험을 실시하여 대비품종 '녹양'과 비교하여 사료용으로 사용하기에 적합한 주요 특성을 조사 하였다. 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 중부평야지에서는 4월 20일, 호남 및 영남평야지에서는 4월 25일에 파종하여 각각 5월 25일, 5월 30일에 재식거리 30 × 12 cm로 주당 5본씩 손이앙 하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였고, 주요농업형질, 수량구성요소 및 수량성 조사는 농촌진흥청 신품종개발공동연구사업 과제수행계획서(RDA 2016, 2017, 2018) 조사기준에 준하였다.

재해 및 병해충 저항성 검정

수발아 검정은 출수 후 40일 중간이삭을 3반복으로 수확하여 25℃, 포화습도에서 7일간 처리 한 후 발아율을 조사하였다. 저온발아성 검정은 2반복으로 13℃에서 처리한 후 조사하였고 내병성은 이앙 후 30일~등숙기 때 수온 17℃ 냉수 처리 후 적고, 출수지연일, 임실률, 성숙기 표현형 정도를 조사하였다. 도복저항성 검정 시 좌절중은 출수 후 20일에 반복별로 평균적인 3개체를 골라 주간 기부 10 cm를 잘라 중앙부에 하중을 걸어 부러질 때까지의 무게를 좌절중 측정기(SHMPO FGX series, Japan)를 이용하여 측정하였다. 도복지수는 모멘트[(주간간장+수장) × 총생체중]/좌절중(g) × 100의 식을 이용하여 구하였다. 포장도복은 출수 후 30일에 달관조사 하였는데 그 기준은 이삭줄기 경사 15% 미만일 때 1, 16~30%일 때 3, 31~45%일 때 5, 이삭의

일부가 지면에 닿을 때 7, 완전히 땅에 깔린 상태일 때 9의 등급으로 그 정도를 파악하였다.

일도열병 검정은 전국 12개소 밭못자리에 6월 하순에서 7월 상순에 파종하여 30일 후 이병성 품종에 병이 확산되었을 때 계통들의 이병 정도를 조사하였다. 검정포장에 비료는 밀거름으로 21%N 복합비료를 74 kg/10a, 추비는 1차로 파종 후 12일에 요소 10 kg, 2차는 파종 후 20일에 요소 10 kg을 시비하였다. 흰잎마름병은 K1(HB1013), K2(HB1014), K3(HB1015) 및 K3a(HB1009) 균계를 최고분얼기에 개체별 가위로 잎의 끝부분을 잘라 접종한 후 30일 세균에 감염된 잎의 길이를 조사하여 이병정도를 판단하였다. 바이러스병은 검정실에서 유묘 본엽 2~3엽기에 보독충 접종을 3~4일간 실시하고, 접종 후 30일에 조사하였다. 벼멸구 저항성은 본엽 2~3엽기에 2~3령 충을 개체당 4~5마리 접종하고 감수성 품종인 '태백' 고사 후 조사하였고 애멸구도 본엽 2~3엽일 때 개체 당 4~5마리 접종하여 7~10일 후 감수성 품종이 고사한 후 조사하였다.

사료가치 분석

사료용 벼는 건물수량, 사료성분 및 가소화양분총량(TDN)을 고려한 수확적기면에서 유숙기와 호숙기는 사료성분 및 TDN함량이 낮고, 특히 건물수량이 적기 때문에 수확적기로는 다소 이르고, 고숙기 이후에는 건물수량, 사료성분 등이 황숙기에 비해 크게 떨어지지 않지만 가축의 소화측면이나 밥쌀용으로서의 전환가능성 등으로 바람직하지 않다(Sung et al. 2004). 그래서 본 시험에서는 건물수량, 사료성분 및 TDN함량이 높은 시기인 출수 후 30일에 이삭을 포함하는 식물체 지상부를 3포기씩 3반복으로 수확 건조(80℃, 72시간)한 후 잎, 줄기, 이삭을 혼합 분쇄하여 각 성분 조사시료로 사용하였다. 사료가치 평가를 위해 조지방(CF, crude fat), 조단백질(CP, crude protein), 리그닌(Lignin) 산성세제불용섬유소(ADF, acid detergent fiber), 중성세제불용섬유소(NDF, neutral detergent fiber)를 농업기술실용화재단 종합분석검정센터에 의뢰하여 분석하였으며 조단백질은 습식 분해 후 켈달법에 의해 총질소 함량을 구한 6.25를 곱하여 함량을 산출하였고, 조섬유는 Van Soest 세제법(Van soest et al. 1991)으로 조사하였다. 가소화양분총량 (TDN, total digestible nutrient)은 ADF값을 기초로 하여 88.9-(0.79% × ADF) 계산식을 이용하여 산출하였다(Lee et al. 2005).

결과 및 고찰

육성 경위

‘조우’는 이모작 적응 조생 고바이오매스 복합내병충성 사료용 벼 품종을 육성하기 위해 탄생이며 복합내병성을 보유한 고바이오매스 계통인 ‘수원519호’를 모본으로 숙기가 빠르면서 *Bph3*와 *BPH26* 유전자를 보유(Ji et al. 2018) 하여 벼멸구 생태형에 광범위 저항성을 보이는(Seo et al. 2009) 통일형 ‘가야’를 부본으로 2007년 하계에 인공교배하여 SR31933의 교배번호를 부여하였다. 2008년 하계에 수원에서 F₁ 30개체를 양성한 후, 2009년 하계에 F₂ 1,500개체를 공시하여 61개체를 목적 형질에 맞추어 선발한 후 2010~2011년과 '11/'12년 동계 기간에 국립식량과학원 시험포장과 세대단축 온실에서 계통육종법에 따라 내병성 검정을 병행하면서 F₃세대에서 F₅ 세대를 경과 시켜 2012년에 조생이며 지상부 수량성, 도열병, 흰잎마름병, 줄무늬잎마름병, 벼멸구, 도복특성 등이 우수한 계통인 SR31933-11-1-1을 선발하였다. 이후 2012~2013 2개년 간 생산력검정 예비선발 및 예비 시험을 실시하고 2014~2015 2개년간 생산력검정 본시험을 실시한 후 ‘수원605호’로 계통명을 부여하였다. 2016~2018년 3개년 간 지역적응시험 결과 조생이면서 바이오매스가 높고 복합내병충성을 보유하며 내냉성, 내도복성 및 수발아에 강한 사료용 벼로 그 우수성이 인정되어 2018년 12월 직무육성신품종 선정위원회에서 ‘조우’로 명명되었다(Figs. 1~3).

생육특성

‘조우’의 출수기는 중부와 호남평야지에서 각각 8월 5일, 8월 7일로 ‘녹양’보다 각각 3일과 1일 빠르고 영남평야지에서는 8월 5일로 ‘녹양’보다 6일 빠르며 4개소 평균 출수기는 8월 6일로 ‘녹양’보다 3일 빠름($p<0.01$) 조생종이었다(Table 1). 이러한 빠른 출수 특성은 이탈리아라이그라스, 트리티케일, 호밀 등 동계사료작물과 이모작 시 강우 등 가을 기상 상황으로 인한 적기파종 지연이나 정지 등 농작업의 어려움을 해결할 수 있는 충분한 시간을 제공해 줄 수 있다 (Ahn et al. 2019). 간장은 97 cm로 ‘녹양’보다 12 cm 길고($p<0.01$) 수장은 24 cm로 ‘녹양’보다 1 cm 짧았다($p<0.01$). 주당수수는 12개로 ‘녹양’과 같았다. 수당립수는 120개로 96개인 ‘녹양’보다 24개 많았다($p<0.01$). 등숙비율은 81.1%로 ‘녹양’의 63.8%와 비교하여 유의하게($p<0.01$) 높았다. 현미 천립중은 22.1 g으로 ‘녹양’ 25.9 g보다 가벼웠다($p<0.01$)(Table 2). 저온발아율은 91.0%로 50.3%인 ‘녹양’에 비해 월등하였으며($p<0.01$) 이러한 특성은 직파재배 시 초기 입모 안정에 유리할 것이다. 파종 후 30일째 측정한 묘초장은 21.2 cm로 20.9 cm인 ‘녹양’보다 길었으나 통계적으로 유의하지 않았다. 초기 신장성은 ‘녹양’보다 양호하여 직파재배 시 잡초경합성이 있을 것으로 생각된다. 유효냉해와 적고는 ‘녹양’과 비슷하였다(Table 3).

생리장해 및 도복 저항성

‘조우’는 못자리 일수 50일묘 이앙에서 불시출수가 되지 않았

Year	'07	'08	'09	'10	'11	'11/'12	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18
Generation	Cross	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅							
Suweon519		1	1	1									
		.	.	.									
		.	.	.									
		.	.	.									
×	SR31933	.	→	.	→	(11)	→	(1)	→	(1)	→	SR31933-11-1-1 → Jowoo (Suweon605)	
Gaya		.		.		2		2					
		.		.		3		3					
		30		1,500		61							
No. of breeding lines	30	1,500	61	3	3	OYT	PYT	RYT	LAT ^z				
Remarks	Pedigree					GH ^y	Yield trial						

^zLAT: local adaptability test, ^yGH: green house on winter season

Fig. 1. Pedigree diagram of ‘Jowoo’.

Fig. 2. Genealogy of ‘Jowoo’.

Fig. 3. The stature of early-maturing whole crop silage rice variety, ‘Jowoo’(Suweon605) improved a biomass yields, disease and insect resistance in the paddy field and its unhulled(a), brown(b) rice(bottom right)

Table 1. Heading date of whole crop silage rice cultivar, ‘Jowoo’. (’16~’18, LAT^z)

Plain	Region	Seeding date	Transplanting date	Heading date	
				Jowoo	Nokyang
Central	Suwon	Apr. 20	May 25	Aug. 5	Aug. 8
Honam	Jeonju	Apr. 25	May 30	Aug. 6	Aug. 8
	Naju	Apr. 25	May 30	Aug. 8	Aug. 8
Yeongnam	Miryang	Apr. 25	May 30	Aug. 5	Aug. 11
	Average	-	-	Aug. 6**	Aug. 9

Asterisks indicate significant differences between 'Nokyang' and 'Jowoo' as evaluated by the *t*-test: ***p*<0.01

^zLocal adaptability test

Table 2. Major agronomic traits and yield components of ‘Jowoo’. (‘16~‘18, Suwon)

Variety	Culm Length ^z (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicles/hill	No. of spikelet/panicle	Ratio of ripened grain (%)	1,000 grain weight of brown rice (g)
Jowoo	97±4**	24±1**	12±1 ^{ns}	120±13**	81.1±4.5**	22.1±1.4**
Nokyang	85±3	25±1	12±1	96±4	63.8±13.1	25.9±1.1

Asterisks indicate significant differences between ‘Nokyang’ and ‘Jowoo’ as evaluated by the *t*-test: ***p*<0.01, ^{ns}Not significant

^zLength from soil surface to panicle neck

Table 3. Major growth characteristics of the ‘Jowoo’ in the early stages. (‘16~‘18, LAT^z)

Variety	Germination ^y rate (%)	Seedling ^x height(cm)	Early elongation	Cold ^w tolerance	Discoloration ^v
Jowoo	91.0±6.0**	21.2±0.7 ^{ns}	good	7	6
Nokyang	50.3±37.6	20.9±0.9	normal	7	6

Asterisks indicate significant differences between ‘Nokyang’ and ‘Jowoo’ as evaluated by the *t*-test: ***p*<0.01, ^{ns}Not significant

^zLocal adaptability test

^yGermination rate was investigated after incubating 13°C, 15 days

^xSeedling height was measured by 3 replicate on 30 days after seeding

^wCold tolerance was evaluated at seedling stage after treating 13°C, 10 days

^vGrade standard for discoloration : normal(1), pale green of leaf tip(3), 1/3 yellow green of leaf(5), 2/3 yellowish brown of leaf(7), most of leaves withered(9)

Table 4. Response to physiological and environmental stress. (‘16~‘18, LAT^z)

Variety	Premature heading (%)	Appe-arance of wilting	Adult leaf sense-cence	Premature germination of panicle ^y (%)	Cold tolerance ^x		
					Heading delay (days)	Grain fertility (%)	PA ^w
Jowoo	0.0	Strong	Normal	4.4*	15 ^{ns}	74.5**	3
Nokyang	0.0	Strong	Late	45.6	17	18.0	8

Asterisks indicate significant differences between ‘Nokyang’ and ‘Jowoo’ as evaluated by the *t*-test: ***p*<0.01, **p*<0.05, ^{ns}Not significant

^zLocal adaptability test

^yGermination rate at 7 days after incubation (25°C, 100% RH)

^xCold tolerance was evaluated at a cold-water (17°C) irrigated screening nursery in Chuncheon

^wPhenotypic acceptability : strong(1), medium strong(3), medium(5), medium weak(7), weak(9)

으며(0.0%) 생육후기 위조에 강할 뿐만 아니라 성숙기 앞의 노화는 보통이었다. 성숙기의 잦은 강우와 적온에 의해 수확 전 이삭에서 싹이 트는 수발이는 ‘녹양’ 18.0%에 비해 4.4%로 매우 낮았다(*p*<0.05). 국립식량과학원 춘천출장소 내냉성 검정 시험포에서 조사된 ‘조우’의 내냉성 검정 결과 냉수 흘려대기에서 출수지연은 무처리에 비해 15일 늦은 특성을 보였으며 냉수구 임실률은 74.5%로 18.0%인 ‘녹양’보다 매우 높았고(*p*<0.01) 종합내냉성은 3정도로 매우 강한 것으로 판정되었다(Table 4, Fig. 4). 사료용 벼는 지상부 즉 경엽과 종실의 바이오매스를 키워서 수량성 증대를 통한 농가소득 향상을 위한 방향으로 육종되어 왔기 때문에 이삭이 길고 무겁거나 간장이 긴 경향이 있어 기본적으로 도복에 강한 특성이 필요하다. ‘조우’의 도복과 관련된 특성을 조사한 결과 간장은 ‘녹양’보다 긴 84 cm, 3절간장

이 11.9 cm로 ‘녹양’보다 길지만 좌절중은 1,628.7 g으로 ‘녹양’보다 커 도복에 강했다(Table 5). 이러한 도복에 강한 특성은 바이오매스가 커야 하는 사료용 벼 재배 시 안정성을 부여한다.

병해충 저항성

2016년부터 2018년까지 전국 발못자리 12개 시험지에서 ‘조우’의 잎도열병 반응을 검정한 결과 11개 지역에서 저항성 반응을 나타내었고 1개 지역에서 중도저항성을 보였으며 약한 반응을 보인 지역은 없었다. 이삭도열병은 익산, 예산, 밀양에서 이병 수율이 0.0~0.2%로 매우 강하였다(Table 6, Fig. 4). 흰잎마름병 (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*)은 K1, K2, K3, K3a군계에서 모두 강한 반응을 보였다. 바이러스병인 줄무늬잎마름병에는 강한 반응을 보였으나, 오갈병 및 검은줄오갈병은 ‘녹양’과 비슷

Fig. 4. Reaction to rice blast disease (A), bacterial blight(race, K1, K2, K3, K3a) (B), brown planthopper (C) and cold stress(D) at ripening stage of 'Jowoo' that has multiple disease-insect resistance and cold tolerance. Cultivar 'Anda' is brown planthopper-resistant and 'Taebaeg' sensitive. 'Jungan' is cold tolerant.

Table 5. Agronomic traits related to lodging resistance of 'Jowoo'. ('18, LAT^z)

Variety	Culm length (cm)	Third internode-length (cm)	Breaking strength (g)	Lodging index	Lodging in the field (1~9)
Jowoo	84	11.9	1,628.7	153	1
Nokyang	69	9.7	1,592.3	136	1

^zLocal adaptability test

Table 6. Reaction to rice blast disease of 'Jowoo' which has strong resistance about leaf blast and resistance about neck blast. ('16~'18, LAT^z)

Variety	Reaction to leaf blast at nursery test ^y (0-9)			Reaction to neck blast (%)		
	No. of site tested (12)			Iksan	Yesan	Miryang
	R ^x (0-3)	M (4-6)	S (7-9)			
Jowoo	11	1	0	0.2	0.0	0.0
Nokyang	5	4	3	25.0	0.0	0.5

^zLocal adaptability test

^yData was investigated in 12 leaf blast test site at local adaptability test region.

^xR: resistant(Degree, 0-3), M: moderate(Degree, 4-6), S: susceptible(Degree, 7-9)

Table 7. Reaction to bacterial blight, virus diseases and insect pests of 'Jowoo' that has multiple resistance. ('16~'18, LAT^z)

Variety	Bacterial blight				Virus diseases			Resistance to insects	
	K1	K2	K3	K3a	Stripe	Dwarf	BSD ^y	BPH	SBPH
Jowoo	R ^x	R	R	R	R	S	S	MR	R
Nokyang	R	R	R	S	R	S	S	S	S

^zLocal adaptability test

^yBSD: black-streak dwarf, BPH: brown planthopper, SBPH: small brown planthopper

^xR: resistant, S: susceptible

하게 약한 반응을 보였다. 해충에 대해서는 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)에는 중도저항성을 애멸구(*Delphacodes striatella*

Fallem)에는 강한 반응을 보였다(Table 7, Fig. 4). 도열병뿐만 아니라 오갈병 및 검은줄오갈병을 제외한 벼의 주요병해충에

Table 8. Dry matter yields of whole crop silage rice cultivar, ‘Jowoo’. (‘16~’18, LAT^z)

Region	Nokyang(kg/10a)				Jowoo(kg/10a)				Indexx
	‘16	‘17	‘18	Ave	‘16	‘17	‘18	Ave.	
Central	1,494	1,309	1,597	1,467	1,849	1,677	1,851	1,792	122
Honam	1,348	1,418	1,442	1,403	1,760	1,744	1,763	1,756	125
Yeongnam	2,208	1,694	1,602	1,835	2,398	1,796	1,694	1,963	107
Average	1,599	1,460	1,521	1,527±277	1,942	1,741	1,768	1,817±219**	119

Asterisks indicate significant differences between ‘Nokyang’ and ‘Jowoo’ as evaluated by the *t*-test: ***p*<0.01

^zLocal adaptability test

Table 9. Nutritive value of ‘Jowoo’ on 30 days after heading for silage use. (‘18, FACT^z)

Variety	Chemical properties (%)						
	CF ^y	CA ^x	CP ^w	Lignin	ADF ^v	NDF ^u	TDN ^t
Jowoo	1.7 ^{ns}	11.1 ^{ns}	6.9 [*]	3.1 ^{ns}	35.7 ^{ns}	21.2 ^{ns}	72.2 ^{ns}
Nokyang	1.8	10.1	8.9	3.4	40.0	22.6	71.1

Asterisks indicate significant differences between ‘Nokyang’ and ‘Jowoo’ as evaluated by the *t*-test: **p*<0.05, ^{ns}Not significant

^zFoundation of Agri. Tech. Commercialization & Transfer, ^yCF: crude fat, ^xCA: crude ash, ^wCP: crude protein, ^vADF: acid detergent fiber, ^uNDF: neutral detergent fiber, ^tTDN: total digestible nutrients

저항성을 보유하고 있는 ‘조우’는 농촌현장에서 친환경재배를 가능하게 하여 농업경영비 절감에 도움을 줄 뿐만 아니라 농약 등에 오염되지 않은 친환경 안전 조사료 생산이 가능하다.

건물수량성

2016년부터 2018년까지 3개년간 중부평야지인 수원, 호남평야지인 전주 및 나주, 영남평야지인 밀양에서 실시한 지역적응시험 결과 경엽과 종실을 포함하는 건물수량은 평균 1,817 kg/10a로 대비품종인 ‘녹양’(1,527 kg/10a)보다 19% 높게 나타났다(*p*<0.01)(Table 8). 이는 지금까지 국내에서 개발된 조생(사료용)벼 중 최대수량이다. 출수가 빠르면서 바이오매스를 높이는 것은 육종에서는 어려운 일이다. 그러나 ‘조우’는 조생이면서도 ha당 18톤 이상의 건물수량을 확보하였다는 점, 이는 초기 바이오매스 확보를 통한 국내 조생종 벼의 수량성을 향상시키는 재료로 활용될 수 있다는 점에서 의의가 있다. 또한 안 등(2019)에 따르면 중부평야지에서 조생종인 ‘조우’를 동계사료작물인 이탈리아나 이그라스 ‘그린팜’과 이모작 시 연중 28.9 톤/ha, 호밀 ‘곡우’는 28.2 톤/ha, 트리티케일 ‘조성’은 36.3톤/ha의 조사료를 얻을 수 있는 장점이 있다고 하였다.

사료가치, 입형 및 미질특성

사료용 벼 최적 수확시기인 출수 후 30일에 지상부 전체, 즉 잎, 줄기, 이삭을 건조 후 혼합 분쇄하여 사료가치를 분석한 결과

조지방(CF) 함량은 1.7%로 ‘녹양’(1.8%)과 비슷하였고 조단백질(CP) 함량은 6.9%로 ‘녹양’(8.9%)보다 낮았으며(*p*<0.05) 리그닌 함량은 3.1%로 ‘녹양’(3.4%)과 비슷하였다. 조사료의 소화율에 관여하는 산성세제불용섬유소(ADF)와 섭취량에 관계하는 중성세제불용섬유소(NDF)는(Rohweder DA et al. 1978) 각각 35.7%, 21.2%를 보여 ‘녹양’(40.0%, 22.6%)보다 ADF와 NDF 함량은 적었다. 이로 인해 가소화양분총량(TDN)은 72.2%로 71.1%인 ‘녹양’보다 다소 높았다(Table 9). 입형은 정조 장폭비가 2.61, 현미 장폭비가 2.11로 ‘녹양’(2.56, 2.02)과 비슷하고 아밀로스 함량은 18.1%로 ‘녹양’(19.4%)에 비해 낮았다(Table 10). 미질을 불량하게 만드는 것과 밥쌀용 벼와 확연히 구분되게 하는 것은 사료용 벼 육종에 있어 중요하다(Kato 2008). 밥쌀용과 비슷한 수준의 외관품위를 갖는다면 생산자의 편의에 따라 용도변경이 가능하여 수급, 유통과정에서 여러 문제를 야기할 수 있다. ‘조우’는 심백이 눈에 떨 정도로 많고 복백도 일부 있어(심백/복백: 3/1) 외관품위가 국내 자포니카 밥쌀용과 확연히 구분된다.

재배상의 유의점

‘조우’는 사료용 벼로 최대 건물수량을 확보하려면 다비조건(질소 : 18 kg/10a)에서 재배하는 것이 좋다. 특히 메소트리온, 벤조비사이클론 및 테퓨릴트리온 성분을 함유하는 제초제 사용시 약해가 발생하니 주의해야 한다. 수확은 사료영양가치 및 알곡의 소화율을 높이기 위하여 출수 후 30일에 하는 것이 좋다.

Table 10. Grain shape, appearance and amylose content of 'Jowoo'. ('16~'18, LAT^z)

Variety	Unhulled rice (mm)				Brown rice (mm)				White core/belly (0-9)	Amylose content (%)
	L ^y	W ^x	T ^w	L/W ^v	L	W	T	L/W		
Jowoo	8.55	3.29	2.13	2.61	5.59	2.65	1.96	2.11	3/1	18.1
Nokyang	8.97	3.51	2.40	2.56	5.75	2.85	2.20	2.02	0/1	19.4

^zLocal adaptability test^ylength, ^xwidth, ^wthickness, ^vlength/width ratio

적 요

‘조우’는 이모작 적응 조생 고바이오매스 복합내병충성 사료용 벼를 육성하기 위해 만생이며 복합내병성을 보유한 고바이오매스 계통인 ‘수원519호’를 모본으로 숙기가 빠르면서 *Bph3*와 *BPH26* 유전자를 보유하여 벼멸구 생태형에 광범위 저항성을 보이는 통일형 ‘가야’를 부본으로 계통육종법으로 전개한 후 2018년 사료용 벼로 육성하였다. 주요 농업적 특성은 중부, 호남 및 영남평야지 4개소 보통기 다비재배에서 출수기가 평균 8월 6일로 ‘녹양’보다 3일 빠른 조생종이고 간장은 97 cm로 긴 편이며 수장은 24 cm, 주당수수는 24개, 수당립수는 120개이고 현미천립중은 22.1 g으로 ‘녹양’보다 가볍다. 불시출수는 되지 않았고 수발아율은 4.4%로 ‘녹양’ 45.6%보다 매우 낮았다. 종합내병성은 3로 ‘녹양’에 비해 매우 강했고 특히 냉수구 임실률은 74.5%로 월등하였으며 도복은 강하였다. 잎도열병, 흰잎마름병(균계 K1, K2, K3 K3a), 줄무늬잎마름병, 애멸구에 모두 강한 반응을 보였고 벼멸구에는 중도저항성을 보였다. 지상부 수량성은 건물기준으로 10a당 평균 1,817 kg으로 ‘녹양’(1,527 kg)보다 19% 증수되었다. 이는 지금까지 국내에서 개발된 조생(사료용) 벼 중 최대수량이다. 가소화양분총량(TDN)이 72.2%로 사료가치는 ‘녹양’보다 약간 우수하였다. ‘조우’의 재배에 알맞은 지역은 중부 및 남부평야지이고 다비재배(질소18 kg/10a)를 하여야 최대 수량을 얻을 수 있고, 특히 메소트리온, 벤조비사이클론이나 테퓨릴트리는 성분을 포함하는 제초제에는 약해가 있으므로 사용 시 주의해야 한다. 수확시기는 사료가치 및 알곡의 소화율을 높이기 위해서 출수 후 30일이 좋다.

사 사

‘조우’를 육성함에 있어 적극 협력해주신 국립식량과학원 본원, 중부작물부, 남부작물부 벼 육종 연구팀 및 각 도농업기술원 지역적응시험 담당자들과 농촌진흥청 연구정책국 관계관

여러분께 깊이 감사 드리며 본 연구는 농촌진흥청 기관고유사업(세부과제명 : 사료용 벼 유용 형질 도입 계통 육성, 과제번호 : PJ012552012021)의 지원으로 수행된 결과입니다.

REFERENCES

- Ahn EK, Kang KH, Won YJ, Jung KH, Hyun UJ, Jeong EG, Park HM, Chang JK, Lee JH, Jeong JM, Suh JP. 2020. ‘Cheongwoo’, late maturing, multiple disease and insect resistant, high biomass yielding rice cultivar for whole crop silage use. *Korean J Breed Sci* 52: 190-199.
- Ahn EK, Jeong EG, Park HM, Jung KH, Hyun UJ, Ku JH. 2019. Double cropping productivity of main whole-crop silage rice and winter feed crops in the central plains of Korea. *Korean J Crop Sci* 64: 311-322.
- Ahn EK, Jeong EG, Lee SB, Choi YH, Yang CI, Lee JH, Won YJ, Lee GS, Jeong OY, Mo YJ, Kim JJ, Cho YC, Chang JK, Kim MK, Suh JP, Lee JH, Jung KH, Jeong JM, Jeong JU, Park HM, Hyun UJ, Hong HC. 2017. Mid-late flowering, high biomass yielding whole crop silage rice cultivar ‘Nokwoo’ improved an early growth and germination at low temperature. *Korean J Crop Sci* 49: 265-272.
- Ahn EK, Lee SB, Won YJ, Lee JH, Chang JK, Jeong EG, Jung KH, Lee JH, Cho YC, Jeong JM, Suh JP, Kim JJ, Jeong OY, Jeon YH, Hong HC, Lee GS, Kim BG. 2018. Mid-late maturing, multiple disease and insect resistant, high biomass yielding whole crop silage rice cultivar ‘Yeongwoo’. *Korean J Breed Sci* 50: 331-339.
- Ahn EK, Lee JH, Yang CI, Jeong EG, Lee SB, Won YJ, Choi YH, Shon JY, Shin YS, Yoon MR, Lee GS, Jeong JM, Chang JK, Jung KH, Jeon YH, Lee JS, Hyun UJ, Hwang KH, Kim BG, Kim BJ. 2016. Mid-late flowering, high biomass yielding whole crop silage rice cultivar ‘Jungmo1038’ with glabrous leaf and hull. *Korean J Crop*

- Sci 48: 292-300.
6. Ahn EK, Lee JH, Lee SB, Yang CI, Choi YH, Chang JK, Jeong JM, Lee GS, Kim MK, Kim JH, Hyun UJ, Mo YJ, Yoon YH, Jeung JU, Oh SK, Seo MW, Kim CK. 2015. Late-maturing, high biomass and multiple disease resistant whole crop silage rice cultivar 'Jungmo1029'. Korean J Crop Sci 47: 159-165.
7. Lee JH, Jeong OY, Paek JS, Hong HC, Yang SJ, Lee YT, Kim JG, Sung KI, Kim BW. 2005. Analysis of dry matter yield and feed value for selecting of whole crop rice. J Anim Sci & Technol (Kor) 47: 355-362.
8. Lee SB, Yang CI, Lee JH, Kim MK, Shin YS, Lee KS, Choi YH, Jeong OY, Jeon YH, Hong HC, Kim YK, Jung KH, Jeung JU, Kim JH, Shon JY. 2013. A late-maturing and whole crop silage rice cultivar 'Mogwoo'. J Korean Grassl Sci 33: 81-86.
9. Ji HS, Ahn EK, Seo BY, Kang HJ, Lee SB, Hyun UJ, Choi IC, Kim KH, Kim SL, Lee SB, Suh SC, Lee GS. 2018. Detection of genes conferring resistance to the brown planthopper (BPH) in gayabyeo through genome resequencing and development of their selection markers. Korean J Breed Sci 50: 104-115.
10. Kato H. 2008. Development of rice varieties for whole crop silage(WCS) in Japan. JARQ 42: 231-236.
11. National Agriculture and Food Research Organization. 2009. Rice varieties for whole crop silage and grain use. NICS. Tsukuba. Japan.
12. Rohweder DA, Barnes RF, Jorgensen N. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. J Anim Sci 47: 747-759.
13. Rural Development Administration. 2016. 2016 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop.
14. Rural Development Administration. 2017. 2017 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop.
15. Rural Development Administration. 2018. 2018 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop.
16. Sakai M, Iida S, Maeda H, Sunohara Y, Nemoto T, Imbe T. 2003. New rice varieties for whole crop silage use in Japan. Breeding Sci 53: 271-275.
17. Seo BY, Jung JK, Choi BR, Park HM, Lee BH. 2009. Resistance-breaking ability and feeding behavior of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* recently collected in Korea. Planthoppers: new threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia, Heong KL, and Hardy B. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute; 2009 pp. 303-314.
18. Sung KI, Hong SM, Kim BW. 2004. Plant height, dry matter yield and forage quality at different maturity of whole crop rice. J Kor Grassl Forage Sci 24: 53-60.
19. Van soest PJ, Poverston JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J Dairy Sci 74: 3583-3597.
20. Yang CI, Kim HY, Lee JH, Choi YH, Lee GS, Lee SB, Choi IS, Jung OY, Hwang HG, Shin YS, Kim MK, Kim YG, Jeon YH, Paek JS, Yang SJ, O MG, Lee YT. 2011. A new high biomass yield and whole crop silage rice cultivar 'Nokyang'. Korean J Breed Sci 43: 519-523.
21. Yang CI, Lee SB, Won WJ, Ahn EK, Kim MK, Kim YK, Hyun UJ, Jeong JM, Hwang HG, Shin YS, Hong HC, Lee JH, Lee KS, Choi YH, Choi IS, Jeong OY, Kim JH, Chang JK, Park HM, Sung NS. 2013. A high biomass yield and whole crop silage rice cultivar 'Mogyang'. Korean J Breed Sci 45: 405-409.