만생 복합내병충성 고 바이오매스 사료용 벼 ‘청우’

안억근* · 강경호 · 원용재 · 정국현 · 현웅조 · 정응기 · 박향미 · 이점호 · 장재기 · 이정희 · 정종민 · 서정필

농촌진흥청 국립식량과학원

‘Cheongwoo’, Late Maturing, Multiple Disease and Insect Resistant, High Biomass Yielding Rice Cultivar for Whole Crop Silage Use

Eok-Keun Ahn*, Kyung-Ho Kang, Yong-Jae Won, Kuk-Hyun Jung, Ung-Jo Hyun, Eung-Gi Jeong, Hyang-Mi Park, Jeom-Ho Lee, Jae-Ki Chang, Jeong-Heui Lee, Jong-Min Jeong, and Jung-Pil Suh

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

Abstract ‘Cheongwoo’, a late maturing, high biomass-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivar with high feed value and multiple disease and insect resistance, was developed for whole crop silage (WCS) use. It was derived from a cross between a high biomass and multiple disease resistant line ‘Suweon519’ and early flowering, high-yielding Tong-il type cultivar ‘Gaya’, which exhibited a brown planthopper (BPH) broad resistance conferred by *Bph3* and *BPH26*. The cultivar was characterized by growth period from seeding to heading of about 130 days, culm length of 87 cm, panicle length of 29 cm, 12 panicles per hill, 135 spikelets per panicle, and 1,000-grain weight of brown rice of 21.4 g in the central plain region, Suwon. This long-leaved green WCS rice variety was sensitive to cold stress, similar to ‘Nokyang’, but resistant to premature germination, and germinated well under low temperature conditions. Furthermore, ‘Cheongwoo’ exhibited high lodging resistance at the yellowing stage, the optimal period for harvesting in the field. Additionally, ‘Cheongwoo’ was resistant to leaf and neck blast, bacterial blight (races K1, K2, K3, K3a), rice stripe virus, BPH, and small BPH. Its average dry matter yield for three years reached 20.6 MT/ha, 38% higher than that of ‘Nokyang’. The content of crude protein (5.32%) and total digestible nutrients (71.2%) was higher than that in ‘Nokyang’. On the Korean Peninsula, ‘Cheongwoo’ grows well in central and southern plains, and should be optimally harvested between 15 and 30 days after heading to improve its feeding value and digestion rate in livestock (Grant No. 7662).

Keywords Rice, Whole-crop silage, Biomass, Disease and insect resistance, Cheongwoo

Received on March 12, 2020. Revised on March 26, 2020. Accepted on April 20, 2020.

* 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). 또한 사료용 벼는 논의 형상과 기능을 유지하면서 쌀 생산조정제를 통한 쌀 수급조절에 이용될 수 있고 유사시 식량공급기지로 논을 환원할 수 있을 뿐만 아니라 홍수조절, 수질 정화 등 논의 다원적이고 공익적인 기능을 유지할 수 있다(Sakai et al. 2003, Sung et al. 2004, Lee et al. 2005, Ahn et al. 2015; 2016; 2017).

국내 쌀 시장은 단위면적당 생산량 증가, 일인당 소비량의

지속적 감소, 그로 인한 재고량이 증가하고 있고 수확기 산지 쌀값 하락에 따른 농가 소득이 감소하고 변동직불금 및 재고 관리비 증가로 정부 재정 부담이 가중되고 있는 상황이다. 더구나 2018년 국내 조사료 상황은 공급량 5,896천톤 중 1,189천톤을 수입하고 있어 자급률이 79.8%에 머무르고 있다(MAFRA 2018). 이에 정부는 2018년부터 2년간 한시적으로 쌀 과잉 문제를 선제적으로 대응하고 식량자급률 및 조사료 자급률 향상을 도모하기 위해 ‘논 타작물 재배 지원사업’을 통해 쌀 생산조정제를 실시하였다(MAFRA 2017). 그 결과 2018년 목표량 50,000 ha 중 조사료 분야를 제외하고는 그 목표를 채우지 못하였고 사료용 벼는 3,985 ha가 재배되었고 2019년에는 전년도에 비해 더 높은 보조금(430만원/ha)을 지원했음에도 불구하고(MAFRA 2019a) 2018년과 비슷한 수준(61.9%)인 목표량 55,000 ha의 60.6%인

33,345 ha에 그쳤으며 그 중 사료용 벼 재배 면적은 1,588 ha였다 (MAFRA 2019b, Ahn et al. 2019).

국내 사료용 벼 품종개발은 경엽이 잘 부러지는 특성을 갖는 Brittle culm 벼의 사료용 벼로서의 활용가능성 검토(Kim et al. 1997), 일품벼 돌연변이종을 이용하여 벼를 사료로 이용하려는 시도(Sung et al. 2004), 사료용 벼로서 적합한 품종을 선발하기 위해 건물수량 및 사료가치와 관련된 형질들을 검토하여 품종선발에 대한 기초자료를 제시한 연구(Lee et al. 2005) 등이 있었다. 그 이후 농촌진흥청 국립식량과학원에서 품종개발 연구가 계속 진행되어 현재 사료용 벼 품종으로 ‘녹양’(Lee et al. 2011), ‘목우’(Lee et al. 2013), ‘목양’(Yang et al. 2013), ‘중모 1029’(Ahn et al. 2015), ‘중모1038’(Ahn et al. 2016), ‘녹우’(Ahn et al. 2017), ‘영우’(Ahn et al. 2018) 등이 개발되어 있다. 뿐만 아니라 이탈리아라이그라스, 트리티케일, 호밀 등과 같은 동계사료작물과의 이모작 작부체계 적용에 유리한 조생이면서 내랭성 및 복합내병충성을 갖는 우량계통, 다수성이며 매끄러운 종실 및 잎을 갖는 계통, 저리그닌 및 단수경엽형 특성 복합화를 통한 발효 및 소화율 향상 계통, 간접지 적응성 향상을 위한 *Saltol* QTL (Waziri A et al. 2016) 이입 내염성 계통 등이 개발되고 있다(Ahn et al. 2018).

이러한 사료용 벼 품종개발은 재배편이성을 통한 농업경영비 절감 및 수량성 향상을 통한 경제적 가치를 높여 그 이용성을 제고하기 위해 사료적성은 기본으로 하면서 고 바이오매스, 복합 내병충성 등과 같은 특성 개선이 중요하다. 그러나 초기에 개발된 ‘녹양’이나 ‘녹우’ 등은 수량성이 낮고 충해에 약한 특성이 있어 이러한 단점을 보완한 사료용 벼 ‘청우’를 육성하였기에 그 육성 경위와 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 2013년에 ‘수원585호’로 계통명을 부여하였다. 2014년부터 2016년까지 3개년 간 중부평야지 1개소(수원), 호남평야지 2개소(익산(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 4월20일, 호남 및 영남평야지에서는 4월25일에 파종하여 각각 5월25일, 5월30일에 재식거리 30 × 12 cm로 주당 5본씩 손이앙 하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였고, 주요농업형질, 수량구성요소 및 수량성 조사는 농촌진흥청 신품종개발공동연구사업 과제수행계획서(RDA 2014; 2015; 2016) 조사기준에 준하였다.

재해 및 병해충 저항성 검정

수발아 검정은 출수 후 40일 주간이삭을 3반복으로 수확하여 25℃, 포화습도에서 7일간 처리 한 후 발아율을 조사하였다. 저온발아성 검정은 2반복으로 13℃에서 처리한 후 조사하였고 내냉성은 이앙 후 30일~등숙기 때 수온 17℃ 냉수 처리 후 적고, 출수지연일, 임실율, 성숙기 표현형 정도를 조사하였다. 도복저항성 검정 시 좌절증은 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 발묘자리에 6월하순에서 7월상순에 파종하여 30일 후 이병성 품종에 병이 확산되었을 때 계통들의 이병 정도를 조사하였다. 검정포장에 비료는 밀거름으로 21%N복합비료를 74 kg/10a, 추비는 1차로 파종 12일에 요소 10 kg, 2차는 파종 20일에 요소 10 kg을 시비하였다. 흰잎마름병은 K1 (HB1013), K2 (HB1014), K3 (HB1015) 및 K3a (HB1009) 균계를 최고본엽기에 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 충령이 2~3령인 충을 개체당 4~5마리 접종하고 감수성 품종인 ‘태백’이 고사 후 조사하였고 애멸구도 본엽 2~3엽일 때 개체 당 4~5마리 접종하고 7~10일 후 감수성 품종이 고사한 후 조사하였다.

사료가치 분석

사료용 벼는 건물수량, 사료성분 및 가소화양분총량(TDN)을

고려한 수확적기면에서는 유숙기와 호숙기는 사료성분 및 TDN 함량이 낮고, 특히 건물수량이 적기 때문에 수확적기로는 다소 이르고, 고숙기 이후에는 건물수량, 사료성분 등이 황숙기에 비해 크게 떨어지지 않지만 가축의 소화측면이나 밥쌀용으로서의 전환가능성 등에 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°C, 72시간)한 후 잎, 줄기, 이삭을 혼합 분쇄하여 각 성분 조사시료로 사용하였다. 사료가치 평가를 위해 조지방(CF, crude fat), 조단백질(CP, crude protein), 산성세제불용섬유소(ADF, acid detergent fiber), 중성세제불용섬유소(NDF, neutral detergent fiber)를 농업기술실용화재단 종합분석검정센터에 의뢰하여 분석하였으며 조단백질은 습식 분해 후 켈달법에 의해 총질소 함량을 구한 뒤 6.25를 곱하여 함량을 산출하였고, 조섬유 즉 ADF와 NDF는 Van Soest 세제법(Van soest et al. 1991)으로 조사하였다. 가소화양분총량(TDN, total digestible nutrient)은 ADF값을 기초로 하여 $88.9 - (0.79\% \times \text{ADF})$ 계산식을 이용하여 산출하였다(Lee et al. 2005).

결과 및 고찰

육성 경위

‘청우’는 바이오매스 증대를 통한 경제성을 높이고 기존 고바이오매스 품종인 ‘목우’(Lee et al. 2013)의 내병충성 보완을

통한 재배안정성을 강화하기 위해 만생이며 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’ 벼를 부분으로 2007년 하계에 인공교배하여 SR31933의 교배번호를 부여하였다. 2008년 하계에 수원에서 F₁ 30개체를 양성한 후, 2009년 하계에 F₂ 1,500개체를 공시하여 61개체를 목적형질에 맞추어 선발한 후 2010~2011년과 2011/12년 동계 기간에 국립식량과학원 시험포장과 세대단축 온실에서 계통육종법에 따라 내병성 검정을 병행하면서 F₃세대에서 F₅세대를 경과 시켜 2012년에 우량계통을 선발하였다. 선발된 SR31933-7-1-1계통에 대하여 2012~2013년 2개년 간 생산력검정 예비선발 및 본 시험을 실시하여 지상부의 수량성이 높고 도열병, 흰잎마름병, 줄무늬잎마름병, 벼멸구 등에 강한 계통을 선발하여 ‘수원585호’로 계통명을 부여하였다. 2014~2016년 3개년 간 지역적응시험 결과 바이오매스가 높고 벼멸구 저항성을 보유하여 내충성이 강화된 사료용 벼로 그 우수성이 인정되어 2016년 12월 직무육성 신품종선정위원회에서 ‘청우’로 명명되었다(Figs. 1~3).

생육특성

‘청우’의 출수기는 중부평야 및 호남평야지에서 각각 8월 29일로 ‘녹양’보다 19일, 16일 늦고 영남평야지에서는 8월 26일로 ‘녹양’보다 12일 늦으며 4개소 평균 출수기는 8월 28일로 ‘녹양’보다 15일 늦은($p < 0.01$) 만생종이었다(Table 1). 이러한 출수

Year	'07	'08	'09	'10	'11	'11/'12	'12	'13	'14	'15	'16
Generation	Cross	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅					
Suweon519 × Gaya	SR31933	1	1	1							
		•	•	•							
		•	•	•							
		• →	• →	(7) →	(1) →	(1)	→	SR31933-7-1-1	→	Cheongwoo (Suweon585)	
		•	•	•	2	2					
		•	•	•	3	3					
		30	1,500	61							
No. of breeding lines		30	1,500	61	3	3	OYT	RYT	LAT ^z		
Remarks		Pedigree				GH ^y	Yield trial				

^zLAT: local adaptability test

^yGH: green house on winter season

Fig. 1. Pedigree diagram of ‘Cheongwoo’.

특성은 사료용 벼의 바이오매스 증대를 위해 영양생장기간을 늘린 결과로 사료된다. 간장은 87 cm로 '녹양'보다 4 cm 길고

($p<0.05$) 수장은 29 cm로 '녹양'보다 3 cm 길었다($p<0.01$). 주당수는 12개로 '녹양'보다 1개 많았지만 통계적으로 유의하지 않았

Fig. 2. Genealogy of 'Cheongwoo'.

Fig. 3. The stature of whole crop silage rice variety, 'Cheongwoo' (Suweon585) improved a biomass yields, disease and insect resistance in the paddy field (upper) and its unhusked (a), brown (b) rice (bottom right)

Table 1. Heading date of whole crop silage rice cultivar, ‘Cheongwoo’. (‘14~’16, LAT^z)

Plain	Region	Seeding date	Transplanting date	Heading date	
				Cheongwoo	Nokyang
Central	Suwon	Apr. 20	May 25	Aug. 29	Aug. 10
Honam	Iksan ^y	Apr. 25	May 30	Aug. 29	Aug. 13
	Naju	Apr. 25	May 30	Aug. 29	Aug. 13
Yeongnam	Milyang	Apr. 25	May 30	Aug. 26	Aug. 14
Average		-	-	Aug. 28**	Aug. 13

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

^zLocal adaptability test

^yLAT was carried out at Iksan (2014~15) and Jeonju (2016) in Honam plain

Table 2. Major agronomic traits and yield components of ‘Cheongwoo’. (‘14~’16, 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)
Cheongwoo	87±3*	29±1**	12±1 ^{ns}	135±25 ^{ns}	48.7±17.3 ^{ns}	21.4±0.8**
Nokyang	83±2	26±1	11±1	106±15	69.4±67.3	26.7±1.6

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

^zLength from soil surface to panicle neck

Table 3. Major growth characteristics of the ‘Cheongwoo’ in the early stages. (‘14~’16, LAT^z)

Variety	Germination ^y Rate (%)	Seedling ^x height (cm)	Early Elongation	Cold ^w tolerance	Discoloration ^v
Cheongwoo	96.3±2.1*	19.1±1.1**	good	8	7
Nokyang	57.7±37.2	22.7±1.0	normal	7	5

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

^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)

다. 수당립수는 135개로 109개인 ‘녹양’보다 29개 많았지만 통계적 유의성은 없었다. 등숙비율은 48.7%로 ‘녹양’의 69.4%와 비교하여 낮았지만 유의하지 않았다. 현미 천립중은 21.4 g으로 ‘녹양’ 26.7 g보다 가벼웠다(*p*<0.05)(Table 2). 저온발아율은 96.3%로 57.7%인 ‘녹양’에 비해 월등히 높았으며(*p*<0.05) 이러한 특성은 사료용 벼 경영비 절감을 위한 직파재배 시 초기 입모를 안정시키는데 유리할 것이다. 파종 후 30일째 측정한 묘초장은 19.1 cm로 22.7 cm인 ‘녹양’보다 짧았고(*p*<0.01) 초기 신장성은 ‘녹양’보다 양호하여 직파재배 시 잡초경합성이 있을 것으로 생각된다. 유묘냉해는 ‘녹양’과 비슷하였고 유묘적고는 ‘녹양’에 비해 심했다(Table 3).

생리장해 및 도복 저항성

‘청우’는 못자리 일수 50일묘 이앙에서 불시출수가 되지 않았으며(0.0%) 생육후기 위조에 강할 뿐만 아니라 성숙기 앞의 노화는 늦은편이었다. 성숙기의 잦은 강우와 적온에 의해 수확 전 이삭에서 싹이 트는 수발아는 대비품종인 ‘녹양’ 28.2%에 비해 12.7%로 낮았다. 국립식량과학원 춘천출장소 내랭성 검정 시험포에서 조사된 ‘청우’의 내랭성 검정 결과 냉수 흘려대기에서 출수지연은 무처리에 비해 8일 늦은 특성을 보였으며 냉수구 입실율은 14.7%로 18.0%인 ‘녹양’보다 낮았고 종합내랭성은 8정도로 약한 편으로 판정되었다(Table 4). 사료용 벼는 지상부 즉 경엽과 종실의 바이오매스를 키워서 수량성 증대를 통한 농가소득 향상을 위한 방향으로 육종되어 왔기 때문에 이삭이

Table 4. Response to physiological and environmental stress.('14~'16, LAT^z)

Variety	Premature heading (%)	Appearance of wilting	Adult leaf senescence	Premature germination of panicle ^y (%)	Cold tolerance ^x		
					Heading delay (days)	Grain fertility (%)	PA ^w
Cheongwoo	0.0	Strong	Late	12.7	8	14.7	8
Nokyang	0.0	Strong	Late	28.2	14	18.0	8

^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)**Table 5.** Agronomic traits related to lodging resistance of ‘Cheongwoo’.('16, LAT^z)

Variety	Culm length (cm)	Third Internode-length (cm)	Breaking strength (g)	Lodging Index	Lodging in the field (0~9)
Chongwoo	82	12.8	1,888±8.0**	97	1
Nokyang	81	11.9	1,777±7.6	118	1

Asterisks indicate significant differences between ‘Nokyang’ and ‘Cheongwoo’ as evaluated by the *t*-test: ***p*<0.01^zLocal adaptability test**Table 6.** Reaction to rice blast disease of ‘Cheongwoo’ which has strong resistance about leaf blast and resistance about neck blast.('14~'16, LAT^z)

Variety	Reaction to leaf blast at nursery test ^x (0-9)			Reaction to neck blast (%)		
	No. of site tested (12)			Ichon	Iksan	Milyang
	R ^y (0-3)	M (4-6)	S (7-9)			
Cheongwoo	9	3	0	0.0	0.0	0.0
Nokyang	1	8	4	49.2	9.1	1.5

^zLocal adaptability test^yR: resistant (Degree, 0-3), M: moderate (Degree, 4-6), S: susceptible (Degree, 7-9)^xData was investigated in 12 leaf blast test site at local adaptability test region.

길고 무겁거나 간장이 긴 경향이 있어 기본적으로 도복에 강한 특성을 요구한다. ‘청우’의 도복과 관련된 특성을 조사한 결과 간장은 ‘녹양’과 비슷한 82 cm, 좌절중은 1,888 g으로 ‘녹양’보다 높았고($p<0.01$) 3절간장이 12.8 cm로 ‘녹양’보다 길지만 도복지수는 ‘녹양’보다는 낮게 평가되어 도복에 강했다(Table 5). 이러한 도복에 강한 특성은 바이오매스가 커야 하는 사료용 벼 재배 시 안정성을 부여한다.

병해충 저항성

2014년부터 2016년까지 전국 발못자리 12개 시험지에서 ‘청우’의 잎도열병 반응을 검정한 결과 9개 지역에서 저항성 반응을 나타내었고 3개 지역에서 중도저항성을 보였으며 약한 반응을

보인 지역은 없었다. 목도열병은 이천, 익산, 밀양에서 이병수율이 0.0%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 비슷하게 약한 반응을 보였다. 해충에 대해서는 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål) 및 애멸구(*Delphacodes striatella* Fallén)에 모두 강한 반응을 보였다(Table 7, Fig. 4). 도열병 뿐만 아니라 오갈병 및 검은줄오갈병을 제외한 벼의 주요병해충에 저항성을 보유하고 있는 ‘청우’는 농촌현장에서 친환경재배를 가능하게 하여 농업경영비 절감에 도움을 줄 뿐만 아니라 농약 등에 오염되지 않은 친환경 안전 조산료 생산이 가능하다.

Fig. 4. Reaction to rice blast disease (A), brown planthopper (B) and bacterial blight (C) of 'Cheongwoo' that has multiple resistance. Ny: Nokyang, Cw: Cheongwoo, Ad: Anda, Ip: Ilpum

Table 7. Reaction to bacterial blight, virus diseases and insect pests of 'Cheongwoo' that has multiple resistance. ('14~'16, LAT^z)

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

^zLocal adaptability test

^yR: resistant, S: susceptible

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

Table 8. Dry matter yields of whole crop silage rice cultivar, 'Cheongwoo'. ('14~'16, LAT^z)

Region	Nokyang (kg/10a)				Cheongwoo (kg/10a)				
	'14	'15	'16	Ave	'14	'15	'16	Ave.	Index
Central	1,309	1,317	1,494	1,373	1,994	1,886	2,157	2,019	147
Honam	1,610	1,509	1,348	1,489	2,121	2,306	2,116	2,181	147
Yeongnam	1,561	1,825	-	1,693	1,637	1,867	-	1,752	104
Average	1,523	1,540	1,397	1,495±1800	1,968	2,091	2,130	2,057±273**	138

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

^zLocal adaptability test

건물수량성

2014년부터 2016년까지 3개년간 중부평야지인 수원, 호남평야지인 익산(2014~15), 전주(2016) 및 나주, 영남평야지인 밀양에서 실시한 지역적응시험 결과 경엽과 종실을 포함하는 건물수량은 평균 2,057 kg/10a로 대비품종인 '녹양'(1,495 kg/10a)보다 38% 높게 나타났다($p<0.01$)(Table 8). 이는 지금까지 국내에서 개발된 사료용 벼 중 최대수량이며 '녹양'보다 출수기가 늦어 영양생장이 많이 되었고 주당수수 및 수당립수가 많을 뿐만 아니라 간장 및 수장이 길기 때문에 바이오매스가 증대된 것으로 판단된다.

사료가치, 입형 및 미질특성

출수 후 30일에 지상부 전체 즉 잎, 줄기, 이삭을 건조 후 혼합 분쇄하여 사료가치를 분석한 결과 조지방 함량은 1.75%로 '녹양'(2.03%)보다 낮았고 조단백질 함량은 5.32%로 '녹양'(7.02%)보다 낮았으며 조사료의 소화율에 관여하는 산성세제불용섬유소(ADF)와 섭취량에 관계하는 중성세제불용섬유소(NDF)는 (Rohweder DA et al. 1978) 각각 39.53%, 22.47%를 보여 '녹양'(39.53%, 22.88%)보다 ADF함량은 같았고 NDF함량은 적었다. 이로 인해 가소화양분총량(TDN)은 71.2%로 70.8%인 '녹양'보다 다소 높았다(Table 9). 입형은 정조 장폭비가 2.51, 현미

Table 9. Nutritive value of ‘Cheongwoo’ on 30 days after heading for silage use.

Variety	Chemical properties (%)				
	CF ^z	CP ^y	ADF ^x	NDF ^w	TDN ^v
Cheongwoo	1.75	5.32	22.47	39.53	71.2
Nokyang	2.03	7.02	22.88	39.53	70.8

^zCF: crude fat, ^yCP: crude protein, ^xADF: acid detergent fiber, ^wNDF: neutral detergent fiber, ^vTDN: total digestible nutrients

Table 10. Grain shape, appearance and amylose content of ‘Cheongwoo’.

Variety	Unhulled rice				Brown rice				White core/belly (0-9)	Amylose content (%)
	L ^z	W ^y	T ^x	L/W ^w	L	W	T	L/W		
Cheongwoo	8.02	3.21	2.14	2.51	5.45	2.67	1.97	2.05	3/1	22.7
Nokyang	8.26	3.20	2.26	2.58	5.69	2.80	2.08	2.03	1/2	19.6

^zlength, ^ywidth, ^xthickness, ^wlength/width ratio

장폭비가 2.05로 ‘녹양’(2.58, 2.03)과 비슷하고 아밀로스 함량은 22.7%로 ‘녹양’(19.6%)에 비해 높은 편이다(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. ‘청우’는 아밀로스 함량이 밥쌀용벼보다 높고 심백이 눈에 띄 정도로 많고 복백도 일부 있어 외관품위가 불량해 국내 자포니카 밥쌀용과 확연히 구분된다.

재배상의 유의점

‘청우’는 만생종으로 파종이 늦어질 경우 생육기간이 짧아져 후기 등숙이 불량할 수 있으므로 만기재배는 피하는 것이 좋다. 또한 최대 건물수량을 확보하려면 다비조건(질소: 18 kg/10a)에서 재배하는 것이 좋다. 특히 메소트리온이나 벤조비사이클론 성분을 함유하는 제초제 사용 시 약해가 발생하니 주의해야 한다. 수확은 사료영양가치 및 알곡의 소화율을 높이기 위하여 호숙기(출수 후 15일)에서 황숙기(출수 후 30일)에 하는 것이 좋으며 수확시기가 늦어지면 지상부 수량성은 다소 높아지나 사료영양가치 및 소화율은 낮아 질 수 있다.

적 요

‘청우’는 바이오매스 증대를 통한 경제성을 높이고 기존 고바이오매스 품종인 ‘목우’의 내병충성 보완을 통한 재배안정성을 강화하기 위해 만생이며 복합내병성을 보유한 고바이오매스 계

통인 ‘수원519호’를 모본으로 숙기가 빠르면서 *Bph3*와 *BPH26* 유전자를 보유하여 벼멸구 생태형에 광범위 저항성을 보이는 통일형 ‘가야’벼를 부분으로 계통육종법으로 전개한 후 2016년 사료용 벼로 육성하였다. 주요 농업적 특성은 중부, 호남 및 영남평야지 4개소 보통기 다비재배에서 출수기가 평균 8월 28일로 ‘녹양’보다 15일 늦은 만생종이고 간장은 87 cm로 긴 편이며 주당수수는 29개, 수당립수는 135개이고 현미천립중은 21.4 g으로 ‘녹양’보다 가볍다. 불시출수는 되지 않았고 성숙기 앞의 노화는 늦은 편이며 수발아율은 12.7%로 ‘녹양’ 28.2%보다 낮았다. 종합내병성은 8로 ‘녹양’과 비슷하게 약했고 도복지수는 ‘녹양’보다 낮아 도복에 강했다. 잎도열병, 흰잎마름병(균계 K1, K2, K3 K3a), 줄무늬잎마름병, 벼멸구 및 애멸구에 모두 강한 반응을 보였다. 지상부 수량성은 건물기준으로 10a당 평균 2,057 kg으로 ‘녹양’(1,495 kg)보다 38% 증수되었다. 가소화양분 총량(TDN)이 71.2%로 사료가치는 ‘녹양’보다 약간 우수하였다. ‘청우’의 재배에 알맞은 지역은 중부 및 남부평야지이고 출수가 늦으므로 만기재배는 피해야 하며 다비재배(질소 18 kg/10a)를 하여야 최대 수량을 얻을 수 있고 특히 메소트리온이나 벤조비사이클론 성분을 포함하는 제초제에는 약해가 있으므로 사용 시 주의해야 한다. 수확시기는 사료가치 및 알곡의 소화율을 높이기 위해서 출수 후 30일이 좋다.

사 사

‘청우’를 육성함에 있어 적극 협력해주신 국립식량과학원 본원, 중부작물부, 남부작물부 벼 육종 연구팀 및 각 도농업기술

원 지역적응시험 담당자들과 농촌진흥청 연구정책국 관계관 여러분께 깊이 감사 드리며 본 연구는 농촌진흥청 기관고유사업 (세부과제명: 사료용 벼 유용 형질 도입 계통 생산력검정 시험, 과제번호: PJ012552022020)의 지원으로 수행된 결과입니다.

REFERENCES

- 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, 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, 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 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.
- 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.
- Kim YD, Park HK, Ha KY, Cho SY. 1997. Forage yield and TDN by cutting time of brittle culm rice. *Korean J Crop Sci* 42: 483-488.
- Lee SB, Yang CI, Lee JH, Kim HY, Shin YS, Lee KS, Choi YH, Jung OY, Jeon YH, Hong HC, Kim YG, Hwang HG, Jung KH, Yang SJ, Jeung JU, Kang KH, Kim JH, Shon JY. 2011. A new high biomass yield and whole crop silage rice cultivar 'Nokyang'. *Korean J Breed Sci* 43: 519-523.
- 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.
- Lee JH, Jeong OY, Pack 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.
- 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.
- Kato H. 2008. Development of rice varieties for whole crop silage (WCS) in Japan. *JARQ* 42: 231-236.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2017. Guidelines for the Support of paddy field-use other crops cultivation. pp. 1-13.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2018. Major statistical indicators of agricultural and livestock products.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2019a. Guidelines for implementation of paddy field-use other crops cultivation support project.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2019b. Application aggregation result of paddy field-use other crops cultivation support project.
- National Agriculture and Food Research Organization. 2009. Rice varieties for whole crop silage and grain use. NICS. Tsukuba. Japan.
- Rohweder DA, Barnes RF, Jorgensen N. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *J Anim Sci* 47: 747-759.
- Rural Development Administration. 2014. 2014 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop.
- Rural Development Administration. 2015. 2015 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop.
- Rural Development Administration. 2016. 2016 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop.
- Sakai M, Iida S, Maeda H, Sunohara Y, Nemoto T, Imbe

- T. 2003. New rice varieties for whole crop silage use in Japan. *Korean J Breed Sci* 53: 271-275.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Waziri A, Kumar P, Purty RS. 2016. *Saltol* QTL and their role in salinity tolerance in rice. *Austin J Biotechnol Bioeng* 3: 1067.
26. 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.