Journal of Environmental Science International
31(5); 413~422; May 2022

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2022.31.5.413

ORIGINAL ARTICLE

남부지역 논의 사료작물-벼 이모작 작부체계에 적합한 벼 품종의 선발

오서영* · 오성환 · 서종호 · 최지수

국립식량과학원 남부작물부 논이용작물과

Screening of Rice Cultivars for Italian Ryegrass–Rice Double Cropping Systems in Paddy Fields of Southern Korea

Seo Young Oh*, Seong Hwan Oh, Jong Ho Seo, Jisu Choi

Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Miryang 50424, Korea

Abstract

To identify rice (*Oryza sativa* L.) cultivars suitable for Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.)–rice double cropping systems, we investigated the yield and grain quality of four different midseason maturing rice cultivars (‘Daebo’, ‘Haepum’, ‘Haiami’, and ‘Samdeog’) and four midseason-to-late maturing rice cultivars (‘Hyunpoom’, ‘Saeilmi’, ‘Saenuri’, and ‘Samkwang’) in single rice cropping and Italian ryegrass–rice double cropping systems in paddy fields of Miryang, South Korea. We found that organic matter and available P_2O_5 content slightly decreased, whereas Na content increased, in the soil where Italian ryegrass was cultivated during winter compared to that in the soil that remained fallow during winter. The pH, electrical conductivity, organic matter, and contents of K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, and Na^+ decreased, whereas the available P_2O_5 content slightly increased, in the soil where rice was harvested in both single and double cropping systems. However, compared to the optimum soil conditions for rice cultivation, available P_2O_5 and K^+ content were high and Mg^{2+} content was low in both single and double cropping systems. At the heading stage, the culm length and leaf color slightly increased in most of the rice cultivars, whereas the panicle length and number slightly decreased, in the double cropped system. After harvesting, spikelet number and milled rice yield did not show a significant difference between single and double cropping systems. However, the ripened grain rate and weight per thousand grains increased slightly in the ‘Saeilmi’ and ‘Samkwang’ cultivars but remained either stable or slightly low in other cultivars in the double cropping system. The milled rice yield was high (> 500 kg/10a) in ‘Daebo’ and ‘Haepum’ among midseason maturing rice cultivars, and in ‘Saeilmi’ and ‘Saenuri’ among midseason-to-late maturing rice cultivars, in both single and double cropping systems. The head rice rate was high in midseason maturing rice cultivars in the double cropping systems, reaching > 70% in ‘Haepum’ and ‘Haiami’ cultivars, whereas it decreased in most midseason-to-late maturing rice cultivars (excluding ‘Samkwang’ cultivar), in double cropping systems. Particularly, it exceeded > 70% in the ‘Saenuri’ cultivar in both single and double cropping systems. The protein content in milled rice increased, whereas the amylose content either remained stable or slightly increased, in double cropping systems. The Toyo taste value decreased in all midseason-to-late maturing rice cultivars and slightly increased in the ‘Daebo’ and ‘Haiami’ cultivars among midseason maturing rice cultivars in double cropping systems. However, Toyo taste values in the ‘Haepum’, ‘Haiami’, and ‘Saenuri’ cultivars exceeding > 80% in both single and double cropping systems. Therefore, we recommend ‘Haepum’, ‘Haiami’, and ‘Saenuri’ cultivars as candidates for Italian ryegrass–rice double cropping systems due to high yield, head rice rate, and Toyo taste value.

Key words : Double-cropping systems, Italian ryegrass, Rice cultivars, Toyo taste value

Received 21 March, 2022; **Revised** 28 April, 2022;
Accepted 9 May, 2022

***Corresponding author**: Seo Young Oh, Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Miryang 50424, Korea
Phone : +82-55-350-1166
E-mail : osoonja@korea.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

벼(*Oryza sativa* L.)는 중부 평야지인 수원에서의 평균 출수기를 기준으로 조생종, 중생종, 만생종으로 구분하며, 중생종과 만생종 사이에 중만생종을 추가하여 구분하기도 한다. 생육기간은 조생종, 중생종, 만생종별로 각각 140일, 160일, 180일 정도 소요된다(Kim, 2010). 조생종은 재배기간이 짧아 수량이 적고, 만생종은 재배기간이 길어 결실기에 냉해를 받을 우려가 있을 뿐만 아니라 이모작 작부체계에 적합하지도 않다. 또한 중생종은 조생종에 비해서는 이모작 작부체계의 적용이 유연하지 못하고, 중만생종에 비해서는 백미 품질이나 수량, 재배 안정성이 낮다는 인식이 있다. 따라서 우리나라에서는 생육기간이 길다는 단점에도 불구하고 중만생종에 편중된 벼농사가 주로 이루어지고 있다. 그러나 중만생종에 편중된 벼 재배는 수확기에 노동력 및 농기계의 부족으로 적기 수확을 어렵게 하고, 집중된 출하로 인하여 건조·저장 등 수확 후 관리측면에 있어서도 어려움이 있으며, 쌀값 변동에도 영향을 줄 수 있다. 또한 최근 곡물자급률 향상과 논의 활용도를 제고하기 위하여 벼 후작으로 사료작물 또는 맥류 등의 소득 작물들과 연계한 이모작 작부체계가 증가하는 추세이나(Oh et al., 2021a; Seo et al., 2021), 생육기간이 긴 중만생종 벼는 이앙기가 소득 작물의 수확시기와 겹치기 때문에 이모작 재배에 있어서 제한적일 수 있다(Kang et al., 2015). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 중만생종을 대처할 조생종이나 중생종 벼를 선발하여 재배면적을 확대하여 조기재배 및 수확시기를 분산할 필요가 있다(Lee et al., 2008; Ko et al., 2014). 사료작물과 연계한 2모작 작부체계에서 조생종 벼의 생육특성과 미질의 변화를 살펴본 바, 지상부 생장과 수확 후 완전미의 비율이 벼 단작에 비해 다소 높았으며, 논 토양의 화학적 특성도 개선될 수 있음을 확인한 바 있다(Oh et al., 2021b). 그러나 조생종 벼인 경우 중생종이나 중만생종 벼에 비해 생산성이 낮고 미질도 떨어질 뿐만 아니라 이탈리안 라이그라스를 수확한 후에 벼의 이앙기까지의 작업 일정이 촉박하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 남부지역 논에서 이탈리안 라이그라스(*Lolium multiflorum* Lam.)-벼(*O. sativa* L.) 이모작 작부체계에 적합한 벼 품종을 선발하고자, 이탈리안 라이그라스 재배 후 중생종과 중만생종 벼를 재배하여 품종별 생육, 수량성 및 백미 품질을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 식물재료 및 재배조건

경상남도 밀양지역 남부작물부 논 시험포장 내 벼(*Oryza sativa* L.) 단작과 이탈리안 라이그라스(*Lolium multiflorum* Lam.)-벼 이모작 작부체계를 적용하고 있는 포장을 대상으로 하였으며, 벼 단작에서는 겨울철 동안에 휴경하였다. 이탈리안 라이그라스는 “코윈어리” 품종을 사용하였으며, 2019년 10월 5일에 40 kg/ha을 산파하고 월동 후 이듬 해 5월 중순에 수확하였다. 비료는 파종 전에 N-P_2O_5-K_2O를 140-150-150 kg/ha으로 고르게 살포하였고 관리기를 이용하여 토양 내 골고루 섞어주었다. 이탈리안 라이그라스 수확이 끝난 포장과 휴경한 포장은 로터리에 의한 정지작업을 실시하고, 이앙 7일 전에 관개하여 이앙직전까지 담수심을 5 cm 이상으로 깊게 유지하였다. 이후 중생종 벼 4품종(‘대보’, ‘해품’, ‘하이아미’, ‘삼덕’)과 중만생종 벼 4품종(‘현품’, ‘새일미’, ‘새누리’, ‘삼광’)을 파종하여 논에서 보온절충방식으로 육묘한 30일 자란 유묘를 5월 28일에 30×14 cm 간격으로 주당 3본씩 이앙하였으며, 9월 하순과 10월 중순에 중생종과 중만생종을 각각 수확하였다. 비료는 N-P_2O_5-K_2O를 90-45-57 kg/ha으로 시용하였으며, 그 중 인산은 전량 기비로 시용하고, 질소와 칼륨은 각각 기비:분얼비:수비(50:20:30)와 기비:수비(70:30)로 분시하였다. 기타 재배관리는 남부작물부 벼 표준재배법에 준하여 실시하였다.

2.2. 기상 환경 및 토양의 이화학적 특성 분석

온도, 습도, 강우량, 일사량, 풍속 등의 기상 환경은 부산지방기상청에서 운영하고 있는 밀양지역의 기상대(N35°49′147″ E128°74′412″, 8 m above sea level)에서 연구기간(2019년 10월~2020년 10월) 동안 측정한 자료를 사용하였다.

토양 시료는 겨울철 휴경 논과 이탈리안 라이그라스를 수확한 논에서 각각 8반복으로 채취하였으며, 벼 수확 후에도 각각의 논에서 동일하게 채취하여 이화학적 특성을 분석하는데 이용하였다. 토양산도(pH)와 전기전도도(EC)는 채취한 토양 시료에 증류수를 1:5의 비율로 첨가하여 1시간 동안 진탕시킨 후에 pH 미터(Five Easy Plus

FP20, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)와 전기전도도계(InoLab Cond Level 1, Wissenschafilich Technishe Werkstatten, Weiheim, Germany)를 이용하여 각각 측정하였다. 토양 유기물(organic matter, OM), 전질소(total nitrogen, T-N), 유효인산(available phosphate, Av. P_2O_5)의 함량은 각각 Tyurin법, Kjeldahl법, Lancaster법에 의해 분석하였다. 토양 내 치환성 양이온(K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+)은 1M ammonium acetate(pH 7.0)로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP-Integra XL, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Victoria, Australia)로 분석하였다.

2.3. 출수기 및 수확기 생육 특성 조사

벼의 생육은 출수기에 간장, 수장, 수수와 엽색도 등을 조사하였으며, 벼 수량은 출수 후 50일에 식물체를 수확하여 수당립수, 등숙률, 백미천립중, 백미수량을 조사하였다. 백미의 외형적 특성은 품위판별기(RN-500, Kett Electric laboratory Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 완전미, 분상질립, 구열립, 싸라기 등으로 구분하였다. 이들 특성들은 농촌진흥청 연구조사 분석 기준에 따라 조사하였다.

2.4. 쌀의 이화학적 성분 분석

단백질 함량은 Micro Kjeldahl 질소정량법에 따라 백미 분쇄 시료 0.5 g이 들어있는 Kjeldahl 분해병에 진한 황산(H_2SO_4) 용액 20 mL와 분해촉매제[3.5 g K_2SO, 3.5 mg Selenium (1000 Kjeltabs S/3.5, Foss Analytical AB, P.O., Sweden)]를 첨가하여 400℃에서 2시간 동안 분해한 후, 자동분석장치(Foss Kjeltec 2300, Foss Tecator, Huddinge, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 아밀로스 함량은 요오드 비색정량법에 따라 측정하였다(Juliano, 1985). 즉, 백미 분쇄 시료 0.1 g에 95% 에탄올 1 mL와 1N NaOH 9 mL를 첨가하여 진탕항온수조에서 10분간 호화시킨 후 증류수로 100 mL를 채워 균질화시켰다. 그 중 5 mL를 취하여 1N acetic acid 1 mL와 2% I_2-KI 용액 2 mL를 가하고 증류수로 100 mL를 맞춘 다음 20분 후에 UV/Vis 분광광도계(UV2450, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 620 nm에서 흡광도를 측정하였다. 아밀로스 함량은 표준물질로 Potato amylose를 사용하여 검량선을 작성한 후에 산출하였다. 수분 함량은 곡물수분측정기(Riceter-M, Kett Electric laboratory Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다.

2.5. Toyo 식미값 및 호화온도

Toyo 식미치는 Toyo meter (MA-90B, Toyo Engineering Crop., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 쌀가루의 호화온도는 신속점도측정계(Rapid visco analyzer, RVA 4500, Perten Instruments, Australia)로 측정하였다.

2.6. 통계 분석

모든 통계는 SPSS 통계 패키지 18.0(SPSS, Chicago, IL, USA)을 이용하여 분석하였으며, 품종 또는 작부체계에 의한 차이를 알아보기 위하여 일원 분산분석을 실시하였다. 그리고 Duncan의 다중검정($p<0.05$)으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대기 환경요인의 변화

연구기간 동안 이모작 작부체계를 적용한 논 포장 인근의 대기온도, 상대습도, 강우량, 풍속과 일조시간 등의 변화를 살펴보았다(Fig. 1). 이탈리안 라이그라스 재배기간(2019년 10월 5일~2020년 5월 14일) 동안의 평균기온은 8.8℃ (최저기온 2.8℃, 최고기온 15.7℃)이고 상대습도는 69.5%이며 누적 강우량은 320.5 mm이었다. 풍속은 1.6 m/sec로 풍력계급 2단계에 해당하며 누적 일조시간은 1360.4 hr이다. 벼 재배기간(2020년 5월 28일~2020년 10월 12일) 동안의 평균기온은 23.4℃ (최저기온 19.3℃, 최고기온 28.5℃)이고 상대습도는 80%를 상회하였으며, 누적 강우량은 1024.5 mm이다. 강우일수는 51일로 강우가 빈번하였으며, 6월 중순부터 8월 초순에 집중적으로 많았고 9월 초순에도 자주 내렸다. 누적 일조시간은 799.8 hr이며, 풍속은 1.4 m/sec로 낮아서 도복이나 잎 파열 등의 피해는 없고 오히려 군락 내 과습 상태가 경감될 것으로 보인다. 특히, 중생종 벼의 등숙기(8월 15일~9월 30일) 45일 동안의 평균기온은 23.7℃로 적정 수준보다 1.7℃ 정도 높았고 누적 일조시간도 306시간으로 충분하였다. 중만생종 벼의 등숙기(8월 20일~10월 10일) 50일 동안의 평균기온은 22.1℃로 적정 수준 범위에 있었으며 누적 일조시간도 328시간으로

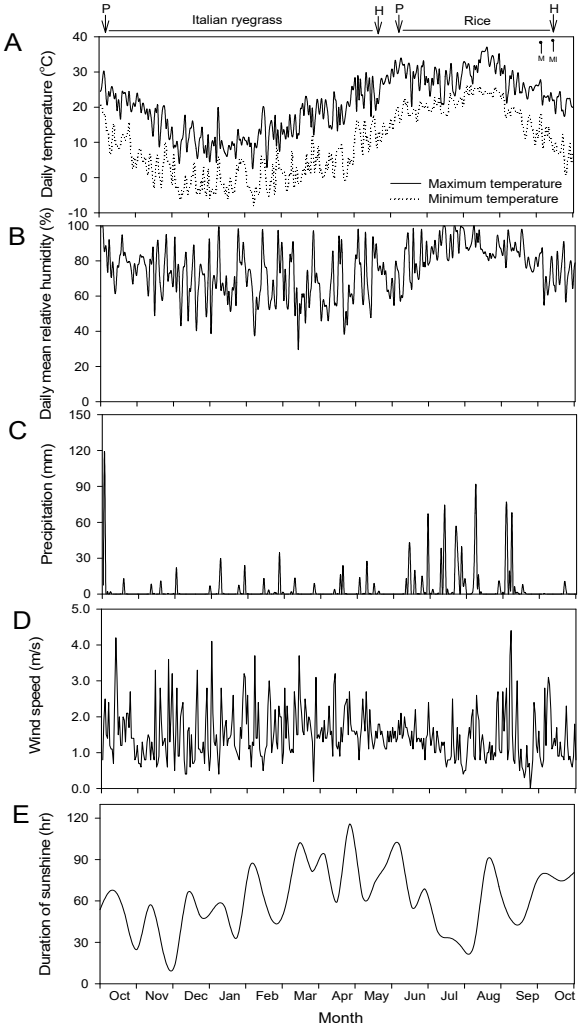

Fig. 1. Changes in daily air temperature (A), daily mean relative humidity (B), precipitation (C), and duration of sunshine (D) in Miryang field used for rice (*Oryza sativa* L.) cultivation during the experimental period (October 2019 - October 2020). The line end dotted arrows in A indicate the days when medium maturing and Mid-late maturing rice were harvesting were carried out in situ, respectively.

부족하지 않았다. 이처럼 중생종과 중만생종 벼 재배기간의 등숙기 기상조건은 조생종 벼 재배에 비해 안정적이어서 백미 생산성과 미질에 미치는 영향이 미미할 것으로 보인다(Oh et al., 2021b).

3.2. 토양의 화학적 특성

휴경 논에 비해 이탈리안 라이그라스 재배 후의 토양에서 유기물과 유효인산(Av. P_2O_5) 함량이 다소 낮아졌으며, Na 함량이 다소 증가하였다. 이는 토양 내 양분 및 염류가 이탈리안 라이그라스에 의해 제거되거나 이탈리안 라이그라스 재배 시 투입된 비료와 수확 후에 남아있는 잔사로 인해 집적될 수 있음을 의미한다. 겨울철에 이탈리안 라이그라스와 귀리 등 사료작물을 재배하여 논 토양의 화학적 특성을 개선하는데 기여할 뿐만 아니라 조생종 벼의 생산성에 있어서도 우호적으로 작용할 수

Table 1. Chemical characteristics of soils used for rice (*Oryza sativa* L.) cultivation under different cropping systems

Cropping systems	Measurement season	pH (1:5)	EC ($dS \cdot m^{-1}$)	OM ($g \cdot kg^{-1}$)	T-N ($g \cdot kg^{-1}$)	Av. P_2O_5 ($mg \cdot kg^{-1}$)	Exchangeable cations ($cmol \cdot kg^{-1}$)			
							K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
Single cropping	After winter fallowing	5.85[z]a[y]	0.59a	33.2a	4.85a	171.8ab	0.55a	6.59a	1.58a	0.35ab
	After rice harvest	5.59b	0.45b	29.6bc	4.76a	190.6a	0.43b	5.82b	1.30b	0.34b
Double cropping	After IRG harvest	5.86a	0.65a	31.4ab	4.91a	141.3c	0.58a	6.58a	1.67a	0.37a
	After rice harvest	5.44b	0.46b	27.1c	5.15a	160.7bc	0.39b	5.69b	1.30b	0.32c
Optimum ranges of soil conditions for rice cultivation[x]		5.5-6.5	<2.0	25-35	-	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	-

[z]Values are expressed as means of eight replicates.
[y]Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ($p < 0.05$).
[x]Chemical characteristics of soils in the rice field were cited from National Academy of Agricultural Science (2010).

Table 2. Major agronomic traits of eight rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under different cropping systems

Ecological type	Rice cultivariety	Cropping systems	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle (ea/plant)	SPAD value
Midseason maturing	Daebo	Single cropping	Aug. 13	64.5±0.7[z]f[y]	18.8±0.3c	19.5±0.5b	35.0±0.5de
		Double cropping	Aug. 14	64.1±0.5f	18.4±0.3cde	18.6±0.5bc	36.1±0.3c
	Haepum	Single cropping	Aug. 14	64.7±0.6f	17.7±0.4def	18.8±0.7bc	34.5±0.3e
		Double cropping	Aug. 15	66.0±0.5f	17.5±0.3ef	17.2±0.5cde	36.8±0.4abc
	Haiami	Single cropping	Aug. 15	77.8±0.5d	19.9±0.2ab	15.8±0.5e	35.9±0.4cd
		Double cropping	Aug. 14	76.3±0.5d	19.4±0.3bc	16.8±0.4de	37.3±0.3ab
	Samdeog	Single cropping	Aug. 12	73.3±0.7e	17.4±0.2f	18.8±0.6bc	33.0±0.3fg
		Double cropping	Aug. 13	70.9±0.6e	16.2±0.3g	17.2±0.5cde	34.0±0.4ef
Midseason-to-late maturing	Hyunpoom	Single cropping	Aug. 20	63.3±0.5f	19.0±0.3bc	21.3±0.5a	34.9±0.3de
		Double cropping	Aug. 20	63.6±0.4f	18.7±0.4cd	19.5±0.5b	37.7±0.3a
	Saeilmi	Single cropping	Aug. 15	77.3±0.7d	18.5±0.3cd	17.7±0.4cd	32.4±0.4g
		Double cropping	Aug. 16	78.5±0.5cd	18.5±0.4cd	17.2±0.5cde	33.1±0.3fg
	Saenuri	Single cropping	Aug. 17	80.5±0.8bc	20.8±0.4a	17.6±0.4cd	32.7±0.4g
		Double cropping	Aug. 18	82.9±2.6ab	20.6±0.5a	17.6±0.5cd	34.5±0.4e
	Samkwang	Single cropping	Aug. 16	81.0±0.7abc	17.7±0.2def	19.5±0.5b	33.1±0.3fg
		Double cropping	Aug. 17	83.5±0.5a	17.3±0.3f	19.5±0.5b	36.3±0.4bc

[z]Values are expressed as means±standard error of 30 replicates.
[y]Significant differences between treatments are indicated by the different letters within each column ($p < 0.05$).

Table 3. Comparison of yield attributes and milled rice yield among eight rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under different cropping systems

Ecological type	Rice cultivariety	Cropping systems	Spikelet number (ea/panicle)	Ripened grains (%)	1000-grains weight (g)	Milled rice yield (kg/10a)
Midseason maturing	Daebo	Single cropping	93.4±6.4[z]a[y]	85.2±2.0ab	22.0±0.1b	567.4±31.6a
		Double cropping	94.7±2.4a	84.8±1.5ab	21.8±0.4b	551.8±20.0a
	Haepum	Single cropping	90.1±2.5a	91.5±0.9a	21.6±0.2bc	514.0±40.7a
		Double cropping	88.7±3.4a	88.1±1.3ab	21.2±0.3bcde	519.3±45.1a
	Haiami	Single cropping	88.3±0.9a	84.9±1.8ab	20.7±0.1cdef	476.3±13.9a
		Double cropping	81.0±2.6a	73.6±3.0c	20.4±0.1ef	470.3±13.6a
	Samdeog	Single cropping	81.7±6.0a	90.1±1.9a	20.6±0.1def	464.7±12.8a
		Double cropping	88.7±4.3a	86.8±2.8ab	19.9±0.1f	521.7±14.7a
Midseason-to-late maturing	Hyunpoom	Single cropping	84.3±4.7a	88.3±0.5ab	23.9±0.2a	485.0±13.2a
		Double cropping	82.7±3.5a	84.3±1.5ab	23.8±0.1a	503.7±11.4a
	Saeilmi	Single cropping	89.0±6.1a	87.5±2.4ab	21.5±0.3bcd	581.6±36.5a
		Double cropping	89.6±2.9a	89.3±1.5a	21.3±0.2bcde	575.7±40.0a
	Saenuri	Single cropping	91.6±3.8a	81.7±2.9b	24.3±0.1a	565.7±25.1a
		Double cropping	91.6±4.4a	81.9±1.0b	23.9±0.3a	549.6±23.0a
	Samkwang	Single cropping	79.3±3.8a	89.8±1.0a	20.4±0.6ef	463.7±9.2a
		Double cropping	85.3±1.8a	84.6±3.2ab	20.8±0.1cdef	462.3±4.9a

[z]Values are expressed as means±standard error of four or seven replicates.
[y]Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ($p < 0.05$).

있음이 보고된 바 있다(Oh et al., 2021b). 그리고, 벼 단독 재배이거나 이탈리안 라이그라스 후작 벼 재배이거나 두 경우 모두에서 벼 재배 이후에 토양의 pH, 전기전도도, 유기물, 치환성 양이온(K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) 함량이 감소하였으며 유효인산 함량은 증가하였다(Table 1). 이러한 토양의 특성을 벼 재배를 위한 논 토양의 적정기준(NAAS, 2010)과 비교하였을 때, 토양의 pH, 전기전도도와 유기물 함량은 적정기준 범위로 나타났다. 그러나, 유효인산과 K^+ 함량은 모든 조건에서 적정치를 초과한 반면 Mg^{2+} 함량은 단작과 이모작 모두에서 벼 재배 후에 적정기준보다 낮아졌다. 따라서 벼 재배 시 인산 및 칼리질 비료의 시비량은 하향 조절하고, Mg^{2+}은 상향 조절해야 할 것으로 보인다.

3.3. 출수기 및 수확기 특성

벼의 간장은 중생종에서는 작부체계에 따라서 차이가 없고 중만생종에서는 '현품'을 제외한 나머지 모든 품종에서 이탈리안 라이그라스-벼 재배답에서 증가하였다. 엽색도 또한 이탈리안 라이그라스-벼 재배답에서 다소 높게 나타났으나, 수장과 수수는 대부분 감소하였다(Table 2). 중생종 벼 중에서 '하이아미'는 다른 3종에 비해 간장과 수장이 길며 수수는 적었으며, '대보'는 간장은 짧으나 수장이 길고 수수도 많았다. 중만생종 벼에서는 '새누리'가 간장과 수장이 길고 수수는 적었으며, '해품'은 간장은 짧으나 수장이 길고 수수도 많았다.

수당립수와 백미수량은 대부분 작부체계에 의한 유의미한 차이를 보이지 않았다. 하지만, 등숙률과 백미천립중은 '새일미'와 '삼광'에서 각각 미미하게 증가하였으며, 다른 품종들에서는 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 작부체계에서 낮거나 유의미한 차이가 없었다(Table 3). 이처럼 백미수량을 포함한 수확기 특성이 이탈리안 라이

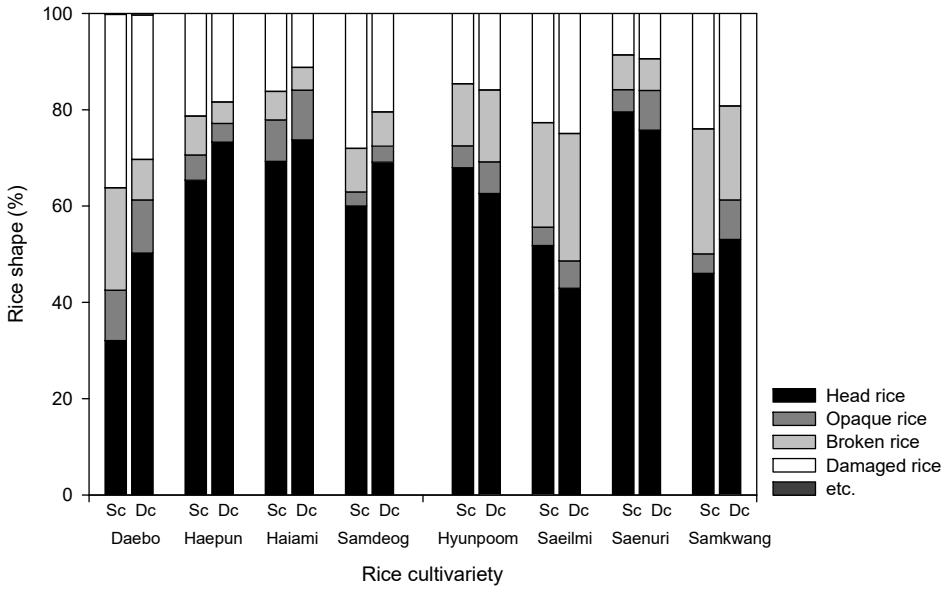

Fig. 2. Milling recovery of eight rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under different cropping systems(Sc, single cropping; Dc, double cropping). Values are expressed as means of four or seven replicates.

그라스 재배로 인한 부정적인 영향이 거의 없는 것으로 나타나 대다수의 품종들이 사료작물과 연계한 논 기반 작부체계에 적용될 수 있을 것으로 보인다. 특히, 백미수량은 중생종 벼에서 '대보'와 '해품'이, 중만생종 벼에서는 '새일미'와 '새누리'가 이탈리안 라이그라스 재배 유무에 관계없이 500 kg/10a 이상으로 많았는데, 수당립수, 등숙률, 백미천립중이 높은 데에서 기인한 결과로 보인다.

작부체계에 의한 백미의 외관상 특성을 살펴보면(Fig. 2), 완전미의 비율은 중생종 벼에서 벼 단작에서 보다 이탈리안 라이그라스 재배 후에 높아졌으며, 품종별로는 '해품'과 '하이아미'가 70% 이상으로 높게 나타났다. 반면에 중만생종 벼에서는 '삼광'을 제외한 모든 품종에서 벼 단작에 비해 이탈리안 라이그라스 재배 후에 완전미의 비율이 감소하였다. 그리고 '새누리'에서만 벼 단작과 이탈리안 라이그라스-벼 재배답 모두에서 70% 이상이었다. 불완전립 중에는 쇄립(싸라기)의 비율이 이탈리안 라이그라스 재배 후에 다소 감소하였다.

3.4. 쌀의 이화학적 특성

밥맛과 관계가 있는 주요 성분으로 백미의 단백질, 아밀로스와 수분 함량을 분석하였다(Table 4). 단백질 함량은 벼 단작에서 보다 이탈리안 라이그라스-벼 재배답에서 수확한 백미에서 높았다. 이러한 결과는 조생종 벼 품종이 벼 단작에 비해 사료작물-벼 이모작 재배답에서 수확한 백미에서 단백질 함량이 높았다는 결과와 유사하다(Oh et al., 2021b). 아밀로스 함량은 이탈리안 라이그라스 재배로 인하여 같거나 다소 높았다. 일반적인 농촌진흥청 조사기준(Lee, 2002)에 의하면 백미의 아밀로스 함량은 17-23% 수준인데, 본 연구에서 모든 품종들이 이탈리안 라이그라스 재배 유무에 관계없이 적정 범위 내에 있었다. 수분 함량은 대부분 작부체계에 의해 유의미한 차이를 보이지 않았다. 벼 재배기간 동안의 기상조건은 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 기온과 일조시간, 그리고 적산온도 등이 중생종과 중만생종 벼의 등숙에 적당한 조건인 바, 기상요인보다 Table 1에서처럼 이탈리안 라이그라스 재배 유무에 의한 토양의 물리성과 토양 내 양분 및 염류의 변화에 기인한 결과로 보인다.

3.5. 쌀의 호화특성

Toyo 식미치는 중생종 벼 중에 '대보'와 '하이아미'에서 이탈리안 라이그라스 재배 후에 다소 증가하였으며,

Table 4. Palatability characteristics and Toyo value of eight rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown under different cropping systems

Ecological type	Rice cultivariety	Cropping systems	Moisture (%)	Protein content (%)	Amylose content (%)	Toyo taste value	Pasting Temperature (°C)
Midseason maturing	Daebo	Single cropping	10.9±0.2[z]d[y]	7.1±0.04e	18.0±0.05c	72.2±0.4cd	72.6±0.3b
		Double cropping	11.7±0.2bc	7.8±0.05c	19.3±0.36a	75.4±0.9bc	72.9±0.2b
	Haepum	Single cropping	11.2±0.1cd	7.0±0.02e	19.4±0.28a	81.2±1.1a	72.1±0.3b
		Double cropping	11.4±0.1cd	7.8±0.03c	19.3±0.10a	79.6±0.6b	72.0±0.3b
	Haiami	Single cropping	11.5±0.4bc	7.4±0.02d	18.5±0.03b	78.8±0.9b	71.8±0.3b
		Double cropping	11.7±0.2bc	8.2±0.06a	18.7±0.14b	79.6±1.2b	71.8±0.3b
	Samdeog	Single cropping	11.3±0.1cd	7.3±0.02d	18.0±0.09c	70.9±2.3d	73.4±0.3b
		Double cropping	11.3±0.1cd	7.8±0.10c	18.2±0.15c	70.6±0.6d	74.2±0.3b
Midseason-to-late maturing	Hyunpoom	Single cropping	12.4±0.2a	7.0±0.10e	18.9±0.10b	71.4±2.2cd	72.9±0.3b
		Double cropping	12.1±0.2ab	7.8±0.06c	18.9±0.28b	65.1±0.6e	73.2±0.1b
	Saeilmi	Single cropping	11.5±0.2bc	7.4±0.04d	18.6±0.17b	74.6±1.6bc	72.4±0.1b
		Double cropping	12.0±0.2ab	8.0±0.02ab	19.1±0.35a	73.4±0.5cd	73.7±0.3b
	Saenuri	Single cropping	12.5±0.3a	7.3±0.07d	19.7±0.06a	84.1±1.7a	72.1±0.3b
		Double cropping	12.1±0.3ab	7.9±0.04bc	20.2±0.21a	81.5±1.2a	73.2±0.5b
	Samkwang	Single cropping	11.6±0.1bc	6.9±0.05e	18.2±0.45c	76.6±1.4bc	72.8±0.2b
		Double cropping	12.5±0.3a	8.1±0.09a	17.3±0.03d	73.9±1.4c	80.3±6.7a

[z]Values are expressed as means±standard error of four or seven replicates.
[y]Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ($p < 0.05$).

특히, ‘해품’은 ‘하이아미’와 더불어 이탈리안 라이그라스 재배 유무에 관계없이 높았다. 그러나, 중만생종 벼에서는 모두 이탈리안 라이그라스 재배 후 감소하는 양상으로 나타났다. Toyo 식미치가 높은 쌀은 관능검사에서도 좋은 결과를 얻는데, 본 연구에서는 대다수의 품종들이 70% 이상으로 높았으며 중생종 벼에서 ‘해품’과 ‘하이아미’가, 중만생종 벼에서는 ‘새누리’가 대략 80% 이상으로 높아 시판되고 있는 브랜드 쌀 33종에서 보고된 69.2-81.7%인 식미치 보다 높게 나타났다(Kim et al., 2012). 이는 조생종 벼가 70% 이하로 낮은 것과 대조되는 양상이다(Oh et al., 2021b). 호화온도는 사료작물 재배로 인하여 통계적으로 유의미한 차이가 없었으며, 벼 품종별로는 Toyo 식미치와 유사하게 ‘해품’, ‘하이아미’, ‘새누리’가 낮게 나타났다.

이상의 결과를 토대로 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 작부체계 시 백미수량이 대부분의 품종에서 작부체계에 따라서 유의미한 차이를 보이지 않아 사료작물 재배로 인한 악영향은 없을 것으로 보인다. 중생종 벼에서 ‘대보’와 ‘해품’이, 중만생종 벼에서는 ‘새일미’와 ‘새누리’가 이탈리안 라이그라스 재배 유무에 관계없이 백미수량이 500 kg/10a 이상으로 많았다. 그러나 ‘대보’와 ‘새일미’는 완전미율과 Toyo 식미치가 낮아 고품질 벼로는 적당하지 않았다. 하지만 ‘해품’과 ‘새누리’는 완전미율이 높고 Toyo 식미치가 높아서 고품질 쌀을 생산하는데 유용할 것으로 보이며, ‘하이아미’는 비록 백미수량이 다소 낮지만 완전미 비율이 높고 식미치도 높아서 밥쌀용으로 유용할 것으로 보인다. 더군다나 “해품”은 흰잎마름병에 저항성이 있고, “새누리”는 내도복성이 강할

뿐만 아니라 흰잎마름병과 줄무늬잎마름병에도 강하며, “하이아미”는 기존 품종에 비하여 필수아미노산 함량이 30% 정도 높은 특성을 가지고 있다(RDA, 2021). 따라서 이들 3품종은 이탈리안 라이그라스와 연계한 이모작 작부체계에서도 고품질 쌀을 생산하는데 적합할 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 남부지역 논에서 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 작부체계에 적합한 벼 품종을 선발하고자, 이탈리안 라이그라스 재배 후 중생종 벼(‘대보’, ‘해품’, ‘하이아미’, ‘삼덕’)와 중만생종 벼(‘현품’, ‘새일미’, ‘새누리’, ‘삼광’)를 재배하여 품종별 생육, 수량성 및 백미품질을 조사하였다. 겨울철 휴경한 논의 토양에 비해 이탈리안 라이그라스 재배 후의 토양에는 유기물과 유효인산(Av. P_2O_5) 함량이 다소 낮고, Na^+ 함량은 다소 증가하였다. 그리고 벼 단독 재배거나 이탈리안 라이그라스 후작 벼 재배이거나 벼 수확 이후에 토양의 pH, 전기전도도, 유기물, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ 함량이 감소하고 유효인산 함량은 증가하였다. 그러나 벼 재배를 위한 논토양의 적정기준과 비교하여 보았을 때, 유효인산과 K^+ 함량은 모든 조건에서 적정치를 초과하나 Mg^{2+} 함량은 단작과 이모작 모두에서 벼 재배 후에 적정기준보다 낮아졌다. 출수기에 벼의 간장과 엽색도는 이탈리안 라이그라스-벼 재배답에서 다소 높고, 수장과 수수는 감소하였다. 수확기에 수당립수와 백미수량은 대부분 작부체계에 따라서 유의미한 차이가 없었다. 하지만, 등숙률과 백미천립중은 이모작 작부체계에서 수확한 ‘새일미’와 ‘삼광’에서 각각 미미하게 증가한데 반해 다른 품종들에서는 낮거나 유의미한 차이를 보이지 않았다. 백미수량은 중생종 벼에서 ‘대보’와 ‘해품’이, 중만생종 벼에서는 ‘새일미’와 ‘새누리’가 이탈리안 라이그라스 재배 유무에 관계없이 500 kg/10a 이상으로 많았다. 완전미의 비율은 중생종 벼에서 벼 단작에 비해 이탈리안 라이그라스 재배 후에 높아졌으며, 품종별로는 ‘해품’과 ‘하이아미’가 70% 이상으로 높게 나타났다. 반면에 중만생종 벼에서는 이탈리안 라이그라스 재배 후에 ‘삼광’을 제외한 모든 품종에서 감소하였으며, ‘새누리’에서만 벼 단작과 이모작 모두에서 70% 이상이었다. 단백질 함량은 이모작 재배답에서 수확한 백미에서 증가하였으며, 아밀로스 함량은 같거나 다소 높았다. Toyo 식미치는 중만생종 벼에서는 모두 이모작 재배 시 감소하였으며, 중생종 벼에서는 ‘대보’와 ‘하이아미’에서 다소 증가하였다. 그러나 ‘해품’, ‘하이아미’와 ‘새누리’에서만 Toyo 식미치가 대략 80% 이상으로 높았다. 따라서, 이들 3품종(‘해품’, ‘하이아미’, ‘새누리’)은 이탈리안 라이그라스 재배 후에도 백미수량이 많을 뿐만 아니라 완전미율과 Toyo 식미치가 높아 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 작부체계에 적합한 품종으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 어젠다사업(과제명: 논이용 사료작물 생산 최적 작부체계 개발, 과제번호:PJ01438103)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Juliano, B. O., 1985, Physicochemical properties of rice, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. 539.

Kang, S. G., Kim, Y. D., Ku, B. I., Sang, W. G., Lee, M. H., Park, H. K., Shon, J. Y., Yang, W. H., Lee, J. H., 2015, Study on the optimum planting density of pot seedling for mid-late maturing rice variety in wheat-rice double cropping system in Honam plain area, Korean J. Crop Sci., 60, 257-265.

Kim, Y. G., 2010, Current status and future prospects of development of rice varieties, Food Preserv. Proc. Indus., 9, 75-85.

Kim, C. E., Kang, M. Y., Kim, M. H., 2012, Comparison of properties affecting the palatability of 33 commercial brands of rice, Korean J. Crop Sci., 57, 301-309.

Ko, J. K., Park, H. K., Kang, S. G., Kato, H., Ishii, T., Nemoto, H., Sakai, M., Satou, K., Ando, I., Kim, B. K., 2014, Comparison of rice grain yield and quality of different maturity groups by cultivation in Korea and Japan, J. Korean Soc. Int. Agric., 24, 353-359.

Lee, J. H., Park, D. S., Kwak, D. Y., Yeo, U. S., Kim, C. S., Jeon, M. G., Oh, B. G., Shin, M. S., Kim, J. K., 2008, Yield and grain quality of early maturing rice cultivars as affected by early transplanting in Yeongnam plain

area, Korean J. Crop Sci., 53, 326-332.

Lee, M. H., 2002, Rice quality and eating quality evaluation, Rural Development Administration, Suwon, Korea, 75-102.

National Academy of Agricultural Science (NAAS), 2010, Fertilization standard on crops, NAAS, Suwon, Korea, 16-23.

Oh, S. Y., Oh, S. H., Seo, J. H., Choi, J., 2021a, Application of Italian ryegrass-rice double cropping systems to evaluate the physicochemical properties of soil and yield and quality of rice in paddy field in southern parts of Korea, J. Environ. Sci. Int., 30, 559-671.

Oh, S. Y., Oh, S. H., Seo, J. H., Choi, J., 2021b, Effects of forage-rice cropping systems on the growth and grain quality of early maturing rice cultivars and soil chemical properties in paddy fields in southern Korea, Korean J. Crop Sci., 66, 297-306.

Rural Development Administration (RDA), 2021, Main food crops (Rice) variety manual, Jinhung Publishing Co., Jeonju, Korea, pp.192-193, 274-275, 319.

Seo, J. H., Hwang, C. D., Oh, S. H., 2021, Compatibility of double cropping of winter wheat - summer grain crops in paddy field of southern Korea, Korean J. Crop Sci., 66, 18-28.

• Researcher. Seo-Young Oh
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science
osoonja@korea.kr
• Researcher. Seong-Hwan Oh
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science
osh0721@korea.kr
• Researcher. Jong-Ho Seo
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science
sseo@korea.kr
• Researcher. Ji-Su Choi
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science
choijisu24@korea.kr