

ORIGINAL ARTICLE

## 남부지역 논에서 토양의 이화학적 특성 및 벼의 생산성과 미질 향상을 위한 이탈리아 라이그라스-벼 이모작 작부체계의 적용

오서영\* · 오성환 · 서종호 · 최지수  
국립식량과학원 남부작물부 논이용작물과

### 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

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

The physicochemical properties of soil and the yield and quality of rice (*Oryza sativa* L. cv. Sailmi) were assessed using Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Kowinearly)-rice double cropping systems in the paddy fields at Goseong and Miryang in southern Korea. The average temperatures during the ripening period were approximately 1 °C higher than the optimal temperature for rice ripening and the sunshine duration was reduced by frequent rainfall. Consequently, it was slightly below the optimal conditions required for rice ripening. In the soil at Goseong, winter Italian ryegrass cropping increased the pH, electrical conductivity, and the contents of organic matter, total nitrogen (T-N), available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K, Ca, and Mg than winter fallowing. Particularly, the contents of T-N and available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> increased significantly. In the soil at Miryang, Italian ryegrass slightly increased the electrical conductivity and the T-N, Mg, and Na contents. Therefore, winter Italian ryegrass cropping improved the physicochemical properties of paddy soils; however, Italian ryegrass-rice double cropping slightly reduced the culm length at both Goseong and Miryang, without markedly changing the panicle length or number compared to fallow-rice cropping. Furthermore, at Goseong, Italian ryegrass-rice double cropping slightly decreased the spikelet number and milled rice yield, and increased the ripened grain rate; however, at Miryang, contrasting results were observed. In addition, fallow-rice cropping revealed no differences in the head rice or opaque rice rates. The protein content was slightly increased in Italian ryegrass-rice double cropping, without significant changes in the amylose content or Toyo value, compared to that in fallow-rice cropping. The peak and breakdown viscosities were slightly decreased. These results indicate that winter Italian ryegrass cropping might alter rice taste but may not exhibit remarkable negative effects on rice cultivation. Therefore, Italian ryegrass-rice double cropping system is recommended for paddy fields in southern Korea. Nevertheless, to increase the rice yield and quality, fertilization standards for rice cropping that consider the changes in the T-N and organic matter contents in paddy fields caused by winter Italian ryegrass cropping need to be established.

**Key words** : Double cropping systems, Fertilization standard, Milled rice yield, Rice quality, Soil physico-chemical properties

Received 25 June, 2021; Revised 29 July, 2021;

Accepted 4 August, 2021

\*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. 서론

벼(*Oryza sativa* L.)는 밀(*Triticum aestivum* L.), 옥수수(*Zea mays* L.)와 함께 세계 3대 식량작물 중 하나로 오랜 재배 역사를 가지고 있으며, 우리나라를 비롯하여 아시아 지역에서 주식으로 널리 이용되고 있는 중요한 작물이다. 그러나 국내 식생활 양상의 변화와 더불어 식량 소비패턴이 크게 변화하여 쌀 소비가 지속적으로 감소하고 있어 이는 벼 재배 면적의 감소로 이어져 많은 유휴지가 발생되고 있다(Kim and Chung, 2020). 반면에 육류 소비는 증가하면서 사료용 곡류와 조사료 가격은 상승하고 있어 겨울철 유휴 논토양을 활용하여 사료작물을 생산하는 방안을 고려할 필요가 있다.

최근 유휴지의 활용과 조사료 자급률 향상을 위해 벼 수확 후 이탈리아 라이그라스(*Lolium multiflorum* Lam.; IRG), 호밀(*Secale cereale* L.), 귀리(*Avena sativa* L.) 등의 사료작물을 겨울철에 재배하는 이모작 작부체계가 축산농가를 중심으로 이루어지고 있다(Ju et al., 2012; Ahn et al., 2019). 특히 이탈리아 라이그라스는 습해에도 강해 논 연중 이용을 위해 벼와 작부체계를 연계하여 축산농가에서 조사료 중 많이 재배되고 있으나, 사료작물의 수확량을 높이기 위해 투입된 비료나 퇴비 등으로 인해 농지 내 질소 및 유기물 함량이 높아져 이듬해 벼 재배 시 미질 저해 요인으로 작용할 수 있다(Jeon et al., 2005). 실제로 벼 앞그루로 이탈리아 라이그라스를 재배한 후 잔존한 그루터기를 분해하기 위해 그루터기 분해용 질소 30 kg/ha과 벼 재배시 표준시비량에 의해 기비질소 100%를 사용한 구에서는 일부 도복 현상이 야기되어 벼 수량이 감소되었다(Song et al., 2011). 최근 일부 남부지방에서는 논에 시설하우스를 설치하고 후작물로 벼를 재배하거나 또는 녹비작물, 사료작물 등을 재배하는 작부형태에서 도복에 의한 벼 수량 감소, 미질 저하 등 시비관리의 문제점이 대두되고 있다(Jeon et al., 2005). 따라서 사료작물 생산과 더불어 안정적이면서 지속적인 벼 생산을 위해서는 토양 내 잔존 질소와 유기물 함량을 분석하고 다모작 작부체계에서의 양분관리 방안이 필요할 것으로 보인다. 더군다나 앞으로 논 경지이용효율을 높이기 위하여 사료작물 재배가 꾸준히 증가할 것으로 보이는 바, 사료작물을 재배한 이후 벼를 재배하였을 때 발생할 수 있는 문제점을 전반적

으로 검토해 볼 필요가 있다.

한편, 「새일미벼」는 일미벼의 이삭도열병 단점을 개량하고자 저항성 연관마커인 RM206을 이용해서 4회 여교배후 약배양을 통해 2011년에 육성한 품종이다(Lee et al., 2015). 새일미벼는 양질 다수성으로 우수성이 인정되지만 오갈병 및 해충에는 약한 특성을 지닌 일미벼를 대체하여 널리 보급되었으며, 2018~2019년 전국 재배 면적(10.7~11.4%)의 3위를 차지하고 있다. 더군다나 새일미벼는 수리불안전답 조건에서도 쌀 수량 감소가 적어 기묘에 대한 재배안정성이 높은 품종으로 호남지역에 많이 재배되고 있다(Kim et al., 2016).

따라서 본 연구에서는 경남지역의 고성과 밀양의 논에 이탈리아 라이그라스-벼 이모작 작부체계에서 토양특성의 변화를 비롯하여 새일미벼의 생산성과 미질 특성을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 식물재료 및 재배조건

경상남도 고성(마암면 옥천로 논 시험포장)과 밀양(국립식량과학원 남부작물부 논 시험포장) 일대의 이탈리아 라이그라스-벼 이모작 작부체계와 벼 단작 작부체계를 적용하고 있는 논을 대상으로 하였으며, 벼 단작인 경우에는 이탈리아 라이그라스(*Lolium multiflorum* Lam. cv. Kowinearly, IRG)를 재배하는 겨울철 동안에 휴경을 하였다. 이탈리아 라이그라스는 “코윈어리” 품종을 2019년 10월 5일에 고성과 밀양에 각각 4 kg/10a을 산파하였으며, 비료는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 14-15-15 kg/10a 수준으로 사용하였다. 월동 후 2020년 5월 초에 수확하였고, 중만생종 벼 품종인 “새일미”(*Oryza sativa* L. cv. Sailmi)를 5월 28일에 이앙하였으며, 9월 말에 수확하였다. 벼 재배 시 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 9.0-4.5-5.7 kg/10a 수준으로 사용하였으며, 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다.

### 2.2. 기상환경

온도, 상대습도, 강우량, 풍속 및 일사량은 부산지방기상청에서 운영하고 있는 밀양지역(N35°49'147" E128°74'412", 8 m above sea level)과 고성지역(N34°84'541" E128°43'561", 20 m above sea level)의 기상대에서 연구기간(2019년 9월~2020년 9월) 동안 측정된

자료를 사용하였다.

### 2.3. 토양의 이화학적 특성 분석

토양시료는 이탈리안 라이그라스를 수확한 논과 휴경 논에서 각각 채취하였으며, 벼 수확 후에도 각각의 논토양에서 채취하여 이화학적 특성 분석에 이용하였다. 토양산도(pH)와 전기전도도(Electrical Conductivity, EC)는 토양과 증류수의 비를 1:5로 하여 1시간 동안 진탕시킨 후 각각 pH 미터(Five Easy Plus FP20, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)와 전기전도도계(InoLab Cond Level 1, Wissenschaftlich Technische Werkstätten, Weiheim, Germany)를 이용하여 측정하였다. 토양 유기물(Organic Matter, OM) 함량은 Tyurin 법, 전질소(total nitrogen, T-N) 함량은 Kjeldahl 법, 유효인산(available phosphate, Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 Lancaster 법에 의해 비색계(UV/VIS spectrometer Cary 100, Agilent, Santa Clara, USA)를 사용하여 분석하였다. 토양 내 치환성 양이온(K, Ca, Mg)은 1M Ammonium acetate (pH 7.0)로 추출하여 유도결합플라즈마 발광광도계(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometry-Mass, ICP-Integra XL, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Victoria, Australia)를 이용하여 분석하였다.

### 2.4. 생육 특성 및 수확량 조사

벼의 생육 특성으로 출수기의 간장, 수장, 수수, 엽색도를 조사하였으며, 벼 수량은 출수 후 40일에 전 식물체를 수확하여 수당립수, 등숙률, 백미천립중, 백미수량을 조사하였다. 쌀의 외형적 특성은 품위판별기(RN-500, Kett Electric laboratory Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 조사하였다. 백미는 완전미(외관이 깨끗하고 깨짐이 없는 쌀), 분상질립(심백미, 복백미 및 유백미 등 외관의 1/2 이상이 분상질인 쌀), 구열립(금간 쌀), 싸라기(깨진 쌀) 등으로 구분하였다. 이들 특성은 농촌진흥청 연구조사 분석기준에 따라 조사하였다.

### 2.5. 쌀의 단백질, 아밀로스 및 수분 함량 분석

쌀의 단백질, 아밀로스 및 수분 함량은 백미를 사용하여 측정하였다. 단백질 함량은 Micro Kjeldahl 질소정량법을 사용하였다. 즉, 백미를 분쇄하여 시료 0.5 g를 정확히 칭량 후 Kjeldahl 분해병에 넣고 진한 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 용액 20 mL와 분해촉매제[3.5 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3.5 mg

Selenium (1000 Kjeltabs S/3.5, Foss Analytical AB, P.O., Sweden)]를 넣은 후 400°C에서 2시간 동안 분해한 후, 자동분석장치(Foss Kjeltec 2300, Foss Tecator, Huddinge, Sweden)를 이용하여 정량하였다. 아밀로스 함량은 요오드 비색정량법에 따라 3반복으로 측정하였다(Juliano, 1985). 즉, 0.1 g의 백미 분쇄시료에 95% 에탄올 1 mL와 1N NaOH 9 mL를 가하여 진탕향운수조에서 10분간 호화시킨 후 증류수로 100 mL을 채웠다. 그 중 5 mL에 1N acetic acid 1 mL, 2% I<sub>2</sub>-KI 용액 2 mL를 가한 후 증류수로 100 mL를 맞춘 다음 20분 후 UV/Viz 분광광도계(UV2450, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 620 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 Potato amylose를 사용하여 검량선 작성 후 아밀로스 함량을 산출하였다. 수분 함량은 곡물수분 측정기(Riceter-M, Kett Electric laboratory Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

### 2.6. 쌀의 식미값과 호화 점도 특성

Toyo 식미값은 밥의 윤기치를 간이 측정할 수 있는 palatability 분석으로 Toyo meter (MA-90B, Toyo Engineering Crop., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 즉, 백미 33.0 g을 정량하여 80°C의 물에서 10분간 취반한 후 상온에서 3분간 뜸을 들인 후 밥의 표면에 생기는 윤기치를 측정하였다. 쌀의 호화 점도 특성은 신속점도측정계(Rapid visco analyzer, RVA 4500, Perten Instruments, Australia)를 이용하여 측정하였다. 즉, 3.0 g의 백미 분쇄시료를 분석전용 용기에 투입하고 25 mL의 증류수에 분산시켜 50°C에서 1분간 유지시킨 후 50°C에서 95°C까지 4.7분 동안에 상승시키고 95°C에서 2.5분간 유지시켰다. 그 후, 다시 3.7분 동안에 50°C로 냉각시키면서 점도 특성을 조사하였다. 총 실험 시간은 약 13분 정도로서 실험 후 초기 호화온도(pasting temperature), 최고점도(peak viscosity), 최저점도(trough viscosity), 최종점도(final viscosity), 강하점도(breakdown viscosity) 및 치반점도(setback viscosity)를 산출하였다.

### 2.7. 통계분석

모든 통계분석은 SPSS 통계 패키지 18.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하여 수행하였으며, 실험을 통하여 얻어진 결과는 평균±표준오차로 나타내었고

일원배치 분산분석 및 Duncan의 다중검정( $p < 0.05$ )으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기상 환경요인

연구기간 동안 이탈리아인 라이그라스(*L. multiflorum* Lam. cv. Kowinearly; IRG)-벼(*O. sativa* L. cv. Sailmi) 이모작 작부체계를 적용한 논 생태계 인근의 대기 환경요인(대기온도, 상대습도, 강수량, 풍속, 일조시간)의 일별 변화를 살펴보았다(Fig. 1). 이탈리아인 라이그라스 재배기간(2019년 10월 5일~2020년 5월 10일) 동안의 평균기온은 밀양(8.6°C)과 고성(8.8°C)간에 차이가 없었으며, 풍속은 밀양이 1.6 m/sec로 풍력계급 2단계에 해당하였으며, 고성은 2.3 m/sec로 풍력계급 3단계에 해당하였다. 누적 일조시간은 1317-1397 hr로 고성이 다소 높지만 지역 간에 큰 차이가 없었다. 벼 재배기간(2020년 5월 28일~2020년 9월 30일) 동안의 평균기온은 밀양(23.9°C)이 고성(23.3°C) 보다 다소 높았으며, 최저기온(밀양 20.0°C, 고성 18.9°C)과 최고기온(밀양 29.0°C, 고성 27.6°C)도 모두 높았다. 동 기간의 상대습도는 두 지역 모두 80%를 상회하였으며, 강우기간은 밀양(77일)이 고성(49일) 보다 많았으나 누적 강수량은 오히려 밀양(1024.0 mm)이 고성(1422.5 mm) 보다 28% 적었으며, 두 지역 모두 7월 하순부터 9월 중순에 집중적으로 많았다. 풍속은 밀양이 1.3 m/sec이며, 고성은 이보다 다소 높은 2.4 m/sec이다. 1.1~1.7 m/sec 이하의 연풍은 증산, 광합성 및 양분흡수를 촉진시킬 뿐만 아니라 작물 균락 내의 과습 상태가 경감되어 병해가 감소하는 것으로 알려져 있다. 고성은 풍속이 1.7 m/sec 이상으로 높아 잎 파열, 도복 등에 의한 수량 감소나 영의 기계적인 마찰 등에 의해 미질에도 영향을 미칠 것으로 보인다. 누적 일조시간은 710-720 hr로 지역 간에 차이가 없었다.

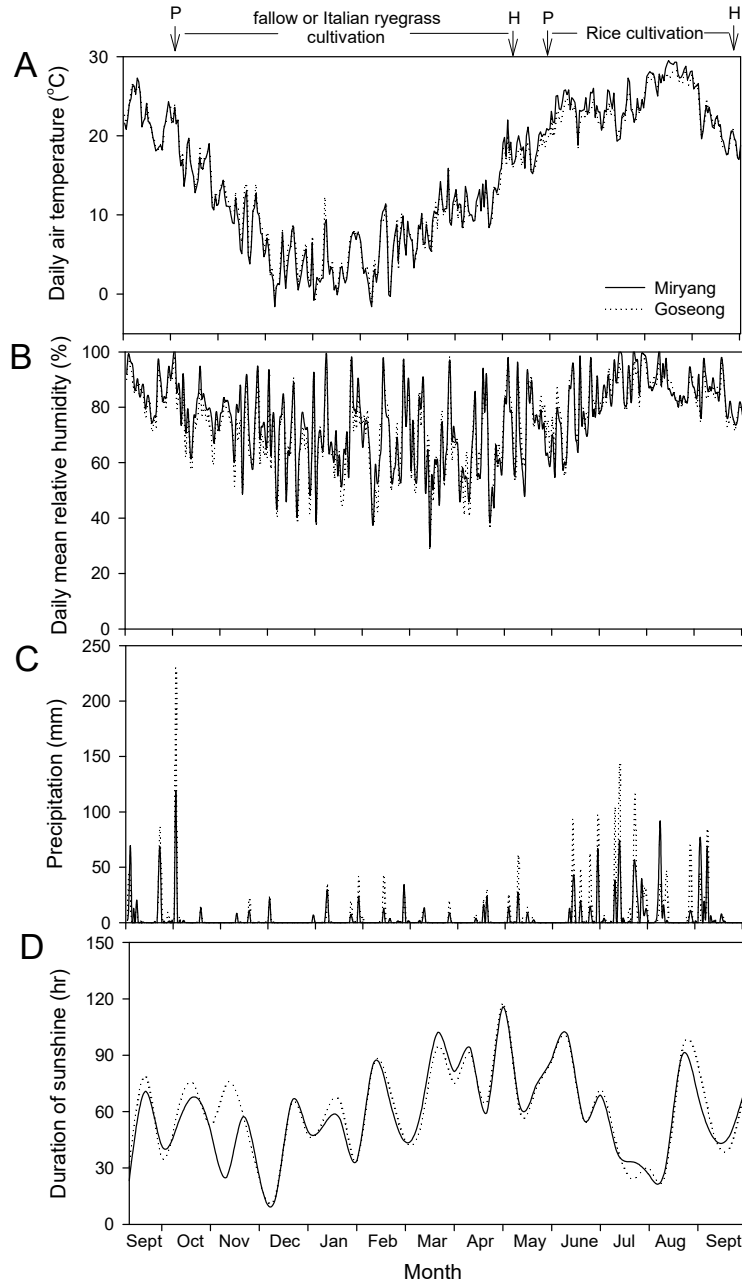
벼의 영양생장기 동안 온도가 높아지면 상대적으로 벼의 생육 속도가 빨라지게 되는데(Sang et al., 2018), 생육 초기의 고온은 분얼과 잎의 생장을 촉진하거나 양분 흡수를 증가시켜 벼 수량 형성에 긍정적인 영향을 줄 수 있으나, 생육 기간 단축으로 출수가 다소 빨라질 수 있다. 그러나, 생식 생장기, 특히 출수기에는 고온에 민감하여 불임에 의해 생산량이 크게 감소하는 등의 피해가 나타난다(Prasad, et al.,

2006). 등숙에 알맞은 기상 조건은 출수 후 40일간의 일평균기온이 20~22°C이고, 일조시간은 일평균 7시간으로 알려져 있다(RDA, 2012). 경남 고성과 밀양지역의 경우 등숙기(8월 20일-9월 30일) 40일 동안의 평균기온은 적정 수준보다 1°C 정도 높았고 일조시간도 일평균 7시간으로 할 때 280시간에 미치지 못하여 전반적으로 등숙에는 다소 불리한 조건으로 나타났다.

#### 3.2. 토양의 이화학적 특성

밀양과 고성 두 지역 내 휴경논의 토양 특성을 보면, pH와 K, Mg, Na 함량은 고성지역이 밀양지역에 비해 높고, 전기전도도와 유효인산은 밀양이 높게 나타났다. 이탈리아인 라이그라스 재배 후 고성의 논토양에서는 휴경논에 비해 Na 함량이 약간 낮아진데 반해, pH, 전기전도도, 유기물, 전질소, 유효인산, K, Ca, Mg 함량이 모두 크게 증가하였다. 그러나, 밀양에서는 휴경논에 비해 유기물, 유효인산이 다소 낮아졌으나, 전기전도도와 전질소, Mg, Na 함량이 다소 증가하였다. 이러한 결과는 이탈리아인 라이그라스 재배 후 벼를 재배하였을 때 토양 물리성이나 화학적 특성이 개선될 수 있음을 보여주고 있다. 그리고, 휴경 후 벼 재배 시 고성에서는 pH와 Na 함량이 낮아지고 유효인산 함량이 증가하였다. 그러나 이탈리아인 라이그라스 후작으로 벼를 재배하였을 때에는 pH와 전기전도도 뿐만 아니라 토양 내 모든 무기성분 함량이 감소하였다. 반면, 밀양에서는 벼 단독 재배이든 이탈리아인 라이그라스 후작 벼 재배이든 두 경우 모두에서 벼 재배 전후 간에 대부분 큰 차이가 없었다(Table 1).

밀양과 고성 지역의 토양의 특성을 벼 재배를 위한 논 토양의 적정기준(NAAS, 2010)과 비교하여 보았을 때, K 함량은 두 지역의 모든 조건에서 적정 기준 범위를 초과하였으며, 유효인산은 고성지역의 휴경 후와 이탈리아인 라이그라스-벼 연작 후를 제외하고 모두 적정 기준 범위를 초과하였다. 특히, 고성지역의 벼 앞그루로 이탈리아인 라이그라스를 재배한 논토양에서는 pH, 유기물, 유효인산, K, Ca, Mg 함량이 적정 기준 범위를 크게 초과하였다. 고성과 밀양 두 지역에서 공통적으로 휴경 후 벼 재배 시 제염률이 각각 26.8%, 23.7%인데 반해 이탈리아인 라이그라스 후작으로 벼를 재배하였을 때에는 각각 47.5%, 29.2%로 제염효과가 높아(데이터 미제시), 벼의 영양생장 또는 생식생장에 이용되었거나 관개수에 의해 유실



**Fig. 1.** Changes in daily air temperature (A), daily mean relative humidity (B), precipitation (C), and sunshine duration (D) in the Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam. cv. Kowinearly) and rice (*Oryza sativa* L. cv. Seilmi) field during the experimental period (September 2019 - August 2020). The arrows in (A) indicate the days when Italian ryegrass seeds or rice infant seedling were sown (or transplanting) and above ground of those plants were harvested.

Table 1. Chemical characteristics of soils in the rice (*Oryza sativa* L. cv. Seilmi) field under different cropping systems

Growing area	Cropping systems	Measuring season	pH (1:5)	EC (dS·m <sup>-1</sup> )	OM (g·kg <sup>-1</sup> )	T-N (g·kg <sup>-1</sup> )	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	K (cmol·kg <sup>-1</sup> )	Ca (cmol·kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol·kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol·kg <sup>-1</sup> )
Goseong	Fallow-Rice	After fallow	6.29 <sup>by</sup>	0.41bc	32.1bc	5.07b	115.04e	1.02b	5.97b	1.86b	0.42a
		After rice harvest	5.77cd	0.30c	33.0b	5.41b	182.3bc	0.71bc	5.61bc	1.65bc	0.26d
	IRG-Rice	After IRG harvest	6.67a	0.59ab	41.1a	6.46a	337.3a	2.14a	7.53a	2.61a	0.39ab
Miryang	Fallow-Rice	After rice harvest	5.71cd	0.31c	28.9bc	4.80b	98.0e	0.49c	4.87c	1.41cd	0.28cd
		After fallow	5.85c	0.59ab	33.2b	4.85b	171.8bc	0.55bc	6.59b	1.58bcd	0.35b
	IRG-Rice	After IRG harvest	5.59de	0.45abc	29.6bc	4.76b	190.6b	0.43c	5.82bc	1.30d	0.34bc
Optimum ranges of soil conditions for rice cultivation <sup>x</sup>	After rice harvest	5.86c	0.65a	31.4bc	4.91b	141.3cde	0.58bc	6.58b	1.67bc	0.37ab	
	After rice harvest	5.44e	0.46abc	27.1c	5.15b	160.7bcd	0.39c	5.69bc	1.30d	0.32bcd	
			5.5-6.5	<2.0	25-35	-	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	-

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

**Table 2.** Comparison of growth of rice (*Oryza sativa* L. cv. Seilmi) grown under different cropping systems in Goseong and Miryang regions

Growing area	Cropping systems	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle (ea/plant)	SPAD value
Goseong	Fallow-Rice	76.7±0.4 <sup>b</sup> <sup>y</sup>	21.3±0.2a	22.8±0.7a	34.5±0.4a
	IRG-Rice	75.1±0.5c	21.5±0.4a	22.8±0.8a	35.1±0.4a
Miryang	Fallow-Rice	78.5±0.5a	18.5±0.3b	17.7±0.4b	32.4±0.4b
	IRG-Rice	77.3±0.7ab	18.5±0.4b	17.2±0.5b	33.1±0.3b

<sup>y</sup>Values are expressed as means ± standard error of 30 replicates.

<sup>b</sup>Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ( $p < 0.05$ ).

되었을 수 있음을 나타낸다.

### 3.3. 출수기 및 수확기 특성

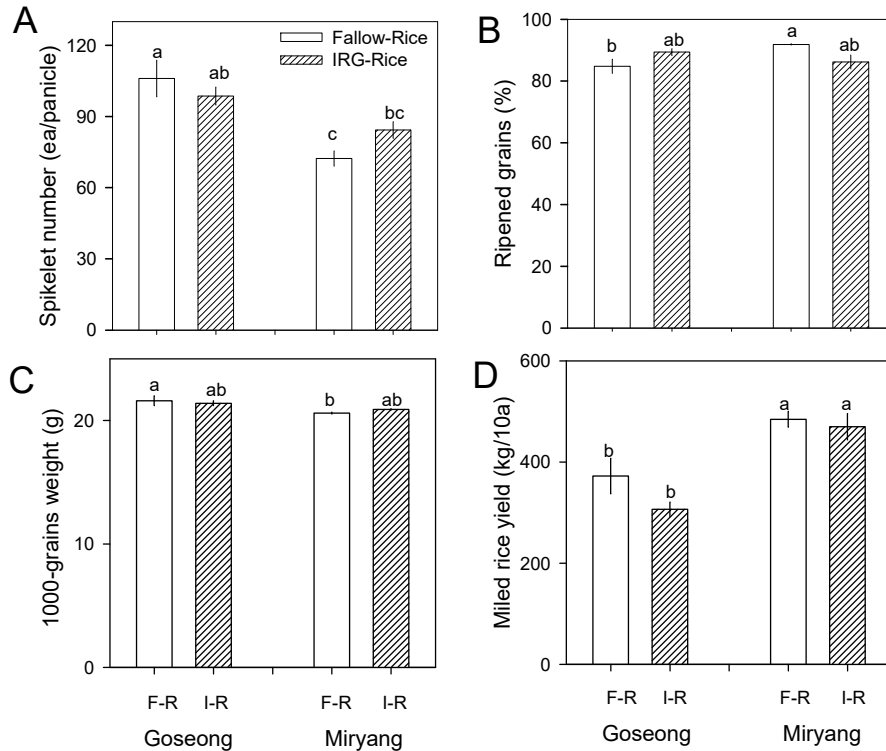
휴경 후 벼 재배와 이탈리안 라이그라스 후작으로 벼 재배 시 모두 간장은 밀양지역에서 다소 높았고 수장, 수수, 엽색도는 밀양보다 고성에서 높게 나타났다. 작부체계별로는 간장은 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 재배 시 다소 낮아졌으나, 수장, 수수, 엽색도는 이탈리안 라이그라스 재배 여부에 따라서 유의미한 차이를 보이지는 않았다(Table 2). 벼의 영양생장기 동안 온도가 높아지면 벼의 생육 속도가 빨라지게 되는데(Sang et al., 2018), Fig. 1A에서 살펴본 바와 같이 밀양이 고성지역보다 온도가 다소 높아 지상부인 간장의 신장으로 이어졌을 것으로 보인다. 그러나 영양생장기 이후의 생식생장에 있어서는 고온에 의해 피해를 받아 온도가 높은 밀양에서 수장과 수수는 짧고 적은 것으로 보인다. 온도구배환경 하에서 재배된 벼의 초장 변화에서도 대기온도보다 +3℃ 높은 온도 조건에서는 초장이 길지만, 유수분화 후 수수절간 신장과 이삭당 낱알 수는 +3℃ 높은 온도 조건에 의해 저해되는 것으로 보고된 바 있다(Oh et al., 2018). 한편 벼는 생식생장이 시작되는 유수분화기에 질소요구도가 가장 큰 것으로 알려지고 있는데(Diker and Bausch, 2003; Kim et al., 2006), Table 1에서 살펴본 바와 같이 고성의 논토양은 밀양에 비해 질소와 유기물 함량이 상대적으로 높아 수장과 수수에 우호적으로 작용하고 엽색도에도 영향을 미친 것으로 보인다.

수확 후에 백미수량은 고성에서 보다 밀양에서 높았으며, 수당립수, 백미천립중은 고성에서 높게 나타났다. 그리고, 고성지역에서는 백미수량, 수당립수, 백미천립중은 벼 단작에서 다소 높았으며, 등숙률은 이탈리안 라

이그라스-벼 재배답에서 다소 높은 것으로 나타났다. 밀양에서는 등숙률이 벼 단작에서 높은 반면에 수당립수와 백미천립중은 이탈리안 라이그라스-벼 재배답에서 높았다(Fig. 2). 일조시수의 증가는 수당립수의 증가를, 일조량 감소는 백미수량을 저하시키는 것으로 보고된 바(Lee et al., 2014; Shin et al., 2019), 고성지역에서 수당립수가 높은 것은 Fig. 1D에서 살펴본 바와 같이 등숙기(8월 20일~9월 30일)에 밀양 보다 일조시간이 다소 긴 때문으로 보인다. 더군다나, Fig. 1A와 Table 1에서 보는 바와 같이 벼 등숙기에 밀양보다 평균기온은 낮고 질소와 유기물 함량은 높은 것 또한 복합적으로 작용하였을 것으로 보인다. 그러나, 고성에 밀양 보다 일조시간이 다소 길지만 백미수량은 오히려 밀양 보다 낮아졌는데 수량 감소의 원인이 될 수 있는 풍속이 밀양 보다 높음에서 기인한 결과로 보인다.

### 3.4. 쌀의 품위 특성

두 지역의 작부체계별로 생산된 백미의 품질을 외형적으로 조사해 보면(Table 3), 완전미의 비율은 62.9~65.7%로 지역 간에 유의미한 차이가 없고, 작부체계에 따른 차이 또한 없었다. 그러나 불완전립에 있어서는 재배지역 간에 다소 차이를 보이는데 분상질립은 고성지역에서 밀양에서 보다 2배 이상 많았다. 분상질립은 강수량이 많을수록 또는 질소시비량이 증가함에 따라 증가하는 것으로 보고된 바(Lee et al., 1984; Won et al., 2005), 본 연구에서 고성지역에서 분상질립 발생이 높은 것은 Fig. 1에서 등숙기(8월 20일~9월 30일)에 밀양과 고성 두 지역의 강우 빈도와 강수량은 거의 유사하여 Table 1에서와 같이 고성지역 내 토양에서 전질소 함량이 높음에서 기인한 것으로 보인다. 또한 벼 재배기간동안 밀양과는



**Fig. 2.** Comparison of yield components (A, Spikelet number; B, Ripened grains; C, 1000-grains weight) and yield (D, Milled rice yield) of rice (*Oryza sativa* L. cv. Seilmi) grown under different cropping systems in Goseong and Miryang regions. Values are expressed as means  $\pm$  standard error of four or seven replicates. Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ( $p < 0.05$ ).

달리 고성지역의 풍속이 2.4 m/sec로 다소 높아 분상질립 발생에 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 한편, 추청벼, 새추청벼 및 일품벼 등 국내 시판 브랜드 쌀의 완전미 비율이 90% 이상이고(Kim et al., 2012), 밥맛이 좋다고 알려진 일본쌀 “고시히까리”가 90.7%로 높은 것으로 보고된 바 있어(Lee et al., 2012), 두 지역에서 생산된 벼의 완전미 비율은 70% 이하로 낮아 쌀의 품질을 향상시키기 위한 재배환경, 재배기술, 수확 방법 등에 대한 지속적인 관리 방안이 마련되어야 할 것으로 보인다. 쌀 품질에 대한 소비자의 선호도를 분석한 조사에 의하면, 쌀의 구매조건으로 쌀알이 온전한 형태를 갖는지가 중요한 것으로 나타나(RDA, 2001), 완전미 비율이 쌀 품질에 있어서 중요한 요인임을 알 수 있다. 따라서 완전미의 비율이 높은 고품질

쌀을 생산하기 위해 이앙시기나 수확시기를 달리한다든지 또는 질소시비량을 달리하여 새일미벼 생육에 알맞은 기후조건과 시비기준을 확립할 필요가 있을 것이다.

### 3.5. 쌀의 단백질, 아밀로스 및 수분 함량

백미의 밥맛과 관계가 깊은 주요 성분으로 단백질과 아밀로스, 그리고 수분 함량을 분석하였다(Table 4). 단백질과 수분 함량은 밀양에서 재배된 벼에 비하여 고성에서 재배된 벼에서 다소 높게 나타났으며, 각 지역의 작부체계에 따른 큰 차이는 없으나 밀양의 경우 벼 단작에 비해 이탈리아인 라이그라스-벼 이모작 재배답에서 단백질 함량과 수분 함량이 다소 높았다. 고성지역에서 재배된 벼에서 단백질 함량이 높은 것은 Table 1에서와 같이 논



**Table 3.** Characteristics of yield of rice (*Oryza sativa* L. cv. Seilmi) grown under different cropping systems in Goseong and Miryang regions

Growing area	Cropping systems	Percentage (%)				
		Head rice	Opaque rice	Damaged rice	Broken rice	etc.
Goseong	Fallow-Rice	62.9±3.3 <sup>2a</sup> y	15.1±1.6a	12.3±0.9a	9.6±1.4a	0.13±0.08a
	IRG-Rice	63.6±3.6a	16.2±1.8a	11.2±1.0a	9.0±1.3a	0.06±0.04a
Miryang	Fallow-Rice	64.9±5.1a	6.3±1.0b	15.8±2.9a	13.0±3.1a	0.04±0.02a
	IRG-Rice	65.7±8.1a	6.2±0.3b	14.4±3.8a	13.7±4.6a	0.04±0.04a

<sup>2</sup>Values are expressed as means ± standard error of four or seven replicates.

<sup>y</sup>Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ( $p < 0.05$ ).

**Table 4.** Palatability characteristics (moisture, protein and amylose content) of milled rice (*Oryza sativa* L. cv. Seilmi) grains harvested under different cropping systems

Growing area	Cropping systems	Moisture (%)	Protein content (%)	Amylose content (%)
Goseong	Fallow-Rice	12.9±0.23 <sup>2a</sup> y	9.25±0.13 <sup>2a</sup> y	17.5±0.6a
	IRG-Rice	12.9±0.48a	9.50±0.20a	17.6±0.4a
Miryang	Fallow-Rice	11.5±0.26b	7.19±0.08c	17.8±0.6a
	IRG-Rice	12.4±0.12ab	7.85±0.17b	16.6±0.3a

<sup>2</sup>Values are expressed as means ± standard error of four replicates.

<sup>y</sup>Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ( $p < 0.05$ ).

토양 내 질소와 유기물 함량이 높은데서 기인하는 것으로 보인다. 특히 이탈리안 라이그라스 후작 벼는 지역에 관계없이 벼 단작에 비해 단백질 함량이 다소 높았다. 단백질 함량이 높으면 영양학적으로 우수하다고 생각되어 지나, 식미의 관점으로 보면 경도가 높고, 점도가 낮아 식미에 부정적인 영향을 미친다(Son et al., 2002). 아밀로스 함량은 재배지역이나 작부체계에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 농촌진흥청 조사기준에 의하면 백미의 아밀로스 함량은 17~23% 수준으로(Lee, 2002), 고성과 밀양에서는 아밀로스 함량이 16.6~17.8%로 낮아 식미에 긍정적인 것으로 보인다. 따라서 벼의 수량과 미질 특성을 높이기 위해서는 재배지역의 기후를 고려하고, 사료작물 재배 시 시비량과 논 토양 내 잔존하는 질소 및 유기물 함량 등을 토대로 벼 재배 시 시비기준을 확립할 필요가 있을 것으로 보인다.

### 3.6. 쌀의 식미 및 호화 특성

Toyo 식미치는 고성에서 다소 높게 나타났지만, 두

지역 모두에서 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 재배로 인한 차이는 미미하였다. Toyo 식미치가 높다고 판정된 쌀은 실제 관능검사에서도 좋은 결과를 얻는데, 본 연구에서는 식미치가 낮아서 시판 브랜드 쌀 33종의 식미치 69.2-81.7%에 크게 미치지 못하는 것으로 나왔다(Kim et al., 2012). 단백질 함량은 쌀의 식미와 부의 상관관계를 보이는데, 단백질은 주로 쌀의 외곽층에 분포하며 전분입자를 둘러싸고 있어 취반 시 쌀의 내부 또는 전분 입자 내부로 수분이 흡수되는 것을 방해하여 밥이 단단하고 찰기가 떨어져 식미가 저하된다. 아밀로스 함량도 높을수록 취반 시에 밥의 끈기는 작아지고 부피와 경도는 커져 식미가 저하된다(Choi et al., 1997). 아밀로스 함량은 취반 시 호화점도 및 밥의 경도에 영향을 주어 푸석푸석해지고 밥맛이 저하되는 인자로서 식미·취반 특성을 결정하는 가장 중요한 요소이다(Heu and Moon, 1974; Bao et al., 2002). 본 연구에서 Toyo 식미치와 단백질, 또는 아밀로스 함량과의 상관성이 없었으며, 기존에

**Table 5.** Toyo value and RVA pasting viscosities of milled rice (*Oryza sativa* L. cv. Seilmi) grains harvested under different cropping systems in Goseong and Miryang regions

Growing area	Cropping systems	Toyo value	Pasting Temperature (°C)			Viscosity (RVU)		
			Peak	Trough	Final	Breakdown	Setback	
Goseong	Fallow-Rice	65.0±0.6 <sup>a</sup> <sup>y</sup>	72.6±0.3b	183.1±1.1c	113.1±4.0b	194.2±3.8b	70.0±3.4b	11.1±2.9a
	IRG-Rice	62.9±1.4ab	72.0±0.2b	164.4±3.6d	95.1±1.4c	169.9±2.6c	69.3±2.6b	5.6±1.3a
Miryang	Fallow-Rice	60.3±0.5b	74.8±0.5a	229.3±6.7a	138.1±8.1a	223.4±8.5a	91.1±2.5a	-5.9±3.3b
	IRG-Rice	62.2±1.8ab	74.5±0.3a	204.6±3.5b	116.8±2.5b	198.0±3.9b	87.8±1.3a	-6.6±1.9b

<sup>a</sup>Values are expressed as means ± standard error of four replicates.<sup>y</sup>Significant differences among treatments are indicated by the different letters within each column ( $p < 0.05$ ).

알려진 것과는 전혀 일치하지 않는 결과들을 얻었다. 또한 Toyo 식미치와 아밀로그램상의 호화특성과도 연관성을 찾기가 어려웠다. 호화온도, 최고점도, 최저점도, 최종점도, 강하점도는 모두 고성에서 보다 밀양에서 높았으며, 작부체계별로는 벼 단작에서 높게 나타났다(Table 5). 그리고 치반점도는 밀양에서 낮았으며, 벼 단작에서 보다 이탈리안 라이그라스-벼 이모작에서 다소 낮았다. 호화온도는 가열시 전분 입자가 호화되어 점도가 처음으로 증가하는 시점의 온도를 의미하며, 아밀로스 함량과 호화온도는 높은 음의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나, Table 4에서 고성과 밀양간에 아밀로스 함량이 유의미한 차이를 보이지 않지만 호화온도는 밀양에서 다소 높게 나타나고 있어 아밀로스 함량 이외에 탄수화물 성분 또는 공존하는 성분들의 분자구조에 대한 검토도 병행하여야 할 것으로 보인다. 호화 특성 중 최고점도 및 강하점도가 높고 최종점도와 치반점도가 낮으면 식미가 양호하게 되는데(Lee et al., 2012), 밀양에서는 최종점도도 높은 것으로 나타나고 있어 호화특성에 대한 세부적인 연구가 더 진행되어야 할 것으로 보인다.

효율적인 작부체계는 농경지의 이용률을 높여 농업소득을 올리고 지력을 유지·증진하여 지속적 농업을 가능하게 하는데 매우 중요한 농업체계이다. 현재 농가에서 수행되고 있는 벼 단작 중심 작부체계가 여러 가지 식량작물이나 사료작물과 연계하여 지역 및 기상환경에 따라 동계 및 춘계로 구분하여 다양한 유형의 이모작 작부체계로 전환되고 있다. 본 연구에서 벼의 전작으로 이탈리안 라이그라스를 재배하였을 때 밀양에서는 휴경논에 비해 토양 특성의 변화가 미미하였으나 고성의 논토양에서는 pH, 전기전도도, 유기물, 전질소, 유효인산, K, Ca, Mg 함량이 모두 크게 증가하였다. 이는 지역에 따라 또는 재배농가에 따라 이탈리안 라이그라스 재배방법이나 재배관행이 다름에서 오는 결과로 볼 수 있다. 그리고, 이탈리안 라이그라스 후작으로 벼를 재배하였을 때 간장은 다소 작아졌으나 수장, 수수, 엽색도는 유의미한 차이를 보이지는 않았다(Table 2). 그리고, 등숙률이 고성에서는 높는데 반해 밀양에서는 낮아지고, 수당립수와 백미천립중은 고성지역에서 다소 낮아지는데 반해 밀양에서는 수당립수와 백미천립중은 높아지는 등 지역에 따라 상반된 결과를 보여주고 있다(Fig. 2). 식미치는 이탈리안 라이그라스 재배로 다소 낮아졌으나 그 차이가 미미

하였으며 호화온도, 최고점도, 최저점도, 강하점도가 낮게 나타났다(Table 5). 뿐만 아니라 완전미나 불완전미 비율, 단백질과 아밀로스 함량 또한 이탈리안 라이그라스 재배로 인한 유의한 차이가 없었다. 전체적으로 보아 이탈리안 라이그라스 재배로 인한 부정적인 영향은 미미하고 오히려 지역 간의 차이가 더 큰 것으로 나타나, 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 재배는 농가에 장려할 만한 바람직한 작부체계로 보인다. 다만, 고성의 논토양에서 이탈리안 라이그라스 재배로 인한 pH, 전기전도도, 유기물, 전질소, 유효인산, K, Ca, Mg 함량이 크게 증가하는데서 볼 수 있듯이 지역에 따라 토양 특성에 알맞은 이탈리안 라이그라스 재배 시 시비관리를 포함한 재배 방법을 확립할 필요가 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 남부지역 고성과 밀양의 논에 이탈리안 라이그라스-벼 이모작 작부체계에서 토양 특성의 변화를 비롯하여 새싹미벼의 생산성과 미질 특성을 평가하였다. 두 지역의 등숙기 동안의 평균기온은 적정 수준보다 1°C 정도 높았고 강우일수가 많고 일조시간이 적어 등숙에는 다소 불리한 조건이었다. 토양은 이탈리안 라이그라스 재배 후에 고성에서 pH, 전기전도도, 그리고 유기물, 전질소, 유효인산, K, Ca, Mg 함량이 모두 증가하였다. 특히 전질소와 유효인산 함량이 월등히 높았다. 밀양에서는 이탈리안 라이그라스 재배로 전기전도도와 전질소, Mg, Na 함량 등이 다소 증가하였다. 이는 이탈리안 라이그라스 재배로 토양의 물리성이나 화학적 특성이 개선할 수 있음을 보여주고 있다. 이탈리안 라이그라스 후작으로 벼 재배시 간장이 고성과 밀양 두 지역에서 모두 벼 단작 재배에 비해 다소 작아졌으나, 수장, 수수, 엽색도는 차이가 없었다. 완전미의 비율은 이탈리안 라이그라스 재배 여부에 따라 차이가 없으나, 불완전립 중 분상질립은 고성에서 2배 이상 많았는데 토양 내 전질소 함량이 높은데서 기인한 것으로 보인다. 단백질 함량은 두 지역에서 모두 벼 단작에 비해 이탈리안 라이그라스-벼 재배답에서 다소 높았다. 아밀로스 함량은 이탈리안 라이그라스 재배 여부에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. Toyo 식미치 또한 이탈리안 라이그라스 재배 여부에 따라서 차이가 크지 않았다. 그러나, 호화특성 중 최고

점도와 강하점도는 이탈리아 라이그라스 재배로 인하여 낮아졌다. 이러한 결과들은 이탈리아 라이그라스 재배가 식미저하의 요인으로 작용할 것으로 보이지만 이탈리아 라이그라스 재배로 인한 부정적인 영향은 미미한 것으로 보이며, 이탈리아라이그라스벼 이모작 재배는 농가에 장려할 만한 바람직한 작부체계로 보인다. 그러나 벼의 수량과 미질 특성을 높이기 위해서는 사료작물 재배 후 논 토양 내 전질소와 유기물 함량 등을 고려한 벼 재배 시 시비기준을 확립할 필요가 있을 것으로 보인다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호:PJ01380 802)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

- Ahn, E. K., Jeong, E. G., Park, H. M., Jung, K. H., Hyun, U. J., Ku, J. H., 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.
- Bao, J. S., Sun, M., Corke, H., 2002, Analysis of genetic behavior of some starch properties in indica rice (*Oryza sativa* L.): Thermal properties, gel texture, swelling volume, *Theor. Appl. Genet.*, 104, 408-413.
- Choi, H. C., Hong, H. C., Nahm, B. H., 1997, Physicochemical and structural characteristics of grain associated with palatability in japonica rice, *Korean J. Breed.*, 29, 15-27.
- Diker, K., Bausch, W. C., 2003, Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen, *Biosys. Engineer.*, 86, 411-420.
- Heu, M. H., Moon, H. P., 1974, Basic studies for the breeding of high protein rice IV. Effect of short-day and high-temperature treatment on the amylose and crude protein content of rice, *Korean J. Crop Sci.*, 14, 129-133.
- Jeon, W. T., Park, H. M., Chung, J. B., Park, K. D., Park, C. Y., Yang, W. H., 2005, Effect of reduced fertilization considering residual soil nutrients on rice yield and salt removal in greenhouse vegetables and rice cropping system, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 38, 85-91.
- Ju, J. I., Kang, Y. S., Seong, Y. G., Ji, H. J., Lee, H. B., 2012, Study on high forage production in double cropping systems with barley and corn at paddy field in middle region, *J. Korean Grassland Forage Sci.* 32, 258-292.
- Juliano, B. O., 1985, Physicochemical properties of rice, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. 539.
- 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.
- Kim, H. J., Chung, I. H., 2020, Locational characteristics and shrinking prediction of rice paddy fields in south Korea, *J. Agric. Ext. Comm. Develop.*, 27, 75-87.
- Kim, M. H., Fu, J. D., Lee, B. W., 2006, Yield response to nitrogen topdress rate at panicle initiation stage under different growth and nitrogen nutrition status of rice plant, *Korean J. Crop Sci.*, 51, 571-583.
- Kim, T. H., Hur, Y. J., Oh, S. H., Lee, J. Y., Cho, J. H., Han, S. I., Lee, J. H., Baek, D., Song, Y. C., Choi, W. Y., Nam, M. H., Park, D. S., Kwon, Y. U., Shin, D., 2016, Analysis of growth characteristics and yield components according to rice varieties between on irrigated and partially irrigated rice paddy field, *Korean J. Crop Sci.*, 61, 17-24.
- Lee, J. C., Ahn, S. B., 1984, The climatic influence on spikelet formation and yield of lowland rice II. Climatic consumptive effect for spikelet formation, *Korean J. Crop Sci.*, 29, 366-375.
- Lee, J. H., Choi, J. H., Kim, S. Y., Lee, J. Y., Kim, C. S., Yeo, U. S., Song, Y. C., Sohn, Y. B., Oh, M. K., Kang, H. W., Nam, M. H., 2012, Correlation analysis between head rice ratio and agronomic traits in RILs for developing a promising rice cultivar adaptable to the early-transplanting cultivation, *Korean J. Crop Sci.*, 57, 1-6.
- Lee, J. H., Lee, J. Y., Yoon, Y. N., Kim, S. Y., Hur, Y. J., Yeo, U. S., Sohn, Y. B., Song, Y. C., Park, D. S., Nam, M. H., Cho, J. H., 2015, Enhancement of panicle blast resistance in Korean rice cultivar 'Saeilmi' by marker assisted backcross breeding, *Plant Breed Biotechnol.*, 3, 1-10.
- Lee, M. H., 2002, Rice quality and eating quality evaluation, Rural Development Administration, Suwon, Korea, 75-102.
- Lee, M. H., Kang, S. G., Sang, W. G., Ku, B. I., Kim, Y. D., Park, H. K., Lee, J. H., 2014, Change of photosynthetic

- efficiency and yield by low light intensity on ripening stage in japonica rice, Korean J. Agri. Sci., 41, 327-334.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS), 2010, Fertilization standard on crops, NAAS, Suwon, Korea, 16-23.
- Oh, D., Ryu, J. H., Cho, Y., Kim, W., Cho, J., 2018, Evaluation of yield and growth responses on paddy rice under the extremely high temperature using temperature gradient field chamber, Korean J. Agric. Forest Meteo., 20, 135-143.
- Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen Jr, L. H., Sheehy, J. E., Thomas, J. M. G., 2006, Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress, Field Crop. Res., 95, 398-411.
- Rural Development Administration (RDA), 2001, Production method on high-quality rice, RDA, Suwon, Korea, 14.
- Rural Development Administration (RDA), 2012, A basic manual for the agricultural technology dissemination: Stable production technology for high-quality rice, RDA, Suwon, Korea, 53.
- Sang, W. G., Cho, H. S., Kim, J. H., Shin, P., Baek, J. K., Lee, Y. H., Cho, J. I., Seo, M. C., 2018, The change of grain quality and starch assimilation of rice under future climate conditions according to RCP 8.5 scenario, Korean J. Agric. Forest Meteo., 20, 296-304.
- Shin, J. H., Han, C. M., Kwon, J. B., Kim, S. K., 2019, Effect of climate on the yield of different maturing rice in the Yeongnam inland area over the past 20 years, Korean J. Crop Sci., 64, 193-203.
- Son, J. R., Kim, J. H., Lee, J. I., Youn, Y. H., Kim, J. K., Hwang, H. G., Moon, H. P., 2002, Trend and further research of rice quality evaluation, Korean J. Crop Sci., 47, 33-54.
- Song, Y. S., Park, W. K., Lee, Y. J., Lee, J. S., Yun, H. B., 2011, Estimation of nitrogen optimum level for rice planting after italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivation, Korean J. Soil Sci. Fert., 44, 448-451.
- Won, J. G., Lee, S. H., Choi, J. S., Park, S. G., Ahn, D. J., Park, S. D., Son, J. K., 2005, Yearly variation of rice quality in Gyeongbuk province, Korean J. Crop Sci., 50, 69-76.
- 
- Junior Researcher Scientist. Seo-Young Oh  
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science  
osoonja@korea.kr
  - Senior Researcher Scientist. Seong-Hwan Oh  
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science  
osh0721@korea.kr
  - Junior Researcher Scientist. Jong-Ho Seo  
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science  
sseo@korea.kr
  - Junior Researcher Scientist. Ji-Su Choi  
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science  
choijisu24@korea.kr