

# 논에서 벼 대체작물의 전작 재배가 조경밀의 곡물 생산성과 밀가루의 품질에 미치는 영향

오서영<sup>1\*</sup>, 서종호<sup>1</sup>, 최지수<sup>1</sup>, 오성환<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립식량과학원 남부작물부 논이용작물과, 농업연구사, <sup>2</sup>농업연구원

## Effects of Pre-cropping with Rice (*Oryza sativa* L.) Alternative Crops on Grain Yield and Flour Quality of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L. 'Jokyoung') on the Paddy Fields

Seo Young Oh<sup>1\*</sup>, Jong Ho Seo<sup>1</sup>, Jisu Choi<sup>1</sup> and Seong Hwan Oh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Researcher and <sup>2</sup>Senior Researcher, Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Miryang 50424, Korea

**Abstract** - The grain yield and flour quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L. 'Jokyoung') were investigated in the paddy fields in which the double-cropping of wheat linked to rice (*Oryza sativa* L.) and its alternative crops [black soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), sesame (*Sesamum indicum* L.), and perilla (*Perilla frutescens* (L.) Britton)] was applied. In the soils in which black soybean, sesame, and perilla as pre-crops were cultivated, the soil pH was higher and the electrical conductivity was lower than in the rice pre-cropped soil. In addition, the available phosphate (Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), and contents of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> were higher than in the rice pre-cropped soil. Winter wheat growth characteristics such as culm length, spike length, number of spikes and grains were generally favorable in the black soybean pre-cropped soil. However, the grain yield of winter wheat increased in the black soybean, sesame, and perilla pre-cropped soils by 100 kg/10a or more than in the rice pre-cropped soil. Furthermore, protein content and SDS-sedimentation value of the flour were higher, while amylose content was slightly lower, in the black soybean, sesame, and perilla pre-cropped soils than in rice pre-cropped soil. These results suggest that cultivation of rice alternative crops such as sesame, black soybean, and perilla as pre-crops in paddy soil could improve the physical and chemical properties of the soil and contribute to producing high-quality wheat flour more advantageous for the baking process.

**Key words** – Double-cropping systems, Flour quality, Grain yield, Paddy field, Rice alternative crops, Winter wheat

### 서 언

세계적으로 많이 소비되고 있는 주요 식량작물로 벼(*Oryza sativa* L.), 밀(*Triticum aestivum* L.), 옥수수(*Zea mays* L.), 보리(*Hordeum vulgare* L.), 콩(*Glycine max* (L.) Merr.), 감자(*Solanum tuberosum* L.), 고구마(*Ipomoea batatas* L.) 등이 있다. 그 중 식용으로 많이 사용되는 벼, 밀, 옥수수를 세계 3대 곡물이라 하며, 이들을 포함하는 곡물의 생산량과 가격은 세계

경제에 큰 영향을 줄 만큼 중요하다. 이러한 관계로 각국의 곡물 자급률은 식량안보에 있어서 중요한 요소이나 우리나라는 벼를 제외하고는 주요 곡물들의 자급률이 매우 저조하며 대부분을 수입에 의존하고 있어 이에 대한 대책과 노력이 절실히 필요하다(Park *et al.*, 2019). 이에 대한 일환으로 쌀 수급 안정화와 곡물이나 사료작물의 자급률 향상을 위해 논을 이용한 밭작물 중심 논 작부체계 개발의 필요성이 증대되고 있다. 남부지역 논에서는 벼의 후작으로 겨울철에 이탈리아안 라이그라스(*Lolium multiflorum* Lam.; IRG), 호밀(*Secale cereale* L.), 귀리(*Avena sativa* L.) 등 사료작물을 재배하는 이모작 작부체계가 축산농

\*교신저자: E-mail osoonja@korea.kr

Tel. +82-55-350-1166

가를 중심으로 이루어지고 있으며, 이에 대한 연구도 많이 진행되고 있다(Oh *et al.*, 2021; 2022). 그러나, 벼 후작으로 논에서 사료용 밀 생산에 대한 연구는 다수 수행되었으나 곡물 생산을 위한 밀 재배에 대한 연구는 미흡하다. 더군다나, 재배지역의 토양별 밀의 수확량은 밭토양에 비해 논토양에서 감소하고(Kang *et al.*, 2014b; RDA, 2001), 간척지에서는 매우 크게 감소하는 것으로 보고되어(Cho *et al.*, 2014), 안정적인 밀 생산을 위해서는 토양 개량, 품종 육성, 재배법 등에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

국내 밀의 1인당 연간 소비량은 2015년 33.7 kg에서 2020년 34.3 kg으로 증가하였으며, 밀은 쌀 다음으로 소비가 많은 제2의 주곡 작물이다. 그러나, 국내 밀 재배 면적은 2021년 기준 1만ha 내외이며, 지난 5년간의 평균 밀 자급률은 1.3%로 매우 저조하다(KOSIS, 2021). 이는 국내산 밀이 수입산에 비하여 품질은 떨어지는데 반하여 가격이 비싸고 일시에 대량으로 납품을 받기가 어렵기 때문이며 이로 인해 소비자나 기업체들로부터 외면당하고 있다. 최근 정부는 2025년까지 밀 자급률 5.0%를 우선적으로 달성하고, 2030년 내에 10.0% 달성을 목표로 설정하였으며, 정책적 대안으로 밀 산업 육성법을 제정하였다(MAFRA, 2020). 국내 밀 자급률 증대를 위해서는 논을 이용한 밀 재배 확대가 필요하며, 재배지역의 환경조건과 가공 용도에 맞는 품종을 선택하여 재배하는 것이 중요하다. 농가에서 주로 재배되고 있는 밀 품종은 금강, 백중, 연백, 조경 등이며, 재배지역에 따라 선호하는 품종이 각기 다르다(Choi *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2014a; Kim *et al.*, 2013). 특히, 조경밀은 단백질 함량이 다른 품종에 비해 높고 질이 우수하여 제빵용으로 주로 이용되고 있다.

한편, 벼는 생육일수가 140~180일로 길어(Kim, 2010), 벼를

수확한 후에 밀을 파종하기 위해서는 논을 말리는 기간이 필요하다. 또한, 토양물리성도 덜 개선되어 파종작업에도 더 많은 노력이 필요하다. 그러나, 논에서 답전순환을 실시하면 건조효과에 의해 토양의 저장양분을 유효화시켜 작물이 이용할 수 있게 할 뿐만 아니라 토양의 산화에 따라 환원층 위치가 점차적으로 낮아지고 뿌리가 자랄 수 있는 근역이 확대될 수 있어, 전작으로 벼를 재배하였을 때 보다 밭작물을 재배하는 것이 밀 생산에 유리할 것으로 보인다. 따라서, 벼 대체용으로 옥수수, 콩 등 밭작물 재배가 요구되며, 일부 지역에서는 이들 작물을 재배하는 논 기반 2모작 작부체계에 대한 연구가 진행되고 있다(Seo *et al.*, 2021).

본 연구에서는 참깨, 들깨, 검정콩과 같은 벼 대체 밭작물과 연계한 밀 이모작 작부체계를 적용한 논에서 조경밀 생산성과 밀가루의 품질 특성을 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료 및 재배조건

경상남도 밀양의 국립식량과학원 남부작물부 논 시험포장을 이용하여 하절기 동안 전작으로 벼(*Oryza sativa* L. 'Daebo'), 검정콩(*Glycine max* (L.) Merr. 'Cheongja3'), 참깨(*Sesamum indicum* L. 'Goenbaek'), 들깨(*Perilla frutescens* (L.) Britton 'Dayu')를 재배하였던 포장에 동절기에 밀(*Triticum aestivum* L. 'Jokyung')을 재배하였다(Fig. 1). 시험 전 논 포장은 연속적으로 벼가 재배되었으며, 토양의 가밀도와 공극률은 각각 1.75 g/cm<sup>3</sup>와 33.8%이며, 토양의 pH는 5.82, 전기전도도는 0.58 dS/m이다. 벼와 대체작물인 검정콩, 참깨, 들깨 등의 전작 작물들은 2020년 6월 19일에 이앙 또는 파종하였다. 그 중 벼는 30일

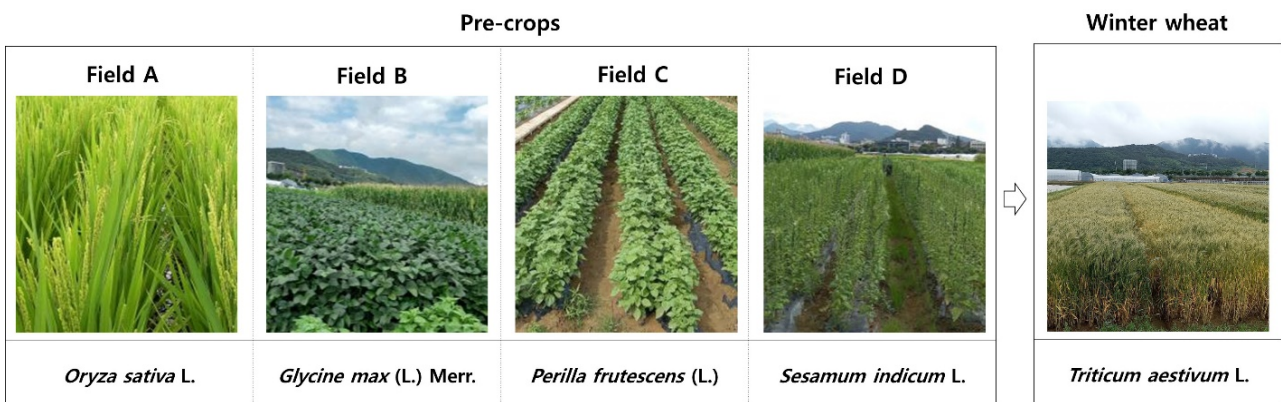


Fig. 1. Pictures showing the growth of pre-crops (rice, black soybean, perilla, and sesame) and winter wheat in the paddy fields.

자란 유묘를 30×14 cm 간격으로 주당 3본씩 이상하였으며, 비료는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 9.0-4.5-5.7 kg/10a 사용하였는데, 인산은 전량 기비로, 질소와 칼륨은 각각 기비:분얼비:수비(50:20:30)와 기비:수비(70:30)로 분시하였다. 검정콩, 참깨, 들깨는 각각 60×15 cm, 30×15 cm, 30×25 cm 간격으로 직접 점파하였으며, 비료는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 작물별로 각각 3.0-3.0-3.4 kg/10a, 2.9-3.1-3.2 kg/10a, 4.0-3.0-2.0 kg/10a 사용하였다. 전작 작물들의 수확은 참깨(9월 15일), 벼(9월 29일), 들깨(10월 12일), 검정콩(10월 18일) 순으로 이루어졌으며, 수확 후 밀 파종 10일 전에 로터리 정지작업을 실시하였다. 밀은 2020년 10월 30일에 16 kg/10a을 휴령광산파 하였으며, 월동 후 이듬 해 6월 상순에 수확하였다. 비료는 파종 전에 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 4.0-8.3-4.1 kg/10a 사용하였으며, 질소는 생육 재생 직후와 20일 후에 각각 2.7 kg/10a씩 추비하였다. 기타 재배관리는 남부작물부 각 작물별 표준재배법에 준하여 실시하였다.

### 기상환경 및 토양의 이화학적 특성 분석

대기온도, 상대습도, 강우량, 풍속, 일사량 등 대기 기상환경은 시험지 인근에 위치한 밀양지역의 기상대(35°49'14"N 128°74'41"E, 8 m above sea level)에서 연구기간(2020년 5월~2021년 6월) 동안 측정된 자료를 사용하였다.

토양시료는 전작 작물을 재배하였던 논 포장에서 각 작물을 수확한 후에 각각 6반복으로 채취하여 이화학적 특성을 분석하는데 이용하였다. 토양의 산도(pH)와 전기전도도(electrical conductivity: EC)는 토양시료와 증류수를 1:5의 비율로 혼합하여 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)로 측정하였다. 토양 유기물(organic matter: OM)은 Tyurin법으로, 전질소(total nitrogen: T-N)는 Kjeldahl법으로, 유효인산(available phosphate: Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 Lancaster법으로 함량을 측정하였다. 그리고, 토양 내 치환성 양이온(K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>)은 1M ammonium acetate (pH 7.0)로 침출하여 유도결합플라즈마 분광광도계(Perkin-Elmer Optima 3300DV, Waltham, MA, USA)로 분석하였다.

### 밀의 생육 특성 및 곡물 수확량 조사

밀의 생육 특성은 농촌진흥청 연구조사 분석기준(RDA, 2012)에 따라 조사하였다. 즉, 출수기는 전체 경수 중에 40%가 출수한 날로 하고, 성숙기는 80% 이상의 이삭이 황변한 날로 하였다.

그리고 간장, 수장, 수수, 수당립수 등은 수확기(출수 후 55일)에 측정하였다. 간장은 지면에서 이삭 목까지의 길이를, 수장은 이삭 목에서 이삭 끝까지의 길이를 측정하였고, 단위 면적당 수수는 생육이 고른 3개소에서 25 × 50 cm에 있는 총 이삭수를 측정하고 1 m<sup>2</sup>당 이삭수로 환산하였다. 수당립수는 생육이 균일한 장소에서 무작위로 20개 이삭을 채취하여 탈곡 후 조사하였다. 리터중은 탈곡한 종자를 2.0 mm 종목체를 통과하지 않은 종자를 리터중 측정기를 이용하여 측정하였으며, 천립중도 미숙립을 제거한 종자에서 1,000립의 무게를 측정하였다. 곡물수량은 밀 이삭을 수확하여 탈곡 건조 후(수분 14% 기준) 미숙립을 제외한 종실을 평량하여 10 a당으로 환산하여 제시하였다.

### 밀가루 품질 검사

정선된 밀은 템퍼링과정을 거치고 제분기(Buhler MLU-202 laboratory mill, Bühler AG, Uzwil, Switzerland)를 이용하여 분쇄하고, 120메쉬 체(입자 크기 125 μm 이하)를 통과한 밀가루를 4℃ 냉장실에 보관하여 품질을 분석하는데 사용하였다. 단백질 함량은 밀가루 시료를 질소/단백질 분석기(Kjeltec 8400, Foss, Hillerod, Denmark)를 이용하여 전질소 함량을 구한 다음 질소계수 5.75를 곱하여 산출하였고, 수분함량 14%를 기준으로 보정하였다. 회분 함량은 700℃ 직접회화법을 이용하여 측정하였고, 아밀로스 함량은 Juliano (1985)의 방법에 따라 수행하여 분석하였다. 손상전분 함량은 Megazyme kit (K-SDAM, Bray Business Park, Bray, Ireland)를 이용하여 분석하였고, 침전가(sodium dodecyl sulfate sedimentation, SDSS)는 SDS-Sedimentation test 방법을 이용하여 분석하였다. Wet 글루텐은 AACCI Method 38-12 방법으로 Glutomatic 2200 (Perten instrument, Hägersten, Sweden)을 사용하여 함량을 측정하였고, 글루텐 지수는 wet 글루텐 중 특별히 제작된 체를 통과하지 않고 남아있는 글루텐의 백분율로 나타내었다. 그리고, Falling number는 AACCI Method 56-81B에 따라서 Falling Number 1900 (FN1900, Perten Instruments, Springfield, IL, USA)을 이용하여 측정하였다.

### 통계분석

모든 통계분석은 SPSS 통계 패키지 18.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)로 수행하였으며, 전작 작물에 따른 차이를 알아보기 위하여 일원 분산분석을 실시하였으며, Duncan의 다중검정( $p < 0.05$ )으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 대기 환경요인의 변화

연구기간 동안 논 포장 인근의 일평균 대기온도와 상대습도, 강수량, 풍속, 일조시간 등의 변화를 살펴보았다(Fig. 2). 벼를 비롯한 김정콩, 참깨, 들깨 등 전작물 재배기간(2020년 6월 19일~2020년 10월 20일) 동안의 일평균 기온은 22.8°C (최저기온 18.5°C, 최고기온 28.0°C)이고, 일평균 상대습도는 73.1%, 누적

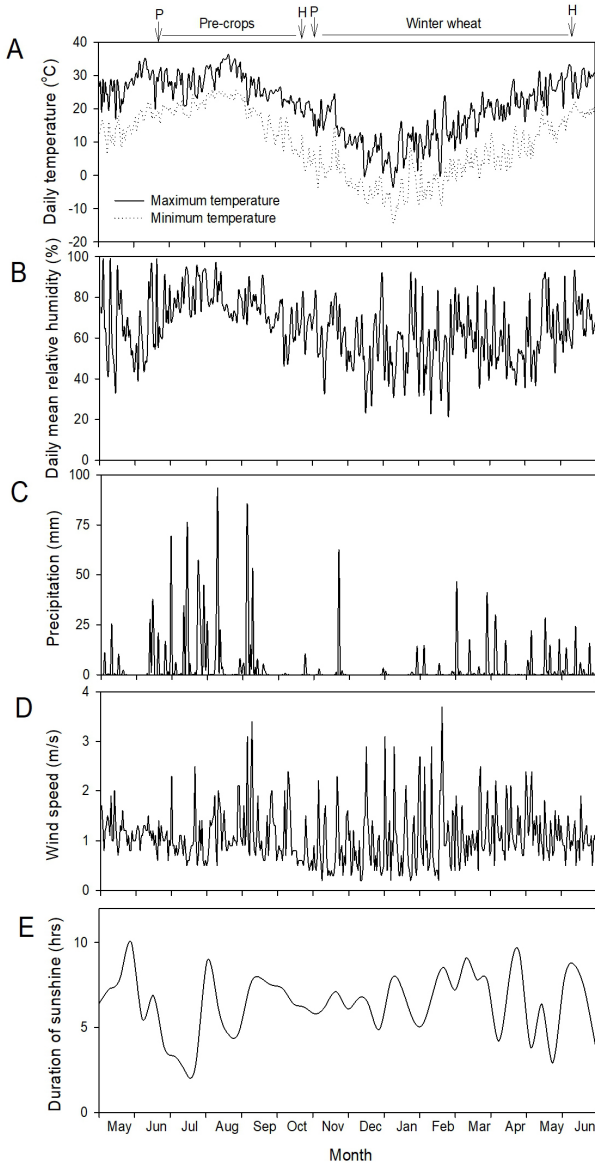


Fig. 2. Changes of daily air temperature (A), daily mean relative humidity (B), daily precipitation (C), daily mean wind speed (D), and daily sunshine duration (E) in the paddy field during the experimental period (June 2020 - May 2021).

강우량은 1042.3 mm, 평균풍속은 1.1 m/sec, 누적 일조시간은 884.2 hr였다. 그리고, 밀 재배기간(2020년 10월 30일~2021년 6월 9일) 동안의 일평균 기온은 22.7°C (최저기온 18.7°C, 최고기온 27.7°C)이고, 일평균 상대습도는 75.4%, 누적 강우량은 932.3 mm, 평균풍속은 1.0 m/sec, 누적 일조시간은 689.1 hr였다.

밀의 최적 생육온도는 17~23°C이며(Porter and Gawith, 1999), 우리나라에서 재배되는 밀은 대부분 겨울밀로 내한성이 높은 품종은 1월 최저 평균기온이 10°C에서도 월동이 가능하나 겨울(12월부터 이듬 해 2월)에 지나치게 저온일 때에는 지상부가 동사하거나 분얼수가 감소하게 된다(RDA, 2001). 본 연구에서는 11월 평균온도가 9.4°C이며, 이듬 해 1월 최저기온은 -5.3°C로 낮지만 저온에 의한 피해 증상이 나타나지 않아 월동에는 지장이 없는 것으로 보였다. 그리고 2월 하순에는 평균 온도가 7.0°C 이상으로 상승하여 정상적으로 분얼이 이루어지는 등 생육이 재생되었다. 그리고 밀 파종기 이후에 몇 차례의 강우는 종자가 발아하는데 적절하게 작용하였을 것으로 보이며, 출수기인 4월 중순부터 5월 하순까지 20 mm 이상의 강우가 빈번하게 있으나 생육에는 큰 지장을 주지는 않은 것으로 보였다. 다만, 5월 등속기에는 강우 빈도가 잦은 편으로 인해 수발아 등 습해가 발생할 수 있다. 그리고 풍속은 1.0 m/sec로 낮아 밀 재배 시 도복에 의한 피해는 발생하지 않았으나 일부 포장에서 감부기병이 드물게 발생하여 이에 대한 방제가 필요할 것으로 보인다(데이터 미 제시).

### 토양의 화학적 특성

전작으로 김정콩, 참깨, 들깨를 재배하였던 포장은 벼를 재배한 논보다 토양의 pH는 높고, 전기전도도는 낮은 특성을 보였다. 그리고 유효인산(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Ca<sup>2+</sup>과 Mg<sup>2+</sup> 함량은 벼를 전작으로 재배하였던 토양보다 높았고 Na<sup>+</sup> 함량은 다소 낮았다. 그리고, 전작으로 김정콩을 재배하였던 포장은 유기물과 전질소 함량이 높았으며, 들깨를 재배하였던 포장은 K<sup>+</sup> 함량이 높았다(Table 1). 이러한 토양의 특성을 밀 재배를 위한 토양의 적정기준(NAAS, 2010)과 비교하였을 때, 김정콩, 참깨, 들깨와 같은 밭작물을 전작으로 재배하였던 토양의 pH는 적정기준보다 다소 높고, 유효인산 함량은 벼를 전작으로 재배하였던 토양보다는 2배 이상 높지만 적정기준 보다는 낮음을 알 수 있다. 반면에 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 함량은 적정기준 범위를 다소 초과하였다. 그리고 유기물 함량은 전작으로 김정콩을 재배하였던 토양에서만 적정기준이며, 다른 3개의 토양에서는 낮았다. 답전윤환 시 토양이 화학성이 개선되고 잠재지력이 증대될 수 있는데, 본 연구에서

Table 1. Chemical characteristics of soils after the cultivation of four different pre-crops in the paddy fields

| Pre-crop cultivation   | pH (1:5)          | EC (dS/m) | OM (g/kg) | T-N (g/kg) | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg) | Exchangeable cations (cmol/kg) |                  |                  |                 |
|--|-------------------|-----------|-----------|------------|---|--------------------------------|------------------|------------------|-----------------|
|  |                   |           |           |            |   | K <sup>+</sup>                 | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> |
| Rice   | 6.44 <sup>b</sup> | 0.39a     | 18.1ab    | 3.46a      | 36.5b                                     | 0.44ab                         | 7.12b            | 2.03b            | 0.17a           |
| Black soybean  | 7.25a             | 0.28b     | 20.5a     | 3.75a      | 90.8a                                     | 0.41ab                         | 8.67a            | 2.87a            | 0.11c           |
| Sesame   | 7.19a             | 0.27b     | 17.4b     | 2.99b      | 72.2a                                     | 0.34b                          | 8.45a            | 2.87a            | 0.15ab          |
| Perilla  | 7.53a             | 0.31ab    | 17.5b     | 2.92b      | 76.8a                                     | 0.59a                          | 8.92a            | 2.92a            | 0.13bc          |
| Optimum ranges of soil conditions for wheat cultivation <sup>x</sup> | 6.5-7.0           | < 2.0     | 20-30     | -          | 150-250                                   | 0.45-0.55                      | 6.0-7.0          | 2.0-2.5          | -               |

<sup>a</sup>Values are expressed as means of six 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 wheat field were cited from National Academy of Agricultural Science (2010).

도 벼를 전작으로 재배하였던 토양에서보다는 검정콩, 참깨, 들깨와 같은 밭작물을 전작하였던 토양에서 pH는 높고 유효인산, Ca<sup>2+</sup>과 Mg<sup>2+</sup> 함량은 증가하였다. 그리고, 본 연구진이 논 토양에서 밀 재배 전에 전작으로 벼 대신에 콩을 재배하였을 때 토양의 가밀도는 1.65 g/cm<sup>3</sup>에서 1.54 g/cm<sup>3</sup>로 낮아지고, 공극률은 37.7%에서 41.9%로 커지는 것을 확인한 바 있다(Seo *et al.*, 2021). 이러한 결과는 논 토양에서 밭작물 재배로 인해 토양 물리성이나 화학적 특성이 개선될 수 있음을 보여주고 있다. 더욱이 유효인산 함량이 벼를 전작으로 재배하였던 토양에서 보다 월등히 높아 후작으로 밀을 재배하기에 유리한 것으로 보인다.

### 밀의 생육 및 수확기 특성

밀의 출수기와 성숙기는 전작을 달리한 토양 간에 차이가 없이 출수기는 4월 15일, 성숙기는 6월 2일로 동일하였다. 밀의 수확은 전체가 노랑게 익은 출수 후 55일에 일괄적으로 수행하였다. 밀의 생육 특성 중간장과 수장은 벼 전작 토양에 비하면 검정콩, 참깨, 들깨 전작 토양에서 길게 자랐다. 그러나 단위 면적당 수수는 검정콩, 참깨 전작 토양에서는 벼 전작 토양에서와 비슷하였으나 들깨 전작 토양에서는 낮았으며, 수당립수는 참깨, 들깨 전작 토양에서는 벼 전작 토양과 비슷하였으나 검정콩 전작 토양에서는 벼 전작 토양보다 유의하게 많았다(Table 2). 밀의 곡물 수량은 벼 전작 시에는 568 kg/10a로 낮았으나 참깨나 검정콩 전작 시에는 각각 807 kg/10a과 700 kg/10a로 20% 이상 증가하였다. 곡물의 수분함량은 벼 전작 토양에서보다 참깨, 검정콩, 들깨 전작 토양에서 높았다. 그리고 리터중도 벼 전작 토양에서 낮는데 반해 들깨, 검정콩과 참깨 전작 토양에서 높았다. 천립중은 참깨와 들깨 전작 토양에서 다소 높지만 전작 작물에 따라 유의한 차이가 없었다. 곡물의 수량에 영향을 미치는 요소에는 단위면적당 수수, 수당립수, 등숙비율, 리터중, 천립중 등이 있으며, 이러한 구성요소의 증가는 수량 증가로 이어진다(Oh *et al.*, 2021; RDA, 2001). 작물의 수량은 작물의 유전적 특성이나 기상과 토양 환경 등의 외부환경 요인의 상호작용에 의해 결정된다고 볼 수 있으나 본 연구에서는 기상환경이 동일한 지역에서 재배하였기 때문에 밀의 수량에 미치는 요인은 Table 1에서 살펴본 바와 같이 토양환경의 미세한 차이에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 논토양에 벼 대신에 콩과 옥수수를 재배하였을 때 토양의 가밀도가 낮아지고 공극율은 높아져 토양물리성이 개선되는 것으로 보고된 바 있다(Seo *et al.*, 2021). 그리고 Fig. 2에서 살펴본 바와 같이 출수기인 4월부터 등숙기인 5월 하순까지 강우가 빈번하여 전작으로 벼를 재배하였던 토양은

Table 2. Major agronomic traits and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L. 'Jokyoung') grown in paddy soils cultivated with four different pre-crops

| Pre-crop      | Heading date<br>(Month.day) | Maturity date<br>(Month.day) | Culm length<br>(cm)    | Spike length<br>(cm) | No. of spikes<br>(ea/m <sup>2</sup> ) | No. of grains<br>(ea/spike) | Grain yield<br>(kg/10a) | Wheat grains    |                  |                           |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|
|               |                             |                              |                        |                      |                                       |                             |                         | Moisture<br>(%) | 1L weight<br>(g) | 1000-kernel<br>weight (g) |
| Rice          | 15 April                    | 2 June                       | 84.8±0.1 <sup>4b</sup> | 7.3±0.1c             | 962.5±21.8a                           | 29.5±0.6b                   | 568.6±30.5c             | 13.2±0.1c       | 787.8±0.8c       | 49.8±0.1a                 |
| Black soybean | 15 April                    | 2 June                       | 87.8±0.8a              | 9.1±0.2a             | 954.2±26.1a                           | 35.6±0.9a                   | 700.6±26.3ab            | 13.7±0.2ab      | 799.1±4.8ab      | 48.2±2.9a                 |
| Sesame        | 15 April                    | 2 June                       | 86.9±0.9ab             | 7.8±0.1b             | 927.1±22.9a                           | 29.1±0.6b                   | 807.7±41.0a             | 14.0±0.1a       | 796.0±2.1b       | 51.8±0.4a                 |
| Perilla       | 15 April                    | 2 June                       | 85.5±1.1ab             | 8.0±0.2b             | 791.7±42.3b                           | 30.7±1.0b                   | 684.3±47.8bc            | 13.5±0.2bc      | 805.7±1.0a       | 50.5±0.3a                 |

<sup>4</sup>Values are expressed as means±standard error of nine replicates.

<sup>5</sup>Different letters within each column indicate significant differences among different pre-cropped soils by ANOVA and Duncan's multiple test ( $p < 0.05$ ).

물리성이 좋지 않아 습해 피해를 받았을 것으로 보인다. 즉, 벼를 재배하였던 논토양은 높은 가밀도와 낮은 공극률로 인해 딱딱하고 물빠짐이 좋지 않아 뿌리의 호흡 작용을 저해시켜 간장, 수장 등 지상부의 생육을 비롯하여 종실의 등숙, 형태, 생리적 특성에도 영향을 미치고 곡물의 수분 함량을 낮췄을 것으로 보인다. 또한 Table 1에서 살펴본 바와 같이 벼를 재배하였던 토양은 pH가 다소 낮고, 유기물, 유효인산, 치환성 Ca<sup>2+</sup>과 Mg<sup>2+</sup> 함량도 낮은 특성을 보여 이를 예측할 수 있다.

### 밀가루 품질 특성

제분율은 모든 토양에서 70% 이상으로 높았다. 밀가루의 품질을 결정하는 요소 중 단백질은 대조구인 벼 전작에 비하여 검정콩, 들깨, 참깨 전작 토양에서 수확한 밀에서 높았다. 아밀로스는 참깨와 벼 전작 토양에서 다소 높고 검정콩과 들깨 전작 토양에서는 다소 낮았다. 그리고, 손상전분은 검정콩과 들깨 전작 토양에서 높았다. 회분 함량은 전반적으로 벼 전작 토양에서와 같았으나 들깨 전작 토양에서는 낮았다(Table 3). 특히, 벼 전작 토양에서 수확한 밀에서는 단백질 함량이 낮고 아밀로스 함량은 높았으나, 검정콩이나 들깨 전작 토양에서 수확한 밀에서는 단백질 함량이 높고 아밀로스 함량은 낮았다. 밀가루의 단백질 함량은 제과·제빵·제면에 있어서 중요한 품질 지표이며, 밀가루의 2차 가공적성은 단백질의 함량이나 질에 의해서 좌우되는데, 제빵용으로 사용되는 밀가루는 단백질 함량이 11~12% 이상이 사용된다(Jung and Eun, 2003; Kim *et al.*, 1997). 조경밀은 단백질 함량이 다른 품종에 비해 높고 질이 우수하여 제빵용으로 주로 이용되고 있는데, 본 연구에서는 전작 작물에 관계없이 전체적으로 10% 이하로 낮았다. 그나마 검정콩 전작 토양에서 수확한 밀에서 9.45%로 비교적 높았다. 따라서 조경밀이 제빵용으로 사용하기 위해서는 추비 시 질소비료의 농도를 달리 하여 단백질 함량을 높일 수 있는 방안을 모색할 필요가 있을 것으로 보인다. 아밀로스 함량은 22.3~24.0%로 전작 작물에 관계없이 비슷하지만 검정콩과 들깨 전작 토양에서 다소 낮게 나타났다. 아밀로스의 함량이 낮을수록 조리 시 점도가 높고 최고점도와 최저점도의 차이를 나타내는 breakdown이 높아지게 되어 식미를 향상시키는 것으로 알려지고 있는 바(Park and Baik, 2004), 검정콩과 들깨의 전작 재배가 밀의 품질을 향상시키는 요인이 될 수 있을 것으로 보인다. 회분 함량은 국내 품질 기준 상 0.6% 이하가 1등급이며(Kwak *et al.*, 2017), 본 연구에서는 0.45~0.59% 범위로 모든 토양에서 수확한 밀이 1등급 기준을 충족하였다. 밀은 도정 과정없이 정선된 밀을 템퍼링하여 제분

하기 때문에 제분 시 들어간 외피의 양에 따라 단백질, 지방, 회분 등의 함량이 차이가 생기며(Kim and Kwak, 2019; Oh *et al.*, 2018), 품종이나 생육 및 재배 환경에 의해서도 성분의 차이가 발생한다(Kim *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2021). 또한 전작물의 유형에 따라서 고랭지 배추의 무기성분에 있어서도 차이가 있는 것으로 보고된 바 있어, 본 연구를 뒷받침한다고 할 수 있다(Bak and Lee, 2021). 본 연구에서도 전작 작물을 달리한 작부 체계별 생산된 밀가루의 품질 특성이 다름을 확인할 수 있었는데, 검정콩 전작 토양에서 수확한 밀의 단백질 함량이 높았으며 이는 Table 1에서 살펴본 바와 같이 토양 내 유기물, 전질소, 유효인산 함량이 상대적으로 높은 데서 기인한 결과로 보인다. 조경밀과 금강밀 등 국산 밀 재배 시 질소 추비 수준이 증가함에 따라 단백질 함량도 증가하는 것으로 보고된 바 있어(Kim *et al.*, 2018), 안정된 품질의 밀가루를 생산하기 위해서는 적정 질소 시비 조건을 확립할 필요가 있음을 시사한다. 손상전분 함량은 단백질 함량, 종실경도, 제분과정 등 다양한 요소들에 의해 영향을 받는데(Shang *et al.*, 2021), 본 연구에서는 검정콩과 들깨 전작 토양에서 다소 높았으나 모든 토양조건에서 6.0% 이내로 낮은 함량을 보였다. 손상전분은 밀가루의 수분 흡수율을 증가시키고  $\alpha$ -amylase에 의해 더 쉽게 가수분해되므로, 그 함량이 높으면 제빵 시 부피가 감소하고 조직이 치밀해지는 원인이 된다(Barrera *et al.*, 2007).

한편, 밀가루의 SDS-침전가, 글루텐 함량, 글루텐 지수, Falling number 등 밀가루의 특성을 살펴보았다(Table 3). SDS-침전가는 검정콩, 참깨, 들깨 전작 토양에서 수확한 밀에서 벼 전작 토양에서보다 더 높았으며, 특히, 검정콩 전작 토양에서 40.5 mL로 가장 높았다. SDS-침전가는 밀가루에 함유된 단백질 중 글루텐의 질적 특성을 나타내는 지표로 이 수치가 높을수록 강력분과 유사한 특성을 보여 제빵 공정에서 빵의 부피가 커지고 질감을 좋게 한다(Kang *et al.*, 2008). 그리고 글루텐 함량도 벼 전작 토양과 비교하였을 때 참깨와 들깨 전작 토양에서 19.7% 이상으로 높고 검정콩 전작 토양에서도 15.4%로 높다. 글루텐 함량은 단백질 함량에 영향을 받기 때문에 단백질 함량이 높은 검정콩 전작 토양에서 수확한 밀에서 가장 높을 것으로 예상되었으나 참깨와 들깨 전작 토양에서 수확한 밀에서 더 높았으며, 글루텐 지수는 전작 작물에 따라 유의한 차이가 없었다. 밀의 단백질 함량과 글루텐 함량은 품종의 유전적 특성에 따라서 상당한 차이가 있으며, 재배 환경요인에 의해서도 영향을 받는다(Johansson *et al.*, 2004; Šimić *et al.*, 2006). 밀가루의 Falling number는 검정콩 전작 토양에서 수확한 밀이 306.8초

Table 3. Quality characteristics of grains flour of winter wheat (*Triticum aestivum* L. 'Jokyeong') grown in paddy soils cultivated with four different pre-crops

| Pre-crop      | Flour composition      |                         |                       |                        |                        |                        | Flour properties       |                       |                         |  |
|---------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|--|
|               | Flour yield (%)        | Protein (%)             | Amylose (%)           | Damaged starch (%)     | Ash (%)                | SDSS (mL)              | Wet gluten content (%) | Gluten index          | Falling number (sec)    |  |
| Rice          | 76.1±0.2 <sup>ab</sup> | 7.66±0.02 <sup>c</sup>  | 23.7±0.4 <sup>a</sup> | 5.03±0.03 <sup>c</sup> | 0.56±0.01 <sup>a</sup> | 29.5±0.3 <sup>c</sup>  | 13.4±1.2 <sup>b</sup>  | 57.2±5.0 <sup>a</sup> | 349.4±1.8 <sup>a</sup>  |  |
| Black soybean | 75.3±0.5 <sup>ab</sup> | 9.45±0.35 <sup>a</sup>  | 22.3±0.4 <sup>b</sup> | 5.86±0.09 <sup>a</sup> | 0.59±0.01 <sup>a</sup> | 40.5±1.2 <sup>a</sup>  | 15.4±2.9 <sup>ab</sup> | 64.1±2.9 <sup>a</sup> | 306.8±10.5 <sup>b</sup> |  |
| Sesame        | 76.7±0.5 <sup>a</sup>  | 8.49±0.18 <sup>b</sup>  | 24.0±0.3 <sup>a</sup> | 4.95±0.05 <sup>c</sup> | 0.54±0.01 <sup>a</sup> | 35.8±0.9 <sup>b</sup>  | 19.7±0.5 <sup>a</sup>  | 61.2±1.5 <sup>a</sup> | 357.8±4.0 <sup>a</sup>  |  |
| Perilla       | 74.9±0.5 <sup>b</sup>  | 9.04±0.31 <sup>ab</sup> | 22.3±0.5 <sup>b</sup> | 5.52±0.05 <sup>b</sup> | 0.45±0.06 <sup>b</sup> | 38.7±1.7 <sup>ab</sup> | 20.0±1.3 <sup>a</sup>  | 65.1±2.8 <sup>a</sup> | 344.2±5.1 <sup>a</sup>  |  |

<sup>a</sup>Values are expressed as mean±standard error of six replicates.

<sup>b</sup>Different letters within each column indicate significant differences among different pre-cropped soils by ANOVA and Duncan's multiple test ( $p < 0.05$ ).

로 제일 낮았고, 나머지 밀가루들은 340초 이상으로 높았다. 미국 농무부(USDA)에서 제시한 고품질의 원맥은 300초 이상의 Falling number를 가지고 있어야 한다. 낮은 Falling number는 수확 전 발아와 관련이 있으며,  $\alpha$ -amylase의 활성으로 인해 전분의 분해가 일어나 수치가 낮아지며 이는 밀 재배 농가에 경제적 손실을 야기할 뿐만 아니라 가공 및 저장 단계에서 밀가루 품질의 저하를 초래하게 된다. 따라서 모든 처리구에서 수확한 밀 종자들은 수치가 높아 수발아로 인한 전분의 분해가 일어나지 않은 건전한 상태의 종자임을 알 수 있다.

이상의 결과를 토대로 논토양에서 전작으로 검정콩이나 참깨, 들깨 등 벼 대체 작물들을 포함시키면 토양의 가밀도는 낮아지고, 공극률은 커질 뿐 아니라 토양 내 유효인산, 치환성  $Ca^{2+}$ 과  $Mg^{2+}$  함량이 높아져 토양의 물리성과 화학적 특성을 개선시키는 등 농경학적 이점이 있는 것으로 보인다. 그리고, 밀의 수량은 벼 전작 토양에서 568 kg/10a로 낮았으나, 참깨, 검정콩, 들깨와 같은 벼 대체 작물들을 전작한 토양에서 각각 807 kg/10a, 700 kg/10a과 684 kg/10a로 증가하였다. 뿐만아니라 밀가루의 품질을 결정하는 요소 중 단백질 함량과 SDS-침전가도 검정콩, 참깨, 들깨와 같은 벼 대체 작물들을 전작한 토양에서 높는데 반하여 아밀로스 함량은 다소 낮았다. 따라서, 검정콩, 참깨, 들깨 등 벼 대체 작물들을 밀의 전작작물로 연계하여 재배하면 밀의 수확량 증대와 더불어 밀가루의 단백질 함량과 SDS-침전가를 높이면서 아밀로스 함량을 낮출 수 있을 것으로 보인다. 이러한 결과들은 검정콩이나 참깨, 들깨 등의 벼 대체 작물의 후작으로 밀을 재배할 경우 제빵 공정에 유리한 밀을 수확할 수 있을 것으로 보이며, 검정콩과 들깨를 전작으로 재배할 경우에는 식미 향상에 도움이 될 것으로 보인다. 그러나, 차후에 시비기준을 달리한 조건에서 밀의 생산성 증대와 더불어 최고 품질의 밀을 생산할 수 있는 체계를 확립할 필요가 있을 것으로 보인다.

## 적 요

벼 대체 발작물(검정콩, 들깨, 참깨)과 연계한 밀 이모작 작부 체계를 적용한 논에서 조경밀 생산성과 밀가루의 품질 특성을 살펴보았다. 전작으로 검정콩, 참깨, 들깨를 재배하였던 포장 은 벼를 재배한 논보다 토양의 pH는 높고, 전기전도도는 낮았다. 그리고, 유효인산(Av.  $P_2O_5$ ),  $Ca^{2+}$ 과  $Mg^{2+}$  함량은 벼를 재배 하였던 토양에서보다 높았다. 밀의 생육 특성 중 간장, 수장, 수 수, 수당립수는 검정콩 전작 토양에서 전반적으로 양호하였다.

하지만, 밀의 수량은 벼 전작 토양에서보다 대체작물인 검정콩이나 참깨, 들깨의 전작 토양에서 모두 100 kg/10a 이상 증가하였다. 더군다나, 단백질 함량과 SDS-침전가가 검정콩, 참깨, 들깨 전작에서 모두 벼 전작에서보다 높았으며, 아밀로스 함량은 벼 전작에서보다 검정콩, 들깨 전작에서 다소 낮았다. 이러한 결과들은 논토양에서 전작으로 참깨나 콩, 들깨 등의 벼 대체 작물들의 재배는 토양의 물리화학적 특성을 개선하고 제빵공정에 좀 더 유리한 고품질의 밀을 생산하는데 이바지할 수 있음을 보여준다.

## 사 사

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

## Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## References

- Bak, G.R. and J.T. Lee. 2021. Effect of napa cabbage (*Brassica campestris* var. *Pekinensis*) cropping systems on soil physiochemical properties, yield and quality in alpine area of south Korea. Korean J. Plant Res. 34:249-256 (in Korean).
- Barrera, G.N., G.T. Pérez, P.D. Ribotta and A.E. León. 2007. Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality. Eur. Food Res. Technol. 225:1-7.
- Cho, K.M., K.H. Kim, J.H. Son, J.C. Park, Y.K. Cheong, K.G. Park, C.S. Park and C.S. Kang. 2014. Growth, yield and quality difference of cultivated wheat between paddy field and reclaimed tidal land. J. Agric. Life Sci. 45:67-71 (in Korean).
- Choi, Y.S., J.K. Lee, Y.H. Choi, Y.H. Kim, C.S. Kang and M. Shin. 2015. Quality characteristics of wheat flours from new released Iksan370 with long spike and domestic wheat cultivars. Korean J. Food Cookery Sci. 31:551-556 (in Korean).
- Johansson, E., M.L. Prieto-Linde and G. Svensson. 2004. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat. J. Plant Nutr. Soil Sci. 167:345-350.



- Juliano, B.O. 1985. Polysaccharides, proteins, lipids of rice. *In* Juliano, B.O. (ed.), *Rice: Chemistry and Technology* (2nd ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN (USA). pp. 59-174.
- Jung, D.S. and J.B. Eun. 2003. Rheological properties of dough added with black rice flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35:38-43 (in Korean).
- Kang, C.S., H.S. Kim, Y.K. Cheong, J.G. Kim, K.H. Park and C.S. Park. 2008. Flour characteristics and end-use quality of commercial flour produced from Korean wheat and imported wheat. *Korean J. Food Preserv.* 15:687-693 (in Korean).
- Kang, C.S., K.H. Kim, Y.W. Seo, S.H. Woo, M.R. Heo, B.K. Choo, J.N. Hyun, K.J. Kim and C.S. Park. 2014a. Current regional cultural situation and evaluation of grain characteristics of Korean wheat. I. Survey of production practices in Korean wheat cultivar growers by region. *Korean J. Crop Sci.* 59:1-15 (in Korean).
- Kang, C.S., Y.K. Cheong, K.H. Kim, H.S. Kim, Y.J. Kim, K.H. Kim, J.C. Park, H.H. Park, H.S. Kim, S.J. Kang, H.J. Choi, J.G. Kim, K.J. Kim, C.K. Lee, K.G. Park, K.H. Park and C.S. Park. 2014b. A wheat variety, 'Sooan' with good noodle quality, red grain wheat, higher winter hardiness and pre-harvest sprouting resistance. *Korean J. Breed. Sci.* 46:260-267 (in Korean).
- Kim, C.T., S.J. Cho, J.K. Hwang and C.J. Kim. 1997. Composition of amino acids, sugars and minerals of domestic wheat varieties. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26:229-235 (in Korean).
- Kim, K.H., C.S. Kang, Y.W. Seo, S.H. Woo, M.R. Heo, B.K. Choo, C.K. Lee, K.G. Park and C.S. Park. 2013. Current regional cultural situation and evaluation of grain characteristics of Korean wheat II. Grain characteristics collected in domestic wheat cultivar grown in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 58:239-252 (in Korean).
- Kim, K.M., K.H. Kim, H.S. Kim, D.J. Shin, Y.J. Kim, M.G. Oh and J.N. Hyun. 2018. Effect of nitrogen fertilizer application levels on yield and quality of Korean wheat cultivars. *Korean J. Agric. Sci.* 45:9-18 (in Korean).
- Kim, S.S. and H.S. Kwak. 2019. Quality characteristics of domestic wheat flour (var. Keumkang) based on the milling yield. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 48:879-886 (in Korean).
- Kim, Y. G. 2010. Current status and future prospects of development of rice varieties. *Food Preserv. Proc. Indus.* 9:75-85 (in Korean).
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2021. Agricultural statistics info: An output tendency of crops. (accessed on 26 March 2021). <http://kostat.go.kr/wsearch/search.jsp>
- Kwak, H.S., M.J. Kim, H. Kim and S.S. Kim. 2017. Quality characteristics of domestic and imported commercial plain wheat flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49:304-310 (in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2020. Wheat Industry Promotion Act. Sejong, Korea (in Korean).
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2010. Fertilization Standard on Crops. Suwon, Korea. pp. 32-35 (in Korean).
- Oh, H.A., M.Y. Kim, Y.J. Lee, M.S. Song, C.K. Lee, Y.R. Lee, J. Lee and H.S. Jeong. 2018. Quality characteristics of rice bread with different cultivars and milling methods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 50:492-498 (in Korean).
- Oh, S.Y., S.H. Oh, J.H. Seo and J. Choi. 2021. 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 (in Korean).
- \_\_\_\_\_. 2022. Screening of rice cultivars for Italian ryegrass-rice double cropping systems in southern Korean paddy fields. *J. Environ. Sci. Int.* 31:413-422 (in Korean).
- Park, C.S. and B.K. Baik. 2004. Significance of amylose content of wheat starch on processing and textural properties of instant noodles. *Cereal Chem.* 81:521-526 (in Korean).
- Park, J.H., C.S. Park, C.S. Kang, J. Yang, H.Y. Jung, K.M. Kim, C.H. Chol, J.H. Son, J. Son, T.I. Park and K.H. Kim. 2021. Effect of starch and hardness characteristics of Korean wheat cultivars on noodle quality. *Korean J. Breed. Sci.* 53:83-95 (in Korean).
- Park, S.J., J.J. Kim and J.W. Park. 2019. Diagnosis of the policy of international grains import and measures for improvement. Korea Rural Economic Research Institute Basic Research Report. Pribe Publishing Co., Naju, Korea. pp. 1-206 (in Korean).
- Porter, J.R. and M. Gawith. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *Eur. J. Agron.* 10:23-36.
- Rural Development Administration (RDA). 2001. Wheat Cultivation. Standard Farming Textbook-40, Sammi Publishing Co., Suwon, Korea. p. 196 (in Korean).
- \_\_\_\_\_. 2012. Standard of Research and Analysis for Agricultural Technology, Sammi Publishing Co., Suwon, Korea. pp. 339-365 (in Korean).

- Seo, J.H., C.D. Hwang and S.H. Oh. 2021. Compatibility of double cropping of winter wheat-summer grain crops in paddy field of southern Korea. *Korean J. Crop Sci.* 66:18-28 (in Korean).
- Shang, J., L. Li, C. Liu, J. Hong, M. Liu, B. Zhao and X. Zheng. 2021. Relationships of flour characteristics with isolated starch properties in different Chinese wheat varieties. *J. Cereal Sci.* 99:103210.
- Šimić, G., D. Horvat, Z. Jurković, G. Drezner, D. Novoselović and K. Dvojković. 2006. The genotype effect on the ratio of wet gluten content to total wheat grain protein. *J. Cent. Eur. Agric.* 7:13-18.

(Received 7 June 2022 ; Revised 29 June 2022 ; Accepted 30 June 2022)