

밀-하작물 작부체계가 밀 품질 및 토양에 미치는 영향

최지수^{1,†} · 오성환² · 오서영¹ · 김태희³ · 김성훈¹ · 박현진¹ · 차진경¹

Effects of the Double Cropping System on Wheat Quality and Soil Properties

Jisu Choi^{1,†}, Seong Hwan Oh², Seo Young Oh¹, Tae Hee Kim³, Sung Hoon Kim¹, Hyeonjin Park¹, and Jin-Kyung Cha¹

ABSTRACT To achieve self-sufficiency in domestic wheat (*Triticum aestivum* L.), an increase in high-quality wheat production is essential. Given Korea's limited land area, the utilization of cropping systems is imperative. Wheat is compatible with a double cropping system along with rice, soybeans, and corn. Data on alterations in wheat quality following summer crop cultivation is required. This study investigated the impact of cultivating preceding crops such as rice, soybeans, and corn in a wheat cropping system. The analysis focused on the influence of these preceding crops on wheat growth, quality, and soil characteristics, elucidating their interrelationships and impacts. While there were no differences in growth timing and quantity during wheat growth, a significant variance was observed in stem length. Protein content, a key quality attribute of wheat, displayed variations based on the intercropped crops, with the highest increase observed in wheat cultivated after soybeans. Soil moisture content also exhibited variations depending on the intercropping system. The wheat-rice intercropping system, which requires soil moisture retention, resulted in greater pore space saturation in comparison to other systems. Moreover, soil chemical properties, specifically phosphorus and calcium levels, were influenced by intercropping. The highest reduction in soil phosphorus content occurred with soybean cultivation. These findings suggest that intercropping wheat with soybeans can potentially enhance wheat quality in domestic varieties.

Keywords : cropping system, soil properties, wheat, wheat quality

밀(*Triticum aestivum* L.)은 세계에서 가장 많이 소비되는 곡물로 2022/23년도 소비량은 780.1백만톤으로 전망되어 쌀 소비 전망량보다 50% 이상 많다(FAO, 2023). 국내 또한 쌀 위주의 식단에서 다양화되어 밀 소비량이 증가하였고, 최근 코로나, 우크라이나 전쟁 등의 상황이 주요 곡물의 실질 가격에 영향을 미치면서 식량안보를 위한 국내 밀 자급률에 대한 관심도 증가하고 있다. 2023년 국내 밀 자급률은 약 2.2%에 미칠 것으로 전망되는데(USDA, 2023), 국내 밀 자급률 증진을 위해 정부는 1984년 중단했던 밀 수매를 2019년 다시 시작하고, 2023년 밀 이모작을 장려하는 전략

작물식물금 지급 정책을 수행하는 등의 노력을 하고 있다(MAFRA, 2019, 2023). 국내의 토지면적대비 농지 면적은 2020년 기준 16.2%로 OECD회원국 평균인 38.2%보다 크게 낮기때문에(KOSTAT, 2022) 밀 생산량의 증가를 위해서는 휴경 기간을 줄이고 곡물을 생산하는 이모작을 적극 활용해야한다.

국내에서 밀 재배는 대부분 전남, 전북, 경남지역 위주로 벼와 이모작인 형태로 이루어지고 있으나, 벼-밀의 지속적인 경작은 토양 비옥도와 토양의 유기물 함량을 낮추고(Yadav *et al.*, 2000), 미량원소의 결핍을 야기시키며(Nayyar *et al.*,

¹농촌진흥청 국립식량과학원 논이용작물과 농업연구사 (Junior Scientist, Paddy Crop Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

²농촌진흥청 연구정책국 연구정책과 농업연구관 (Senior Scientist, Research Policy Planning Division, Research Policy Bureau, RDA, Miryang 50424, Korea)

³농촌진흥청 국립식량과학원 논이용작물과 석사후연구원 (Postmaster, Paddy Crop Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

[†]Corresponding author: Jisu Choi; (Phone) +82-55-350-1174; (E-mail) choijisu24@korea.kr

<Received 7 August, 2023; Revised 10 October, 2023; Accepted 12 October, 2023>

2001), 지하수 자원을 고갈시킬 수 있는 등 여러 문제점이 보고된 바 있고(Gupta & Seth, 2007), 이렇게 변화된 재배 환경은 밀 품질에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 지속적으로 고품질의 밀을 생산하기 위해서는 여러 연구를 통해 밀 재배 환경을 변화시키고, 그에 따라 밀 품질이 어떻게 변화하는지 데이터를 확보할 필요가 있다(Wang *et al.*, 2009).

국외에서는 단일 작물로 밀만 재배하고 밀 재배 후에는 휴경하던 단작 포장에 휴경하지 않고 28년간 콩과 이모작을 시행한 결과 생산량이 21% 증가하고, 단백질 함량이 증가하였다는 보고가 있고(Smith *et al.*, 2017), 토마토, 오이, 가지, 피망 등의 채소와 이모작 한 밀에서 균근감염정도, 생산량, 단백질 함량 등이 변화(Abdulkarim *et al.*, 2020)하는 등 작부체계 환경에서 밀과 윤작하는 작물에 따라 밀의 재배 환경과 품질이 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 진행되어왔다(Meena *et al.*, 2016; Garrido *et al.*, 2001; Gursoy *et al.*, 2010). 우리나라에서 밀 이모작에 대한 시험 연구는 남부지역에서 밀과 하작물로 벼, 콩, 옥수수를 심었을 때 콩과 옥수수가 작기연결성이 우수하고 콩과 옥수수를 수확한 후 토양 물리성이 좋아짐을 확인(Seo *et al.*, 2021)한 결과가 있으며, 밀 후작 벼 재배에 적합한 품종을 선정(Ku *et al.*, 2013)한 바도 있으나, 작부체계에 따라 밀 품질이 어떻게 변화하는 지에 대한 연구는 진행되지 않았다. 밀 품질 중 단백질, 용적중, 회분은 현재 1등급, 2등급, 3등급, 등외로 나뉘는 수매 등급을 결정하는 기준으로 활용되는 만큼(RDA, 2023) 식량자급률 증진을 위해 농가에 밀 재배를 권장하기 위해서도 재배 환경에 따른 밀 품질의 변화를 연구하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 밀과 이모작이 가능한 작물로 알려진 벼, 콩, 옥수수와 밀의 이모작을 수행하여 밀 작부체계가 밀의 생육과 밀 품질에 어떤 영향을 미치는지 분석하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 밀 생육과 주요 품질 요소 및 활용 가능한 특성, 토양 특성을 조사하여 분석하였고, 향후 국내에 우수한 밀 품질을 가진 밀의 안정 생산을 위해 결과를 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

시험 품종 및 재배 조건

밀과 하작물 3개의 작부체계를 수행하였으며, 하작물로는 벼, 콩, 옥수수를 재배하였다. 각 작부체계당 시험구의 크기는 233 m²로 동일하였으며 3반복으로 수행하였다. 공시재료로 밀은 금강밀과 조경밀, 하작물로 벼는 해당쌀, 콩은 대찬, 옥수수는 광평옥을 사용하였다. 국립종자원의 우

리나라 품종별 현황을 보면 2020년 기준으로 금강밀과 조경밀은 밀 품종 중 우리나라에서 가장 많이 공급되는 품종이다. 벼 품종 해당쌀은 조생종으로 밀 파종기에 영향을 미치지 않으며, 수량성, 식미치 등에서 다른 조생종 품종들과 비교했을 때 양호한 성적을 보이는 품종이다(Sang *et al.*, 2019). 대찬은 전국에 적응 가능한 콩 품종으로 2020년 기준 가장 많이 공급되고 있는 품종인 대원보다 성숙기가 빠르면서도 불마름병에 강하고, 수량성도 높은 중만생종 콩이며, 광평옥은 사료용 옥수수로 Seo *et al.* (2021)의 실험으로 밀과의 작기 연결성이 우수함이 밝혀진 품종이다. 2020년 11월 2일 전 작물이 없는 포장에 밀을 파종하여 이듬해 6월 3일 수확한 후 2021년 하작물로 벼, 콩, 옥수수를 심은 후 2021년 10월 29일 밀을 파종하여 이듬해인 2022년 5월 27일 수확하였다. 시험은 경남 밀양시에 위치한 국립식량과학원 남부작물부 시험포장에서 수행되었으며, 밀은 휴폭 350 cm, 파폭 50 cm로 이랑을 만든 후 10 a당 16 kg으로 산파하였고, N, P₂O₅, K₂O를 기비 및 추비를 포함하여 9.1-7.4-3.9 kg/10a 시비하였다. N은 기비 40% 추비 60%로 분시하였고, P₂O₅와 K₂O는 전량 기비 시용하였다. 하작물로 벼는 30 12 cm 재식밀도로, 1주 5본으로 손이양하고, 콩과 옥수수는 휴폭 110 cm, 파폭 30 cm 이랑을 조성하여 각 재식밀도를 70 15 cm, 70 20 cm로 하여 1두둑 2열 재배하였다. 벼, 콩, 옥수수는 각각 N, P₂O₅, K₂O를 총 9.0-4.5-5.7 kg/10a, 3.0-3.0-3.4 kg/10a, 20.0-15.0-15.0 kg/10a 시비하여 재배하였다. 분시비율은 벼의 경우 N을 기비, 분얼비, 수비로 50%, 20%, 30%로 나누었으며, P₂O₅는 전량 기비, K₂O는 기비 70%, 분얼비 30%로 시비하였다. 콩은 전량 기비로 시용하였으며, 옥수수는 N만 기비 및 추비로 50%씩 나누었고, P₂O₅, K₂O는 전량 기비로 시용하였다.

밀 생육조사 및 품질조사

밀의 생육특성에 대한 조사는 농촌진흥청 농업과학기술 조사분석기준(RDA, 2012)에 준하여 수확 전에는 생육재생기, 출수기를 조사하고, 성숙기의 간장, 수장, 단위면적당 수수, 수당립수를 조사하였다. 출수기는 전구의 70% 이상이 출수했을 때를 기준으로 하였으며, 생육재생기조사와 생육조사는 10개체씩 4반복으로 수행하였다. 3반복으로 수확한 후 리터중, 천립중 및 수량을 조사하였다.

밀 품질조사는 하작물을 재배하기 전인 2021년 6월 수확 밀과 하작물을 재배한 후 2022년 6월 수확한 밀을 16% 수분함량으로 tempering하여 수행하였다. 밀 품질은 밀가루 특성과 가공적성을 조사하였다. Brabender Quadrumat Junior mill (Brabender OHG, Duisburg, Germany)로 밀을 제분 후

제분수율을 측정하였다(AACCI, 2010). 회분과 침전가는 AACC method 08-01.01, 56-61.02에 준하여 측정하였고, 단백질함량은 LECO FP628 (Laboratory Equipment Co., St. Joseph, Mich., USA) 장비로 AACC method 44-30.01에 따라 측정하였고, 계산된 함량에서 수분함량을 14%로 보정하였다(AACCI, 2010). 글루텐은 Perten Glutomatic 2200 system (Perten Instrument AB, Huddinge, Sweden)을 이용하여 wet gluten함량과 dry gluten 함량을 구하였다. 아밀로스는 Juliano (1971)의 방법을 사용하였고, 밀 알곡 속 아밀라제 효소 활성 정도를 측정하여 곡물 건전도를 나타내는 지표인 폴링넘버는 Falling Number 1900 (Perten Instrument, Sweden)으로 측정하였다. 밀가루의 가공적성은 RVA 4500 (Perten Instrument, Sweden)을 이용하여 peak viscosity, trough strength, breakdown, final viscosity, setback, peak time, pasting temperature 값을 구하였다.

토양 이화학적 특성 분석

토양 특성 분석은 작부체계에 따라 각 포장 내에서 3반복으로 샘플링하여 수행하였다. 토양의 물리적 특성 분석은 각 작물 재배 후 soil core sampler (Soilmoisture Equipment Crop, USA)를 이용하여 토양 층위 0~15cm를 채취하여 건조오븐으로 토양을 건조시키고, 공극률, 중량수분함량을 구

하였다. 화학적 특성은 auger를 이용하여 토양 층위 0~15 cm의 토양을 채취한 후 음건시켜 분쇄 후 분석에 사용하였다. 화학성은 농촌진흥청 토양화학성분분석법(NIAST, 2000)에 준하여 pH (1:5), 총 질소함량, 전기전도도, 유기물 함량, 유효인산, 치환성양이온(K, Ca, Na, Mg)을 측정하였다.

통계분석

통계분석은 SAS Enterprise Guide 7.1 (statistical analysis systems, SAS Institute, Cary, NC, USA) program을 이용하였으며, 밀 품종 및 밀 작부체계에서 하작물의 영향에 의한 차이 분석을 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)을 수행한 후 Duncan의 다중검정으로 사후검정을 수행하였다.

결과 및 고찰

밀 생육 및 수량 특성

밀의 품종 및 작부체계별 밀의 생육 및 수량특성을 분석한 결과(Table 1) 생육재생기와 출수기는 2월 7일과 4월 9일로 차이를 보이지 않았다. 간장은 품종간에는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 작부체계에 따라서는 유의한 차이를 보였는데, 전작물로 벼를 심은 밀의 간장이 금강밀은 73.7 cm, 조경밀은 73.9 cm로 가장 컸다. 벧깊은 토양에 적

Table 1. Growth and yield of wheat.

| Variety | Cropping system ¹⁾ | Planting date (M. dd) | Regrowth date (M. dd) | Heading date (M. dd) | Culm length ²⁾ (cm) | Spike length (cm) | Number of spikes (m ²) | Number of Grains /Spike ²⁾ | Test weight ²⁾ (g/500 mL) | 1000 grain weight (g) | Yield (kg/10a) |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------|
| Geumgang | NW | 11. 2 | 2. 6 | 4. 4 | 85.1±1.6a | 7.8±0.3 | 1060±194 | 24±2b | 405.8±2.2b | 50.2±0.2 | 562±36 |
| | RW | 10. 29 | 2. 7 | 4. 9 | 73.7±2.1b | 7.7±0.1 | 652±44 | 23±1b | 417.9±1.7a | 51.3±1.6 | 581±39 |
| | SW | 10. 29 | 2. 7 | 4. 9 | 72.4±1.8c | 7.0±0.3 | 767±57 | 23±2b | 418.3±1.7a | 48.7±1.3 | 488±49 |
| | CW | 10. 29 | 2. 7 | 4. 9 | 70.7±1.4c | 6.9±0.2 | 854±89 | 25±1b | 420.3±2.5a | 48.1±0.1 | 608±7 |
| Jokyeong | NW | 11. 2 | 2. 6 | 4. 13 | 82.9±2.8a | 7.9±0.6 | 1010±269 | 34±2a | 406.7±1.2b | 50.7±0.3 | 624±94 |
| | RW | 10. 29 | 2. 7 | 4. 9 | 73.9±1.2b | 6.9±0.6 | 871±42 | 27±3a | 417.0±2.6a | 53.5±0.8 | 584±47 |
| | SW | 10. 29 | 2. 7 | 4. 9 | 65.0±4.0c | 7.7±0.3 | 790±42 | 23±1a | 411.1±5.1a | 48.5±1.0 | 506±124 |
| | CW | 10. 29 | 2. 7 | 4. 9 | 69.0±1.2c | 7.3±0.4 | 804±104 | 27±2a | 415.0±2.3a | 50.9±2.7 | 644±93 |
| Factor ³⁾ | | Culm length (cm) | Spike length (cm) | Number of spike (m ²) | Number of Grains/Spike | Test weight (g/500 mL) | 1000 grain weight (g) | Yield (kg/10a) | | | |
| Variety | | 9.56NS | 0.51NS | 0.44NS | 32.54* | 8.36NS | 6.47NS | 1.06NS | | | |
| Cropping system | | 60.02* | 4.77NS | 5.58NS | 11.48NS | 24.42* | 9.52NS | 3.62NS | | | |
| Variety * Cropping system | | 3.31NS | 4.37NS | 1.41NS | 10.58NS | 3.03NS | 1.85NS | 0.20NS | | | |

¹⁾NW, No crops sown before cultivating wheat in 2020; RW, Rice-wheat rotation in 2021; SW: Soybean-wheat rotation in 2021; CW: Corn-wheat rotation in 2021 ²⁾Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$, as based on Duncan's multiple range test ³⁾Statistically significant difference based on two-way ANOVA test ($*P<0.05$, NS represents not significant)

Table 2. Quality traits of wheat influenced by the cropping system.

| Variety | Cropping system | MER ^{1)↓} (%) | Ash (%) | SDSS ^{2)↓} (mL) | Protein [↓] (%) | Gluten content (%) | | Amylose | Falling Number |
|---------------------------|-----------------|---------------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|----------|----------|-------------------|
| | | | | | | wet | dry | | |
| Geumgang | NW | 79.0±1.5a | 0.52±0.03 | 52.1±5.9a | 12.2±0.5a ^y | 33.6±1.5 | 13.7±0.4 | 23.4±0.1 | 387.5±55.2 |
| | RW | 69.6±0.5b | 0.52±0.04 | 46.8±0.2a | 11.2±0.5a ^y | 32.9±2.4 | 12.9±0.4 | 26.1±0.6 | 401.7±8.3 |
| | SW | 66.9±1.2b | 0.46±0.03 | 46.7±0.3a | 12.3±0.6a ^x | 45.9±4.5 | 16.9±2.6 | 26.2±1.0 | 413.3±6.5 |
| | CW | 67.2±1.0b | 0.48±0.01 | 41.7±3.1a | 10.8±0.9a ^y | 32.3±3.2 | 12.6±1.7 | 26.6±0.3 | 407±11.0 |
| Jokyeong | NW | 78.1±0.4a | 0.56±0.05 | 38.3±0.6b | 8.6±0.0b ^y | 19.6±3.9 | 7.4±1.2 | 24.7±0.0 | 361.7±14.4 |
| | RW | 66.9±1.2b | 0.53±0.05 | 36.7±4.9b | 8.8±0.3b ^y | 32.0±16.3 | 11.7±6.0 | 26.4±0.7 | 384.2±25.1 |
| | SW | 67.9±1.6b | 0.53±0.03 | 45.0±4.4b | 12.0±1.1b ^x | 42.2±4.8 | 15.6±2.3 | 26.2±0.9 | 434.5±12.6 |
| | CW | 68.1±0.2b | 0.53±0.01 | 34.8±1.1b | 9.1±0.3b ^y | 25.6±2.5 | 9.6±1.1 | 25.7±1.7 | 409.3±25.4 |
| Factor ³⁾ | | MER (%) | Ash (%) | SDSS (mL) | Protein (%) | Gluten content (%) | | Amylose | Falling Number |
| Variety | | 3.52NS | 8.17NS | 28.82* | 61.05* | 4.53NS | 6.86NS | 1.33NS | 0.17NS |
| Cropping system | | 150.04* | 2.04NS | 5.01NS | 14.43* | 7.65NS | 5.19NS | 13.12NS | 6.26NS |
| Variety * Cropping system | | 2.65NS | 0.72NS | 3.45NS | 8.75NS | 1.66NS | 1.85NS | 1.78NS | 0.45NS |

¹⁾MER, Milling extraction rate; ²⁾SDSS, SDS sedimentation value; [↓] Means in the same column followed by the same letter are not significantly difference at $P<0.05$ based on Duncan's multiple range test ³⁾Statistically significant difference based on two-way ANOVA test (* $P<0.05$, NS represents not significant)

절히 섞일 경우 토양 수분 저장능력을 높이고 토양 유기탄소 함량을 증가시켜 생육에 영향을 줄 수 있기 때문에(Jin *et al.*, 2020) 적절한 벅짚이 밀 생육에 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 수장은 유의한 차이를 보이지는 않았으나, 금강밀에서는 벼와의 작부체계에서, 조정밀에서는 콩과의 작부체계에서 가장 컸다. 단위면적당 수수도 통계상으로 유의한 차이를 보이지 않았고, 수치상으로는 금강밀은 옥수수, 조정밀은 벼와의 작부체계를 시행한 토양에서 가장 큰 값을 보였기 때문에 수장과 단위면적당 수수는 하작물에 따른 영향으로 볼 수 없었다. 수당립수는 품종에 따른 차이만 인정되었는데, 금강밀보다 조정밀 품종의 립수가 많았다. 본 시험에서 천립중과 수량은 유의한 차이를 나타내지 않았으나, Seo *et al.* (2021)은 콩 또는 옥수수와 밀을 이모작 할 경우 벼와 이모작을 할 때보다 밀의 단위면적당 수량이 50 kg 이상 크게 증가한 결과를 낸 보고한 바 있으며, 28년간 콩과 이모작을 시행한 결과 생산량이 증가(Smith *et al.*, 2017)하였다는 연구결과가 있으므로, 밀-하작물 이모작을 지속했을 때의 생산량 변화 조사가 필요할 것으로 판단된다.

밀 품질 특성

전작물에 의한 밀 품질 특성 변화를 분석한 결과(Table 2) 제분율은 곡물에서 추출할 수 있는 밀가루의 양으로 정

의되며, 성숙한 종자의 배유 비율에 따라 달라지고, 크기와 주름 등에 영향을 받는데(Nuttall, 2017) 본 시험에서는 전작물에 따른 차이를 보이지 않았다. 회분의 비율은 높을 경우 단백질 분해 및 아밀로스 분해효소의 활성을 증가시키므로 낮을수록 품질이 좋으며(Tomasz *et al.*, 2020) 0.5% 이하일 때 밀가루가 고급인 것으로 취급한다. 통계적으로 분석 값 간에 차이가 인정되지 않았으나 평균값으로 볼 때 금강밀에서 콩, 옥수수와 이모작 한 밀의 회분 함량이 각 0.46%와 0.48%로 우수하였다. 침전가로 단백질의 용출정도를 분석한 결과 품종에 따른 차이만 보였지만 단백질함량은 전반적으로 금강밀에서 조정밀보다 더 높은 특성을 보였으나, 작부체계별로 유의한 차이가 있어 콩과 이모작한 포장의 밀에서 함량이 가장 높았다. 단백질함량에서는 하작물에 따른 차이가 있었지만 침전가는 품종에 따른 차이만 유의했던 것은 침전 부피가 단백질의 함량에 더불어 단백질 강도에도 영향을 받기 때문일 것으로 보인다(Park *et al.*, 2015). 글루텐함량은 통계적으로 유의하지는 않았으나 수치상으로 콩과의 이모작을 시행한 밀의 wet gluten 및 dry gluten이 높아 세 작부체계 중 경질밀의 품질 면에서 가장 우수하였다. 아밀로스 함량은 감소할수록 전분의 점성을 증가시켜 찰밀의 특성을 지니게 하는데(Lee *et al.*, 2001) 작부체계별로 유의한 차이를 나타내지는 않았다. 폴링넘버

Table 3. Pasting properties and past clarity of wheat starch.

| Variety | Cropping system | Peak Viscosity [↓] (RVU) | Trough Strength [↓] (RVU) | Breakdown ^{1)↓} (RVU) | Final Viscosity [↓] (RVU) | Setback [↓] (RVU) | Peak Time [↓] (min) | Pasting Temp. (°C) |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Geumgang | NW | 2001a ^x | 1392a ^x | 610a | 2479a ^x | 1087a | 6.2a | 90.1 |
| | RW | 1091a ^z | 881a ^z | 210b | 1696a ^z | 815b | 6.1a | 92.6 |
| | SW | 1131a ^y | 930a ^y | 201b | 1724a ^y | 793b | 6.2a | 86.9 |
| | CW | 1138a ^y | 919a ^y | 219b | 1726a ^{yz} | 807b | 6.2a | 92.3 |
| Jokyeong | NW | 1805b ^x | 1159b ^x | 646a | 2172b ^x | 1013a | 6.0b | 87.6 |
| | RW | 907b ^z | 697b ^z | 210b | 1428b ^z | 731b | 5.9b | 91.3 |
| | SW | 1077b ^y | 871b ^y | 205b | 1709b ^y | 837b | 6.0b | 91.6 |
| | CW | 1004b ^y | 817b ^y | 188b | 1607b ^{yz} | 790b | 6.0b | 91.9 |
| Factor ²⁾ | Peak Viscosity (RVU) | Trough Strength (RVU) | Breakdown (RVU) | Final Viscosity (RVU) | Setback (RVU) | Peak Time (min) | Pasting Temp. (°C) | |
| Variety | 71.45* | 53.26* | 10.75NS | 31.72* | 8.13NS | 35.60* | 0.01NS | |
| Cropping system | 384.29* | 96.81* | 1193.71* | 87.56* | 62.13* | 2.75NS | 1.83NS | |
| Variety * Cropping system | 0.00NS | 0.00NS | 1.51NS | 0.00NS | 1.50NS | 0.05NS | 1.66NS | |

¹⁾Breakdown, The difference between peak viscosity and trough strength [↓]Means in column followed by the same letter are not significantly different at $P<0.05$ based on Duncan's multiple range test ²⁾Significant difference according to two-way ANOVA test (* $P<0.05$, NS represents not significant)

는 전분분해정도를 수치로 나타낸 것으로, 높을수록 빵용으로 적합한데, 콩을 재배한 후 재배한 밀의 폴링넘버의 수치가 벼 또는 옥수수를 재배한 후 재배한 밀보다 컸다. 품질 수치 중 하작물에 따라 유의한 특성을 보인 항목은 제분율과 단백질이었으며, 콩과의 작부체계가 밀 품질에 가장 긍정적인 영향을 주었음을 나타내었고, 이 결과는 Caviglia *et al.* (2011) 등 여러 논문에서 밝혀진 콩이 밀 단백질 함량을 증가시킬 수 있다는 연구결과와 일치하였다.

가공적성을 보면(Table 3) 전작물로 콩과 옥수수를 심은 작부체계에서 벼를 심은 것보다 밀의 peak viscosity와 trough strength가 유의하게 큰 값을 보이며, final viscosity 역시 유의하게 더 컸다. 금강밀에서는 peak viscosity가 벼와 콩, 옥수수 사이에 40RVU 정도의 차이가 났으며, 조정밀에서는 콩과 벼를 비교했을 때 100RVU 이상의 차이가 발생했으며, trough strength도 비슷한 경향을 보였다. Peak viscosity와 trough strength는 낮을 경우 팽윤력에 영향을 주어 제빵에 불리한 특성을 가지므로(Park *et al.*, 2021) 콩 또는 옥수수와 이모작을 한 밀이 팽윤력이 더 우수함을 나타내었다.

토양 이화학적 특성

토양 물리적 특성 분석 결과 벼, 콩, 옥수수를 재배했을

때 모두 포장 공극률은 감소하였으며, 중량수분함량과 수분포화도는 증가하였다. 중량수분함량은 토양의 무게 기준에서 토양 수분함량을 나타낸 것으로, 많을수록 토양 내 수분이 많은 것으로 보는데, 하작물 재배 전후 벼가 14.11%, 콩이 5.91%, 옥수수가 5.38% 증가하여 벼를 재배한 토양의 액상 비율이 가장 크게 증가하였음을 나타낸다(Fig. 1). Bhatt *et al.* (2016)은 벼를 재배할 경우 반복적으로 지표면 아래 토양을 다지며, 밀 재배를 위해 로터리를 실시하면 토양의 반전으로 유기물이 공기에 노출되어 산화되기 때문에 밀-벼 작부체계는 궁극적으로 토양 구조의 전반적인 악화를 초래할 수 있다고 하였고, 이는 수확량 등에 영향을 미칠 수 있음을 보고하였다. de Moraes *et al.* (2016)은 밀-콩 작부체계가 토양물리성 및 hydraulic 특성에 큰 영향을 미치지 않음을 밝힌 바 있으나, Seo *et al.* (2021)은 콩, 옥수수를 재배했을 때 토양 통기성이 향상됨을 보고 하였으므로, 이모작에 따른 토양의 물리적 특성 변화에 대한 관찰이 지속되어야 할 것으로 보인다.

토양 화학적 특성 분석결과(Table 4) 1년차와 2년차 항목들 중 하작물 재배 전후 증가 또는 감소 방향이 같은 것은 인산, 칼륨, 칼슘 함량이었으며, 95% 신뢰수준에서 1년차에는 인산, 2년차에는 인산과 칼슘이 유의한 차이를 보였다. 질소는 밀 제빵 및 가공 품질에 필요한 곡물 단백질을

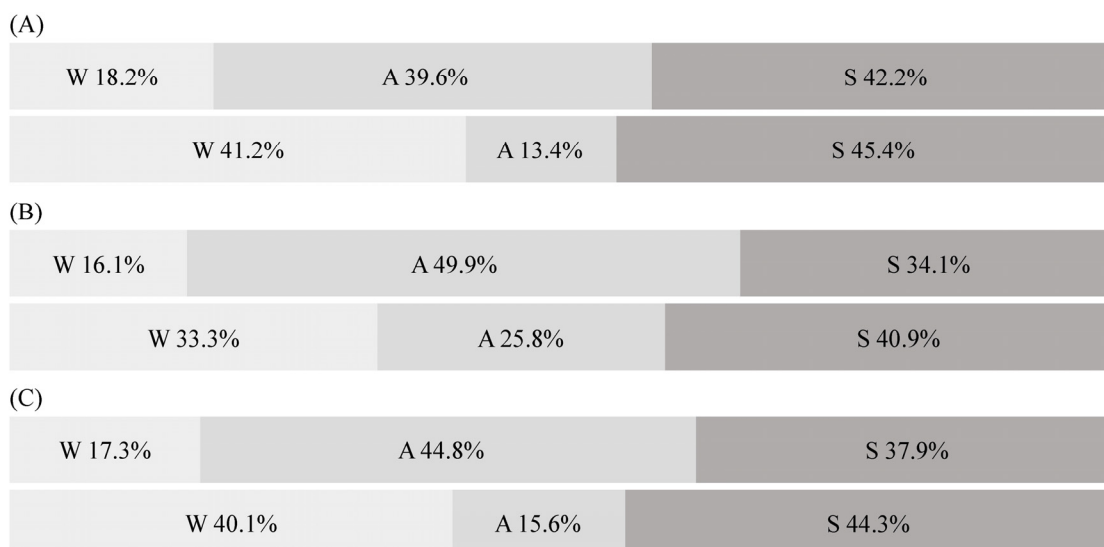


Fig. 1. Soil physical properties before and after summer crop cultivation. W, water content of the soil; A, air content of the soil; S, solid content of the soil. W and A occupy the pores in the soil. Soil physical properties before and after (A) rice cultivation, (B) soybean cultivation, (C) corn cultivation.

Table 4. Soil chemical properties before and after summer crop cultivation.

| Field location ¹⁾ | Year | CBSS ²⁾ | pH | TN ³⁾ | EC ⁴⁾ (ds/m) | OC ⁵⁾ (%) | P ₂ O ₅ ⁶⁾ (mg/kg) | K (cmol _c /kg) | Ca ⁶⁾ (cmol _c /kg) | Mg (cmol _c /kg) | Na (cmol _c /kg) |
|------------------------------|------|--------------------|------|------------------|----------------------------|-------------------------|--|------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| RW | 2021 | Wheat | 6.7 | 0.26 | 0.46 | 2.4 | 106* | 0.9 | 7.0* | 1.8 | 0.20 |
| | | Rice | 6.2 | 0.20 | 0.56 | 2.6 | 66* | 0.6 | 8.3* | 1.6 | 0.15 |
| | | subtract | -0.5 | -0.05 | 0.10 | 0.2 | -40 | -0.3 | 1.2 | -0.2 | -0.05 |
| | 2022 | Wheat | 6.5 | 0.21 | 0.41 | 3.1 | 106* | 0.7 | 8.1* | 1.8 | 0.14 |
| | | Rice | 6.8 | 0.19 | 0.51 | 2.5 | 42* | 0.5 | 9.0* | 2.1 | 0.27 |
| | | subtract | 0.4 | -0.02 | 0.11 | -0.5 | -65 | -0.2 | 1.0 | 0.3 | 0.13 |
| SW | 2021 | Wheat | 6.9 | 0.24 | 0.48 | 2.5 | 144* | 1.2 | 8.2NS | 2.1 | 0.18 |
| | | Soybean | 6.6 | 0.22 | 0.36 | 3.0 | 98* | 0.8 | 8.8NS | 1.8 | 0.14 |
| | | subtract | -0.2 | -0.02 | -0.12 | 0.4 | -46 | -0.4 | 0.6 | -0.3 | -0.05 |
| | 2022 | Wheat | 6.4 | 0.22 | 0.37 | 3.0 | 138* | 0.7 | 7.9* | 1.7 | 0.12 |
| | | Soybean | 6.6 | 0.21 | 0.35 | 2.8 | 55* | 0.6 | 8.2* | 2.0 | 0.21 |
| | | subtract | 0.1 | -0.01 | -0.01 | -0.3 | -83 | -0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.09 |
| CW | 2021 | Wheat | 6.8 | 0.19 | 0.45 | 2.6 | 122* | 1.1 | 7.3* | 2.0 | 0.19 |
| | | Corn | 6.5 | 0.21 | 0.45 | 3.0 | 96* | 0.7 | 9.1* | 1.9 | 0.16 |
| | | subtract | -0.3 | 0.03 | 0.00 | 0.3 | -26 | -0.4 | 1.9 | -0.2 | -0.04 |
| | 2022 | Wheat | 6.6 | 0.20 | 0.34 | 3.0 | 116* | 0.8 | 7.8* | 1.8 | 0.10 |
| | | Corn | 6.9 | 0.20 | 0.43 | 2.7 | 63* | 0.6 | 8.8* | 2.3 | 0.23 |
| | | subtract | 0.3 | 0.00 | 0.10 | -0.3 | -54 | -0.2 | 1.0 | 0.4 | 0.12 |

¹⁾Location of cropping system. RW, Rice-wheat field; SW, Soybean-wheat field; CW, Corn-wheat field ²⁾CBSS, Crop before soil sampling ³⁾TN, Total nitrogen ⁴⁾EC, Electrical conductivity ⁵⁾OC, Organic contents ⁶⁾Statistically significant difference based on ANOVA test (* $P < 0.05$)

축적하는데 필수적인 요소인데(Zorb *et al.*, 2018), 토양의 인(P)은 종자에서의 질소(N)와 인(P) 농도와 축적을 향상시킨다는 결과(Jian *et al.*, 2006)가 있으므로, 토양 내 인산함량 변화가 밀 품질에 영향을 미치는 요소로 작용할 수 있다고 판단된다.

적 요

벼, 콩, 옥수수과 밀을 이모작하여 작부체계가 경질밀인 금강밀과 조경밀의 생육 및 품질에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 조사하였다.

1. 밀 이모작에서 하작물에 의한 밀의 생육기 및 수량 차이는 나타나지 않았으나 경장에 유의한 차이를 나타내었고, 경장은 벼와의 작부체계에서 가장 컸으나, 경장이 밀 품질에는 영향을 미치지 않았다..
2. 밀 품질 요소들 중 단백질함량은 콩을 심은 후 재배한 밀에서 가장 컸으며, 품종에 따라 단백질함량의 증감 정도에 차이가 있었다. 품종특성으로 비교했을 때 상대적으로 단백질 함량이 적은 조경밀이 상대적으로 단백질 함량이 많은 금강밀보다 콩과의 작부체계에 의한 단백질 함량 증가가 크게 나타났다.
3. 작부체계에 따른 토양 중량수분함량에 차이가 있었으며, 밭 상태로 작부체계를 하는 콩과 옥수수의 경우보다 재배시 물을 가뉘야하는 벼를 재배했을 때 공극내 액상비율이 증가하였고, 이러한 토양환경 변화는 밀 품질 변화에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.
4. 토양 화학성에서 인산과 칼슘의 함량이 작부체계에 따라 유의하게 변화한다고 판단되었으며, 가장 밀 품질을 향상시켰던 콩 재배시 토양 내 인산이 가장 많이 감소하였으므로 토양 인산함량과 밀 품질과의 관계에 대한 연구가 필요하다.

이상의 결과를 통해 국내 품종에서 콩과의 이모작이 경질밀로서 우수한 품질의 밀을 생산하는데 도움이 될 것으로 예상되며, 하작물의 재배가 밀에 어떤 영향을 끼치는지에 대한 생리적 실험 진행에 근거가 될 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(경질밀의 등숙기 강우와 작부체계 유형에 따른 품질변이분석(2공동), 공동연구번호: PJ01604302)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드

립니다. 본 논문의 영문교정은 Editage (www.editage.co.kr)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

- AACCI. 2010. Approved methods of analysis. 11th ed. AACCI International, St. Paul, MN, USA. Method 08-01.01, 44-30.01, 56-61.02.
- Abdulkarim, L. A., B. J. Mahmood, and A. A. Abdullah. 2020. Succession effect of wheat cultivation after some crops on mycorrhizal infection, yield, and quality of wheat. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*. 32(5) : 167-173.
- Bhatt, R., S. Kukal, M. Busari, S. Arora, and M. Yadav. 2016. Sustainability issues on rice-wheat cropping system. *International Soil and Water Conservation Research*. 4(1) : 64-74.
- Caviglia, O. P., V. O. Sadras, and F. H. Andrade. 2011. Yield and quality of wheat and soybean in sole-and double-cropping. *Agronomy Journal*. 103(4) : 1081-1089.
- de Moraes, M. T., H. Debiasi, R. Carlesso, J. C. Franchini, V. R. da Silva, and F. B. da Luz. 2016. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. *Soil and Tillage Research*. 155 : 351-362.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2023. FAO food price index continues to fall.
- Garrido, R. J., L. Bellido, and L. Lopez-Bellido. 2001. Effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil nitrate and wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomie*. 21(6-7) : 509-516.
- Gupta, R. and A. Seth. 2007. A review of resource conserving technologies for sustainable management of the rice-wheat cropping systems of the Indo-Gangetic plains (IGP). *Crop Protection*. 26(3) : 436-447.
- Gursoy, S., A. Sessiz, and S. S. Malhi. 2010. Short-effects of tillage and residue management following cotton on grain yield and quality of wheat. *Field Crops Research*. 119(2-3) : 260-268.
- Jian, J., G. Wang, X. Liu, X. Pan, S. J. Herbert, and C. Tang. 2006. Interaction Between Phosphorus Nutrition and Drought on Grain Yield, and Assimilation of Phosphorus and Nitrogen in Two Soybean Cultivars Differing in Protein Concentration in Grains. *Journal of Plant Nutrition*. 29(8) : 1433-1449.
- Jin, Z., T. Shah, L. Zhang, H. Liu, S. Peng, and L. Nie. 2020. Effect of straw returning on soil organic carbon in rice-wheat rotation system: A review. *Food and Energy Security*. 9(2) : e200.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today*. 12 : 334-360.
- KOSTAT (Statistics Korea). 2022. Agricultural area survey.
- Ku, B. I., M. K. Choi, S. G. Kang, W. G. Sang, M. H. Lee, H. K. Park, Y. D. Kim, and J. H. Lee. 2013. Change of growth and ripening environment of rice after wheat cropping in winter

- season. *The Korean Journal of Crop Science*. 2013(3) : 61-61.
- Lee, M. R., B. G. Swanson, and B. K. Baik. 2001. Influence of amylose content on properties of wheat starch and bread-making quality of starch and gluten blends. *Cereal chemistry*. 78(6) : 701-706.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2019. The 2019 Budget and Fund Utilization Plan. pp. 359-379.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2023. The 2023 Budget and Fund Utilization Plan. pp. 2421-3298.
- Meena, R. K., S. S. Parihar, M. Singh, and M. Khanna. 2016. Effects of sowing dates and irrigation regimes on grain quality of wheat grown under semi-arid condition of India. *Journal of Applied and Natural Science*. 8(2) : 960-966.
- Nayyar, V. K., C. L. Arora, and P. K. Katak. 2001. Management of soil micronutrient deficiencies in the rice-wheat cropping system. *Journal of Crop Production*. 4(1) : 87-131.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAS, Suwon, Korea.
- Nuttall, J. G., G. J. O'Leary, J. F. Panozzo, C. K. Walker, K. M. Barlow, and G. J. Fitzgerald. 2017. Models of grain quality in wheat-A review. *Field Crops Research*. 202 : 136-145.
- Park, E. Y., B. K. Baik, P. R. Miller, I. C. Burke, E. A. Wegner, N. E. Tautges, C. F. Morris, and E. P. Fuerst. 2015. Functional and nutrient characteristics of wheat grown in organic and conventional cropping systems. *Cereal Chemistry*. 92(5) : 504-512.
- Park, J. H., C. S. Park, C. S. Kang, J. Yang, H. Y. Jung, K. M. Kim, C. H. Choi, 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 Journal of Breeding Science*. 53(2) : 83-95.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Manual for standard evaluation method in agricultural experiment and research. pp. 339-361.
- RDA (Rural Development Administration). 2023. The 2023 Plan for Promoting the Domestic Wheat Industry.
- Sang, W. G., H. Y. Jung, Y. C. Song, C. H. Choi, D. G. Seong, and K. N. An. 2019. Good brand development for the cultivation enlargement of the highest quality rice varieties in reclaimed area and double-cropping field. *National Institute of Crop Science*. pp. 35-45.
- 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. *The Korean Journal of Crop Science*. 66(1) : 18-28.
- Smith, E. G., R. P. Zentner, C. A. Campbell, R. Lemke, and K. Brandt. 2017. Long-term crop rotation effects on production, grain quality, profitability, and risk in the northern great plains. *Agronomy Journal*. 109(3) : 957-967.
- Tomasz, C., S. Aldona, and S. Roman. 2020. Quantification of ash and moisture in wheat flour by Raman spectroscopy. *Foods*. 9(3) : 280.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2023. Grain and Feed Annual (Korea-Republic of). Foreign Agricultural Service. KS2023-0005.
- Wang, F., Z. He, K. Sayre, S. Li, J. Si, B. Feng, and L. Kong. 2009. Wheat cropping systems and technologies in China. *Field Crops Research*. 111(3) : 181-188.
- Yadav, R. L., B. S. Dwivedi, and P. S. Pandey. 2000. Rice-wheat cropping system: assessment of sustainability under green manuring and chemical fertilizer inputs. *Field Crops Research*. 65(1) : 15-30.
- Zorb, C., U. Ludewig, and M. J. Hawkesford. 2018. Perspective on wheat yield and quality with reduced nitrogen supply. *Trends in Plant Science*. 23(11) : 1029-1037.