

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.4.566>
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Soil Water Profiles, and Growth and Yield of Waxy Corn as Affected by Different Tillage in Upland Converted from Paddy Field

Woo-Jung Choi^{1,2} and Han-Yong Kim^{2,3*}¹Professor, Department of Rural and Biosystems Engineering & Research Unit for Climate-Smart Reclaimed-Tideland Agriculture, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea²Professor, AgriBio Institute of Climate Change Management, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea³Professor, Department of Applied Plant Science, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea*Corresponding author: hyk1020@jnu.ac.kr

ABSTRACT

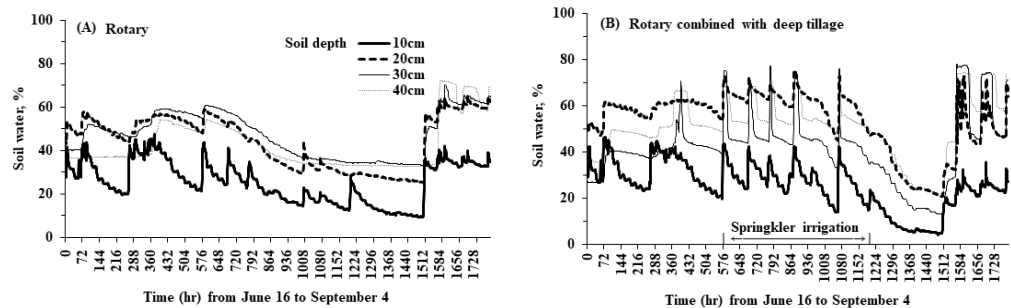
Received: October 29, 2020
Revised: November 15, 2020
Accepted: November 16, 2020

ORCID

Woo-Jung Choi
<http://orcid.org/0000-0002-2009-8207>Han-Yong Kim
<http://orcid.org/0000-0001-6280-6251>

In Korea, rice consumption per capita has steadily been reducing, and hence the harvested area of paddy rice decreased by 18% from 892,074 ha in 2010 to 729,814 ha in 2019 during last decade, leading to the potential to stimulate upland crop production in converted-upland from paddy field. Here, we examined how tillage practice, rotary (RT) in 12cm depth vs. rotary combined with deep tillage (RTDT) in 25cm depth, would affect vertical profiles (0 to 40 cm at 10 cm interval) of soil water and, growth and yield parameters of waxy corn (*Zea Mays* L., ceratina, cv. Ilmichal) grown as sequential cropping of barely in upland field converted from paddy field. With rainfall and sprinkler irrigation, vertical profiles of soil water were varied greatly (20 cm > 40 cm > 30 cm > 10 cm) over whole season in RTDT plot, but not in RT plot. Tillage treatments did not alter plant height, SPAD value, ear setting height, ear number, ear length and ear width of waxy corn. However, the RTDT significantly increased stem diameter by 7.7% (27.1 mm vs. 29.1 mm), above-ground biomass by 28.3% (1,170 g m⁻² vs. 1,501 g m⁻²) and ear fresh yield by 22.4% (1,278 g m⁻² vs. 1,564 g m⁻²). The results suggest that tillage management is likely to be an option to secure upland crop production in drained-paddy which has a potential of crop loss by excessive moisture injury. However, the results that we observed were derived from the first-year upland field converted from paddy field, highlighting a necessity of further studies in second- and third-year upland field converted from paddy field to clarify the long-term effect of tillage practices on waxy corn production.

Keywords: Drained-paddy, Tillage, Soil water, Waxy corn, Yield



Vertical profiles of soil water in upland field converted from paddy field were varied greatly in rotary combined with deep tillage plot (B), but not in rotary only plot (A).



Introduction

정부의 쌀 생산조정 정책에 따른 논 타작물재배 지원 사업 등에 따라 벼 재배면적은 2010년 892,074 ha에서 2019년 729,814 ha로 162,260 ha 감소하였다 (KOSIS, 2020). 이와 같이 최근 10년간 18%이상의 벼 재배면적 감소에도 불구하고, 밭으로 전환한 논 (이하, 밭전환 논) 재배가 가능한 콩과 옥수수의 재배면적은 오히려 각각 18% (2010년 71,422 ha vs. 2019년 58,537 ha)와 4.4% (2010년 15,528 ha vs. 2019년 14,840 ha) 감소하였다 (KOSIS, 2020). 이는 벼 재배면적 감소가 밭전환 논 콩이나 옥수수 재배면적 확대로 연계되지 않았거나, 밭전환 논 재배면적은 증가하였으나 원래의 밭 재배면적이 감소한 결과 중의 하나로 판단된다. 현재 작물재배면적 통계는 이들 작물의 논·밭 재배를 구분하지 않고 있기 때문에 정확한 원인 규명에 한계가 있으나, 전자의 가능성이 높은 것으로 추정된다. 옥수수나 콩을 밭전환 논에서 재배하는 경우 습해 위험이 크기 때문에 재배를 경원하는 경향이 있기 때문이다. 최근 밭전환 논 재배에 적합한 콩 (Kim and Cho, 2005; Takahashi et al., 2006) 이나 옥수수 품종 선발을 통하여 습해나 가뭄에 비교적 강한 품종이나 재배법 (Ji et al., 2011; NICS, 2013)이 개발·보급되고 있음에도 불구하고, 여전히 밭전환 논 재배면적 확대에 어려움을 겪고 있다.

또한, 우리나라 작물재배면적·생산 통계에서 사료용 옥수수와 찰옥수수 (또는 식용옥수수)를 구분하고 있지 않기 때문에 용도별 상세한 재배·생산정보는 알 수 없으나, 논 타작물재배 지원 사업 등의 영향으로 밭전환 논에서는 주로 사료용 옥수수가 재배되고 있는 것으로 추정된다. 식양토 논을 밭으로 전환하여 사료용 옥수수를 재배하거나 지하수위가 높은 경우 습해의 우려가 높고 (Kim and Lee, 1994; Lee et al., 1994), 특히 유묘기 장기간 침수상태에 노출될 경우 피해가 확대된다고 하였다 (Shin et al., 2017). 이러한 밭 전환 논에서도 심경 (Shinoto et al., 2017; Shinoto et al., 2020), 심토파쇄 (Izumi et al., 2009; Seo et al., 2012), 배수개선 (Jung et al., 2016) 등을 통하여 토양경도, 용적밀도, 공극률 등 물리성이 개선되면 근계발달과 양·수분이용효율이 증진되어 (Chaudhary et al., 1985; Lipiec and Stepniewski, 1995), 대부분의 경우 증수효과가 인정되었다 (Hunt et al., 2004; Izumi et al., 2009; Seo et al., 2012). 그러나 밭전환 논이 가뭄에 노출될 경우에도 사료용 옥수수의 생산성과 품질이 크게 감소하는 것으로 알려져 있다 (Ji et al., 2011). 따라서 밭전환 논에서 옥수수를 재배하는 경우 습해와 건조해 (가뭄)에 종합적으로 대응 가능한 토양관리기술의 적용이 중요할 것으로 판단된다.

한편, 앞서 언급한 바와 같이 밭전환 논에서 사료용 옥수수에 대한 연구는 다수 이루어져 왔으나, 국내 사료용 옥수수보다 재배면적이나 시장규모가 훨씬 큰 것으로 추정되고 있는 찰옥수수에 대한 연구는 상대적으로 미흡하다 (KARES, 2014). 밭전환 1년차 사질논에서 경운심도 (20 cm, 30 cm, 40 cm)를 달리하여 찰옥수수의 생육과 수량형질을 검토한 연구에서는 경심 20 cm보다 30 - 40 cm의 심경에서 우수한 형질이 관찰되었으나, 밭전환 2년차 이후 논에서는 경운심도에 따른 찰옥수수 생육 및 수량 형질에 일정한 경향이 관찰되지 않는다고 하였다 (KARES, 2014). 또한, 우리나라의 작부체계상 중요한 위치를 차지하는 맥류후작 찰옥수수의 밭전환 논 재배에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 밭전환 논 맥류후작 1년차 시험포장에서 서로 다른 경운조건 (로터리 vs. 심경로터리)에서 찰옥수수 (품종: 일미찰)를 재배하여 주요 생장 및 수량 파라미터를 조사하고, 옥수수 전체생육기간에 걸쳐 토심층위별 토양수분 프로파일 변화를 실시간 계측하였다. 본 연구는 밭전환 논에서 맥류후작 찰옥수수의 안정생산기술 개발을 목적으로 수행하였다.

Materials and Methods

시험 포장 및 토양특성 본 시험은 2018년 전남대학교 농업실습교육원 답작포장 (35°10'N, 26°53'E, alt. 33.0 m)을 논으로 전환한 밭 시험포장 (전환 1년차)에서 맥류 (보리) 후작으로 실시하였다. 시험포장의 보리 수확직후 토양 이화학적 특성은 Table 1에 나타낸바와 같다. 토양 pH, 총질소, 총탄소, 유기물, 유효인산 함량은 농촌진흥청의 토양 화학분석법 (NAAS, 2010)에 준하여 분석하였다. 토양 pH와 총질소 및 총탄소는 각각 pH 측정기 (MP 220Mettler Toledo, USA)와 원소분석기 (FlashEA-1112, Thermo, USA)를 이용하여 분석하였다. 유기물함량 (Organic Matter) 은 Walkley & Black법으로 분석하였으며, 유효인산은 Bray No.1법으로 추출한 후 분광광도계 (UVmini-1240, SHIMADZU)를 이용하여 660 nm에서 비색정량 하였다. 양이온 교환 용량 (CEC)은 NH₄OAc-침출 및 켈달 증류법으로 분석하였고, 토성은 모래는 체가름하여 분리한 후 실트와 점토는 Stoke's 법칙을 이용한 피펫법으로 분석하여 결정하였다.

경운처리 및 시험구 배치 2018년 6월 4일 보리 수확 후, 소형 굴삭기를 이용하여 1,200 m² (길이 60 m × 폭 20 m) 의 시험포장 전체 가장자리 (둘레)에 깊이 40 cm, 폭 30 cm의 배수로를 조성한 다음, 시험포장 전체를 장축 (길이)방 향으로 양분하여 2개의 경운처리구 (경운깊이 12 cm의 로터리구 vs. 25 cm의 심경로터리구)를 설정하였다. 로터리경 운구에서는 쟁기경운을 실시하지 않고 경심 12 cm의 로터리경운만을 실시하였으며, 심경로터리구에서는 우선 쟁기 를 이용하여 경심 25 cm로 깊이같이한 후 로터리경운을 실시하였다.

시험은 두 경운처리구를 각각 3개의 블록으로 설계한 랜덤화 완전 블록설계 3반복 (블록)으로 배치하여 수행하였다.

공시품종 재배 및 기상경과 시험에는 찰옥수수 품종 일미찰을 공시하여 너비 120 cm의 이랑과 폭 깊이 20 cm 의 고랑 (배수로)을 조성한 다음, 소독한 종자를 70 cm×30 cm의 재식밀도로 고티 2열 직파 재배하였다. 종자는 2018 년 6월 10일 1주 2립 파종 후 솟아내기를 실시하여 1주 1본식으로 재배하였고, 결가지도 수시로 제거하여 주간 1본식 으로 하였다. 이랑과 고랑 (배수로)조성 전에 밑거름으로 질소-인산-가리를 성분량으로 각각 8.7-3.0-6.9 g m⁻²시비하 였으며, 질소는 파종 후 31일 (7월 11일)에 8.7 g m⁻²추비하였다. 파종 2일 후 제초제를 살포하여 잡초를 기본 방제하 였으며, 이후 출현하는 잡초는 수시로 제거하여 방제하였다. 시험포장의 관개는 강우 (Fig. 1C)에 의한 자연관수를 기 본으로 필요에 따라 스프링클러 관수를 수시 실시하였다. 스프링클러 관수 시기는 각 경운처리구의 표토 건조정도를 육안으로 판별하여 결정하였다. 옥수수 주요 해충인 조명나방을 비롯한 병해충은 예찰에 기초하여 발생초기에 수시 로 방제하였다. 파종 (6월 10일)에서부터 수확기 (9월 7일)까지의 일평균기온, 일평균일조수, 일평균일사량 및 누적 강우량은 각각 26.9°C, 6.86시간, 19.5 MJ m⁻² 및 803.7 mm이었다. 또한 2018년 8월 23일 목포지역으로 상륙한 태풍 19호 (솔릭)에 의해 경미한 도복이 발생하였으나, 이후의 생육과 수량에 영향을 미치는 수준은 아니었다.

Table 1. Selected physiochemical properties of soil used in the study.

pH (1:5)	Total N (g N kg ⁻¹)	Total C (g C kg ⁻¹)	Organic matter (g kg ⁻¹)	Available P (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	C.E.C. (cmol kg ⁻¹)	Soil texture
6.83	1.2	11.0	26.8	5.6	7.2	Silt

토양수분계측, 작물조사 및 통계분석 파종 5일 후 (6월 15일), 경운처리구 (로터리구 vs. 심경로터리구)에 각 층위별 (10 cm 간격의 4층위) 토양수분계측기 (*EnviroPro*[®], APCOS Pty Ltd., Australia)를 설치하여 수확기까지 30분 간격으로 층위별 토양수분 프로파일을 계측하여 데이터로거 (CR-1000, Campbell, USA)에 1시간 평균으로 저장하였다. 각 경운처리구의 블록 당 3 - 5주를 대상으로 파종 30일 후에 초장과 엽색 (SPAD-502 Plus, Minolta, Japan)를 비파괴적으로 조사(3주/블록)하고, 출사기 (8월 10일) 및 수확기 (9월 7일)에는 주요 생장 및 수량 파라미터 (초장, 경직경, SPAD, 지상부건물중, 착수고, 이삭수, 이삭생체수량, 종실건물수량 등)를 파괴적으로 조사(5주/블록)하여 결정하였다. 엽색도 (SPAD)는 최상위 완전전개 3엽을 대상으로 계측하여 평균값을 이용하였다. 이삭생체수량은 수분변화에 따른 시험오차를 최소화하기 위해 시험포장 현장에서 계량하였으며, 지상부건물중 및 종실건물수량은 온도를 80°C로 제어한 강제송풍건조기에서 72시간 건조시킨 후 계량하였다. 발전환 논에서 맥류후작으로 재배한 일미찰옥수수의 생장과 생산성의 경운처리에 따른 차이를 결정하기 위하여 통계패키지 (*Statistix 10*, Analytical Software, USA)를 이용하여 분산분석을 실시하고, 최소유의차 (LSD, $p < 0.05$)를 검정하여 처리 평균간 차이를 비교하였다.

Results

토양수분 프로파일 강우 (Fig. 1C)와 스프링클러 관수에 노출된 각 경운처리구의 시험기간 토양수분은 조사토층 (토심 10 - 40 cm) 전체로 보면, 강우-관수시기 및 작물생육시기에 의존하면서 로터리구에서는 10 - 70% (Fig. 1A),

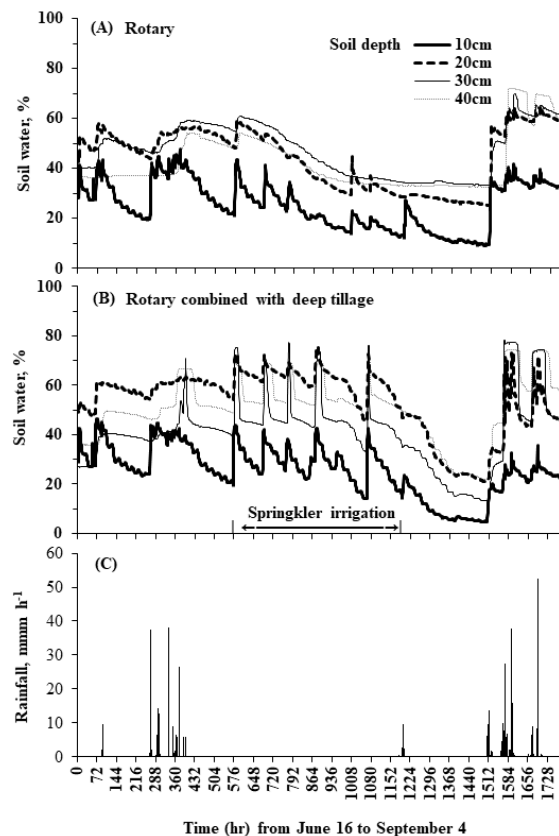


Fig. 1. Soil water vertical profiles in rotary plot (A) and rotary combined with deep tillage plot (B), and rainfall (C) over whole season of waxy corn (cv. Ilmichal) grown as sequential cropping of barely in upland field converted from paddy field.

심경로터리구에서는 5 - 75% (Fig. 1B)범위에 분포하였다. 그러나 강우와 관수에 따른 토양수분 프로파일은 심경로터리구에서는 층위별 뚜렷한 차이 (20 cm > 40 cm > 30 cm > 10 cm)를 나타낸 반면, 로터리구에서는 20 cm이하의 토심층위에서 토양수분 프로파일에 큰 차이가 없었다. 표토에 접하고 있는 토층 10 cm에서의 강우나 관수 전후 수분 프로파일은 로터리구와 심경로터리구에서 유사하였다 (Fig. 1A-B).

생장 파라미터 발전환 논에서 재배한 일미찰 옥수수의 초장은 출사기에 200 - 240 cm에 이르러 거의 전장에 달하였고, 로터리구보다 심경로터리구에서 큰 경향이었으나, 통계적 유의성은 인정되지 않았다 (Fig. 2A). 전체 생육기간을 통하여 경운방법에 따른 작물체의 엽색도 (SPAD) 차이도 인정되지 않으나, 작물의 일반적인 엽색반응과 달리 생육초기보다 후기에 엽색치가 유의하게 높아졌다 (Fig. 2B). 옥수수 최하위절간의 직경은 경운처리와 관계없이 출사기에 최대치에 달하였으나, 로터리구 (26.8 mm)보다 심경로터리구 (29.4 mm)에서 유의하게 컸다 (Fig. 3A). 지상부건물중은 출사기 (462 - 759 g m⁻²)에서 수확기 (1,170 - 1,501 g m⁻²)에 이르는 기간 1.9 - 2.5배 증가하였다. 출사기와 수확기의 지상부건물중 모두 로터리구보다 심경로터리구에서 큰 경향이었으나, 출사기에는 경운방법 간 통계적 유의성이 인정되지 않았으며, 수확기 심경로터리구의 지상부건물중 (1,501 g m⁻²)은 로터리구 (1,170 g m⁻²)에 비하여 28%증가하였다 (Fig. 3B).

수량 파라미터 발전환 논에서 보리후작으로 서로 다른 경운조건에서 재배한 일미찰 옥수수 이삭은 지상으로부터 87.5 - 107.2 cm의 높이에 착생하였으며, 로터리구보다 심경로터리구의 착수고가 높은 경향이었으나, 통계적 유의성은 인정되지 않았다 (Table 2). 또한, 단위면적당 이삭수 (8.4 - 8.7개 m⁻²), 이삭길이 (20.4 - 20.9 cm), 이삭폭 (39.7 - 40.9 mm) 및 이삭당 입수 (272.2 - 332.6개)에도 경운방법 간에 유의한 차이가 인정되지 않았다. 그러나 단위면적당

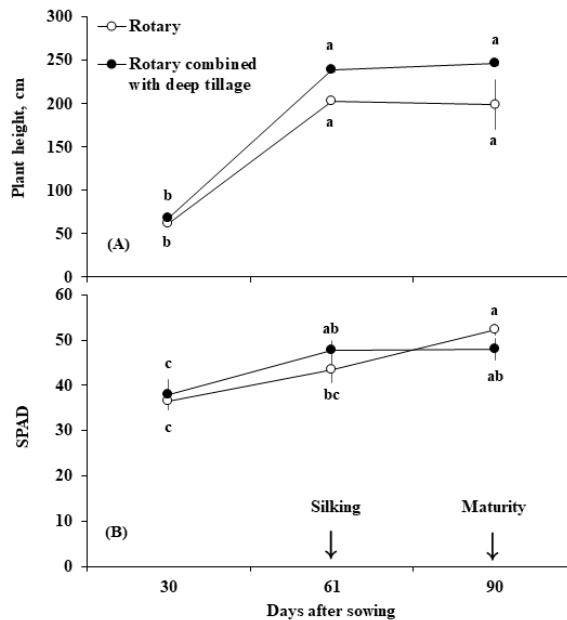


Fig. 2. Plant height (A) and SPAD values (B) of waxy corn (cv. Ilimichal) grown as sequential cropping at different tillage conditions (rotary only vs. rotary combined with deep tillage) in upland field converted from paddy field. Data were presented with the mean values of three replications with standard errors (vertical bars). Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$) between tillages, growth stages and in their interaction.

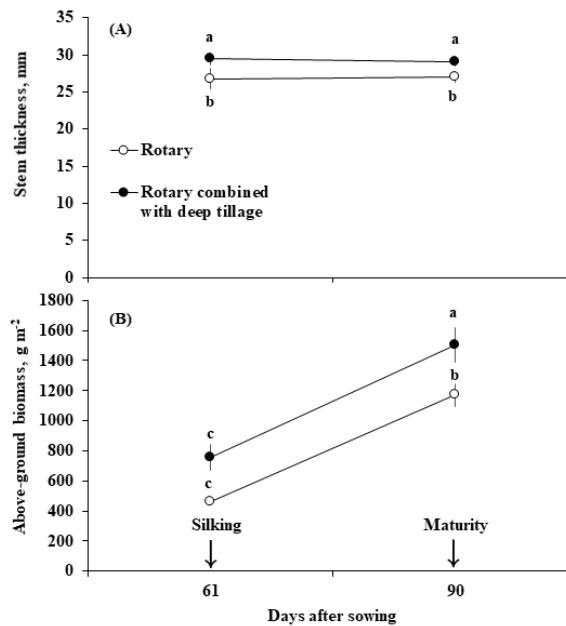


Fig. 3. Stem thickness in the most lower internode (A) and above-ground biomass (B) of waxy corn (cv. Ilmichal) grown as sequential cropping at different tillage conditions (rotary only vs. rotary combined with deep tillage) in upland field converted from paddy field. Data were presented with the mean values of three replications with standard errors (vertical bars). Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$) between tillages, growth stages and in their interaction.

Table 2. Yield parameters of waxy corn (cv. Ilmichal) as affected by different tillage in converted upland field from paddy field.

Parameters	Tillage		ANOVA results (<i>p</i> -values)
	Rotary	Rotary combined with deep tillage	
Ear setting height, cm	87.5a [†]	107.2a	0.0923
Ear number m ⁻²	8.4a	8.9a	0.4226
Ear length, cm	20.4a	20.9a	0.3053
Ear thickness, mm	39.7a	40.9a	0.5311
Ear fresh yield, g m ⁻²	1277.9b	1564.0a	0.0230
Grain number ear ⁻¹	272.2a	332.6a	0.2574
100-grain dry mass, g	18.2b	21.3a	0.0366
Dry seed yield, g m ⁻²	411.0b	628.2a	0.0136

[†]Different letter and bold number in row indicate significant difference ($p < 0.05$) between treatments.

이삭생체수량은 로터리구보다 심경로터리구에서 22.4% ($1,278 \text{ g m}^{-2}$ vs. $1,564 \text{ g m}^{-2}$) 증가하였고, 종실건물100립중 및 종실건물수량도 심경로터리구에서 유의하게 증가하였다 (Table 2).

Discussion

정부의 쌀 생산조정 정책의 일환으로 추진 중인 논 타작물재배 지원 사업 (MAFRA, 2020)에 따라 발전환 논에서 콩 (Kim and Cho, 2005), 사료용 옥수수 (Kim and Lee, 1994; Lee et al., 1994; Ji et al., 2011; Seo et al., 2012; Jung

et al., 2016; Shin et al., 2017) 등의 재배가 이루어지고 있으나, 찰옥수수를 발전환 논에서 맥류후작으로 재배하여 경운방법에 따른 토양수분동태와 작물 성장 및 수량 파라미터를 계량적으로 평가한 연구사례는 매우 드물다 (KARES, 2014). 본 연구에서는 발전환 논 1년차 시험포장에서 보리후작 토양의 경운방법에 따른 토양수분 프로파일과 일미찰옥수수의 주요 성장과 수량파라미터 반응을 검토하였다.

토양수분 프로파일 농경지의 토양수분 프로파일은 토양의 물리적 특성 등 토양 내적요인 (Kim and Lee, 1994) 및 강우와 대기의 증발산요구도 등 외적환경요인 (Im et al., 1982) 이외에 경운관리방법 등 (Seo et al., 2012; KARES, 2014; Shinoto et al., 2017; Shinoto et al., 2020)에 따라 달라질 수 있다. 특히, 경운심도 및 경운방법은 토양경도 (또는 관입저항성, 토양용적밀도)에 대한 영향을 통하여 작물재배기간 중의 토양수분 프로파일을 변화시킬 수 있고 나아가 작물생육에도 영향을 미칠 수 있는 것으로 인식되고 있다 (Seo et al., 2012; Jung et al., 2016; Shinoto et al., 2020). 본 연구에서도 강우 및 스프링클러 관수에 따른 층위별 토양수분 프로파일은 경심이 12 cm에 불과한 로터리구와 경심 25 cm의 심경로터리구에서 뚜렷한 차이를 나타내었다 (Fig. 1A-C). 강우와 스프링클러 관수에 따른 토심 10 cm층 위에서의 토양수분 증가와 강우·관수 중지에 따른 토양수분 감소 패턴은 로터리구와 심경로터리구에서 유사한 경향을 나타낸 반면, 20 cm이하의 토심층위에서는 로터리구보다 심경로터리구에서 층위별 토양수분 프로파일의 변화가 크고 함수율이 대체로 높게 유지되었다. 또한 20 cm이하 층위의 수분프로파일은 표토에 접한 토심 10 cm층위에서의 수분변동 패턴과도 일치하였다. 이러한 결과는 2가지 대립적 관점에서 중요한 시사점을 갖는 것으로 판단되었다. 첫째, 심경로터리에 의한 토양관입저항성 (토양경도) 감소 (Shinoto et al., 2017) 및 용적밀도의 감소 (Seo et al., 2012; Jung et al., 2016)는 지하부에 저수지 효과를 발생시켜 강우량이 적은 시기에 지하에 스며든 강우 및 관개수를 모관수의 형태로 효율적으로 이용할 수 있는 포텐셜이 증대될 수 있다. 둘째, 그러나 장마철 장기간에 걸쳐 강우가 계속되는 경우 다량으로 형성된 지하저수량은 오히려 습해발생 포텐셜을 증대시킬 수 있다. 본 연구에서는 아래에서 고찰하는 바와 같이, 작물성장 및 수량 파라미터에 대한 심경로터리의 영향이 인정되지 않거나 정의 영향이 인정된 것에 비추어 볼 때, 위의 첫째 포텐셜이 작동하거나 적어도 둘째 포텐셜이 작동하지는 않은 것으로 판단되었다.

찰옥수수 성장과 수량 파라미터 발전환 논에서 재배한 옥수수의 성장과 수량 형질에 대한 경운방법 (Seo et al., 2012; Shinoto et al., 2017)이나 경운심도 (KARES, 2014)의 영향을 검토한 연구사례는 많지 않다. 로터리경운과 쟁기경운 등의 경운방법에 따른 사료용 옥수수의 생육과 수량형질에 현저한 차이가 없는 것으로 알려져 있다 (Shinoto et al., 2017; Shinoto et al., 2020). 한편, 밭으로 전환한 1년차 사질논에서 경운심도 (20 cm, 30 cm, 40 cm)에 따른 찰옥수수의 생육과 수량형질을 검토한 연구에서는 경심 20 cm보다 30 - 40 cm의 심경에서 우수한 형질이 관찰되었으나, 전환 2년차 이후 논에서는 경운심도에 따른 찰옥수수 생육 및 수량 형질의 일정한 경향이 관찰되지 않았다 (KARES, 2014). 발전환 논 1년차 시험포장에서 보리후작으로 찰옥수수를 시험 재배한 본 연구에서는 경운방법 (로터리 vs. 심경로터리)에 따른 초장, 엽색도, 착수고, 이삭수, 이삭길이, 이삭폭 등 다수의 성장 및 수량 파라미터에 유의한 차이가 인정되지 않았다. 그럼에도 불구하고 수확기 최하위절 간경과 지상부건물중 및 이삭생체수량 등 주요 성장 및 수량 파라미터 (Fig. 2A-B; Table 2)는 심경로터리구에서 유의하게 증대되었다. 이러한 결과는 밭으로 전환한 1년차 사질논에서 경운심도에 따른 찰옥수수 미백2호의 생육 및 수량형질 차이가 인정된 연구결과 (KARES, 2014)와 일치하는 경향이었다. 본 연구에서 발전환 논 1년차 시험포장의 심경로터리 조건에서 맥류후작으로 재배한 일미찰옥수

수의 이삭생체수량 증수요인으로 2018년 옥수수 작기의 강우패턴과 관수관리가 그 주요 요인으로 판단되었다. 즉, 6월 10일 파종 이후 비교적 생육초기와 생육후기에 강우가 집중되고, 강우가 부족하여 스프링클러 관수에 의존했던 생육중기 심경로터리구의 옥수수가 보다 넓은 토층범위에서 토양수분 (Fig. 1A-C)을 효율적으로 이용함으로써 근계 (Shinoto et al., 2017)와 지상부건물중 (Fig. 2B)이 크게 증대되고, 나아가 이삭생체수량을 증대시킨 것으로 추찰되었다. 그러나 전환 밭 2년차 이후 찰옥수수 생장과 수량형질에 대한 경운심도 영향이 소멸된 연구사례 (KARES, 2014)에서 보듯이, 본 연구에서 관찰된 주요 생장 및 수량 파라미터에 대한 로터리구와 심경로터리구 간의 차이는 발전환 논 맥류후작 찰옥수수의 장기 재배시험을 통하여 지속성 여부를 명확히 구명할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

Conclusions

본 연구에서는 발전환 논 1년차 시험포장에서 보리후작 토양의 경운방법 (로터리 vs. 심경로터리)에 따른 층위별 (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm) 토양수분 프로파일, 일미찰옥수수의 생장 및 수량 파라미터 반응을 검토하였다. 강우·관수에 따른 토양수분 프로파일은 심경로터리조건에서는 층위별 뚜렷한 차이 (20 cm > 40 cm > 30 cm > 10 cm)를 나타낸 반면, 로터리조건에서는 20 cm이하의 토심층위에서 큰 차이가 없었고, 10 cm 층위의 토양수분 프로파일은 두 경운처리구에서 유사하였다. 초장, 엽색도 (SPAD), 착수고, 이삭수, 이삭길이, 이삭폭 등의 생장 및 수량 파라미터에 경운처리 (로터리 vs. 심경로터리) 간 유의차가 발견되지 않은 반면, 수확기 최하위절 간경과 지상부건물중 및 이삭생체수량은 로터리구에 비하여 심경로터리구에서 각각 7.7% (27.1 mm vs. 29.1 mm), 28.3% (1,170 g m⁻² vs. 1,501 g m⁻²) 및 22.4% (1,278 g m⁻² vs. 1,564 g m⁻²) 유의하게 증대하였다. 이상의 결과로부터 발전환 논에 경운관리에 의한 찰옥수수의 생산성 개선 가능성이 시사되었다. 그럼에도 불구하고, 본 연구 결과는 발전환 논 1년차 시험포장의 맥류후작 재배시험을 통하여 도출된 것으로서, 수확기 주요 생장 및 수량 파라미터에 대한 심경로터리경운 효과는 발전환 논 맥류후작 찰옥수수 장기 재배시험을 통하여 그 지속성 여부를 보다 명확히 구명할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ01336802)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Chaudhary, M.R., P.R. Gajri, S.S. Prihar, and R. Khera. 1985. Effect of deep tillage on soil physical properties and maize yields on coarse textured soils. *Soil Tillage Res.* 6:31-44.
- Hunt, P.G., P.J. Bauer, T.A. Matheny, and W.J. Busscher. 2004. Crop yield and nitrogen accumulation response to tillage of a coastal plain soil. *Crop Sci.* 44:1673-1681.
- Im, J.N., Y.S. Jung, K.S. Ryu, and S.H. Yoo. 1982. Evapotranspiration of soybean-barley cropping as a function of evaporation and available soil water in the root zone. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 15:213-217.
- Izumi, Y., T. Yoshida, and M. Iijima. 2009. Effect of subsoiling to the non-tilled field of wheat-soybean rotation on the root system development, water uptake, and yield. *Plant Prod. Sci.* 12:327-335.

- Ji, H.J., J.H. Cho, S.H. Lee, and W.H. Kim. 2011. Effect of drought conditions on growth, forage production and quality of silage corn at paddy field. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 31:47-54 (in Korean with English Abstract).
- Jung, K.Y., Y.D. Cho, H.C. Chun, S. Lee, and H.W. Kang. 2016. Interspecific differences of the capacities on the excessive soil moisture stress for upland crops in converted paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49:157-167 (in Korean with English Abstract).
- KARES (Kangwondo Agricultural Research & Extension Services). 2014. The stable production of waxy corn in paddy. Final Report of RDA Project (PJ907079), pp. 59 (in Korean with English Summary).
- Kim, S.H. and H.J. Lee. 1994. Growth and yield of forage crops affected by soil texture in upland diverted from paddy field. *Korean J. Crop Sci.* 39:577-584 (in Korean with English Abstract).
- Kim, Y.W. and J.H. Cho. 2005. Growth and yields of Korea soybean cultivars in drained-paddy field. *Korean J. Crop Sci.* 50:161-169 (in Korean with English Abstract).
- KOSIS (Korean Statistical Information Services). 2020. <http://kosis.kr> (assessed on Oct. 1).
- Lee, H.J., S.H. Kim, and H.S. Lee. 1994. Growth of maize and sorghum-sudangrass hybrid affected by soil texture and ground water levels. *Korean J. Crop Sci.* 39:585-593 (in Korean with English Abstract).
- Lipiec, J. and W. Stepniewski. 1995. Effect of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil Tillage Res.* 35:37-52.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2020. <http://mafra.go.kr> (assessed on Oct. 1).
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010. Method of Analysis of Soil and Plant, RDA, Suwon.
- NICS (National Institute of Crop Science). 2013. Development of silage corn variety and cultural practice adaptable to paddy soil cultivation. Final Report of RDA Project (PJ007623). pp. 54 (in Korean with English Abstract).
- Seo, J.H., S.B. Back, Y.U. Kwon, C.K. Kim, K.H. Jung, G.H. Jung, J.E. Lee, B.Y. Son, and S.J. Kim. 2012. Effect of subsoiling on silage maize yield in paddy field converted to upland condition. *Korean J. Crop Sci.* 57:430-435 (in Korean with English Abstract).
- Shin, S., G.H. Jung, S.G. Kim, S.Y. Son, S.G. Kim, J.S. Lee, J.T. Kim, H.H. Bae, K.B. Shim, J.E. Lee, S.B. Baek, and W.T. Jeon. 2017. Effect of prolonged waterlogging on growth and yield characteristics of maize (*Zea mays* L.) at early vegetative stage. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 37:271-276 (in Korean with English Abstract).
- Shinoto, Y., T. Matsunami, R. Otani, and S. Maruyama. 2020. Effects of tillage on growth, yield and root lodging of six maize hybrid in upland fields converted from paddy fields in Andosol. *Plant Prod. Sci.* 23:39-47.
- Shinoto, Y., T. Matsunami, R. Otani, H. Kanmuri, and S. Maruyama. 2017. Effects of plowing on growth and grain yield of maize (*Zea mays* L.) in upland field converted from paddy field in Andosol. *Jpn. J. Crop Sci.* 86:151-159 (in Japanese with English Abstract).
- Takahashi, T., H. Hosokawa, and M. Mastuzaki. 2006. N₂ fixation of nodulation and N absorption by soybean roots associated with ridge tillage on poorly drained upland field converted from rice paddy field. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52:291-299.