

ORIGINAL ARTICLE

신간척지 벼 재배 농지의 답전유회환에 따른 토양 특성 및 작물 생산성 변화

오양열* · 김영주¹⁾ · 이수환 · 류진희 · 김선 · 이정태 · 전재범 · 김길용²⁾

농촌진흥청 국립식량과학원, ¹⁾전주비전대학교 지적토목학과, ²⁾전남대학교 농화학과

Effects of Paddy-Upland Rotation on Soil Characteristics and Crop Productivity in Rice Fields on Reclaimed Tidal land

Yang-Yeol Oh*, Young-Joo Kim¹⁾, Su-Hwan Lee, Jin-Hee Ryu, Sun Kim, Jung-Tae Lee, Jae-Beum Jun, Kil-Young Kim²⁾

Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

¹⁾Department of cadastre & Civil engineering, Vision College of Jeonju, Jeonju 55069, Korea

²⁾Institute of Environmentally-Friendly Agriculture, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

Abstract

Paddy-upland rotation system is one of the important cropping system for improving soil quality and crop productivity. we conducted to investigate the effect of paddy-upland rotation system on soil properties and crop productivity in reclaimed tidal land. The paddy-upland rotation could be effective to conserve soil water contents and prevent from salt damage when cultivating upland crops. The first two years of maize cultivation after rice cultivation could be effective to secure stable production. However, in case of soybean crop, the rotation effect might be lower than that of maize. In the first year, the yield of soybean was 214 kg/10a. In the second and third year, the yields of soybean decreased consecutively to 152, 123 kg/10a respectively. In this paper, it would be suggested that maize be cultivated for up to two years and soybean be cultivated for one year after rice crop grown in reclaimed tidal land. This study could be provide basic data of the physico-chemical properties applicable to paddy-upland rotation system at reclaimed tidal lands.

Key words : Crop production, Paddy-upland rotation, Reclaimed tidal land, Soil, Soil salinity

1. 서론

간척지는 조수 간만의 차를 이용하여 내부의 물을 배제 후 매립사업을 통하여 이루어 놓은 땅을 말한다. 우리나라 간척지는 국토확장 및 국가발전의 균형유지

를 위하여 그 사업이 시작되었으며, 전체 202개 지구 총 13만 5천 ha가 준공예정이다(Lee, 2012). 이 중 농지로 이용되는 간척농지는 약 7만 4천 ha 인데, 간척사업 개발 초기에는 식량증산을 주 목적으로 하여 벼가 주로 재배 되었다. 하지만 쌀 소비감소 및 밭작물의

Received 22 March, 2018; Revised 8 May, 2018;

Accepted 29 May, 2018

*Corresponding author: Yang Yeol Oh, National Institute of Crop Science, Wanju 55365, Korea
Phone : +82-63-238-5317
E-mail : nubira7777@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.

낮은 식량자급률로 인하여 돼지감자 등 다양한 발작물 재배가 간척지에서 시도되고 있다(Oh, 2016). 그러나 간척지는 지하수위 및 토양 염농도가 높기 때문에 작물 재배가 어렵다(Kim, 2011). 최근에 조성되고 있는 신간척지는 초기 높은 염농도를 제염하기 위해서는 논을 이용한 담수조건이 필요하다. 하지만 토양 염농도가 낮아졌더라도 높은 지하수위 및 모세관 상승에 의하여 염분이 다시 올라오는 재염화 현상에 의하여 발작물 염 피해가 발생되고 있다. 따라서 간척지에서 기존 벼를 재배한 곳에 발작물 등을 안정적으로 재배하기 위해서는 지속적 관리가 필요한 실정이다.

논발윤환은 아시아지역에서 주로 이용되고 있는 작부체계로써(Timsina, 2001), 밭과 논을 몇 해씩 돌려가면서 벼와 발작물을 재배하는 방식이며, 기존 벼를 재배한 후 그 해 겨울 밀을 재배하는 이모작과 구별된다(Shirato, 2011). 기본적으로 논발윤환은 염류 등을 억제하고 유기물 분해를 증가하며, 통기성 및 투수성을 증가시키는 등 작물의 생산성을 증가 시킨다는 장점이 있다(Yoon, 2014).

따라서 벼를 계속 재배했던 곳에서 논발윤환을 도입한 후 발작물을 연작했을 때 토양 염농도 변화를 관찰하고 작물 생산성을 비교하여 어떤 방법으로 윤환해야 하는지 심도 깊은 연구가 필요하다. 현재 전 세계적으로 다양한 발작물들이 논발윤환을 적용하여 시도 및 재배되고 있다. 우리나라에서도 논발윤환에 대해서는 많은 연구가 되었으나, 간척지 논에서 논발윤환을 적용했을 때 토양변화 및 발작물 생산성에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 논으로 이용되고 있는 간척지에서 논발윤환을 적용하였을 때 토양 특성 변화와 작물의 생육특성을 파악하여 간척지에 논발윤환을 적용하기 위한 기초자료를 제공하고자

수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험장소 및 토양조건

본 시험은 신간척지에서 벼를 연작한 지점에서 논발윤환을 도입하였을 때 발작물의 생육특성 및 수량, 토양특성 변화를 관찰하기 위하여 전라북도 부안군에 위치한 새만금 간척지 계화지구 내 국립식량과학원 시험포장(35°46'N, 126°37'E)에서 2014년부터 2016년까지 수행하였다. 시험포장은 새만금 간척지가 완공 후 2010년부터 2013년까지 벼를 계속 재배한 곳(담수조건)을 선정하였으며 각 처리구의 담수윤환 형태는 Table 1과 같다.

논-논-논(P-P-P) 처리구는 2010년부터 2016년까지 담수조건 즉, 벼를 계속 연작하였고, 논-밭-논(P-U-P) 처리구는 2014년까지 벼를 연작하고, 2015년도에 각각 옥수수와 콩을 재배하여 윤환 한 다음 2016년도에 다시 벼를 재배하였다. 밭-논-밭(U-P-U) 처리구는 2013년까지 벼를 재배하고 2014년에 밭상태인 옥수수와 콩을 재배한 다음 2015년도에 다시 벼를 재배했고 2016년에는 옥수수와 콩을 재배하여 윤환하였다. 마지막으로 밭-밭-밭(U-U-U) 처리구는 2013년까지 벼를 재배하고 2014년부터 2016년까지 계속해서 옥수수와 콩을 연작하였다.

시험토양은 하해혼성충적층을(Fluvio-marine deposit) 모재로 하는 염류토 즉 문포통이었다. 시험 전 토양의 이화학적성은 Table 2와 같다.

2014년 3월 시험 전 토양은 pH는 알칼리성을 보였으며, 유기물함량은 1.07 ~ 2.36 g kg⁻¹로 낮았다. 용적 밀도는 1.39 g cm⁻³ 이상이었다. 토양 EC는 1 dS m⁻¹

Table 1. Crop rotations of the experimental sites

Treatment	2014	2015	2016
P-P-P	Paddy	Paddy	Paddy
P-U-P	Paddy	Upland 1year	Paddy
U-P-U	Upland 1year	Paddy	Upland 1year
U-U-U	Upland 1year	Upland 2year	Upland 3year

Table 2. Soil properties before this study began in 2014 (0~20 cm)

Treatment	pH 1:5	EC dS m ⁻¹	OM g kg ⁻¹	T-N g kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	Bulk density g cm ⁻³
*P-P-P	6.6	0.17	2.36	0.40	0.34	1.81	2.5	0.83	1.49
*U-U-U	7.1	0.40	1.79	0.70	0.44	1.91	2.7	0.49	1.39

* PPP : Paddy-Paddy-Paddy, UUU : Upland-Upland-Upland

이하의 염류도를 나타내었는데, 이는 간척지에서 벼를 계속 재배해왔기 때문에 담수로 인한 제염이 되었기 때문이라고 판단된다.

2.2. 옥수수 재배

옥수수 시험품종은 찰옥4호를 이용하였으며, 2014년 4월 25일, 2015년 5월 8일, 2016년 5월 13일에 각각 파종하였다. 재식거리는 60 × 25 cm로 하였으며, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O-퇴비를 10a당 20-15-15-1500 kg, 수준으로 사용하였고, 질소비료는 기비와 수비를 50:50으로 분시하였고, 인산, 칼리, 퇴비는 전량을 기비로 로터리 작업전에 사용하였다. 옥수수 생육 및 수량조사는 2014년, 2015년 각각 7월 28일, 8월 13일에 간장, 착수와, 경태, 이삭장, 이삭폭, 이삭수, 이삭중을 처리구당 3반복 10주씩 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 의하여 조사하였다.

2.3. 콩 재배

시험품종은 대풍콩을 이용하였으며 2014년 5월 29일, 2015년 2016년 6월 8일에 파종하였다. 재식거리는 60 × 20 cm 로 하였으며, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O-퇴비를 10a당 6-8-6-1500 kg, 수준으로 사용하였고, 질소비료, 인산, 칼리, 퇴비를 전량을 기비로 로터리 작업전에 사용하였다. 콩 생육 및 수량조사는 2014년, 2015년 각각 10월 16일, 10월 19일, 2016년 10월 13일에 경장, 주경절수, 분지수, 100립중, 개체당협수, 협당립수, 종실수량을 처리구당 3반복 10주씩을 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 의하여 조사하였다.

2.4. 벼 재배

벼 시험품종은 청호벼를 이용하였으며, 2014년 5월 30일, 2015년, 2016년 6월 2일에 3~5분을 기계

이양하였다. 벼 파종 전 종자소독을 실시하였으며, 재식거리는 30 × 14 cm(조건x주간거리), 시비량은 N-P₂O₅-K₂O 10a당 각각 16-5.1-5.7 kg을 시비하였으며 질소비료는 분시비율을 기비:분얼비:수비 각각 40:30:30, 염화칼리는 기비와 수비를 70:30으로 분시하였으며 인산은 전량을 기비로 로터리 작업전에 사용하였다.

2.5. 토양이화학성 조사

토양 분석은 농촌진흥청 국립식량과학원 식량작물 환경 분석법 핸드북(2014)에 의거하여 조사 및 분석하였다. 토양 pH, EC는 1:5 침출법(토양:증류수, 1:5,w/w)으로 pH-EC 미터기(Thermo, Orion Star A215, Thermo, Indonesia)로 분석하였고, 유효인산은 비색측량법(Libra S80, Biochrom, England, 치환성양이온은 침출 후 ICP-OES(Varian, USA)로 분석하였다. 토양수분은 중량법으로 분석하였다. 채취한 습토 시료를 105℃에서 건조한 직후 무게를 측정하여 다음 식(1)과 같이 계산하였다.

$$[(\text{습토무게}-\text{건토무게})/\text{건토무게}]\times 100 \quad \text{식(1)}$$

2.6. 재배기간 기상특성

본 시험을 수행한 2014년부터 2016년까지 시험기간 동안 평균기온 및 강수량을 Fig. 1에 나타내었다. 기상데이터는 농촌진흥청 농업기상정보서비스를 통하여 전라북도 부안군 계화면에 위치한 기상장치를 통하여 데이터를 수집하였다. 2014년도 및 2015년도 평균온도는 5월부터 10월까지 평년 평균온도와 비슷한 분포를 보였다. 2016년도는 5월부터 10월까지 옥수수, 벼, 콩 재배기간 모두 평년대비 높은 온도를 보였다.

월 누적강수량은 옥수수 재배기간 동안(5월~8월)

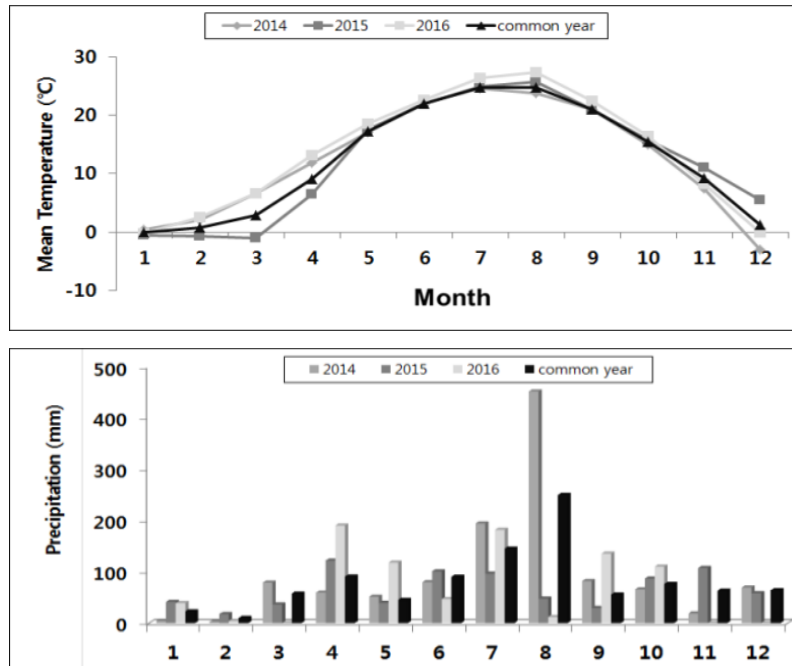


Fig.1. The monthly average temperature (°C) and the monthly accumulative rainfall (mm) in the experiment field during 2014~2016.

2014년에는 778 mm로 평년 531 mm보다 많이 왔었고, 2015년도에는 285 mm로 평년보다 246 mm 적었다. 2016년도도 359 mm로 평년보다 172 mm 적었다. 벼 및 콩 재배기간(6월~10월)은 2014년 874 mm로 평년 618 mm보다 많은 해였고, 2015년은 365 mm로 평년 253 mm 적었고, 2016년도도 486 mm로 평년보다 132 mm 적은 해였다. 종합적으로 2014년은 2015년 및 2016년보다 강수량이 많은 해였고, 2016년은 평년보다 강수량도 적고 평균온도도 높았다.

2.7. 통계분석

통계분석 프로그램 R (Ver. 3.1.1)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 $P < 0.05$ 수준으로 수행하였으며, Duncan test를 통한 다중검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 벼-옥수수 윤환에 따른 토양특성 변화 및 생육특성

2014년부터 2016년까지 간척지 벼재배 후 3년 동안 벼-옥수수 논발윤환 형태를 시험한 결과 토양 EC

변화는 Fig. 2 (a)와 같다. 2014년도에는 옥수수 정식 후 6월 13일 및 수확기인 8월 12일 측정된 EC가 염분 상승으로 인하여 높아지는 것을 볼 수 있었다.

2015년도에도 옥수수를 연작한 처리구(U-U-U)가 6월 하순부터 옥수수 수확시기까지 재염화가 지속적으로 일어나면서 토양 EC가 2.5 ~ 3.5 dS m⁻¹까지 상승하였다. 이는 7월 강수량이 96.5 mm로 평년 강수량 145.5 mm보다 적어 재염화가 일어나기 쉬운 조건이었기 때문이라고 판단된다.

2016년도 또한 논발윤환을 적용한 처리구와 처리하지 않은 처리구가 확연한 차이를 나타내었는데, 전년도 벼를 재배하였던 처리구(U-P-U)가 밭으로 3년 연속 연작한 처리구(U-U-U)에 비하여 낮은 토양 EC를 보였다. 논발윤환 처리구는 1.0 ~ 1.5 dS m⁻¹의 범위를 보였고, 옥수수를 연작한 처리구는 2.0 ~ 2.5 dS m⁻¹의 토양 EC 범위를 나타내었다.

Fig. 2 (b)는 옥수수 재배기간 동안의(15~16년) 토양표토의 수분함량 변화를 나타낸 것이다. 2015년도 토양수분은 전년도 벼를 재배하고 옥수수를 윤환

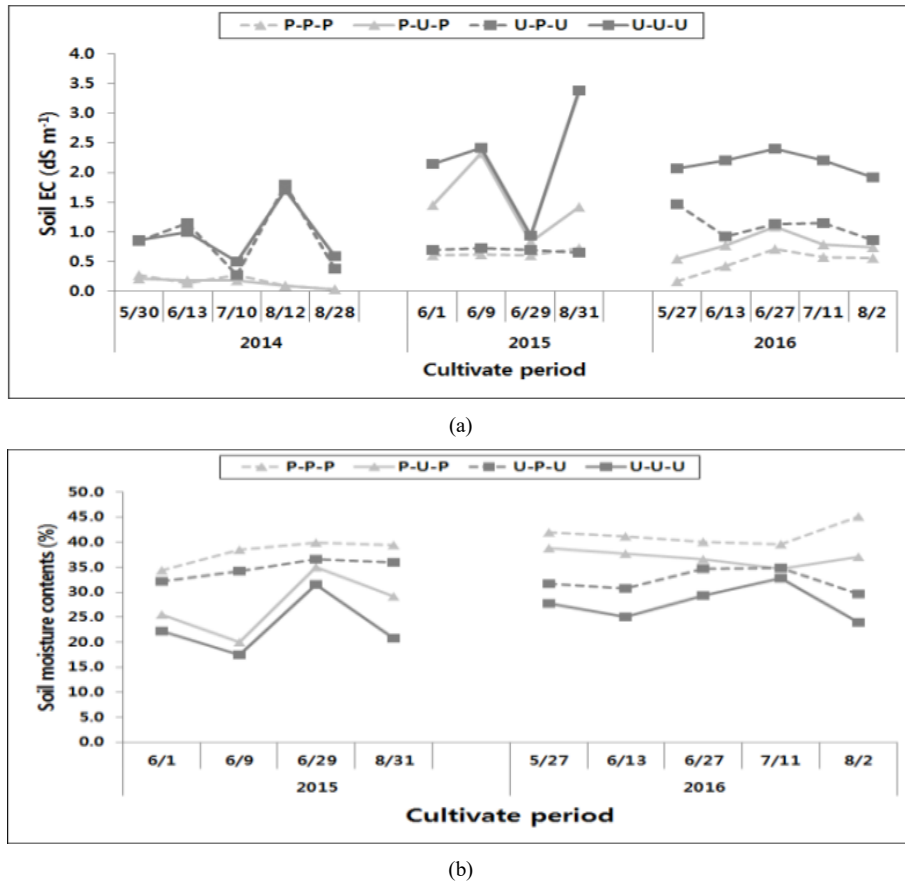


Fig. 2. Comparison of different paddy-upland crops rotations on the maize field (a) soil electrical conductivity during 2014-2016 (b) Soil moisture contents during 2015-2016.

재배한 처리구가(P-U-P), 옥수수를 연작한 처리구보다(U-U-U) 높은 토양 수분함량을 유지하였다.

2016년에도 또한 전년도 벼를 재배하고 옥수수를 재배한 처리구(U-P-U)가 옥수수를 3년 연속 연작한 처리구(U-U-U)보다 토양수분이 높은 상태로 유지되었다. 보통 토양 EC는 토양 수분함량에 따라 좌우되며 토양수분은 강우조건과 지하수위 조건에 따라 좌우된다(Kwun, 1994). 특히 토양 표토층(0~20cm)는 강우조건과 상관관계가 높다고 알려져 있다(Kwun, 1994).

논밭윤환 2년차인 2015년 옥수수 수확시기 때 토양 층위별로 토양 EC 및 토양수분함량을 Fig. 3에 나타내었다. 옥수수를 2년 연속 연작한 처리구가

(U-U-U) 논을 한번 윤환했던 처리구보다(P-U-P) 토양 EC는 높고 토양 수분함량은 낮게 유지되었다.

특히 2년 옥수수를 연작했던 처리구의(U-U-U) 토양 EC는 0~30 cm까지는 3.43 ~ 3.96 dS m⁻¹의 범위를 보였다. 논을 한번 윤환했던 처리구는(P-U-P) 10 cm까지는 3.24 dS m⁻¹ 였지만, 30 cm이상부터는 0.56 ~ 1.06 dS m⁻¹까지 낮은 토양 EC를 나타내었다.

토양수분함량은 논을 한번 윤환했던 처리구는(P-U-P)는 0 ~ 20 cm까지는 25.2 ~ 30.4%로 2년 옥수수를 연작했던 처리구(U-U-U) 21.0 ~ 22.3%보다 높은 수분함량을 보였다. 40-100 cm 층위에서도 논밭 윤환한 곳에서 토양EC가 낮았으나 하층부로 갈수록 점점 EC가 증가하였다. 이는 우선적으로 벼 재배로

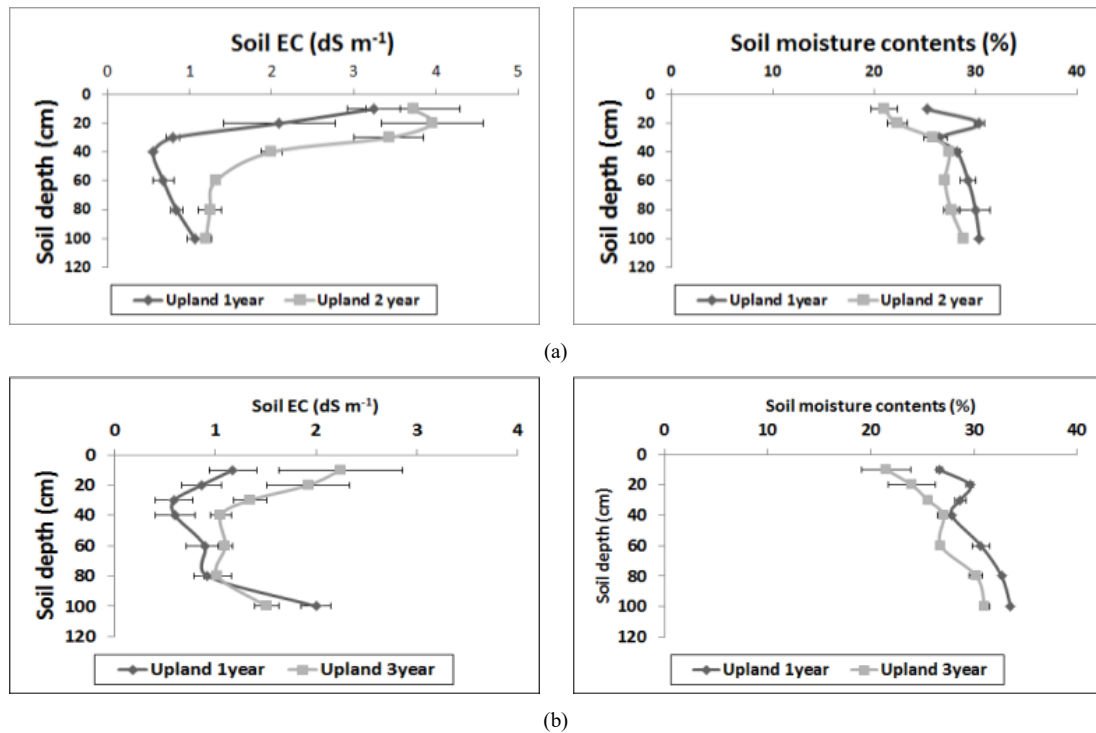


Fig. 3. Soil electrical conductivity and soil moisture contents according to soil depth in maize picker in 2015 (a) and 2016 (b).

인하여 토양수분이 장기간 토층깊이 침투하여 제염이 일어났을 거라 판단된다.

논밭윤환 3년차인 2016년 토양 EC 및 토양 수분함량은 2015년 결과와 유사한 경향을 나타내었는데, 밭을 3년연속 연작한 처리구가(U-U-U) 2015년 벼를 논밭윤환 했던 밭 1년처리구(U-P-U)보다 모든 층위에서 토양수분함량은 적으면서 토양 EC는 높게 유지하였다.

간척지 벼재배 후 논밭윤환 적용을 통한 옥수수 생육 및 수량은 Table 3과 같다.

이는 3년동안 논밭윤환을 통하여 벼 재배 후 밭으로 윤환한 1년차, 2년차, 3년차의 데이터를 평균으로써 옥수수 간장, 착수고, 경태, 이삭장, 이삭수, 이삭중, 수량을 나타낸 것이다. 벼를 재배하고 옥수수를 윤환 재배했던 밭 1년 처리구들의 생육 및 수량이 평균적으로 양호하였으며, 특히 이삭수 및 수량은 밭 전환

Table 3. Comparison on the agronomic characteristics of maize with paddy-upland rotation during 2014-2016

Rotation	Plant height (cm)	Ear height (cm)	stem diameter (mm)	Ear length (cm)	No. Ear number (Ea)	Yield (kg/10a)
Upland 1year	199 ^a	105 ^a	27.9 ^b	18.1 ^a	49,853 ^a	946 ^a
Upland 2year	174 ^b	79 ^b	31.9 ^a	17.2 ^c	48,150 ^a	908 ^{ab}
Upland 3year	178 ^b	88 ^b	27.0 ^b	17.8 ^{ab}	35,190 ^b	787 ^b

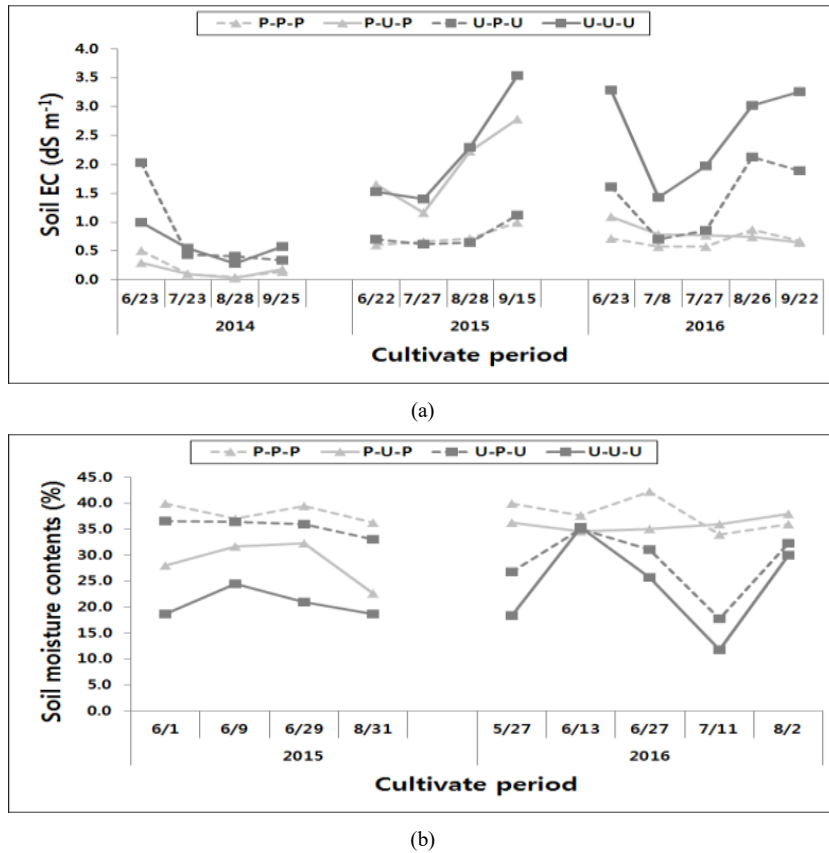


Fig. 4. Comparison of different paddy-upland crops rotations on the soybean field (a) soil electrical conductivity during 2014-2016 (b) Soil moisture contents during 2015-2016.

후 2년까지는 안정된 수량을 확보할 수 있었으나 3년 차부터 급격하게 수량이 감소하여 벼 재배 후 옥수수를 윤환하였을 때 2년까지 재배가 가능할 것으로 판단되었다.

3.2. 벼-콩 윤환에 따른 토양특성 변화 및 생육특성

2014년부터 2016년까지 간척지 벼재배 후 3년 동안 벼-콩을 윤환 한 시험 결과 토양 EC 변화는 Fig. 4 (a)와 같다. 콩 또한 옥수수를 윤환 재배했던 특성과 비슷한 양상을 보였다. 2015년 2016년 모두 벼를 재배하고 콩을 윤환한 처리구들이 낮은 EC를 유지하였는데, 특히 밭을 3년 연속 연작했던 처리구는(U-U-U) 3.5 dS m⁻¹까지 재염화 현상을 나타내었다. 이는 앞서 옥수수와 같이 평년대비 낮은 강수량으로 재염화 현상이 일어난 현상이라 볼 수 있다.

Fig 4 (b)는 논밭윤환을 적용하고 2년차 2015년~2016년도 콩 재배기간 동안 토양수분함량을 나타낸 것으로, 앞서 옥수수를 윤환 재배했던 것과 비슷한 결과를 보였다.

그러나 콩은 옥수수와 다르게 습해에 약한 작물이기 때문에 논밭윤환을 적용하였을 때 논을 밭으로 사용할 시 습해방지를 위한 노력이 요구될 것으로 판단된다.

2015, 2016년 콩 수확시기 때 토양 층위별로 토양 EC 및 토양 수분함량을 Fig. 5에 나타내었다. 2015년 토양 층위별 토양 EC는 논밭윤환을 실시하지 않은 콩 연작구(U-U-U) 전년도 벼를 재배하고 콩을 윤환한 처리구(P-U-P) 처리구보다 모든 층위에서 높은 토양 EC를 나타내었으며, 2016년도도 콩을 연작한 처리구

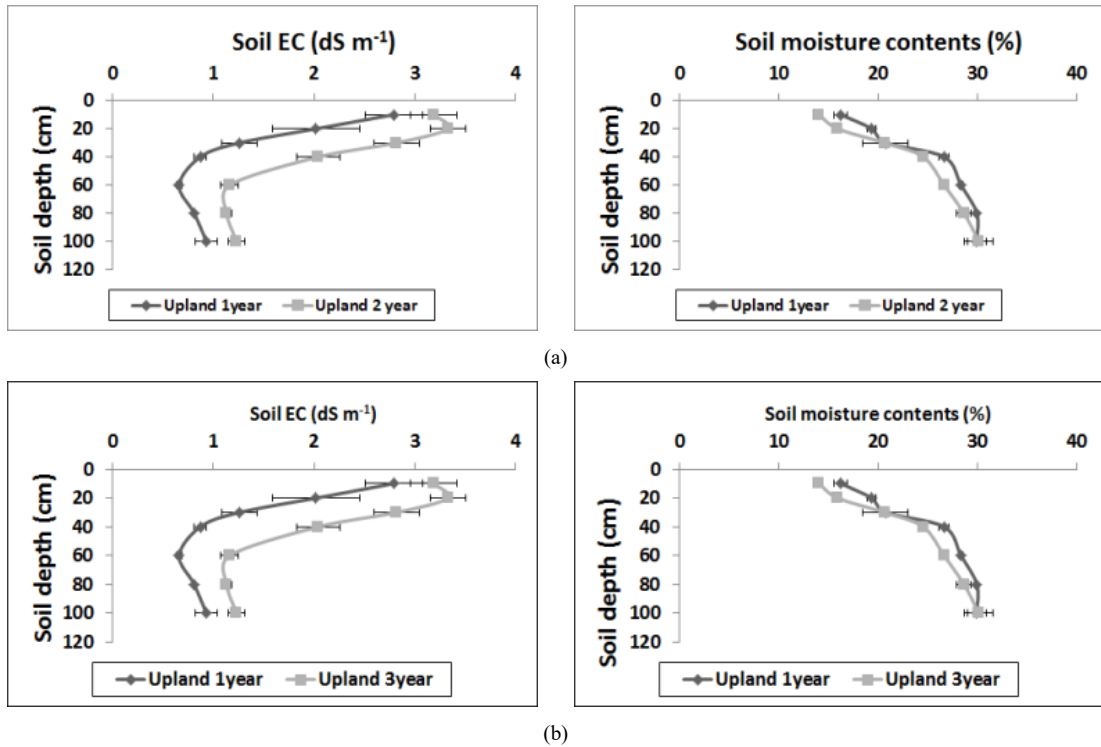


Fig. 5. Soil electrical conductivity and soil moisture according to soil depth in soybean harvest time in 2015 (a) and 2016 (b).

(U-U-U)가 벼-콩을 윤회한 처리구보다(U-P-U) 30 cm 층위에서 3.5 dS m⁻¹ 로 큰 차이를 보였다.

토양수분함량 또한 논밭윤회를 실시한 처리구가 (P-U-P) 콩 연작구보다(U-U-U) 30 cm 층위를 제외하고 나머지 층위에서 더 높은 수분함량을 유지하였는데, 30 cm 층위를 기점으로 1~4% 정도의 수분함량 차이를 보였다. 이는 앞서 수행한 벼-옥수수를 논밭윤회를 실시하였던 결과와 유사하였는데, 우선적으로 벼

재배로 인해 토양수분 장기간 토층깊이 침투하여 제염을 하였음을 의미한다.

간척지 벼 재배 후 논밭윤회를 3년 동안 적용했을 때 밭 윤회 연차별 평균 콩 생육 및 수량은 Table 4와 같다. 장경 및 주경절수는 전년도 벼를 재배하고 콩을 윤회한 밭 1년 처리구가 콩을 연작한 밭 2년, 밭 3년 처리구보다 경장이 양호하였고 반면 콩을 연작한 밭 3년 처리구는 분지수가 많고 경태는 더 두꺼운 현상을

Table 4. Comparison on the agronomic characteristics of soybean with paddy-upland rotation during 2014-2016

Rotation	Stem height (cm)	No. of branches	Stem diameter (mm)	No. of Pods	No. of seeds	100 seed weight (g)	Yield (kg/10a)
Upland 1year	50.7a	3.4b	9.9b	76.0a	2.2a	24.3a	241a
Upland 2year	41.5b	5.6ab	9.7b	80.0a	2.1a	18.3b	201b
Upland 3year	40.0b	5.8a	12.9a	68.0b	1.6b	14.4c	103c

보였다. 10a당 종실수량은 밭 1년 처리구가 윤환구가 241 kg, 밭 2년 처리구가 201 kg, 밭 3년 처리구가 103 kg 순으로 많았다. Hirokawa et al.(2011)는 콩 수량은 밭으로 사용되는 횟수가 많아질수록 감소한다고 하였고, Hattori et al.(2013) 또한 논밭윤환이 개화기 후 질소 무기화를 감소시키고 이는 곧 꼬투리의 수와 생장을 감소시키며, 콩을 논밭윤환 시 연작하면 수량이 감소되는데 2년 연작 시 10% 3년 연작시 20%정도 감소되고, 토양 간에는 점토함량이 낮을수록 그 감수량은 크다고 하였다(Park, 1993).

Youn(1992)도 논밭윤환에서 밭 윤환 후 콩 수량은 첫해에는 수량이 증수되었으나, 2년차, 3년차 순으로 감소하는 경향이었다고 하였다. 이는 간척지에서 실험한 이 결과와도 유사한 결과를 나타낸 것이다.

4. 결론

신간척지 벼를 재배했던 곳에서 논밭윤환 체계를 적용하였을 때 토양 이화학적 및 발작물의 생육특성, 수량변화를 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 벼를 재배하고 옥수수로 논밭윤환 했을 때 옥수수를 연작했을 때보다 낮은 EC와 높은 수분함량을 유지하였는데, 옥수수 1년 재배시 시험 전 2.5 dS m^{-1} 에서 1년재배시 1.3 dS m^{-1} , 2년재배시 1.8 dS m^{-1} , 옥수수 3년 재배 시 3.0 dS m^{-1} 까지 상승하였다.

둘째, 옥수수 생육 및 수량은 벼를 재배하고 옥수수로 논밭윤환 했던 처리구가 옥수수를 연작했던 처리구보다 경태를 제외한 양호한 생육상태를 보였으며, 옥수수는 논밭윤환 후 옥수수 2년 재배까지 안정적 수량을 확보 할 수 있었다.

셋째, 벼를 재배하고 콩으로 논밭윤환 했을 때에도 토양 EC 및 수분함량 변화가 옥수수를 윤환했던 처리구와 비슷한 결과를 나타내었고 생육 특성 및 수량은 논밭윤환 후 콩 1년 재배까지 안정적 수량을 확보 할 수 있었다.

이상의 결과를 종합해보면 기존 벼를 재배하거나 담수조건을 지속했던 새만금 간척지에서 발작물을 재배하기 위해서는 옥수수는 논밭윤환 형태로 재배하는 것이 효과적이며, 그 기간은 2년까지 양호하였다. 콩은 습해 문제 등 좀 더 심도 깊은 연구가 필요로 할 것

으로 판단된다. 이 결과는 기존 간척지에서 논밭윤환 도입 시 초기 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Hattori, M., Nanyue, Y., Sato, T., 2013, Effect of continuous cropping and long-term paddy-upland rotation on yield reduction of soybean in niigata prefecture, Japanese of Journal Crop Science., 82, 11-17.
- Hirokawa, T., Ubagara, M., Koike, J., 2011, Declines in soil nitrogen fertility after rotation of medium and coarse-textured gray lowland soil and restoration methods with green manure and cattle manure compost, Bull. agriculture Res. Inst. Toyama Pref. Agr. For Fish. Res. Ctr., 2, 11-26 (in japanese with English summary).
- Kim, H. J., Kim, G. R., Woo, H. N., 2011, Properties and fate of nitrogen in a reclaimed tidal soil, CNU Journal of Agricultural Science., 38(2), 2, 301-307.
- Kim, J. I., Rhee, K. H., Oh, Y. B., 1993, Crop combinations and rotation years for paddy-upland cropping system in middle part of Korea, Korean Journal of Crop Science., 38, 304-311.
- Kucharik, C. J., 2008, Impact of recent climate change on Wisconsin corn and soybean yield trends, Environ. Res. Lett., 3, doi:10.1088/1748-9326/3/3/034003.
- Kwon, S. K., Yoon, K. S., 1994, Variational characteristics of watertable and soil moisture in paddy-upland rotational fields, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 36(2), 123-131.
- Lee, K. B., 2012, A Third of the New World, Reclaimed land, ISSN : 2233-5056.
- Oh, Y. Y., Lee, S. H., Jung, J., 2016, Change of soil properties and crop productivity by paddy-upland Rotation Newly Reclaimed Tidal land, Korean Journal, International.Agriculture., 28(3), 1~7.
- Park, C. Y., Kang, U. G., Hwang, G. S., 1993, Changes of crop yields according to cropping systems and fertilizing levels in paddy-upland rotation soils, RDA, Journal. agriculture. Science., 35(1), 281-288.
- Shirato, Y., Yagasaki, Y., Nishida, M., 2011, Using different versions of the rothamasted carbon model to simulate soil carbon in long-term experimental plots

- subjected to paddy-upland rotation in Japan, Soil science and plant nutrition., 57, 597-606.
- Timsina, J., Connor, D. J., 2001, Productivity and management of rice±wheat cropping systems: Issues and challenges, Field Crops Research., 69(2), 93-132.
- Yoon, S. T., Je, E. K., Kim, Y. j., 2014, Survey and evaluation of paddy-upland rotation production system, Korean Journal, International. Agriculture., 26(4): 531-543.
- Youn, K. B., 1992, Yield and changes of soil characteristics in cropping system of paddy-upland rotationm Res. Rept. RDA(U&I)., 34(1), 81-90.