Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2017;36(2):67-72. Korean
Published online 2017 May 30. https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.2.11

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

논에서 벼 대체작물 재배가 토양 물리화학성과 작물 수량에 미치는 효과

한경화[1], 조현준[1], 조희래[1], 이협성[1], 옥정훈[1], 서미진[1], 정강호[1], 장용선[1], 서영호[2*]

[1]농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 토양비료관리과, [2]강원도농업기술원 연구개발국 환경농업연구과

Effects of Alternative Crops Cultivation on Soil Physico-chemical Characteristics and Crop Yield in Paddy Fields

Kyunghwa Han[1], Hyunjun Cho[1], Heerae Cho[1], Hyubsung Lee[1], Junghun Ok[1], Mijin Seo[1], Kangho Jung[1], Yongseon Zhang[1] and Youngho Seo[2*] ([1]Soil and Fertilizer Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, [2]Agricultural Environment Research Division, Bureau of Research and Development, Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24226, Korea)

Received: 25 April 2017 / Revised: 3 May 2017 / Accepted: 15 May 2017

ORCID
Youngho Seo
http://orcid.org/0000-0003-3939-6877

Kyunghwa Han
http://orcid.org/0000-0003-2840-0893

Abstract

BACKGROUND: Cultivation of alternative crops in paddy fields is necessary because of the decrease in rice consumption and the increase in excess stock of rice. The study was conducted to investigate the effects of alternative crops cultivation in paddy fields on soil physico-chemical characteristics and crop yield.

METHODS AND RESULTS: Soybean (*Glycine max*), red-clover (*Trifolium pratense*), and water convolvulus (*Ipomoea aquatica*) were selected for alternative crops in the first and/or second year and rice was planted in the third year. When alternative crops were cultivated in the previous year, soil bulk density, soil hardness, and water content were lower than those for rice cultivation. Water-depth decreasing rate and aggregate content were greater for the upland-upland-paddy cropping system than upland-paddy-paddy cropping system. Cultivation of red-clover and water convolvulus for two years resulted in the high soil organic matter content. In the third year, available phosphate, exchangeable potassium, and soil cation exchange capacity were relatively high when soybean was cultivated in the previous year. In the first year, water convolvulus cultivation showed greater productivity than red-clover cultivation while the opposite pattern was found in the second year. Rice yield in the third year was greater for soybean or red-clover as a previous crop than for water convolvulus as a previous crop.

CONCLUSION: The results suggest that cultivation of alternative crops in paddy fields can improve soil physical properties including bulk density, hardness, water content, and aggregate content as well as rice productivity.

Key words: Paddy field, Red-clover, Soil property, Soybean, Water convolvulus

서 론

국민 1인당 한해 쌀 소비량은 1970년 136.4 kg이었으나 1995년 106.5 kg, 2015년 62.9 kg로 감소하였다. 쌀 소비량 감소와 생산과잉 문제로 쌀 생산 조정을 위하여 벼 재배면적을 줄일 수밖에 없는 현실이다. 벼 재배면적은 2003년 1,126,723 ha에서 2016년 895,739 ha로 감소하였다(KOSIS, 2017). 그러나 이상기후 등에 따라 쌀 부족 문제가 대두될 수 있고 국제 곡물가가 급등할 수 있으므로, 식량 사정에 따라

*Corresponding author: Youngho Seo
Phone: +82-63-238-2435; Fax: +82-63-238-3824;
E-mail: seoysh@korea.kr

Table 1. Crop rotation system tested in the field experiment

Treatment[a)]	1st year	2nd year	3rd year
S-S-R	Soybean	Soybean	Rice
WC-WC-R	Water convolvulus	Water convolvulus	
Rc-Rc-R	Red clover	Red clover	
S-R-R	Soybean	Rice	
WC-R-R	Water convolvulus		
Rc-R-R	Red clover		

[a)] S soybean, R rice, WC water convolvulus, Rc red-clover

논과 밭으로 탄력적으로 이용할 수 있는 체계가 필요하다. 즉 논 형상을 유지하면서 벼 대신에 다른 작물을 일정기간 재배하여, 쌀 생산 기반을 유지하여야 한다. 논을 밭으로 바꿔주면 입단 형성, 지력 증진, 통기성과 투수성의 증가, 잡초 제어, 연작장애 회피, 병충해 억제, 양분 이용효율 증가, 유기물 분해 증가, 수량 증대 등의 효과가 있다(Kim *et al.*, 1990; Ahn *et al.*, 1992; Youn *et al.*, 1992; Yoo *et al.*, 1995; Lim *et al.*, 2014; Yoon *et al.*, 2014; Yoon *et al.*, 2015; Oh *et al.*, 2016).

논토양에서의 벼 대체작물로서 콩(*Glycine max*)이 많이 재배되고 있는데, 농가 소득뿐만 아니라 콩과작물로 토양의 물리화학성을 개선할 것으로 기대된다. 레드클로버(*Trifolium pratense*)는 외국에서 사료작물로 개발된 다년생 콩과작물이다. 북방형 사료작물은 추위에 비교적 강하여 월동을 잘 하는 편이지만, 더위에 약해 여름철 하고 현상이 일어나는 특성이 있는데, 헤어리베치보다 하고 현상에 비교적 강하다. 사료작물이면서 콩과 녹비작물이므로 사료 생산과 지력 증진 효과가 있으며, 또한 개화기간이 길어 경관작물과 밀원작물로서의 가치도 있다. 레드클로버는 직립성으로 2년차에 최성기에 이르고 오래 재배하면 포복성으로 바뀔 수 있다.

공심채(*Ipomoea aquatica*, water convolvulus)는 메꽃과로 잎이 고구마와 비슷한 모양으로, 주로 인도, 스리랑카, 중국남부와 대만 등에서 많이 재배되는 열대채소이다. 물에서 부유하며 자라는 수생형과 육지에서 자라는 육생형 등 두 가지 종류가 있다. 25℃ 전후의 고온다습한 조건에서 잘 자라며, 10℃ 정도에서는 생육이 정지된다. 병해충 발생이 적고, 수확 후 측아가 자라 재수확이 가능하다. 시금치에 비해 vitamin A가 2배, vitamin C가 1.5배 정도 많다. 일본에서는 헤어리베치를 겨울에 파종하고 이듬해 6월 중하순에 생육이 떨어지면 헤어리베치 군락위에 공심채를 산파하여 여름 잡초의 발생을 억제한다.

쌀 소비량이 줄어들고 재고량이 많아짐에 따라 휴경 방임하는 논이 많아지고 있다. 이는 쌀 생산 기반을 무너뜨릴 뿐만 아니라 농촌 경관을 해치므로, 휴경 기간 동안 대체작물을 재배하였다가 필요할 때에 논으로 복원하여 벼 생산성을 복원할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 쌀의 생산기반을 유지하기 위하여 벼 대신에 콩 등 대체작물을 재배하였을 때 이에 따른 토양 물리화학성의 변화와 논으로 복원하였을 때의 쌀 수량을 조사하였다.

재료 및 방법

경기도 이천의 하성충적지에 분포한 규암 미사질 양토의 배수 약간양호인 토양에서 3년간 시험을 수행하였다. 본 연구에서의 대체작물은 콩, 레드클로버, 공심채였으며, 밭 토양으로의 전환 기간이 토양 물리화학성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 대체작물을 1년 또는 2년 동안 재배하였다(Table 1). 논으로 복원하였을 때 대체작물의 재배가 쌀 수량성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 3년차에는 모든 처리에서 벼를 재배하였다. 콩의 품종은 태광콩이었고, 5월말에 파종하였으며, 재식밀도는 60×20 cm이었고, 파종량은 ha당 50-60 kg이었다. 레드클로버의 품종은 켄렌드였고, 3월말에 파종하였으며, 재식밀도는 60×30 cm이었고, 파종량은 ha당 20-30 kg이었다. 공심채는 청관 소엽종이었고, 6월 중순에 파종하였으며, 재식밀도는 60×30 cm이었고, 파종량은 ha당 20-30 kg이었다. 벼는 추청벼로 5월말에 이앙하였으며, 재식밀도는 30×15 cm이었고, 파종량은 ha당 40-50 kg이었다. 벼, 콩, 레드클로버, 공심채를 재배할 때 비료를 주지 않았으며, 대체작물은 토양에 환원하였고, 각 처리구의 면적은 200 m^2이었다.

토양 물리성은 국립농업과학원의 분석법(NIAS, 2017)을 따랐다. 감수심은 써레질 후 무저 원통(직경 30 cm, 높이 35 cm)을 논둑에서 2 m 이상 내부로 들어가 깊이 20-25 cm의 쟁기바닥층까지 관입한 다음 감수심 측정 장치(Hook gauge)를 이용하여 24시간의 감수심을 측정하였다. 내수성 입단은 토양입단분석기(DIK-2012, Daiki)를 이용하여 항온식 습식 사별법으로 항온식 수조에서 분당 30회 상하 30분 진탕을 한 후 건조 평량하였다. 수직 경도 분포는 관입식 토양경도계(DIK-5520, 관입저항 147-2452 kPa, spring strength 490 N/50 mm)으로, 일반 경도는 Yamanaka 토양경도계(spring strength 78.4 N/40 mm)로 측정하였다. 토양 화학성은 국립농업과학원의 분석법(NIAS, 2010)을 따랐다. 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5로 혼합한 다음 pH 전극을 이용하여 측정하였으며, 토양 유기물과 유효인산은 각각 Tyurin법과 Lancaster법을 이용하여 정량하였다. 치환성 칼리는 토양을 1N 초산암모늄 용액(pH 7)으로 추출한 다음 유도결합플라즈마분광법(ICP, CINTRA6, GBC)으로 측정하였

Table 2. Changes in soil physical characteristics as affected by cropping system

Treatment[a)]	Bulk density[b)] (Mg/m^3)			Hardness (mm)			Porosity (%)			Water content (%, v/v)		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
S-S-R	1.07	1.07b	1.34a	12.3	14.7b	18.5a	59.7a	59.6a	49.3b	23.4	28.7b	26.9b
WC-WC-R	1.08	1.07b	1.34a	13.5	15.0b	17.8ab	59.2a	59.4a	49.5b	23.1	32.9b	23.2b
Rc-Rc-R	1.12	1.06b	1.32a	13.0	14.7b	18.8a	57.9b	60.1a	50.0b	23.0	29.3b	25.7b
S-R-R	1.07	1.28a	1.26b	12.3	17.0a	17.3b	59.7a	51.8b	52.3a	23.4	41.1a	31.0a
WC-R-R	1.08	1.26a	1.21b	13.5	18.0a	16.3b	59.2a	52.6b	54.4a	23.1	43.0a	30.4a
Rc-R-R	1.12	1.24a	1.22b	13.0	17.3a	16.7b	57.9b	53.2b	54.0a	23.0	40.9a	31.6a

a) S soybean, R rice, WC water convolvulus, Rc red-clover.
b) Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

Table 3. Changes in water-depth decreasing rate and soil aggregate content in the third year as affected by cropping system

Treatment[a)]	Water-depth decreasing rate (mm/d)[b)]	Aggregate (%)
S-S-R	9.1±0.6 a	25.8±2.3 b
WC-WC-R	9.3±0.5 a	37.5±3.4 a
Rc-Rc-R	9.1±0.5 a	35.5±3.2 a
S-R-R	8.2±0.6 b	15.0±2.0 c
WC-R-R	8.2±0.5 b	23.2±2.1 b
Rc-R-R	8.0±0.6 b	19.1±1.6 c

a) S soybean, R rice, WC water convolvulus, Rc red-clover.
b) mean±standard deviation. Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

다. 작물 생육 및 수량의 조사는 농사시험연구조사기준에 준하였다. 통계 분석은 SAS 프로그램(ver. 9.2, SAS, Cary, NC)을 이용하였으며, 5% 수준에서 통계적 유의성을 검토하였다.

결과 및 고찰

연차별 표토의 용적밀도, 토양경도, 공극률 및 수분함량의 변화를 Table 2에 나타내었다. 2년차에 작부체계가 밭-밭으로 진전될 때 용적밀도와 경도가 낮았다. Yoo 등(1995)은 논에서 밭으로 되면 토양의 건습이 반복되고 작물 뿌리와 경운의 영향으로 토양 입자 사이에 응집이 형성되어 용적밀도가 낮아진다고 하였다. 또한 배수에 따라 투수성과 공극율이 증가하므로, 논에서 밭으로 전환한 기간이 길어질수록 토양 경도가 낮아진다고 하였다. Oh 등(2016)도 신간척지에서 밭으로 1년 바꾼 다음 용적밀도가 낮아졌음을 보고하였다. 3년차에 밭에서 논으로 바꾸어 벼를 재배한 다음에는 벼-벼 작부체계보다 용적밀도와 경도가 높아졌다. Yoon 등(2014)은 밭으로 전환하였을 때의 용적밀도의 감소 정도는 밭작물 재배기간이 길어질수록 낮아지지만, 다시 논으로 바꾸어 벼를 재배할 때에는 높아진다고 하였다. 토양경도는 작물 뿌리의 신장에 제한인자가 될 수 있다. 논에서 경도가 17 mm (4.04 kg/cm^2) 이하면 수량에 별로 영향이 없으나, 18-22 mm (4.68-8.54 kg/cm^2)이면 수량을 제한하고, 23 mm (10.0 kg/cm^2) 이상에서는 수량을 25% 낮춘다. 깊이갈이를 하지 않아서 작토심이 낮아지면 경운 반층이 지면 가까이 올라와서 경도가 23 mm 이상으로 높아지고 용적밀도도 높아져서 벼 뿌리신장이 억제된다. 경반층은 지온이 낮아 질소, 인산, 철, 망간 등의 양분의 유효도가 저하되며, 작토심이 얇아져 양분의 보유능이 적어진다. 또한 질산화작용 ($NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$)에 따른 용탈과 탈질작용($NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$)에 따른 휘산으로 양분이 유실된다. 따라서 벼 수확시 콤바인으로 볏짚을 절단하여 시용하고 3-4년에 한 번씩 주기적으로 심경이나 심토파쇄를 하여 경반층을 개량하여야 한다. 1년차의 공극률은 레드클로버 처리에서 비교적 낮았다. 대체작물을 2년 재배하면 1년 재배에 비해서 공극률이 높았으나, 토양 수분은 낮았으며 이 경향은 3년차에도 유지되었다. 대체작물을 재배하여 논에서 밭으로 되면 수화도가 바뀌어 수분함량이 낮아지고, 토양구조가 발달하여 공극율과 기상율이 높아진다(Kim *et al.*, 1990; Youn *et al.*, 1992). 3년차에 토양 입단량은 대체작물을 2년(밭-밭-논) 재배했을 때가 1년(밭-논-논)에 비해 높았으며, 대체작물 사이에서는 콩보다 공심채와 레드클로버가 높았다(Table 3). 감수심은 대체작물을 2년(밭-밭-논, 복원1년 답) 재배했을 때에 1년(밭-논-논)보다 높았다.

Table 4. Changes in soil chemical characteristics as affected by cropping system

Treatment[a)]	pH (1:5 H_2O)			Organic matter (g/kg)[b)]			Av. P_2O_5 (mg/kg)		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
S-S-R	5.4	5.2	5.4	23	22 b	18 b	117	105	125 a
WC-WC-R	5.4	5.2	5.3	23	26 a	18 b	97	99	98 b
Rc-Rc-R	5.4	5.2	5.2	23	27 a	19 ab	114	114	94 b
S-R-R	5.4	5.3	5.3	23	23 b	22 a	117	121	135 a
WC-R-R	5.4	5.1	5.0	23	23 b	21 a	97	103	96 b
Rc-R-R	5.4	5.2	5.2	23	24 b	20 ab	114	110	87 b

Treatment[a)]	Exch. K (cmol/kg)			CEC (cmol/kg)		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
S-S-R	0.21 b	0.21 ab	0.35 a	11.1 a	11.0 bc	13.0 a
WC-WC-R	0.24 b	0.16 c	0.28 b	10.2 b	10.4 c	11.6 b
Rc-Rc-R	0.31 a	0.24 a	0.23 b	10.8 ab	12.0 a	11.8 b
S-R-R	0.21 b	0.16 c	0.36 a	11.1 a	11.4 ab	13.6 a
WC-R-R	0.24 b	0.18 bc	0.27 b	10.2 b	10.6 c	12.2 b
Rc-R-R	0.31 a	0.21 ab	0.37 a	10.8 ab	11.8 ab	11.8 b

a) S soybean, R rice, WC water convolvulus, Rc red-clover.
b) Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

Table 5. Crop yield (kg/ha) as affected by cropping system

Treatment[a)]	1st year	2nd year	3rd year[b)]
S-S-R	1,829	1,535	7,250±296 a
WC-WC-R	12,615	9,420	6,570±282 bc
Rc-Rc-R	8,582	11,848	7,210±304 a
S-R-R	1,829	7,394	6,670±258 b
WC-R-R	12,615	7,221	6,330±213 c
Rc-R-R	8,582	8,385	6,700±241 b

a) S soybean, R rice, WC water convolvulus, Rc red-clover.
b) Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

Kim 등(1990)은 밭으로 바꾸고 3년이 지난 다음 논으로 바꾸면 감수심이 28.3 mm/d로, 벼를 계속 재배했을 때보다 91% 높아졌다고 하였다.

토양 pH는 경작처리 사이에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(Table 4). Yoon 등(2014)은 답전윤환 재배시 토양 pH는 대체로 큰 변화가 없으나, 밭으로 바꾼 기간이 길어질수록 높아지는 경향이고, 토양 모재, 비료의 종류 및 시비량, 대체작물의 염기 흡수량에 따라 달라질 수 있다고 하였다. 유기물 함량은 레드클로버와 공심채를 2년 동안 재배하였을 때 높았다. 레드클로버와 공심채의 바이오매스 생산량이 콩보다 높아서 유기물 투입량이 높은데다가(Table 5) 토양 피복도가 높았기 때문으로 추정된다. 대체작물을 2년 재배한 다음 논으로 바꾸었을 때가 1년 재배했을 때에 비해 3년차에 유기물 함량이 낮았다. 밭과 같은 산화 상태에서는 토양 유기물의 분해가 논에 비하여 활발히 진행되므로(Ahn *et al.*, 1992), 밭으로 전환된 기간이 길어질수록 유기물 함량이 낮아질 수 있다. 토양의 유효인산과 치환성 칼리 함량은 3년차에 전년도 재배작물이 콩이었을 때 높았다. 본 시험은 모든 처리에서 인산과 칼리를 3년간 시용하지 않았으므로, 양분 함량의 차이는 작물의 잔사와 관련이 있을 것으로 추정된다. 논에서 1년 내지 수년 동안 밭작물을 재배한 다음 논으로 다시 바꾸면 각 양분의 흡수량이 서로 달라서 토양의 양분 불균형이 개선되므로, 벼를 계속 재배하는 것에 비하여 토양 화학성이 좋아진다(Yoon *et al.*, 2014). 토양 양이온교환용량(CEC)은 3년차에 콩 재배지에서 비교적 높았으며, 이는 유효인산과 치환성 칼리와 비슷한 양상이었다. 작물 생육에 필요한 양분인 K^+, NH_4^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}의 보유량은 CEC가 크면 클수록 높으며, CEC가 클수록 비료로 시용하는 양분의 작물 이용률이 증대된다.

CEC가 작은 토양은 양분의 흡착량이 적어서 비료성분의 유실 또는 용탈이 되기 쉽고 작물에 양분 결핍이 생기기 쉽다.

1년차 대체작물의 생산성은 공심채, 레드클로버 순이었으나, 2년차에는 레드클로버에서 공심채보다 생산량이 많았다 (Table 5). 2년차의 콩 수량은 1년차에 비해 적었다. 논에서 콩은 밭 전환 1년차에서 수량이 높고, 계속 재배할수록 수량이 감소한다(Youn *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 1993; Park *et al*, 1993). 또한 논에서 콩을 재배할 경우 수분 과잉과 배수불량에 따른 습해를 받기 쉬우므로, 배수가 불량하고 지하수위가 높은 토양은 배수 처리하여 습해를 방지하여야 한다 (Chae, 1988; Lee *et al.*, 1993; Yoon *et al.*, 2014). Chae(1988)는 논에서 과습 처리하여 콩을 재배한 결과 수량이 유의하게 감소하였고, 내습성이 강한 품종일수록 피해가 적었다고 하였다. 콩이 습해에 가장 민감한 시기는 개화기로, 수분흡수력과 근류 활성을 감소시키며, 습해기간이 길 경우 지상부와 지하부의 생체중이 감소한다. 또한 습해는 뿌리의 생장을 억제하며 활력을 급속히 낮추고, 부정근이 많이 생긴다(Chae, 1988). Stanley 등(1980)은 개화기에 습해를 받으면 뿌리 각 부분의 내성은 감소하나 전체적인 근계는 더욱 강해져 신근이 발생하기 때문이라고 하였다. Arikato (1954)는 야생콩이 습해시 부정근이 많이 생기고 통기조직이 발달하므로 습해에 강하다고 하였다. 논에서 재배하기에 적합한 품종을 선택하고, 배수 등 포장 조건을 종합적으로 검토하여 습해와 도복에 주의하면 밭보다 수량을 높일 수 있다(Heatherly and Pringle, 1991). 2년차에 논으로 했을 때 벼의 수량은 레드클로버-벼 > 콩-벼 > 공심채-벼 순이었다. 전년도에 공심채의 생산성이 레드클로버보다 많았으나, 벼 수량은 레드클로버를 재배했던 논에서 높았다. 레드클로버는 두과 녹비작물이므로 비옥도를 높였기 때문으로 추정된다. 대체작물을 2년 재배한 다음 3년차에 벼를 재배하였을 때 벼 수량은 콩, 레드클로버, 공심채 순이었고, 대체작물을 1년 재배한 다음 벼를 2년 재배하였을 때에는 레드클로버, 콩, 공심채 순으로, 콩과 레드클로버가 공심채에 비해 벼 수량성이 높았다. 벼의 수량성은 대체작물의 종류와 그 재배기간에 따라 다르나, 대체로 대체작물의 재배 기간이 길수록 높아지는 경향이었다. Yoo 등(1995)은 벼 수량을 위한 밭 전환 기간은 2년이 알맞다고 하였으며, Ahn 등(1992)에 따르면 콩을 2년 재배한 다음 벼를 재배하였을 때 수량이 5% 증가하였다. 결론적으로 콩이나 레드클로버를 2년간 재배한 다음 논으로 복원하는 것이 쌀 수량성을 높일 수 있다.

요 약

논에서 대체작물의 재배에 따른 토양 물리화학성과 작물 수량의 변화를 살펴보기 위하여 하성충적지에 분포된 규암 미사질 양토의 배수 약간양호인 토양에서 콩, 레드클로버, 공심채를 대체작물로 재배하여 3년간 경작시험을 수행하였다. 경작처리는 콩-벼-벼, 콩-콩-벼, 레드클로버-레드클로버-벼, 레드클로버-벼-벼, 공심채-공심채-벼, 공심채-벼-벼 작부체계로, 3년차에는 모든 처리에서 논으로 복원한 다음 벼를 재배하여 토양 물리화학성과 작물 수량을 조사하였다.

앞그루가 밭일 때 토양의 용적밀도와 경도, 수분함량이 감소하였고 공극률은 증가하였다. 대체작물을 2년 재배하였을 때에 1년 재배하였을 때보다 토양 입단량과 감수심이 높았다. 토양 유기물 함량은 레드클로버와 공심채를 2년 동안 재배하였을 때 높았다. 3년차에 유효인산과 치환성 칼리 함량, 토양 CEC는 앞그루가 콩이었을 때 높았다. 대체작물의 1년차 생산성은 공심채가 레드클로버보다 높았으나, 2년차에는 반대였다. 3년차의 벼 수량은 앞그루가 콩과 레드클로버일 때가 공심채일 때보다 높았다.

Acknowledgement

This study was supported financially by a grant from the research project (No. PJ010936) of National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Ahn, S. B., Motomatsu, T., Kim, Y. S., Lee, K. S., & Hwang, S. W. (1992). Studies on rice productivity and mineral nutrients on the paddy-upland rotation system. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 25(4), 334-341.

Arikato, H. (1954). Different responses of soybean plants to an excess of water with special reference to anatomical observations. Japanese Journal of Crop Science, 23(1), 28-36.

Chae, J. C. (1988). Effect of different underground water table treatments on the growth and yield of soybean varieties in paddy field. Research Reports of the Rural Development Administration (Agriculture Institutional Cooperation), 31(1), 235-242.

Heatherly, L. G., & Pringle, H. C. (1991). Soybean cultivars'response to flood irrigation of clay soil. Agronomy Journal, 83(1), 231-236.

Kim, L. Y., Jo, I. S. Um, K. T., & Min, H. S. (1990). Changes of soil characteristics and crop productivity by the paddy-upland rotation system. 1. Changes of soil physical properties. Research Reports of the Rural Development Administration (Soil and Fertilizer), 32(2), 1-7.

Lee, H. S., Ku, J. W., & Yun, S. H. (1993). Effects of water potential and underground water table on the *Rhizobium* activity, growth, yield and seed quality of soybean. 1. Effects of underground water table at different soil on the *Rhizobium* activity, growth, yield and seed quality of soybean. Rural Development Administration Journal of Agricultural Science (Agriculture Institutional Cooperation), 35(1), 1-11.

Lim, J. S., Park, K. C., & Eo, J. (2014). Chemical and biological properties of soils converted from paddies and uplands to organic ginseng farming system in Sangju region. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 47(6), 500-505.

Oh, Y. Y., Lee, S. H., Jung, J., Ko, J. C., Choi, W. Y., Jeong, J. H., Kim, S., Ryu, J. H., Kim, Y. J., Bae, H. S., Lee, S. H., Kim, J. H., Kim, K. Y., Kim, Y. D., & Kim. S. L. (2016). Change of soil properties and crop productivity by paddy-upland rotation in newly reclaimed tidal land. Journal of Korean Society of International Agriculture, 28(3), 390-396.

Park, C. Y., Kang, U. G., Hwang, G. S., & Jung, Y. T. (1993). Changes of crop yields according to cropping systems and fertilizing levels in paddy-upland rotation soils. Rural Development Administration Journal of Agricultural Science, 35(1), 281-288.

Stanley, C. D., Kaspar, T. C., & Taylor, H. M. (1980). Soybean top and root response to temporary water tables imposed by three different stages of growth. Agronomy Journal, 72(2), 341-346.

Yoo, C. H., Yang, C. H., Lee, K. B., Kim, J. G., Uhm, T. Y., So, J. D., & Rhee, G. S. (1995). Studies on paddy-upland rotation at fluvio-marine paddy soil. 2. The change of yield and soil properties on cropping systems at paddy-upland rotation cultivation. Rural Development Administration Journal of Agricultural Science, 37(1), 271-278.

Yoon, S. T., Je, E. K., Kim, Y. J., Jeong, I. H., Han, T. K., Kim, T. Y., Cho, Y. S., & Yun, E. S. (2014). Survey and evaluation of paddy-upland rotation production system. Journal of Korean Society of International Agriculture, 26(4), 531-543.

Yoon, S. T., Kim, Y. J., Jeong, I. H., Han, T. K., Yu, J. B., Ye, M. H., Cho, Y. S., & Kang, H. W. (2015). Growth and yield characteristics of foxtail millet, proso millet, sorghum and rice in paddy-upland rotation. Korean Journal of Crop Science, 60(3), 300-307.

Youn, K. B., Chang, Y. H., Lee, C. W., & Yoon, E. B. (1992). Yield and changes of soil characteristics in cropping system of paddy-upland rotation. Research Reports of the Rural Development Administration, 34(1), 81-90.