

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.2.193>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Effect of Cultivation of Rotation Crops on Soil Physico-chemical Properties and Yield of Watermelon in Greenhouse

Young-Sang Kim^{1*}, Ki-Hyun Kim¹, Taek-Gu Jeong¹, Jong-Woo Han¹, Ik-Jei Kim², Tae-Il Kim², Young-Ho Kim², and Yong-Sup Song²¹Researcher, Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea²Senior Researcher, Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea*Corresponding author: suanbo@korea.kr

ABSTRACT

Received: March 23, 2021

Revised: May 4, 2021

Accepted: May 6, 2021

ORCID

Young-Sang Kim

<https://orcid.org/0000-0002-1981-7454>

Most of the plastic vinyl house areas are filled with many fertilizer materials for the year-round cultivation of crops. The sequence cultivation of specific crops is deficient in essential elements, salt accumulation, excess, and deficiency of nutrients. The objective of this study was to investigate soil properties and watermelon productivity in plastic film houses according to the short-term crop rotation in the continuous watermelon-cultivated soils. The short-term rotation crops selected were watermelon, pumpkin, sesame, spinach, radish and soybean. The results are as follows. In the following crop rotation of soybean and sesame, the volume density decreased, the porosity increased, and the ratio of the solid phase in the soil was lowered. After the experiment pH and exchangeable Mg increased in all treatments irrespective of the crop rotation, and EC and available phosphorus decreased with sesame, spinach, radish, and soybean rotation. Soil organic matter (SOM) increased in soybean and sesame rotation treatments and decreased in watermelon, pumpkin, spinach, and radish rotation treatments. Among the growth characteristics of watermelon, stem diameter, plant length, and fresh weight showed good growth in spinach, radish, and soybean rotation treatments, and watermelon continuous cropping and pumpkin rotation treatment generally showed poor growth. The yields of watermelon were increased by 7 - 8% to 45,620 and 46,030 kg ha⁻¹, respectively, in radish and soybean rotation treatments, compared with 42,730 kg ha⁻¹ of watermelon continuous cropping treatment. These results suggest that the addition of short-term rotational crops such as radish and soybean crops could improve the physico-chemical properties of the soil and improve watermelon productivity.

Keywords: Continuous cropping, Crop rotation, Soil, Watermelon

Changes of soil chemical properties according to rotation crop after experiment.

Rotation crop system (spring + autumn)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	
†W + Watermelon	2015	6.2 b [†]	4.60 ab	22.5 b	315 b	0.34 a	8.5 ab	2.7 ab
	2016	6.3 ab	4.63 ab	20.8 bc	320 b	0.37 ab	8.6 ab	2.9 a
	2017	6.3 ab	4.80 a	17.8 c	327 ab	0.36 ab	8.4 ab	2.7 ab
W + Pumpkin	2015	6.2 b	4.50 ab	23.2 b	324 ab	0.33 ab	8.5 ab	2.7 ab
	2016	6.2 b	4.70 a	22.1 b	341 a	0.41 a	8.5 ab	2.9 a
	2017	6.4 ab	4.82 a	16.0 c	354 a	0.42 a	8.6 ab	2.9 a
W + Sesame	2015	6.3 ab	4.20 bc	22.4 b	302 bc	0.29 ab	8.3 b	2.6 b
	2016	6.4 ab	3.65 cd	23.7 ab	288 c	0.30 ab	8.3 b	2.5 bc
	2017	6.4 ab	3.40 cd	24.6 a	265 c	0.27 ab	8.2 bc	2.4 bc
W + Spinach	2015	6.3 ab	4.20 bc	22.0 b	322 b	0.30 ab	8.5 ab	2.8 ab
	2016	6.4 ab	4.07 c	21.5 b	332 ab	0.25 b	8.5 ab	2.9 a
	2017	6.5 a	3.70 cd	18.9 c	347 a	0.22 b	8.6 ab	2.9 a
W + Radish	2015	6.3 ab	4.30 b	23.1 ab	310 b	0.29 ab	8.3 b	2.5 bc
	2016	6.3 ab	3.72 cd	19.6 c	282 c	0.28 ab	8.1 c	2.3 c
	2017	6.4 ab	3.32 d	20.0 bc	277 c	0.22 b	8.0 c	2.3 c
W + Soybean	2015	6.2 b	4.10 c	21.8 bc	308 bc	0.28 ab	8.6 a	2.8 ab
	2016	6.3 ab	3.70 cd	22.8 b	301 bc	0.25 ab	8.7 a	2.7 ab
	2017	6.4 ab	3.20 d	25.4 a	285 c	0.26 ab	8.7 a	2.5 bc

†W: watermelon, †Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.



Introduction

수박은 토양환경 적응성이 비교적 높고 토양비옥도가 낮은 척박한 토양에서도 잘 자라는 작물이나 시설재배지와 같은 환경에서는 연작으로 인한 염류집적, 투수성 감소 등 물리·화학적 성질이 악화되면 생육이 저하되고 품질이 떨어지는 등 토양환경 변화에 영향을 크게 받는다.

시설재배지는 연중 작물재배를 위하여 많은 양의 비료물질을 투입하고 내부의 고온 및 강우의 차단으로 인한 염류 집적 (Cho et al., 2009, 2011a, 2011b)과 3 - 4년 정도 특정작물을 연작하게 되면 염류장애와 토양병해가 발생하여 생육이 저조하고 품질과 수량이 떨어진다 (Park et al., 1994; Ryu et al., 1995; Jun and Park, 2001). 또한 연작은 필수원소 및 미량원소의 결핍, 유해균 및 유해물질이 축적 (Corcoran, 1970; Bhowmik and Doll, 1982) 된다.

수박은 염류에 비교적 약한 작물로 토양 검정을 통한 추천시비량을 권장하고 있다 (NIAST, 2016). 그러나 시설재배지에서 과다시비, 연작에 의한 유효인산 등 염류의 과다집적 (NIAST, 2005, 2009) 및 병원균 등은 작물의 생육부진, 수량감소 및 품질저하의 원인이 되고 있다 (Kwon et al., 2001; Rahman et al., 2007).

최근에 환경오염이나 생태계 파괴 등의 문제가 이슈화 되면서, 농업환경에 대한 안전성, 농산물의 품질과 생산성뿐만 아니라 먹거리 안전성에 대한 관심이 높아지고 있다. 농업분야에서는 농업환경을 어떻게 친환경적으로 유지시켜 지속 안정생산하는 것이 중요한 요인으로 부각되고 있다. Karlen and Cambardella (1996)는 윤작은 환경을 보전하면서 농업환경을 유지하는 핵심기술로 합리적인 작부체계는 지력의 유지 및 증진에 기여한다고 보고하였다. 작물의 잔사나 토양 유기물의 저장은 토양의 물리적 특성 변화에 영향을 주며 (Carter et al., 2009), 토양 병해를 감소시키는 효과가 있다 (Scholte, 1987; Pedersen and Hughes, 1992). 또한 유기재배에서 작부체계를 잘 구상하면 관행재배에 비하여 토양에서 발생하는 병 발생정도를 감소시킬 수 있다고 보고되어 있다 (Workneh and Bruggen, 1994). 그리고 작부체계 내에서 토양미생물 변동상을 이해하면 수량 감소를 최소화 하면서도 가장 효율적인 윤작 시스템을 설계하는데 도움이 된다 (Shuijin et al., 2006). 대부분의 시설재배지는 경제성 작물을 재배하므로 윤작, 두과작물 재배, 휴경과 같은 토양관리를 기피하고 있는 실정이기는 하나 연작에 따른 특정 병의 발생, 염류집적, 양분불균형 등 연작장애가 발생함에 따라 토양관리에 대한 우려와 관심은 높아지고 있다.

본 연구는 시설수박재배지에서 1기작으로 수박을 재배하고 2기작에 박과 작물이 아닌 작물을 재배하는 윤작시스템을 도입하여 이러한 작부체계가 토양특성의 변화와 수박 생산성에 미치는 영향을 구명하며 효과적인 시설재배지 토양관리 방안을 모색하고자 시험을 수행하였다.

Materials and Methods

시설재배지에서 후작물 재배가 시설재배지 토양환경 특성 변화와 수박 생산성에 미치는 영향을 구명하고자 충북 음성군 대소면에 위치한 수박연구소 시설하우스에서 2014년 7월 20일 후작물 재배부터 2017년 7월 5일 전작물 수박 수확까지 수행하였다. 전작물로 수박을 재배하고 후작물로 수박 (*Citrullus lanatus* Thunb.)을 대조작물로 박과작물인 호박 (*Cucurbita moschata* L.), 두과작물인 콩 (*Glycine max* L.), 특용작물인 참깨 (*Sesamum indicum* L), 엽채류인 시금치 (*Spinacia oleracea* L.), 근채류인 무 (*Raphanus sativus* L.) 6작물을 선정하여 재배하였다. 전작물 수박은 4월 상순에 재식거리를 45 × 250 cm으로 정식 하였으며 후작물로 수박은 7월 중순 45 × 250 cm, 호박은 7월 중순 45 × 250 cm, 참깨는 7월 중순 40 × 40 cm, 콩은 7월 중순 20 × 60 cm, 무는 8월말 30 × 60 cm의 재식거리로 정식하였으며

시금치는 9월말 흠어뿌림을 하였다 (Table 1). 시험에 사용한 모든 작물재배에서 생산된 농산부산물물은 토양에 환원하였다.

Table 1. Crop rotation system.

Rotation crop system	2014		2015		2016		2017
	Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring
Plot 1 (P.T.M.D. [†])	W [‡] . (4.6.)	W. (7.20.)	W. (4.4.)	W. (7.19.)	W. (4.6.)	W. (7.21.)	W. (4.5.)
Plot 2 (P.T.M.D.)	W. (4.6.)	P. (7.20.)	W. (4.4.)	P. (7.19.)	W. (4.6.)	P. (7.21.)	W. (4.5.)
Plot 3 (P.T.M.D.)	W. (4.6.)	Ses. (7.20.)	W. (4.4.)	Ses. (7.19.)	W. (4.6.)	Ses. (7.21.)	W. (4.5.)
Plot 4 (P.T.M.D.)	W. (4.6.)	Sp. (9.25.)	W. (4.4.)	Sp. (9.26.)	W. (4.6.)	Sp. (9.26.)	W. (4.5.)
Plot 5 (P.T.M.D.)	W. (4.6.)	R. (8.30.)	W. (4.4.)	R. (8.29.)	W. (4.6.)	R. (8.30.)	W. (4.5.)
Plot 6 (P.T.M.D.)	W. (4.6.)	Soy. (7.20.)	W. (4.4.)	Soy. (7.19.)	W. (4.6.)	Soy. (7.21.)	W. (4.5.)

[†]P.T.M.D.: planting time (month, day).

[‡]W.: watermelon, P.: pumpkin, Ses.: sesame, Sp.: spinach, R.: radish, S.: soybean.

시비 및 작물관리 시험에 사용한 화학비료 중 질소는 요소, 칼륨은 염화加里, 인산은 용과린을 사용하였으며, 유기물원인 볏짚과 부산물비료 (이하 퇴비)는 전량 시험 전에 밑거름으로 처리하였다. 시비량은 농촌진흥청 작물별 비료 사용처방 기술 (NIAST, 2016)에 따라 수박의 표준시비량 ($N-P_2O_5-K_2O = 138-49-87 \text{ kg ha}^{-1}$)을 사용하였으며, P_2O_5 는 밑거름으로 처리하고, N와 K_2O 는 시비기준량의 50%를 밑거름으로 수박 정식 20일전에 시비하였고, 잔량을 2회로 나누어 웃거름으로 관주 시비하였다. 시험에 사용된 수박 (*Citrullus lnnatus* Thunb.) 품종은 ‘삼복꿀’, 대목은 박 (*Lagenaria leucenth* Standl.)인 ‘볼로장생’으로 정식 전 육묘상에서 2일 순화시키고 묘상에서 발생할 수 있는 병충해 방제를 위하여 적용약제를 예방 살포하였다. 야간저온에 대비하여 4월 말까지 소형터널을 설치하여 온도 및 습도를 관리하였으며, 정식 후 본엽 4 - 5매 일 때 적심한 후 원줄기와 건실한 아들줄기 2본을 선택하여 3줄기를 유인하였다. 수분은 수정벌을 이용하여 1주일간 실시하였고, 15 - 21절에 주당 3과를 착과 시킨 후, 건전한 1과를 남기고 나머지는 적과하였으며, 기타 재배방법 및 관리는 표준재배법에 준하여 관리하였다. 후작물의 시비는 작물의 검정시비량을 기준으로 시비하였으며 기타 재배방법 및 관리는 작물별 표준재배법에 준하여 관리하였다. 작물의 생육과 과실특성 등은 농업과학기술연구 조사분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 초장, 절간장, 절수, 과중 등을 조사하였고, 당함량은 당도계 (Atago, PAL-1, Japan)를 사용하여 측정하였다.

토양 및 식물체분석 토양화학성 분석은 Augar를 이용하여 표토 0 - 20 cm 깊이의 토양을 채취한 다음 음지에서 자연건조 시킨 후 2 mm체를 통과한 토양을 시료로 사용하였으며, 국립농업과학원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 시료와 증류수를 1:5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕 한 후 pH는 pH meter (Radiometer M-92, Denmark)로 측정하였고 EC는 Conductivity meter (YSI-32, Ohio, USA)로 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계를 이용하여 (Varian Carry 50, Australia) 측정하였다. 치환성 양이온 K, Ca, Mg는 1N ammonium acetate로 침출하여 ICP (Varian Vista-Pro, Australia)로 분석하였으며, 토성은 Micropipette법으로 입경분포를 조사하여 미국농무성 (USDA)의 분류체계에 따라서 결정하였다 (Miller and Miller, 1987). 토양물리성 지표인 용적밀도, 공극율 및 삼상분석은 수박 수확이 끝난 다음 100 cm³ 부피의

3인치 Core로 토양시료를 채취하여 증량법으로 분석하였다. 수박을 재배하기 위한 시험전 토양의 물리화학적 특성은 Table 2와 같다. 토양화학성은 농촌진흥청 (NIAST, 2016)에서 제시하는 수박 재배지 적정범위 (pH 6.0 - 6.5, OM 20 - 30 g kg⁻¹, Avail. P₂O₅ 350 - 450 mg kg⁻¹, Exch. K⁺ 0.70 - 0.80 cmol_c kg⁻¹, Exch. Ca²⁺ 5.0 - 6.0 cmol_c kg⁻¹, Exch. Mg²⁺ 1.5 - 2.0 cmol_c kg⁻¹, 전기전도도 (EC) 2 dS m⁻¹ 이하에 비하여 유효인산, 치환성 K은 적정범위보다 낮은 수준이었으며, 전기전도도 (EC) 및 치환성 Ca, Mg은 적정범위에 비하여 높았다. 토성은 모래 37.2%, 미사 35.3%, 점토 27.5%인 사양토 이었다.

Table 2. Physico-chemical properties of soils used of the experiment.

Divisions	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			Soil texture
					K	Ca	Mg	
	6.2	4.51	24.0	308	0.32	8.5	2.6	Sandy loam
Optical range [†]	6.0 - 6.5	2.0<	20 - 30	350 - 450	0.70 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	

[†]It is a source of NIAST (2016).

식물체중의 무기성분 분석을 위하여 수박 근부로부터 50 cm 떨어진 엽을 수박 수확 직전 매년 채취하여 증류수로 수세하여 70°C에서 48시간 건조 후 분쇄하여 시료로 이용하였으며 3년간의 평균값을 Table 7에 나타내었다. 식물체는 H₂O₂-H₂SO₄로 습식분해하여 인산은 Vanadate법, K, Ca, Mg는 ICP (Varian Vista-Pro, Australia)로 분석하였으며, T-N는 열전도도검출기 (TCD, Thermal Conductivity Detector)의 원리를 이용한 질소분석기 (Vario Max, German)을 이용하여 분석하였다.

각 분석항목에 따른 실험결과는 EXCEL 프로그램을 이용하여 평균값을 산출하였고, 처리간의 유의성을 검정하기 위하여 SAS 프로그램 (SAS Institute, 2006)을 이용하여 단칸의 다중검정을 하였다.

Results and Discussion

토양의 물리화학적 특성변화 Yoo (2000)는 용적밀도는 자연 상태인 토양의 비중으로 토양구조를 반영하고 공기유통이나 물의 저장능력 등을 나타내며 유기물 함량, 토성 및 구조에 따라 변한다고 하였으며, Hwang et al. (1988)은 고추 연작재배지에서 고추 연작재배 기간이 길어질수록 그만큼 토양물리성이 악화되어 생산성 저하의 원인이 된다고 보고하였다. Table 3은 시험 후 토양물리성의 특성변화를 나타낸 것이다. 토양물리성 중 용적밀도는 수박, 호박, 시금치 재배지에서는 변화가 적었으나, 참깨, 콩, 무 재배지에서는 유의성 있게 낮아진 결과를 보였다. 이러한 결과는 참깨나 콩의 농산부산물 투입에 따른 결과로 판단된다. 토양에 유기물을 사용하면 부식이 증가되어 입단화로 인한 토양 용적밀도가 감소되고, 보수력이 증가되어 소성 및 액성한계가 증가된다고 보고 (Darwish et al., 1995; Bille and Terry, 1998)하였으며 Park et al. (2011)은 작약 연작으로 인해 공극율과 용적밀도가 감소하여 동일작목 연작으로 인한 물리성이 악화 되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 농산부산물이 투입된 콩과 참깨 재배지에서 용적밀도가 감소하고 공극율은 증가한 결과를 보여 농산부산물 투입에 의하여 물리성이 개선되었다고 사료되었다. Zhang et al. (2017)과 Bak and Lee (2021)에 의하면 콩 재배로 인하여 토양물리성이 개선되었다는 것은 본 연구와 일치하는 결과를 뒷받침하는 보고이다.

Table 3. Changes of soil physical properties according to rotation crop after experiment.

Rotation crop system (spring + autumn)	Bulk density (g cm ⁻³)	Porosity			
		----- (%) -----			
		Solid phase	Liquid phase	Gaseous phase	
Before experiment	1.45	42.6	55.3	16.2	28.5
†W + Watermelon	1.41 a †	47.0 ab	53.0 ab	14.7 a	32.3 a
W + Pumpkin	1.43 a	48.3 a	51.2 b	15.0 a	33.9 a
W + Sesame	1.37 b	48.8 a	51.7 b	13.9 a	34.4 a
W + Spinach	1.42 a	44.4 b	55.6 a	12.8 a	31.6 a
W + Radish	1.37 b	48.2 a	51.8 b	16.3 a	31.9 a
W + Soybean	1.35 b	49.0 a	51.0 b	15.4 a	33.6 a

†W: watermelon.

†Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

무 재배지에서 용적밀도가 감소된 것은 무가 근채류로서 땅속깊이 파고 들어간 것으로 사료되며 시금치 재배지에서 공극율이 가장 낮은 이유는 빈번한 관수와 시금치가 표토에서 자라는 영향으로 생각된다. 토양 3상 중 고상은 시금치 재배지와 수박 재배지에서 높았으며, 호박, 참깨, 무, 콩 재배지에서는 비슷한 결과를 나타냈으며, 액상과 기상은 후작물재배에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

Table 4는 후작물 재배에 따른 토양화학성의 변화이다. Uhm et al. (2001)은 시설 가지 재배지에서 토양화학성은 시설재배 년수 증가에 따라 전 성분이 증가하는 경향을 보였으며, 염농도와 치환성 염기의 축적량이 증가된다고 보고하였는데 본 연구에서도 수박 연작재배지는 유기물 함량을 제외하고는 pH, EC, 유효인산 등이 증가하여 같은 결과를 나타내었다. 후작물 재배에 따른 토양화학적 특성은 시험전에 비하여 pH와 치환성 Mg은 작물에 따른 차이는 적었으나 후작물 재배로 증가한 결과를 보였다. 대부분의 시설재배 농가들은 경지면적이 제한되어 있어 동일 포장을 이용한 장기간 연작이 불가피하므로 토양의 염류집적 문제와 함께 뿌리혹선충으로 피해를 보고 있다(Cho et al., 2000; Park, 2000; Byeon et al., 2014). 염류집적은 작물의 생산성 감소 및 품질저하를 초래하여 농가수입의 감소로 연결되어 농업경쟁력을 약화시키는 원인이 된다. 전기전도도는 후작물로 수박 연작재배와 호박 재배지는 시험전 4.51 dS m⁻¹에 비하여 각각 4.80, 4.82 dS m⁻¹로 6 - 7% 증가하였다. 반면에 무와 콩 재배지에서는 각각 3.32, 3.20 dS m⁻¹로 26 - 29% 감소하여 염류집적을 경감하기 위하여 콩이나 무를 재배하는 것이 바람직한 방법이 되리라 생각한다.

유기물 함량은 콩이나 참깨 재배지에서 증가하였으며 수박, 호박, 시금치, 무재배지에서는 감소한 결과를 보였다. 이러한 결과는 콩이나 참깨는 수박이나 호박작물에 비하여 농산부산물물이 많이 생산되어 이를 투입한 결과라 판단된다. 유효인산 함량은 수박, 호박, 시금치 재배지에서 증가하였으며, 참깨, 무, 콩 재배지에서 감소하여 Ahn et al. (2007)의 보고와 같은 결과를 나타내었다. 치환성 양이온 K, Ca, Mg는 후작물 재배에 따라 다소 증가하거나 감소한 결과를 보였다. 특히 무 재배지에서는 시험전에 비하여 치환성 양이온 K, Ca, Mg이 감소하였는데 이는 무가 치환성 양이온 K, Ca, Mg을 많이 흡수한 것으로 사료되거나 추후 더 많은 검토가 필요하다고 판단된다.

Table 4. Changes of soil chemical properties according to rotation crop after experiment.

Rotation crop system (spring + autumn)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	
†W + Watermelon	2015	6.2 b [†]	4.60 ab	22.5 b	315 b	0.34 a	8.5 ab	2.7 ab
	2016	6.3 ab	4.63 ab	20.8 bc	320 b	0.37 ab	8.6 ab	2.9 a
	2017	6.3 ab	4.80 a	17.8 c	327 ab	0.36 ab	8.4 ab	2.7 ab
W + Pumpkin	2015	6.2 b	4.50 ab	23.2 b	324 ab	0.33 ab	8.5 ab	2.7 ab
	2016	6.2 b	4.70 a	22.1 b	341 a	0.41 a	8.5 ab	2.9 a
	2017	6.4 ab	4.82 a	16.0 c	354 a	0.42 a	8.6 ab	2.9 a
W + Sesame	2015	6.3 ab	4.20 bc	22.4 b	302 bc	0.29 ab	8.3 b	2.6 b
	2016	6.4 ab	3.65 cd	23.7 ab	288 c	0.30 ab	8.3 b	2.5 bc
	2017	6.4 ab	3.40 cd	24.6 a	265 c	0.27 ab	8.2 bc	2.4 bc
W + Spinach	2015	6.3 ab	4.20 bc	22.0 b	322 b	0.30 ab	8.5 ab	2.8 ab
	2016	6.4 ab	4.07 c	21.5 b	332 ab	0.25 b	8.5 ab	2.9 a
	2017	6.5 a	3.70 cd	18.9 c	347 a	0.22 b	8.6 ab	2.9 a
W + Radish	2015	6.3 ab	4.30 b	23.1 ab	310 b	0.29 ab	8.3 b	2.5 bc
	2016	6.3 ab	3.72 cd	19.6 c	282 c	0.28 ab	8.1 c	2.3 c
	2017	6.4 ab	3.32 d	20.0 bc	277 c	0.22 b	8.0 c	2.3 c
W + Soybean	2015	6.2 b	4.10 c	21.8 bc	308 bc	0.28 ab	8.6 a	2.8 ab
	2016	6.3 ab	3.70 cd	22.8 b	301 bc	0.25 ab	8.7 a	2.7 ab
	2017	6.4 ab	3.20 d	25.4 a	285 c	0.26 ab	8.7 a	2.5 bc

†W: watermelon.

‡Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

수박 생육 및 수량특성 전작물 재배 후 후작물 재배시 전작물 잔유물의 특정성분이 후작물의 발아 및 생육에 영향을 줄 수 있는데, 예를 들어 전작물 bitter grass와 후작물 옥수수, 그리고 전작물 호박과 귀리, 무 등의 후작물에서 타감작용 (allelopathy)으로 발아억제, 생육억제가 보고 (Gliessman, 2000)된 바 있으나 경제작물에 대해서는 보고된 바는 없다. 윤작 작물 재배 후 수박을 1기작으로 4월 상순에 정식하여 정식 후 30일 생육상황을 조사하였다 (Table 5).

Table 5. Growth characteristics of watermelon in the 30 days after watermelon planting according to rotation crop.

Rotation crop system (spring + autumn)	Inter length (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Plant length (cm)
†W + Watermelon	10.4 ab [‡]	10.8 b	20.1 a	20.4 b	197 a
W + Pumpkin	10.3 b	10.8 b	20.1 a	20.8 a	197 a
W + Sesame	10.6 ab	11.2 a	20.1 a	20.4 b	202 a
W + Spinach	10.7 a	11.1 ab	20.3 a	20.7 ab	199 a
W + Radish	10.8 a	11.3 a	20.1 a	20.5 ab	200 a
W + Soybean	10.7 a	11.3 a	20.2 a	20.7 ab	202 a

†W: watermelon.

‡Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

수박의 절간장은 호박 재배지를 제외하고는 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 경경은 박과 작물인 수박과 호박 재배지에서 경경은 가늘었으며 참깨, 시금치, 무, 콩 재배지에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 엽장은 시금치 재배지에서 가장 길었으나 유의적인 차이는 없었고, 엽폭은 호박 재배지에서 가장 넓었으며, 만장은 작물 윤작에 따른 차이를 보이지 않았다. Table 6은 수박 수확기 생육특성이다. 절간장은 수박과 호박 재배지에서 가장 유의적으로 짧았으며, 절수 및 생체중은 후작물 재배지간에 유의적인 차이가 없었다. 반면에 수박의 경경, 만장, 생체중은 시금치, 무, 콩 재배지에서 양호한 생육을 보였다. 박과 작물(수박, 호박)을 연작한 재배지에서는 생육이 저조한 결과를 보였다.

Table 6. Growth characteristics of watermelon in the harvest time according rotation crop.

Rotation crop system (spring + autumn)	Inter length (cm)	No. of nodes (ea plant ⁻¹)	Stem diameter (mm)	Plant length (cm)	Fresh weight (kg plant ⁻¹)
†W + Watermelon	10.9 b †	38.1 a	13.6 b	403 a	1.44 a
W + Pumpkin	10.8 b	37.5 a	13.7 ab	403 a	1.44 a
W + Sesame	11.1 ab	34.9 a	13.6 b	404 a	1.46 a
W + Spinach	11.1 ab	39.6 a	13.8 a	408 a	1.51 a
W + Radish	11.5 a	38.5 a	13.8 a	410 a	1.51 a
W + Soybean	11.2 ab	40.1 a	13.9 a	409 a	1.53 a

†W: watermelon.

‡Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

후작물 재배에 따른 수박 식물체 무기성분 함량 후작물 재배에 따른 수박의 잎과 줄기중의 무기성분 함량은 Table 7과 같다. T-N, 인산, 가리, 칼슘 및 마그네슘은 수박 연작재배에 비하여 다른 후작물 재배지에서 전반적으로 높았다. Kim et al. (2012)의 윤작작물 재배 후 감자 재배시 칼슘을 제외하고는 질소 등 다량성분이 유의성 있는 차이가 있다고 보고한 결과와 유사한 결과를 보였다. 잎과 줄기중의 질소함량은 수박 연작재배지에서 가장 낮았으며 시금치 재배지에서 가장 높은 함량을 보였으며, 인산함량은 수박 재배지에서 가장 낮았고 참깨 재배지에서 가장 높은 함량을 보여 후작물 재배지간에 성분함량의 차이가 있음을 알 수 있었다.

Table 7. Inorganic contents of watermelon leaves according to rotation crop.

Rotation crop system (spring + autumn)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	----- (%) -----				
†W + Watermelon	1.34 c †	0.47 c	1.25 b	10.89 bc	2.05 b
W + Pumpkin	1.54 bc	0.57 ab	1.72 a	10.77 bc	2.08 b
W + Sesame	1.48 bc	0.65 a	1.62 a	12.87 a	2.30 ab
W + Spinach	2.06 a	0.58 ab	1.37 b	10.07 c	2.14 b
W + Radish	1.80 b	0.53 b	1.62 a	11.42 b	2.48 a
W + Soybean	1.86 b	0.50 b	1.69 a	11.59 b	2.50 a

†W: watermelon.

‡Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

후작물 재배에 따른 수박의 수량구성 요소 및 당도를 Table 8에 나타내었다. 과중은 대조구인 수박 연작재배지 7.2 kg/개에 비하여 무와 콩 재배지에서 각각 7.6 kg/개로 개당 0.4 kg 증가하였으며, 당도는 수박 연작재배지 11.1 Brix에 비하여 무와 콩 재배지에서 11.4, 11.5 Brix로 0.3 - 0.4 Brix 높았다. 수박 연작재배지에서 당도는 다른 후작물 재배보다 낮아져 Kim et al. (1997)과 같은 결과를 나타내었다. 따라서 수량 저하와 품질의 저하를 막기 위해서는 윤작과 같은 합리적인 작부체계가 필요하리라 본다. 이러한 결과는 박과 작물 재배에 비하여 콩이나 무 같은 작물을 윤작함으로써 토양환경이 개선되어 수박의 과중과 품질이 향상된 것으로 사료된다. 한편 Keinath (1996)은 수박 재배지에서 콩보다 양배추 잔여물 투여는 수박의 생육과 수량을 증가시킨다는 보고가 있어 작물에 따라 생육특성이 달라질 수 있음을 시사하고 있다.

Table 8. Watermelon quantity and sugar content according to rotation crop.

Rotation crop system (spring + autumn)	Fruit weight (kg ea ⁻¹)	Fruit length	Fruit width	Fruit thickness	Sugar content (°Brix)
		----- (cm) -----			
†W + Watermelon	7.2 c [†]	25.2 a	24.2 a	0.9 b	11.1 ab
W + Pumpkin	7.2 c	24.9 a	25.1 a	1.0 ab	11.0 b
W + Sesame	7.4 bc	25.4 a	25.6 a	1.0 ab	11.2 ab
W + Spinach	7.4 bc	25.4 a	25.7 a	1.0 ab	11.3 ab
W + Radish	7.6 a	25.8 a	25.8 a	1.1 a	11.4 ab
W + Soybean	7.6 a	25.7 a	26.1 a	1.1 a	11.5 a

†W: watermelon.

†Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

수박의 상품과율과 상품수량을 조사한 결과를 Table 9에 나타내었다. 후작물 재배에 따른 수박의 열과, 소과, 피수박 등을 제외한 비상품과율은 박과 작물 (수박, 호박) 재배지에서 8.9 - 9.7%로 박과작물 이외의 작물 재배지에 비하여 높았으며 콩 재배지에서는 가장 낮았다. 수박의 상품율은 90.2 - 91.6%를 나타냈으며, 상품수량은 수박 연작재배지 42,730 kg ha⁻¹에 비하여 무와 콩 재배지에서 각각 45,620, 46,030 kg ha⁻¹로 7 - 8% 증수하였다. 이러한 결과는 후작물로 박과 작물을 연작하기 보다는 무나 콩을 재배하여 윤작을 함으로써 생산성이 향상되었음을 보여주는 결과라 하겠다.

Table 9. Product marketable yield and commodity rate of watermelon according to rotation crop.

Rotation crop system (spring + autumn)	Non-marketable fruit rate			Commodity rate	Marketable yield (kg ha ⁻¹)	Yield index
	Puffy fruit	Malformed fruit	Sum			
	----- (%) -----					
†W + Watermelon	5.5 ab [†]	3.4 ab	8.9 b	91.1 b	42,730 b	100
W + Pumpkin	5.8 a	3.9 a	9.7 a	90.2 b	42,940 b	100
W + Sesame	5.4 ab	3.5 ab	8.9 b	91.3 ab	44,060 ab	103
W + Spinach	5.3 ab	3.2 b	8.5 b	91.4 ab	44,360 ab	104
W + Radish	5.3 ab	3.3 b	8.6 b	91.4 ab	45,620 a	107
W + Soybean	5.1 b	3.3 b	8.4 b	91.6 a	46,030 a	106

†W: watermelon.

†Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

Conclusions

본 시험은 시설재배지에서 수박 후작물 재배가 토양의 이화학성 특성 및 수박의 생육과 수량에 미치는 영향을 검토하기 위해 수행하였다. 수박 후작물로 콩, 시금치, 무 등 6작물을 선정하여 재배한 후 토양이화학성 및 수박의 생육 및 수량을 검토한 결과는 다음과 같다. 후작물로 콩과 함께 재배지에서 용적밀도가 감소되었고 공극율은 높아졌으며, 토양 3상중 고상은 낮아졌다. 시험 후 토양화학성은 pH와 치환성 Mg는 후작물 재배지에 관계없이 모든 작물 재배지에서 증가하였으며 전기전도도 (EC)와 유효인산은 참깨, 시금치, 무, 콩 재배지 순으로 감소하였다. 토양 유기물 함량은 콩 재배지나 참깨 재배지에서 증가하였으며 수박, 호박, 시금치, 무 재배지에서는 감소한 결과를 보였다. 수박의 생육 특성 중 경경, 초장, 생체중은 시금치, 무, 콩 재배지에서 양호한 생육을 보였으며 수박과 호박 재배지에서는 대체적으로 생육이 저조한 결과를 보였다. 수박의 상품수량은 수박 재배지 42,730 kg ha⁻¹에 비하여 무와 콩 재배지에서 각각 45,620, 46,030 kg ha⁻¹로 7 - 8% 증수하였다. 이상의 결과로부터 시설수박재배지에서 수박 후작물로 재배되는 작물은 무와 콩이 적합하였으며 이들 작물 재배는 토양물리화학성을 개선 및 수박생산성을 향상시켰다.

References

- Ahn, B.K., D.H. Kim, and J.H. Lee. 2007. Post harvest cropping impacts on soil properties in continuous watermelon (*Citrullus Lanatus* Thunb.) cultivation plots. Korean J. Soil Sci. Fert. 40:98-107.
- Bak, G.Y. and J.T. Lee. 2021. Cropping system effects on soil properties and tuber quality of potato: Continuous cropping vs. rotation with napa cabbage and soybean. Korean J. Soil Sci. Fert. 1:68-77.
- Bhowmik, P.C. and J.D. Doll. 1982. Corn and soybean response to allelopathic effects of weed and residues. Agron. J. 74:601-606.
- Bille, J.L. and J.L. Terry. 1998. Field response of soil physical properties to sewage sludge. J. Environ. Qual. 27:534-542.
- Byeon, I.S., S.Y. Suh, Y.S. Lee, and J.B. Chung. 2014. Effect of double-cropping systems on nematode population in plastic film house soils of oriental melon cultivation. Korean J. Environ. Agric. 33:17-23.
- Carter, M.R., C. Noronha, R.D. Peters, and J. Kimpinski. 2009. Influence of conservation tillage and crop rotation on the resilience of an intensive long-term potato cropping system: Restoration of soil biological properties after the potato phase. Agric., Ecosyst. Environ. 133:32-39.
- Cho, J.M., D.H. Kim, J.S. Yang, and K. Baek. 2011b. Electrokinetic restoration of sulfate accumulated saline greenhouse soil. Clean: Soil, Air, Water. 39:1036-1040.
- Cho, J.M., K.J. Kim, K.Y. Chun, S.H. Hyun, and K. Baek. 2009. Restoration of saline soil in cultivated land using electrokinetic process. Sep. Sci. Technol. 44:2371-2384.
- Cho, J.M., S.U. Jo, D.H. Kim, J.S. Yang, and K.T. Baek. 2011a. Electrokinetic restoration of saline soil accumulated with nitrate and sulfate. J. Soil Groundwater Environ. 16:18-23.
- Cho, M.R., B.C. Lee, D.S. Kim, H.Y. Jeon, M.S. Yiem, and J.O. Lee. 2000. Distribution of plant-parasitic nematodes in fruit vegetable production areas in Korea and identification of root-knot nematodes by enzyme phenotypes. Korean J. Appl. Entomol. 39:123-129.
- Corcoran, M.R. 1970. Effects on growth induced by indoleacetic acid or gibberellins A₁, A₄, A₅, and A₇. Plant Phys. 46:531-534.
- Darwish, O., N. Persaud, and D. Martens. 1995. Effect of long term application of animal manure on physical properties of three soils. Plant and Soil. 176:289-295.
- Gliessman, S.R. 2000. Agroecology; Ecological processes in sustainable agriculture. CRC Press. Boca Raton, FL. p.

159-163.

- Hwang, N.Y., J. Ryu, and J.D. So. 1988. Studies on the cause of injury by continuous cropping and soil conditioner application on red pepper (*Capsicum annuum* L.) I. Studies on the cause of injury by continuous cropping of red pepper. Korean J. Soil Sci. Fert. 21:49-54.
- Jun, H.S. and W.C. Park. 2001. Soil chemical characteristics and comparison with infested status of nematode (*Meloidogyne* spp.) in plastic house continuously cultivated oriental melon in Sonju. Korean J. Environ. Agric. 20:127-132.
- Karlen, D.L. and C.A. Cambardella. 1996. Conservation strategies for improving soil quality and organic matter storage. In M.R. Carter and B.A. Stewart (eds.) Structure and Organic matter storage in agricultural soils. Lewis Publishers, CRC Press. Boca Raton, FL. p. 395-420.
- Keinath, A.P. 1996. Soil amendment with cabbage residue and crop rotation to reduce gummy stem blight and increase growth and yield of watermelon. Plant Dis. 80:564-570.
- Kim, S.C., S.J. Kang, and W.C. Park. 1997. Soil management measures for continuous melon cultivation in plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 30:351-356.
- Kim, Y.K., H.J. Kang, S.H. Yang, H.J. Oh, S.C. Lee, S.K. Kang, and H.S. Kim. 2012. Effects of crop rotations on potato yield, soil chemical and microbiological properties in organic farming system. Korean Assoc. Org. Agric. 20:687-702.
- Kwon, M.K., J.R. Hong, Y.H. Kim, and K.C. Kim, 2001. Soil environmental factors involved in the development of root R/Vine on cucurbits caused by *Monosporascus cannonballus*. Plant Pathol. 17:45-51.
- Miller, W.P. and Miller, D.M. 1987. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18:1-15.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of analysis of soil and plant. RDA, Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2005. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2004. RDA, Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2009. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2008. RDA, Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2016. Fertilizer recommendation for crops. RDA, Suwon, Korea.
- Park, B.G., T.H. Jeon, Y.H. Kim, and Q.S. Ho. 1994. Status of farmer's application rates of chemical fertilizer and farm manure for major crops. Korean J. Soil Sci. Fert. 27:238-246.
- Park, D.K. 2000. Population densities of root-knot nematodes in the major oriental melon growing regions and reduction effect by different cropping systems. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 13:67-75.
- Park, J.H., Y.J. Seo, S.Y. Choi, Y.S. Zhang, S.K. Ha, and J.E. Kim. 2011. Soil physico-chemical properties and characteristics of microbial distribution in the continuous cropped field with *Paeonia Lactiflora*. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:841-846.
- Pedersen, E.A. and G.R. Hughes. 1992. The effect of crop rotation on development of the seporia disease complex on spring wheat in Sas Katchewan. Can. J. Plant Pathol. 14:152-158.
- Rahman, L., K.Y. Chan, and D.P. Heenan, 2007. Impact of tillage, stubble management and crop rotation on nematode populations in a long-term field experiment. Soil Tillage Res. 95:110-119.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Ryu, I.S., I.H. Lee, and S.W. Hwang. 1995. The chemical properties of plastic film house soil and yield response of green pepper. Korean J. Soil Sci. Fert. 28:241-248.

SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst.

Scholte, K. 1987. The effect of crop rotation and granular nematicides on the incidence of *Rhizoctonia solani* in potato. *Potato Res.* 30:187-199.

Shuijin, H., T. Cong, F.J. Louws, N.G. Creamer, J.P. Muller, C. Brownie, K. Fager, and M. Bell. 2006. Responses of soil microbial biomass and N availability to transition strategies from conventional to organic farming systems. *Agric., Ecosyst. Environ.* 113:206-215.

Uhm, M.J., S.G. Han, K.C. Kim, Y.H. Moon, and J.S. Choi. 2001. Properties of plastic film house soils physiological disorder of eggplant. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:192-198.

Workneh, F. and A.H.C. van Bruggen. 1994. Suppression of corky root of tomatoes in soils from organic farms associated with soil microbial activity and nitrogen status of soil and tomato tissue. *Phytopathology.* 84:688-694.

Yoo, S.H. 2000. *Soil dictionary*, Seoul University Press. p. 303.

Zhang, Y.S., K.H. Han, K.H. Jung, H.R. Cho, M.J. Seo, and Y.K. Sonn. 2017. Study on the standards of proper effective rooting depth for upland crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50:21-30.