Effects of Winter Cultivation of Green Manure Crop and Application of Organic Resources on Watermelon Yield and Soil Physico-chemical Properties in Greenhouse

Young-Sang Kim*, Gon-Sig Yun, Yu-Min Jeon, Eun-Jeong Kim, Sol-Ji Noh, Sung-Won Park, Tai-Il Kim, and Sung-Taek Hong
Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services

*Corresponding author: suanbo@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 28, 2019

Revised: November 11, 2019

Accepted: November 14, 2019

ORCID

Young-Sang Kim

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

Organic cultivation is the key to how to efficiently produce agricultural products by using organic resources produced in nature. Use of organic resources enables stable production of agricultural products and is the basis of natural circulation farming methods by preserving agricultural environment. This study was conducted to develop organic watermelon cultivation technology by investigating the effect of winter cultivation of green manure crop and application of organic resources on the physico-chemical properties of soils for the production of organic watermelons. In the test, organic farms were used for cultivating green manure crop and non-cultivating green manure during winter break, and oil, mixed oil, poultry, and guano as organic resources. The growth characteristics of watermelon were higher in winter cultivation of green manure crop, such as stem diameter, leaf length, leaf width, and fresh weight than in the control (no crops). The fruit characteristics and yield of watermelon were significantly higher in winter cultivation of green manure crop than in the control, and the yield of watermelon was similar within organic resources. The soil chemistry have lower electrical conductivity (EC) and higher soil organic matter in winter cultivation of green manure crop and soil physical properties have lower bulk density and higher porosity in winter cultivation of green manure crop. These results showed that the cultivation of winter green crop in greenhouse and application of organic resources improved soil physicochemical properties and watermelon productivity.

Keywords: Organic resources, Soil, Watermelon, Green manure crop

Effect of winter cultivation of green crop and application of organic resources on the watermelon productivity.

Treatments (A)	Organic Resources (B)	Fruit weight kg ea ⁻¹	Fruit width cm	Fruit length cm	Fruit thickness cm	Sugar content °Brix	Commodity rate %	Marketable Yield kg 10a ⁻¹
Non-Green manure crop	Oil cake	9.0c [†]	25.9b	29.8b	1.0a	11.2b	90.2b	6,079c
	Mixed oil cake	9.3b	26.4ab	30.5ab	1.1a	11.4ab	90.7ab	6,294bc
	Poultry manure	9.3b	26.0b	30.2ab	1.1a	11.4ab	90.9ab	6,348bc
	Guano	9.4b	26.3ab	30.2a	1.1a	11.3ab	91.6a	6,439b
	Average	9.3	26.2	30.2	1.1	11.3	90.9	6,290
Green manure crop	Oil cake	9.7ab	26.0b	31.6ab	1.1a	11.3b	90.2b	6,565b
	Mixed oil cake	10.0ab	26.5a	31.8a	1.1a	11.4ab	91.0a	6,814a
	Poultry manure	10.3a	26.9a	32.2a	1.1a	11.5a	90.8ab	6,942a
	Guano	10.4a	27.3a	31.4ab	1.1a	11.3ab	90.8ab	7,089a
	Average	10.1	26.7	31.8	1.1	11.4	90.7	6,853
Significance								
Two-way ANOVA	A	**	*	*	NS	*	*	*
	B	NS	*	*	NS	*	*	*
	A×B	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01 , respectively.

Introduction

유기성 자원은 이용방법에 따라 자원이 될 수도 있고 폐기물이 될 수도 있는데 이들 물질을 자원으로 활용하는 것은 환경보호 측면과 자원이용 측면에서 매우 중요한 일이다. 유기재배는 자연에서 생산되는 유기자원을 어떻게 효율적으로 이용하여 농산물을 생산하느냐 하는 것이 관건이다. 특히 유기재배 농가에서 이용되는 유기성 자원은 산림부산물, 농업부산물, 축산퇴비, 해산물이나 광물질이 많이 이용되고 있다. 이러한 유기성 자원 이용은 유기물을 자원화하여 농산물을 안정적으로 생산이 가능하게 하며, 농업환경을 보전하여 자연순환 농업의 기초가 된다. 하지만 과도한 유기질 비료의 사용은 염류집적을 야기하였으며, 토양오염과 지하수 오염을 유발하여 본래 취지에 역행하는 결과를 초래하였다 (Shon et al., 1999; Chung et al., 2008). 최근에 농업이 환경오염이나 생태계 파괴 등의 유발원인으로 이슈화되며, 농업환경에 대한 안전성, 농산물의 품질과 생산성뿐만 아니라 먹거리 안전성에 대한 관심이 높아지면서 농업분야에서는 농업환경을 어떻게 친환경적으로 유지시켜 농산물을 지속적으로 안정생산 하는 것이 중요한 요인으로 부각되고 있다. Karlen and Cambardella (1996)은 윤작은 환경을 보전하면서 농업환경을 유지하는 핵심기술로 합리적인 작부체계는 지력의 유지 및 증진에 기여한다고 보고하였다. 작물을 윤작하여 토양 물리화학적 특성을 개선하는 것이 최선의 방법이나 농가경영적인 측면에서는 소득과 관련하여 다소 어려운 점이 있다. 작물재배 중이나 휴한기에 녹비작물을 재배 후 토양환원은 비료사용량 절감, 토양 유기물함량 증진, 토양 유실 경감 등 다양한 측면에서 활용되고 있으며 (Cho et al., 2011), 녹비작물의 재배는 후작물에 대한 질소공급원으로 활용 가능하고 토양건전성을 개선 및 유지하는 효과로 알려져 있다 (Thorup-Kristensen, 1994; Thorup-Kristensen and Bertelsen, 1996). 또한, 시설재배지에서 녹비작물을 재배하여 녹비작물을 토양에 환원하면 유기물 공급 효과와 함께 토양의 물리화학적 특성을 개선할 뿐만 아니라 생물 다양성을 증진하는 등 많은 이로온 점이 있다 (Germani et al., 2004; Choi et al., 2015). 이러한 많은 이로온 점이 있음에도 불구하고 시설재배 농가에서는 녹비작물 재배를 기피하는데 가장 큰 이유는 녹비작물 재배는 소득감소로 연결되기 때문이다. 그러한 이유로 유기농을 포함한 대부분의 시설재배지 농가에서는 양분관리를 위하여 화학비료나 유박, 혈분, 생선 등을 이용한 유기질 비료에 의존하고 있다. 유기재배 농가에서는 토양관리를 위하여 윤작이나 녹비작물 재배 등으로 토양관리를 하여야 함에도 불구하고 시설재배지에서 유기농을 실천하는 농가에서조차도 작물생산에 의한 경제성 때문에 작기내 녹비작물 재배는 기피하고 있는 실정이며, 더욱이 작물 주산단지에서는 재배작물이 경제작물로 분류됨에 따라 윤작과 같은 작부체계를 도입하지 않으려고 한다. 음성이나 친천 지역과 같이 수박을 대체할 만한 경제성 작물이 없는 상황에서는 더욱더 동일한 작목을 연작하는 경향이 있다. 유기농산물을 생산하기 위하여 질소원으로서 유기성 자원은 유박, 혼합유박, 계분, 퇴비 등이 많이 이용되고 있다. 이들 자원은 무기화되어 양분으로 이용되는 효율은 작물재배 환경에 따라 다르게 반응하며, 작물에 따라서 효과가 다르게 나타날 수도 있다. 유기재배에 있어 생산성 감소는 해결해야 할 중요한 문제 중의 하나이다. 이러한 측면에서 유기재배 농가에서는 생산성 향상을 위하여 필요 이상의 퇴비를 과다 사용하였다 (Poudel et al., 2002; Evanylo et al., 2008). 특히 시설재배지에서는 양분 집적으로 양분의 불균형 및 토양환경 악화뿐만 아니라 작물의 생산성에도 많은 영향을 미치고 있다 (Lee et al., 2006; Ge et al., 2010). 시설재배지에서 양분의 불균형과 연작재배에 의한 피해를 경감하기 위하여 윤작은 반드시 필요한 실정이다. 동계기간 동안에 녹비작물 재배는 단기간 재배와 저온으로 인한 생육 부족으로 충분한 바이오매스가 생산되지 않아 토양유기물 증진이 어려운데 동계 녹비작물 재배와 유기성자원 사용은 이런 문제를 상호보완할 수 있어 활용 가능성이 매우 클 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 유기재배시 시설재배지에서 겨울철 휴한기에 녹비작물 재배와 유기성 자원 사용에 의한 수박 생

산성 검토와 토양특성에 미치는 영향 구명으로 유기수박 생산 기술을 개발하기 위해서 수행하였다.

Materials and Methods

재배방법 및 시험처리 본 시험은 충청북도 충주시 양성면 소재의 유기 수박 하우스에서 수행하였다. 유기수박 재배는 반촉성 작형으로 하였으며, 수박 (*Citrullus lanatus* Thunb.) 품종은 ‘삼복꿀’로 대목은 박 (*Lagenaria leucantha* Standl.)인 ‘오작교’로 하였다. 중부지역의 시설하우스 휴한기에 녹비작물을 재배한 처리와 녹비작물을 재배하지 않은 처리 (대조구)로 나누어 녹비작물 재배는 청보리를 10월 말에 10a당 5 kg을 파종하고 수박 정식 30일전에 토양에 환원하였다. 시험에 사용한 유기자원으로 유박, 혼합유박, 계분, 구아노를 토양검정시비량 질소를 기준으로 조절 사용하였으며, 퇴비는 1년 이상 자가제조한 유기퇴비를 10a에 1,000 kg을 사용하였다. 각 처리는 처리구당 시험구 면적을 $2.5 \times 6 \text{ m}^2$ 로 조성하여 난괴법 3반복으로 처리하였다. 기타 재배방법 및 관리는 수박 표준재배법에 준하여 관리하였으며 진딧물 등 병해충 방제는 유기농자재를 이용 하였다. 정식은 본잎이 4매일 때 45일 묘를 4월 상순에 정식하였으며, 재식거리는 $250 \times 38 \text{ cm}$ 으로 중앙 안쪽 25 cm 부분에 2줄로 정식하였다. 물 및 양분관리는 10 cm 점적관수라인을 3줄로 설치하여 공급하였다. 하우스내 온도관리를 위하여 초기에는 PE 터널+부직포를 활용하였으며 4월 중순 이후에는 PE 터널만 피복하여 보온하였다. 수박 덩굴은 2줄기로 유인하여 1개를 착과하였고, 착과는 3화방에 벌을 이용하여 일주일간 수분하였으며 착과절 이후의 결순을 제거하여 관리하였다. 수박 생육과 과실특성 등은 농업과학기술 연구 조사 분석기준 (RDA, 2003)에 준하여, 초장, 절간장, 절수, 과중 등을 조사하였고, 당함량은 당도계 (Atago, PAL-1, Japan)를 사용하여 측정하였다. 수확한 과실은 기형과, 공동과 등을 비상품과로 분류하여 조사하였다.

토양 및 식물체 분석 토양화학적 분석은 표토 0 - 20 cm 깊이의 토양을 Augar를 이용하여 채취하였고, 음지에서 자연건조 시킨 후 2 mm 체를 통과한 토양을 시료로 사용하였으며, 국립농업과학원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2010)에 준하여 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 시료와 증류수를 1 : 5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕 한 후 pH는 pH meter (Radiometer M-92, Denmark)로 측정하였으며, 유기물 함량은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster 법으로 비색계를 (Varian Carry 50, Australia) 이용하여 측정하였다. 치환성 양이온 K, Ca, Mg는 1N ammonium acetate로 침출하여 ICP (Varian Vista-Pro, Australia)로 분석하였으며, 토성은 Micropipette 법으로 입경분포를 조사하여 미국농무성 (USDA)의 분류체계에 따라서 결정하였다 (Miller et al., 1987). 토양 물리성 지표로서 용적밀도, 공극율 및 삼상분석은 수박 수확이 끝난 다음 100 cm^3 코어를 이용하여 채취 후 즉시 밀봉하여 실험실로 운반하여 습토의 무게를 평량한 후 110°C 건조기에 48시간 이상 건조한 다음 건토의 무게를 측정하였다. 녹비작물은 수확 후 생체중을 조사하였고 70°C 에서 건조한 후 건물중을 조사하였다. 총질소 함량은 식물체 시료 0.2 g을 원소분석기 (Elementar, US/Vario Max CN, Germany)를 이용하여 측정하였다. 기타 인산, 가리 등은 국립농업과학기술원 토양식물체 표준 분석법에 준하여 분석하였다 (NIAST, 2010).

통계분석 분석항목에 따른 실험결과를 EXCEL 프로그램을 이용하여 평균값을 산출하였고, 처리간의 유의성을 검정하기 위하여 SAS 프로그램 (SAS, ver 9.1.3, 2006)을 이용하여 5% 수준에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 방법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하여 상호 비교하였다.

Results and Discussion

유기성 자원 특성 및 시험 전 토양 화학적 특성 시험에 사용한 유기성 자원의 화학적 특성은 Table 1과 같다. 질소는 구아노가 8.5%로 가장 높았으며, 인산은 계분이 4.9%로 가장 높았다. 수분함량은 11.2 - 13.3%를 나타내었다. 전반적으로 유박이 질소를 비롯한 화학적 성분이 낮은 특성을 보였다.

Table 1. Chemical compounds of organic resources used for the experiment.

Organic resources	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Moisture
	----- % -----					
Oil cake	4.0	1.7	1.3	1.6	2.1	11.2
Mixed oil cake	4.2	2.2	1.2	1.4	2.3	13.3
Poultry manure	4.5	4.9	2.2	2.5	2.6	11.7
Guano	8.5	3.3	2.7	2.7	3.1	12.1

시험에 사용된 포장은 유기재배를 실시한 농가포장으로 토양 화학적 특성은 Table 2와 같다. 토양화학성은 농촌진흥청 (NIAST, 2006)에서 제시하는 수박재배지 적정범위 (pH 6.0 - 6.5, O.M. 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, EC 2dS m⁻¹이하)에 비하여 토양유기물, 유효인산, 치환성 K은 적정범위보다 낮은 수준이었으며, 전기전도도 (EC) 및 치환성 Mg은 적정범위에 있었다.

Table 2. Physico-chemical properties of the soil used in the experiment.

Divison	pH	EC	O.M.	Av.P ₂ O ₅	Exch. Cations		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
	6.4	1.8	17	125	0.20	5.4	1.5
Optimum range	6.0 - 6.5	< 2	20 - 35	350 - 450	0.70 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0

동계 휴한기 녹비작물 생육상황 및 무기성분 함량 겨울철 휴한기 동안에 재배된 녹비작물 (청보리)을 수박 재배시기를 고려하여 3월 중순에 토양에 환원하였다. 토양환원 전 녹비작물 생육상황은 Table 3와 같이 초장은 36 cm 건물중은 10a 당 370 kg을 나타내었다. 봄 시기에 재배기간을 더 길게 하여 작물의 최대 성숙기까지 재배하면 녹비작물의 생산량이 더 많아지고 녹비로서의 양분 공급효과가 더 많이 공급될 수 있으나, 본 연구에서는 중부지역의 수박 재배시기인 4월 중순을 고려하여 정식 30일 이전인 3월 중순에 토양에 환원하여 녹비작물의 생산량이 적었던 것으로 판단되었다.

녹비작물은 질소를 비롯하여 양분을 고정하여 작물에게 양분을 공급할 수 있다는 점 (Decker et al., 1994; Mueller et al., 2001; Bouquet et al., 2003; Cho, 2003)에서 녹비작물을 작부체계에 도입하는 것은 효율적인 작물생산과 양분 순환 측면에서 효과가 있을 것으로 판단된다. Table 4는 녹비작물 토양 환원시기에 채취하여 무기성분을 조사한 결과이다. 녹비작물은 환원시기에 따라 생육, 건물중 및 무기성분 함량의 차이가 발생하는데 봄 수박 재배를 위하여 녹비

Table 3. Growth and dry weight of green manure crop before soil incorporation.

Divison	Plant height	Fresh weight	Dry matter weight
	cm	kg 10a ⁻¹	
2017	35	2,513	361
2018	37	2,633	379
Average	36	2,573	370

Table 4. Nutrient compounds and nutrient supply according to green manure crop.

Divison	Nutrient contents of green manure					Nutrient supply according to incorporation of green manure crop				
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	%					kg 10a ⁻¹				
2017	2.8	1.2	2.7	0.6	0.5	10.1	4.3	9.7	2.2	1.8
2018	2.8	1.1	2.7	0.6	0.4	10.6	4.2	10.2	2.3	1.5
Average	2.8	1.2	2.7	0.6	0.5	10.4	4.3	10.0	2.3	1.7

생산량이 다소 적더라도 토양에 환원시기를 고려하여야 한다. 녹비작물의 토양 환원시기가 너무 늦어지면 수박 정식에 지장이 있으므로 최소한 수박 정식전 30일에는 토양에 환원하여야 한다. 생산된 녹비의 건물중과 녹비의 양분함량으로부터 질소 고정량을 환산 해 보면, 수박재배에 요구되는 표준 질소량의 75%에 해당되는 10.4 kg 10a⁻¹의 질소 고정능을 나타내었다. 녹비작물의 고정능은 토양특성, 재배환경, 품종, 경종방법 등에 따라 차이가 다르게 나타날 수 있는데 (Lee et al., 2008), 녹비작물을 재배 후 토양에 환원하고 작물 시비처방시에는 이를 고려한 시비처방이 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

수박 생육특성 및 수량 동계 휴한기에 녹비작물을 재배하지 않은 처리 (이하 대조구)와 녹비작물 (청보리)재배에 따른 수박 정식후 30일의 생육특성은 Table 5와 같다. 대조구에 비하여 녹비작물 재배에서 경경, 엽폭 등 생육이 전반적으로 우수하였다. 녹비작물 중 화본과 작물은 작물 생육초기에 질소기아 현상을 유발할 우려가 있다 (Cho et al., 2011; Kim et al., 2013; Park et al., 2013)는 보고와 화본과 녹비작물의 연용은 후작물의 질소흡수를 억제하여 생육을 저해하였다는 연구결과 (Sullivan et al., 1991; Lee et al., 2008)가 있는데, 본 연구에서는 그러한 결과와는 상반되는 결과를 보였다. 이러한 결과는 녹비작물이 토양에 환원 후 바로 분해되어 작물 생육중에 작물과 미생물간의 양분경쟁이 일어나지 않고 무기화된 양분이 작물에게로 바로 이용하였으며, 녹비작물 재배에 의한 염류경감, 토양 유기물 증가, 용적밀도 감소 등 토양환경이 개선 (Tables 8 and 9)되어 대조구에 비하여 생육이 양호한 것으로 판단되었다. 유박이나 계분 등 유기자원 처리간에는 경경, 엽장 등 생육상황은 비슷한 결과를 보였다. 녹비작물이 토양에 환원되어 무기화되는 것은 녹비작물 종류나 온도, 수분 등 주변 환경에 따라 다를 수 있으므로 더 많은 연구가 필요하리라 판단된다.

수박 수확기 생육특성을 Table 6에 나타내었다. 대조구에 비하여 녹비작물을 재배한 처리에서 경경은 두껍고 엽폭이나 엽장은 더 컸으며, 엽색도는 더 높았다. 수박의 생체중 역시 더 무거운 결과를 보였다. 이러한 결과는 녹비작물을 토양에 환원 시 밀거름으로 이용되어 생육에 영향을 미쳤을 것으로 판단되었다. 시설재배지에서 작물의 연작은 염류

Table 5. Watermelon growth characteristics of winter cultivation of green crop and application of organic resources after transplanting 25 days.

Treatments (A)	Organic Resources (B)	Stem diameter	Leaf width	Leaf length	Plant length
		mm	-----	cm -----	
Non-Green manure crop	Oil cake	7.7b [†]	16.6c	18.2a	147a
	Mixed oil cake	7.8b	16.8bc	18.0a	146a
	Poultry manure	7.9b	17.0b	18.3a	149a
	Guano	7.7b	16.6c	18.2a	148a
	Average	7.8	16.8	18.2	147
Green manure crop	Oil cake	8.1a	17.1b	18.6a	148a
	Mixed oil cake	8.2a	17.0b	18.3a	149a
	Poultry manure	8.2a	17.7a	18.4a	151a
	Guano	8.0a	17.3ab	18.7a	151a
	Average	8.1	17.3	18.5	150
Significance					
Two-way ANOVA	A	*	*	*	NS
	B	NS	*	NS	NS
	A×B	NS	NS	NS	NS

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01 , respectively.

Table 6. Watermelon growth characteristics of winter cultivation of green crop and application of organic resources in the harvest time.

Treatments (A)	Organic Resources (B)	Stem diameter	Leaf width	Leaf length	SPAD value	Fresh weight
		mm	cm	cm		kg plant ⁻¹
Non-Green manure crop	Oil cake	9.9b [†]	30.3a	31.6ab	40.8b	1.34b
	Mixed oil cake	10.2ab	30.6ab	31.4ab	41.2b	1.37b
	Poultry manure	10.3ab	29.9b	31.4ab	41.0b	1.43ab
	Guano	10.5a	29.8b	31.2b	42.0ab	1.44ab
	Average	10.2	30.3	31.4	41.0	1.40
Green manure crop	Oil cake	10.2ab	31.0a	32.5a	42.3ab	1.48a
	Mixed oil cake	10.3ab	32.0a	32.0ab	44.6a	1.47a
	Poultry manure	10.4a	30.3ab	32.0ab	47.4a	1.53a
	Guano	10.5a	28.9b	32.3ab	45.2a	1.47a
	Average	10.3	30.9	32.0	43.8	1.49
Significance						
Two-way ANOVA	A	*	*	*	*	*
	B	NS	*	NS	NS	NS
	A×B	NS	NS	NS	NS	NS

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01 , respectively.

집적, 선충, 토양물리성 악화 등 복합적인 원인에 의해 연작장해를 유발하여 수확시기에 수박이 시드는 현상이 많이 발생하는데 작물의 윤작이나 녹비작물 재배는 이러한 현상을 감소시킬 수 있다고 보고하였다 (Allotey et al., 1997). 본 연구에서는 수박 재배중에 대조구와 녹비작물 재배처리에서 시들음 증상이 발생되지 않아 (성적 미제시) 녹비작물 재배에 의한 시들음 경감 효과는 관찰되지 않았다. 한편 유기자원 처리간에는 유박이나 혼합유박 처리에 비하여 계분과 구아노 처리에서 생육이 다소 좋았다. Table 7은 녹비작물 재배와 유기자원 시용에 따른 수박의 과실특성을 나타내었다. 과실특성 중 과중, 과장, 과폭은 대조구에 비하여 녹비작물 재배처리에서 무거웠으나 과폭이나 과피두께는 유의적인 차이가 없었다.

상품성이 없는 공동과, 기형과, 육질악변과, 열과, 소형과 (4 kg 미만) 등 비상품과를 제외한 상품과율은 녹비작물 재배처리에서 상품과율이 90.7%로 대조구 90.9%와 비슷한 결과를 보여 녹비작물 재배 유무에 따른 수박 상품율은 차이가 없었다. 유기자재 처리간에는 유박이나 혼합유박에 비하여 계분이나 구아노 처리에서 상품과율이 높았다. 10a 당 수박 상품수량은 대조구 6,290 kg에 비하여 녹비작물 재배처리에서 6,852 kg로 9% 증수하였다. 이러한 결과는 염류가 집적된 시설재배지에서 엽채류 재배지 유기물자원 시용으로 2 - 7%의 증수요인이 되었다는 보고 (Roh et al., 2005)와 같이 염류집적에 의한 토양환경이 악화된 시설수박재배지에 탄소함량이 높은 유기물 자원을 사용함으로써 친환경적 토양관리 및 수박의 수량과 상품성을 향상시킬 수 있다는 Kang et al. (2011)의 보고와도 일치하는 결과이었다. 또한 녹비작물 재배 후 토양환원에 의하여 토양공극율 증가 및 용적밀도 감소 등 토양물리성을 개선시켜 수량이 증대되었다는 몇몇 보고 (Clark, 2007; Riling et al., 2007; Yang et al., 2009)와도 일치하는 결과를 보였다. 수박의 품질 척도로 가장 우선시 되는 당도는 대조구 11.3°Brix에 비하여 녹비작물 재배에서 11.4°Brix로 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 유기자재 처리간에는 유박에 비하여 혼합유기질이나 계분처리에서 다소 높았다.

Table 7. Effect of winter cultivation of green crop and application of organic resources on the watermelon productivity.

Treatments (A)	Organic Resources (B)	Fruit weight kg ea ⁻¹	Fruit width ----- cm -----	Fruit length ----- cm -----	Fruit thickness	Sugar content °Brix	Commodity rate %	Marketable Yield kg 10a ⁻¹
Non-Green manure crop	Oil cake	9.0c [†]	25.9b	29.8b	1.0a	11.2b	90.2b	6,079c
	Mixed oil cake	9.3b	26.4ab	30.5ab	1.1a	11.4ab	90.7ab	6,294bc
	Poultry manure	9.3b	26.0b	30.2ab	1.1a	11.4ab	90.9ab	6,348bc
	Guano	9.4b	26.3ab	30.2a	1.1a	11.3ab	91.6a	6,439b
	Average	9.3	26.2	30.2	1.1	11.3	90.9	6,290
Green manure crop	Oil cake	9.7ab	26.0b	31.6ab	1.1a	11.3b	90.2b	6,565b
	Mixed oil cake	10.0ab	26.5a	31.8a	1.1a	11.4ab	91.0a	6,814a
	Poultry manure	10.3a	26.9a	32.2a	1.1a	11.5a	90.8ab	6,942a
	Guano	10.4a	27.3a	31.4ab	1.1a	11.3ab	90.8ab	7,089a
	Average	10.1	26.7	31.8	1.1	11.4	90.7	6,853
Significance								
Two-way ANOVA	A	**	*	*	NS	*	*	*
	B	NS	*	*	NS	*	*	*
	A×B	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01 , respectively.

토양 물리화학적 변화 시험후의 토양의 화학적 특성은 Table 8과 같다. 시설재배지는 연중 작물생산을 위하여 과다한 양분투입과 외부환경과 차단되어 양분의 분해와 용탈이 적으며 양분을 이용할 수 있는 기간이 짧아 다량의 양분이 집적되는 형태가 나타나는데, 휴한기에 녹비작물 재배는 집적된 양분을 흡수 재이용할 수 있다. 또한, 녹비작물의 토양환원은 토양의 물리화학적 특성을 개선 (Fred and Harold, 2000; Bronick and Lai, 2005)할 수 있기 때문에 이용 가치가 높다. 이를 위해서는 녹비작물의 생산시기와 주작물의 재배시기를 고려한 효율적인 조합을 통한 작부체계 적용이 필요하다. 시험 후 토양 산도는 대조구와 녹비작물 재배 처리에서 비슷한 결과를 보였으며, 토양 유기물 함량은 대조구에 비하여 녹비작물 재배처리에서 14% 증가하였다. 토양 유효인산 및 치환성양이온 K, Ca, Mg는 녹비작물 재배 처리에서 대조구에 비하여 높았으나 유기성 자원처리에 따른 토양화학적 변화는 적었다. 염류농도 (EC)는 대조구 1.9 dS m^{-1} 에 비하여 녹비작물 재배에서 1.6 dS m^{-1} 로 16% 감소시켰다. 이 같은 결과는 녹비작물 재배는 염류농도를 감소시켰다는 보고 (Kang et al., 2006)와 같은 경향을 나타냈다. 시설재배지에서 높은 EC는 삼투압 작용에 의해 작물의 토양수 이용률을 저하시키고 (Bernstein, 1975), 이온의 불균형과 과다이온의 존재에 의한 이온 독성과 타 유효이온의 흡수 방해로 작물의 생육장해를 유발할 수 있다고 보고된 바 있는데 (Cho et al., 2006), 녹비작물 재배는 시설재배지의 토양의 EC를 경감시킬 수 있는 방안이라 판단되었다. 유기자원 처리간에는 토양 유기물 함량은 유박처리에 비하여 혼합유박, 계분, 구아노 처리에서 3.6 - 17.8% 증가하였으며, 유효인산 및 치환성 칼슘은 비슷하였고, 치환성 칼륨 및 마그네슘은 증가하였다. 여기에서 특히 주목할 결과는 염류의 경감 효과와 특히 유기물 함량의 증가는 매우 고무적인 결과이었다. 토양 유기물 함량은 토양미생물 활성 및 효소활성과 밀접한 관계가 있는데 (Powlson et al., 1987; Garcia et al., 1994), 본 연구에서 토양 유기물 함량이 증가되어 토양건전성의 지표가 향상되었다고 판단할 수 있다.

Table 9는 시험후 토양의 물리적 특성을 나타내었다. 용적밀도는 대조구에 비하여 녹비작물 재배에서 낮았으며 유기자재 처리간에는 유박에 비하여 혼합유박, 계분, 구아노 처리에서 낮았다. Son et al. (2011)은 녹비를 시용함에 따라 토양경도의 저하와 토양함수율의 향상, 건조밀도의 저하 등 토양의 물리적 개량효과를 보고하였는데, 본 연구에서도 녹비작물 재배는 토양경도를 감소시켜 같은 경향을 나타내었다. 토양 공극율은 대조구에 비하여 녹비작물 재배에서 높아졌으나 유기자재 처리간에는 유박에 비하여 혼합유박, 계분, 구아노 처리에서 높았다. 토양 삼상은 녹비작물

Table 8. Changes of soil chemical properties in harvesting time as influenced by winter cultivation of green manure and applications of organic resources.

Treatments (A)	Organic Resources (B)	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exch. Cations		
						K	Ca	Mg
		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
Non-Green manure crop	Oil cake	6.3	1.9	18	91	0.25	3.7	1.1
	Mixed oil cake	6.4	2.0	21	96	0.22	3.5	1.1
	Poultry manure	6.5	1.9	22	101	0.23	3.5	1.1
	Guano	6.4	1.9	21	108	0.22	3.6	1.1
	Average	6.4	1.9	21	99	0.23	3.6	1.1
Green manure crop	Oil cake	6.3	1.6	23	103	0.26	4.4	1.3
	Mixed oil cake	6.5	1.6	25	111	0.30	4.3	1.2
	Poultry manure	6.4	1.7	24	120	0.38	3.9	1.2
	Guano	6.5	1.6	25	114	0.26	3.8	1.1
	Average	6.4	1.6	24	112	0.30	4.1	1.2

Table 9. Changes of soil physical properties after experiment as affected by winter cultivation of green manure and applications of organic resources.

Treatments (A)	Organic Resources (B)	Bulk density	Porosity	Three phase		
				Solid phase	Liquid phase	Gaseous phase
		Mg m ⁻³		%		
Non-Green manure crop	Oil cake	1.31a [†]	50.7b	49.3a	16.0a	34.7a
	Mixed oil cake	1.25b	52.7a	47.3b	17.9a	34.8a
	Poultry manure	1.27ab	51.9ab	48.1ab	12.8a	39.1a
	Guano	1.28ab	51.8ab	48.2ab	17.0a	34.7a
	Average	1.28	51.8	48.2	15.9	35.9
Green manure crop	Oil cake	1.28a	51.5b	48.5a	16.9a	34.6a
	Mixed oil cake	1.24b	53.2a	46.8b	18.2a	35.0a
	Poultry manure	1.25b	52.9a	47.1b	21.2a	31.7a
	Guano	1.25b	52.7a	47.3b	17.8a	34.8a
	Average	1.26	52.6	47.4	18.5a	34.0
Significance						
Two-way ANOVA	A	*	*	*	NS	NS
	B	*	*	*	NS	NS
	A×B	NS	NS	NS	NS	NS

[†] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

NS, *, ** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$ or 0.01 , respectively.

재배로 고상의 비율이 감소하고 액상의 비율이 증가하여 Reinert et al. (2008)와 같은 결과를 보였으며, 유기자재 처리간에는 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

Conclusions

본 연구는 시설재배지에서 겨울철 휴한기에 녹비작물 재배 후 토양환원과 유기성 자원사용이 수박 생육특성과 수량에 미치는 영향을 검토하고 이들 처리가 토양물리화학성에 미치는 영향을 구명하여 유기수박 생산기술을 개발하고자 수행하였다. 동계 휴한기에 녹비작물 재배 (청보리)와 녹비작물을 재배하지 않은 처리 (대조구)에 유기성자원으로 유박, 혼합유박, 계분, 구아노를 사용하여 난괴법 3반복으로 처리하여 수행하였다. 동계 녹비작물 (청보리)재배 후 3월 중순 토양환원전지의 건물중은 10a 당 370 kg을 나타내었으며 양분공급량은 질소, 인산, 가리는 각각 10a 당 10.4, 4.3, 10.0 kg에 해당되는 양이었다. 수박 수확기 생육특성은 녹비작물 재배처리에서 대조구에 비하여 경경, 엽폭, 엽장 등 생육이 우수하였으나 유기성자원 처리간에는 생육차이가 적었다. 수박의 과중 및 수량성은 녹비작물 재배처리에서 대조구에 비하여 과중은 무겁고 수량이 많았다. 토양화학성은 녹비작물 재배처리에서 대조구에 비하여 염류농도는 낮았으며, 토양 유기물 함량은 높았다. 유효인산은 유기성자원 처리간에는 계분과 구아노 처리에서 유박이나 혼합유박에 비하여 높았다. 토양물리성은 녹비작물 재배처리에서 대조구에 비하여 용적밀도는 낮았고, 공극율은 높았으며 토양 삼상은 고상의 비율이 감소하고 액상의 비율이 증가하였다. 이상의 결과로부터 휴한기에 녹비작물 재배와 유기성 자원 사용은 수박 생산성을 향상과 토양물리화학성을 개선하여 지속 안정적인 수박 생산을 가능하게 하여 유기수박 생산에 큰 역할을 할 수 있을 것이라 판단되었다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 연구과제인 『유기농 수박 종합생산기술 현장실증 연구(PJ0125302019)』 과제에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

References

- Allotey, D.F.K., T. Horicuchi, and S. Miyagwa. 1997. Growth and nutrient dynamics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) as influenced by different applications of green soybean manure and bio-decomposer. Japanese J. Crop Sci. 66(3):407-417.
- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth Ann. Rev. of phytopathology. 13:295-312.
- Boquet, D.J., R.L. Hutchison, and, K.W. Paxton. 2003. Conservation tillage, cover crop BMP's for cotton. La. Agric. 46:32-33.
- Bronick, C.J. and R. Lai. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma. 124:3-22.
- Cho, H.S., W.Y. Park, W.T. Jeon, K.Y. Seong, C.G. Kim, T.S. Park, and J.D. Kim. 2011. Effect of green manure barley and hairy vetch on soil characteristics and rice yield in paddy. CNU J. Agri. Sci. 38:703-709.
- Cho, K.R., C.S. Kang, T.J. Won, and K.Y. Park. 2006. Effects of compressed expansion rice hull application and drip irrigation on the alleviation of salt accumulation in the plastic film house soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 39:327-379.
- Cho, Y.S. 2003. Nitrogen fixation and growth characteristics three legume cover crops in no tillage paddy field. Kor. J. Crop Sci. 48:305-315.
- Choi, H.S., M.C. Seo, J.H. Kim, W.G. Sang, P. Shin, and G.H. Lee. 2015. Screen of green manure crops for cultivation on agricultural land with spring season in the central regions of Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 48:689-696.
- Chung, J.B. and Y.J. Lee. 2008. Comparison of soil nutrient status in conventional and organic apple farm. Korean J. Soil Sci. Fert. 41:26-33.
- Clark, A. 2007. Managing cover crops profitably(third edition). Sustainable Agriculture Network. MD, USA.
- Decker, A.M., A.J. Clark, and M.S. McIntosh. 1994. Legume cover crop contributions to no tillage corn production. Agron J. 86:126-135.
- Evanylo, G., C. Sherony, D. Starner, M. Brosius, and K. Haering. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer, manure, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. Agric., Ecosystems and Environ. 127:50-58.
- Fred, M. and E. Harold. 2000. Building soils for better crops. Part 2. Ecological soil & crop management. Chapter 10. Cover crops. pp. 87-98. Sustainable agriculture Network.
- Garcia, C., T. Hernandez, and F. Costa. 1994. Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. Soil Biol. Biochem. 26:1185-1191.
- Ge, Tida., S. Nie, Y. Hong, J. Wu, H. Xiao, C. Tong, and K. Iwasaki. 2010. Soluble organic nitrogen pools in greenhouse and open field horticultural soils under organic and conventional management: A case study. European J. Soil Biol. 46:371-374.
- Gernami, G. and C. Plenchette. 2004. Potential of crotalaria species as green manure crops for the management of pathogenic nematodes and beneficial mycorrhizal fungi. Plant Soil. 266:333-342.
- Kang, B.G., S.Y. Lee, S.C. Lim, Y.S. Kim, S.D. Hong, K.Y. Chung, and D.Y. Chung. 2011. Establishment of application level for the proper use of organic materials as the carbonaceous amendments in the greenhouse soil. Korean J. soil Sci. Fert. 2:248-255.
- Karlen, D.L. and C.A. Cambardella. 1996. Conservation strategies for improving soil quality and organic matter

- storage. In: Carter, MR., Stewart, B.A.(Eds), Structure and Organic matter storage in agricultural soils. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, FL. 395-420.
- Kim, T.Y., S.Y. Kim, F. Ala, and Y.B. Lee. 2013. Green manuring effect of pure and mixed barley-hairy vetch on rice production. *Korean J Environ Agric.* 32:268-272.
- Lee, I.B., S.B. Kang, and J.M. Park. 2008. Effect of soil incorporation of Gramineous and Leguminous manures on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth and soil nutrient balances. *Korean J. Environ. Agri.* 27:342-348.
- Lee, Y.H., S.G. Lee, S.H. Kim, J.H. Shin, D.H. Choi, Y.J. Lee, and H.M. Kim. 2006. Investigation of the utilization of organic materials and the chemical properties of soil in the organic farms in Korea. *Kor. J. Org.* 14(1):55-67.
- Miller, W.P. and D.M. Miller. 1987. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18:1-15.
- Mueller, T. and K. Thorup-Kristensen. 2001. N-fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation. *Biol. Agric. Hort.* 18:345-363.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006. Recommended rate of fertilizer on crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010. Methods of soil chemical analysis, Rural Development Administration, Korea.
- Park, J.H., S.T. Lee, D.C. Seo, S.H. Kim, H.C. Kim, S.W. Cho, and J.S. Heo. 2013. Effect of hairy vetch and Crimson clover on the of carrot and soil physico-chemical properties in carrot green manure crops rotation *J. Agric. Life Sci.* 47:101-109.
- Poudel, D.D., W.R. Horwath, W.T. Lanini, S.R. Temple, and A.H.C. van Bruggen. 2002. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. *Agric., Ecosystems and Environ.* 90:125-137.
- Powlson, D.S., P.C. Brookes, and B.T. Christensen. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19:159-164.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. Rural Development Administration. Suwon. Korea.
- Reinert, D.T., J.A. Albuquerque, J.M. Reichert, C. Aita, and M.M.C. Andrada. 2008. Bulk density critical Limits for normal root growth of cover crops. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 32:1805-1816.
- Rilling, M.C., B.A. Caldwell, H.A.B. Wosten, and P. Solins. 2007. Role of proteins in soil carbon and nitrogen storage: controls on persistence. *Biogeochem.* 85:25-44.
- Roh, A.S., K.R. Joh, T.J. Won, and S.E. Lee. 2005. Effect of long term application of organic matter on reducing of soil salinization. Annual research report of Kung-gi Agricultural research and extension service. pp. 485-496.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst.
- Shon, B.K., J.S. Cho, J.C. Kang, J.Y. Cho, K.Y. Kim, H.W. Kim, and H.L. Kim. 1999. Physico-chemical properties of soils at red pepper garlic and onion cultivation areas in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 32:123;131.
- Son, C.Y., Y.J. Jung, I.H., Lee, U.G. Kang, W.T. Jeon, I.S. Nou, and K.K. Kang. 2011. Differences in soil improvement effects of four green manure crops in greenhouse cultivation. *Korean J. Plant Res.* 24(4):636-641.
- Sullivan, P.C., D.J. Parrish, and J.M. Luna. 1991. Cover crop contributions to N supply and water conservation in corn production. *Am. J. Altern. Agric.* 6:106-113.
- Thorup-Kristensen, K. 1994. The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research.* 37:227-234.
- Thorup-Kristensen, K. and M. Bertelsen. 1996. Green manure crops in organic vegetables production. In: Kristensen, N. H., Hoeg-Jensen, H. New research in Organic Agriculture. Proceedings from the 11th International Scientific IFOAM Conference, Copenhagen. pp. 75-79.
- Yang, C.H., J.H. Ryu, T.K. Kim, S.B. Lee, J.D. Kim, N.H. Back, S. Kim, W.Y. Choi, and S.J. Kim. 2009. Effect of green manure crops incorporation with rice cultivation on soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(5):371-378.