

## 시설 딸기 재배형태가 토양 글로말린 함량과 양분흡수량에 미치는 영향

민세규 · 이승호 · 남상희 · 최용욱 · 이수열 · 박수선<sup>1</sup> · 이성태<sup>2</sup> · 김은석<sup>2</sup> · 송원두<sup>2</sup> · 이영한<sup>2\*</sup>

고성군농업기술센터, <sup>1</sup>농촌진흥청, <sup>2</sup>경남농업기술원

### Effect of Different Cultivation Systems on Soil Glomalin Content and Nutrient Uptake of Strawberry in Controlled Horticultural Land

Se Gyu Min, Seung Ho Lee, Sang Hoe Nam, Yong Uk Choi, Su Yeol Lee, Su-Seon Park<sup>1</sup>,  
Seong-Tae Lee<sup>2</sup>, Eon-Seok Kim<sup>2</sup>, Won-Doo Song<sup>2</sup>, and Young-Han Lee<sup>2\*</sup>

Goseong-Gun Agricultural Development Technology Center, Goseong 638-804, Korea

<sup>1</sup>Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

<sup>2</sup>Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea

Glomalin has important roles in soil aggregation in agricultural lands including controlled horticultural lands. The objective of this study was to measure total glomalin content of soils treated conventional farming system (CFS), conventional farming system without pesticides (CFSWP), and organic farming system (OFS) for strawberry cultivation under greenhouse in Goseong-gun, Korea. The average concentration of total glomalin in the soils was significantly higher in the OFS (2.00 mg g<sup>-1</sup>) compared to the CFS (1.68 mg g<sup>-1</sup>). In addition, soil microbial biomass C content was 4.9 times higher in the OFS (821 mg kg<sup>-1</sup>) compared to the CFS (169 mg kg<sup>-1</sup>). Nitrogen uptake rate of strawberry was higher in the OFS (52.4%) than that in the CFS (13.0%). Furthermore, yield of strawberry in OFS (51 Mg ha<sup>-1</sup>) was significantly higher compared to CFS (35 Mg ha<sup>-1</sup>).

**Key words:** Organic farming, Total glomalin, Soil microbial biomass C, Strawberry

## 서 언

유기재배는 관행재배에 비해 합성 화학비료나 농약을 사용하지 않고 양분 공급원으로 유기물을 사용하여 토양의 입단을 촉진하고 (Wright et al., 1999) 토양 생물다양성을 향상시키며 (Mäder et al., 2002; Oehl et al., 2003) 환경에 대한 스트레스 경감 (Altieri, 2002)과 농산물의 품질을 개선하는 (Torjusen et al., 2001) 등의 장점이 있다. 토양에 투입된 유기물은 작물에 양분을 공급할 뿐만 아니라 토양의 입단을 촉진하는 효과가 있다 (Lee et al., 2010; Mac Rae and Mehuys, 1985). 최근 토양의 입단은 내생균근균이 분비하는 당단백질의 글로말린이 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다 (Jastrow, 1996; Miller and Jastrow, 1990; Rillig et al., 2005; Six et al., 2000; Wright and Anderson, 2000; Wright et al., 1996). 토양 입단은 토양 탄소를 저장하는 중요한 역할을 하며 글로말린은 토양 건전성을 결정하는 중요한 요인이다 (Rillig, 2004). Wright and Upadhyaya

(1998)는 다양한 토성에서 내생균근균이 분비하는 글로말린 함량과 토양입단은 고도의 정의상관이 있다고 하였으며, Wright et al. (1999)은 무경운 토양이 경운토양에 비해 글로말린 함량이 1.5배 정도 높다고 하였다. 그리고 장기간 살균제를 사용한 초지에서는 내생균근균의 개체수가 감소되어 글로말린 함량이 급격히 낮아지는 것으로 알려져 있다 (Rillig et al., 2003). 글로말린은 토양 탄소를 저장하고 토양입단 형성에 매우 중요한 역할을 하고 있지만 우리나라에서는 논 토양에 대한 글로말린 함량을 조사한 결과 (Jeon et al., 2010)를 제외하고는 연구결과가 없다.

따라서 본 연구는 시설 딸기 유기재배, 무농약 및 관행재배 방법이 토양의 글로말린 함량 및 미생물생체량과 식물체 양분흡수에 미치는 영향을 검토하여 친환경적인 토양관리 방법을 제시코자 수행하였다.

## 재료 및 방법

**시험포장 및 재배방법** 시설 딸기 재배 토양의 글로말린 함량과 미생물생체량 및 양분흡수량을 검토하기 위해 고성군 영오면 영산리 (35°06'N, 128°12'E) 행곡양토 (모래

접수 : 2011. 5. 12 수리 : 2011. 6. 10

\*연락처 : Phone: +82557716413

E-mail: lyh2011@korea.kr

25.7%, 미사 53.0%, 점토 21.3%)에서 설향을 시험품종으로 선정하여 수행하였다. 재배방법에 따른 시험구 처리는 유기재배, 무농약 및 관행재배의 3수준으로 처리하여 3반복으로 수행하였고, 투입된 양분 총량은 Table 1과 같다. 관행재배는 밀기울을 12 Mg ha<sup>-1</sup>, 유박 2.4 Mg ha<sup>-1</sup>, 깻묵 0.4 Mg ha<sup>-1</sup>, 막걸리 240 L ha<sup>-1</sup>와 탄저병 및 흰가루병 방제를 위해 피라클로스트로빈 유제 4,000배액을 3회 살포하였다. 무농약재배는 유박 3.6 Mg ha<sup>-1</sup>, 원예용비료 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 13-8-8%) 0.24 Mg ha<sup>-1</sup>, 막걸리 4,000 L ha<sup>-1</sup>, 천혜녹즙 50 L ha<sup>-1</sup>, 유기재배는 계분퇴비 0.2 Mg ha<sup>-1</sup>, 벗짚 4 Mg ha<sup>-1</sup>, 쌀겨 4 Mg ha<sup>-1</sup>, 막걸리 600 L ha<sup>-1</sup>, 천혜녹즙 60 L ha<sup>-1</sup>, 한방영양제 30 L ha<sup>-1</sup>를 사용하였다. 딸기 작물은 20 cm × 120 cm의 재식거리로 2010년 9월 10일 정식하여 2011년 4월 30일까지 재배하였다. 사용된 농자재의 T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 성분량은 쌀겨가 2.24%, 1.75%, 1.78% 이었으며 밀기울은 2.20%, 0.62%, 1.04%, 막걸리는 0.39%, 0.08%, 0.04%, 유박은 4.0%, 1%, 2%, 천혜녹즙은 0.03%, 0.02%, 0.24%, 한방영양제는 0.16%, 0.03%, 0.06%, 계분퇴비는 3.42%, 1.02%, 1.35%, 깻묵은 5.0%, 1.1%, 1.0%, 벗짚은 0.62%, 0.18%, 1.55%였다.

**토양 글로말린 및 미생물생체량 분석** 총 글로말린 함량은 100 mM (pH 9.0) sodium pyrophosphate (Wright et al., 2006) 추출법을 사용하였다. 습도상태로 2 mm 체를 통과시킨 토양 2.0 g을 튜브에 넣고 100 mM sodium pyrophosphate (pH 9.0) 8 mL를 첨가하여 캡으로 닫은 후 약 10초간 흔들고 121°C에서 1시간 가압으로 추출하였다. 추출된 상등액이 갈색으로 변하게 되는데 이것이 글로말린이며 5,000 × g에서 10분간 원심분리하여 상등액을 분리하였다. 그리고 이 상등액을 Bradford dye-binding assay 방법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다. 총 글로말린 함량은 건토로 환산하여 mg kg<sup>-1</sup>으로 나타냈다. 그리고 토양 미생물생체 탄소량은 chloroform fumigation-extraction method (Vance et al., 1987)를 사용하여 분석하였다. 토양 미생물생체 탄소량은 유리 페트리접시에 토양 10 g을 넣어 데시케이터 안에 넣고 여기에 chloroform 50 mL가 들어있는 비이커에 비등석을 넣고 25°C에서 24시간 훈증시켰다. 훈증 후 chloroform을 제거한 후 토양 10 g에 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 30 mL를 넣어 30분간 왕복 진탕하고 No. 2 여지로 여과하였다. 여과액 8 mL를 채취하여 250 mL 용량의 둥근바닥 플라스크에 넣고 2 mL의 66.7 mM의 중크롬산칼륨 용액과 15 mL의 황산, 인산 혼합액을 넣고 냉각관에 부착하여 165°C에서 30분간 가열하였다. 냉각 후 20 mL의 증류수를 가하고 다시 냉각한 후 25 mM 페로인지시약을 넣고 40 mM의 황산제1철암모늄으로 역적정하여 분석하였다.

**Table 1. Total amounts of fertilizer application during strawberry cultivation in greenhouse.**

Treatment <sup>†</sup>	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
CFS	385	104	179
CFSWP	191	58	93
OFS	124	80	136

<sup>†</sup>CFS, conventional farming system; CFSWP, conventional farming system without pesticides; OFS, organic farming system.

**토양 및 식물체 분석** 토양 화학성 분석을 위해 수확기에 3반복으로 채취한 토양은 실험실에서 7일간 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 적용하여 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법 (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로 적정하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP (Optima 5300DV, PerkinElmer, Norwalk, USA)로 분석하였고 질산태질소 함량은 킬달법을 이용하여 분석하였다.

수확된 딸기와 식물체는 채취 후 70°C에서 48시간 건조시키고 분쇄기 (RM100 Mortar Grinder, Retsch, Germany)를 사용하여 270 mesh로 조제한 후 건물 0.5 g을 습식 분해하여 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)으로 3반복으로 분석하였다. 그리고 양분흡수량을 조사하기 위하여 분석된 양분함량을 전체 식물체의 건물량으로 환산하였다.

**생육 및 수량조사** 딸기의 생육, 수량 및 수량 구성 요소는 농촌진흥청 연구조사분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 4월 30일에 20주를 선택하여 3반복으로 수행하였고 총 생산량은 판매기록을 합산하여 구하였다.

**다변량 주성분 분석 및 통계분석** 분석된 총 글로말린 함량, 미생물생체량, 토양 화학성, 양분흡수량과 수량 및 수량구성요소는 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하여 5% 수준에서 최소유의차 (LSD) 검정을 하였다. 그리고 토양 유기물 함량, 총 글로말린 함량 및 미생물생체량의 관계는 일원적인 상관관계로 분석하였다.

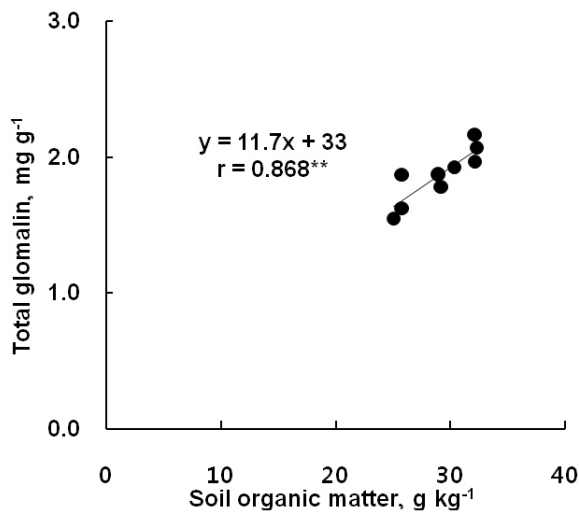
**결과 및 고찰**

**토양 총 글로말린 및 미생물생체량** 시설 딸기 유기재배, 무농약재배 및 관행재배 토양의 총 글로말린, 미생물

**Table 2. Comparison of total glomalin and chemical properties in soils affect by different cultivation systems under greenhouse at harvesting stage.**

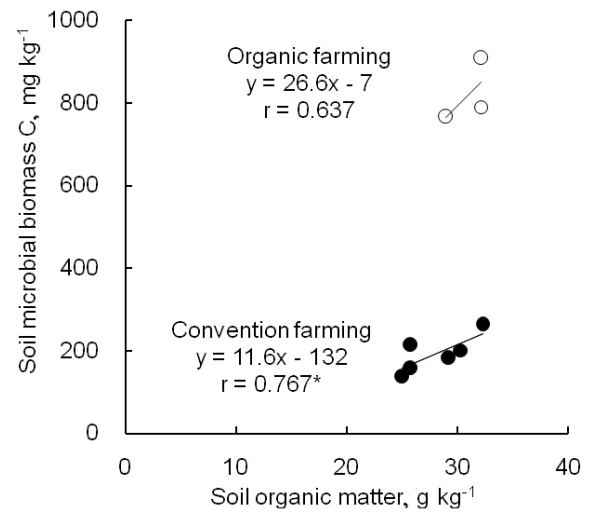
Treatment <sup>†</sup>	TG <sup>‡</sup> mg g <sup>-1</sup>	SMBC <sup>§</sup> mg kg <sup>-1</sup>	pH (1:5)	EC dS m <sup>-1</sup>	OM g kg <sup>-1</sup>	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg kg <sup>-1</sup>	Exch. Cation			NO <sub>3</sub> -N mg kg <sup>-1</sup>
							K	Ca	Mg	
CFS	1.68	169	6.4	1.25	26	448	0.39	8.7	1.8	20
CFSWP	1.93	216	6.7	2.24	31	391	0.63	11.2	2.3	93
OFS	2.00	821	6.8	0.33	31	640	0.33	8.0	1.8	10
LSD ( <i>p</i> <0.05)	0.309	110.3	0.42	0.715	2.8	128.6	0.329	0.55	0.17	38.1

<sup>†</sup>CFS, conventional farming system; CFSWP, conventional farming system without pesticides; OFS, organic farming system. <sup>‡</sup>TG, total glomalin. <sup>§</sup>SMBC, soil microbial biomass carbon content.

**Fig. 1. Correlation between total glomalin and organic matter in controlled horticultural soils.**

생체량 및 화학성분은 Table 2와 같다. 토양의 총 글로말린 함량은 유기재배에서 2.00 mg g<sup>-1</sup>, 무농약재배는 1.93 mg g<sup>-1</sup>이었으며 관행재배는 1.68 mg g<sup>-1</sup>으로 유기재배에 비해 유의적으로 낮았다 (*p*<0.05). 이러한 결과는 Wright et al. (2007)이 토양의 유기물 함량이 높을수록 글로말린 함량이 높다고 보고한 결과와 일치하였다 (Fig. 1). 그리고 관행재배는 딸기 재배에 살균제를 사용함으로 내생균근균의 개체수가 감소되어 글로말린 함량이 낮아진 것으로 생각되었다 (Rillig et al., 2003). 토양 총 글로말린 함량은 400 일이 지나도 50%가 검출될 정도로 매우 안정한 형태이기 때문에 (Rillig et al., 2003) 작물 생산 뿐만 아니라 대기, 토양 및 수질의 건강성을 나타내는 지표로서 활용할 수 있을 것이다 (Johnson et al., 2001; Johnson et al., 2004). 따라서 향후 토양 총 글로말린에 대한 연구는 지속가능한 농업과 생명공학적인 적용을 위해 토양에서 적절한 함량 수준을 검토해야 할 필요가 있다.

토양 미생물생체량은 유기재배에서 821 mg kg<sup>-1</sup>으로 무농약재배 216 mg kg<sup>-1</sup> 및 관행재배 169 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 유의적으로 높았다 (*p*<0.05). 일반적으로 총 글로말린 함

**Fig. 2. Correlation between microbial biomass C and organic matter in controlled horticultural soils.**

량과 마찬가지로 토양 유기물 함량이 높을수록 미생물생체량도 높은 것으로 알려져 있으나 본 연구에서 Fig. 2와 같이 유기재배 토양은 무농약재배 및 관행재배와는 다른 형태의 상관관계를 나타냈다. 이러한 결과는 Lee et al. (2010)이 보고한 바와 같이 유기재배에서는 화학비료나 농약을 사용하지 않기 때문에 미생물생체량이 증가된 것으로 판단되었다. 토양 pH는 유기재배가 6.8로 관행 6.4 보다 유의적으로 높았고 (*p*<0.05) 무농약재배는 6.7이었다. 토양 EC 값은 유기재배가 0.33 dS m<sup>-1</sup>로 무농약재배 2.24 dS m<sup>-1</sup>와 관행재배 1.25 dS m<sup>-1</sup>에 비해 유의적으로 낮았다 (*p*<0.05). 이러한 결과는 Lee et al. (2011)이 시설 고추 유기재배지의 EC 값이 관행 재배지에 비해 매우 낮다고 보고한 결과와 일치하였다. 그러나 토양의 유효인산 함량은 유기재배에서 640 mg kg<sup>-1</sup>으로 관행재배 448 mg kg<sup>-1</sup> 및 무농약재배 391 mg kg<sup>-1</sup> 보다 유의적으로 높았다. 무농약재배 토양은 치환성 칼륨 함량이 0.63 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼슘 함량이 11.2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 마그네슘 함량이 2.3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 및 질산태질소 함량이 93 mg kg<sup>-1</sup>으로 유기재배 및 관행재배 보다 유의적으로 높았다 (*p*<0.05).

**Table 3. Nutrients uptake of strawberry affect by different cultivation systems.**

Treatment <sup>†</sup>	Fruit			Plant			Total			Uptake rate		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----									----- % -----		
CFS	25	2	58	25	1	32	50	3	90	13.0	6.6	60.6
CFSWP	26	2	43	35	1	41	61	4	84	31.9	15.8	108.8
OFS	36	2	97	29	1	40	65	3	137	52.4	8.6	121.3
LSD ( <i>p</i> <0.05)	2.0	0.5	48.8	4.9	NS	6.6	6.4	0.4	51.1	4.10	0.65	NS

<sup>†</sup>CFS, conventional farming system; CFSWP, conventional farming system without pesticides; OFS, organic farming system.

**Table 4. Yield and yield component of strawberry at harvesting stage.**

Treatment <sup>†</sup>	Fresh plant weight	Fresh fruit weight	Leaflet length	Leaflet width	Sugar content	Yield
	g plant <sup>-1</sup>	g fruit <sup>-1</sup>	cm	cm	Brix	Mg ha <sup>-1</sup>
CFS	102	21.2	11.8	9.7	8.5	35
CFSWP	126	21.4	10.5	8.5	8.7	32
OFS	149	30.3	11.6	9.8	9.5	51
LSD ( <i>p</i> <0.05)	13.7	1.65	NS	NS	NS	4.4

<sup>†</sup>CFS, conventional farming system; CFSWP, conventional farming system without pesticides; OFS, organic farming system.

**식물체 양분흡수량** 재배방법에 따른 딸기 과일과 식물체의 양분흡수량은 Table 3과 같다. 딸기 과일에서 질소 흡수량은 유기재배가 36 kg ha<sup>-1</sup>로 유의적으로 가장 많았으나 (*p*<0.05) 무농약재배는 26 kg ha<sup>-1</sup>, 관행재배는 25 kg ha<sup>-1</sup>으로 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과는 Table 4에 나타난 바와 같이 유기재배에서 딸기 수량이 무농약재배와 관행재배에 비해 많은데 기인된 것으로 판단되었다. 식물체에서 질소 흡수량은 무농약재배에서 35 kg ha<sup>-1</sup>으로 유기재배 29 kg ha<sup>-1</sup> 및 관행재배 25 kg ha<sup>-1</sup>에 비해 유의적으로 많았다. 따라서 딸기 지상부의 질소 흡수량은 유기재배가 65 kg ha<sup>-1</sup>로 가장 많아 질소 이용율이 52.4%로 가장 높은 것으로 나타났으며 (*p*<0.05) 무농약재배와 관행재배의 질소 이용율은 각각 31.9% 및 13.0%로 낮게 나타났다. 인산 흡수량은 딸기 과일과 식물체에서 1-2 kg ha<sup>-1</sup>의 범위로서 매우 낮은 함량을 보였으며 모든 처리구에서 유의적인 차이가 없었다. 칼륨 흡수량은 유기재배에서 과일이 97 kg ha<sup>-1</sup>, 식물체가 40 kg ha<sup>-1</sup>으로 총 흡수량은 무농약재배 (과일 43 kg ha<sup>-1</sup>, 식물체 41 kg ha<sup>-1</sup>)와 관행재배 (과일 58 kg ha<sup>-1</sup>, 식물체 32 kg ha<sup>-1</sup>)에 비해 유의적으로 많았다. 그러나 칼륨 이용율은 재배방법에 따른 유의적인 차이는 없었다. 딸기는 과일과 식물체 모두 칼륨 흡수량이 가장 많았고 이용율도 가장 높은 것으로 나타나 수량 증대와 품질향상을 위해서 토양 칼륨 함량의 적정관리가 매우 중요하며 세부적으로 생육단계별 칼륨 양분관리에 대한 연구가 필요할 것으로 생각되었다.

**수량 및 수량구성요소** 재배형태별 딸기의 수량 및

수량구성요소는 Table 4와 같다. 주당 식물체의 생체량은 유기재배가 149 g으로 무농약재배 126 g과 관행재배 102 g에 비해 유의적인 차이가 있었다 (*p*<0.05). 그리고 주당 과일의 무게도 유기재배에서 30.3 g으로 가장 무거웠으며 무농약재배는 21.4 g으로 관행재배 21.2 g과 차이가 없었다. 소엽장과 소엽폭은 유기재배, 무농약재배 및 관행재배에서 차이가 없는 것으로 나타났다. 딸기의 당도는 유기재배에서 9.5 Brix로 가장 높았으나 무농약재배 8.7 Brix 및 관행재배 8.5 Brix와 차이가 없었다. 딸기의 수량은 유기재배에서 51 Mg ha<sup>-1</sup>으로 가장 많았으며 관행재배가 35 Mg ha<sup>-1</sup>이었고 무농약재배는 32 Mg ha<sup>-1</sup>이었다.

이상의 결과 시설 딸기 재배지에서 토양의 총 글로말린 함량과 식물체의 양분흡수량 및 수량은 유기재배에서 높은 것을 알 수 있었다. 그러나 이러한 결과는 각 재배방법에 따라 투입된 유기물과 양분 함량이 다르기 때문에 구체적으로 농자재별 딸기의 당도와 수량 및 토양 글로말린 함량에 미치는 영향을 검토할 필요가 있을 것이다. 또한, 양분 요구량이 상대적으로 적고 저온과 병해충에 강한 딸기를 대상으로 수행한 결과이므로 다른 작물을 대상으로 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

**요 약**

시설 딸기 유기재배, 무농약 및 관행재배 재배방법이 토양의 글로말린 함량 및 미생물생체량과 식물체 양분흡수에 미치는 영향을 검토하였다. 토양 총 글로말린 함량은 유기재배 2.00 mg g<sup>-1</sup>, 무농약재배 1.93 mg g<sup>-1</sup>이었으며 관행

재배는  $1.68 \text{ mg g}^{-1}$ 으로 유기재배에 비해 유의적으로 낮았다 ( $p < 0.05$ ). 토양 미생물생체량은 유기재배가  $821 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 무농약재배  $216 \text{ mg kg}^{-1}$  및 관행재배  $169 \text{ mg kg}^{-1}$ 에 비해 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 딸기 지상부의 질소 흡수량은 유기재배가  $65 \text{ kg ha}^{-1}$ 로 가장 많아 질소 이용율이 52.4%로 가장 높았다 ( $p < 0.05$ ). 딸기 수량은 유기재배가  $51 \text{ Mg ha}^{-1}$ 으로 가장 많았으며 관행재배가  $35 \text{ Mg ha}^{-1}$ 이었고 무농약재배는  $32 \text{ Mg ha}^{-1}$ 이었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ006906202011)과 농촌진흥청 전문지도사 연수지원 사업에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

- Altieri, M.A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agr. Ecosyst. Environ.* 93:1-24
- Jastrow, J.D. 1996. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 28:665-676.
- Jeon, W.T., K.Y. Seong, M.T. Kim, G.J. Oh, I.S. Oh, and U.G. Kang. 2010. Changes of soil physical properties by glomalin concentration and rice yield using different green manure crops in paddy. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:119-123.
- Johnson, C.K., B.J. Wienhold, J.W. Doran, R.A. Drijber, and S.F. Wright. 2004. Linking microbial-scale findings to farm-scale outcomes in a dryland cropping system. *Precis. Agric.* 5:311-328.
- Johnson, C.K., J.W. Doran, H.R. Duke, B.J. Wienhold, K.M. Eskridge, and J.F. Shanahan. 2001. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1829-1837.
- Lee, Y.H., B.K. Ahn, and J.H. Lee. 2010. Effects of rice straw application and green manuring on selected soil physical properties and microbial biomass carbon in no-till paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:105-112.
- Lee, Y.S., J.H. Kang, K.J. Choi, S.T. Lee, E.S. Kim, W.D. Song, and Y.H. Lee. 2011. Response of soil microbial communities to different cultivation systems in controlled horticultural land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:118-126.
- Mac Rae, R.Y. and G.R. Mehuys. 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils. *Adv. Soil Sci.*, Vol. 3. Springer-Verlag, Inc., NY, pp71-94.
- Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694-1697.
- Miller, R.M. and J.D. Jastrow. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 22:579-584.
- NIAST. 2000. Methods of analysis of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea (In Korean).
- Oehl, F., E. Sieverding, K. Ineichen, P. Mader, T. Boller, and A. Wiemken. 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Appl. Environ. Microbiol.* 5:2816-2824.
- RDA. 2003. Standard of agricultural research. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea (In Korean).
- Rillig, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84:355-363.
- Rilling, M.C., E.R. Lutgen, P.W. Ramsey, J.N. Klironomos, and J.E. Gannon. 2005. Microbiota accompanying different arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence soil aggregation. *Pedobiologia* 49:251-259.
- Rillig, M.C., P.W. Ramsey, S. Morris, and E.A. Paul. 2003. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. *Plant Soil* 253:293-299.
- SAS. 2006. SAS enterprise guide Version 4.1. SAS Inst., Cary, NC.
- Six, J., E.T. Elliott, and K. Paustian. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32:2099-2103.
- Torjusen, H., G. Lieblein, M. Wandel, and C.A. Francis. 2001. Food system orientation and quality among consumers and producers of organic food in Hedma country, Norway. *Food Qual. Prefer.* 12:207-216.
- Vance, E.D., P.C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Soil Biol. Biochem.* 19:703-707.
- Wright, S.F. and A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198:97-107.
- Wright, S.F. and R.L. Anderson. 2000. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biol. Fertil. Soils* 31:249-253.
- Wright, S.F., J.L. Starr, and I.C. Paltineanu. 1999. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1825-1829.
- Wright, S.F., K.A. Nichols, and W.F. Schmidt. 2006. Comparison of efficacy of three extractants to solubilize glomalin on hyphae and in soil. *Chemosphere* 64:1219-1224.
- Wright, S.F., M. Franke-Snyder, J.B. Morton, and A. Upadhyaya. 1996. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant Soil* 181:193-203.
- Wright, S.F., V.S. Green, and M.A. Cavigelli. 2007. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. *Soil Till. Res.* 94:546-549.