

토양 화학성 및 생물학적 변화에 대한 녹비작물 시용 효과

최봉수 · 정정아¹ · 오미경¹ · 전상호¹ · 고현관² · 옥용식^{3*} · 성좌경^{1*}

국립식량과학원, ¹국립농업과학원, ²농촌진흥청, ³강원대학교

Effects of Green Manure Crops on Improvement of Chemical and Biological Properties in Soil

Bong-Su Choi, Jung-Ah Jung¹, Mi-Kyung Oh¹, Sang-Ho Jeon¹, Hyun-Gwan Goh²,
Yong Sik Ok^{3*}, and Jwa-Kyung Sung^{1*}

National Institute of Crop Science, RDA, ¹National Academy of Agricultural Science, RDA,
²Rural Development Administration, ³Kangwon National University

We used green manure crops such as hairy vetch, crimson clover, rye, sorghum, and sudan grass by mixing with soils to assess the effects of green manure crops on nutrient supply and soil quality improvement. Temporal changes in soil inorganic nitrogen, carbohydrate, microbial biomass, and humus content were determined as soil quality indicators. Inorganic nitrogen content of the control maintained similar level during the whole period, but it had continually increased until 4 weeks after incorporation (WAI) of green manure crops. Especially, inorganic nitrogen content sharply increased in sudan grass. After incorporation of green manure crops, temporal change of soluble sugar in soils was as follows: it had gradually increased in legume green manure crops-incorporated soils until 7 WAI, which was the highest, and then showed the tendency to be reduced. Meanwhile, it in non-legume green manure crops-incorporated soils rapidly increased after the incorporation, and reached the maximum around 4 WAI. Humic acid by the decomposition of crop residues in green manure crops-incorporated soils was greatly enhanced with the elapsed time of 4 WAI, although it was low at the same level as the control until 2 weeks. In addition, there was a difference in fulvic acid by incorporated crops, fulvic acid in hairy vetch, sorghum and sudan grass showed a similar tendency with the change in humic acid. Our results suggest that soluble sugar, microbial activity and humic acid could be available indicators to evaluate the fertility of green manure crops-incorporated soils.

Key words: Green manure, Nitrogen, Soluble sugar, Microbial activity, Humus

서 언

지속농업을 영위하기 위한 토양 등 농업환경의 질적 개선은 오늘날 농업분야에서 가장 중요한 관심분야로 대두되고 있다. 유기물은 토양의 투수성, 입단화를 촉진하며 작물 수량에 영향을 미치는 중요한 요소이며, 토양 유기물 함량과 특성은 토양에 혼입된 식물잔사의 양과 종류에 의존한다 (Campbell et al., 1999; Ding et al., 2002; Roberson et al., 1995). 미생물 양과 활성 및 이분해성 유기물로 구성되는 활성 토양 유기물은 토양 유기물 분해 및 분해에 요구되는 시간을 결정짓는

중요한 요인들이다. 미생물 활성은 유기물 분해 및 질소 무기화의 필수불가결한 요소이며, 미생물체량은 유기물 분해의 초기 지표로 사용된다 (Powlson et al., 1987). 또한 미생물체량은 경운, 토양 건설 및 유기물 시용에 의해 매우 급변할 수 있다 (Ocio et al., 1991; Wyland et al., 1995; Wyland et al., 1996).

다양한 유기물원 중에 녹비작물은 경작지에서 직접 재배하여 이용이 가능하다. 녹비작물은 토양물리성의 개선과 유기물 공급뿐만 아니라 생물다양성 유지 및 작물 수량 증대의 수단으로써 휴한기에 재배가 가능하며, 화학비료 (특히 질소)의 대체수단으로 이용성이 확대되고 있다 (Anonymous, 1991). 녹비작물의 재배는 후작물에 대한 질소공급원으로 활용가능하며, 토양 건전성 (soil quality) 개선효과를 갖는 것으로 알려져 있어

접수 : 2010. 8. 31 수리 : 2010. 10. 22

*연락처 : Phone: +82312900318, +82332506443

E-mail: jksung@korea.kr

soilok@kangwon.ac.kr

(Thorup-Kristensen, 1994; Thorup-Kristensen and Bertelsen, 1996), 녹비작물을 활용한 영농기술은 지속적으로 증가하고 있다. 한편 헤어리베치, 크림손클로버 등의 두과 녹비작물은 탄질비 (8:1~15:1)가 낮아 토양 중 질소함량과 작물의 수량을 증대시키며 (Abdul-Baki and Teasdale, 1993; Sainju et al., 1999), 밀과 호밀 등의 화본과 작물은 상대적으로 탄질비 (30:1~60:1)가 높아 작물과 미생물간 경합에 의한 후작물이 이용할 수 있는 질소를 제한하지만 토양 유기탄소를 증가시키는 것으로 알려져 있다 (Kuo et al., 1997; Wagger, 1989).

시설재배지에서 작물의 연중생산 및 최고수량을 유지하기 위하여 과다 투입되는 양분은 토양의 이화학적 및 생물학적 특성을 악화시키고, 특히 연작으로 인한 병해충 발생빈도 증가와 염류의 과잉집적으로 인한 작물생육부진 및 수량감소는 지속농업의 생산능력을 감퇴시키는 요인이다. 따라서 시설재배지 휴작기간동안 효율적인 작부체계의 적용이 필요하며, 그 중 하나의 방법인 녹비작물의 이용은 양분이 집적된 농경지에 재배하여 양분을 흡수·재이용 할 수 있으며, 근본적으로 시설재배지 토양의 건전성을 개선시킬 수 있다. 국내에서는 여름작물의 생산을 위한 경제성 때문에 휴경기에 이용 가능한 동계녹비작물이 잘 알려져 있다. 이들 동계녹비작물을 하절기 단기간 재배로 충분한 바이오매스를 생산하여 시설재배지의 휴작기간동안 녹비작물로의 활용가능성은 매우 클 것으로 판단된다.

본 연구는 휴작기 시설재배지에서 녹비작물에 의한 양분공급 및 토양 건전성 개선에 대한 활용가능성을 알아보기 위하여, 다양한 녹비작물을 두 달간 재배한 후 토양처리하여, 무기질소 공급능력과 생물적 지표로서 토양 탄수화물, 미생물활성 및 부식함량의 경시적인 변화를 알아보기 위하여 수행하였다

재료 및 방법

녹비작물 재배 및 토양처리 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 시험포장에서 채취한 토양 (사질양토, 고평토)을 이용하여 국립농업과학원 유리온실에서 수행하였으며, 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

토양 산도는 6.6, 전기전도도는 1.48 dS m⁻¹, 총 질소함량은 0.07%, 유기물 함량은 13.6 g kg⁻¹, 유효인산은 113 mg kg⁻¹, K, Ca, Mg 및 Na 등 양이온 함량은 각각 0.50, 4.26, 0.89 및 0.22 cmol⁺ kg⁻¹이었다.

녹비작물은 두과 (헤어리베치, 크림손 클로버)와 화본과 (호밀, 수수, 수단그라스) 5종으로 2008년 3월 15일에 재배용 포트 (60×25×25 cm)에 각각의 종자를 파종하여 재배한 후 영양생장이 왕성한 시기인 6월 15일에 지상부를 예취하여 토양처리를 위한 재료로 사용하였다. 수확한 녹비작물의 포트 당 처리량은 C/N 자동분석기 (Variomax CN, ELEMENTAR, Germany)를 이용하여 측정된 탄소와 질소함량 및 수분함량 등을 바탕으로 결정하였다 (Table 2).

수확한 녹비작물은 3~5 cm 간격으로 자른 후 화학비료의 질소시용량 (150 kg ha⁻¹)을 기준으로 토양에 혼합한 후, 사각포트 (20×10×10 cm)로 옮겼다. 녹비작물의 분해 및 토양의 미생물 활성 등을 알아보기 위하여 토양이 혼합된 포트는 항온·항습 조절장치 (25℃, 24시간-암조건, 60% 상대습도)로 옮겼으며, 토양의 수분조절을 위하여 매일 20 mL의 수분을 공급하였다.

토양시료 채취 및 화학성 분석 토양 및 식물체의 특성은 국립농업과학원의 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 1988)에 준하여 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 토양시료를 증류수와 1:5의 비율로 혼합하여 pH meter와 EC meter (Orion 3 start, Thermo, USA)로 측정하였다.

Table 1. Soil physico-chemical properties before the experiment.

pH	EC	T-N	O.M.	Avail. P	Ex. cations				Soil texture
					K	Ca	Mg	Na	
1:5	dS m ⁻¹	%	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				
6.6	1.48	0.07	13.6	113	0.50	4.26	0.89	0.22	Sandy loam

Table 2. Carbon and nitrogen contents of green manure crops and fresh weight-based incorporation rate.

Green manure crops	Total C	Total N	C/N ratio	Water content	Application rate
	%, DW	%, DW		%	g FW pot ⁻¹
Hairy vetch	43.7	4.4	10.0	87	53
Crimson clover	42.4	4.2	10.2	89	65
Rye	43.6	3.6	12.2	85	56
Sorghum	42.4	2.2	19.2	86	95
Sudan grass	42.7	2.5	17.4	88	98

총 질소와 탄소 함량은 음건토양 (0.5 g)을 C/N 자동 분석기로 측정하였으며, 유기물 함량은 측정된 총 탄소 함량에 계수 (1.724)를 곱하여 환산하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 UV-Spectrophotometer (UV-2450, Shimadzu, Japan)를 이용하여 720 nm에서 측정하였다. 치환성 양이온 (K, Ca, Mg 및 Na)은 단일침출액 (1 N CH₃COONH₄, pH 7.0) 추출 후 ICP (GBC, Australia)로 분석하였다.

토양 내 무기태질소, 수용성 당 및 미생물 활성 분석 토양 중 무기태질소, 수용성 당, 미생물 활성의 경시적 변화를 알아보기 위하여 녹비작물을 토양에 처리한 후 1, 2, 4, 7 및 11주에 토양시료를 채취하여 분석시료로 사용하였다. 토양 내 무기태질소 중 NH₄-N (Kopp and McKee, 1978)와 NO₃-N (Keeney and Nelson, 1982)의 함량은 2 M KCl로 추출하여 CFA (BLAN+LUEBBE, Germany)로 440 nm에서 측정된 후 수분함량을 보정하여 계산하였다.

토양 중 수용성 당 분석은 Roe (1955) 방법에 의거하여 음건토양 20 g에 80% Ethanol 100 mL를 첨가한 후 항온수조 (85°C)에서 30분간 진탕·추출한 후 상등액을 취하였다. 추출액을 항온수조 (85°C)에서 3 mL 가량 남을 때까지 휘발시킨 후, 증류수를 이용하여 10 mL로 맞췄으며, 이를 분석시료로 사용하였다. 분석시료 1 mL에 0.2% anthrone을 포함하는 농황산용액 2 mL를 첨가하여 항온수조 (95°C)에서 10분간 반응시켜 냉각시킨 후, UV-Spectrophotometer (UV-2450, Shimadzu, Japan)를 이용하여 630 nm에서 측정하였다.

토양 미생물체량 (Microbial biomass C, N)은 혼중추출법 (Vance et al., 1987)을 이용하여 분석하였다. 비혼중시료는 습윤토양 15 g에 0.5 M K₂SO₄ 60 mL를 첨가하여 30분간 진탕하여 추출하였고, 혼중시료는 습윤토양 15 g을 클로로포름 하에서 24시간 혼중시킨 후, 0.5 M K₂SO₄ 60 mL를 첨가하여 30분간 진탕하여 추출하였다. 미생물 탄소량은 TOC 분석기 (TOC-5050, Shimadzu, Japan)로 측정하였고, 미생물 질소량은 ninhydrin법을 이용하여 측정하였다 (Carter, 1991). 미생물체량은 혼중된 분석값에서 비혼중된 분석값을 감하는 것으로 계산하였다.

부식함량 분석 유기탄소가 100 mg 정도 함유하도록 풍건토양을 취하여 50 mL 플라스크에 평량한 후 첫째, free-form humic acid와 fulvic acid를 분획하기 위하여 0.1 N NaOH 30 mL를 첨가하여 30분간 끓이고 냉각시켜 응고제인 포화 Na₂SO₄ 2 mL를 플라스크

에 넣은 후 11,000 rpm에서 15분간 원심분리 하였다. Na₂SO₄가 3% 포함된 0.1 N NaOH 20 mL를 사용하여 2회 토양잔사를 세척한 후 11,000 rpm에서 원심분리하여 추출액과 세척된 용액을 더하였다. 추출액에 conc. H₂SO₄ 1 mL를 가하여 산성화시키고 30분 동안 방치하면 침전물은 humic acid이며 추출액은 fulvic acid가 된다. 둘째, combined-form humic acid와 fulvic acid를 분획하기 위하여 0.1 M Na₄P₂O₇ 30 mL를 사용하여 플라스크에 토양잔사를 옮겨놓고 0.1 M Na₄P₂O₇ 30 mL를 가한 후 30분간 끓인 후 나머지는 위의 방법과 동일하게 추출하였다. 산성화된 각각의 추출액을 100 mL volumetric 플라스크에 첨가하였고, H₂SO₄ (1:100)으로 침전물 (humic acid)을 세척한 후 H₂SO₄ (1:100)로 여액 (fulvic acid)을 100 mL로 조절하였다. 0.1 N NaOH로 humic acid를 녹여 100 mL로 조절하여 2시간 이내에 220-700 nm의 범위에서 흡광곡선을 얻었다. 또한 400 nm와 600 nm에서의 흡광도 (logK₄₀₀, logK₆₀₀)를 측정하여 $\Delta\log K$ 및 RF값을 다음과 같이 계산하였다.

$$\Delta\log K = \log K_{400} - \log K_{600}$$

$$RF = K_{600} \times 1000 / c$$

K는 400 또는 600 nm에서의 흡수계수, c는 흡광도 측정에 사용한 humic acid 용액 30 mL에 소비된 0.1 N KMnO₄의 mL 양으로써 humic acid 용액 30 mL내 탄소의 함량을 0.1 N KMnO₄의 mL 양으로 환산한 값 (1 mg KMnO₄=0.45 mg C)이다.

Humic acid, fulvic acid 및 총 부식함량은 Simon과 Speichermann (1938)이 제시한 0.1 N KMnO₄를 이용한 산화환원 적정법으로 측정하였다. 분리된 용액 10 mL를 취해 0.1 N KMnO₄ 25 mL와 4 N H₂SO₄ 10 mL를 가하고 증류수로 100 mL가 되도록 조절하여 항온수조 (95°C)에서 15분간 끓인 후, 0.1 N oxalic acid를 과잉으로 가해 탈색시킨 후 0.1 N KMnO₄로 적정하였다.

통계분석 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였고, 각 분석항목에 따른 실험결과는 EXCEL 프로그램을 이용하여 평균치와 표준편차를 산출하였고, 처리간의 유의성을 검정하기 위하여 SAS 프로그램 (SAS, ver. 9.1)을 이용하여 ANOVA test 후 최소유의차 검정 (LSD)을 하였다.

Table 3. Temporal changes in soil inorganic nitrogen after the incorporation of green manure crops.

Green manure crops		1 WAI [†]	2 WAI	4 WAI	7 WAI	11 WAI
		----- mg kg ⁻¹ -----				
Control		121c [‡]	124d	124d	114e	119n.s
Legumes	Hairy vetch	152ab	152bc	169ab	152ab	144
	Crimson clover	139bc	145c	132cd	142c	131
	Mean	146	149	151	147	138
Non-legumes	Rye	145ab	159b	135bcd	131d	127
	Sorghum	153ab	132d	163abc	146bc	135
	Sudan glass	165a	179a	173a	158a	152
	Mean	154	157	157	145	138
Mean of green manure crops		151	153	154	146	138

[†]WAI: Weeks after incorporation.

[‡]The same letter in a column is not significantly different at the 0.05 probability level as determined by LSD (n=3). n.s: not significant.

결과 및 고찰

무기태 질소함량은 무처리구에서 전 기간 (11주)동안 비슷한 수준을 유지하였으나 녹비작물을 처리한 토양에서는 토양처리 후 4주까지 무기태질소 함량이 증가하는 경향이 나타났으며 그 값은 수단그라스에서 현저하게 증가하였다 (Table 3). 이러한 무기태질소 함량의 변화는 녹비처리 후 7주까지 비슷한 수준을 유지하였으며, 무처리구보다 녹비처리구에서 30~32 mg kg⁻¹ 증가한 것으로 나타났다.

녹비작물의 분해는 녹비작물의 처리시기, 토양의 수분함량 및 토성, 경작지의 미생물상 등이 중요한 요인으로 작용하는데 (Francis et al., 1995; van Hees et al., 2002) 본 연구에서는 녹비처리 당시 각 작물은 생육이 왕성한 영양생장기로서 식물체의 분해시 영향을 미치는 탄질률이 비교적 낮은 10.0~19.2의 범위로 녹비처리 재료에 의한 영향이 가장 큰 것으로 판단된다.

녹비작물별 특성을 알아보기 위하여 토양에 처리한 재료를 두과와 화분과로 구분하였고 이에 따른 토양 내 무기태질소 함량의 경시적인 변화를 조사하였다. 녹비작물 처리구에서 토양 내 무기태질소 함량은 두과 및 화분과 작물의 처리간 차이가 나타나지 않았으나 무처리구와 비교하여 토양처리 후 7주까지 30% 이상 증가하였다 (Fig. 1). 일반적으로 화분과 작물보다 질소함량이 높은 두과작물을 녹비로 이용하는 것이 분해 촉진 및 양분 무기화에 따른 후작물의 유식물 생장에 효율적인 것으로 알려져 있지만 (Cherr, 2006), 본 연구에서는 영양생장기에 처리한 작물의 특성상 화분과와 두과 녹비작물의 무기화에 있어서 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

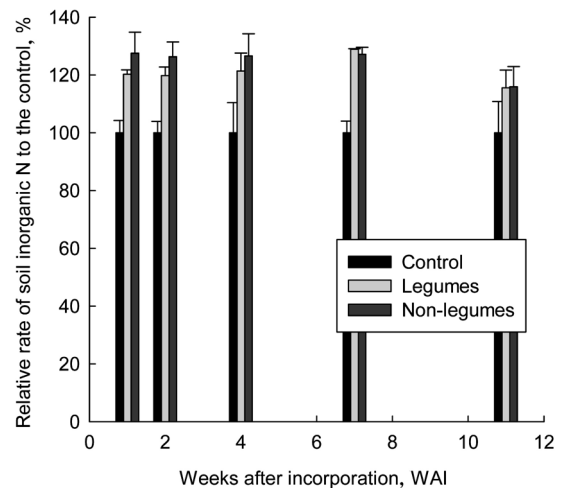


Fig. 1. Temporal changes in relative rates of soil inorganic nitrogen of legume and non-legume to the control. Error bar indicates standard deviation (n=3).

시설재배지에서 온도환경이 열악한 여름 고온기에 약 2개월 동안 작물을 재배하지 않는 경작지에서 녹비작물을 재배한다면 여름녹비작물 뿐만 아니라 헤어리베치와 같은 동계작물도 동일기간 왕성한 생육으로 바이오매스 생산량은 증대된다 (Lee et al., 2008). 이처럼 왕성한 생육을 하는 영양생장기에 녹비작물의 처리는 낮은 탄질률로 질소무기화를 촉진시키기 때문에 하절기 짧은 후작기의 시설재배지 활용이 가능할 것으로 판단된다.

한편 시설재배지는 작물생산을 위하여 과다한 양분을 시용과 외부환경이 차단되어 다량의 양분이 집적되는 형태가 나타나는데, 녹비작물 재배는 집적된 양분을 흡수 재이용할 수 있다. 또한 녹비작물에 의한 토양의 물리 화학성을 개선할 수 있기 때문에 이용가치가 높을 것으로 판단되며, 이를 위해서는 주 작물과 녹비 작물의

효율적인 조합을 통한 작부체계 적용이 필요하다.

녹비작물 처리 후 토양 중 수용성 당의 경시적 변화를 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 두과 녹비작물 처리구는 수용성 당 함량이 토양처리 초기에 서서히 증가하기 시작하여 녹비처리 후 7주경에 가장 높았고 이후 서서히 감소하는 경향이 나타났다. 반면 호밀을 제외한 화본과 녹비작물 처리구는 토양처리 후 빠르게 증가하여 4주경에 최대치에 도달한 후 감소하는 양상을 보였다.

토양에 사용된 유기물은 탄수화물, 단백질 > 헤미셀룰로오스 > 셀룰로오스 > 리그닌의 순으로 분해되며 토양 미생물에 의한 리그닌의 분해는 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 토양 분해개시 전 작물 잔사에 존재하는 탄수화물, 단백질 등과 같은 이분해성 유기화합물은 토양처리 후, 식물 잔사로부터 빠르게 용출되어 미생물의 탄소원으로 이용된다 (Reinertsen et al., 1984). 따라서 토양 수용성 당의 증가는 미생물의 활성을 평가할 수 있는 판단지표가 되고 이는 탄질물에서 기인하는 것으로 판단된다. 한편 무처리에 대한 두과와 화본과 녹비작물로부터 토양으로 용출된 수용성 당의 상대적 비율

은 조사 시기별로 녹비처리와 동시에 1.5~2.6배의 큰 차이가 나타났다. 미생물의 탄소원으로는 투입되는 잔유물의 재료에 의해 영향을 받는데 두과 녹비작물보다 탄질물이 높았던 화본과 녹비작물 처리구에서 토양처리 4주 후에 수용성 당 함량이 현저히 높았던 것과 관련이 있는 것으로 판단된다.

한편 부식도가 많은 비옥한 토양은 미생물의 함량이 상대적으로 높은 것이 일반적이다. 적절한 탄질물 (25 이하)을 가진 유기물 공급은 토양 유기물로부터 미생물이 이용할 수 있는 에너지원 (C)과 영양원 (N)을 동시에 얻을 수 있기 때문에 미생물의 증식이 빨라지고 토양 중의 미생물 바이오매스가 증가한다. 또한 토양 미생물 활성과 효소활성은 토양 유기물 함량과 밀접한 관계가 있는데 (Garcia et al., 1994; Powlson et al., 1987), 토양 유기물 함량과 같은 화학적 특성에 비해 더욱 정교한 토양 건전성의 판단지표가 된다 (Beyer et al., 1999).

녹비작물 토양처리 후 4주와 11주에 조사한 처리별 토양 미생물 탄소 및 질소량은 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 토양 미생물 탄소량은 녹비작물의 토양처리 4주 후에 관

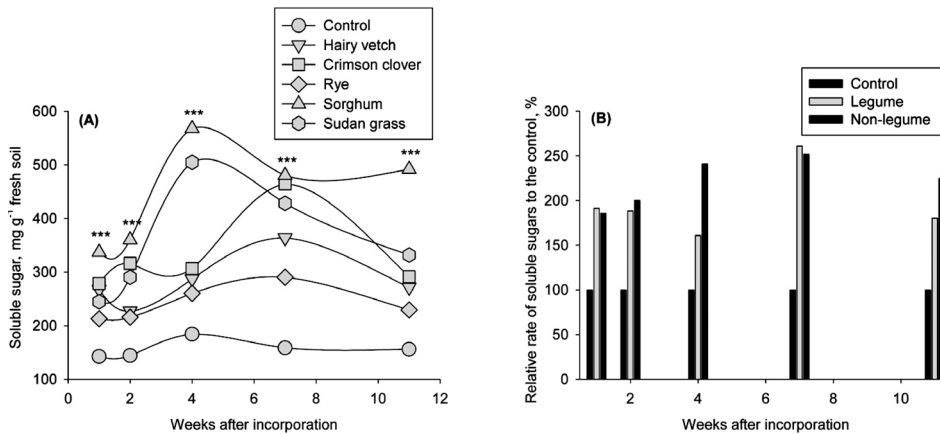


Fig. 2. Temporal changes in soil soluble sugars (A) after the incorporation of green manure crops and relative rates (B) of soluble sugars of legume and non-legume to the control. The symbol, ***, means the significance at $P < 0.001$ as determined by LSD.

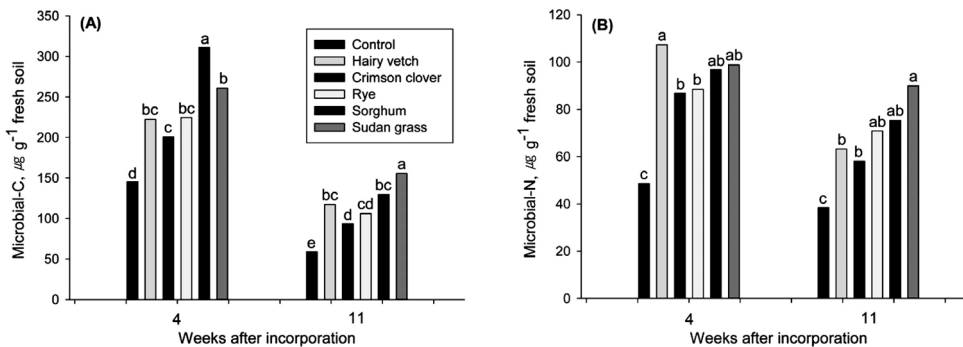


Fig. 3. Changes in soil microbial-C (A) and -N (B) activities after the incorporation of green manure crops. Soil was collected from each treatment at 4 and 11 weeks after incorporation and microbial-C and -N were measured using the fumigation method. The same letter in each graph is not significantly different at the 5% level as determined by LSD ($n=3$).

행구에 비하여 현저히 증가하였으며, 두과 작물보다 화본과 작물의 토양처리구에서 그 차이가 크게 나타났다. 시간 경과에 따라 녹비처리 11주 후에도 토양 미생물 탄소량은 낮았지만 녹비처리 4주 후에 조사한 결과와 비슷한 경향이 나타났다. 이는 녹비작물의 투입에 따른 차이인 것으로 사료되는데 녹비작물의 토양처리시 탄질률을 기준으로 처리하였으므로 탄질률이 상대적으로 높았던 수수나 수단그라스로부터 더 많은 양의 탄소가 토양에 공급되었고 이로 인해 미생물 탄소량이 증가한 것으로 판단된다. 한편 성적으로 제시하지는 않았지만 토양의 미생물 탄소량과 수용성 당 함량 간에는 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났는데, 수용성 당은 생분해성 물질을 생성하여 탄소 혹은 에너지원으로써 토양 미생물의 사용할 수 있으므로 수용성 당과 같은 이분해성 탄소는 토양 미생물 활성의 지표라고 할 수 있다 (De Luca and Keeney, 1993).

Robinson et al. (1996)은 물리, 화학, 생물학적 토양 특성에 미치는 효과는 토양에 처리하는 작물 잔유물의 다양성과 깊은 관련이 있다고 하였다. 작물 잔유물은 유기물원으로써 토양건전성에 영향을 미치는데, 윤작체계는 단일작물 연작지와 비교하여 토양의 유기물 농도 및 비옥도를 현저히 높였으며, 토양안정도, 미생물 바이오매스 및 활성을 증대시켰다 (Campbell et al., 1991). 토양미생물 바이오매스는 유기물의 분해에 관여하여 토양에서 양분의 순환을 도울 뿐만 아니라 농업생태계에서 토양관리 또는 환경스트레스로부터 토양의 이화학적 특성 변화의 지표로 사용되었다 (Trasar-Cepeda et al., 1998). 토양 미생물 바이오매스 탄소는 토양 총탄소의 1-3% 정도이고 바이오매스 질소는 총질소의 5%까지 구성되어 있지만 이들은 모두 토양에서 미생물에 의

하여 용이하게 전환되는 물질로서 쉽게 작물이 이용할 수 있는 탄소와 질소의 보고이다 (Jenkinson and Ladd, 1981). 그러므로 농업생태계의 양분 가용화 및 생산성은 미생물 바이오매스의 활성에 의존한다 (Friedel et al., 1996). 한편 Broos et al. (2007)의 연구에 의하면 미생물의 양은 오염된 토양에서 오염되지 않은 토양보다 20~50% 감소하였다고 하였는데, 이러한 영향은 토양의 기능으로써 미생물 바이오매스가 중요한 역할을 하며 (Stockdale and Brookes, 2006), 토양 유기물보다 토양 상태의 변화를 알려주는 보다 민감한 지표 (Powlson and Jenkinson, 1976)라는 것을 설명해 준다.

미생물의 활성은 토양 내 유기물 및 부식 함량과도 밀접한 관련이 있다. 부식 (humus)은 토양에 공급된 유기물이 부숙과정을 거쳐 부식화 (humification)된 산물이라 할 수 있으며, 식물과 미생물이 유용하게 이용할 수 있다. 이러한 부식은 유기물 함량이 높은 토양에 많으며 완숙된 유기물의 공급에 의한 미생물의 활성으로 지속적인 분해가 이루어지는데 토양의 부식 함량을 지력의 증대라고 할 수 있다. 부식산 (humic acid)은 농업생태계에서 유기물의 분해 및 축적으로 인한 안정적인 생산과 관련이 있으며, 이것은 pH를 완화시키거나 불용화 양분의 킬레이트에 의해 식물생장을 이롭게 한다 (Mackowiak et al., 2001). 토양에 유기물로서 미부숙 물질인 녹비작물의 토양처리로 토양 내의 부식산은 초기에 아무것도 첨가하지 않은 관행구와 같은 수준으로 낮았으나 녹비처리 후 4주의 시간이 경과하면서 탄질률이 낮은 녹비작물의 부숙에 의해 형성된 부식산이 증가하는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 4). 부식화는 질소의 가용화와 깊은 관련이 있으며, 무기화 과정에서 손실되는 질소는 부식화 및 부식산물의 질에 영향을 미

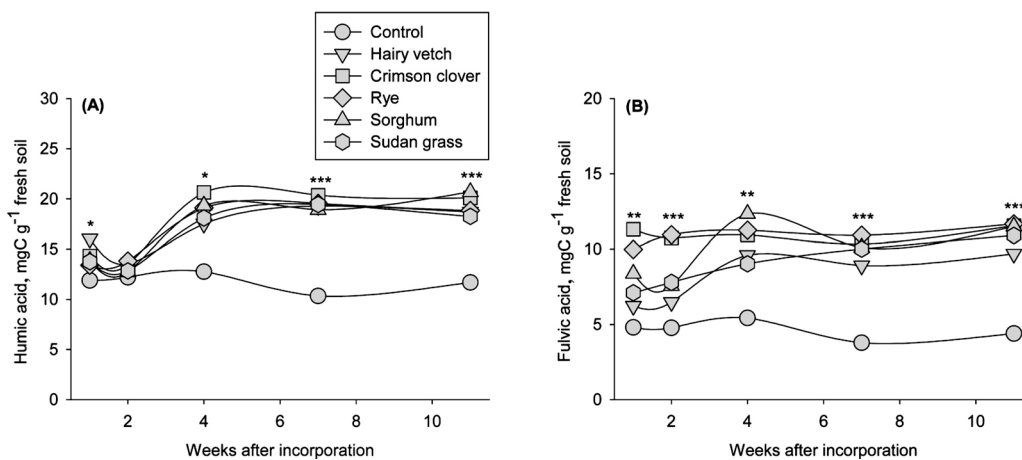


Fig. 4. Temporal changes in soil humic- (A) and fulvic- (B) acids after the incorporation of green manure crops. Each content of humic- and fulvic-acids was determined from the sum of free- and combined-forms. Error bar indicates standard deviation (n=3). The symbols, *, ** and ***, mean the significance at $P < 0.05$, 0.01 and 0.001 as determined by LSD, respectively.

친다고 하였으며 (Lin et al., 2008), 이는 본 연구에서 영양생장기 탄질률이 높은 녹비작물 처리로 미생물이 쉽게 이용할 수 있는 이분해성 질소의 방출을 유발하여 부식화가 촉진된 것으로 판단된다.

또한 fulvic 산은 양이온 (Ca, Mg, Al 및 Fe 등)과 결합하여 물에 잘 용해되는 가용성 염을 만드는 것으로 알려져 있는데 (Schnitzer, 1969), 녹비작물 간 차이는 있었지만 부식산의 함량 변화와 비슷한 경향이 나타났다. 이러한 부식함량의 증가는 암모니아를 흡착하는 능력을 지니고 있어 식물양분의 유실을 막고 흡착양분을 식물이 이용할 수 있도록 도와준다 (Zhong et al., 2010). 또한 부식은 수분 보유력이 커서 가뭄에 의한 피해를 줄일 수 있고, 입단구조를 형성하여 토양의 물리성을 개선시키는 기능을 가지고 있다. 결과적으로 탄질률이 낮은 녹비작물의 토양처리하는 토양 내 유기물을 공급해 줌으로써 미생물의 활성을 촉진시키고 이로 인한 부식 함량의 증가는 토양 내 양이온치환용량을 향상시키고 토양의 산성화를 방지시키는 역할을 하여 작물의 생육을 이롭게 한다. 그러므로 시설재배지에서 녹비작물과의 윤작체계 도입은 녹비작물의 재배 및 처리에 의한 토양 건전성을 개선시켜줌과 동시에 지속적인 유기물 공급에 의한 부식함량을 유지시켜 지속농업의 기반을 마련할 것이다.

요 약

시설재배지의 경우 휴작기간 동안 녹비작물의 활용가 능성이 높을 것으로 판단된다. 본 연구는 녹비작물이 시설재배지에서의 양분공급 및 토양질 개선에 미치는 영향을 평가하고자 두과 (헤어리베치, 크림손클로버) 및 화본과 (호밀, 수수, 수단그라스) 녹비작물을 재배 후 토양과 혼합하였으며, 무기질소 공급능과 생물적 지표로서 토양 탄수화물, 미생물활성 및 부식함량의 경시적 변화를 측정하였다. 관행구의 무기태 질소함량은 전 기간 비슷한 수준을 유지하였으나 녹비작물을 처리한 토양에서는 토양처리 후 4주까지 무기태질소 함량이 지속적으로 증가하였고, 특히 수단그라스에서 무기태질소 함량이 두드러지게 증가하였다. 녹비작물 처리 후 토양 중 수용성 당은 두과 녹비작물 처리 후 서서히 증가하기 시작하여 7주 경에 가장 높았으며 이후 서서히 감소하는 경향이 나타났다. 반면 화본과 녹비작물 처리 후 수용성 당이 빠르게 증가하여 처리 후 4주 경에 최대치에 도달한 후 감소하는 양상이 나타났다. 토양 내의 부식산 (humic acid)은 아무것도 첨가하지 않은 관행구와 녹비처리 초기에는 비슷한 수준으로 낮았으나 녹비처리 후 4주 정

도 시간이 경과하면서 녹비작물의 부속에 의해 형성된 부식산이 점점 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 양이온과 결합하여 물에 잘 용해되는 염을 만드는 fulvic 산에서도 작물 간 차이는 있었지만 부식산의 함량 변화와 비슷한 경향이었다.

인 용 문 헌

- Abdul-Baki, A.A. and J.R. Teasdale. 1993. A no-tillage tomato production system using hairy vetch and subterranean clover mulches. *HortScience* 28:106-108.
- Anonymous. 1991. Organic production of agricultural products and indications referring thereto on agricultural products and food stuffs. Official Journal of the European Community No. L 198:1-15.
- Beyer, L., K. Sieling, and K. Pingpank. 1999. The impact of a low humus input level in arable soils on microbial properties, soil organic matter quality and crop yield. *Biol. Fertil. Soils*. 28:156-161.
- Broos, K., L.M. Macdonald, J. Warne, D.A. Heemsbergen, M.B. Barnes, M. Bell, and M.J. McLaughlin. 2007. Limitations of soil microbial biomass carbon as an indicator of soil pollution in the field, *Soil Biol. Biochem.* 39:2693-2695.
- Campbell C.A., V.O. Biederbeck, R.P. Zentner, and G.P. Lafond. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71:363-376.
- Campbell, C.A., V.O. Biederbeck, B.G. McConkey, D. Curtin, and R.P. Zentner. 1999. Soil quality-effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced by tillage and fallow frequency in a silt loam in southwestern Saskatchewan. *Soil Biol. Biochem.* 31:1-7.
- Carter, R.M. 1991. Ninhydrin-reactive N released by the fumigation-extraction method as a measure of microbial biomass under field conditions. *Soil Biol. Biochem.* 23 :139-143.
- Cherr, C.M., J.M.S. Scholberg, and R. McSorle. 2006. Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agron. J.* 98:302-319.
- De Luca, T.H. and D.R. Keeney. 1993. Soluble anthrone-reactive carbon in soils: effect of carbon and nitrogen amendments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1296-1300.
- Ding, G., J.M. Novak, D. Amarasiriwardena, P.G. Hunt, and B. Xing. 2002. Soil organic matter as affected by tillage management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:421-429.
- Francis, G.S., R.J. Haynes, and P.H. Williams. 1995. Effects of the timing of ploughing-in temporary leguminous pastures and two winter cover crops on nitrogen mineralization,

- nitrate leaching and spring wheat growth. *J. Agric. Sci.* 124:1-9.
- Friedel, J.K., J.C. Munch, and W. R. Fischer. 1996. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biol. Biochem.* 28:479-488.
- Garcia, C., T. Hernandez, and F. Costa. 1994. Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* 26:1185-1191.
- Jenkinson, D.S. and J.N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: Paul, E.A. and J.N. Ladd, Editors, *Soil Biochemistry Vol. 5*, Dekker, New York, pp. 415-471.
- Keeney, D.R. and D.W. Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. pp. 643-698. In A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9*. ASA and SSSA Madison. WI.
- Kopp, J.F. and G.D. McKee. 1978. Methods for chemical analysis of water and wastes. Nitrogen ammonia-Method 350. 1. USEPA Environ. Monitoring and Support Lab., Cincinnati.
- Kuo, S., U.M. Sainju, and E.J. Jellum. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:145-152.
- Lee, I.B., S.B. Kang, and J.M. Park. 2008. Effect of soil incorporation of graminaceous and leguminous manures on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth and soil nutrient balances. *Korean J. Environ. Agric.* 27: 343-348.
- Lin C.C., A.B. Arun, P.D. Rekha, and C.C. Young. 2008. Application of wastewater from paper and food seasoning industries with green manure to increase soil organic carbon: A laboratory study. *Bioresour. Technol.* 99: 6190-6197.
- Mackowiak, C.L., P.R. Grossl, and B.G. Bugbee. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1744-1750.
- Ocio, J.A., P.C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1991. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil Biol. Biochem.* 23 :171-176.
- Powlson, D.S. and D.S. Jenkinson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. II. Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation, *Soil Biol. Biochem.* 8:179-188.
- 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). 1988. Analyses of soil and plant. RDA, Korea.
- Reinertsen, S.A., L.F. Elliott, V.L. Cochran, and G.S. Campbell. 1984. The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 16:459-464.
- Roberson, E. B., S. Sarig, C. Shennan, and M. K. Firestone. 1995. Nutritional management of microbial polysaccharide production and aggregation in an agricultural soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1587-1594.
- Robinson C.A., R.M. Cruse, and M. Ghaffarzadeh. 1996. Cropping systems and nitrogen effects on mollisol organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:264-269.
- Roe, J.H. 1955. The determination of sugar in blood and spinal fluid with anthrone reagent. *J. Biol. Chem.* 212 :335-343.
- Sainju, U.M., B.P. Singh, and S. Yaffa. 1999. Tomato yield and soil quality as influenced by tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization. In: Hook, J.E. (Ed.), *Proceedings of the 22nd Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*. Tifton. GA. July6-8. Spec. Pub. 95. Agric. Exp. Sta., Athens. GA. pp. 104-113.
- Schnitzer, M. 1969. Reactions between fulvic acid, a soil humic compound and inorganic soil constituents. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 33:75-81.
- Simon, K. and H. Speichermann, 1938. Beiträge zur Humusuntersuchungs methodik, *Bodenk. Pflanzenernähr.* 8:129-152.
- Stockdale, E.A. and P.C. Brookes. 2006. Detection and quantification of the soil microbial biomass-impacts on the management of agricultural soils. *J. Agric. Sci.* 144 :285-302.
- 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 vegetable production. In: Kristensen, N.H., Høeg-Jensen, H. *New Research in Organic Agriculture. Proceedings from the 11th International Scientific IFOAM Conference*, Copenhagen, pp. 75-79.
- Trasar-Cepeda C, C. Leiros, F. Gil-Sotres, and S. Seoane. 1998. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils* 26:100-106.
- Vance, E.D., P.C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19:703-707.
- van Hees, P.A.W., D.L. Jones, and D.L. Godbold. 2002. Biodegradation of low molecular weight organic acids in coniferous forest podzolic soils. *Soil Biol. Biochem.* 34 :1261-1272.
- Wagger, M.G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several

- winter annual cover crops. *Agron. J.* 81:236-241.
- Wyland, L.J., L.E. Jackson, and K.F. Schulbach. 1995. Soil-plant nitrogen dynamics following incorporation of a mature rye cover crop in a lettuce production system. *J. Agric. Sci.* 124:17-25.
- Wyland, L.J., L.E. Jackson, W.E. Chaney, K. Klonsky, and S.T. Koike. 1996. Winter cover crops in a vegetable cropping system: impacts on yield, nitrate leaching, pests and management costs. *Agric. Ecosyst. Environ.* 59:1-17.
- Zhong, W., T. Gu, W. Wang, B. Zhang, X. Lin, Q. Huang, and W. Shen. 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant Soil* 326:511-522.